



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO – MECÁNICA CON
MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

TEMA:

**Sistema eléctrico en radiobases celulares con medidas de
mimetización en base a norma ISO 14001:2004**

AUTOR:

Morán Acosta, Carlos Andrés

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de
INGENIERO EN ELÉCTRICO- MECÁNICA

TUTOR:

M. Sc. Philco Asqui, Luis Orlando

Guayaquil, Ecuador

17 de septiembre del 2021



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA CON
MENCION EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por, como requerimiento para la obtención de Título de **Ingeniería en Eléctrico- Mecánica**

TUTOR

M. Sc. Philco Asqui, Luis Orlando

DIRECTOR DE CARRERA

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 17 días del mes de septiembre del año 2021



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO – MECÁNICA CON
MENCIÓN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **MORAN ACOSTA, CARLOS ANDRES**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación **Sistema eléctrico en radiobases celulares con medidas de mimetización en base a norma ISO 14001:2004**, previo a la obtención del Título de **Ingeniería en Eléctrico–Mecánica**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecutivamente este trabajo es de mi total autoría. En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 17 días del mes de septiembre del año 2021

EL AUTOR

Morán Acosta, Carlos Andrés



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO – MECÁNICA CON
MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

AUTORIZACIÓN

Yo, **MORAN ACOSTA, CARLOS ANDRES**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación en la biblioteca de la institución del trabajo de titulación, **Sistema eléctrico en radiobases celulares con medidas de mimetización en base a norma ISO 14001:2004**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 17 días del mes de septiembre del año 2021

EL AUTOR

Morán Acosta, Carlos Andrés

REPORTE URKUND

URKUND Orlando Philco Asqui (orlando.philco)

Documento: MORAN_CARLOS.docx (D111810133)
Presentado: 2021-08-29 20:59 (-05:00)
Presentado por: orlandophilco_7@hotmail.com
Recibido: orlando.philco.ucsg@analysis.orkund.com
Mensaje: tesis Moran Carlos [Mostrar el mensaje completo](#)
1% de estas 51 páginas, se componen de texto presente en 3 fuentes.

Lista de fuentes	Bloques
Categoría	Enlace/nombre de archivo
	https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/10838/Tibas...
	https://www.cedesa.com.mx/pdf/fiuke/fiuke-1630_1620_serie_folleto.pdf
	http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0214_EO.pdf
	http://www.hermos.com.mx/img/Eventos/iniciativas2/Libroespanol.pdf

1 Advertencias Reinciar Exportar Compartir

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICO - MECÁNICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

TEMA: SISTEMA ELECTRICO EN RADIOBASES CELULARES CON MEDIDAS DE MIMETIZACION EN BASE A NORMA ISO 14001:2004.

AUTOR: MORAN ACOSTA, CARLOS ANDRES

Trabajo de titulación previo a

la obtención del grado de INGENIERO EN ELECTRICO- MECÁNICA

TUTOR: ING. LUIS ORLANDO PHILCO ASQUI MGS.

GUAYAQUIL, ECUADOR

AGRADECIMIENTO

Cerrando un ciclo de vida agradezco a DIOS todo poderoso que con su infinita bendición me ha permitido llegar hasta este día sin el nada es posible. Ya que ha puesto en mi camino a personas valiosas en el momento exacto.

A la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil por brindarme la oportunidad de formar parte de la comunidad estudiantil.

A mi Padre y Madre que con esfuerzo me han dado su apoyo, cariño y ejemplo para superarme, a mi familia que me ha apoyado en este reto el cual lo hemos ganado juntos.

A mi tutor Ing. Orlando Philco A. que impartió su experiencia y conocimiento para la aportación de este trabajo de titulación.

El Autor

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico a DIOS por haberme dado la sabiduría, entendiendo y fuerzas necesarias para llegar hasta alcanzar esta meta trazada desde muchos años atrás y que hoy estoy cumpliendo.

A mis padres que con su ferviente amor han sabido guiarme y darme la oportunidad de cumplir este reto ustedes son los mejores.

El autor



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO - MECÁNICA CON MENCIÓN
EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESUS
DECANO

M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO
COORDINADOR DE TITULACIÓN

M. Sc. QUEZADA CALLE, EDGAR RAÚL
OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

REPORTE URKUND	IV
AGRADECIMIENTO	VI
DEDICATORIA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
INDICE DE TABLAS	XVI
RESUMEN	XVII
CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	2
1.1 Introducción	2
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.3 Justificación	3
1.4 Objetivo General	4
1.5 Objetivos Específicos	4
1.6 Metodología de la Investigación	4
CAPÍTULO 2: CONEXIÓN A TIERRA ELÉCTRICA	5
2.1 Sistemas conectados a tierra	5
2.2 Equipos electrónicos sensibles	6
2.2.1 Interferencias electromagnéticas	8
2.2.2 Interferencias internas y externas.....	12
2.3 La calidad de energía eléctrica	13
2.3.1 Los efectos de la no linealidad en sistemas trifásicos	15
2.3.2 Armónicos.....	16

2.3.3. Criterios sobre el cableado	18
2.4 Puesta a tierra.....	21
2.5 Descargas eléctricas	25
2.5.1 Descargas atmosféricas	26
2.5.2 Sistemas de protección contra descargas atmosféricas.....	27
2.5.3 Sistemas de pararrayos.....	28
2.6 Pruebas de tierras de un solo electrodo.....	30
2.7 Sistema de puesta a tierra de un sitio de comunicaciones	32
2.7.1 Radiales.....	33
2.7.2 Anillo interior de tierra o halo	34
2.7.3 Medición de la resistencia en instalaciones de telecomunicaciones	35
2.7.4 Funciones y diseño de una malla de puesta a tierra	37
2.8 Medición de la resistencia del terreno.....	41
2.8.1 Métodos de comprobación de la conexión a tierra	42
2.8.2 Función del método de caída de potencial	43
2.8.3 Colocación de las estacas.....	44
2.8.4 Medida selectiva	44
2.8.5 Medida sin picas.....	46
2.8.6 Medidas de impedancia de tierra.....	48
2.8.6.1 Resistencia de tierra de dos polos	49
2.9 Medida de la resistencia de tierra	49

2.9.1 Pruebas en resistencias individuales.....	53
2.10 Puesta a tierra por tipo de suelos.....	54
CAPÍTULO 3: CÁLCULO PARA PUESTA A TIERRA.....	56
3.1 Suelos en Guayaquil	56
3.2 Aplicación de norma ISO 14001:2004.....	61
3.3 Metodología para gestión de proyectos de infraestructura de telecomunicaciones.....	62
3.3.1 Cuantificación de las estaciones de telecomunicaciones existentes.....	63
3.3.2 Evaluación y valoración de la información recolectada	64
3.3.3 Mimetización de infraestructura de telecomunicaciones.....	67
3.3.3.1 Tipos de Mimetización	68
CAPÍTULO IV: DISEÑO DE PUESTA A TIERRA Y MIMETIZACIÓN EN RADIOBASE.....	74
4.1 Normativas de puesta a tierra	74
4.2 Cálculo para Sistema Puesta a Tierra.....	74
4.2.1 Resistividad del terreno/modelo de medición:	74
4.2.2 Cálculo del conductor de puesta a tierra a utilizar	74
4.2.3 Cálculo de malla SPAT	74
4.3 Diseño de malla del SPAT	75
4.4 Emplazamiento del Sistema Puesta a Tierra “SPAT”	75
4.4.1 Emplazamiento de Mallas.....	75
4.5 Equipotencialización de estructuras.....	77

4.6 Sistema de barrajes PAT	79
4.7 Pararrayos "SPCR"	80
4.8 Medición de Resistencia de Malla Puesta a Tierra "RSPA"	81
CONCLUSIONES	82
RECOMENDACIONES.....	83
BIBLIOGRAFÍA	84
ANEXO 1: Proyectos de mimetización en radiobases de telefonía celular ..	88
ANEXO 2: Diseño Puesta a Tierra SPAT y SPCR Pararrayos	90
ANEXO 3: Reporte de medición en campo para determinar la resistividad de suelo	92
ANEXO 4: Mediciones de campo y reporte fotográfico de muestreo de suelo con Terrómetro	93
ANEXO 5: Reporte de medición en campo para determinar la resistencia de mallas "SPTA"	94
ANEXO 6: Reporte de Medición en campo para determinar la resistencia de mallas "SPTA"	95

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2:

Figura 2. 1 Tableros con dispositivos electrónicos de control y protección .	7
Figura 2. 2 Fuentes de EMI	8
Figura 2. 3 Señal afectada por efectos EMI.....	9
Figura 2. 4 Medición del campo electromagnético por señal de radiofrecuencia	11
Figura 2. 5 Tres versiones de cable tipo MC	16
Figura 2. 6 Separación de cargas electrónicas sensibles de otros equipos	18
Figura 2. 7 Tablero de "carga sensible"	22
Figura 2. 8 Resistencia de puesta a tierra	25
Figura 2. 9 Descargas atmosféricas o rayos	26
Figura 2. 10 Componentes de las resistencias de tierra en un electrodo de tierra.....	31
Figura 2. 11 Radiales.....	33
Figura 2. 12 Anillo interior de tierra o halo	34
Figura 2. 13 Instalación celular.....	36
Figura 2. 14 Medición en instalación celular con el uso de pinzas	36
Figura 2. 15 Configuración de resistividad del terreno, con <i>Fluke</i> 1623-2.	42
Figura 2. 16 Comprobador de resistencia de tierra.....	43
Figura 2. 17 Valor real de la resistencia del electrodo de tierra comprobado	46

Figura 2. 18 Comprobación de rutas de corriente en el método sin picas con la pinza de medida de resistencia de tierra.....	47
Figura 2. 19 Configuración para método sin picas utilizando el 1630-2 FC.	48
Figura 2. 20 Circuito equivalentes para medida de dos puntos.	49
Figura 2. 21 Disposición de una oficina central típica.....	50
Figura 2. 22 Comprobación sin picas de una oficina central.	51
Figura 2. 23 Comprobación de caída de potencial de 3 polos en el sistema a tierra.....	52
Figura 2. 24 Medición de las resistencias individuales del sistema de conexión a tierra. Fuente. (Fluke, 2017)	52

CAPÍTULO 3:

Figura 3. 1 Diseño de un sistema a puesta a tierra	57
Figura 3. 2 Diseño de un sistema a puesta a tierra	58
Figura 3. 3 Detalle sobre la base de un transformador.....	60
Figura 3. 4 Mimetización tipo poste metálico.....	69
Figura 3. 5 . Mimetización tipo chimenea	70
Figura 3. 6 Mimetización de monopolo tipo palmera.	71
Figura 3. 7 Mimetización en las terrazas de los edificios.....	71
Figura 3. 8 Mimetización tipo anuncio publicitario	72
Figura 3. 9 Mimetización de mástil autosoportado con vallas publicitarias	73

CAPÍTULO 4:

Figura 4. 1 Materiales para realizar los trabajos con SPAT.....	76
Figura 4. 2 proceso de soldado de exotérmico.....	76

Figura 4. 3 Soldadura exotérmica de varillas de cable.	77
Figura 4. 4 Aplicación de acoplador de tierra Thor Gel y compactación y relleno de zanjas. Fuente. El autor	77
Figura 4. 5 Proceso de conectores y conexiones	78
Figura 4. 6 Trabajos realizados con el aterrizamiento de todas las estructuras metálicas. Fuente. El autor.....	78
Figura 4. 7 Sistema de barras de una radiobase	79
Figura 4. 8 Sistema de barras de otros radiobases	79
Figura 4. 9 Sistema de barras Monopolo.....	80
Figura 4. 10 Instalación de pararrayos tipo ionizante marca Parres	80
Figura 4. 11 Medición de Resistencia de Malla Puesta a Tierra	81

INDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 2:

Tabla 2. 1 Valores típicos de la resistividad de diferentes suelos.....	37
Tabla 2. 2 Temperatura máxima de fusión	39
Tabla 2. 3 Guía para configurar apropiadamente la pica interna y la pica exterior.....	44

CAPÍTULO 3:

Tabla 3. 1 Estudio de la demanda	59
Tabla 3. 2 Impacto causado por la localización de la estación	64
Tabla 3. 3 Impacto causado por la estructura de elevación.....	65
Tabla 3. 4 Impacto causado por la cantidad y tamaño de las antenas	65
Tabla 3. 5 . Impacto causado por el cuarto de equipos	66
Tabla 3. 6 Impacto causado por el cerramiento del predio	66

CAPÍTULO 4:

Tabla 4. 1 Resistencia de malla con cemento conductorio y varillas de CU 75	
---	--

RESUMEN

Se presenta el trabajo de titulación, el cual tiene como objetivo principal diseñar un sistema de puesta a tierra que tolere las corrientes de cortocircuito durante el tiempo transcurrido entre la producción de la falla y la actuación de las protecciones e interruptores. Al diseñar un sistema puesta a tierra seguro evitaría que operase grupos electrógenos que en su desempeño de forma colateral puede existir consumo exagerado de combustible y derrames del mismo. Dicho trabajo emplea como metodología; el método descriptivo que genera un marco teórico sobre puesta a tierra y calidad de la energía eléctrica. Además, se emplea el método empírico por procedimientos de obtención de datos y manejo de equipo de medición de impedancias, resistividad del terreno. Se utiliza el método comparativo para evaluar criterios de mimetización a las estructuras metálicas de radiobases celulares. El resultado o propuesta de este trabajo de titulación es un diseño de puesta a tierra robusto para enviar corrientes a tierra, provenientes de eventos transitorios, tales como, descargas atmosféricas o por actuación de los pararrayos frente a sobretensiones, de tal manera que grupos electrógenos intervengan con poca frecuencia, así se cumple también criterios de gestión ambiental ISO 14001-2004 en cuanto a implantaciones de estaciones base con uso de energía eléctrica confiable.

PALABRAS CLAVES: Energía eléctrica, Puesta a tierra, Descargas eléctricas. Resistividad de terreno, Gestión ambiental.

ABSTRACT

The title work is presented, the main objective of which is to design a starting system that tolerates short-circuit currents during the time elapsed between the production of the fault and the actuation of the protections and switches. By designing a safe earthing system, it would prevent the operation of generating sets that in their performance could collaterally exist exaggerated fuel consumption and also spills of the same. As a methodology, it is used; the descriptive method that generates a theoretical framework on grounding and quality of electrical energy. The empirical method is used by procedures for obtaining data and handling equipment for measuring impedances, soil resistivity. The comparative method is used to evaluate criteria of mimicry to the metallic structures of cellular radio bases. The result or proposal of this qualification work is a robust earthing design to send currents to earth, originating from transient events, such as, atmospheric discharges or by the actuation of lightning rods against overvoltages, in such a way that generating sets intervene infrequently, thus, ISO 14001-2004 environmental management criteria are also met in terms of base station implantation with the use of reliable electrical energy.

KEYWORDS: Electric power, Grounding, Electric shock. Soil resistivity, Environmental management.

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

1.1 Introducción

El sistema puesta a tierra cumple un papel importante en la protección y seguridad de las instalaciones eléctricas, ya que ofrecen un camino de baja impedancia que permite mitigar los efectos producidos por fenómenos de carácter transitorio, tales como: fallas, operaciones de maniobra y descargas atmosféricas. Sin embargo, para que sea eficaz debe garantizar que los equipos a proteger estén debidamente conectados a la red de tierra. El sistema de puesta a tierra tiene como objetivo:

- Limitar la tensión que presentan las masas metálicas respecto a tierra.
- Asegurar actuación de las protecciones.
- Eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en el material eléctrico utilizado (Cirprotec, 2016).

Las perturbaciones eléctricas son desviaciones de los escenarios adecuados de voltaje, corriente o frecuencia. La presencia de manifestaciones adversas a la calidad de la energía eléctrica provoca una falla o una deficiente operación de los equipos o máquinas eléctricas. La relación entre la calidad de energía y los sistemas de puesta a tierra son cada vez de más interés en investigaciones científicas, como aporte se menciona (Malagón y col., 2013), donde se exponen una serie de buenas prácticas de ingeniería orientadas a la mitigación de las perturbaciones de tipo transitorio, creadas por el impulso electromagnético generado durante la descarga a tierra de un rayo. Este fenómeno puede aparecer de forma aleatoria y ahora con la alteración del clima a nivel mundial puede aparecer en lugares donde no caen con demasiada frecuencia (Malagón, Giraldo, Ordoñez, & Chacón, 2013).

En estaciones base de telefonía celular suelen producirse escenarios de alimentación eléctrica con deficiente calidad y por consiguiente suele dispararse protecciones o bien dar operación al grupo electrógeno que en el peor de los casos deberá operar por más horas de las previstas. A veces el llenado de combustible no es totalmente controlado y puede producirse fugas o derrames por la misma vibración de los generadores eléctricos. Como se indicó es un escenario que podría evitarse si desde el mismo sistema de

puesta a tierra cuando está bien diseñado, o cuando el cableado es el adecuado. Más del 70 % de los problemas dentro de un sistema eléctrico se deben a violaciones del sistema de puesta a tierra, y a errores de cableado (Tapia, 2012).

1.2 Planteamiento del problema

Hay necesidad de aplicar métodos de mediciones a conductores equipotenciales, en contacto eléctrico con el suelo o una masa metálica de referencia común, que distribuye las corrientes eléctricas de falla en el suelo o en la masa. Esto comprende electrodos, conexiones y cables enterrados. En radiobases del sistema celular se emplean equipamientos eléctricos y electrónicos, los cuales operan 24 horas al día en los 365 días del año. Pues, deben energizarse dichos equipos asegurando las protecciones y un adecuado desempeño de la misma energía eléctrica.

1.3 Justificación

Los sistemas de puesta a tierra deben ser capaces de tolerar corrientes de cortocircuito durante el tiempo transcurrido entre el momento de la falla y la actuación de las protecciones, sin deteriorar sus propiedades mecánicas ni eléctricas. También deben ser capaces de drenar corrientes a tierra, provenientes de eventos transitorios, tales como, descargas atmosféricas o sobretensiones, sin producir diferencias de potencial significativas que puedan ocasionar el deterioro prematuro de equipos y sistemas eléctricos (Improselec S.A., 2019).

Lograr minimizar el impacto visual por la implantación de estaciones bases debe integrar infraestructura y sobre equipamiento eficiente en consumo energético, con reducción de impacto en el sector. Así mejorar el aspecto de las radiobases con acabados en pintura o simular estructuras y texturas parecidas a árboles o vegetación, es una propuesta de camuflaje o mimetización de dichas estaciones bases. Evitar derramamiento de combustibles por parte de generadores eléctricos que operan más del tiempo previsto, es una causa de disparo de protecciones y estas pueden ser evitadas con el sistema eléctrico, incluida su sistema de puesta a tierra, cuando está operando de forma confiable. En síntesis, si dichos generadores eléctricos

operan cuando exclusivamente sea necesario, se evitaría producir CO2 demás. Cuando hay derramamientos indeseados de combustible y de manera coyuntural dotar un camuflaje o mimetizar a las estructuras metálicas de estaciones base en forma de un árbol artificial, cumplen con criterios de la ISO 14001-2004 en cuanto a gestión ambiental.

1.4 Objetivo General

Diseñar un sistema eléctrico con puesta a tierra para garantizar la operación de equipamiento en radiobases celulares en base a norma ISO 14001:2004. Propuesta de mimetización a estructura metálica.

1.5 Objetivos Específicos

1. Conocer la importancia de la puesta a tierra.
2. Determinar las técnicas de puesta a tierra.
3. Realizar cálculos de puesta a tierra y cableado para energizar radiobases
4. Proponer técnicas de camuflaje o mimetización a estructura metálica (antenas) de radiobases.

1.6 Metodología de la Investigación

A continuación, se especifican los tres métodos de investigación escogidos:

- Método descriptivo, para representar la operación de un sistema de puesta a tierra.
- Método empírico, para medir y evaluar la protección contra sobretensiones transitorias eléctricas.
- Método comparativo, para evaluar en base a norma ISO 14001: 2004, el cumplimiento de ciertos criterios de gestión ambiental.

CAPÍTULO 2: CONEXIÓN A TIERRA ELÉCTRICA

El término "suelo" se refiere a la tierra, o un cuerpo grande que sirve en lugar de la tierra. El término "conectado a tierra", entonces, se refiere a un sistema en el que uno de los elementos está conectado intencionalmente a "tierra". Los británicos usan los términos "tierra" y "puesta a tierra" en lugar de "tierra" y "puesta a tierra", que probablemente sean más apropiados, pero esta publicación utilizará la convención estadounidense, ya que los términos que hacen referencia a tierra aparecen en la literatura y los códigos estadounidenses (Erazo & Quevedo, 2018).

Los voltajes a los que se hace referencia cuando se habla de sistemas eléctricos suelen ser voltajes con respecto a tierra. Tierra, por lo tanto, representa el punto de referencia, o punto de potencial cero, al que se refieren todos los demás voltajes. De hecho, dado que los equipos computarizados se comunican con otros equipos, un voltaje de referencia cero es fundamental para un funcionamiento adecuado.

En la mayoría de los casos, el servicio eléctrico de la mayoría de los edificios instalados está "conectado a tierra". Existen numerosas excepciones. Si un servicio eléctrico dado a un edificio está "conectado a tierra", es decir, conectado intencionalmente a través de una conexión de baja impedancia a la "tierra", está determinado por las reglas del Código Eléctrico Nacional (NEC) y la empresa de servicios eléctricos al servicio de la instalación. (Alvarado Freddy, 2019)

2.1 Sistemas conectados a tierra

El propósito principal de la conexión a tierra de los sistemas eléctricos, es proteger al personal y la propiedad en el caso si ocurriera una falla (cortocircuito). En decir, si uno de los tres tramos (fases) calientes de un servicio eléctrico sin conexión a tierra se conecta a tierra, de forma intencionada o accidental, no sucede nada. No se dispara el disyuntor, ningún equipo deja de funcionar. Los sistemas eléctricos sin conexión a tierra fueron populares en los edificios industriales de la primera mitad del siglo XX precisamente por la razón de que las cargas impulsadas por motor, que eran

las más comunes en ese momento, no se detenían simplemente por un cortocircuito.

Pero la consecuencia de este tipo de Sistema, es que es posible que la estructura de un equipo se energice a algún voltaje sobre el suelo y presente un riesgo de descarga eléctrica para el personal que pueda estar tocando el equipo y un componente conectado a tierra de la estructura simultáneamente.

Un segundo propósito de un sistema de puesta a tierra, es proporcionar una ruta controlada de baja impedancia para que las corrientes inducidas por rayos fluyan a la tierra sin causar daños.

La suposición en este documento es de un servicio con conexión a tierra instalado de acuerdo con el Código Eléctrico Nacional (NEC). Hay algunos casos en los que esta práctica no es deseable y el NEC prevé esas excepciones.

2.2 Equipos electrónicos sensibles

Anteriormente, se había discutido sobre la proliferación de computadoras personales en el entorno de la oficina y el hogar. Ese análisis es realmente una metáfora de la proliferación de todos los equipos controlados por microprocesador que se encuentran en los entornos comerciales y de fabricación. Actualmente, la mayoría de los entornos de fábrica están controlados por computadora.

Simultáneamente con la proliferación de estos dispositivos sensibles, los propios dispositivos han ido cambiando de manera que los hacen más sensibles a las irregularidades del suministro eléctrico. Las velocidades de funcionamiento han aumentado (en el rango de radiofrecuencia), lo que hace que los circuitos sean más susceptibles a (y emitan) interferencias electromagnéticas. Los circuitos se han miniaturizado, con menos espacio entre conductores adyacentes en una placa de circuito, aumentando la susceptibilidad a sobretensiones y aumentando la interferencia de canales adyacentes. Sin embargo, los propios chips del microprocesador se han vuelto más pequeños y están más densamente empaquetados. Esto disminuye la disipación de calor y los hace menos robustos. Los voltajes operativos han disminuido y continúan disminuyendo para permitir esta miniaturización. Un

"1" digital puede estar en las proximidades de 3,5 - 5,0 voltios o menos, y un "0" en el rango de 0 a 1,5 voltios.

Es fácil ver dónde es importante mantener las sobretensiones transitorias y los armónicos de alta frecuencia lejos de los microcircuitos.

A medida que se lleva a cabo esta miniaturización continua, se desarrolló un nuevo tipo de fuente de alimentación que ofrece un gran ahorro de peso y componentes, un paso necesario para el desarrollo de computadoras más pequeñas, livianas y menos costosas. Esa es la fuente de alimentación de "modo conmutado". La figura 2.1 muestra equipos y dispositivos electrónicos que se emplean en industrias.



Figura 2. 1 Tableros con dispositivos electrónicos de control y protección

Fuente. (Maeswell, 2018)

Entre los tipos de equipos que ambos pueden causar problemas de calidad de energía, y son susceptibles a ellos, se encuentran:

- Fuente de poder ininterrumpida.
- Accionamientos de frecuencia variable.
- Cargadores de batería.
- Grandes motores durante el arranque.
- Sistemas de atenuación electrónicos.
- Balastos de iluminación (especialmente electrónicos).
- Soldadores de arco y otros dispositivos de arco.
- Equipo médico, como por ejemplo, resonancias magnéticas y máquinas de rayos X.

Sin embargo, esta lista incluye equipos que rompen una onda sinusoidal suave en incrementos escalonados, para controlar el dispositivo aguas abajo, variando el voltaje o la frecuencia de la salida.

Los dispositivos operados por arco, incluidos los motores "universales" de uso general con escobillas, soldadores de arco e incluso iluminación de descarga de arco (fluorescente o HID), son una fuerte fuente de interferencia electromagnética. Esta interferencia puede ser captada por cableado mal blindado o conectado a tierra y luego conducido a dispositivos sensibles. En este aspecto se indica que los conductores utilizados para la energía eléctrica o de señales de comunicación (coaxial) pueden emitir interferencias electromagnéticas.

2.2.1 Interferencias electromagnéticas

Una instalación deficiente causa interferencias en una banda del espectro electromagnético. Por consiguiente, se debe de medir con los analizadores de campo EM. La coexistencia de equipos de distintas tecnologías y la inadecuación de instalaciones facilita la emisión de energía electromagnética, lo que frecuentemente causa problemas de compatibilidad (EMC). A continuación, la figura 2.2 muestra las fuentes de EMI y la figura 2.3 se aprecia la señal afectada por efectos EMI.

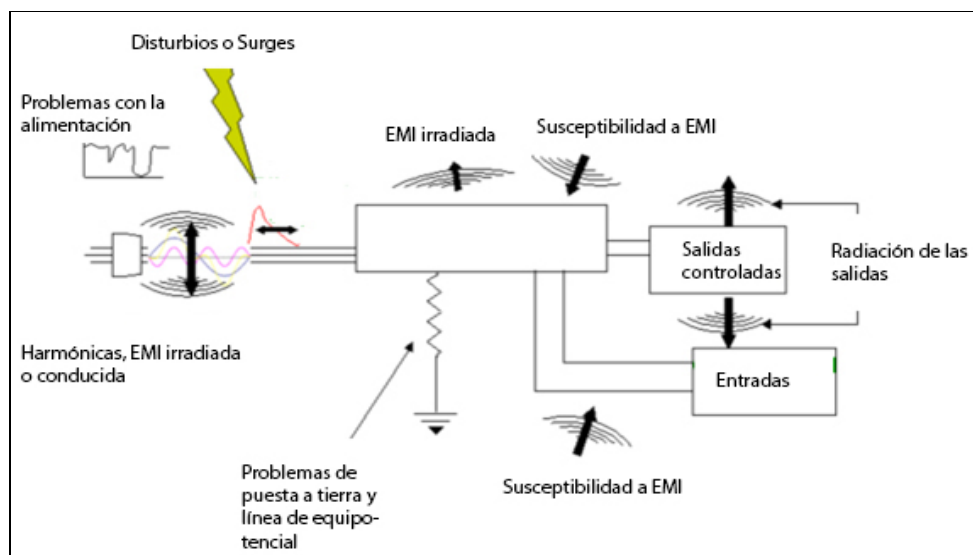


Figura 2. 2 Fuentes de EMI

Fuente. (SMAR, 2021)

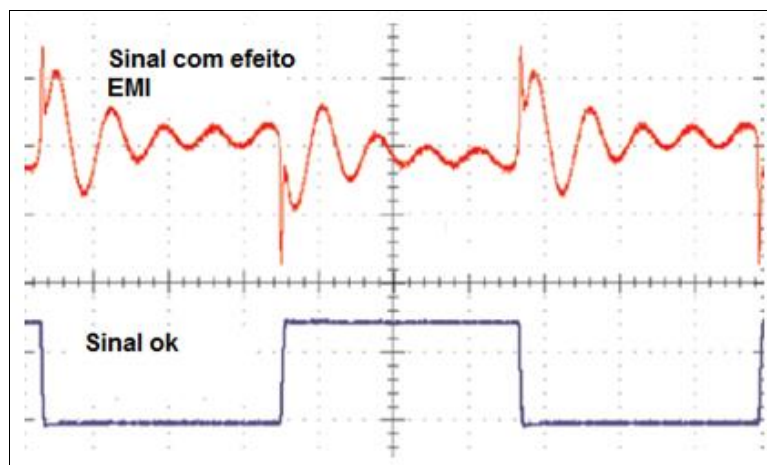


Figura 2. 3 Señal afectada por efectos EMI

Fuente. (SMAR, 2021)

No obstante, EMI es la energía que causa respuesta indeseable a cualquier equipo y puede generarse por chispa en los cepillos de motores, llave de circuitos de potencia, accionamientos de cargas inductivas y resistivas, accionamiento de relés, llaves, disyuntores, lámparas fluorescentes, calentadores, ignición automovilística, descargas atmosféricas o aún descargas electrostáticas entre personas y equipos, aparatos de microondas, equipos de comunicación móvil, etc. Todo esto puede causar alteraciones como sobretensión, subtensión, picos, transientes, entre otros., que pueden afectar una red de comunicación. Es muy común en industrias y fábricas, donde EMI es muy frecuente debido al mayor empleo de máquinas (de soldaduras, por ejemplo), motores (CCMs) y las redes digitales y de computadoras cercanas a esas áreas.

El mayor problema causado por EMI son las situaciones esporádicas que degradan lentamente los equipos y sus componentes. Los distintos problemas pueden generarse por EMI, por ejemplo, en equipos electrónicos, tales como fallos de comunicación entre dispositivos de una red de equipos o computadoras, alarmes generados sin explicación, actuación en relés sin motivo o comando, y la quema de componentes y circuitos electrónicos, entre otros. Es muy común la ocurrencia de ruidos en la alimentación, debido a mala puesta a tierra y blindaje, o mismo un error de proyecto.

La topología y la distribución del cableado, los tipos de cables, las técnicas de protección son factores que deben considerarse para reducir los efectos de EMI. Hay que recordarse siempre, que en altas frecuencias los cables se

comportan como un sistema de transmisión de líneas cruzadas y confusas, reflejando y esparciendo energía de un circuito a otro. Se debe mantener en buenas condiciones las conexiones. Pues, los conectores inactivos por mucho tiempo, pueden desarrollar resistencia o volverse detectores de RF.

Un ejemplo típico de cómo EMI puede afectar el comportamiento de un componente electrónico, es el capacitor sujetado a un pico de tensión mayor que su tensión nominal específica. Esto puede causar la degradación del dieléctrico, pues su espesura se limita por la tensión de operación del capacitor, la cual puede producir un gradiente de potencial inferior a la rigidez dieléctrica del material, causando malo funcionamiento y mismo la propia quema del capacitor. O, también, las corrientes de polarización pueden alterarse llevando a saturación o corte, o, según la intensidad, a la quema de componentes por efecto joule.

La instalación inadecuada o el uso de un equipo en aplicaciones no recomendadas pueden perjudicar la performance del sistema y en consecuencia representar una fuente de peligro y accidentes. Por lo tanto, se recomienda utilizarse solo profesionales entrenados y calificados para instalación, operación y mantenimiento.

Muchas veces la confiabilidad de un sistema de control frecuentemente se pone en riesgo debido a malas instalaciones. Generalmente, los usuarios ignoran la realidad, pero el análisis más criterioso revela los problemas de instalaciones relativos a cables, sus rutas y acondicionamientos, blindajes y puesta a tierra.

Es sumamente importante la concientización de todos los involucrados y, principalmente, el compromiso con la confiabilidad, seguridad operacional y de las personas en una fábrica.

Además, es vital controlar el ruido en sistemas de automatización, porque él puede volverse un problema serio aún para los mejores aparatos y *hardware* de adquisición de datos y actuación.

Cualquier ambiente industrial tiene ruidos eléctricos en fuentes, incluyendo líneas de energía AC, señales de radio, máquinas y estaciones.

Felizmente, los dispositivos y técnicas simples, tales como métodos de puesta a tierra adecuados y, además, de blindaje, hilos trenzados, media de

señales, filtros y amplificadores diferenciales pueden controlar el ruido en la mayoría de las mediciones.

Por ejemplo, los inversores de frecuencias tienen circuitos de conmutación que pueden generar interferencia electromagnética (EMI). Ellos poseen amplificadores de alta energía de conmutación que pueden producir EMI significativa en frecuencias de 10 MHz hasta 300 MHz. Por supuesto, hay la posibilidad de que este ruido de conmutación pueda generar intermitencia en los equipos cercanos. Mientras la mayoría de los fabricantes tenga cuidado con los proyectos para minimizar este efecto, la inmunidad completa no es posible. Algunas técnicas de *layout*, hilado, puesta a tierra y blindaje contribuyen significativamente para esta minimización.

La reducción de EMI va a minimizar los costos iniciales y los futuros problemas de funcionamiento de cualquier sistema.

En la figura 2.4 se ve una representación de I.E.M. por señales de radiofrecuencia.

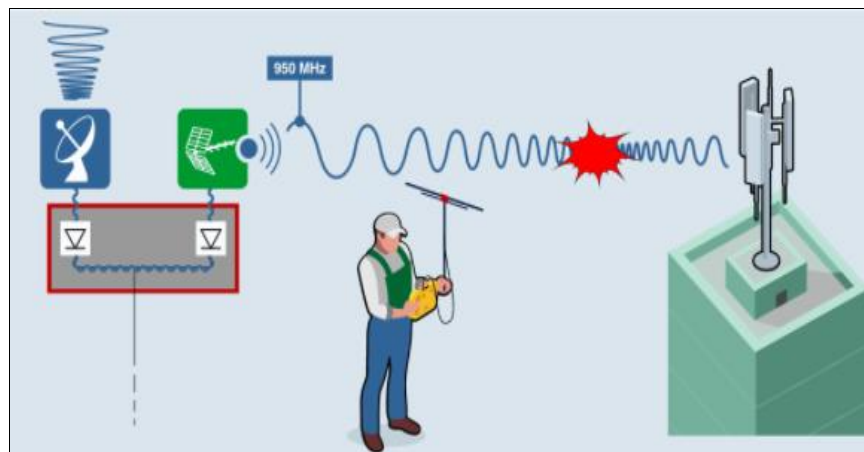


Figura 2. 4 Medición del campo electromagnético por señal de radiofrecuencia

Fuente. (PROMAX, 2019)

El análisis de *Fourier* indica que una onda de cualquier forma puede ser creada por una combinación definida de ondas sinusoidales de frecuencia y amplitud variables. En pocas palabras, las matemáticas nos dicen que las ondas cuadradas y las ondas cuasi-cuadradas, que son la salida de fuentes de alimentación de modo conmutado y unidades de frecuencia variable, contienen elementos de ondas sinusoidales. Pero en lugar de solo las ondas sinusoidales fundamentales de 60 Hz, estas ondas cuadradas también

contienen muchos componentes de frecuencia más alta, que son armónicos (múltiplos) de la fundamental de 60 Hz, así como componentes con picos que son sobretensiones transitorias. Estos armónicos pueden provocar el calentamiento de circuitos y neutros y un posible mal funcionamiento de la lógica digital. Además, el borde de ataque de una onda cuadrada o pico se comporta como una onda sinusoidal de alta frecuencia (radiofrecuencia).

2.2.2 Interferencias internas y externas

Existen dos tipos de interferencia, cuales son la interna y la externa, siendo continuada o intermitente. Cada tipo tiene su propia causa y las causas más sujetadas a interferencia continuada son:

- 50/60Hz Alimentación
- Motor Eléctrico (especialmente el conmutador)
- Señales de radio de alta energía
- Fontes conmutadas
- Microondas

En cambio, las causas de ruidos constantes son menos difíciles de encontrarse, que los problemas con ruidos intermitentes.

La fuente más común de ruido es constante y es causada por una fuente de alimentación 50/60 Hz. La alimentación es el componente más común por ser una tensión oscilante, de alta potencia y un sistema de antena enorme.

Casi todos los sistemas tienen filtros para 50/60 Hz que evitan o minimizan ruidos de esta naturaleza.

Los motores eléctricos muchas veces crean ruido de banda ancha que pueden irradiarse hacia cualquier equipo en su vecindad. Los motores DC frecuentemente tienen fuentes conmutadas que también generan ruido de alta frecuencia a través de la puesta a tierra común. Este ruido de banda ancha puede transmitirse de vuelta a través de las líneas de suministro de energía o a través de una puesta a tierra común.

Radio local, estaciones de televisión, radares y estaciones de radio Amador, pueden causar ruidos de frecuencia de radio.

Estas estaciones generan kW de energía y muchas veces se ubican cerca de áreas industriales.

La alimentación conmutada es la fuente más común de ruido. Es popular y hace parte de los equipos electro-electrónicos, produciendo grandes cantidades de frecuencias armónicas.

Los ruidos intermitentes son de causas difíciles de ubicar.

Un ejemplo es un rayo que, por lo general, contiene de 20 a 40 kA y millones de Volts. Además, el rayo transmite ruido de banda ancha que abarca todo el espectro de frecuencia CC. Esto, juntamente con la corriente de alta tensión, torna imposible filtrarse este ruido. El mejor método es protegerse los dispositivos con *shunts* y supresores.

Otro ejemplo común en ambientes industriales es el conmutador de relés, que, por lo general, produce el ruido de relé de conmutación. Este ruido es creado por el campo magnético cuando se conmuta el relé.

El ruido generado por máquinas de soldadura es parecido con los ruidos generados por un rayo, de alta frecuencia y de banda ancha. La diferencia es que puede identificarse fácilmente.

También vale citarse el ruido estático (generado por la estática). En este caso es muy difícil identificarlo como fuente de ruido; pues es invisible y muy intermitente. Mientras muchas veces sea generado por el hombre, también puede ser de origen natural. El ruido estático también es similar al rayo con todos sus atributos, pero en menor escala.

2.3 La calidad de energía eléctrica

Una definición es la frecuencia relativa y la gravedad de las desviaciones en la energía entrante suministrada a los equipos eléctricos de la forma de onda sinusoidal habitual, constante, de 60 Hz, de voltaje o corriente. Estas desviaciones pueden afectar la operación segura o confiable de equipos como computadoras.

Por lo tanto, si bien no tienen una base de medición estricta, términos como "mala calidad de la energía" generalmente significan que hay una desviación suficiente de las normas en la fuente de alimentación para causar un mal funcionamiento del equipo o una falla prematura. Por el contrario, "buena calidad de energía" significa que hay un bajo nivel de tales desviaciones o errores de operación.

Debido a que la sensibilidad a tales desviaciones varía de un equipo a otro, lo que puede considerarse una mala calidad de energía para un dispositivo puede ser una calidad de energía perfectamente aceptable para otro.

La mala calidad de la energía afecta el funcionamiento confiable de las computadoras y los equipos basados en computadoras, que ahora son tan omnipresentes. A menudo, más importante que el efecto físico en el equipo es la pérdida de productividad resultante de fallas en el equipo informático, cálculos erróneos y tiempo de inactividad. De hecho, se ha estimado que el costo total para las empresas estadounidenses de esta pérdida de productividad es de entre 15 y 30 mil millones de dólares al año. Una encuesta reciente de E-Source indicó que, si bien la mayoría de los encuestados no calcularon el costo de sus pérdidas anuales debido a la calidad de la energía (o incluso pueden atribuir erróneamente fallas en la calidad de la energía a causas de software o hardware),

La gran mayoría de los problemas de calidad de la energía en un edificio se originan dentro del mismo edificio. El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), varias agencias gubernamentales y otras organizaciones han estado estudiando estos problemas y efectos durante varios años. Como resultado, han emitido pautas de diseño y prácticas recomendadas que se sabe que reducen en gran medida, si no eliminan, la incidencia y la gravedad de los problemas relacionados con la calidad de la energía.

En muchos casos, la simple instalación de sistemas eléctricos mejorados y mejores sistemas de puesta a tierra evitará (o solucionará) el problema. Muchas de las técnicas sencillas exploradas en este documento son relativamente económicas de instalar durante la construcción o durante la renovación importante de un edificio. Además, dado que el uso de un edificio en particular, o un área dentro de un edificio, puede variar considerablemente a lo largo de los años, las mejoras de infraestructura recomendadas servirán para hacer que el edificio sea más útil con el tiempo, a pesar de los cambios en los inquilinos, los usos finales o el equipo.

En términos generales, siguiendo fórmulas generalmente bien conocidas para las cargas eléctricas esperadas por área de piso determinada, el

diseñador de décadas pasadas estaba razonablemente seguro de diseñar una instalación eléctrica adecuada que se podría esperar que sirviera bien a las necesidades del edificio y sus ocupantes en el futuro. Rara vez era necesario preocuparse por los armónicos o los transitorios. Pero el tiempo, el progreso y la microcomputarización avanzaban.

Según el Instituto de Investigación de Energía Eléctrica, hasta el 80% de los problemas de calidad de la energía se relacionan con cableado o conexión a tierra inadecuados, 3 por lo que, como se examinan a continuación algunos problemas de calidad de la energía, se hará especial hincapié en el cableado y la conexión a tierra.

2.3.1 Los efectos de la no linealidad en sistemas trifásicos

El resultado neto de la generación de armónicos y transitorios es un posible mal funcionamiento de los equipos electrónicos sensibles y el sobrecalentamiento de los conductores de fase y, en particular, los neutros. ¿Cómo sucedió esto?

En un circuito trifásico balanceado (carga lineal igual en cada fase), que opera con un voltaje de onda sinusoidal suave de 60 Hz en cada fase, el neutro lleva la suma vectorial de las corrientes trifásicas, que es cero. Pero si uno o más de los conductores de fase también transportan corrientes significativas a frecuencias armónicas (múltiplos de la fundamental de 60 Hz), es posible que no se cancelen por adición de vectores, pero pueden agregar el neutro. Los instrumentos de prueba estándar ni siquiera pueden medirlos.

Si las corrientes armónicas son sinusoidales, matemáticamente los múltiplos pares se cancelan. Pero los múltiplos impares, por estar en fase, son aditivos y aparecen en el neutro, donde pueden provocar sobrecalentamiento. La corriente en el neutro puede ser mayor que la de cualquiera de los conductores de fase. (De hecho, se han reportado incendios como resultado de armónicos). Si los armónicos fundamentales o no son sinusoidales, como ondas cuadradas que pueden ser causadas por una fuente de alimentación pulsada, el análisis matemático se vuelve muy difícil.

Los cables de fase en sí pueden ahora llevar una corriente fundamental sinusoidal o no sinusoidal de 60 Hz, más corrientes pulsadas no sinusoidales de alta frecuencia, lo que puede provocar un sobrecalentamiento de los conductores de fase. Como predice la Ley de Ohm, estas corrientes distorsionadas causarán formas de ondas de voltaje distorsionadas en el sistema de cableado del edificio, lo que, a su vez, puede causar fallas en otros equipos. Entonces, tenemos una situación en la que algunos equipos están creando problemas que pueden afectar a otros equipos en el edificio.

2.3.2 Armónicos

A continuación, se describen los criterios para la solución de armónicos en instalaciones eléctricas:

- ❖ **Neutros separados por fase:** Las fuentes de armónicos son mucho más que un inconveniente o una fuente de mal funcionamiento del equipo. Pueden ser un problema de seguridad grave. Alternativamente, se pueden usar neutros separados para cada conductor de fase. Al menos un fabricante de cables fabrica un cable de tipo AC o MC con conductores neutros extra grandes o de gran tamaño integrados. El costo adicional de sobredimensionar el neutro es mínimo. Y la seguridad proporcionada será funcional incluso si hay cambios en el equipo que afectan las frecuencias involucradas. Véase en la figura 2.5.

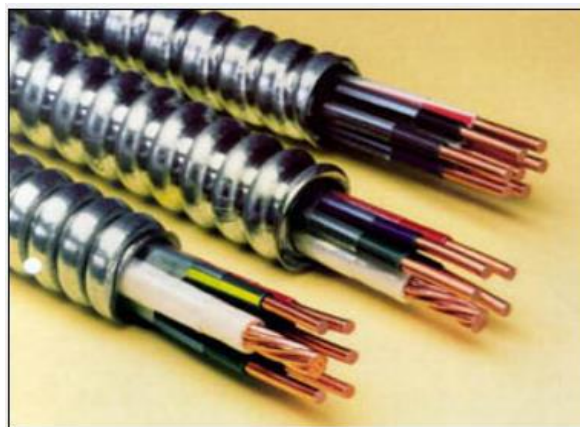


Figura 2. 5 Tres versiones de cable tipo MC

Fuente. (Copper Development Association Inc., 2019)

En la figura 2.5 se aprecia las tres configuraciones de cable tipo MC.

- El de arriba muestra los conductores trifásicos con neutro separado por fase.
- El del medio muestra los conductores trifásicos (calibre 12), con un neutro de tamaño doble (el cable blanco de calibre 8).
- El de abajo muestra los conductores trifásicos, un neutro de doble tamaño y un conductor de puesta a tierra aislado (verde con franja amarilla). A su vez, hay que tener en cuenta que las tres versiones incluyen un conductor de puesta a tierra verde del equipo.

- ❖ **Filtros de armónicos:** Los filtros a veces son más rentables en una estructura existente donde el recableado es difícil o costoso. Los filtros se utilizan para bloquear o atrapar las corrientes ofensivas, disminuyendo las cargas armónicas en el cableado. Pero el diseño del filtro depende del equipo en el que está instalado y puede resultar ineficaz si se cambia el equipo en particular. Las características de filtrado deben diseñarse cuidadosamente para una instalación determinada y se recomienda buscar asesoramiento de diseño profesional. Los filtros también son bastante caros por kVA.
- ❖ **Transformadores de aislamiento blindados:** Los transformadores de aislamiento blindados son dispositivos de filtrado que reducen la transmisión de frecuencias armónicas desde la fuente o la carga. Son una técnica de modernización plausible en la que ya se han encontrado problemas de energía, pero también son bastante caros por kVA.
- ❖ **Transformadores con clasificación K:** Los transformadores con clasificación K tienen conductores reforzados y, a veces, se enfrían para manejar de manera segura las cargas armónicas. Alternativamente, los transformadores estándar a veces se reducen para permitir el calentamiento adicional, debido a los armónicos. Dependiendo de las condiciones encontradas, se observa un límite de carga de tan solo el 50% de la clasificación de la placa de identificación. Esto puede ser adecuado para manejar armónicos, pero reduce la eficiencia efectiva del transformador. Se debe hacer una comparación cuidadosa de los costos relativos de los transformadores estándar con clasificación K y los transformadores estándar reducidos.

- ❖ **Disyuntores y paneles con clasificación de armónicos:** El sobrecalentamiento debido a los armónicos es el peligro aquí, y los componentes reforzados utilizados en estos elementos ofrecen protección. Los buses neutrales deben estar clasificados para duplicar la corriente de fase.

2.3.3. Criterios sobre el cableado

A continuación, se detallan los criterios sobre el cableado:

- ❖ **Separación de cargas electrónicas sensibles de otros equipos:**

Un circuito de "computadora" dedicado en cada oficina es una buena idea, al menos de regreso al panel del circuito derivado. Es importante y necesaria en algunos casos, alimentar equipos sensibles desde circuitos derivados separados que emanan de tableros de paneles separados, alimentados desde alimentadores separados hasta la entrada de servicio principal.

Los neutros y los conductores de puesta a tierra también deben mantenerse separados. Un circuito dedicado significa cables de fase separados, un neutro separado, con un conductor de puesta a tierra separado, que corre en su propio conducto metálico separado, de regreso a la fuente.

Evite tener equipos sensibles en los mismos circuitos, o incluso tableros, que las cargas del motor. Equipos tales como impresoras láser, fotocopiadoras y máquinas de fax deben mantenerse separados de las computadoras. Véase la figura 2.6.

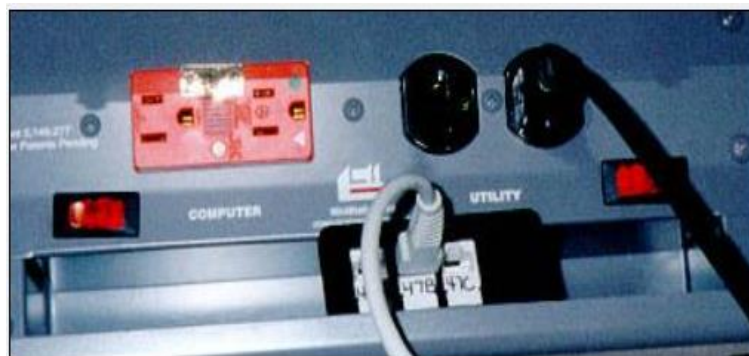


Figura 2. 6 Separación de cargas electrónicas sensibles de otros equipos

Fuente. (Copper Development Association Inc., 2019)

Un tomacorriente montado debajo del escritorio con un tomacorriente para "computadora" separado, claramente etiquetado, de color naranja, así como el tomacorriente habitual de "utilidad" de color marrón. Este dispositivo es

alimentado por dos circuitos separados (de paneles separados) y tiene incorporado supresión de sobretensión transitoria

- ❖ **Número limitado de salidas por circuito:** Se recomienda de tres a seis salidas por circuito, en lugar de las trece permitidas por el Código en un circuito de 20 amperios. Esto minimizará la cantidad y variedad de circuitos que comparten equipos sensibles, tenderá a minimizar la caída de voltaje (que se explica más adelante), minimizará la posibilidad de interacción y dejará algo de espacio para el crecimiento posterior o cambios de equipo.
- ❖ **Conducto metálico:** El conducto metálico, debidamente conectado a tierra, protege los conductores de la energía de RF. Sin embargo, no omita el conductor de conexión a tierra (cable de cobre aislado de color verde), independientemente del material del conducto. Es necesario para la seguridad, así como para garantizar una ruta continua a tierra de baja impedancia. El conductor de puesta a tierra se coloca dentro del conducto de metal, no afuera.

Todas las conexiones deben realizarse correctamente y mantenerse para evitar una posible rectificación de RF en uniones defectuosas. La corrosión y el aflojamiento de las juntas deben abordarse en un programa de mantenimiento regular para garantizar la continuidad eléctrica de baja impedancia en todas las juntas de los conductos.

De acuerdo con la Norma IEEE 142, el conducto de acero rígido ofrece un mejor rendimiento como conductor de conexión a tierra que el aluminio, si no se utiliza un conductor de conexión a tierra de cobre por separado. Se recomienda utilizar siempre un conductor de conexión a tierra de cobre de tamaño completo independiente, independientemente del material del conducto, debido a la preocupación por la corrosión y el aflojamiento.

- ❖ **Caída de voltaje:** Aunque el NEC permite hasta un 3% de caída de voltaje en un circuito derivado, la práctica recomendada es diseñar para no más del 1% de caída de voltaje a plena carga en los circuitos derivados que alimentan equipos sensibles. La caída de voltaje del alimentador no debe exceder el 2%.

Eso significa que los calibres de los conductores a menudo deben ser más grandes de lo requerido como mínimo del código. Pero un beneficio

secundario de un calibre de conductor más grande es que los conductores más grandes con frecuencia ahorran suficiente energía, debido a su menor resistencia, para compensar el costo inicial más alto, con un retorno de la inversión corto.

Otro factor a considerar en el cálculo de la caída de voltaje es el factor de cresta (relación entre el valor pico y el valor promedio de la forma de onda). En una onda sinusoidal, el factor de cresta es 1.414 ($\sqrt{2}$), y la mayoría de las tablas, fórmulas y códigos se basan en esta forma de onda tradicional común. Pero una forma de onda no sinusoidal, que contiene armónicos y formas irregulares, puede tener un factor de cresta de 3, 4 o más.

Por lo tanto, la caída de voltaje en los picos de corriente puede ser varias veces mayor de lo que normalmente se espera del caso sinusoidal. Surge la pregunta sobre el valor de la corriente a emplear al calcular la caída de voltaje, así como el valor de la impedancia del circuito en las frecuencias armónicas más altas. Un ingeniero sugirió usar tres o cuatro veces las cargas de la placa de identificación del equipo conectado para tener en cuenta este factor de cresta aumentado y compensar el efecto piel y la reactancia inductiva más alta de los componentes de corriente de mayor frecuencia que pueden estar presentes. Este grado de conservadurismo puede no ser necesario en la mayoría de los casos, pero la prudencia sugeriría que los conductores de fase no se carguen a sus límites de ampacidad publicados.

La combinación de conductores de mayor tamaño más allá del calibre necesario para la carga, combinada con un límite de caída de voltaje de diseño del 1%, debería evitar una caída de voltaje excesiva en el circuito derivado en la mayoría de los casos. Nuevamente, se trata de un caso en el que los materiales adicionales son una parte económica del costo total de instalación durante la construcción.

❖ **Material del conductor:** Las posibilidades de conexiones problemáticas que podrían causar fluctuaciones de voltaje en casos leves y fallas catastróficas en casos extremos, se reducen con el uso de conductores de cobre. Por tanto, el cobre es el metal conductor estándar contra el que se miden todos los demás materiales conductores, y por una buena razón. Además, tiene menor resistencia eléctrica para un

calibre dado; esto significa calibres y tamaños de conductos más pequeños para un requisito de carga determinado.

El óxido de cobre es un conductor relativamente bueno, mientras que el óxido de aluminio es un aislante. No se necesitan precauciones especiales de instalación y los requisitos de mantenimiento se reducen cuando se usa cobre. Asimismo, no se necesitan inhibidores de corrosión especiales, debido a su capacidad de conexión superior, hay menos riesgo de una falla relacionada con la calidad de la energía.

2.4 Puesta a tierra

A continuación, se describen algunas consideraciones de puesta a tierra:

- **Recintos metálicos:**

Todos los objetos metálicos que encierran conductores eléctricos, o que se energicen en caso de falla o descarga electrostática, deben estar conectados a tierra de manera efectiva para brindar seguridad al personal; así como el rendimiento del equipo. Es mejor utilizar sistemas de suministro de CA con conexión a tierra sólida.

No obstante, todos los recintos metálicos, conductos eléctricos, conductores de puesta a tierra del equipo y electrodos de puesta a tierra, deben estar unidos de forma sólida en un sistema continuo conectado eléctricamente. También todo el acero estructural del edificio debe estar unido en una sola masa eléctricamente conductora y conectado a la tierra del servicio eléctrico requerida en la entrada del servicio, así como al sistema conductor de puesta a tierra del equipo y al sistema metálico de agua fría.

- **Tierras aisladas**

La puesta a tierra aislada es una técnica poco definida que intenta reducir las posibilidades de que "ruido" ingrese al equipo sensible a través del conductor de puesta a tierra del equipo. Los métodos exactos utilizados en el cableado IG varían un poco de un caso a otro, y no existe un método estándar definido.

En un circuito derivado típico, el conductor de conexión a tierra del equipo se conecta a la caja de salida metálica a través de la conexión del tornillo del

conductor de conexión a tierra al yugo de montaje (correa de montaje), así como al conductor de conexión a tierra verde para ese circuito. Luego se conecta además a la caja del tablero metálico donde se originó el circuito derivado. Allí, puede captar ruido de circuitos adyacentes que comparten el tablero.

En el caso de un receptáculo IG, generalmente de color naranja e identificado con un símbolo de triángulo naranja en su cara, la clavija de conexión a tierra no está conectada eléctricamente al yugo del dispositivo y, por lo tanto, no está conectada a la caja de salida metálica. Por lo tanto, está "aislado" de la tierra del cable verde. Un conductor separado, verde con una franja amarilla, se extiende desde la clavija de conexión a tierra aislada del tomacorriente hasta el tablero con el resto de los conductores del circuito, pero generalmente no está conectado a la caja metálica (Véase la figura 2.7). En algunos casos, el aislamiento puede terminar aquí. En su lugar, está completamente aislado hasta el bus de tierra del equipo de servicio o hasta la conexión a tierra de un sistema derivado por separado, es decir, un transformador de aislamiento.

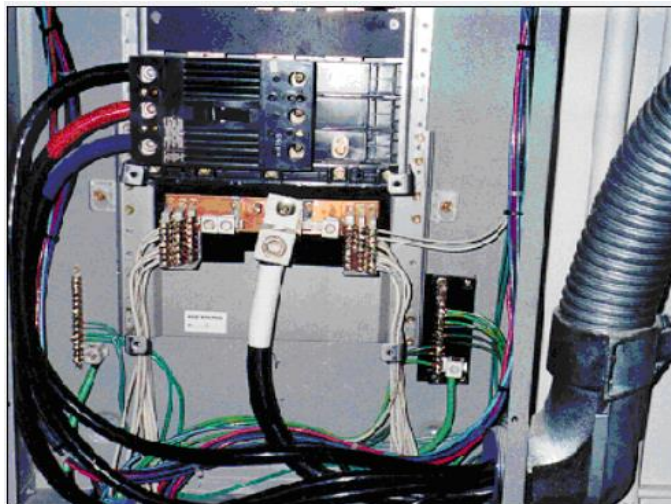


Figura 2. 7 Tablero de "carga sensible".

Fuente. (Copper Development Association Inc., 2019)

Tenga en cuenta, los conductores de puesta a tierra aislados (verde con franja amarilla) montados en una placa aislante cerca de la parte inferior derecha, mientras que los conductores de puesta a tierra "sólidos" estándar (solo verde) están conectados a un bus montado directamente en el gabinete

metálico, cerca de la parte inferior izquierda. Este panel también cuenta con un bus neutro clasificado al 200% y un conductor neutro de alimentador de tamaño doble. Todo el cableado es de cobre para una conexión sin problemas. (Erazo & Quevedo, 2018).

- **Anillos de tierra:**

Un anillo de tierra exterior enterrado es una técnica para ayudar a lograr una baja impedancia desde el sistema de conexión a tierra del edificio hasta la tierra misma, y un medio conveniente para conectar varias tierras que conducen desde el edificio. Un enfoque recomendado es enterrar un conductor de cobre desnudo (se permite que el calibre mínimo sea tan pequeño como # 2 AWG, pero los tamaños de 4/0 y 250 kcmil se especifican con mayor frecuencia, y a veces se usan 500 kcmil), a una profundidad por debajo del línea de escarcha (36 "-42" en la mayor parte de los EE. UU.). Los calibres más grandes aumentan el área de la superficie de contacto, lo que ayuda a reducir la resistencia. El anillo está ubicado en una zanja a unos pocos pies de distancia de la huella del edificio y rodea completamente la estructura. Materiales de relleno que mejoran el suelo (bentonita, un material de arcilla natural,

A este anillo enterrado se conecta el acero del edificio, los conductores de bajada de protección contra rayos, el sistema de electrodos de conexión a tierra, cualquier sistema de tuberías de metal que se cruce en su camino y cualquier otro electrodo de conexión a tierra presente.

A veces, el anillo de tierra se complementa aún más con varillas de tierra verticales. En el diseño utilizado en una gran universidad de investigación, por ejemplo, se colocan varillas de tierra triples en cada esquina del edificio, a veces complementadas con varillas de tierra triples en los puntos medios, unidas a un conductor de cobre desnudo de 500 kcmil, a 36-40 "de profundidad, rodeando cada nuevo edificio. (Siempre que el sitio esté abierto, se excaven trincheras y el personal en las instalaciones, tiene poco sentido escatimar en el conductor de tierra)

- **Resistencia de la conexión a tierra**

La resistencia de la conexión a tierra debe comprobarse en el momento de la instalación, utilizando un comprobador de resistencia de conexión a tierra (como un Megger) y volver a comprobarlo periódicamente, según la

experiencia obtenida, anualmente o semestralmente. Los cambios significativos en las lecturas requieren una mayor investigación en cuanto a la causa y la acción correctiva necesaria.

Aunque el Código Eléctrico Nacional señala una resistencia de tierra "deseada" de 25 ohmios o menos, ese estándar se basa en el nivel de resistencia de tierra que se considera adecuado para hacer que el dispositivo de sobrecorriente (disyuntor) se dispare en una condición de falla. El funcionamiento adecuado de equipos electrónicos sensibles no es una consideración del Código. De hecho, si no se alcanza el nivel de 25 ohmios al principio, el Código permite al instalador colocar una segunda varilla de tierra, no hacer más comprobaciones y detenerse allí. La resistencia de tierra resultante puede ser de 100 ohmios, 200 ohmios o lo que sea.

Muchas empresas de telefonía y telecomunicaciones especifican una resistencia de tierra de 5 ohmios o menos. No existe una cifra que garantice un funcionamiento sin problemas de todos los equipos, pero, en general, cuanto más baja sea la cifra, mejor, siendo 10 ohmios o menos un objetivo razonable para la mayoría de las condiciones del suelo. Durante la fase de construcción, mientras se excava el sitio y el personal está en el lugar, es prudente y económico instalar el mejor sistema de electrodos de conexión a tierra posible para el sitio.

- **Profundidad de puesta a tierra:**

Cuando no hay suficiente espacio para trabajar, o bajo condiciones de resistividad de tierra inusualmente alta, es posible que se requieran puestas a tierra profundas. Las varillas de tierra largas de cobre tipo tubería, a veces decenas o cientos de pies de largo, en orificios perforados, no son desconocidas en casos raros. En ubicaciones de montaña, por ejemplo, para lograr el valor de resistencia del terreno objetivo, puede ser más económico perforar un terreno profundo que extender un sistema de terreno poco profundo sobre terreno rocoso o pendientes pronunciadas.

En términos generales, las varillas de tierra más profundas son más efectivas que las varillas poco profundas, por lo que se prefiere una varilla de veinte pies a una varilla de diez pies, etc. Como muestra la figura 2.8, la resistencia cae rápidamente a medida que aumenta la longitud de la varilla,

debido a temperaturas más estables y mayor humedad en profundidades más bajas.

El espaciado de los electrodos también es importante. La regla general es que las varillas múltiples deben estar separadas por lo menos el doble de la longitud de una varilla. Es decir, dos varillas de diez pies deben colocarse a no menos de veinte pies de distancia. Vease la figura 2.8

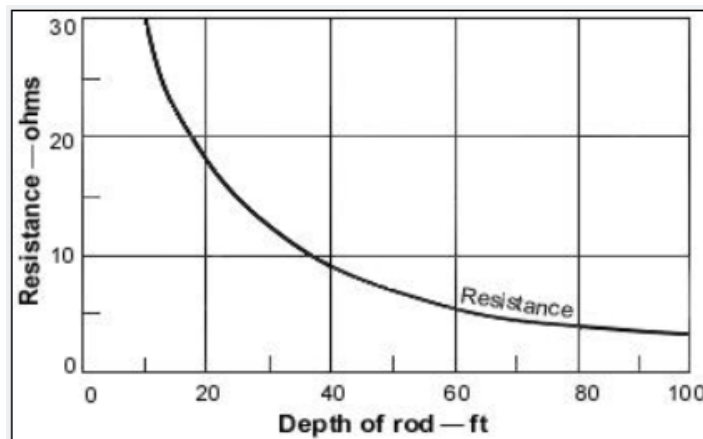


Figura 2. 8 Resistencia de puesta a tierra

Fuente. (Copper Development Association Inc., 2019)

Una aproximación que muestra la resistencia de puesta a tierra que varía de forma no forrada con la profundidad de la varilla.

2.5 Descargas eléctricas

Una descarga eléctrica llamada también choque eléctrico, es la circulación de corriente eléctrica a través del cuerpo humano. Por tanto, cuando la descarga provoca la muerte de la víctima, se llama electrocución.

Asimismo, la descarga eléctrica ocurre cuando una persona entra en contacto con una Fuente de energía eléctrica; la corriente eléctrica pasa a través de una parte del organism provocando el choque eléctrico.

Existen muchos factores que determinan la gravedad de las lesiones que pueden producirse. Estos factores incluyen el tipo de corriente que interviene, que puede ser corriente alterna (AC) o corriente continua (DC). La cantidad de corriente viene determinada por el voltaje de la fuente, como así también por la resistencia de los tejidos implicados y el camino que recorre la electricidad a través del cuerpo. (Grupo Navarro, 2020)

A continuación, se describe algunas consideraciones en las descargas eléctricas:

2.5.1 Descargas atmosféricas

La descarga atmosférica, comúnmente conocida como rayo, es la igualación violenta de cargas de un campo eléctrico que se ha creado entre una nube y la tierra o, entre nubes.

En cambio, para (Marroquín, 2005), un rayo es una descarga eléctrica como tal, un arco eléctrico entre dos centros con distinta carga. Esta descarga puede tener lugar entre dos puntos de la misma nube, o entre dos nubes distintas, o bien entre la nube y el suelo. Por tanto, para que se produzca un rayo es necesario que exista un salto de potencial eléctrico entre centros de carga.

Asimismo, los rayos son descargas eléctricas intensas que ocurren en la atmósfera. El fenómeno es una consecuencia de la acumulación de cargas eléctricas opuestas entre las nubes, el suelo o el aire. Cuando la diferencia entre cargas positivas y negativas es lo suficientemente fuerte, la descarga ocurre y la electricidad fluye y se libera, igualando momentáneamente las cargas. Véase la figura 2.9.



Figura 2. 9 Descargas atmosféricas o rayos

Fuente. El autor

Los rayos pueden producir corrientes de pico de 200000 amperes y, dependiendo de la resistencia atmosférica y del suelo, se pueden generar tensiones de 100 millones de voltios o más. Esto puede causar variaciones

graves de tensión, conocidas como picos o transitorios, y dañar líneas de transmisión, cables telefónicos o de datos, así como cualquier equipo eléctrico y electrónico. La corriente eléctrica también puede viajar y dañar componentes estructurales, tuberías o cualquier otro material que pueda conducir la electricidad. (Swiss Re Corporate Solutions. , 2019)

2.5.2 Sistemas de protección contra descargas atmosféricas

Los sistemas de protección contra los rayos son los siguientes:

- Los rayos producen corrientes muy altas, durante un breve intervalo de tiempo, pero suficientes para provocar incendios o destruir microcircuitos incluso a kilómetros de distancia. La idea de las terminales aéreas, o pararrayos como se conoce comúnmente, se remonta a Benjamin Franklin. El propósito es proporcionar un punto conveniente y controlado para que caiga un rayo y luego sea conducido de manera segura a tierra. Para proporcionar la ruta menos resistiva, se debe emplear alambre de cobre de calibre pesado en los conductores de bajada y conductores.
- Conexión a tierra de los sistemas de rayo; los conductores de bajada se conectan directamente al anillo de tierra u otro sistema de electrodos de conexión a tierra, junto con todas las conexiones a tierra del servicio eléctrico y de acero del edificio. Se utiliza conductores de cobre de calibre grueso para minimizar la impedancia. (Copper Development Association Inc., 2019)
- Un sistema de protección contra caídas de rayos tiene como objetivo blindar una estructura, sus ocupantes y sus bienes de los efectos térmicos, mecánicos y eléctricos asociados con las descargas eléctricas.
- Los principales componentes de un sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas son los terminales aéreos (para-rayos Franklin, Jaula de Faraday, etc.), conductores de descenso, terminales de puesta a tierra y conductores de conexión equipotencial al suelo.
- Un sistema de protección contra caídas de rayos incluye también componentes para prevenir daños causados por efectos indirectos de los rayos, tales como los supresores de picos de corriente, que se pueden agregar a un sistema de protección para proteger los equipos electrónicos contra sobretensiones. Hay varios tipos de supresores, siendo que, en

varias aplicaciones es necesario el uso combinado de más de un tipo de supresor, formando un circuito de protección. La puesta a tierra de los principales equipos eléctricos y electrónicos también es fundamental.

- El sistema de protección contra descargas atmosféricas no impide que el rayo alcance la edificación, ni asegura la protección absoluta de estructuras, de personas y bienes. Desde que es dimensionado, con las debidas inspecciones y mantenimientos preventivos y predictivos, el sistema promueve un medio para minimizar los daños, a través de la creación de un camino de baja resistencia eléctrica que permite a la corriente eléctrica fluir hacia el suelo. (Swiss Re Corporate Solutions. , 2019)

2.5.3 Sistemas de pararrayos

La protección de estructuras es más tolerante que una protección electrónica. Así, un edificio puede tolerar hasta 100.000 V, mientras que los componentes electrónicos a 24 V se dañarán con voltajes sostenidos de 48 volts.

Los rayos ocurren con diferentes intensidades y un sistema que proteja contra su efecto deberá ser diseñado tomando en cuenta los rayos promedio o mayores del área en cuestión. Las descargas no pueden ser detenidas, pero la energía puede ser desviada en una forma controlada. El intentar proteger contra descargas directas puede ser excesivamente caro. (Ruelas, 2018)

Un sistema de protección contra descargas, llamado de pararrayos, debe:

- Capturar el rayo en el punto diseñado para tal propósito llamado terminal aérea.
- Conducir la energía de la descarga a tierra, mediante un sistema de cables conductores que transfiere la energía de la descarga mediante trayectorias de baja impedancia, y;
- Disipar la energía en un sistema de terminales (electrodos) en tierra.

Sin embargo, cuando la energía de un rayo viaja a través de una trayectoria de gran impedancia, el daño causado puede ser grave por el calor y las

fuerzas mecánicas que se crean (National Fire Protection Association (NFPA), 2020)

Como la tierra no tiene una resistividad uniforme en todos los puntos, dentro de un mismo predio puede existir un potencial entre dos placas de metal enterradas. Por eso, en un sistema de electrodos múltiples conectados entre sí, a manera de malla, existe la probabilidad de que exista una diferencia de potencial entre algunos de sus puntos aterrizados.

El problema de diferencia de potenciales entre electrodos se complica aún más cuando una nube cargada pasa por encima de la malla. También, una descarga eléctrica que caiga cerca, causará grandes corrientes en la tierra para restablecer el equilibrio de cargas. Al fluir esta corriente por tierra, causará una diferencia de potencial entre los diferentes electrodos y esta diferencia de potencial, a su vez, causará que fluya corriente por los conductores de la malla.

Se conoce que un campo magnético se crea cada vez que existe un rayo, sin importar si es a tierra o entre nubes. Este campo induce una corriente en cualquier conductor en la vecindad del rayo. Si existen electrodos al final de ese conductor, fluirá por tierra la corriente cerrando el circuito. Por ejemplo, un oleoducto puede transmitir la corriente de una descarga a una gran distancia del punto donde la descarga tuvo lugar.

Los rayos son señales eléctricas de alta frecuencia, gran potencial y alta corriente, por ello son causa de interferencia en sistemas electrónicos. Son de alta frecuencia por la elevada razón de cambio de la señal, de aproximadamente 1us. Por ello, para dirigir a tierra las descargas atmosféricas se utilizan las técnicas para señales en altas frecuencias.

La inductancia de los conductores de cobre usados para tierras es de aproximadamente de 1.64 uH/m. A la frecuencia equivalente de los rayos, la impedancia debida a la inductancia es muchas veces mayor que la impedancia debida a la resistencia del conductor. Por lo que, para los rayos, los conductores más largos de 10 m tienen una impedancia en términos prácticos infinita, lo que impide que conduzcan la corriente. Además, estas

señales de alta frecuencia no seguirán nunca una vuelta muy cerrada del conductor, porque cada doblez incrementa la reactancia inductiva. De ahí, que todos los cables de conexión a tierra de pararrayos deben tener curvas generosas en lugar de esquinas cerradas. Por ello, se recomiendan curvas con radio de unos 20 cm, y conductores múltiples conectados en paralelo a tierra.

Como los rayos se reflejan como cualquier onda de alta frecuencia, es básico que la impedancia a tierra sea baja para la descarga, ya que todas las partes del sistema conectadas a tierra, elevarán y bajarán su potencial con respecto de tierra al tiempo de la descarga. Como ejemplo una malla de 30 x 30 m con 36 cuadrados, de cable de 0.5 cm de diámetro tiene una inductancia de $400 \cdot 10^{-7}$ H, lo que dará una impedancia de 25 ohms bajo una onda triangular con tiempo de pico de 1.2 us.

2.6 Pruebas de tierras de un solo electródo

La resistencia a la tierra puede variar con los cambios de clima y temperatura; estos cambios pueden ser considerables. Un electrodo de tierra que está bien (baja resistencia) cuando se instala puede no permanecer así; para estar seguro, se debe comprobarlo periódicamente. Para los sistemas específicos las ubicaciones definidas, a menudo se establecen especificaciones. Algunos piden 5Ω como máximo; otros no aceptan más de 3Ω . En algunos casos, se requieren resistencias tan bajas como una pequeña fracción de un ohmio.

La resistencia a la corriente a través de un electrodo de tierra, tiene tres componentes: (Véase la figura 2.10)

1. Resistencia del propio electrodo y conexiones del mismo.
2. Resistencia de contacto entre el electrodo y el suelo adyacente a él.
3. Resistencia de la tierra circundante.

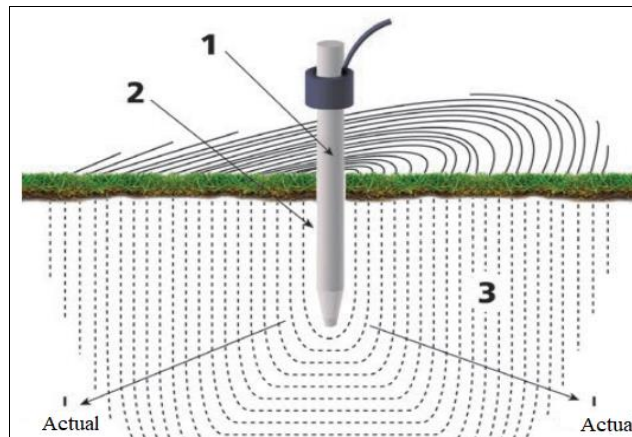


Figura 2. 10 Componentes de las resistencias de tierra en un electrodo de tierra

Fuente. (Test Equipment Depot, 2018)

Resistencia de electrodos: Incluyen las varillas, tuberías, masas de metal, estructuras y otros. Los dispositivos se utilizan comúnmente para conexiones a tierra. Estos suelen ser de suficiente tamaño o sección transversal que su resistencia es una parte insignificante de la resistencia total.

Resistencia de contacto electrodo-tierra: Esto es mucho menor de lo que se cree. Si el electrodo está libre de pintura o grasa, y la tierra está empaquetada firmemente, la resistencia de contacto es insignificante. El óxido en un electrodo de hierro tiene poca o sin efecto; el óxido de hierro se empapa fácilmente con agua y tiene menos resistencia que la mayoría de los suelos. Pero si una tubería de hierro se oxida, la pieza debajo de la rotura no será efectivo como parte del electrodo de tierra.

Resistencia de la tierra circundante: Un electrodo introducido en la tierra de resistividad uniforme irradia corriente en todas las direcciones. Piense en el electrodo como si estuviera rodeado de capas de tierra, todas de igual espesor. (véase la fig. 2.10). La capa de tierra más cercana al electrodo tiene, naturalmente, el área de superficie más pequeña y, por lo tanto, ofrece la mayor resistencia. La siguiente capa de tierra es algo más grande en área y ofrece menos resistencia. Finalmente, se alcanzará una distancia del electrodo donde la inclusión de capas de tierra adicionales no aumenta significativamente la resistencia de la tierra que rodea el electrodo. Es este volumen crítico de suelo el que determina la efectividad del electrodo de tierra y que, por lo tanto, debe ser medido con el fin de hacer esta determinación. Las pruebas en tierra son distintas en comparación con las formas más

familiares de medición eléctrica, ya que es una medición volumétrica y no puede tratarse como una propiedad de "punto".

Generalmente, la resistencia de la tierra circundante será la mayor de los tres componentes que componen la resistencia de una conexión a tierra.

2.7 Sistema de puesta a tierra de un sitio de comunicaciones

El sistema presenta una trayectoria directa de baja impedancia entre la tierra y todos los equipos de alimentación y comunicaciones, se compone de cuatro subsistemas básicos: sistema de electrodo de tierra, sistema de protección contra fallas, sistema de protección contra descargas atmosféricas y, sistema de señal de referencia.

El sistema de electrodos se instala con el fin de proporcionar una trayectoria de baja resistencia para conducir la energía de rayos y evita que ocurran diferencias peligrosas de voltajes. El sistema de electrodo de tierra en un sitio de comunicaciones deberá unirse:

- En un punto único tal como lo exige la sección del NEC 250-32.
- A todos los subsistemas de tierra, los cuales incluyen el sistema de protección contra descargas atmosféricas, la referencia de señal y los sistemas de protección contra fallas.
- A la tubería metálica bajo tierra, a los tanques u otras masas u objetos metálicos enterrados.

Para el anillo externo de tierra, el sistema está compuesto de un conductor externo que rodea el perímetro de la caseta y torre y de electrodos o barras de cobre. Las puntas de los conductores se unen para formar un anillo. A este conductor se soldan exotéricamente las barras de cobre, asegurando el contacto permanente con la textura del terreno. Además, se deben utilizar barras de cobre, porque su corrosión es más lenta que en otro metal económicamente aceptable. Está prohibido el uso de conductores de aluminio. Por tanto, las varillas de tierra deben cumplir lo siguiente:

- Acero recubierto con cobre y tener una longitud mínima de 2.40 m y un diámetro de 16 mm. El revestimiento de cobre no debe ser menor de 0.31 m.

- El espacio mínimo aceptable entre varillas es de 1.80 m, pero se recomienda un espacio de dos veces la longitud de la varilla.
- El espacio mínimo entre las varillas y el edificio es de 60 cm.
- Debe enterrarse a una profundidad de 75 cm.

No obstante, las características del conductor del anillo exterior de tierra son:

- Sólido de cobre (BTC) y su calibre mínimo es a AWG, número 2.
- Se entierra a 75 cm por debajo de la superficie del terreno.
- Se conecte a la barra principal de la tierra. (Huete, 2008)

2.7.1 Radiales

La interconexión de varillas de tierra es la medida correcta en donde es posible enterrarlas. Los radiales, o cables extendidos horizontalmente son buenísimos, no sólo para un buen sistema de baja frecuencia, sino también para un sistema a tierra contra radiofrecuencias, ver figura 2.11.

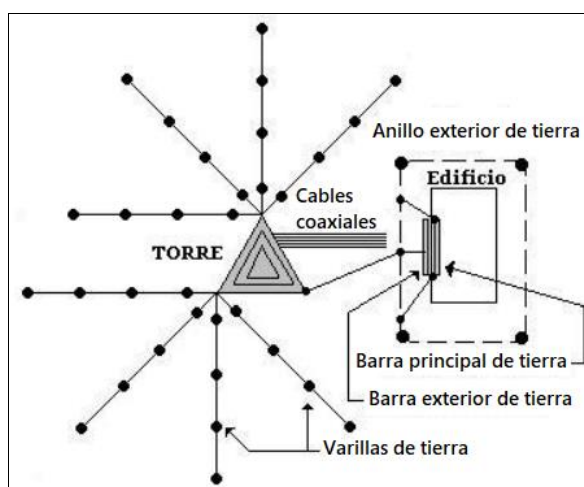


Figura 2. 11 Radiales

Fuente. El autor

En teoría cuatro radiales enterrados, cada uno de 20 m de longitud, y de alambre AWG calibre 10, tendrán una resistencia de 30Ω en un suelo de $1000 \Omega/m$. Por tanto, ocho radiales proporcionarían una resistencia de 25Ω y como así también ocho radiales separados uno de otros 50 m colocados sobre la superficie o enterrados en forma superficial tendrán una resistencia aproximada de 13Ω en un suelo de $1000 \Omega/m$. Para los casos prácticos se recomienda que los radiales se extiendan en secciones de 22 m, jamás

menores de 15 m, y que se utilicen radiales adicionales desde la torre para reducir aún más la resistencia de tierra (Copper Development Association Inc., 2019).

De esta forma, la mayor cantidad de energía se aleja de la torre y la caseta del equipo. Los tendidos de radiales deben estar orientados de tal forma que se alejen lo más posible de la caseta.

2.7.2 Anillo interior de tierra o halo

Las instalaciones celulares, que son redes de alta frecuencia, necesitan un plano de tierra equipotencial que entre más extenso sea minimizará con mayor efectividad las diferencias de potencial entre los equipos que están interconectados de potencial entre los equipos que están a alta frecuencia. En una instalación típica, el anillo interior de tierra proporciona este plano equipotencial (Alvarado Freddy, 2019).

El sistema de anillo interior consiste de un cable AWG calibre #2, con aislante color verde, puesto alrededor de perímetro del área a cubrir. No obstante, la forma correcta de utilizar el halo en una instalación de comunicaciones es como un blindaje de Faraday, como se puede ver en la figura 2.12. Si se conecta en los cuatro rincones de la estructura, el anillo exterior de tierra funcionará como un plano de tierra invertido para bloquear la radiofrecuencia y los campos inducidos a los circuitos por las descargas atmosféricas.

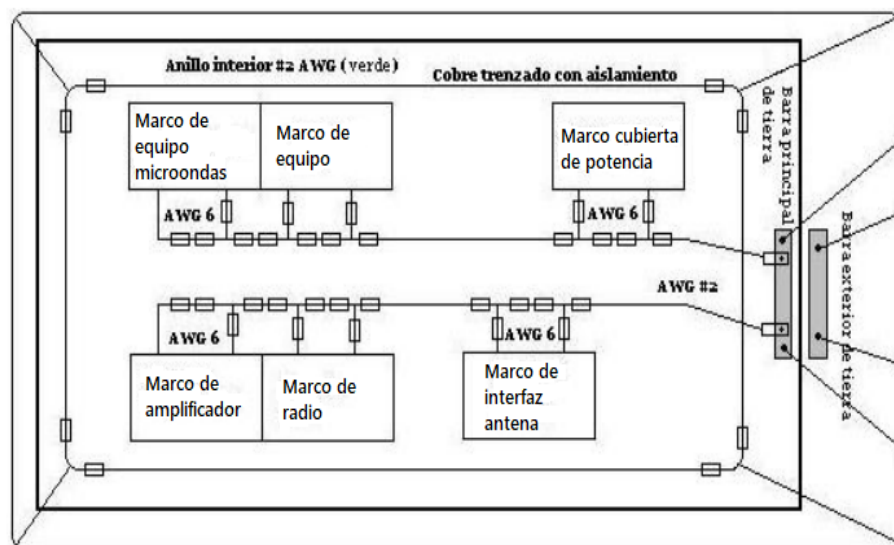


Figura 2. 12 Anillo interior de tierra o halo

Fuente. El autor

Únicamente un metal inactivo debe conectarse al halo, tales como: conductores del aire acondicionado y calefacción, marcos metálicos de puertas, entre otros. Se utiliza siempre un punto único de conexión a tierra y el halo debe ser parte de este sistema. Por lo tanto, el halo debe cubrir los siguientes requisitos:

- Instalarse aproximadamente 15 cm por debajo del techo interior de la caseta o estructura.
- Cuando se conecte el anillo exterior de tierra en las cuatro esquinas de la estructura, no debe conectarse a la barra principal de tierra.
- La barra principal de tierra se conecta al anillo exterior de tierra.
- No debe existir conexión entre el halo y la barra principal de tierra.

2.7.3 Medición de la resistencia en instalaciones de telecomunicaciones

En la mayoría de estas instalaciones existe una torre con cada una de sus patas puestas a tierra. Estas tierras son conectadas entre sí con un cable calibre #2 de cobre desnudo. Cerca de la torre se encuentra el edificio de la instalación con todos los equipos de transmisión, entre otros. Además, dentro del edificio hay un anillo de tierra y una barra principal de tierra. El anillo es conectado a la barra principal de tierra. El edificio de la instalación es puesto a tierra a las cuatro esquinas y éstas son interconectadas mediante un cable #2; este anillo externo es también conectado a la barra principal. Asimismo, se realiza una conexión entre el anillo externo de tierra del edificio y el anillo de tierra de la torre.

En la instalación celular de la figura 2.13 muestra lo siguiente: la barra principal de tierra; anillo de tierra de la central; tubería de agua; estructura metálica del edificio y neutros puestos a tierra.

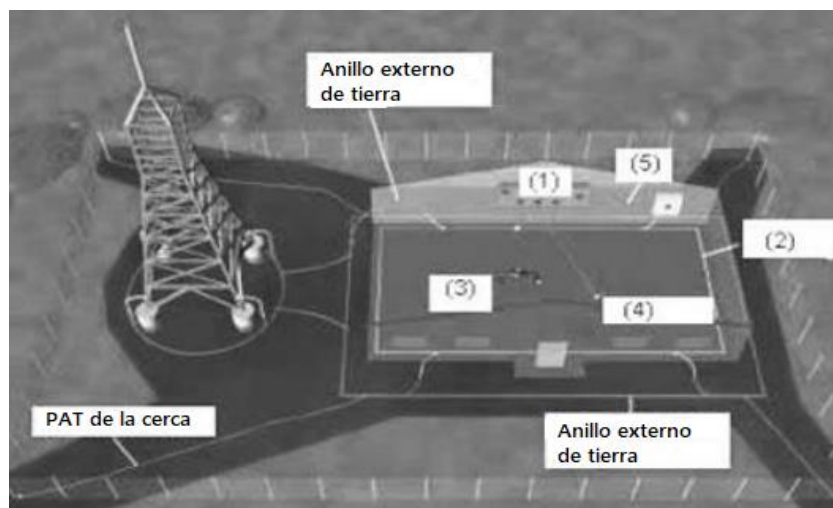


Figura 2. 13 Instalación celular

Fuente. El autor

Sin embargo, la primera medición para realizar es sin electrodos para cada una de las patas de la torre y las cuatro esquinas del edificio. Esta no es una medición real de resistencia de puesta a tierra, debido a la conexión de la red. Es una prueba de continuidad para verificar que existe la puesta a tierra, se tiene una conexión eléctrica y puede pasar corriente. En la figura 2.14 se puede ver un esquema para la realización de esta medición. La figura 2.14 A muestra la medición en la torre de transmisión, mientras que la figura 2.14 B, muestra la medición dentro de las instalaciones.

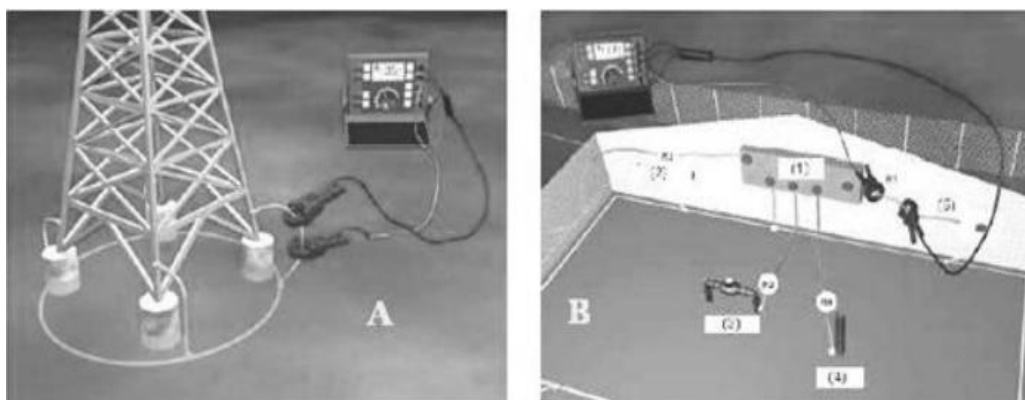


Figura 2. 14 Medición en instalación celular con el uso de pinzas

Fuente. El autor

Una vez finalizada la prueba, se mide la resistencia del sistema completo por el método de caída de potencial. Posteriormente, se mide los diferentes caminos a tierra mediante el método selectivo con la pinza. Con el fin de obtener una primera aproximación de la resistencia de tierra, los cálculos pueden efectuarse utilizando los valores medios de la tabla 2.1.

Tabla 2. 1 Valores típicos de la resistividad de diferentes suelos

Naturaleza del terreno	Resistividad ($\Omega \cdot m$)
Terrenos pantanosos	De algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humos	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactas	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silícea	200 a 3000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3000
Caliza blandas	100 a 300
Caliza compactas	1000 a 5000
Caliza agrietadas	500 a 1000
Pizarras	50 a 300
Rocas de mica y cuarzo	800
Granitos y gres procedente de alteración	1500 a 10000
Granitos y gres muy alterados	100 a 600

Fuente. El autor

De esa manera, se puede medir la resistencia de cada pata de la torre y las puestas a tierra de las cuatro esquinas del edificio.

2.7.4 Funciones y diseño de una malla de puesta a tierra

Las funciones de una malla de puesta a tierra están:

- ✓ Facilitar seguridad al personal de la subestación.
- ✓ Facilitar un camino rápido de descarga de baja impedancia, con el objeto de mejorar y asegurar el funcionamiento de las protecciones.
- ✓ Permitir la conducción a tierra de cargas estáticas y/o descargas atmosféricas.
- ✓ Garantizar a niveles seguros los valores de la tensión a tierra de equipos o estructuras accidentalmente energizados y mantener en valores determinados la tensión fase-tierra de sistemas eléctricos, fijando los niveles de aislamiento.

No obstante, el procedimiento general debe incluir los siguientes pasos:

- ✓ Cálculo del área del terreno, donde se va a instalar la malla.
- ✓ Cálculo del radio equivalente de esta área.
- ✓ Dibujar un rectángulo sobre esta área.
- ✓ Insertar una malla dentro de este rectángulo.
- ✓ Calcular la longitud del conductor requerido que se propone.

- ✓ Medir la longitud real del conductor resultante.
- ✓ Medir la resistividad del terreno.
- ✓ Cálculo de corrientes de cortocircuito.
- ✓ Cálculo de la corriente máxima de la malla.
- ✓ Análisis de las tensiones de paso y contacto.
- ✓ Medición de la resistencia de malla de puesta a tierra.

Las fórmulas para el diseño de la malla de puesta a tierra las establece el IEEE, pues, las prácticas avaladas por el mismo establecen ciertos parámetros, cuales son:

- ✓ Valor máximo de la resistencia de puesta a tierra.
- ✓ Corriente de falla.
- ✓ Tiempo máximo de duración de la malla en segundos.
- ✓ Resistividad del terreno.

El área (A) que ocupa la malla después de su configuración y el radio (r) de área circular equivalente a A de ésta se calcula con:

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

La corriente de corto circuito (I_{cc}) se puede calcular aplicando la siguiente ecuación:

$$I_{cc} = \frac{MVA}{\sqrt{3} \times KV} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

- ✓ MVA potencia de corto circuito trifásica en MVA.
- ✓ KV tensión de suministro en KV.

El calibre del conductor depende del valor de la corriente de falla, el tiempo de duración de la misma y el material del que esté hecho el conductor. El cálculo del conductor de puesta a tierra se puede realizar de la siguiente manera:

$$A = I \cdot \sqrt{\log\left(\frac{33 \cdot s}{234 + T_a} + 1\right)} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

- ✓ A es el área en cmils.
- ✓ I es la corriente máxima de falla a tierra en A.

- ✓ t es el tiempo durante el cual fluye la corriente de falla.
- ✓ T_m es la temperatura máxima de fusión, en °C.
- ✓ T_a es la temperatura ambiente.

El factor T_m , que es temperatura máxima de fusión, se muestra en la tabla 2.2.

Tabla 2. 2 Temperatura máxima de fusión

Descripción	Temperatura de fusión °C
Alambre de cobre recocido	1083
Alambre de cobre duro	1084
Núcleo de acero con revestimiento de cobre	1084/1300
Alambre de aluminio	657
Aleación de aluminio	660
Alma de acero con recubrimiento de aluminio	660/1300
Alma de acero con cubierta de zinc	419/1300
Acero inoxidable	1400

Fuente. El autor

Para el cálculo de la longitud, al cual se debe enterrar el conductor, se requieren los siguientes factores, K_m y K_i :

$$K_m = \frac{1}{2\pi} 1n \left(\frac{D^2}{16h \cdot d} \right) + \frac{1}{\pi 1} 1n \left[\frac{3}{4} x \frac{5}{6} x \frac{7}{8} \dots \frac{2n-3}{2(n-1)} \right] \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

- ✓ D es la separación entre conductores de la malla en m .
- ✓ d es el diámetro del conductor en m .
- ✓ h es la profundidad de la zanja, donde se entierra la malla en m .
- ✓ n es el número de conductores.

$$K_i = 0.656 + 0.172 \cdot n \quad (\text{Ecuación 5})$$

Entonces, la longitud (L) para los conductores de la malla para mantener el potencial entre los límites de seguridad se realiza con:

$$L = \frac{K_m \times K_i \times \rho \times I \times \sqrt{t}}{116 + 0.17 \cdot \rho_s} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

- ✓ I es la corriente de falla en A.
- ✓ t el tiempo de duración de la corriente de falla en seg.
- ✓ ρ la resistividad del terreno en $\Omega - m$.
- ✓ ρ_s la resistividad superficial del terreno en $\Omega - m$.

Los potenciales tolerables por el cuerpo humano para los voltajes de paso y de contacto son:

$$V_{paso} = \frac{116 + 0.7 \cdot P_s}{\sqrt{t}} \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$V_{contacto} = \frac{116 + 0.17 \cdot P_s}{\sqrt{t}} \quad (\text{Ecuación 8})$$

La resistencia total del sistema es la suma de la resistencia de los componentes del sistema de electrodos de tierra, el cual puede estar formado de electrodos, varillas, placar y la estructura metálica del edificio, así como la resistencia de la malla.

Cuando existen diferentes sistemas de electrodos de tierra, como tubería de agua, varilla y acero de refuerzo, se determina como un sistema de resistencia en paralelo.

Para la resistencia de una malla de tierra (R_m) con varillas, es recomendable la fórmula de *Swcharz*:

$$R_m = \frac{R_1 R_2 - R_{12}^2}{R_1 + R_2 - R_{12}} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde:

- ✓ R_1 es la resistencia del conductor.
- ✓ R_2 es la resistencia de todas las varillas.
- ✓ R_{12} es la resistencia mútua entre R_1 y R_2 .

$$R_1 = \left(\frac{P_1}{\pi \cdot l_1} \right) \cdot \left[\ln \left(\frac{2 \cdot l_1}{h'} \right) + K_1 \left(\frac{l_1}{\sqrt{A}} \right) - K_2 \right] \quad (\text{Ecuación 10})$$

$$R_2 = \left(\frac{P_a}{2 \cdot n \cdot \pi \cdot l_2} \right) \cdot \left[\ln \left(\frac{8 \cdot l_2}{d_2} \right) - 1 + 2 \cdot K_1 \left(\frac{l_2}{\sqrt{A}} \right) (\sqrt{n} - 1)^2 \right] \quad (\text{Ecuación 11})$$

$$R_{12} = \left(\frac{P_a}{\pi \cdot l_1} \right) \cdot \left[\ln \left(\frac{2 \cdot l_1}{l_2} \right) + K_1 \left(\frac{l_1}{\sqrt{A}} \right) - K_2 + 1 \right] \quad (\text{Ecuación 12})$$

$$P_a = \frac{l_2 (P_1 \cdot P_2)}{P_2 (H - h)} + P_1 (I_2 + h - H) \quad (\text{Ecuación 13})$$

Donde:

- ✓ ρ_1 la resistividad de los conductores de la malla a una profundidad h .
- ✓ ρ_a la resistividad aparente vista por las varillas.
- ✓ H es la profundidad de la capa superior.
- ✓ ρ_2 la resistividad desde H hacia la profundidad.
- ✓ l_1 es la longitud total de la malla.
- ✓ l_2 es el promedio de la longitud de las varillas.

- ✓ h es la profundidad de enterramiento de la malla.
- ✓ $h' = \sqrt{dx} \sqrt{h}$, para conductores enterrados a una profundidad h ; $0.5 d_1$, para $h = 0$.
- ✓ A es el área cubierta por la malla de dimensiones $a \times b$ en m^2 .
- ✓ n es el número de varillas ubicadas en el área A .
- ✓ K_1, K_2 son las constantes que dependen de la geometría del terreno.
- ✓ d_1 es el diámetro del conductor de la malla en m .
- ✓ d_2 es el diámetro de las varillas en m .
- ✓ a es la longitud de lado largo de la malla.

También para el cálculo de la resistencia del sistema de tierras, se puede utilizar la siguiente fórmula de *Laurent*:

$$\boxed{R = \frac{\rho}{4R} + \frac{\rho}{L}} \quad (\text{Ecuación 14})$$

Donde:

- ✓ R es el radio equivalente del sistema.
- ✓ L es la longitud total del conductor de la malla en m .
- ✓ ρ es la resistividad de terreno en $\Omega - m$.

2.8 Medición de la resistencia del terreno

Para medir la resistividad del terreno, conecte el comprobador de resistencia de tierra en el terreno; son cuatro picas (electrodos) en línea recta equidistantes entre sí. La distancia entre las picas debe ser al menos el triple que el valor de profundidad de la pica. Por lo tanto, si la profundidad de cada pica es de 30 cm, asegurarse de que la distancia entre las picas sea como mínimo de 91 cm. El *Fluke 1625* genera una corriente conocida a través de las dos picas exteriores y se mide la caída de tensión entre las dos picas interiores. Mediante la *Ley de Ohm* ($V = IR$), el comprobador de *Fluke* calcula de forma automática la resistividad del terreno.

Dado que los resultados de las medidas a menudo se ven distorsionados e invalidados por la interferencia de piezas subterráneas de metal, acuíferos subterráneos, entre otros, siempre es recomendable tomar medidas adicionales en las que los ejes de las picas se hayan girado 90 grados. Al

cambiar la profundidad y la distancia varias veces, se produce un perfil que puede determinar un sistema de resistividad del terreno adecuado.

Las medidas de resistividad del terreno normalmente se ven distorsionadas por la existencia de corrientes de tierra y sus armónicos. Para impedir que esto ocurra, el *Fluke 1625* emplea el sistema AFC (*Automatic Frequency Control*). Este sistema selecciona automáticamente la frecuencia de medida con la mínima cantidad de ruido que le permita obtener una lectura clara (Fluke, 2017).

Véase en la figura 2.15 la técnica de medición con 4 electrodos.

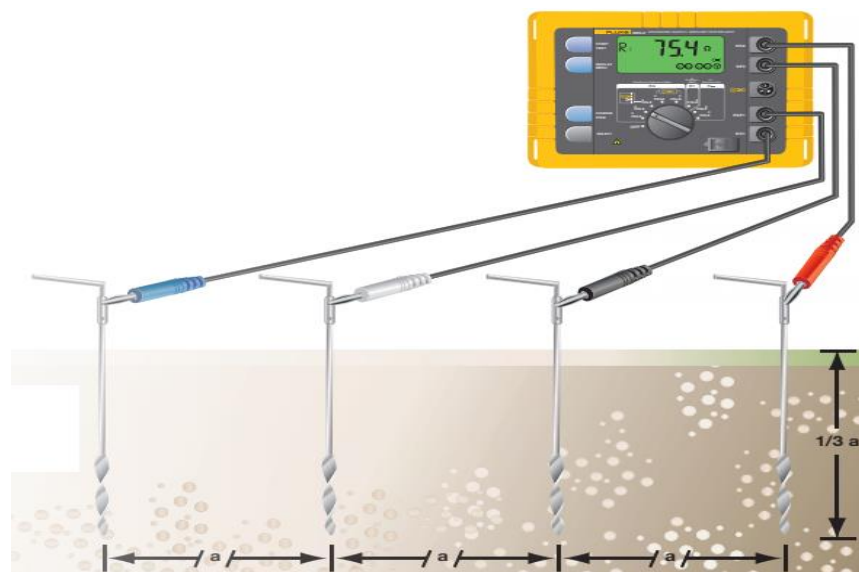


Figura 2. 15 Configuración de resistividad del terreno, con *Fluke 1623-2*.

Fuente. (Fluke, 2017)

2.8.1 Métodos de comprobación de la conexión a tierra

Conecte el comprobador de resistencia de tierra como se puede apreciar en la figura 2.16. Pulse START y lea el valor de R_E (resistencia). Ése es el valor real del electrodo de conexión a tierra que se está comprobando. Si este electrodo de conexión a tierra está conectado en paralelo o en serie con otras varillas de toma de tierra, el valor de R_E es el valor total de todas las resistencias.

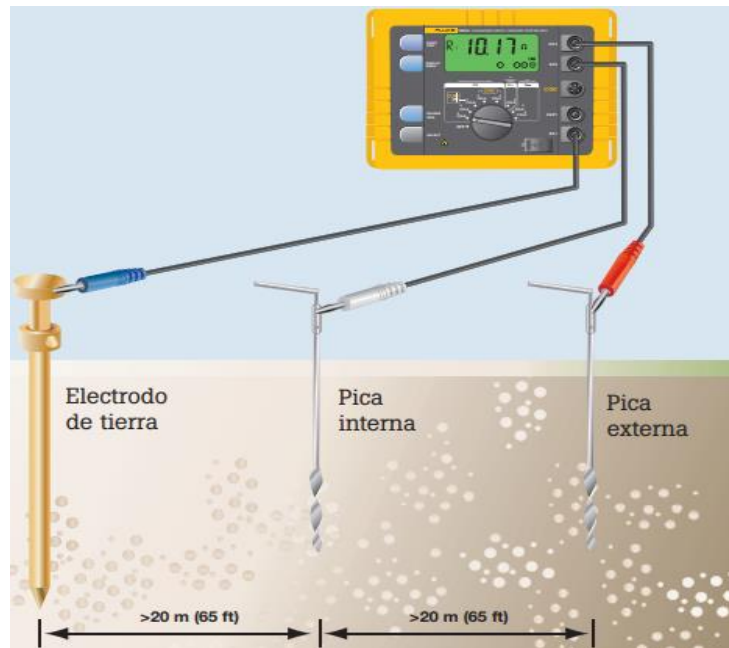


Figura 2. 16 Comprobador de resistencia de tierra

Fuente. (Fluke, 2017)

Medida de la caída de potencial

El método de la caída de potencial se utiliza para medir la capacidad que tiene un sistema de conexión a tierra o un electrodo individual de disipar energía de una instalación.

2.8.2 Función del método de caída de potencial

En primer lugar, se debe desconectar el electrodo de tierra en cuestión, de su conexión a la instalación. En segundo lugar, se conecta el comprobador al electrodo de tierra. A continuación, para realizar la comprobación por el método de caída de potencial de 3 hilos, se colocan dos picas en el terreno en línea recta alejadas del electrodo de tierra. Generalmente basta con 20 metros de separación. Para obtener más información sobre cómo colocar las picas, consulte la siguiente sección. El *Fluke 1625* genera una corriente conocida entre la pica exterior (pica auxiliar) y el electrodo de tierra y, mide, de forma simultánea, la caída de potencial entre la pica interior y el electrodo de tierra. Mediante la Ley de Ohm ($V = IR$), el medidor calcula de forma automática la resistencia del electrodo de tierra.

2.8.3 Colocación de las estacas

Para conseguir el máximo nivel de precisión al realizar la comprobación de resistencia con el método de caída de potencial de 3 hilos, es fundamental que la sonda se coloque fuera del área de influencia del electrodo de conexión a tierra que se está comprobando y la toma de tierra auxiliar. Si no se coloca fuera del área de influencia, las zonas eficaces de resistencia se superponen e invalidan cualquier medida que esté realizando. La tabla 2.3 es una guía para conocer la configuración apropiada de la sonda (pica interna) y la toma de tierra auxiliar (pica exterior). También, es una guía para configurar apropiadamente la sonda (pica interna) y la conexión auxiliar a tierra (pica externa).

Para comprobar la precisión de los resultados y garantizar que las picas están situadas fuera del área de influencia, vuelva a colocar la pica interna (sonda) moviéndola 1 metro en cada dirección y vuelva a realizar la medida. Si se produce un cambio importante en la lectura (30%), debe aumentar la distancia entre la varilla de toma de tierra que se está midiendo, la pica interior (sonda) y la pica exterior (toma de tierra auxiliar) hasta que los valores medidos sean lo suficientemente constantes al volver a colocar la pica interior (sonda). (Fluke, 2017)

Tabla 2. 3 Guía para configurar apropiadamente la pica interna y la pica exterior.

Profundidad del electrodo de tierra	Distancia a la pica interna	Distancia a la pica externa
2 m	15 m	25 m
3 m	20 m	30 m
6 m	25 m	40 m
10 m	30 m	50 m

Fuente. El autor

2.8.4 Medida selectiva

La medida selectiva es similar a la comprobación de caída de potencial y facilita las medidas, pero es mucho más fácil y segura. Esto se debe a que con el método de medida selectiva no es necesario desconectar el electrodo de tierra en cuestión. Tampoco es necesario que el técnico se ponga en peligro a sí mismo al desconectar la conexión a tierra, ni que ponga en peligro

a otras personas o equipos eléctricos en una instalación sin toma de tierra (Cárdenas, 2015).

Al igual que con el método de caída de potencial, se colocan dos picas en el terreno, en línea recta y alejadas del electrodo de tierra. En general una separación de 20 metros (65 pies) es suficiente. A continuación, se conecta el comprobador al electrodo de tierra bajo prueba, con la ventaja de que no hay que efectuar la desconexión con la instalación. En lugar de ello, se coloca una pinza especial alrededor del electrodo de tierra, el cual elimina los efectos de las resistencias paralelas en un sistema de conexión a tierra; por tanto, se efectúa la medición en el electrodo de tierra en cuestión.

Como se había mencionado antes, el Fluke 1625-2 genera una corriente conocida entre la pica exterior (pica auxiliar) y el electrodo de tierra y mide de forma simultánea la caída de potencial entre la pica interior y el electrodo de tierra. Con la pinza solo se mide la corriente que fluye a través del electrodo de tierra en cuestión.

La corriente generada también fluye a través de otras resistencias paralelas, pero únicamente la corriente que pasa a través de la pinza (por ejemplo, la corriente que atraviesa el electrodo de tierra en cuestión), se emplea para calcular la resistencia ($V=IR$).

Sin embargo, si hay que medir la resistencia total del sistema de conexión a tierra, entonces hay que medir cada resistencia de electrodo de tierra, para ello es necesario colocar la pinza alrededor de cada electrodo individual. De esta manera se puede determinar la resistencia total del sistema de conexión a tierra mediante cálculos. (Fluke, 2017)

La comprobación de la resistencia de cada electrodo de conexión a tierra, en torres de transmisión de alta tensión con cables estáticos o de conducción de tierra elevados requiere la desconexión de estos cables. Si una torre tiene más de una conexión a tierra en su base, se deberán desconectar y comprobar una por una. No obstante, el Fluke 1625-2 cuenta con un accesorio opcional: un transformador de corriente tipo pinza de 320 mm (12,7 pulgadas) de diámetro que puede comprobar las resistencias individuales de cada pilar sin desconectar ningún cable de conexión a tierra ni cables estáticos o de conducción de tierra elevados. Véase la figura 2.17.

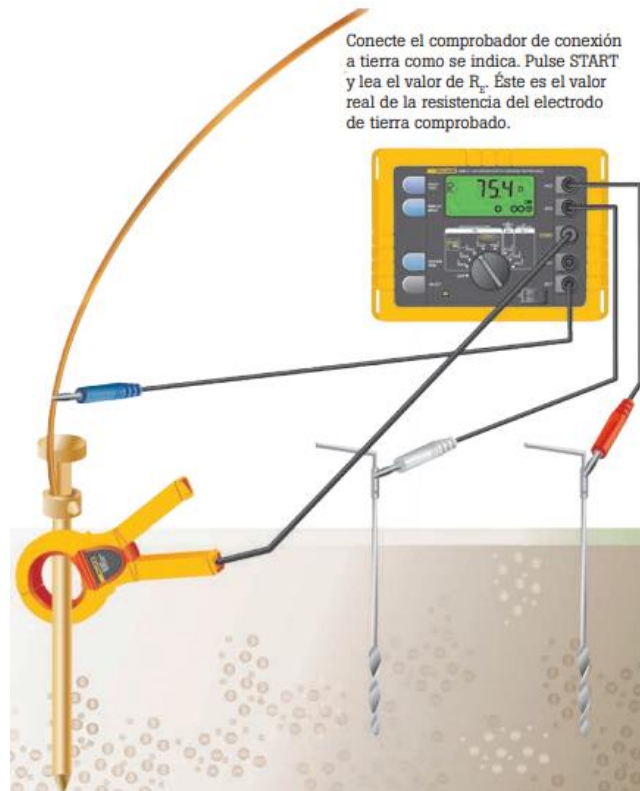


Figura 2. 17 Valor real de la resistencia del electrodo de tierra comprobado

Fuente. (Fluke, 2017)

2.8.5 Medida sin picas

El comprobador de resistencia de tierra Fluke 1630-2 FC también puede comprobar las resistencias de bucles de tierra en sistemas con varias conexiones a tierra, simplemente mediante pinzas amperimétricas. Esta técnica de medida elimina la peligrosa y larga tarea de desconectar las conexiones a tierra en paralelo, así como el proceso de encontrar los lugares adecuados de las picas auxiliares. Puede efectuar comprobaciones de conexiones a tierra en lugares que no hubiera considerado con anterioridad: dentro de edificios, en torres de alta tensión o en cualquier lugar donde no haya acceso al terreno. La figura 2.18 muestra la comprobación de rutas de corriente en el método sin picas con la pinza de medida de resistencia de tierra 1630-2 FC.

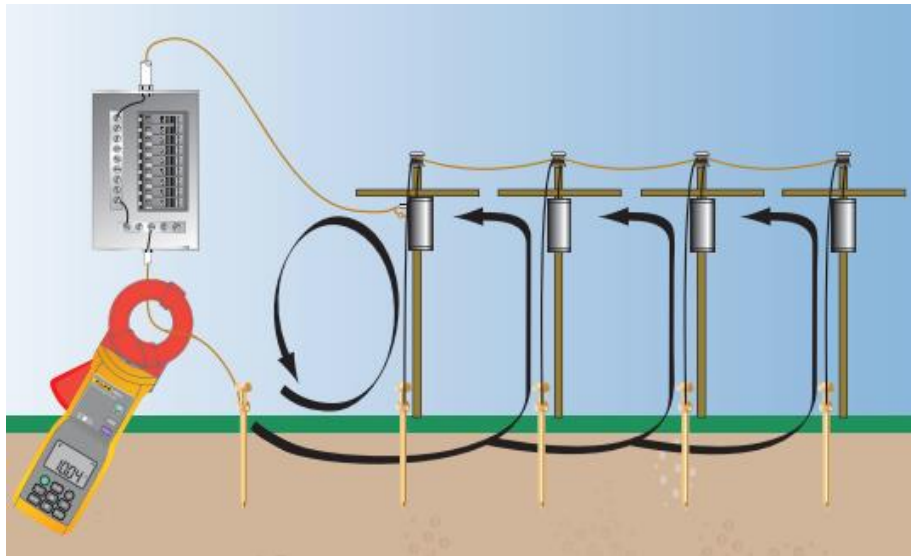


Figura 2. 18 Comprobación de rutas de corriente en el método sin picas con la pinza de medida de resistencia de tierra.

Fuente. (Fluke, 2017)

En este método de medida se colocan dos pinzas alrededor de la varilla de la conexión a tierra o del cable de conexión. No se utilizan picas de tierra. Uno de los lados de la mordaza de la pinza induce una tensión conocida y el otro lado de la mordaza mide la corriente. La pinza determina automáticamente la resistencia del bucle de tierra en esta varilla de tierra. Esta técnica resulta básicamente útil para sistemas con múltiples conexiones a tierra, habituales en instalaciones comerciales o industriales. Si solo hay una ruta a tierra, como ocurre en muchas instalaciones domésticas, el método sin picas no proporcionará un valor aceptable y deberá utilizarse el método de prueba por caída de potencial.

Sin embargo, el funcionamiento del *Fluke 1630-2 FC* se basa en el principio de que en sistemas de varias conexiones a tierra/en paralelo, la resistencia de la red de todas las rutas a tierra será extremadamente baja en comparación con cualquier ruta individual (la que se está comprobando). Por tanto, el valor de resistencia de red de todas las resistencias conectadas a la ruta de retorno en paralelo es cero en la práctica. Las medidas sin picas solo comprueban las resistencias de cada varilla de tierra conectada en paralelo a los sistemas de conexión a tierra. Si el sistema de conexión a tierra no está en paralelo a la tierra, entonces tendrá un circuito abierto o estará midiendo una resistencia de bucle de tierra. Véase la figura 2.19.



Figura 2. 19 Configuración para método sin picas utilizando el 1630-2 FC.

Fuente. (Fluke, 2017)

2.8.6 Medidas de impedancia de tierra

Al calcular posibles corrientes de cortocircuito en centrales eléctricas y otras situaciones de alta tensión/corriente, es importante establecer la compleja impedancia de conexión a tierra, ya que la impedancia está formada por elementos inductivos y capacitivos. Dado que se conoce la inductividad y la resistividad en la mayoría de los casos, la impedancia real puede determinarse aplicando cálculos complejos.

Dado que la impedancia depende de la frecuencia, el Fluke 1625-2 utiliza una señal de 55 Hz para que este cálculo se acerque lo máximo posible a la frecuencia de funcionamiento de tensión. Esto asegura que la medida se acerque al valor de la frecuencia real de funcionamiento. Mediante esta función del Fluke 1625-2 es posible realizar una medida directa y precisa de la impedancia de conexión a tierra.

Los técnicos se interesan en dos cosas puntuales: la resistencia de conexión a tierra en caso del impacto de un rayo y la impedancia de todo el sistema, si se produce un cortocircuito en un punto determinado de la línea.

En este caso un cortocircuito significa que un hilo activo se suelta y toca la retícula metálica de una torre. (Díaz, 2019)

2.8.6.1 Resistencia de tierra de dos polos

En situaciones en las cuales la colocación de las picas de conexión a tierra no es posible ni práctica, los comprobadores *Fluke* 1623-2 y 1625-2, le ofrecen la capacidad de realizar medidas de resistencia/continuidad de conexión a tierra de dos polos, como muestra en la figura 2.20.



Figura 2. 20 Circuito equivalente para medida de dos puntos.

Fuente. (Fluke, 2017)

Para realizar esta comprobación, el técnico debe tener acceso a una tierra conocida y en buenas condiciones, como una tubería de agua metálica. La tubería de agua debe ser lo suficiente extensa y completamente metálica, sin acoplamientos ni bridas aislantes. A diferencia de muchos comprobadores, los *Fluke* 1623-2 y 1625-2 realizan la comprobación con una corriente relativamente alta (corriente de cortocircuito > 250 mA), asegurando que los resultados estén estables.

2.9 Medida de la resistencia de tierra

En oficinas centrales

Al llevar a cabo un análisis de conexión a tierra en una oficina central, es imprescindible realizar tres medidas diferentes. Pues, antes de medir, hay que

localizar la barra principal de tierra en la oficina central para determinar el tipo de sistema de conexión a tierra del que se trata. Como se muestra en la figura 2.21, la barra principal de tierra tiene cables de conexión a tierra conectados:

- al neutro con varias conexiones a tierra o la acometida de servicio,
- al terreno,
- a la tubería de agua; y
- al acero estructural o del edificio.

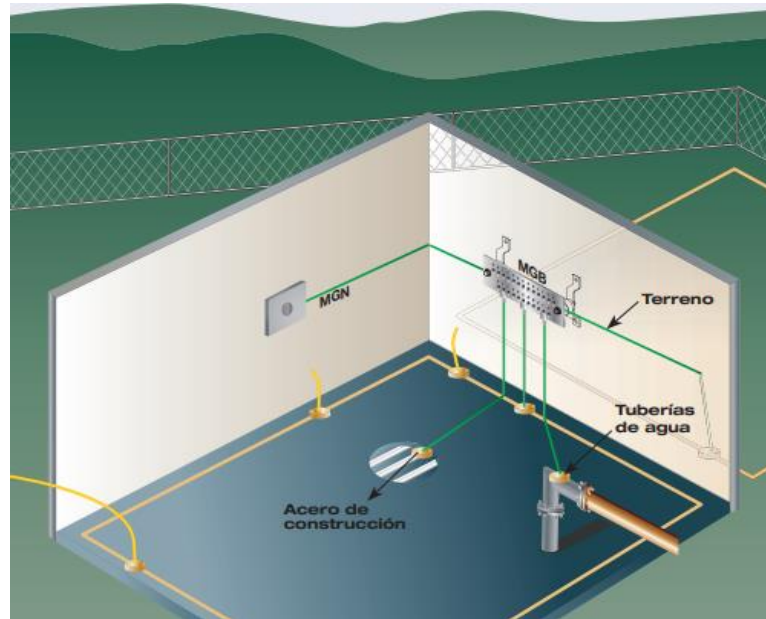


Figura 2. 21 Disposición de una oficina central típica.

Fuente. (Fluke, 2017)

En primer lugar, se realiza la medida sin picas en todas las conexiones a tierra que procedan de la barra principal de tierra. El objetivo es asegurarse de que todas las conexiones a tierra estén conectadas, principalmente la de la red de neutro con varias conexiones a tierra. Además, es importante tener en cuenta que no esté midiendo la resistencia individual, sino la resistencia de bucle del elemento al que haya conectado las pinzas. Como se muestra en la figura 2.22, se conecta el Fluke 1625-2 o 1623-2 y las pinzas inductora y detectora, los cuales se colocan alrededor de cada conexión para medir la resistencia de bucle de la red de neutro con varias conexiones a tierra, el terreno, la tubería de agua y el acero del edificio.



Figura 2. 22 Comprobación sin picas de una oficina central.

Fuente. (Fluke, 2017)

Para realizar esta comprobación, el técnico debe tener acceso a una tierra conocida y en buenas condiciones, como una tubería de agua metálica. La tubería de agua debe ser lo suficiente extensa y completamente metálica, sin acoplamientos ni bridas aislantes. A diferencia de muchos comprobadores, los *Fluke 1623-2* y *1625-2* realizan la comprobación con una corriente relativamente alta (corriente de cortocircuito > 250 mA), asegurando que los resultados estén estables.

En segundo lugar, se realiza la comprobación de caída de potencial de 3 hilos en todo el sistema de conexión a tierra, conectando para ello la barra principal de tierra como muestra la figura 2.23. Pues, para llegar a la tierra remota (o de referencia), muchas empresas de telefonía emplean pares de cables nuevos que se extienden a una longitud de hasta 1,6 km (una milla). Se registra los datos de la medida y se repite esta comprobación al menos una vez al año.



Figura 2. 23 Comprobación de caída de potencial de 3 polos en el sistema a tierra.

Fuente. (Fluke, 2017)

En tercer lugar, se mide las resistencias de cada conexión a tierra mediante el método de medida selectiva del instrumento *Fluke 1625-2* o *1623-2*. Se conecta el instrumento de *Fluke* como muestra la figura 2.24; se mide la resistencia de la red de neutro con varias conexiones a tierra; el valor es la resistencia de ese ramal en concreto de la barra principal de tierra.



Figura 2. 24 Medición de las resistencias individuales del sistema de conexión a tierra.

Fuente. (Fluke, 2017)

A continuación, se realiza medidas en el terreno. Esta lectura representa el valor de resistencia real del terreno de la oficina central. Ahora se va a dar énfasis sobre la tubería de agua y luego se repetirá la medida para conocer la resistencia del acero del edificio. Se puede verificar fácilmente la precisión de estas medidas a través de la Ley de *Ohm*. La resistencia de cada ramal debe

equivaler a la resistencia de todo el sistema en cuestión (se permite un error razonable dado que puede que no se hayan medido todos los elementos de tierra). Estos métodos de medida proporcionan los valores más precisos de una oficina central ya que facilitan las resistencias individuales y su comportamiento real en un sistema de conexión a tierra. Pese a su precisión, las medidas muestran el comportamiento del sistema como red ya que, en el caso en que se produjera un rayo o una corriente de fallo, todo está conectado.

2.9.1 Pruebas en resistencias individuales.

Primeramente, se realiza la comprobación por el método de caída de potencial de 3 hilos en cada ramal que salga de la barra principal de tierra y se registre cada dato de medida. De nuevo se utiliza la *Ley de Ohm*, para comprobar que estas medidas correspondan a la resistencia de todo el sistema. A partir de los cálculos se podrá observar que exista una desviación del 20% al 30% respecto al valor total de referencia de R_E .

Por último, se mide la resistencia de los distintos ramales de la barra principal de tierra, mediante el método selectivo sin picas. Se parece al método sin picas, pero se diferencia en la manera de emplear las dos pinzas por separado. Se coloca la pinza de tensión inducida alrededor del cable que se dirige hacia la barra principal de tierra y, dado que ésta está conectada al suministro eléctrico, el cual se encuentra en paralelo al sistema de tierra, se cumple ese requisito. Se toma la pinza detectora y coloca alrededor del cable de tierra que se dirige hacia el terreno; cuando se mida la resistencia, ésta es el valor de resistencia real del terreno.

Además, el de la ruta paralela de la barra principal de tierra. Y, dado que debe ser de muy pocos *ohmios*, no debe tener efecto real en la lectura medida. Este proceso se puede repetir en el resto de los ramales de la barra de tierra, por ejemplo, las de la tubería de agua y el acero estructural (Cárdenas, 2015).

No obstante, para medir la barra principal de tierra mediante el método selectivo sin picas, se coloca la pinza de tensión inducida alrededor de la línea que se dirige hacia la tubería de agua (la tubería de agua es de cobre y debe tener muy poca resistencia) y la lectura es de resistencia únicamente de la red de neutro con varias puestas a tierra.

2.10 Puesta a tierra por tipo de suelos

A continuación, se detallan la puesta a tierra por tipo de suelos:

❖ Suelo arenoso o pedregoso

En un suelo arenoso o pedregoso, se deben enterrar dos o más varillas de tierra, en un espacio entre varillas no menor de 3 m. Estas varillas encajan verticalmente a una profundidad mínima de 3 m, deben ser de cobre, de acero revestido de cobre, o de acero inoxidable, de 2.4 m de longitud y 5.8 cm de diámetro. Este sistema de electrodo de tierra provee baja resistencia para la protección estructural y del sistema eléctrico. Si al hacer la medición de resistencia de suelo no se obtiene el valor deseado, se deben añadir más varillas hasta que se logre el valor deseado. En suelos de mayor resistencia será necesario utilizar otros esquemas de electrodos de tierra, tales como anillo de tierra, o radiales en caso de suelo rocoso.

❖ Suelo rocoso

En terrenos con alta resistividad, hay dos variantes generales, como: terreno de roca sólida y terreno de roca suelta. En áreas donde la roca se encuentra cerca de la superficie del suelo es necesario excavar y extender conductores en forma de radiales desde el edificio. Estas zanjas no deben ser menores de 3.7 m de longitud y de 30 cm a 60 cm de profundidad. En suelos pedregoso y arenoso esta zanja no debe ser menor de 7.5 m de longitud y 60 cm de profundidad.

Si estos métodos no son prácticos y la roca es la superficie del suelo, se permite extender el cable sobre la roca, pero éste debe unirse a una placa de cobre, de 0.8 mm de espesor mínimo y con un área de superficie de 0.18 m². Los electrodos encajados en concreto sólo deben utilizarse en nuevas construcciones. Este electrodo debe ubicarse cerca de los cimientos del edificio y estar encajado en 50.8 mm de concreto. Además, debe tener las siguientes características:

- Ser de cobre desnudo.
- Tener una longitud mínima de 6.1 m.
- Estar constituido de una o más barras de refuerzo con una longitud mínima de 6.1 m y 12.7 mm de diámetro, unidas conjuntamente por

medio de soldadura o una sobre otra, para formar 20 diámetros uniéndolas con alambre.

CAPÍTULO 3: CÁLCULO PARA PUESTA A TIERRA

3.1 Suelos en Guayaquil

En Guayaquil, predominan más los suelos arcillosos (resistividad de 100 a 1000 Ω -m), como también la existencia de suelos con limo (resistividad de 10 a 100 Ω -m), y arena volcánica (resistividad de 10^5 a 10^9 Ω -m).

A continuación, se puede ver un ejemplo para el primer caso, tomando el valor medio de la resistividad del suelo arcilloso (500 Ω -m), se calcula la resistencia que tiene una varilla en estas condiciones. Una varilla de 2 m de largo y 14 mm de diámetro (0.007 m de radio), tiene una resistencia de:

$$R_{var} = \frac{P}{2\pi \cdot L} \left(\ln \frac{4L}{r} - 1 \right) = 240.37 \cdot \Omega \quad (\text{Ecuación 15})$$

Ahora una varilla no es suficiente para conseguir la resistencia necesaria para la puesta a tierra ($< 25 \Omega$), por lo que se necesitan más, usando un número de 8 varillas, lo usual en un sitio de telecomunicaciones, se tiene:

$$R(\#var) = \frac{R(1 var)}{\# de var} = 30.04 \cdot \Omega \quad (\text{Ecuación 16})$$

Teniendo la longitud promedio de alambre necesario para el anillo de la torre (70 m), con las siguientes características: calibre 1/0, profundidad del conductor 0.7 m, área del conductor 53.24 mm², radio 0.00412 m., se obtiene la resistencia del conductor.

$$R_{cab} = \frac{P}{2\pi \cdot L} \left(\ln \frac{2L}{r} + \ln \frac{L}{P} - 2 \right) = 14.82 \cdot \Omega \quad (\text{Ecuación 17})$$

De esta manera, la resistencia que tiene el sistema de puesta a tierra es:

$$R_T = \frac{R(\# var) \times R_{cab}}{R(\# var) + R_{cab}} = 9.92 \cdot \Omega \quad (\text{Ecuación 18})$$

Cumpliendo con la norma de ($9.92 \Omega < 25 \Omega$), para mayor protección del personal y equipo se recomienda un sistema de puesta a tierra, con resistencia menor a 5 Ω . Pues, se puede tratar el terreno con el objeto de bajar la resistividad de este, por lo menos a 200 Ω -m. Usando los datos anteriores con la nueva resistividad se tiene para la resistencia de un electrodo la siguiente ecuación:

$$R_{var} = \frac{200}{2\pi \times 2} \left(\ln \frac{4 \times 2}{0.007} - 1 \right) = 96.15 \cdot \Omega \quad (\text{Ecuación 19})$$

La interacción de las 8 varillas da como resultado una resistencia de:

$$R(\# \text{ var}) = \frac{96.15}{8} = 12.01 \cdot \Omega \quad (\text{Ecuación 20})$$

La resistencia del conductor da como resultado:

$$R_{cab} = \frac{200}{2\pi \times 70} \left(\ln \frac{2 \times 70}{0.00412} + \ln \frac{70}{0.7} - 2 \right) = 5.93 \cdot \Omega \quad (\text{Ecuación 21})$$

La resistencia total de la puesta a tierra es:

$$R_T = \frac{12.01 \times 5.93}{12.01 + 5.93} = 3.97 \cdot \Omega \quad (\text{Ecuación 22})$$

Como se puede apreciar, la resistencia disminuye al tratar el terreno

A continuación, en las figuras 3.1 y 3.2 se muestran el diseño de un sistema a puesta a tierra para un radiobases, en el sector norte de la ciudad de Guayaquil.

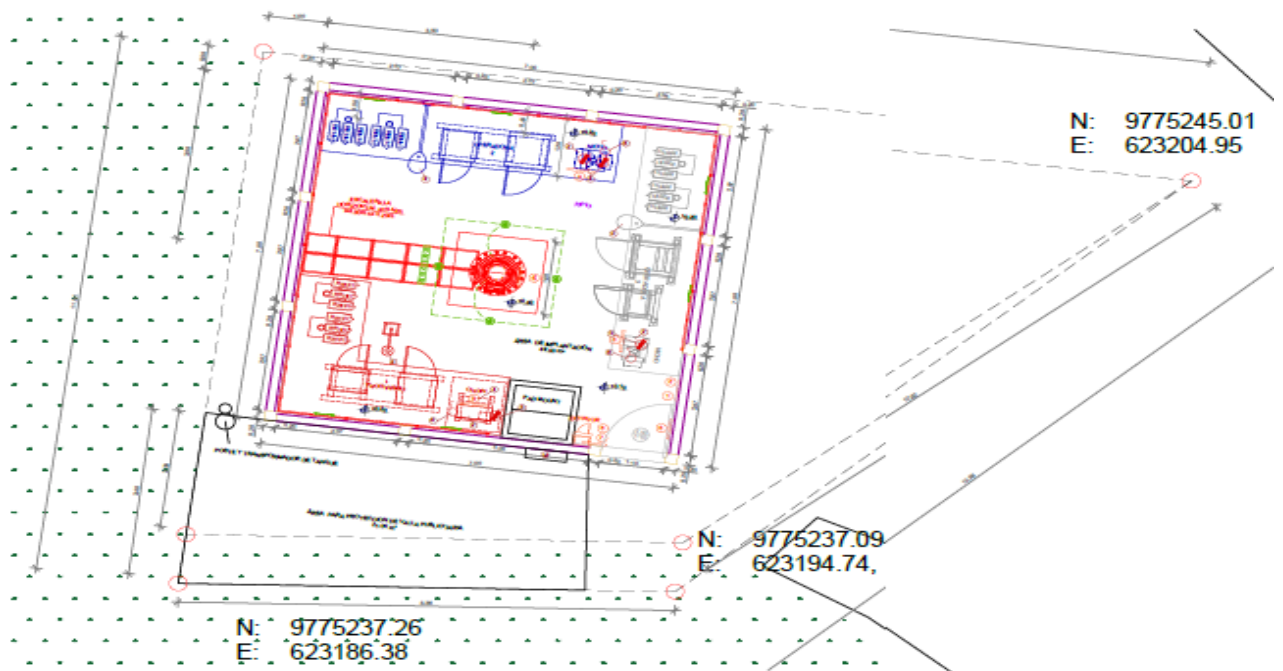


Figura 3.1 Diseño de un sistema a puesta a tierra

Fuente. El autor

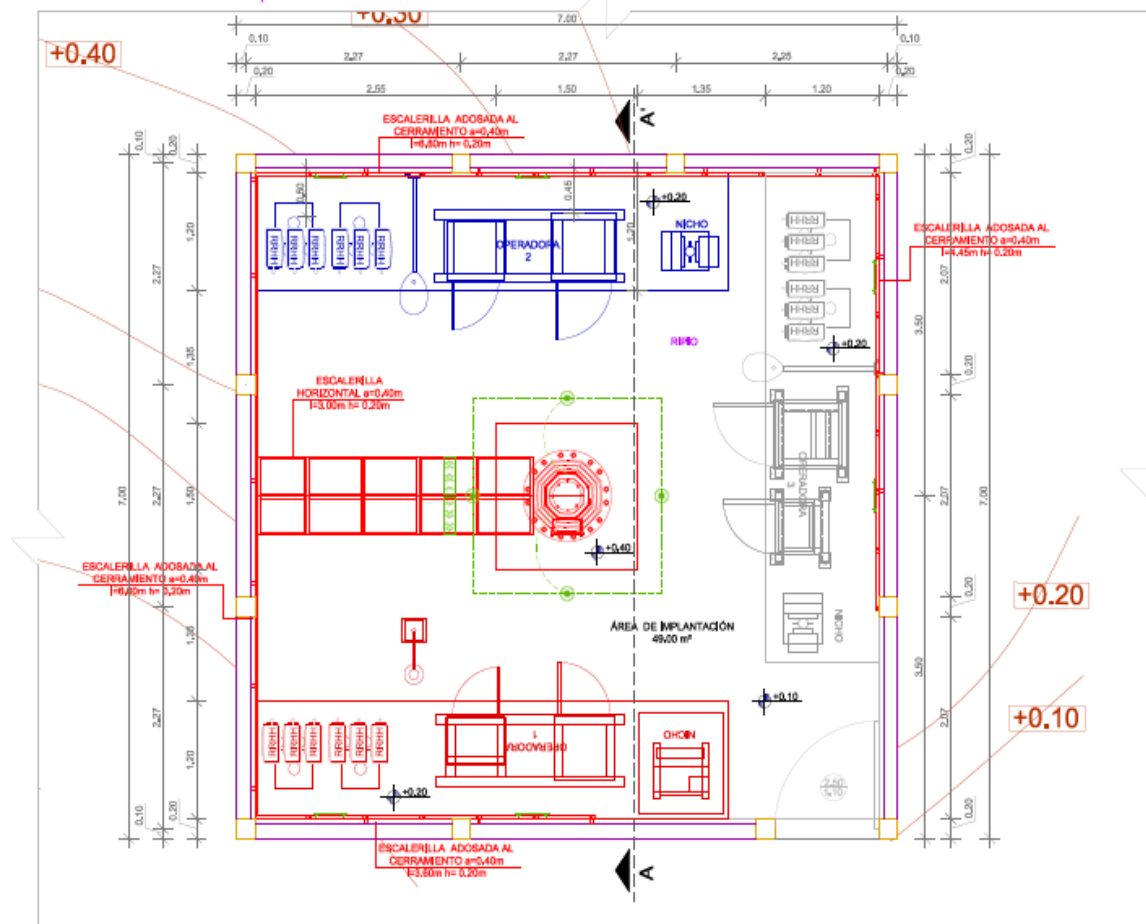
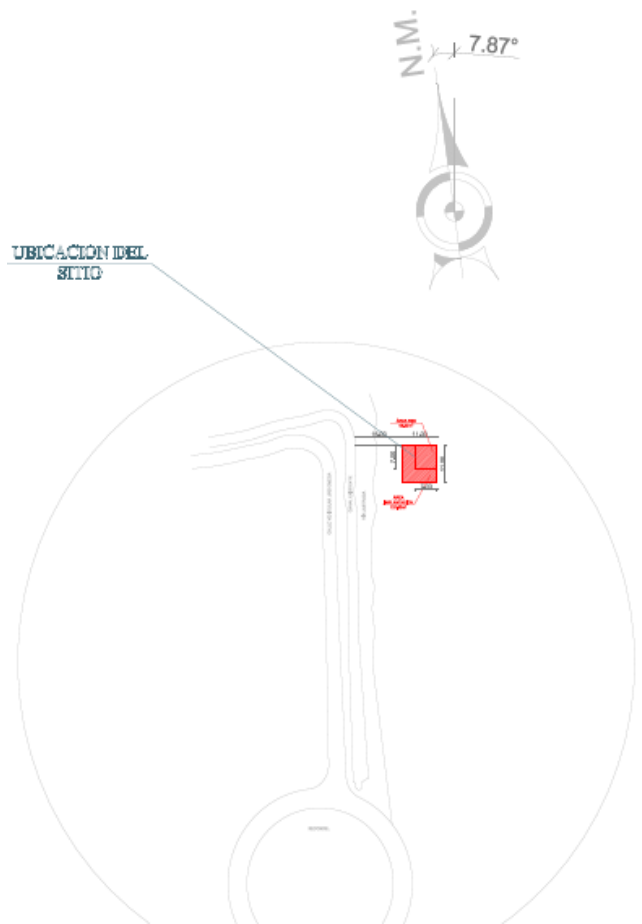


Figura 3. 2 Diseño de un sistema a puesta a tierra

Fuente. El autor

Seguidamente, en la tabla 3.1 se muestran valores de la demanda. Y en la figura 3.3 se puede ver detalles sobre la base de un transformador.

Tabla 3. 1 Estudio de la demanda

CIRCUITO CLARO													
PANEL PD-1	CIRC.	COND.	VOLT. (V)	FASE	PTOS	POT. UNIT.	POT. INSTAL.	Fe	POT. EFECT.	DISYUNTOR		SERVICIO Iluminación, tomacorrientes, equipos	
										AMP	POLOS		
W	A1	12	120	A	4	40	160	1,0	160	20	1	Alumbrado	
	T1	12	120	B	1	200	200	1,0	200	20	1	Tomacorriente	
	T2	8	240	AB	1	8.700	8.700	1,0	8.700	40	2	Equipos	
						SUMAN	9.060		9.060	Wattios			
								Fc	1,0				
								Demanda	8.088				
								Reserva 10%	906,0				
								Potencia W	8.998,00				
								FACTOR DE POTENCIA	0,92				
								CORRIENTE NOMINAL	45,1	Amp.			
								DISYUNTOR 2P-70 AMP.					
												56,419637	

CIRCUITO MOVISTAR													
PANEL PD-2	CIRC.	COND.	VOLT. (V)	FASE	PTOS	POT. UNIT.	POT. INSTAL.	Fe	POT. EFECT.	DISYUNTOR		SERVICIO Iluminación, tomacorrientes, equipos	
										AMP	POLOS		
W	A1	12	120	A	4	40	160	1,0	160	20	1	Alumbrado	
	T1	12	120	B	1	200	200	1,0	200	20	1	Tomacorriente	
	T2	12	240	AB	1	8.700	8.700	1,0	8.700	40	2	Equipos	
						SUMAN	9.060		9.060	Wattios			
								Fc	1,0				
								Demanda	8.088				
								Reserva 10%	906,0				
								Potencia W	8.998,00				
								FACTOR DE POTENCIA	0,92				
								CORRIENTE NOMINAL	45,1	Amp.			
								DISYUNTOR 2P-70 AMP.					
												56,419637	

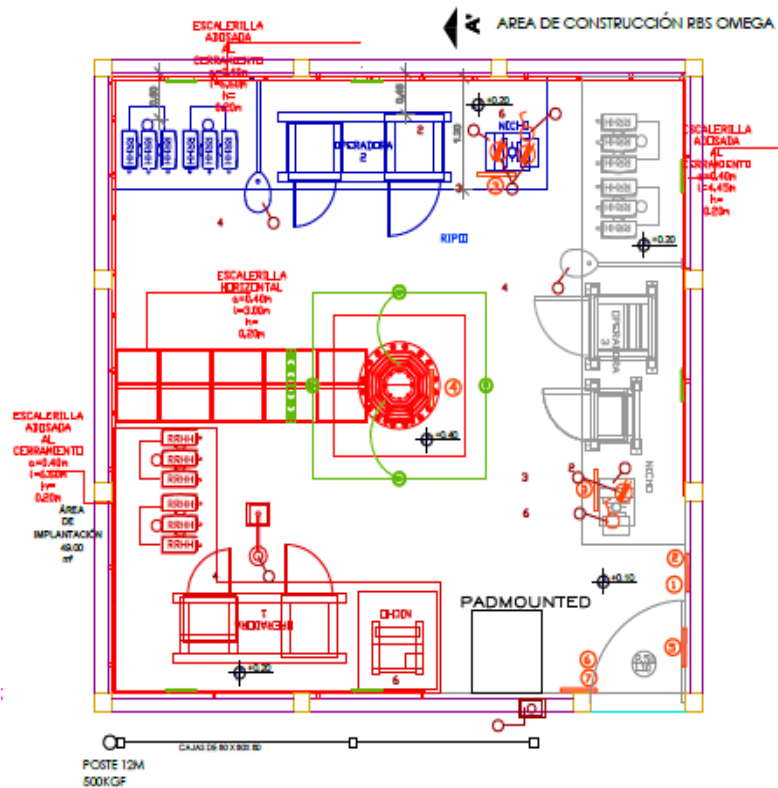
CIRCUITO CNT													
PANEL PD-3	CIRC.	COND.	VOLT. (V)	FASE	PTOS	POT. UNIT.	POT. INSTAL.	Fe	POT. EFECT.	DISYUNTOR		SERVICIO Iluminación, tomacorrientes, equipos	
										AMP	POLOS		
W	A1	12	120	A	4	40	160	1,0	160	20	1	Alumbrado	
	T1	12	120	B	1	200	200	1,0	200	20	1	Tomacorriente	
	T2	12	240	AB	1	8.700	8.700	1,0	8.700	40	2	Equipos	
						SUMAN	9.060		9.060	Wattios			
								Fc	1,0				
								Demanda	8.088				
								Reserva 10%	906,0				
								Potencia W	8.998,00				
								FACTOR DE POTENCIA	0,92				
								CORRIENTE NOMINAL	45,1	Amp.			
								DISYUNTOR 2P-70 AMP.					
												56,419637	

DEMANDA	
Subtotal	29.898
FC	0,78
Demanda (W)	23.320
FP	0,92
Demanda Máx (kva)	25.348
Voltaje (V)	240
Inominal (A)	106
Breaker de protección	2P - 150 A
Alimentador	2#2/0+N#1/0+T#2 THHN ϕ 110mm

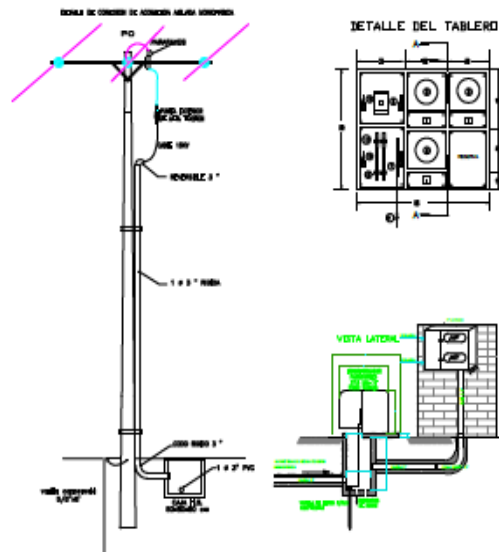
CÁLCULO DEL TRANSFORMADOR	
Demanda Máx (W)	23.320
Reserva 25% (W)	5830,11
Total (W)	29.151
FP	0,92
Demanda Máx (KVA)	31,69
Transformador Padmounte	37,5 KVA

Transformador padmounte monofasico de 37,5 KVA que transformara el voltaje de 13800 7960/120/240 que alimentara el tablero de medidores

Fuente. El autor



UBICACIÓN
 PROVINCIA : GUAYAS
 CANTON: DAULE
 VIA: URBANIZACION VILLA CLUB
 ETAPA OMEGA



DETALLE DE BASE DE TRANSFORMADOR

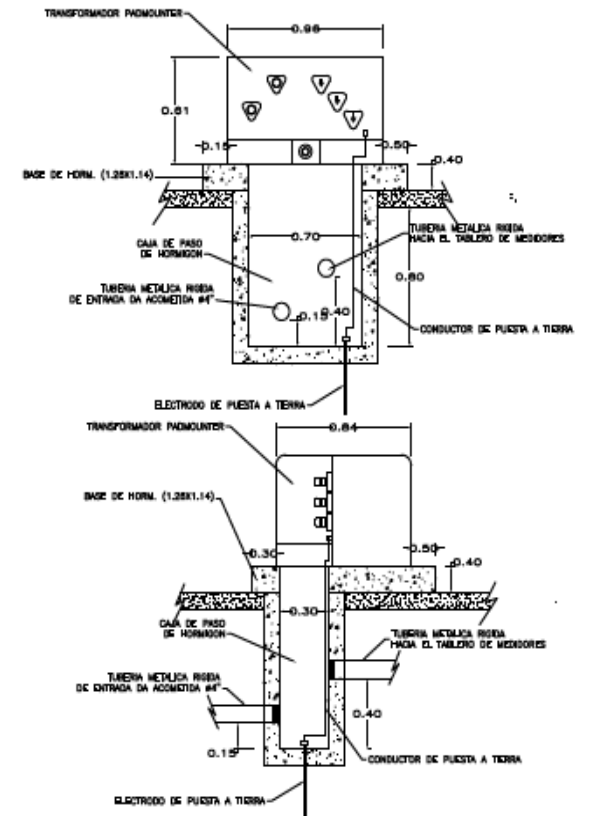


Figura 3. 3 Detalle sobre la base de un transformador

Fuente. El autor

3.2 Aplicación de la norma ISO 14001:2004

Esta Norma Internacional contiene solamente aquellos requisitos que pueden ser auditados objetivamente. Se invita a aquellas organizaciones que requieran orientación más general sobre la amplia variedad de temas relacionados con los sistemas de gestión ambiental, a que consulten la Norma ISO 14004. Esta Norma Internacional no establece requisitos absolutos para el desempeño ambiental más allá de los compromisos incluidos en la política ambiental, de cumplir con los requisitos legales aplicables y con otros requisitos que la organización suscriba, la prevención de la contaminación y la mejora continua. Por tanto, dos organizaciones que realizan actividades similares con diferente desempeño ambiental pueden ambas cumplir con sus requisitos. La adopción e implementación de un conjunto de técnicas de gestión ambiental de una manera sistemática puede contribuir a que se alcancen resultados óptimos para todas las partes interesadas. Sin embargo, la adopción de esta norma internacional no garantiza en sí misma unos resultados ambientales óptimos. Para lograr objetivos ambientales, el sistema de gestión ambiental puede estimular a las organizaciones a considerar la implementación de las mejores técnicas disponibles cuando sea apropiado y económicamente viable, y a tener en cuenta completamente la relación entre el costo y la eficacia de estas técnicas. (Norma Internacional ISO 14001:2004, 2004)

Esta Norma Internacional no incluye requisitos específicos para otros sistemas de gestión, tales como los relativos a gestión de la calidad, gestión de seguridad y salud ocupacional, gestión financiera o gestión de riesgos, aunque sus elementos pueden alinearse o integrarse con los de otros sistemas de gestión. Es posible que una organización adapte su sistema o sistemas de gestión existentes para establecer un sistema de gestión ambiental que sea conforme con los requisitos de esta Norma Internacional. Sin embargo, se señala que la aplicación de los distintos elementos del sistema de gestión podría variar dependiendo del propósito y de las diferentes partes interesadas involucradas. El nivel de detalle y complejidad del sistema de gestión ambiental, la extensión de la documentación y los recursos que se dedican dependen de varios factores tales como el alcance del sistema, el

tamaño de la organización, la naturaleza de sus actividades, productos y servicios. Este podría ser el caso en particular de las pequeñas y medianas empresas.

Esta Norma Internacional se aplica a cualquier organización para:

- a) establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión ambiental;
- b) asegurarse de su conformidad con su política ambiental establecida;
- c) demostrar la conformidad con esta Norma Internacional por:
 1. La realización de una autoevaluación y autodeclaración; y/o
 2. La búsqueda de confirmación de dicha conformidad por las partes interesadas en la organización, tales como clientes; o
 3. La búsqueda de confirmación de su autodeclaración por una parte externa a la organización; o
 4. La búsqueda de la certificación/registro de su sistema de gestión ambiental por una parte externa a la organización.

Todos los requisitos de esta Norma Internacional tienen como fin, la incorporación a cualquier sistema de gestión ambiental. Su grado de aplicación depende de factores, tales como la política ambiental de la organización, la naturaleza de sus actividades, productos y servicios y la localización donde y las condiciones en las cuales opera.

3.3 Metodología para gestión de proyectos de infraestructura de telecomunicaciones

La estrategia fundamental es establecer y estandarizar criterios para la gestión de los proyectos de telecomunicaciones dentro de la ciudad de Guayaquil, que permitan el desarrollo del sector, garantizando la prestación de un excelente servicio sin tener que sacrificar el medio ambiente, si no por el contrario, que la tecnología se integre a la ciudad de una manera armónica, sin afectar financieramente a los diferentes operadores. Para lograr lo mencionado, en primer lugar se debe hacer un censo de la totalidad de las estaciones de telefonía celular en la ciudad de Guayaquil, con el fin de

determinar su estado actual y poder definir su posible tratamiento, teniendo en cuenta aspectos como el sector donde se ubican, la altura, el tipo de estructura de soporte que utiliza y el costo que tendría la intervención, de esta manera cuantificar el impacto financiero, económico y social que tendría la implementación de este proyecto en la ciudad. Luego de realizar la actualización del censo de las estaciones de telefonía celular, se debe determinar el tipo de mimetización más adecuado, que permita su integración con el entorno. Después es necesario revisar la viabilidad financiera de la implementación, de contar con una respuesta favorable se procederá con el camuflaje, en caso contrario se buscarán otras alternativas tales como: el desmote o reubicación de la estación, desplazamiento hacia una co-ubicación o buscar alternativas de compensación a la comunidad afectada. Finalmente, es necesario implementar métodos de verificación y control que permitan establecer que tan efectivas han sido las intervenciones en las estaciones de telecomunicaciones existentes y a su vez, plantear mejoras en los procesos.

3.3.1 Cuantificación de las estaciones de telecomunicaciones existentes

Inicialmente es necesario que la ARCOTEL, conduzcan a todos los operadores a declarar todas las estaciones que han construido en la ciudad, ordenadas por localidad. Con esta información inicial, es necesario implementar un programa verificación que permita validar la información suministrada; al mismo tiempo recolectar información que conduzca al diagnóstico de estado actual de cada una de las estaciones. Por tanto, se propone crear una hoja de vida por estación, que permita no solo conocer su estado actual físicamente, sino también su aspecto legal, ya que muchas de estas estaciones no cuentan con licencias de construcción. Dentro de este documento se deberán consignar datos como el nombre, la dirección, el operador, tipo de estructura, altura, área ocupada, años de construida, entre otros; aparte de un registro fotográfico en detalle. Es necesario que esta hoja de vida sea actualizada trimestralmente por el operador, lo cual permitirá mantener un control de la información de las estaciones. (Tibasosa, 2013)

3.3.2 Evaluación y valoración de la información recolectada

Tan pronto se haya actualizado y consolidado toda la información, será necesario realizar una evaluación, para tener la seguridad y claridad del tratamiento a seguir en cada una de ellas. Dentro de esta evaluación se toma en cuenta el modelo aplicado en Bogotá, Colombia: Lineamientos del Manual de Mimetización y Camuflaje, adoptado mediante el decreto 676 de 2011. Donde se indica entre otras las normas para zonas de mimetización (camuflaje) de las estaciones en la ciudad, el principio de compartir infraestructura, los tipos de mimetización, los materiales recomendados y una parte muy importante dentro de esta etapa del proyecto, que son las matrices de evaluación de los procesos de mimetización. A continuación, en la tabla 3.2 muestran cómo se podrían estimar los impactos generados por las estaciones en piso o *greenfield*.

Tabla 3. 2 Impacto causado por la localización de la estación

IMPACTO A MEDIR			IMPACTO (PUNTOS)
IMPACTO CAUSADO POR LA LOCALIZACIÓN DE LA ESTACION	Impacto por localización respecto a la manzana	Si la estación está localizada en la parte posterior de predio al interior de la manzana, es de bajo impacto: Tres (3) puntos	
		Si la estación está cercana a la fachada de predio al interior de la manzana, el impacto es medio: Cinco (5) puntos	
		Si la estación está localizada en predio esquinero de manzana, el impacto es alto: Diez (10) puntos	
		Si la estación está localizada en un sector sin desarrollo (lote baldío), el impacto es bajo: Tres (3) puntos	
	Impacto por localización respecto al sistema vial	Si la estación está localizada en la malla vial local, el impacto es bajo: Tres (3) puntos	
		Si la estación está localizada en la malla vial intermedia, el impacto es medio: Cinco (5) puntos	
		Si la estación está ubicada en la malla arterial principal, el impacto es alto: Diez (10) puntos	

Fuente. El autor

A continuación, en la tabla 3.3 muestra la evidencia del impacto causado por la estructura de elevación, considerando la altura de las edificaciones aledañas a la estación.

Tabla 3. 3 Impacto causado por la estructura de elevación

IMPACTO A MEDIR			IMPACTO (PUNTOS)
IMPACTO CAUSADO POR LA ESTRUCTURA DE ELEVACION	Tipo de Estructura de elevación	Si la estructura de elevación es troncopiramidal de sección ancha mayor de tres (3) metros, base cuadrada o triangular, el impacto es alto: Diez (10) puntos	
		Si la estructura de elevación es autosoportada sección desde 0,60 a 2,99 metros base cuadrada o triangular, el impacto es medio: Tres (3) puntos	
		Si la estructura de elevación es riendada sección menor a 0,60 metros, el impacto es bajo: Cero (0) puntos	
		Si la estructura de elevación es tipo arriostrada de sección entre 0,40 y 0,60 metros mimetizada a monopolo, o monopolo hasta de 1,10 metros con instalaciones internas, el impacto es bajo: Cero (0) Puntos	
Porcentaje de altura que se eleva a partir del nivel de cubierta respecto a la altura de 20 m. a la redonda	Si la altura de la estructura de elevación se eleva en un porcentaje menor del 20%, el impacto es bajo: Tres (3) Puntos		
	Si la altura de la estructura de elevación se eleva en un porcentaje entre el 20% y el 50%, el impacto es medio: Cinco (5) Puntos		
	Si la altura de la estructura de elevación se eleva en un porcentaje mayor al 50%, el impacto es alto: Diez (10) Puntos		

Fuente. El autor

Por otra parte, en la tabla 3.4 muestra la estimación del impacto causado por la cantidad y tamaño de antenas, teniendo en cuenta la visibilidad de las antenas a cierta distancia.

Tabla 3. 4 Impacto causado por la cantidad y tamaño de las antenas

IMPACTO A MEDIR			N° DE ANTENAS	IMPACTO (PUNTOS)
IMPACTO CAUSADO POR LA CANTIDAD Y TAMAÑO DE ANTENAS	Visibilidad de antenas a distancia de diez m. a nivel de peatón	Si las Antenas tienen áreas mayores a dos (2) metros cuadrados, el impacto es alto: multiplique el número de antenas con ésta característica por Diez (10) puntos		
		Si las Antenas tienen áreas entre uno (1) y dos (2) metros cuadrados, el impacto es medio: multiplique el número de antenas con esta característica por Tres (3) puntos		
		Si las Antenas tienen áreas menores a un (1) metro cuadrado, el impacto es bajo: Multiplique el número de antenas con esta característica por Cero (0) puntos		
		Si se encuentran instaladas en la estructura más de veinte (20) antenas, sin importar su tamaño, el impacto es alto: Multiplique el número de antenas por Cinco (5) puntos		
	Distancia de las antenas a la estructura de elevación	Si las antenas poseen un soporte adicional menor o igual a un (1) metro, el impacto es bajo: Cero (0) Puntos		
		Si las antenas poseen un soporte adicional entre uno (1) y dos (2) metros, el impacto es medio: Tres (3) Puntos		
		Si las antenas poseen un soporte adicional mayor a dos metros, el impacto es alto: Cinco (5) Puntos		

Fuente. El autor

En la tabla 3.5 se evidencia la forma de estimar el impacto causado por el cuarto de los equipos, donde se involucra directamente el número de antenas del sitio, al requerir mayor cantidad de equipos en piso.

Tabla 3. 5 . Impacto causado por el cuarto de equipos

IMPACTO A MEDIR			IMPACTO (PUNTOS)
IMPACTO CAUSADO POR EL CUARTO DE EQUIPOS	Visibilidad del cuarto de equipos a ras de piso desde la calle	Si el cuarto de equipos se encuentra mimetizado, el impacto es bajo: Cero (0) Puntos	
		Si el cuarto de equipos NO es visible a una distancia entre dos (2) y diez (10) metros, el impacto es bajo: Cero (0) Puntos	
		Si el cuarto de equipos es visible a una distancia entre diez (10) y (50) metros, el impacto es medio: Tres (3) Puntos	
		Si el cuarto de equipos es visible a una distancia mayor a (50) metros, el impacto es alto: Cinco (5) Puntos	

Fuente. El autor

Finalmente, en la tabla 3.6 muestra la valoración del impacto causado por el cerramiento del predio, lo cual puede ser en malla eslabonada o mampostería:

Tabla 3. 6 Impacto causado por el cerramiento del predio

IMPACTO A MEDIR			IMPACTO (PUNTOS)
IMPACTO CAUSADO POR EL CERRAMIENTO DEL PREDIO	Transparente Tipo Malla	Si el cuarto de equipos es visible desde el espacio público, el impacto es alto: Cinco (5) puntos	
		Si el cuarto de equipos NO es visible desde el espacio público o es visible pero mimetizado con color, vegetación o algún acondicionamiento, el impacto es bajo: Cero (0) puntos	
	En mampostería	Acorde en materiales, color y altura con los vecinos inmediatos, el impacto es bajo: Cero (0) Puntos	
		NO es acorde en materiales, color y altura con los vecinos inmediatos, el impacto es alto: Cinco (5) Puntos	

Fuente. El autor

La suma de todos y cada uno de los impactos permitirá establecer el impacto de la estación de telecomunicaciones en piso o tipo *greenfield*. La valoración se realiza de igual forma al caso anterior. El diligenciamiento de esta matriz permitirá medir objetivamente el impacto de las estaciones de telecomunicaciones inalámbricas en el contexto urbano. Si el total de puntos de esta matriz, resultante de sumar el impacto en puntos, causado por la localización de la estación, por la estructura de elevación, por la cantidad y tamaño de antenas y por el cuarto de equipos es igual o mayor a setenta y un

(71) puntos, el impacto visual de la estación es alto y la alternativa única es “Camuflar” los componentes de la estación: estructura de elevación, antenas y cuarto de equipos según el grado de afectación y deberá ser considerada dentro del cronograma del programa de mimetización o camuflaje como de alta prioridad, y el período en el que se camufle no podrá superar el término de cinco (5) años contados a partir de la aprobación del Programa de Mimetización o Camuflaje por parte del ente regulador gubernamental. Si el total de puntos de la matriz de impacto está entre treinta y un (31) puntos y setenta puntos (70), el impacto visual es medio. Se deberá minimizar el impacto mediante mimetización o camuflaje. El puntaje obtenido deberá servir para priorizar su intervención dentro del cronograma del programa de mimetización o camuflaje. Si el total de puntos de la matriz de impacto es menor de (31) puntos, el impacto visual es bajo. Se deberá minimizar el impacto mediante mimetización. El puntaje obtenido deberá servir para priorizar su intervención dentro del cronograma del programa de mimetización, o camuflaje acorde con los tiempos establecidos en el artículo 31 del decreto de adopción del Plan Maestro de Telecomunicaciones.

3.3.3 Mimetización de infraestructura de telecomunicaciones

La mimetización es el proceso mediante el cual la infraestructura de telecomunicaciones se integra de manera armónica con su entorno. Asimismo, es la alteración de la presencia física de la infraestructura de telecomunicaciones con el objetivo de integrarla de manera más armónica con el entorno en el que está instalada. Los procesos de mimetización pueden incluir desde la simple homogenización en el color de la infraestructura, hasta su alteración física para hacerla parecer un elemento integrante del espacio en el que se instale. De manera general, debe entenderse que los procesos de mimetización, sin importar su ubicación territorial, están regulados por la autoridad aeronáutica nacional, dado el peligro que las instalaciones pueden representar para la aviación. La determinación de las condiciones de señalización e identificación de obstáculos en tierra son competencia del ente regulador gubernamental. A nivel internacional se evidencia que la mimetización es una exigencia común para la instalación de infraestructura, pues con ella se garantiza la reducción del impacto visual de la misma. Las

autoridades de muchos países a la vanguardia en regulación de telecomunicaciones exigen, como parte de los requisitos para instalar infraestructura, que los operadores ejecuten un plan de mimetización y/o camuflaje de esta, con el fin de reducir el impacto visual generado. En India por ejemplo el “*Telecom Regulatory Authority of India, TRAI*” quien actualmente cuenta con una certificación ISO 9001:2000, en su reporte anual 2011 - 2012 manifiesta que es de obligatorio cumplimiento el cubrimiento de toda la infraestructura que se encuentre en áreas de herencia cultural y de importancia medioambiental o arquitectónica. Asimismo, en lo que tiene que ver con la mimetización de la infraestructura que no está en esas áreas, dicha autoridad ha dispuesto un plan gradual de implantación que debe ser respetado por los operadores. Otros países como España y Argentina han implementado códigos de Buenas Prácticas para la instalación de infraestructura y en ellos se especifican las necesidades y criterios de mimetización aceptables. Por lo tanto, la mimetización es un mecanismo para reducir el impacto de la infraestructura de las telecomunicaciones y sirve para proteger otros intereses relevantes como lo son la armonía del entorno y el urbanismo. En todo caso, para que los procesos de mimetización sean efectivos, deben lograr un balance adecuado entre esos intereses y el despliegue eficiente de las redes.

3.3.3.1 Tipos de Mimetización

La mimetización busca que la infraestructura se integre al entorno en el que se instala y cuando sea posible debe convertirse en un elemento decorativo del entorno urbano. De acuerdo con la autoridad de telecomunicaciones de Australia (*Western Australian Planning Commission, 1928*) la infraestructura de telecomunicaciones que sea poco estética visualmente debe, en lo posible, ser instalada en zonas industriales, comerciales o rurales donde ese impacto se minimice. De lo contrario, debe integrarse al entorno en función del diseño existente.

A continuación, se presentan algunos tipos de mimetización de acuerdo a la zona donde se ubique.

❖ Zona Residencial

Corresponde a los terrenos ubicados al interior de zonas urbanas, que tienen como destino principal el residencial. En esta zona la disposición de estructuras de soporte de telecomunicaciones debe adecuarse a las características morfológicas y arquitectónicas del barrio en el que se instalarán. Estas estructuras son incorporadas con elementos naturales del entorno, por ejemplo, en las plazas, monumentos centrales o lugares comunes que pertenecen a la comunidad. También pueden acondicionarse para actuar como elementos de diseño en las fachadas, o elementos en las terrazas de edificios y casas.

Poste Metálico. Dado su carácter discreto, esbeltez, color neutro y altura mediana, esta solución permite insertarse en un barrio residencial en forma armónica con el entorno. La inserción urbana acorde al barrio es una de las principales consideraciones que se debe tener en cuenta a la hora de disponer las antenas en una zona residencial. Dada su neutralidad formal, el poste metálico con radomo cilíndrico interfiere escasamente con el tejido urbano circundante, este se observa en la figura 3.4.



Figura 3. 4 Mimetización tipo poste metálico

Fuente. El autor

Chimenea. Esta antena se articula en función de un elemento base, como las chimeneas tradicionales, que sirven de soporte para otorgarles la altura necesaria. El interior de uno de los sectores de la casa se recubre con paneles metálicos y fibrocemento, lo que permite una aislación de la caja de equipos

respecto del exterior del recinto. La ventaja de este tipo de antenas es que capitaliza la presencia de soportes preexistentes, evitando la saturación visual del barrio. La inserción urbana de este elemento pasa por su incorporación a las dinámicas formales del barrio y a los colores utilizados en su recubrimiento, iguales a los de fachada de las casas.

En la figura 3.5 muestra la estructura metálica que es revestida de láminas de fibra de vidrio en el sector superior para alojar las antenas.



Figura 3. 5 . Mimetización tipo chimenea

Fuente. El autor

Palmera. El monopolo mimetizado tipo palmera es una de las estructuras altas que mejor se adecua en términos visuales por la capacidad de homologarse a otros elementos naturales existentes. Por su calidad visual respecto al ambiente, esta estructura es adecuada para sectores residenciales y espacios públicos donde exista vegetación similar. Los equipos complementarios quedan ubicados en la planta en la propiedad existente.

En la figura 3.6 se puede ver el monopolo metálico, el cual es revestido de poliuretano texturizado, con corona de hojas tipo palmera. Las antenas se adosan a la estructura y se cubren con hojas secas.

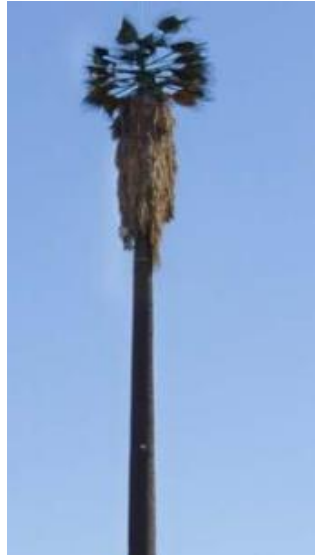


Figura 3. 6 Mimetización de monopolo, tipo palmera.

Fuente. El autor

Antenas en terrazas. Las antenas en terraza se ubican en edificios de seis pisos en adelante, lo que permite disminuir el impacto visual de la antena hacia el exterior. El contenedor que incorpora la antena y los equipos está cubierto por una celosía quiebra- vista metálica, que disminuye aún más el impacto visual. Esta tipología de antenas tiene una buena inserción urbana en la medida que se ubica en edificios de mayor altura. Pues, a mayor altura, menor es el impacto visual desde el nivel de la calle. El sector en donde están instaladas las antenas se rodea con elementos de fibra de vidrio al edificio de soporte, tal como se observa en la figura 3.7.



Figura 3. 7 Mimetización en las terrazas de los edificios.

Fuente. El autor

❖ Zona Comercial

Al igual que en la zona residencial, en zonas comerciales las antenas de telefonía móvil son instaladas como elementos de fachada de los edificios del

sector. Esta modalidad es aplicable para zonas de comercio más densas y con edificaciones más altas. Además, se pueden incorporar estructuras de soporte integradas a elementos de mobiliario urbano, como luminarias. De esta manera, se disminuye el impacto visual y se puede colaborar funcionalmente con las actividades propias del quehacer comercial. Otra alternativa es usar como soporte las estructuras publicitarias o los elementos naturales.

Antenas en fachada. Las antenas incorporadas en las fachadas de las edificaciones permiten la presencia de este elemento de manera casi imperceptible para el contexto urbano. Los equipos quedan ubicados en un área específica y recubierta, en el último piso de la edificación. La calidad visual que se produce a partir de la incorporación de esta tipología en la ciudad se logra en la medida que estos elementos se adecuen a la arquitectura existente, sin interferir en el diseño original de la estructura. Las antenas se cubren con elementos de fibra de vidrio a los que se le da la forma al edificio de soporte.

Letrero publicitario. La utilización de estas antenas como elementos de soporte publicitario o de logos de empresas, es una buena estrategia para aumentar la inserción urbana de éstas en su contexto urbano. La calidad visual de esta tipología dependerá de la proporción entre el tamaño de la estructura portante, con relación al tamaño de la construcción existente, tal como se observa en la figura 3.8.



Figura 3. 8 Mimetización tipo anuncio publicitario

Fuente. El autor

❖ Zona Industrial

Las zonas industriales o productivas comprenden todo tipo de industrias y aquellas instalaciones de impacto similar al industrial, tales como grandes depósitos, talleres o bodegas industriales. Para establecer los criterios de inserción de estructuras de soporte de telecomunicaciones en estas zonas es necesario definir dos tipos de situaciones que tienen relación con la habitabilidad del área:

Mástil con Publicidad. Este modelo corresponde a una antena vecina a zona residencial. En estos sectores se pueden utilizar las luminarias publicitarias o tótems con las marcas de las empresas. Esto disminuye el impacto visual y logra relacionar estas estructuras con las actividades del sector. Esta estructura que logra su altura a través de un mástil esbelto termina en un módulo que puede ser utilizado con la marca de la empresa donde se sitúa; esto se puede apreciar en la figura 3.9.



Figura 3. 9 Mimetización de mástil autoportado con vallas publicitarias

Fuente. El autor

Torres Autoportadas y Monopolos. Este modelo corresponde a una antena ubicada en una zona industrial exclusiva. Debido a la naturaleza de las actividades realizadas en estos lugares, no es necesario un tratamiento visual ni estético de las estructuras de soporte. Asimismo, los monopolos no presentan armonización.

A continuación, en el Anexo 1 se aprecia proyectos de mimetización en radiobases de telefonía celular, en el cumplimiento de la norma ISO 14001:2004 (reducción del impacto visual en radiobases)

CAPÍTULO IV: DISEÑO DE PUESTA A TIERRA Y MIMETIZACIÓN EN RADIOBASE

4.1 Normativas de puesta a tierra

A continuación, se describen las normativas de puesta a tierra.

- ✓ NEC 250-51: “Aterramiento de todas las cubiertas y estructuras metálicas”.
- ✓ NFC 17-102: “Protección de estructuras y zonas abiertas contra el rayo mediante pararrayos con dispositivo de cebado” Norma francesa.
- ✓ UNE-EN 62305, IEC 62305: “Protección contra el rayo”. Norma europea e internacional.
- ✓ NEC 250-51 y NEC – 820-40 (sección b - d) Todas las mallas y/o electrodos de puesta a tierra deben tener un mismo potencial, logrando unir todo el sistema de puesta a tierra. (Díaz, 2019)

4.2 Cálculo para Sistema Puesta a Tierra

4.2.1 Resistividad del terreno/modelo de medición:

Modelo de cuatro electrodos o método de Wenner.

Resistividad equivalente del terreno mediante Teoremas de *Burgsdorf-Yacobs*, obteniendo el siguiente resultado:

$$P_{eq} = 26,071 \Omega/mtrs$$

4.2.2 Cálculo del conductor de puesta a tierra a utilizar

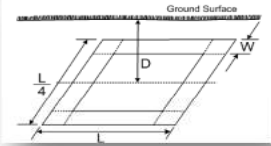
El conductor calculado da $A_c = 4449$ cmils, pero siendo el conductor # 2/0 con una sección de 133017,37 cmils, por lo que se puede seleccionar este conductor para cumplir con la Norma IEEE_80-2000.

4.2.3 Cálculo de malla SPAT

Cálculo preestablecido en el proyecto eléctrico de la memoria de cálculo del SPAT resulta una resistencia de 3,05 Ω ; se modela un nuevo diseño con una varilla adicional, dando como resultado una $R_{tc} = 2,79 \Omega$.

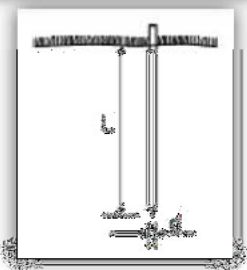
Tabla 4. 1 Resistencia de malla con cemento conductivo y varillas de CU

RESISTENCIA DE MALLA CON CEMENTO CONDUCTIVO Y VARILLAS DE CU		
ELECTRODO PERIMETRAL DE CONTRAPESO		# HILOS
Lado Largo de la malla (m):	4,60	3
Lado ancho de la malla (m):	4,60	3
Resistividad del suelo (Ω / m):	26,07	
L: Longitud total de la zanja (m):	28	
W: Ancho de la zanja (m):	0,4	
D: Profundidad de la zanja (m):	0,4	
R : RESISTENCIA OBTENIDA (OHMS)	1,54	

$$R = 1.12 \times \frac{\rho}{2.73L} \text{Log}_{10} \frac{2L^2}{WD}$$


NUMERO DE BULTOS DE CEMENTO CONDUCTIVO SANT EARTH POR SACO DE 25 Kg	7
---	----------

ELECTRODOS VERTICALES	
Varilla Cu de 5/8" x 1,80 m - 250 μ (und):	8
Electrodo tipo quimico / grafito (und):	N/A
Resistividad del suelo (Ω / m):	26,07
L: Largo (m):	1,8
D: Diametro (m):	0,016
Resistencia obtenida por 1 electrido (Ω):	14,09
RESISTENCIA OBTENIDA POR GRUPO DE ELECTRODOS (OHMS)	1,78

$$R = \left| \frac{\rho}{2.73L} \text{Log}_{10} \frac{4L}{d} \right|$$


RESISTIVIDAD DEL SUELO (ohms.m)	26,071
RESISTENCIA TOTAL ELECTRODOS VERTICALES Y HORIZONTALES (Ω)	0,82

Fuente. El autor

4.3 Diseño de malla del SPAT

Se procede con el diseño de las mallas SPAT acoplándose a la infraestructura de la radio base, se anexa diseño.

4.4 Emplazamiento del Sistema Puesta a Tierra “SPAT”

4.4.1 Emplazamiento de Mallas

Según el proyecto eléctrico del SPAT, se plantea instalar la malla de tipo reticular, el cual será ubicada entre las bases de hormigón propia de cada operadora y una malla central para pararrayos.

Por lo tanto, la primera malla tiene un área de acción de 19 ml; mientras que la segunda malla tiene un área de acción de 8 ml. Para ambas se instala un cable de contrapeso # 2/0 desnudo a lo largo de la zanja (0.40 x 0.6 x 28ml) y 8 varillas de Cu 5/8”x1.80 metros. revestimiento 250 μ distribuidas equidistantemente y utilizando la regla de la mitad de la suma de las longitudes de las varillas.

Asimismo, se agrega cemento conductivo al cable de contrapeso para que de esa manera mejorar el acople eléctrico del mismo al terreno circundante, dando un aporte de baja resistividad sobre el terreno natural; aparte se utiliza soldadura exotérmica para la fusión entre cables y varillas.

Además, se agrega compuesto de *Thor Gel* a lo largo de toda la cama de ambas mallas, para mejorar las condiciones del terreno bajando su resistividad considerablemente.

También se aporta una “capa de tierra vegetal” libre de impurezas.

A continuación, en la figura 4.1 se puede apreciar los materiales utilizados para realizar los trabajos con SPAT.



Figura 4. 1 Materiales para realizar los trabajos con SPAT

Fuente. El autor

Y la figura 4.2 muestra el proceso de soldado de exotérmico. Y la figura 4.3 muestra la soldadura exotérmica de varillas de cable.



Figura 4. 2 Proceso de soldado de exotérmico

Fuente. El autor



Figura 4. 3 Soldadura exotérmica de varillas de cable.

Fuente. El autor

A continuación, en la figura 4.4 se puede ver el proceso de aplicación de acoplador de tierra *Thor Gel* y, la compactación y relleno de zanjas.



Figura 4. 4 Aplicación de acoplador de tierra Thor Gel y compactación y relleno de zanjas.

Fuente. El autor

4.5 Equipotencialización de estructuras

Se procede con la equipotencialización entre las mallas de puesta a tierra, instaladas e incluida todos los elementos metálicos que se encuentra dentro del sitio.

- **Proceso de conectores y conexiones;** dentro del proceso de conectores y conexiones incluye los trabajos de ajuste mecánico de los terminales, puesta de chaqueta termotractivil y puesta de grasa de contacto grafitada, tal como muestra en la figura 4.5.



Figura 4. 5 Proceso de conectores y conexiones

Fuente. El autor

A continuación, en la figura 4.6 puede apreciar los trabajos realizados con el aterrizamiento de todas las estructuras metálicas.



Figura 4. 6 Trabajos realizados con el aterrizamiento de todas las estructuras metálicas.

Fuente. El autor

4.6 Sistema de barrajes PAT

En el sistema de barraje PAT se instala 4 barras de tierra (AISI 304-15"x4"x1/4"), que son las siguientes: barra para cables coaxiales ubicada en escalerilla perimetral; barra para equipos RRU's ubicada en los mástiles (barra principal); barra para base metálica de equipos y barra para tablero AC. Véase la figura 4.7.



Figura 4. 7 Sistema de barras de una radiobase

Fuente. El autor

Estas se conectan entre sí con cable de acero inoxidable AG9 3/8"—55.42 mm², la barra principal con cable # 2/0 de cobre tipo desnudo que sale de la malla SPAT que se encuentra enterrada en la estación. Cada radiobase consta de una barra principal que se conecta con derivación propia de la malla puesta a tierra, en el cual se usa cable # 2/0 tipo desnudo de cobre.



Figura 4. 8 Sistema de barras de otros radiobases

Fuente. El autor

Seguidamente, se instalan las 4 barras de tierra en Monopolo (AISI 304-15"x4"x1/4") con 1 barra adicional en la escalerilla de cables coaxiales (AISI 304 -15"x4"x1/4") que llega al mismo tiempo. Por tanto, las alturas son respetadas, según el TSS existente. Luego, se conecta cable forrado tipo AG9 3/8"-55.42 mm², desde la primera barra ubicada en la escalerilla horizontal a 40cm del piso, uniéndose continuamente entre ellas. Véase la figura 4.9.

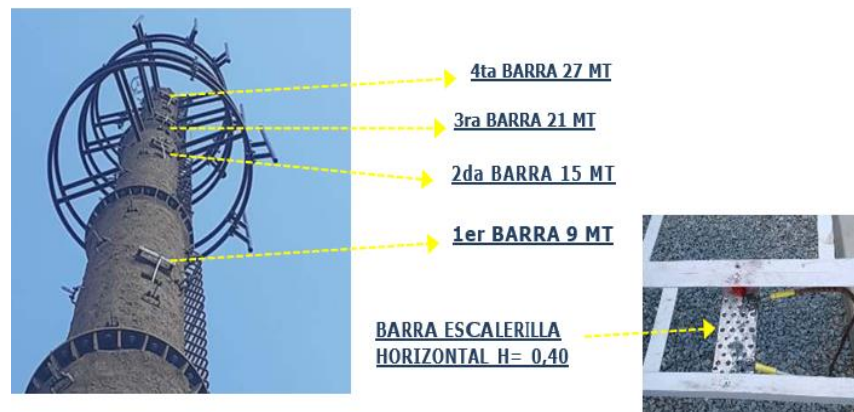


Figura 4. 9 Sistema de barras Monopolo

Fuente. El autor

4.7 Pararrayos “SPCR”

Se realiza la instalación de pararrayos tipo ionizante marca Parres a 30 mts. en la punta del Monopolo y la bajante se la hace con cable tipo Parres AG13 en 1/2" – 98.52 mm², desde el pararrayos hasta la malla de puesta a tierra (anillo perimetral alrededor de la base del Monopolo). Véase la figura 4.10.



Figura 4. 10 Instalaciones de pararrayos tipo ionizante marca Parres

Fuente. El autor

4.8 Medición de Resistencia de Malla Puesta a Tierra “RSPA”

Se ha realizado medición de resistencia eléctrica de malla con Telurómetro digital MEGABRAS modelo 20Kwe, efectuando el método de caída de potencial (62%).

De esta manera, se cumple con lo establecido en la norma técnicas IEC 60364-4-442, ANSI/IEEE 80, NTC 2050, NTC 4552. Pues, el sistema SPAT tiene un valor óhmico \leq a 5 Ω . Véase la figura 4.11.

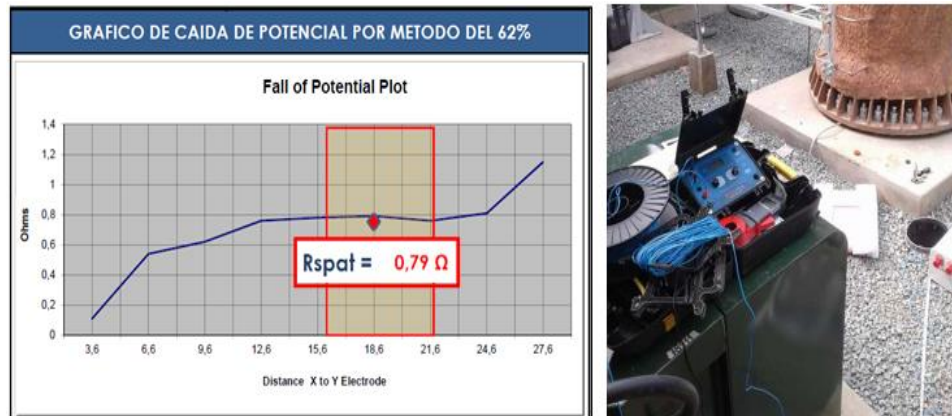


Figura 4. 11 Medición de Resistencia de Malla Puesta a Tierra

Fuente. El autor

CONCLUSIONES

- Por ser una malla instalada con cemento conductor, está condenado el cable de cobre extendido en el subsuelo de la malla, mejorando sus propiedades eléctricas y físicas por ser un compuesto conductor y de muy baja resistencia eléctrica.
- La descarga a tierra para equipos periféricos que se ubiquen en la torreta, quedaran aterrados bajo las 4 barras instaladas en la misma (9 – 15 – 21 - 27 metros) según diseño del site survey.
- Queda equipotencializado todo elemento metálico que este soldado o juntos entre sí, mediante jumper de tierra tipo Parres en acero 3/16”– 12.34 mm².
- La base de la torre queda aterrizada mediante soldadura exotérmica y acoplada al anillo perimetral # 2/0 de cobre.
- Los valores de resistencia de malla de puesta a tierra, son tomados de las normas técnicas referenciales IEC 603464-4-442 - ANSI - IEEE 80, NTC 2050-51 - 4552 ($R_{spat}/Pararrayos \leq 10 \Omega$).
- La Malla Puesta a Tierra $\leq 3 \Omega$; determinando una resistencia final \leq a 1 ohm, valor óptimo para equipos Telecom y pararrayos.
- La mimetización e integración del medio, corresponde a la aplicación de una serie de técnicas constructivas correspondientes a las obras de ejecución en las instalaciones de telecomunicaciones.

RECOMENDACIONES

Se recomienda:

- Revisar el entorno del sistema puesta a tierra.
- Las condiciones ambientales pueden deteriorar el SPT con el tiempo, por lo que se debe realizar un monitoreo periódico para verificar su estado, y cerciorarse que su valor de resistencia de puesta a tierra sea el deseado. De la misma manera, las condiciones ambientales modifican el valor de resistencia de la puesta a tierra.
- Evitar y eliminar superficies con alta oxidación, por eso es importante realizar la limpieza de cables de forma aislada, usando guantes y equipamiento reglamentado.
- Medir impedancias en conductores de bajada conectados en el centro de las mallas, desde el diseño este debe estar soldado al centro de la malla, no en esquinas.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado Freddy. (2019). Normas ISO 9000. (ESAN, Interviewer) Retrieved from <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2019/09/normas-iso-9000-conoce-el-sistema-de-gestion-de-calidad/>
- Cárdenas, L. (2015). *Estudio de los sistemas de puesta a tierra de los edificios de: Bellas Artes, Centro Multidisciplinario, Industrial, Administrativo, Bienestar Universitario y Centro De Innovación y Desarrollo Tecnológico de la Universidad Tecnológica de Pereira*. Retrieved from <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/5401/621317C266e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cirprotec. (2016). *Importancia del sistema de puesta a tierra*. Retrieved from <http://www.cirprotec.com/es/Solutions/Safeground/Importancia-del-sistema-de-puesta-a-tierra>
- Copper Development Association Inc. (2019). *Calidad energética*. Retrieved from <https://www.copper.org/applications/electrical/pq/primer.html>
- Díaz, C. (2019). *EMPLAZAMIENTO DE SISTEMA PUESTA A TIERRA Y PARARRAYOS EN RBS OMEGA GYE*. Retrieved from <file:///C:/Users/Orlando/Downloads/EMPLAZAMIENTO%20DE%20PUESTA%20A%20TIERRA%20RBS%20OMEGA%202019.pdf>
- Erazo, R., & Quevedo, P. (2018). *“ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA Y REDISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN LA PLANTA INDUSTRIAL CORPORACIÓN DE PROYECTOS MÚLTIPLES MULTIPROYECTOS S.A”*. Retrieved from Universidad Politécnica Salesiana:

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16515/1/UPS-GT002420.pdf>

Fluke. (2017). *Resistencia de Tierra*. Retrieved from https://www.cedesa.com.mx/pdf/fluke/fluke-1630_1620_serie_folleto.pdf

Grupo Navarro. (2020). *Qué son las descargas eléctricas y cómo evitarlas*. Retrieved from <https://gruponavarro.pe/electricidad-domiciliaria/descargas-electricas/>

Huete, M. (2008). *SISTEMA DE PUESTA A TIERRA Y PROTECCIÓN PARA SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES*. Retrieved from Universidad de San Carlos de Guatemala : http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0214_EO.pdf

Improselec S.A. (2019). *Análisis de calidad de energía*. Retrieved from <https://improselec.com/analisis-de-calidad-de-energia/>

León Tovar, A. (2017). *Evaluación y Diseño Del Sistema de Protección Contra Descargas Eléctricas Atmosféricas Para la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Retrieved from Universidad Distrital Francisco José De Caldas: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/7669>

Maeswell. (2018). *Adiós a las pérdidas ocasionadas por los armónicos*. Retrieved from <https://www.maeswell.com/2018/06/distorsion-armonicos/>

Malagón, G., Giraldo, W., Ordoñez, G., & Chacón, J. (2013). *Prácticas CEM enfocadas en la mitigación del Impulso Electromagnético del Rayo*

- (IER). Retrieved from Dialnet:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4835417>
- Marroquín, A. (2005). *Descargas Eléctricas*.
- National Fire Protection Association (NFPA). (2020). *Sistemas de Pararrayos*.
- Norma Internacional ISO 14001:2004. (2004). *Sistemas de gestión ambiental*.
- Preditec. (2016). *Mantenimiento Predictivo*. Retrieved from
<http://www.preditec.com/mantenimiento-predictivo/termografia/>
- PROMAX. (2019). *Cómo solucionar las interferencias de los cables coaxiales sobre las redes móviles*. Retrieved from
<https://www.promax.es/esp/noticias/554/como-solucionar-las-interferencias-de-los-cables-coaxiales-sobre-las-redes-moviles/>
- Ruelas, R. (2018). *"Sistemas de Puesta a Tierra -Teoría, Diseño, Medición y Mantenimiento"*.
- SMAR. (2021). *EMI - Interferencia Electromagnética en instalaciones industriales y mucho más*. Retrieved from
<https://www.smar.com/espanol/articulos-tecnicos/emi-interferencia-electromagnetica-en-instalaciones-industriales-y-mucho-mas>
- Swiss Re Corporate Solutions. . (2019). *Descargas Atmosféricas. Preparación y protección*. Retrieved from
<https://corporatesolutions.swissre.com/dam/jcr:ab50eb1a-541d-4306-9cab-af8ad15c5f3c/guia-de-preparacion-y-proteccion-descargas-atmosfericas.pdf>

Tapia, A. (2012). *Puesta a tierra de sistemas eléctricos*. Retrieved from Energy Management Magazine: <https://e-management.mx/2012/03/09/puesta-a-tierra-de-sistemas-electricos/>

Test Equipment Depot. (2018). *A practical guide to earth resistance testing*. Retrieved from https://www.testequipmentdepot.com/megger/pdf/earth-resistance-testing_guide.pdf

Tibasosa, O. (2013). *Estudio de impacto ambiental de la contaminación visual causada por las estaciones de telefonía celular en Bogotá d.c.* retrieved from universidad militar nueva granada facultad de ingeniería, Departamento de Postgrados: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/10838/TibasosaBernalOscarJavier2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXO 1: Proyectos de mimetización en radiobases de telefonía celular

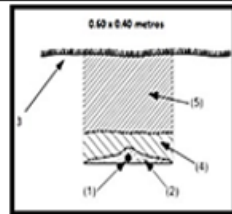




ANEXO 2: Diseño Puesta a Tierra SPAT y SPCR Pararrayos

ELEMENTO PARA LAS MALLAS PAT - ELECTRODOS						
E. VERTICAL	QUIMICO		VARILLA	X	PLACA	
E. HORIZONTAL	CABLE	X	FLEJE	# 1/0	# 2/0	X
CONFIGURACION - DISEÑO			Reticular			
NUMERO MALLAS	2	UNION EQUIPOTENCIAL	SI	x	NO	

CARACTERISTICAS DE MALLAS A PROYECTARSE PARA "SPAT"	
Tipo de malla PAT propuesta para Equipos	Reticular
Area malla para Equipos (m2).	21
Electrodo horizontal de contrapeso tipo	# 2/0
Cantidad de electrodo horizontal (ml).	28
Electrodo vertical tipo	Varilla Acero cobre
Número de electrodos verticales	8
Uniones equipotenciales tipo	Soldadura Exotérmica
Resistencia de malla Proyectada PAT Equipos	R_{te} = 0,82 Ω
Acopladores de baja resistividad para sistemas PAT de Equipos y Pararrayos	Tierra vegetal Thor Gel Cemento conductivo

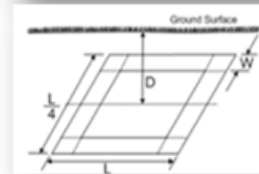


1	Electrodo # 2/0 tipo Horizontal
2	Cemento conductivo Sant Earth
3	Grava - Piso Terminado
4	Tierra con acopladores de baja resistividad
5	Relleno natural

RESISTENCIA DE MALLA CON CEMENTO CONDUCTIVO Y VARILLAS DE CU

ELECTRODO PERIMETRAL DE CONTRAPESO	# HILOS
Lado Largo de la malla (m):	4,60 3
Lado ancho de la malla (m):	4,60 3
Resistividad del suelo (Ω / m):	26,07
L: Longitud total de la zanja (m):	28
W: Ancho de la zanja (m):	0,4
D: Profundidad de la zanja (m):	0,4
R : RESISTENCIA OBTENIDA (OHMS)	1,54

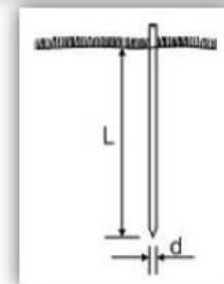
$$R = 1.12 \times \frac{\rho}{2.73L} \log_{10} \frac{2L^2}{WD}$$



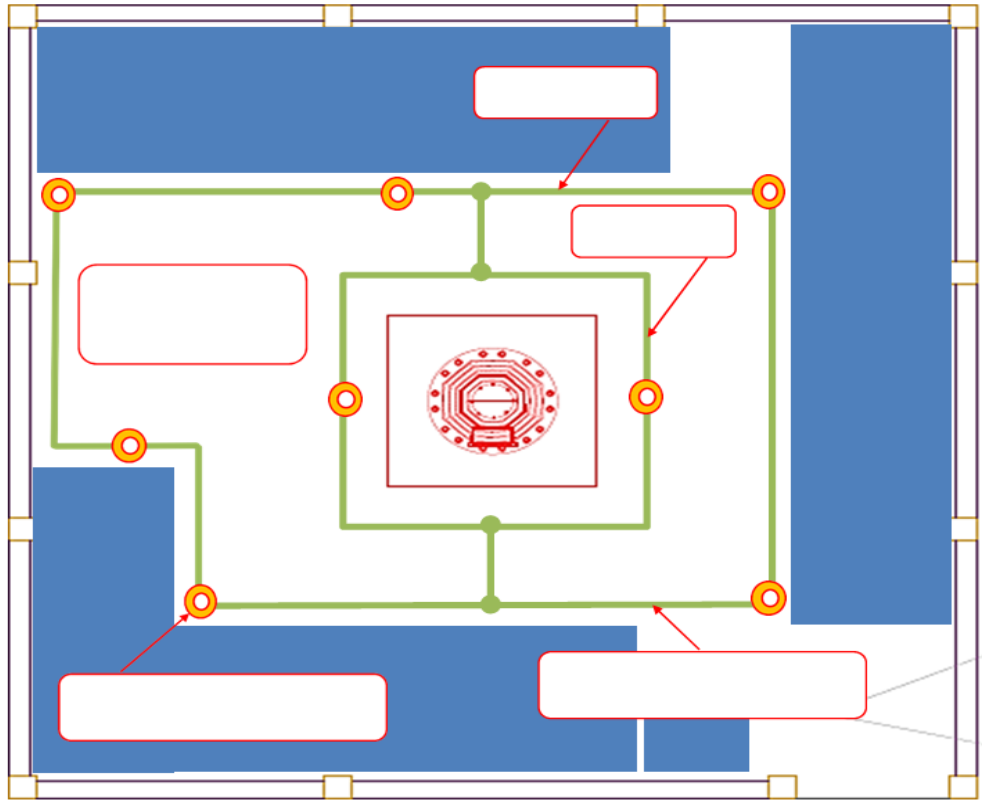
NUMERO DE BULTOS DE CEMENTO CONDUCTIVO SANT EARTH POR SACO DE 25 Kg	7
---	----------

ELECTRODOS VERTICALES	
Varilla Cu de 5/8" x 1,80 m - 250 μ (und):	8
Electrodo tipo quimico / grafito (und):	N/A
Resistividad del suelo (Ω / m):	26,07
L: Largo (m):	1,8
D: Diametro (m):	0,016
Resistencia obtenida por 1 electrido (Ω):	14,09
RESISTENCIA OBTENIDA POR GRUPO DE ELECTRODOS (OHMS)	1,76

$$R = \left| \frac{\rho}{2.73L} \log_{10} \frac{4L}{d} \right|$$

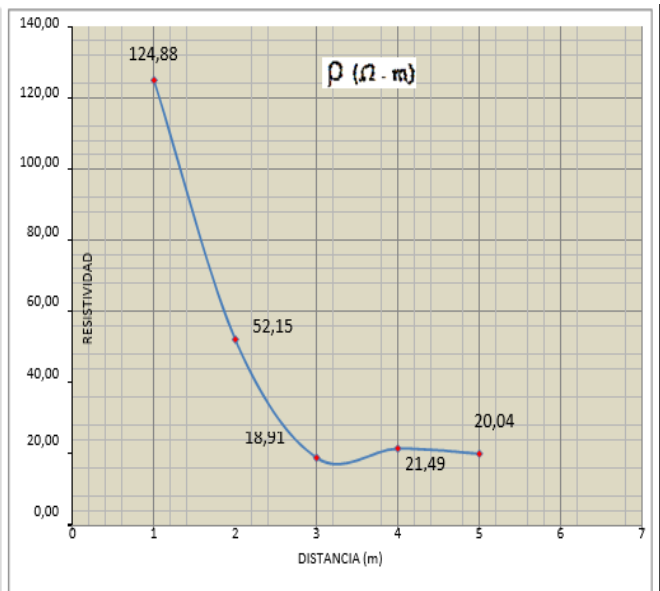
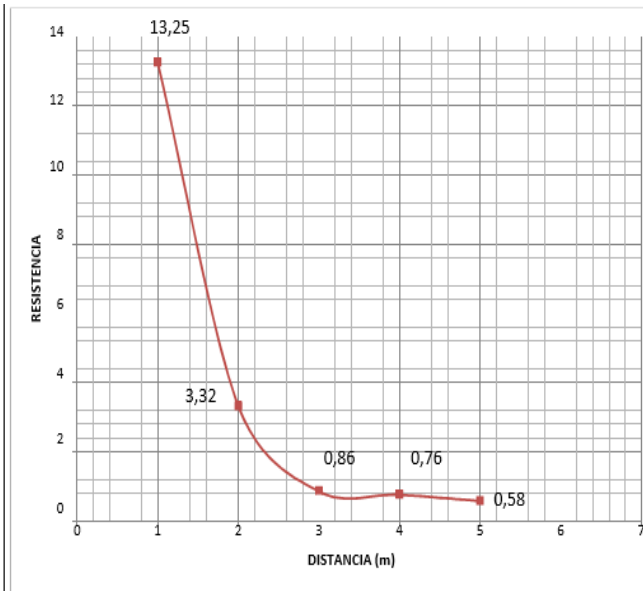


RESISTIVIDAD DEL SUELO (ohms.m)	26,071
RESISTENCIA TOTAL ELECTRODOS VERTICALES Y HORIZONTALES (Ω)	0,82



ANEXO 3: Reporte de medición en campo para determinar la resistividad de suelo

Naturaleza del Terreno	Resistividad Ω/m		Ubicación Sistema PAT		Estación del Climática		Condiciones del Perímetro y su Entorno			
			Sótano- Subsuelo	Jardinera o Campo	Invierno	Verano	Rio o Canal de Agua	Mar Abierto		
Terrenos fangosos	30					X				
Limo	20 a 100	X	Elevación Montañosa	X	Condiciones del Terreno		Cerro - Montaña	X		
Humus	10 a 150		Sector Urbano	X	Húmedo		Industrias			
Turba húmeda	5 a 100		Sector Industrial		Seco	X	Sub Estación Eléctrica			
Arcilla plástica	50		Región		Condiciones de Prueba para Medición					
Arcillas compactas	100 a 200		Costa	X	Método Utilizado para Mediciones de Campo		Wenner			
Margas del jurásico	30 a 40		Sierra		Distancia del Electrodo H-S-ES-E / D (m)		1-2-3-4-5			
Arena arcillosa	50 a 500		Oriente		Temperatura del Terreno		30 °C			
Arena silicea	200 a 3.000		Insular		Área de Medición (m ²)		1X20 = 15 m ²			
Suelo pedregoso cubierto	300 a 500		RESISTIVIDAD EQUIVALENTE EN TERRENO				NORMA	VARILLA ESTACAS	X	
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3.000		# Estratos:	4	Orientación:	0 - NORTE		PLACAS		
Calizas blandas	100 a 300		Distancia D= mts,	Resistencia medida por TERROMETRO	Resistividad Especifica en Función de D					
Calizas compactas	1000 a 5000		1	13,25 Ω	124,88 Ω / m					
Calizas agrietadas	500 a 1000		2	3,32 Ω	52,15 Ω / m					
Pizarras.	50 a 300		3	0,86 Ω	18,91 Ω / m					
Relleno compacto	800	X	4	0,76 Ω	21,49 Ω / m					
			5	0,58 Ω	20,04 Ω / m					
CALCULO DE LA RESISTENCIA DE SUELO			$R_{\text{equivalente}} (\Omega/mt) = 26,07$							
Resistividad Equivalente en Función del Área METODO BURGSDORF YAKOBS	$\rho_e = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\rho_i} (F_i - F_{i+1})}$									
CARACTERISTICAS DE TELUOMETRO						$\rho_{\text{e}} = \frac{2D + 1}{2} \times R$				
Marca de Teluómetro:	Megabras	Frecuencia de Operación	Inmunidad a Ruido							
Modelo:	MTD 20Kwe									
Rango de Medición:	0 - 20 kohm	Temperatura:	50 a 10 °C							
Rango de Tensión:	0 - 200v	Humedad:	95% RH							
Frecuencia de Operación:	1470 Hz									
GRAFICO RESISTIVIDAD DE SUELO			Característica de Resistividad:		Ascendente	X				
			Resistente		Descendente					



OBSERVACIONES	
1	El terreno donde se asentará la radio base, es de tipo terraplén y contiene relleno compacto, instalado en el sitio.
2	Las pruebas se realizan en verano, por lo que se denota una capa superficial seca.
3	Se toman como referencia 5 puntos unidireccional.

ANEXO 4: Mediciones de campo y reporte fotográfico de muestreo de suelo con Terrómetro



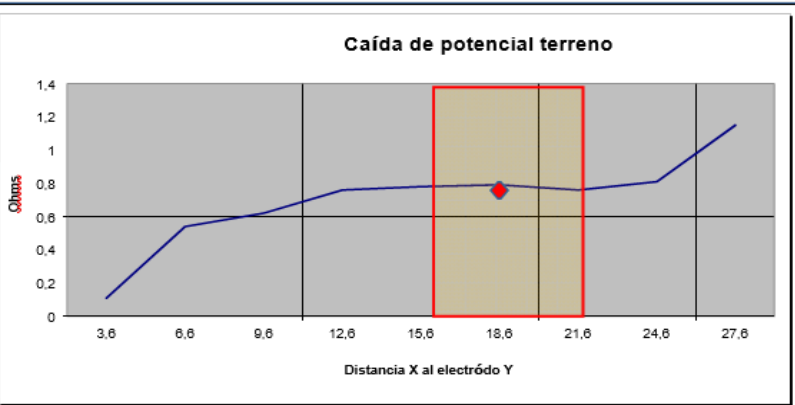
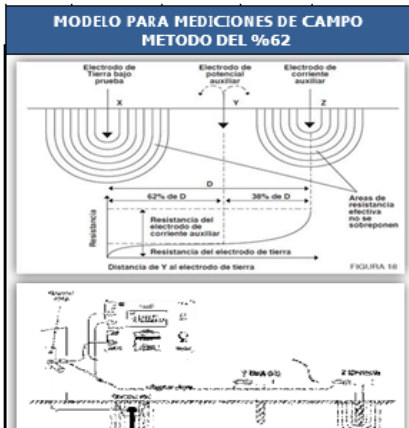
Reporte fotográfico de muestreo de suelo con Terrómetro



ANEXO 5: Reporte de medición en campo para determinar la resistencia de mallas "SPTA"

Gestión de Operaciones & Servicios Técnicos Mecánica - Electricidad - Electrónica Sistema Integral de Puesta a Tierra		REPORTE DE MEDICIÓN EN CAMPO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DE MALLAS "SPTA"					
Cliente:		INMOKENT S.A	Atención:	Ing. Javier Granados G.	Fecha: 03/12/2019		
Nombre del Site:		RBS Omega	Dirección:	Ciudadela Villa Club - Sector Hermes			
Ubicación:		Ubicado a un costado de la cantera	Coordenadas:	S: 2°1'58,94"	W: 79°53'31,79"		
			Anteproyecto:	Emplazamiento de SPAT y SPCR			
		Asentamiento del SPTA	Perímetro - Entorno		Región Ubicación		
SPAT		Sistema de Puesta a Tierra	Sótano- Subsuelo	Río o Canal de Agua			
SPCR		Sistema Protección contra Rayos	Parterre - Vereda	Mar Abierto	Costa X		
RSPAT		Medición Resistencia de Puesta a Tierra	Elevación Montañosa	Cerro - Montaña	Sierra		
DM		Diagonal Mayor de Malla SPT	Sector Urbano	Industrias	Oriente		
E3		Electrodo de Corriente	Sector Rural	Sub Estación Eléctrica	Insular		
E2		Electrodo de Potencial	Sector Industrial	Condiciones de Emplazamiento del SPTA			
Modelo y Condiciones de Prueba para Medición		Estación del Climática		Diseño existente para malla SPAT	Reticular		
Método Utilizado para Mediciones SPT		CP - 62%	Invierno	Área de la Malla	14 m ²		
Longitud Diagonal Mayor DM (mts)		5	Verano	Número de mallas instaladas	2		
Electrodo de Corriente E3 (mts)		30	Condiciones del Terreno		Calibre de Cable de contrapeso		
			Suelo Húmedo		# 2/0		
			Suelo Seco	X			
Escala		Caída de Potencial	Dist. E2 (mts)	R (Ω) Equipo	Tensiones Parasitas (v)	Modelo y Tipo / Electrodo Verticales Instalados	Varilla Cu 5/8" x 1,80 m
						Union Equipotencial Efectiva	Si
						Temperatura Terreno	31 °C
						Malla tipo:	Telecomunicaciones - Fuerza AC - Pararrayos
20 Ω		12%	3,6	0,11		R_{spat} = 0,79 Ω	
		22%	6,6	0,54			
		32%	9,6	0,62			
		42%	12,6	0,76			
		52%	15,6	0,78			
		62%	18,6	0,79	1,20		
		72%	21,6	0,76			
		82%	24,6	0,81			
92%	27,6	1,15					

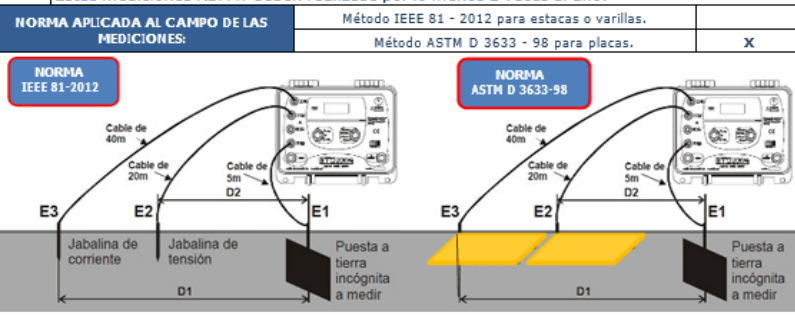
GRAFICO DE CAIDA DE POTENCIAL POR METODO DEL 62%



- Observaciones**
- 1 En el sitio se implementan 2 mallas equipotencializado entre sí.
 - 2 El terreno es de compactación o relleno.
 - 3 Las mediciones muestran un resultado satisfactorio ($\leq 1 \Omega$), establecida dentro de la norma expuesta en este documento.
 - 4 Estas mediciones RSPAT deben realizarse por lo menos 2 veces al año.

(IEC 60601-1 Clause 18.e) (Edition 2 Scheme) / (IEC 60601-1 Clause 8.6.7 (Edition 3 Scheme))

Estructuras líneas de transmisión	20 Ω	
Subestación de alta tensión	1 Ω	
Subestación de media tensión	10 Ω	
Pararrayos SPCR	10 Ω	X
Neutro baja tensión	25 Ω	
Tableros Electricos BT	15 Ω	
Equipos telecomunicaciones	5 Ω	X
Equipos Electrónicos	1 Ω	
Equipos Médicos	1Ω	
Mallas Industriales	5 Ω	
Descargas Electrostáticas	25 Ω	



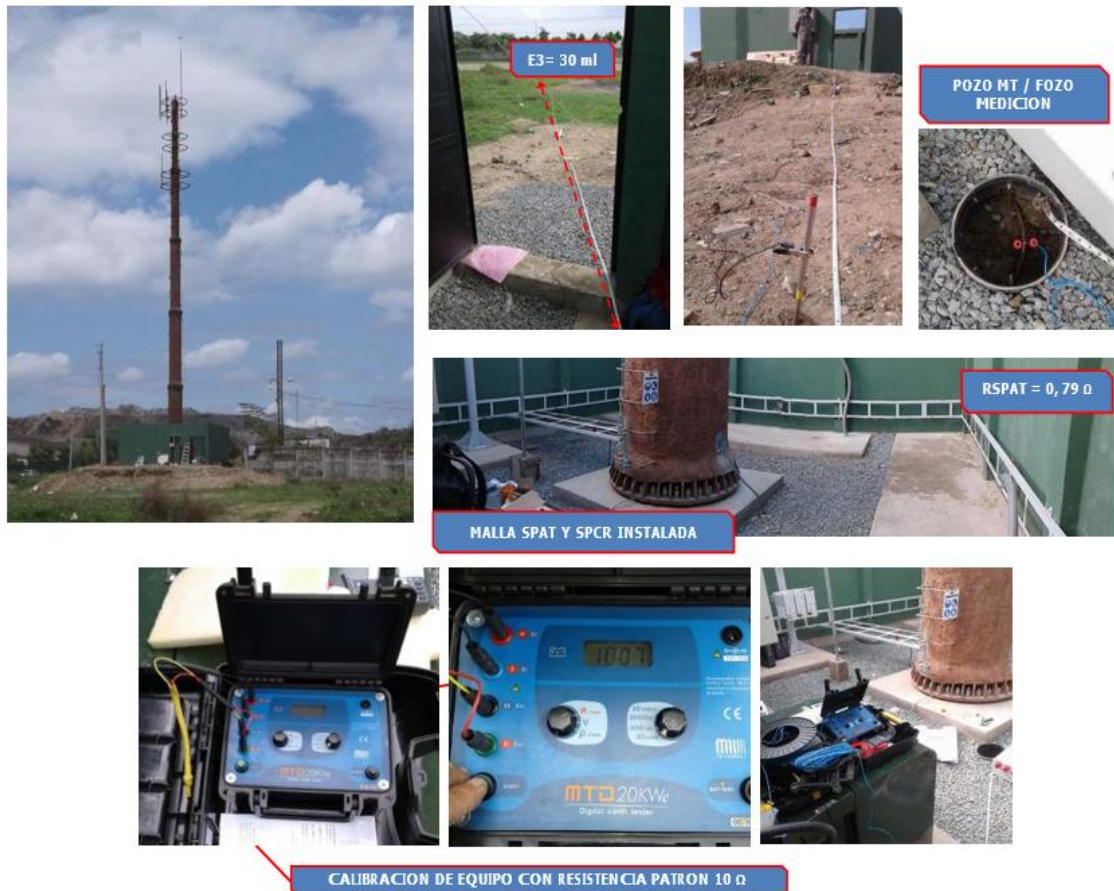
ANEXO 6: Reporte de Medición en campo para determinar la resistencia de mallas "SPTA"

TERISTICAS DE TELUOMETRO				
Marca de Teluometro:	Megabras	Frecuencia de Operación Inmunidad a Ruido	$f_g = \frac{2n+1}{2} \times f_i$	Rango Ω
Modelo:	MTD 20Kwe			0-20K
Rango de Medición:	0 - 20 k ohm			0-2000
Rango de Tensión:	0 - 200v			0-200
Frecuencia de Operación:		1470 Hz	Humedad:	95% RH



MEDICIONES DE CAMPO CON TERROMETRO			
 <p style="background-color: #0056b3; color: white; padding: 2px; text-align: center; font-weight: bold;">52%</p>	 <p style="background-color: #0056b3; color: white; padding: 2px; text-align: center; font-weight: bold;">62%</p>	 <p style="background-color: #0056b3; color: white; padding: 2px; text-align: center; font-weight: bold;">72%</p>	 <p style="background-color: #0056b3; color: white; padding: 2px; text-align: center; font-weight: bold;">TENSIONES PARASITAS</p>

Reporte fotográfico de muestreo de suelo con terrómetro





Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Moran Acosta, Carlos Andrés** con C.C: 0919727800 autor del Trabajo de Titulación **Sistema eléctrico en radiobases celulares con medidas de mimetización en base a norma ISO 14001:2004**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Eléctrico-Mecánica** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 17 de septiembre del 2021

Moran Acosta, Carlos Andrés

C.C: 0919727800



REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Sistema eléctrico en radiobases celulares con medidas de mimetización en base a norma ISO 14001:2004		
AUTOR(ES)	Moran Acosta, Carlos Andrés		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Luis Orlando Philco Asqui		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Eléctrico-Mecánica		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Eléctrico-Mecánica		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	17 de septiembre del 2021	No. DE PÁGINAS:	95
ÁREAS TEMÁTICAS:	Mediciones eléctricas, Protecciones eléctricas, Radiobases		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Energía eléctrica, Puesta a tierra, Descargas eléctricas. Resistividad de terreno, Gestión ambiental		
<p>Se presenta el trabajo de titulación que tiene como objetivo principal diseñar un sistema de puesta que tolere corrientes de cortocircuito durante el tiempo transcurrido entre la producción de la falla y la actuación de las protecciones e interruptores. Al diseñar un sistema puesta a tierra seguro evitaría que operase grupos electrógenos que en su desempeño de forma colateral puede existir consumo exagerado de combustible y así mismos derrames del mismo. Como metodología se emplea; el método descriptivo que genera un marco teórico sobre puesta a tierra y calidad de la energía eléctrica. Se emplea el método empírico por procedimientos de obtención de datos y manejo de equipo de medición de impedancias, resistividad del terreno. Se emplea el método comparativo para evaluar criterios de mimetización a las estructuras metálicas de radiobases celulares. El resultado o propuesta de este trabajo de titulación es un diseño de puesta a tierra robusto para enviar corrientes a tierra, provenientes de eventos transitorios, tales como, descargas atmosféricas o por actuación de los pararrayos frente a sobretensiones, de tal manera que grupos electrógenos intervengan con poca frecuencia, así se cumple también criterios de gestión ambiental ISO 14001-2004 en cuanto a implantaciones de estaciones base con uso de energía eléctrica confiable.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593 0994006107	E-mail: chito_isaac@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
	Teléfono: 593-967608298		
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			