UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
POSTGRADO EN GESTION DEL MANTENIMIENTO

TESIS DE MAESTRIA

MEJORA DEL MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA EN REDES DE TERMINAL DE APERTURA MUY PEQUEÑA UTILIZADAS EN COMUNICACION DE TELEFONIA RURAL SATELITAL

Tesis de Postgrado para obtención del Grado de Maestría en Gestión del Mantenimiento

Por: Lic. Javier Nicolas Yujra Tarqui

Tutor: Mg. Ing. Fabián Amado Tito Luque

La Paz - Bolivia
Marzo, 2018

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

FACULTAD DE TECNOLOGÍA

POSTGRADO EN GESTION DEL MANTENIMIENTO

Tesis de Postgrado:

MEJORA DEL MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA EN REDES DE TERMINAL DE APERTURA MUY PEQUEÑA UTILIZADAS EN COMUNICACION DE TELEFONIA RURAL SATELITAL

Presentado por: Lic. Javier Nicolas Yujra Tarqui

Para optar el grado académico de: Magister en Gestión del Mantenimiento

Nota numeral: …….…….

Nota literal: …….

Ha sido: …….……..…….

Coordinador del Postgrado: M.Sc. Ing. Victor Hugo Herrera Cusicanqui

Tutor: Mg. Ing. Fabián Amado Tito Luque

Tribunal: M.Sc. Lic. Edwin Jesús Alave Alavi

Tribunal: M.Sc. Lic. Luis Fernando Pocorey Choque

DEDICATORIA

- A Dios por haberme permitido culminar este trabajo y por su gracia de permitirme de estar con vida.

- A mí querida esposa Sonia por su apoyo constante en todo tiempo en que duro realizar este trabajo.

- A mis hijos David, Mariana y Laura que son la fuerza de todos los días para seguir luchando en la vida.

- A mi familia y todas las personas que estuvieron alentándome en el desarrollo de este trabajo.

Javier.

AGRADECIMIENTOS

- Agradezco a Dios que me ha dado fortaleza para iniciar, desarrollar y culminar este trabajo.

- A mi esposa Sonia por su inquebrantable apoyo y aliento y con la que comparto este logro, también a mis hijos David, Mariana y Laura por ser la inspiración en mi vida.

- A mi tutor Mg. Ing. Fabian Amado Tito Luque por la confianza que puso hacia mí persona para desarrollar este trabajo y por un ejemplo como profesional.

- A mis tribunales M. Sc. Lic. Edwin J. Alave A. y M. Sc. Lic. Luis F. Pocorey Ch. por sus oportunas sugerencias y la paciencia en el desarrollo del presente trabajo.

- Agradezco al M. Sc. Ing. Carlos Andrade por su apoyo incondicional en el desarrollo de la Maestría.

- Gracias a todas las personas, amigos y familiares que me ayudaron directa e indirectamente en la realización de este trabajo.

Javier Nicolas Yujra Tarqui.

INDICE GENERAL

CONTENIDO ..... PAGINA

INDICE DE TABLAS viii

INDICE DE GRÁFICAS ix

INDICE DE FIGURAS xi

RESUMEN xivii

ABSTRACT xv

CAPITULO I 1

GENERALIDADES 1

1. Introducción. 1
2. Planteamiento del problema. 2
   2.1. Identificación del problema. 2
   2.2. Formulación del problema. 3
   2.3. Delimitación de la investigación. 4
3. Objetivos de la investigación. 4
   3.1. Objetivo general. 4
   3.2. Objetivos específicos. 4
4. Justificación. 5
5. Hipótesis y variables de la investigación. 5

CAPITULO II 7

MARCO TEORICO 7

2.1. Conceptos de redes VSAT. 7
2.2. Estación receptora VSAT. 8
2.3. Componentes de los sistemas VSAT. 8
   2.3.1. Unidad exterior (OUTDOOR UNIT). 9

2.3.1.2. Unidad interior (INDOOR UNIT). 9
2.4. Estructura general del diagrama de conexión.....12
2.5. Sistema de puesta a tierra (SPT).....14
2.6. Sistema de aterramiento en un sistema VSAT. 16
2.7. Definiciones y conceptos básicos.....21
2.8. Características de los suelos. 22
2.9. Constitución del terreno. 22
2.10. Resistividad del terreno. 23
2.11. Efectos la humedad sobre la resistividad del terreno. 23
2.12. Efectos de la humedad y sales disueltas sobre la resistividad del terreno.....24
2.13. Efectos de la temperatura sobre la resistividad del terreno. 26
2.14. Efectos del tipo de suelo sobre la resistividad del terreno.....27
2.15. Métodos para la medición de la resistividad del suelo. 28
2.15.1. Medida de la resistividad del suelo por el método de caída de potencial... 29
2.15.2. Medida de la resistividad del suelo por el Método de Wenner 30
2.15.3. Medida de la resistividad del suelo método de Schlumberger-Palmer ..32
2.16. Concepto de corrosión.....33
2.16.1. Clasificación de los procesos de corrosión.....34
2.16.1.1. Corrosión uniforme.....36
2.16.1.2. Corrosión localizada. 37
2.16.1.3. Corrosión galvánica. 37
2.17. Corrosión en suelos. 38
2.17.1. Agresividad del suelo en función a su resistividad y del pH.....38
2.18. Clasificación geológica de los suelos de las diferentes zonas geográficas del departamento de La Paz. 40
2.18.1. Zonificación del Departamento de La Paz. 40
2.18.2. Características de los suelos en el departamento de La Paz.....41
2.18.2.1. Suelos de la Cordillera Occidental.....44
2.18.2.2. Suelos de la Cordillera Oriental.....44

2.18.2.2.1. Suelos de alta montaña. 44
2.18.2.2.2. Suelos del piso alto andino. 44
2.18.2.2.3. Suelos de las laderas orientales de los Andes (Yungas). 45
2.18.2.2.4. Suelos de los valles interandinos. 46
2.18.3. Suelos del Altiplano. 46
2.18.4. Suelos del Subandino. 47
2.18.5. Suelos de la Llanura Beniana. 47
2.18.6. Suelos del ondulado Amazónico. 48
CAPITULO III..... 55
MARCO METODOLOGICO 55
3.1. Tipo de estudio. 55
3.2. Diseño de la Investigación. 55
3.3. Recolección de datos. 56
3.3.1. Muestra de la población. 56
3.4. Técnicas de investigación y análisis. 56
3.4.1. Técnicas de recolección de datos. 57
3.4.2. Expresión de datos. 57
CAPITULO IV 58
MARCO PRÁCTICO 58
4.1. Metodología de mantenimiento preventivo. 58
4.2. Determinación del valor de la probabilidad. 58
4.3. Obtención de datos estadísticos de instalación de los Sistemas de Puesta a Tierra de las redes VSAT. 60
4.4. Desarrollo del estudio de Corrosión de la varilla de cobre. 65
4.4.1. Análisis de muestras por absorción atómica. 65
4.4.2. Análisis de muestras por efectos de la corrosión en la pérdida de peso. 69
4.4.2.1. Resultados de las muestras medidas en laboratorio. 70
4.4.3. Verificación y obtención de las medidas de resistencia del Sistema de Puesta a Tierra. 74

4.4.4. Influencia de la acidez y alcalinidad del suelo en la corrosión. 77
4.4.5. Mantenimiento basado en el Riesgo. 79
4.4.6.1. Plan de mantenimiento.....83
CAPITULO V 87
RESULTADOS Y CONCLUSIONES 87
5.1 Análisis del funcionamiento de las redes VSAT. 87
5.2 Comprobación de la hipótesis. 88
5.3. Conclusiones. 90
5.4. Recomendaciones. 92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 94
ANEXOS A 98
PALABRAS CLAVES.....98
ANEXOS B 100
GALERIA DE FOTOS 100
ANEXOS C 112
DATOS DE LABORATORIO.....112
ANEXOS C 116
MANUALES Y DATOS TECNICOS DE REFERENCIA 116
ANEXOS D 122
REFERENCIA DE NORMAS INTERNACIONALES.....122
ANEXOS E..... 125
TECNICA DE MEDICION DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA POR EL METODO DE CAIDA DE POTENCIAL 125

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Efecto de la humedad en la resistividad del Terreno 25
Tabla 2. Efecto de la sal en la resistividad del Terreno 26
Tabla 3. Efecto de la Temperatura en la Resistividad del Terreno 27
Tabla 4. Resistividad de diferentes suelos 28
Tabla 5. Grado de agresividad del suelo en función de la resistividad 38
Tabla 6. Relación entre pH y Corrosividad.....39
Tabla 7. Rangos típicos de pH y materia orgánica de suelos del Departamento de La Paz 42
Tabla 8. Matriz de priorización de Riesgo 53
Tabla 9. Nivel de probabilidad de fallo.....54
Tabla 10. Valores recomendados de resistencia de puesta a tierra según el tipo de instalación 59
Tabla 11. Datos estadísticos de las redes VSAT 62
Tabla 12. Resultados de laboratorio de las muestras de concentración de cobre 67
Tabla 13. Resultados de muestras en laboratorio 72
Tabla 14. Resultados de las mediciones actuales en los sitios.....77
Tabla 15. Clasificación de los suelos en función del pH 78
Tabla 16. Referencia de nivel riesgo 79
Tabla 17. Matriz de riesgo 80
Tabla 18. Sitios VSAT que requieren un urgente mantenimiento 82
Tabla 19. Secuencia de mantenimiento diagrama de Gantt 83
Tabla 20. Herramientas, Instrumentos y Materiales para el mantenimiento 84
Tabla 21. Cronograma de Mantenimiento 85
Tabla 22. Ficha técnica de mantenimiento 86

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Variación de la resistividad del suelo con respecto a la humedad a diferentes frecuencias. 25
Gráfica 2. Gráfica Resistencia versus Tiempo de instalación 64
Gráfica 3. Gráfica del comportamiento de la concentración de cobre en relación a los años de instalación 68
Gráfica 4. Gráfica de resultado peso de la varilla versus años de funcionamiento.....73

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama Típico de una estación VSAT para voz y datos 8
Figura 3. Vista de un sistema VSAT Outdoor ..... 10 viii
Figura 2. Imágenes de una Antena de una red VSAT 10
Figura 4. Equipos sistema DAMMA 1000 de Unidad interior (INDOOR UNIT) de una red VSAT 11
Figura 5. Sistema SHIROM Equipos de Unidad interior (INDOOR UNIT) de una red VSAT 11
Figura 6. Diagrama de bloques del sistema DAMMA 12
Figura 7. Diagrama de bloques del sistema SHIROM 13
Figura 8. Diagrama de conexión a tierra en la red VSAT 14
Figura 9. Diagrama de la malla SPT 17
Figura 11. Soldadura exotérmica cadwell 18
Figura 10. Instalación del sistema de puesta a tierra 18
Figura 12. Instalación del sistema de puesta a tierra de una red VSAT..... 19
Figura 13. Detalle de Cámara de inspección 19
Figura 14. Diagrama de una fosa para varilla de cobre..... 20
Figura 15. Fotografías de una fosa y varilla o jabalina de cobre 20
Figura 16 - A Prueba de resistencia de la tierra por el método de Caída de Potencial . 30
Figura 16 - B Prueba de resistencia de la tierra Método Wenner…….31
Figura 16 - B Prueba de resistencia de la tierra Método Schumlumberger ……32
Figura 17. Muestra de varilla de cobre con efecto de corrosión uniforme 33
Figura 18. Muestra de varilla de cobre con efecto de corrosión localizada 34
Figura 19. Ejemplos de corrosión generalizada y localizada. 35
Figura 20. Corrosión Uniforme 36
Figura 21. Corrosión Localizada 37
Figura 22. Clasificación del pH en el suelo 39
Figura 23. Perfil de Clasificación de grandes unidades fisiográficas 41

Figura 24 Clasificación de grandes unidades fisiográficas 43
Figura 25. Diagrama causa-efecto 51
Figura 26. Árbol de fallas 59
Figura 27. a) y b) Probetas de las varillas de cobre para ensayo 69
Figura 28. Varilla de cobre con efecto de la corrosión 70
Figura 29. Balanza Analítica KERN ABS-N- ABJ-NM 71
Figura 30. Modo de conexión de las sondas Medidor de tierra utilizado 75
Figura 31. Medidor de tierra utilizado 75
Figura 32. Medidas en sitio de la resistividad del suelo 76
Figura 33. Lectura de las medidas en sitio de la resistividad del suelo 76
Figura 34. Instrumento medidor de tierra y sus componentes 100
Figura 35. Medición del sistema de puesta a tierra en la cámara de inspección 100
Figura 37. Varillas de cobre 101
Figura 36. Realizando las medidas de resistencia en el sitio 101
Figura 38. Realizando las medidas de resistencia en el sitio 102
Figura 39. Mediciones en sitio de los sistemas de puesta tierra 102
Figura 41. Instalación de una VSAT y su sistema de puesta a tierra. 103
Figura 40. Mediciones en sitio de los sistemas de puesta tierra 103
Figura 42. Instalación de una VSAT y su sistema de puesta a tierra 104
Figura 43. Realizando la extracción de la muestra de la varilla de cobre y reemplazando la misma 104
Figura 45. Instalación de la varilla del sistema de puesta a tierra 105
Figura 44. Efectuando la medición de la resistencia de tierra en el sitio 105
Figura 46. Soldadura exotérmica entre la varilla de cobre y el conductor de malla ...106
Figura 47. Tamizado de la tierra para relleno de la fosa 106
Figura 49. Mediciones de resistencia de puesta a tierra 107
Figura 48. Redes VSAT en el Departamento de La Paz 107
Figura 51. Medida de resistencia de puesta a tierra 108
Figura 50. Mantenimiento de una red VSAT en el Departamento de La Paz 108
Figura 52. Muestra de varilla de cobre 109

Figura 53. Probetas de las muestra de varilla de cobre 109
Figura 54. Varilla de cobre extraído con efecto de la corrosión 110
Figura 55. Técnico realizando ensayo de Absorción Atómica 110
Figura 56. Laboratorio de ensayo químico Absorción Atómica 111
Figura 57. Análisis en laboratorio de las muestras de las varilla de cobre por pérdida de peso 111

RESUMEN

El siguiente trabajo tiene por objetivo el de realizar un estudio de los sistemas de puesta a tierra en las redes VSAT, el cual comprende de un conjunto de electrodos o varillas de cobre que son las partes conductoras que en contacto con tierra, permiten drenar hacia ésta, todas las corrientes de falla, peligrosas para la integridad de las personas y de los equipos electrónicos. Uno de los efectos estudiados es la corrosión de esta varillas al ser expuestos a las condiciones propias de los diferentes tipo de suelos en los que son enterrados para que cumplan su función, es entonces que se realiza un estudio referente a estos efectos, los cuales afectan de alguna manera a la confianza y seguridad de estos sistemas, y que trabajen sin tener ningún problema.

Para esto se recolecto datos iniciales de instalación de los sistemas de puesta a tierra además que se utilizó datos estadísticos propios de funcionamiento, y se realizó el proceso de validación del método de análisis corrosión utilizando el método de análisis químico como ser la Absorción Atómica, además de usar métodos de pérdida de peso en el dispositivo, lo cual se realizó haciendo uso de herramientas necesaria para la valoración de la veracidad de los resultados. Con esto se pudo identificar la concentración de cobre en las muestras, lo que permitió establecer que la corrosión en uno de los factores que afecta la resistencia del sistema de puesta a tierra todo esto en función al tiempo y a los factores del suelo al que son expuestas las varillas.

Una vez considerada el riesgo del deterioro de la varilla de cobre por la corrosión subterránea que es un factor importante, se pudo realizar en plan de mantenimiento, donde se recomienda el cambio inmediato de los sistemas de puesta a tierra de las redes VSAT, que están en la zona de alto riesgo, de esta manera garantizar un valor de la resistencia de puesta tierra que este dentro un rango aceptable.

ABSTRACT

This research paper aims to study the grounding systems in the VSAT networks, which consist of a set of copper rod electrodes. Grounding electrodes are buried in the ground to drain all the electrical currents which can be dangerous to operators and on-ground electronic equipment. One of the studied phenomenon is the corrosion of the grounding electrodes which occurred after they are buried and exposed to the different types of soil. The objective of this study is to create some positive effects to the systems´ reliabilities and security systems in order for them not to function without any problem.

For this, the initial data of the installation of grounding systems was collected, in addition to the statistical data used for operation and the validation process of the corrosion analysis method using the chemical analysis method such as Atomic Absorption. Also the weight loss methods of the device were exercised, using tools necessary for the assessment of the accuracy of the results. With all, it was made possible to identify the concentration of copper in the samples, which allowed establishing the corrosion in one of the factors affecting the resistance of the grounding system in function to time and to the factors of the soil to which the rods are exposed.

Once the risk of deterioration of the copper rod, due to underground corrosion, is considered, which is an important factor; it was possible to carry out the maintenance plan where it is recommended to immediately change the grounding systems of the VSAT networks, which are in the high risk zone. This method guarantees the value of the grounding resistance within an acceptable range.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1. Introducción.

Los sistemas de telecomunicaciones en la actualidad son una necesidad en un mundo globalizado y existen sistemas que necesitan mayor cuidado porque presentan algunas características eléctricas particulares, como ser sensibilidad a los cambios bruscos en condiciones de operación, sistemas de puesta a tierra que disminuyen las tensiones de objetos metálicos que se encuentran influenciados por inducciones eléctricas.

Las redes VSAT (Very Small Aperture Terminal - Terminal de apertura muy pequeña), son redes privadas de comunicación diseñadas a la medida de las necesidades de las compañías que las usan, utilizan un sistema de comunicación satelital para intercambio de información punto a punto, punto a multipunto o interactivo. Estas redes se basan en el establecimiento de enlaces satelitales entre una o un gran número de estaciones remotas equipadas con antenas de pequeño tamaño (VSAT) con una estación central.

Actualmente en nuestro país desde la década de los 80s la gestión de telefonía rural, está a cargo de la empresa ENTEL S.A., empresa que en este periodo fue innovando los sistemas de comunicación emergentes como ser: El sistema satelital DOMSAT, el sistema MAR (múltiple acceso rural), El sistema MIR (múltiple acceso inalámbrico rural), el sistema de telefonía celular, y el sistema satelital VSAT STM, SHIROM - DAMA 10000. (ENTEL S.A. , 2010)

Se debe señalar que los sistemas de comunicación satelital permiten utilizar telefonía como él envió de datos en lugares de difícil acceso, es por eso que la empresa nacional ENTEL S.A. da el visto bueno para la implementación del sistema de comunicación

satelital STM DAMA 10000 (finales de 1999), que básicamente viene a proporcionar una línea telefónica rural a las poblaciones bolivianas, a través de una antena VSAT (Terminal de Muy Pequeña Apertura) de 1.8 metros y un modulo del Subscriptor de Servicios Terrestres (SES), que trabaja en banda C.

Las técnicas de protección son indispensables y necesarias en cualquier sistema, es entonces que poseer un buen sistema de puesta a tierra es imprescindible para mantener buenos niveles de seguridad en todos los componentes de una red VSAT.

2. Planteamiento del problema.

2.1. Identificación del problema.

La necesidad de contar con un medio de comunicación que permita llevar la información desde los centros urbanos y lugares alejados de nuestro país ó simplemente el estar comunicado con el mundo en forma general, ha llevado a utilizar nuevas alternativas tecnológicas y en lo que se refiere a las telecomunicaciones, una de ellas son los sistemas VSAT, se debe tomar en cuenta el mantenimiento que se le debe dar exclusivamente a sus sistemas de protección, en lo que se refiere al sistema de puesta a tierra el mismo deberá cumplir necesariamente ciertas exigencias de instalación y de funcionamiento. (NEXT LEVEL, 1999)

Actualmente en nuestro país la Empresa Nacional de Telecomunicaciones S.A. presta el servicio de telefonía satelital en el área rural con más de un millar de estaciones remotas, muchas de estas funcionando desde ya casi más de quince años, el requerimiento al momento de la instalación y puesta en funcionamiento de estas redes VSAT tiene una exigencia técnica el cual garantiza un nivel de resistividad menor o igual 5 ohmios, el cual se lo realiza con el método de medición de caída de tensión.

En las redes VSAT actualmente se realiza la medición de la resistencia de puesta a tierra con el instrumento medidor de resistencia de la puesta a tierra y de la resistividad

del suelo, en los sistemas ya colocados, de los cuales se toman datos y se los compara con los antecedentes iniciales de instalación.

Este sistema de puesta a tierra (SPT) consiste en una o varias varillas de cobre ubicadas en el suelo, con una longitud mínima de 2,40 metros y un grosor de 5/8". De su extremo superior se deriva, por medio de un empalme, un hilo conductor en cobre, que ingresa a la instalación eléctrica haciendo contacto con todas las partes metálicas que la conforman. El empalme entre el cable y la varilla debe ser elaborado mediante una abrazadera de cobre o utilizando soldadura exotérmica. (ENTEL S.A. , 2010)

Al ubicar las varillas de cobre bajo el suelo se corre el riesgo del deterioro por la corrosión subterránea a la que está sometida dando lugar a un cambio en la estructura física y en la variación del peso originario del dispositivo, lo que ocasiona cambios en las condiciones iniciales del sistema de puesta tierra, lo que afecta directamente a los valores de resistencia del sistema de puesta a tierra por tanto esto de alguna forma afectaría al funcionamiento del sistema VSAT.

Las medidas de estos sistemas se realizan periódicamente por empresas que prestan este servicio, pero los datos obtenidos no son utilizados para planificar actividades de mantenimiento preventivo y correctivo y al no tener una planificación la cual contemple indicadores de fallas y su respectiva acción para la programación de mantenimiento se incrementa la probabilidad y el retardo en la reparación de fallas.

2.2. Formulación del problema.

El desgaste por la corrosión subterránea de la varilla de cobre da lugar a una pérdida total o parcial en peso del componente, lo que significa una variación en el valor inicial del nivel de resistividad del sistema de puesta tierra, lo que representa un peligro al funcionamiento del sistema VSAT.

Las medidas realizadas en los sistemas de puesta a tierra (SPT) de la redes VSAT, afectan a la confiabilidad de funcionamiento de estas redes, en relación a la pérdida de

las características iniciales de funcionamiento y el inadecuado y extemporáneo manutención que actualmente se realiza, es entonces que se requiere realizar un plan de mantenimiento.

2.3. Delimitación de la investigación.

- La investigación se aplicará a los sistemas de puesta a tierra (STP) de las redes VSAT.
- Se realizará un estudio de distintos tipos de instrumentos de medición los sistemas de puesta a tierra para determinar el factor de mantenimiento para recomendar un modelo de mantenimiento a seguir.
- El presente trabajo se desarrollará en función a las redes VSAT instaladas en el departamento de La Paz.

3. Objetivos de la investigación.

3.1. Objetivo general.

Analizar los valores de la resistencia de puesta a tierra, en base a mediciones con el fin de determinar niveles de corrosión subterránea y de pérdida de peso de las varillas de cobre en las redes VSAT.

3.2. Objetivos específicos.

- Realizar el diagnóstico del actual funcionamiento de los sistemas de puesta a tierra (SPT) en las redes VSAT, que se encuentran instalados en el departamento de La Paz.

- Realizar mediciones y ensayos en laboratorio, basado en muestras del material de la varilla de cobre de los sitios de las redes VSAT, para obtener resultados utilizando métodos no destructivo y destructivo.

- En base a la clasificación de las características geológicas de los suelos en las diferentes zonas geográficas del departamento de La Paz, verificar el efecto en la corrosión de las varillas de cobre en relación al pH de estos sitios.

- Identificar los sitios que presentan valores de riesgo en los sistemas de puesta a tierra.

- Proponer un plan de mantenimiento de los sistemas de puesta tierra de las redes VSAT que se encuentren en un rango de alto riesgo.

4. Justificación.

En mantenimiento actual de los sistemas de puesta a tierra de las redes VSAT no cuenta con un cronograma adecuado y tampoco con datos que evidencien la necesidad de intervención inmediata a los mismos, ya que estos son instalados en sitios del área rural.

Este trabajo tiene por finalidad aportar con un cronograma, para mejorar el plan de mantenimiento en los sistemas de puesta tierra (SPT) de las redes VSAT, que permitirá incrementar las capacidades de diagnóstico de forma ordenada y objetiva.

5. Hipótesis y variables de la investigación.

El riesgo de cambio del valor de la resistencia del sistema de puesta a tierra, tiene directa relación con la pérdida de peso y el desgaste por la corrosión subterránea del dispositivo.

Variable Dependiente.

- Riesgo de cambio de valor de la resistencia del sistema de puesta a tierra.

Variable Independiente.

- Pérdida de peso de la varilla de cobre.
- Desgaste por la corrosión subterránea del dispositivo.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Conceptos de redes VSAT.

Actualmente las telecomunicaciones son parte de la vida cotidiana permitiéndonos comunicarnos de múltiples formas de las cuales figura como la más común el teléfono y el internet. En Bolivia existen zonas en el área rural que no cuentan con un servicio adecuado de telefonía e internet esto debido a sus distintas áreas geográficas accidentadas y sus distancias, donde no se puede llegar con cobertura de señal vía terrestre, estas características permiten que existan grandes distancias entre comunidades aisladas con medios de comunicación deficiente o nula. La tecnología de satélites permite lograr dichas comunicaciones a través de estaciones terrestres remotas VSAT (Very Small Aperture Terminal) con servicio de telefonía y datos, perfilándose como un sistema de gran alcance para la intercomunicación entre lugares geográficamente separado.

Las redes VSAT son redes privadas diseñadas para prestar servicios de telefonía básica, internet y otros servicios de valor agregado. Permiten la integración de diversos servicios, los cuales pueden estar accesibles mediante unas pequeñas antenas (diámetro menos a 2.4 metros, típicamente 1.3 metros) instaladas en sitios rurales de muestro País. Las estaciones en cuestión de costos son relativamente baratas y fáciles de instalar si lo comparamos con redes terrestres.

Estos sistemas están orientados principalmente a la transferencia de datos entre unidades remotas y centros de proceso conectados al un HUB.

2.2. Estación receptora VSAT.

Es la estación que está situada en un punto lejano al otro lado de la estación terrena, por medio de ella se recibe toda la información generada en la estación transmisora y retransmitida por el satélite en banda C o Ku, por el cual se accede el servicio de telefonía y datos VoIP. Esta estación comprende de las siguientes partes.

- El sistema de antena
- Unidad Exterior
- Unidad Interior

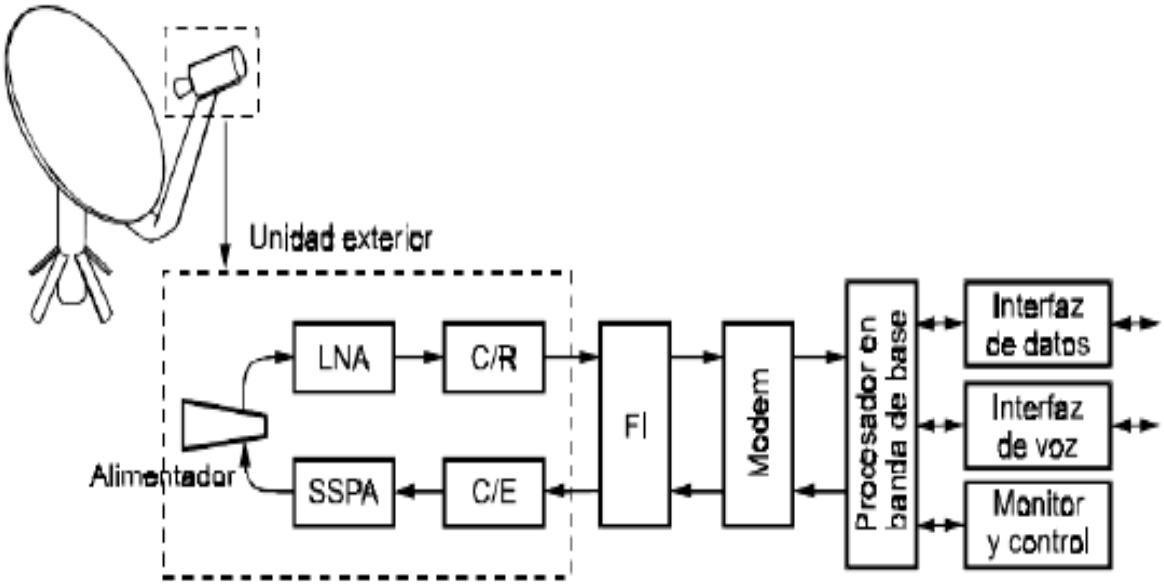


Figura 1. Diagrama Típico de una estación VSAT para voz y datos (Fuente: O&M DE RED LP-OYM-Acceso Rural)

2.3. Componentes de los sistemas VSAT.

Una estación VSAT está compuesta, además de la antena, por una unidad exterior (outdoor) y otra interior (indoor).

2.3.1. Unidad exterior (OUTDOOR UNIT).

La unidad exterior está montada sobre el punto focal de la antena. Se trata del amplificador de RF y el conversor. Se encarga de la interfaz entre el satélite y la estación VSAT, básicamente la unidad exterior se compone de los siguientes elementos:

- Antena de 1.2 a 2.4 metros de diámetro, el cual se encarga de concentrar las señales recibidas desde el satélite o transmitir las informaciones hacia el mismo.

- Sistemas electrónicos el cual compone de un convertidor de alta potencia y amplificador de la señal de transmisión (HPC-BUC). Convertidor de bloque de bajo ruido para la señal de recepción (LNB), transductor de orto modo (feedhor) para la conexión de LNB y el BUC.

- Cables de bajada del tipo coaxial que están diseñados para ser inmune a las interferencias y con un ancho de banda suficiente como para operar a frecuencia intermedia. Se utiliza para conectar la unidad exterior con la interior

- Sistema de generación eléctrica solar (donde se requiera)

2.3.1.2. Unidad interior (INDOOR UNIT).

La unidad interior se encuentra junto con los equipos de usuario. Se trata del conversor y demodulador a banda base y las interfaz de datos, telefonía y vídeo.

Se encarga de la interfaz entre la estación VSAT y la terminal de usuario o LAN como se ilustra en la figura 4 y 5. La unidad interior se compone de:

- Modem SHIRON ó DAMMA 1000.
- Switch.

Figura 2. Imágenes de una Antena de una red VSAT (Fuente: Propia)

Figura 3. Vista de un sistema VSAT Outdoor (Fuente: Propia)

- Ata (convertidor de teléfono análogo).
- Router para la transmisión de red inalámbrica.
- Teléfono de mesa.

Figura 4. Equipos sistema DAMMA 1000 de Unidad interior (INDOOR UNIT) de una red VSAT (Fuente: Propia)

Figura 5. Sistema SHIROM Equipos de Unidad interior (INDOOR UNIT) de una red VSAT (Fuente: Propia)

2.4. Estructura general del diagrama de conexión.

Con los datos de la prospección (site survey) y con todos los datos elaborados por ENTEL S.A. se tienen instalados los sistemas VSAT el cual está centrado en una estación remota satelital para dar servicio de telefonía ó VoIP (voz y datos) con un equipo modem SHIRON y DAMMA 1000, el cual consta del siguiente diagrama de bloques respectivamente.

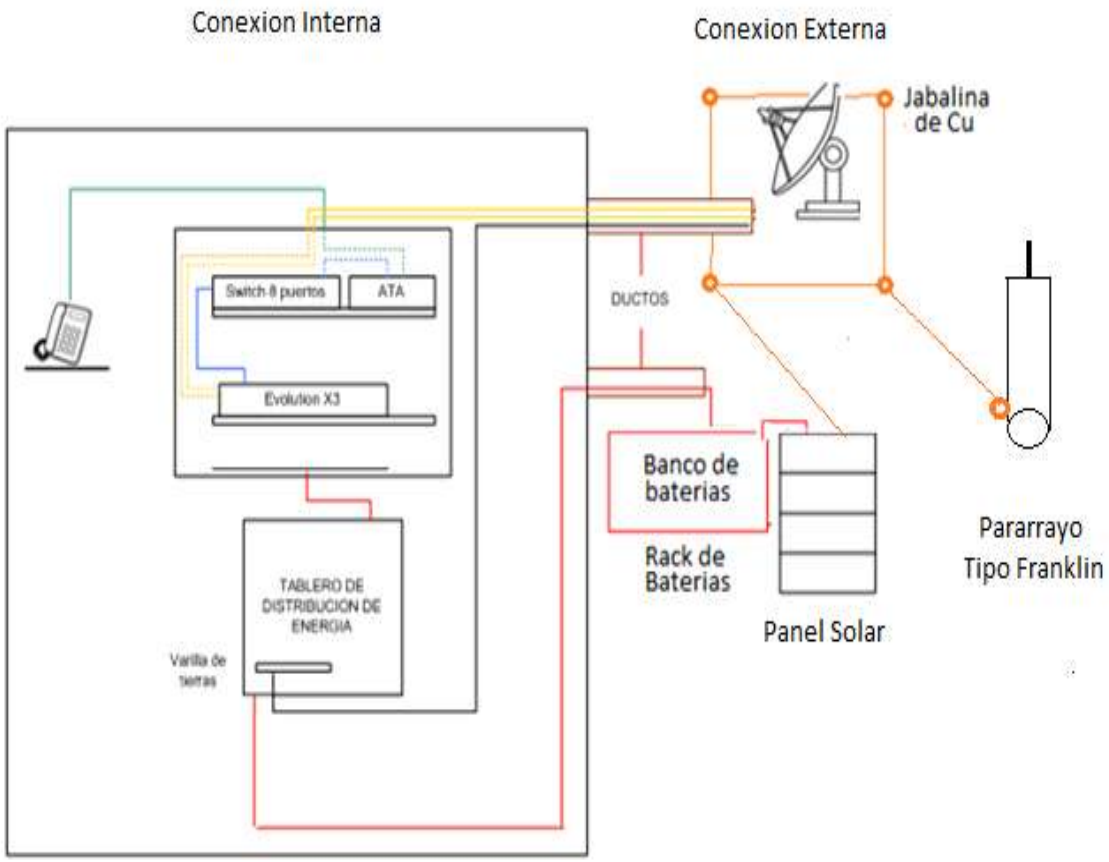


Figura 6. Diagrama de bloques del sistema DAMMA (Fuente: O&M DE RED LP-OYM-Acceso Rural)

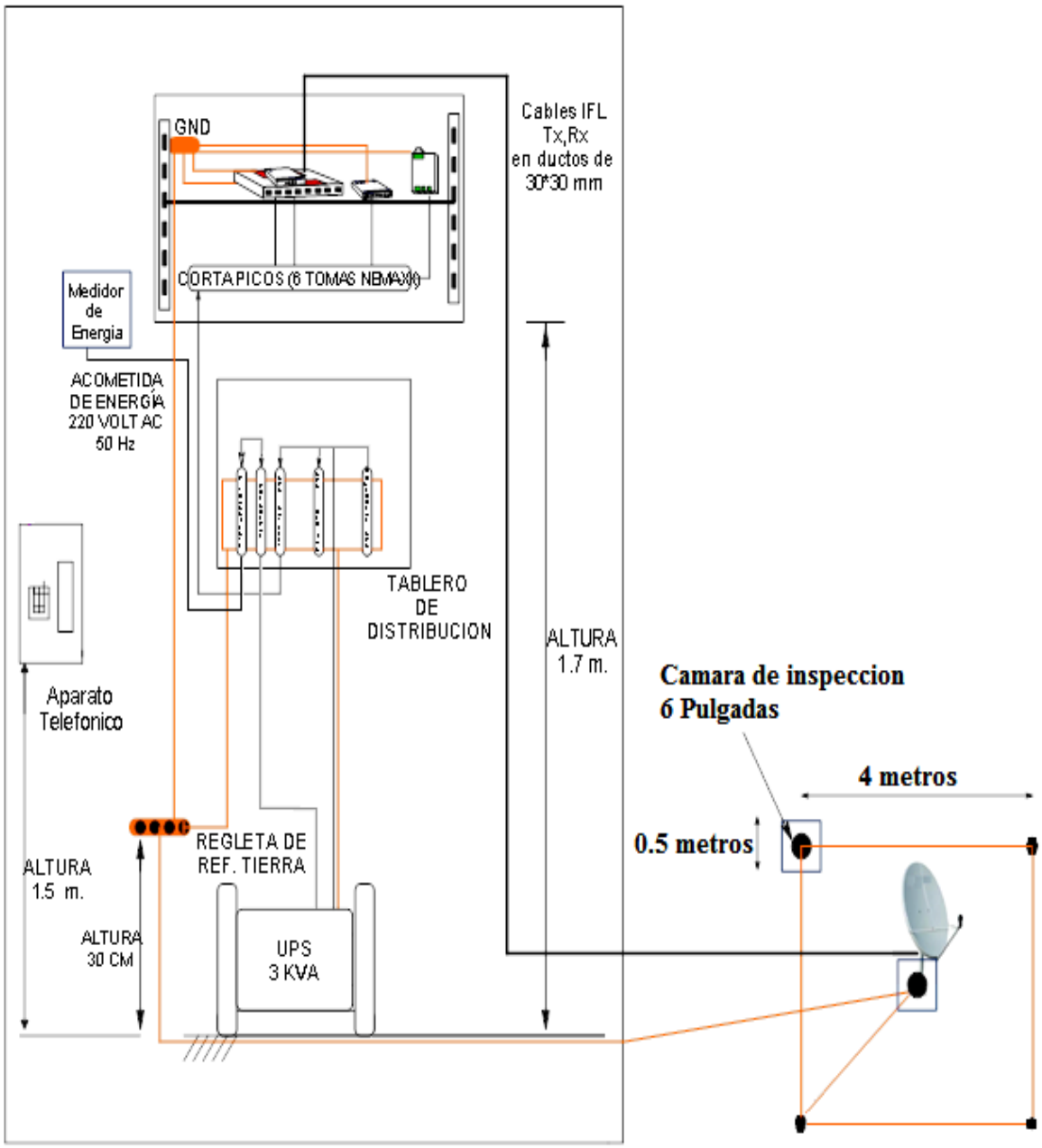


Figura 7. Diagrama de bloques del sistema SHIROM
(Fuente O&M DE RED LP-OYM-Acceso Rural)

Barra de tierra interna del telecentro

aterramiento de la antena Vsat

Figura 8. Diagrama de conexión a tierra en la red VSAT
(Fuente: Propia)

2.5. Sistema de puesta a tierra (SPT).

El sistema de puesta a tierra corresponde al conjunto de electrodos y partes conductoras que en contacto con tierra, permiten drenar hacia ésta, todas las corrientes de falla, peligrosas para la integridad de las personas y de los equipos electrónicos.

La conexión a tierra eficaz conduce la electricidad indeseable hacia tierra alejando el peligro en forma segura.

La finalidad de la instalación de un sistema de puesta a tierra es el de obtener una resistencia eléctrica lo más baja posible para derivar a tierra fenómenos eléctricos transitorios, corrientes de falla estáticas y parasitas, también de proporcionar un camino de derivación a tierra de descargas atmosféricas, transitorios y de sobretensiones internas del sistema. Existen organizaciones que proporcionan recomendaciones y estándares para garantizar la seguridad en la conexión a tierra:

- OSHA (Occupational Safety Health Administration)
- NFPA (National Fire Protection Association)
- ANSI/ISA (American National Standards Institute and Instrument Society of America)
- TIA (Telecommunications Industry Association)
- IEC (International Electrotechnical Commission)
- CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization)
- IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)

El único objetivo de una buena puesta a tierra es la seguridad, y también sirve para evitar daños en equipos y plantas industriales. Un buen sistema de conexión a tierra mejora la confiabilidad de los equipos y reduce la posibilidad de daños debidos a rayos o corrientes de fallo.

La importancia de los sistemas de puesta a tierra de protección y de servicio, es que existe la importancia de mejorar las puestas a tierra debido que influye mucho las condiciones climáticas, y en todo momento se entiende que una puesta a tierra varia tanto por aspectos del terreno y las condiciones propia que constituyen un problema para medir y obtener una buena puesta a tierra.

Un sistema de puesta a tierra depende de las características geoeléctricas del suelo, donde todo sistema de puesta a tierra, involucra un conjunto de componentes, es decir la efectividad de toda puesta a tierra será la resultante de las características geoeléctricas del terreno y de la configuración geométrica de los electrodos a tierra.

Los suelos están compuestos principalmente, por oxido de silicio y oxido de aluminio que son muy buenos aislantes, sin embargo, la presencia de sales y agua contenidas en ellos mejora notablemente la conductividad de los mismos.

2.6. Sistema de aterramiento en un sistema VSAT.

El sistema de aterramiento ó puesta a tierra eléctrico debe garantizar una resistividad menor o igual a 5 ohmios. La configuración que se utiliza y según las normas adoptadas es de tipo malla cuadrangular, con cuatro polos de disipación con las siguientes características: (ENTEL S.A., 2016)

- Ubicación alrededor de la base de la antena con dimensiones de 2,4 metros por lado.

- En cada esquina de la malla están enterradas a una profundidad mínima de 2,4 metros, jabalinas de cobre de 5/8” (cinco octavos de pulgada) de diámetro y de 2,2 metros de longitud.

- Estas jabalinas están unidas en malla mediante cable de cobre desnudo AWG 2/0 todas las uniones se realizan con soldadura exotérmica ó Cadwell.

- El cable de cobre desnudo 2/0 está enterrado en una zanja de 20 cm de ancho por 50 cm de profundidad.

En un vértice de la malla está instalado una cámara de inspección compuesta por tubo PVC de 6 Pulgadas de diámetro, esquema 40 y 40 centímetros de largo, con su respectiva tapa de protección, de este punto se realiza la medición de tierras.

En todas las instalaciones de SPT, se estima obtener un nivel de resistencia menor a 5 ohmios, para tener una certificación de la instalación y puesta en marcha del sistema VSAT.

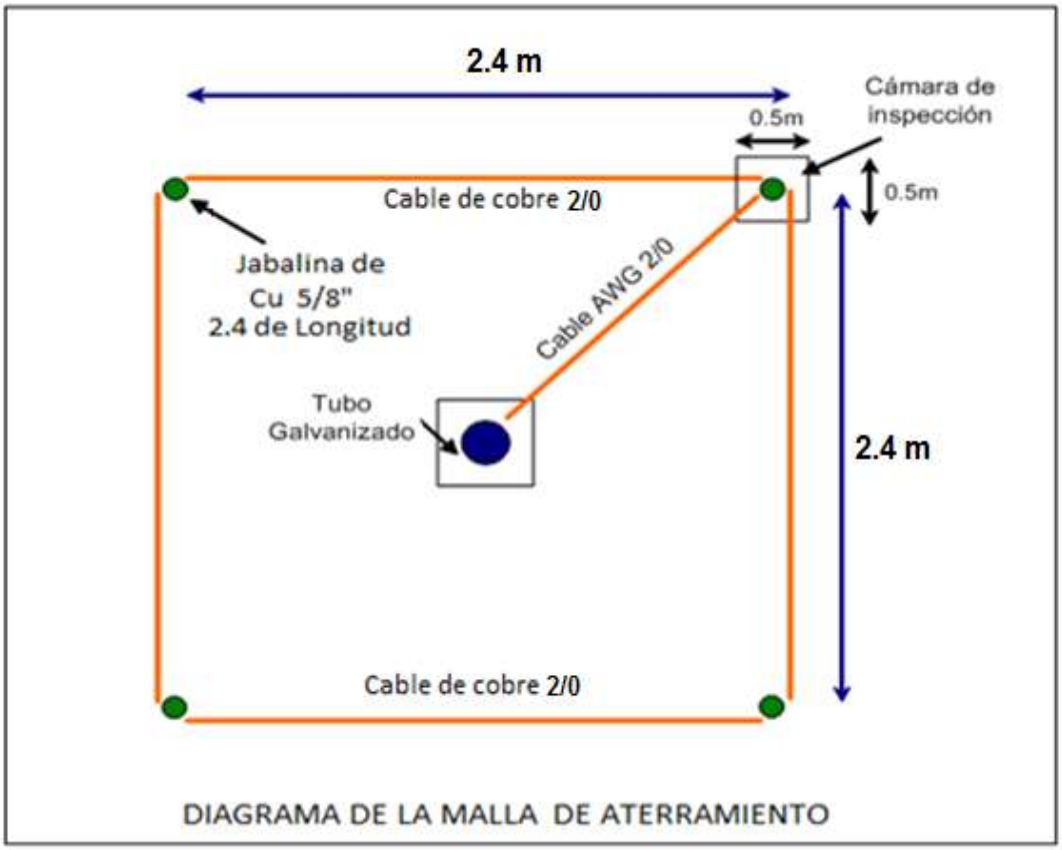


Figura 9. Diagrama de la malla SPT
(Fuente: O&M DE RED LP-OYM-Acceso Rural)

En terrenos complicados se implementan otras técnicas adicionales que garantizan el valor en ohmios solicitado, estas dependen de las condiciones del lugar en particular, que pueden referirse a aumentar el material de tratamiento de tierras, mayor cantidad de jabalinas y mejoramiento con bentonita, gel, etcétera. Se considera que estas situaciones podrán presentarse en terrenos muy duros y rocosos. Todo el conjunto deberá garantizar una resistencia menor o igual a 5 ohmios.

En ningún caso se permite el uso de sal común para mejorar la resistencia del suelo puesto que este procedimiento agiliza la oxidación y posterior corrosión de las

jabalinas y cables, aspecto que reduce el tiempo de vida útil del sistema de puesta a tierra. (ENTEL, S.A., 2010)

Figura 10. Instalación del sistema de puesta a tierra (Fuente: Propia)

Figura 11. Soldadura exotérmica cadwell (Fuente: Propia)

Figura 12. Instalación del sistema de puesta a tierra de una red VSAT (Fuente: Propia)

Figura 13. Detalle de Cámara de inspección (Fuente: Propia)

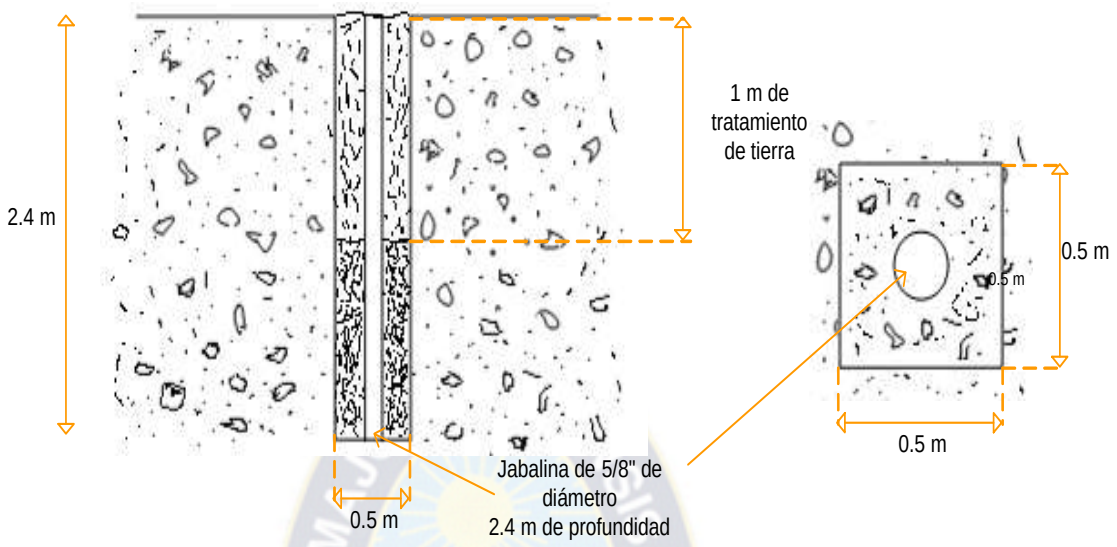


Figura 14. Diagrama de una fosa para varilla de cobre
(Fuente: Propia)

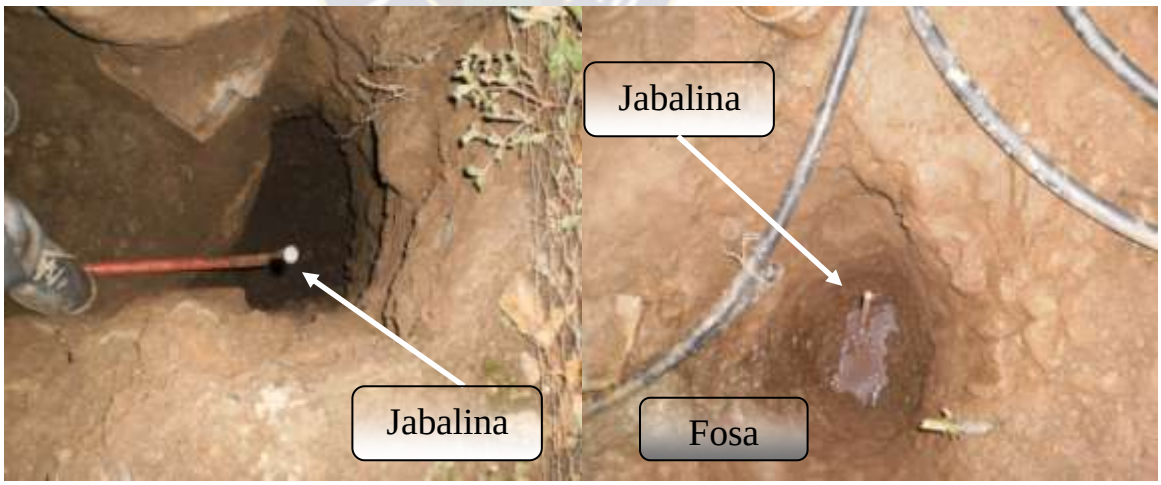


Figura 15. Fotografías de una fosa y varilla o jabalina de cobre
(Fuente: Propia)

2.7. Definiciones y conceptos básicos.

Las definiciones están establecidas de acuerdo a las normas IEEE STD 81 1983 y ASTM G 5795a.

a) **Sistema de Puesta a Tierra (SPT):** Conjunto de elementos conductores de un sistema eléctrico específico, sin interrupciones ni fusibles, que unen los equipos eléctricos con el suelo o terreno. Comprende la puesta a tierra y todos los elementos puestos a tierra.

b) **Suelo:** Sistema natural, resultado de procesos físicos, químicos y biológicos, con componentes principalmente minerales y sólidos inertes que le dan estabilidad, en conjunto con líquidos y gases, que definen su comportamiento eléctrico.

c) **Electrodo de Puesta a Tierra:** Conductor o grupo de ellos en íntimo contacto con el suelo, para proporcionar una conexión eléctrica con el terreno. Puede ser una varilla, tubo, placa, cinta, cable o malla de conductores.

d) **Puesta a tierra:** Grupo de elementos conductores equipotenciales, en contacto eléctrico con el suelo o una masa metálica de referencia común, que distribuyen las corrientes eléctricas de falla en el suelo o en la masa. Comprende: Electrodos, conexiones y cables enterrados. También se le conoce como toma de tierra o conexión a tierra.

e) **Tierra:** Para sistemas eléctricos, es una expresión que generaliza todo lo referente a sistemas de puesta a tierra. En temas eléctricos se asocia a suelo, terreno, tierra, masa, chasis, carcasa, armazón, estructura o tubería de agua. El término “masa” solo debe utilizarse para aquellos casos en que no es el suelo, como en los aviones, los barcos, los carros y otros.

f) **Resistividad del Suelo:** Representa la resistencia específica del suelo a cierta profundidad, o de un estrato del suelo; se obtiene indirectamente al procesar un grupo de medidas de campo; su magnitud se expresa en (Ωm) o (Ωcm), es inversa a la conductividad. La resistividad eléctrica (ρ): Es la relación entre la diferencia de potencial en un material y la densidad de corriente que resulta en el mismo. Es la resistencia específica de una sustancia. Numéricamente es la

resistencia ofrecida por un cubo de 1m x 1m x 1m, medida entre dos caras opuestas.

2.8. Características de los suelos.

El suelo es la capa sólida que cubre la superficie de la tierra, al igual que el agua y el aire, es un recurso indispensable para los seres vivos que habitan el planeta.

El suelo en general su naturaleza es heterogénea, varía por su composición y según las condiciones del medio. Aunque se pueden clasificar de diversas formas los suelos, por ejemplo en arcilloso, arenoso y rocoso, no se puede atribuir una resistividad específica a un tipo de suelo, y si se realizan mediciones se pueden encontrar diversos valores de resistividad. (Valentinuzzi, 2012)

Se puede definir la resistividad del suelo ρ como la resistencia eléctrica entre las caras opuestas de un cubo de dimensiones unitarias (aristas = 1 m) llenado con este suelo. Sus unidades son en ohmio por metro (Ωm).

2.9. Constitución del terreno.

La composición química del terreno, también la cantidad y la propiedad de las sales minerales en el suelo pueden influir de modo notable en su resistividad. En los terrenos lluviosos o arcillosos con capas de humos, son estos terrenos que presentan resistividades más bajas y además menores variaciones en el tiempo.

En terrenos arenosos, pedregosos y rocosos se puede presentar resistividad muy elevada, en la que sus características varían con el tiempo, según la temperatura y la humedad, en límites muy amplios.

Varios factores influencian la resistividad del suelo, entre ellos se destacan:

- Tipo de suelo.

- Mezcla de diversos tipos de suelos.
- Suelos con capas estratificadas a profundidades y materiales diferentes.
- Contenido de humedad y estado higrométrico.
- Temperatura.
- Compactación y presión.
- Composición y concentración de sales disueltas.
- Granulometría.

Los materiales que tienen los más altos valores de resistividad son considerados como aislantes, y los materiales que tienen los más bajos valores de resistividad como conductores y estos no presentan problemas al momento de instalar un sistema de puesta tierra. Un sistema de tierra sería completamente apropiado en terrenos de arcillas, y no así en terrenos arenosos. (Rojas, 2010)

2.10. Resistividad del terreno.

La resistividad del terreno representa la resistencia definida del suelo a cierta profundidad o de un estrato del suelo, se obtiene indirectamente al procesar un grupo de medidas de campo, su magnitud se expresa en ohmios por metro (Ωm) u ohmios por centímetro (Ωcm), es inversa a la conductividad, es una variable básica que afecta la resistencia a tierra de un sistema de electrodos que son las varillas de cobre. Es la resistencia específica de una sustancia. Numéricamente es la resistencia ofrecida por un cubo de 1m x 1m x 1m, medida entre dos caras opuestas. (Rojas, 2010)

2.11. Efectos la humedad sobre la resistividad del terreno.

La resistividad del terreno está muy influenciada principalmente por la humedad y en menor medida no menos importante por su temperatura, son tan significativos estos efectos, que la resistencia del terreno disminuye con el aumento de la humedad y con el incremento de la temperatura.

Las variaciones de resistividad se modifican en función a la profundidad y la humedad del terreno, la cantidad de humedad y el contenido de sales del terreno afectan radicalmente su resistividad, lo que está estrechamente relacionado con la cantidad de agua en el terreno que varía dependiendo la época del año.

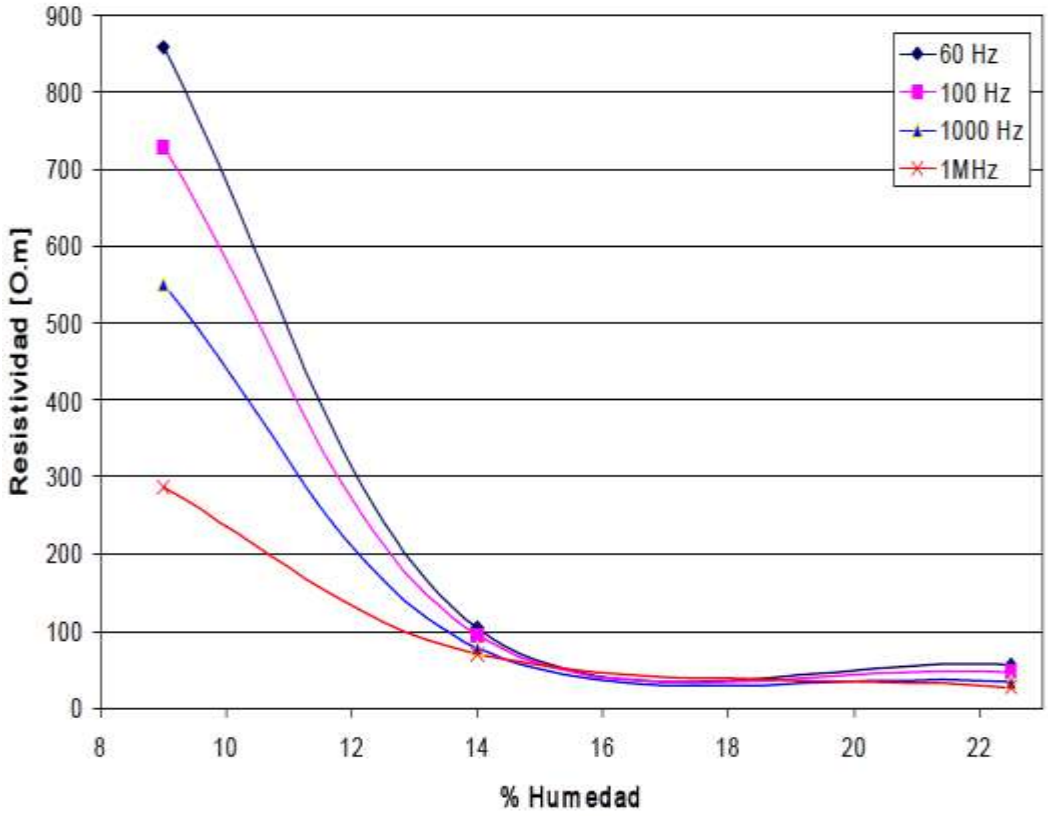
2.12. Efectos de la humedad y sales disueltas sobre la resistividad del terreno.

La constitución y la cantidad de sales solubles, ácidos o alcalinos presentes en el suelo afectan a la resistividad. El resultado de la resistencia por la acción de la humedad y la temperatura exige a mantener presente oportunos coeficientes para la determinación de la resistencia se debe asignar a los electrodos con el fin de un buen funcionamiento en las instalaciones a tierra. Se podría omitir el factor de temperatura, para no efectuar tanto la influencia de la humedad en el terreno. (ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN, 2008)

Las variaciones de resistividad con la profundidad puede ser modificada debido a los estados de humedad del terreno, puede darse el caso de que después de un largo periodo de sequía ó falta lluvia, un temporal logra humedecer la capa superficial del terreno, dejando seca la capa inferior, la mayor parte de la corriente que eventualmente se distribuye hacia los dispersores, eligiendo un camino de menos resistencia, influirá únicamente la capa superficial, creando alrededor de los dispersores peligrosas gradientes superficiales. (Rojas, 2010)

En el terreno, la conducción de corriente es principalmente electrolítica. Por tanto, la cantidad de humedad y el contenido de sales del terreno afectan su resistividad. La cantidad de agua en el terreno varía, con el clima, la época del año.

En la Tabla 1 se puede observar el efecto de la humedad en la resistividad del Terreno, se pueden observar los efectos típicos del agua sobre el terreno, en ella se puede ver que al estar secos en ambos tipos de terreno las resistividades son alrededor de 1,000 Mega ohm-cm, siendo estoy buenos aislantes.



Gráfica 1. Variación de la resistividad del suelo con respecto a la humedad a diferentes frecuencias. (Fuente: adaptada de IEEE, 2000)

Tabla 1. Efecto de la humedad en la resistividad del Terreno (Fuente: Manual de puesta a tierra - Elaborado por Ing. G. Rojas)

CONTENIDO DE HUMEDAD % POR PESO RESISTIVIDAD OHM-CM	TERRENO SUPERFICIAL	ARCILLA ARENOSA
0,0	$1{,}000 \times 10^6$	$1{,}000 \times 10^6$
2,5	250,000	150,000,0
5,0	15,000	43,000
10	53,000	22,000
15	21,000	13,000
20	12,000	10,000
30	10,000	8,000

El agua pura tiene una resistividad infinitamente alta, las sales presentes en forma natural en el terreno o disueltas en agua, bajan la resistividad del terreno.

Si se analiza en forma análoga a la humedad, los efectos que causan las sales en el terreno, basta con una pequeña cantidad de una sal para reducir la resistividad del terreno de manera significativa, esto se observa en la tabla 2, el efecto de la sal en la resistividad del terreno.

En ella para un 0% de sal la resistividad es de unos 10,7 K ohm-cm, para un decrecimiento drástico en la resistividad del terreno que se puede determinar por un factor de alrededor de 1000 veces del valor original cuando el terreno tiene un porcentaje del 20%. Este efecto puede ser útil para proporcionar un buen electrodo de baja resistencia, en lugar de un sistema de electrodos costosos. (Rojas, 2010)

Tabla 2. Efecto de la sal en la resistividad del Terreno
(Fuente: Manual de puesta a tierra - Elaborado por Ing. G. Rojas)

Efecto de la sal en la resistividad del terreno	
% DE SAL AGREGADA POR PESO DE HUMEDAD	**RESISTIVIDAD OHM-CM**
0,0	10.700
0,1	1.800
1,0	460
5,0	190
10	130
20	100

2.13. Efectos de la temperatura sobre la resistividad del terreno.

Existen datos esenciales que dan la conclusión lógica de que un aumento en la temperatura disminuirá la resistividad:

(1) El agua presente en el terreno principalmente determina la resistividad

(2) Un incremento en la temperatura disminuye notoriamente la resistividad del agua.

Para corroborar estas conclusiones, los resultados que se muestran en la Tabla 3, efecto de la temperatura en la resistividad del terreno. Cuando se congela el agua en el terreno, la resistividad salta en forma apreciable; el hielo tiene una resistividad alta.

También que la resistividad continúa aumentando conforme baja la temperatura por debajo del punto de congelación. Se podría tener un valor realmente alto en los polos terrestres. En la tabla 3, note que una caída de temperatura de 54 grados (de 68°F a 14°F) ocasiona un aumento de 50 veces en resistividad. (Rojas, 2010)

Tabla 3. Efecto de la Temperatura en la Resistividad del Terreno
(Fuente: Manual de puesta a tierra - Elaborado por Ing. G. Rojas)

Efecto de la Temperatura en la Resistividad del Terreno		
TEMPERATURA		**RESISTIVIDAD OHM-CM**
^{o}C	**^{o}F**	
20	68	7.200
10	50	9.900
0 – 5	32 (agua) 32 (hielo) 23	13.800 30.000 79.00
-15	14	330.000

2.14. Efectos del tipo de suelo sobre la resistividad del terreno.

Dependiendo del tipo de suelo ya sea arcilloso o arenoso, la resistividad de la tierra puede cambiar mucho.

A simple vista no es fácil definir exactamente el tipo de suelo; se tienen sitios donde la arcilla puede cubrir a un amplio sector de suelos de tal manera que no se puede decir que cualquier suelo dado tiene una resistividad de tantos ohms–metro, como se puede observar en la tabla 4, donde se muestra una referencia diferentes se muestra el amplio rango en valores. También se puede observar la variedad de valores para los mismos tipos generales de suelos.

Tabla 4. Resistividad de diferentes suelos
(Fuente: Manual de sistemas componibles de soportes GEDISTRUT)

NATURALEZA DEL TERRENO	Resistividad en Ω - m
Terrenos Pantanosos	De algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba Húmeda	5 a 100
Arcilla Plástica	50
Marga y Arcillas Compactas	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arena Arcillosa	50 a 500
Arena Silícea	200 a 300
Suelo Pedregoso Cubierto de Césped	300 a 500
Suelo Pedregoso Desnudo	1,500 a 3,000
Calizas Blandas	100 a 300
Calizas Compactas	1,000 a 5,000
Calizas Agrietadas	500 a 1,000
Pizarras	50 a 300
Roca de Mica o Cuarzo	500 a 5000
Granito y Gres procedentes de Alteraciones	1,500 a 10,000
Roca Ígnea	5,000 a 15,000

2.15. Métodos para la medición de la resistividad del suelo.

Las valoraciones basadas en la clasificación del suelo conducen sólo a valores aproximados de la resistividad, por lo que es necesario tomar mediciones directamente en el sitio donde está ubicada la puesta a tierra.

Para medir la resistividad del suelo se pueden utilizar deferente métodos existentes, sin embargo la interpretación de los datos recolectados puede variar considerablemente y especialmente donde se encuentren suelos con resistividades no uniformes.

Los suelos poseen varias capas horizontales superpuestas, cada una teniendo diferente resistividad. A menudo se presentan también cambios laterales de resistividad pero más graduales a menos que se configuren fallas geológicas. (GEDISTRUT - Ebook , 2016)

La mayoría de los instrumentos existentes para la medición de la resistencia a tierra, se basan en el método de la caída de potencial.

2.15.1. Medida de la resistividad del suelo por el método de caída de potencial.

Este es el método más empleado para la medición de la resistencia de sistemas de tierra, el mismo también es conocido por algunos autores como: Método de Caída de Potencial o Método de las dos picas, Método de los tres puntos ó el método del 62%. Para realizar las medidas se las hace con tres terminales y se describe en la Figura 16-A. (International Trading S.A. de C.V., 2016)

Este método se realiza con tres puntas de prueba o electrodos separados, las cuales se conectan a los tres terminales del instrumento para medición de la resistencia a tierra como se muestra en la figura 16. Es importante aclarar que en la figura se aprecia que la tercera punta de prueba es un electrodo fijo y no removible, esto es indicativo de que este método al igual que el anterior no solo es para mediciones iniciales sino también puede ser usado para corroborar mediciones anteriores o el estado de una puesta a tierra existente.

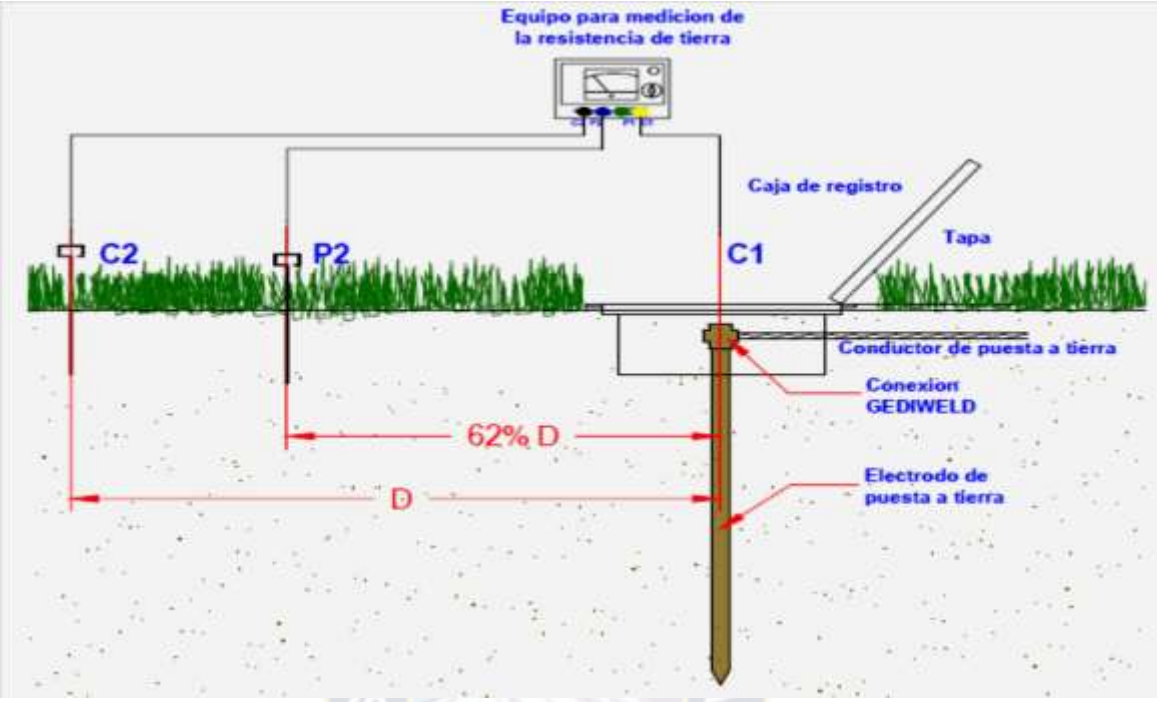


Figura 16 - A Prueba de resistencia de la tierra por el método de Caída de Potencial o de Tres Terminales (Fuente: Manual de sistemas componibles de soportes GEDISTRUT)

2.15.2. Medida de la resistividad del suelo por el Método de Wenner

El método de los cuatro puntos de Wenner es un método muy utilizado y popular, este obtiene la resistividad del suelo para capas profundas sin enterrar los electrodos a dichas profundidades; no es necesario un equipo pesado para realizar las medidas; los resultados no son afectados por la resistencia de los electrodos auxiliares o los huecos creados para clavar en el terreno.

El método consiste en enterrar pequeños electrodos tipo varilla, en cuatro huecos en el suelo, a una profundidad “b” y espaciados (en línea recta) una distancia “a” como se ilustra en la figura 16-B.

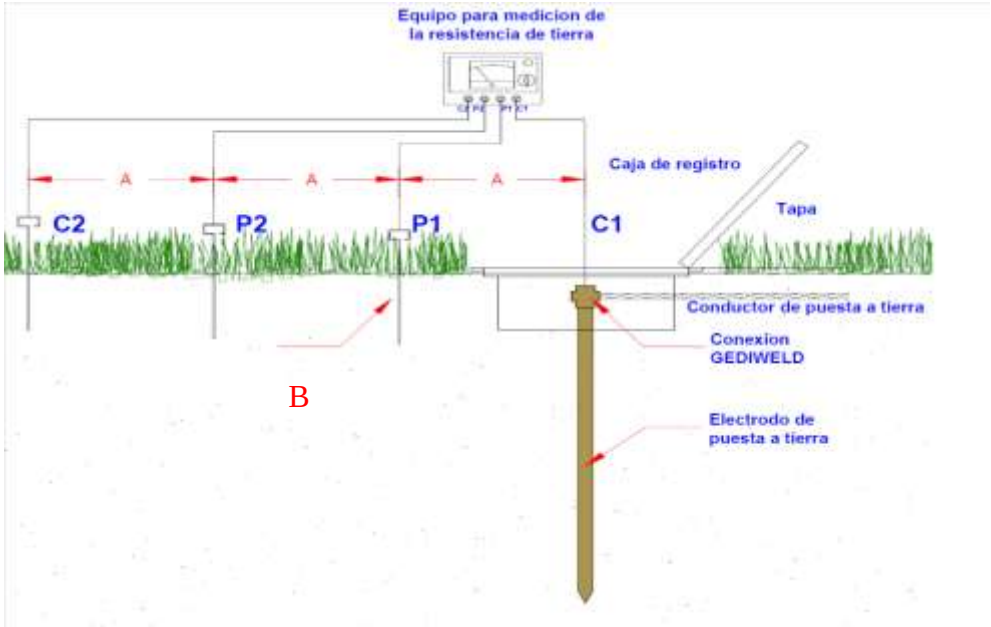


Figura 16 – B Prueba de resistencia de la tierra Método de Wenner (Fuente: Manual de sistemas componibles de soportes GEDISTRUT)

Una corriente "I" se inyecta entre los dos electrodos externos y el potencial "V" entre los dos electrodos internos es medido por el instrumento. El instrumento mide la resistencia (R =V/I) del volumen de suelo cilíndrico de radio "a" encerrado entre los electrodos internos. La resistividad aparente del suelo ρa, a la profundidad "a" es aproximada por la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{4\pi R a}{\left(1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{2a}{\sqrt{4a^2 + 4b^2}}\right)}$$

En la práctica la distancia "a" es mucho mayor que la profundidad de enterramiento "b", entonces la ecuación se simplifica de la siguiente manera:

$$\rho = 2\pi Ra$$

Para determinar el cambio de la resistividad del suelo con la profundidad, el espaciamiento entre electrodos se varía desde unos pocos metros hasta un espaciamiento igual o mayor que la máxima dimensión esperada del sistema de puesta a tierra (por ejemplo, la mayor distancia posible entre 2 puntos de una malla, o la profundidad de las varillas). El espaciamiento "a" del electrodo se interpreta como la profundidad aproximada a la cual se lee la resistividad del suelo. Para caracterizar la variación de la resistividad del suelo dentro de un área específica, se deben realizar varios grupos de medidas (perfiles) en diferentes direcciones.

2.15.3. Medida de la resistividad del suelo método de Schlumberger-Palmer

En este arreglo, al igual que en el método de Wenner, los electrodos de emisión (corriente) y medición (tensión) están situados en línea recta, la variante de este arreglo radica en que la separación entre electrodos es, aunque simétrica, desigual para la correspondiente entre los electrodos de tensión y entre estos y los de corriente.

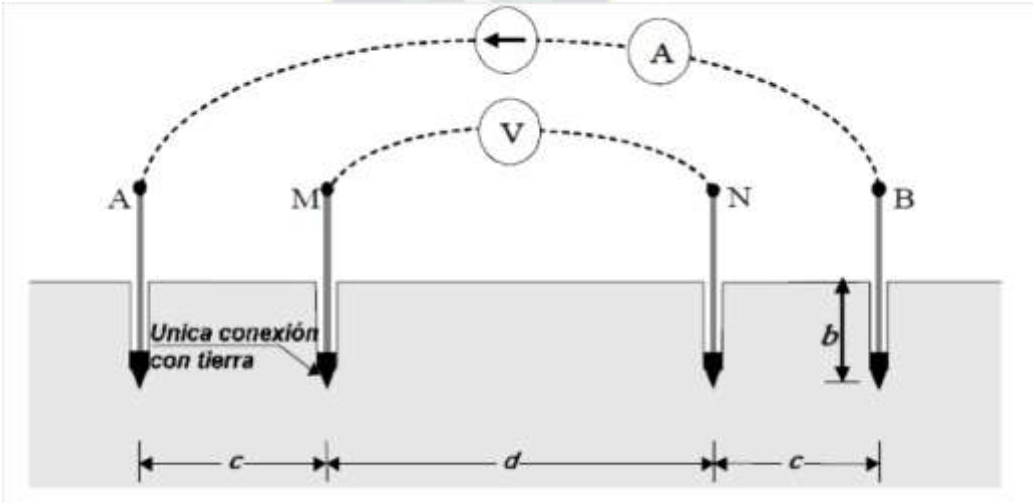


Figura 16 - C Medida de Resistencia de Tierra Método cuatro terminales Schlumberger-Palmer
(Fuente Manual de sistemas componibles de soportes GEDISTRUT)

El procedimiento para obtener el modelo del terreno, consiste en separar progresivamente los electrodos, alrededor de un punto central permanente, denominado punto de máxima exploración.

La fórmula con la cual se calcula la resistividad aparente del terreno es:

$$\rho = \frac{\pi c(c+d)R}{d}$$

Donde:

c: es la separación entre el electrodo de corriente y su correspondiente de tensión.

d: es la separación entre los electrodos de tensión.

2.16. Concepto de corrosión.

La corrosión es la degradación que sufre los materiales por la acción del medio que los rodea. La corrosión se produce cuando el metal es atacado y su superficie se corroe, es decir se produce un deterioro en la fisonomía del material, lo que hace que se degrade y por más que se lo pula, lije o se esmerile, la superficie no se puede recuperar, queda con pequeños pozos, grietas y deformaciones, producto de la corrosión.

Figura 17. Muestra de varilla de cobre con efecto de corrosión uniforme (Fuente: Propia)

El proceso natural del medio hace que el deterioro de los metales sea inevitable debido a su origen, además que la corrosión es la interacción de un metal con el medio que lo rodea, dando como resultado el deterioro en sus propiedades tanto físicas como químicas.

Figura 18. Muestra de varilla de cobre con efecto de corrosión localizada (Fuente: propia)

2.16.1. Clasificación de los procesos de corrosión.

La corrosión se puede clasificar según su morfología o según el medio en que se desarrolla, también depende de las condiciones a la que es sometida el metal.

- Corrosión
  - Según la forma
    - Corrosión uniforme
    - Corrosión localizada
      - Corrosión intergranular
      - Corrosión fisurante
      - Corrosión por picado
  - Según el medio
    - Corrosión química
    - Corrosión electroquímica ó galvánica.

La corrosión no es solamente la formación de herrumbre, empañando o pérdida de brillo que sufren los metales. Se tienen pruebas que pueden derivar en la pérdida de su resistencia, ductilidad o a que se presente una falla por agrietamiento. Cuando se tiene lugar el ataque corrosivo, se puede clasificar en corrosión uniforme, corrosión localizada, o corrosión combinada.

La corrosión del metal afecta a toda la superficie, como cuando el cobre permanece expuesto sin protección alguna a la acción de los agentes agresivos a su estructura, este ataque generalizado más o menos uniforme.

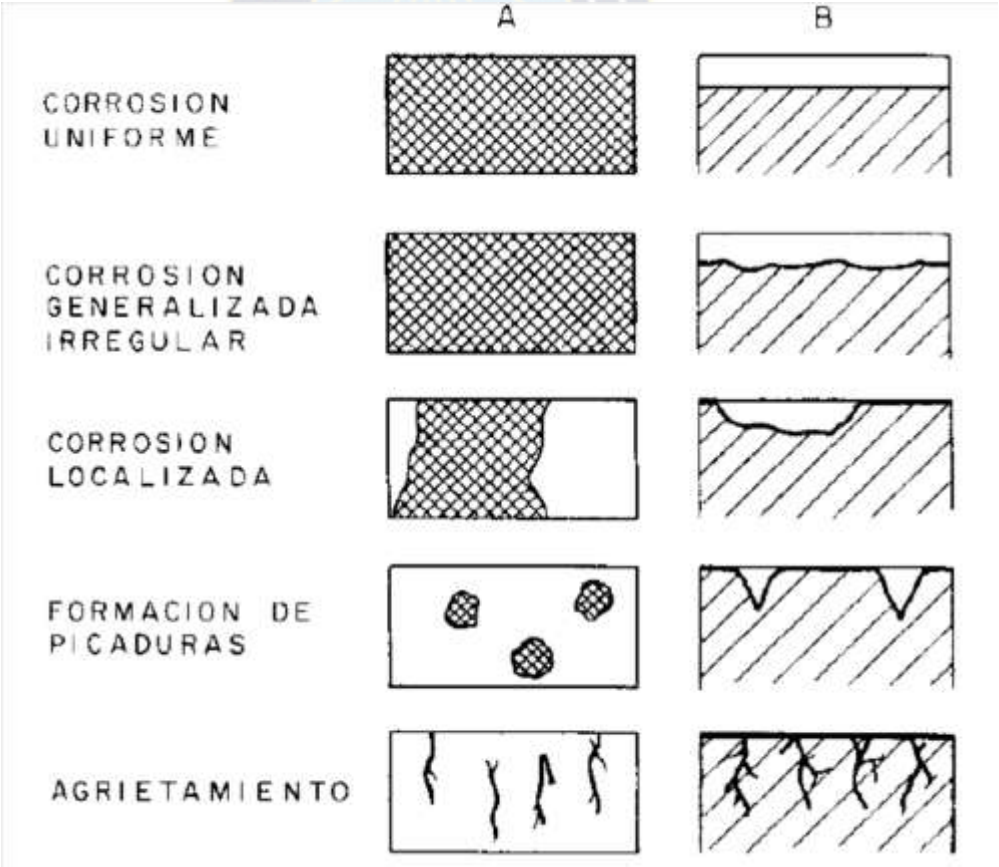


Figura 19. Ejemplos de corrosión generalizada y localizada.
(Fuente: González Velázquez – Teoría y práctica de lucha contra la corrosión)

Otro tipo de agresión, es el que actúa exclusivamente sobre determinadas áreas de la superficie, y que puede conducir al fallo prematuro de una pieza o estructura sin afectar apenas al resto o la mayor parte de la superficie metálica; el ataque localizado tiende a profundizar mucho más rápidamente que la corrosión generalizada, pudiendo ser en extremo peligroso. (Gonzales Fernández, 2013)

2.16.1.1. Corrosión uniforme.

El metal adelgaza uniformemente como, la resistencia mecánica decrece proporcionalmente a la disminución de espesor. Se caracteriza porque el espesor de la zona afectada es el mismo en toda la superficie del metal. La resistencia de las piezas disminuye en función del espesor de la capa atacada y es posible determinar su vida en servicio por simple medida del mismo. Con este objeto se mide la velocidad de corrosión, unas veces en *gramos / metro cuadrado / día* y otras en *milímetros / año*, conociendo la densidad del metal corroído. (Gonzales Fernández, 2013)

Para que se dé este tipo de corrosión, el ambiente corrosivo debe tener acceso a todas las partes de la superficie del metal y dicho metal deber ser por sí mismo, metalúrgica y composicionalmente uniforme.

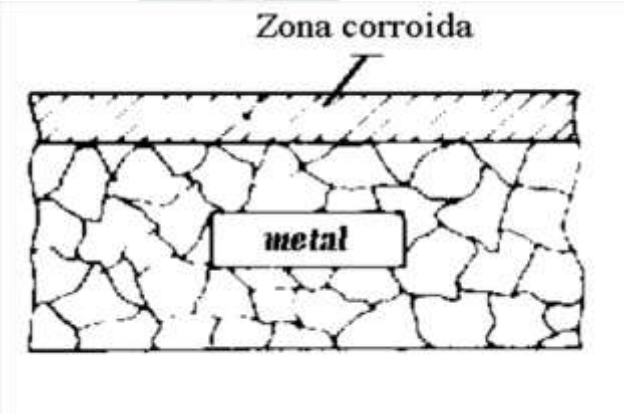


Figura 20. Corrosión Uniforme
(Fuente: González Velázquez – Teoría y práctica de lucha contra la corrosión)

2.16.1.2. Corrosión localizada.

Es aquella que tiene lugar en zonas determinadas del metal, repartidas desigualmente, y progresando de modo irregular. El metal queda picado, terminando en general por quedar con grandes rugosidades en su superficie. En este caso, la capacidad de deformación del cobre disminuye más rápidamente de lo que podía esperarse por la pérdida de masa. (Gonzales Fernández, 2013)

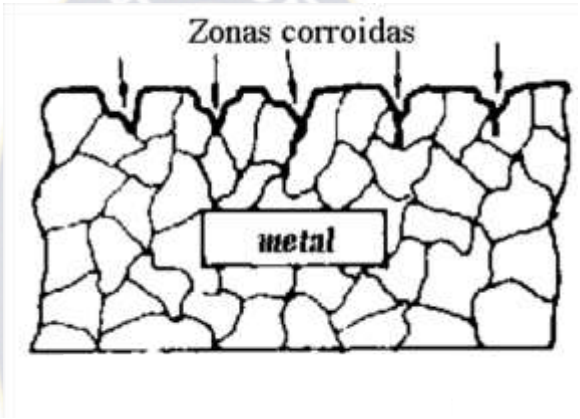


Figura 21. Corrosión Localizada
(Fuente: González Velázquez – Teoría y práctica de lucha contra la corrosión)

La morfología y el mecanismo del ataque localizado presentan multitud de modalidades con arreglo a las circunstancias. Tanto en la aparición y desarrollo del fenómeno como en la distribución de las áreas afectadas ejercen un papel de primer orden las desigualdades de composición química, de estado electroquímico y geométrico. (Gonzales Fernández, 2013)

2.16.1.3. Corrosión galvánica.

Ocurre cuando metales diferentes se encuentran en contacto, ambos metales poseen potenciales eléctricos diferentes lo cual favorece la aparición de un metal como ánodo y otro como cátodo, a mayor diferencia de potencial el material con más activo será el ánodo.

a) Corrosión por picaduras: Aquí se producen hoyos o agujeros por agentes químicos.

b) Corrosión intergranular: Es la que se encuentra localizada en los límites de grano, esto origina pérdidas en la resistencia que desintegran los bordes de los granos.

c) Corrosión por esfuerzo: Se refiere a las tensiones internas luego de una deformación en frio.

2.17. Corrosión en suelos.

El suelo se caracteriza por ser electrolito al estar constituido por sales, materia orgánica y humedad. Por lo que los materiales metálicos que se entierran en el suelo, se ven afectados por problemas de corrosión. Un suelo natural está formado por arena, arcilla, cal y humus. Lo que afecta directamente a la velocidad de corrosión. Ya que al estar mezclados en diferentes porciones el grado de agresividad será distinto.

Los suelos arenosos, margo-arenosos, margo-calcáreos y calcáreos no son agresivos mientras que los suelos arcillosos son agresivos, en algunas condiciones. Las turbas los humus libres de cal los suelos cenagosos y de aluvión son agresivos. Por otra parte los suelos artificiales también son agresivos y están formados por escoria, basuras, elementos en putrefacción y residuos industriales.

2.17.1. Agresividad del suelo en función a su resistividad y del pH.

La velocidad de corrosión está ligada a la resistividad del terreno de la forma que se señala en la tabla 5.

Tabla 5. Grado de agresividad del suelo en función de la resistividad (Fuente: Manual de Sistema de Puesta a Tierra GIDESA-2009)

Resistividad (Ω*m)	Grado de agresividad
< 10	Severo
10 – 100	Discreto
100– 1000	Escaso
> 1000	Nulo

La resistividad de un terreno depende de su estructura, de las partículas que la constituyen, también de su porosidad y permeabilidad y del contenido de agua (humedad). Los suelos muy ácidos tienen un valor de pH menor a 5.5 los que corroen rápidamente los metales desnudos que son expuestos a la agresividad es directamente proporcional al incremento de la acidez.

Tabla 6. Relación entre pH y Corrosividad
(Fuente: González Velázquez –Teoría y práctica de lucha contra la corrosión)

pH	Medio	Comportamiento
< 4,0	Acido muy fuerte	Muy agresivo
4,0 - 4,5	Muy Acido	
4,5 - 5,0	Acido	Agresivo
5,0 - 6,0	Moderadamente ácido	
6,0 - 6,5	Poco ácido	Moderadamente Agresivo
6,5 - 7,5	Neutro	No Agresivo
7,5 - 8,5	Poco alcalino	
> 8,5	Muy alcalino	Condicionado

Los suelos tienen pH comprendidos entre 5.5 y 8.5 son considerados neutros, en el que la corrosión depende de otros factores. En suelos alcalinos parece existir una cierta correlación entre conductividad y agresividad. (Valentinuzzi, 2012)

El suelo puede ser neutro, ácido o alcalino; el estado relativo de un suelo se representa en la escala pH como sigue:

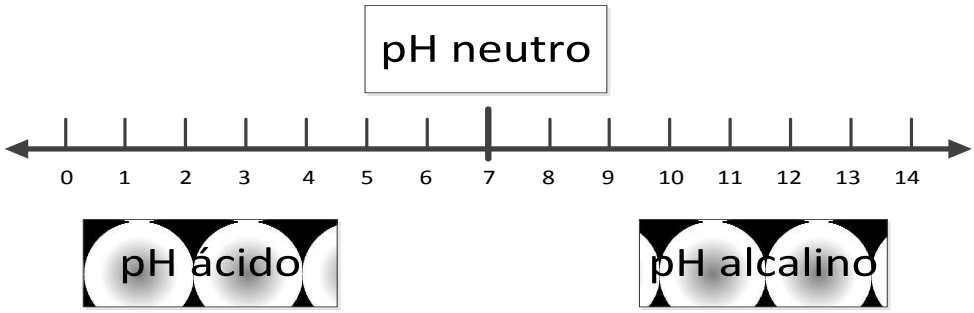


Figura 22. Clasificación del pH en el suelo (Fuente: Elaboración propia)

2.18. Clasificación geológica de los suelos de las diferentes zonas geográficas del departamento de La Paz.

El departamento de La Paz se caracteriza por poseer una gran variedad de ecosistemas, por las condiciones climáticas específicas con diferentes tipos de suelos. Dentro este medio se puede encontrar la cordillera occidental y el altiplano donde predominan suelos poco desarrollados, y moderadamente ácidos a básicos, donde puede encontrar bajos contenidos de materia orgánica.

En la zona amazónica de la Cordillera Real y en la llanura beniana se encuentran suelos bastante evolucionados, muy ácidos y con contenido variable de materia orgánica. Los suelos de la región del lago Titicaca, fondo de los valles interandinos y algunos lugares de los Yungas son los que presentan la mejor productividad potencial. (Janeth Castro Cabero, VOLUMEN 22, No.1 - 2005)

En el Departamento de La Paz se realizaron estudios de suelo, estos comprenden la descripción de perfiles de suelos y su clasificación taxonómica, apoyados, por análisis de laboratorio. La composición química del suelo es muy variada, dependiendo de las características de la roca, a partir de la cual se ha formado por procesos de meteorización y de los factores ambientales que condicionaron su formación y desarrollo, particularmente de las condiciones climáticas y tipo de vegetación. (Janeth Castro Cabero, VOLUMEN 22, No.1 - 2005)

2.18.1. Zonificación del Departamento de La Paz.

El departamento se caracteriza por su heterogeneidad ecológica, relacionada con la diversidad de ambientes naturales que incluye las regiones de los Andes, subandino y llanura amazónica (Figura No. 23). Para la evaluación de los suelos se toma en cuenta la clasificación de grandes unidades fisiográficas (Figura No. 24), las mismas que presentan determinados factores ambientales, considerando la siguiente zonificación: Cordillera occidental, Altiplano, Cordillera oriental, Subandino, Llanura beniana, Ondulado amazónico.

2.18.2. Características de los suelos en el departamento de La Paz.

Dependiendo el factor climático en los sitios, las características de los suelos pueden variar, en los suelos generalmente se presentan propiedades edáficas homogéneas en las ecorregiones. El principal factor para el desarrollo de los suelos es el clima, dado que determina la velocidad de los procesos de meteorización y evolución del suelo. La amplitud térmica es importante para los procesos de meteorización física lo que significa que a mayor cambio de temperatura, mayor disgregación de la roca.

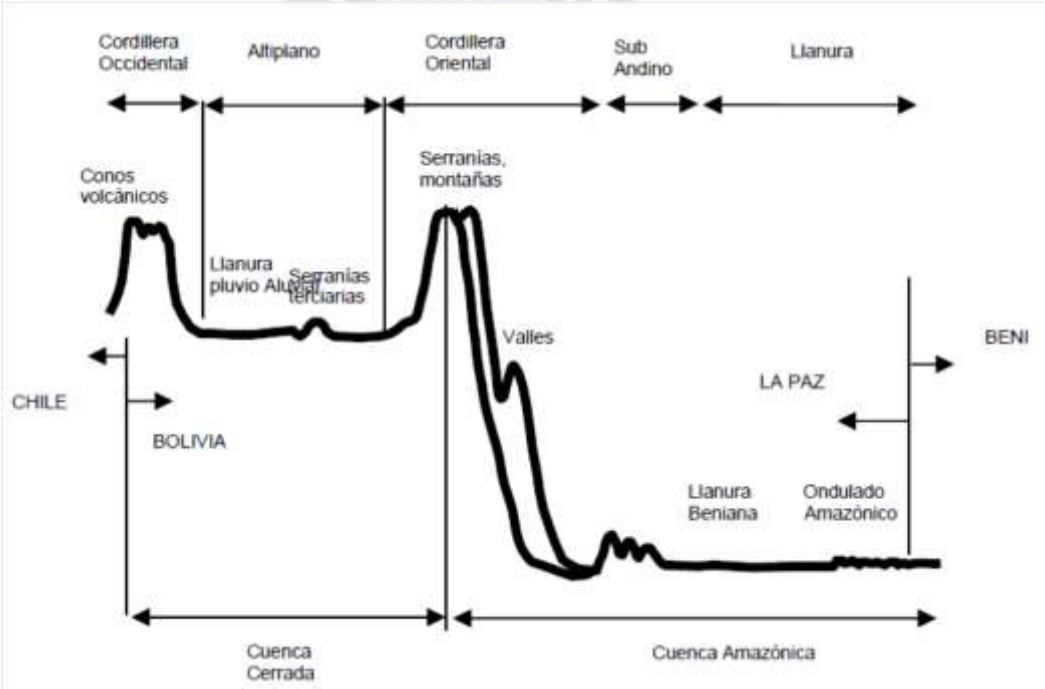


Figura 23. Perfil de Clasificación de grandes unidades fisiográficas
Fuente: REVISTA BOLIVIANA DE QUÍMICA VOLUMEN 22, No.1 – 2005

La temperatura, humedad, textura y valor pH son importantes para los procesos de meteorización química y transformación de los componentes del suelo. Uno de los factores de importancia es la roca en el terreno ya que a partir de la cual se ha formado el suelo. El desarrollo de un suelo es más rápido sobre estratos sueltos (sedimentos, coluvios, morrenas) y rocas sedimentarias, que sobre rocas ígneas y metamórficas. Una roca ácida donde existe la predominancia de sílice, también favorece la evolución del

suelo, mientras que la presencia de minerales que contienen cationes como calcio y magnesio, frena la acidificación del suelo y con ello los procesos de descomposición de los minerales. (Janeth Castro Cabero, VOLUMEN 22, No.1 - 2005)

La vegetación, cuyo proceso depende básicamente de las condiciones climáticas, es un factor fundamental para la formación de los suelos, sobre todo por la contribución de materia orgánica y su acumulación e incorporación en el suelo superficial, pero también por formación de ciertos compuestos orgánicos que intervienen en los procesos de transformación del suelo. La acción química tomará lugar entre el metal y cualquier ácido o álcali en solución en el suelo. La tasa de corrosión será influenciada por la nobleza del metal, es decir menor su nobleza más rápidamente se corroe.

En la tabla 7 se muestran rangos típicos del valor pH y contenido de materia orgánica, que son dos de los parámetros más importantes que se toman en cuenta para establecer la calidad de un suelo, en el departamento de La Paz.

Tabla 7. Rangos típicos de pH y materia orgánica de suelos del Departamento de La Paz
(Fuente: REVISTA BOLIVIANA DE QUÍMICA VOLUMEN 22, No.1 – 2005)

Regiones fisiográficas	Características de los suelos	
	pH	Mat. Org (%)
Cordillera Occidental	6 – 8	0 – 1
Cordillera Oriental		
- Alta montaña	5 – 6	2 – 4
- Alto andino (Yungas)	4 – 6	8 – 15
- Alto andino (Altiplano)	6 – 7	2 – 4
- Vertiente Oriental (Bosq. Nub.)	3,5 – 4,5	Mucha hojarasca
- Vertiente Oriental Yungas	4 – 6	1 – 4
- Valle interandinos	6 – 8	1 – 2
Altiplano		
- Altiplano norte	5 – 7	2 – 4
- Altiplano sur	5 – 8	1 – 2
Subandino	3 – 5	1 – 2
Llanura beniana	4 – 5	2 – 4
Ondulado amazónico	3 - 5	1 – 2

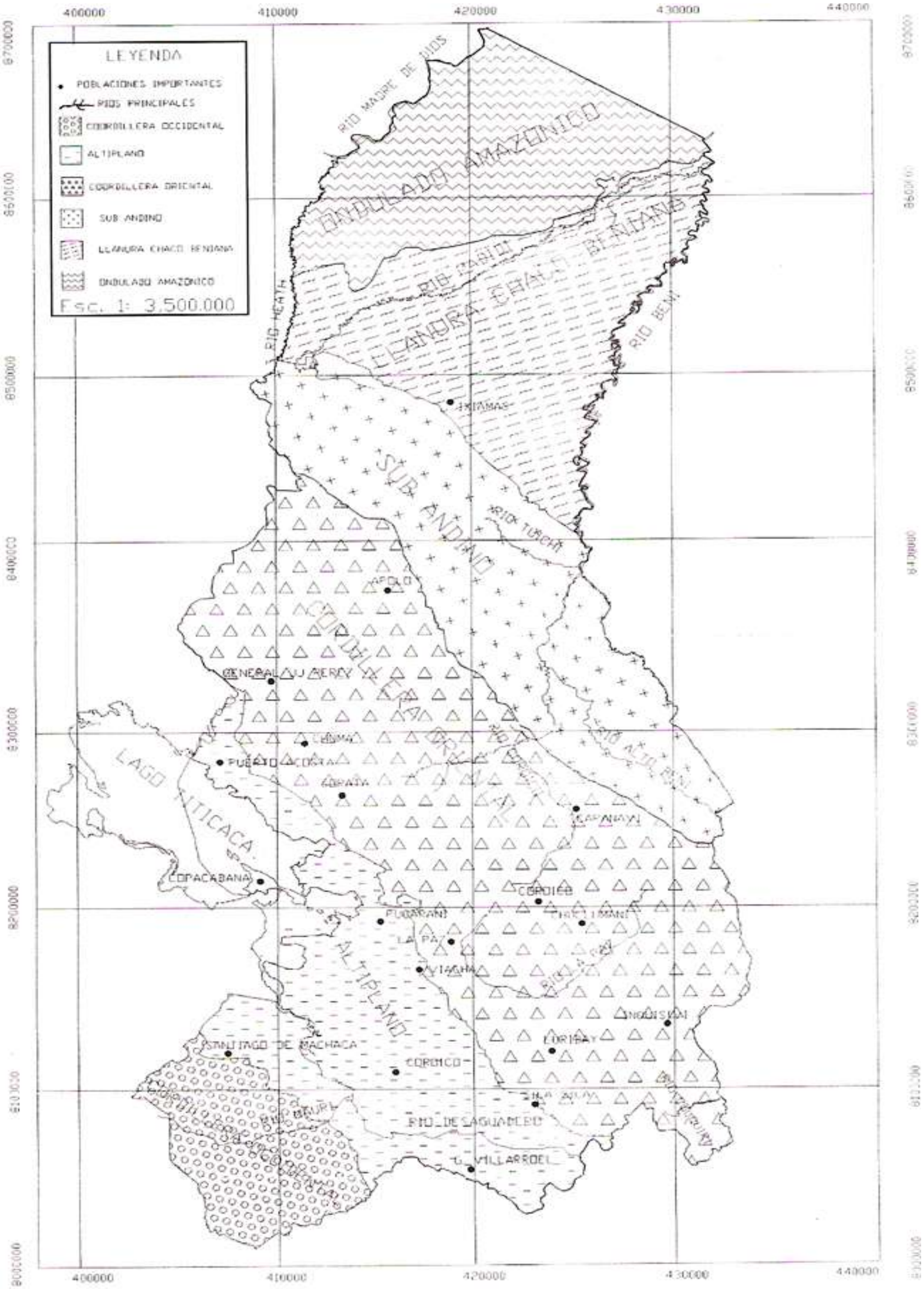


Figura 24   Clasificación de grandes unidades fisiográficas
(Fuente: *REVISTA BOLIVIANA DE QUÍMICA* VOLUMEN 22, No.1 – 2005)

2.18.2.1. Suelos de la Cordillera Occidental.

Se observa un escaso desarrollo de los suelos de las montañas de la Cordillera Occidental. La desintegración de la roca magmática se debe principalmente a la meteorización física, causada por la amplitud térmica entre día y noche. También son importantes los procesos de erosión eólica, que han dado lugar a atractivas formaciones rocosas. Los suelos normalmente son de poca profundidad, pedregosos y textura franco arenosa a arenosa. Presentan un pH débilmente ácido a débilmente básico.

2.18.2.2. Suelos de la Cordillera Oriental.

La Cordillera Oriental y sobre todo su flanco de la cuenca amazónica, reciben bastante humedad, por lo que la evolución de los suelos es más rápida. Por la diferencia altitudinal de cerca de 6000 metros entre las cumbres más altas y los valles de las últimas estribaciones de los Andes, existen ecorregiones variadas y por tanto una amplia gama de tipo de suelos. (Janeth Castro Cabero, VOLUMEN 22, No.1 - 2005)

2.18.2.2.1. Suelos de alta montaña.

La accidentada topografía de las montañas no permite la acumulación de mucho material fino en las laderas, por lo que los suelos son de desarrollo incipiente, muy pedregosos y de poca profundidad.

Este suelo es de textura franca, moderadamente pedregoso y de un pH moderadamente ácido.

2.18.2.2.2. Suelos del piso alto andino.

En esta franja entre aproximadamente 4100 y 5000 msnm, los suelos mayormente se han formado sobre las morrenas dejadas por los glaciares después de la

última glaciación, y en menor proporción sobre material coluvial, el piso alto andino de los Yungas recibe más humedad, que el piso subandino de la cuenca altiplánica, por lo que los suelos son más evolucionados. (Janeth Castro Cabero, VOLUMEN 22, No.1 - 2005)

En los terrenos del sector yungueño, típicamente se encuentran suelos con un contenido de materia orgánica y algunos sectores presentan elevada pedregosidad. El pH del suelo es de moderadamente a fuertemente ácido y el contenido de cationes básicos es muy bajo. (Janeth Castro Cabero, VOLUMEN 22, No.1 - 2005)

En el sector alto andino que colinda con el altiplano los suelos son más secos y presenta un perfil menos desarrollado, la acumulación de las precipitaciones y agua de deshiele en época seca en el fondo de los valles, ha permitido el desarrollo de bofedales ricos en materia orgánica. (Janeth Castro Cabero, VOLUMEN 22, No.1 - 2005)

2.18.2.2.3. Suelos de las laderas orientales de los Andes (Yungas).

Debida a la mayor precipitación, sobre todo en la ceja de montaña - área de bosque nublado a una altitud de unos 2800 a 3400 msnm - los suelos se encuentran en un estado muy evolucionado, siendo de tipo espodosol con una espesa capa de restos vegetales en mayor o menor grado de descomposición. (Janeth Castro Cabero, VOLUMEN 22, No.1 - 2005)

El suelo en este sector es fuertemente disectado y escarpado, se ha formado mayormente sobre pizarras, limolita y arcillitas. Presenta elevada pedregosidad, textura franco arcillosa a franco arcillo limosa, y un pH muy ácido, habiendo perdido gran parte de sus cationes básicos. (Janeth Castro Cabero, VOLUMEN 22, No.1 - 2005)

2.18.2.2.4. Suelos de los valles interandinos.

Los suelos de esta región, por lo general, son de origen aluvial en las partes bajas y coluviales en las altas.

El clima árido no permite una buena cobertura vegetal, por lo que se presentan procesos avanzados de erosión en gran parte de la región, que dejan expuestas la roca, tal el caso en los valles de Luribay y Sapahaqui. (Janeth Castro Cabero, VOLUMEN 22, No.1 - 2005)

La textura varía entre franco arenoso, limoso y arcilloso. Los niveles de materia orgánica, fósforo y nitrógeno son bajos, pero existen contenidos altos de cationes básicos donde las afloraciones salinas son comunes y un pH moderado.

2.18.3. Suelos del Altiplano.

Los suelos del altiplano se han formado sobre un relleno cuaternario y sobre roca sedimentaria en las serranías interaltiplánicas, donde el proceso de formación de suelos es lento, debido al clima frío y relativamente árido, sobre todo en el altiplano sur. (Janeth Castro Cabero, VOLUMEN 22, No.1 - 2005)

En las llanuras del altiplano norte se tiene en su generalidad suelos profundos de textura franco arenosa, mientras que en las colinas se presentan suelos pedregosos y poco profundos. El pH del suelo es débil a moderadamente ácido.

Los suelos del altiplano sur por lo general se caracterizan por tener texturas francas, franco arcillo arenosas, franco arcillosas y arcillosas, pH moderadamente ácido y con baja disponibilidad de nutrientes. En la llanura aluvial del río Desaguadero se

presentan problemas de salinización y un pH moderadamente básico. (Janeth Castro Cabero, VOLUMEN 22, No.1 - 2005)

2.18.4. Suelos del Subandino.

El clima subtropical húmedo de esta zona ha llevado a una fuerte meteorización de las rocas sedimentarias pertenecientes a formaciones litológicas que van desde el Paleozoico hasta el Terciario, formando suelos de coloración pardo-rojiza de textura franca a franco arcillosa o franco limosa. Los contenidos de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y cationes básicos son muy bajos; el pH es fuerte a muy fuertemente ácido. (Janeth Castro Cabero, VOLUMEN 22, No.1 - 2005)

Un área particular dentro de esta unidad es la zona de Alto Beni, donde los suelos en su mayoría se han formado sobre areniscas calcáreas. El pH del suelo de esta zona es ligeramente ácido a ligeramente básico, y el contenido de calcio es moderado.

Los suelos de los valles amplios del subandino se han formado sobre sedimentos depositados en diferentes niveles de terrazas aluviales. Los suelos tienen textura variable entre franco arenoso y franco limoso. El pH es neutro a ligeramente ácido y la fertilidad del suelo es entre moderada y alta.

2.18.5. Suelos de la Llanura Beniana.

La llanura beniana está cubierta en gran parte por bosque, donde predominan suelos profundos de textura franco arcillosa, con pH débil a fuertemente ácido. La fertilidad del suelo se concentra en la hojarasca y el horizonte orgánico.

En las áreas de sabana, próximas a Ixiamas y a El Dorado La textura es más pesada, franco arcillo limosa a arcillosa, el pH fuertemente ácido.

2.18.6. Suelos del ondulado Amazónico.

Se tiene un suelo con muy bajo contenido de cationes básicos y fósforo, pH muy ácido, presencia de aluminio soluble, muy baja capacidad de intercambio catiónico y en general de muy baja fertilidad.

2.19. Métodos de reducción de la resistencia de tierra.

Cuando la resistividad de la tierra es muy alta y en sitios donde realizar un buen sistema de puesta a tierra, entonces se puede recurrir a ciertos métodos que permiten encontrar el valor adecuado.

La tierra tamizada fina o tierra de moldeo del mismo sitio, normalmente es utilizado como material de relleno apropiado para rodear el electrodo enterrado, además que se utilizan métodos las cuales se las denomina tratamiento de tierra, el más básicos usado para mejorar la resistividad del terreno es humedecer con agua y utilizar sales minerales como el cloruro de sodio, esta técnica es un tanto empírica cuyo propósito es de bajar la resistencia del terreno, en el que se corre el peligro de provocar una corrosión apresurada de los electrodos.

El tratamiento químico del suelo es un buen modo para mejorar la resistencia a tierra, donde se debe considerar el posible efecto corrosivo en el electrodo. El sulfato de cobre o sulfato de magnesio son materiales no corrosivos adecuados, este tratamiento químico no es un modo permanente de mejorar su resistencia a tierra, estos químicos son deslavados gradualmente por la lluvia y drenaje natural a través del suelo, dependiendo de la porosidad del suelo.

Uno de los materiales aceptables para bajar la resistividad es la bentonita, donde el nombre químico es montmorillonita sódica, cuya composición química es: Silicato hidratado de formula general (Na, CA); (Mg, Al)2 (OH)2Si4O19.11H_2O, con impurezas de cuerazo, feldespatos y yeso, físicamente es una arcilla de color pardo, cuya formación es natural, que es levemente acida con un pH de 10.5. (Orienta, 2014)

El propósito de usar la bentonita es que este absorbe agua casi cinco veces más de los normal, y mantiene húmeda el suelo circundante al electrodo, y el efecto es que ayuda a estabilizar la resistividad por bastante tiempo y en épocas donde no existe lluvias, tiene una baja resistividad aproximadamente de 5 ohm metro y principalmente no es corrosiva y se compacta fácilmente y se adhiere fuertemente. La forma de dosificar es realizando una mezcla de bentonita y cierta cantidad de tierra tamizada del sitio, aproximadamente se utilizan 50 kilo gramos por metro cubico de excavación.

2.20. Análisis de Riesgo de los sistemas de puesta a tierra en redes VSAT.

El objetivo de la evaluación de riesgos, es identificar, analizar, medir y prevenir las amenazas internas y externas, incluyendo concentraciones de riesgos, que pueden causar la interrupción o pérdida de las actividades críticas de una organización, así como la probabilidad (o frecuencia) de que ocurra una amenaza, permitiendo priorizar y manejar un plan de acción de gestión del riesgo (GONZALEZ, Abril 2011)

En los sistemas de telecomunicaciones y específicamente en las redes VSAT, el análisis de riesgo es un proceso de calidad total o mejora continua, que busca estimar las probabilidades de que se presenten acontecimientos indeseables, permitiendo medir la magnitud de dichos impactos negativos en el transcurso de ciertos intervalos específicos de tiempo. (León, 2007)

2.20.1. Riesgos y escenarios de contingencia.

Las consecuencias de una variación de los valores iniciales físicos y de construcción de las varillas de cobre en los sistemas de puesta a tierra, puede traer consecuencia en el funcionamiento los sistemas de puesta a tierra en las redes VSAT, por eso importante definir escenarios de contingencia, los cuales son condiciones

previamente definidas y que suponen un impacto no aceptable, las cuales deben ser prevenidas, el riego que se evidencia es el cambio del valor inicial de la resistencia de puesta a tierra .

Se debe garantizar el buen funcionamiento de un sistema de puesta a tierra, se debe generar un cronograma de mantenimiento preventivo y correctivo de los mismos.

2.20.1.1. La Magnitud del Riesgo.

La magnitud de riesgo, se define como la esperanza matemática de la perdida. Si consideramos un suceso con una probabilidad de ocurrencia y un daño o consecuencia, el riesgo viene definido por el producto de esta probabilidad por el efecto o magnitud del daño.

Riesgo = Probabilidad de fallo x consecuencia

Una definición equivalente se obtiene sustituyendo la probabilidad por la frecuencia y la consecuencia por la severidad:

Riesgo = Frecuencia x severidad

En este caso la frecuencia representa la esperanza matemática de la pérdida en un determinado periodo de tiempo o lo que es lo mismo, la probabilidad de ocurrencia de la pérdida en dicho periodo. (Gonzales-Quijano, 2004)

2.20.1.2. Análisis de causa-efecto.

El análisis de causa efecto, consiste en una representación gráfica sencilla en la que puede verse de manera relacional una especie de espina central, que es una línea en

el plano horizontal, representando el problema a analizar, que se escribe a su derecha (Ishikawa, 1997)

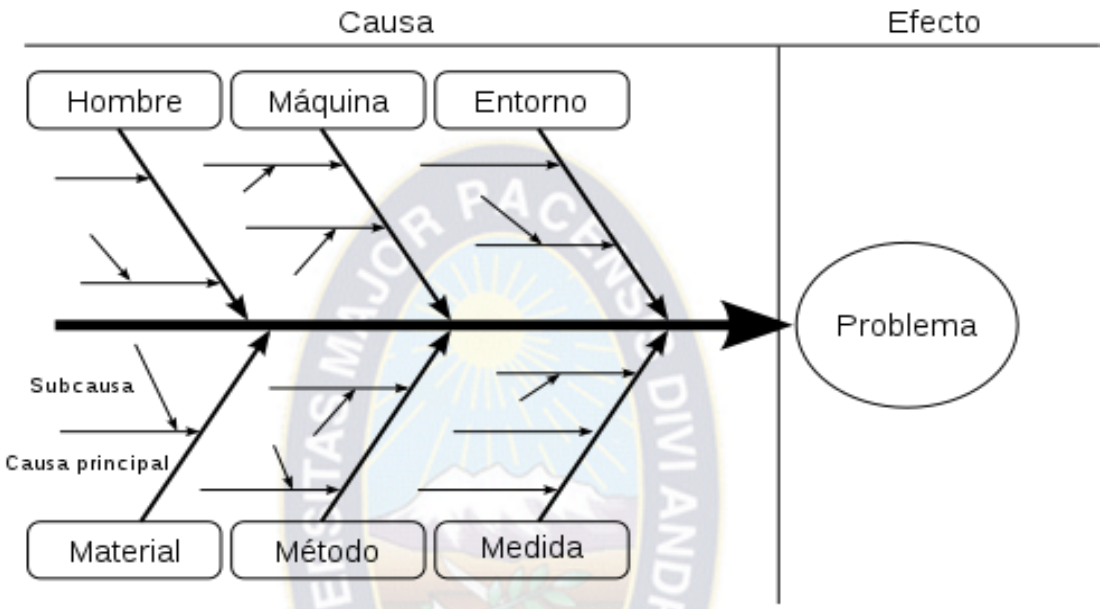


Figura 25. Diagrama causa-efecto
(Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_Ishikawa)

Este diagrama causal es la representación gráfica de las relaciones múltiples de causa-efecto entre las diversas variables que intervienen en un proceso

2.20.1.3. Matriz de Priorización.

El riesgo se debe medir de acuerdo al impacto y la probabilidad y se debe ubicar en la Matriz de Priorización.

Probabilidad: Frecuencia que podría presentar el riesgo.

- MUY ALTA: El riesgo está presente y es urgente la intervención
- ALTA: Es muy posible que el riesgo se presente
- MEDIA: Es posible que el riesgo se presente
- BAJA: Es muy poco posible que el riesgo se presente
- MUY BAJO: No existe riesgo.

Impacto: Forma en la cual el riesgo podría afectar los resultados del proceso.

- MUY ALTO: El grado de afectación es severo y afecta al sistema.
- ALTO: afecta en alto grado de funcionamiento del sistema.
- MEDIO: afecta en grado medio de funcionamiento del sistema.
- BAJO: afecta en grado bajo de funcionamiento del sistema.
- MUY BAJO: No afecta el funcionamiento del sistema.

A continuación se presenta la Matriz de Priorización, con la cual se clasificarán los riesgos de acuerdo a su Magnitud, donde:

- Magnitud E: Nivel Muy Alto de riesgo
- Magnitud H: Nivel Alto de riesgo
- Magnitud M: Nivel Medio de riesgo
- Magnitud L: Nivel Bajo de riesgo

Tabla 8. Matriz de priorización de Riesgo
(Fuente: Mejora en la Confiabilidad de Mantenimiento – García Javier)

		CONSECUENCIA				
		A	B	C	D	E
FRECUENCIA	MUY ALTA	H	E	E	E	E
	ALTA	M	H	E	E	E
	MEDIA	M	M	H	E	E
	BAJA	L	M	M	M	H
	MUY BAJA	L	L	M	M	M

La evaluación de riesgos es un parámetro muy importante, ya que se debe tomar decisiones basadas en los resultados del análisis de riesgos, identificar cuáles deben ser tratados y la prioridad para su tratamiento.

En la tabla 8 se puede observar que los valores van desde las frecuencias más bajas hasta los valores muy altos, es por eso que en base a esta tabla se puede de alguna manera verificar las zonas de riesgo.

Tabla 9. Nivel de probabilidad de fallo
(Fuente: Mejora en la Confiabilidad de Mantenimiento – García Javier)

	Nivel Muy Alto de riesgo. Requiere medidas preventivas de mantenimiento urgentes. Se debe iniciar un plan para la aplicación de medidas preventivas de mantenimiento correctivo urgentes y sin acotar sólidamente el riesgo
	Nivel Alto de riesgo. Medidas preventivas obligatorias. Se deben controlar fuertemente el funcionamiento de los sistemas en su funcionamiento.
	Nivel Medio de riesgo. Las consecuencias de funcionabilidad de los sistemas están en el margen máximo aceptable se debe estudiar la posibilidad de introducir medidas preventivas para reducir el nivel de riesgo. Si no fuera posible, mantener las variables controladas.
	Nivel Bajo de riesgo. Se vigilará aunque no requiere medidas preventivas de partida.

Los niveles de probabilidad permiten asegurar el grado o nivel de riesgo al que está sometido los sistemas de puesta a tierra, de los cuales se tomarán decisiones que permitirán desarrollar un plan de mantenimiento.

CAPITULO III

MARCO METODOLOGICO

3.1. Tipo de estudio.

Este trabajo se sustenta en una investigación descriptiva, ya que recopila información necesaria, luego se realiza el análisis de los mismos, lo que permite implementar un instrumento basado en resultados de investigación, que permite elaborar un plan de mantenimiento de los sistemas de puesta a tierras (SPT) en redes VSAT.

3.2. Diseño de la Investigación.

El diseño de la investigación es una planificación compendiada de lo que se debe hacer para lograr los objetivos del estudio. Un diseño cuidadoso del estudio es fundamental para determinar la calidad de la investigación.

Si se trata de un diseño estadístico, el mismo debe tener en cuenta la estructura del estudio, y todos los aspectos concernientes a la recolección de datos, incluido el tipo de mediciones a realizar y la frecuencia de las mismas. (Arias, 1999)

La investigación se realizó en su ambiente natural y su fuente según los datos obtenidos en los sitios reales, que se considera de campo, por otra parte la investigación de campo, consiste en la recolección de datos directamente de los elementos investigados, o de la situación donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variable alguna.

Para el desarrollo de este trabajo, se obtuvieron y analizaron datos de bibliografía referida al área entre estas se encuentran libros, revistas, manuales, sean estos en medios

impresos, audiovisuales, o de medios electrónicos, porque esta investigación se considera de tipo documental.

3.3. Recolección de datos.

3.3.1. Muestra de la población.

Esta investigación está basada en la recolección de las muestras que se realizó mediante técnicas observación directa en la población, el cual consistió en diagnóstico de la situación actual de los sistemas de puesta a tierra, realizando medidas en sitios seleccionados estratégicamente, también se recurrió a datos obtenidos y facilitados por la empresa encargada del mantenimiento de las redes VSAT, y además que se recurrió a datos documentales bibliográficos de documentos, informes, normas y otros acerca de los sistemas de puesta a tierra.

3.4. Técnicas de investigación y análisis.

Dentro la técnica de investigación que describe de modo sistemático las características de una población, situación o área de interés.

El objetivo de la investigación, es llegar a conocer las situaciones, estado y modos predominantes a través de la descripción exacta del funcionamiento de los sistemas que se estudian. Su meta no se limita a la recolección de datos, sino a la predicción e identificación de las relaciones que existen entre dos o más variables. (Arias, 1999)

Dentro la técnica se recoge los datos sobre la base de una hipótesis, se expone y se realiza un resumen de la información de manera cuidadosa y luego analizan los resultados, a fin de extraer conclusiones que permitan dar solución al problema.

3.4.1. Técnicas de recolección de datos.

La técnica más recomendada y utilizada en este tipo de estudio es de la observación directa, que a través de esta técnica se pudo diagnosticar la situación actual de los sistemas de puesta a tierra.

Además que se utilizó los datos de las medidas ya realizadas con anterioridad por la empresa encargada de realizar la instalación y el mantenimiento de las redes VSAT, lo que es de gran importancia como información para este trabajo.

Los datos documentales son necesarios para tener una referencia bibliográfica, que permita tener una base teórica sobre los sistemas de puesta a tierra, entre estos fueron considerados documentos de informes, normas, y otros.

3.4.2. Expresión de datos.

Los datos a ser recopilados se expresan en términos cualitativos (símbolos verbales) y cuantitativos (por medio de símbolos matemáticos), se puede utilizar uno de ellos o ambos a la vez.

CAPITULO IV

MARCO PRÁCTICO

4.1. Metodología de mantenimiento preventivo.

El mantenimiento es el concepto que se ha incorporado definitivamente en la actual terminología de las telecomunicaciones, y las actividades que le corresponden son tan importantes dentro y fuera de cada una de sus sistemas.

La finalidad del mantenimiento preventivo es el de encontrar y corregir los problemas menores antes de que estos provoquen fallas, este tipo de mantenimiento puede ser definido como una lista completa de actividades, el cual consiste en predecir el estado y grado de fiabilidad de un sistema o instalación sin necesidad de parar su funcionamiento. Para ello se recurre a determinadas técnicas que permiten la realización de mediciones de parámetros críticos en las mismas.

Las mediciones efectuadas se comparan con los patrones iniciales de instalación, para de esta forma detectar y analizar las variaciones encontradas en los diferentes sitios evaluados. Estos datos debidamente tratados y analizados deben diagnosticar el grado de falla que se está produciendo. Con esta información se está en disposición de planificar adecuadamente y con antelación las intervenciones y reparaciones de los sistemas de puesta a tierra instalados.

4.2. Determinación del valor de la probabilidad.

Según las especificaciones técnicas y los requerimientos en los sistemas de telecomunicaciones, estos tienen requerimientos que son necesarios cumplirlos, ya que se trata de equipos de sumo cuidado en su funcionamiento.

Para determinar el valor de la probabilidad, es necesario tomar datos históricos y que estos sean verídicos, esto se podrá obtener gracias a los datos históricos de mediciones realizadas.

En la figura 26 se puede observar sistemáticamente el árbol de fallas.

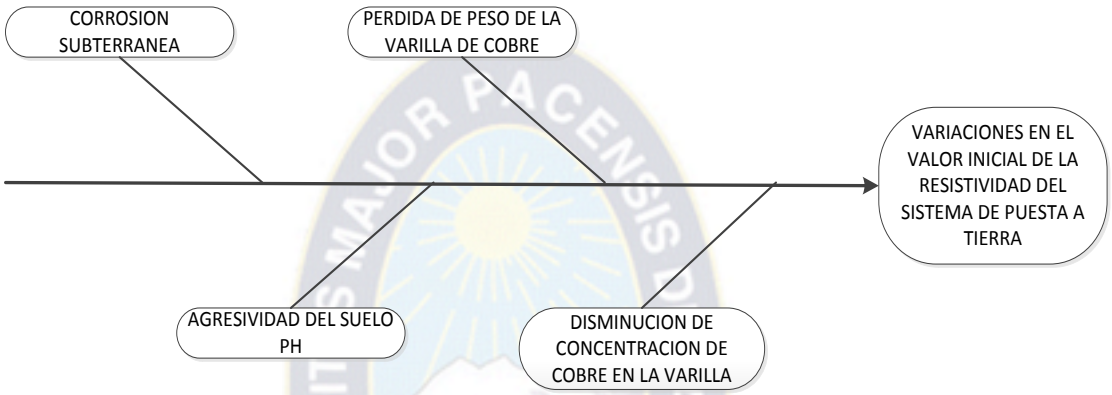


Figura 26. Árbol de fallas (Fuente: Elaboración propia)

En la tabla 10, se observa la información necesaria para llevar a cabo el análisis, puesto que entes caso, solamente se tiene el valor de la resistencia que debe cumplir con un valor adecuado y dependiendo del tipo de instalación para el cual está diseñado. Los valores recomendados son los siguientes:

Tabla 10. Valores recomendados de resistencia de puesta a tierra según el tipo de instalación (Fuente: O&M DE RED LP-OYM-Acceso Rural)

Tipo de Instalación	$R_{PAT(}\Omega)$
Subestación eléctrica mayor (V_n > 69 kV)	< 1
Subestación eléctrica media (69kV > V_n >34.5kV)	< 2
Subestación eléctrica menor (V_n < 34.5 kV)	< 3 – 5
Torre de transmisión	10 – 20
Sistema de protección contra rayos	< 10
Sistema BT (CEN)	< 25
Telecomunicaciones	< 5
Hospitales	< 5

La presente investigación, está inmerso en el área de las telecomunicaciones, lo que representa tomar como el valor recomendado de la resistencia del sistema de puesta a tierra menor a 5 ohmios, esto según normas de instalación de sistemas de puesta a tierra (Entel S.A., 2016). También se debe mencionar que este requerimiento es para instalaciones nuevas y en los sistemas cuya instalación tenga un cierto tiempo en funcionamiento se tiene un valor máximo de 10 ohmios, esto según las exigencias del manual de instalación de las redes VSAT, lo que nos proporciona una referencia del valor tope máximo para el funcionamiento de un sistema de puesta a tierra. (Nacional, 2014)

4.3. Obtención de datos estadísticos de instalación de los Sistemas de Puesta a Tierra de las redes VSAT.

La técnica que para la recolección de datos es el procedimiento o forma particular de obtener antecedentes o información, los cuales deben ser procesados, analizados e interpretados para posteriormente obtener un resultado de discusión.

Los datos estadísticos que fueron obtenidos mediante mediciones realizadas a los sistemas de puesta a tierra en las redes VSAT del departamento de La Paz, fueron proporcionados por una empresa que presta el servicio de instalación y mantenimiento de las mismas.

Los datos para el análisis en la presente investigación fueron obtenidos de manera paulatina según se realiza el mantenimiento de estas redes, se tiene un universo de 90 estaciones VSAT distribuidas en todo el departamento de La Paz. La data de la instalación más antigua es de aproximadamente de 17.79 años, lo que equivale a 17 años y siete meses, esto hasta la fecha que se realizó el último informe, así mismo cabe mencionar que la VSAT más reciente es de 1 año y cuatro meses.

Debemos tomar en cuenta que con el paso del tiempo, en terrenos corrosivos con un gran contenido en humedad, niveles de salinidad y temperaturas elevadas las varillas

de puesta a tierra llegan a degradarse de manera natural. Por lo tanto, aunque el sistema de conexión a tierra tenía valores bajos de resistencia de tierra al instalarse por primera vez, la resistencia del sistema de conexión a tierra puede aumentar si las varillas de toma de tierra se han degradado.

Realizando un análisis de los datos estadísticos de las mediciones realizadas, que fueron proporcionadas por parte de la empresa que realiza el mantenimiento e instalación de las redes VSAT, se pudo obtener la gráfica 2.

En esta se puede observar el esquema de resistencia versus el tiempo de instalación, donde el tiempo es un factor muy importante a tomar en cuenta al momento de realizar el análisis.

Realizando el diagnóstico del funcionamiento de los sistema de puesta a tierra de la redes VSAT, podemos observar que todos los valores iniciales de instalación están dentro del rango normal, según el requerimiento de las normas establecidas, que corresponde a un valor de resistencia de tierra menor a 5 ohmios. También podemos observar en la misma gráfica la variación en la resistencia de tierra, está en función de tiempo de funcionamiento o uso del mismo tomando valores que se van alejando del rango normal de instalación.

Tabla 11. Datos estadísticos de las redes VSAT (Fuente: Empresa de servicios)

INFORME SPT - VSAT

STM - SHIRON

O&M DE RED LP-OYM-Acceso Rural – La Paz

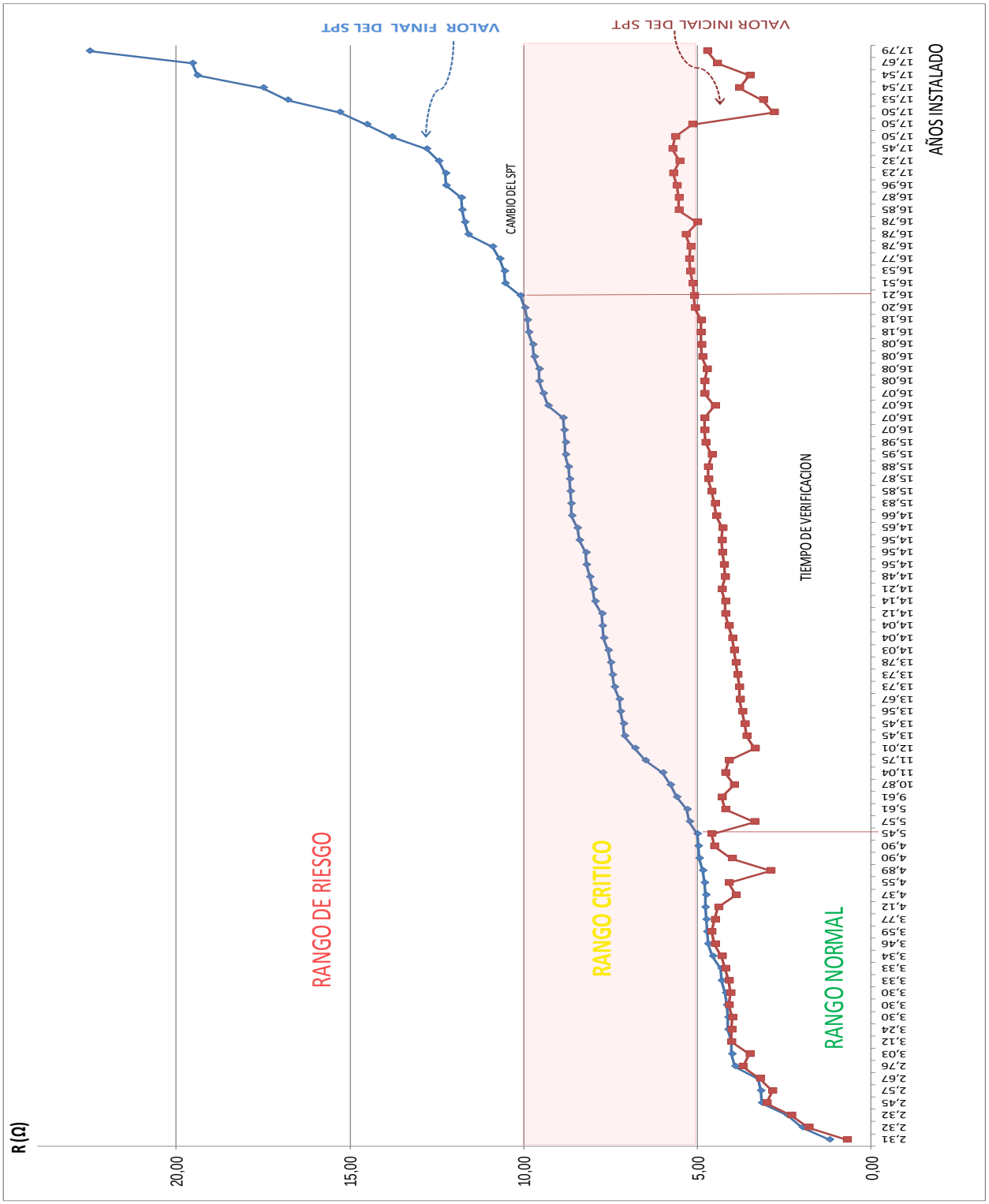
ID	LOCALIDAD	DPTO	PROVINCIA	SECCION (MUNICIPIO)	No Telefono	TIERRA OHM	TIERRA OHM	FECHA INSTALACION	FECHA ULTIMA INTERVENCIO	FECHA DE INFORME	AÑOS DE SERVICIO
72	CMD. KHALA UTA	LA PAZ	INQUISIVI	COLQUIRI	22137169	6,15	14,52	18-nov-99	06-may-16	01-jun-17	17,79
23	CMD. SALLA KUCHO	LA PAZ	CAMACHO	PUERTO ACOSTA	22137120	5,54	9,50	02-ene-00	19-jul-16	01-jun-17	17,67
629	VILLA PUCHUNI	LA PAZ	PACAJES	SANTIAGO DE CALLA	22137221	3,40	10,10	16-feb-00	12-jul-16	01-jun-17	17,54
622	PAHASA	LA PAZ	PACAJES	CALACOTO	22137214	2,89	9,90	18-feb-00	22-feb-17	01-jun-17	17,54
625	CALTECA	LA PAZ	PACAJES	SANTIAGO DE CALLA	22137217	1,79	7,74	19-feb-00	28-dic-16	01-jun-17	17,53
649	SAN ANTONIO DE SIRARAN	LA PAZ	INQUISIVI	INQUISIVI	22137232	4,20	8,21	02-mar-00	23-may-16	01-jun-17	17,50
650	GRAL. VILLARROEL(CHAYA	LA PAZ	INQUISIVI	ICHOCA	22137233	4,21	7,10	02-mar-00	23-may-16	01-jun-17	17,50
647	TENERIA	LA PAZ	LOAYZA	CAIROMA	22137209	0,85	10,56	02-mar-00	23-mar-17	01-jun-17	17,50
678	MACHACAMARCA	LA PAZ	SUD YUNGAS	CHULUMANI	22137243	4,46	12,24	21-mar-00	19-abr-16	01-jun-17	17,45
744	CARRASCO LA RESERVA	LA PAZ	CARANAVI	CARANAVI	22137268	4,77	8,87	05-may-00	16-jun-15	01-jun-17	17,32
30	CMD. CHIPILUSANI (ASECH	LA PAZ	FRANZ TAMAYO	APOLO	22137127	3,10	7,10	07-jun-00	21-jul-15	01-jun-17	17,23
4	CMD. BUENA VISTA	LA PAZ	ABEL ITURRALDE	SAN BUENAVENTURA	22137101	4,80	8,80	13-sep-00	29-abr-16	01-jun-17	16,96
783	CMD. KHALA LLUSTA	LA PAZ	INQUISIVI	1ra SEC. INQUISIVI	22137270	5,21	15,30	14-oct-00	24-may-16	01-jun-17	16,87
74	CMD. POQUERA	LA PAZ	INQUISIVI	4ta SEC. INQUISIVI	22137171	3,85	13,80	21-oct-00	05-may-16	01-jun-17	16,85
785	QUEQUESANI	LA PAZ	JOSE MANUEL PANDO	SANTIAGO DE MACHA	22137272	3,11	8,10	17-nov-00	07-jul-16	01-jun-17	16,78
100	CMD. TOTORANI	LA PAZ	CAMACHO	PUERTO ACOSTA	22137119	1,87	11,78	18-nov-00	18-abr-17	01-jun-17	16,78
786	CMD. POCOCATA	LA PAZ	CAMACHO	PUERTO ACOSTA	22137273	5,12	7,22	18-nov-00	19-abr-17	01-jun-17	16,78
787	YOKALLATA	LA PAZ	CAMACHO	ESCOMA	22137274	4,00	7,13	19-nov-00	21-abr-17	01-jun-17	16,77
802	LOC. SALLALLI	LA PAZ	INQUISIVI	4ta SEC. INQUISIVI	22137278	2,86	12,80	15-feb-01	04-may-16	01-jun-17	16,53
804	TOCO VILAQUE	LA PAZ	INQUISIVI	COLQUIRI	22137280	5,84	8,84	21-feb-01	13-feb-15	01-jun-17	16,51
947	JUMUHUTA CONDOR ROCA	LA PAZ	PACAJES	CALACOTO	22137311	3,18	6,08	11-jun-01	22-feb-17	01-jun-17	16,21
930	TARQUIAMAYA	LA PAZ	PACAJES	CALACOTO	22137294	1,69	6,60	14-jun-01	18-mar-16	01-jun-17	16,20
964	KHOLA	LA PAZ	LOAYZA	SAPAHAQUI	22137328	2,89	7,75	20-jun-01	22-jul-16	01-jun-17	16,18
971	HUANCANE	LA PAZ	LOAYZA	SAPAHAQUI	22137334	5,70	17,50	20-jun-01	21-jul-16	01-jun-17	16,18
1123	PASTO GRANDE	LA PAZ	AROMA	VILLA EL CARMEN CA	22137373	5,24	8,20	25-jul-01	23-jul-16	01-jun-17	16,08
941	SIQUI	LA PAZ	PACAJES	CALACOTO	22137305	3,16	11,60	26-jul-01	17-mar-16	01-jun-17	16,08
942	PLAYA VINTO (AYLLO ORG	LA PAZ	PACAJES	CALACOTO	22137306	4,83	11,80	26-jul-01	15-nov-16	01-jun-17	16,08
939	CHACOLLA (LAGUNA BLAN	LA PAZ	PACAJES	CALACOTO	22137303	2,85	9,97	27-jul-01	04-mar-17	01-jun-17	16,08
936	CUMARAVI	LA PAZ	PACAJES	SANTIAGO DE CALLA	22137300	1,96	10,54	29-jul-01	03-mar-17	01-jun-17	16,07
945	ENEQUELLA	LA PAZ	PACAJES	CORO CORO	22137309	4,20	9,70	30-jul-01	13-jul-16	01-jun-17	16,07
932	BERENGUELA	LA PAZ	JOSE MANUEL PANDO	SANTIAGO DE MACHA	22137296	3,59	7,39	31-jul-01	11-abr-17	01-jun-17	16,07
933	PAYRUMANI CHICO	LA PAZ	JOSE MANUEL PANDO	CATACORA	22137297	2,84	8,68	31-jul-01	11-abr-17	01-jun-17	16,07
1130	SAYA	LA PAZ	LOAYZA	CAIROMA	22137335	4,80	6,78	02-sep-01	04-jul-15	01-jun-17	15,98
324	CALANGACHI	LA PAZ	CAMACHO	PUERTO ACOSTA	22137375	4,60	7,70	11-sep-01	19-abr-17	01-jun-17	15,95
354	PAUCA	LA PAZ	INQUISIVI	COLQUIRI	22137386	5,60	8,66	07-oct-01	06-may-16	01-jun-17	15,88
1156	CHACARILLA	LA PAZ	VILLARROEL	CHACARILLA	22137430	0,84	9,74	11-oct-01	03-mar-17	01-jun-17	15,87
1136	CUI BAJA	LA PAZ	MUÑECAS	AYATA	22137410	4,86	9,86	16-oct-01	28-mar-17	01-jun-17	15,85
658	SAN JOSE DE CHUPIAMON	LA PAZ	ABEL ITURRALDE	SAN BUENAVENTURA	22137391	5,40	19,40	23-oct-01	28-abr-16	01-jun-17	15,83
748	SAN PEDRO	LA PAZ	ABEL ITURRALDE	IXIAMAS	22137600	4,29	9,56	19-dic-02	26-abr-17	01-jun-17	14,66
14	ATEN	LA PAZ	FRANZ TAMAYO	APOLO	22137604	5,07	12,45	23-dic-02	18-ago-16	01-jun-17	14,65
1457	TAHUAR KHOTA	LA PAZ	CAMACHO	UMANATA	22137638	1,57	7,57	26-ene-03	29-mar-17	01-jun-17	14,56
597	CHINAYA	LA PAZ	CAMACHO	PUERTO ACOSTA	22137637	4,89	8,62	26-ene-03	20-abr-17	01-jun-17	14,56
656	JOTI JOTI	LA PAZ	CAMACHO	2da SEC. MOCOMOCO	22137634	3,78	7,95	26-ene-03	30-ene-16	01-jun-17	14,56
1455	CAJCACHI	LA PAZ	CAMACHO	MOCOMOCO	22137636	5,54	22,50	21-feb-03	20-may-15	01-jun-17	14,48
1345	CATAVI	LA PAZ	AROMA	SICA SICA (VILLA ARC	22137442	4,20	8,00	29-may-03	17-dic-14	01-jun-17	14,21
1370	KELLA KELLA ALTA	LA PAZ	PACAJES	COMANCHE	22137149	2,60	6,62	26-jun-03	03-mar-17	01-jun-17	14,14
1380	BOOPI	LA PAZ	CARANAVI	CARANAVI	22137453	4,91	9,56	02-jul-03	15-mar-17	01-jun-17	14,12
1112	AÑA	LA PAZ	LOAYZA	YACO	22137613	3,64	8,64	30-jul-03	05-abr-16	01-jun-17	14,04
1411	LLACHISQUIA	LA PAZ	MUÑECAS	AYATA	22137474	3,95	8,72	31-jul-03	10-mar-17	01-jun-17	14,04
1398	INGENIO	LA PAZ	LARECAJA	SORATA	22137461	5,80	16,80	05-ago-03	13-oct-12	01-jun-17	14,03
1516	SAN LORENZO (URUGUAY)	LA PAZ	CARANAVI	CARANAVI	22137601	5,34	9,44	02-nov-03	07-abr-16	01-jun-17	13,78
133	SANUCACHI	LA PAZ	LOAYZA	LURIBAY	22137628	3,34	7,25	19-nov-03	10-mar-17	01-jun-17	13,73

INFORME SPT - VSAT

STM - SHIRON

O&M DE RED LP-OYM-Acceso Rural – La Paz

ID	LOCALIDAD	DPTO	PROVINCIA	SECCION (MUNICIPIO)	No Telefono	TIERRA OHM	TIERRA OHM	FECHA INSTALACION	FECHA ULTIMA INTERVENCIO	FECHA DE INFORME	AÑOS DE SERVICIO
1593	WILA PAMPA	LA PAZ	LOAYZA	4ta SEC. LOAYZA	22137629	1,20	8,40	21-nov-03	09-abr-16	01-jun-17	13,73
369	POCUMA	LA PAZ	LOAYZA	LURIBAY	22137007	2,40	11,70	10-dic-03	10-mar-16	01-jun-17	13,67
1133	MIRAFLORES	LA PAZ	MANCO KAPAC	COPACABANA	22137008	4,70	8,80	19-ene-04	09-nov-16	01-jun-17	13,56
1576	JAJAYA	LA PAZ	CAMACHO	PUERTO ACOSTA	22137475	4,80	7,50	27-feb-04	29-mar-17	01-jun-17	13,45
1371	JANCKO UMA	LA PAZ	CAMACHO	PUERTO ACOSTA	22137476	4,50	9,30	28-feb-04	20-abr-17	01-jun-17	13,45
1520	VILLA BARRIENTOS	LA PAZ	SUD YUNGAS	LA ASUNTA	22137026	3,30	12,25	31-jul-05	24-jul-15	01-jun-17	12,01
1553	ACHOCARA	LA PAZ	LOAYZA	LURIBAY	22137031	2,25	6,80	01-nov-05	02-mar-16	01-jun-17	11,75
1580	10 DE FEBRERO LAS LOM	LA PAZ	SUD YUNGAS	5ta SEC. LA ASUNTA	22137048	4,80	7,45	15-jul-06	20-abr-16	01-jun-17	11,04
1344	ALTO POMANI	LA PAZ	AROMA	AYO AYO	22137462	5,80	10,90	15-sep-06	17-ago-16	01-jun-17	10,87
617	APILLUMA	LA PAZ	INQUISIVI	INQUISIVI	22137070	2,90	10,69	10-dic-07	10-nov-16	01-jun-17	9,61
955	AZARIAMA	LA PAZ	ABEL ITURRALDE	IXIAMAS	22137495	4,69	8,46	20-nov-11	14-sep-16	01-jun-17	5,61
949	PUERTO HEATH	LA PAZ	ABEL ITURRALDE	IXIAMAS	22137307	1,36	5,20	06-dic-11	15/01/2017	01-jun-17	5,57
950	PUERTO ARAONA	LA PAZ	ABEL ITURRALDE	IXIAMAS	22137449	2,00	4,70	16-ene-12	22-ene-17	01-jun-17	5,45
943	COCOS LANZA	LA PAZ	FRANZ TAMAYO	APOLO	22137064	4,70	5,14	01-ago-12	21-dic-16	01-jun-17	4,90
944	SAN FERMIN	LA PAZ	FRANZ TAMAYO	APOLO	22137224	3,71	4,16	03-ago-12	14-oct-16	01-jun-17	4,90
946	COLORADOS	LA PAZ	FRANZ TAMAYO	APOLO	22137319	3,43	5,10	05-ago-12	15-oct-16	01-jun-17	4,89
590	CMD AROMA	LA PAZ	LOAYZA	LURIBAY	22137483	3,30	6,30	07-dic-12	08-nov-16	01-jun-17	4,55
799	MINA MATILDE	LA PAZ	CAMACHO	PUERTO TARABUCO	22137253	3,80	4,12	08-feb-13	31-ago-15	01-jun-17	4,37
75	CMD. TANCA CHAPI	LA PAZ	INQUISIVI	COLQUIRI	22137450	3,45	4,19	10-may-13	05-may-15	01-jun-17	4,12
3656	MINA ARGENTINA	LA PAZ	TLC - MINA ARGENTINA	INQUISIVI	22137208	3,90	3,92	13-sep-13	17-abr-15	01-jun-17	3,77
3776	CARANAVI	LA PAZ	ENDE CARANAVI	CARANAVI	22137245	4,99	5,01	18-nov-13	24-mar-15	01-jun-17	3,59
8459	YANAMAYO	LA PAZ	TPU - YANAMAYO	SUD YUNGAS	22137266	4,10	4,12	02-ene-14	10-may-15	01-jun-17	3,46
12368	CHARAÑA	LA PAZ	DAB CHARAÑA	PACAJES	22137122	4,30	4,32	16-feb-14	11-abr-17	01-jun-17	3,34
12548	CORO CORO	LA PAZ	COMIBOL CORO CORO	PACAJES	22137271	0,70	1,20	18-feb-14	03-mar-17	01-jun-17	3,33
12707	LIPICHI	LA PAZ	amazonica	LARECAJA	22137173	3,40	4,01	19-feb-14	01-dic-16	01-jun-17	3,33
12711	CAIROMA	LA PAZ	SARTAWI CAIROMA	LOAYZA	22137274	4,80	5,03	02-mar-14	27-oct-16	01-jun-17	3,30
13138	TAYPIPLAYA	LA PAZ	TLC - TAYPIPLAYA	NOR YUNGAS	22137117	5,30	5,36	02-mar-14	25-mar-16	01-jun-17	3,30
13430	IRUPANA	LA PAZ	TLC - IRUPANA	SUD YUNGAS	22137274	5.7	5,72	02-mar-14	10-abr-16	01-jun-17	3,30
13431	VILOCO	LA PAZ	TLC - VILOCO	LOAYZA	22137273	3.9	4,03	21-mar-14	21-mar-16	01-jun-17	3,24
13433	COACOLLO	LA PAZ	TLC - COACOLLO	INGAVI	22137276	4.44	4,56	05-may-14	21-mar-16	01-jun-17	3,12
13433	AYATA	LA PAZ	TLC - AYATA	MUÑECAS	22137281	3.12	3,15	07-jun-14	12-abr-16	01-jun-17	3,03
13572	CORIPATA	LA PAZ	TLC - CORIPATA	NOR YUNGAS	22137312	3.11	3,18	14-oct-14	09-abr-16	01-jun-17	2,67
13582	ESCOMA	LA PAZ	TLC - ESCOMA	CAMACHO	22137296	4.72	4,73	13-sep-14	09-abr-16	01-jun-17	2,76
13582	SANTA ROSA DE KILO KILO	LA PAZ	TLC - STA ROSA DE KILO	NOR YUNGAS	22137329	3,20	3,24	18-nov-14	25-mar-16	01-jun-17	2,57
13674	TIPUANI	LA PAZ	TLC - TIPUANI	LARECAJA	22137336	1.8	1,98	02-ene-15	23-mar-16	01-jun-17	2,45
13783	CHULUMANI	LA PAZ	TLC - CHULUMANI	SUD YUNGAS	22137374	4,30	4,31	16-feb-15	26-mar-16	01-jun-17	2,32
3772	CAJUATA	LA PAZ	TPU - CAJUATA	INQUISIVI	22137309	5,14	5,14	18-feb-15	25-oct-16	01-jun-17	2,32
3695	INCA	LA PAZ	TPU - INCA LECO	FRANZ TAMAYO	22137306	2,40	2,41	19-feb-15	10-abr-16	01-jun-17	2,31



Gráfica 2. Gráfica Resistencia versus Tiempo de instalación
(Fuente: Elaboración propia)

De todo el universo de redes VSAT se puede observar que el tiempo en años en el cual el sistema de puesta a tierra se mantiene en el rango normal es de aproximadamente de 5,45 años, a partir de ese valor y hasta un valor de 16,21 años entra a un nivel crítico, que corresponde a una resistencia de entre 5 a 10 ohmios, y según recomendaciones y exigencias de funcionamiento se debería entrar a un periodo de verificación. A partir de 16.21 años aproximadamente los sistemas de puesta a tierra ingresarían a un rango de riesgo, donde el valor de la resistencia sube por encima de 10 ohmios, en algunos casos y según la zona geográfica instalada este valor se incrementa exageradamente para las exigencias iniciales.

4.4. Desarrollo del estudio de Corrosión de la varilla de cobre.

Para realizar la estimación de la corrosión, la cual es una medida del grado de afectación del metal debido a reacciones en el terreno.

Las pruebas de corrosión en este trabajo se han dividido en forma general en tres tipos. El primero corresponde a las pruebas de laboratorio de absorción atómica, en el segundo, se encuentra el método de pérdida de peso, el cual consiste en hacer una comparación de las diferentes muestras en relación a la original. El tercero se refiere a las medidas en campo, donde las medidas se efectúan en ambiente real.

4.4.1. Análisis de muestras por absorción atómica.

Las pruebas de corrosión realizadas en laboratorio se obtuvieron por absorción atómica que es un método importante, que nos permite medir la cantidad material analizado que se encuentra en la muestra. El análisis de absorción atómica es una técnica para determinar la concentración de un elemento metálico determinado en una muestra, el mismo puede utilizarse para analizar la concentración de más de 62 metales diferentes en una solución.

La técnica en mención hace uso de la absorción atómica para evaluar la concentración de un analito en una muestra. Este método utiliza para determinar la concentración de cobre en una muestra, el Cloruro de Cobre dihidrato ($CuCl_2.2H_2O$), bajo diferentes concentraciones para obtener un lixiviado que contiene el cobre disuelto, finalmente, la absorción de la disolución se mide en un espectrofotómetro de absorción atómica y se interpola en una curva de calibración preparada con una serie de patrones de cobre. (Saciloti, 2008)

El cobre es el primer elemento del grupo once del sistema periódico. Sus propiedades físicas y químicas tales como elevada conductividad térmica, alta conductividad eléctrica, maleabilidad, capacidad para formar aleaciones y abundancia, lo convierten en uno de los metales más importantes. Es de color rojizo, encontrándose tanto en suelos, rocas, aguas, sedimentos y aire como en todos los animales y las plantas.

El acero utilizado en el núcleo de la varilla recubierta de cobre es designado por la norma SAE 1020, de acuerdo con lo establecido en la norma ASTM A29. Las varillas de acero recubierto de cobre deben ser libres de imperfecciones. El cobre debe tener unión metálica que garantice la perfecta adherencia del cobre con el núcleo de acero y en ningún momento debe existir separación física de ambos metales. El revestimiento de cobre utilizado en las varillas debe tener al menos 99 % de pureza (Saciloti, 2008). Es esta la razón de realizar esta técnica de ensayo es que nos permitirá verificar la cantidad cobre que contiene cada una de las muestras.

De todo el universo de muestra tomadas, se realizó el envío de las envió las mismas a laboratorio para determinar la concentración cobre que contienen estas muestras, en partes por millón (ppm). La cantidad en peso de las muestras para su análisis es aproximadamente de 1 gramo para cada una de la muestras, de las mismas se tuvo cuidado en recolectarlas y en mantener sus condiciones originales en las que fueron obtenidas.

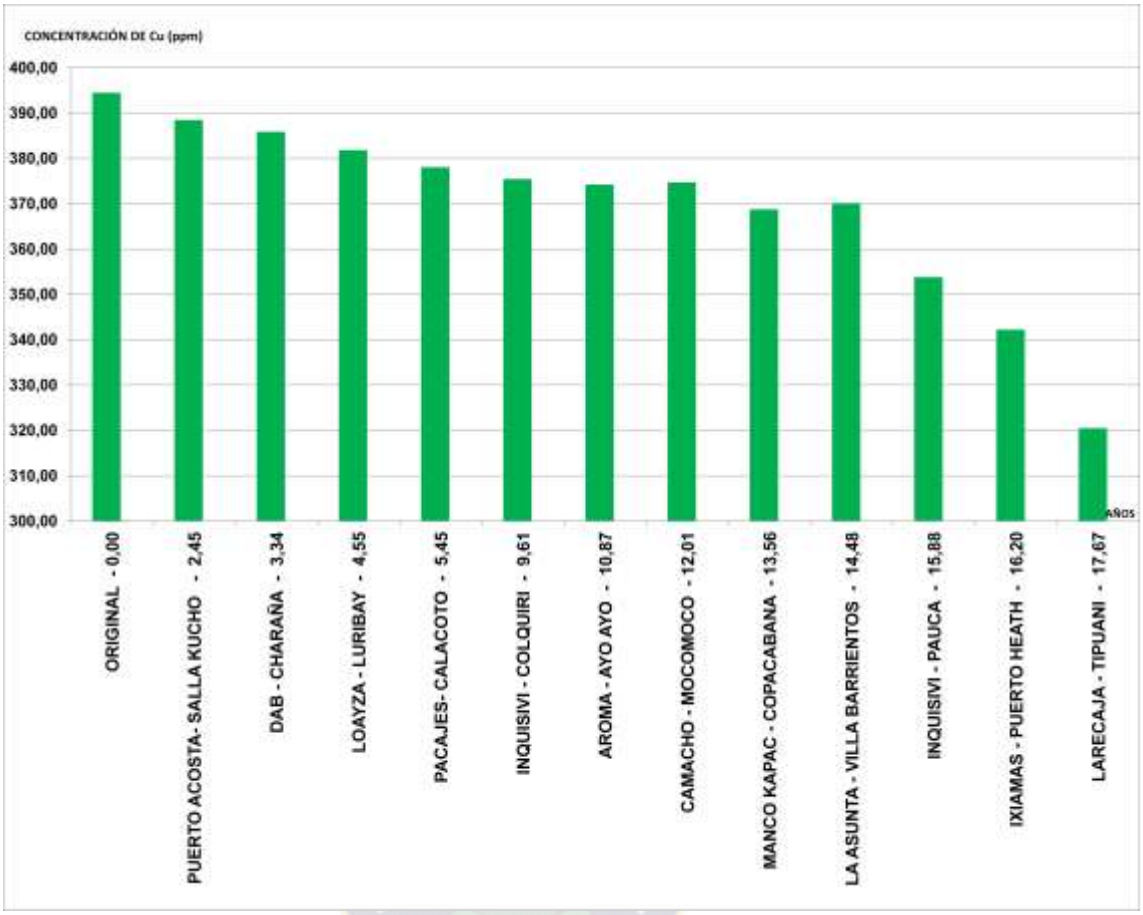
Las muestras son un total de trece que corresponden a cada uno de los sistemas de puesta a tierra de las redes VSAT como se puede observar en la tabla 12.

Tabla 12. Resultados de laboratorio de las muestras de concentración de cobre (Fuente: Elaboración propia)

MUESTRA	ORIGEN DE LA MUESTRA	AÑOS DE SERVICIO (años)	PESO DE LA MUESTRA EN LABORATORIO (gr)	CONCENTRACIÓN DE Cu (ppm)	PORCENTAJE DE COBRE (%)
1	ORIGINAL	0,00	1,0580	394,46	85,12%
2	PUERTO ACOSTA- SALLA KUCHO	2,45	1,0420	388,49	83,90%
3	DAB - CHARAÑA	3,34	1,0350	385,88	83,26%
4	LOAYZA - LURIBAY	4,55	1,0241	381,82	82,39%
5	PACAJES- CALACOTO	5,45	1,0140	378,05	81,57%
6	INQUISIVI - COLQUIRI	9,61	1,0070	375,44	81,01%
7	AROMA - AYO AYO	10,87	1,0037	374,21	80,75%
8	CAMACHO - MOCOMOCO	12,01	1,0050	374,70	80,85%
9	MANCO KAPAC - COPACABANA	13,56	0,9891	368,77	79,57%
10	LA ASUNTA - VILLA BARRIENTOS	14,48	1,0230	370,10	79,86%
11	INQUISIVI - PAUCA	15,88	0,9489	353,78	76,34%
12	IXIAMAS - PUERTO HEATH	16,20	1,0253	342,23	73,84%
13	LARECAJA - TIPUANI	17,67	0,9856	320,50	69,16%

De acuerdo a los datos obtenidos para los ensayos de absorción atómica, las cuales fueron proporcionados por un laboratorio especializado en la que se realizó la experiencia, el cual posee todos los equipos, materiales y reactivos necesarios para realizar este análisis; se puede afirmar que el tiempo de exposición a los diferentes tipo de suelos de la varillas de los sistema de puesta a tierra, influye significativamente en el comportamiento del metal, indicando que a mayor tiempo de exposición, la capa de óxido se hace menos protectora y estable, causando mayor corrosión.

La concentración de cobre en la muestra original o sea en la muestra que no ha sido expuesta a los efectos del suelo tiene una mayor concentración de cobre y según se va analizando las muestras con diferentes tiempos de exposición al suelo, su concentración de cobre va disminuyendo, esto se puede observar en la gráfica 3.



Gráfica 3. Gráfica del comportamiento de la concentración de cobre en relación a los años de instalación (Fuente: Elaboración propia)

De los resultados de la gráfica 3, se puede observar que la muestra que no fue sometida a exposición del suelo (muestra original), con peso de 1,0580 gramos de material, del cual fue realizado el ensayo, posee una concentración de cobre de 394.360 ppm (partes por millón), lo que representara un punto de partida para realizar una comparación para las demás muestras, de manera que se puede verificar la reducción de la concentración de cobre en cada una de estas, en relación al tiempo ó años de exposición a los diferentes parámetros del suelo, que incidieron directamente a la corrosión del material (cobre).

4.4.2. Análisis de muestras por efectos de la corrosión en la pérdida de peso.

Este método no destructivo el cual evalúa la pérdida de peso, que relaciona el daño causado por la corrosión con pérdida de peso en el material.

Una vez las muestras de cobre fueron extraídas después de un cierto tiempo de exposición, en el suelo se observaron a simple vista mostrando formación de productos de corrosión de diferente aspecto en cuanto a su color, textura y adhesión a la superficie metálica, como se puede observa en la figura 27.

a) Varilla original **b) Varilla con corrosión**

Figura 27. a) y b) Probetas de las varillas de cobre para ensayo (Fuente propia)

La corrosión subterránea toma lugar en forma general uniforme que avanza hacia una pérdida parcial y en el tiempo pérdida total en peso del componente, que es directamente influencia del riesgo de corrosión.

Los efectos que produce la corrosión, como se puede evidenciar es que el tiempo transcurrido enterrado en el suelo, hace que el material pierda su característica inicial en lo que se refiere al peso inicial con el que fue instalado el sistema de electrodos.

Figura 28. Varilla de cobre con efecto de la corrosión (Fuente: Propia)

4.4.2.1. Resultados de las muestras medidas en laboratorio.

Las varillas de cobre obtenidas de los sistemas de puesta a tierra de las redes VSAT, de los sitios escogidos, fueron seleccionados teniendo cuidado de mantener las condiciones originales luego de haber sido extraídas. De todo el universo de redes VSAT en el departamento de La Paz, se pudo recolectar muestras de algunos de los sitios ya instalados teniendo cuidado al momento de adquirir los mismo, de no afectar al funcionamiento del sistema en el cual se reemplazó la varilla utilizada por una nueva, acorde a los requerimientos iniciales de instalación.

De cada varilla se procedió a tomar muestras (probetas), con las dimensiones necesarias y acorde a los instrumentos que se utilizaron para realizar el pesaje de los mismos.

Cuando se realizan pruebas de corrosión para determinar el comportamiento del metal en un determinado ambiente, lo deseable es que la superficie de las muestras debe estar limpia de material sedimentario de su entorno anterior, esto se consigue utilizando cepillos, lijas y paños para tal efecto.

Para realizar las mediciones de peso se utilizó una balanza analítica de precisión el cual según las características técnicas tiene una capacidad de medir un peso máximo de 100 gr. Es por eso que se tomó muestras adecuadas para el caso.

Figura 29. Balanza Analítica KERN ABS-N- ABJ-NM
(Fuente: propia)

Del ensayo realizado en el pesaje de las muestras, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

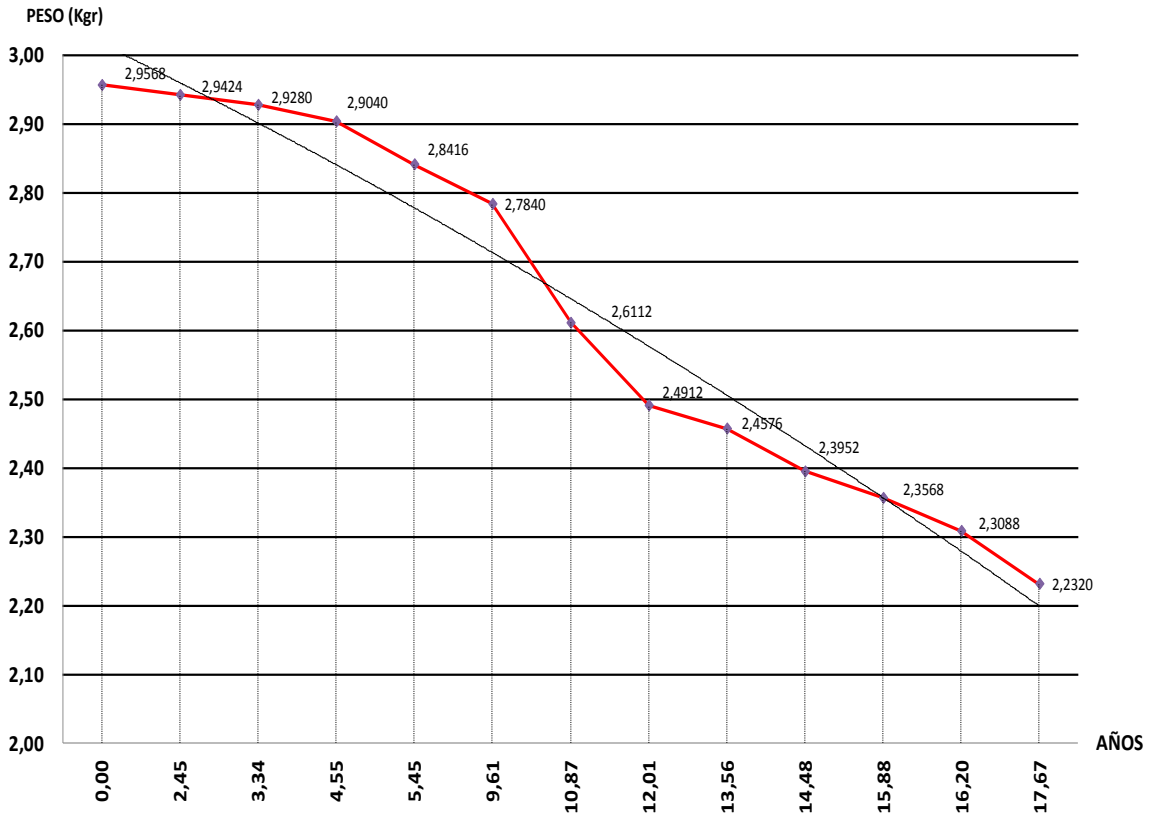
Tabla 13. Resultados de muestras en laboratorio (Fuente: Elaboración Propia)

MUESTRA	ORIGEN DE LA MUESTRA	PESO DE LA PROBETA EN LABORATORIO (gr)	PESO A UNA LONGITUD DE 2,4 mt (Kgr)	AÑOS DE SERVICIO (años)	PERDIDA DE PESO (gr)	PORCENTAJE DE PERDIDA DE PESO (%)
1	ORIGINAL	0,0616	2,9568	0,00	0,00	0,00%
2	PUERTO ACOSTA - CMD SALLA KUCHO	0,0613	2,9424	2,45	0,0144	0,49%
3	DAB - CHARAÑA	0,0610	2,9280	3,34	0,0288	0,97%
4	LOAYZA - LURIBAY	0,0605	2,9040	4,55	0,0528	1,79%
5	PACAJES- CALACOTO	0,0592	2,8416	5,45	0,1152	3,90%
6	INQUISIVI - COLQUIRI	0,0580	2,7840	9,61	0,1728	5,84%
7	AROMA - AYO AYO	0,0544	2,6112	10,87	0,3456	11,69%
8	CAMACHO - MOCOMOCO	0,0519	2,4912	12,01	0,4656	15,75%
9	MANCO KAPAC - COPACABANA	0,0512	2,4576	13,56	0,4992	16,88%
10	LA ASUNTA - VILLA BARRIENTOS	0,0499	2,3952	14,48	0,5616	18,99%
11	INQUISIVI - PAUCA	0,0491	2,3568	15,88	0,6000	20,29%
12	IXIAMAS - PUERTO HEATH	0,0481	2,3088	16,20	0,6480	21,92%
13	LARECAJA - TIPUANI	0,0465	2,2320	17,67	0,7248	24,51%

Una vez obtenidos los datos del peso de la muestras en laboratorio, se comparan los resultados obtenidos en esta investigación. Lo que se pretende determinar en función a la longitud real y los años en los cuales las varillas de cobre estuvieron enterradas en el suelo, y la cantidad de pérdida de peso.

De las varillas de cobre obtenidas como muestra se tuvo el cuidado de obtener las probetas cuyas longitudes son de 5 centímetros. Inicialmente para realizar la comparación se tiene una muestra de una varilla cuyas características físicas y mecánicas son las originales, vale decir que es una varilla que no ha sido sometido a ninguna influencia en su entorno. Para lo cual se realizó el pesaje de la primera muestra donde se obtuvo un peso cuyo valor es de 0.0616 gramos para una longitud de 5 centímetros, entonces para obtener el valor aproximado a una longitud de 2.4 metros que es la tamaño original de la varilla que es instalada en el sistema de puesta a tierra, se

tiene un peso total de aproximadamente 2,9568 kg. que se aproxima al valor que es proporcionado por el fabricante, que es de 3,00 Kg. ±5. Este procedimiento se realizó en todas las muestras como se puede observar en la tabla 13.



Gráfica 4. Gráfica de resultado peso de la varilla versus años de funcionamiento (Fuente: Elaboración propia)

Analizando los resultados de la tabla 13, se puede verificar que la pérdida de peso es gradual, a partir del cual se deduce que el estado de corrosión influye en las características iniciales de las varillas en función del factor de la corrosión a simple vista, al que fueron expuesta las varillas de cobre el cual da lugar a la pérdida de peso, como se puede observar en la gráfica 4, la cual tiene una influencia directa en el valor de la medida de la resistencia de puesta a tierra en comparación a los datos iniciales de instalación.

En la gráfica 4 se muestra la comparación entre el parámetro del peso inicial de una varilla de cobre según manuales de instalación es de aproximadamente 3.00 Kg ± 5%, con una longitud de 2.40 metros cuyas características de porción de cobre es al 99% según los ensayos realizados, el cual por efecto de la corrosión subterránea fueron afectadas hasta tener una pérdida total en el transcurso de un tiempo de aproximadamente de 17,67 años, en un 24,51% de su peso total inicial.

Es entonces que podemos concluir que la morfología de daño encontrada sobre la superficie del cobre, muestra la presencia de corrosión uniforme y eventos de corrosión localizada, se evidencia la formación de productos de corrosión.

4.4.3. Verificación y obtención de las medidas de resistencia del Sistema de Puesta a Tierra.

La obtención de los datos fue realizada de manera práctica puesto que las redes VSAT están instaladas, para saber el valor de la medida de puesta a tierra y obedecer la norma de 5 ohmios se utilizó el Megger (Marca KYORITSU modelo 4105A), en conjunto a los electrodos y tres cables de medición, como se observa en la figura 30, para medir a distintas distancias y dentro de la cámara de inspección y obtener una medida del resultado del sistema de puesta a tierra.

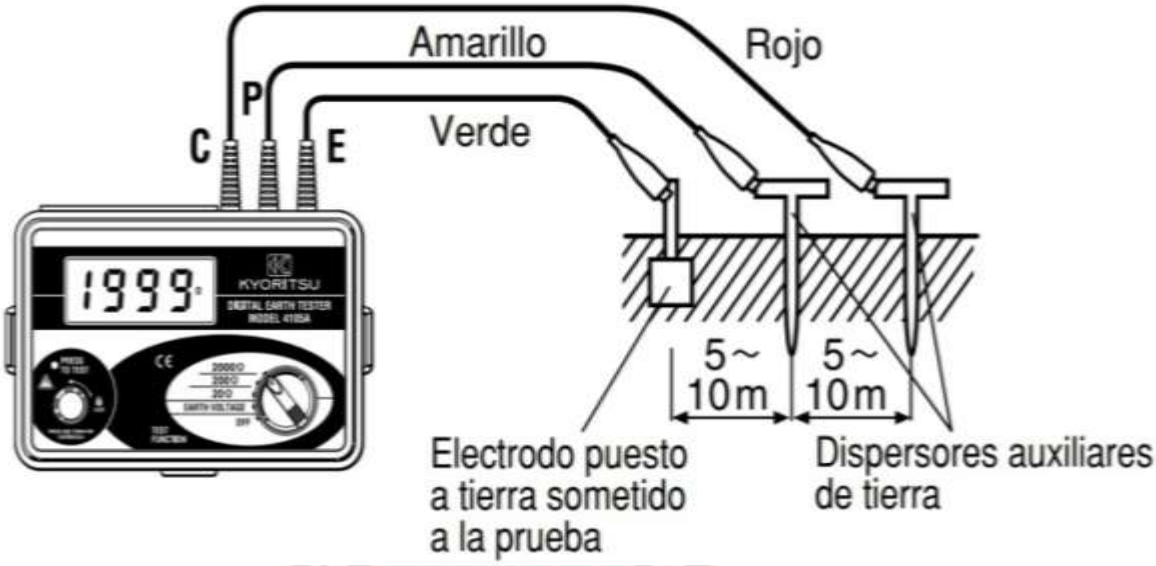


Figura 30. Modo de conexión de las sondas Medidor de tierra utilizado (Fuente: Manual Kyoritsu Electrical Instrument Works, Ltd)

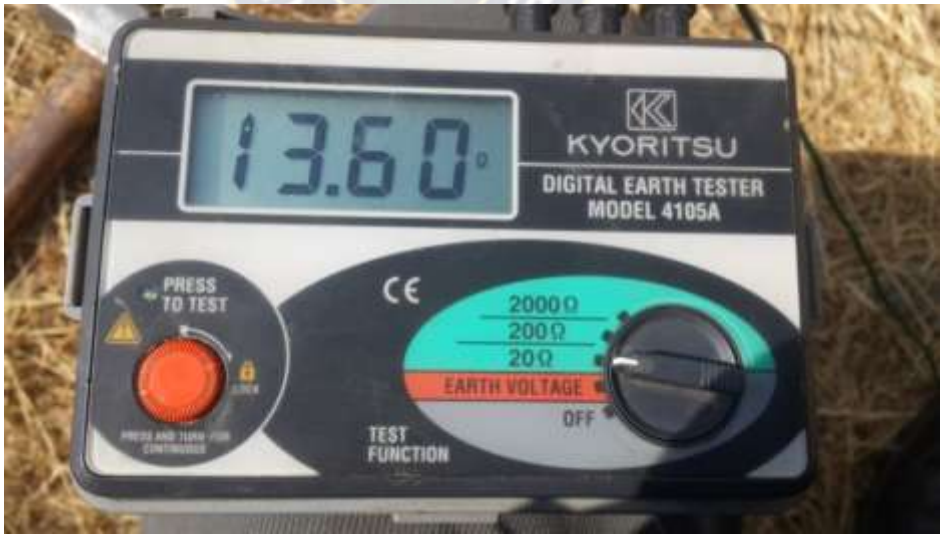


Figura 31. Medidor de tierra utilizado (Fuente: propia)

Para realizar la medición de resistencia de puesta a tierra, en los diferentes sitios fue necesario acceder a los mismos de manera que pudo realizar las mediciones y la obtención de las muestras de doce sitios ubicados en todo el departamento de La Paz, de donde se pudo ubicar las áreas en las cuales se realizó la instalación del sistema STP de la red VSAT.

Figura 32. Medidas en sitio de la resistividad del suelo (Fuente: propia)

Figura 33. Lectura de las medidas en sitio de la resistividad del suelo (Fuente: propia)

Los datos obtenidos son los que muestran en la tabla 14, en los que se puede observar cambios de los valores de la resistencia inicial y actual.

Tabla 14. Resultados de las mediciones actuales en los sitios (Fuente: Elaboración Propia)

MUESTRA	SITIO VISITADO	AÑOS DE SERVICIO (años)	RESISTENCIA INICIAL (OHM)	RESISTENCIA FINAL (OHM)	RESISTENCIA MEDIDA EN SITIO (OHM)
1	PUERTO ACOSTA - CMD SALLA KUCHO	2,45	1,80	1,98	2,01
2	DAB - CHARAÑA	3,34	4,30	4,32	4,50
3	LOAYZA - LURIBAY	4,55	3,30	5,30	5,25
4	PACAJES- CALACOTO	5,45	1,36	5,20	5,03
5	INQUISIVI - COLQUIRI	9,61	2,90	6,60	7,02
6	AROMA - AYO AYO	10,87	5,80	8,80	9,52
7	CAMACHO - MOCOMOCO	12,01	3,30	8,66	9,01
8	MANCO KAPAC - COPACABANA	13,56	4,70	9,50	9,80
9	LA ASUNTA - VILLA BARRIENTOS	14,48	5,54	10,69	10,15
10	INQUISIVI - PAUCA	15,88	5,60	10,90	11,14
11	IXIAMAS - PUERTO HEATH	16,20	1,69	12,25	14,34
12	LARECAJA - TIPUANI	17,67	5,54	22,50	23,80

De la anterior tabla se medió y verificó los resultados que fueron obtenidos de los datos estadísticos de la empresa que presta el servicio de instalación y mantenimiento. En las últimas mediciones se pudo verificar que estos se aproximan a los datos iniciales y si existe alguna variación es producto de simplemente algún desplazamiento al momento de realizar el ensayo, por lo demás estos datos son confiables.

4.4.4. Influencia de la acidez y alcalinidad del suelo en la corrosión.

El pH del suelo es una medida de la acidez o alcalinidad en los suelos. Realizando el análisis de los estudios de clasificación geológica de los suelos de las diferentes zonas geográficas del departamento de La Paz, hechos anteriormente y

tomados como referencia, se extrae y se puede evidenciar que los suelos cuyo pH es menor a 7 son suelos ácidos y por encima de este pertenecen a suelos básico o alcalinos.

Una forma de verificar el tipo de suelo y el pH que posee es la observación de la textura, donde el color y aspecto del mismo expresa lo siguiente:

- Tierra negra: franco arcillosa-arenosa PH>5.5
- Tierra blanca: Franco arenosa PH≈4.5
- Tierra amarilla: Franco arcillo limosa PH<5.0

Tabla 15. Clasificación de los suelos en función del pH (Fuente: González Velázquez –Teoría y práctica de lucha contra la corrosión)

Clasificación de los suelos según el medio			
Regiones fisiográficas	**pH**	**Medio**	**Comporatmiento**
Cordillera Occidental	6 – 8	Neutro	No Agresivo
Cordillera Oriental			
Alta montaña	5 – 6	Moderadamente ácido	Agresivo
Altoandino (Yungas)	4 – 6	Acido	Agresivo
Altoandino (Altiplano)	6 – 7	Neutro	No Agresivo
Vertiente Oriental (Bosq. Nub.)	3,5 – 4,5	Acido muy fuerte	Muy agresivo
- Vertiente Oriental Yungas	4 – 6	Acido	Agresivo
- Valle interandinos	6 – 8	Neutro	No Agresivo
Altiplano			
Altiplano norte	5 – 7	Poco ácido a Neutro	No Agresivo
Altiplano sur	5 – 8	Poco ácido a Neutro	No Agresivo
Subandino	3 – 5	Acido muy fuerte	Muy agresivo
Llanura beniana	4 – 5	Muy ácido	Muy agresivo
Ondulado amazónico	4 – 5	Muy ácido	Muy agresivo

El departamento de La Paz posee diferentes zonas geográficas, lo que implica diferentes niveles de pH como se puede observar en la tabla 15, es entonces que por los

estudios realizados se puede concluir e indicar que los suelos que se encuentra ubicados en los sectores Subandinos, Yungas vertiente Oriental bosques nublados y Alto andino pertenecientes a los Yungas, Llanura beniana y Ondulado amazónico, son los terrenos que presentan un cierto grado de agresividad de corrosión, por lo que se recomienda tener en cuenta este aspecto que ayudaría a priorizar el mantenimiento y observación constante los sistemas de puesta a tierra de los sitios VSAT que se encuentran instalados en estas regiones.

4.4.5. Mantenimiento basado en el Riesgo.

La metodología de mantenimiento basado en el riesgo se desarrolla en tres módulos principales: la determinación del riesgo, que consiste en la identificación y estimación del riesgo; la evaluación del riesgo el cual considera los criterios de valoración para la comparación con los criterios de aceptación y por último la planeación del mantenimiento considerando los factores de riesgo.

Tabla 16. Referencia de nivel riesgo (Fuente: Elaboración propia)

SISTEMA DE STP MEDIDO	AÑOS DE SERVICIO	CONCENTRACION DE COBRE (ppm)	PESO A UNA LONGITUD DE 2,4 mt (Kgr)	RESISTENCIA MEDIDA (ohm)	Valor del Riesgo	Nivel de Riesgo
PUERTO ACOSTA - CMD SALLA KUCHO	2,45	388,490	2,9424	2,01	4,92	Bajo
DAB - CHARAÑA	3,34	385,880	2,9280	4,50	15,04	Bajo
LOAYZA - LURIBAY	4,55	381,820	2,9040	5,25	23,89	Bajo
PACAJES- CALACOTO	5,45	378,050	2,8416	5,03	27,41	Bajo
INQUISIVI - COLQUIRI	9,61	375,440	2,7840	7,02	67,46	Medio
AROMA - AYO AYO	10,87	374,210	2,6112	9,52	103,48	Alto
CAMACHO - MOCOMOCO	12,01	374,700	2,4912	9,01	108,21	Alto
MANCO KAPAC - COPACABANA	13,56	368,770	2,4576	9,80	132,89	Alto
LA ASUNTA - VILLA BARRIENTOS	14,48	370,100	3,3952	10,15	146,97	Alto
INQUISIVI - PAUCA	15,88	353,780	2,3568	11,14	176,90	Muy Alto
IXIAMAS - PUERTO HEATH	16,20	342,230	2,3088	14,34	232,31	Muy Alto
LARECAJA - TIPUANI	17,67	320,500	2,2320	23,80	420,55	Muy Alto

La priorización del mantenimiento se basa en el impacto que puede causar si existe una falla, si el impacto en el riesgo es insignificante, quiere decir que el mantenimiento del componente no es importante ya que el riesgo no es sensible para el buen funcionamiento del componente.

Debe tenerse en cuenta que se surgieren decisiones de mantenimiento en el sistema de puesta a tierra el cual se clasifica como a la vez importante y poco relevante en función de los efectos de no hacer el mantenimiento. Por los resultados obtenidos en las mediciones realizadas de las muestras de los sistemas de puesta a tierra como se puede verificar en la tabla 14, se puede valorar el nivel de riesgo en función de los valores de resistencia del suelo, y el tiempo de los años de servicios de cada uno de los sitios, de estos valores se puede encontrar el nivel de riesgo de cada una de las muestras.

Partiendo de la tabla 16, el nivel de riesgo se usa para medir la importancia de los sistemas en falla y que merece una intervención de mantenimiento inmediato. En este trabajo se propone en empleo de matrices de riesgo para determinar la importancia de las fallas.

Tabla 17. Matriz de riesgo (Fuente: Elaboración propia)

			GRAVEDAD (IMPACTO)				
			MUY BAJO 5	BAJO 10	MEDIO 15	ALTO 20	MUY ALTO 25
PROBABILIDAD RESISTENCIA (OHM)	MUY ALTA	16 >	H 125	E 200	E 300	E 400	E 500
	ALTA	11 - 15	M 75	H 150	E 225	E 300	E 375
	MEDIA	6 - 10	M 50	M 100	H 150	E 200	E 250
	BAJA	2 - 5	L 25	M 50	M 75	M 100	H 125
	MUY BAJA	< 1	L 5	L 5	M 15	M 20	M 25

En la tabla 17 se representa el riesgo asociado a cada una de las medidas realizadas, analizando los resultados obtenidos de esta matriz de riesgo, no se puede admitir un fallo cuyo riesgo queda en la zona E, y que corresponde a los fallos inadmisibles, lo que implica una mayor y urgente prioridad de mantenimiento en estos sistemas de puesta a tierra, puesto que esto representa un peligro para toda la red VSAT.

4.4.6. Consideraciones para el plan de mantenimiento de los sistemas de puesta a tierra.

Antes de realizar un plan de mantenimiento se debe hacer un análisis de riesgos para considerar las fallas que se puedan producir y las consecuencias que estas puedan ocasionar.

Según los resultados en las diferentes medidas de los métodos realizados, se deduce acciones y recomendaciones prácticas de mantenimiento, basado en el riesgo y las consecuencias, para comunes a ejecutarse en función de los resultados obtenidos; donde cada sistema de puesta a tierra que presenta un alto riesgo tiene la prioridad en el plan de mantenimiento.

Para tener un programa de mantenimiento nos basamos en los datos obtenidos, de los cuales según el alto riesgo obtenido lo que representa un peligro al funcionamiento adecuado del sistema y por tanto este puede repercutir en sistemas asociados al mismo como ser la red VSAT, por lo tanto se debe realizar una intervención urgente de reemplazar los componentes del sistema de puesta a tierra, principalmente las varillas de cobre.

El plan mantenimiento en los sistemas de puesta a tierra en las redes VSAT, se realiza con el fin de prevenir las fallas que se puedan presentar, y para preservar el buen funcionamiento de los subsistemas y equipos en un óptimo estado de funcionamiento.

Realizando el análisis del riesgo al que actualmente están sometidos los sistemas de puesta a tierra en los sitios en los cuales la resistencia tiene una variación

considerable, los cuales están en un nivel muy alto de riesgo, el cual requiere medidas preventivas de mantenimiento urgentes.

En la tabla 18, se puede observar los sitios que requieren una urgente intervención en el mantenimiento, el cual es un resumen de las estadísticas de todo el universo de redes VSAT, esto implica el reemplazo total y de manera perentoria de todo el sistema de puesta a tierra, tomando en cuenta las acciones necesarias como ser de no cortar el servicio de la red VSAT.

Tabla 18. Sitios VSAT que requieren un urgente mantenimiento (Fuente: Elaboración propia)

ID	LOCALIDAD	DPTO	PROVINCIA	SECCION (MUNICIPIO)	TIERRA OHM	AÑOS DE SERVICIO
23	TIPUANI	LA PAZ	TLC - TIPUANI	LARECAJA	22,50	17,67
1455	VILLA BARRIENTOS	LA PAZ	SUD YUNGAS	LA ASUNTA	22,50	14,48
658	SAN JOSE DE CHUPIAMONAS	LA PAZ	ABEL ITURRALDE	SAN BUENAVENTURA	19,40	15,83
971	HUANCANE	LA PAZ	LOAYZA	SAPAHAQUI	17,50	16,18
1398	INGENIO	LA PAZ	LARECAJA	SORATA	16,80	14,03
783	CMD. KHALA LLUSTA	LA PAZ	INQUISIVI	1ra SEC. INQUISIVI	15,30	16,87
72	CMD. KHALA UTA	LA PAZ	INQUISIVI	COLQUIRI	14,52	17,79
74	CMD. POQUERA	LA PAZ	INQUISIVI	4ta SEC. INQUISIVI	13,80	16,85
802	LOC. SALLALLI	LA PAZ	INQUISIVI	4ta SEC. INQUISIVI	12,80	16,53
14	ATEN	LA PAZ	FRANZ TAMAYO	APOLO	12,45	14,65
1520	CAJCACHI	LA PAZ	CAMACHO	MOCOMOCO	12,25	12,01
678	MACHACAMARCA	LA PAZ	SUD YUNGAS	CHULUMANI	12,24	17,45
942	PLAYA VINTO (AYLLO ORG. ARA	LA PAZ	PACAJES	CALACOTO	11,80	16,08
369	POCUMA	LA PAZ	LOAYZA	LURIBAY	11,70	13,67
941	SIQUI	LA PAZ	PACAJES	CALACOTO	11,60	16,08

Los sitios mostrados son aquellos que tienen un rango alto de riesgo y por lo tanto requieren una urgente intervención de manera que estos sean reemplazados con un nuevo sistema de puesta a tierra.

4.4.6.1. Plan de mantenimiento.

El plan de mantenimiento debe basarse en la integración de técnicas y métodos, en función a resultados obtenidos en las mediciones de los análisis realizados y en relación al factor de riesgo determinado, lo que permite elaborar un plan de contingencias.

Para la implementación de un sistema de mantenimiento, se propone seguir un esquema de metodología simple en base a un diagrama de Gantt, en el que se asumen actividades que ayudaran a desarrollar este propósito.

Tabla 19. Secuencia de mantenimiento diagrama de Gantt (Fuente: Propia)

DIAGRAMA DE GANTT

SECUENCIA DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Mes:_____

SISTEMA DE PUESTA A TIERRA (spt)

SITIO: _____

VALOR DE LA PUESTA A TIERRA ACTUAL: _____(Ohm)

			Mes																													
ACTIVIDAD		*Dias*	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*	*15*	*16*	*17*	*18*	*19*	*20*	*21*	*22*	*23*	*24*	*25*	*26*	*27*	*28*	*29*	30	31
1	*INSTALACION DE FAENAS DE TRABAJO*	*1*	X																														
2	*VERIFICACION VISUAL DEL SITIO*	*1*		X																													
3	*MEDIDA DE VERIFICACION DEL SPT*	*1*			X																												
4	*VERIFICACION DE FUNCIONAMIENTO DE LOS SUBSISTEMAS*	*1*				X																											
5	*CONTROL DE LAS CONEXIONES ELECTRICAS*	*1*					X																										
6	*INSTALACIÓN DE ELECTRODOS AUXILIARES DEL SPT*	*2*						X	X																								
7	*EXCAVACION DE LAS FOSAS DE LAS VARILLAS DE PUESTA A TIERRA*	*2*								X	X																						
8	*CAMBIO DE LAS VARILLAS Y SOLDADURA EXOTERMICA*	*2*										X	X																				
9	*RELLENO Y COMPACTADO DE LA FOSAS*	*2*												X	X																		
10	*MEDIDA DE VERIFICACION DEL SPT*	*1*														X																	
11	*INSTALACION DE LOS SUBSISTEMAS AL NUEVO SISTEMA SPT*	*1*															X																
	Número de días:	*15*																															

VALOR DE LA PUESTA A TIERRA FINAL: _____(Ohm)

El propósito de este cronograma de mantenimiento para el tratamiento del riesgo, que se determinó en base a los resultados obtenidos, que evalúan este factor de peligrosidad al que están sometidos en ciertos sitios, donde se observa la variación del valor de la resistencia de puesta a tierra. Los sitios mencionados en la tabla 17 requieren una intervención de alta prioridad y eficaz, para evitar un impacto adverso a futuro en los subsistemas de la red VSAT.

En el plan de mantenimiento planteado se utilizarán herramientas, instrumentos y materiales, de manera que los sitios sean intervenidos de manera oportuna, en la siguiente tabla se hace mención de estos.

Tabla 20. Herramientas, Instrumentos y Materiales para el mantenimiento (Fuente: elaboración propia)

HERRAMIENTAS
Kit de soldadura exotérmica
Juego de alicates y destornilladores
Sierra mecánica y amoladora de corte
Cepillos metálicos y escobillas
Juego de palas y picotas
INSTRUMENTOS
Medidor de tierra
Multitester digital
MATERIALES
Varillas de cobre de 2,4 mt. de largo 5/8”
Pólvora de soldadura exotérmica
Bentonita, Thor gel

Al tratarse de un conjunto de sitios que están dentro del rango de alto riesgo, es oportuno plantear un cronograma de intervención en función a tiempos establecidos, para un buen desarrollo del mismo. Se plantea un tiempo estimado por sitio de 15 días y la intervención de todos los sitios en un aproximado de 4 meses.

Tabla 21. Cronograma de Mantenimiento (Fuente: Elaboración propia)

C R O N O G R A M A - D E - M A N T E N I M I E N T O

SISTEMA DE PUESTA TIERRA

Proyecto : REDES VSAT **Plazo (días calendario) : 120**

No.	SITIO		No. días	1er. MES				2do. MES				3er. MES				4er. MES			
	LOCALIDAD	PROVINCIA		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	TIPUANI	TLC - TIPUANI	15																
2	VILLA BARRIENTOS	SUD YUNGAS	15																
3	SAN JOSE DE CHUPIAMONAS	ABEL ITURRALDE	15																
4	HUANCANE	LOAYZA	15																
5	INGENIO	LARECAJA	15																
6	CMD. KHALA LLUSTA	INQUISIVI	15																
7	CMD. KHALA UTA	INQUISIVI	15																
8	CMD. POQUERA	INQUISIVI	15																
9	LOC. SALLALLI	INQUISIVI	15																
10	ATEN	FRANZ TAMAYO	15																
11	CAJCACHI	CAMACHO	15																
12	MACHACAMARCA	SUD YUNGAS	15																
13	PLAYA VINTO (AYLLO ORG. ARAN	PACAJES	15																
14	POCUMA	LOAYZA	15																
15	SIQUI	PACAJES	15																

Tabla 22. Ficha técnica de mantenimiento (Fuente: Elaboración Propia)

FICHA TECNICA DE MANTENIMIENTO

SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

DEPARTAMENTO: _____ PROVINCIA: _____

MUNICIPIO: _____ DIRECCION: _____

SECCION: _____ FECHA: _____

ID VSAT: _____ TELEFONO: _____

VALOR DE RESISTENCIA INICIAL : _____(OHM)

VALOR DE RESISTENCIA FINAL: _____(OHM)

FECHA INICIO: _____ FECHA CONCLUSION: _____

EVENTO No.	ACTIVIDAD	VERIFICADO	OBSERVACIONES
1	INSTALACION DE FAENAS DE TRABAJO		
2	VERIFICACION VISUAL DEL SITIO		
3	MEDIDA DE VERIFICACION DEL SPT		
4	VERIFICACION DE FUNCIONAMIENTO DE LOS SUBSISTEMAS		
5	CONTROL DE LAS CONEXIONES ELECTRICAS		
6	INSTALACIÓN DE ELECTRODOS AUXILIARES DEL SPT		
7	EXCAVACION DE LAS FOSAS DE LAS VARILLAS DE PUESTA A TIERRA		
8	CAMBIO DE LAS VARILLAS Y SOLDADURA EXOTERMICA		
9	RELLENO Y COMPACTADO DE LA FOSAS		
10	MEDIDA DE VERIFICACION DEL SPT		
11	INSTALACION DE LOS SUBSISTEMAS AL NUEVO SISTEMA SPT		

ACLARACIONES/OTROS:

CONFORMIDAD DEL MANTENIMIENTO

CAPITULO V

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

5.1 Análisis del funcionamiento de las redes VSAT.

La gran mayoría de las estaciones remotas VSAT se encuentran ubicados en zonas rurales, donde se presenta una alta probabilidad de descargas atmosféricas (rayos, truenos, lluvias), además de usar energía de red para alimentar a los equipos de cada uno de los subsistemas, el cual posee un al nivel de voltaje fluctuante, estos factores y asociados a otros obligan a poseer un sistema de puesta a tierra interconectada a todos los componentes de la red.

Para garantizar el buen funcionamiento de los equipos, en las redes VSAT es necesario realizar el mantenimiento de cada una de sus partes, pero en nuestro caso nos enfocamos al estudio y análisis de los sistemas de puesta a tierra.

El estudio se centró en la verificación del valor de la resistencia del sistema de puesta a tierra que existe en cada uno de las estaciones remotas. De la población total de redes VSAT se eligieron para datos muéstrales a doce sitios, los cuales se encuentran en pleno funcionamiento, los sitios seleccionados son los siguientes:

- Larecaja – Tipuani
- Ixiamas - Puerto Heath
- Inquisivi – Pauca
- La Asunta - Villa Barrientos
- Manco Kapac – Copacabana
- Camacho – Mocomoco
- Aroma - Ayo Ayo
- Inquisivi – Colquiri

- Pacajes- Calacoto
- Loayza – Luribay
- DAB – Charaña
- Puerto Acosta – Cmd. Salla Kucho

En estos sitios se realiza el mantenimiento de manera periódica y según el requerimiento de fallas existente, pero no se cuenta con un plan de mantenimiento preventivo que permita alertar sobre el peligro de las variaciones iniciales del valor de la resistencia del sistema de puesta a tierra, por los valores obtenidos estadísticamente (datos proporcionados por la empresa) y los datos obtenidos en sitio, así también se pudo evidenciar los siguiente:

- Excesiva variación del valor del sistema de puesta a tierra, entre el valor inicial de instalación y el valor medido actualmente.
- Los sitios donde la instalación es aproximadamente mayor a 16 años, presenta alto riesgo el sistema de puesta a tierra lo que implica una desprotección a los diferentes subsistemas.
- Al momento de verificar el estado de las varilla se pudo observar cierto grado de corrosión en el material (cobre), lo que da a entender del porqué de la existencia de la variación de la resistencia a de la puesta a tierra.

Esto representa significativamente un riesgo en el funcionamiento del sistema VSAT en cada uno de sus subsistemas.

5.2 Comprobación de la hipótesis.

Para realizar la comprobación de la hipótesis se utilizaron datos obtenidos por la empresa que realiza la instalación y mantenimiento de estos sistemas, como también

datos de investigación de medidas en los sitios y resultados de laboratorio, de los doce sitios seleccionados como muestra de toda la población de redes VSAT.

La hipótesis que se propuso para la investigación es: “El riesgo de cambio del valor de la resistencia del sistema de puesta a tierra, tiene directa relación con la pérdida de peso y el desgaste por la corrosión subterránea del dispositivo”. A partir de esta hipótesis se empezó a realizar las búsquedas necesarias a fin de determinar variables independientes y dependientes, para establecer resultados los cuales nos permitieron realizar un plan de mantenimiento de los sistemas de puesta a tierra de las redes VSAT, en el departamento de La Paz.

En la investigación realizada se pudo obtener datos esenciales, tanto por métodos no destructivos y porque la situación obligaba a realizar análisis por métodos destructivos. De los ensayos efectuados en laboratorio y las mediciones realizada es preciso rescatar que estos han tenido una misma tendencia, lo que permite verificar el efecto que se produce por la exposición al suelo y al que están sometidas las varillas de cobre, donde los factores de humedad, salinidad, factor de pH del suelo y el tiempo de funcionamiento de estos, tienen una afectación y hace que los mismos vayan perdiendo sus características eléctricas y mecánicas.

Para empezar la investigación se seleccionó los sitios de manera que estos tengan diferentes tiempos de funcionamiento o sea que sean de reciente instalación y sitios cuyo tiempo de operación sea lo más antiguo posible. Se procedió a realizar las medidas de la resistencia de la tierra, de manera que se pudo comprobar los datos proporcionados por la empresa, y se evidencio la variación del valor de la resistencia, que existe en estos sitios, como se puede verificar en la tabla 14.

Posterior a esto se procedió a obtener las muestras teniendo cuidado de no afectar el funcionamiento de la red VSAT. De las muestra adquiridas estas se las empezó a clasificar y a obtener probetas en diferentes cantidades, estos fueron enviados a

laboratorio para su posterior evaluación, con los métodos de medida de peso y de absorción atómica.

De los resultados de la laboratorio se puede comprobar que la pérdida de peso en el material ensayado es evidente, esto por efecto de la corrosión al que están expuestas las varillas. También en relación al ensayo de laboratorio destructivo (absorción atómica), los resultados son como se esperaban, puesto que el efecto de la corrosión hace que el material de la varilla se vaya degradando, al punto de perder sus características iniciales, estos resultados son verificados por la pérdida de concentración de cobre (material analizado con preferencia), de ahí que se puede afirmar que la corrosión de la varilla tiene un efecto directo en la variación de la resistencia del sistema de puesta a tierra, como ve observa en la tabla 12.

Del análisis realizado se pudo comprobar la hipótesis planteada, por lo tanto esta investigación es válida para determinar los sitios que se encuentran dentro del rango de riesgo.

5.3. Conclusiones.

Una red VSAT por las características de funcionamiento y las exigencias técnicas, requieren contar con un sistema de protección que implica contar con sistema de puesta tierra que este dentro los márgenes establecidos, lo que permite disipar la energía proveniente de descargas atmosféricas, sobretensiones internas, cargas estáticas y eventos de cortocircuitos, por lo que esta investigación cumplió los objetivos propuestos de los cuales se concluye:

- Se realizó el diagnostico de los sistemas de puesta a tierra, mediante datos estadísticos obtenidos de las actuales redes VSAT que están pleno funcionamiento en el departamento de La Paz, donde se evidenció variaciones en el valor de la

resistencia a tierra, que permitió verificar el riesgo en la que se encuentran los sitios que tienen una variación considerable.

- Para poder obtener resultados que validen el análisis de corrosión se utilizó el método de laboratorio químico de absorción atómica, que es una técnica instrumental de la química analítica que permite medir las concentraciones específicas de un material, en nuestro caso la cantidad de cobre en la varilla. Este proceso se realizó haciendo uso de herramientas necesarias para la valoración de la veracidad de los resultados. Se pudo identificar la concentración de cobre en las muestras, y permitió establecer que la corrosión es uno de los factores que afecta la resistencia del sistema de puesta a tierra, en función al tiempo y a los factores del suelo al que son expuestos las varillas de cobre.
- Otro de método de laboratorio utilizado fue el de la medida del peso de las muestras de las varillas de cobre de los sistemas de puesta tierra, con el cual se verificó el desgaste por la corrosión subterránea del dispositivo.
- Se realizó mediciones en los sitios seleccionados, donde se verificó los datos que se recopilaron al inicio de la investigación. Se comprobó que cada uno de los sitios donde se realizó esta experiencia evidentemente tienen variaciones en la resistencia de puesta a tierra.
- Se pudo clasificar las características geológicas de los suelos en el departamento de La Paz, en función a estudios realizados anteriormente lo que permitió evidenciar el efecto de la acidez de los suelos lo que representa un peligro en la corrosión de las varillas de cobre que son sometidos a estos medios, este factor es inevitable pero esta investigación ayudará a tomar medidas de prevención en los sistemas de puesta a tierra que se encuentren instalados en estos sitios.
- Se identificó los sitios que presentan un valor de alto riesgo en relación a la elevada variación de la resistencia de puesta a tierra, lo que significa una intervención urgente en el mantenimiento de los mismos.

- A través de un cronograma de mantenimiento que se propone, es posible intervenir en un lapso de tiempo establecido para salvaguardar y mantener estos sitios con un valor de resistencia de puesta a tierra dentro del margen establecido.

El presente documento ratifica la hipótesis sobre el valor de la resistencia del sistema a puesta tierra, en el desarrollo de este trabajo se tuvo ciertos inconvenientes en lo que se refiere a los ensayos de laboratorio, pero luego de un análisis se encontraron métodos que son de utilidad y expresan lo que se estaba buscando como corolario.

5.4. Recomendaciones.

En este trabajo se pudo comprobar que existe un nivel muy alto de riesgo en la variación en el valor de la resistencia del sistema de puesta a tierra, en este sentido se debe iniciar un plan para la aplicación de medidas preventivas de mantenimiento urgentes.

Lo que se recomienda es realizar las acciones necesarias para intervenir en el cambio de las varillas de cobre o electrodos del sistema de puesta a tierra de los sitios cuyo valor de resistencia tuvo variaciones desde el momento en que se puso en funcionamiento, entonces los sistemas cuyo valor están por encima de 10 ohmios deben ser cambiados de manera urgente.

También se recomienda tomar en cuenta, según los valores adquiridos y en función a los datos de corrosión obtenidos como resultado ensayos de laboratorio, aquellos sitios que están en el rango de Nivel Alto de Riesgo, debe tomarse medidas preventivas obligatorias y controlar cuidadosamente el funcionamiento de los sistemas.

El presente trabajo también servirá como referencia para sistemas de puesta a tierra en redes VSAT que están en funcionamiento en todo el país, ya que todos los datos analizados son válidos para estos. También mencionar que según datos de las redes

VSAT instalados en todo el país sobre pasa el millar de sitios ubicados en diferentes regiones.

En todos los sistemas de telecomunicaciones como ser Radio Bases de telefonía celular, en redes de telefonía, televisión por cable HFC, y todo lo que refiere a una planta externa, en los cuales se realiza una conexión de protección o una puesta a tierra, para eliminar distorsiones, armónicos o interferencias ó para evitar daños por descargas atmosféricas, sobretensiones internas, cargas estáticas y eventos de cortocircuitos, la presente investigación sirve como referencia para realizar la verificación y mantenimiento de sus sistemas de puesta a tierra.

Con referencia al análisis de laboratorio existen otros métodos los cuales podrían ser utilizados en futuros proyectos que permitan ampliar esta investigación, con el propósito de determinar el grado de corrosión de las varillas de cobre, entre estas podemos citar los ensayos de “Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X”, el cual es una técnica que se basa en el estudio de las emisiones de fluorescencia generadas después de la excitación de una muestra mediante una fuente de rayos X. También el método de la “Cámara de niebla salina”, que para su realización este ensayo de corrosión simula y reproduce ambientes húmedos para provocar niveles corrosión en función al tiempo de exposición.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ÁREA INGENIERÍA DISTRIBUCIÓN, E. (2008, Mayo). *Normas de montajes complementarios MEDIDADERESISTIVIDAD.* Retrieved from https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/proveedores_y_contratistas/normas_y_especificaciones/normas_aereas/grupo_6_Normas_de_montajes_complementarios/RA6-014MEDIDADERESISTIVIDAD_V3.pdf

2. Arias, F. G. (1999). *EL PROYECTO DE INVESTIGACION - Guía para su elaboración* . Caracas: ORIAL EDICIONES .

3. Arturo Andrés Hernández Escobar, . P. (2017). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION*. Retrieved from https://books.google.com.bo/books?isbn=8494825704

4. ENTEL S.A. . (2010). *REQUERIMIENTO, O&M DE RED LP-OYM-Acceso.* La Paz: ENTEL S.A.

5. ENTEL S.A. (2016, Agosto 22). *Información Técnica de la Contratación*. Retrieved from www.entel.bo/inicio3.0/index...de.../1643_83183620164d137b25ce1229113aaad7

6. Entel S.A. (2016). *Manual Entrenamiento Técnico - Proyecto Telecentros Integrales Satelitales FaseII.* La Paz.

7. ENTEL, S.A. (2010, Julio 05). *DOCUMENTO DE INFORMACIÓN TÉCNICA Y NORMAS DE REFERENCIA PARA LA CONTRATACIÓN.* Retrieved from www.entel.bo/inicio3.0/index.php/.../1686_6997ce103fd8202e76e35b6a594234c8

8. GEDISTRUT - Ebook . (2016, diciembre). *Manual-sistemas-de-soporteria-componible.* Retrieved from https://es.scribd.com/document/.../Manual-sistemas-de-soporteria-componible

9. GIDESA. (2010, Octube 19). *MANUAL DE SISTEMA DE PUESTA A TIERRA - GIDESA.* Retrieved from https://es.scribd.com/document/.../Manual-de-Sistemas-de-Puesta-a-Tierra-GEDISA

10. Gonzales Fernández, J. A. (2013, Julio 15). *Teoría y práctica de la lucha contra la corrosión.* Consejo Superior de Investigaciones Cientificas. Retrieved from https://china128sheila.wordpress.com/2011/07/15/corrosion/

11. Gonzales-Quijano, J. G. (2004). *MEJORA EN LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL DE LA PLANTAS DE GENERACION DE ENERGÍA ELECTRICA: DESARROLLO DE UNA METODOLOGIA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO BASADO EN EL RIESGO (RBM).* MADRID: UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS.

12. GONZALEZ, F. E. (Abril 2011). *Gestión del Riesgo en Infraestructura y Comunicaciones TI, para Empresa del Sector Financiero.* VALPARAÍSO - CHILE: UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA.

13. International Trading S.A. de C.V. (2016). *Método de Caida de Potencia*. Retrieved from http://www.internationaltrading.com.mx/images/Metodo%20Caida%20de%20Potencial.pdf

14. Ishikawa, K. (1997). *Diagrama de Ishikawa*. Retrieved from https://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_Ishikawa

15. Janeth Castro Cabero, H. S. (VOLUMEN 22, No.1 - 2005). PROPIEDADES QUÍMICAS Y POTENCIAL PRODUCTIVO DE LOS SUELOS DEL DEPARTAMENTO DE LA PAZ, BOLIVIA. *REVISTA BOLIVIANA DE QUÍMICA*, 19-26.

16. León, J. G. (2007). *Introducción al análisis de riesgos.* Technology & Engineering.

17. Nacional, C. E. (2014). *Código Eléctrico Nacional*. Retrieved from ec.europa.eu/growth/.../search/?...: ec.europa.eu/growth/.../search/?...

18. NEXT LEVEL. (1999). *MANUAL - SISTEMA SATELITAL DAMA 10000 NEXT LEVEL.* MEXICO: NEXT LEVEL.

19. Orienta, O. (2014, Diciembre 11). *Ejecución de sistemas de puesta a tierra*. Retrieved from http://www.osinergminorienta.gob.pe/documents/54705/340006/capitulo+9.

20. PROF.QMC. (2015). *pH, METODOS DE LA EVAUACION*. Retrieved from www.profesorenlinea.cl/Quimica/PH2.htm

21. REYES GONZALES, C. G. (2016). *ANALISIS DE TECNICAS PARA LA MEDICION DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO MEDIANTE MODELADO.* MEXICO: INSTITUTO POLITECNICO SUPERIOR.

22. Rojas, G. (2010, 03). *MANUAL DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA - HUGAR CAPELLA*. Retrieved from https://hugarcapella.files.wordpress.com/2010/03/manual-de-puesta-a-tierra.

23. Saciloti, M. (2008). Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales. In M. Saciloti, *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales* (pp. S1 (1-4): 1-2). Cartagena, Colombia: Rev. LatinAm. Metal. Mater. 2008; S1 (1-4): 1-2.

24. Valentinuzzi, C. (2012, Julio). *EL SUELOY SUS CARACTERISTICA.* Retrieved from http://www.monografias.com/trabajos93/el-suelo/el-suelo.shtml

25. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION – Roberto Hernández Sampieri – Ed. Mc Graw Hill 6ta edición.

26. PRINCIPIOS Y FUNDAMENTOS DE LA INGENIERIA DE MANTENIMIENTO – Ramiro W. Peralta Uría – 2da Edición.

27. REDES VSAT – Mario Casado García, Francisco Camazón Rodríguez – Sistemas de Comunicaciones I.T.T.

28. LA PUESTA A TIERRA DE INSTALACIONES ELECTRICAS – Rogelio García Márquez – Ed. Alfa omega Marcombo.

29. Manual - Sistema Satelital DAMA 10000 NEXT LEVEL

30. Informe De Requerimiento - O&M DE RED LP-OYM-Acceso Rural – La Paz.

31. INTRODUCTION TO SATELLITE COMMUNICATION - Hughes Communications, Inc.

32. EEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, ANSI/IEEE Std.80, 198IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System, ANSI/IEEE Std.81, 1983.

33. S.E. Jara. Aditivos Semiconductores y Salinos para el mejoramiento de los Sistemas de Puesta a Tierra, Memoria de Título de Ingeniero Civil Electrónico, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción, Chile, Marzo 1999.

34. ZONISIG, 1998. Zonificación Agroecológica y Socioeconómica de la Cuenca del Altiplano del Departamento de La Paz. Proyecto Zonificación Agro-ecológica y

Establecimiento de una Base de Datos y Red de Sistemas de Información Geográfica en Bolivia. La Paz, Bolivia.

35. Mendoza A.R, Corvo F, Gómez A, Gómez J. Corros. Sci. 2004; 46: 1189-1200.

36. Reyes A, Letelier MV, De la Iglesia R, González B, Lagos G. Int Biodeterioration Biodegradation. 2008; 61: 135-141.

37. BOLETIN INFORMATIVO NO. 3 SEPTIEMBRE 2004 *PARTE NO.2* ESPECIFICACIONES PARA TIERRA DE SISTEMAS DE ENERGIA COMERCIAL E INDUSTRIAL *Basado en el estándar IEEE 142-1991 (IEEE Recommended Practices for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems)*

38. *CORROSION DE CONDUCTORES DE COBRE EN SUELOS DOPADOS CON ADITIVOS SEMICONDUCTORES Y SALINOS, PARA EL MEJORAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA (PDF Download Available).*

39. https://www.researchgate.net/publication/242364436_CORROSION_DE_CONDUCTORES_DE_COBRE_EN_SUELOS_DOPADOS_CON_ADITIVOS_SEMICONDUCTORES_Y_SALINOS_PARA_EL_MEJORAMIENTO_DE_LOS_SISTEMAS_DE_PUESTA_A_TIERRA [accessed Feb 05 2018].

ANEXOS A

PALABRAS CLAVES

- **ANALITO:** es un componente (elemento, compuesto o ion) de interés analítico de una muestra que se separa de la cromatografía. Es una especie química cuya presencia o contenido se desea conocer, identificable y cuantificable, mediante un proceso de medición química

- **DIHIDRATO:** Es un término que se usan en los compuestos químicos, generalmente sales, que en su fórmula mínima tienen 2 moléculas de agua por cada molécula de compuesto.

  $CuSO_4.2H_2O$ = Sulfato de cobre dihidratado

- **VSAT:** En ingles Very Small Aperture Terminal - Terminal de apertura muy pequeña.

- **SHIRON - DAMMA 1000:** Subsistemas de un red VSAT, o interface de comunicación transmisión y recepción.

- **SITE SURVEY:** Inspección del sitio.

- **ABSORCIÓN ATÓMICA:** La espectroscopia de absorción atómica es un método instrumental de la química analítica que permite medir las concentraciones específicas de un material en una mezcla y determinar una gran variedad de elementos.

- **pH:** Coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa. "el pH neutro es 7: si el número es mayor, la solución es básica, y si es menor es ácida"

- **Acidez:** Un ácido es considerado tradicionalmente como cualquier compuesto químico que, cuando se disuelve en agua, produce una solución con una actividad de catión hidronio mayor que el agua pura, esto es, un pH menor que 7.

- **Alcalino:** Los suelos alcalinos son suelos arcillosos con pH elevado (>9), estructura pobre y densa, baja capacidad de infiltración y lenta permeabilidad.

ANEXOS B

GALERIA DE FOTOS

Figura 34. Instrumento medidor de tierra y sus componentes
(Fuente: Propia)

Figura 35. Medición del sistema de puesta a tierra en la cámara de inspección
(Fuente: Propia)

Figura 36. Realizando las medidas de resistencia en el sitio
(Fuente: Propia)

Figura 37. Varillas de cobre
(Fuente: Propia)

Figura 38. Realizando las medidas de resistencia en el sitio (Fuente: Propia)

Figura 39. Mediciones en sitio de los sistemas de puesta tierra (Fuente: Propia)

Figura 40. Mediciones en sitio de los sistemas de puesta tierra (Fuente: Propia)

Figura 41. Instalación de una VSAT y su sistema de puesta a tierra. (Fuente: Propia)

Figura 42. Instalación de una VSAT y su sistema de puesta a tierra (Fuente: Propia)

Figura 43. Realizando la extracción de la muestra de la varilla de cobre y reemplazando la misma (Fuente: Propia)

Figura 44. Efectuando la medición de la resistencia de tierra en el sitio (Fuente: Propia)

Figura 45. Instalación de la varilla del sistema de puesta a tierra (Fuente: Propia)

Figura 46. Soldadura exotérmica entre la varilla de cobre y el conductor de malla
(Fuente: Propia)

Figura 47. Tamizado de la tierra para relleno de la fosa
(Fuente: Propia)

Figura 48. Redes VSAT en el Departamento de La Paz
(Fuente: Propia)

Figura 49. Mediciones de resistencia de puesta a tierra
(Fuente: Propia)

Figura 50. Mantenimiento de una red VSAT en el Departamento de La Paz (Fuente: Propia)

Figura 51. Medida de resistencia de puesta a tierra (Fuente: Propia)

Figura 52. Muestra de varilla de cobre
(Fuente: Propia)

Figura 53. Probetas de las muestra de varilla de cobre
(Fuente: Propia)

Figura 54. Varilla de cobre extraído con efecto de la corrosión (Fuente: Propia)

Figura 55. Técnico realizando ensayo de Absorción Atómica (Fuente: Propia)

Figura 56. Laboratorio de ensayo químico Absorción Atómica (Fuente: Propia)

Figura 57. Análisis en laboratorio de las muestras de las varilla de cobre por pérdida de peso (Fuente: Propia)

ANEXOS C

DATOS DE LABORATORIO

LABOMAC
SERVICIOS DE
INGENIERIA

MEDIDA DE PESO DE PROBETAS DE VARILLAS DE COBRE

NOM-012-SCT-2-2014

CLIENTE:	Javier Yujra	FECHA:	diciembre - 2017
PROYECTO:	Sistema de puesta a tierra VSAT	OPERADOR:	Romulo M.
UBICACION:	Varios	REGISTRO:	3280

N° Probeta	Fecha Recepción	Fecha Ensayo	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Edad (años)	Peso (gr)	Observaciones
1	01/12/2017	05/12/2017	5,01	1,587	0,00	0,0616	ORIGINAL
2	01/12/2017	05/12/2017	5,11	1,587	2,45	0,0613	PUENTO ACOSTA - CMD SALLA KUCHO
3	01/12/2017	05/12/2017	4,98	1,587	3,34	0,0610	DAB - CHARAÑA
4	01/12/2017	05/12/2017	5,00	1,587	4,55	0,0605	LOAYZA - LURIBAY
5	01/12/2017	05/12/2017	5,03	1,587	5,45	0,0592	PACAJES- CALACOTO
6	01/12/2017	05/12/2017	5,13	1,587	9,61	0,0580	INQUISIVI - COLQUIRI

MUESTRAS Y DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE

*Características del equipo utilizado: Balanza analítica KERN ABS-N - ABJ-NM - Calibración IBMETRO No LP - CC2 - 035 - 2016 (20-02-2016)

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
LABOMAC
SERVICIOS DE
INGENIERIA
El Alto - La Paz - Bolivia

Walter Castro R.
JEFE REG. EL ALTO
"LABOMAC"

LABOMAC

EL ALTO: Av. Avaroa esq. Taller Rose Zona Villa Bolívar • Tel.: 2838167 • Cel.: 767-60475 • e-mail: [illegible]
LA PAZ: Calle Castro N° 1555 esq. Obispo Cardenas • Zona Santa Barbara • Tel.: 2202923 - 2801796 • Cel.: 765-[illegible] • [illegible]
SANTA CRUZ: Calle Cuarteles Recoito N° 2300 Zona Mutualista • Tel.: 3047680 • Fax: 3467882 • Cel.: 775-[illegible] • [illegible]

Fuente: LABOMAC Servicio De Ingeniería

LABOMAC
SERVICIOS DE
INGENIERIA

MEDIDA DE PESO DE PROBETAS DE VARILLAS DE COBRE

NOM-012-SCT-2-2014

CLIENTE:	Javier Yujra	FECHA:	diciembre - 2017
PROYECTO:	Sistema de puesta a tierra VSAT	OPERADOR:	Romulo M.
UBICACION:	Varios	REGISTRO:	3281

Nº Probeta	Fecha		Altura (cm)	Diámetro (cm)	Edad (años)	Peso (gr)	Observaciones
	Recepción	Ensayo					
7	01/12/2017	05/12/2017	4,98	1,587	10,87	0,0544	AROMA - AYO AYO
8	01/12/2017	05/12/2017	5,03	1,587	12,01	0,0519	CAMACHO - MOCOMOCO
9	01/12/2017	05/12/2017	4,97	1,587	13,56	0,0512	MANCO KAPAC - COPACABANA
10	01/12/2017	05/12/2017	4,98	1,587	14,48	0,0495	LA ASUNTA - VILLA BARRIENTOS
11	01/12/2017	05/12/2017	5,01	1,587	15,88	0,0491	INQUISIVI - PAUCA
12	01/12/2017	05/12/2017	5,12	1,587	16,20	0,0481	IXIAMAS - PUERTO HEATH
13	01/12/2017	05/12/2017	5,03	1,587	17,07	0,0465	LARECAJA - TIPUANI

MUESTRAS Y DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE

Características del equipo utilizado: Balanza analítica KERN ABS-N - ABJ-NM - Calibración (BINETRO No LP - CCE - 031 - 2016 (20-02-2016)

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
LABOMAC SERVICIOS DE INGENIERIA
La Paz - La Paz - Bolivia

Walter Castro H.
JEFE REG. EL ALTO
"LABOMAC"

EL ALTO: Av. Aviador Esq. Tridal Rios Zona Villa Bolivar • Tel.: 2828167 • Cel.: 757-05970 • walcastro@hotmail.com
LA PAZ: Calle Castro N° 1569 esq. Obispo Cárdenas • Zona Santa Barbara • Tel.: 2202013 - 2401 794 • Cel.: 705-09918 • admin@labomac.net • www.labomac.net
SANTA CRUZ: Calle Cambara Rosario N° 3300 Zona Mutualista • Tel.: 3847008 • Fax: 3467602 • Cel.: 773-19183 • santacruz@labomac.net

Fuente: LABOMAC Servicio De Ingeniería

Laboratorio Químico

CONDE MORALES

SERVICIO DE ANÁLISIS

El Laboratorio Conde Morales, ofrece servicios de análisis cualitativo y cuantitativo a través de métodos como: espectrofotometría, infrarrojo, fotometría, fluorescencia de rayos X, volumetría y gravimetría.

Actualmente el Laboratorio Conde Morales, realiza análisis cuantitativo en muestras de: Aluminio, Antimonio, Arsénico, Azufre, Bismuto, Cadmio, Calcio, CaO Soluble, Carbón Vegetal, Cobalto, Cobre, Cromo, Estaño, Hierro, Indio, Magnesio, Manganeso, Molibdeno, Níquel, Oro, Plata, Plomo, Scheelita, Silicio, Ulexita, Wólfram, Zinc, etc.

Además determinación de Humedad, Conductividad, Ph, Insolubles en agua, Peso específico (Baritina) y análisis cualitativos de otros elementos.

Nº	ELEMENTO	MÉTODO DE ENSAYO	TIEMPO APROXIMADO
1	Análisis Cualitativo	FRX	2 días
9	Bismuto	Volumétrico / AAS	1 día y medio
10	Cadmio	AAS	2 días
11	Calcio	Volumétrico	1 día y medio
12	Carbón Vegetal	Gravimétrico	3 días
16	Cobre	Volumétrico / AAS	1 día
17	Cobre Soluble	AAS	1 día
18	Cromo	AAS	2 días
19	Conductividad	Potenciométrico	1 día y medio
36	pH	Potenciométrico	2 días
50	Preparación de Muestras (300g – sin devolución)	Triturado / Molido	1 día

Fuente: Laboratorio Químico "Conde Morales"

LABORATORIO QUÍMICO

C. CONDE MORALES

QUIMICO DIPLOMADO

URB. CORDEOR – CARRETERA VINTO KM. 1.5 • TELF.: 5276239 • ORURO – BOLIVIA

REPORTE DE ANALISIS

DE TRECE **MUESTRA DE** BARRAS DE COBRE

DE Javier Yujra T. Sistema de tierra

CARACTERISTICAS Muestra s-s

Fecha: 18-01-2018

ANALISIS No. AAA-9806 **LOTE No.** KET-A-17

CERTIFICA: Nº 001

DETERMINACION DE COBRE (AAA)

No MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	PESO DE LA MUESTRA (gr)	$CuCl_2.2H2O$ (gr/lt)	Cu en muestra (ppm)	PORCENTAJE
1	10/01/2018	1,0580	1,281	394,46	85,12%
2	10/01/2018	1,0420	1,285	388,49	83,90%
3	10/01/2018	1,0350	1,290	385,88	83,26%
4	10/01/2018	1,0241	1,286	381,82	82,39%
5	11/01/2018	1,0140	1,293	378,05	81,57%
6	11/01/2018	1,0070	1,298	375,44	81,01%
7	11/01/2018	1,0037	1,310	374,21	80,75%
8	11/01/2018	1,0050	1,296	374,70	80,85%
9	12/01/2018	0,9891	1,302	368,77	79,57%
10	12/01/2018	1,0230	1,289	370,10	79,86%
11	12/01/2018	0,9489	1,321	353,78	76,34%
12	12/01/2018	1,0253	1,295	342,23	73,84%
13	12/01/2018	0,9856	1,298	320,50	69,16%

NOTA: Cu - Método AAA

Omar C. Conde O.

Oruro, 15 de Enero del 2018

c.c.//arch..

Los valores del presente reporte son resultados de análisis químicos efectuados de acuerdo a norma técnicas adecuadas en las muestras facilitadas por el interesado. La responsabilidad del laboratorio queda limitada sólo en casos de negligencia debidamente acreditada y en ningún caso será mayor a cuatro veces la cifra cancelada por sevicios.

Fuente: Laboratorio Químico "Conde Morales"

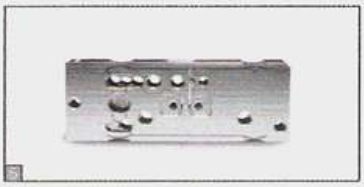
ANEXOS C

MANUALES Y DATOS TECNICOS DE REFERENCIA

Fuente: Manual Entrenamiento Técnico ENTEL S.A.

Balanza analítica KERN ABS-N · ABJ-NM

NEW



Tecnología avanzada Single-Cell:
- **Fabricación automática de la célula de pesaje completamente de una pieza**
- **Comportamiento térmico estable**
- **Intervalo breve de estabilización.** Valores de pesaje estables en un lapso de aprox. 3 seg. en condiciones de laboratorio
- **Alta robustez mecánica**
- **Alta seguridad de carga de esquina**

La más vendida de las balanzas analíticas ahora con un sistema de pesaje single-cell de alta calidad y declaración de aprobación [M]

Características

- Sólo ABJ-N: **Ajuste automático interno** con oscilaciones de temperatura > 2 °C o temporizado cada 4 horas
- Sólo ABS-N: **Programa de ajuste CAL.**, pesas de control con sobreprecio, véase página 133
- **Ayuda para la dosificación:** Seleccionable el modo de estabilización elevada y otros ajustes de filtro
- **Uso simple de fórmulas/documentación** con función combinada tara/imprimir. Además los componentes de la mezcla se numeran automáticamente y se imprimen con número/valor de peso
- **Número de identificación** de 4 dígitos, libremente programable, se imprime en el protocolo de ajuste
- **Salida de datos automática** en el ordenador/impresora después de cada parada de la báscula

Datos técnicos

- Display LCD grande, altura de dígitos 14 mm
- Dimensiones del plato de pesaje Ø 91 mm
- Dimensiones totales AxPxA 210x340x325 mm
- espacio de pesaje AxPxA 174x162x227 mm
- Temperatura ambiente admisible 10 °C / 30 °C
- Peso neto aprox. 6 kg

Accesorios

- **Interfaz de datos RS-232** cable de interfaz de serie, KERN ACS-A01
- **Cubierta protectora** de serie, nuevo encargo posible, KERN ACS-A02
- **Set para la determinación de la densidad** de líquidos y materiales sólidos, KERN ACS-A03
- **Ionizador** para neutralizar la carga electrostática, véase página 132, KERN YBI-01
- **Mesa de pesaje** para absorber vibraciones y oscilaciones que, de producirse, causarían resultados de pesaje erróneos, véase página 132, KERN YPS-01
- **Impresoras correspondientes** véase pág. 130

ESTÁNDAR: CAL INT, CAL EXT, GLP PROTOCOL (sólo con impresora), PCS, RECIPE, PERCENT, UNIT, TOL, SC TECH, 1 DAY, 3 YEARS WARRANTY

OPCIÓN: DKD +3 DAYS

FACTORY: RS 232, M +3 DAYS (sólo ABJ NM)

Modelo KERN	Campo de pesaje [Max] g	Lectura [d] mg	Valor verif. [e] mg	Carga mín. [Min] mg	Reproducibilidad mg	Linealidad g		Opciones: Verificación MI KERN		Opciones: Cert. de calibración DKD KERN	
ABS 80-4N	80	0,1	–	–	0,2	± 0,3		–	–	963-101	
ABS 120-4N	120	0,1	–	–	0,2	± 0,3		–	–	963-101	
ABS 220-4N	220	0,1	–	–	0,2	± 0,3		–	–	963-101	
ABS 320-4N	320	0,1	–	–	0,2	± 0,3		–	–	963-101	
Nota: Para las aplicaciones sujetas a verificación, solicite también al mismo tiempo la verificación inicial porque no se puede realizar con posterioridad. Verificación en fábrica, necesitamos lugar de instalación con código postal.											
ABJ 80-4NM	80	0,1	1	10	0,2	± 0,3		965-201		963-101	
ABJ 120-4NM	120	0,1	1	10	0,2	± 0,3		965-201		963-101	
ABJ 220-4NM	220	0,1	1	10	0,2	± 0,3		965-201		963-101	
ABJ 320-4NM	320	0,1	1	10	0,2	± 0,3		965-201		963-101	

Fuente: Manual Balanza Analítica KERN ALS-A . ALJ-A

ELECTRORED
Bolivia S.R.L.

M1EL00

ELECTRODO PARA POZO A TIERRA
RODS GROUND

NORMA DE FABRICACIÓN: UNE 21-056

MATERIAL:
Cobre electrolítico (ASTM B-187)
Acero Recubierto con Cobre (Cooperweld)
(ANSI C-33-8 y UL-467)
Cobre, Bronce o Acero
Recubierto con Cobre

ACABADO:
Natural

CÓDIGO	D mm	L mm	PESO Kg	
			Cobre	Cooperweld
M1EL0002	12	2400	2.36	2.30
M1EL0006	16	2400	4.20	3.84
M1EL0010	19	2400	5.95	5.52
M1EL0014	25	2400	10.58	9.60

*OTRAS LONGITUDES A REQUERIMIENTO

Fuente: Electrored Bolivia s.r.l

ELECTRORED
Bolivia S.R.L.

ANSI/NEMA GR 1-2007

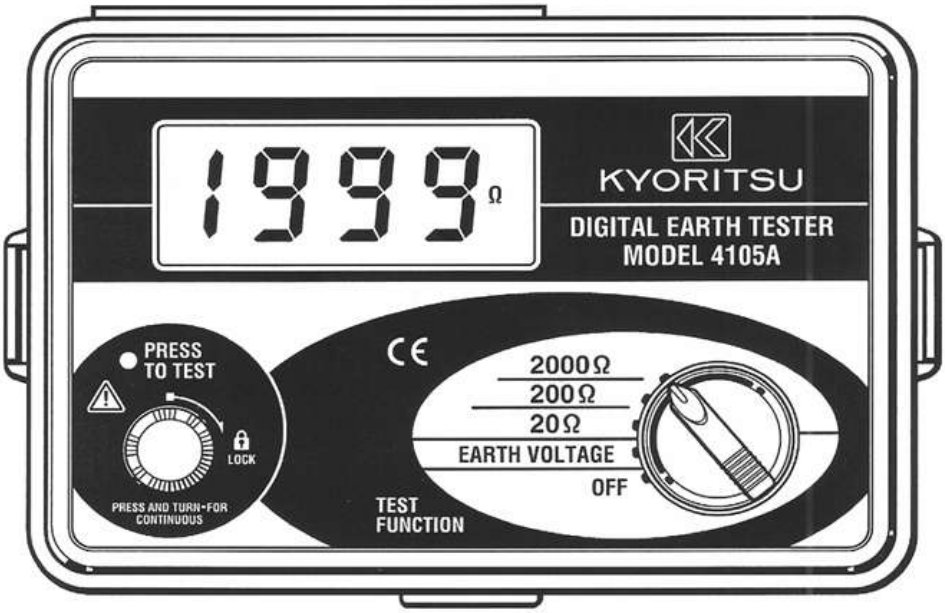
Electrodos de barra de tierra recubiertos de cobre

Intervalos del diámetro de barras de acero recubiertas de cobre

	Intervalo del diámetro final, pulgadas	
Tamaños comerciales	Mínimo	Máximo
1/2	0.500	0.507
5/8	0.555	0.565
3/4	0.673	0.683
1	0.907	0.917

Fuente: Electrored Bolivia s.r.l

Manual de instrucciones



Medidor digital de la resistencia de tierra

MODELO 4105A

KYORITSU ELECTRICAL INSTRUMENTS WORKS, LTD.

Fuente: Manual de instrucciones Medidor de Tierra

LA PAZ:
Av. Montes N° 603, esq. Uruguay
Central Piloto: (591-2) 2282428
electroredlp@electrored.com.bo

SANTA CRUZ:
Av. Santa Cruz N° 262
Central Piloto: (591-3) 336888
electroredsc@electrored.com.bo.

COCHABAMBA:
C. Tumusla N° 36
Central Piloto: (591-4) 4583221
electroredcbba@electrored.com.bo.

ELECTRORED
Bolivia S.R.L.

COTIZACIÓN DE VENTAS

DATOS CLIENTES

CLIENTE/EMPRESA: JAVIER YUJRA
ATENCIÓN:
E-MAIL:
SOLICITUD N°: 6032673
DIRECCIÓN:

TELEFONO:
FAX:
CELULAR:
NIT: 0

#	Código	Descripción	Marca	Procedencia	Cantidad	UM	Precio	Total
1	314	BENTONITA SUPER GEL DE 100 LBS	ATERRAMIENTO		1	BOL	BS 174	BS 174
2	315	GEO GEL 8 + 7 KGRS	GEO GEL	CHILE	1	PZA	BS 47.33	BS 47.33
3	4872	THOR GEL HEXACIANOFERRATO CU SULFATO DE COBRE PENTAHIDRATADO Y FERROCIANURO Y CARBONATO SODIO	PARA RAYOS SAC	PERU	1	BOL	BS 196.36	BS 196.36
4	10182	JABALINA COOPERWEL DE 5/8" X 2.40 MTS ORIENTAL EXPORT	ORIENTAL EXPORT	INDIA	1	PZA	BS 40.08	BS 40.08
5	10177	CONECTOR PARA JABALINA DE 5/8" ORIENTAL EXPORT	ORIENTAL EXPORT	INDIA	1	PZA	BS 4.45	BS 4.45

SON: *Cuatrocientos sesenta y cuatro Bolivianos con Veintidós Centavos*

Subtotal	BS 464.22
Descuento	0.0000 %
Total	BS 464.22

RESPONSABLE Y CONSULTA

NOMBRE: LPB02 Ejecutivo de Ventas 2
CARGO:
CELULAR:
E-MAIL:
EJECUTIVO DE VENTAS: LPB02 Escobar Figueredo Abdul

Firma Responsable

FECHA DE COTIZACIÓN:

18/11/2016

CONDICIONES

FECHA DE VALÍDEZ: 18/12/2016
LUGAR DE ENTREGA:
DESCRIPCIÓN GRAL. AEF-. ENTREGA PREVIO ACUERDO

Fuente: Electrored Bolivia s.r.l

ANEXOS D

REFERENCIA DE NORMAS INTERNACIONALES

PERMISSIBLE VARIATIONS FOR PRODUCT ANALYSIS OF CARBON STEEL

ASTM A 29/A 29M – 05

Element	Limit, or Maximum of Specified Range (%)	Variance Over the Maximum Limit or Under the Minimum Limit (%)
Carbon[A]	Thru 0.25	0.02
	Over 0.25 thru 0.55	0.03
	Over 0.55	0.04
Manganese	Thru 0.90	0.03
	Over 0.90 thru 1.65	0.06
Phosphorus[A,B]	Basic steels	0.008 over
	Acid Bessemer steel	0.01
Sulfur[A,B]		0.008
Silicon	Thru 0.35	0.02
	Over 0.35 thru 0.60	0.05
Copper	Under minimum only for Cu bearing steels	0.02
Lead[C]	0.15 thru 0.35	0.03

[A] Rimmed and capped steels are not subject to rejection on product analysis unless misapplication is clearly indicated.

[B] Resulfurized or Rephosphorized steels are not subject to rejection on product analysis for these elements unless misapplication is clearly indicated.

[C] Product analysis tolerance for lead applies both over and under to a specified range of 0.15/0.35 %.

Norma ASTM A29

ACERO SAE 1020

DIN	CK - 20
UNI	C - 20
AFNOR	XC - 20
SAE	1020

CARACTERÍSTICAS DE EMPLEO

Acero al carbono que puede utilizarse en estado cementado, templado y revenido o simplemente en estado calibrado. Por su contenido de carbono estos aceros se utilizan para la fabricación de piezas estructurales o de maquinaria de mediana resistencia con una gran tenacidad. Es fácilmente soldable con soplete ó al arco.

COMPOSICION QUIMICA	C %	Mn %	P máx. %	S máx. %	Si máx. %
Análisis típico en %	0.18 0.23	0.3 0.6	0.04	0.05	0.15 0.3

Estado de suministro: Recocido
Dureza de suministro: 150 - 190 HB

PROPIEDADES MECÁNICAS

Estado de suministro	Resistencia a la tracción MPa	Límite elástico MPa	Alargamiento %	Reducción de área %	Dureza Brinell aprox.
Laminado en caliente	441	196	25	45	140 / 180
Normalizado	490 - 588	343	30	55	150
Recocido	441 - 539	294	35	60	130 / 150
Calibrado	539 - 686	441	10	35	180 / 220
Cementado, templado y rev.	686 - 833	441	15	45	-----

TRATAMIENTO TERMICO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRIAMIENTO
Forja	850 - 1150	Arena seca
Normalizado	880 - 920	Aire
Recocido	660 - 720	Horno
Cementacion	900 - 930	Horno/agua
Temple capa cementada	850 - 900	Agua
Revenido capa cementada	180 - 240	Aire

APLICACIONES

Se usa principalmente para partes de maquinaria que no estén sometidas a grandes esfuerzos mecánicos como ejes, eslabones para cadenas, pasadores, bujes cementados, tornillería corriente, bridas, piñones para transmisión de cadena a bajo esfuerzo, clavos para ferrocarril, grapas, etc.

Norma SAE 1020

ANSI/IEEE Std 81-1983
(Revision of IEEE Std 81-1962)

An American National Standard

IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System

Sponsor
Power System Instrumentation and Measurements Committee
of the
IEEE Power Engineering Society

Approved September17, 1981
IEEE Standards Board

Approved September 4, 1984
American National Standards Institute

© Copyright 1983 by
The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc
345 East 47th Street, New York, NY 10017, USA
No part of this publication may be reproduced in any form, in an electronic retrival system or otherwise, without the prior written permission of the publisher.

Norma ANSI/IEEE std 81-1983

ANEXOS E

TECNICA DE MEDICION DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA POR EL METODO DE CAIDA DE POTENCIAL

ACTIVIDADES TÉCNICAS

Las actividades que se realizaron fueron realizadas en los sitios fueron las mediciones de puesta a tierra.

El trabajo en la red VSAT consiste en realizar las mediciones de un sistema de aterramiento o grounding que garantice una resistividad menor o igual a 5Ω.

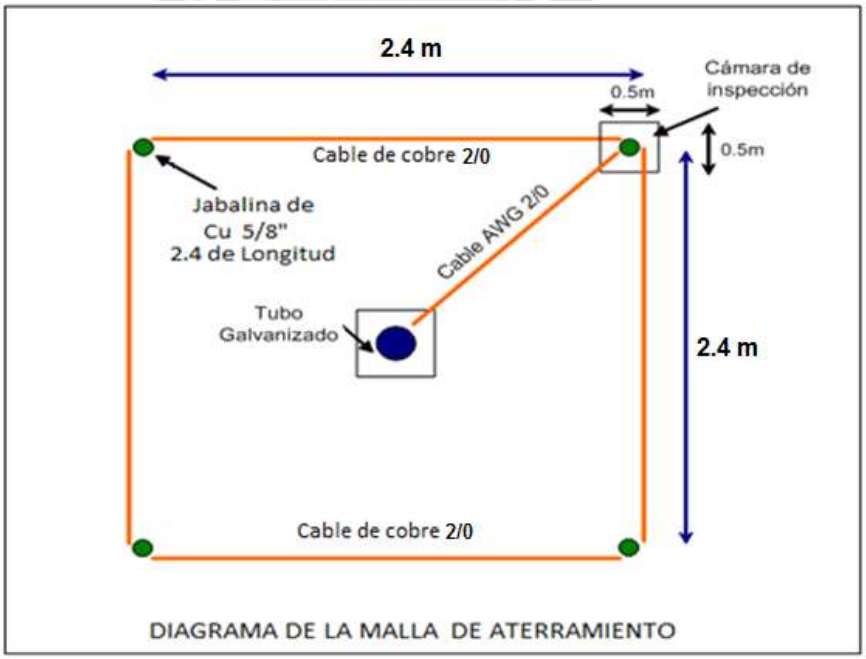


Ilustración 1. Malla de aterramiento

En un vértice de la malla se instala la cámara de inspección compuesta por tubo PVC de 6 Pulgadas de diámetro, esquema 40 y 40 cm de largo, con su respectiva tapa de

protección, de este punto se realiza la medición mediante el **método caída de potencial** con el Megger, como se observa en la Ilustración 2.

Ilustración 2. Cámara de Inspección

PRINCIPIO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE RESISTENCIA.

Para saber el valor de la medida de puesta a tierra y tener un valor de 5Ω se utilizó el Megger junto a sus dos pequeñas barras metálicas (electrodos) y tres cables (sondas), como se observa en la Ilustración 7, para medir a distintas distancias y dentro la cámara de inspección y obtener una medida del resultado del sistema de puesta a tierra.

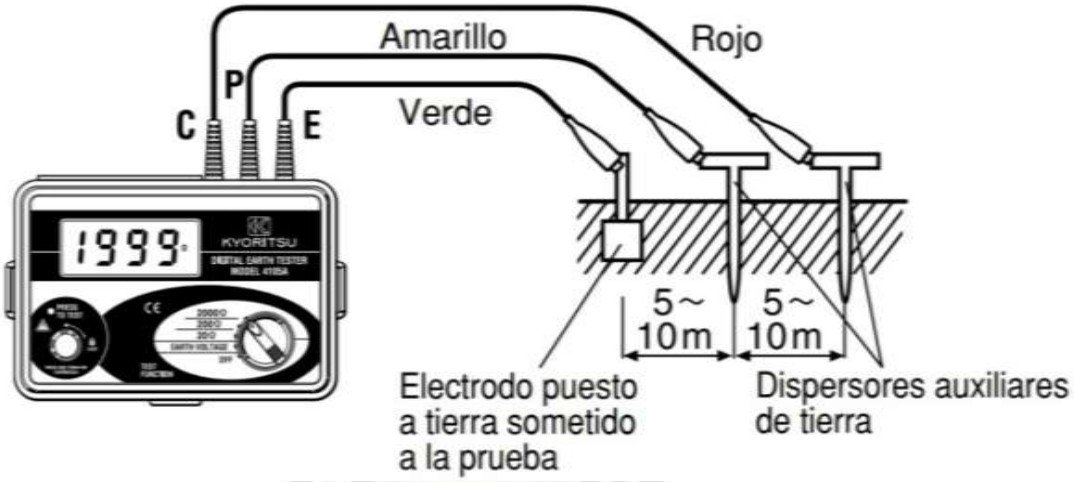


Ilustración 2.

Este aparato mide la resistencia de tierra con el método de la caída de potencial, que es un sistema para obtener el valor de resistencia de tierra Rx aplicando una corriente constante AC I entre el objeto sometido a la medición E (Electrodo de tierra) y C (Electrodo con corriente) y descubriendo la diferencia de potencial V entre E y P (Electrodo de potencial).

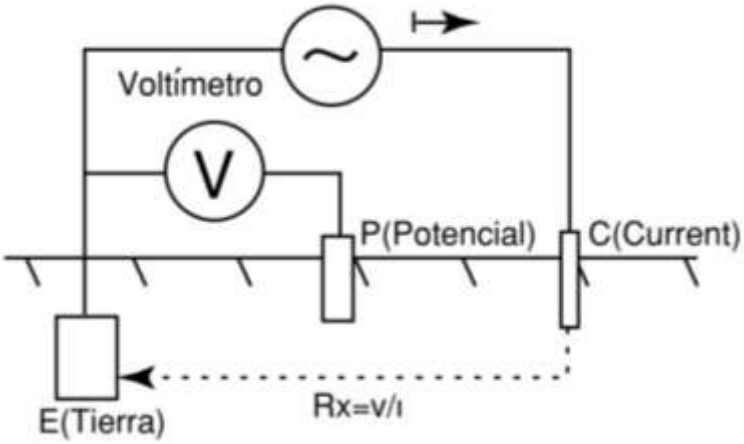


Ilustración.

MEDICIÓN PRECISA (CON LA SONDA M-7095)

- Conexión de la sonda

  Introducir los dispersores auxiliares profundamente en el terreno. Es conveniente que los dispersores estén alineados a 5-10[m] de distancia del equipo puesto a tierra sometido a medición. Conectar el cable verde al equipo que se debe someter a la prueba, el cable amarillo al dispersor auxiliar P y el cable rojo al dispersor auxiliar C desde los terminales E, P y C del aparato, en el orden indicado.

  Se debe controlar que los dispersores auxiliares se introduzcan en una zona húmeda del terreno. Si se introduce en zonas secas, pedregosas o arenosas del terreno, hay que mojar lo suficiente para humedecerlas.

  En presencia de cemento, apoyar sobre éste los dispersores de tierra y mojarlos, o bien cubrirlos con un paño mojado durante la medición.

- Medición de la tensión de tierra

  Verificar el conmutador en la posición EARTH VOLTAGE en la condición de conexión de la sonda. La tensión de tierra aparecerá indicada en la pantalla.

- Medición precisa

  Verificar el conmutador en la posición 2000[Ω] y pulsar el botón de prueba. Durante la medición el LED queda encendido. Verificar el conmutador en 200[Ω] y 20[Ω] si la resistencia de tierra es baja. El valor indicado es la resistencia de tierra del equipo puesto a tierra sometido a medición.

El aislamiento eléctrico se degrada con el paso del tiempo debido a las distintas fatigas que se le imponen durante su vida normal de trabajo. El aislamiento está diseñado para resistir a esas fatigas por un periodo de años que se considera como la vida de trabajo de ese aislamiento. Esto con frecuencia dura décadas. La fatiga anormal puede llevar a un incremento en este proceso natural de envejecimiento que puede acortar severamente la

vida de trabajo del aislamiento. Por esta razón es buena práctica realizar pruebas regularmente para identificar si tiene lugar un incremento del envejecimiento y, si es posible, identificar si los efectos son reversibles o no. Cabe destacar que este desgaste o fatigas en el aislamiento suceden, y son detectados por el medidor de resistencia de aislamiento Megger o Megaóhmetro.

Ilustración 8. Medición de resistencia

El resultado de la medición se hace visible en el LCD digital del Megger como se observa en la ilustración 9, de esta medida dependerá si el sistema de puesta a tierra está finalizado o se necesitará añadir una jabalina adicional para llegar a la medida deseada.

Ilustración 9. Medida visible en el Megger

RESULTADOS DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Al finalizar la puesta a tierra en un determinado Telecentro se realiza las mediciones finales para entrar a la etapa del ATP. Dentro de estas pruebas se observa en algunos sitios el valor permitido que es menor a 5 ohmios, en muchos de los sitios se observa que por características del terreno no se alcanza la resistencia mínima permitida por lo que la empresa que presta el servicio de mantenimiento adiciona una o dos jabalinas dependiendo del valor de la medida obtenida, así cumpliendo con los requerimientos del cliente en este caso ENTEL S.A.