



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica
Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica

Mejoramiento de la puesta a tierra en estructuras arriostradas tipo VSL de la Línea de transmisión 500 kV L-5032 Chilca - Poroma

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electricista

AUTOR

Richard Ernesto LEÓN CHAUPÍN

ASESOR

Mg. Hernán Antonio ORBEZO URQUIZO

Lima, Perú

2021



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

León, R. (2021). *Mejoramiento de la puesta a tierra en estructuras arriostradas tipo VSL de la Línea de transmisión 500 kV L-5032 Chilca - Poroma*. [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	RICHARD ERNESTO LEÓN CHAUPIN
DNI	73632343
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-9478-6803
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	HERNÁN ANTONIO ORBEZO URQUIZO
DNI	10296717
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-7378-4983
Datos de investigación	
Línea de investigación	No aplica
Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: San Isidro Urbanización: El Palomar Calle: Canaval y Moreyra Latitud: -12.0977820 Longitud: -77.0192382
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2019-2020
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería eléctrica, Ingeniería electrónica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.00



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA
PROGRAMA DE TITULACIÓN EXTRAORDINARIA
Teléfono 619-7000 Anexo 4226
Calle Germán Amezaga 375 – Lima 1 – Perú



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL N° 040/FIEE-EPIE/2021

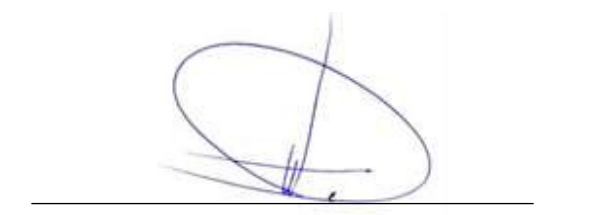
Los suscritos Miembros del Jurado, nombrados por la Comisión Ejecutiva del Programa de Perfeccionamiento Profesional de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, reunidos en la fecha, Bajo La Presidencia Del **Dr. Guzmán Estremadoyro, Walter Alejandro** integrado por el **Mg. Orbezo Urquiza, Hernan Antonio** y el **Dr. Avila Vargas, Hugo**.

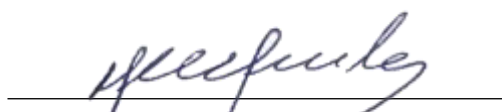
Después de escuchar la Sustentación de Trabajo de Suficiencia Profesional del **Bach. LEON CHAUPIN, RICHARD ERNESTO** con código N° **11190140** que para optar el Título Profesional de Ingeniero Electricista sustentó su Trabajo de Suficiencia Profesional titulada **“MEJORAMIENTO DE LA PUESTA A TIERRA EN ESTRUCTURAS ARRIOSTRADAS TIPO VSL DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN 500 KV L-5032 CHILCA - POROMA”**

El jurado examinador procedió a formular las preguntas reglamentarias y, luego de una deliberación en privado, decidió aprobar otorgándole el calificativo dieciséis (16)

Ciudad Universitaria, 28 de mayo del 2021


Mg. Orbezo Urquiza, Hernan Antonio
Presidente de Jurado


Dr. Guzmán Estremadoyro, Walter Alejandro
Miembro de Jurado


Dr. Avila Vargas, Hugo
Miembro de Jurado

Dedicatoria

A Dios por guiarme siempre mi camino, a mi mamá Vicky por su inmenso esfuerzo y apoyo, mi papá Ernesto y tía Naty, quienes me cuidan desde el cielo, mis hermanos Daniel y Damaris por su apoyo y comprensión, a mi abuelita Alida, a mis profesores y compañeros con los que comparto mi vida profesional.

RESUMEN

El presente informe se centra en el mejoramiento de la puesta a tierra en estructuras arriostradas tipo VSL de la línea de transmisión L-5032 500 kV, la cual comprende desde las Subestaciones Chilca a Poroma, la cual se encuentra en operación comercial desde el año 2014.

Se dará a conocer elementos del sistema de puesta a tierra, señalando la importancia de telurómetro de alta frecuencia, la metodología apropiada, proceso de medición de resistencia de puesta a tierra, análisis de resultados y presentación de puntos a mejorar ante anomalías identificadas, entre ellas aplicando el programa CYMGRD para la optimización de resultados.

Se seleccionaron torres conforme a criticidad de ubicación geográfica y de anomalías en Puesta a tierra, para luego realizar la medición de sus valores actuales de Puesta a tierra mediante un telurómetro de alta frecuencia. Las torres seleccionadas presentan particular característica debido a que son arriostradas tipo VSL.

Finalmente se analizarán los resultados de mediciones y la importancia del telurómetro de alta frecuencia en un sistema de Puesta a tierra, señalando los puntos a optimizar, a fin de establecer puntos de mejora, mediante propuesta de actividad correctiva en sus componentes, y obteniendo una alternativa eficiente para mejora del sistema PAT.

Palabras clave: Línea de transmisión, torres arriostradas VSL, puesta a tierra, telurómetro de alta frecuencia, CYMGRD.

ABSTRACT

This report focuses on the improvement of grounding in VSL-type braced structures of the L-5032 500 kV transmission line, which includes from the Chilca to Poroma Substations, which has been in commercial operation since 2014.

Elements of the grounding system will be announced, pointing out the importance of a high frequency tellurometer, the appropriate methodology, the grounding resistance measurement process, analysis of results and presentation of points to improve in the event of identified anomalies, among them applying the CYMGRD program for the optimization of results.

Towers were selected according to criticality of geographic location and grounding anomalies, to then measure their current grounding values using a high-frequency tellurometer. The selected towers have a particular characteristic due to the fact that they are braced type VSL.

Finally, the measurement results and the importance of the high frequency tellurometer in a grounding system will be analyzed, pointing out the points to be optimized, in order to establish improvement points, by proposing corrective activity in its components, and obtaining an alternative efficient for improving the PAT system.

Keywords: Transmission line, VSL braced towers, earthing, high frequency tellurometer, CYMGRD.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
TABLA DE CONTENIDO	iii
LISTA DE TABLAS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo del informe	1
1.2. Estructura del informe	2
CAPÍTULO II	6
INFORMACIÓN DE LUGAR DE DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD	6
2.1. Institución donde se desarrolló la actividad	6
2.2. Periodo de duración de la actividad	6
2.3. Finalidad y objetivos de la entidad	6
2.4. Razón social	7
2.5. Dirección Postal	7
2.6. Correo electrónico del Profesional a Cargo	8
CAPÍTULO III	9
DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	9
3.1. Organización de la actividad	9
3.1.1. <i>Aby Transmisión Sur (ATS) – L-5032 kV (Chilca-Poroma)</i>	10
3.2. Finalidad y objetivos de la actividad	11
3.2.1. <i>Finalidad</i>	11
3.2.2. <i>Objetivos</i>	11
3.3. Problemática	12
3.3.1. <i>Problemática general</i>	12

3.3.2. <i>Problemas específicos</i>	12
3.3.3. <i>Justificación e importancia de la investigación</i>	13
3.4. <i>Metodología</i>	13
3.4.1. <i>Bases teóricas</i>	13
3.4.2. <i>Marco Conceptual</i>	17
3.5. <i>Procedimiento</i>	25
3.5.1. <i>Principios y metodología de medición de resistencia PAT</i>	25
3.5.2. <i>Análisis del funcionamiento de telurómetro de alta frecuencia</i>	26
3.5.4. <i>Medición de resistencia PAT en estructura tipo VSL</i>	28
3.5.5. <i>Irregularidades y/o anomalías encontradas – CNE</i>	36
3.6. <i>Resultados de la actividad</i>	37
CAPÍTULO IV	38
CONCLUSIONES	38
4.1. <i>Justificación</i>	38
4.2. <i>Metodología aplicada</i>	50
4.2.1. <i>Evaluación técnica</i>	50
4.3. <i>Descripción de la implementación</i>	61
4.3.1. <i>CYMGRD - Simulación de optimización en sistema PAT</i>	61
4.3.2. <i>Aplicación de ampliación de contrapesos</i>	67
4.4. <i>Conclusiones</i>	68
CAPÍTULO V	69
RECOMENDACIONES	69
CAPÍTULO VI	70
BIBLIOGRAFÍA	70
CAPÍTULO VII	73
ANEXOS	73

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Cantidad y tipo de estructuras L-5032	5
Tabla 2. Cantidad de torres en L-5032 según tipo de estructura	10
Tabla 3. Tipos de torres en L-5032	21
Tabla 4. Tabla para la técnica de la Pendiente de Tagg	24
Tabla 5. Estructuras a evaluar	28
Tabla 6. EPPs para la ejecución de actividad	29
Tabla 7. Descripción de Telurómetro	29
Tabla 8. Mediciones realizadas durante actividad	32
Tabla 9. Formato de evaluación de resistencias PAT	33
Tabla 10. Resultado obtenido en Torre 551	35
Tabla 11. Resultados generales de actividad de mantenimiento	36
Tabla 12. Estructuras que incumplen con valor de resistencia PAT requerido	36
Tabla 13. Resultados de medición resistencia PAT y actividad propuesta	37
Tabla 14. Mejoramiento RPAT en estructuras LT L-2055/2056 220kV Cotaruse – Las Bambas	38
Tabla 15. Proceso de ampliación de contrapesos en L-2055/2056 220kV Cotaruse – Las Bambas	39
Tabla 16. Relación de longitud de contrapeso con valor de resistividad	52
Tabla 17. Materiales para puesta a tierra B y C	54
Tabla 18. Relación entre número de contrapesos respecto a la impedancia inicial	59
Tabla 19. Longitud de contrapesos de estructuras evaluadas	60

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Plano de ubicación de línea L-5032. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>2</i>
<i>Figura 2. Ubicación vía Google Maps de línea L-5032. Fuente: Elaboración propia...</i>	<i>3</i>
<i>Figura 3. Ubicación vía Google Earth de estructuras a evaluar de línea L-5032. Fuente: Elaboración propia.....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 4. Representación general de activos a cargo de Abengoa Omega Perú. Fuente: Web Osinergmin</i>	<i>9</i>
<i>Figura 5. Sistema de puesta a tierra torre tipo VSL. Fuente: Anexo 2</i>	<i>18</i>
<i>Figura 6. Conector de cable PAT Fuente: www.pararrayos-at3w.com</i>	<i>18</i>
<i>Figura 7. Incidencia de rayos en líneas de alta tensión. Fuente: León Ortiz, J. (2012)</i>	<i>20</i>
<i>Figura 8. Regla del 62% Medición de resistencia PAT. Fuente: Elaboración propia.</i>	<i>23</i>
<i>Figura 9. Dirección de circuito de medición. Fuente: León Ortiz, J. (2012)</i>	<i>25</i>
<i>Figura 10. Principio de medición PAT. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>26</i>
<i>Figura 11. Telurómetro AEMC 6472. Fuente: AMC (2019)</i>	<i>27</i>
<i>Figura 12. Representación gráfica de medición PAT. Fuente: AMC (2019).....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 13. Referencia de medición de resistencia PAT. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>31</i>
<i>Figura 14. Resultados obtenidos de mediciones de resistencias PAT. Fuente: Elaboración propia.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 15. Vista de estructura tipo VSL. Fuente: Anexo 2.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 16. Vistas de planta PATs tipo B y C. Fuente: Anexo 2.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 17. Detalle conexión Estructura-PAT. Fuente: Anexo 2</i>	<i>54</i>
<i>Figura 18. Detalle de Zanja en terrenos cultivables y no cultivables. Fuente: Anexo 2</i>	<i>55</i>
<i>Figura 20. Variación de la impedancia transitoria y efecto del número de contrapesos. Fuente: León Ortiz, J. (2012)</i>	<i>58</i>
<i>Figura 22. Vista de Planta actual PAT torre arriostrada VSL con 02 contrapesos. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>63</i>

<i>Figura 23. Resultados obtenidos sistema PAT T513 – 02 Contrapesos y Potencial en cada punto del terreno. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>64</i>
<i>Figura 24. Valor de resistencia PAT calculado en caso actual</i>	<i>64</i>
<i>Figura 25. Vista propuesta de Planta PAT torre arriostrada VSL con 04 contrapesos. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>65</i>
<i>Figura 26. Resultados obtenidos sistema PAT T513 – 04 Contrapesos y Potencial en cada punto del terreno. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>66</i>
<i>Figura 27. Valor de resistencia PAT calculado en simulación</i>	<i>66</i>

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivo del informe

Los sistemas de puesta a tierra representan un rol necesario y relevante en distintas instalaciones eléctricas tanto en sistemas de generación, transmisión y distribución, a fin de velar por la seguridad de personas y equipos ante la existencia de perturbaciones en el sistema.

Actualmente no se realiza un correcto monitoreo y programación de actividades de mantenimiento preventivo, es por ello que se tiene la presente investigación, que desarrolla con enfoque a mediciones de puestas a tierra, dando a conocer la importancia de uso de telurómetro de alta frecuencia en líneas de transmisión, proponer mejoras en el sistema y dar a conocer el software CYMGRD para la optimización de valores de resistencia PAT.

En el presente documento se centra en la Línea de Transmisión L-5032 cuyo nivel de tensión es de 500kV, que comprende las subestaciones Chilca y Poroma (Ica, Perú), donde se evaluará la criticidad de estructuras para la obtención de valores de resistencia y realizaron propuestas de mejora a fin de obtener óptimas resistencias de puesta a tierra en estructuras de muy alta tensión, también pudiendo ser aplicados en líneas cuyas tensiones de operación son desde 30 kV, garantizando uno de los puntos relevantes en cuanto a operación confiable de la mencionada línea de transmisión.

1.2. Estructura del informe

El área de estudio, se centra específicamente en la línea de transmisión 500 kV Chilca–Poroma, se ha reconocido una serie de unidades geomorfológicas, pues la ruta atraviesa pampas, valles, penillanuras costeras, la cordillera de la costa, estribaciones, etc.; con altitudes que fluctúan entre los 50 m.s.n.m. a 550 msnm. El clima en la zona de estudio en general es cálido árido propio de la costa sur del Perú, con una temperatura media anual de 19.3°C, teniendo un clima benigno con sol casi todo el año, siendo la mejor temporada los meses de verano (Enero-Marzo) con temperaturas de 24°C a 30°C.

Geográficamente se encuentra entre las provincias de Cañete (Lima) y Nasca (Ica), presenta una superficie con niveles muy variable u ondulada, principalmente en la zona de Chilca a Ica, siguiendo más al sur se presentando extensas áreas planas que se extiende hasta la Subestación Poroma, que se ubica en Nasca (Osinergmin, 2014)

Se presentan en las Figuras 1 y 2 la representación geográfica de la línea L-5032.

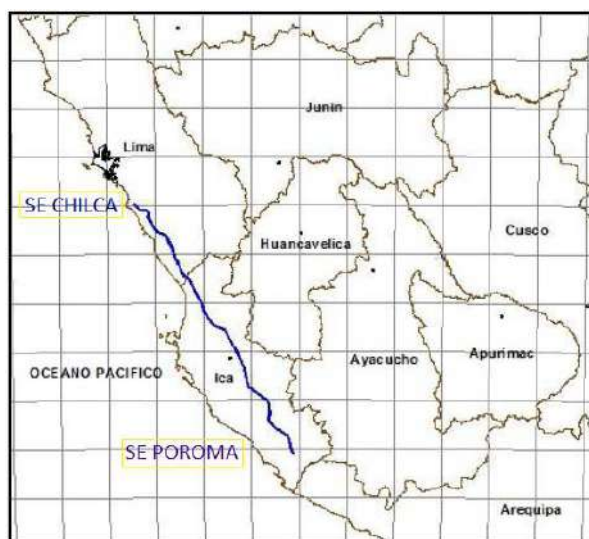


Figura 1. Plano de ubicación de línea L-5032. Fuente: Elaboración propia

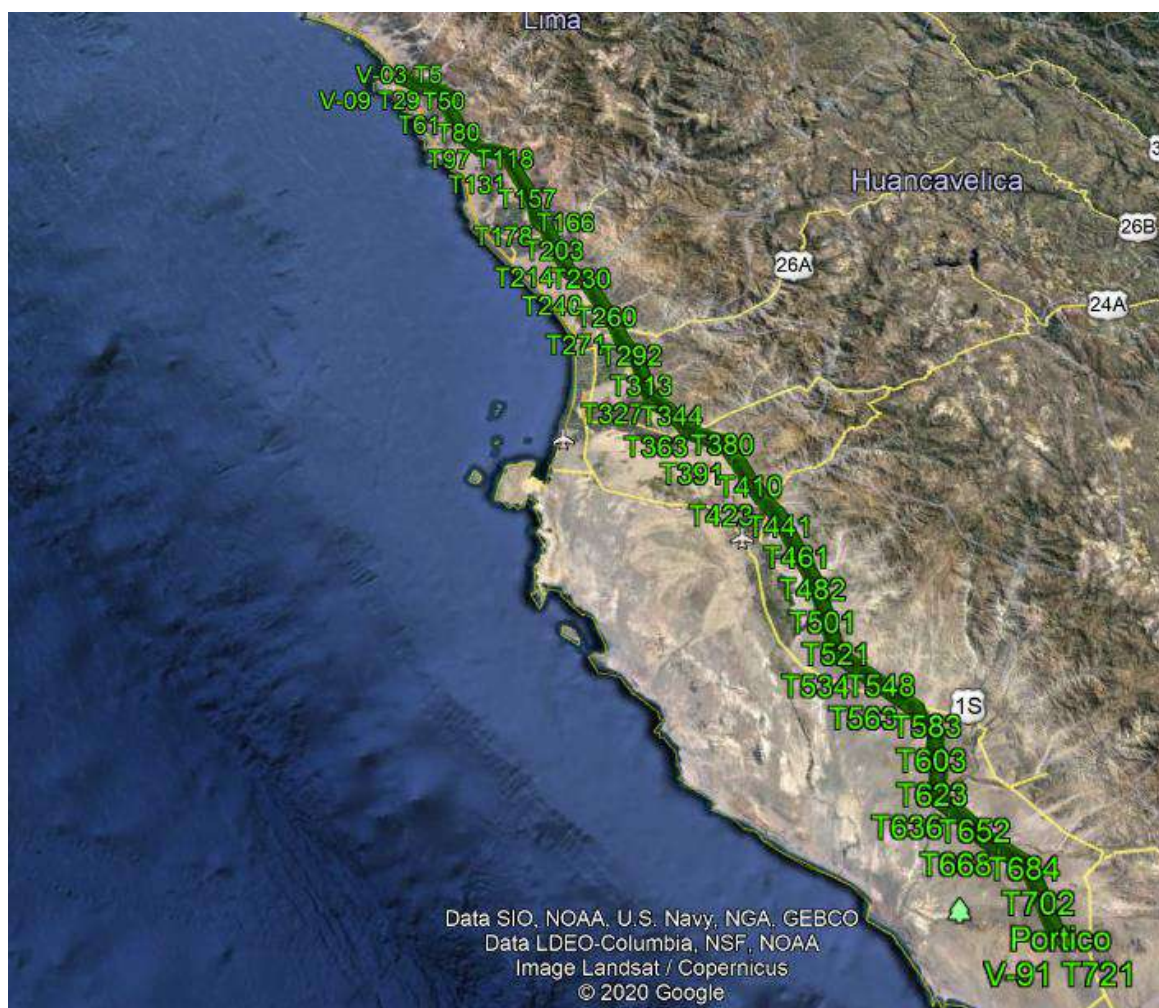


Figura 2. Ubicación vía Google Maps de línea L-5032. Fuente: Elaboración propia

Se presentará el proceso de medición de resistencia de Puesta a Tierra en las estructuras T510, T511, T513, T536, cuya ubicación geográfica, vía Google Earth, a continuación, en Figura 3.



Figura 3. Ubicación vía Google Earth de estructuras a evaluar de línea L-5032.

Fuente: Elaboración propia

En el alcance a brindar en el presente documento se señalará la metodología adecuada de evaluación PAT, puesto que se realizarán mediciones a una línea de transmisión en servicio, y esto implicará la importancia del uso de telurómetro de alta frecuencia, también análisis de resultado obtenido y del sistema PAT en estructuras tipo VSL de la línea de transmisión L-5032 500 kV (Chilca-Poroma), cuyo mantenimiento no sido monitoreado desde su fecha en Puesta de operación comercial, el 17/01/2014, cuya cantidad y tipo de estructuras se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1: Cantidad y tipo de estructuras L-5032

Tipo de torres	Cantidad
VSL	254
ASL	180
ASR	118
AAL	98
AAR	26
ARA	26
AAE	16
ATS	3

CAPÍTULO II INFORMACIÓN DE LUGAR DE DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD

2.1. Institución donde se desarrolló la actividad

La institución donde se desarrollaron las actividades a detallarse en el presente informe es OMEGA PERÚ, empresa filial de ABENGOA PERÚ, la cual tiene participación en el rubro energético tanto como en el desarrollo de nuevos proyectos y actividades de operación y mantenimiento.

Actualmente tiene participación en actividades de operación y mantenimiento de Subestaciones y Líneas de transmisión en el norte y sur del país, cuyos proyectos principales son ATN1 ATN2, Aby transmisión Sur y Marcobre.

2.2. Periodo de duración de la actividad

El desarrollo de actividad en campo fue del 03/05/2019 al 10/05/2019.

2.3. Finalidad y objetivos de la entidad

a) Finalidad:

- Principalmente garantizar la ininterrumpida transmisión de energía eléctrica a los usuarios finales de los proyectos anteriormente mencionados.

b) Objetivos:

- Realizar el mantenimiento preventivo y correctivo de líneas de transmisión, subestaciones de potencia y equipos de alta y muy alta tensión.
- Gestionar las instalaciones de transmisión en sus etapas de planeación, ejecución en tiempo real, evaluación y mejoramiento.
- Garantizar la óptima operación y la confiabilidad del servicio de las instalaciones y las de los clientes a través del centro de control.

2.4. Razón social

La razón social de la empresa es OMEGA PERÚ OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO S.A.

2.5. Dirección Postal

Dirección Legal: Av. Canaval y Moreyra Nro. 562

Urbanización: El Palomar

Distrito / Ciudad: San Isidro

Departamento: Lima, Perú

2.6. Correo electrónico del Profesional a Cargo

Se señala correo electrónico: marco.mundaca@omegaperu-oym.com

CAPÍTULO III DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

3.1. Organización de la actividad

Abengoa Perú, mediante su filial Omega Perú Operación y Mantenimiento S. A., viene desempeñando actividades de Operación y Mantenimiento en Subestaciones y Líneas de transmisión. Entre sus principales actividades a cargo se tiene a la línea de transmisión y subestaciones de Aby Transmisión Sur, que comprenden las subestaciones Chilca-Montalvo 500kV, cuya localización comprende los departamentos de Lima, Ica, Arequipa y Moquegua. Comprende de 916 km, tres nuevas Subestaciones (Ocoña 500 kV, San José 220 kV y Moquegua 220 kV) y 03 ampliaciones de Subestaciones Chilca 500 kV, Marcona 500 kV y Montalvo 500kV (Osinerghmin, 2014).

En la Figura 4 se representa diagrama unifilar general de Aby Transmisión Sur:

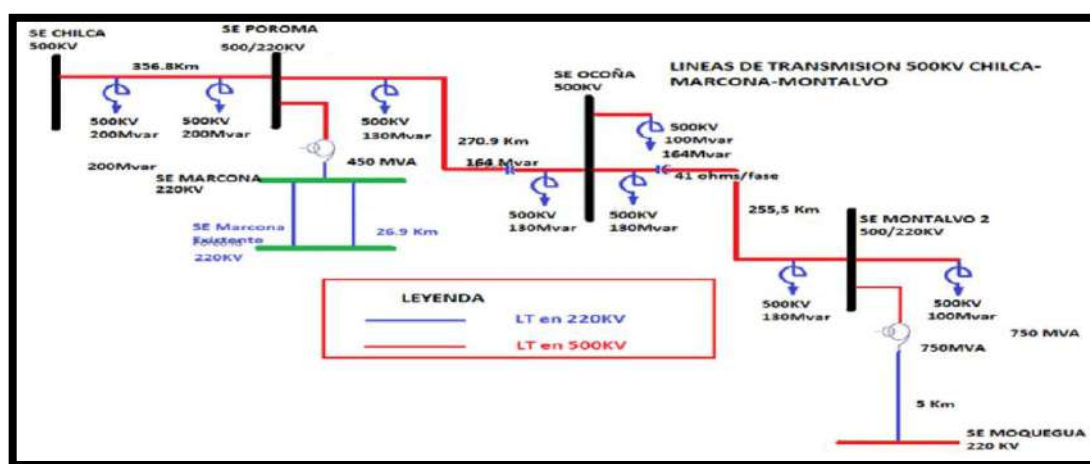


Figura 4. Representación general de activos a cargo de Abengoa Omega Perú.

Fuente: Web Osinerghmin

3.1.1. *Aby Transmisión Sur (ATS) – L-5032 kV (Chilca-Poroma)*

El conjunto de activos de la Línea de Transmisión L-5032 cuyo nivel de tensión es 500 kV, pertenece al proyecto Línea de Transmisión 500 kV Chilca-Marcona-Montalvo.

El proyecto comprendió la construcción de una L.T. 500 kV de 872 km, 1 766 torres metálicas, entre autosoportadas y atirantadas, entre las SE Chilca, Marcona (Poroma), Ocoña y Montalvo, más los enlaces en las SE existentes Marcona 220 kV y Moquegua 220 kV, de 27 km y 5 km, respectivamente (Osinergmin, 2014).

La línea L-5032, de 356.8 km y compuesta por 721 estructuras, donde se detalla en Tabla 2.

Tabla 2. Cantidad de torres en L-5032 según tipo de estructura

Ítem	Tipo de torres	Cantidad
1	VSL	254
2	ASL	180
3	ASR	118
4	AAL	98
5	AAR	26
6	ARA	26
7	AAE	16
8	ATS	3

3.2. Finalidad y objetivos de la actividad

3.2.1. Finalidad

El presente documento toma como variable principal uno de los conceptos relevantes en cuanto a medidas de protección a personal y activos , existente en los rubros de Generación, Transmisión y Distribución, los sistemas de puesta a tierra, valor el cual no se ha venido monitoreando en la Línea de transmisión L-5032 Chilca-Poroma desde su fecha puesta en operación comercial (17.01.2014) debido a la cercanía costera de las estructuras, además de la probabilidad de existencia de descargas atmosféricas, la finalidad del documento es dar a conocer los procedimientos, señalando la importancia del telurómetro de alta frecuencia, análisis de resultados y del sistema PAT en una estructura e identificación de puntos de mejora en el sistema de puesta a tierra, en base a resultados obtenidos en la medición.

3.2.2. Objetivos

3.2.2.1. Objetivo general. Brindar y explicar el análisis de la metodología de medición Caída de potencial y señalar la importancia del Telurómetro de alta frecuencia, a fin de obtener resultados óptimos en medición de resistencias de Puesta a Tierra en estructuras arriostradas tipo VSL de la línea L-5032.

3.2.2.2. Objetivos Específicos. Análisis de condiciones de uso del telurómetro de alta frecuencia, equipo a utilizar en las mediciones de resistencia de puesta a tierra en estructuras arriostradas. Indicar las condiciones climáticas y operativas de la línea de transmisión, dado que para la medición de resistencias PAT, la línea se encontrará en servicio. Explicar y simular optimización de la puesta a tierra en el software CYMGRD.

3.3. Problemática

3.3.1. Problemática general

- Los sistemas de puesta a tierra son el principal tema si nos referimos protección del personal y del conjunto de activos involucrados en el sistema de transmisión de energía eléctrica, actualmente no se tiene mucha información de estructuras tipo VSL (arriostradas) en el Perú, principalmente en actividades de montaje y mantenimiento.
- Existen distintas metodologías para la obtención de valores de resistencia de puesta a tierra, pero no se cuenta con información de las metodologías empleadas para torres de alta tensión, sobretodo en estructuras arriostradas.
- El conocimiento difundido es escaso, respecto a programas de simulación de sistemas de puesta a tierra en Subestaciones y Líneas de transmisión a fin de proyectos o actividades de mantenimiento

3.3.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el uso correcto de un telurómetro de alta frecuencia?
- ¿Bajo qué parámetros analizar el sistema de puesta a tierra en una línea de transmisión?

- ¿Qué puntos de mejora se puede establecer ante un valor de resistencia superior al establecido por el CNE?

3.3.3. Justificación e importancia de la investigación

El mantenimiento en sistemas de puesta a tierra es uno de los más importantes si nos referimos a protección tanto como del personal y activos de la empresa. Es por ello que la presente investigación nos brinda información técnica y aplicativa de cómo se puede realizar una inspección, bajo qué parámetros y metodologías son apropiadas para obtener valores PAT óptimos. Asimismo, identificar oportunidad de mejora de valores de puesta a tierra, cuya principal finalidad es de garantizar la operación de la transmisión de energía eléctrica, ante posibles perturbaciones en el sistema.

3.4. Metodología

3.4.1. Bases teóricas

3.4.1.1. Internacional

- a) Ajín realizó una investigación titulada “ANALISIS DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE LA SUBESTACION GUATEMALA ESTE con el objetivo de realizar un análisis para proporcionar consideraciones y lineamientos básicos del diseño de un sistema de puesta a tierra para una subestación eléctrica, teniendo como base la subestación Guatemala Este y la distribución de su equipo de alta tensión” (Ajín, 2012), desarrollada según parámetros del enfoque CUALITATIVO, de tipo SUSTANTIVO, NO EXPERIMENTAL, utilizando una matriz de observación arribó a las siguientes conclusiones.

- “En distintos puntos de la subestación Guatemala Este se cuenta con registros de monitoreo para mostrar el deterioro de la malla de cobre. Estos registros también son utilizados para conexiones futuras hacia electrodos verticales o hacia nuevas estructuras.”
 - “Los cálculos realizados son para subestaciones convencionales y las ecuaciones utilizadas son para áreas cuadradas o rectangulares.”
 - “Un sistema de puesta a tierra de una subestación eléctrica mantiene las conexiones a estructuras y equipos por medio de conductores de cobre de forma permanente.”
- b) Vázquez realizó una investigación titulada “DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MEDIANTE DOS METODOLOGÍAS con el objetivo de realizar el diseño de puesta a tierra de una subestación eléctrica por medio de dos metodologías. La primera con el apoyo de una calculadora de bolsillo (metodología convencional) y una metodología con el apoyo de una computadora digital usando un software especializado” (Vázquez, 2016), desarrollada según parámetros del enfoque CUANTITATIVO, de tipo PROYECTIVO, EXPERIMENTAL, utilizando una matriz de observación arribó a las siguientes conclusiones:
- “El diseño de la red de tierra utilizando la metodología convencional presenta como inconveniente utilizar una resistividad homogénea para el terreno o una resistividad heterogénea que dará un resultado menos preciso que la anterior, lo cual repercute directamente en la cantidad de cobre a utilizar, punto en contra en cuando a la utilización de un programa por computadora para este mismo diseño.”
 - “El proceso de diseño de red de puesta a tierra para una subestación mediante el software CYMEGRD es de gran utilidad debido a sus funciones, rapidez y eficacia ya que, al armar la red, el programa muestra la variedad de materiales y medidas que se puede utilizar para lograr un diseño óptimo.”
- c) Segura realizó una investigación titulada “ANÁLISIS DE LA MALLA DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE LA SUBESTACIÓN

ELÉCTRICA TEOTIHUACÁN PARA SU MEJORAMIENTO con el objetivo de mostrar el diseño y las condiciones para el correcto diseño, selección y aplicación de un sistema de tierras, que permita operar en condiciones eficientes, económicas y seguras, utilizando las nuevas tecnologías existentes conforme a la normatividad vigente” (Segura, 2010), desarrollada según parámetros del enfoque CUALITATIVO, de tipo SUSTANTIVO, NO EXPERIMENTAL, utilizando una matriz de observación arribó a las siguientes conclusiones:

- “Los sistemas convencionales no están diseñados para las corrientes y tensiones inducidas por otros sistemas cercanos a la malla de puesta a tierra como las interferencias de radio frecuencia (IRF) y las interferencias electromagnéticas (IEM).”
- “El sistema de electrodo unidireccional cubre los aspectos antes mencionados y reduce también las distorsiones armónicas, así como ayuda a reducir pérdidas en el transformador y se obtiene un ahorro de energía. Todo esto porque la bobina RLC que viene unida al electrodo funciona como filtro pasa bajas, lo cual significa que bloquea todas las altas frecuencias provenientes de la tierra o subsuelo y que además el acoplador de admitancias también respalda al electrodo unidireccional porque funciona como un diodo de potencia y bloquea corrientes parasitas provenientes de otros sistemas y las regresa a tierra para que no afecte el sistema a proteger como los tableros de distribución, UPS, tableros de control, etc.”

3.4.1.2. *Nacional*

- a) Rojas realizó una investigación titulada “PUESTA A TIERRA REMOTA EN CENTRALES DE GENERACIÓN con el objetivo de demostrar mediante cálculos de puestas a tierra remota en centrales de generación” (Rojas, 2019), desarrollada según parámetros del enfoque CUANTITATIVO, de tipo PROYECTIVO, NO EXPERIMENTAL, utilizando una matriz de observación, arribó a las siguientes conclusiones:

- “Este trabajo muestra los métodos y planteamiento, así como algunos aspectos de cálculo, para diseño de sistemas de puesta a tierra de centrales de generación.”
 - “Como se vio, las centrales de generación, por diversas razones, se instalan en terrenos que no necesariamente son los más adecuados desde el punto de vista de aterramiento, es decir que tienen una alta resistividad de terreno.”
 - “Los resultados de las tensiones de paso y toque están por debajo de las tensiones máximas permisibles, por lo que se garantiza la seguridad del personal. Se puede afirmar que el diseño cumple con los requerimientos mínimos de seguridad para el personal.”
- b) Gutiérrez realizó una investigación llamada “DISEÑO E IMPLEMENTACION DE DIFERENTES SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA PARA LOS LABORATORIOS DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA DE LA UNA-PUNO con el objetivo de Diseñar sistemas de puestas a tierra con aplicación de los conceptos y recomendaciones normativas que en caso de falla a tierra se presente, utilizando diferentes materiales y probar sus ventajas de uno y otro sistema, además que sirvan para prácticas de laboratorio en la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la UNA-PUNO” (Gutierrez, 2018). desarrollada según parámetros del enfoque CUANTITATIVO, de tipo PROYECTIVO, EXPERIMENTAL, utilizando una matriz de observación arribó a las siguientes conclusiones:
- “Se diseñó los sistemas de puestas a tierras planteadas, de los cuales se implementó el sistema de puesta a tierra método varilla con cemento conductivo, sistema de puesta a tierra varilla más gel en la “Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica” Los cuales podrán ser usados como lugares de prueba para las prácticas de laboratorio.”
 - “Se realizó la descripción y aplicación de los conceptos y recomendaciones definidos en publicaciones, normativas y prácticas de la industria. Para que asegure la integridad física a las personas y las instalaciones, así como la apropiada operación de los equipos y sistemas de protección.”

- “Se implementó el sistema de puesta a tierra método varilla con cemento conductor con una RPT de $4.23 (\Omega)$, sistema de puesta a tierra varilla más gel con una RPT de $4.23 (\Omega)$, en la “Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica” los cuales podrán ser usados como practica de laboratorio.”

3.4.2. Marco Conceptual

A fin de que un Sistema de Puesta a Tierra con correcta operatividad oportuna, con un funcionamiento confiable tanto para personal y equipos, es fundamental el constante monitoreo y optimización de la puesta a tierra. Es por ello que se darán a conocer las siguientes definiciones:

3.4.2.1. Tierra. En un sistema eléctrico se toma como referencia al suelo, terreno.

3.4.2.2. Pozo a tierra. Como su nombre lo indica es un pozo, pero no de agua sino de tierra, cuya finalidad es albergar un electrodo o varilla conductor de cargas eléctricas dispersas o sueltas que pueden ocasionar una conmoción a una persona o dañar un equipo eléctrico. (Gutierrez, 2018)

3.4.2.3. Sistema de Puesta a Tierra. Es aquel medio de la cual un circuito o equipo eléctrico se conecta a tierra, o a algún cuerpo conductor de dimensión relativamente grande que cumple la función de tierra. Se representa en la Figura 5 la visión general del sistema de Puesta a tierra de una estructura arriostrada tipo VSL.

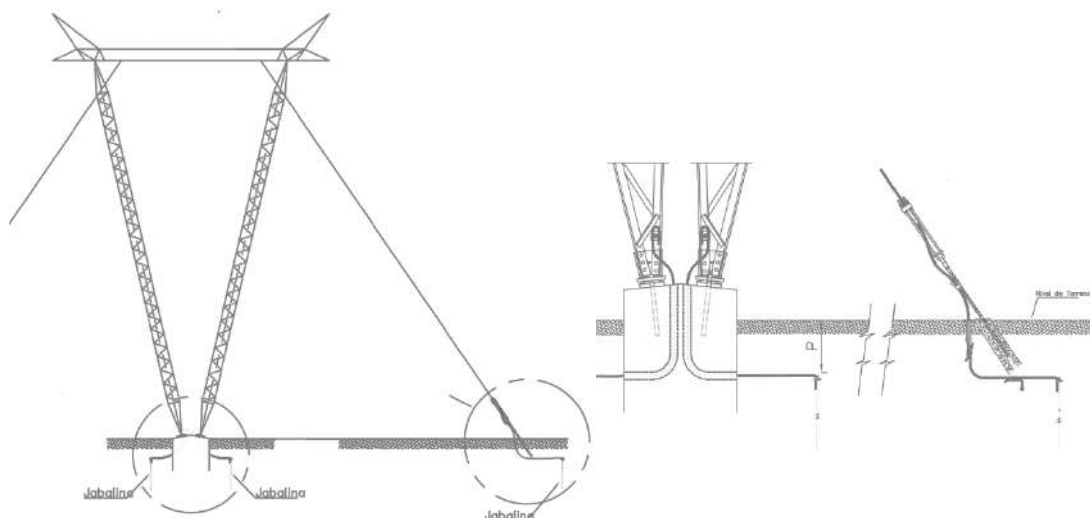


Figura 5. Sistema de puesta a tierra torre tipo VSL. Fuente: Anexo 2

3.4.2.4. Conector de puesta a tierra. Une diferentes puntos de instalación del sistema, generalmente de acero recubiertos metalúrgicamente con cobre o aluminio, tales como el cable copperweld y alumoweld, respectivamente. Tal como se muestra en la Figura 6.



Figura 6. Conector de cable PAT Fuente: www.pararrayos-at3w.com

- 3.4.2.5. Resistividad del suelo.** Es la resistencia que todo cuerpo ofrece al paso de los electrones de la corriente eléctrica. Una puesta a tierra no solo presenta resistencia, también capacitancia e inductancia, en diferentes grados que influye en la conducción de la corriente de descarga que se quiere desviar a tierra. 37 La resistencia de puesta a tierra, se puede considerar como una impedancia de puesta a tierra. La resistencia de puesta a tierra depende de la resistividad del terreno, de su composición de las capas del terreno, que varía por su estructura; húmeda, seca, sales minerales, etc. (Rojas, 2009)
- 3.4.2.6. Resistividad entre electrodos.** Fenómeno resistivo que aparece entre electrodos de puesta a tierra o puntos próximos en el suelo, mediante el cual, la corriente que se dispersa a través de uno de ellos modifica el potencial del otro. Su unidad es el Ohm. (León, 2012)
- 3.4.2.7. Potencial eléctrico.** Diferencia de potencial entre el punto y alguna superficie equipotencial, usualmente la superficie del suelo, a la cual arbitrariamente se le asigna potencial cero (tierra remota). (EPM, 2019)
- 3.4.2.8. Carga Eléctrica.** “Los antiguos griegos descubrieron, ya en 600 A.C., que cuando frotaban ámbar con lana, el ámbar atraía otros objetos. Hoy en día, se menciona que el ámbar ha adquirido una carga eléctrica neta, esto es, que se ha cargado. La palabra "eléctrica" se deriva de la palabra griega electrón, que significa ámbar. Cuando se frotan los zapatos sobre una alfombra de nylon, se adquiere una carga eléctrica, y también se puede "cargar" un peine haciéndolo pasar a través de cabello seco. Potencial eléctrico de la tierra” (Sears, 2015).

3.4.2.9. Fenómenos en líneas de transmisión. Cuando una descarga atmosférica cae en un cable de guarda, la corriente debida a la descarga fluye en ambos sentidos a través de la impedancia impulso del cable de guarda. (La corriente y la tensión) se propagan hasta llegar a la torre, bajan por esta y se encuentran con una resistencia de puesta a tierra que disipa la energía asociada con la descarga atmosférica. Lo mismo se puede decir cuando la descarga atmosférica cae directamente en la torre. Generalmente cada torre está compuesta mediante 4 o más varillas unidas a los cimientos mediante una puesta a tierra normal. Las varillas deben instalarse en el fondo de la fundación, en la parte exterior del cimiento, y los cables deben fijarse a los ángulos de espera o stubs de tal manera que queden embebidos en el concreto o enterrados cuando los cimientos sean parrillas metálicas. (EPM, 2019)

Lo anteriormente descrito se representa a continuación en la Figura 7.

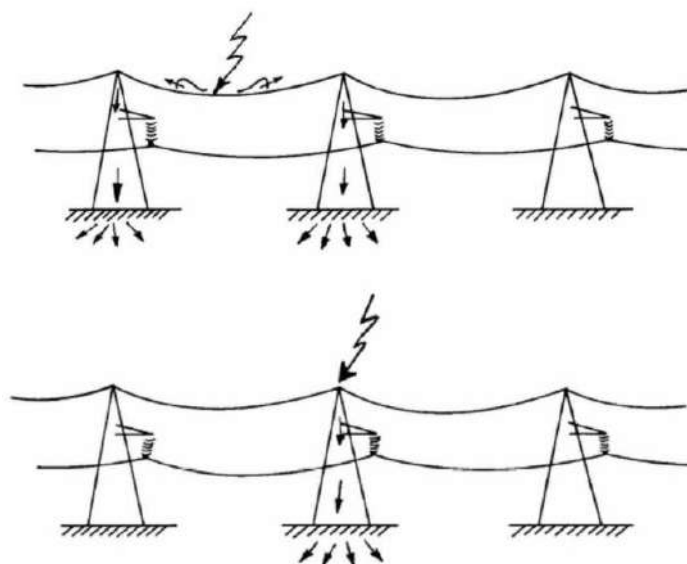


Figura 7. Incidencia de rayos en líneas de alta tensión. Fuente: León Ortiz, J. (2012)

3.4.2.10. Estructuras en línea de transmisión L-5032. A lo largo de la Línea de Transmisión 500kV L-5032 (Chilca – Poroma) se encuentran 721 estructuras, entre las cuales tienen 08 tipos y se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3. Tipos de torres en L-5032

Torres	Tipo	Cantidad
VSL	Suspensión	254
ASL	Suspensión	180
ASR	Suspensión	118
AAL	Anclaje	98
AAR	Anclaje	26
ARA	Anclaje	26
AAE	Anclaje	16
ATS	Anclaje	3

3.4.2.11. Medición del sistema PAT. La resistencia de puesta a tierra está directamente relacionada con la composición natural del suelo, es decir, el suelo será de resistencia baja cuando sea altamente húmedo con composición arcillosa y alto contenido de minerales conductores. Por el contrario, cuando el suelo sea de composición seca y altamente rocoso la resistencia será alta. Por esta razón una línea de transmisión no tiene un valor constante de resistencia de puesta a tierra, sino que presenta una gama de valores según la localización de las distintas torres, por lo que, lo primero al querer mejorar las puestas a tierra de una línea transmisión es medir que valores de resistencia tiene cada torre. (León, 2012)

3.4.2.12. Método de medición de resistencia de Puesta a Tierra

a) Método de caída de potencial

El procedimiento de ejecución es el siguiente:

Se utilizará un probador de resistencia a tierra de alta frecuencia (telurómetro) compuesto de tres terminales. El equipo consta de un terminal de potencial,

llamada pica auxiliar de referencia de potencial (S), un terminal de corriente, denominada pica auxiliar de inyección de corriente (H) y un terminal que se conecta a tierra (E). Asimismo, el equipo comprende 3 jabalinas de tierra y cables de diferentes longitudes.

El terminal (E) del instrumento, se conectará al borne o a la parte visible de la puesta a tierra existente (punto de prueba) ubicado en la pata de la torre o en el chasis de la torre.

El telurómetro inyectará una corriente regulada automáticamente con frecuencia de 25 KHz a través del electrodo que se está comprobando: E y H, para posteriormente medir la caída de tensión entre E y S, y finalmente mediante Ley de Ohm calcula la resistencia entre E y S

Luego la estaca de corriente (H) se instalará a una distancia de 100 metros de la puesta a tierra. La instalación de la estaca de corriente se efectuará perpendicular a la línea de transmisión y al contrapeso del sistema de puesta a tierra instalado y por ningún motivo paralelo a esta, esto reducirá la posibilidad de imprecisión debido al efecto inductivo producto de la puesta a tierra existente.

Se tomarán 10 lecturas a diferentes distancias para la pica de tensión, la distancia de lectura serán 10 m, 20 m, 30 m, 40 m, 50 m, 62 m, 70 m, 80 m, 90 m y 98 m, para poder construir la curva de caída de potencial.

Regla del 62%

La estaca de voltaje (S) debe ubicarse al 62% de la distancia entre el punto de prueba y la estaca de corriente

Es posible reducir la cantidad de diez mediciones siempre y cuando:

- El terreno es uniforme en cuanto a resistividad
- Es comprueba un que el electrodo (E) no es una malla ni una placa grande
- Es posible colocar la pica de inyección de corriente (H) desde el electrodo que se está comprobando (E).

A continuación, se representa en la Figura 8 la Regla del 62%.

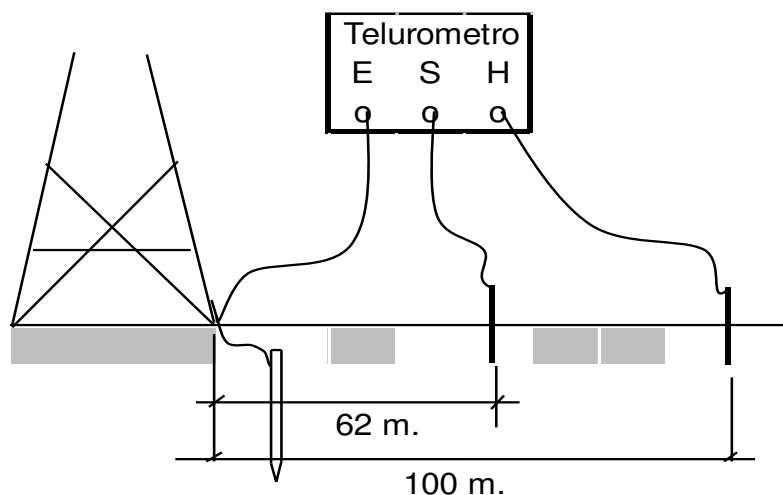


Figura 8. Regla del 62% Medición de resistencia PAT. Fuente: Elaboración propia

Técnica de la pendiente de Tagg

Si al realizarse las lecturas de resistencia en las nueve ubicaciones de S, y en la gráfica no se identifica un aplanamiento claro en el gráfico, esto principalmente debido a:

- Área de colocación de picas es limitada

Por lo tanto, se procederá a identificar el mejor tramo (puntos medidos R1, R2 y R3) que tienda mayor aplanamiento, se calculará el coeficiente μ a través de la siguiente expresión:

$$\mu = \frac{(R3 - R2)}{(R2 - R1)}$$

Posterior a ello, se consultará la tabla para hallar el valor de S/H, ver Tabla 4.

Tabla 4. Tabla para la técnica de la Pendiente de Tagg

μ	S/H	μ	S/H	μ	S/H	μ	S/H	μ	S/H
	%		%		%		%		%
0.4	64.3	0.65	60.6	0.9	56.2	1.15	50.7	1.4	43.1
0.41	64.2	0.66	60.4	0.91	56	1.16	50.4	1.41	42.7
0.42	64	0.67	60.2	0.92	55.8	1.17	50.2	1.42	42.3
0.43	63.9	0.68	60.1	0.93	55.6	1.18	49.9	1.43	41.8
0.44	63.7	0.69	59.9	0.94	55.4	1.19	49.7	1.44	41.4
0.45	63.6	0.7	59.7	0.95	55.2	1.2	49.4	1.45	41
0.46	63.5	0.71	59.6	0.96	55	1.21	49.1	1.46	40.6
0.47	63.3	0.72	59.4	0.97	54.8	1.22	48.8	1.47	40.1
0.48	63.2	0.73	59.2	0.98	54.6	1.23	48.6	1.48	39.7
0.49	63	0.74	59.1	0.99	54.4	1.24	48.3	1.49	39.3
0.5	62.9	0.75	58.9	1	54.2	1.25	48	1.5	38.9
0.51	62.7	0.76	58.7	1.01	53.9	1.26	47.7	1.51	38.4
0.52	62.6	0.77	58.5	1.02	53.7	1.27	47.4	1.52	37.9
0.53	62.4	0.78	58.4	1.03	53.5	1.28	47.1	1.53	37.4
0.54	62.3	0.79	58.2	1.04	53.3	1.29	46.8	1.54	36.9
0.55	62.1	0.8	58	1.05	53.1	1.3	46.5	1.55	36.4
0.56	62	0.81	57.9	1.06	52.8	1.31	46.2	1.56	35.8
0.57	61.8	0.82	57.7	1.07	52.6	1.32	45.8	1.57	35.2
0.58	61.7	0.83	57.5	1.08	52.4	1.33	45.5	1.58	34.7
0.59	61.5	0.84	57.3	1.09	52.2	1.34	45.2	1.59	34.1
0.6	61.4	0.85	57.1	1.1	51.9	1.35	44.8		
0.61	61.2	0.86	56.9	1.11	51.7	1.36	44.5		
0.62	61	0.87	56.7	1.12	51.4	1.37	44.1		
0.63	60.9	0.88	56.6	1.13	51.2	1.38	43.8		
0.64	60.7	0.89	56.4	1.14	50.9	1.39	43.4		

Con dicho valor P2/C2, se interpreta que es la resistencia de la tierra se mide en metros, obtenido con la tabla, por lo que conforme con el comportamiento de la curva, se halló la resistencia de puesta a tierra.

En caso se realicen las mediciones de resistencia de puesta a tierra en zonas altas sobre el nivel del mar, en temporada de lluvia (Diciembre – Marzo) se deberá contar para los trabajos con un detector de tormentas eléctricas, para que el personal pueda evacuar a tiempo ante una aproximación de amenaza de descargas eléctricas. (Fluke, 2006)

3.5. Procedimiento

3.5.1. Principios y metodología de medición de resistencia PAT

La medición de resistencia PAT en estructuras de una línea de transmisión en dos escenarios:

- Línea de transmisión en servicio
- Línea de transmisión en construcción y/o montaje, antes de tendido del conductor y cable guarda

La dirección del circuito de medición debe estar preferentemente perpendicular al eje de la línea, tal como se muestra en Figura 9.

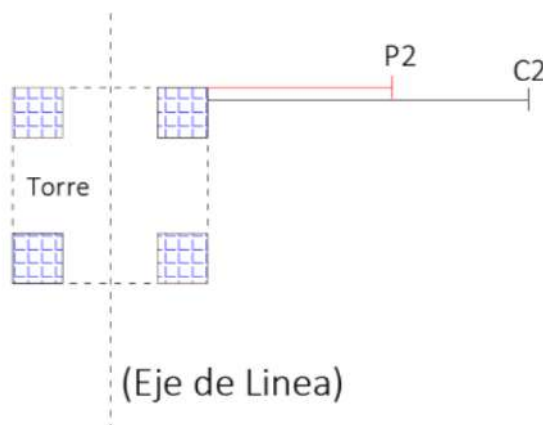


Figura 9. Dirección de circuito de medición. Fuente: León Ortiz, J. (2012)

Si las estructuras ya tienen montadas los pararrayos o cables guarda, es recomendable utilizar telurómetro de alta frecuencia, en cambio si éstas están solo montadas, es recomendable usar telurómetro de baja frecuencia.

El concepto general de medición de resistencia de puesta a tierra en cualquier sistema es el de inyectar una corriente I a través de la puesta a tierra a evaluar y otro electrodo de corriente $C2$ el cual produce a una distancia $P2$ del sistema de aterramiento a una caída de potencia VP en el suelo, esta caída de potencial será medida por el potencial $P2$, tal como se muestra en figura 10.

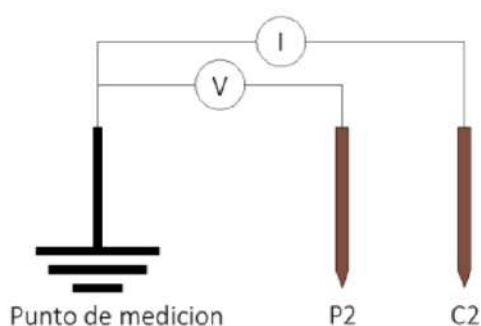


Figura 10. Principio de medición PAT. Fuente: Elaboración propia

3.5.2. Análisis del funcionamiento de telurómetro de alta frecuencia

3.5.2.1. Telurómetro de alta frecuencia AEMC 6472. Equipo principal para llevar a cabo la medición de resistencia PAT, el cual se muestra en la Figura 11.

- Provee una medición automática del valor de resistencia a puesta a tierra usando el método de caída de potencial y almacenamiento de mediciones.
- Especial para mediciones en condiciones difíciles debido a la presencia de altas corrientes de fuga que normalmente afectan la precisión.
- Diseñado para medición de puesta a tierra en torres de línea de transmisión de energía y mallas de subestaciones.
- Frecuencia de operación: 25 kHz.
- Batería recargable.



Figura 11. Telurómetro AEMC 6472. Fuente: AMC (2019)

El Telurómetro a usarse tiene tres terminales o bornes, X para la conexión al PAT, P1 para el electrodo de potencial, y C1 para el electrodo de corriente. Los electrodos de medición deberán clavarse de tal forma que garanticen un buen contacto con el suelo. La longitud de los electrodos debe ser de 1m, y estos deben desenterrarse al menos 70% de su longitud. En suelo deleznable se debe remover el material suelto hasta encontrar tierra firme y clavar en ella el electrodo. En suelos con capa gruesa de arena o material suelto, se debe humedecer el punto de clavado del electrodo con una mezcla de agua y sal, en terreno rocoso se procura que el electro penetre lo más que se pueda, garantizando que este que firme, no flojo. Se representa el procedimiento descrito en la Figura 12.

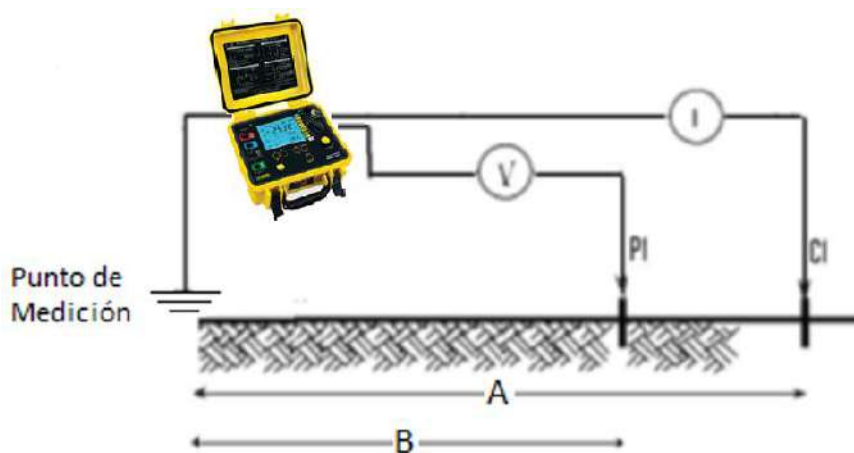


Figura 12. Representación gráfica de medición PAT. Fuente: AMC (2019)

3.5.4. Medición de resistencia PAT en estructura tipo VSL

3.5.4.1. Alcance y recursos utilizados. Se muestra en Tabla 5 las estructuras a intervenir.

Tabla 5. Estructuras a evaluar

Ítem	Estructura	Tipo de Estructura	Tipo de SPAT
1	T510	VSL	C
2	T511	VSL	C
3	T513	VSL	B
4	T536	VSL	C

En Tabla 6 se detalla EPPs necesarias para la actividad de medición de resistencias PAT.

Tabla 6. EPPs para la ejecución de actividad

EPPs	Unidad
Casco de seguridad con barbiquejo	juego
Lentes de seguridad	unid
Uniforme (camisaco y pantalón)	juego
Zapatos dieléctricos	par
Guantes de cuero badana	par

Recursos utilizados:

- 01 camioneta.
- 01 cámaras Digitales
- 01 teléfonos Celulares RPC
- 01 telurómetro Ground Flex

3.6.4.2. Equipo de medición. La Tabla 7 y Figura 11 se brindan datos generales y representación gráfica del telurómetro a usar, respectivamente.

Tabla 7. Descripción de Telurómetro

Ítem	Denominación	Fabricante	Modelo	N° de Serie
1	Telurómetro Ground Flex (AEMC, 2019)	AEMC	CA6472	178310PJDV

3.6.4.3. Precauciones para inicio de actividad. No realizar mediciones cuando se presenten las siguientes condiciones en campo:

- Durante hora de lluvias y tormentas en otro tramo de la misma línea
- Durante neblina o humedecimiento del suelo

3.6.4.4. Proceso de ejecución de mediciones PAT. El método óptimo a emplear es el de Caída de potencial, y el procedimiento de ejecución es el siguiente:

- La medida de puesta a tierra no se realizará en el sentido paralelo a la línea.
- Se utilizará un probador de resistencia a tierra de alta frecuencia (telurómetro) compuesto de tres terminales. El equipo consta de un terminal de potencial (S), un terminal de corriente (H) y un terminal que se conecta a tierra (E). Asimismo, el equipo comprende 3 jabalinas de tierra y cables de diferentes longitudes.
- El terminal (E) del instrumento, se conectará al borne o a la parte visible de la puesta a tierra existente (punto de prueba) ubicado en la pata de la torre o en el chasis de la torre.
- Luego la estaca de corriente (H) se instalará a una distancia de 100 metros de la puesta a tierra. La instalación de la estaca de corriente se efectuará perpendicular a la línea de transmisión y al contrapeso del sistema de puesta a tierra instalado y por ningún motivo paralelo a esta, esto reducirá la posibilidad de imprecisión debido al efecto inductivo producto de la puesta a tierra existente.
- Se conectarán a través de los respectivos cables, tanto el punto en prueba como los dos electrodos (de voltaje y de corriente) y luego estos se conectan a los respectivos terminales E, S y H del instrumento. Se muestra Figura 13.

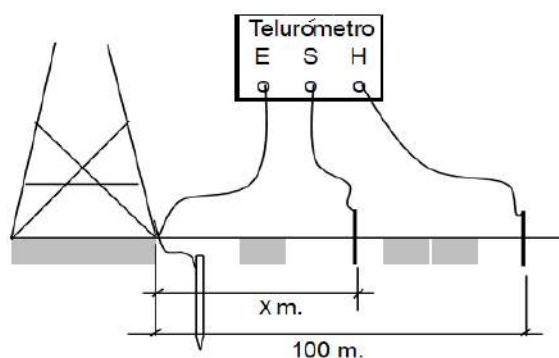


Figura 13. Referencia de medición de resistencia PAT. Fuente: Elaboración propia

- Se tomarán 10 lecturas a diferentes distancias para la pica de tensión, la distancia de lectura serán 10, 20, 30, 40, 50, 62, 70, 80, 90 y 98 metros, para poder construir la curva de caída de potencial.
- En caso el valor de las lecturas tuviera una diferencia mayor al 5%, se repetirá el procedimiento desplazando la estaca de corriente a una nueva posición, más alejada de la prueba anterior.
- Las mediciones se realizarán con un telurómetro de alta frecuencia marca AEMC, modelo CA6472, con calibración vigente. El valor de resistencia de puesta a tierra tomada será la resistencia sin compensación que brinda el equipo, la cual inyecta una corriente regulada automáticamente con frecuencia de 25 KHz que permite la medición de impedancia total de puesta a tierra, despreciando la impedancia del cable de guarda ya que la corriente inyectada es a muy alta frecuencia.
- En caso se realicen las mediciones de resistencia de puesta a tierra en zonas altas sobre el nivel del mar, en temporada de lluvia (Diciembre – Marzo) se deberá contar para los trabajos con un detector de tormentas eléctricas, para que el personal pueda evacuar a tiempo ante una aproximación de amenaza de descargas eléctricas.

A continuación, en Tabla 8, las mediciones estructura T511.

Tabla 8. Mediciones realizadas durante actividad

Torre 511					
Ítem	Distancia (m)	Registro Fotográfico	Ítem	Distancia (m)	Registro Fotográfico
1	10 m		6	60 m	
2	20 m		7	70 m	
3	30 m		8	80 m	

Torre 511					
Ítem	Distancia (m)	Registro Fotográfico	Ítem	Distancia (m)	Registro Fotográfico
4	40 m		9	90 m	
5	50 m		10	100 m	

Por lo tanto, en Tabla 9 se muestran mediciones realizadas:

Tabla 9. Formato de evaluación de resistencias PAT

Ítem	Puntos de prueba (%)	Medición	
		C (m)	= 100
		P (m)	R (Ω)
1	10	10	74.43
2	20	20	101.60
3	30	30	131.10
4	40	40	237.80
5	50	50	239.30
6	60	60	268.60
7	70	70	274.00
8	80	80	279.30

Ítem	Puntos de prueba (%)	Medición	
		C (m)	= 100
		P (m)	R (Ω)
9	90	90	287.10
10	100	100	10940.00

Una vez concluidas las mediciones se obtienen los siguientes resultados de valores de resistencia de puesta a tierra calculada por el método de la Caída de potencial, se muestra Figura 14.

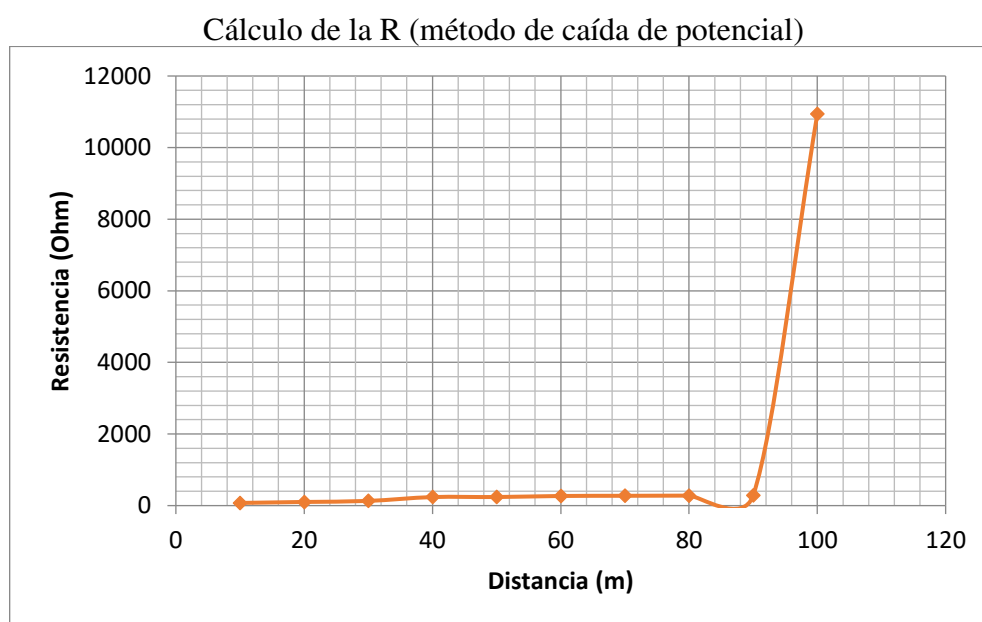


Figura 14. Resultados obtenidos de mediciones de resistencias PAT. Fuente:
Elaboración propia

Se aprecia en la Figura 3.12 que, para un determinado rango de posiciones de la pica de referencia, el valor medido no varía. Por lo que estos puntos nos ofrecen la medida correcta de la resistencia del electrodo. Se muestra Tabla 10.

Tabla 10. Resultado obtenido en Torre 551

Lecturas		Resistencia
%	m	Ω
10	10	74.43
20	20	101.60
30	30	131.10

$(R3-R2)/(R2-R1)$	$(Pt/Ec)*Dt$
μ	m1
1.09	52.2

Mediante el valor obtenido: m1= 52.2, obtenido con la Tabla 3.2., conforme al μ hallado. Conforme a la curva obtenida, se halló la resistencia PAT para m1=52.2m

$$R = \frac{(239,3-268,6) \times (52,2-60)}{(50-60)} + 268,6$$

$$R = 245,75 \Omega$$

Se verificó que el valor R supera el máximo valor de resistencia de Puesta a Tierra (25 Ω), por lo que se pudo concluir para esta estructura de tipo de PAT C, no cumple con los parámetros establecidos según CNE.

Se aplicó el criterio desarrollado para el alcance previsto en el acápite 3.6.4.1, obteniéndose los siguientes resultados en Tabla 11.

Tabla 11. Resultados generales de actividad de mantenimiento

Ítem	Estructura	Tipo de Estructura	Tipo de PAT instalado	Resistencia PAT Medida (Ω)
1	T510	VSL	C	67.35
2	T511	VSL	C	245.75
3	T513	VSL	B	112.65
4	T536	VSL	C	89.76

3.5.5. Irregularidades y/o anomalías encontradas – CNE

Conforme al Código Nacional de Electricidad (Suministro 2011), Sección 3, acápite 036.D, señala que la puesta a tierra en un sistema no debe de exceder los 25 Ohms.

Debido a lo estipulado, se pudo señalar que las estructuras que se intervinieron en la medición de resistencia de puesta a tierra no cumplen el valor mínimo, se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Estructuras que incumplen con valor de resistencia PAT requerido

Ítem	Estructura	Tipo de Estructura	Tipo de PAT instalado	Resistencia PAT Medida (Ω)	Resistencia Máxima establecida por CNE (Ω)	Observaciones
1	T510	VSL	C	67.35	25	No cumple
2	T511	VSL	C	245.75	25	No cumple
3	T513	VSL	B	112.65	25	No cumple
4	T536	VSL	C	89.76	25	No cumple

3.6. Resultados de la actividad

Se tienen identificadas las estructuras que requerirán actividad de mantenimiento de puesta a tierra, tal como se muestra en Tabla 13.

Tabla 13. Resultados de medición resistencia PAT y actividad propuesta

Ítem	Estructura	Tipo de Estructura	Tipo de PAT instalado	Resistencia PAT Medida (Ω)	Resistencia Máxima establecida por CNE (Ω)	Observación	Actividad requerida
1	T510	VSL	C	67.35	25	No cumple	Mejoramiento de sistema PAT
2	T511	VSL	C	245.75	25	No cumple	Mejoramiento de sistema PAT
3	T513	VSL	B	112.65	25	No cumple	Mejoramiento de sistema PAT
4	T536	VSL	C	89.76	25	No cumple	Mejoramiento de sistema PAT

CAPÍTULO IV CONCLUSIONES

4.1. Justificación

En la línea de transmisión L-2055/2056 200kV Cotaruse – Las Bambas, se ha realizado buenas prácticas de monitoreo y mantenimiento predictivo respecto al sistema PAT de sus estructuras, el 28/11/2019 se realizó mejoramiento de dicho sistema mediante la evaluación en contrapesos, es por ellos que la presente tesina tiene un enfoque y análisis en este detalle importante, como medida correctiva ante elevados valores de resistencia PAT, tal como se muestra en Tabla 14.

Tabla 14. Mejoramiento RPAT en estructuras LT L-2055/2056 220kV Cotaruse – Las Bambas

Nº Torre	Lectura Inicial SPAT (ohm)	Ubicación de Ampliación	Longitud de Contrapeso Ampliado (m)	Lectura Final SPAT (ohm)
092	21.08	Pata A	60	14.91
240	22.01	Pata C	60	10.17
251	23.00	Pata D	60	16.63
264	26.09	Pata A	60	10.39
290	30.92	Pata C	50	13.06

Proceso de actividad realizada, se muestra, para el caso de la estructura T251, la Tabla 15.

Tabla 15. Proceso de ampliación de contrapesos en L-2055/2056 220kV Cotaruse – Las Bambas

Proceso de actividad realizada en campo	
	
Placa de identificación T251	Personal transportando materiales a punto de torre
	
Preparación de hidrosolta	Cables copperweld conectado con grapas paralela
	
Cables copperweld conectado con grapas paralelas	Instalación de cable copperweld



Instalación de contrapeso



Instalación de contrapeso



Instalación de contrapeso



Instalación de contrapeso

Proceso de actividad realizada en campo	
	
Placa de identificación T251	Personal transportando materiales a punto de torre
	
Preparación de hidrosolta	Cables copperweld conectado con grapas paralela
	
Cables copperweld conectado con grapas paralelas	Instalación de cable copperweld
	
Instalación de contrapeso	Instalación de contrapeso



Instalación de contrapeso



Instalación de contrapeso

Medición de valores de resistencias PAT obtenidos



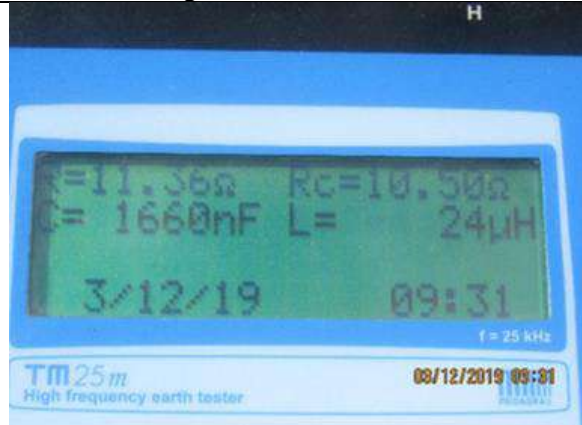
Personal Registro de lectura del telurómetro



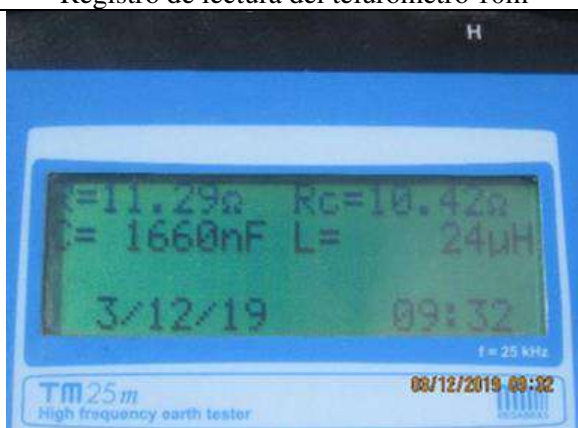
Personal Registro de lectura del telurómetro



Registro de lectura del telurómetro 10m



Registro de lectura 1 del telurómetro



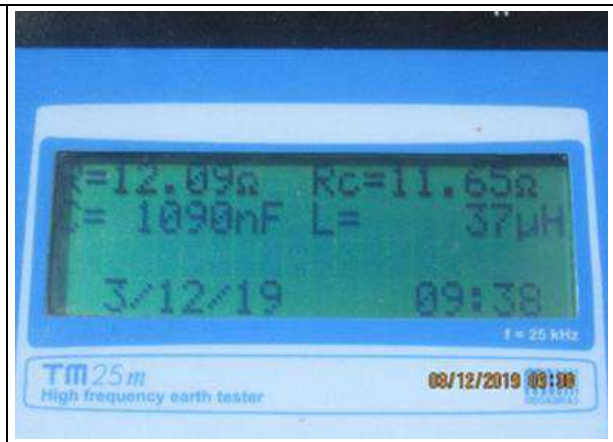
Registro de lectura 2 del telurómetro



Registro de lectura 3 del telurómetro



Registro de lectura del telurómetro



Registro de lectura del telurómetro



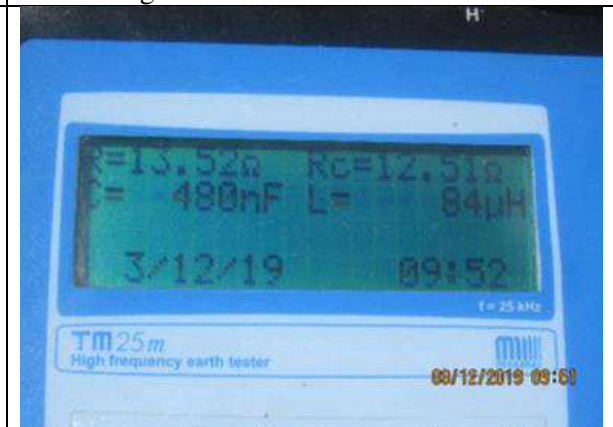
Registro de lectura del telurómetro



Registro de lectura del telurómetro



Registro de lectura del telurómetro



Registro de lectura del telurómetro



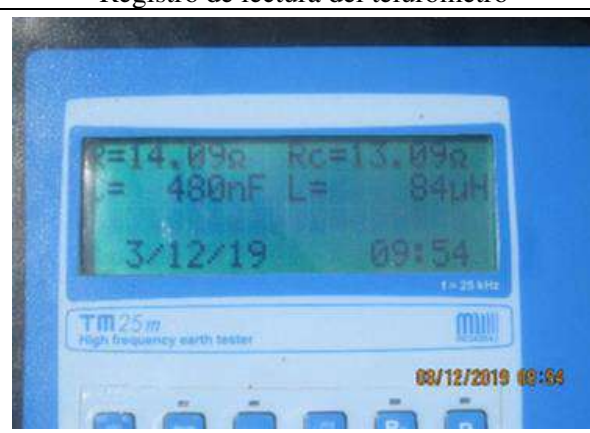
Registro de lectura del telurómetro



Registro de lectura del telurómetro



Registro de lectura del telurómetro



Registro de lectura del telurómetro



Registro de lectura del telurómetro



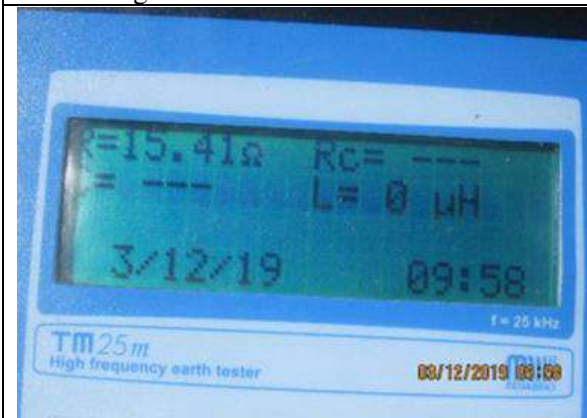
Registro de lectura del telurómetro



Registro de lectura del telurómetro



Registro de lectura del telurómetro



Registro de lectura del telurómetro



Registro de lectura del telurómetro



Registro de lectura del telurómetro



Registro de lectura del telurómetro



Registro de lectura del telurómetro



Registro de lectura del telurómetro



Registro de lectura del telurómetro



Registro de lectura del telurómetro



Registro de lectura del telurómetro



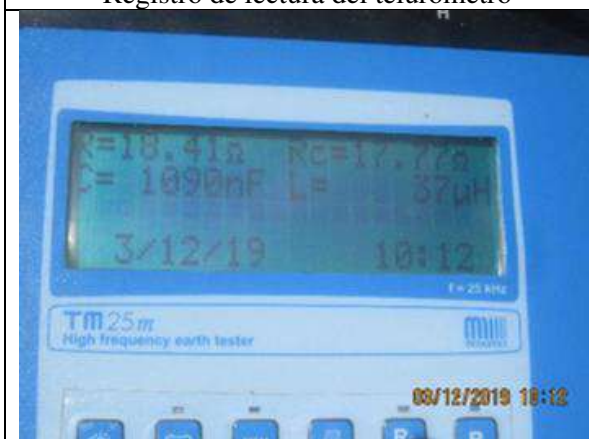
Registro de lectura del telurómetro



Registro de lectura del telurómetro



Registro de lectura del telurómetro



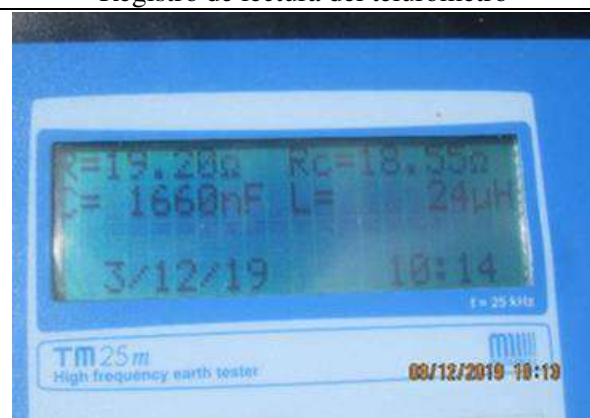
Registro de lectura del telurómetro



Registro de lectura del telurómetro



Registro de lectura del telurómetro



Registro de lectura del telurómetro



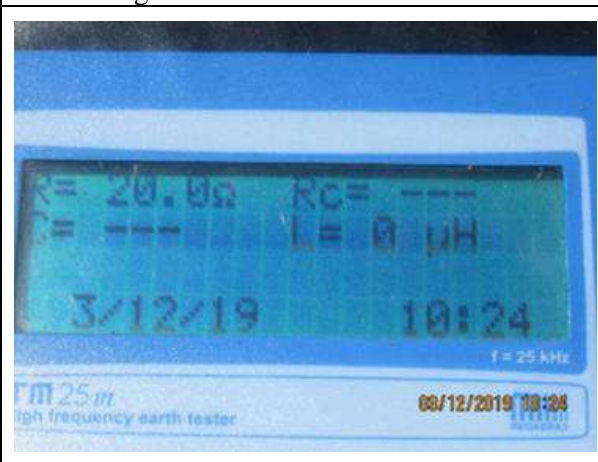
Registro de lectura del telurómetro



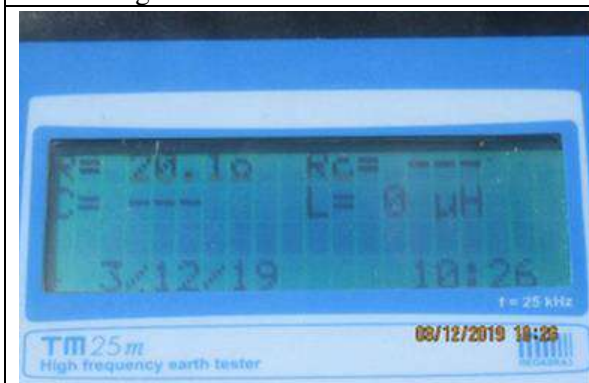
Registro de lectura del telurómetro



Registro de lectura del telurómetro



Registro de lectura del telurómetro



Registro de lectura del telurómetro



Registro de lectura del telurómetro

Como principales conclusiones de la actividad realizada se tiene:

- Se realizó el mejoramiento y medición del sistema de puesta a tierra en las estructuras T092, T240, T251, T264, T290 al 100%.
- Se realizó medición de PAT antes del mejoramiento en las estructuras T092, T240, T251, T264, T290 obteniendo un valor de 21.08 ohm, 22.01 ohm, 23.00 ohm, 26.09 ohm, 30.92 ohmios respectivamente.
- Se realizó el mejoramiento de puesta a tierra (ampliación de los contrapesos) en las estructuras T092, T240, T251, T264, T290.
- Se obtuvo un valor de resistencia del sistema de puesta a tierra en las estructuras T092, T240, T251, T264, T290 de 14.91 ohm, 10.17 ohm, 16.63 ohm, 10.39 ohm, 13.06 ohm respectivamente después del mejoramiento de PAT, la cual es conforme (inferior a 25 ohms).

4.2. Metodología aplicada

4.2.1. Evaluación técnica

4.2.1.1. Análisis del sistema PAT de estructura arriostrada tipo VSL. La línea de transmisión 500 kV que va desde Chilca a Montalvo, presenta particular característica, el empleo de estructuras tipo VSL en construcción, cabe señalar que este tipo de estructura en el Perú es única en la mencionada línea, a continuación se analizarán sus componentes. Una torre arriostrada es una estructura liviana, fácil de instalar y que ofrece muy buenas características de soporte de peso a grandes alturas, se muestra en la Figura 15.

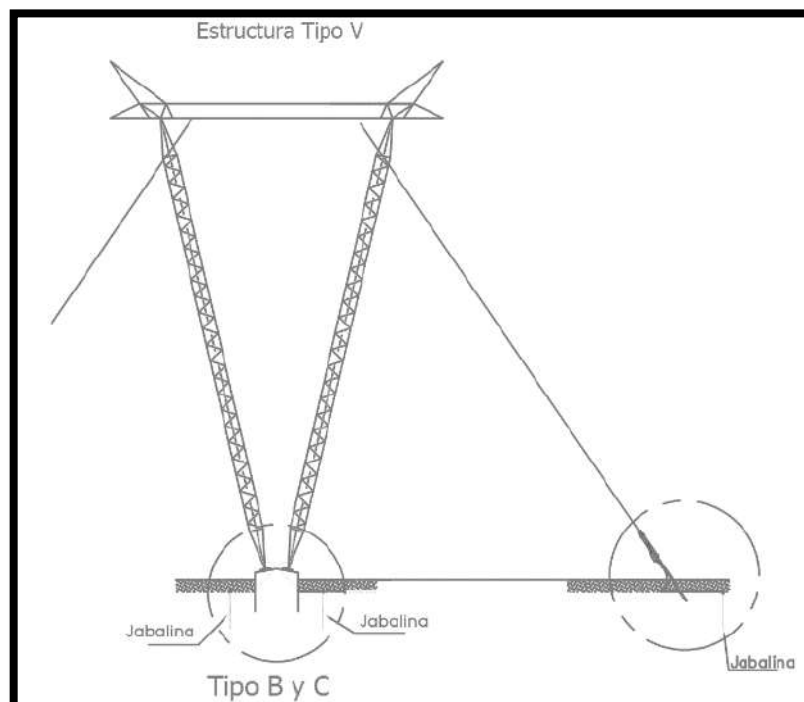


Figura 15. Vista de estructura tipo VSL. Fuente: Anexo 2

Se tienen vistas de planta respecto a PAT tipos B y C, éstos se diferencian principalmente en la cantidad y longitud de contrapesos provenientes de las jabalinas colocadas en las riendas, y esto es en base al valor de resistividad del terreno. Dicha resistividad es importante para establecer la longitud del contrapeso en cada estructura, se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16. Relación de longitud de contrapeso con valor de resistividad

Resistividad (Ohm-m)	Longitud total de contrapeso (m)	"L/2" cada brazo Tipo B (m)	"L/4" cada brazo Tipo C (m)
350-400	6	3	1.5
401-500	7	3.5	1.75
501-600	9	4.5	2.25
601-750	12	6	3
751-1000	16	8	4
1001-1250	21	10.5	5.25
1251-1500	26	13	6.5
1501-1750	32	16	8
1751-2000	37	18.5	9.25
2001-2250	42	21	10.5
2251-2500	48	24	12
2501-2750	54	27	13.5
2751-3000	60	30	15
3001-3250	66	33	16.5
3251-3500	72	36	18
3501-3750	77	38.5	19.25
3751-4000	83	41.5	20.75
4001-4500	95	47.5	23.75
4501-5000	107	53.5	26.75
5001-5500	119	59.5	29.75
5501-6000	132	66	33
6001-6500	144	72	36
6501-7000	157	78.5	39.25
7001-8000	183	91.5	45.75
8001-9000	209	104.5	52.25
9001-10000	235	117.5	58.75

Fuente: Detalle de puesta a tierra tipo A, B y C (Ver Anexo 2)

Se muestra las vistas de planta en PAT tipos B y C en la Figura 16, donde se evidencia la diferencia principal que es la distribución de contrapesos.

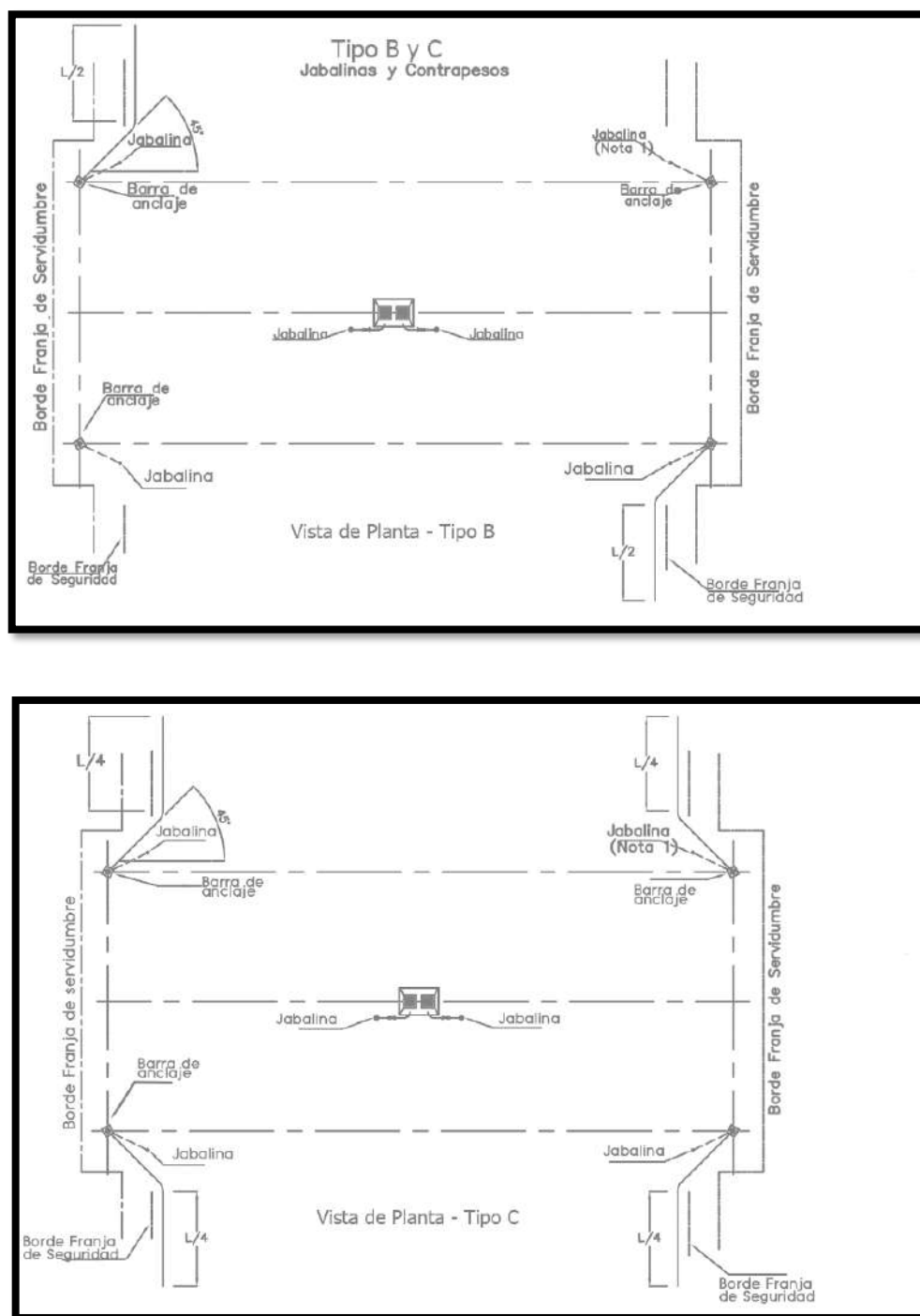


Figura 16. Vistas de planta PATs tipo B y C. Fuente: Anexo 2

A continuación, se detalla en la figura 17 las conexiones de estructura al sistema de Puesta a tierra.

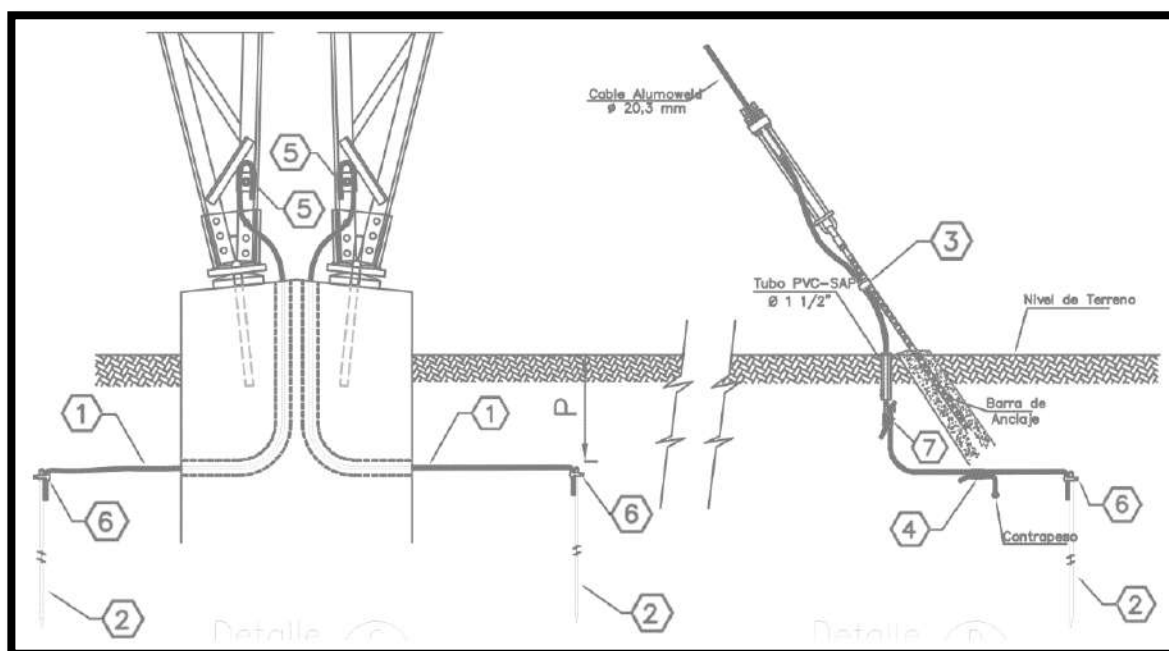


Figura 17. Detalle conexión Estructura-PAT. Fuente: Anexo 2

Se brinda las descripciones respectivas de los componentes en la Tabla 17.

Tabla 17. Materiales para puesta a tierra B y C

Ítem	Cantidad	Unidad	Descripción
1	Según resistividad de terreno	m	Cable copperweld 2 AWG, 7 hebras
2	6	c/u	Jabalina copperweld, 16mm x 2.4m
3	4	c/u	Zuncho
4	2 o 4 (*)	c/u	Prensa paralela para cable copperweld 2 AWG (*) 02 para tipo B y 04 para tipo C
5	2	c/u	Conector cable-estructura

Ítem	Cantidad	Unidad	Descripción
6	6	c/u	Conector cable-jabalina
7	4	c/u	Conector bimetálico para vincular cable alumoweld de $\varnothing 20.3$ mm con cable copperweld de $\varnothing 7.41$ mm

Fuente: Detalle de puesta a tierra tipo A, B y C (Ver Anexo 2)

Se identificó el tipo de terreno circundante a las estructuras evaluadas, a fin de optar por el detalle de zanja apropiado, se muestra Figura 18.

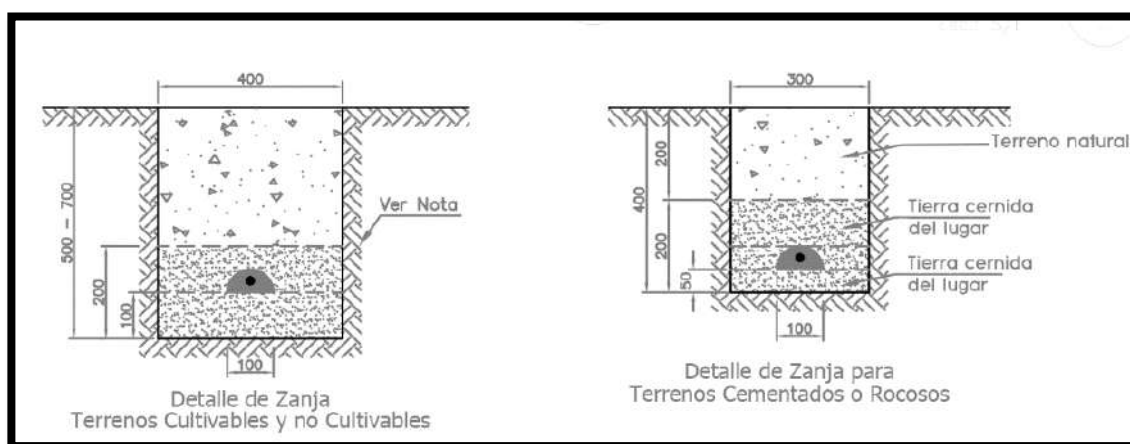


Figura 18. Detalle de Zanja en terrenos cultivables y no cultivables. Fuente: Anexo 2

Una vez analizado y verificado el concepto de conformación del sistema PAT de la estructura tipo VSL para puestas a tierra tipo B y C, se procederá a implementar la optimización de valores PAT obtenidos en la actividad de medición de resistencias.

4.2.1.2 Identificación de puntos de optimización en resistencia PAT. En el proceso de evaluación de valores de resistencia PAT en estructuras arriostradas tipo VSL, se han identificado torres cuyo valor ha excedido el máximo estipulado en el CNE, se identificaron y se detallaron puntos de mejora a fin de mitigar la anomalía señalada.

a) Estado de componentes del sistema PAT

Una de las principales alteraciones en los valores del sistema de puesta a tierra son el estado deteriorado de uno o más componentes.

Se recomienda realizar mantenimiento preventivo al sistema PAT, como resane y/o reparación de corrosión en elementos de dicho sistema mencionados en la Tabla 3.4. En la Figura 19 se muestra anomalías identificadas en la línea L-5034.



Figura 19. Conectores bimetálicos y cable copperweld. Fuente: Abengoa Perú

En el caso de estructuras intervenidas, se recomienda realizar actividad e mantenimiento en todo el sistema, como medición de contrapesos, revisión del estado, debido a que por su ubicación geográfica se han identificado seccionadas los cables copperweld, conectores.

b) Contrapesos en estructuras de alta tensión

En lugares donde los valores de resistividad, respecto al terreno donde se encuentran las torres, sea alta, será necesario el uso de cables enterrados horizontalmente, a fin de obtener valor de resistencia de pie de torre establecido según CNE.

Según la resistividad equivalente del terreno se pueden usar diferentes configuraciones con el fin de alcanzar la resistencia de puesta a tierra deseada.

Para uso de contrapesos, la resistencia de puesta a tierra, enterrado a profundidad “p” está representada por la siguiente expresión:

$$R_c = \frac{\rho_a}{\pi L} \left[\ln\left(\frac{2L}{\sqrt{2hp}}\right) - 1 \right]$$

R_c : Resistencia de puesta a tierra del conductor horizontal

ρ_a : Resistividad aparente del terreno (Ω -m)

L : Longitud del conductor (m)

h : Diámetro del conductor (m)

p : Profundidad de enterramiento (m)

La utilización de cables de contrapeso consiste en enterrar horizontalmente cables conductores pegados a las estructuras de las torres, la resistencia disminuirá con el aumento de la longitud y con aumento del diámetro del contrapeso enterrado.

El sistema de puesta a tierra se comporta como una impedancia transitoria, variando desde su valor inicial hasta el valor de resistencia de dispersión.

Un cable de contrapeso tiene una impedancia inicial de impulso, dependiendo de las condiciones del suelo, normalmente de 150 a 200 ohmios. Con la propagación de la onda de corriente a través del contrapeso, esta impedancia de impulso es reducida a su resistencia de dispersión en un período de tiempo dependiendo de la longitud del cable y de la velocidad de propagación de impulso (León, 2012), tal como se muestra en la Figura 20.

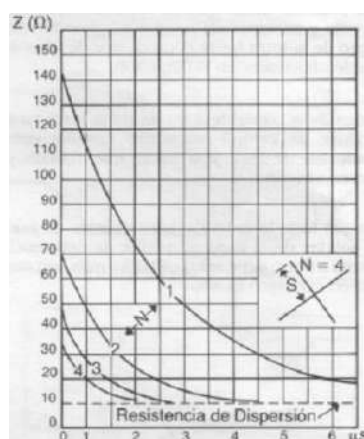


Figura 20. Variación de la impedancia transitoria y efecto del número de contrapesos.

Fuente: León Ortiz, J. (2012)

Z 150 Ω - Impedancia de impulso (Inicial)

R 10 Ω – Resistencia de dispersión

N Número de cables de contrapeso

De la anterior figura se pudo observar que al colocar más contrapesos se redujo el valor total de la impedancia transitoria inicial. (Es como colocar resistencias de aproximadamente 145 ohmios en paralelo), tal como se muestra en Tabla 18.

Tabla 18. Relación entre número de contrapesos respecto a la impedancia inicial

Número de contrapesos	Impedancia Inicial
1 cable	145 ohms
2 cables	$\frac{145 * 145}{145 + 145} = 72 \text{ ohms}$
3 cables	$\frac{72 * 145}{72 + 145} = 48 \text{ ohms}$
4 cables	$\frac{48 * 145}{48 + 145} = 36 \text{ ohms}$

La configuración más simple son dos varillas de puesta a tierra, una en cada pata de la estructura. Otras configuraciones son con 1, 2, 3 o 4 contrapesos de la longitud requerida. Las configuraciones asimétricas de uno y tres contrapesos no se recomiendan ya que no son eficientes o predecibles en su comportamiento. En estos casos, la corriente de un rayo no se distribuye uniformemente entre las patas de las torres. (Camarena, 2009)

Los impulsos atmosféricos se propagan en una estructura con una velocidad del 80% de la velocidad de la luz, o sea:

$$V_{pt} = 0.8 * 300000 \frac{km}{s} \frac{1 \text{ seg}}{10^6 \mu s} \frac{1000m}{1km}$$

$$V_{pt} = 240 \text{ m/s}$$

V_{pt}: Velocidad de propagación de la corriente de un rayo en una torre

Además, los impulsos atmosféricos se propagan en un contrapeso con una velocidad del orden de un tercio de la velocidad de la luz, o sea:

$$V_{pc} = \frac{300000}{3} \frac{1 \text{ seg}}{10^6 \mu s} \frac{1000m}{1km}$$

$$V_{pc} = 100 \text{ m}/\mu s$$

V_{pc}: Velocidad de propagación de la corriente de un rayo en un contrapeso

Conforme al plano PAT en Anexo 2, las estructuras VSL presentan contrapesos de longitud, se muestra Tabla 19.

Tabla 19. Longitud de contrapesos de estructuras evaluadas

Ítem	Estructura	Tipo de Estructura	Tipo de PAT instalado	Resistencia PAT Medida (Ω)	Resistividad (Ω-m)	Cantidad de contrapesos	Longitud actual por cada contrapeso (m)
1	T510	VSL	C	67.35	3,304	4	18
2	T511	VSL	C	245.75	6,167	4	36
3	T513	VSL	B	112.65	1,184	2	10.5
4	T536	VSL	C	89.76	4,907	4	26.75

Según lo anterior, para el caso del ítem 3, tipo PAT B y con un contrapeso de 10.5 m y una impedancia de impulso de aproximadamente 150 ohms (impulso inicial normalmente

Va entre 150 a 200 ohms), tardaría 0.21 microsegundos para que su resistencia efectiva sea reducida a su resistencia de dispersión.

$$t = \frac{s}{v}$$

t: tiempo

s: espacio (ida y vuelta) 72 m

v: velocidad= $V_{pc} = 100 \text{ m}/\mu\text{s}$

$$t = \frac{21}{100 \text{ m}/\mu\text{s}}$$

$$t = 0.21 \mu\text{s}$$

Del mismo modo, si un cable de contrapeso de 5.25 m, con una impedancia de impulso de aproximadamente 150 ohms, solo necesita 0.12 microsegundos para reducir su resistencia efectiva a su resistencia de dispersión.

Lo anteriormente descrito, demuestra que desde el punto de vista de respuesta transitorio (fenómenos muy rápidos), es mejor la utilización de cuatro cables contrapesos con longitudes menores (5.25 m) que dos cables contrapeso con longitud muy grande (10.5 m).

4.3. Descripción de la implementación

4.3.1. CYMGRD - Simulación de optimización en sistema PAT

La aplicación CYMGRD para el análisis y diseño de redes de tierra en subestaciones fue diseñada para ayudar a optimizar el diseño de nuevas mallas y reforzar las existentes, de cualquier geometría, gracias a sus fáciles funciones de evaluación de puntos peligrosos. Su fácil entrada de datos y sus eficientes algoritmos y funciones gráficas hacen de CYMGRD una herramienta eficaz que ayuda a elaborar diseños óptimos de sistemas de tierra desde el punto de vista técnico y económico.

Se simuló en CYMGRD los valores de resistencia en dos escenarios, previo dibujo en AutoCAD y posterior importación al programa inicialmente señalado

a) Parámetros del terreno

Se establecen en Figura 21 parámetros del terreno circundante a la estructura T513 (L-5032)

Parámetros del terreno

Título: T513

Modelo de terreno: Definido por el usuario

Espesor de la capa superior: 1.5 metros

Material de la capa superior: Suelo seco

Resistividad de la capa superior: 1000 ohm-m

Material de la capa inferior: Roca subyacente

Resistividad de la capa inferior: 10000 ohm-m

Características del aire: Temperatura ambiente: 19.3 °C

Parámetros de seguridad

IEEE Std. 80-2000

Peso corporal: 70 kg

Espesor de la capa superficial: 0.2 metros

Material de la capa superficial: Producto bruto de molienda del granito con fino (seco) 1.5'

Resistividad de la capa superficial: 4000 ohm-m

Duración del choque eléctrico: 0.5 secs

Tensión máxima de contacto: 1370.7 voltios

☒ Usar para determinar la duración admisible de choque

Tensión máxima de paso: 4816.72 voltios

☒ Usar para determinar la duración admisible de choque

Aceptar Cancelar

Figura 21. Parámetros del terreno en CYMGRD. Fuente: Elaboración propia

b) T513 distribución de 02 contrapesos (actualidad)

En la figura 22. Se muestra vista de planta, respecto al sistema PAT de estructura arriostrada tipo VSL, para dos contrapesos.

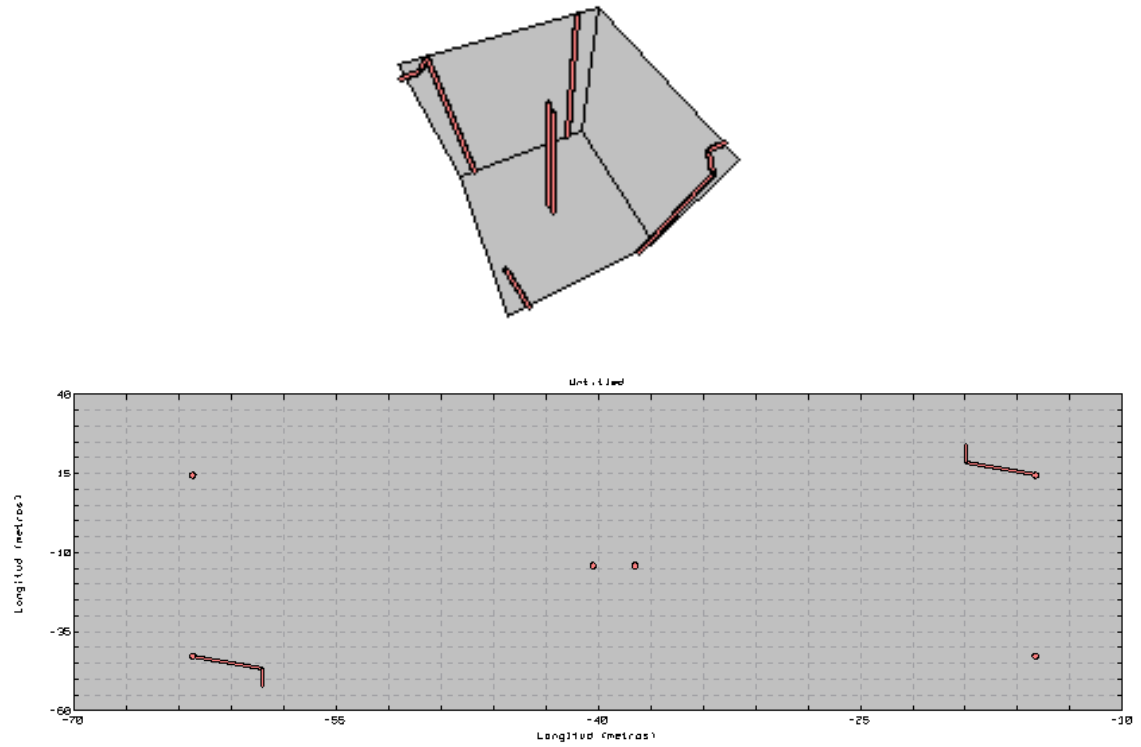
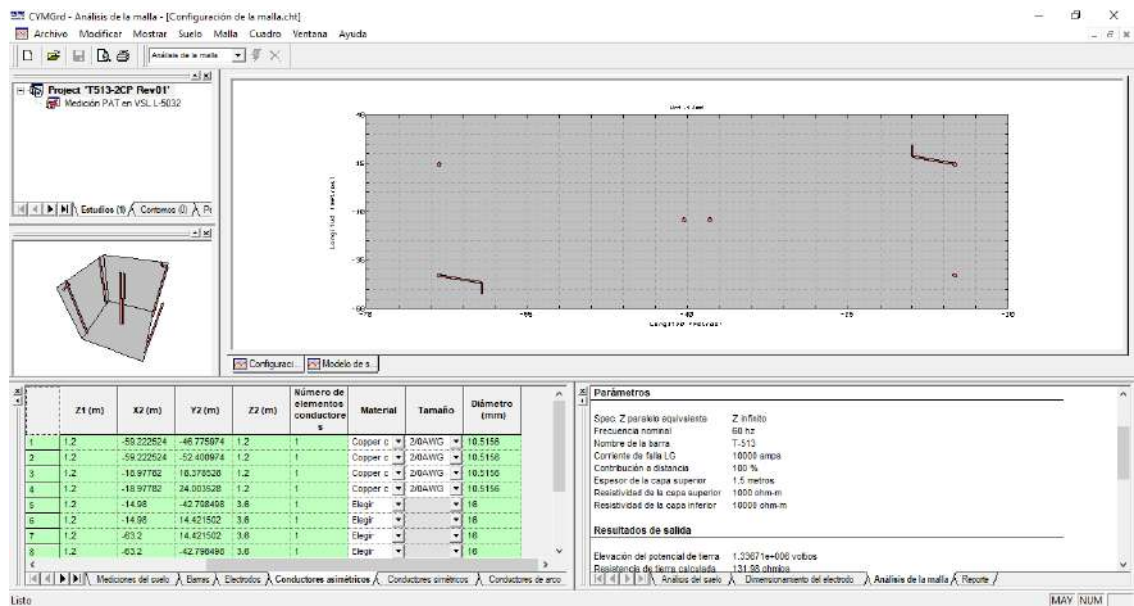


Figura 22. Vista de Planta actual PAT torre arriostrada VSL con 02 contrapesos.
Fuente: Elaboración propia



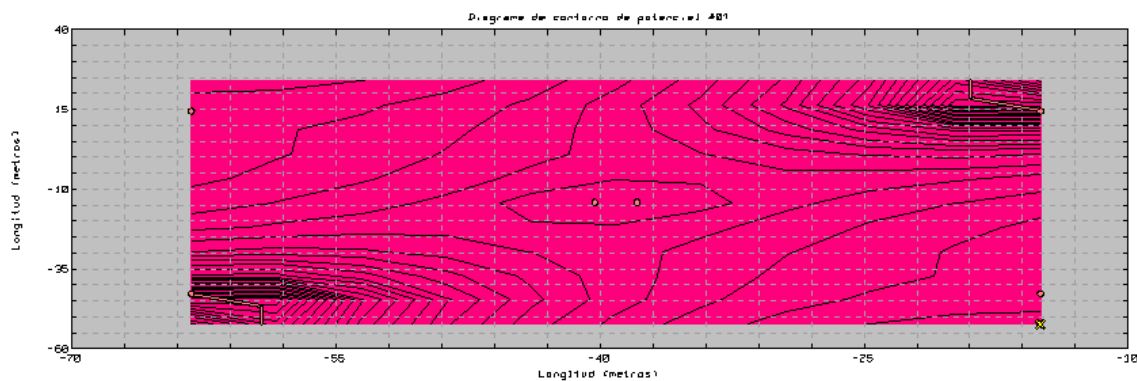


Figura 23. Resultados obtenidos sistema PAT T513 – 02 Contrapesos y Potencial en cada punto del terreno. Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo la resistencia PAT calculada: 130.98 Ohmios

Resultados de salida

Elevación del potencial de tierra	1.33671e+006 voltios
Resistencia de tierra calculada	131.98 ohmios
Impedancia equivalente	130.261 ohmios

Figura 24. Valor de resistencia PAT calculado en caso actual

c) T513 distribución de 04 contrapesos (propuesta)

En la figura 23. Se muestra vista de planta, respecto al sistema PAT de estructura arriostrada tipo VSL, para cuatro contrapesos.

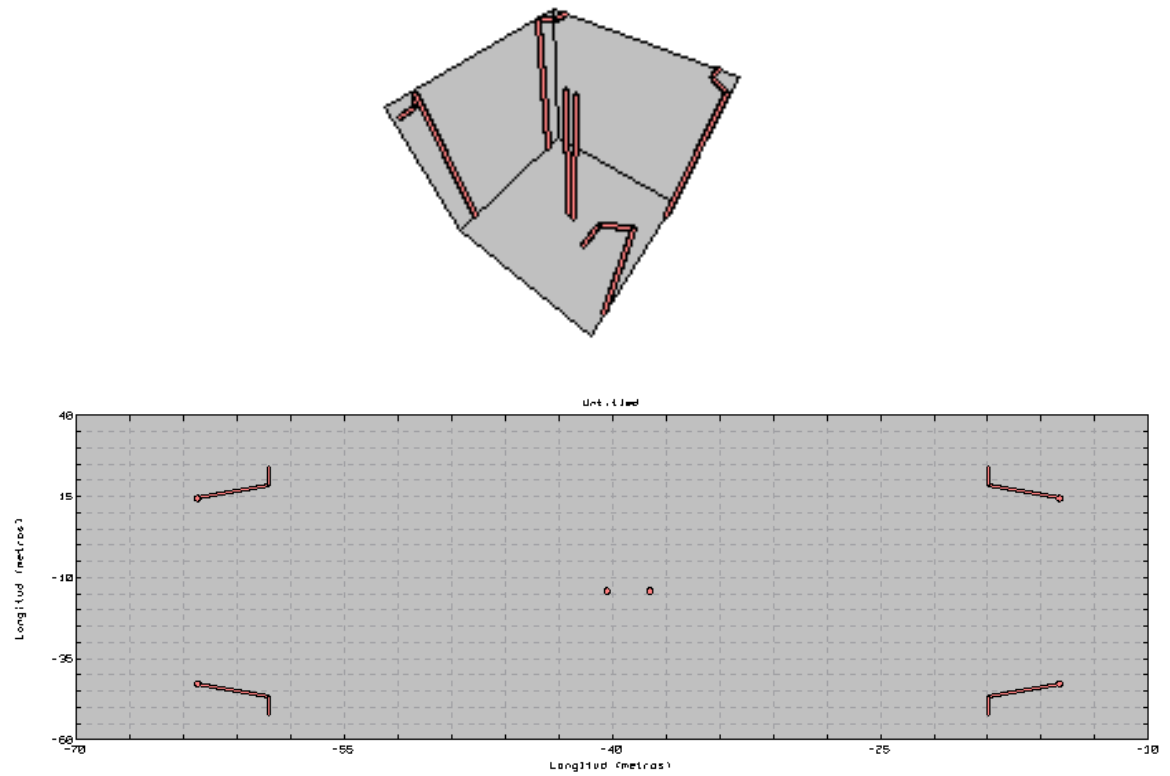
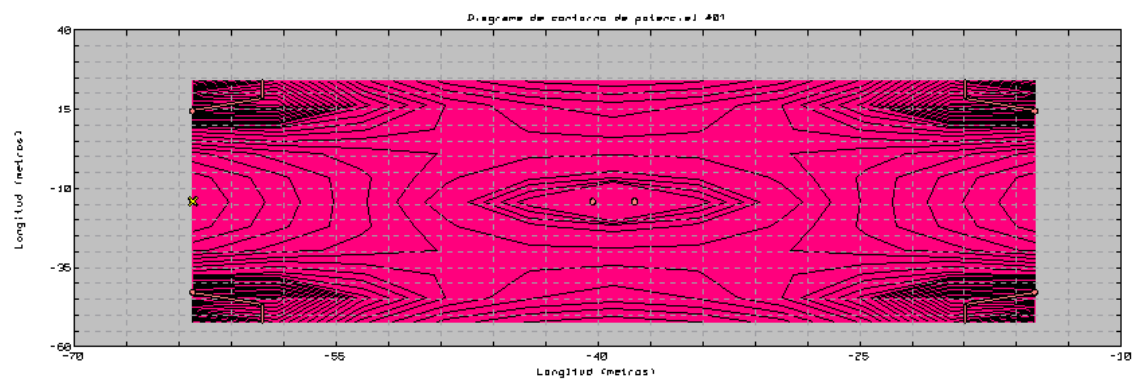


Figura 25. Vista propuesta de Planta PAT torre arriostrada VSL con 04 contrapesos.
Fuente: Elaboración propia



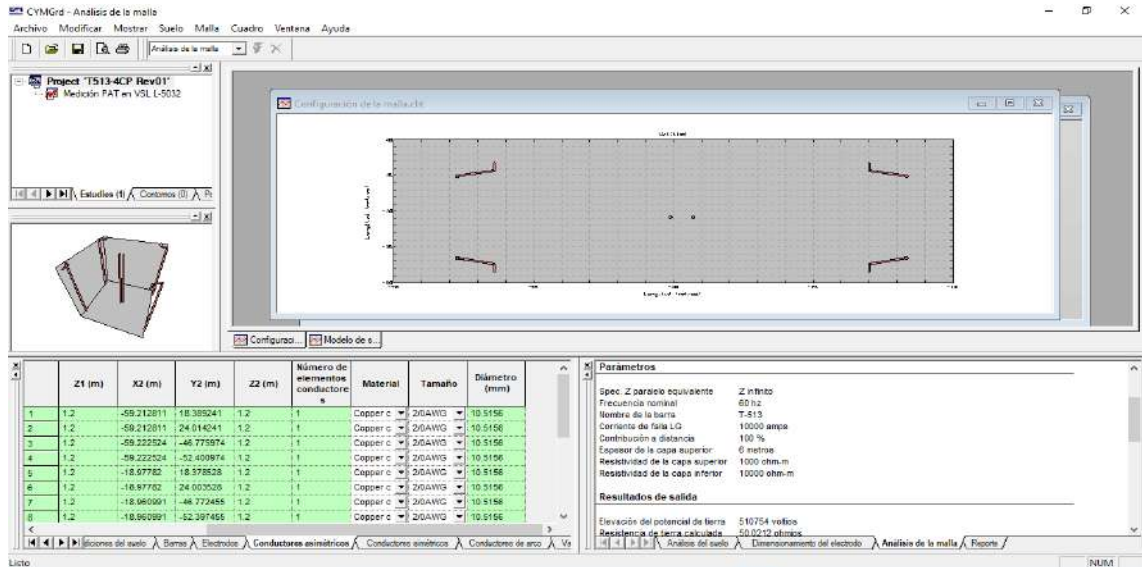


Figura 26. Resultados obtenidos sistema PAT T513 – 04 Contrapesos y Potencial en cada punto del terreno. Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo un valor de resistencia PAT de 50.02 Ohms empleando una ampliación de 02 contrapesos, implica una reducción por lo menos del 61.8% del valor. Demostrándose a través del programa CYMGRD la posibilidad de establecer una mejora en componentes del sistema PAT, sobre todo en los contrapesos.

Se obtuvo la resistencia PAT calculada: 50.02 Ohmios

Resultados de salida

Elevación del potencial de tierra	510754 voltios
Resistencia de tierra calculada	50.0212 ohmios
Impedancia equivalente	49.7723 ohmios

Figura 27. Valor de resistencia PAT calculado en simulación. Fuente: Elaboración propia

4.3.2. *Aplicación de ampliación de contrapesos*

La ampliación de contrapesos es una medida efectiva, la cual implica a la variación de valor de resistividad, principalmente en tipos de suelo no rocosos.

Considerando los valores establecidos de construcción (Ver tabla 3.3) y el plano PAT en Anexo 2:

- Se deberá habilitar la zanja, con las dimensiones indicadas en los anexos, esta actividad correctiva implicará la ampliación de las zanjas, la misma que debe guardar relación con la longitud adicional de conductor a instalarse, señalado en Tabla 3.3.
- Verificar en campo la información brindada en la Tabla 3.3 respecto a los contrapesos instalados.
- La longitud del conductor se verificará, utilizando la Tabla 3.3, la misma que está en función a la resistividad del terreno.
- Para el tendido de conductor copperweld en la zanja ampliada, se deberá aplicar una cama de tierra vegetal cernida húmeda al fondo de la excavación (espesor mínimo 5 cm).
- Se deberá dopar el conductor con una argamasa de Hidrosolta.
- Para el conexionado y/o empalme del conductor adicional se deberá utilizar conectores tipo prensa de vías paralelas.
- Se deberá rellenar y compactar con tierra vegetal húmeda hasta cubrir toda la zanja.
- Se deberá medir la resistencia total del sistema ampliado.

4.4. Conclusiones

- Obtener los valores de resistencia de Puesta a tierra menores a 25 Ohms en estructuras de una línea de transmisión, brindan mayor seguridad al sistema ante posibles perturbaciones, y también garantiza la protección al personal ante trabajos de mantenimiento a realizarse.
- El método caída de potencial y pendiente de Tagg, son métodos efectivos para la obtención de valores óptimos de medición de resistencia de Puesta a Tierra en líneas de transmisión y subestaciones, previa identificación de tipo de terreno circundante a la torre.
- Continuar investigando acerca de nuevas metodologías y equipos para medición de resistencias de Puesta a Tierra, a fin de aplicar mantenimientos predictivos oportunos y así mejorar la confiabilidad de la línea de Transmisión.
- Incluir en el Programa mensual de mantenimiento, la mejora de sistema PAT en las estructuras T510, T511, T513, T536 de la línea L-5032.
- La estructura tipo VSL en la línea L-5032 presenta tres de tipos de sistemas PAT, el cual su principal diferencia son la longitud y cantidad de contrapesos, que se diseñan conforme a los valores de resistividad de terreno obtenidas en la ejecución del proyecto.
- La corrosión, desconexión de los componentes PAT pueden alterar los valores medidos de resistencia.
- Realizar redistribución de contrapesos en estructuras arriostradas mejoran notablemente, por lo menos en un 61.8% el valor de resistencia del sistema PAT.

CAPÍTULO V

RECOMENDACIONES

- Continuar con la evaluación y medidas correctivas en los sistemas de puesta a tierra de las estructuras de la línea L-5032 (Chilca-Poroma).
- Concientizar al personal de la empresa acerca de la importancia del monitoreo de resistencia PAT, en aras de mejora de disponibilidad de la línea de transmisión L-5032.
- Realizar capacitaciones, por lo menos dos veces al año, acerca de nuevas técnicas de diagnóstico de valores de resistencias de puesta a tierra, y conocer los planos PAT por cada tipo de estructura.
- Evaluar la integración de este tipo de actividades preventivas en la Tabla de criticidad de la línea de transmisión L-5032 Chilca - Poroma.

CAPÍTULO VI BIBLIOGRAFÍA

AEMC (2019) “Medidor de resistencia de Puesta a Tierra modelo 6472” (Artículo), obtenido de:

<https://www.aemc.com/userfiles/files/resources/datasheets/Product%20PDFs%20-%20Spanish/Ground-Testers/2136-03-SP.pdf>

Ajín Monroy M. (2012) “Análisis del Sistema de Puesta a Tierra de la Subestación Guatemala Este” (Tesis), obtenido de:

http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0818_EA.pdf

Camarena Camayoc Paul Isaac (2009) “La optimización de los métodos para el diseño de un sistema de puesta a tierra en la línea de transmisión de 60kv - explorador” (Tesis), obtenido de:

<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3539/Camarena%20Camayoc.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

EPM (2019) “Normas Técnicas – Medida de Resistividad del suelo” (Artículo), obtenido de:

https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/proveedores_y_contratistas/normas_y_especificaciones/normas_aereas/grupo_6_Normas_de_monitajes_complementarios/RA6-014MEDIDADERESISTIVIDAD_V3.pdf

Fluke (2006) “Medida de la resistencia de la toma de tierra en edificios comerciales, residenciales y en plantas industriales” (Artículo), obtenido de:

https://d1hbuu0ofon117.cloudfront.net/sites/www.voltimum.es/files/fields/attachment_file/es/others/X/20061219445049262006113083292006113031198691Medidadetierra.pdf

Gutierrez Aquino Y. (2018) “Diseño e implementación de diferentes sistemas de puestas a tierra para los laboratorios de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la UNA - Puno” (Tesis), obtenido de:

<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8955>

León Ortiz Jaime (2012) “Puestas a tierra de líneas de transmisión – GAMMA – Aisladores y equipos eléctricos” (Artículo), obtenido de:

<https://www.gamma.com.co/puesta-a-tierra-de-lineas-de-transmision/>

MINEM (2011) “Código Nacional de Electricidad” (Artículo), obtenido de:

<http://intranet2.minem.gob.pe/web/cafae/Pdfs/CNE.PDF>

OSINERGMIN (2014) “LÍNEA DE TRANSMISIÓN 500 kV CHILCA – MARCONA - MONTALVO” (Artículo), obtenido de:

https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/electricidad/Documentos/PROYECTOS%20GFE/Acorde%C3%B3n/Transmisi%C3%B3n/1.1.3.pdf

Rojas Hinostroza E. (2009) “Puesta a Tierra remota en centrales de generación” (Tesis), obtenido de:

<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCPC/3565/Rojas%20Hinostroza.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Segura Terán A. (2010) “Análisis de un sistema de Puesta a Tierra de una subestación de potencia (Teotihuacán) para su mejoramiento” (Tesis), obtenido de:

<https://1library.co/document/nq750gkz-analisis-de-la-malla-de-un-sistema-de-puesta-a-tierra-de-una-subestacion-de-potencia-teotihuacan-para-su-mejoramiento.html>

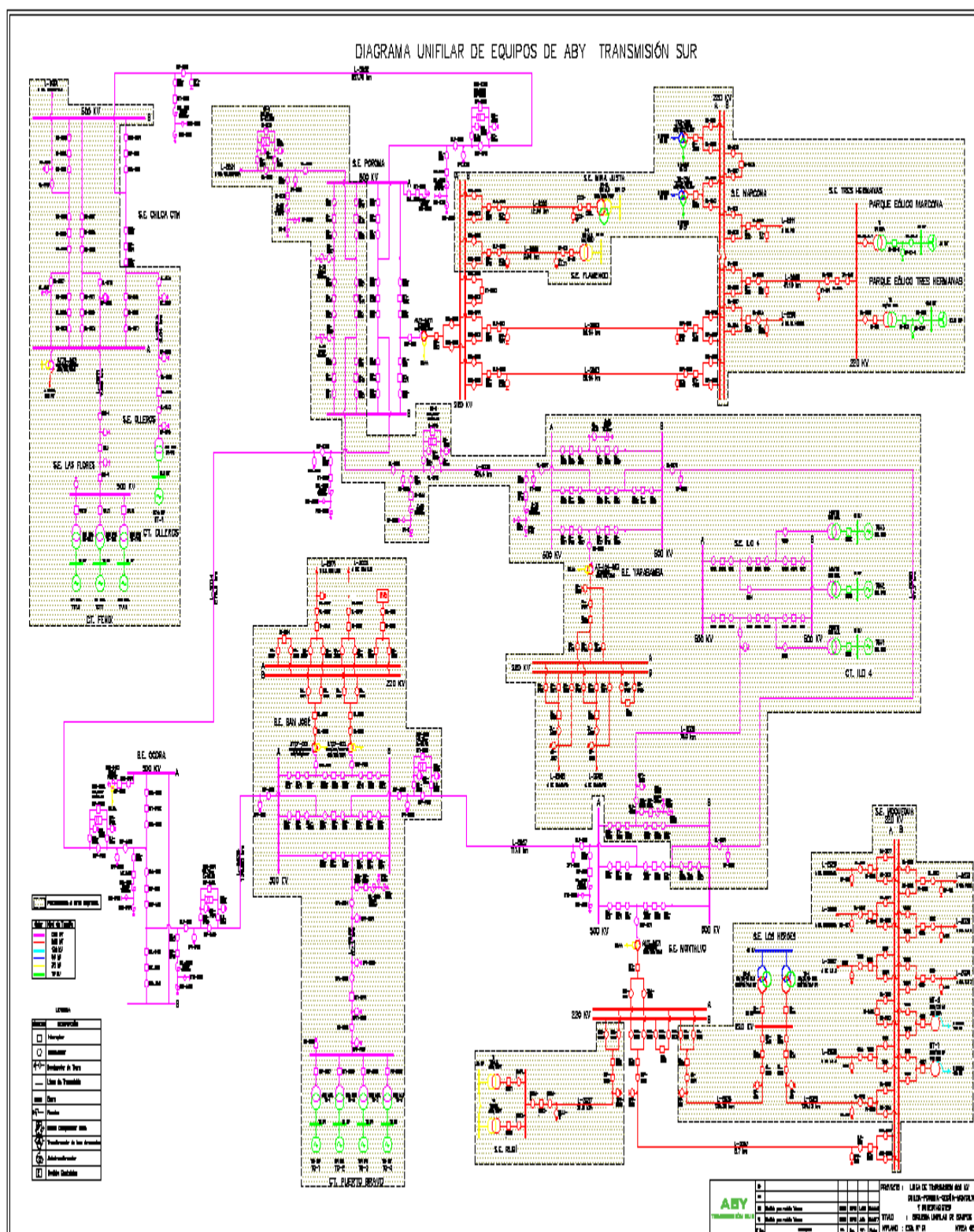
Vázquez Muñoz E. (2016) “Diseño del sistema de Puesta a tierra de una subestación eléctrica mediante dos metodologías” (Tesis), obtenido de:

<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/21003/DISE%C3%91O%20DEL%20SISTEMA%20DE%20PUESTA%20A%20TIERRA%20DE%20UNA%20SUBESTACION%20ELECTRICA%20MEDIANTE%20DOS%20METODOLOGIAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

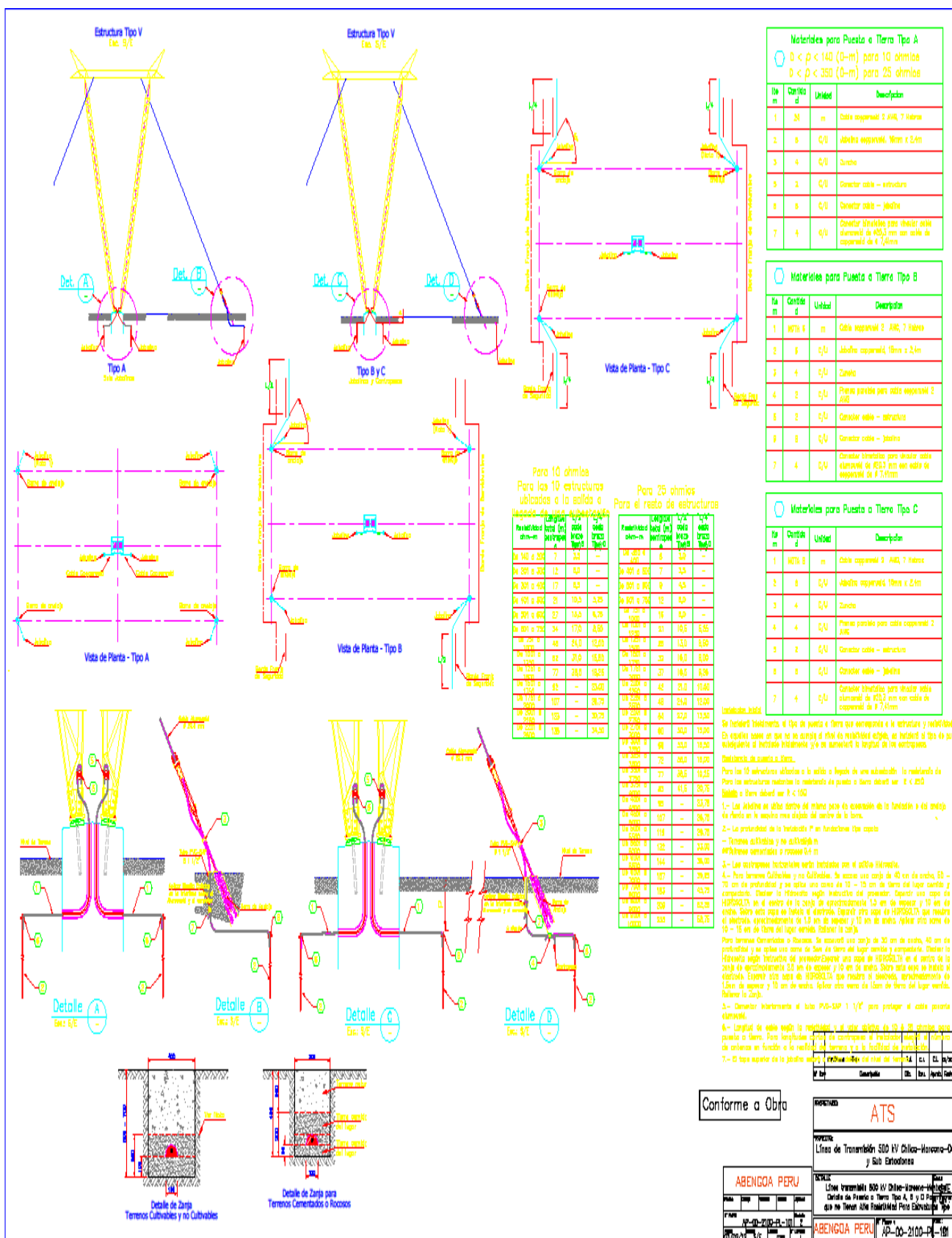
CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo 1: Diagrama unifilar de ABY Transmisión Sur



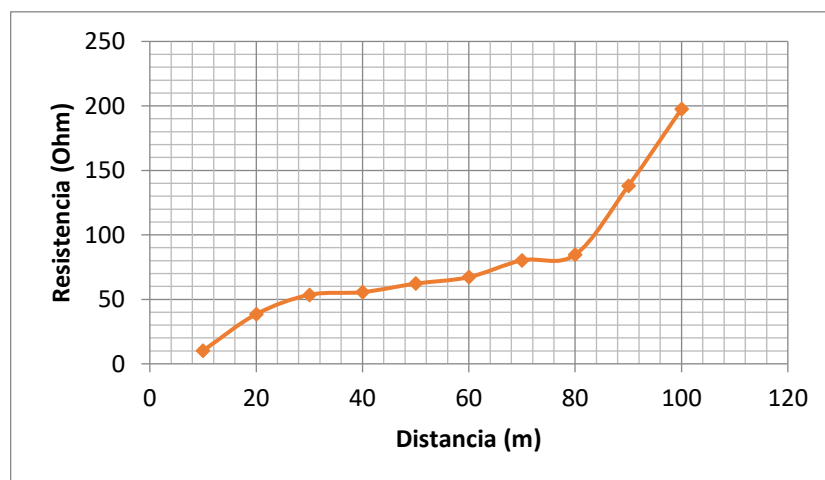
Anexo 2: Plano PAT estrutura VSL



Anexo 3: Cálculo de valores de resistencias PAT en T510, T513 y T536 (L-5032)

- T510:

ITEM	Puntos de prueba (%)	MEDICIÓN	
		C (m)	= 100
		P (m)	R (Ω)
1	10	10	10.20
2	20	20	38.47
3	30	30	53.48
4	40	40	55.59
5	50	50	62.19
6	60	60	67.22
7	70	70	80.27
8	80	80	84.61
9	90	90	138.00
10	100	100	197.60



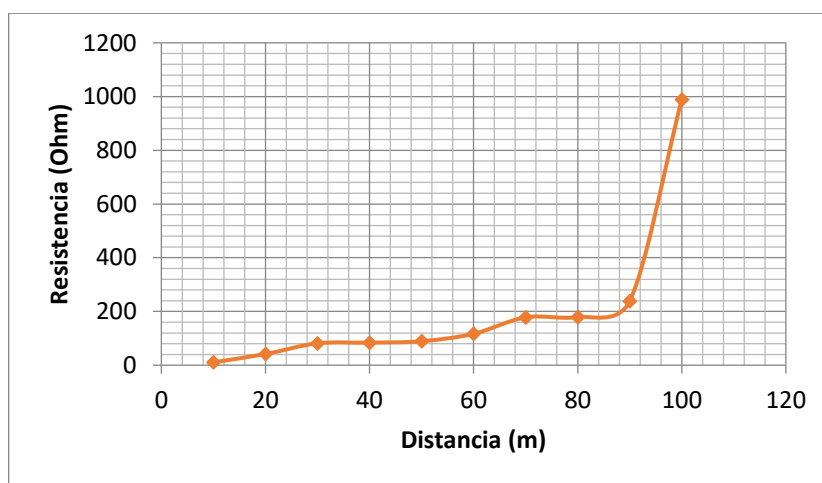
Lecturas		Resistencia
%	m	Ω
20	20	38.47
40	40	55.59
60	60	67.22

$(R3-R2)/(R2-R1)$	$(Pt/Ec)*Dt$
μ	m
0.68	60.1

Resistencia (Ω)	CNE 2011 Suministro
67.35	-

- T513:

ITEM	Puntos de prueba (%)	MEDICIÓN	
		C (m)	= 100
		P (m)	R (Ω)
1	10	10	10.76
2	20	20	41.56
3	30	30	81.39
4	40	40	84.01
5	50	50	89.14
6	60	60	116.80
7	70	70	178.30
8	80	80	179.40
9	90	90	238.70
10	100	100	989.30

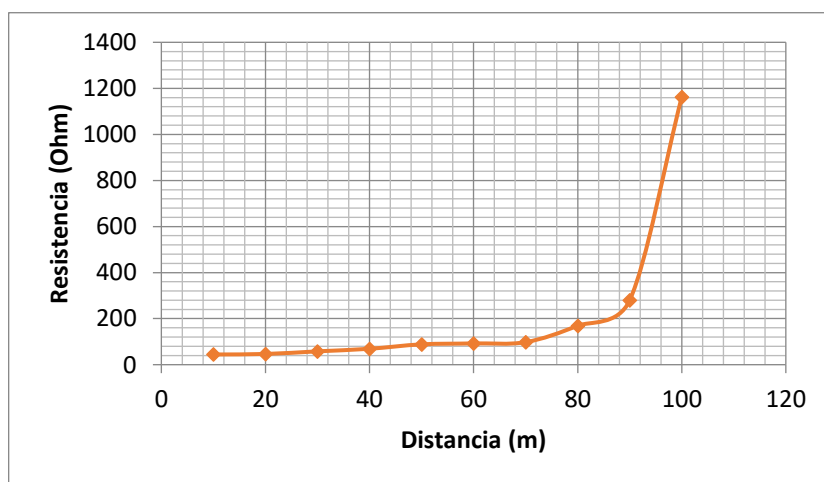


Lecturas		Resistencia
%	m	Ω
20	20	41.56
40	40	84.01

60	60	116.80
$(R3-R2)/(R2-R1)$		$(Pt/Ec)*Dt$
μ		m
0.77		58.5
Resistencia (Ω)		CNE 2011 Suministro
112.65		-

- T536:

ITEM	Puntos de prueba (%)	MEDICIÓN	
		C (m)	= 100
		P (m)	R (Ω)
1	10	10	44.36
2	20	20	46.50
3	30	30	57.98
4	40	40	69.14
5	50	50	88.35
6	60	60	92.39
7	70	70	97.99
8	80	80	169.40
9	90	90	280.00
10	100	100	1163.00



Lecturas		Resistencia
%	m	Ω
20	20	46.50
40	40	69.14
60	60	92.39

$(R3-R2)/(R2-R1)$	$(Pt/Ec)*Dt$
μ	m
1.03	53.5

Resistencia (Ω)	CNE 2011 Suministro
89.76	