

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Influencia de un sistema de aterramiento por
contrapesos horizontales en la optimización de la
resistencia de puesta a tierra de las torres de
transmisión de la línea de 33 kV pertenecientes
a Electroperu S. A.**

Richard Alberth Poma Gómez

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista

Huancayo, 2020

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

Ing. David Checa Cervantes

AGRADECIMIENTOS

A todas las personas de gran sabiduría que apoyaron en mi formación personal y profesional, haciendo posible el desarrollo de la presente tesis.

Debo agradecer de manera especial y sincera al ing. Enrique Bastidas Román, por el apoyo incondicional en mi formación académica y humanística, de igual manera al ing. Johnny Reymundo Gamarra, analista principal de mantenimiento de la empresa Electroperú S. A., por todos los conocimientos brindados dentro del complejo hidroeléctrico Mantaro, así mismo, expresar mi más sincero agradecimiento al téc. Javier Sánchez Sánchez, por el gran apoyo durante mi estadía en la C. H. Santiago Antúnez de Mayolo.

A mi asesor de tesis al ing. David Checa Cervantes, por el apoyo desmedido y comprometido completamente en el desarrollo de su labor como educador de nuestra casa superior de estudios.

DEDICATORIA

A todos mis seres queridos, Katerine, Mariela, Carlos, Gia y muy especialmente a mis queridos padres por brindarme su apoyo incondicional y por darme las fuerzas necesarias para lograr mis sueños.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Portada.....	i
Asesor	ii
Agradecimientos.....	iii
Dedicatoria	iv
Índice de contenido	v
Índice de figuras	viii
Índice de tablas	xi
Resumen	xiii
Introducción.....	xv
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1 Planteamiento y formulación del problema	1
1.1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.1.2 Formulación del problema	15
1.2 Objetivos	16
1.2.1 Objetivo general	16
1.2.2 Objetivos específicos.....	16
1.3 Justificación e importancia	16
1.3.1 Justificación teórica	16
1.3.2 Justificación práctica	17
1.3.3 Justificación legal	17
1.3.4 Importancia.....	18
1.4 Hipótesis y descripción de variables	18
1.4.1 Hipótesis general.....	18
1.4.2 Hipótesis específicas.....	18
1.4.3 Descripción de variables	19
1.4.4 Operacionalización de variables.....	20
CAPÍTULO II.....	22
MARCO TEÓRICO	22
2.1 Antecedentes de la investigación.....	22
2.1.1 Artículos científicos.....	22

2.1.2 Tesis.....	25
2.2 Bases teóricas	29
2.2.1 Sistemas de aterramiento eléctrico	29
2.2.2 Sistemas de aterramiento en líneas de transmisión	35
2.2.3 Contrapesos horizontales	52
2.2.4 Geología básica.....	61
2.2.5 Medición de resistividad del terreno	66
2.2.6 Cálculo de sistema de puesta a tierra	69
2.2.7 Instalación de sistema de puesta a tierra	79
2.2.8 Medición de resistencia de puesta a tierra	84
2.3 Definición de términos.....	92
CAPÍTULO III.....	95
METODOLOGÍA	95
3.1 Método y alcances de la investigación.....	95
3.1.1 Método de la investigación	95
3.1.2 Alcances de la investigación	96
3.2 Diseño de la investigación	96
3.2.1 Tipo de diseño de investigación	96
3.3 Población y muestra	97
3.3.1 Población.....	97
3.3.2 Muestra	100
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	101
3.4.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos.....	101
3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos	101
CAPÍTULO IV.....	102
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	102
4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información	102
4.1.1 Resultado para lograr explicar el objetivo específico 1.....	103
4.1.2 Resultado para lograr explicar el objetivo específico 2.....	106
4.1.3 Resultado para lograr explicar el objetivo específico 3.....	112
4.1.4 Resultado para lograr explicar el objetivo específico 4.....	114
4.1.5 Resultado que explica el objetivo general	118
4.2 Prueba de hipótesis	121
4.2.1 Hipótesis general.....	121

4.2.2 Hipótesis específicas	126
4.3 Discusión de resultados	141
Conclusiones.....	144
Recomendaciones.....	146
Referencias	147
Anexos	150

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de los SS. AA. complejo Mantaro	4
Figura 2. Reporte de desconexiones anuales de la línea L3 33 kV Electroperú S. A. del año 2014 al 2019	10
Figura 3. Valores de resistencia de puesta a tierra antes de la optimización ...	13
Figura 4. Componentes de un sistema de aterramiento eléctrico	31
Figura 5. Importancia del sistema de aterramiento eléctrico.	32
Figura 6. Control de las corrientes de carga o de falla que circulan hacia tierra	33
Figura 7. Potenciales en el suelo de estaciones de transformación.....	34
Figura 8. Potenciales en el suelo de líneas eléctricas.....	34
Figura 9. Potenciales en el suelo de S.E. MT/BT.....	35
Figura 10. Configuración de sistema de puesta a tierra en líneas de transmisión.	36
Figura 11. Electrodo de puesta a tierra y sus armados.	37
Figura 12. Adecuación del modelo analítico a la configuración física real.	39
Figura 13. Varilla única a nivel del suelo.	39
Figura 14. Varillas dispuestas en línea recta.....	40
Figura 15. Varillas dispuestas en anillo.	40
Figura 16. Conductor sobre superficie del suelo.	41
Figura 17. Conductor enterrado a profundidad.....	42
Figura 18. Tres ramales radiantes que totalizan.	43
Figura 19. Cuatro ramales radiantes que totalizan.....	43
Figura 20. N - ramales radiantes que totalizan.....	44
Figura 21. Configuración cuadrangular.	45
Figura 22. Configuración tipo anillo.	46
Figura 23. Configuración en pequeña red.	46
Figura 24. Proceso de carga y descarga estática.	48
Figura 25. Formación de carga en las nubes.	49
Figura 26. Comportamiento de descarga de rayo.	50
Figura 27. Efectos secundarios de descarga de un rayo.	51
Figura 28. Conductor enterrado horizontalmente en el suelo.....	52

Figura 29. Relación entre la longitud eficaz de contrapesos y resistividad del terreno.	53
Figura 30. Detalle de contrapeso horizontal.....	54
Figura 31. Un contrapeso horizontal, configuración A-1.....	55
Figura 32. Dos contrapesos horizontales, configuración A-2	55
Figura 33. Tres contrapesos horizontales, configuración A-3	56
Figura 34. Cuatro contrapesos horizontales, configuración A-4.....	57
Figura 35. Recorrido del impulso en torre y contrapeso.....	58
Figura 36. Incidencia de rayos en vanos de la L. T.	59
Figura 37. Representación una L. T. para impacto directo de rayo en la torre.	59
Figura 38. Flameo Inverso en una torre de transmisión.	61
Figura 39. Comportamiento eléctrico del suelo.	62
Figura 40. Configuración del método Wenner.....	67
Figura 41. Configuración del método Schlumberger.	68
Figura 42. Características de resistividad aparente de diferentes estratos.	71
Figura 43. Curva de resistividad aparente.....	72
Figura 44. Prolongación de curva de resistividad aparente.....	72
Figura 45. Curva K negativa, curva K positiva.....	73
Figura 46. Curvas para K negativos	73
Figura 47. Curvas para K positivos.	73
Figura 48. Proyección de los valores para K.....	74
Figura 49. Curva h x K.	74
Figura 50. Suelo estratificado para dos capas.	75
Figura 51. Datos para la resistividad equivalente.....	75
Figura 52. Plantilla de cálculo de contrapesos horizontales en Ms Excel	77
Figura 53. Software de cálculo de contrapesos horizontales en Ms Excel.....	78
Figura 54. Excavación de zanja para contrapeso horizontal	80
Figura 55. Preparación base y relleno con bentonita y tierra negra	80
Figura 56. Primera capa con bentonita y tierra negra	81
Figura 57. Base de cemento conductor en zanja.....	81
Figura 58. Tendido de conductor desnudo de 70 mm ²	82
Figura 59. Recubrimiento del conductor con cemento conductor	82
Figura 60. Rellenado con tierra orgánica y bentonita	83
Figura 61. Bloques de concreto armado para evitar el hurto.....	83

Figura 62. Rellenado de la última capa con misma tierra sacada inicialmente	84
Figura 63. Instalación de conductor bimetálico	84
Figura 64. Método de la curva de caída de potencial.....	85
Figura 65. Método de caída de potencial distancia $D1= 61.8$ m y $D2=100$ m ..	86
Figura 66. Medición con el método de caída de potencial distancia $D1= 62$ m y $D2=100$ m.....	86
Figura 67. Clavado de estacas y engarce a la estructura	87
Figura 68. Tomando la medición final de resistencia de puesta a tierra.....	87
Figura 69. Detalle telurómetro Megabras TM-25m.....	89
Figura 70. Detalle panel principal de telurómetro Megabras TM-25m.....	90
Figura 71. Método de caída de potencial distancia $D1= 62$ m y $D2=100$ m.	91
Figura 72. Detalle impresora telurómetro Megabras TM-25m.....	91
Figura 73. Esquema de experimentos y variables.....	97
Figura 74. Resistencia de puesta a tierra antes y después de la optimización	120
Figura 75. Resistencia de puesta a tierra vs valor máximo según CNE	128
Figura 76. Cantidad de terrenos aparentes por su naturaleza	133
Figura 77. Valores resistividad equivalente del terreno	135

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Información de coordenadas UTM – línea L3 33 kV Electroperú S. A..	2
Tabla 2. Registro de mediciones periódicas de PAT desde el 2016 al 2020.....	5
Tabla 3. Reporte de desconexiones forzadas de la línea L3 33 kV Electroperú S. A. del año 2014 al 2019	8
Tabla 4. Resumen de reporte de desconexiones forzadas de la línea L3 33 kV Electroperú S. A. del año 2014 al 2019	9
Tabla 5. Valores de resistencia de puesta a tierra antes de la optimización	11
Tabla 6. Principales características electromecánicas línea de transmisión L3 33 kV	13
Tabla 7. Principales características electromecánicas patio de llaves SAM	14
Tabla 8. Principales características electromecánicas, patio de llaves presa Tablachaca.....	14
Tabla 9. Longitud para contrapesos horizontales.....	57
Tabla 10. Secuencia de investigación por niveles y tipos	63
Tabla 11. Resistividad por edad	65
Tabla 12. Resistividad por conformación	65
Tabla 13. Tipos de conductividad en el terreno.....	66
Tabla 14. Partes de telurómetro Megabras TM-25m.....	89
Tabla 15. Detalle de funciones telurómetro Megabras TM-25m.....	90
Tabla 16. Datos de medición de resistencia de puesta a tierra inicial	98
Tabla 17. Muestra de 29 torres para la investigación.....	100
Tabla 18. Protocolo de medición de PAT	104
Tabla 19. Valores de resistencia de PAT antes de la optimización	105
Tabla 20. Protocolo de medición de resistividad aparente del terreno	107
Tabla 21. Resumen de valores de resistividad aparente del terreno.....	109
Tabla 22. Resultados de resistividad equivalente por capa	113
Tabla 23. Cálculo de resistencia de PAT	114
Tabla 24. Protocolo de medición de PAT	116
Tabla 25. Valores de resistencia de PAT después de la optimización	117
Tabla 26. Valores de resistencia de PAT antes y después de la optimización	119
Tabla 27. Valores de resistencia de PAT antes y después de la optimización	121

Tabla 28. Resumen del procesamiento de casos SPSS - V22.....	123
Tabla 29. Valores descriptivos de casos SPSS - V22	123
Tabla 30. Prueba de normalidad de datos Shapiro-Wilk. SPSS - V22	124
Tabla 31. Estadísticos de muestras emparejadas SPSS - V22.....	125
Tabla 32. Correlaciones de muestras emparejadas SPSS-V22.....	125
Tabla 33. Prueba de muestras emparejadas SPSS - V22	125
Tabla 34. Mediciones realizadas antes de la optimización y lo establecido por el CNE.....	127
Tabla 35. Valores de resistividad aparente del terreno	129
Tabla 36. Tipos de terreno aparente	132
Tabla 37. Valores de resistividad equivalente, extraídos de la estratificación del terreno	134
Tabla 38. Valores de resistencia de PAT medida y calculada.....	136
Tabla 39. Resumen de procesamiento de casos SPSS - V22	138
Tabla 40. Valores descriptivos de casos SPSS - V22	138
Tabla 41. Prueba de normalidad de datos Shapiro-Wilk. SPSS - V22	139
Tabla 42. Estadísticos de muestras independientes SPSS - V22	140
Tabla 43. Prueba de muestras independientes SPSS - V22.....	140

RESUMEN

Título: Influencia de un sistema de aterramiento por contrapesos horizontales en la optimización de la resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A.

Autor: Richard Alberth Poma Gómez

La investigación responde al problema:

¿Los sistemas de aterramiento por contrapesos horizontales influyen significativamente en la optimización de la resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A.? Como objetivo, se pretende determinar la influencia de un sistema de aterramiento por contrapesos horizontales en la optimización de la resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A. y como hipótesis se asume que el sistema de aterramiento por contrapesos horizontales influye significativamente en la optimización de la resistencia de puesta a tierra de torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A. El diseño de la investigación es experimental, que consiste en demostrar la modificación de la variable independiente (sistema de aterramiento por contrapesos horizontales) ocasionará un cambio predecible en la variable dependiente (Resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión). Concluyendo que el procedimiento de optimización de sistema de aterramiento por contrapesos horizontales influye significativamente en la optimización de la resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A. por lo cual permitirá obtener niveles seguros de protecciones para todos los equipos asociados a la línea de transmisión; al final del mantenimiento correctivo realizado con todas las medidas de seguridad, se ha concluido al 100% con buenas prácticas, logrando el objetivo esperado y consiguiendo así valores aceptables menores a 25 Ohm como se indica el CNE (Código Nacional de Electricidad) en los sistemas de puesta a tierra de cada estructura a lo largo de toda la línea de transmisión L3 de 33 kV perteneciente a Electroperú S. A.

Palabras claves: sistema de aterramiento, contrapeso horizontal, optimización, torres de transmisión.

ABSTRACT

Title: Influence of a grounding system by horizontal counterweights in the optimization of the grounding resistance of the transmission towers of the 33 kV line belonging to Electroperu S. A.

Author: Richard Alberth Poma Gómez

Research answers to the problem:

Do the grounding systems for horizontal weights significantly influence the optimization of the grounding resistance of the transmission towers of the L3 33 kV line belonging to Electroperu S. A.?

The objective is to determine the influence of a grounding system by horizontal counterweights in the optimization of the grounding resistance of the transmission towers of the L3 line of 33 kV belonging to Electroperu S. A. and as a hypothesis, it is assumed that the grounding system by horizontal counterweights significantly influences the optimization of the grounding resistance of transmission towers of the 33 kV L3 line belonging to Electroperu S. A. The research design is experimental, which consists of demonstrating the modification of the independent variable (Grounding system by horizontal weights) will cause a predictable change in the dependent variable (Earthing resistance of transmission towers). Concluding that the optimization procedure of the grounding system by horizontal counterweights significantly influences the optimization of the grounding resistance of the transmission towers of the L3 line of 33 kV belonging to Electroperu S. A. S.A. therefore, it will allow obtaining safe levels of protection for all the equipment associated with the transmission line. At the end of the corrective maintenance carried out with all the safety measures, 100% of good practices have been concluded, achieving the expected objective and thus achieving acceptable values less than 25 Ohm as indicated by the CNE (National Electricity Code) in the grounding systems of each structure along the entire 33 kV L3 transmission line belonging to Electroperu S. A.

Key words: Grounding system, horizontal counterweight, optimization, transmission towers.

INTRODUCCIÓN

En la investigación realizada sobre la *Influencia de un sistema de aterramiento por contrapesos horizontales en la optimización de la resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A.* realizado en los meses de diciembre de 2018 hasta febrero de 2019, la presente investigación justifica el diseño de un sistema de aterramiento, ya que en condiciones normales se generaba un considerable porcentaje de fallas en la línea de transmisión estudiada, producidas en su mayoría por impacto de rayos según el registro de falla del Portal Integrado del Sistema de Información Técnica de Osinergmin. Así mismo, en todas las líneas con cable de guarda, las fallas más frecuentes producidas por diferentes descargas atmosféricas son causadas en su gran mayoría por arco inverso, las cuales se deben a la elevación de potencial en la torre de transmisión, la cual es provocada principalmente por la corriente del rayo circulante por toda la estructura o que se drena por la vía la resistencia de puesta a tierra para finalmente descargar a tierra. Para ello, tener un sistema de puesta a tierra menor a 25 ohm reducirá considerablemente la tasa de fallas por descargas atmosféricas.

La línea de 33 kV, L3 SAM - *Tablachaca*, consta de un total de 80 torres en un recorrido de 22 km, las cuales fueron inspeccionadas por personal de Electroperú S. A. pudiendo evidenciar una cantidad considerable de fallas en el sistema de aterramiento eléctrico, entre ellas corrosión de varillas y cables de contrapesos, en algunas zonas se puede evidenciar hurto de conductores de cobre. Es así que se contrata los servicios de la empresa T y T Ingenieros S. R. L.) para realizar el mantenimiento correctivo de las torres que lo requieran mediante un sondeo de inspección y medición de valores de resistencia de puesta a tierra que cumplan con el CNE, llegando así a la conclusión que las estructuras que requieren mantenimiento son: Estructuras 2, 6, 13, 14, 16, 17, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 37, 38, 40, 41, 47, 51, 52, 53, 55, 61, 63, 64, 65, 66, 75, 76 y 79.

En tal situación, se planteó la optimización de los valores de resistencia de puesta a tierra de las torres antes mencionadas, esto se realizaría mediante la instalación de contrapesos horizontales con conductor de cobre puro desnudo, calibre 70 mm²; cubiertos por cemento conductor según diseño, bentonita sódica ecológica, tierra negra de cultivo, estructuras de concreto para evitar el hurto de conductores y finalmente efectuar los conexiones correspondientes a cada una de las estructuras. Para la metodología utilizada en la optimización, se diseñó un software básico de cálculo determinado así, la longitud del contrapeso estimado para cada estructura, la cantidad de material necesario por estructura, todo esto dependerá de los resultados de la medición de la resistividad del terreno, que será efectuado de forma previa al inicio de los trabajos de mantenimiento, para todo este proceso de investigación se utilizó como bibliografía esencial, el libro del ing. Justo Yanque Montufar, *Alta tensión y técnicas de pruebas de Laboratorio*, en tal sentido, la investigación que se presenta tiene como estructura lo siguiente:

Capítulo I, en este capítulo se describe el planteamiento del problema, asimismo se determina la formulación del problema, la justificación, la importancia, las hipótesis y la descripción de las variables.

Capítulo II, trata sobre el marco teórico, donde se abarcan los antecedentes de investigación como artículos científicos y tesis nacionales e internacionales, también las bases teóricas que comprenden temas relacionados a sistemas de aterramiento eléctrico en torres de transmisión, contrapesos horizontales, geología básica, los métodos de medición de resistividad de terreno aplicado al método *Wenner*, el cálculo de la resistencia de puesta a tierra, procedimientos de la instalación y las mediciones finales de resistencia por el método de caída de potencial.

Capítulo III, en este capítulo se describe la metodología y el alcance de la investigación, el tipo, nivel y el diseño de la investigación, población y muestra. Asimismo, las diferentes técnicas e instrumentos que se utilizaron para la recolección de datos.

Capítulo IV, en este capítulo se describen los resultados del tratamiento y el análisis de la información estadística, la prueba de hipótesis, los resultados obtenidos en la elaboración de la investigación en la influencia de un sistema de aterramiento por contrapesos horizontales en la optimización de la resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A. Así mismo, se presentan las conclusiones que darán repuesta sobre las hipótesis, en relación con nuestros problemas y objetivos de investigación. Y por último, se presentan las conclusiones y recomendaciones seguidas por las referencias y los anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema

1.1.1 Planteamiento del problema

Electroperú S. A. es una empresa estatal de derecho privado, que tiene como principal objetivo dedicarse a las actividades propias de la generación eléctrica con el objetivo de afianzar las diferentes bases para el correcto desarrollo de un sistema eléctrico nacional.

Así mismo, Electroperú S. A. cuenta con tres líneas de transmisión para alimentar a sus servicios auxiliares, las cuales son: Línea L1 – SAM - SECA: Patio de llaves de la central hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo a Patio de llaves de la subestación Campo Armiño, Línea L2 – SAM - Restitución: Patio de llaves de la central hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo a Patio de llaves de la central hidroeléctrica Restitución, Línea L3 – SAM - *Tablachaca*: Patio de llaves de la central hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo a Patio de llaves presa *Tablachaca*.

A través de la línea de transmisión L3 – SAM - *Tablachaca* de 33 kV, la cual será evaluada en este estudio, se alimenta a los servicios auxiliares del centro de producción Mantaro (presa *Tablachaca*, ventana 5, ventana 3, y cámara de válvulas) y el campamento de *Quichuas*, la línea de transmisión está conformada

por 80 torres y un pórtico de inicio y llegada, las cuales se muestran con sus respectivas coordenadas UTM en la siguiente tabla.

Tabla 1. Información de coordenadas UTM – línea L3 33 kV Electroperú S. A.

Coordenadas UTM – L3 UTM – L3 33 kV Electroperú S. A.				
Nombre de la línea de transmisión: Línea 33 KV SAM - <i>Tablachaca</i>				
Código de línea de transmisión: L3				
S.E. salida	C.H. SAM		S.E. llegada	Presa <i>Tablachaca</i>
Vértice	Este	Norte	Tipo de estructura	Localidad/poblado
Pórtico - inicio	537388	8634371	Anclaje (Pórtico C.H. SAM)	Campo Armiño
Torre 1-L3	537365	8634479	Anclaje	Sta. Rosa de Matara
Torre 2-L3	537324	8634294	Anclaje	Sta. Rosa de Matara
Torre 3-L3	537240	8634169	Anclaje	Sta. Rosa de Matara
Torre 4-L3	537164	8634100	Anclaje	Sta. Rosa de Matara
Torre 5-L3	537018	8633923	Anclaje	Sta. Rosa de Matara
Torre 6-L3	536919	8633759	Suspensión	Sta. Rosa de Matara
Torre 7-L3	536858	8633658	Suspensión	Sta. Rosa de Matara
Torre 8-L3	536786	8633545	Suspensión	Sta. Rosa de Matara
Torre 9-L3	536589	8633215	Anclaje (deriv. S.E. vent. 5 - ELP)	Sta. Rosa de Matara
Torre 10-L3	536503	8633120	Suspensión	Sta. Rosa de Matara
Torre 11-L3	536183	8632765	Anclaje	Sta. Rosa de Matara
Torre 12-L3	536111	8632712	Suspensión	Sta. Rosa de Matara
Torre 13-L3	535769	8632490	Suspensión	Sta. Rosa de Matara
Torre 14-L3	535481	8632304	Anclaje	<i>Ccochac</i>
Torre 15-L3	535166	8632103	Anclaje	<i>Ccochac</i>
Torre 16-L3	535087	8632034	Anclaje	<i>Ccochac</i>
Torre 17-L3	534965	8632019	Suspensión	<i>Ccochac</i>
Torre 18-L3	534752	8632003	Suspensión	<i>Ccochac</i>
Torre 19-L3	534559	8631980	Suspensión	<i>Ccochac</i>
Torre 20-L3	534244	8631949	Anclaje	<i>Ccochac</i>
Torre 21-L3	533769	8631899	Suspensión	<i>Huancayoccasa</i>
Torre 22-L3	533627	8631895	Suspensión	<i>Huancayoccasa</i>
Torre 23-L3	533506	8631879	Suspensión	<i>Huancayoccasa</i>
Torre 24-L3	533334	8631851	Suspensión	<i>Huancayoccasa</i>
Torre 25-L3	532841	8631798	Anclaje (cruce LT 66 KV Pampas)	<i>Huancayoccasa</i>
Torre 26-L3	532504	8631761	Anclaje	<i>Huancayoccasa</i>
Torre 27-L3	532213	8631381	Suspensión (deriv. S.E. Electro.)	<i>Huancayoccasa</i>
Torre 28-L3	532171	8631321	Suspensión	<i>Huancayoccasa</i>
Torre 29-L3	532028	8631123	Anclaje	<i>Huancayoccasa</i>
Torre 30-L3	531930	8630996	Suspensión	<i>Huancayoccasa</i>
Torre 31-L3	531783	8630806	Suspensión	<i>Huancayoccasa</i>
Torre 32-L3	531721	8630720	Suspensión	<i>Huancayoccasa</i>
Torre 33-L3	531608	8630568	Anclaje (cruce LT 220 KV Hvca.)	<i>Huancayoccasa</i>
Torre 34-L3	531541	8630485	Suspensión	<i>Huancayoccasa</i>
Torre 35-L3	531185	8630010	Suspensión	<i>Huancayoccasa</i>

Torre 36-L3	531123	8629937	Suspensión	<i>Huancayoccasa</i>
Torre 37-L3	530910	8629645	Suspensión	<i>Huancayoccasa</i>
Torre 38-L3	530754	8629436	Suspensión	<i>Huancayoccasa</i>
Torre 39-L3	530585	8629209	Suspensión	<i>Huancayoccasa</i>
Torre 40-L3	530481	8629063	Suspensión	<i>Jabonillo</i>
Torre 41-L3	530251	8628766	Anclaje	<i>Jabonillo</i>
Torre 42-L3	529986	8628534	Anclaje	<i>Jabonillo</i>
Torre 43-L3	529596	8628191	Suspensión	<i>Jabonillo</i>
Torre 44-L3	529492	8628097	Anclaje	<i>Jabonillo</i>
Torre 45-L3	529006	8627667	Suspensión	<i>Jabonillo</i>
Torre 46-L3	528751	8627440	Suspensión	<i>Jabonillo</i>
Torre 47-L3	528630	8627336	Anclaje	<i>Carpapata</i>
Torre 48-L3	528001	8627331	Suspensión	<i>Carpapata</i>
Torre 49-L3	527793	8627330	Suspensión	<i>Carpapata</i>
Torre 50-L3	527567	8627328	Suspensión	<i>Carpapata</i>
Torre 51-L3	527053	8627325	Anclaje	<i>Carpapata</i>
Torre 52-L3	526855	8627330	Suspensión	<i>Carpapata</i>
Torre 53-L3	526727	8627330	Suspensión	<i>Carpapata</i>
Torre 54-L3	526624	8627330	Anclaje	<i>Carpapata</i>
Torre 55-L3	525976	8627334	Anclaje	<i>Carpapata</i>
Torre 56-L3	525880	8627249	Suspensión	<i>Carpapata</i>
Torre 57-L3	525762	8627153	Suspensión	Buenosaires
Torre 58-L3	525684	8627085	Anclaje	Buenosaires
Torre 59-L3	525594	8626823	Suspensión	Buenosaires
Torre 60-L3	525552	8626694	Suspensión	Buenosaires
Torre 61-L3	525485	8626492	Suspensión	Buenosaires
Torre 62-L3	525450	8626377	Suspensión	Buenosaires
Torre 63-L3	525403	8626255	Suspensión	Buenosaires
Torre 64-L3	525351	8626108	Anclaje	Buenosaires
Torre 65-L3	525254	8625804	Suspensión	Buenosaires
Torre 66-L3	525227	8625712	Anclaje	Buenosaires
Torre 67-L3	525042	8625166	Suspensión	Buenosaires
Torre 68-L3	524996	8625051	Suspensión	Buenosaires
Torre 69-L3	524935	8624856	Suspensión	Buenosaires
Torre 70-L3	524851	8624611	Suspensión	Buenosaires
Torre 71-L3	524773	8624380	Suspensión	Buenosaires
Torre 72-L3	524715	8624209	Anclaje	Buenosaires
Torre 73-L3	524318	8623907	Anclaje	Buenosaires
Torre 74-L3	524210	8623527	Anclaje	Buenosaires
Torre 75-L3	524072	8623063	Suspensión	<i>Quichuas</i>
Torre 76-L3	524016	8622852	Suspensión	<i>Quichuas</i>
Torre 77-L3	524000	8622796	Anclaje	<i>Quichuas</i>
Torre 78-L3	523709	8622631	Anclaje	<i>Quichuas</i>
Torre 79-L3	523277	8622382	Anclaje	<i>Quichuas</i>
Torre 80-L3	523071	8622321	Anclaje	<i>Quichuas</i>
Pórtico - final	523016	8622230	Anclaje (pórtico <i>Tablachaca</i>)	<i>Quichuas</i>

Tomada de Coordenadas UTM de las estructuras 33 kV, Sitec Electroperú S. A.

Asimismo, se alimenta a los usuarios del concesionario Electrocentro S. A., de los denominados ejes de *Colcabamba* y *Tablachaca*, mediante sus respectivas subestaciones de transformación de *Huancayoccasa* y *Tablachaca*

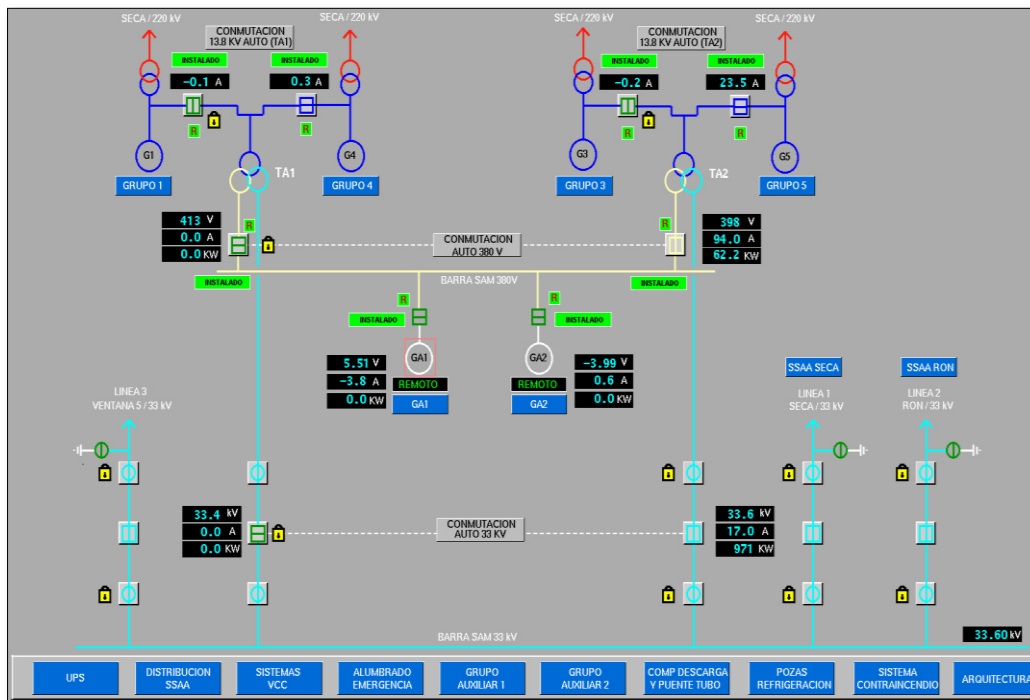


Figura 1. Diagrama de los SS. AA. complejo Mantaro Tomada de Sistema SCADA centro de control campo Armiño.

Con una frecuencia establecida, cada año se realiza el mantenimiento preventivo y controles sistemáticos de esta línea L3 – SAM - *Tablachaca*, como son la limpieza de la faja de servidumbre, medición de las resistencias de las puestas a tierra, con la finalidad de mantener la citada línea L3 – SAM – *Tablachaca*, en su estado normal de conservación y completamente operativo.

Del mantenimiento periódico se obtienen los valores de resistencia de puesta a tierra de todas las estructuras de la línea L3, como consecuencia a esto, anualmente se genera un registro de mediciones, esto se lleva a cabo desde el 2016 hasta la fecha, en tal sentido en la siguiente tabla se muestran los registros de las mediciones.

Tabla 2. Registro de mediciones periódicas de PAT desde el 2016 al 2020

Registro de mediciones periódicas de PAT 2016/2020 generado por empresa					
Ítem	Año	2016	2017	2018	2019
	Estructura	Empresas			
		F&Y	Elc. Valencia	Electroperú S. A.	T&T
1	Torre 1-L3	19,23	17,33	18,50	18,50
2	Torre 2-L3	27,00	30,50	26,10	6,20
3	Torre 3-L3	18,95	19,51	17,85	17,85
4	Torre 4-L3	12,42	14,18	11,63	11,63
5	Torre 5-L3	11,06	12,99	9,84	9,84
6	Torre 6-L3	18,11	23,60	30,80	6,14
7	Torre 7-L3	13,14	16,34	17,17	17,17
8	Torre 8-L3	18,31	21,90	24,70	24,70
9	Torre 9-L3	10,88	16,79	11,56	11,56
10	Torre 10-L3	14,81	16,03	17,75	17,75
11	Torre 11-L3	13,74	15,35	22,40	22,40
12	Torre 12-L3	10,71	12,70	10,77	10,77
13	Torre 13-L3	19,47	24,80	34,70	16,50
14	Torre 14-L3	22,40	24,40	29,40	15,51
15	Torre 15-L3	17,43	19,67	18,60	18,60
16	Torre 16-L3	15,60	25,00	25,90	14,68
17	Torre 17-L3	27,00	26,10	62,80	13,03
18	Torre 18-L3	33,60	41,00	23,30	23,30
19	Torre 19-L3	46,30	17,55	19,50	19,50
20	Torre 20-L3	23,20	25,40	20,20	20,20
21	Torre 21-L3	44,20	19,32	16,90	16,90
22	Torre 22-L3	36,00	10,96	24,33	24,33
23	Torre 23-L3	47,90	15,02	19,50	19,50
24	Torre 24-L3	51,20	18,66	20,60	20,60
25	Torre 25-L3	48,30	14,41	24,60	24,60
26	Torre 26-L3	55,60	15,75	23,20	23,20
27	Torre 27-L3	27,10	23,90	33,20	10,11
28	Torre 28-L3	25,70	27,40	36,60	9,69
29	Torre 29-L3	23,70	24,70	25,10	12,57
30	Torre 30-L3	27,30	29,20	29,20	16,52
31	Torre 31-L3	26,10	29,70	25,83	8,25
32	Torre 32-L3	29,10	31,60	34,30	18,55
33	Torre 33-L3	29,70	30,80	16,30	16,30
34	Torre 34-L3	33,90	37,10	24,80	24,80

35	Torre 35-L3	45,50	13,92	19,60	19,60
36	Torre 36-L3	36,90	11,76	23,60	23,60
37	Torre 37-L3	27,20	28,40	52,70	17,99
38	Torre 38-L3	22,30	21,20	50,30	18,11
39	Torre 39-L3	17,23	17,21	11,52	11,52
40	Torre 40-L3	31,10	30,60	63,30	18,01
41	Torre 41-L3	34,70	35,10	25,30	14,78
42	Torre 42-L3	21,10	22,60	22,80	22,80
43	Torre 43-L3	18,55	20,90	10,79	10,79
44	Torre 44-L3	17,81	19,98	11,30	11,30
45	Torre 45-L3	46,40	9,91	18,90	18,90
46	Torre 46-L3	17,87	18,92	11,71	11,71
47	Torre 47-L3	20,40	22,40	28,60	17,83
48	Torre 48-L3	33,80	33,00	19,70	19,70
49	Torre 49-L3	34,80	34,30	12,70	12,70
50	Torre 50-L3	46,50	8,77	10,80	10,80
51	Torre 51-L3	23,60	25,80	25,20	16,13
52	Torre 52-L3	29,00	32,70	50,40	19,78
53	Torre 53-L3	29,90	32,00	63,50	19,42
54	Torre 54-L3	36,30	10,78	15,30	15,30
55	Torre 55-L3	28,30	29,30	98,60	23,10
56	Torre 56-L3	48,50	16,04	14,70	14,70
57	Torre 57-L3	34,70	36,70	15,30	15,30
58	Torre 58-L3	45,20	16,71	17,30	17,30
59	Torre 59-L3	31,70	33,40	21,30	21,30
60	Torre 60-L3	32,10	33,90	12,30	12,30
61	Torre 61-L3	23,30	26,10	50,20	16,75
62	Torre 62-L3	30,80	33,50	13,50	13,50
63	Torre 63-L3	24,20	26,70	34,20	16,51
64	Torre 64-L3	25,40	23,00	59,40	16,72
65	Torre 65-L3	27,70	27,30	33,70	12,86
66	Torre 66-L3	28,90	31,10	39,20	15,73
67	Torre 67-L3	18,08	20,80	18,12	18,12
68	Torre 68-L3	17,25	17,91	17,51	17,51
69	Torre 69-L3	23,50	27,70	21,20	21,20
70	Torre 70-L3	17,54	18,21	14,90	14,90
71	Torre 71-L3	11,87	15,06	9,98	9,98
72	Torre 72-L3	17,59	17,77	17,48	17,48
73	Torre 73-L3	16,82	19,27	22,60	22,60

74	Torre 74-L3	14,49	17,29	12,94	12,94
75	Torre 75-L3	20,80	22,70	41,00	13,95
76	Torre 76-L3	21,10	23,80	27,80	16,94
77	Torre 77-L3	14,01	17,15	12,90	12,90
78	Torre 78-L3	17,93	20,50	23,20	23,20
79	Torre 79-L3	31,20	34,40	34,40	13,68
80	Torre 80-L3	17,11	20,10	15,76	15,77

Tomada de Sitec Electroperú S. A.

A pesar de los mantenimientos periódicos ejecutados por la empresa y por empresas terceras, se han presentado comúnmente interrupciones del servicio de la línea L3 - SAM – *Tablachaca*, siendo en su mayoría interrupciones de carácter crítico, por lo que se considera que estos son originados en su gran mayoría por fuertes descargas atmosféricas que generalmente ocurren en la zona en el periodo de lluvias; generando frecuentes salidas de línea según los reportes de fallas obtenidos por el centro de control ubicado en la C. H. Santiago Antúñez de Mayolo y que son reportados en el (Portal Integrado del Sistema de Información Técnica de Osinergmin).

Tabla 3. Reporte de desconexiones forzadas de la línea L3 33 kV Electroperú S. A. del año 2014 al 2019

Reporte de desconexiones forzadas de la línea L3 33 kV Electroperú S. A.				
Código	Línea	Fecha de registro	Duración (horas)	Duración (min)
204564	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	25/11/2019 19:34	0,08	4,8
204560	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	15/11/2019 18:46	0,04	2,4
204557	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	26/02/2019 0:16	0,04	2,4
204148	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	24/02/2019 21:55	0,02	1,2
195917	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	13/02/2019 21:59	0,04	2,4
190881	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	04/11/2018 19:21	0,03	1,8
190818	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	03/11/2018 19:12	0,05	3
184023	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	04/05/2018 15:20	0,09	5,4
182871	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	06/04/2018 3:49	0,09	5,4
182870	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	06/04/2018 3:43	0,09	5,4
181961	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	13/03/2018 18:17	0,1	6
180880	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	18/02/2018 22:54	0,2	12
180879	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	18/02/2018 22:48	0,09	5,4
180348	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	07/02/2018 21:23	0,08	4,8
176796	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	17/11/2017 20:49	0,09	5,4
174681	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	24/09/2017 18:16	0,1	6
166824	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	16/02/2017 21:54	0,09	5,4
166823	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	16/02/2017 21:45	0,09	5,4
166458	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	08/02/2017 15:54	0,09	5,4
164949	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	08/01/2017 20:03	0,07	4,2
164665	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	03/01/2017 18:18	0,09	5,4
164588	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	30/12/2016 22:23	0,09	5,4
163405	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	05/12/2016 22:17	0,09	5,4
163400	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	05/12/2016 21:45	0,09	5,4
161999	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	08/11/2016 17:54	0,09	5,4
159136	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	30/08/2016 20:15	0,09	5,4
158966	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	27/08/2016 20:52	0,08	4,8
158475	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	13/08/2016 22:07	0,07	4,2
151526	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	07/01/2016 1:17	0,09	5,4
151525	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	07/01/2016 1:11	0,09	5,4
148581	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	20/10/2015 20:28	0,11	6,6
146580	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	24/08/2015 20:28	0,09	5,4
143314	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	12/05/2015 17:32	0,09	5,4
142803	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	19/04/2015 17:40	0,11	6,6
139793	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	25/01/2015 23:40	0,09	5,4

139792	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	25/01/2015 23:25	0,09	5,4
138462	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	17/12/2014 14:12	0,09	5,4
138389	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	15/12/2014 22:34	0,08	4,8
138218	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	13/12/2014 22:31	0,09	5,4
136917	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	13/11/2014 0:43	0,02	1,2
136246	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	26/10/2014 18:45	0,01	0,6
135791	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	14/10/2014 19:36	0,09	5,4
134988	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	23/09/2014 20:12	0,09	5,4
134735	L3 SAM - <i>Tablachaca</i>	17/09/2014 21:31	0,09	5,4

Tomada de Portal Integrado del Sistema de Información Técnica de Osinergmin.

En la Tabla 3 se muestra el total de salida de línea L3 SAM – *Tablachaca*, desde el 2014 a la fecha, pudiendo observar resultados muy considerables por año y en muchos casos estos resultados han estado causando penalizaciones para la empresa dado por el procedimiento 091 de Osinergmin.

Tabla 4. Resumen de reporte de desconexiones forzadas de la línea L3 33 kV Electroperú S. A. del año 2014 al 2019

Desconexiones de línea L3 Electroperú S. A. reportadas por Osinergmin	
Año	Salidas de línea
2014	8
2015	6
2016	9
2017	7
2018	9
2019	5

En la Tabla 4 se muestra el cuadro resumen del total de salida de línea L3 SAM-*Tablachaca* por año desde el 2014 a la fecha.

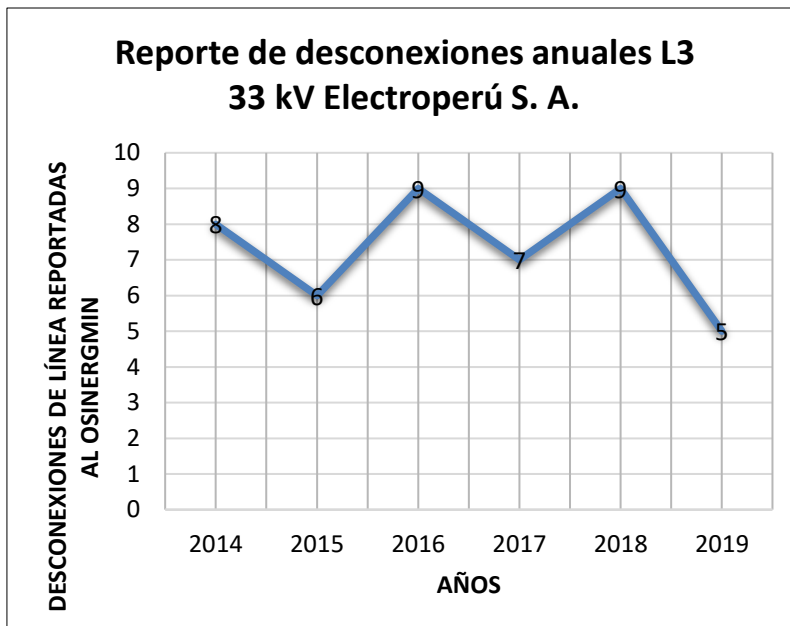


Figura 2. Reporte de desconexiones anuales de la línea L3 33 kV Electroperú S. A. del año 2014 al 2019

De acuerdo a la Figura 2, se puede interpretar que en el transcurso del 2014 hasta el 2019 se pudieron observar salidas de línea por fallas (descargas atmosféricas) las cuales fueron reportadas a Osinergmin a través del Portal Integrado del Sistema de Información Técnica de Osinergmin, registrándose en el 2014 un total de 8 salidas de línea temporales de las cuales 6 fueron mayores de 3 minutos, en el 2015 un total de 6 salidas de línea temporales de las cuales las 6 fueron mayores de 3 min, en el año 2016 un total de 9 salidas de línea temporales de las cuales las 9 fueron mayores de 3 min, en el año 2017 un total de 8 salidas de línea temporales de las cuales 8 fueron mayores de 3 min, en el año 2018 un total de 9 salidas de línea temporales de las cuales 7 fueron mayores de 3 min, en el año 2019 un total de 5 salidas de línea temporales de las cuales 1 fue mayor de 3 min.

Las interrupciones o salidas temporarias de la línea causan molestia a los usuarios, debiendo garantizarse la protección de los equipos asociados y la continuidad del suministro de energía influenciando críticamente en la tasa de fallas establecidas por Osinergmin.

En tanto, la presente investigación se enfocó en determinar la influencia de un sistema de aterramiento por contrapesos horizontales en la optimización de la

resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión, las cuales serán evaluados en 29 de las 80 torres de transmisión que comprende la presente línea, que evidencian gran cantidad de fallas; entre ellas se tiene la corrosión de varillas y cables de contrapesos, en algunas zonas se puede evidenciar hurto de conductores de cobre y la falta de mantenimiento.

En tal sentido, para ello se midieron y evaluaron los diferentes valores de resistencia de puesta a tierra antes de la optimización, también se midió la resistividad aparente del terreno haciendo uso del método Wenner y así poder determinar la resistencia equivalente mediante la estratificación del terreno; posteriormente se calculó el valor de la resistencia de puesta a tierra mediante contrapesos horizontales, y por último, se midieron y evaluaron los valores de resistencia de puesta a tierra después de la optimización, de esta forma poder dirigir corrientes altas de falla en el sistema producto de las descargas atmosféricas garantizando la protección de los equipos asociados y la continuidad del suministro de energía. Los valores de resistencia de puesta a tierra deben estar por debajo de los 25 Ohm como lo establece el CNE. (1)

Tabla 5. Valores de resistencia de puesta a tierra antes de la optimización

Resistencia de puesta a tierra antes de la optimización en ohmios		
Ítem	Número de estructura	Rc (Ω)
1	Torre 2-L3	42,3
2	Torre 6-L3	39,1
3	Torre 13-L3	47,4
4	Torre 14-L3	30,6
5	Torre 16-L3	62,3
6	Torre 17-L3	60,6
7	Torre 27-L3	50,2
8	Torre 28-L3	45,2
9	Torre 29-L3	52,4
10	Torre 30-L3	31,4
11	Torre 31-L3	45,6
12	Torre 32-L3	29
13	Torre 37-L3	39,7
14	Torre 38-L3	62,7
15	Torre 40-L3	40,8

16	Torre 41-L3	35,3
17	Torre 47-L3	64,7
18	Torre 51-L3	75,7
19	Torre 52-L3	67,3
20	Torre 53-L3	50
21	Torre 55-L3	38,9
22	Torre 61-L3	65,5
23	Torre 63-L3	34,9
24	Torre 64-L3	32,1
25	Torre 65-L3	32,9
26	Torre 66-L3	44,7
27	Torre 75-L3	34,7
28	Torre 76-L3	51
29	Torre 79-L3	35,7

Tomada de Protocolos de medición T y T Ingenieros S. R. L.

En la Tabla 5 se muestran los valores de resistencia de puesta a tierra medidos por la empresa T y T Ingenieros S. R. L. antes de la optimización de la resistencia de puesta a tierra mediante contrapesos horizontales, estos datos fueron discriminados de las 80 torres de transmisión por no cumplir con los valores mínimos de resistencia de puesta a tierra, los cuales deben ser menos a 25 Ohm según lo indica el CNE (Código Nacional de Electricidad).

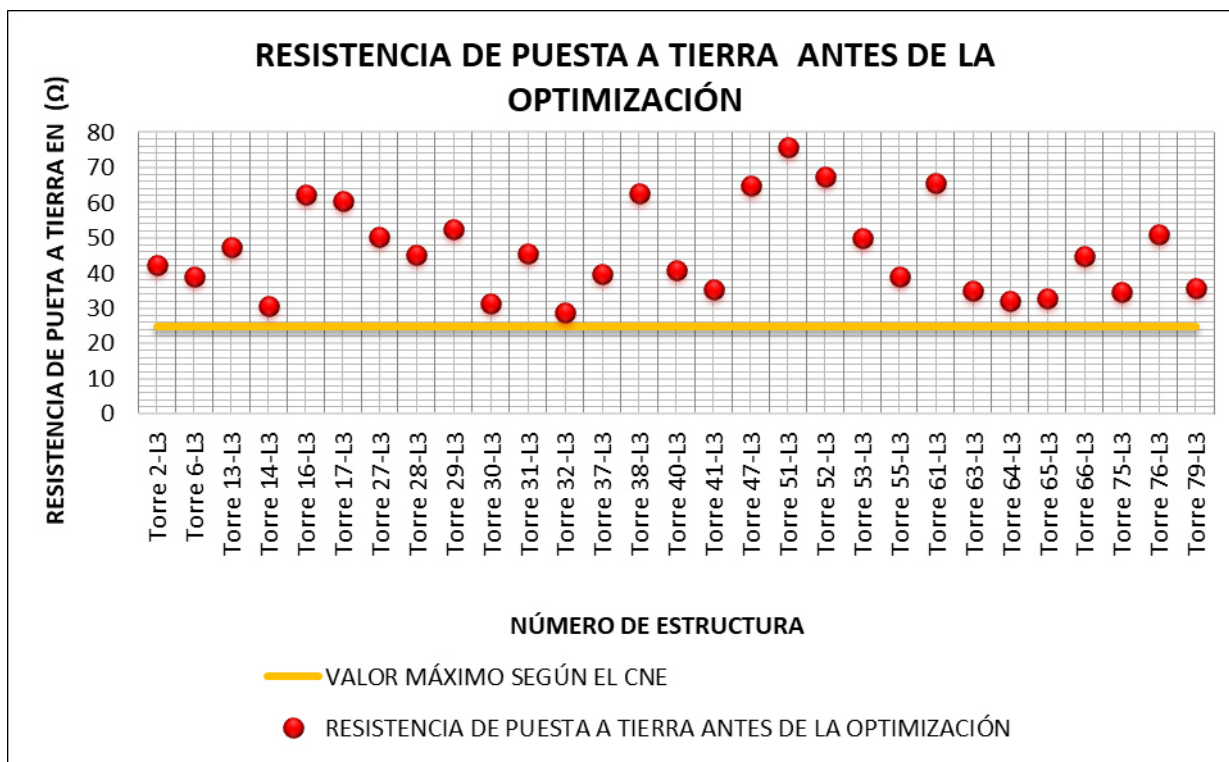


Figura 3. Valores de resistencia de puesta a tierra antes de la optimización

En la Figura 3 se puede observar claramente que las 29 torres estudiadas de la línea L3 de 33 kV están por encima del valor máximo permisible según el CNE.

Así mismo, la línea de transmisión tiene las siguientes características electromecánicas más resaltantes, la línea de transmisión - central Santiago Antúñez de Mayolo (SAM) a represa *Tablachaca*, con nivel de tensión de 33 kV, constituido por una línea de 20 km.

Tabla 6. Principales características electromecánicas línea de transmisión L3 33 kV

Tipo de circuito	Troncal	Aérea
Tensión nominal	33	kV
N.º de vanos	81	
N.º de torres de la línea	80	
N.º de LL.TT por soporte	1	
Tipo de conductor	ACSR – Pigeon	
Calibre conductor	99	mm ²
Capacidad de conducción	5	MVA
Tipo de aisladores / N.º por cadena de aisladores	Vidrio	5
Pórticos: salida / llegada	SAM	Presas
Año de puesta en servicio	1974	
Longitud total de línea: Pórtico salida patio 33 kV SAM a Pórtico patio 33 kV RON.	22	km

Tomada de Principales características electromecánicas de Electroperú S. A.

Características electromecánicas más resaltantes del patio de llaves - central Santiago Antúnez de Mayolo (SAM) nivel 33 kV, constituido por un patio de llaves ubicado en la margen izquierda del río *Colcabamba*.

Tabla 7. Principales características electromecánicas patio de llaves SAM

Puesta en servicio	Año	1973
Altura sobre nivel del mar	1840	m s. n. m.
Ubicación geográfica	Campo Armiño - <i>Colcabamba</i>	Huancavelica
N.º de barras	1	Unid.
N.º de ternas de salida (R-S-T)	3	Ternas
N.º de transformadores de potencia de 13.8/33/0.405 kV.	2	Unid.
Potencia	5000/5000/1000	KVA
N.º de interruptores de potencia	5	Unid.
Medio extinción	Aceite	
Corriente nominal	800	A
Tensión nominal	33	kV
Tensión máxima de operación	36	kV
N.º de seccionadores de potencia	10	Unid.
Tipo de apertura	Rotación central	Manual/elect
N.º de transformadores de corriente	3	Unid.
Relación de transformación	50/1	
N.º de transformadores de tensión	3	Unid.

Tomada de Principales características electromecánicas de Electroperú S. A.

Características electromecánicas más resaltantes del patio de llaves Presa *Tablachaca* nivel 33 kV, constituido por un patio de llaves ubicado en la margen izquierda del río Mantaro.

Tabla 8. Principales características electromecánicas, patio de llaves presa Tablachaca

Puesta en servicio	Año	1974
Altura sobre nivel del mar	2720	m s. n. m.
Ubicación geográfica	<i>Tablachaca - Colcabamba</i>	Huancavelica
N.º de barras	1	Unid.
N.º de ternas de llegada (R-S-T)	1	Ternas
N.º de ternas de salida (R-S-T)	1	Ternas
N.º de transformadores de potencia de 33/10/0.405 kV.	2	Unid.
Potencia	1000/5000/5000	kVA
N.º de interruptores de potencia	2	Unid.

Medio extinción	Aceite	
Tensión nominal	33	kV
Tensión máxima de operación	36	kV
N.º de seccionadores de potencia	6	Unid.
Tipo de apertura	Rotación central	Manual/elect
Corriente nominal	800	A
N.º de transformadores de tensión	1	Unid.
N.º de transformadores de corriente	3	Unid.
Relación de transformación	20/01	
N.º de pararrayos	3	Unid.
Tipo de instalación	Exterior	

Tomada de Principales características electromecánicas, Electroperú S. A.

1.1.2 Formulación del problema

A) Problema general

- ¿Los sistemas de aterramiento por contrapesos horizontales influyen significativamente en la optimización de la resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A.?

B) Problemas específicos

- ¿Cuáles son los valores de resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A. antes de la optimización, mediante el sistema de aterramiento por contrapesos horizontales?
- ¿Cuáles son los valores de resistividad aparente del terreno necesarios para el modelamiento de un sistema de aterramiento por contrapesos horizontales, en la optimización de la resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A.?
- ¿Cuáles son los valores de resistividad equivalente obtenidos de la estratificación del terreno necesarios para el modelamiento del sistema de aterramiento por contrapesos horizontales en la optimización de la resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A.?
- ¿Cuáles son los valores calculados y medidos de resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a

Electroperú S. A., y cómo estos difieren a los valores medidos después de la optimización mediante el sistema de aterramiento por contrapesos horizontales?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Determinar la influencia de un sistema de aterramiento por contrapesos horizontales en la optimización de la resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A.

1.2.2 Objetivos específicos

- Medir y evaluar los valores de resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A. antes de la optimización, mediante el sistema de aterramiento por contrapesos horizontales.
- Utilizar el método *Wenner* para obtener los valores de resistividad aparente del terreno, necesario para el modelamiento del sistema de aterramiento por contrapesos horizontales en la optimización de la resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A.
- Mediante la estratificación del terreno determinar la resistividad equivalente, necesaria para el modelamiento del sistema de aterramiento por contrapesos horizontales en la optimización de la resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A.
- Calcular y medir los valores de resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión en la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A., después de la optimización mediante el sistema de aterramiento por contrapesos horizontales.

1.3 Justificación e importancia

1.3.1 Justificación teórica

Los sistemas de aterramiento eléctrico muy comúnmente pierden su efectividad al pasar años, esto debido a muchos factores como pueden ser la

corrosión, daños relacionados con las descargas a tierra, efectos mecánicos e impacto de rayos a los diferentes sistemas eléctricos. Es por ello que un sistema de aterramiento eléctrico mediante la metodología de contrapesos horizontales nos permitirá reducir la resistencia de puesta a tierra en las torres de la línea de transmisión evitando así el fenómeno conocido como el flameo inverso que se da entre la estructura de la torre y la línea, esto sucede cuando el fenómeno de descarga atmosférica impacta directamente en el cable de guarda; la corriente, debido a la descarga atmosférica fluye en ambos sentidos de la línea a través de la impedancia del cable de guarda. En este proceso las ondas de tensión y corriente se propagan hasta llegar a la torre más cercana de la línea de transmisión para posteriormente descender por la estructura y encontrarse con una resistencia del sistema de puesta a tierra, la cual disipará la energía asociada por la descarga atmosférica hacia tierra.

1.3.2 Justificación práctica

A sí mismo, se justifica la instalación de contrapesos horizontales en la línea de transmisión L3 ya que mediante la optimización del sistema de aterramiento mediante la configuración de contrapesos horizontales se quiere evitar las interrupciones o salidas temporarias de la línea, reduciendo así la tasa de fallas, ya que causan molestia a los usuarios de la concesionaria Electrocentro; así mismo, se busca disminuir la resistencia de puesta a tierra, la cual estará anclada a la estructura de la torre para así proteger a los animales y personas contra eventos peligrosos que pueden establecerse por diferentes corrientes de dispersión a lo largo de fallas provocadas por descargas a tierra de la línea de transmisión mencionada.

1.3.3 Justificación legal

Asimismo, con la optimización de esta protección se reducirán los diferentes valores de resistencia de puesta a tierra según lo establecido por el CNE (menor a 25 Ohm), también lo que se quiere es cumplir con la tolerancia del número de salidas de línea que se permite, establecidos en el respectivo procedimiento del ente fiscalizador Osinergmin, cuyos indicadores de performance se miden anualmente.

1.3.4 Importancia

La presente investigación tiene como propósito principal optimizar los valores de resistencia de puesta de las torres de transmisión, ya que según el reporte anual se excede el número de salidas de línea afectando a nuestros usuarios, ya que mediante esta línea de transmisión L3 – SAM - *Tablachaca* 33 kV, se alimenta a los servicios auxiliares del centro de producción Mantaro (presa *Tablachaca*, ventana 5, ventana 3, y cámara de válvulas) y el campamento de *Quichuas*. Asimismo, se alimenta a los usuarios del concesionario Electrocentro S. A., de los denominados ejes de *Colcabamba* y *Tablachaca*, mediante sus respectivas subestaciones de transformación de *Huancayoccasa* y *Tablachaca*.

1.4 Hipótesis y descripción de variables

1.4.1 Hipótesis general

- El sistema de aterramiento por contrapesos horizontales influye significativamente en la optimización de la resistencia de puesta a tierra de torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A.

1.4.2 Hipótesis específicas

- Los valores de resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A. no cumplen con lo establecido por el CNE, antes de la optimización, mediante el sistema de aterramiento por contrapesos horizontales.
- Los valores de resistividad aparente del terreno obtenidos aplicando el método *Wenner*, necesarios para el modelamiento del sistema de aterramiento por contrapesos horizontales en la optimización de la resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A. se dan en su mayoría de 800 a 3000 ohm/m (terreno pedregoso).
- Los valores de resistividad equivalente obtenidos de la estratificación del terreno, necesarios para el modelamiento del sistema de aterramiento por contrapesos horizontales en la optimización de la resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A. son menores a 3000 ohm/m (terreno pedregoso).

- Existe una diferencia significativa entre los valores obtenidos del cálculo y la medición después de la optimización de la resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A. mediante sistema de aterramiento por contrapesos horizontales.

1.4.3 Descripción de variables

Variable independiente(X):

- Sistema de aterramiento por contrapesos horizontales.

Variable dependiente (Y):

- Resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión.

1.4.4 Operacionalización de variables

Variable independiente	Definición	Dimensión	Indicadores	Instrumento
Sistema de aterramiento por contrapesos horizontales	Los diferentes sistemas de PAT cuentan con muchas metodologías, entre ellas están los contrapesos, que proviene del nombre francés (<i>contre-poids</i>) (flagelo) o también en el idioma inglés como (<i>counterpoise</i>), también llamado sistema radial, sistema dispersor o más comúnmente conocido como contraantenas; esta metodología comprende el enterrar conductores horizontales de cobre o cintas metálicas, con una distancia menor a (40 m) estos pueden estar solos o con diferentes electrodos en cada uno de sus extremos según diseño. En la actualidad, la metodología de contrapesos horizontales está establecida como una excelente práctica de la ingeniería para la protección al contar con descargas atmosféricas en todo el mundo.	• Tipo del terreno	Tabla de resistividad de suelos	Fuentes de primera mano (libro, <i>papers</i> , etc.)
		• Resistividad del terreno	Medidas de la resistividad del terreno a 1 m, 2 m, 4 m, 8 m en (Ω -m)	Termómetro (método <i>Wenner</i>)
		• Longitud del contrapeso	$L \leq 40$ m, 40 m $< L \leq 80$ m, 80 m $< L \leq 120$ m, $L > 120$ m, Tipo A-1, A-2, A-3, A-4, respectivamente (m)	Cálculo de software (en Excel)
		• Profundidad de enterramiento de los contrapesos horizontales	Profundidad de enterramiento (m)	Cálculo de software (en Excel)
		• Radio equivalente del pozo (relleno)	Radio equivalente (m)	Cálculo de Software (en Excel)
		• Radio equivalente del conductor con cemento conductor	Radio equivalente (m)	Cálculo de Software (en Excel)
		• Factor de tratamiento	Valor de tabla especializada. ($3 \leq M \leq 8$)	Fuentes de primera mano (libro, <i>papers</i> , etc.)

Variable dependiente	Definición	Dimensión	Indicadores	Instrumento
Resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión	La comúnmente llamada “Resistencia de puesta a tierra” o también conocida por sus nombres “Resistencia de tierra”, o “Resistencia de dispersión” es aquella resistencia que muestra oposición al paso de la corriente que en una falla por descarga atmosférica circula hacia tierra. Sobre el nivel del piso, debe ser conocida como una red equipotencial.	<ul style="list-style-type: none"> • Método de la medición de la resistencia PAT 	Resistencia de PAT (Ω)	Método de curva de caída de potencial, Método de la pendiente
	En la actualidad no existe suficiente investigación que demuestre una medición indirecta que pueda sustituir a la medición tradicional llamada medición de resistencia de dispersión y la cual será realizada por medio de un instrumento llamado telurómetro. Es necesario realizar las mediciones de resistencia, periódicamente para así poder ejecutar mantenimientos preventivos y no tener un accidente, fallas del sistema o dañar el equipo asociado a los diferentes sistemas de potencia.	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia de PAT 	Resistencia de PAT (Ω)	Telurómetro

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Artículos científicos

En el artículo de investigación titulado “*Modelación de sistemas de puesta a tierra para evaluación de sobretensiones transitorias*”, Cuba; los investigadores tuvieron como principal objetivo proponer una metodología para analizar el comportamiento transitorio de redes de tierra. La técnica se basa en considerar los diferentes segmentos de la malla de tierra como elementos de líneas de transmisión. Para desarrollar esta metodología se utilizó el software *Matlab-Simulink*. Los resultados se validan por comparación con modelos basados en la teoría del campo electromagnético publicados, **(2)** las principales conclusiones son:

1. Se desarrolló una metodología basada en el enfoque de la línea de transmisión que permite obtener las tensiones transitorias en cualquier punto de una red de tierra compleja, constituyendo esto una información muy valiosa para los diseñadores de redes de tierra. **(2)**
2. El modelo presentado exhibe exactitud con los resultados obtenidos con otro modelo más exacto (Teoría del campo electromagnético) presentado en el efecto de ionización, donde no se tuvo en cuenta en este trabajo, porque es muy fácil de incluir. **(2)**

En el artículo de investigación titulado: “**Análisis de sensibilidad computacional de la respuesta en frecuencia de la impedancia de torres de transmisión**” de la Universidad de Antioquia, Colombia; los investigadores tuvieron como principal objetivo determinar a través del Modelo Híbrido Electromagnético la respuesta en frecuencia de la impedancia vista desde el conductor de guarda. El modelo considera variaciones en la geometría de dos torres; la puesta a tierra y la resistividad del suelo. La evaluación de transitorios electromagnéticos en líneas de transmisión involucra diferentes elementos siendo las torres uno de los que más podría influenciar la magnitud y forma de onda de los transitorios generados. La respuesta en frecuencia presenta un comportamiento predominantemente inductivo en el rango de frecuencia analizado, razón por la cual fue ajustada a la expresión de impedancia de un circuito con serie resistivo-inductivo-capacitiva en términos de transformadas de Laplace, obteniéndose valores de inductancia en el rango de lo reportado en la información técnica, **(3)** las principales conclusiones son:

1. Se realizó un análisis de sensibilidad de la respuesta en frecuencia de la impedancia vista desde el cable de guarda en dos torres de transmisión: una con disposición horizontal de los conductores (H) y otra con doble disposición vertical de los conductores (doble-circuito). Para ello se varió tanto la geometría de las torres y la altura de estas, como la geometría de las puestas a tierra y la resistividad del terreno. Observándose en todos los casos que la torre con geometría horizontal (H), presenta una RFI más baja en todo el rango de frecuencia analizado, una menor impedancia de impulso y un comportamiento menos inductivo comparado con el comportamiento obtenido para la torre que tiene una disposición vertical de los conductores (DC). **(3)**
2. El comportamiento inductivo se evidenció en el desplazamiento de la fase de la impedancia hacia la izquierda en la medida que se aumenta la altura de la torre o se disminuye la resistividad del terreno. De igual manera, este comportamiento predominantemente inductivo se observó en los resultados obtenidos del ajuste de las RFI al circuito de serie resistivo-inductivo-capacitiva, a través de la cual se encontraron valores de inductancia que están en el rango de lo reportado en la información técnica para torres con dimensiones y geometrías similares. **(3)**

En el artículo de investigación titulado “**Tratamiento químico de terrenos para instalaciones de puesta a tierra**” de la Universidad de la Republica de Uruguay, los investigadores tuvieron como principal objetivo la mejora de terrenos a través del agregado de productos químicos es una técnica de larga usanza, y varios son los objetivos que se buscan a través de este procedimiento, **(4)** las principales conclusiones son:

1. El uso de bentonita sódica en terrenos difíciles de trabajar es una de las soluciones económicamente posibles, cuando los terrenos tienen una resistividad natural media o baja, la mejora de la resistividad de bentonita puede constituir una ventaja de hasta 15%. **(4)**
2. Es importante medir correctamente la resistividad de la bentonita en forma previa a su instalación, en terrenos muy arenosos o de alta permeabilidad, la bentonita puede ser drenada parcialmente, aumentando la resistencia del electrodo. **(4)**

En el artículo de investigación titulado “**Respuesta transitoria de las puestas a tierra en la protección contra rayos. software Gtierras**” de la Universidad de Antioquia, Colombia; los investigadores tuvieron como principal objetivo, Usar un programa computacional desarrollado en Matlab (Gtierras) que implementa un modelo de base electromagnética, para determinar la impedancia de puesta a tierra de configuraciones arbitrarias y su comportamiento ante excitaciones tipo impulso. Impedancia, corrientes y voltajes u otras variables eléctricas de sistemas de puesta a tierra se pueden presentar en el dominio de la frecuencia o del tiempo usando la transformada rápida de Fourier, **(5)** las principales conclusiones son:

1. Varios componentes para un correcto análisis del comportamiento transitorio de PAT han sido presentados: dependencia de los parámetros del suelo con la frecuencia; acoples inductivos, capacitivos y conductivos; atenuación a lo largo de los electrodos. **(5)**
2. Un apropiado método para tener en cuenta todos estos componentes ha sido propuesto con resultados de un programa computacional que implementa este método han sido mostrados. **(5)**
3. El análisis de la impedancia de PAT entre frecuencias de 102 y 106 Hz ha mostrado que algunos comportamientos común y correctamente aceptados

en baja frecuencia, como la reducción de la impedancia con incrementos de la longitud de los electrodos o la mayor efectividad de los verticales que de los horizontales, deben ser considerados con cautela cuando eventos de alta frecuencia están involucrados, ya que a estas frecuencias corresponden altas impedancias para grandes longitudes, debido a efectos inductivos, y bajas impedancias cuando se presentan perpendicularidades que anulan este efecto. (5)

2.1.2 Tesis

- **Nacionales**

En la tesis titulada “***Criterios de diseño de puestas a tierra para equipos biomédicos de alta sensibilidad en el Hospital Regional Docente Clínico Quirúrgico Daniel A. Carrión de Huancayo***” de la Universidad Continental de Huancayo, Perú; el investigador tuvo como principal objetivo determinar la influencia de los criterios de diseño de puesta a tierra en equipos de alta sensibilidad en el Hospital Regional Docente Clínico Quirúrgico Daniel A. Carrión de Huancayo, (6) las principales conclusiones son:

1. El estudio correlacional permitió confirmar una correlación positiva media $r=0.724$ el nuevo criterio de puesta a tierra, esta puesta a tierra obtenida es para el equipo de alta sensibilidad de la resonancia magnética que cuenta el Hospital Regional Docente Clínico Quirúrgico Daniel A. Carrión de Huancayo, lo que nos indica que a mejor criterio de diseño de puesta a tierra es mejor el rendimiento de los equipos de alta sensibilidad. (6)
2. Respecto al diseño de puesta a tierra que en el Hospital Regional Docente Clínico Quirúrgico Daniel A. Carrión de Huancayo efectivizó el funcionamiento de los equipos de alta sensibilidad, para la operatividad de este equipo de resonancia magnética sus costos son elevados en el mantenimiento y confección, para poder obtener una resistencia menor o igual a 2 Ohmios se construyó cuatro puestas a tierra conectadas en paralelo cuyo costo es de S/ 14,400.00 soles. (6)

En la tesis titulada: “***Mejoramiento de puesta a tierra en la subestación de transformación de la compañía minera Quiruvilca S. A., Santiago de Chuco, La Libertad***” de la Universidad Cesar Vallejo de Trujillo, Perú; el investigador

tuvo como principal objetivo aplicar una metodología existente que permita dimensionar y seleccionar los componentes de una técnica de protección de puesta a tierra, según norma para las subestaciones de transformación en la compañía minera Quiruvilca, **(7)** las principales conclusiones son:

1. Con el estudio de las mallas a tierra es necesario mejorar las técnicas de puestas a tierra de la unidad minera con el cálculo y aplicando los contrapesos se llegaría a los $R= 8.73\Omega$. **(7)**
2. Para el proyecto de una subestación, no se debe dejar a un lado el conocimiento teórico de todas las ramas de estudio ya que es ahí donde se dan las mejores decisiones en cuanto a diseños o análisis se refiere, esta clase de conocimiento no se adquiere de un programa computacional, por lo tanto, siempre será recomendable dominar la teoría del diseño de la puesta a tierra, para resolver los problemas que nos presente el campo laboral. **(7)**

En la tesis titulada: **“La optimización de los métodos para el diseño de un sistema de puesta a tierra en la línea de transmisión de 60 kV – explorador”** de la Universidad Nacional del Centro del Perú de Huancayo, Perú; el investigador tuvo como principal objetivo optimizar los métodos para el diseño de un sistema de puesta a tierra en la línea de transmisión 60 kV explorador, que sea económico y que cumpla con las normas que exige el código nacional de electricidad, **(8)** las principales conclusiones son:

1. Para mejorar la resistencia del sistema de puesta a tierra en una línea de transmisión de 60 kV suelen instalarse contrapesos horizontales paralelos al eje de la línea, debido a su rápida instalación respecto a los pozos de puesta a tierra con varilla, usados en baja tensión. **(8)**
2. El estudio del comportamiento del suelo, de cada estructura, como conductor eléctrico a partir de su valor de resistividad, permitirá realizar los respectivos cálculos de dimensionamiento del sistema de puesta a tierra. **(8)**

En la tesis titulada: **“Valores permisibles de resistencias de puestas a tierra de protección en redes eléctricas”** de la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú; el investigador tuvo como principal objetivo proporcionar ante todo seguridad humana y que la puesta a tierra esté operativa durante

muchos años, el costo queda relegado a un segundo plano, **(9)** las principales conclusiones son:

1. Para garantizar una adecuada calidad de puestas a tierras de protección en los sistemas eléctricos es importante tener en cuenta las Normas Internacionales y el Código Nacional de Electricidad. **(9)**
2. El análisis del comportamiento de los valores de la puesta a tierra en un sistema eléctrico confirma la dependencia que tiene su magnitud en función de la resistividad del terreno donde será instalada. **(9)**

- **Internacionales**

En la tesis titulada “**Diagnóstico y mejoramiento de puesta a tierra en los primarios de distribución de la empresa eléctrica Ambato S. A. en la zona de concesión de la provincia de Tungurahua para que opere el sistema eléctrico con buena calidad de energía**” de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador; el investigador tuvo como principal objetivo realizar un estudio del sistema de puesta a tierra, de la red eléctrica actual y establecer los criterios para el dimensionamiento de las puestas a tierra en las líneas y redes primarias de la empresa eléctrica Ambato S. A., **(10)** las principales conclusiones son:

1. La resistividad del terreno es un factor importante en la resistencia de dispersión, de ahí que altos valores de resistividad obligan a realizar tratamientos químicos que disminuyan su valor. **(10)**
2. El procedimiento llevado a cabo en el presente trabajo puede ser replicado en todos los alimentadores de la EEASA y en cualquier sistema de distribución en general. **(10)**
3. En los recorridos se pudo determinar que el 90% de los sistemas de puesta a tierra se encuentran sin conexión o en malas condiciones. **(10)**

En la tesis titulada “**Equipo de puesta a tierra para líneas de transmisión**” del Instituto Politécnico Nacional, México D. F., el investigador tuvo como principal objetivo identificar la implementación de la puesta a tierra, para analizar la confiabilidad de las líneas de transmisión desde el punto de vista de salidas de líneas debidas principalmente a descargas atmosféricas, instalando equipo

de puesta a tierra para obtener un mejor comportamiento, **(11)** las principales conclusiones son:

1. El equipo de puesta a tierra para líneas de transmisión es una parte del sistema eléctrico de potencia muy importante, está compuesto de cuatro elementos que son apartarrayos, aisladores, herrajes e hilos de guarda. **(11)**
2. El conjunto de estos equipos hace un buen sistema de puesta a tierra, ya que en nuestro país existen líneas de transmisión muy importantes que no solo se usan nacionalmente, también son para la venta de energía eléctrica al extranjero, por eso este trabajo es de suma importancia para la protección de lo que mueve al mundo, la energía eléctrica. **(11)**

En la tesis titulada ***“Manual de aplicación de la norma IEEE Std 81 para líneas y subestaciones eléctricas de transmisión”*** de la Universidad de El Salvador, San Salvador; el investigador tuvo como principal objetivo construir un manual en el cual se describan las diferentes fases para la medición de resistencia de PAT e impedancia de la red de tierra, asimismo poder medir la resistividad aparente del suelo y los potenciales de líneas de transmisión y subestaciones eléctricas de potencia aplicando la norma IEEE Std 81, **(12)** las principales conclusiones son:

1. El manual creado para las mediciones de los parámetros de tierras basado en normas internacionales se ha contrastado con la práctica y se han obtenido los resultados que se esperaban o muy similares con un error aceptable. Este trabajo puede ser utilizado como una guía por los técnicos o ingenieros de mantenimiento en la medición de resistencia de PAT y potenciales superficiales o por el ingeniero diseñador de redes de tierra para obtener el valor de resistividad de suelo adecuado. **(12)**
2. Los estudios de resistividad de suelo para diseño de redes de puesta a tierra comúnmente se realizan a una profundidad mayor a la longitud de las barras previstas a colocar en la malla, esto se debe a que no se puede suponer que el suelo es homogéneo con solo obtener mediciones superficiales, como se vio en el apartado de estudios de casos, los terrenos pueden mostrar cambios abruptos en cuestión de uno o dos metros de diferencia significando presencia de diferentes tipos de material. **(12)**

En la tesis titulada “**Sistemas de tierra en líneas de transmisión**” de la Universidad Veracruzana, Xalapa Enríquez, México; el investigador tuvo como principal objetivo, establecer en el lector, bases de fácil entendimiento para comprender el origen de una falla, su comportamiento en la línea, la función del cable de guarda y el drenado de una corriente indeseada a tierra, **(13)** las principales conclusiones son:

1. En esta tesis se ha justificado la necesidad de establecer una red de tierra como protección eléctrica a una línea de transmisión, se ha podido apreciar cómo las descargas atmosféricas son un factor que se debe considerar en el momento de diseñar una transmisión mediante líneas y comprender la importancia del cable de guarda. **(13)**
2. Se han establecido métodos para obtener datos que permitirán el diseño de una red de tierra y se puede afirmar que cada método es preciso en ciertas condiciones, cada método presenta variables dependiendo de las variantes bajo las cuales se trabaje, pero cada una de ellas está fundamentada en conceptos de la Ingeniería Eléctrica. **(13)**

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Sistemas de aterramiento eléctrico

2.2.1.1 Sistemas de puesta a tierra

Un sistema de puesta a tierra (SPAT) es aquella instalación eléctrica que tiene como misión fundamental derivar corrientes de falla hacia tierra y así establecer un contacto con la misma; en tal sentido las corrientes involucradas en una descarga atmosférica pueden ser de naturaleza estacionaria o casi estacionaria, de alta frecuencia o electromagnética en forma de impulsos, dichas corrientes que pueden ser originadas durante el funcionamiento de un sistema técnico el cual puede ser hecho por el hombre o causado por un fenómeno natural. Por otra parte, se demuestra que un sistema de puesta a tierra más elemental satisface los requisitos para considerársele sistema; por lo tanto, se establece que es una instalación de puesta a tierra. **(8)**

2.2.1.2 Componentes básicos de un sistema de puesta a tierra

Como diferentes componentes básicos de un sistema de puesta a tierra comprenden partes básicas, entre ellas se pueden apreciar dos grandes bloques

denotados de la siguiente manera: el sistema de aterramiento, el cual se da bajo el nivel del suelo (enterrado) y por otro lado los que se dan sobre el suelo como son los cableados o red equipotencial (sobre el nivel del terreno).

- Electrodo de puesta a tierra
 - ✓ Varilla de cobre
 - ✓ Tubo de cobre
 - ✓ Placa de cobre

- Conductor desnudo de cobre (contrapeso horizontal)
- Barra aislada (barra a tierra)
- Barraje equipotencial
- Conductor a tierra (pozo a barra o tablero)
- Terminal de cobre estañado
- Conductores de puesta a tierra (tablero a puntos)
- Puente de conexión equipotencial principal
- Caja de registro
- Tomacorriente con polo a tierra
- Materiales para tratamiento de terreno
 - ✓ Bentonita sódica
 - ✓ Sal vegetal
 - ✓ Cemento conductor
 - ✓ Thor gel

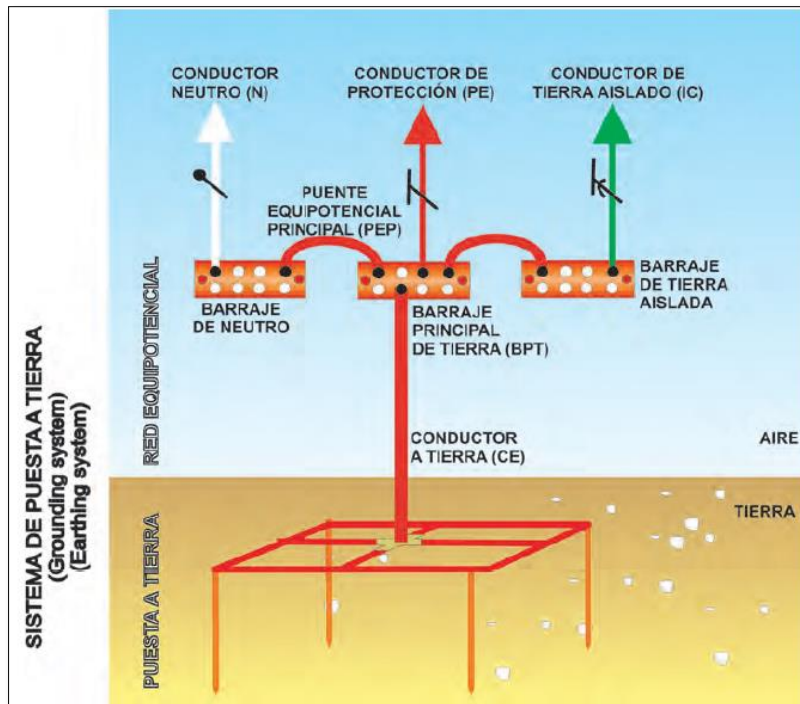


Figura 4. Componentes de un sistema de aterramiento eléctrico
Tomada de Tierras soporte de la seguridad eléctrica, p. 42

2.2.1.3 Funciones básica de los sistemas de puesta a tierra

La principal función de un sistema de PAT, en una determinada instalación eléctrica, es desviar intensidades de corriente de falla producidas por cualquier tipo de naturaleza, las cuales pueden ser por ejemplo de baja frecuencia industrial, de alta frecuencia producida por descargas atmosféricas o pueden darse en muchos casos de carácter pulsional. Así mismo una instalación de PAT es muy importante ya que cubre primordialmente los siguientes objetivos:

- Procurar la seguridad de las personas.
- Minimizar el daño al equipamiento.
- Incrementar la estabilidad del sistema.
- Protección a las instalaciones.
- Mejora de la calidad de servicio.
- Establecimiento y permanencia de un potencial de referencia.

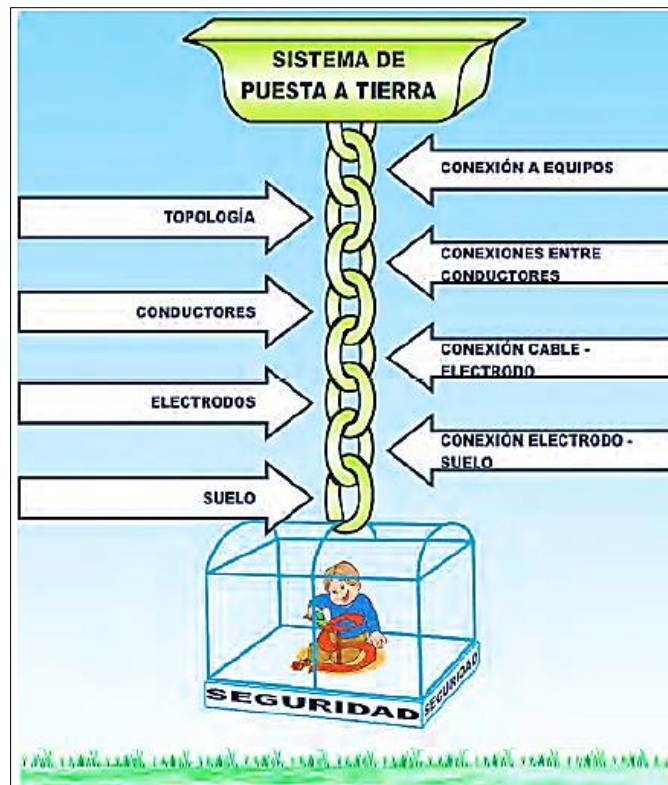


Figura 5. Importancia del sistema de aterramiento eléctrico.
Tomada de Tierras soporte de la seguridad eléctrica, p. 24

a. Corrientes de carga o de falla que circulan hacia tierra

Proveyendo el potencial de referencia ($V=0$) en los puntos neutros y en las masas que se le conectan a tierra, de modo que durante la operación normal o durante fallas, indistintamente del fenómeno y del nivel de tensión en el que pueda ocurrir, se asegure **(14)**:

- La protección de las personas se dará contra la energización accidental de las masas, ya sea por una acumulación de carga estática, por fuga o por falla directa o indirecta, asegurando que desde el punto de contacto circule por el cuerpo una mínima corriente a tierra.
- El correcto funcionamiento del propio sistema con sus auxiliares y de los subsistemas periféricos de protección, control, comunicaciones, automatismos, flujo y procesamiento de datos, así como de todas las cargas menores conectadas a ellos.

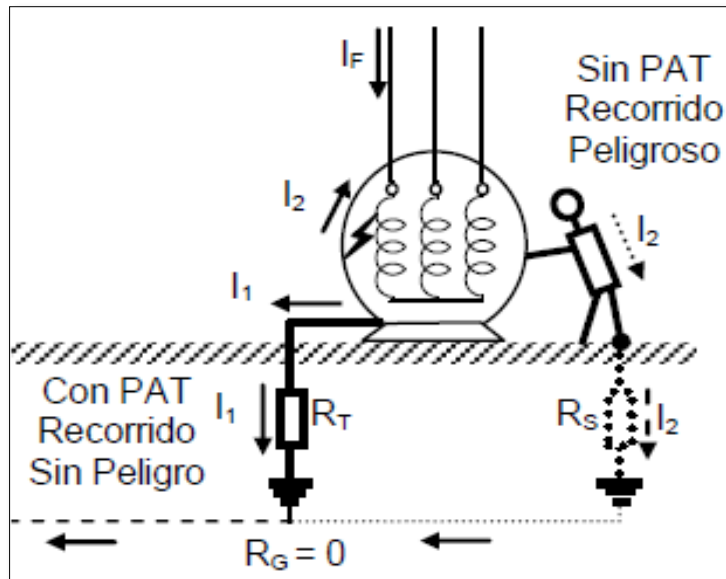


Figura 6. Control de las corrientes de carga o de falla que circulan hacia tierra
Tomada de Alta tensión y técnicas de pruebas de laboratorio, p. 48

b. Derivar a tierra corrientes y cerrar circuitos

Dispersando o concentrando por el suelo con mínima impedancia (resistencia), la carga adquirida y las corrientes del sistema eléctrico tanto permanentes como ocasionales, que forman el circuito, facilitando el funcionamiento de la protección; estas corrientes son **(14)**:

- Elevadas y ocasionales; fallas a tierra (FI) e impulsionales de rayo y maniobra (HF)
- Moderadas variables, desbalance de carga, procesos continuos, inducción, armónicas.
- Bajas permanentes de carga inducida, fuga en aislamientos, fuente externa, erráticas.

c. Servir de base al sistema equipotencial de referencia

Cuando las instalaciones eléctricas, electromecánicas o mecánicas pueden ser afectadas por descargas atmosféricas directas o indirectas, en cuyo caso se conforman y enlazan los siguientes circuitos equipotenciales **(14)**:

- De electrodos enterrados; del PAT convencional, del anillo perimétrico de PAT para descargas atmosféricas, aquellos que están embutidos en el concreto, otros de la periferia próxima y los previstos para retorno metálico de corrientes de falla.

- De electrodos de superficie; del PAT de servicio recorrido aéreo, de las bajadas a tierra de protección y servicio de subsistemas de BT, de los armados del concreto; de tuberías de agua, desagüe, drenaje (excepto combustibles), ductos de aire acondicionado.

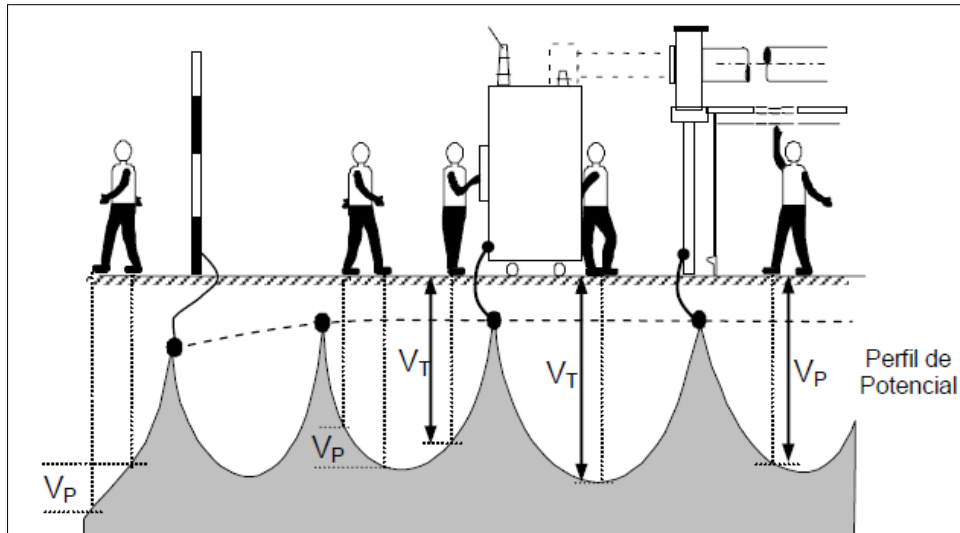


Figura 7. Potenciales en el suelo de estaciones de transformación.
Tomada de Alta tensión y técnicas de pruebas de laboratorio, p. 49

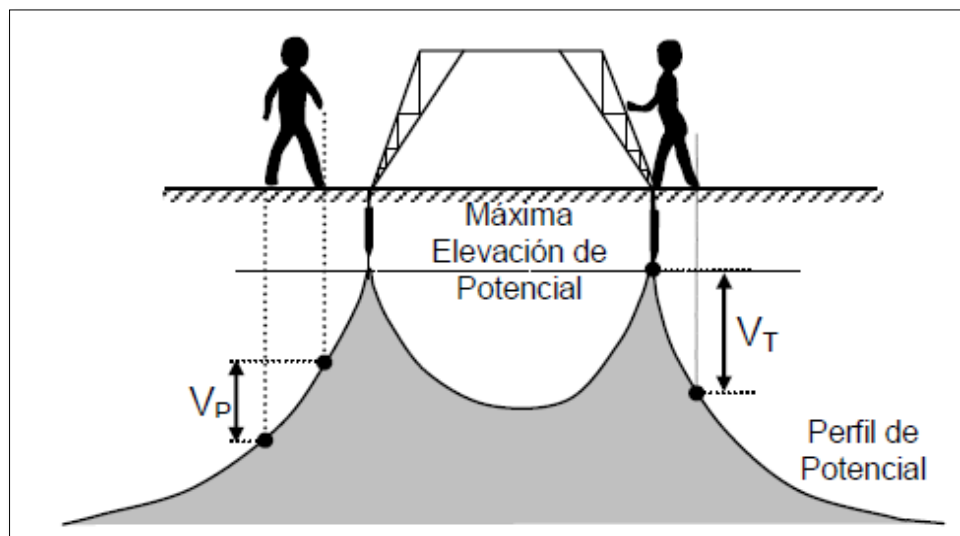


Figura 8. Potenciales en el suelo de líneas eléctricas.
Tomada de Alta tensión y técnicas de pruebas de laboratorio, p. 49

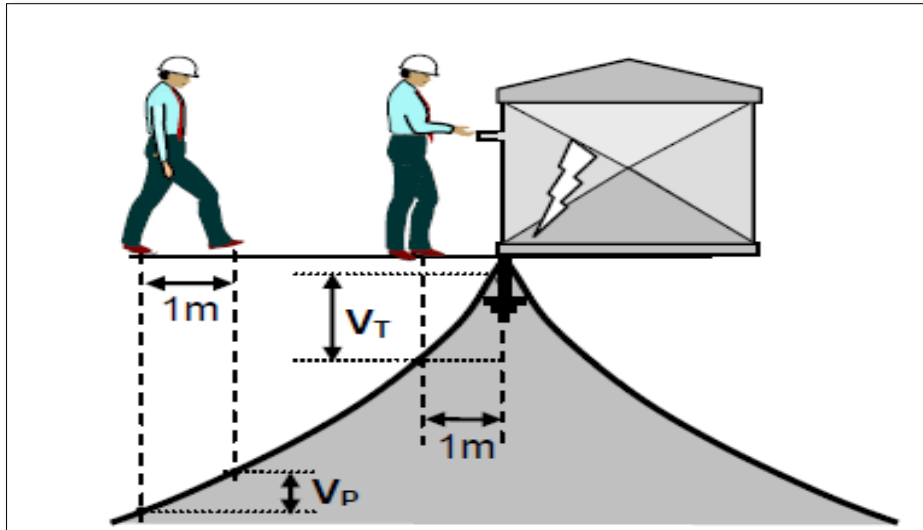


Figura 9. Potenciales en el suelo de S.E. MT/BT.
Tomada de Alta tensión y técnicas de pruebas de laboratorio, p. 49

2.2.2 Sistemas de aterramiento en líneas de transmisión

2.2.2.1 Sistemas de aterramiento para líneas de transmisión

En los casos muy específicos como son las de líneas de transmisión de energía eléctrica de diferentes niveles de tensión media, alta y super alta, los sistemas de puesta a tierra estarán por lo general comprendidos por cables de guarda (cables de guardia), estructuras de soporte (torres) y los cables que dependerán del sistema de potencia, conexiones, aisladores, descargadores y como SPAT estarán conformados por electrodos (verticales, mallas, anillos, etc.), o de ser el caso contrapesos horizontales que se encontrarán enterrados a una profundidad mínima al pie de la torre. Sin embargo, las bases de la estructura de las líneas de transmisión están ancladas directamente a tierra y sirven como medio de conexión de los SPAT, pero no están considerados como sistemas de puesta a tierra.

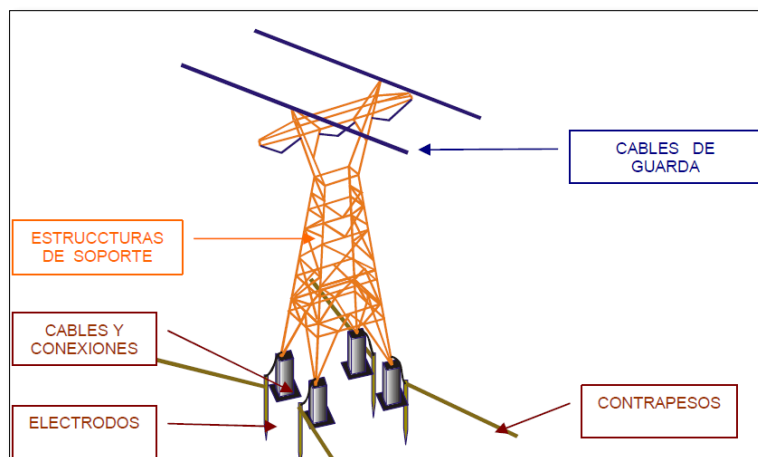


Figura 10. Configuración de sistema de puesta a tierra en líneas de transmisión. Tomada de Propuesta de procedimiento para la medición de la resistividad del suelo y la resistencia de puesta a tierra en líneas de transmisión, p. 21

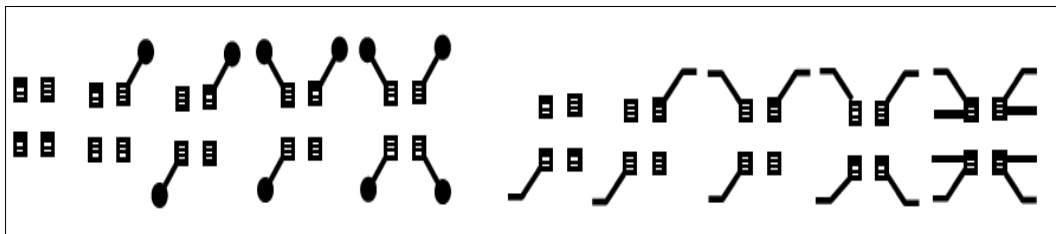
El enlace de los accesorios metálicos que sostienen el aislamiento forma de neutro ficticio ($\Sigma I_f=0$) que se debe conectar a tierra en cada soporte de líneas de alta tensión (AT) o de media tensión (MT) industrial o urbana; en líneas rurales por lo menos dos veces por kilómetro y en tramos proclives a fallas por rayo. **(14)**

- Las puestas a tierra de líneas de transmisión son de referencia de potencial, salvo que se requiera el control de los potenciales (cruces de pistas, carreteras, caminos, ríos, zonas habitadas).
- La finalidad de la conexión a tierra es asegurar el correcto funcionamiento de la protección en el extremo emisor (fuente), en caso de fallas del aislamiento en media línea.
- La corriente de falla se dispersa por la PAT y retorna por el suelo a la fuente en la SE, por el neutro conectado a la PAT, o a los conductores, por las capacitancias parásitas.
- La conexión del cable de guarda a una PAT de baja impedancia y mínima resistencia permite la evacuación de la energía con mínima onda reflejada y menor posibilidad de falla.
- La PAT en los soportes de líneas debe tener en lo posible una mediana resistencia de dispersión, el reglamento (CNE) establece ($R \leq 25 \text{ Ohm}$) medido en baja frecuencia o alta frecuencia.
- Los suelos de roca no trabajable, (pizarras, fracturadas, fragmentadas, monolíticas), impiden lograr PAT de medianas resistencias ($R \leq 25 \text{ Ohm}$), se debe mejorar o proteger el aislamiento.

- Al no tener PAT o siendo alta su resistencia, la falla ocurrirá con baja corriente, siempre a través de un arco eléctrico y no será detectada por la protección de sobre corriente, luego:
 - ✓ Puede establecerse el funcionamiento de una falla con arco intermitente (se transmiten por los conductores hacia las SE y deterioran los aislamientos).
 - ✓ Puede mantenerse la falla con arco hasta la rotura y caída del conductor por fusión (ello justifica en parte la necesidad de contar con relés de protección de distancia).
 - ✓ Puede perforarse el aislamiento por rayo y crear un espectro de tensiones en la base (en líneas de MT. dichos potenciales en el suelo pueden alcanzar niveles de kilovoltios).

2.2.2.2 Electrodo de puesta a tierra y sus armados

Son conductores desnudos simples o armados, pueden ser de sección cableada o sólida y de un metal resistente al ataque corrosivo del suelo y dimensiones según la previsión de su desempeño; para conectarse a ellos se utilizan segmentos de conductor (mechas). (14)



*Figura 11. Electrodo de puesta a tierra y sus armados.
Tomada de Alta tensión y técnicas de pruebas de laboratorio, p.101*

2.2.2.3 Expresión de la resistencia de dispersión o resistencia a tierra

Las expresiones de cálculo se deducen a partir de la geometría del electrodo y para todos los casos la resistencia a tierra (R_T) se define por la ley de Ohm, es decir la resistencia entre un punto cualquiera del armado y un punto remoto del suelo que tiene potencial cero. (14)

a. Bases para el cálculo de la resistencia de dispersión

Se basa en el paso de líneas de corriente en el suelo, desde una carga puntual hacia el infinito de potencial cero; para electrodos horizontales o verticales se

asume suelo de resistividad homogénea (ρ) o equivalente (ρ_{eq}) y una corriente (I) a dispersar. **(14)**

- Se establece el potencial (V_p) en un punto (P_x) de la superficie del suelo.
- Se establece el potencial (V_e) en la superficie del propio electrodo enterrado.
- Se aplica la ley de Ohm y con la (I) se despeja la resistencia (R) de dispersión.
- Con las expresiones obtenidas y datos confiables de resistividad (ρ_{eq}), se calculan valores aproximados de la resistencia a tierra, con errores aceptables (<15%).

b. Adecuación del modelo analítico a la configuración física real

El modelo clásico utilizado para todo tipo de electrodos y armados no considera los efectos de la excavación, del tratamiento ni del relleno aplicados a la instalación, ello explica las grandes diferencias entre las resistencias calculadas y obtenidas en obra. **(14)**

La instalación enterrada en el suelo, de un electrodo de PAT, origina cambios en la resistividad del suelo natural, su resistencia a tierra (R_T), según la expresión:

$$R_T = R_m + R_r + R_d$$

Donde:

- **R_m :** resistencia propia del metal del electrodo ($R_m \approx 0$) para electrodos puntuales simples, pero de valor significativo para grandes electrodos o redes de PAT.
- **R_r :** resistencia propia del relleno conductivo en la zanja o el pozo, que depende de la resistividad del material utilizado (ρ_r), que será bajo (<25 Ω .m).
- **R_d :** resistencia de dispersión del conjunto instalado electrodo-relleno, depende del perfil de resistividades y del tratamiento local que recibe el suelo.

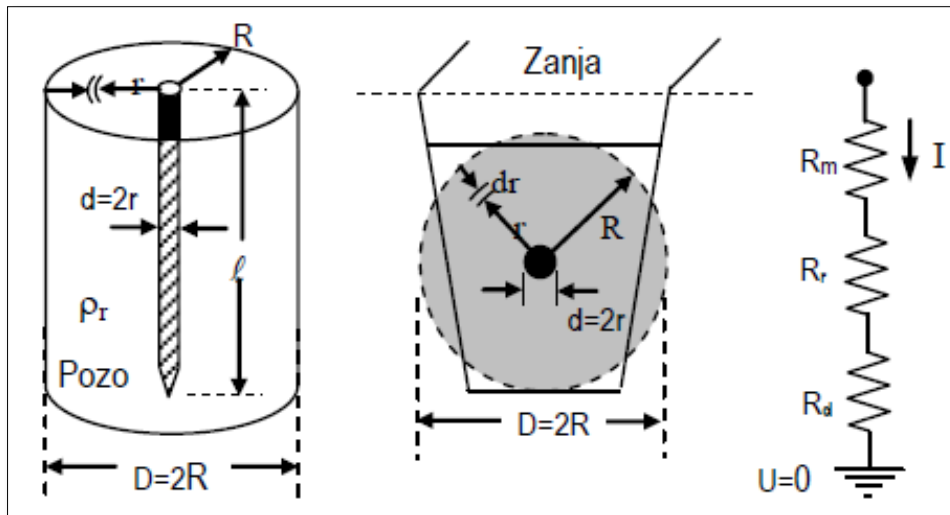


Figura 12. Adecuación del modelo analítico a la configuración física real.
Tomada de Alta tensión y técnicas de pruebas de laboratorio, p. 93

2.2.2.4 Expresiones para el diseño de puestas a tierra puntuales

La resistencia a tierra (R_T) no considera la perturbación del suelo ni el uso de tratamientos ni rellenos que inciden en la disminución de dicho parámetro, el factor de tratamiento común es: $m \geq 3$. (14)

a. Resistencia (Ω) de electrodos verticales únicos o espaciados

a1. Varillas al nivel del suelo con ($\square \gg d$), $d=2a$

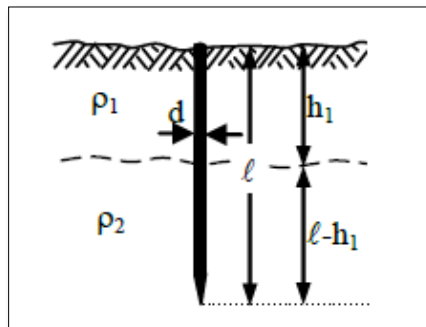


Figura 13. Varilla única a nivel del suelo.
Tomada de Alta tensión y técnicas de pruebas de laboratorio, p. 95

Donde su fórmula matemática está dada por:

$$\text{Una varilla Clavada: } R_1 = \frac{\rho_{eq}}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}$$

$$\text{Una varilla Clavada: } R_1 = \frac{\rho_{eq}}{2\pi l} \left[\ln \left(\frac{4l}{a} \right) - 1 \right]$$

- Resistividad equivalente de suelo (ρ_{eq}): $\rho_1\rho_2$ en ($\Omega.m$)
- Distancia entre 2 o más varillas clavadas: ($1.5\text{ m} < l < 2.5\text{ m}$)

a2. Varillas dispuestas en línea recta

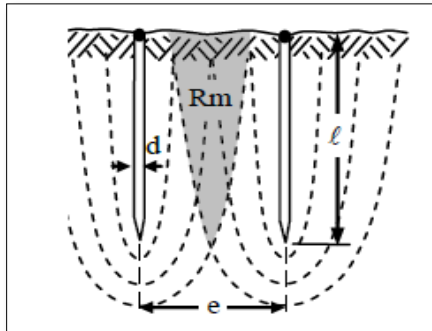


Figura 14. Varillas dispuestas en línea recta.
Tomada de Alta tensión y técnicas de pruebas de laboratorio, p. 95

Donde su fórmula matemática está dada por:

Dos Varillas clavadas: $R_2 = R_1 \left(\frac{1 + \alpha}{2} \right)$

Tres Varillas clavadas: $R_3 = R_1 \left(\frac{2 + \alpha - 4\alpha^2}{6 - 7\alpha} \right)$

Cuatro Varillas clavadas: $R_4 = R_1 \left(\frac{12 + 16\alpha - 23\alpha^2}{48 - 40\alpha} \right)$

- Conectadas con un conductor aislado enterrado
- Si el conductor es desnudo, su (R) se considera en paralelo
- Distancia entre varillas clavadas: ($l+d \leq e \leq 2l+d$)
- Distancia entre varillas en pozo: ($1.5l+D < e < 2l+D$)

a3. Varillas dispuestas en anillo de diámetro (D)

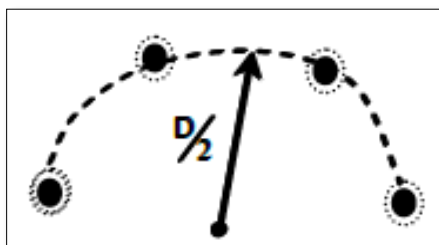


Figura 15. Varillas dispuestas en anillo.
Tomada de Alta tensión y técnicas de pruebas de laboratorio, p. 95

Donde su fórmula matemática está dada por:

$$R_N = \frac{\rho}{2\pi\ell N} \left[\text{Ln} \frac{4\ell}{d} - 1 + \frac{\ell}{D} \sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{\text{Sen}(\pi i/N)} \right]$$

Donde:

- R_N : es la resistencia de puesta a tierra en anillo en Ω
- ρ : resistividad equivalente, del suelo en Ohm-m
- ℓ : longitud del conductor horizontal (electrodo) en m
- D : diámetro de excavación de pozo de electrodo vertical en m

b. Electrodo horizontales o contrapesos a profundidad (H)

La conexión se hace en el punto negro; si es corriente de FI la longitud (L) no tiene límite, para corrientes HF de rayo depende de la altura del soporte y de la resistividad del suelo; para altura (<25 m), la longitud podrá ser (3 m<L>25 m), y para (>25 m) entre (25 m<L>40 m). (14)

b1. Conductor o cinta sobre la superficie del suelo

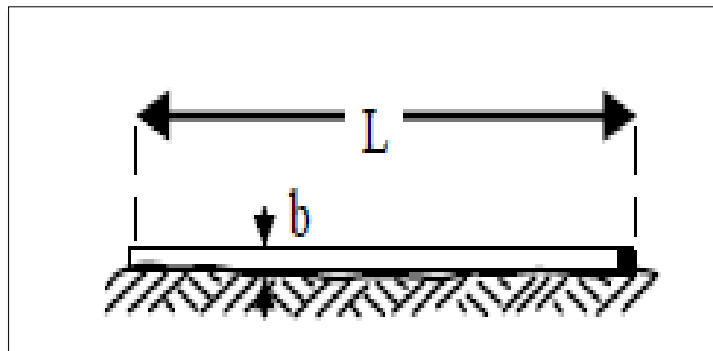


Figura 16. Conductor sobre superficie del suelo.
Tomada de Alta tensión y técnicas de pruebas de laboratorio, p. 96

Donde su fórmula matemática está dada por:

$$R = \frac{\rho}{\pi L} \text{Ln} \frac{2L}{1,36b}$$

Donde:

- R : es la resistencia de puesta a tierra en Ω
- ρ : resistividad equivalente del suelo en Ohm-m
- L : longitud del conductor horizontal (electrodo) en m

- b : diámetro del conductor horizontal (electrodo) en m

b2. Conductor enterrado a profundidad (H)

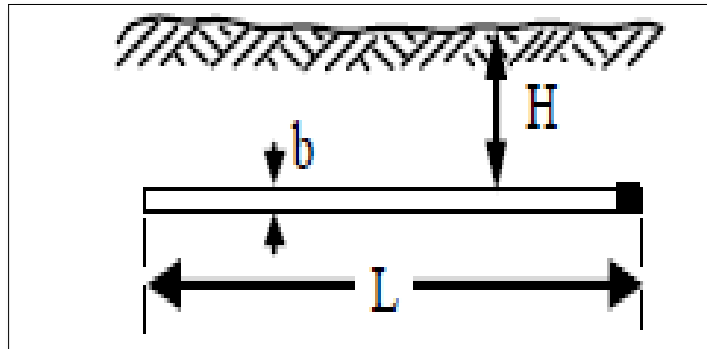


Figura 17. Conductor enterrado a profundidad.
Tomada de Alta tensión y técnicas de pruebas de laboratorio, p. 96

Donde su fórmula matemática está dada por:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{L^2}{1.85 H b}$$

Donde:

- R : es la resistencia de puesta a tierra en Ω
- ρ : resistividad equivalente del suelo en Ohm-m
- L : longitud del conductor horizontal (electrodo) en m
- H : profundidad de enterramiento del conductor horizontal en m
- b : diámetro del conductor horizontal (electrodo) en m

c. Electrodo horizontales segmentados de longitud total (L)

Se les instala en forma radial desde el pie de cada soporte o pata de las estructuras de líneas eléctricas, como una PAT para dispersar corrientes de rayo.

(14)

c1. Tres ramales radiales que totalizan (L)

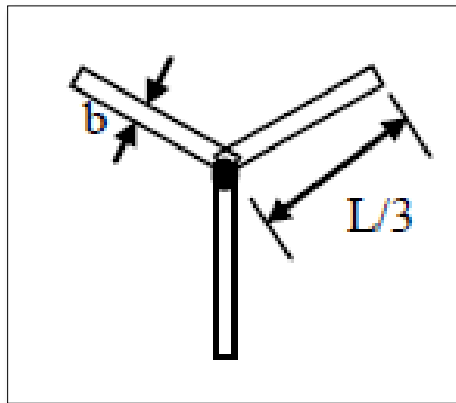


Figura 18. Tres ramales radiales que totalizan.
Tomada de Alta tensión y técnicas de pruebas de laboratorio, p. 97

Donde su fórmula matemática está dada por:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{L^2}{0.767 H b}$$

Donde:

- R : es la resistencia de puesta a tierra en Ω
- ρ : resistividad equivalente, del suelo en Ohm-m
- L : longitud del conductor horizontal (electrodo) en m
- H : profundidad de enterramiento del conductor horizontal en m
- b : diámetro del conductor horizontal (electrodo) en m

c2. Cuatro ramales radiales que totalizan (L)

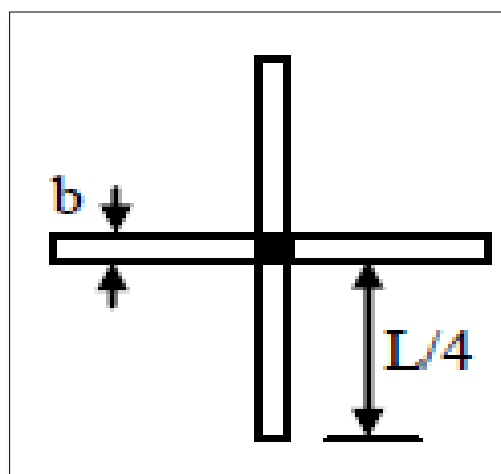


Figura 19. Cuatro ramales radiales que totalizan.
Tomada de Alta tensión y técnicas de pruebas de laboratorio, p. 97

Donde su fórmula matemática está dada por:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \text{Ln} \frac{L^2}{0.217 H b}$$

Donde:

- R : es la resistencia de puesta a tierra en Ω
- ρ : resistividad equivalente del suelo en Ohm-m
- L : longitud del conductor horizontal (electrodo) en m
- H : profundidad de enterramiento del conductor horizontal en m
- b : diámetro del conductor horizontal (electrodo) en m

c3. (N) Ramales radiales que totalizan (L)

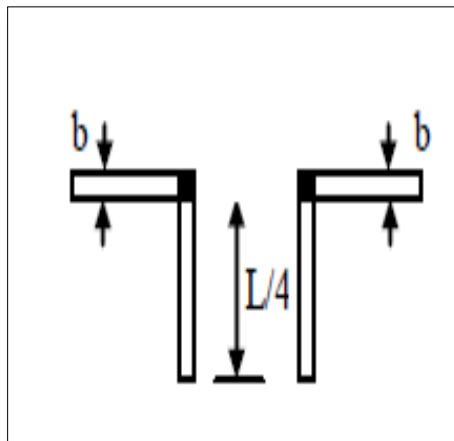


Figura 20. N - ramales radiales que totalizan.
 Tomada de *Alta tensión y técnicas de pruebas de laboratorio*, p. 97

Donde su fórmula matemática está dada por:

$$R = \frac{\rho}{\pi L} \left[\text{Ln} \frac{2L}{\sqrt{bH}} - 1 + \sum_{i=1}^{n-1} \text{Ln} \frac{1 + \text{Sen}(\pi i/n)}{\text{Sen}(\pi i/n)} \right]$$

Donde:

- R : es la resistencia de puesta a tierra en Ω
- ρ : resistividad equivalente del suelo en Ohm-m
- L : longitud del conductor horizontal (electrodo) en m
- H : profundidad de enterramiento del conductor horizontal en m
- b : diámetro del conductor horizontal (electrodo) en m

d. Electrodo horizontales en trayectoria cerrada

Se diseñan como electrodos de PAT puntual, siendo armados concentrados (no amplios) cumplen por naturaleza con el control de potenciales en el suelo, tienen forma de anillos únicos o concéntricos, cuadrángulos únicos y/o en paralelo con electrodos verticales PAT de líneas eléctricas. (14)

d1. Configuración cuadrangular

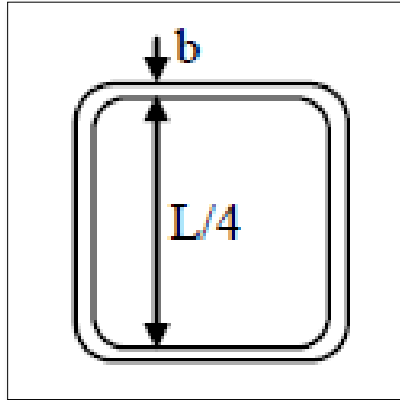


Figura 21. Configuración cuadrangular.
Tomada de Alta tensión y técnicas de pruebas de laboratorio, p. 97

Donde su fórmula matemática está dada por:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{1.621L^2}{bH}, \quad (L^2 \gg 4H^2)$$

Donde:

- R : es la resistencia de puesta a tierra en Ω
- ρ : resistividad equivalente del suelo en Ohm-m
- L : longitud del conductor horizontal (electrodo) en m
- H : profundidad de enterramiento del conductor horizontal en m
- b : diámetro del conductor horizontal (electrodo) en m

d2. Configuración en anillo

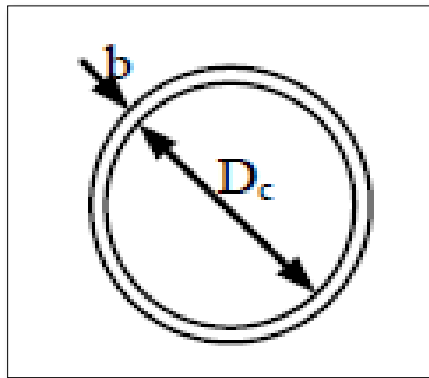


Figura 22. Configuración tipo anillo.
Tomada de Alta tensión y técnicas de pruebas de laboratorio, p. 97

Donde su fórmula matemática está dada por:

$$R = \frac{\rho}{\pi L} \ln \frac{1.27 L}{a'} \quad , \quad (L = \pi D_c \quad , \quad a' = \sqrt{bH})$$

Donde:

- R : es la resistencia de puesta a tierra en Ω
- ρ : resistividad equivalente del suelo en Ohm-m
- L : longitud del conductor horizontal (electrodo) en m
- D_c : diámetro del electrodo en forma de anillo en m
- H : profundidad de enterramiento del conductor horizontal en m
- b : diámetro del conductor horizontal (electrodo) en m
- a' : radio (d/2) del electrodo vertical (varilla) en m

d3. Configuración en pequeña red

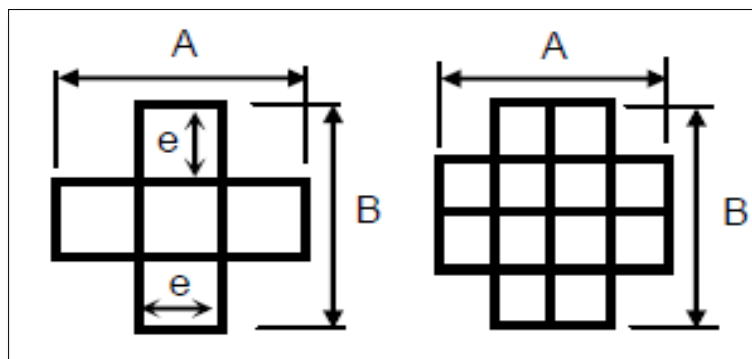


Figura 23. Configuración en pequeña red.
Tomada de Alta tensión y técnicas de pruebas de laboratorio, p. 97

Donde su fórmula matemática está dada por:

$$R = \frac{\rho}{2A} + \frac{\rho}{L} \quad , \quad \text{para } A = B$$

$$R = \frac{\rho}{L} + 0.443 \frac{\rho}{\sqrt{AB}} \quad , \quad \text{para } A \neq B$$

Donde:

- R : es la resistencia de puesta a tierra en Ω
- ρ : es la resistividad aparente del suelo en $\Omega\text{-m}$
- L : longitud del conductor en m
- A : es la distancia entre las mayas adyacentes de largo en m
- B : es la distancia entre las mayas adyacentes de ancho en m

2.2.2.5 Descargas atmosféricas y protección

La Tierra puede ser considerada como un gran electrodo con carga negativa (-) frente a las capas próximas de la Ionósfera (10 a 30 km) y de las más lejanas electrósfera (30 a 50 km), que la circundan con carga positiva (+), formando entre ambas un dipolo permanente con campo eléctrico propio, siendo la atmósfera el medio dieléctrico donde hay cargas libres y se forman centros de carga y nubes, como si se tratase de un tubo de descarga. **(14)**

a. Procesos naturales de carga y descarga estática localizadas

La D. D. P. promedio tierra-ionósfera, se estima en 360 kV con una corriente de pérdidas constantes de ($3\mu\text{A}/\text{km}^2$), que hacen un total de 1800A a través del aire, según ello deben ocurrir fenómenos de restauración natural del equilibrio eléctrico de cargas. **(14)**

Con la variación de las condiciones atmosféricas locales creados por el sol, el espacio entre el dipolo cambia de estado y se producen corrientes de aire y formación de nubes. **(14)**

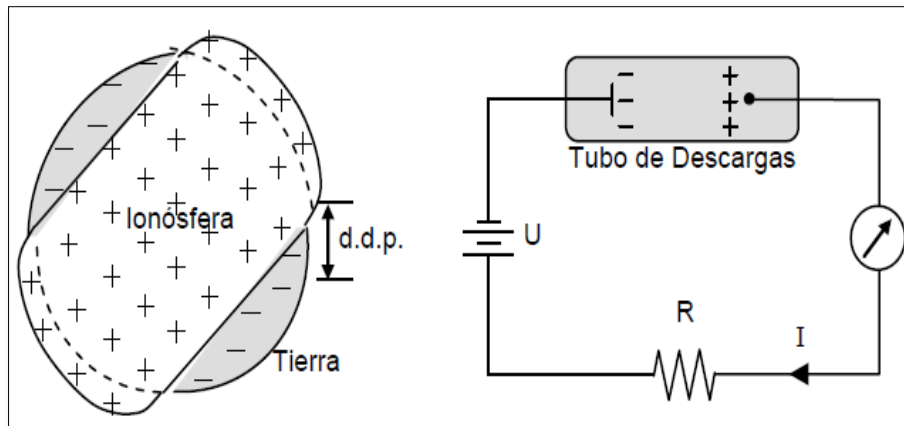


Figura 24. Proceso de carga y descarga estática.
Tomada de Alta tensión y técnicas de pruebas de laboratorio, p. 125

En presencia de nubes con centros de carga o de turbulencia atmosférica aérea seca o húmeda, pueden ocurrir fenómenos de descarga, sea desde el suelo o desde la nube. Los procesos de descarga en los gases incluyendo el rayo en la atmósfera, obedecen a las mismas leyes que controlan las descargas en un tubo de prueba, ocurren como:

- Descargas parciales o incompletas, también denominadas fuego fatuo o corona, conducen pequeñas corrientes permanentes a través del aire (≥ 0.1 mAcm/punto).
- Descargas puras o completas, también denominadas rayos, las cuales perforan el aire, siguiendo un canal de elevada carga longitudinal formando un arco eléctrico.
- Transferencia indirecta de carga en las gotas de lluvia, generalmente de polaridad negativa, neutralizando en el suelo las concentraciones de carga opuesta.

Las descargas por rayo (instantáneas) y las descargas parciales, así como la lluvia (temporales) pueden coexistir durante un proceso de turbulencia atmosférica. Los registros satelitales permiten estimar que al día pueden estar ocurriendo de 2000 a 5000 tormentas simultáneas con una tasa promedio de 100 rayos/seg. a tierra. Siempre están ocurriendo descargas tipo rayo en zonas de la tierra, hacia esta, en el interior de las nubes, desde las corrientes de aire y hacia la atmósfera superior. **(14)**

b. Formación de carga en las nubes

La separación de cargas en el aire atmosférico, la formación de centros de carga libres o en las nubes y las propias nubes de tormenta (nimbus), obedecen al proceso de separación de carga en el desplazamiento en ascenso de microgotas de agua condensada, debido a las corrientes convectivas de aire; ello también ocurre al juntarse las gotas de agua adquiriendo mayor volumen, durante su caída libre en forma de lluvia (Wilson) (14):

- El fenómeno de convección ocurre cuando el sol evapora la humedad de la superficie del suelo formando una mezcla ligera aire-vapor, que al elevarse es reemplazada por aire frío, originando el movimiento ascendente de la mezcla, lo que se traduce en formación de corrientes de aire húmedo (viento).
- El aire húmedo que llega a las capas superiores frías de la atmósfera (>3 km), se condensa formando microgotas, unas continúan solas en el ascenso, otras al juntarse entre ellas se van haciendo pesadas hasta que empiezan a caer, todas capturan carga.
- Las partículas ionizadas (carga) contenidas en cada cm^3 de aire, varían entre 300 y 1000 iones de movilidad normal, y entre 1000 a 8000 iones de baja movilidad, son una fuente de carga electrostática para las gotas de agua en tránsito.

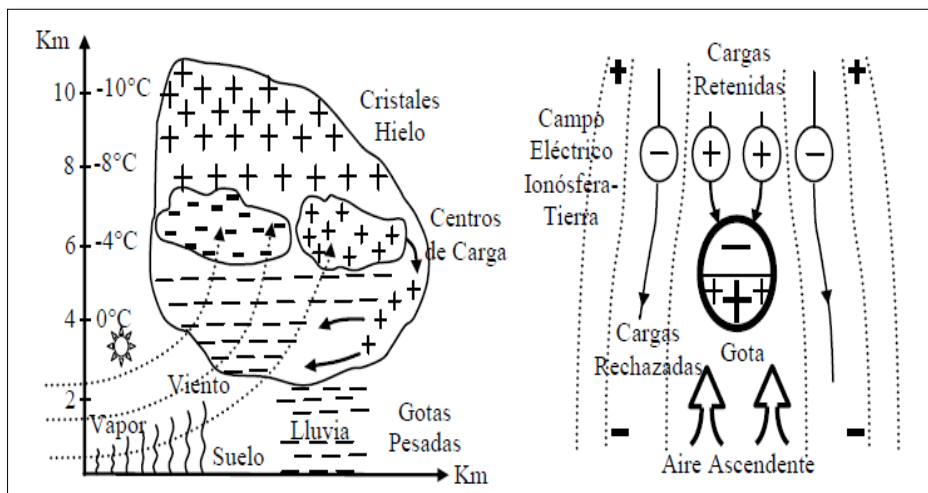


Figura 25. Formación de carga en las nubes.
Tomada de Alta tensión y técnicas de pruebas de laboratorio, p. 126

c. Mecanismos básicos de la descarga por rayo comportamiento de la descarga por rayo

Deben existir en el suelo puntos de opción para recibir el rayo, con mayor concentración de la carga y elevado gradiente superficiales, con protuberancias naturales o artificiales (crestas, edificios, objetos); también zonas propicias del suelo plano.

Acercándose el piloto al suelo ($0.1-0.8 \text{ m}/\mu\text{s}$), el canal ionizado se torna más luminoso y el campo transitorio nube-suelo evoluciona superando los (550 kV c/m) disruptivos. **(14)**

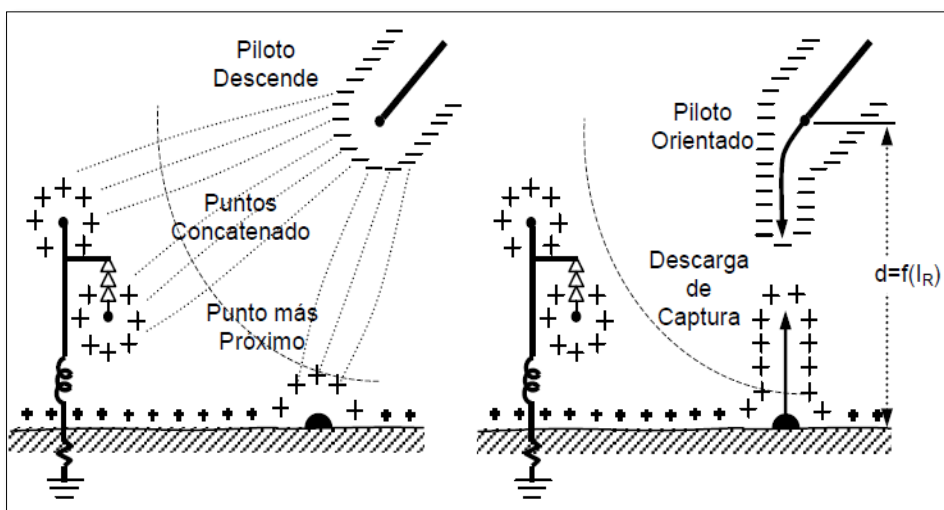


Figura 26. Comportamiento de descarga de rayo.
Tomada de Alta tensión y técnicas de pruebas de laboratorio, p. 126

El eflujo piloto descendente concatena mediante líneas de fuerza con distintos puntos de carga opuesta en el suelo, el salto final (d) lo da hacia el más próximo de ellos **(14)**:

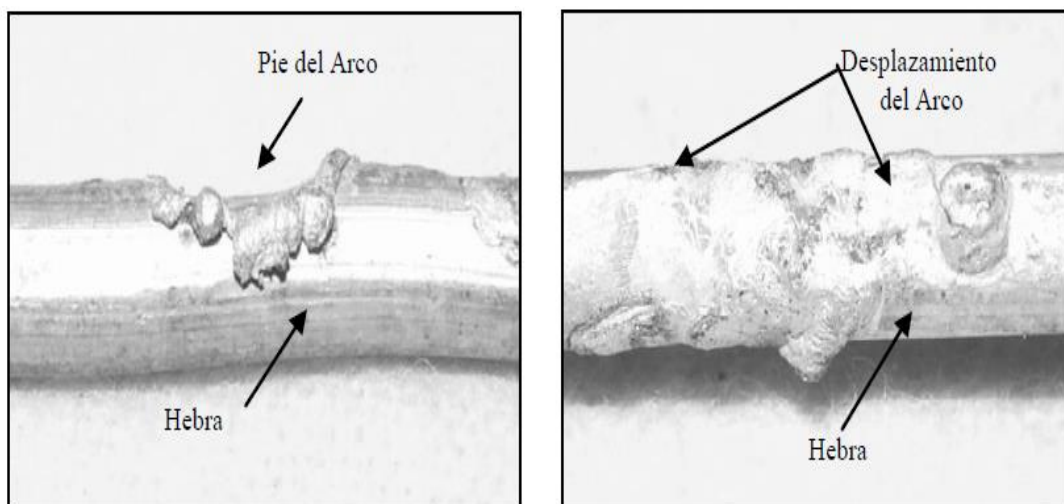
- Desde dicho punto surge una descarga ascendente que va hacia su encuentro a mayor velocidad ($35 \text{ a } 100 \text{ m}/\mu\text{s}$), se le denomina descarga de captura.
- El encuentro ocurre a medio camino (d) de ambos efluvios neutralizando sus cargas en el canal de plasma y originando una trayectoria conductiva entre nube-suelo.
- En dicho fenómeno está involucrada la mayor corriente de descarga y por tanto es el que produce en las instalaciones eléctricas, la mayor sobretensión de rayo.

Desde el mismo u otro punto próximo del suelo o desde la nube, podrá surgir luego otra descarga (secundaria) que toma el mismo canal como una nueva descarga puente o una nueva descarga de captura, pero con menor intensidad de corriente. El proceso de descargas secundarias puede ser repetitivo, más del 80% de rayos tienen más de 2, y 55% tienen 3; se han registrado hasta 54 descargas secundarias. **(14)**

d. Efectos secundarios de las descargas por rayo

El rayo simple y de pequeña corriente, produce la fusión localizada de los metales en el punto de llegada, pero cuando es un tren de descargas o tiene una gran amplitud de corriente, ocasiona rotura de hebras por fusión en el pie del arco fugaz. **(14)**

- La penetración común del daño por fusión varía de (0.7 a 2 mm) para el aluminio y de (0.3 a 0.6 mm) para el cobre, y de (0.15 a 0.25 mm) para el hierro.
- Más del 95% de los rayos tienen pequeña corriente (<5kA), que no ocasiona fallas en los aislamientos externos limpios de alta tensión (≥ 220 kV).
- La falla del aislamiento externo con rayos de pequeña corriente ocasiona un arco cuyos pies dejan en las ferreterías o conductores puntos negros de quemadura (de 5 a 8 mm), y cuando el arco se desplaza, deja huellas largas en el metal.



***Figura 27. Efectos secundarios de descarga de un rayo.
Tomada de Alta tensión y técnicas de pruebas de laboratorio, p. 135***

2.2.3 Contrapesos horizontales

2.2.3.1 Contrapesos horizontales en torres de transmisión

Esta metodología denominada “contrapesos” para sistemas de aterramiento eléctricos pueden ejecutarse a partir de diferentes materiales como pueden ser conductores de acero (para terrenos no corrosivos, cultivos secos), o por otro lado que es más común cobre o aluminio (utilizados para terrenos corrosivos).

(11)

Esta metodología de contrapesos trata de buscar mayores áreas de contacto con un terreno de forma horizontal y con una determinada altura que se da entre (40 a 60 cm) de profundidad, esto de acuerdo con la estratificación del terreno y el tipo de terreno. En este tipo de metodología también se desea que el conductor empleado para el contrapeso sea de igual diámetro que el cable de guarda. (18)

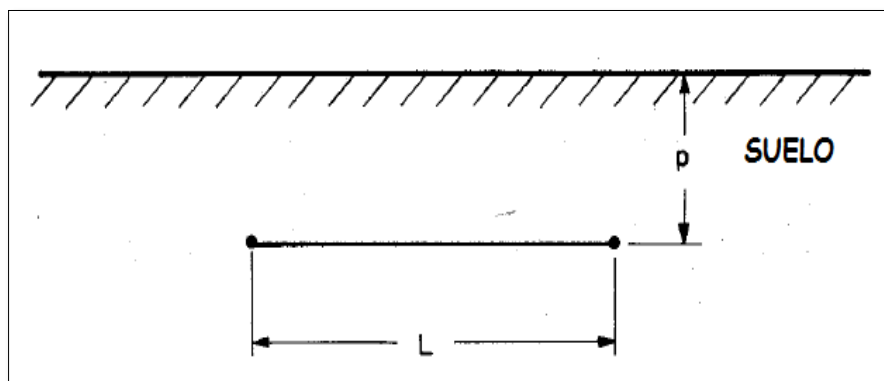


Figura 28. Conductor enterrado horizontalmente en el suelo.
Tomada de Aterramiento eléctrico, p. 50

Desde una perspectiva más práctica uno de los métodos más utilizados hoy en día para poder reducir los valores de resistencia a tierra es mediante el uso de contrapesos horizontales. Esta metodología es recomendada usualmente cuando una vez realizada la medición de la resistividad aparente del terreno y posteriormente calculado de la resistencia equivalente esta sea mayor a $2 \Omega\cdot m$. Los contrapesos horizontales son utilizados muchas veces por su comportamiento al impulso del rayo ya que presenta una impedancia inicial la cual disminuye exponencialmente después de un tiempo aproximado a $1 \mu s$ como se muestra a continuación:

Después de este tiempo la impedancia decrece a valores de la resistencia de conexión a tierra en estado normal. Este comportamiento al impulso de la impedancia nos da las longitudes máximas efectivas para el diseño de contrapesos. Por ejemplo, si se considera un contrapeso de 40 m de largo considerando un tiempo de viaje de la onda de corriente del rayo a $m/\mu s$ se tiene que en $1\mu s$ la onda viajará seis veces la longitud del contrapeso. **(18)**

De este tipo de comportamiento, la longitud de los contrapesos horizontales se puede limitar a valores característicos dependientes de la resistividad equivalente del terreno. En la siguiente figura se muestra claramente la relación entre la longitud eficaz de contrapesos y la resistividad del terreno. **(18)**

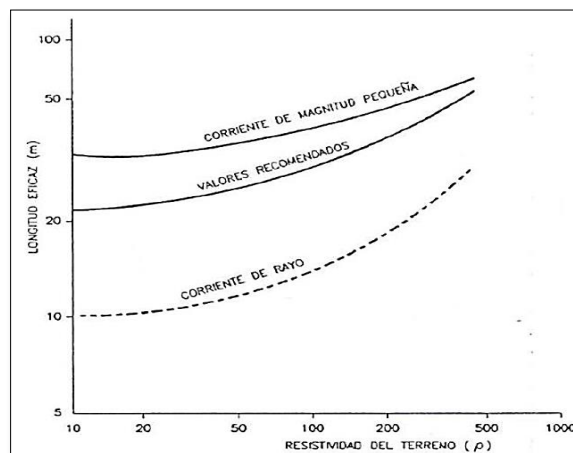


Figura 29. Relación entre la longitud eficaz de contrapesos y resistividad del terreno. Tomada de Puesta a tierra en torres de transmisión, p. 15

La longitud eficaz de contrapesos deberá estar comprendida entre 25 y 40 m. y su multiplicidad entre 1 y 4.

2.2.3.2 Expresiones corregidas según la instalación

La resistencia de dispersión de electrodos unitarios simples:

- **Para un electrodo horizontal puntual de longitud L**

Donde su fórmula matemática está dada por:

$$R_c = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{R}{r} + \frac{\rho}{2\pi L m} \ln \frac{L^2}{3.7 h R}$$

Donde:

- R_c : es la resistencia de puesta a tierra en Ω
- ρ : resistividad equivalente del terreno en ($\Omega.m$)
- R : radio equivalente del pozo (Relleno) en m
- L : longitud del contrapeso en m
- r : radio equivalente del conductor con cemento conductor en m
- m : factor de tratamiento ($3 \leq M \leq 8$)
- h : profundidad de enterramiento en m

2.2.3.3 Configuración de puestas a tierra para estructuras

Se ha previsto que el sistema de aterramiento eléctrico sea horizontal y que esté conformado por un conductor cableado de cobre desnudo de 19 hilos, 70 mm² y cuya longitud sea la necesaria para obtener una resistencia de dispersión que cumpla con lo indicado en la Regla 036.D del Código Nacional de Electricidad - Suministro 2011. Para esta configuración, la longitud “L” no deberá superar los 40 m y el contrapeso será tendido desde la pata de la torre de acuerdo con la configuración requerida.

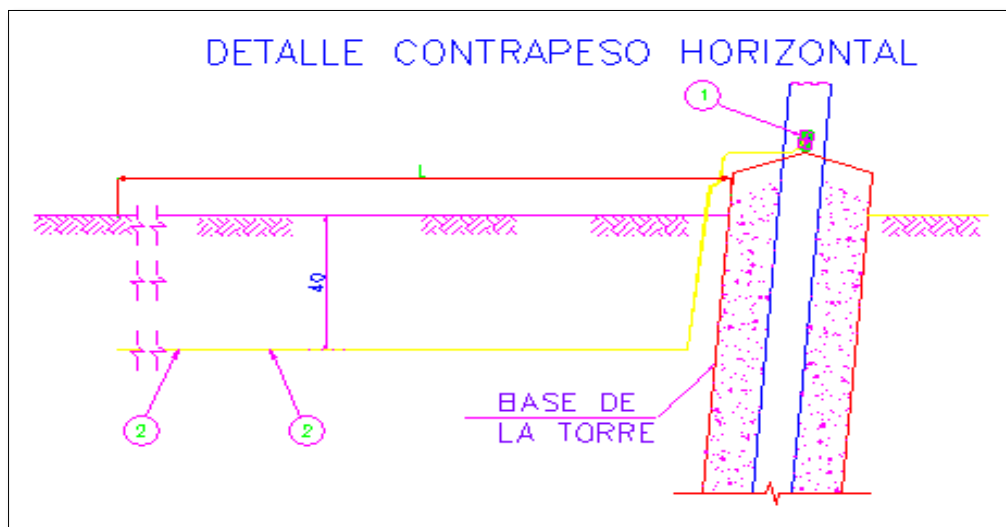


Figura 30. Detalle de contrapeso horizontal

2.2.3.3.1 Disposición 1: (Tipo A-1)

Se ha previsto que el sistema de aterramiento eléctrico sea horizontal y esté conformado por un conductor cableado de cobre desnudo de 19 hilos, 70 mm² y cuya longitud sea la necesaria para obtener una resistencia puesta a tierra que cumpla con lo indicado en la Regla 036.D del Código Nacional de Electricidad-

Suministro 2011. Para esta configuración, la longitud “L” no deberá superar los 40 m y el contrapeso será tendido solo desde una pata de la torre.

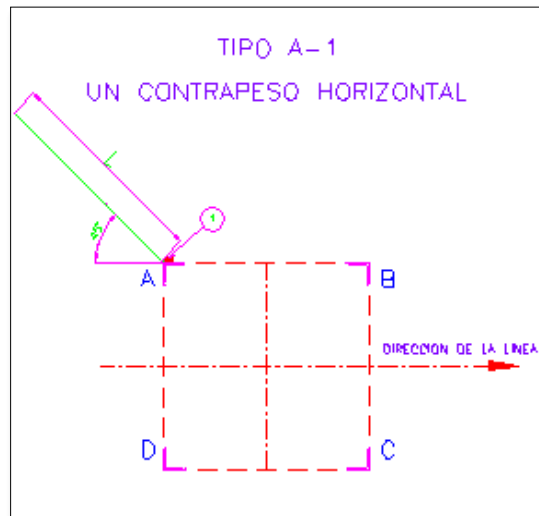


Figura 31. Un contrapeso horizontal, configuración A-1

2.2.3.3.2 Disposición 2: (Tipo A-2)

Se ha previsto que el sistema de aterramiento eléctrico sea horizontal y esté conformado por un conductor cableado de cobre desnudo de 19 hilos, 70 mm² y cuya longitud sea la necesaria para obtener una resistencia puesta a tierra que cumpla con lo indicado en la Regla 036.D del Código Nacional de Electricidad-Suministro 2011. Para esta configuración, la longitud “L” no deberá superar los 40 m y el contrapeso será tendido desde 2 patas diametralmente opuestas de la torre.

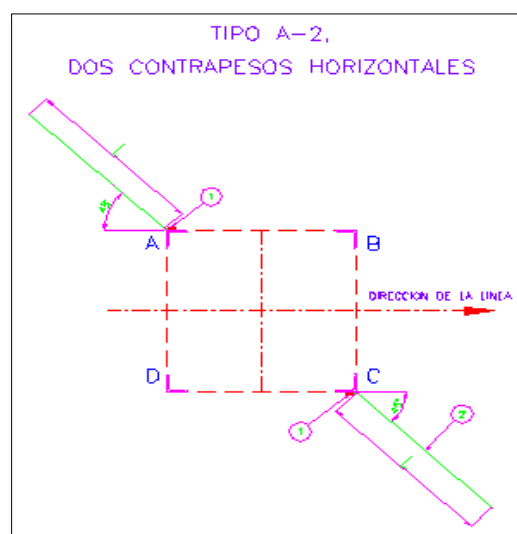


Figura 32. Dos contrapesos horizontales, configuración A-2

2.2.3.3.3 Disposición 3: (Tipo A-3)

Se ha previsto que el sistema de aterramiento eléctrico sea horizontal y esté conformado por un conductor cableado de cobre desnudo de 19 hilos, 70 mm² y cuya longitud sea la necesaria para obtener una resistencia puesta a tierra que cumpla con lo indicado en la Regla 036.D del Código Nacional de Electricidad-Suministro 2011. Para esta configuración, la longitud “L” no deberá superar los 40 m y el contrapeso será tendido desde 3 patas diametralmente opuestas de la torre.

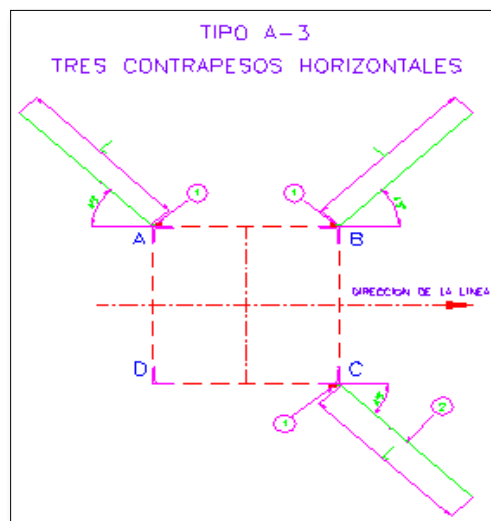


Figura 33. Tres contrapesos horizontales, configuración A-3

2.2.3.3.4 Disposición 4: (Tipo A-4)

Se ha previsto que el sistema de aterramiento eléctrico sea horizontal y esté conformado por un conductor cableado de cobre desnudo de 19 hilos, 70 mm² y cuya longitud sea la necesaria para obtener una resistencia puesta a tierra que cumpla con lo indicado en la Regla 036.D del Código Nacional de Electricidad-Suministro 2011. Para esta configuración, la longitud “L” no deberá superar los 40 m y el contrapeso será tendido desde 4 patas diametralmente opuestas de la torre.

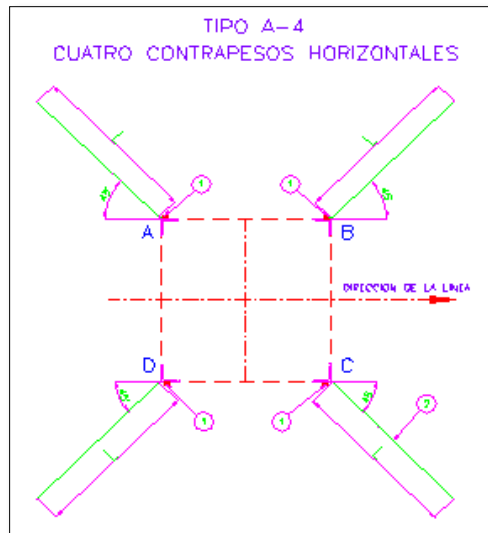


Figura 34. Cuatro contrapesos horizontales, configuración A-4

La longitud “L” es la óptima para obtener el valor de resistencia puesta a tierra deseado, las disposiciones A-1, A-2, A-3 y A-4 son establecidas según la longitud “L” del conductor. Para definir, el tipo de disposición que se utilizará en cada implementación, se debe seguir el siguiente cuadro:

Tabla 9. Longitud para contrapesos horizontales

Longitud “L”	Disposición
$L \leq 40$ m	Tipo A-1
$40 \text{ m} < L \leq 80$ m	Tipo A-2
$80 \text{ m} < L \leq 120$ m	Tipo A-3
$L > 120$ m	Tipo A-4

Tomada de Alta tensión y técnicas de pruebas de laboratorio. Notas del curso (2010)

2.2.3.4 Comportamiento del contrapeso ante onda de rayo

En la instalación de contrapesos horizontales la utilización de conductores (cables de cobre, aluminio, acero, etc.) es una práctica muy utilizada en la ingeniería de líneas de transmisión, esta metodología consiste en enterrar cables a una altura determinada y anclarlos a las estructuras de las torres de transmisión, logrando disminuir la resistencia con el incremento de la longitud y

con aumento del diámetro del conductor del contrapeso enterrado (hasta cierto punto) según cálculo. **(18)**

Como se demostró previamente, el sistema de aterramiento se comporta como una impedancia transitoria, variando desde su valor inicial hasta el valor de resistencia de dispersión.

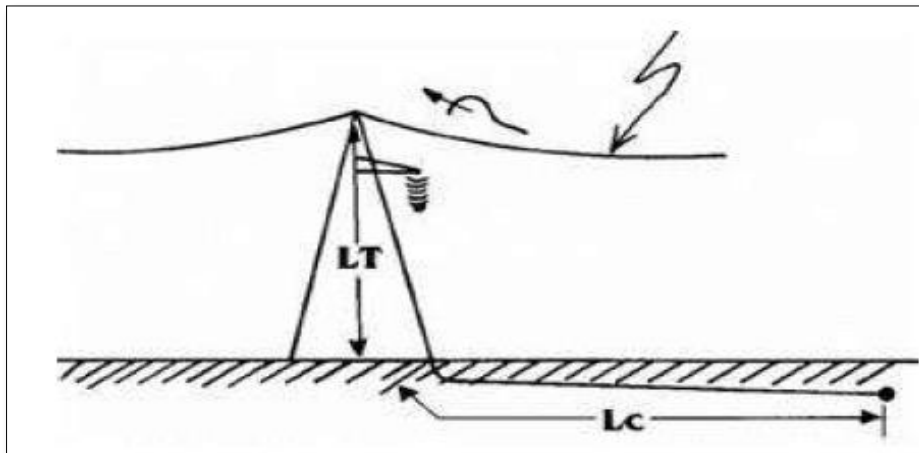


Figura 35. Recorrido del impulso en torre y contrapeso.
Tomada de Puesta a tierra en torres de transmisión, p. 18

2.2.3.5 Índice de interrupciones por flameo inverso

El fenómeno del flameo inverso es la afectación más frecuente en tendidos eléctricos aéreos incluyendo redes de distribución y sistemas de transmisión eléctrica. El diseño de protección debe enfocar la atención principalmente en considerar los problemas por arcos (flameo inverso) entre la estructura de la torre y la línea de transmisión, despreciando los arcos inversos entre las líneas. Generalmente el fenómeno de flameo inverso que se da entre (torre – línea) está dado por los siguientes factores **(18)**:

- Distancias entre conductores
- Distancia entre el conductor y la estructura
- Longitud de claro entre las torres
- Número de hilos de guarda y su posición
- Geometría de la estructura
- Resistencia de conexión a tierra de la estructura
- Punto de incidencia del rayo
- Distribución de amplitudes de corrientes de rayo y formas de onda
- Densidad de rayos a tierra de la zona

- Tensión de operación de la línea

Cuando por efectos de la naturaleza una determinada descarga atmosférica impacta directamente en un cable de guarda, la corriente, debido a la descarga fluye en ambos sentidos a través de la impedancia impulso del cable de guarda. (Las ondas de corriente y la tensión) se propagan hasta llegar a la estructura de la torre, descienden por la estructura y se encuentran con una resistencia de PAT que disipa la energía asociada con la descarga atmosférica. **(18)**

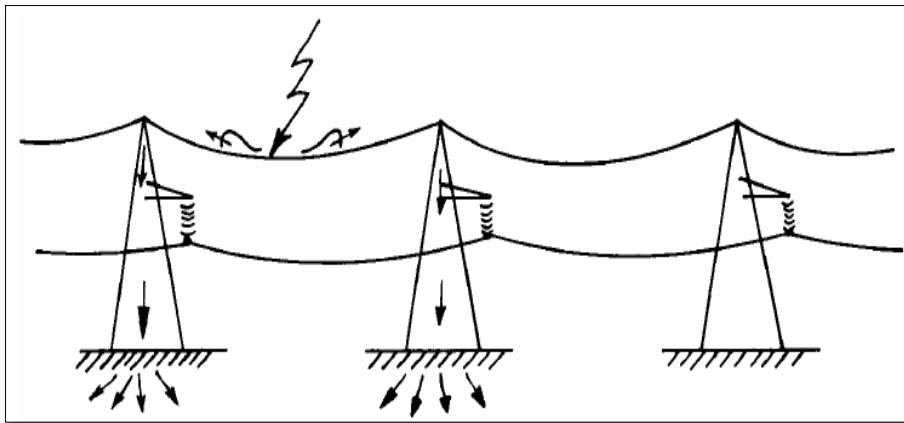


Figura 36. Incidencia de rayos en vanos de la L. T.
Tomada de Puesta a tierra en torres de transmisión, p. 4

Lo mismo sucede cuando la descarga atmosférica impacta directamente en la estructura de la torre de transmisión.

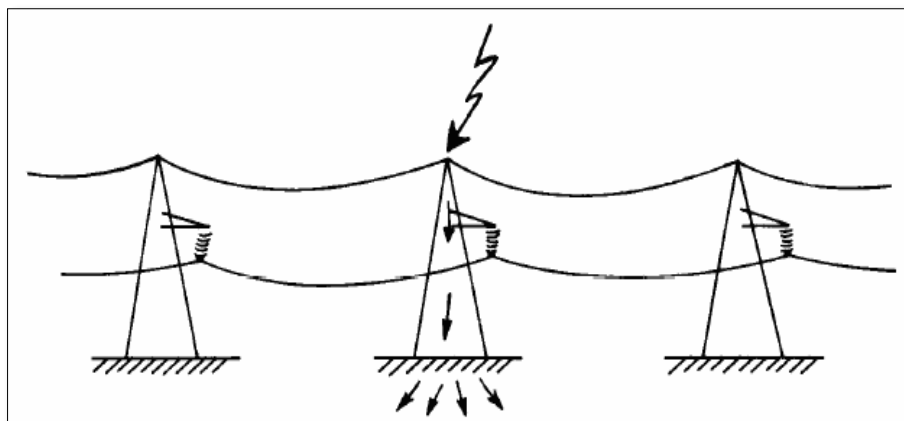


Figura 37. Representación una L. T. para impacto directo de rayo en la torre.
Tomada de Puesta a tierra en torres de transmisión, p. 4

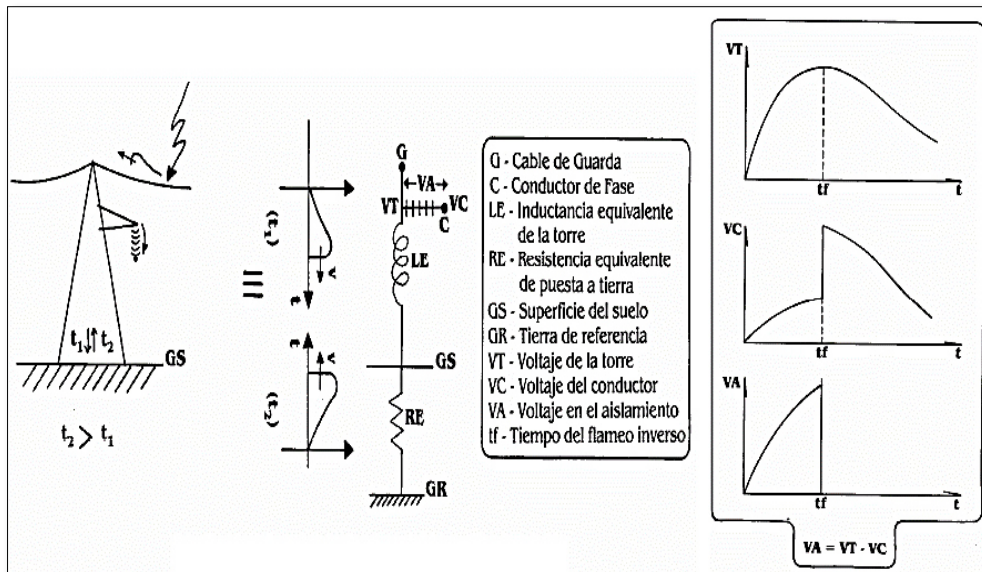
Las diferentes descargas atmosféricas que caen en los vanos de los conductores de guarda y en las estructuras de las torres, tienen una tendencia muy frecuente de impactar en sus proximidades, esto sucede debido a que estas

partes se encuentran en los puntos más altos de las líneas de transmisión. Dependiendo del tipo de la estructura de la torre y de su masa metálica hasta un 60% de los rayos impactan en sus proximidades. **(18)**

Cuando una descarga atmosférica impacta directamente en el conductor de guarda este induce una fracción de su potencial en los conductores de fase conocido como factor de acople capacitivo entre cables de fase y el cable de guarda. Este problema se presenta cuando la resistencia de PAT del sistema que está instalada en la torre es elevada, causando un efecto conocido con el nombre de “rebote” o reflexión de la corriente del rayo y de una alta tensión que eleva el potencial de la torre de transmisión con relación a la resistencia de PAT. **(18)**

En una descarga atmosférica la corriente que impacta directamente en el cable de guarda o directamente en la estructura de la torre y posteriormente al llegar a la base de la torre (suelo), en presencia de una resistencia elevada (resistencia del sistema de puesta a tierra instalado a la base de la estructura) no encuentra un medio propicio para su dispersión eficiente, causando el aumento súbito de la tensión entre el brazo de la torre y el cable de la fase, superando el aislamiento proporcionado por la cadena de aisladores y el aire exterior presentándose un fenómeno conocido como “flameo” desde el brazo de la torre (que se encuentra a un alto potencial) y el cable de la fase. **(18)**

Todo lo mencionado anteriormente se refiere al fenómeno denominado “flameo inverso”, el cual es denominado así porque se genera desde el brazo de la torre hacia el cable de fase, esto se puede apreciar claramente en la siguiente figura. Así mismo, se genera un campo magnético variable entre la torre y el cable de fase producido por la corriente que pasa por la torre, contribuyendo así al flameo inverso. **(18)**



**Figura 38. Flameo Inverso en una torre de transmisión.
Tomada de Puesta a tierra en torres de transmisión, p. 6**

2.2.4 Geología básica

2.2.4.1 Corrientes y potenciales en el suelo

La parte de la tierra (suelo) que se relaciona con las instalaciones y los parámetros eléctricos de funcionamiento de un sistema eléctrico, es una capa superficial estratificada en la que es necesario colocar una puesta a tierra que permita:

- Interceptar la superficie equipotencial del suelo, que se toma como referencia.
- Conducir, cuando se requiere, las distintas corrientes que provienen del sistema.

2.2.4.2 Comportamiento eléctrico del suelo

Los suelos están provistos de una infinidad de conformaciones geológicas con bases y estratos de diferentes formaciones cuya composición y características varían según la topografía del lugar. **(14)**

- Los suelos planos tienen estratos laminares a veces gruesos, mientras que los suelos accidentados tienen estratos delgados que pueden ser irregulares o discontinuos.
- Los suelos tienen entre 70% y 80% de óxidos resistivos de (Si) y (Al); su aptitud conductiva es muy variable con el clima y su contenido se da a través de sales solubles y humedad.

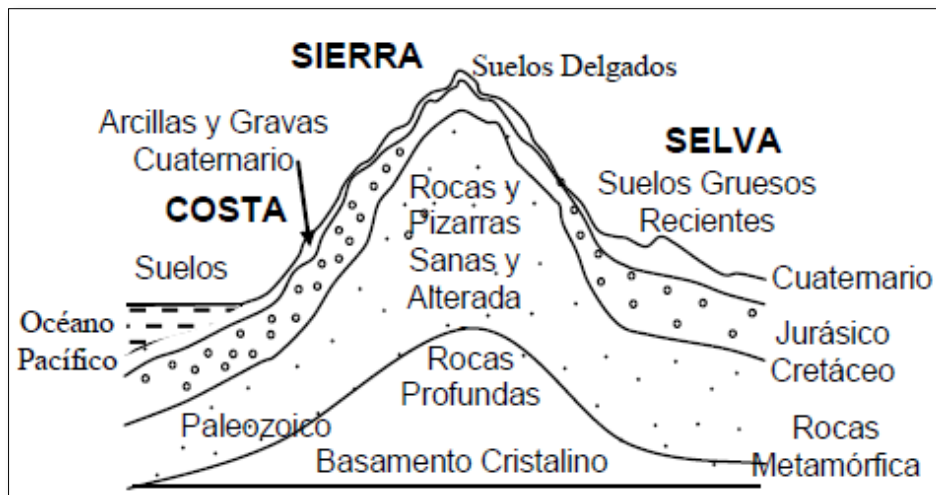


Figura 39. Comportamiento eléctrico del suelo.
Tomada de Alta tensión y técnicas de pruebas de laboratorio, p. 53

- El suelo superficial normal contiene pequeños porcentajes ($\approx 0.1\%$ a 2.0%) de sales solubles, necesitan humedad y aun así no son buenos conductores de la electricidad.
- Su conductividad (o su resistividad) dependen de su contenido de humedad, que es de ($\geq 10\%$) para tierra de cultivo y ($< 1\%$) para suelos secos sin recarga de agua.
- La conducción eléctrica en suelos húmedos es en parte electrolítica a través de soluciones acuosas y/o electroquímica debido a reacciones químicas, al predominar la conducción electrónica con corrientes permanentes de más de 10A, puede crear su desecamiento; las corrientes de falla con alta resistencia de PAT producen la vitrificación del suelo.
- Otros factores que influyen en la conducción de los suelos obedecen a las características físicas del material o del conglomerado que lo forma, o a su estado, son:
 - ✓ La porosidad es determinante para la retención de la humedad por largo tiempo.
 - ✓ La granulometría es el grano fino que provee más conductividad que el grano grueso.
 - ✓ La compactación es la existencia de aire intersticial que incrementa su resistividad.

- ✓ La temperatura: a ($<4^{\circ}\text{C}$) adquieren altas resistencias; en el Perú a menos de 4700 m de cota, solo se conocen suelos de baja temperaturas ($\approx 10^{\circ}\text{C}$), no suelos congelados.

2.2.4.3 Unidades de medidas y rangos de la conducción eléctrica del suelo

La conducción eléctrica del suelo se mide mediante su conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) que implica magnitudes pequeñas de difícil medida directa en el campo y con procesamiento de fractales, por lo que conviene utilizar su resistividad cuyas unidades son ($\Omega.\text{m}$) o bien ($\Omega.\text{cm}$). (14)

2.2.4.4 Resistividades referenciales de suelos genéricos

La información de fuente geológica muestra rangos típicos de resistividad de alcance local, de los suelos y rocas, que a *grosso modo* se pueden resumir según tipo, como referenciales (14):

Tabla 10. Secuencia de investigación por niveles y tipos

Suelos Naturales Terrosos Conglomerados y Rocosos	ρ (Ohm.m)
Suelos húmedos; Lamas, Limos, Arcillas, tierra Vegetal y de Cultivo	10 - 100
Tierra fina, Turbas, Fangos y Concretos Porosos enterrados húmedos	100 - 300
Suelos Aluviales, Arenas firmes, Concreto de Cimentación monolítica	300 - 800
Arena Eólica, gravillas, Cascajo, piedra menuda, Concreto externo	800 - 3 000
Rocas alteradas, Pizarras, Fracmentadas, Fracturadas, Volcánicas	3 000 - 10 000
Suelos granulados; Feldespatos, Micas, Cuarzos, Rocas Monolíticas	10000 - 30 000
Roca Andesítica, Concreto Ciclópico Estructural Aéreo (Seco)	30000 - más

Tomada de Alta tensión y técnicas de pruebas de laboratorio, p. 54

- Dichos rangos no siempre coinciden con los valores reales obtenidos con medidas de campo en suelos similares, que para aplicar al diseño es necesario procesar los datos.

2.2.4.5 Propiedades del suelo que influyen en las puestas a tierra

Los suelos son comúnmente malos conductores de electricidad y suelen comportarse como materiales semiconductores o aislantes, sobre todo cuando está totalmente seco. Los valores de resistividad aparente varían para distintos tipos de suelos y rocas en límites muy amplios, esto también depende de la

composición de estas, de la presencia de agua, de su estructura, de la conductividad de sus partículas, de sales y de muchos otros parámetros. **(16)**

El suelo es un medio muy complejo, en el que tienen lugar procesos químicos, físicos y biológicos el cual está compuesto de varios sólidos, líquidos y gaseosos irregularmente dispuestos y unidos en diferentes cantidades. Lo que se conoce como parte sólida está conformada por minerales, materia orgánica y organismos vivientes, óxidos hidratados, esta parte es la que tiene mayor estabilidad y da la característica del tipo de suelo. Algunas propiedades de estos materiales, influyen considerablemente al comportamiento de la resistividad del terreno, estos pueden ser **(16)**:

- **Absorción:** se conoce como absorción al efecto de atracción de un elemento sólido sobre un determinado fluido, de modo que las moléculas de este fluido penetren directamente sobre ella. Tiene gran dominio ya que proponen la conductividad en los terrenos de tipo iónico.
- **Adsorción:** el fenómeno conocido como adsorción enfoca la atracción de un cuerpo y retención en su superficie de moléculas o iones de otro elemento. En la práctica se da por la interacción química entre las diferentes sustancias que facilitan el paso de corriente en el suelo. Es una característica de adherencia de un material.
- **Compactación y presión del suelo:** la compactación de los suelos es muy importantes ya que cuando un suelo presenta mayor compactación este genera una continuidad física mucho mayor, a su vez esto provoca una mayor conductividad, siempre y cuando se de en las capas de menor resistividad. Por todo lo expuesto es imprescindible esperar un determinado tiempo después de construir un sistema de aterramiento, para poder realizar la medición final de su resistencia de dispersión.
- **Composición del terreno:** los valores de resistividad aparentes según la composición de los suelos son muy extensos. En un determinado lugar, no es posible dar los valores de resistividad hasta no haber realizado la medición de resistividad aparente del terreno, el cual se realizará mediante un equipo conocido como telurómetro. Incluso para terrenos con características iguales, situadas en diferentes regiones, la resistividad puede ser notablemente diferente.

2.2.4.6 Valores típicos de resistividad del suelo

Las tablas mostradas sobre valores de resistividad que aparecen en muchos textos y bibliografías son simplemente orientativas, puesto que como se describió anteriormente, los valores de resistividad presentan notables variaciones de un lugar a otro. **(16)**

Tabla 11. Resistividad por edad

EDAD CRONOLÓGICA	RESISTIVIDAD DEL TERRENO ($\Omega.m$)				
	ARENAS HÚMEDAS	ARCILLAS	ARENISCA	GRANITOS	CALIZAS
CUATERNARIO Y TERCIARIO	1 a 10	5 a 50	10 a 200	500 a 2000	50 a 5000
MESOZOICO	5 a 20	25 a 100	20 a 500	500 a 2000	100 a 10000
CARBONÍFERO	10 a 40	50 a 300	50 a 1000	1000 a 5000	200 a 100000
PALEOZOICO	40 a 200	100 a 500	100 a 2000	1000 a 5000	1000 a 100000
PRECÁMBRICO	100 a 2000	300 a 5000	200 a 5000	5000 a 20000	1000 a 100000

Tomada de Tierras soporte de la seguridad eléctrica, p. 95

Tabla 12. Resistividad por conformación

CLASE DE TERRENO	$\rho(\Omega.m)$
Tierra pantanosa	50
Tierra arcillosa húmeda	100
Tierra arcillo-arenosa húmeda	200
Tierra arenosa seca	1000
Tierra de arenisca dura	2000
Suelo con estrato de roca	10000
Petróleo	10^{16}

Tomada de Tierras soporte de la seguridad eléctrica p. 95

2.2.4.7 Conductividad de corriente en el terreno

La conductividad eléctrica se define como el movimiento de una carga eléctrica de un lugar a otro. Los cuerpos eléctricamente conductores lo son porque permiten el paso a través de su interior de portadores de cargas eléctricas, cuyas movibilidades varían de material a material, es decir, hay un espectro completo de conductividades que van desde metales altamente conductores hasta aisladores casi perfectos. **(16)**

Tabla 13. Tipos de conductividad en el terreno

ELECTRÓNICA	IÓNICA
■ Metales nativos: Cu, Ag, Pt, Ir, Fe, C, Sn.	■ Electrolitos sólidos: silicatos
■ Metaloides o semiconductores (minerales sulfuros).	■ Electrolitos líquidos: soluciones

Tomada de Tierras soporte de la seguridad eléctrica. p. 96

2.2.5 Medición de resistividad del terreno

2.2.5.1 Medición de la resistividad aparente del terreno

Las estimaciones basadas en la clasificación del suelo solamente dan una aproximación de la resistividad. Por lo tanto, las pruebas reales de resistividad son imprescindibles. Estas deben hacerse en varios lugares dentro del sitio. Rara vez se encuentran sitios de subestación donde el suelo posee una resistividad uniforme en toda la zona y a una profundidad considerable. Típicamente, hay varias capas, cada una con resistividad diferente. A menudo, también se producen cambios laterales, pero en comparación con los verticales, estos cambios son por lo general más graduales. Deben realizarse pruebas de resistividad del suelo para determinar si hay variaciones importantes de resistividad con la profundidad. El número de tales lecturas tomadas debe ser mayor cuando las variaciones son grandes, especialmente si algunas lecturas son tan altas como para sugerir un posible problema de seguridad. **(19)**

2.2.5.2 Métodos de medición de resistividad del terreno

En la norma IEEE Std.81 se describen en detalle una serie de técnicas o métodos de medición de resistividad del suelo, dentro de las cuales, el método de los cuatro electrodos es el método más usado. El número de lecturas debe ser mayor donde se presenten fuertes variaciones de resistividad tanto verticales como horizontales. **(16)**

Es aconsejable realizar mediciones en varios puntos del área bajo estudio y en diferentes direcciones (normalmente en direcciones perpendiculares) con el fin de comparar las mediciones y poder identificar medidas erróneas por la presencia de objetos metálicos enterrados. Para muchos interesados en profundizar la materia, se representará en detalle un listado de los métodos más utilizados (*Wenner, Schlumberger*), sin embargo el método *Wenner*, es el más

utilizado por ser el más aceptado y adecuado a las necesidades en electrotecnia.
(16)

2.2.5.2.1 Método Wenner

El método de *Wenner* o también conocido como el de cuatro puntas, como se muestra en la figura, es la técnica más comúnmente utilizada. En resumen, cuatro sondas son incrustadas en la tierra a lo largo de una línea recta, a la misma distancia de separación, incrustados a una profundidad **b**. El voltaje entre los dos electrodos interiores (potenciales) se mide y se divide por la corriente entre los dos electrodos exteriores (corrientes) para dar un valor de resistencia **R**. (19)

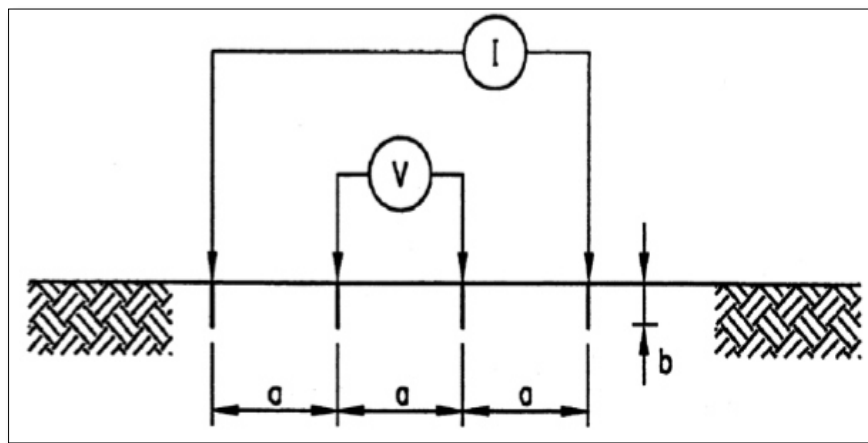


Figura 40. Configuración del método Wenner.
Tomada de *IEEE Std 80-2000 Guide for Safety in AC Substation Grounding*, p. 63

Donde su fórmula matemática está dada por:

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

Donde:

- ρ_a : es la resistividad aparente del suelo en $\Omega\text{-m}$
- R : es la resistencia medida en Ω
- a : es la distancia entre los electrodos adyacentes en m
- b : es la profundidad a la cual se han incrustado los electrodos en m

Si **b** es pequeña en comparación con **a**, como es el caso de las puntas que penetran el suelo, solo a una corta distancia, la ecuación puede ser reducida a:

$$\rho_a = 2\pi a R$$

Donde:

- ρ_a : es la resistividad aparente del suelo en $\Omega\text{-m}$
- R : es la resistencia medida en Ω
- a : es la distancia entre los electrodos adyacentes en m

2.2.5.2.2 Método Schlumberger

En este método los cuatro electrodos se ubican sobre una línea recta y la distancia de los electrodos de tensión que permanecen fijos, es mucho menor que los electrodos inyector de corriente, que son los que se trasladan, como muestra la siguiente figura (20):

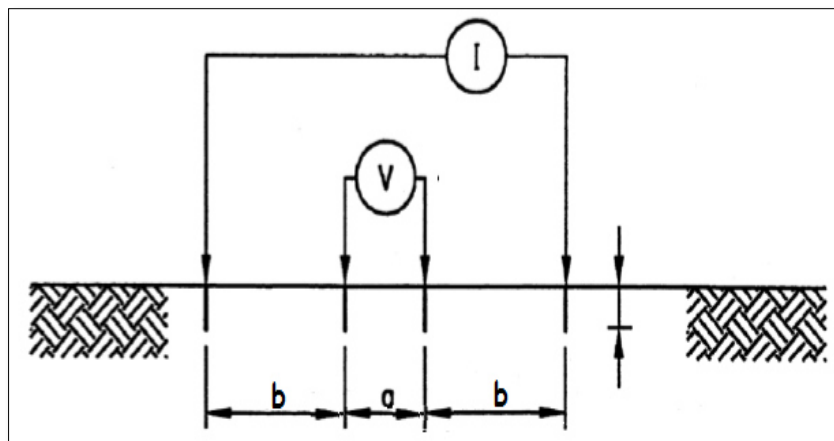


Figura 41. Configuración del método Schlumberger.
 Tomada de Problemática en las instalaciones de los sistemas de puesta a tierra en redes de distribución, p. 63

Donde su fórmula matemática está dada por:

$$\rho = 4\pi R \frac{b(b+a)}{a}$$

Donde:

- ρ : es la resistividad aparente del suelo en $\Omega\text{-m}$
- R : es la resistencia medida en Ω

- a : es la distancia entre los electrodos de tensión
- b : es la distancia entre los electrodos de corriente y su correspondiente de voltaje

2.2.5.3 Interpretación de los resultados

Los valores de resistividad aparente en función de la distancia entre los electrodos de medida muestran una primera indicación cualitativa de la estructura del terreno; si esa curva es decreciente, significa que el subsuelo es mejor conductor que el terreno superficial e inversamente, para una curva creciente. La determinación cuantitativa de la resistividad del terreno a diferentes profundidades se hace comparando la curva experimental de las variaciones de la resistividad aparente con un juego de ábacos obtenida por cálculo y correspondientes a ciertas estructuras del terreno bien precisas que, generalmente, son **(17)**:

- Suelo cuya resistividad varía continuamente siguiendo una ley exponencial.
- Suelo constituido por una capa superficial de resistividad uniforme, ρ_1 , y de un subsuelo de resistividad ρ_2 .
- Suelo constituido por tres capas.

La búsqueda de la estructura más adecuada a los resultados experimentales puede hacerse gráficamente o por cálculos mediante ordenador, quedando determinada la estructura del terreno con una precisión que depende, únicamente, de la manera en que los resultados de las mediciones se superpongan con las curvas teóricas, que pueden calcularse con gran precisión. **(17)**

2.2.6 Cálculo de sistema de puesta a tierra

2.2.6.1 Resistencia de puesta a tierra, potenciales y gradientes

En un proyecto de instalación de aterramiento eléctrico que tenga que establecer un comportamiento de varios tipos de electrodos que se pueden utilizar de acuerdo con una metodología o diseño. En el caso de que se adopte combinación de electrodos (conductores o varillas), los cálculos que se realizan son muy trabajosos y requieren bastante tiempo en diseñarlos y calcularlos, para

ello, en la actualidad existen una variedad de software que te aproximan al valor aparente de la resistencia que se quiere obtener. (17)

2.2.6.2 Cálculos especializados para sistema de aterramiento

En la presente tesis se elaboran los cálculos justificativos mediante los cuales se plantea el diseño óptimo para la optimización del sistema de puesta a tierra de las 29 torres de transmisión de la línea de 33 kV indicados líneas arriba y que pertenecen a Electroperú S. A.

a. Cálculos de la resistividad aparente del terreno

Donde su fórmula matemática está dada por:

$$\rho = 2\pi aR \quad [\Omega.m]$$

Donde:

- ρ_a : es la resistividad aparente del suelo en $\Omega\text{-m}$
- R : es la resistencia medida en Ω
- a : es la distancia entre los electrodos adyacentes en m

b. Interpretación de las características de resistividad aparente

Curva (CSG) de suelos que presentan un solo estrato:

- Tienen una tendencia horizontal independiente de la distancia de medidas (a)
- Solo identifican la existencia de un estrato superficial grueso ($h_1 > 3a_{max}$); 3% de casos.
- En este caso la resistividad (ρ) de diseño es igual a la resistividad aparente (ρ_a). (14)

Curvas (CSG) de suelos que presentan dos estratos

- Tienen tendencia inicial ascendente o descendente con extremidades asintóticas.
- Su doble concavidad opuesta presentará un punto de inflexión (PI); 95% de casos.
- Las resistividades de diseño (ρ_1 y ρ_2), se hallan mediante procesamiento **bi** estrato. (14)

Curvas (CSG) de suelos que presentan de tres o más estratos

- Su progresión presenta variaciones a veces ascendentes a veces descendentes.
- Tienen (PI) entre máximos y mínimos, indican el número total de estratos ($nPI + 1$).
- Aparecen con series de medidas *Wenner* donde las distancias son ($a > 8$ m).
- Las resistividades de diseño (ρ_1, ρ_2, ρ_3) se hallan mediante procesamiento multiestrato.
- Rara vez es necesario procesar suelos de más de tres estratos para el diseño de PAT puntuales, ello es para el diseño de PAT con control de potenciales y muy baja RPT. **(14)**

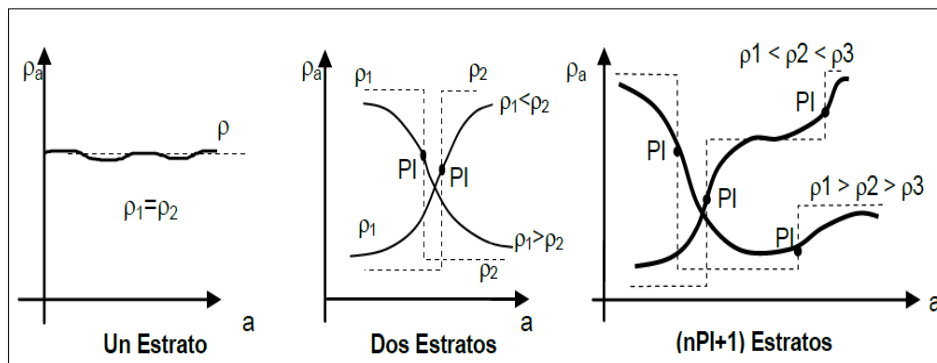


Figura 42. Características de resistividad aparente de diferentes estratos. Tomada de Alta tensión y técnicas de pruebas de laboratorio, p. 64

c. Cálculo de estratificación de suelos usando curvas

Utilizando las curvas patrón de comparación que permiten corregir las desviaciones o puntos aberrantes de las medidas de campo que aun siendo realizadas por especialistas tienen errores; se aconseja preferir este método.

(14)

1° paso: trazar la curva de resistividad aparente $\rho(a)$ en el eje Y versus el espaciado de las puntas de sondeo en el eje x.

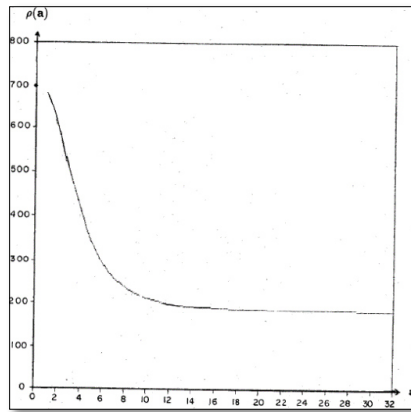


Figura 43. Curva de resistividad aparente.
Tomada de Aterramiento Eléctrico, p. 24

2° paso: en este paso se prolonga la curva $\rho(a)$ x (a) para poder cortar el eje de las ordenadas del gráfico. En este punto, se lee directamente el valor de ρ_1 , a este valor se le conoce como la resistividad de la primera capa. Para validar este paso se recomienda realizar varias lecturas por el método *Wenner* para pequeños espaciamentos. Esto justifica la penetración de esta corriente, que es predominante en la primera capa.

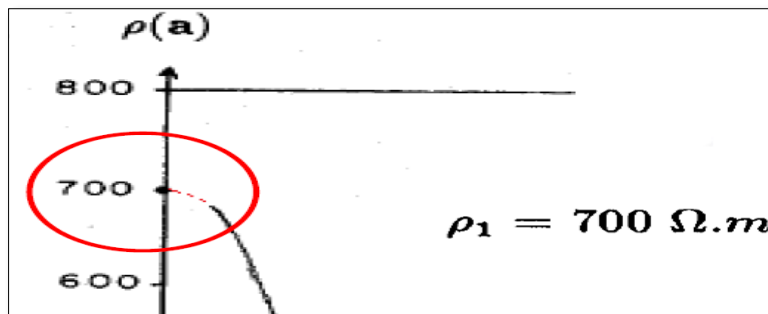


Figura 44. Prolongación de curva de resistividad aparente.
Tomada de Aterramiento Eléctrico, p. 24

3° paso: un valor de espaciamento a_1 es escogido arbitrariamente y tomado en la curva para obtener el valor correspondiente de $\rho(a_1)$.

4° paso: por comportamiento de curva $\rho(a)$ x a se determina el signo de k esto es:

- ✓ Si la curva está descendiendo, la señal de k es negativa y se realiza el cálculo de $\rho(a_1) / \rho_1$.
- ✓ Si la curva está ascendiendo, la señal de k es positiva y se realiza el cálculo de $\rho_1 / \rho(a_1)$.

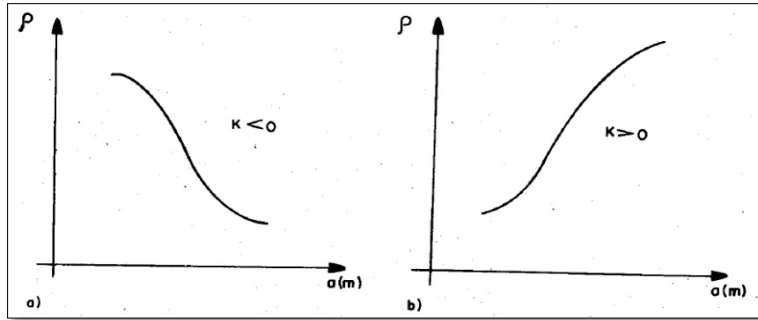


Figura 45. Curva K negativa, curva K positiva.
Tomada de Aterramiento Eléctrico, p. 24

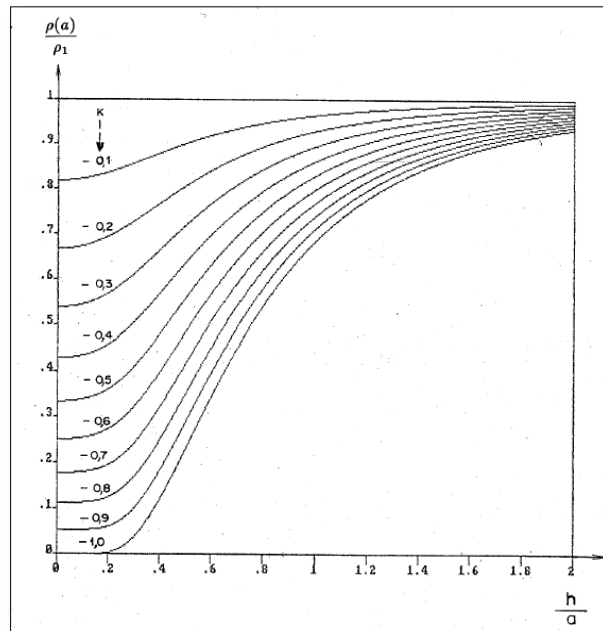


Figura 46. Curvas para K negativos
Tomada de Aterramiento Eléctrico, p. 23

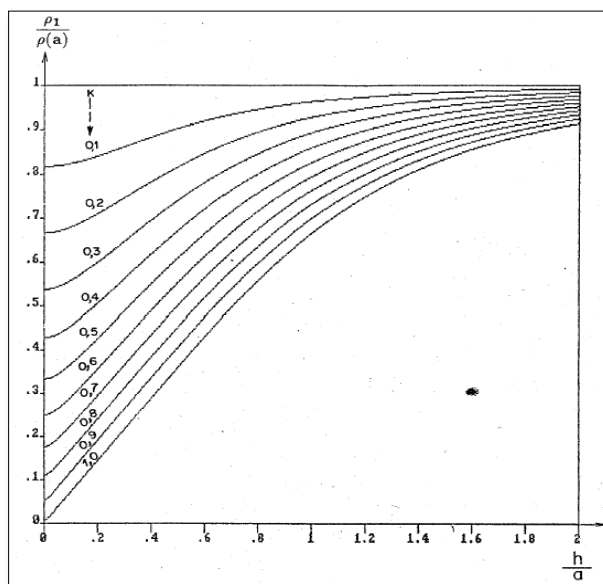


Figura 47. Curvas para K positivos.
Tomada de Aterramiento Eléctrico, p. 23

5° paso: el valor de $\rho(a1) / \rho_1$ o $\rho_1/\rho(a1)$. obtenido, ingrese las curvas teóricas correspondientes y dibuje una línea paralela al eje de abscisas. Esta recta corta curvas distintas de K. Leer todos los detalles K y h/a correspondientes.

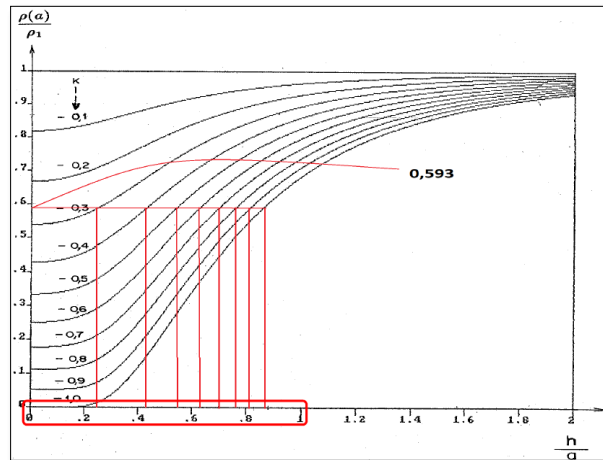


Figura 48. Proyección de los valores para K.
Tomada de Aterramiento Eléctrico, p. 23

6° paso: multiplica todos los valores de h/a encontrados en el quinto paso por el valor de a1 del tercer paso. Asimismo, con el quinto o sexto paso, genera una tabla con los valores correspondientes de K, h/a y h.

7° paso: se traza la curva k x h de los valores obtenidos de la tabla generada en el sexto paso.

8° paso: un segundo valor de espaciamento $a2 \neq a1$ es nuevamente escogido y todo el proceso es repetido resultando una nueva curva K x h.

9° paso: se traza esta nueva curva K x h en la misma tabla que el paso siete.

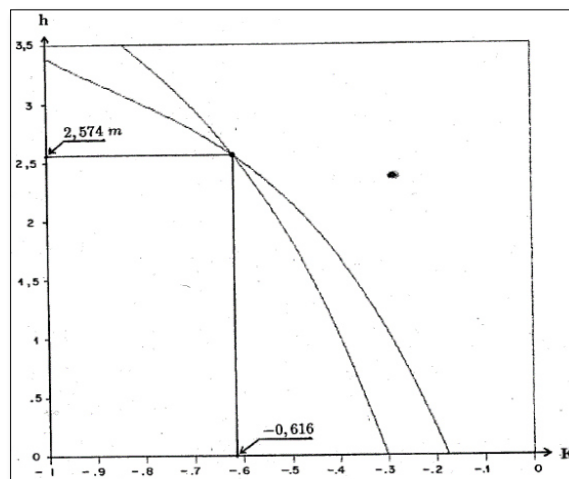


Figura 49. Curva h x K.
Tomada de Aterramiento Eléctrico, p. 25

10° paso: la intersección de las dos curvas $K \times h$ en un punto dado dará como resultado los valores reales de k y h , y se definirá la estratificación.

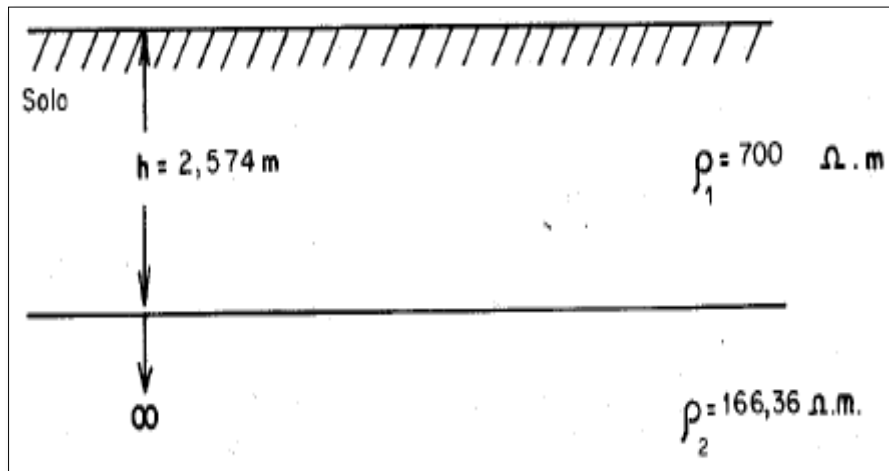


Figura 50. Suelo estratificado para dos capas.
Tomada de *Aterramiento Eléctrico*, p. 24

d. Cálculo de la resistividad equivalente

Cuando se requiere aprovechar la resistividad del estrato subyacente, con una varilla, implica a los dos estratos del suelo en forma proporcional a los segmentos de la varilla o a la ubicación del conductor en el límite.

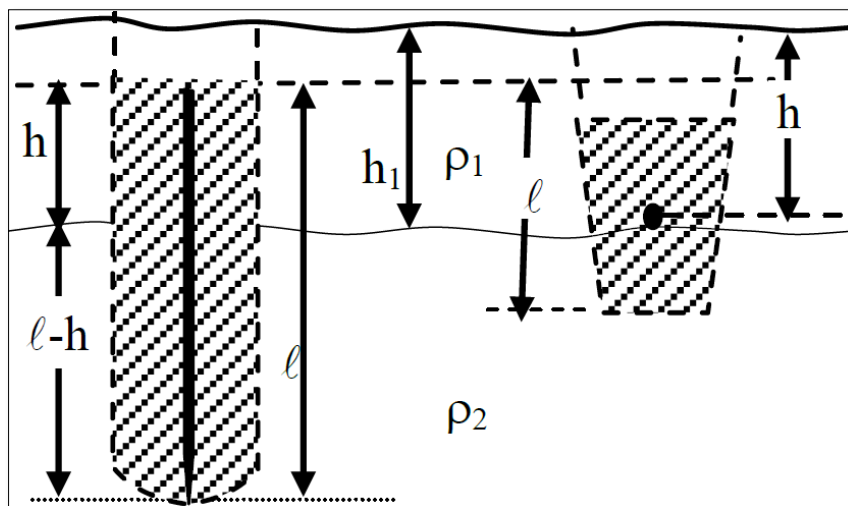


Figura 51. Datos para la resistividad equivalente.
Tomada de *Alta tensión y técnicas de pruebas de laboratorio*, p. 98

Donde su fórmula matemática está dada por:

$$\rho_{eq} = \frac{l \cdot \rho_1 \cdot \rho_2}{\rho_2 \cdot h + \rho_1 (l - h)} , \quad (\Omega.m)$$

Donde:

- ρ_{eq} : es la resistividad equivalente del terreno en $\Omega\cdot m$
- ρ_1 : resistividad de la primera capa del terreno en $\Omega\cdot m$
- ρ_2 : resistividad de la segunda capa del terreno en $\Omega\cdot m$
- l : profundidad de zanja de contrapeso en m
- h : altura desde el contrapeso horizontal hasta la superficie en m

e. Cálculo de resistencia de puesta a tierra para contrapeso horizontal.

La fórmula que determina el cálculo de la puesta a tierra para un contrapeso horizontal es la siguiente:

$$R_c = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{R}{r} + \frac{\rho}{2\pi L m} \ln \frac{L^2}{3.7 h R}$$

Donde:

- R_c : es la resistencia de puesta a tierra en Ω
- ρ : resistividad equivalente del terreno en ($\Omega\cdot m$)
- R : radio equivalente del pozo (relleno) en m
- L : longitud del contrapeso en m
- r : radio equivalente del conductor con cemento conductor en m
- m : factor de tratamiento ($3 \leq M \leq 8$)
- h : profundidad de enterramiento en m

2.2.6.3 Diseño de software de cálculo

Para el cálculo de todos los valores de resistencia de PAT se diseñó un software básico de cálculo en Ms Excel, el cual comprendía aspectos como son los valores de:

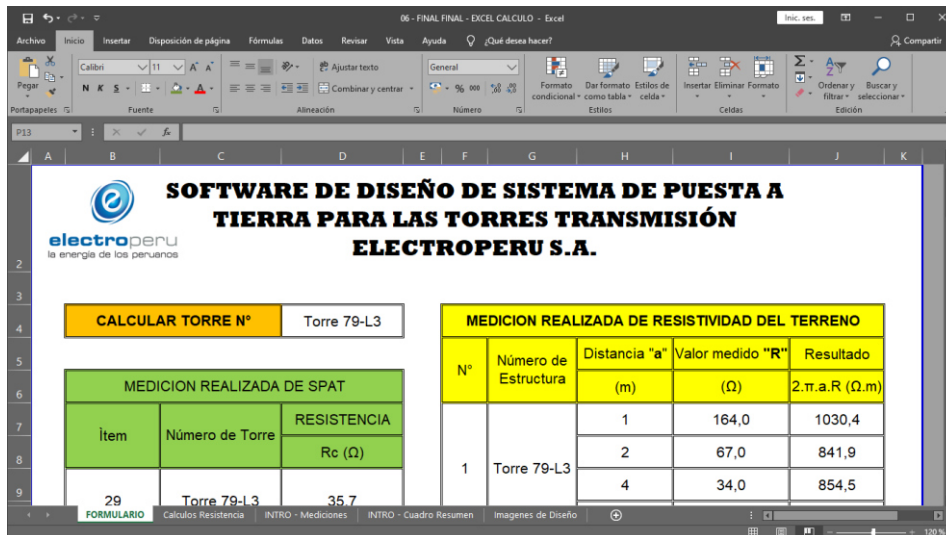


Figura 52. Plantilla de cálculo de contrapesos horizontales en Ms Excel

- A. Calcular torres:** en esta ficha se selecciona de una lista el número de torre de transmisión que se desea calcular.
- B. Medición realizada de resistividad del terreno:** en esta ficha se presentan los valores de medición realizadas de resistividad de terreno y se muestra el valor de resistividades aparentes por cada una de las distancias.
- C. Procesamiento:** en esta ficha se realiza el procesamiento de datos de resistividades de la primera y su altura con respecto a la segunda capa.
- D. Relleno tierra vegetal y bentonita:** en esta ficha se muestran los valores de ancho, profundidad y radio equivalente de la zanja de contrapeso horizontal.
- E. Cálculos resistencia PAT:** en la presente ficha se realizó el procesamiento de la resistividad equivalente, la longitud del conductor y la resistencia de PAT final.
- F. Datos del conductor con cemento conductivo:** en esta ficha se dan los valores del diámetro de cemento conductivo que se fijará al conductor de cobre.
- G. Datos del tratamiento para el contrapeso:** en esta ficha se da el factor de tratamiento para contrapesos horizontales siendo utilizado el valor más bajo de tratamiento.
- H. Diseño final:** en esta ficha se muestra la metodología de instalación para contrapesos horizontales.
- I. Materiales para el contrapeso:** en esta ficha se muestra la cantidad de los materiales necesarios para el contrapeso horizontal.

J. Diagrama de diseño final de SPAT: se muestra el diagrama de diseño de sistema de puesta a tierra con el número de contrapesos horizontales.

K. Detalle contrapeso horizontal: se muestra el detalle de enterrado de contrapeso horizontal.

SOFTWARE DE DISEÑO DE SISTEMA DE PUESTA A TIERRA PARA LAS TORRES TRANSMISIÓN ELECTROPERU S.A.

electroperu
la energía de los peruanos

CALCULAR TORRE N°		Torre 53-L3
--------------------------	--	-------------

MEDICION REALIZADA DE SPAT		
Ítem	Número de Torre	RESISTENCIA Rc (Ω)
20	Torre 53-L3	50

PROCESAMIENTO		
ρ_1	h1	ρ_2
(Ω-m)	(m)	(Ω-m)
430,00	1,6	1399,787

CALCULOS RESISTENCIA PAT		
ρ equivalente	Longitud de Conductor	Resistencia PAT
(Ω-m)	(m)	(Ω)
526,0	25	15,2

MEDICION REALIZADA DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO				
N°	Número de Estructura	Distancia "a" (m)	Valor medido "R" (Ω)	Resultado 2.π.a.R (Ω.m)
1	Torre 53-L3	1	69,5	436,7
		2	45,9	576,8
		4	32,1	806,8
		8	21,3	1070,7

RELLENO TIERRA VEGETAL Y BENTONITA	
Ancho de la zanja (m):	0,4
Profundidad de la zanja (m):	0,5
Radio equivalente de la zanja (m):	0,25

DATOS DEL CONDUCTOR CON CEMENTO CONDUCTIVO	
Diámetro equivalente conductor y cemento (m):	0,0635
Radio equivalente conductor y cemento (m):	0,0318

DATOS DEL TRATAMIENTO PARA EL CONTRAPESO	
Tipo: Tierra vegetal + Cemento Conductivo + Bentonita	
Factor de tratamiento:	3

MATERIALES PARA EL CONTRAPESO		
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD
Cemento Conductivo	BOLSAS 25Kg	4
Tierra Vegetal	m3	3
Bentonita	BOLSAS 30Kg	10
Conductor de 70 mm2	m	25

DISEÑO FINAL

A-1

DIAGRAMA DE DISEÑO FINAL DE SPAT	

DETALLE CONTRAPESO HORIZONTAL	

FORMUADO POR: RICHARD POMA GOMEZ - PRAC. MANTENIMIENTO CPM CAMPO ARMINO

Figura 53. Software de cálculo de contrapesos horizontales en Ms Excel

El cálculo final se expresa en la Figura 53, donde entrega todos los parámetros del sistema de puesta a tierra por estructura, así mismo se pueden observar todos los cálculos en el Anexo 6 de la presente investigación.

2.2.7 Instalación de sistema de puesta a tierra

2.2.7.1 Instalación de líneas de tierra

Los conductores de las líneas de tierra deben instalarse procurando que su recorrido sea lo más accesible posible, evitando trazados tortuosos y curvas de poco radio. Con carácter general, se recomienda que sean conductores desnudos. En el caso de que fuera conveniente realizar la instalación cubierta, deberá serlo de forma que pueda comprobarse el mantenimiento de sus características. **(17)**

Los empalmes y uniones deberán realizarse con medios de unión apropiados, que aseguren la permanencia de la unión, no experimenten al paso de la corriente calentamientos superiores a los del conductor y estén protegidos contra la corrosión galvánica. Las conexiones a las líneas de tierra de masas o estructuras deben efectuarse directamente o por derivaciones, sin posibilidad de interrumpir la continuidad, como resultaría disponiéndolas en serie. **(17)**

2.2.7.2 Procedimientos de conexión de los sistemas de aterramiento

Una nueva instalación de sistema de aterramiento eléctrico depende de muchos factores y en gran magnitud depende de los elementos que los componen. Para lograr resultados óptimos es muy importante el procedimiento que se utiliza para la instalación y conexionado de todos los componentes del sistema de tierra desde el tamaño y longitud de los electrodos, altura de enterramiento, tratamiento del suelo entre otros hasta llegar a la estructura donde se conectará, asegurando que la uniones conductoras sean permanentes cualquiera sea la situación, enterradas o expuestas a la intemperie, es necesario la protección y recubrimiento por un material adecuado.

En el caso de los sistemas de aterramiento por contrapesos horizontales, tener en cuenta que al estar expuestos a una altura mínima facilitan al hurto, por este motivo es muy importante colocar bloques de concreto o de otros materiales según diseño.

El procedimiento que se tuvo en cuenta para este sistema a tierra se realizó aplicando los siguientes pasos.

Paso 1:

Excavar una zanja de 40 a 50 cm. de ancho y de 50 cm de profundidad y tan larga como se requiera de acuerdo con el cálculo realizado antes de la ejecución.



Figura 54. Excavación de zanja para contrapeso horizontal

Paso 2:

Preparación base y relleno del sistema de puesta a tierra con bentonita con tierra negra.



Figura 55. Preparación base y relleno con bentonita y tierra negra

Paso 3:

Rellenar la zanja con una primera capa llamada cama (10 cm), la cual está compuesta con bentonita combinada con tierra negra preparada en el paso anterior.



Figura 56. Primera capa con bentonita y tierra negra

Paso 4:

Uso del cemento conductor para la base del conductor de cobre puro desnudo, para lo cual es necesario mesclar cemento conductor con agua realizando una mezcla compacta para ubicarlo en dirección al conductor de cobre en el centro de la zanja haciendo uso de un molde de tubo de PVC de 2.5” de diámetro.



Figura 57. Base de cemento conductor en zanja

Paso 5:

Se coloca el conductor de cobre puro desnudo a tierra en la zanja, sobre el cemento conductivo de acuerdo con la topografía y resistividad del terreno y se dispondrá a instalar la cantidad necesaria de metros según el cálculo y la sección transversal en mm^2 , por cada contrapeso.



Figura 58. Tendido de conductor desnudo de 70 mm²

Paso 6:

Para este paso es necesario cubrir el conductor de cobre puro, desnudo totalmente, con cemento conductivo haciendo uso del molde de tubo de PVC de 2.5" de diámetro.



Figura 59. Recubrimiento del conductor con cemento conductivo

Paso 7:

Una vez colocado el electrodo horizontal (contrapeso) se procede a rellenar con tierra orgánica combinada y bentonita en los siguientes 20 cm de la zanja, para luego compactarlo haciendo uso de una compactadora manual.



Figura 60. Rellenado con tierra orgánica y bentonita

Paso 8:

Rellenar los 20 cm restantes, con la misma tierra sacada de la zanja, así mismo colocar los bloques de concreto armado, necesarios para evitar el hurto de los contrapesos horizontales y, por último, dejar el lomo de pez, que servirá para una compactación natural después del tiempo.



Figura 61. Bloques de concreto armado para evitar el hurto



Figura 62. Rellenado de la última capa con misma tierra sacada inicialmente

Paso 9:

El conductor desnudo que va de la zanja y sube hasta la base de la torre deberá aislarse para prevenir la corrosión y, por último, realizar la instalación del conector bimetálico a la estructura para un buen contacto.



Figura 63. Instalación de conductor bimetálico

2.2.8 Medición de resistencia de puesta a tierra

2.2.8.1 Método de caída de potencial

Este método tiene varias variaciones y es aplicable a todos los tipos de mediciones de resistencia de tierra. Básicamente, la medición de la resistencia

del suelo consiste en medir la resistencia del sistema de puesta a tierra con respecto a un electrodo de tierra remoto. (19)

El electrodo remoto está teóricamente en una distancia infinita desde el sistema de puesta a tierra donde la densidad de corriente de tierra se acerca a cero. Aunque el método de caída de potencial se usa universalmente, presenta muchas dificultades y fuentes de error cuando se usa para medir la resistencia de los grandes sistemas de puesta a tierra que generalmente se encuentran en la práctica. Estas dificultades ocurren principalmente por el tamaño y la configuración del sistema de puesta a tierra y la heterogeneidad del suelo. (19)

La prueba se realiza inyectando una corriente continua a través de la resistencia de difusión y de un electrodo auxiliar denominado electrodo de corriente (C – *Current Electrode*), y midiendo la tensión producida entre la PAT (E – *Station Grid*) y otro electrodo auxiliar de tensión (P- *Potential Electrode*), clavado en un área plana del perfil del potencial, el cual será creado por la corriente circulante. El equipo mide la resistencia calculando el cociente entre la tensión y la corriente. (16)

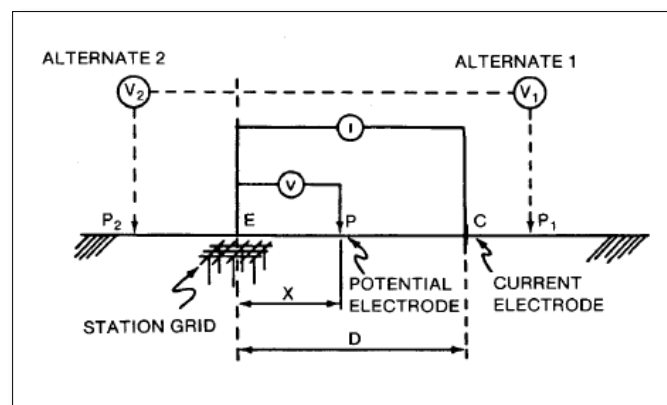


Figura 64. Método de la curva de caída de potencial.
Tomada de IEEE Std 80-2000, p. 115

El método que se utilizó para realizar las medidas de la resistencia de PAT en las torres de transmisión de la línea 3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A. es el método de caída de potencia, es uno de los métodos que nos recomienda la IEEE Std 80-2000 en su apartado 19, el telurómetro utilizado para la de alta frecuencia que se utilizó es el modelo TM25m de la marca Megabras.

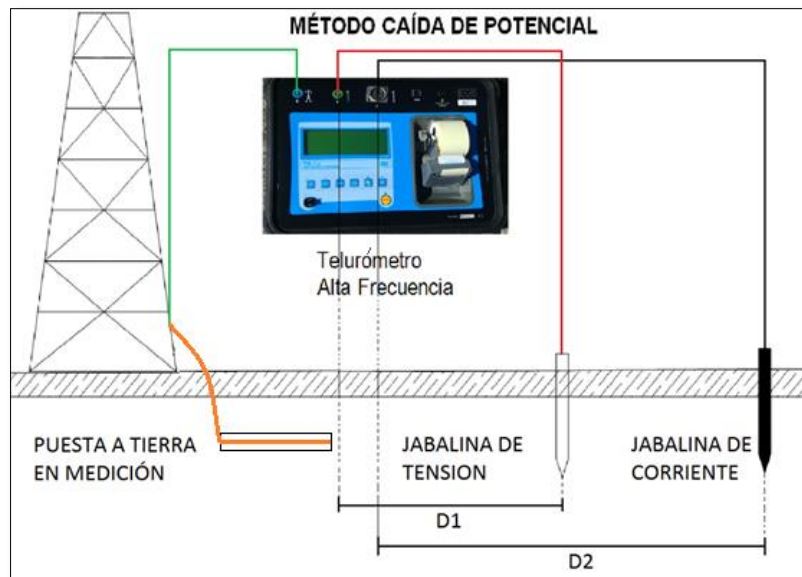


Figura 65. Método de caída de potencial distancia $D1= 61.8$ m y $D2=100$ m

Para la medición de la resistencia de PAT se utilizaron cintas métricas para determinar las distancias del método caída de potencial.



Figura 66. Medición con el método de caída de potencial distancia $D1= 62$ m y $D2=100$ m

Los electrodos auxiliares se enterraron a una profundidad aceptable entre 30 y 50 cm.



Figura 67. Clavado de estacas y engarce a la estructura



Figura 68. Tomando la medición final de resistencia de puesta a tierra

2.2.8.2 Telurómetro de alta frecuencia

Los instrumentos de prueba conocidos como telurómetros de alta frecuencia están diseñados para una medición de resistencia de puesta a tierra muy rápida, confiable y segura. Los telurómetros de alta frecuencia son utilizados para realizar mediciones de sistemas de potencia como torres de transmisión con líneas en servicio o subestaciones con cables de guarda conectados, torres de telecomunicaciones, entre otros; con cables de interconexión, todo esto sin necesidad de sacar de servicio el sistema ni desconectar los cables de guarda.

(16)

Lo telurómetros de alta frecuencia normalmente emplean 25 kHz, en un vano de extensión normal, usando la reactancia inductiva del cable de guarda, esta frecuencia es considerablemente alta y minimiza el efecto que pueden generar sistemas de aterramiento de torres adyacentes en donde se está realizando la medición. El instrumento solo mide la resistencia de puesta a tierra de la torre del sistema medido, incluyendo la cimentación y la parte anclada de la torre, de tal forma que el valor leído representa claramente el comportamiento que tendrá el sistema de aterramiento frente a un impulso de onda, como puede ser el caso de una descarga eléctrica atmosférica. **(16)**

En los telurómetros de alta frecuencia los filtros adheridos al equipo eliminan el efecto de las corrientes espurias, la corriente circulante por el suelo es autorregulable al valor definido, presentando una precisión de 1%, haciendo posible que el instrumento indique el valor de resistencia en Ohmios. **(16)**

2.2.8.3 Telurómetro Megabras TM25m

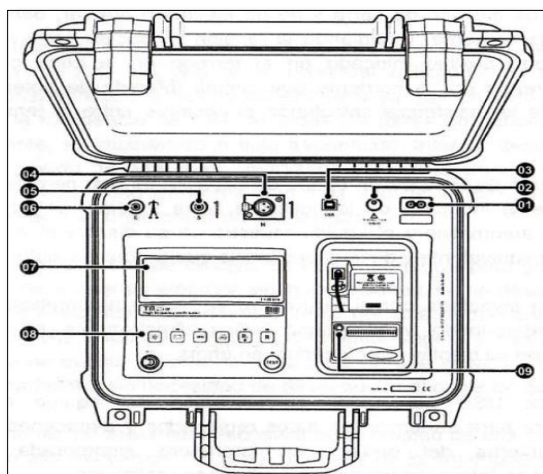
La verificación del sistema a tierra (PAT) en torres de líneas de transmisión de energía eléctrica muchas veces muestran algunas dificultades al estar interconectadas por medio de los cables de guarda, los cuales son colocados en la parte más alta de la estructura y hacen la función de los pararrayos, protegiendo los sistemas ante fenómenos naturales de descargas atmosféricas. Al existir este tipo de interconexión de torre a torre, cualquier medición que se quiera realizar utilizando un telurómetro convencional conlleva a un resultado erróneo ya que en la realidad se estará midiendo la resistencia de PAT de todo el conjunto de torres en paralelo (impedancia a baja frecuencia). Otra forma sería desconectar el cable de guarda, pero esta operación sería de bastante riesgo en una línea de transmisión energizada. **(21)**

Para realizar las mediciones de PAT, garantizando el transporte de energía en líneas de transmisión, se tiene un medidor de resistencia de puesta a tierra (RPAT), para altas frecuencias se desarrolló en telurómetro TM-25m, este equipo es el adecuado para una medición segura, confiable y rápida de (RPAT) de torres de una línea de transmisión en actividad, realizado si desconectar los cables de guarda del sistema. **(21)**

Es así como se obtienen valores de (RPAT) los cuales representan la capacidad que tiene el sistema para conducir una corriente de falla producto de descargas atmosféricas o fallas propias del sistema. **(21)**

A. Funciones del panel

Todos los controles, indicadores, bornes de entrada y salida del TM-25m se encuentran en el panel de control y son fácilmente accesibles al operador. Las siguientes figuras informan la función de cada ítem. **(21)**



**Figura 69. Detalle telurómetro Megabras TM-25m.
Tomada de Manual telurómetro digital Megabras TM25m, p. 5**

Tabla 14. Partes de telurómetro Megabras TM-25m

01	Entrada de alimentación
02	Entrada para batería externa
03	Interface USB
04	Conector para jabalina de corriente
05	Conector para sonda (jabalina auxiliar de potencial)
06	Conector para jabalina de pie de torre
07	Display
08	Teclado
09	Control de alimentación del papel

Tomada de Manual telurómetro digital Megabras TM25m

También el teclado comprende las siguientes funciones, resaltando las funciones de resistencia, resistencia compensada, impresión y el botón test.

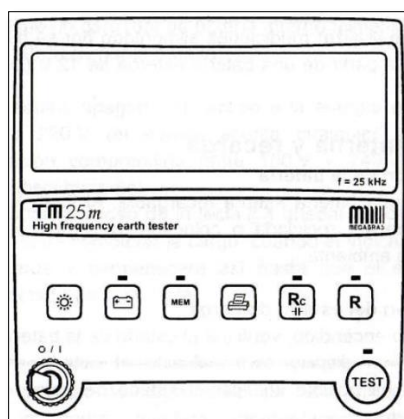


Figura 70. Detalle panel principal de telurómetro Megabras TM-25m.
 Tomada de Manual telurómetro digital Megabras TM25m, p. 5

Tabla 15. Detalle de funciones telurómetro Megabras TM-25m

Tecla	Función	LED
	ON/OFF - Enciende / Apaga el equipo	–
	Imprime el ultimo ensayo realizado	–
	Memoria - transfiere los datos almacenados para una computadora	–
	Batería - exhibe en el display el estado de carga de la batería	Indica que el cargador de batería está actuando
	Backlight - activa la iluminación del display. Después de aprox. 10 segundos el backlight se auto apagará	–
	Función para medición de la Resistencia de Puesta a Tierra con compensación de la componente reactiva	Indica que esta función esta seleccionada
	Función para medición de Resistencia de Puesta a tierra (sin compensación)	Indica que esta función esta seleccionada
	Tecla de inicio del ensayo	Indica que se está realizando la medición

Tomada de Manual telurómetro digital Megabras TM25m

B. Alimentación

El telurómetro TM-25m puede realizar mediciones en campo alimentado por una batería interna o conectado a una red externa de 220 VAC también a partir de una batería externa de 12 VDC pudiendo ser este de un automóvil o similar. (21)

C. Conexión

El telurómetro de alta frecuencia TM-25m del fabricante brasileño Megabras, cuando se va a realizar el conexionado, este equipo deberá estar ubicado lo más cercanamente posible a la estructura de la torre y en este punto se conectará el terminal (E) del instrumento. (21)

Las picas auxiliares serán clavadas en forma recta de forma perpendicular al tendido de la línea de transmisión. Primero, se instala la pica auxiliar de corriente a 100 m (100%) del punto cero de las medidas y la sonda (pica de potencial) estará conectada a 62 m (62%). Para la instalación la pica que está más lejos debe utilizar un cable blindado que se debe conectar al equipo al terminal denominado (H). La jabalina central (sonda) se conectará al terminal (S) del telurómetro. (21)

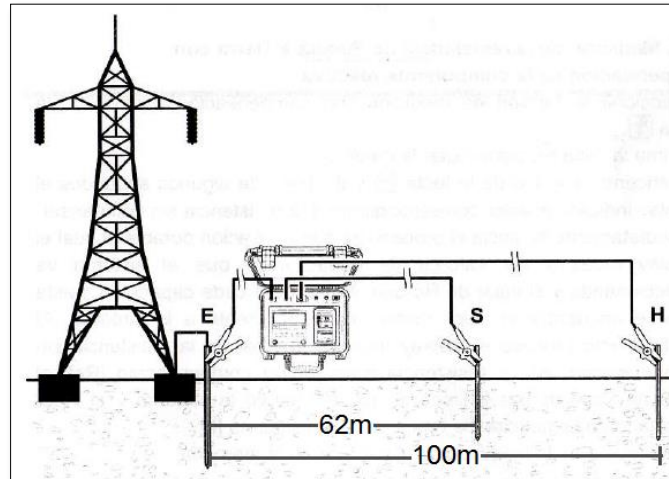


Figura 71. Método de caída de potencial distancia $D1= 62\text{ m}$ y $D2=100\text{ m}$. Tomada de Manual telurómetro digital Megabras TM25m, p. 7

D. Impresora

Para imprimir los resultados, presión de la tecla *print*, después de cada medición. La impresora del TM-25m utiliza papel térmico de 37 mm de ancho, en una bobina de 33 mm de diámetro. La siguiente figura muestra como insertar correctamente el papel. (21)

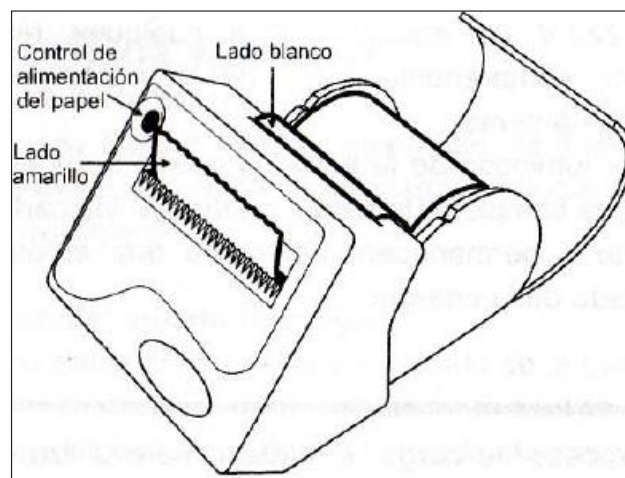


Figura 72. Detalle impresora telurómetro Megabras TM-25m. Tomada de Manual telurómetro digital Megabras TM25m, p. 7

2.3 Definición de términos

Para cada uno de los términos o conceptos, se mencionan sus diferentes características más resaltantes y la interpretación técnica de sus alcances inmediatos y de su desempeño, dichas precisiones son básicas y del dominio permanente de los profesionales electricistas, estos conceptos nos darán una idea más clara para el entendimiento de la presente investigación.

A) Electrodo

Cuerpo metálico que, estando aislado de todo potencial, puede conectarse a una fuente eléctrica manteniendo la carga y no estando aislado, adquiere el potencial del medio en el que está inmerso y puede dispersar la carga recibida.

(14)

- Es un conductor eléctrico de geometría conveniente.
- Puede recibir o dejar circular carga infinita a través de él.
- Puede ser un armado de cualquier forma o tamaño.

B) Cuerpo conductor

Material o medio cuya estructura atómica permite el deslizamiento o la conducción de carga eléctrica a través de sí, bajo una D. D. P. aplicada; son principalmente los metales. **(14)**

- Sus enlaces atómicos núcleo - electrón son débiles.
- Propician la circulación de carga electrónica.
- Al retener carga la distribuyen en su superficie.
- Sus parámetros eléctricos se manifiestan según su geometría.

C) Carga eléctrica (Q)

Cantidad de electricidad suministrada por una fuente cualquiera hacia un electrodo o hacia un medio distinto, desde donde proyecta su influencia. **(14)**

- Tiene la polaridad de la fuente de donde proviene.
- Según la fuente se puede asociar a una electrización lenta.
- Es retenida o se desplaza a través de un electrodo.
- Es directamente proporcional a la tensión de la fuente.

D) Potencial de referencia cero o potencial de tierra remota

Es un punto del suelo donde el análisis muestra que cumple la condición ($V=0$), igual que todo punto muy lejano donde se desvanece el potencial que produce la corriente inyectada al suelo, es decir su resistencia es ($R=0$). **(14)**

- Es distinto al potencial propio o natural del suelo.
- Se le ubica según la necesidad del circuito eléctrico.
- Al recibir carga no se electriza permanentemente.
- Se le alcanza con un electrodo enterrado en suelo firme (PAT).
- Se le utiliza como sumidero infinito de carga (fallas, rayos, etc.).

E) Puesta a tierra

Es una instalación de enlace sólido entre el sistema eléctrico y el lugar geométrico del potencial de referencia cero, está formada por un armado de conductores desnudos enterrados en suelo firme, para mínima impedancia al paso de las corrientes. **(14)**

- Provee el potencial de referencia cero a la instalación.
- Su inductancia refleja las ondas de impulso, su capacitancia no.
- Dispersando corrientes senoidales prima su carácter resistivo.
- Dispersando corrientes de alta frecuencia prima su impedancia.

F) Conexión al potencial de tierra

Acceso directo al potencial de referencia cero, mediante conexiones metálicas a una puesta a tierra, desde los neutros y las masas de una instalación eléctrica. **(14)**

- Para neutros una conexión sólida o a través de impedancias.
- Para masas de todo tipo, una conexión sólida y directa.
- Es el principal requisito para los enlaces equipotenciales.
- Brinda una vía de paso de corriente en ambos sentidos.

G) Enlace equipotencial

Conexión entre sí, de masas ya conectadas a tierra o de bornes de tierra de equipos de subsistemas de baja tensión, a barras exclusivas aisladas e

independientes, antes de la conexión única y directa a la puesta a tierra principal.

(14)

- Barra del neutro y de bornes de masas de seguridad.
- Barra de bornes de puesta a tierra de señal.
- Unión barra de masas - tierra, con intermedio señal.

H) Cuerpo o medio dieléctrico

Material o medio cuya estructura atómica no admite el deslizamiento de carga ni la conducción eléctrica. **(14)**

- Se caracterizan por su permisividad relativa (ϵ_r).
- Sus enlaces atómicos medio-electrón son fuertes.
- La circulación de carga electrónica es destructiva.

I) Aislante eléctrico

Medio o material simple o compuesto que, bajo una diferencia de potencial, mantiene su rigidez dieléctrica constante en todas direcciones; el seguimiento de su desempeño permite las evaluaciones del mantenimiento predictivo. **(14)**

- Es independiente de la forma del campo eléctrico aplicado.
- Sus pérdidas dieléctricas resistivas iniciales indican su calidad.
- Se mide su corriente de carga, las pérdidas dieléctricas ($I_c \gg I_R$).

J) Tensiones de toque

Se miden entre puntos de masas conectadas a la PAT y diferentes puntos de la superficie del suelo, separados a distancias de 1m.

k) Tensiones de paso

Se miden entre cada dos puntos cualesquiera y sucesivos en la superficie del suelo que abarca la PAT, separados una distancia de 1m.

Siendo 50V la Tensión admisible por las personas durante 3s, se estima que los Potenciales durante el despeje casi instantáneo de fallas en MT, BT, podrán ser:

- Para Tensiones de Toque : 65 Voltios.
- Para Tensiones de Paso : 90 Voltios.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Método y alcances de la investigación

3.1.1 Método de la investigación

A) Método general o teórico de la investigación

El método de investigación general que se empleó como base estructural es el método científico, el cual se comprende como un grupo de principio, normas y reglas para resolver diferentes estudios de problemas de investigación, denominada en la comunidad científica reconocida. **(22)**

B) Método específico de la investigación

Como método específico se utilizó el método hipotético – deductivo, el cual consiste en un procedimiento que parte de unas aseveraciones en calidad de hipótesis y busca refutar o falsear tales hipótesis, deduciendo de ellas conclusiones que deben confrontarse con los hechos. **(22)** Ya que mediante la interpretación de los datos obtenidos se analizaron los hechos y sucesos en forma metódica y secuencial cumpliendo con la comprobación de las hipótesis.

Así mismo, como método se utilizó el método tradicional cuantitativo, el cual se fundamenta en la medición de las características de los fenómenos sociales, que supone derivar de un marco conceptual pertinente al problema analizado una serie de postulados que expresen relaciones entre las variables estudiadas

de forma deductiva. Este método tiende a generalizar y normalizar resultados. (22)

3.1.2 Alcances de la investigación

A) Tipo de investigación

El tipo de investigación según su finalidad planteada es la investigación aplicada, es también llamada práctica, empírica, activa o dinámica, se encuentra íntimamente ligada a la investigación básica, ya que depende de sus descubrimientos y aportes teóricos por sus beneficios y bienestar a la sociedad. (23) Tiene por intención primordial la resolución de problemas y contribuir con la construcción de nuevos conocimientos.

B) Nivel de investigación

El nivel de la investigación en el cual está enfocado según su alcance es una, investigación descriptiva, ya que con esta investigación se busca especificar las propiedades, características y rasgos importantes de un sistema de aterramiento horizontal y cómo este influye en la resistencia de PAT, de esta forma, pudiendo evaluar cualquier fenómeno que se presente y así analizar cuáles son sus componentes principales.

la investigación descriptiva es uno de los tipos o procedimientos investigativos más populares y utilizados por los principiantes en la actividad investigativa. Los trabajos de grado, en los pregrados y en muchas de las maestrías, son estudios de carácter eminentemente descriptivo. (22)

3.2 Diseño de la investigación

3.2.1 Tipo de diseño de investigación

El diseño que se empleó en la presente investigación es experimental, consiste en demostrar que la modificación de la variable independiente (sistema de aterramiento por contrapesos horizontales) ocasionará un cambio predecible en la variable dependiente (resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión).

Consiste en una acepción particular de experimento, más armónica con un sentido científico del término, se refiere a un estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (supuestas causas-antecedentes), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos-consecuentes), dentro de una situación de control para el investigador. Esta definición quizá parezca compleja; sin embargo, conforme se analicen sus componentes se aclarará el sentido de esta. **(24)**

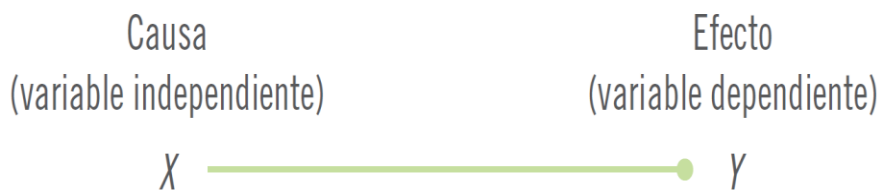


Figura 73. Esquema de experimentos y variables.
Tomada de Metodología de la investigación, p. 121

- **Variable independiente X** : sistema de aterramiento por contrapesos horizontales.
- **Variable dependiente Y** : resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión.

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

La población estuvo conformada por 80 torres que conforman la línea L3 – SAM - *Tablachaca* 33 kV, la cual fue evaluada en este estudio, mediante esta línea auxiliar se alimenta a los servicios auxiliares del complejo hidroeléctrico del Mantaro, presa *Tablachaca*, cámara de válvulas o ventana 5, ventana 3 y el campamento de *Quichuas*.

Población N = 80 torres de transmisión.

Tabla 16. Datos de medición de resistencia de puesta a tierra inicial

Medición resistencia de puesta a tierra realizada antes de la optimización en Ohmios		
Ítem	Número de estructura	Rc (Ω)
1	Torre 01-L3	18.50
2	Torre 02-L3	26.10
3	Torre 03-L3	17.85
4	Torre 04-L3	11.63
5	Torre 05-L3	09.84
6	Torre 06-L3	30.80
7	Torre 07-L3	17.17
8	Torre 08-L3	24.70
9	Torre 09-L3	11.56
10	Torre 10-L3	17.75
11	Torre 11-L3	22.40
12	Torre 12-L3	10.77
13	Torre 13-L3	34.70
14	Torre 14-L3	29.40
15	Torre 15-L3	18.60
16	Torre 16-L3	25.90
17	Torre 17-L3	62.80
18	Torre 18-L3	23.30
19	Torre 19-L3	19.50
20	Torre 20-L3	20.20
21	Torre 21-L3	16.90
22	Torre 22-L3	24.33
23	Torre 23-L3	19.50
24	Torre 24-L3	20.60
25	Torre 25-L3	24.60
26	Torre 26-L3	23.20
27	Torre 27-L3	33.20
28	Torre 28-L3	36.60
29	Torre 29-L3	25.10
30	Torre 30-L3	29.20
31	Torre 31-L3	25.83
32	Torre 32-L3	34.30
33	Torre 33-L3	16.30
34	Torre 34-L3	24.80
35	Torre 35-L3	19.60
36	Torre 36-L3	23.60
37	Torre 37-L3	52.70
38	Torre 38-L3	50.30
39	Torre 39-L3	11.52
40	Torre 40-L3	63.30

41	Torre 41-L3	25.30
42	Torre 42-L3	22.80
43	Torre 43-L3	10.79
44	Torre 44-L3	11.30
45	Torre 45-L3	18.90
46	Torre 46-L3	11.71
47	Torre 47-L3	28.60
48	Torre 48-L3	19.70
49	Torre 49-L3	12.70
50	Torre 50-L3	10.80
51	Torre 51-L3	25.20
52	Torre 52-L3	50.40
53	Torre 53-L3	63.50
54	Torre 54-L3	15.30
55	Torre 55-L3	98.6
56	Torre 56-L3	14.70
57	Torre 57-L3	15.30
58	Torre 58-L3	17.30
59	Torre 59-L3	21.30
60	Torre 60-L3	12.30
61	Torre 61-L3	50.20
62	Torre 62-L3	13.50
63	Torre 63-L3	34.20
64	Torre 64-L3	59.40
65	Torre 65-L3	33.70
66	Torre 66-L3	39.20
67	Torre 67-L3	18.12
68	Torre 68-L3	17.51
69	Torre 69-L3	21.20
70	Torre 70-L3	14.90
71	Torre 71-L3	09.98
72	Torre 72-L3	17.48
73	Torre 73-L3	22.60
74	Torre 74-L3	12.94
75	Torre 75-L3	41.00
76	Torre 76-L3	27.80
77	Torre 77-L3	12.90
78	Torre 78-L3	23.20
79	Torre 79-L3	34.40
80	Torre 80-L3	15.76

3.3.2 Muestra

Para este estudio se consideró un muestreo no probabilístico, también llamado muestra dirigida, ya que se delimitó la muestra de acuerdo al interés del investigador tomando en cuenta los datos obtenidos de las mediciones de resistencia de PAT, las cuales se encuentran por encima de lo establecido por el CNE (25 Ohm) (1), que comprenden todo el tramo de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A., tomando una muestra total de 29 torres de transmisión.

Tabla 17. Muestra de 29 torres para la investigación

Medición resistencia de puesta a tierra realizada antes de la optimización en Ohmios que superan los 25 (Ω)		
Ítem	Número de estructura	Rc (Ω)
1	Torre 02-L3	26.10
2	Torre 06-L3	30.80
3	Torre 13-L3	34.70
4	Torre 14-L3	29.40
5	Torre 16-L3	25.90
6	Torre 17-L3	62.80
7	Torre 27-L3	33.20
8	Torre 28-L3	36.60
9	Torre 29-L3	25.10
10	Torre 30-L3	29.20
11	Torre 31-L3	25.83
12	Torre 32-L3	34.30
13	Torre 37-L3	52.70
14	Torre 38-L3	50.30
15	Torre 40-L3	63.30
16	Torre 41-L3	25.30
17	Torre 47-L3	28.60
18	Torre 51-L3	25.20
19	Torre 52-L3	50.40
20	Torre 53-L3	63.50
21	Torre 55-L3	98.60
22	Torre 61-L3	50.20
23	Torre 63-L3	34.20
24	Torre 64-L3	59.40
25	Torre 65-L3	33.70
26	Torre 66-L3	39.20
27	Torre 75-L3	41.00
28	Torre 76-L3	27.80
29	Torre 79-L3	34.40

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos

La técnica utilizada para la recolección de datos fue la observación directa, debido a que permite obtener información directa y confiable, siempre y cuando se haga mediante un procedimiento sistematizado y muy controlado, para lo cual hoy están utilizándose medios audiovisuales completos, especialmente en estudios del comportamiento de variables numéricas. **(22)**

A su vez, en la parte experimental se realizaron otras técnicas como son: registro de datos, medición de parámetros, base de datos, etc., además de la experimentación en cada una de las torres planteadas, como un principio de prueba para la parte demostrativa del proceso de optimización del sistema de puesta a tierra.

3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos

Los instrumentos utilizados para la presente investigación son: registros de resistividades del terreno, registros de resistencias de puesta a tierra antes y después de la optimización, hojas de cálculo, etc.

El instrumento utilizado para la recolección de datos en el caso de la medición de la resistividad es el telurómetro digital - *Megabras MTD-20 kWe*, el cual permite medir resistencias de puesta a tierra (PAT), resistividad del terreno por el método de *Wenner* y las tensiones espurias provocadas por las corrientes parásitas en el suelo; para la resistencia de PAT se hizo uso de un telurómetro de alta frecuencia - *Megabras TM25m*, instrumento adecuado para la medición rápida, segura y confiable de la resistencia de puesta a tierra de cada una de las torres de la línea de transmisión en funcionamiento, sin necesidad de desconectar el cable de guarda.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información

En este capítulo se presentan los resultados de la investigación, que consisten en determinar la influencia de un sistema de aterramiento por contrapesos horizontales en la optimización de la resistencia de dispersión de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A., con el fin de evaluar, diagnosticar y controlar los diferentes valores de resistencias de dispersión de la línea de transmisión antes mencionada, tomando en cuenta los valores de medición (inicial), de ese modo, se discriminan las torres que no cumplen con el valor establecido, el cual es menor a (25 Ohm) según el CNE.

Para el proceso de optimización de la resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV, se ha planteado un diseño en base a, contrapesos horizontales, esto a causa de la presencia de corrosión, alambres bañados en cobre rotos, mal dimensionamiento de SPAT, entre otros, para lo cual se empleó el siguiente procedimiento:

- Medición de resistencia de puesta a tierra de las 80 torres que comprenden la línea de transmisión, donde se utilizó el método de caída de potencial, según lo estipulado en la norma la IEEE Std 80 - 2000 en su apartado 19, se utilizó un protocolo de medición y como instrumento de prueba el telurómetro de alta frecuencia - Megabras TM25.



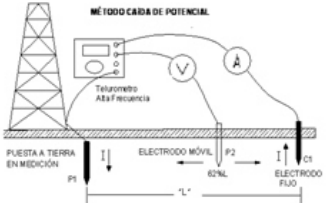
- En las torres que no cumplen con el valor de resistencia de puesta a tierra según lo establecido por el CNE, el cual es menor a 25 Ohm, se realizaron mediciones de resistividad del terreno adyacentes a dicha estructura mediante el método *Wenner*, según lo estipulado en la norma la IEEE Std.80 – 2000 en su apartado 13, donde se utilizó un protocolo de medición y como instrumento de prueba el telurómetro digital - Megabras MTD-20 kWe.
- Con los valores de resistividad medidos se realizó el procesamiento en gabinete para obtener el valor de resistividad de las capas para el diseño, a este proceso se le conoce como la estratificación del terreno, usando curvas características, con estos valores se procedió a calcular la resistividad equivalente del terreno, necesaria para el diseño final.
- Teniendo en cuenta el valor de la resistividad equivalente que se extrajo de la estratificación del terreno, se calcularon los valores mediante el software de cálculo, las resistencias de puesta a tierra, las cuales deben ser valores permisibles; así mismo, se determinó la longitud de los contrapesos horizontales y la cantidad necesaria de materiales para el tratamiento del terreno en cada una de las torres de transmisión.
- Se procedió a realizar el trabajo de mantenimiento, siguiendo el procedimiento de instalación de contrapesos horizontales en las estructuras de la línea de transmisión.
- Por último, se realizó la medición de resistencia de dispersión de las 29 torres que fueron utilizadas como muestra de la investigación, donde se utilizó el método de caída de potencial, según lo estipulado en la norma la IEEE Std 80-2000 en su apartado 19, por último, se registró todo en los protocolos de medición y como instrumento de prueba se utilizó el telurómetro de alta frecuencia - Megabras TM25.

4.1.1 Resultado para lograr explicar el objetivo específico 1

Para dar el resultado y explicar el objetivo específico 1: *Medir y evaluar los valores de resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A. antes de la optimización, mediante el sistema de aterramiento por contrapesos horizontales.* Se hizo uso del método de caída de potencial, según lo estipulado en la norma la IEEE Std

80-2000 en su apartado 19, para lo cual se utilizó un protocolo de medición y como instrumento de prueba el telurómetro de alta frecuencia - Megabras TM25, los resultados de la medición son los siguientes.

Tabla 18. Protocolo de medición de PAT

 TYT INGENIEROS S.R.L.		PROTOCOLO DE MEDICIONES DE RESISTENCIA DE PUESTA TIERRA EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN CON CABLE GUARDA		 electroperu la energía de los peruanos							
EMPRESA PROPIETARIA :		ELECTROPERU S.A.									
DESCRIPCIÓN DE LA OBRA :		MANTENIMIENTO DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN 33KV, DEL CENTRO DE PRODUCCIÓN MANTARO									
LÍNEA DE TRANSMISIÓN :		LÍNEA L3, DESDE CENTRAL HIDROELÉCTRICA SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO - REPRESA TABLACHACA									
FECHA DE MEDICIÓN :		14/12/2018									
DATOS GENERALES DEL EQUIPO		MÉTODO DE MEDICIÓN		GRÁFICO DEL CONEXIONADO							
El equipo de medición de Resistividad del Terreno es un telurómetro digital de alta frecuencia, marca MEGABRAS, modelo TM 25m, sus rangos de medición son los siguientes: 0.300 Ω. La temperatura de operación: 5°C a 50°C Precisión: Medición de resistencias: ± (2.5% del valor medido ± 1 dígito) Corriente de medición 20mA regulada automáticamente SERIE : MM6009 E		MÉTODO CAÍDA POTENCIAL Es uno de los métodos más usados para la medida de la resistencia de puesta a tierra y se representa esquemáticamente según la Figura. P1 es la puesta a tierra a medir y P2 y C1 son dos electrodos auxiliares que permiten conocer la corriente que circula entre los electrodos P1 y C1 y la diferencia de potencial entre P1 y P2. Si la intensidad de corriente es "I" y la diferencia de potencial "V", el cociente V/I dará el valor de la resistencia de la Puesta a Tierra. El electrodo C1, debe ubicarse a una distancia de 100 metros con respecto a la banda externa de la P.T. y el electrodo P debe ubicarse a una distancia igual a 62% de la distancia P1 y C1									
N° ESTRUCTURA : T2-L3			N° ESTRUCTURA : T6-L3			N° ESTRUCTURA : T13-L3			N° ESTRUCTURA : T14-L3		
TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO			TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO			TIPO DE TERRENO : ROCOSO			TIPO DE TERRENO : ROCOSO		
ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°		
Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)
100	62	28.1	100	62	30.8	100	62	34.7	100	62	29.40
N° ESTRUCTURA : T16-L3			N° ESTRUCTURA : T17-L3			N° ESTRUCTURA : T27-L3			N° ESTRUCTURA : T28-L3		
TIPO DE TERRENO : ROCOSO			TIPO DE TERRENO : ROCOSO PEDREGOSO			TIPO DE TERRENO : TIERRA CULTIVO			TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO		
ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 45°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°		
Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)
100	62	25.9	100	62	62.8	100	62	33.2	100	62	36.00
N° ESTRUCTURA : T29-L3			N° ESTRUCTURA : T30-L3			N° ESTRUCTURA : T31-L3			N° ESTRUCTURA : T32-L3		
TIPO DE TERRENO : TIERRA CULTIVO			TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO			TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO			TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO		
ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°		
Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)
100	62	25.1	100	62	29.2	100	62	25.83	100	62	34.30
N° ESTRUCTURA : T37-L3			N° ESTRUCTURA : T38-L3			N° ESTRUCTURA : T40-L3			N° ESTRUCTURA : T41-L3		
TIPO DE TERRENO : TIERRA CULTIVO			TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO			TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO			TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO		
ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°		
Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)
100	62	52.7	100	62	50.3	100	62	63.3	100	62	25.30

N° ESTRUCTURA : T47-L3			N° ESTRUCTURA : T51-L3			N° ESTRUCTURA : T52-L3			N° ESTRUCTURA : T53-L3		
TIPO DE TERRENO : TIERRACULTIVO			TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO			TIPO DE TERRENO : ROCOSO			TIPO DE TERRENO : CULTIVO SECO		
ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 45°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°		
Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)
100	62	28.6	100	62	25.2	100	62	50.4	100	62	63.60
N° ESTRUCTURA : T55-L3			N° ESTRUCTURA : T61-L3			N° ESTRUCTURA : T63-L3			N° ESTRUCTURA : T64-L3		
TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO			TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO			TIPO DE TERRENO : CULTIVO SECO			TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO		
ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°		
Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)
100	62	98.6	100	62	50.2	100	62	34.2	100	62	59.40
N° ESTRUCTURA : T65-L3			N° ESTRUCTURA : T66-L3			N° ESTRUCTURA : T75-L3			N° ESTRUCTURA : T76-L3		
TIPO DE TERRENO : TIERRA DE CULTIVO			TIPO DE TERRENO : ROCOSO			TIPO DE TERRENO : ROCOSO			TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO		
ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°		
Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)
100	62	33.7	100	62	39.2	100	62	41	100	62	27.80
N° ESTRUCTURA : T79-L3			N° ESTRUCTURA :			N° ESTRUCTURA :			N° ESTRUCTURA :		
TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO			TIPO DE TERRENO :			TIPO DE TERRENO :			TIPO DE TERRENO :		
ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN:			ANGULO INCLINACIÓN:			ANGULO INCLINACIÓN:		
Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)
100	62	34.4									

Tomada de la empresa T y T Ingenieros S. R. L. con supervisión de Electroperú S. A.

Como cuadro resumen de la medición de resistencia de PAT antes de la optimización se obtuvieron los siguientes datos.

Tabla 19. Valores de resistencia de PAT antes de la optimización

Medición de resistencia de puesta a tierra realizada antes de la optimización		
Ítem	Número de estructura	Rc (Ω)
1	Torre 02-L3	26.1
2	Torre 06-L3	30.8
3	Torre 13-L3	34.7
4	Torre 14-L3	29.4
5	Torre 16-L3	25.9
6	Torre 17-L3	62.8
7	Torre 27-L3	33.2
8	Torre 28-L3	36.6
9	Torre 29-L3	25.1
10	Torre 30-L3	29.2
11	Torre 31-L3	25.83
12	Torre 32-L3	34.3



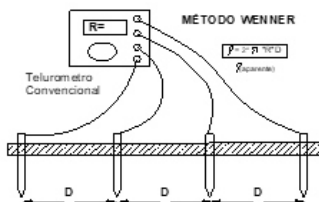
13	Torre 37-L3	52.7
14	Torre 38-L3	50.3
15	Torre 40-L3	63.3
16	Torre 41-L3	25.3
17	Torre 47-L3	28.6
18	Torre 51-L3	25.2
19	Torre 52-L3	50.4
20	Torre 53-L3	63.5
21	Torre 55-L3	98.6
22	Torre 61-L3	50.2
23	Torre 63-L3	34.2
24	Torre 64-L3	59.4
25	Torre 65-L3	33.7
26	Torre 66-L3	39.2
27	Torre 75-L3	41
28	Torre 76-L3	27.8
29	Torre 79-L3	34.4

En la Tabla 19, se muestran los valores de resistencia de PAT R_c. (resistencia compensada) medida antes de la optimización del sistema de puesta a tierra mediante contrapesos horizontales, estos valores que son en total 29, han sido discriminados por estar por encima del valor establecido, siendo menor a 25 Ohm según el CNE.

4.1.2 Resultado para lograr explicar el objetivo específico 2

Para dar el resultado y explicar el objetivo específico 2: *Utilizar el método Wenner para obtener los valores de resistividad aparente del terreno, necesario para el modelamiento del sistema de aterramiento por contrapesos horizontales en la optimización de la resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A.* Se realizaron mediciones de resistividad del terreno adyacentes a todas las estructuras estudiadas en esta investigación, el cual se realizó mediante el método *Wenner*, según lo estipulado en la norma IEEE Std.80 – 2000 en su apartado 13, donde se utilizó un protocolo de medición y como instrumento de prueba el telurómetro digital - Megabras MTD-20 kWe.

Tabla 20. Protocolo de medición de resistividad aparente del terreno

 TYT INGENIEROS S.R.L		PROTOCOLO DE MEDICIÓN RESISTIVIDAD DE TERRENO EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN		 electroperu la energía de los peruanos							
EMPRESA PROPIETARIA :		ELECTROPERU S.A.									
NOMBRE DE LA OBRA :		MANTENIMIENTO DE LA LINEA DE TRANSMISIÓN 33KV, DEL CENTRO DE PRODUCCIÓN MANTARO									
LÍNEA DE TRANSMISIÓN :		LÍNEA L3, SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO - REPRESA DE TABLACHACA									
UBICACIÓN DE LA LÍNEA :		DESDE LA CENTRAL ANTUNEZ DE MAYOLO HASTA EL DISTRITO DE QUICHUAS									
DATOS GENERALES DEL EQUIPO		MÉTODO DE MEDICIÓN		GRAFICO DEL CONEXIONADO							
El equipo de medición de Resistividad del Terrenos es un telurometro digital marca MEGABRAS, modelo MTD 20 KWe, sus rangos de medición son los siguientes: 0-20 Ω; 0-200 Ω; 0-2.000 Ω y 0-20kΩ. La temperatura de operación: -10°C a 50°C Precisión: Medición de resistencias: ± (2% del valor medido + 1% del máximo valor de la escala utilizada) Medición de tensión: ± (2% del valor medido + 1% del fondo de escala)		MÉTODO WENNER.- Este método consiste en medir la resistividad aparente del terreno. Para medir la resistividad de un terreno por este método se clavan 4 electrodos en línea recta y simétricamente separados a distancias iguales "D". Conectar los terminales de los cables uniendo los electrodos con las respectivas bornas del equipo de medición, pulsar el botón de prueba y registrar los valores medidos. El espesor de la capa de terreno de la que estamos midiendo la resistividad es directamente proporcional a la separación entre electrodos.									
SERIE :	MTD-20KWe										
N° DE ESTRUCTURA : TORRE 02 - L3		N° DE ESTRUCTURA : TORRE 06 - L3		N° DE ESTRUCTURA : TORRE 13 - L3							
TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO		TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO		TIPO DE TERRENO : ROCOSO							
FECHA : 17/12/2018		FECHA : 17/12/2018		FECHA : 17/12/2018							
MEDICIÓN REALIZADA (PARALELO A LA LINEA)		MEDICIÓN REALIZADA (PARALELO A LA LINEA)		MEDICIÓN REALIZADA (PARALELO A LA LINEA)							
D (m)	R (aparente) (Ohm)	ρ (aparente) (Ohm-m)	ρ calculado	D (m)	R (aparente) (Ohm)	ρ (aparente) (Ohm-m)	ρ calculado	D (m)	R (aparente) (Ohm)	ρ (aparente) (Ohm-m)	ρ calculado
1	96.2	604.4	ρ1= 500 h1= 1.10 ρ2=1881	1	6.3	39.6	ρ1= 700.0 h1= 1.10 ρ2= 5133.3	1	297.0	1866.1	ρ1= 1700.0 h1= 1.10 ρ2= 3612.5
2	34.3	431.0		2	103.2	1296.8		2	861.0	10819.6	
4	126.2	3171.8		4	141.0	3543.7		4	387.0	9726.4	
8	30.7	1543.2		8	184.1	9253.9		8	61.0	3066.2	
N° DE ESTRUCTURA : TORRE 14 - L3		N° DE ESTRUCTURA : TORRE 16 - L3		N° DE ESTRUCTURA : TORRE 17 - L3							
TIPO DE TERRENO : ROCOSO		TIPO DE TERRENO : ROCOSO		TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO							
FECHA : 18/12/2018		FECHA : 18/12/2018		FECHA : 18/12/2018							
MEDICIÓN REALIZADA (PARALELO A LA LINEA)		MEDICIÓN REALIZADA (PARALELO A LA LINEA)		MEDICIÓN REALIZADA (PARALELO A LA LINEA)							
D (m)	R (aparente) (Ohm)	ρ (aparente) (Ohm-m)	ρ calculado	D (m)	R (aparente) (Ohm)	ρ (aparente) (Ohm-m)	ρ calculado	D (m)	R (aparente) (Ohm)	ρ (aparente) (Ohm-m)	ρ calculado
1	250.0	1570.8	ρ1= 1600.0 h1= 1.60 ρ2= 1207.0	1	230.0	1445.1	ρ1=2000.0 h1= 1.60 ρ2= 3263.2	1	96.2	604.4	ρ1= 500.0 h1= 1.20 ρ2= 1881.0
2	816.0	10254.2		2	185.3	2328.5		2	34.3	431.0	
4	54.1	1359.7		4	107.0	2689.2		4	126.2	3171.8	
8	24.4	1226.5		8	38.0	1910.1		8	30.7	1543.2	
N° DE ESTRUCTURA : TORRE 27 - L3		N° DE ESTRUCTURA : TORRE 28 - L3		N° DE ESTRUCTURA : TORRE 29 - L3							
TIPO DE TERRENO : TIERRA DE CULTIVO		TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO		TIPO DE TERRENO : TIERRA DE CULTIVO							
FECHA : 18/12/2018		FECHA : 18/12/2018		FECHA : 19/12/2018							
MEDICIÓN REALIZADA (PARALELO A LA LINEA)		MEDICIÓN REALIZADA (PARALELO A LA LINEA)		MEDICIÓN REALIZADA (PARALELO A LA LINEA)							
D (m)	R (aparente) (Ohm)	ρ (aparente) (Ohm-m)	ρ calculado	D (m)	R (aparente) (Ohm)	ρ (aparente) (Ohm-m)	ρ calculado	D (m)	R (aparente) (Ohm)	ρ (aparente) (Ohm-m)	ρ calculado
1	102.9	646.5	ρ1= 450.0 h1= 2.15 ρ2= 854.3	1	196.7	1235.9	ρ1= 1110.0 h1= 0.95 ρ2= 1890.0	1	71.2	447.4	ρ1= 403.0 h1= 1.30 ρ2= 1209.0
2	103.2	1296.8		2	155.3	1951.6		2	35.9	451.1	
4	23.8	598.2		4	65.9	1656.2		4	32.2	809.3	
8	14.4	723.8		8	30.0	1508.0		8	32.1	1613.5	

N° DE ESTRUCTURA : TORRE 30 - L3				N° DE ESTRUCTURA : TORRE 31 - L3				N° DE ESTRUCTURA : TORRE 32 - L3			
TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO				TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO				TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO			
FECHA : 19/12/2018				FECHA : 19/12/2018				FECHA : 19/12/2018			
MEDICIÓN REALIZADA (PARALELO A LA LINEA)				MEDICIÓN REALIZADA (PARALELO A LA LINEA)				MEDICIÓN REALIZADA (PARALELO A LA LINEA)			
D (m)	R (aparente) (Ohm)	ρ (aparente) (Ohm-m)	ρ calculado	D (m)	R (aparente) (Ohm)	ρ (aparente) (Ohm-m)	ρ calculado	D (m)	R (aparente) (Ohm)	ρ (aparente) (Ohm-m)	ρ calculado
1	22.6	142.0	$\rho_1= 500.0$	1	96.2	604.4	$\rho_1= 500.0$	1	230.0	1445.1	$\rho_1= 1300.0$
2	20.8	261.4		2	34.3	431.0		2	364.0	4574.2	
4	39.8	1000.3	$h_1= 1.60$	4	126.2	3171.8	$h_1= 1.2$	4	86.0	2161.4	$h_1= 1.1$
8	27.8	1397.4		$\rho_2= 1722.2$	8	30.7		1543.2	$\rho_2= 1881.0$	8	
N° DE ESTRUCTURA : TORRE 37 - L3				N° DE ESTRUCTURA : TORRE 38 - L3				N° DE ESTRUCTURA : TORRE 40 - L3			
TIPO DE TERRENO : TIERRA DE CULTIVO				TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO				TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO			
FECHA : 19/12/2018				FECHA : 20/12/2018				FECHA : 20/12/2018			
MEDICIÓN REALIZADA (PARALELO A LA LINEA)				MEDICIÓN REALIZADA (PARALELO A LA LINEA)				MEDICIÓN REALIZADA (PARALELO A LA LINEA)			
D (m)	R (aparente) (Ohm)	ρ (aparente) (Ohm-m)	ρ calculado	D (m)	R (aparente) (Ohm)	ρ (aparente) (Ohm-m)	ρ calculado	D (m)	R (aparente) (Ohm)	ρ (aparente) (Ohm-m)	ρ calculado
1	59.9	376.4	$\rho_1= 450.0$	1	87.6	550.4	$\rho_1= 1200.0$	1	117.0	735.1	$\rho_1= 670.0$
2	43.9	551.7		2	124.1	1559.5		2	212.0	2664.1	
4	11.7	294.1	$h_1= 2.6$	4	74.9	1882.4	$h_1= 1.1$	4	15.0	377.0	$h_1= 1.8$
8	34.8	1749.2		$\rho_2= 7731.82$	8	67.9		3413.0	$\rho_2= 2133.33$	8	
N° DE ESTRUCTURA : TORRE 41 - L3				N° DE ESTRUCTURA : TORRE 47 - L3				N° DE ESTRUCTURA : TORRE 51 - L3			
TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO				TIPO DE TERRENO : TIERRA DE CULTIVO				TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO			
FECHA : 20/12/2018				FECHA : 20/12/2018				FECHA : 20/12/2018			
MEDICIÓN REALIZADA (PARALELO A LA LINEA)				MEDICIÓN REALIZADA (PARALELO A LA LINEA)				MEDICIÓN REALIZADA (PARALELO A LA LINEA)			
D (m)	R (aparente) (Ohm)	ρ (aparente) (Ohm-m)	ρ calculado	D (m)	R (aparente) (Ohm)	ρ (aparente) (Ohm-m)	ρ calculado	D (m)	R (aparente) (Ohm)	ρ (aparente) (Ohm-m)	ρ calculado
1	177.9	1117.8	$\rho_1= 1000.0$	1	50.2	315.4	$\rho_1= 286.0$	1	110.0	691.2	$\rho_1= 800.0$
2	42.5	534.1		2	34.0	427.3		2	35.0	439.8	
4	274.0	6886.4	$h_1= 0.7$	4	98.0	2463.0	$h_1= 1.7$	4	9.4	236.2	$h_1= 1.2$
8	28.1	1412.5		$\rho_2= 1666.67$	8	27.9		1402.4	$\rho_2= 2097.33$	8	
N° DE ESTRUCTURA : TORRE 52 - L3				N° DE ESTRUCTURA : TORRE 53 - L3				N° DE ESTRUCTURA : TORRE 55 - L3			
TIPO DE TERRENO : ROCOSO				TIPO DE TERRENO : CULTIVO SECO				TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO			
FECHA : 21/12/2018				FECHA : 21/12/2018				FECHA : 21/12/2018			
MEDICIÓN REALIZADA (PARALELO A LA LINEA)				MEDICIÓN REALIZADA (PARALELO A LA LINEA)				MEDICIÓN REALIZADA (PARALELO A LA LINEA)			
D (m)	R (aparente) (Ohm)	ρ (aparente) (Ohm-m)	ρ calculado	D (m)	R (aparente) (Ohm)	ρ (aparente) (Ohm-m)	ρ calculado	D (m)	R (aparente) (Ohm)	ρ (aparente) (Ohm-m)	ρ calculado
1	490.0	3078.8	$\rho_1= 3400.0$	1	69.5	436.7	$\rho_1= 430.0$	1	135.5	851.4	$\rho_1= 1050.0$
2	271.0	3405.5		2	45.9	576.8		2	75.8	952.5	
4	71.2	1789.5	$h_1= 1.2$	4	32.1	806.8	$h_1= 1.6$	4	33.3	836.9	$h_1= 1.8$
8	192.0	9651.0		$\rho_2= 1563.5$	8	21.3		1070.7	$\rho_2= 1399.79$	8	
N° DE ESTRUCTURA : TORRE 61 - L3				N° DE ESTRUCTURA : TORRE 63 - L3				N° DE ESTRUCTURA : TORRE 64 - L3			
TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO				TIPO DE TERRENO : CULTIVO SECO				TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO			
FECHA : 21/12/2018				FECHA : 21/12/2018				FECHA : 21/12/2018			
MEDICIÓN REALIZADA (PARALELO A LA LINEA)				MEDICIÓN REALIZADA (PARALELO A LA LINEA)				MEDICIÓN REALIZADA (PARALELO A LA LINEA)			
D (m)	R (aparente) (Ohm)	ρ (aparente) (Ohm-m)	ρ calculado	D (m)	R (aparente) (Ohm)	ρ (aparente) (Ohm-m)	ρ calculado	D (m)	R (aparente) (Ohm)	ρ (aparente) (Ohm-m)	ρ calculado
1	80.1	503.3	$\rho_1= 650.0$	1	53.0	333.0	$\rho_1= 365.0$	1	232.0	1457.7	$\rho_1= 1500.0$
2	46.7	586.8		2	50.0	628.3		2	322.0	4046.4	
4	61.7	1550.7	$h_1= 1.8$	4	33.1	831.9	$h_1= 0.6$	4	30.0	754.0	$h_1= 2.6$
8	88.0	4423.4		$\rho_2= 398.39$	8	5.3		267.9	$\rho_2= 286.79$	8	

N° DE ESTRUCTURA : TORRE 65 - L3				N° DE ESTRUCTURA : TORRE 66 - L3				N° DE ESTRUCTURA : TORRE 75 - L3			
TIPO DE TERRENO : TIERRA DE CULTIVO				TIPO DE TERRENO : ROCOSO				TIPO DE TERRENO : ROCOSO			
FECHA : 22/12/2018				FECHA : 22/12/2018				FECHA : 22/12/2018			
MEDICIÓN REALIZADA (PARALELO A LA LINEA)				MEDICIÓN REALIZADA (PARALELO A LA LINEA)				MEDICIÓN REALIZADA (PARALELO A LA LINEA)			
D (m)	R (aparente) (Ohm)	ρ (aparente) (Ohm-m)	ρ calculado	D (m)	R (aparente) (Ohm)	ρ (aparente) (Ohm-m)	ρ calculado	D (m)	R (aparente) (Ohm)	ρ (aparente) (Ohm-m)	ρ calculado
1	53.1	333.6	$\rho_1= 300$	1	280.0	1759.3	$\rho_1= 1600.0$	1	762.0	4787.8	$\rho_1= 6500.0$
2	72.0	904.8		2	757.0	9512.7		2	128.0	1608.5	
4	19.5	490.1	$h_1= 1.0$	4	418.0	10505.5	$h_1= 1.5$	4	777.0	19528.1	$h_1= 4.2$
8	27.5	1382.3		$\rho_2= 557.14$	8	89.0		4473.6	$\rho_2= 5511.11$	8	

N° DE ESTRUCTURA : TORRE 76 - L3				N° DE ESTRUCTURA : TORRE 79 - L3				N° DE ESTRUCTURA :			
TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO				TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO				TIPO DE TERRENO :			
FECHA : 23/12/2018				FECHA : 23/12/2018				FECHA :			
MEDICIÓN REALIZADA (PARALELO A LA LINEA)				MEDICIÓN REALIZADA (PARALELO A LA LINEA)				MEDICIÓN REALIZADA (PARALELO A LA LINEA)			
D (m)	R (aparente) (Ohm)	ρ (aparente) (Ohm-m)	ρ calculado	D (m)	R (aparente) (Ohm)	ρ (aparente) (Ohm-m)	ρ calculado	D (m)	R (aparente) (Ohm)	ρ (aparente) (Ohm-m)	ρ calculado
1	164.0	1030.4	$\rho_1= 900.0$	1	164.0	1030.4	$\rho_1= 1150.0$	1			
2	57.0	716.3		2	67.0	841.9		2			
4	98.0	2463.0	$h_1= 1.0$	4	34.0	854.5	$h_1= 1.0$	4			
8	37.0	1859.8		$\rho_2= 2050.82$	8	17.2		864.6	$\rho_2= 619.23$	8	

Tomada de la empresa T y T Ingenieros S. R. L.

Como cuadro resumen de la medición de resistividad aparente del terreno mediante el método *Wenner* se obtuvieron los siguientes datos que fueron extraídos de los protocolos de medición de la empresa T y T Ingenieros S. R. L. con la supervisión del personal de Electroperú S. A.

Tabla 21. Resumen de valores de resistividad aparente del terreno

Resumen de las medidas de resistividad aparente del terreno				
Línea L3 - SAM presa				
N.º	Número de estructura	Distancia "a"	Valor medido "R"	Resultado
		(m)	(Ω)	$2 \cdot \pi \cdot a \cdot R$ ($\Omega \cdot m$)
1	Torre 2-L3	1	96.2	604.4
		2	34.3	431.0
		4	126.2	3171.8
		8	30.7	1543.2
2	Torre 6-L3	1	6.3	39.6
		2	103.2	1296.8
		4	141.0	3543.7
		8	184.1	9253.9
3	Torre 13-L3	1	297.0	1866.1
		2	861.0	10819.6
		4	387.0	9726.4
		8	61.0	3066.2
4	Torre 14-L3	1	250.0	1570.8
		2	816.0	10254.2
		4	54.1	1359.7

		8	24.4	1226.5
5	Torre 16-L3	1	230.0	1445.1
		2	185.3	2328.5
		4	107.0	2689.2
		8	38.0	1910.1
6	Torre 17-L3	1	96.2	604.4
		2	34.3	431.0
		4	126.2	3171.8
		8	30.7	1543.2
7	Torre 27-L3	1	102.9	646.5
		2	103.2	1296.8
		4	23.8	598.2
		8	14.4	723.8
8	Torre 28-L3	1	196.7	1235.9
		2	155.3	1951.6
		4	65.9	1656.2
		8	30.0	1508.0
9	Torre 29-L3	1	71.2	447.4
		2	35.9	451.1
		4	32.2	809.3
		8	32.1	1613.5
10	Torre 30-L3	1	22.6	142.0
		2	20.8	261.4
		4	39.8	1000.3
		8	27.8	1397.4
11	Torre 31-L3	1	96.2	604.4
		2	34.3	431.0
		4	126.2	3171.8
		8	30.7	1543.2
12	Torre 32-L3	1	230.0	1445.1
		2	364.0	4574.2
		4	86.0	2161.4
		8	40.0	2010.6
13	Torre 37 - L3	1	59.9	376.4
		2	43.9	551.7
		4	11.7	294.1
		8	34.8	1749.2
14	Torre 38 - L3	1	87.6	550.4
		2	124.1	1559.5
		4	74.9	1882.4
		8	67.9	3413.0
15	Torre 40 - L3	1	117.0	735.1

		2	212.0	2664.1
		4	15.0	377.0
		8	59.0	2965.7
16	Torre 41 - L3	1	177.9	1117.8
		2	42.5	534.1
		4	274.0	6886.4
		8	28.1	1412.5
17	Torre 47 - L3	1	50.2	315.4
		2	34.0	427.3
		4	98.0	2463.0
		8	27.9	2635.0
18	Torre 51 - L3	1	110.0	691.2
		2	35.0	439.8
		4	9.4	236.2
		8	3.4	170.9
19	Torre 52 - L3	1	490.0	3078.8
		2	271.0	3405.5
		4	71.2	1789.5
		8	192.0	9651.0
20	Torre 53 - L3	1	69.5	436.7
		2	45.9	576.8
		4	32.1	806.8
		8	21.3	1070.7
21	Torre 55 - L3	1	135.5	851.4
		2	75.8	952.5
		4	33.3	836.9
		8	12.6	633.3
22	Torre 61 - L3	1	80.1	503.3
		2	46.7	586.8
		4	61.7	1550.7
		8	88.0	4423.4
23	Torre 63 - L3	1	53.0	333.0
		2	50.0	628.3
		4	33.1	831.9
		8	5.3	267.9
24	Torre 64 - L3	1	232.0	1457.7
		2	322.0	4046.4
		4	30.0	754.0
		8	6.0	301.6
25	Torre 65 - L3	1	53.1	333.6
		2	72.0	904.8
		4	19.5	490.1

		8	27.5	1382.3
26	Torre 66 - L3	1	280.0	1759.3
		2	757.0	9512.7
		4	418.0	10505.5
		8	89.0	4473.6
27	Torre 75 - L3	1	762.0	4787.8
		2	128.0	1608.5
		4	777.0	19528.1
		8	51.0	2563.5
28	Torre 76 - L3	1	164.0	1030.4
		2	57.0	716.3
		4	98.0	2463.0
		8	37.0	1859.8
29	Torre 79 - L3	1	164.0	1030.4
		2	67.0	841.9
		4	34.0	854.5
		8	17.2	864.6

En la Tabla 21 se muestran los valores de resistividad aparente de los terrenos adyacentes a las estructuras estudiadas en esta investigación, las cuales se realizaron mediante el método *Wenner*, se hicieron cuatro mediciones a 1, 2, 4 y 8 m, que finalmente fueron redactados en los protocolos de medición, como instrumento de prueba se utilizó el telurómetro digital - Megabras MTD-20 kWe.

4.1.3 Resultado para lograr explicar el objetivo específico 3

Para dar el resultado y explicar el objetivo específico 3: *Mediante la estratificación del terreno determinar la resistividad equivalente, necesaria para el modelamiento del sistema de aterramiento por contrapesos horizontales en la optimización de la resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A.* Por medio de los valores de resistividad aparente del terreno, se realizó el procesamiento en gabinete para obtener el valor de resistividad equivalente, a este proceso se le conoce como estratificación del terreno, el método utilizado fue usando curvas características. Como cálculo de la estratificación del terreno y la aplicación de las curvas características para la obtención de la resistividad equivalente, se explican en el Anexo 5 de la presente investigación, de donde se obtuvieron los siguientes datos.

Tabla 22. Resultados de resistividad equivalente por capa

Cuadro resumen de resultados de resistividad del terreno					
Ítem	N.º de estructura	Valores de resistividad del terreno			Resistividad equivalente
		ρ_1 ($\Omega.m$)	h_1 (m)	ρ_2 ($\Omega.m$)	ρ_e ($\Omega.m$)
1	Torre 2-L3	500	1.2	1881.0	619.9
2	Torre 6-L3	700	1.1	5133.3	906.2
3	Torre 13-L3	1700	1.1	3612.5	1975.6
4	Torre 14-L3	1600	1.6	1207.0	1473.6
5	Torre 16-L3	2000	1.6	3263.2	2227.2
6	Torre 17-L3	500	1.2	1881.0	619.9
7	Torre 27-L3	450	2.2	854.3	514.1
8	Torre 28-L3	1110	1.0	1890.0	1245.4
9	Torre 29-L3	403	1.3	1209.0	488.9
10	Torre 30-L3	500	1.6	1722.2	615.0
11	Torre 31-L3	500	1.2	1881.0	619.9
12	Torre 32-L3	1300	1.1	2639.4	1500.7
13	Torre 37-L3	450	2.6	7731.8	598.5
14	Torre 38-L3	1200	1.1	2133.3	1356.4
15	Torre 40-L3	670	1.8	8263.3	884.1
16	Torre 41-L3	1000	0.7	1666.7	1117.8
17	Torre 47-L3	286	1.7	2097.3	370.3
18	Torre 51-L3	800	1.2	193.8	438.5
19	Torre 52-L3	3400	1.2	1563.5	2596.4
20	Torre 53-L3	430	1.6	1399.8	526.0
21	Torre 55-L3	1050	1.8	700.0	927.8
22	Torre 61-L3	650	1.8	398.4	557.3
23	Torre 63-L3	365	0.6	286.8	340.5
24	Torre 64-L3	1500	2.6	176.0	502.9
25	Torre 65-L3	300	1.0	557.1	341.5
26	Torre 66-L3	1600	1.5	5511.1	1968.0
27	Torre 75-L3	6500	4.2	886.4	2435.5
28	Torre 76-L3	900	1.0	2050.8	1056.2
29	Torre 79-L3	1150	1.0	619.2	938.1

En la Tabla 22 se muestran los valores de resistividad equivalente del terreno por capas y por alturas de la primera y segunda capa, las cuales fueron calculadas con el método de curvas características, para finalmente obtener la resistividad homogénea o también llamada equivalente, la cual está dada en

Ohm.m, y será esta resistividad la utilizada para el cálculo de la resistencia de dispersión final.

4.1.4 Resultado para lograr explicar el objetivo específico 4

Para dar el resultado y explicar el objetivo específico 4: *Calcular y medir los valores de resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión en la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A. después de la optimización mediante el sistema de aterramiento por contrapesos horizontales.* Teniendo en cuenta el valor de la resistividad homogénea, se calcularon los valores de la resistencia de dispersión según la Tabla 23, como se puede observar en el Anexo 6, así mismo se determinó la longitud y el tipo de metodología de contrapeso horizontal según la Tabla 9, longitud para contrapesos horizontales, para cada una de las torres de transmisión; posteriormente, se procedió a realizar la instalación del sistema de puesta a tierra mediante contrapesos horizontales para luego terminar de realizar las mediciones finales de puesta a tierra que se muestran en el protocolo de puesta a tierra de la Tabla 24, Protocolo de medición de PAT. Y cuyos valores se pueden observar en el Anexo 4 de la presente investigación.

Tabla 23. Cálculo de resistencia de PAT



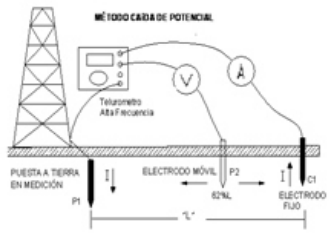
Cálculo resistencia PAT con cemento conductor y tierra vegetal									
Relleno tierra vegetal y bentonita									
Ancho de la zanja (m)			0.4						
Profundidad de la zanja (m)			0.5						
Radio equivalente de la zanja (m)			0.25						
Datos del conductor con cemento conductor									
Diámetro equivalente conductor y cemento (m)			0.0635						
Radio equivalente conductor y cemento (m)			0.0318						
Datos del tratamiento para el contrapeso									
Tipo: tierra vegetal + cemento conductor + bentonita									
Factor de tratamiento			3						
Medición realizada			Procesamiento			Cálculos de resistencia PAT			
Ítem	Número de torre	Resistencia	ρ_1	h_1	ρ_2	ρ equivalente	Longitud de conductor	Resistencia PAT	Tipo de PAT
		R_c (Ω)	($\Omega.m$)	(m)	($\Omega.m$)	($\Omega.m$)	(m)	(Ω)	Diseño
1	Torre 2-L3	42.3	500.0	1.2	1881.0	619.9	90.0	5.91	A-3
2	Torre 6-L3	39.1	700.0	1.1	5133.3	906.2	90.0	8.65	A-3

3	Torre 13-L3	47.4	1700.0	1.1	3612.5	1975.6	90.0	18.85	A-3
4	Torre 14-L3	30.6	1600.0	1.6	1207.0	1473.6	90.0	14.06	A-3
5	Torre 16-L3	62.3	2000.0	1.6	3263.2	2227.2	120.0	16.50	A-3
6	Torre 17-L3	60.6	500.0	1.2	1881.0	619.9	50.0	9.87	A-2
7	Torre 27-L3	50.2	450.0	2.2	854.3	514.1	50.0	8.19	A-2
8	Torre 28-L3	45.2	1110.0	1.0	1890.0	1245.4	90.0	11.88	A-3
9	Torre 29-L3	52.4	403.0	1.3	1209.0	488.9	25.0	14.13	A-1
10	Torre 30-L3	31.4	500.0	1.6	1722.2	615.0	25.0	17.78	A-1
11	Torre 31-L3	45.6	500.0	1.2	1881.0	619.9	50.0	9.87	A-2
12	Torre 32-L3	29	1300.0	1.1	2639.4	1500.7	90.0	14.32	A-3
13	Torre 37-L3	39.7	450.0	2.6	7731.8	598.5	25.0	17.30	A-1
14	Torre 38-L3	62.7	1200.0	1.1	2133.3	1356.4	60.0	18.44	A-2
15	Torre 40-L3	40.8	670.0	1.8	8263.3	884.1	50.0	14.08	A-2
16	Torre 41-L3	35.3	1000.0	0.7	1666.7	1117.8	90.0	10.66	A-3
17	Torre 47-L3	64.7	286.0	1.7	2097.3	370.3	25.0	10.70	A-1
18	Torre 51-L3	75.7	800.0	1.2	193.8	438.5	25.0	12.68	A-1
19	Torre 52-L3	67.3	3400.0	1.2	1563.5	2596.4	120.0	19.24	A-3
20	Torre 53-L3	50	430.0	1.6	1399.8	526.0	25.0	15.21	A-1
21	Torre 55-L3	38.9	1050.0	1.8	700.0	927.8	50.0	14.77	A-2
22	Torre 61-L3	65.5	650.0	1.8	398.4	557.3	25.0	16.11	A-1
23	Torre 63-L3	34.9	365.0	0.6	286.8	340.5	25.0	9.84	A-1
24	Torre 64-L3	32.1	1500.0	2.6	176.0	502.9	25.0	14.54	A-1
25	Torre 65-L3	32.9	300.0	1.0	557.1	341.5	25.0	9.87	A-1
26	Torre 66-L3	44.7	1600.0	1.5	5511.1	1968.0	120.0	14.58	A-3
27	Torre 75-L3	34.7	6500.0	4.2	886.4	2435.5	160.0	14.00	A-4
28	Torre 76-L3	51	900.0	1.0	2050.8	1056.2	50.0	16.82	A-2
29	Torre 79-L3	35.7	1150.0	1.0	619.2	938.1	50.0	14.94	A-2

En la **Tabla 23** se muestra los valores necesarios para el cálculo de resistencia de PAT final, en la cual se contempla el número de estructura, resistencia antes

de la optimización, resistividad aparente de la primera y segunda capa con su respectiva altura, resistividad equivalente, longitud de contrapeso horizontal, resistencia de PAT y diseño de contrapeso horizontal, como valores de tratamiento e instalación, todos estos valores se encuentran óptimos menores a 25 Ohm según el CNE.

Tabla 24. Protocolo de medición de PAT

 TYT INGENIEROS S.R.L.			PROTOCOLO DE MEDICIONES DE RESISTENCIA DE PUESTA TIERRA EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN CON CABLE GUARDA			 electroperu la energía de los peruanos					
EMPRESA PROPIETARIA :			ELECTROPERU S.A.								
DESCRIPCIÓN DE LA OBRA :			MANTENIMIENTO DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN 33KV, DEL CENTRO DE PRODUCCIÓN MANTARO								
LÍNEA DE TRANSMISIÓN :			LÍNEA L3, DESDE CENTRAL HIDROELÉCTRICA SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO - REPRESA TABLACHACA								
FECHA DE MEDICIÓN :			05/02/2019								
DATOS GENERALES DEL EQUIPO			MÉTODO DE MEDICIÓN			GRÁFICO DEL CONEXIONADO					
El equipo de medición de Resistividad del Terreno es un telurómetro digital de alta frecuencia marca MEGABRAS, modelo TM 25m, sus rangos de medición son los siguientes: 0-300 Ω. La temperatura de operación: -5°C a 50°C Precisión: Medición de resistencias: ± (2.5% del valor medido ± 1 dígito) Corriente de medición 20mA regulada automáticamente SERIE : MM 6009 E			MÉTODO CAÍDA POTENCIAL Es uno de los métodos más usados para la medida de la resistencia de puesta a tierra y se representa esquemáticamente según la Figura, P1 es la puesta a tierra a medir y P2 y C1 son dos electrodos auxiliares que permiten conocer la corriente que circula entre los electrodos P1 y C1 y la diferencia de potencial entre P1 y P2. Si la intensidad de corriente es "I" y la diferencia de potencial "V", el cociente V/I dará el valor de la resistencia de la Puesta a Tierra. El electrodo C1, debe ubicarse a una distancia de 100 metros con respecto a la banda externa de la P.T. y el electrodo P debe ubicarse a una distancia igual a 62% de la distancia P1 y C1								
N° ESTRUCTURA : T2-L3			N° ESTRUCTURA : T6-L3			N° ESTRUCTURA : T13-L3			N° ESTRUCTURA : T14-L3		
TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO			TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO			TIPO DE TERRENO : ROCOSO			TIPO DE TERRENO : ROCOSO		
ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°		
Distancia L' = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia L' = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia L' = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia L' = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)
100	62	6.2	100	62	6.14	100	62	16.5	100	62	15.51
N° ESTRUCTURA : T16-L3			N° ESTRUCTURA : T17-L3			N° ESTRUCTURA : T27-L3			N° ESTRUCTURA : T28-L3		
TIPO DE TERRENO : ROCOSO			TIPO DE TERRENO : ROCOSO PEDREGOSO			TIPO DE TERRENO : TIERRA CULTIVO			TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO		
ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 45°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°		
Distancia L' = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia L' = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia L' = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia L' = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)
100	62	14.68	100	62	13.03	100	62	10.11	100	62	9.89
N° ESTRUCTURA : T29-L3			N° ESTRUCTURA : T30-L3			N° ESTRUCTURA : T31-L3			N° ESTRUCTURA : T32-L3		
TIPO DE TERRENO : TIERRA CULTIVO			TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO			TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO			TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO		
ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°		
Distancia L' = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia L' = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia L' = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia L' = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)
100	62	12.57	100	62	16.52	100	62	8.25	100	62	18.55
N° ESTRUCTURA : T37-L3			N° ESTRUCTURA : T38-L3			N° ESTRUCTURA : T40-L3			N° ESTRUCTURA : T41-L3		
TIPO DE TERRENO : TIERRA CULTIVO			TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO			TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO			TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO		
ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°		
Distancia L' = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia L' = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia L' = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia L' = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)
100	62	17.99	100	62	18.11	100	62	18.01	100	62	14.78

N° ESTRUCTURA : T47-L3			N° ESTRUCTURA : T51-L3			N° ESTRUCTURA : T52-L3			N° ESTRUCTURA : T53-L3		
TIPO DE TERRENO : TIERRA CULTIVO			TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO			TIPO DE TERRENO : ROCOSO			TIPO DE TERRENO : CULTIVO SECO		
ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 45°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°		
Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)
100	62	17.93	100	62	16.13	100	62	19.78	100	62	19.42
N° ESTRUCTURA : T55-L3			N° ESTRUCTURA : T61-L3			N° ESTRUCTURA : T63-L3			N° ESTRUCTURA : T64-L3		
TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO			TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO			TIPO DE TERRENO : CULTIVO SECO			TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO		
ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°		
Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)
100	62	23.1	100	62	16.75	100	62	16.51	100	62	16.72
N° ESTRUCTURA : T65-L3			N° ESTRUCTURA : T66-L3			N° ESTRUCTURA : T75-L3			N° ESTRUCTURA : T76-L3		
TIPO DE TERRENO : TIERRA DE CULTIVO			TIPO DE TERRENO : ROCOSO			TIPO DE TERRENO : ROCOSO			TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO		
ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN: 90°		
Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)
100	62	12.86	100	62	15.73	100	62	13.95	100	62	16.94
N° ESTRUCTURA : T79-L3			N° ESTRUCTURA :			N° ESTRUCTURA :			N° ESTRUCTURA :		
TIPO DE TERRENO : PEDREGOSO			TIPO DE TERRENO :			TIPO DE TERRENO :			TIPO DE TERRENO :		
ANGULO INCLINACIÓN: 90°			ANGULO INCLINACIÓN:			ANGULO INCLINACIÓN:			ANGULO INCLINACIÓN:		
Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)	Distancia "L" = P1-C1 (m)	Distancia P1-P2 (m)	Resistencia (Ohm)
100	62	13.68									

Tomada de Elaborado por la empresa T y T Ingenieros S. R. L.

En la Tabla 24, se muestra el protocolo de medición de la resistencia de PAT después de la optimización realizada por la empresa T y T Ingenieros S. R. L. con la supervisión de la empresa Electroperú S. A.

Como cuadro resumen de la medición de resistencia de PAT mediante el método caída de potencial, se obtuvieron los siguientes datos.

Tabla 25. Valores de resistencia de PAT después de la optimización

Medición de resistencia de puesta a tierra realizada después de la optimización		
Ítem	Número de estructura	Rc (Ω)
1	Torre 2-L3	6,2
2	Torre 6-L3	6,14
3	Torre 13-L3	16,5
4	Torre 14-L3	15,51
5	Torre 16-L3	14,68
6	Torre 17-L3	13,03
7	Torre 27-L3	10,11

8	Torre 28-L3	9,69
9	Torre 29-L3	12,57
10	Torre 30-L3	16,52
11	Torre 31-L3	8,25
12	Torre 32-L3	18,55
13	Torre 37-L3	17,99
14	Torre 38-L3	18,11
15	Torre 40-L3	18,01
16	Torre 41-L3	14,78
17	Torre 47-L3	17,83
18	Torre 51-L3	16,13
19	Torre 52-L3	19,78
20	Torre 53-L3	19,42
21	Torre 55-L3	23,1
22	Torre 61-L3	16,75
23	Torre 63-L3	16,51
24	Torre 64-L3	16,72
25	Torre 65-L3	12,86
26	Torre 66-L3	15,73
27	Torre 75-L3	13,95
28	Torre 76-L3	16,94
29	Torre 79-L3	13,68

En la Tabla 25 se muestran los valores de resistencia de PAT, R_c. (resistencia compensada) medida después de la optimización del sistema de puesta a tierra mediante contrapesos horizontales, estos valores que son en total 29, han sido obtenidos de la medición final del sistema de puesta a tierra, utilizando el método de caída de potencial y el telurómetro de alta frecuencia - Megabras TM25, obteniendo resultados esperados y óptimos que cumplen con lo establecido menor a (25 Ohm) según el CNE.

4.1.5 Resultado que explica el objetivo general

Para dar el resultado y explicar el objetivo general: *Determinar la influencia de un sistema de aterramiento por contrapesos horizontales en la optimización de*

la resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A. se compara la medición realizada antes y después de la optimización y se evalúa si surgió o no un cambio positivo demostrable y medible. Los resultados de las resistencias de puesta a tierra antes y después de la optimización mediante contrapesos horizontales se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 26. Valores de resistencia de PAT antes y después de la optimización

Medición de resistencia de puesta a tierra realizada antes y después de la optimización			
Ítem	Número de estructura	Resistencia de puesta a tierra antes de la optimización	Resistencia de puesta a tierra después de la optimización
		Rc (Ω)	Rc (Ω)
1	Torre 02-L3	42,3	6,2
2	Torre 06-L3	39,1	6,14
3	Torre 13-L3	47,4	16,5
4	Torre 14-L3	30,6	15,51
5	Torre 16-L3	62,3	14,68
6	Torre 17-L3	60,6	13,03
7	Torre 27-L3	50,2	10,11
8	Torre 28-L3	45,2	9,69
9	Torre 29-L3	52,4	12,57
10	Torre 30-L3	31,4	16,52
11	Torre 31-L3	45,6	8,25
12	Torre 32-L3	29	18,55
13	Torre 37-L3	39,7	17,99
14	Torre 38-L3	62,7	18,11
15	Torre 40-L3	40,8	18,01
16	Torre 41-L3	35,3	14,78
17	Torre 47-L3	64,7	17,93
18	Torre 51-L3	75,7	16,13
19	Torre 52-L3	67,3	19,78
20	Torre 53-L3	50	19,42
21	Torre 55-L3	38,9	23,1
22	Torre 61-L3	65,5	16,75
23	Torre 63-L3	34,9	16,51

24	Torre 64-L3	32,1	16,72
25	Torre 65-L3	32,9	12,86
26	Torre 66-L3	44,7	15,73
27	Torre 75-L3	34,7	13,95
28	Torre 76-L3	51	16,94
29	Torre 79-L3	35,7	13,68

En la Tabla 26 se muestran los valores de resistencia de PAT Rc. (resistencia compensada) medida antes y después de la optimización del sistema de puesta a tierra mediante contrapesos horizontales, estos valores que son en total 29 han sido obtenidos de la medición final, utilizando el método de caída de potencial y el telurómetro de alta frecuencia - Megabras TM25, obteniendo resultados esperados y óptimos que cumplen con lo establecido menor a 25 Ohm, según el CNE; también es notable la influencia de cómo, mediante la implementación de este sistema de puesta tierra, se logró reducir los valores de resistencia según lo calculado y planificado.

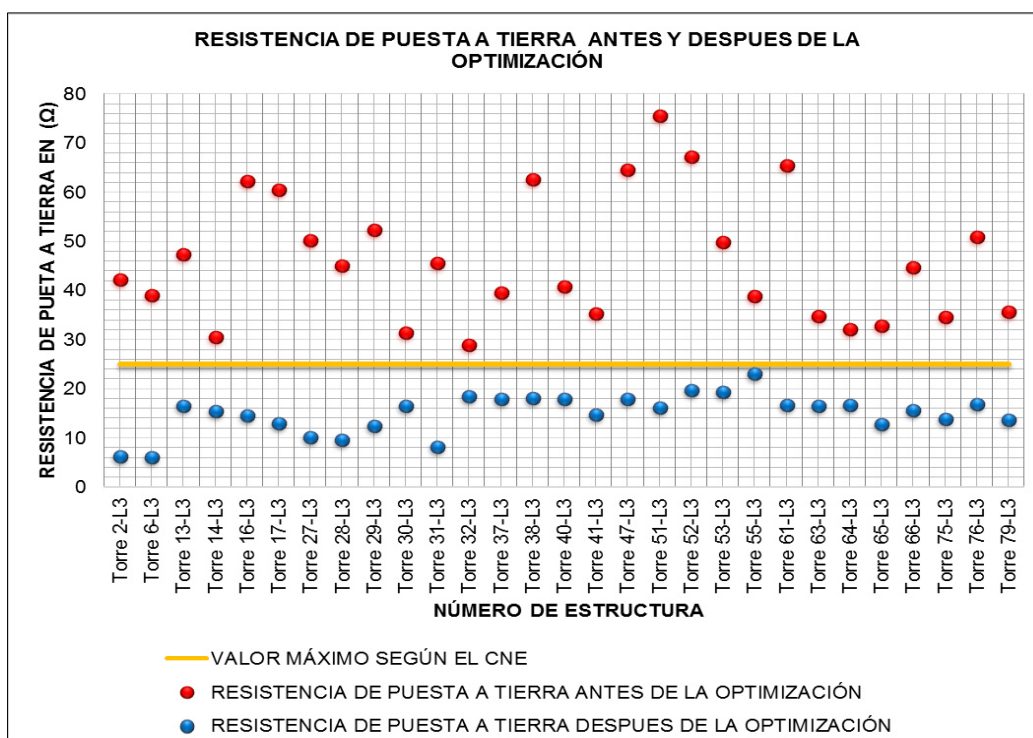


Figura 74. Resistencia de puesta a tierra antes y después de la optimización

En la Figura 74, gráfico de dispersión, se muestran claramente los valores de resistencia de PAT, Rc. (resistencia compensada) medida antes y después de la optimización del sistema de puesta a tierra mediante contrapesos horizontales,

de color rojo los valores de resistencia de PAT antes de la optimización los cuales se pueden ver claramente que están sobre el valor permisible, según el CNE menor a 25 Ohm; por otro lado, de color azul, los valores de resistencia de PAT después de la optimización, los cuales se pueden ver claramente que están por debajo del valor permisible según el CNE menor a 25 Ohm; con esto se concluye que ha influenciado positivamente el sistema planteado, logrando óptimos resultados.

4.2 Prueba de hipótesis

4.2.1 Hipótesis general

Hi: el sistema de aterramiento por contrapesos horizontales influye significativamente en la optimización de la resistencia de puesta a tierra de torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A.

Ho: el sistema de aterramiento por contrapesos horizontales no influye significativamente en la optimización de la resistencia de puesta a tierra de torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A.

Para la evaluación de la presente hipótesis es necesario corroborar si la variable numérica de comparación (resistencia de puesta a tierra), verificando si se comporta normalmente; es decir, verificar el supuesto de normalidad, recordando que hay dos pruebas: *Kolmogorov-Smirnova*, para ($n > 30$) y *Shapiro-Wilk*, para ($n < 30$).

Tabla 27. Valores de resistencia de PAT antes y después de la optimización

Medición de resistencia de puesta a tierra realizada antes y después de la optimización			
Ítem	Número de estructura	Resistencia de puesta a tierra antes de la optimización	Resistencia de puesta a tierra después de la optimización
		Rc (Ω)	Rc (Ω)
1	Torre 02-L3	42,3	6,2
2	Torre 06-L3	39,1	6,14
3	Torre 13-L3	47,4	16,5
4	Torre 14-L3	30,6	15,51
5	Torre 16-L3	62,3	14,68
6	Torre 17-L3	60,6	13,03

7	Torre 27-L3	50,2	10,11
8	Torre 28-L3	45,2	9,69
9	Torre 29-L3	52,4	12,57
10	Torre 30-L3	31,4	16,52
11	Torre 31-L3	45,6	8,25
12	Torre 32-L3	29	18,55
13	Torre 37-L3	39,7	17,99
14	Torre 38-L3	62,7	18,11
15	Torre 40-L3	40,8	18,01
16	Torre 41-L3	35,3	14,78
17	Torre 47-L3	64,7	17,93
18	Torre 51-L3	75,7	16,13
19	Torre 52-L3	67,3	19,78
20	Torre 53-L3	50	19,42
21	Torre 55-L3	38,9	23,1
22	Torre 61-L3	65,5	16,75
23	Torre 63-L3	34,9	16,51
24	Torre 64-L3	32,1	16,72
25	Torre 65-L3	32,9	12,86
26	Torre 66-L3	44,7	15,73
27	Torre 75-L3	34,7	13,95
28	Torre 76-L3	51	16,94
29	Torre 79-L3	35,7	13,68

En la Tabla 27 se muestran los valores de resistencia de PAT, R_c. (resistencia compensada) medida antes y después de la optimización, mediante contrapesos horizontales, estos valores que son en total 29, han sido obtenidos de la medición final y son necesarios para la prueba de hipótesis general que se realizó mediante prueba, t de Student para muestras relacionadas, esta prueba estadística evalúa la hipótesis en torno a una media, así se comprueba si existe o no una influencia directa.

Tabla 28. Resumen del procesamiento de casos SPSS - V22

Resumen de procesamiento de casos						
	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	%	N	%	N	%
Resistencia antes de la optimización	29	100,0	0	0,0	29	100,0
Resistencia después de la optimización	29	100,0	0	0,0	29	100,0

En la Tabla 28, según la evaluación en el software SPSS - V22, se muestra que el porcentaje de datos válidos procesados son el 100%; es decir, no hay datos perdidos en el proceso de tratamiento de datos de la investigación.

Tabla 29. Valores descriptivos de casos SPSS - V22

Descriptivos				
			Estadístico	Desv. error
Resistencia antes de la optimización	Media		46,3000	2,40047
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	41,3829	
		Límite superior	51,2171	
	Media recortada al 5%		45,7450	
	Mediana		44,7000	
	Varianza		167,106	
	Desv. desviación		12,92694	
	Mínimo		29,00	
	Máximo		75,70	
	Rango		46,70	
	Rango intercuartil		21,40	
	Asimetría		,628	,434
	Curtosis		-,628	,845
Resistencia después de la optimización	Media		15,0393	,74152
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	13,5204	
		Límite superior	16,5582	
	Media recortada al 5%		15,1421	
	Mediana		16,1300	
	Varianza		15,946	
	Desv. Desviación		3,99319	
	Mínimo		6,14	
	Máximo		23,10	
	Rango		16,96	
	Rango intercuartil		5,02	
	Asimetría		-,680	,434
	Curtosis		,409	,845

En la Tabla 29 se muestran los descriptivos y se observan los valores como una media, antes y después del tratamiento mediante la metodología de contrapesos horizontales.

Tabla 30. Prueba de normalidad de datos Shapiro-Wilk. SPSS - V22

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resistencia antes de la optimización	,113	29	,200 [*]	,929	29	,052
Resistencia después de la optimización	,133	29	,200 [*]	,941	29	,108

En la Tabla 30 se observa que la muestra es de 29 datos; por lo tanto, se toma la corroboración de la prueba de normalidad de *Shapiro-Wilk*, para ($n < 30$), pudiendo observar para la siguiente decisión que la significancia antes de la optimización y después de la optimización son 0.52 y 0.108 respectivamente, a lo cual se evalúa.

- **P_valor > 0.05**, los datos provienen de una distribución normal.
- **P_valor < 0.05**, los datos no provienen de una distribución normal

Se puede concluir que los datos de resistencia de PAT antes y después provienen de una distribución normal y es posible aplicar pruebas paramétricas.

Para realizar la prueba de hipótesis general se recurrió a la prueba t de Student para muestras relacionadas, esta prueba estadística evalúa la hipótesis en torno a una media, se utiliza en los estudios de tipo longitudinal; es decir, cuando se realizan medidas en dos momentos temporales distintos a esta prueba también se le suele llamar del antes y después, la cual tiene el objetivo de comparar dos medidas en un mismo grupo, una medida antes y una medida después de un tratamiento.

Prueba T

Tabla 31. Estadísticos de muestras emparejadas SPSS - V22

Estadísticas de muestras emparejadas					
		Media	N	Desv. desviación	Desv. error promedio
Par 1	Resistencia antes de la optimización	46,3000	29	12,92694	2,40047
	Resistencia después de la optimización	15,0393	29	3,99319	,74152

En la Tabla 31 se observan las medias en dos momentos temporales distintos a esta prueba, también se le suele llamar del antes y después, antes con una media de 46,3 y después de tratamiento con una media de 15,0393.

Tabla 32. Correlaciones de muestras emparejadas SPSS-V22

Correlaciones de muestras emparejadas				
		N	Correlación	Sig.
Par 1	Resistencia antes de la optimización Resistencia después de la optimización	29	,116	,549

En la Tabla 32 se observa la correlación de muestras emparejadas en el estudio, manifestando una correlación 0.116, con una significancia de 0.549.

Tabla 33. Prueba de muestras emparejadas SPSS - V22

PRUEBA DE MUESTRAS EMPAREJADAS									
		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	RESISTENCIA_ANTES_DE_LA_OPTIMIZACIÓN - RESISTENCIA_DESPUES_DE_LA_OPTIMIZACIÓN	31,26069	13,07927	2,42876	26,28560	36,23578	12,871	28	,000

En la Tabla 33, se observa el valor para llegar a la conclusión, es necesario evaluar las dos posibilidades de P_valor, en la significancia (bilateral) con un valor de 0.000023 para determinar si se acepta o rechaza la hipótesis nula.

- Si la probabilidad obtenida **P – valor** < alfa rechace H0 (se acepta H1).
- Si la probabilidad obtenida **P – valor** > alfa rechace H1 (se acepta H0).

Conclusión:

En la tabla anterior se visualizan los resultados de la prueba de t de Student para muestras relacionadas, en la cual se evalúa la variable dependiente, **Resistencia de puesta a tierra**, en dos momentos temporales distintos, antes y después de la optimización mediante contrapesos horizontales, para ello se toma un nivel de confianza de 95%, se puede observar que ($p < 0.05$) con lo cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alterna, El sistema de aterramiento por contrapesos horizontales influye significativamente en la optimización de la resistencia de PAT de torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A.; de hecho, las torres promedio bajaron de 46.30 Ohm a 15.03 Ohm después de la optimización mediante contrapesos horizontales.

4.2.2 Hipótesis específicas

- **Hipótesis específica 1**

Hi: los valores de resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A. no cumplen con lo establecido por el CNE, antes de la optimización, mediante el sistema de aterramiento por contrapesos horizontales.

Ho: los valores de resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A. cumplen con lo establecido por el CNE, antes de la optimización, mediante el sistema de aterramiento por contrapesos horizontales.

Es necesario medir la resistencia de PAT para comprobar esta hipótesis, corroborar si la variable numérica cumple o no con lo establecido por el CNE, antes de la optimización, mediante el sistema de aterramiento por contrapesos horizontales, esto se realizó mediante la distribución de frecuencias y representaciones gráficas.

Tabla 34. Mediciones realizadas antes de la optimización y lo establecido por el CNE

Medición de resistencia de puesta a tierra realizada antes de la optimización			
Ítem	Número de estructura	Resistencia de puesta a tierra existente en Ohmios	Valor máximo según el CNE
		Rc (Ω)	R (Ω)
1	Torre 02-L3	42.3	25
2	Torre 06-L3	39.1	25
3	Torre 13-L3	47.4	25
4	Torre 14-L3	30.6	25
5	Torre 16-L3	62.3	25
6	Torre 17-L3	60.6	25
7	Torre 27-L3	50.2	25
8	Torre 28-L3	45.2	25
9	Torre 29-L3	52.4	25
10	Torre 30-L3	31.4	25
11	Torre 31-L3	45.6	25
12	Torre 32-L3	29	25
13	Torre 37-L3	39.7	25
14	Torre 38-L3	62.7	25
15	Torre 40-L3	40.8	25
16	Torre 41-L3	35.3	25
17	Torre 47-L3	64.7	25
18	Torre 51-L3	75.7	25
19	Torre 52-L3	67.3	25
20	Torre 53-L3	50	25
21	Torre 55-L3	38.9	25
22	Torre 61-L3	65.5	25
23	Torre 63-L3	34.9	25
24	Torre 64-L3	32.1	25
25	Torre 65-L3	32.9	25
26	Torre 66-L3	44.7	25
27	Torre 75-L3	34.7	25
28	Torre 76-L3	51	25
29	Torre 79-L3	35.7	25

En la Tabla 34 se observan los valores de resistencia de PAT, Rc. (resistencia compensada) medida antes de la optimización del sistema de puesta a tierra mediante contrapesos horizontales, así mismo el valor establecido menor a 25

Ohm, según el CNE, estos valores que son en total 29 han sido obtenidos de la medición inicial.

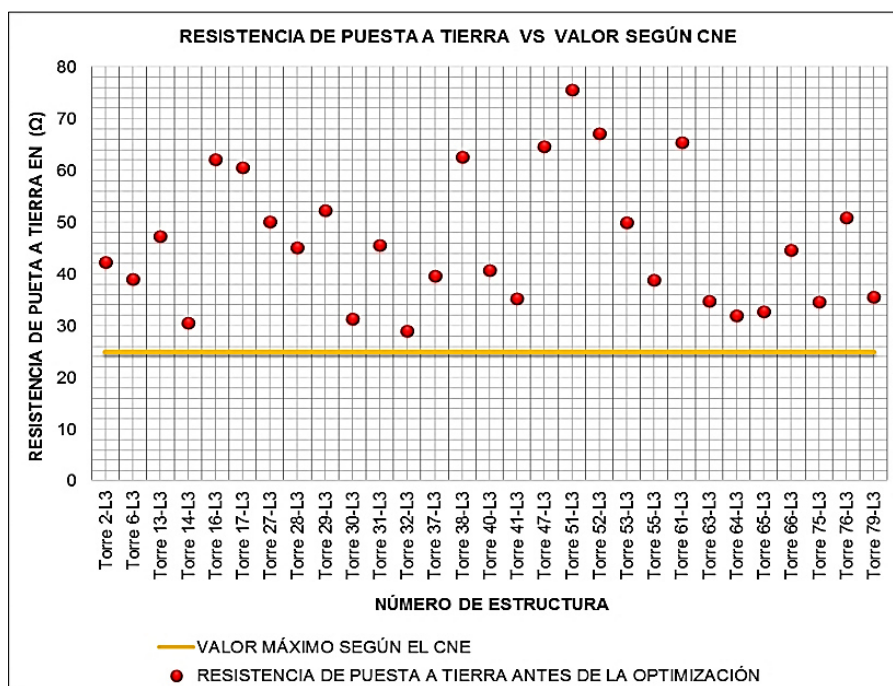


Figura 75. Resistencia de puesta a tierra vs valor máximo según CNE

En la Figura 75 se observan los valores de resistencia de PAT, R_c . (resistencia compensada) medida antes de la optimización del sistema de puesta a tierra mediante contrapesos horizontales, en la cual se puede observar claramente que los valores de resistencia de PAT están por encima del valor establecido, el cual es menor a 25 Ohm, según el CNE, que lleva a la siguiente conclusión.

Conclusión:

Respecto a la hipótesis, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_i); mencionando que los valores de resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A. no cumplen con lo establecido por el CNE, antes de la optimización, mediante el sistema de aterramiento por contrapesos horizontales.

• Hipótesis específica 2

Hi: los valores de resistividad aparente del terreno obtenidos aplicando el método *Wenner*, necesarios para el modelamiento del sistema de aterramiento por contrapesos horizontales en la optimización de la resistencia de puesta a tierra

de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A. se dan en su mayoría de 800 a 3000 Ohm/m (terreno pedregoso).

Ho: los valores de resistividad aparente del terreno obtenidos aplicando el método *Wenner*, necesarios para el modelamiento del sistema de aterramiento por contrapesos horizontales en la optimización de la resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A. no se dan en su mayoría de 800 a 3000 Ohm/m (terreno pedregoso).

Para la evaluación de la presente hipótesis se calculó la resistividad aparente del terreno haciendo uso del método *Wenner*, está dada en Ohm/m y se valora según tabla de resistividades; de 0 – 100, arcillas; de 100 – 300, turbas; de 300 – 800, cascajo; de 800 – 3000, pedregoso; de 3000 – 8000, rocoso; de 8000 – a más, granitos y otros; estos valores están dados en Ohm/m, esto se realizó mediante la distribución de frecuencias y representaciones gráficas.

Tabla 35. Valores de resistividad aparente del terreno

Resistividad aparente del terreno línea L3 SAM - <i>Tablachaca</i>					
N.º	Número de estructura	Distancia "a" (m)	Valor medido "R" (Ω)	Resultado 2.π.a.R (Ω.m)	Tipo de terreno
1	Torre 02-L3	1	96,2	604,4	Cascajo
		2	34,3	431,0	Granito
		4	126,2	3171,8	Cascajo
		8	30,7	1543,2	Pedregoso
2	Torre 06-L3	1	6,3	39,6	Arcilla
		2	103,2	1296,8	Pedregoso
		4	141,0	3543,7	Rocoso
		8	184,1	9253,9	Rocoso
3	Torre 13-L3	1	297,0	1866,1	Pedregoso
		2	861,0	10819,6	Granito
		4	387,0	9726,4	Rocoso
		8	61,0	3066,2	Rocoso
4	Torre 14-L3	1	250,0	1570,8	Pedregoso
		2	816,0	10254,2	Granito
		4	54,1	1359,7	Pedregoso
		8	24,4	1226,5	Pedregoso
5	Torre 16-L3	1	230,0	1445,1	Pedregoso
		2	185,3	2328,5	Pedregoso
		4	107,0	2689,2	Pedregoso
		8	38,0	1910,1	Pedregoso

6	Torre 17-L3	1	96,2	604,4	Cascajo
		2	34,3	431,0	Cascajo
		4	126,2	3171,8	Rocoso
		8	30,7	1543,2	Pedregoso
7	Torre 27-L3	1	102,9	646,5	Cascajo
		2	103,2	1296,8	Pedregoso
		4	23,8	598,2	Cascajo
		8	14,4	723,8	Cascajo
8	Torre 28-L3	1	196,7	1235,9	Pedregoso
		2	155,3	1951,6	Pedregoso
		4	65,9	1656,2	Pedregoso
		8	30,0	1508,0	Pedregoso
9	Torre 29-L3	1	71,2	447,4	Cascajo
		2	35,9	451,1	Cascajo
		4	32,2	809,3	Pedregoso
		8	32,1	1613,5	Pedregoso
10	Torre 30-L3	1	22,6	142,0	Turbas
		2	20,8	261,4	Turbas
		4	39,8	1000,3	Pedregoso
		8	27,8	1397,4	Pedregoso
11	Torre 31-L3	1	96,2	604,4	Cascajo
		2	34,3	431,0	Cascajo
		4	126,2	3171,8	Rocoso
		8	30,7	1543,2	Pedregoso
12	Torre 32-L3	1	230,0	1445,1	Pedregoso
		2	364,0	4574,2	Rocoso
		4	86,0	2161,4	Pedregoso
		8	40,0	2010,6	Pedregoso
13	Torre 37 - L3	1	59,9	376,4	Cascajo
		2	43,9	551,7	Cascajo
		4	11,7	294,1	Turbas
		8	34,8	1749,2	Pedregoso
14	Torre 38 - L3	1	87,6	550,4	Cascajo
		2	124,1	1559,5	Pedregoso
		4	74,9	1882,4	Pedregoso
		8	67,9	3413,0	Rocoso
15	Torre 40 - L3	1	117,0	735,1	Cascajo
		2	212,0	2664,1	Granito
		4	15,0	377,0	Cascajo
		8	59,0	2965,7	Pedregoso
16	Torre 41 - L3	1	177,9	1117,8	Pedregoso
		2	42,5	534,1	Cascajo
		4	274,0	6886,4	Rocoso
		8	28,1	1412,5	Pedregoso

17	Torre 47 - L3	1	50,2	315,4	Cascajo
		2	34,0	427,3	Cascajo
		4	98,0	2463,0	Pedregoso
		8	27,9	2635,0	Pedregoso
18	Torre 51 - L3	1	110,0	691,2	Cascajo
		2	35,0	439,8	Cascajo
		4	9,4	236,2	Turbas
		8	3,4	170,9	Turbas
19	Torre 52 - L3	1	490,0	3078,8	Rocoso
		2	271,0	3405,5	Rocoso
		4	71,2	1789,5	Pedregoso
		8	192,0	9651,0	Rocoso
20	Torre 53 - L3	1	69,5	436,7	Cascajo
		2	45,9	576,8	Cascajo
		4	32,1	806,8	Pedregoso
		8	21,3	1070,7	Pedregoso
21	Torre 55 - L3	1	135,5	851,4	Pedregoso
		2	75,8	952,5	Pedregoso
		4	33,3	836,9	Pedregoso
		8	12,6	633,3	Cascajo
22	Torre 61 - L3	1	80,1	503,3	Cascajo
		2	46,7	586,8	Cascajo
		4	61,7	1550,7	Pedregoso
		8	88,0	4423,4	Rocoso
23	Torre 63 - L3	1	53,0	333,0	Cascajo
		2	50,0	628,3	Cascajo
		4	33,1	831,9	Pedregoso
		8	5,3	267,9	Turbas
24	Torre 64 - L3	1	232,0	1457,7	Pedregoso
		2	322,0	4046,4	Rocoso
		4	30,0	754,0	Cascajo
		8	6,0	301,6	Cascajo
25	Torre 65 - L3	1	53,1	333,6	Cascajo
		2	72,0	904,8	Pedregoso
		4	19,5	490,1	Cascajo
		8	27,5	1382,3	Pedregoso
26	Torre 66 - L3	1	280,0	1759,3	Pedregoso
		2	757,0	9512,7	Rocoso
		4	418,0	10505,5	Granito
		8	89,0	4473,6	Rocoso
27	Torre 75 - L3	1	762,0	4787,8	Rocoso
		2	128,0	1608,5	Pedregoso
		4	777,0	19528,1	Granito
		8	51,0	2563,5	Pedregoso

28	Torre 76 - L3	1	164,0	1030,4	Pedregoso
		2	57,0	716,3	Cascajo
		4	98,0	2463,0	Pedregoso
		8	37,0	1859,8	Pedregoso
29	Torre 79 - L3	1	164,0	1030,4	Pedregoso
		2	67,0	841,9	Pedregoso
		4	34,0	854,5	Pedregoso
		8	17,2	864,6	Pedregoso

En la Tabla 35 se observan los valores de resistividad aparente del terreno obtenidos de la aplicación del método *Wenner* y está dado en Ohm/m, a su vez en la sexta columna se muestran los tipos del terreno aparentes de cada una de las mediciones.

En esta hipótesis se evalúa si el tipo de terreno aparente es en su mayoría pedregoso, ya que en la medición de resistividad aparente se pudo observar este tipo de terreno que están entre los 800 a 3000 Ohm/m (terreno pedregoso) el cual será evaluado en la siguiente tabla.

Tabla 36. Tipos de terreno aparente

Tipos de terreno para resistividad aparente		
Ítem	Naturaleza del terreno	Cantidad
1	Arcilla	1
2	Turba	6
3	Cascajo	33
4	Pedregoso	53
5	Rocoso	17
6	Granito	6
Total		116

En esta Tabla 36 se observa la cantidad de terrenos aparentes que se extrajeron de la medición de la resistencia aparente del terreno realizada mediante el método *Wenner*.

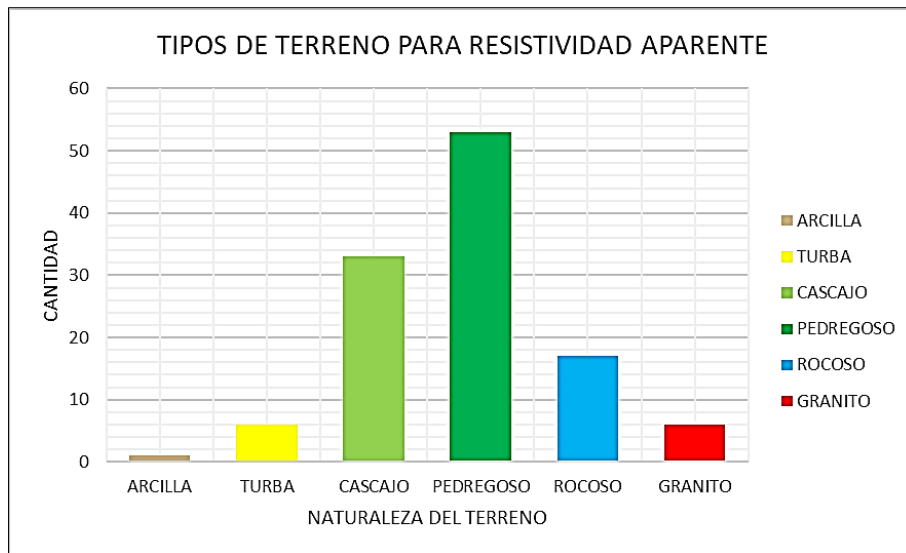


Figura 76. Cantidad de terrenos aparentes por su naturaleza

En la Figura 76 se observa la cantidad de terrenos aparentes por su naturaleza, en los cuales se observa claramente que la mayor cantidad de terrenos aparentes se da en el tipo de terreno pedregoso que son valores de resistividad aparente de 800 a 3000 Ohm/m, que lleva a la siguiente conclusión.

Conclusión:

Respecto a la hipótesis, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_i); mencionando que los valores de resistividad aparente del terreno obtenidos aplicando el método *Wenner*, necesarios para el modelamiento del sistema de aterramiento por contrapesos horizontales en la optimización de la resistencia de PAT de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A. se dan en su mayoría de 800 a 3000 Ohm/m (terreno pedregoso).

- **Hipótesis específica 3**

H_i : los valores de resistividad equivalente obtenidos de la estratificación del terreno, necesarios para el modelamiento del sistema de aterramiento por contrapesos horizontales en la optimización de la resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A. son menores a 3000 ohm/m (terreno pedregoso).

Ho: los valores de resistividad equivalente obtenidos de la estratificación del terreno, necesarios para el modelamiento del sistema de aterramiento por contrapesos horizontales en la optimización de la resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A. son mayores a 3000 ohm/m (terreno pedregoso).

Es necesario calcular el número de capas por alturas de la primera y segunda capa, para finalmente obtener la resistividad homogénea o también llamada equivalente, que está dada en Ohm/m; así mismo, tener en cuenta que la altura de estudio del contrapeso horizontal es de 0.5 m, esta prueba se realizó mediante la distribución de frecuencias y representaciones gráficas.

Tabla 37. Valores de resistividad equivalente, extraídos de la estratificación del terreno

Resistencia equivalente del terreno			
Ítem	Número de estructura	Resistividad equivalente del terreno	Tipo de terreno
		Rc (Ω - m)	
1	Torre 2-L3	619,93	Cascajo
2	Torre 6-L3	906,23	Pedregoso
3	Torre 13-L3	1975,60	Pedregoso
4	Torre 14-L3	1473,58	Pedregoso
5	Torre 16-L3	2227,17	Pedregoso
6	Torre 17-L3	619,93	Cascajo
7	Torre 27-L3	514,12	Cascajo
8	Torre 28-L3	1245,44	Pedregoso
9	Torre 29-L3	488,88	Cascajo
10	Torre 30-L3	615,01	Cascajo
11	Torre 31-L3	619,93	Cascajo
12	Torre 32-L3	1500,66	Pedregoso
13	Torre 37-L3	598,53	Cascajo
14	Torre 38-L3	1356,36	Pedregoso
15	Torre 40-L3	884,06	Pedregoso
16	Torre 41-L3	1117,82	Pedregoso
17	Torre 47-L3	370,26	Cascajo
18	Torre 51-L3	438,53	Cascajo
19	Torre 52-L3	2596,40	Pedregoso
20	Torre 53-L3	526,03	Cascajo
21	Torre 55-L3	927,77	Pedregoso
22	Torre 61-L3	557,26	Cascajo

23	Torre 63-L3	340,53	Cascajo
24	Torre 64-L3	502,93	Cascajo
25	Torre 65-L3	341,54	Cascajo
26	Torre 66-L3	1968,02	Pedregoso
27	Torre 75-L3	2435,52	Pedregoso
28	Torre 76-L3	1056,17	Pedregoso
29	Torre 79-L3	938,12	Pedregoso

En la Tabla 37 se visualizan los diferentes valores de resistividad equivalente del terreno dada en Ohm/m, que fueron extraídos de la esterificación del terreno según Anexo 5, en las 29 estructuras con respecto a la altura donde será enterrado el contrapeso horizontal que es 0.5 m de profundidad.

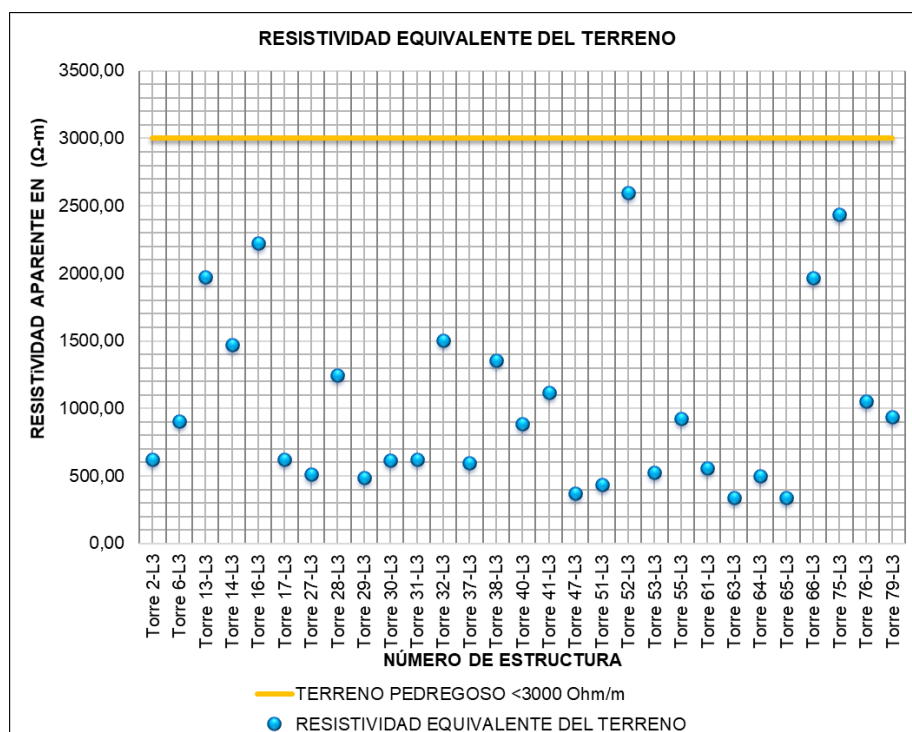


Figura 77. Valores resistividad equivalente del terreno

En la Figura 77 se visualizan los diferentes valores de resistividad equivalente del terreno dado en Ohm/m, fueron extraídos de la esterificación del terreno en las 29 estructuras con respecto a los 3000 ohm/m de un terreno pedregoso, pudiendo observar en el gráfico estadístico que el total de las resistividades equivalentes del terreno se encuentran por debajo de 3000 ohm/m de un terreno pedregoso.

Conclusión:

Respecto a la hipótesis, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1); mencionando que los valores de resistividad equivalente obtenidos de la estratificación del terreno, necesarios para el modelamiento del sistema de aterramiento por contrapesos horizontales en la optimización de la resistencia de PAT de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A. son menores a 3000 ohm/m (terreno pedregoso).

• Hipótesis específica 4

H_1 : existe una diferencia significativa entre los valores obtenidos del cálculo y la medición después de la optimización de la resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A. mediante sistema de aterramiento por contrapesos horizontales.

H_0 : no existe una diferencia significativa entre los valores obtenidos del cálculo y la medición después de la optimización de la resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A. mediante sistema de aterramiento por contrapesos horizontales.

Es necesario corroborar si la variable numérica (resistencia de puesta a tierra) calculada y medida, de comparación se comporta normalmente, es decir verificar el supuesto de normalidad, recordando que hay dos pruebas: *Kolmogorov-Smirnova*, para ($n > 30$) y *Shapiro-Wilk*, para ($n < 30$).

Tabla 38. Valores de resistencia de PAT medida y calculada

Resistencia de puesta a tierra medida y calculada			
Ítem	Número de estructura	Resistencia de puesta a tierra medida en Ohmios	Resistencia de puesta a tierra calculada en Ohmios
		Rc (Ω)	Rc (Ω)
1	Torre 2-L3	6.2	5.91
2	Torre 6-L3	6.14	8.65
3	Torre 13-L3	16.5	18.85
4	Torre 14-L3	15.51	14.06
5	Torre 16-L3	14.68	16.50
6	Torre 17-L3	13.03	9.87

7	Torre 27-L3	10.11	8.19
8	Torre 28-L3	9.69	11.88
9	Torre 29-L3	12.57	14.13
10	Torre 30-L3	16.52	17.78
11	Torre 31-L3	8.25	9.87
12	Torre 32-L3	18.55	14.32
13	Torre 37-L3	17.99	17.30
14	Torre 38-L3	18.11	18.44
15	Torre 40-L3	18.01	14.08
16	Torre 41-L3	14.78	10.66
17	Torre 47-L3	17.93	10.70
18	Torre 51-L3	16.13	12.68
19	Torre 52-L3	19.78	19.24
20	Torre 53-L3	19.42	15.21
21	Torre 55-L3	23.1	14.77
22	Torre 61-L3	16.75	16.11
23	Torre 63-L3	16.51	9.84
24	Torre 64-L3	16.72	14.54
25	Torre 65-L3	12.86	9.87
26	Torre 66-L3	15.73	14.58
27	Torre 75-L3	13.95	14.00
28	Torre 76-L3	16.94	16.82
29	Torre 79-L3	13.68	14.94

En la Tabla 38 se observan los valores de resistencia de puesta a tierra Rc. (resistencia compensada) medida después de la optimización, así mismo la resistencia calculada, estos valores que son en total 29 y son necesarios para la prueba de hipótesis que se realizó mediante prueba t de Student para muestras independientes, esta prueba estadística evalúa la hipótesis en torno a una media, se utiliza en los estudios de tipo longitudinal; es decir, cuando se comparan datos de dos fuentes diferentes.

Es necesario corroborar si la variable numérica (resistencia de puesta a tierra) de comparación se comporta normalmente; es decir, verificar el supuesto de normalidad, recordando que hay dos pruebas: *Kolmogorov-Smirnova*, para ($n > 30$) y *Shapiro-Wilk*, para ($n < 30$).

Tabla 39. Resumen de procesamiento de casos SPSS - V22

Resumen de procesamiento de casos							
	Calculado medido	Casos					
		Válido		Perdidos		Total	
		N	%	N	%	N	%
Resistencia de puesta a tierra	Calculado	29	100,0	0	0,0	29	100,0
	Medido	29	100,0	0	0,0	29	100,0

En la Tabla 39, según este punto SPSS – V22, muestra que el porcentaje de datos válidos es el 100%; es decir, no hay datos perdidos en el proceso de tratamiento de datos de la investigación.

Tabla 40. Valores descriptivos de casos SPSS - V22

Descriptivos					
	Calculado medido		Estadístico	Desv. error	
Resistencia de puesta a tierra	Calculado	Media	15,0393	,74152	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	13,5204	
			Límite superior	16,5582	
		Media recortada al 5%	15,1421		
		Mediana	16,1300		
		Varianza	15,946		
		Desv. desviación	3,99319		
		Mínimo	6,14		
		Máximo	23,10		
		Rango	16,96		
	Rango intercuartil	5,02			
	Asimetría	-,680	,434		
	Curtosis	,409	,845		
	Medido	Media	13,5790	,64486	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	12,2580	
			Límite superior	14,8999	
		Media recortada al 5%	13,6579		
		Mediana	14,1300		
		Varianza	12,060		
		Desv. desviación	3,47269		
Mínimo		5,91			
Máximo		19,24			
Rango		13,33			
Rango intercuartil	6,04				
Asimetría	-,304	,434			
Curtosis	-,640	,845			

En la Tabla 40 se muestran los descriptivos y se observan los valores como una media de los datos de resistencia de PAT calculados y medidos después del tratamiento mediante la metodología de contrapesos horizontales.

Tabla 41. Prueba de normalidad de datos Shapiro-Wilk. SPSS - V22

Pruebas de normalidad							
	Calculado medido	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resistencia de puesta a tierra	Calculado	,133	29	,200	,941	29	,108
	Medido	,169	29	,034	,962	29	,376

En la Tabla 41 se observa que la muestra es de 29 datos; por lo tanto, se toma la corroboración de la prueba de normalidad de *Shapiro-Wilk*, para ($n < 30$), pudiendo observar para la siguiente decisión que la significancia calculada y medida son 0.108 y 0.376 respectivamente.

- $P_valor > 0.05$ los datos provienen de una distribución normal.
- $P_valor < 0.05$ los datos no provienen de una distribución normal.

Se puede concluir que los datos de resistencia de calculado y medida después de la optimización provienen de una distribución normal y es posible aplicar pruebas paramétricas.

Para realizar la prueba de hipótesis específica 4, se recurrió a la prueba t de Student para muestras independientes, esta prueba estadística evalúa la hipótesis en torno a una media, se utiliza en los estudios de tipo longitudinal; es decir, cuando se comparan datos de dos fuentes diferentes evaluando si existe o no diferencia significativa, con el objetivo de comparar dos grupos, valores de resistencia de PAT calculada y los valores de resistencia de PAT medida después de un tratamiento.

Prueba T

Tabla 42. Estadísticos de muestras independientes SPSS - V22

Estadísticas de grupo					
	Calculado Medido	N	Media	Desv. desviación	Desv. error promedio
Resistencia de puesta a tierra	Medido	29	13,5790	3,47269	,64486
	Calculado	29	15,0393	3,99319	,74152

En la Tabla 42 se observan las medias de dos fuentes de datos distintos, a esta prueba también se le suele llamar de comparación, se da el valor medido con una media de 13.5790 y el valor calculado con una media de 15,0393.

Tabla 43. Prueba de muestras independientes SPSS - V22

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Resistencia de puesta a tierra	Se asumen varianzas iguales	,151	,699	-1,486	56	,143	-1,46034	,98270	-3,42893	,50824
	No se asumen varianzas iguales			-1,486	54,942	,143	-1,46034	,98270	-3,42976	,50907

En la Tabla 43 se observa el valor para llegar a la conclusión que es necesario evaluar las dos posibilidades del p_valor en la significancia (bilateral) con un valor de 0.143, para determinar si se acepta o rechaza la hipótesis nula.

- Si la probabilidad obtenida p – valor < alfa, rechace Ho (se acepta Hi)
- Si la probabilidad obtenida p – valor > alfa, rechace Hi (se acepta Ho)

Conclusión:

En la tabla anterior se visualizan los resultados de la prueba de t de Student para muestras independientes, donde se evalúa la variable dependiente,

Resistencia de puesta a tierra, comparando dos grupos, valores de resistencia de puesta a tierra calculada y los valores de resistencia de puesta a tierra medida después de un tratamiento, para ello se toma un nivel de confianza de 95%, se puede observar que ($p < 0.05$) con lo cual se rechaza la hipótesis alterna y se acepta la nula. No existe una diferencia significativa entre los valores obtenidos del cálculo y la medición después de la optimización de la resistencia de PAT de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A. mediante sistema de aterramiento por contrapesos horizontales.

4.3 Discusión de resultados

Los diferentes resultados obtenidos en esta investigación permiten contrastar y validar las hipótesis de investigación planteadas en el presente estudio. Estos van a constituir una base tangible para afirmar, de modo concluyente que, un sistema de aterramiento por contrapesos horizontales influye significativamente en la optimización de la resistencia de PAT de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A.

De acuerdo con la metodología que se tomó en cuenta se brinda también resultados en el plano experimental y según su finalidad planteada es la investigación aplicada, tomando como los datos de campo del complejo Mantaro la cual se tomó como información preliminar para la investigación, así también el análisis de estadístico mediante la prueba t de Student para muestras relacionadas, finalmente, se obtuvieron los resultados esperados en la presente investigación.

En la tesis titulada “***La optimización de los métodos para el diseño de un sistema de puesta a tierra en la línea de transmisión de 60 kV – explorador***” (8) de la Universidad Nacional del Centro del Perú de Huancayo, Perú, el investigador tuvo como principal objetivo optimizar los métodos para el diseño de un sistema de puesta a tierra en la línea de transmisión 60 kV explorador, que sea económico y que cumpla con las normas que exige el código nacional de electricidad, las principales conclusiones son: *para mejorar la resistencia del sistema de puesta a tierra en una línea de transmisión de 60 kV suelen instalarse contrapesos horizontales paralelos al eje de la línea, debido a su rápida*

instalación respecto a los pozos de puesta a tierra con varilla, usados en baja tensión, el estudio del comportamiento del suelo, de cada estructura, como conductor eléctrico a partir de su valor de resistividad, nos permitirá realizar los respectivos cálculos de dimensionamiento del sistema de puesta a tierra. (8) Se comparte la conclusión de su objetivo general ya que en la presente investigación se realizó la instalación de contrapesos horizontales en las estructuras de transmisión logrando excelentes resultados y sobre todo su fácil instalación en las diferentes zonas del trayecto de la línea de transmisión L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A., también se puede rescatar que con la primera evaluación del terreno se logró realizar el cálculo y dimensionamiento para la instalación del sistema de aterramiento eléctrico.

En la tesis titulada ***“Valores permisibles de resistencias de puestas a tierra de protección en redes eléctricas”*** (9) de la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, el investigador tuvo como principal objetivo proporcionar, ante todo, seguridad humana y que la puesta a tierra esté operativa durante muchos años, el costo queda relegado a un segundo plano, y sus principales conclusiones de la investigación son: *para garantizar una adecuada calidad de puestas a tierras de protección en los sistemas de eléctricos, es importante tener en cuenta las Normas Internacionales y el Código Nacional de Electricidad; el análisis del comportamiento de los valores de la puesta a tierra en un sistema eléctrico confirma la dependencia que tiene su magnitud en función de la resistividad del terreno donde será instalada. (9)* En la presente tesis se llega a la conclusión muy importante la cual tiene que ver en nuestro país el CNE (Código Nacional de Electricidad) para tomar el estándar de 25 Ohm que se planteó la presente investigación, también tener en cuenta que para el análisis y la metodología de un sistema a tierra es necesaria la evaluación de resistividad del terreno y su respectiva estratificación.

En la tesis titulada ***“Diagnóstico y mejoramiento de puesta a tierra en los primarios de distribución de la empresa eléctrica Ambato S. A. en la zona de concesión de la provincia de Tungurahua para que opere el sistema eléctrico con buena calidad de energía”*** (10) de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador, el investigador tuvo como principal objetivo

realizar un estudio del sistema de puesta a tierra, de la red eléctrica actual y establecer los criterios para el dimensionamiento de las puestas a tierra en las líneas y redes primarias de la empresa eléctrica Ambato S. A., y sus principal conclusión de la investigación es: *la resistividad del terreno es un factor importante en la resistencia de PAT, de ahí que altos valores de resistividad obligan a realizar tratamientos químicos que disminuyan su valor.* **(10)** En esta tesis también es muy notable saber que uno de los factores más importantes para la implementación u optimización de un sistema de puesta a tierra es la evaluación del terreno, en su magnitud de medición y estratificación del terreno.

CONCLUSIONES

- Se concluye, según la prueba de t de Student para muestras relacionadas, que el sistema de aterramiento por contrapesos horizontales influye significativamente en la optimización de la resistencia de puesta a tierra de torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A., de hecho las mediciones de resistencia de puesta a tierra bajaron en promedio de 46.30 Ohm a 15.03 Ohm después de la optimización mediante la metodología de contrapesos horizontales. Estos datos son validados por los protocolos de medición de resistencia de puesta a tierra antes y después de la optimización.
- Los resultados de la medición de resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A., antes de la optimización, no cumplían con lo establecido por el CNE, estando en su totalidad con una resistencia de puesta a tierra mayor a 25 Ohm en cada una de las estructuras evaluadas, esto a causa de presencia de corrosión, alambres bañados en cobre, conductores rotos, mal dimensionamiento de sistemas de puesta a tierra, entre otros.
- Se utilizó el método *Wenner* según lo estipulado en la norma la IEEE Std.80 – 2000 en su apartado 13, para realizar la medición de resistividad aparente en cada una de los terrenos paralelos a las estructuras evaluadas, los cuales fueron utilizados para el cálculo de la resistencia equivalente y posteriormente para el modelamiento del sistema de aterramiento por contrapesos horizontales; se hicieron cuatro mediciones a 1, 2, 4 y 8 metros, que finalmente fueron redactados en los protocolos de medición, como instrumento de prueba se utilizó el telurómetro digital - Megabras MTD-20 kWe.
- Por medio de los valores de resistividad aparente del terreno, se realizó el procesamiento en gabinete para obtener el valor de resistividad equivalente o también llamada homogénea, procediendo a realizar la estratificación del terreno, el método utilizado fue usando curvas características, dichos valores de resistividad equivalente son necesarios para el modelamiento del sistema de aterramiento por contrapesos horizontales; así mismo, se obtuvo la altura

de la primera y segunda capa del suelo necesario para evaluar los 0.5 m de altura de enterramiento de los contrapesos horizontales.

- Teniendo en cuenta el valor de la resistividad homogénea, se calculó mediante un software básico, los valores de la resistencia de puesta a tierra; así mismo, se determinó la longitud y el tipo de metodología de contrapeso horizontal, longitud para contrapesos horizontales para cada una de las torres de transmisión, posteriormente se procedió a realizar la instalación del sistema de puesta a tierra.
- En la última etapa de la investigación se midió y evaluó, mediante la prueba estadística t de Student para muestras independientes, que no existe una diferencia significativa entre los valores obtenidos del cálculo y la medición después de la optimización de la resistencia de puesta a tierra de las torres de transmisión de la línea L3 de 33 kV pertenecientes a Electroperú S. A. demostrando así resultados positivos en un 100% y cumpliendo así con lo establecido por el CNE.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la empresa Electroperú S. A. incrementar la frecuencia de mantenimiento predictivo de 1 o 2 veces por año en la línea L3 de 33 kV, para así incrementar la estabilidad del sistema, proteger a las personas y minimizar el daño al equipamiento asociado y de esta forma reducir considerablemente la tasa de fallas de la operación de la presa de *Tablachaca* y a su vez incrementar la satisfacción de clientes asociados al sistema.
- Para las mediciones de resistencia de puesta a tierra se recomienda realizar mediante el método de caída de potencial, según lo estipulado en la norma la IEEE Std 80 - 2000 en su apartado 19, asimismo, utilizar un protocolo de medición y como instrumento de prueba un telurómetro de alta frecuencia.
- Para posteriores mediciones de resistividad es recomendable realizar la medición mediante el método *Wenner*, según lo estipulado en la norma la IEEE Std.80 – 2000 en su apartado 13, debido a que sus resultados son confiables siempre y cuando los electrodos auxiliares estén enterrados a una profundidad aceptable entre 30 y 50 cm.
- Es necesario que se respeten las zonas por donde se extienden los conductores de contrapesos, ya que, si los conductores fueran dañados por agentes externos causando daño personal, para evitar este problema se debe colocar cemento conductor como anclajes en los contrapesos, evitando que se salga hacia la superficie y evitar hurtos menores.

REFERENCIAS

1. **DIRECCIÓN GENERAL DE LA ELECTRICIDAD.** *Código Nacional de Eléctricidad (Suministro)* Perú: Ministerio de Energía y Minas, disponible en: www.minem.gob.pe, 2011.
2. **GALLEGO LANDERA, Yandy, VALCÁRCEL ROJAS, Ángel, LIMONTE RUIZ, Alberto y MARIÑO RIVERO, Adis.** *Modelación de sistemas de puesta a tierra para evaluación de sobretensiones transitorias*, Cuba. Vol. XXXV, p.183–192, 2014.
3. **VELILLA, Esteban, RESTREPO, Jorge y VILLADA, Fernando.** *Análisis de sensibilidad computacional de la respuesta en frecuencia de la impedancia de torres de transmisión.* Colombia. Medellín, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Antioquia, *Información Tecnológica.* Vol. 27, núm. 1, p. 105–114. DOI 10.4067/S0718-07642016000100012, 2016.
4. **ANDRADE, Marcos y ANDRADE, Noelia.** *Tratamiento químico de terrenos para instalaciones de puesta a tierra.* . P. 1–5. Senior Member, IEEE, 2000.
5. **GÓMEZ MONTOYA, Héctor, VELILLA HERNÁNDEZ, Esteban, MORENO, Germán y ALEJANDRO VALENCIA, Jaime.** *Respuesta transitoria de las puestas a tierra en la protección contra rayos. Software Gtierras.* Colombia. Medellín, *Revista Facultad de Ingeniería.* 2006. 36, p. 21–32. núm. 36, marzo, pp. 21, 2005.
6. **LAUREANO MOLINA, Richard.** *Criterios de diseño de puestas a tierra para equipos biomédicos de alta sensibilidad en el Hospital Regional Docente Clínico Quirúrgico Daniel A. Carrion Huancayo.* Perú, Huancayo, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Continental, [http:// weekly.cnbnews.com/news/article.html?no=124000](http://weekly.cnbnews.com/news/article.html?no=124000), 2018.
7. **AVILA GAMBOA, Lenin Jhonson.** *Mejoramiento de puesta a tierra en la subestación de transformación de la compañía minera Quiruvilca S.A.,* Santiago de Chuco, La Libertad. Perú, Trujillo, Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Univerisdad César Vallejo, 2018.
8. **CAMARENA CAMAYOC, Paul Isaac.** *La optimización de los métodos para el diseño de un sistema de puesta a tierra en la línea de transmisión de 60*

- kV - explorador*. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Universidad Nacional del Centro del Perú, 2009.
9. **HIPÓLITO ALCALÁ, Víctor**. *Valores permisibles de resistencias de puestas a tierra de protección en redes eléctricas*. Perú, Lima, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Nacional de Ingeniería.
http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1130/1/lopez_gj.pdf, 2008.
 10. **CHUQUIRIMA FLORES, Rolando y QUIMBITA BORJA, Isaías**. *Diagnóstico y mejoramiento de puesta a tierra en los primarios de distribución de la empresa eléctrica Ambato S. A. en la zona de concesión de la provincia de Tungurahua para que opere el sistema eléctrico con buena calidad de energía*. Latacunga Ecuador: Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas - Universidad Técnica De Cotopaxi, 2015.
 11. **CÉSPEDES SEGURA, Sergio y AGUIRRE CAZARES Jonathan**. *Equipo de puesta a tierra para líneas de transmisión*. Mexico: Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica - Instituto Politecnico Nacional.
<http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/11502/1/17.pdf>, 2014.
 12. **PÉREZ LOARCA, Walter, SERRANO BARRIOS, Christian y SURIO GUEVARA**. *Manual de aplicación de la norma IEEE Std 81 para líneas y subestaciones eléctricas de transmisión*. El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de El Salvador.
[http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/9008/1/Manual de aplicación de la norma IEEE Std 81.pdf](http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/9008/1/Manual%20de%20aplicaci3n%20de%20la%20norma%20IEEE%20Std%2081.pdf), 2015.
 13. **SALAZAR, Jorge Rafael**. *Sistemas de tierra en líneas de transmisión*. México, Xalapa, Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Universidad Veracruzana. <https://core.ac.uk/download/pdf/16308370.pdf>, 2010.
 14. **YANQUE MONTUFAR, Justo y ASISTENTES TITULADOS FIM-UNI**, *Alta tensión y técnicas de pruebas de laboratorio*. Perú, Lima, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Nacional de Ingeniería, 2010.
 15. **RAMÍREZ ROA, Judith Amparo**. *Propuesta de procedimiento para la medición de la resistividad del suelo y la resistencia de puesta a tierra en líneas de transmisión*. Colombia, Bucaramanga. Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad Industrial de Santander, 2008.

16. **CASAS OSPINA, Favio.** *Tierras soporte de la seguridad eléctrica.* Bogotá, Colombia: Seguridad Eléctrica Ltda. Quinta Ed.
<http://weekly.cnbnews.com/news/article.html?>, 2010.
17. **GARCÍA MÁRQUEZ, Rogelio.** *La puesta a tierra de instalaciones eléctricas.* España Barcelona. ISBN 8426707998, 1999.
18. **MOLINA, Juvencio.** *Puesta a tierra en torres de transmisión.* 2016.
19. **INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, IEEE**
Std 80. *Guía para la seguridad de puesta a tierra en subestaciones de C. A.* ISBN 9780738188508, 2013.
20. **QUISPE PÉREZ, Abel Hernán.** *Problemática en las instalaciones de los sistemas de puesta a tierra en redes de distribución.* Perú, Lima, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Nacional de Ingeniería.
http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1130/1/lopez_gj.pdf, 2012.
21. **MANUAL MEGABRAS TM25m.** *Telurómetro digital de alta frecuencia.*
<https://www.megabras.com/es/productos/telurometro/telurometro-alta-frecuencia-TM25m.php>, 2007.
22. **BERNAL, César A.** *Metodología de la investigación.* Colombia, 3ra. ed. ISBN 9789586991285. 2010.
23. **VALDERRAMA MENDOZA, Santiago.** *Pasos para elaborar proyectos de investigacion científica.* Perú, Lima. 2018.
24. **HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto, FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos y BAPTISTA LUCIO, Pilar.** *Metodología de la investigación.* 5ta. ed. México, ISBN 9786071502919. 2010..

ANEXOS

Anexo 1

Solicitud de Osinergmin para mantenimiento de sistemas de puesta a tierra de la línea de L3 33 kV *Tablachaca* SAM



PERÚ

Presidencia
del Consejo de Ministros

Organismo Supervisor de la Inversión
en Energía y Minería - Osinergmin



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres

Huancavelica, 08 de enero del 2019

OFICIO N° 20-2019-OS/OR HUANCAMELICA

Expediente: 201800089307

Ingeniero

EDWIN SAN ROMÁN ZUBIZARRETA,

Gerente General

ELECTROPERU S.A.

Av. Prolongación Pedro Miotta 421. San Juan de Miraflores

Lima -

Asunto : Información sobre compromisos asumidos mediante Acta de reunión del 27/11/2018

Referencia : Acta de reunión del 27/11/2018 en la Oficina de Gestión Social y Participación Ciudadana del Ministerio de Energía y Minas

De nuestra consideración:

Sirva el presente para saludarlo; asimismo, poner en conocimiento que mediante acta de reunión del 27/11/2018 en la Oficina de Gestión Social y Participación Ciudadana del Ministerio de Energía y Minas, vuestra representada se comprometió a: i) minimizar gradualmente las interrupciones del suministro eléctrico brindado en la localidad de Colcabamba, ii) en un plazo de 45 a 90 días instalar pararrayos en los sitios críticos a fin de minimizar las interrupciones; asimismo, en la reunión se comprometió a: iii) realizar una evaluación de la infraestructura eléctrica, iv) realizar mantenimiento de puestas a tierra; en ese sentido se requiere lo siguiente:

- Un informe de interrupciones del suministro eléctrico que afectaron la localidad de Colcabamba desde el 01/12/2018 a la fecha precisando la responsabilidad de cada evento.
- Un programa de actividades a corto y mediano plazo según los formatos del Anexo N° 1, orientadas a disminuir las interrupciones del suministro eléctrico en la localidad de Colcabamba, el cual debe contener los compromisos detallados en párrafo precedente

Por lo expuesto, se dispone que en base a las atribuciones que señala la Ley 28151¹, el plazo que se otorga para que remita la información requerida es de cinco (05) días hábiles contados a partir del día hábil siguiente de notificado el presente.

¹ Art. 5° "Son funciones del OSINERGMIN: (...)

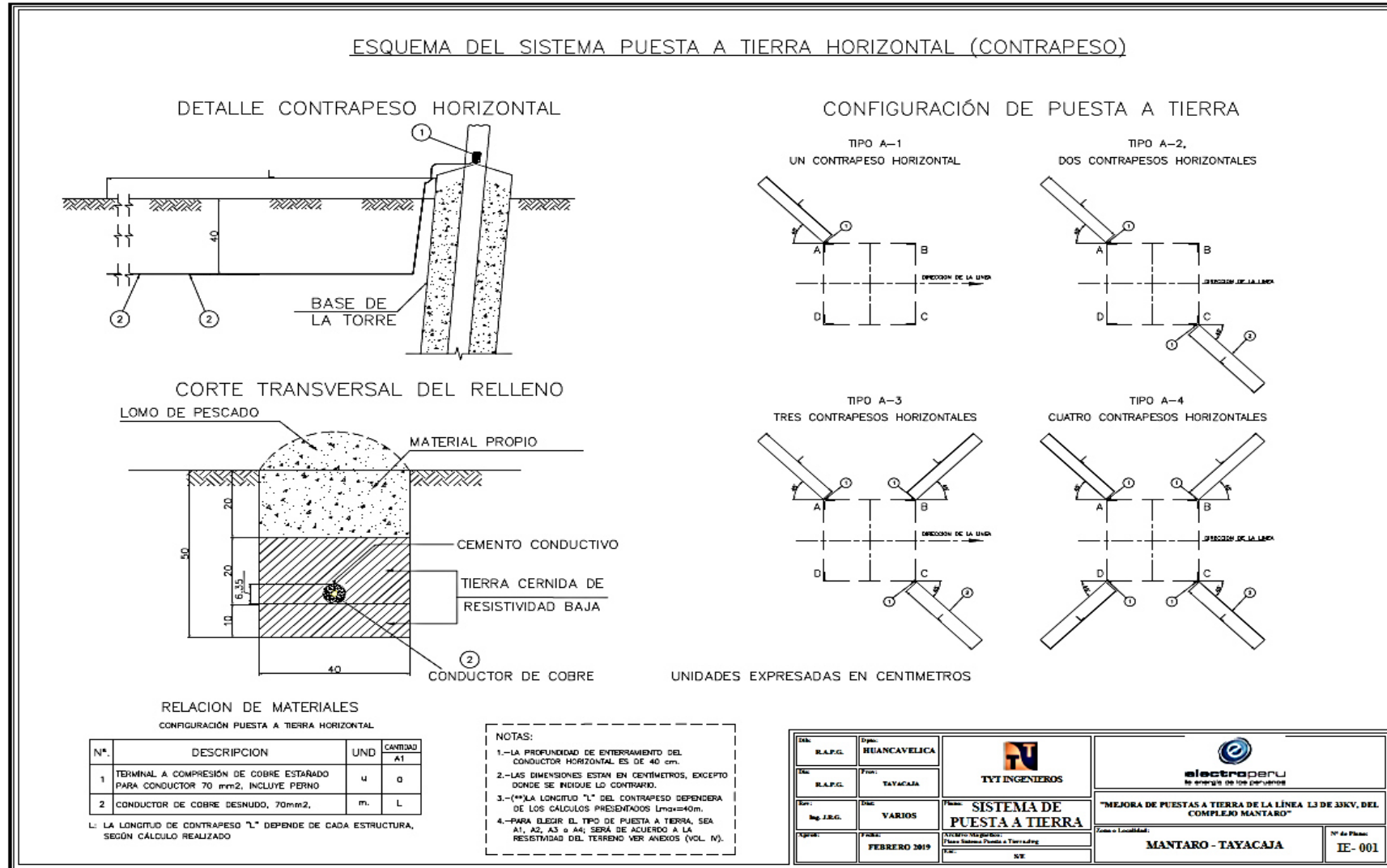
a) fiscalizar y supervisar el cumplimiento de las disposiciones técnicas y legales del subsector electricidad, referidas a la seguridad y riesgos eléctricos, por parte de empresas de otro sector, así como de toda persona natural o jurídica de derecho público o privado, informando al organismo o sector competente sobre las infracciones cometidas, las que le informaran de las sanciones impuestas"

Para un próximo trámite, señalar el número de expediente: 201800089307

Oficina Regional
Huancavelica
Jr. Torre Tagle N° 872
Teléfono: (067) 454051

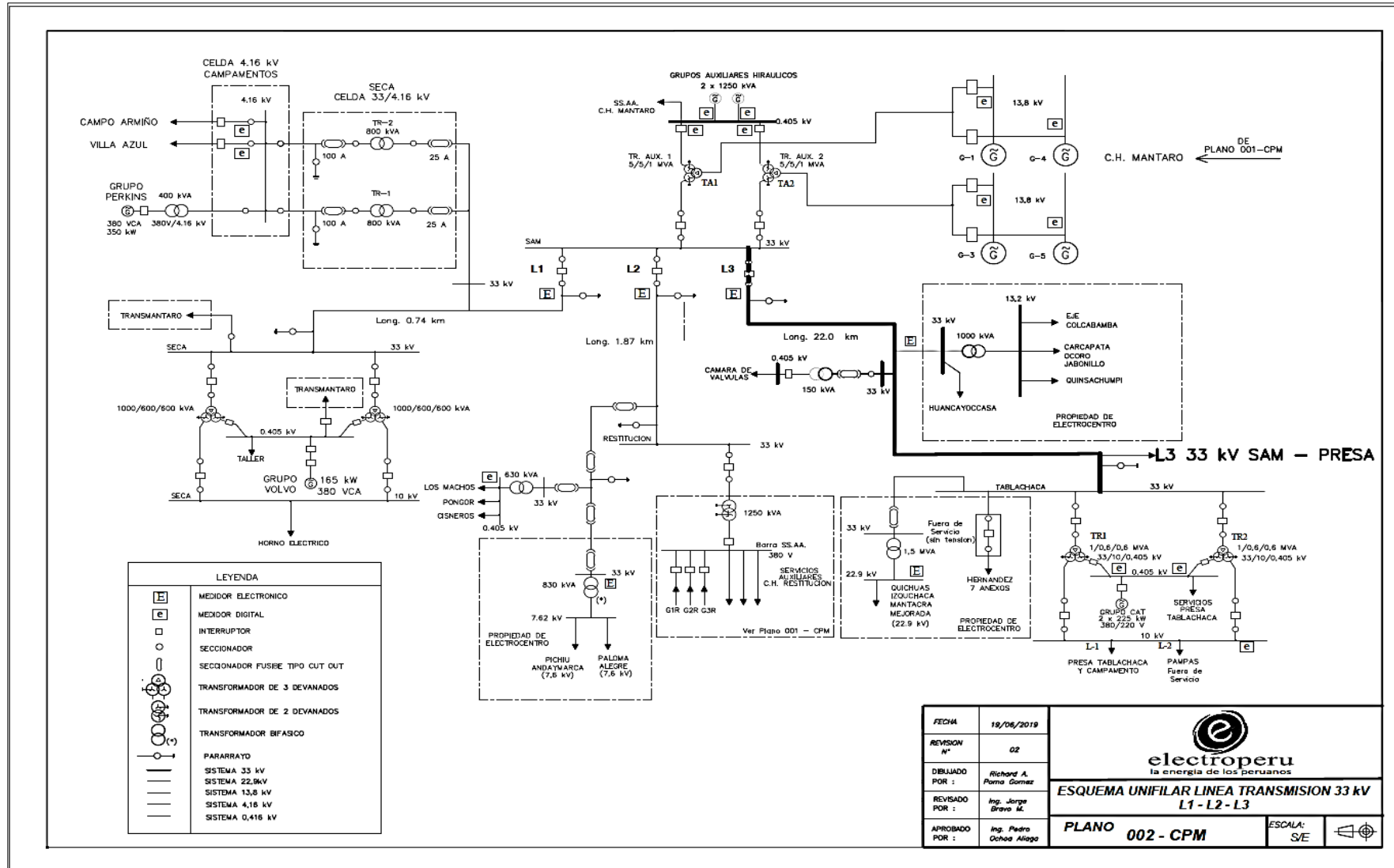
Anexo 2

Plano de sistema de puesta a tierra mediante contrapesos horizontales y sus configuraciones



Anexo 3

Plano de línea de transmisión L3 33 kV SAM – PRESA



Anexo 4

Registro fotográfico de estructuras y mediciones de PAT

- Registro fotográfico estructura 2

Línea de transmisión 33 kV, "SAM- Tablachaca" torre 2	
	
Foto 1.- Placa de indentificaión y no cuenta con señalización de riesgo eléctrico ni nombre de línea	Foto 2.- Vista panorámica de la torre y tipo de armado
	
Foto 3.- Escolta de F. vidrio caída, no cuentan con protección anticorrosiva en base torre.	Foto 5.- No cuenta con señalización de fases
	
Medición torre 2 en (Ω): antes de la optimización 42.3 Ω	Medición torre 2 en (Ω): después de la optimización 6.20 Ω

- Registro fotográfico estructura 6

Línea de transmisión 33 kV, "SAM- Tablachaca" torre 6	
	
<p>Foto 1.- Placa de indentificación y no cuenta con señalización de riesgo eléctrico ni nombre de línea</p>	<p>Foto 2.- Vista panorámica de la torre y tipo de armado</p>
	
<p>Foto 3.- No cuentan con proteccion anticorrosiva los perfiles de la base de torre</p>	<p>Foto 4.- Faja de servidumbre lleno de malesas, arbustos, árboles</p>
	
<p>Medición torre 6 en (Ω): antes de la optimización 39.1 Ω</p>	<p>Medición torre 6 en (Ω): después de la optimización 6.14 Ω</p>

- Registro fotográfico estructura 13

Línea de transmisión 33 kV, "SAM- Tablachaca" torre 13	
<p>Foto 1.- Placa de indentificación y no cuenta con señalización de riesgo eléctrico ni nombre de línea</p>	<p>Foto 2.- Vista panorámica de la torre y tipo de armado</p>
<p>Foto 3.- No cuentan con protección anticorrosiva los perfiles de la base de torre</p>	<p>Foto 4.- No cuenta con señalización de fases</p>
<p>Medición torre 13 en (Ω): antes de la optimización 47.4 Ω</p>	<p>Medición torre 13 en (Ω): después de la optimización 16.5 Ω</p>

- Registro fotográfico estructura 14.

Línea de transmisión 33 kV, "SAM- Tablachaca" torre 14	
	
<p>Foto 1.- Placa de indentificación y no cuenta con señalización de riesgo eléctrico ni nombre de línea</p>	<p>Foto 2.- Vista panorámica de la torre y tipo de armado</p>
	
<p>Foto 3.- Perfiles corroidos tirante y chasis de brazo F. media</p>	<p>Foto 4.- Árboles próximos a línea fase inferior</p>
	
<p>Medición torre 14 en (Ω): antes de la optimización 30.6 Ω</p>	<p>Medición torre 14 en (Ω): después de la optimización 15.51 Ω</p>

- Registro fotográfico estructura 16

Línea de transmisión 33 kV, "SAM- Tablachaca" torre 16	
<p>Foto 1.- Placa de indentificación y no cuenta con señalización de riesgo eléctrico ni nombre de línea</p>	<p>Foto 2.- Vista panorámica de la torre y tipo de armado</p>
<p>Foto 3.- No cuentan con protección anticorrosiva los perfiles de la base de torre</p>	<p>Foto 4.- Faja de servidumbre lleno de malesas, arbustos, árboles</p>
<p>Medición torre 16 en (Ω): antes de la optimización 62.3 Ω</p>	<p>Medición torre 16 en (Ω): después de la optimización 14.68 Ω</p>

- Registro fotográfico estructura 17

Línea de transmisión 33 kV, "SAM- Tablachaca" torre 17	
<p>Foto 1.- Placa de indentificación y no cuenta con señalización de riesgo eléctrico ni nombre de línea</p>	<p>Foto 2.- Vista panorámica de la torre y tipo de armado</p>
<p>Foto 3.- Faja de servidumbre lleno de malezas, arbustos, árboles.</p>	<p>Foto 4.- Perfiles corroídos.</p>
<p>Medición torre 14 en (Ω): antes de la optimización 60.6 Ω</p>	<p>Medición torre 17 en (Ω): después de la optimización 13.03 Ω</p>





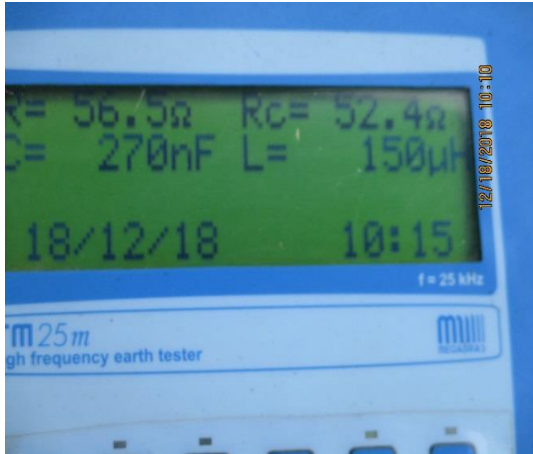
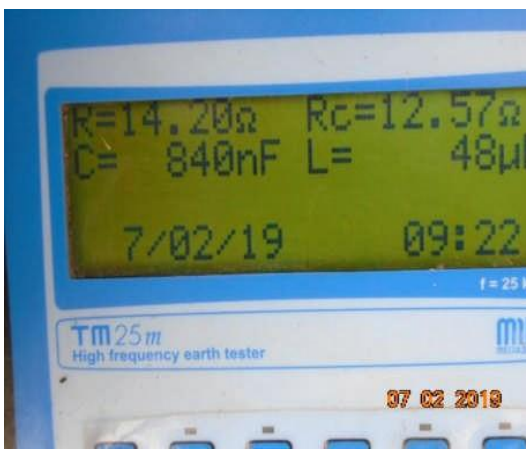
- Registro fotográfico estructura 27

Línea de transmisión 33 kV, "SAM- Tablachaca" torre 27	
	
<p>Foto 1.- Placa de indentificación y no cuenta con señalización de riesgo eléctrico ni nombre de línea</p>	<p>Foto 2.- Vista panorámica de la torre y tipo de armado con derivación a Huancayojasa</p>
	
<p>Foto 3.- Perfiles corroidos</p>	<p>Foto 4.- Árboles cercanos en los vanos de la torre 27 a la 26</p>
	
<p>Medición torre 27 en (Ω): antes de la optimización 50.2 Ω</p>	<p>Medición torre 27 en (Ω): después de la optimización 10.11 Ω</p>

- Registro fotográfico estructura 28

Línea de transmisión 33 kV, "SAM- Tablachaca" torre 28	
	
<p>Foto 1.- Placa de indentificación y no cuenta con señalización de riesgo eléctrico ni nombre de línea</p>	<p>Foto 2.- Vista panorámica de la torre y tipo de armado</p>
	
<p>Foto 3.- Faja de servidumbre lleno de malesas, arbustos, árboles y montante con corrosión</p>	<p>Foto 4.- No cuentan con protección anticorrosiva los perfiles de la base de torre</p>
	
<p>Medición torre 28 en (Ω): antes de la optimización 45.2 Ω</p>	<p>Medición torre 28 en (Ω): después de la optimización 9.69 Ω</p>

- Registro fotográfico estructura 29

Línea de transmisión 33 kV, "SAM- Tablachaca" torre 29	
	
<p>Foto 1.- Placa de indentificación y no cuenta con señalización de riesgo eléctrico ni nombre de línea</p>	<p>Foto 2.- Vista panorámica de la torre y tipo de armado</p>
	
<p>Foto 3.- Perfiles corroidos</p>	<p>Foto 4.- No cuentan con protección anticorrosiva los perfiles de la base de torre</p>
	
<p>Medición torre 29 en (Ω): antes de la optimización 52.4 Ω</p>	<p>Medición torre 29 en (Ω): después de la optimización 12.57 Ω</p>

- Registro fotográfico estructura 30

Línea de transmisión 33 kV, "SAM- Tablachaca" torre 30	
<p>Foto 1.- Placa de indentificación y no cuenta con señalización de riesgo eléctrico ni nombre de línea.</p>	<p>Foto 2.- Vista panorámica de la torre y tipo de armado.</p>
<p>Foto 3.- Perfiles corroidos</p>	<p>Foto 4.- No cuentan con protección anticorrosiva los perfiles de la base de torre.</p>
<p>Medición torre 30 en (Ω): antes de la optimización 31.4 Ω</p>	<p>Medición torre 30 en (Ω): después de la optimización 16.52 Ω</p>







- Registro fotográfico estructura 31

Línea de transmisión 33 kV, "SAM- Tablachaca" torre 31	
<p>Foto 1.- Placa de indentificación y no cuenta con señalización de riesgo eléctrico ni nombre de línea</p>	<p>Foto 2.- Vista panorámica de la torre y tipo de armado</p>
<p>Foto 3.- Perfiles corroidos</p>	<p>Foto 4.- No cuentan con protección anticorrosiva los perfiles de la base de torre</p>
<p>Medición torre 31 en (Ω): antes de la optimización 45.6 Ω</p>	<p>Medición torre 31 en (Ω): después de la optimización 8.25 Ω</p>

- Registro fotográfico estructura 32

Línea de transmisión 33 kV, "SAM- Tablachaca" torre 32	
	
<p>Foto 1.- Placa de indentificación y no cuenta con señalización de riesgo eléctrico ni nombre de línea</p>	<p>Foto 2.- Vista panorámica de la torre y tipo de armado</p>
	
<p>Foto 3.- Perfiles corroidos</p>	<p>Foto 4.- No cuentan con protección anticorrosiva los perfiles de la base de torre</p>
	
<p>Medición torre 32 en (Ω): antes de la optimización 29.0 Ω</p>	<p>Medición torre 32 en (Ω): después de la optimización 18.55 Ω</p>

- Registro fotográfico estructura 37

Línea de transmisión 33 kV, "SAM- Tablachaca" torre 37	
	
<p>Foto 1.- Placa de indentificación y no cuenta con señalización de riesgo eléctrico ni nombre de línea.</p>	<p>Foto 2.- Vista panorámica de la torre y tipo de armado.</p>
	
<p>Foto 3.- Conductor de puesta a tierra cortado y expuesto.</p>	<p>Foto 4.- Perfiles corroídos.</p>
	
<p>Medición torre 37 en (Ω): antes de la optimización 39.7 Ω</p>	<p>Medición torre 37 en (Ω): después de la optimización 17.99 Ω</p>

- Registro fotográfico estructura N°38.

Línea de transmisión 33 kV, "SAM- Tablachaca" torre 38	
<p>Foto 1.- Placa de indentificación y no cuenta con señalización de riesgo eléctrico ni nombre de línea.</p>	<p>Foto 2.- Vista panorámica de la torre y tipo de armado.</p>
<p>Foto 3.- No cuentan con protección anticorrosiva los perfiles de la base de torre</p>	<p>Foto 4.- Falta de conexión de conductor de puesta a tierra a estructura</p>
<p>Medición torre 38 en (Ω): antes de la optimización 62.7 Ω</p>	<p>Medición torre 38 en (Ω): después de la optimización 18.11 Ω</p>

- Registro fotográfico estructura 40

Línea de transmisión 33 kV, "SAM- Tablachaca" torre 40	
	
<p>Foto 1.- Placa de indentificación y no cuenta con señalización de riesgo eléctrico ni nombre de línea.</p>	<p>Foto 2.- Vista panorámica de la torre y tipo de armado.</p>
	
<p>Foto 3.- No cuentan con protección anticorrosiva los perfiles de la base de torre.</p>	<p>Foto 4.- Perfiles corroidos.</p>
	
<p>Medición torre 40 en (Ω): antes de la optimización 40.8 Ω</p>	<p>Medición torre 40 en (Ω): después de la optimización 18.01 Ω</p>

- Registro fotográfico estructura 41

Línea de transmisión 33 kV, "SAM- Tablachaca" torre 41	
	
<p>Foto 1.- Placa de indentificación y no cuenta con señalización de riesgo eléctrico ni nombre de línea.</p>	<p>Foto 2.- Vista panorámica de la torre y tipo de armado.</p>
	
<p>Foto 3.- Conductor de puesta a tierra cortado y expuesto</p>	<p>Foto 4.- No cuenta con señalización de fases.</p>
	
<p>Medición torre 41 en (Ω): antes de la optimización 35.3 Ω</p>	<p>Medición torre 41 en (Ω): después de la optimización 14.78 Ω</p>

- Registro fotográfico estructura 47

Línea de transmisión 33 kV, "SAM- Tablachaca" torre 47	
<p>Foto 1.- Placa de indentificación y no cuenta con señalización de riesgo eléctrico ni nombre de línea.</p>	<p>Foto 2.- Vista panorámica de la torre y tipo de armado.</p>
<p>Foto 3.- Perfiles corroídos.</p>	<p>Foto 4.- Falta de conexión de conductor de puesta a tierra a estructura.</p>
<p>Medición torre 47 en (Ω): antes de la optimización 64.7 Ω</p>	<p>Medición torre 47 en (Ω): después de la optimización 17.83 Ω</p>

- Registro fotográfico estructura 51

Línea de transmisión 33 kV, "SAM- Tablachaca" torre 51	
	
<p>Foto 1.- Placa de indentificación y no cuenta con señalización de riesgo electrico ni nombre de línea.</p>	<p>Foto 2.- Vista panorámica de la torre y tipo de armado.</p>
	
<p>Foto 3.- No cuentan con proteccion anticorrosiva los perfiles de la base de torre.</p>	<p>Foto 4.- No cuenta con señalización de fases.</p>
	
<p>Medición torre 51 en (Ω): antes de la optimización 75.7 Ω</p>	<p>Medición torre 51 en (Ω): después de la optimización 16.13 Ω</p>






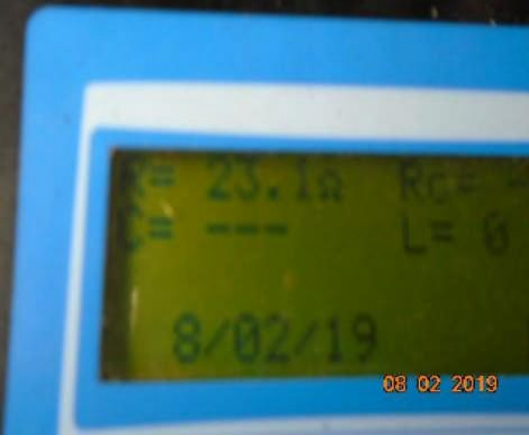
- Registro fotográfico estructura 52

Línea de transmisión 33 kV, "SAM- Tablachaca" torre 52	
	
<p>Foto 1.- Placa de indentificación y no cuenta con señalización de riesgo eléctrico ni nombre de línea</p>	<p>Foto 2.- Vista panorámica de la torre y tipo de armado.</p>
	
<p>Foto 3.- No cuentan con proteccion anticorrosiva los perfiles de la base de torre.</p>	<p>Foto 4.- No cuenta con señalización de fases.</p>
	
<p>Medición torre 52 en (Ω): antes de la optimización 67.3 Ω</p>	<p>Medición torre 52 en (Ω): después de la optimización 19.78 Ω</p>

- Registro fotográfico estructura 53

Línea de transmisión 33 kV, "SAM- Tablachaca" torre 53	
<p>Foto 1.- Placa de indentificación y no cuenta con señalización de riesgo eléctrico ni nombre de línea</p>	<p>Foto 2.- Vista panorámica de la torre y tipo de armado.</p>
<p>Foto 3.- Falta de conexión de conductor de puesta a tierra a estructura.</p>	<p>Foto 5.- Presencia de material extraño en conductor de línea.</p>
<p>Medición torre 53 en (Ω): antes de la optimización 50.0 Ω</p>	<p>Medición torre 53 en (Ω): después de la optimización 19.42 Ω</p>

- Registro fotográfico estructura 55

Línea de transmisión 33 kV, "SAM- Tablachaca" torre 55	
	
<p>Foto 1.- Placa de indentificación y no cuenta con señalización de riesgo eléctrico ni nombre de línea</p>	<p>Foto 2.- Vista panorámica de la torre y tipo de armado.</p>
	
<p>Foto 3.- No cuentan con proteccion anticorrosiva los perfiles de la base de torre.</p>	<p>Foto 4.- Presencia de material extraño en conductor de línea.</p>
	
<p>Medición torre 55 en (Ω): antes de la optimización 38.9 Ω</p>	<p>Medición torre 55 en (Ω): después de la optimización 23.1 Ω</p>

- Registro fotográfico estructura 61

Línea de transmisión 33 kV, "SAM- Tablachaca" torre 61	
	
<p>Foto 1.- Placa de indentificación y no cuenta con señalización de riesgo eléctrico ni nombre de línea</p>	<p>Foto 2.- Vista panorámica de la torre y tipo de armado.</p>
	
<p>Foto 3.- No cuentan con proteccion anticorrosiva los perfiles de la base de torre.</p>	<p>Foto 4.- No cuenta con señalización de fases.</p>
	
<p>Medición torre 61 en (Ω): antes de la optimización 65.5 Ω</p>	<p>Medición torre 61 en (Ω): después de la optimización 16.75 Ω</p>

- Registro fotográfico estructura 63

Línea de transmisión 33 kV, "SAM- Tablachaca" torre 63	
<p>Foto 1.- Placa de indentificación y no cuenta con señalización de riesgo eléctrico ni nombre de línea</p>	<p>Foto 2.- Vista panorámica de la torre y tipo de armado.</p>
<p>Foto 3.- Perfiles corroídos.</p>	<p>Foto 4.- No cuentan con proteccion anticorrosiva los perfiles de la base de torre.</p>
<p>Medición torre 63 en (Ω): antes de la optimización 34.9 Ω</p>	<p>Medición torre 63 en (Ω): después de la optimización 16.75 Ω</p>

- Registro fotográfico estructura 64

Línea de transmisión 33 kV, "SAM- Tablachaca" torre 64	
	
<p>Foto 1.- Placa de indentificación y no cuenta con señalización de riesgo eléctrico ni nombre de línea</p>	<p>Foto 2.- Vista panorámica de la torre y tipo de armado.</p>
	
<p>Foto 3.- Base de torre cubierto por desmonte y arbusto.</p>	<p>Foto 4.- No cuentan con proteccion anticorrosiva los perfiles de la base de torre.</p>
	
<p>Medición torre 64 en (Ω): antes de la optimización 32.1 Ω</p>	<p>Medición torre 64 en (Ω): después de la optimización 16.72 Ω</p>

- Registro fotográfico estructura 65

Línea de transmisión 33 kV, "SAM- Tablachaca" torre 65	
	
<p>Foto 1.- Placa de indentificación y no cuenta con señalización de riesgo eléctrico ni nombre de línea</p>	<p>Foto 2.- Vista panorámica de la torre y tipo de armado.</p>
	
<p>Foto 3.- Perfiles corroídos.</p>	<p>Foto 4.- No cuentan con proteccion anticorrosiva los perfiles de la base de torre.</p>
	
<p>Medición torre 65 en (Ω): antes de la optimización 32.9 Ω</p>	<p>Medición torre 65 en (Ω): después de la optimización 12.86 Ω</p>

- Registro fotográfico estructura 66

Línea de transmisión 33 kV, "SAM- Tablachaca" torre 66	
	
<p>Foto 1.- Placa de indentificación y no cuenta con señalización de riesgo eléctrico ni nombre de línea</p>	<p>Foto 2.- Vista panorámica de la torre y tipo de armado.</p>
	
<p>Foto 3.- No cuentan con proteccion anticorrosiva los perfiles de la base de torre.</p>	<p>Foto 4.- Faja de servidumbre lleno de malesas, arbustos y árboles.</p>
	
<p>Medición torre 66 en (Ω): antes de la optimización 44.7 Ω</p>	<p>Medición torre 66 en (Ω): después de la optimización 15.73 Ω</p>

- Registro fotográfico estructura 75

Línea de transmisión 33 kV, "SAM- Tablachaca" torre 75	
	
<p>Foto 1.- Placa de identificación y no cuenta con señalización de riesgo eléctrico ni nombre de línea</p>	<p>Foto 2.- Vista panorámica de la torre y tipo de armado con derivación.</p>
	
<p>Foto 3.- No cuentan con protección anticorrosiva los perfiles de la base de torre.</p>	<p>Foto 4.- No cuenta con señalización de fases.</p>
	
<p>Medición torre 75 en (Ω): antes de la optimización 34.7 Ω</p>	<p>Medición torre 75 en (Ω): después de la optimización 13.95 Ω</p>

- Registro fotográfico estructura 76

Línea de transmisión 33 kV, "SAM- Tablachaca" torre 76	
	
<p>Foto 1.- Placa de indentificación y no cuenta con señalización de riesgo eléctrico ni nombre de línea</p>	<p>Foto 2.- Vista panorámica de la torre y tipo de armado.</p>
	
<p>Foto 3.- Perfiles sustraídos.</p>	<p>Foto 4.- No cuenta con señalización de fases.</p>
	
<p>Medición torre 76 en (Ω): antes de la optimización 51.0 Ω</p>	<p>Medición torre 76 en (Ω): después de la optimización 16.94 Ω</p>

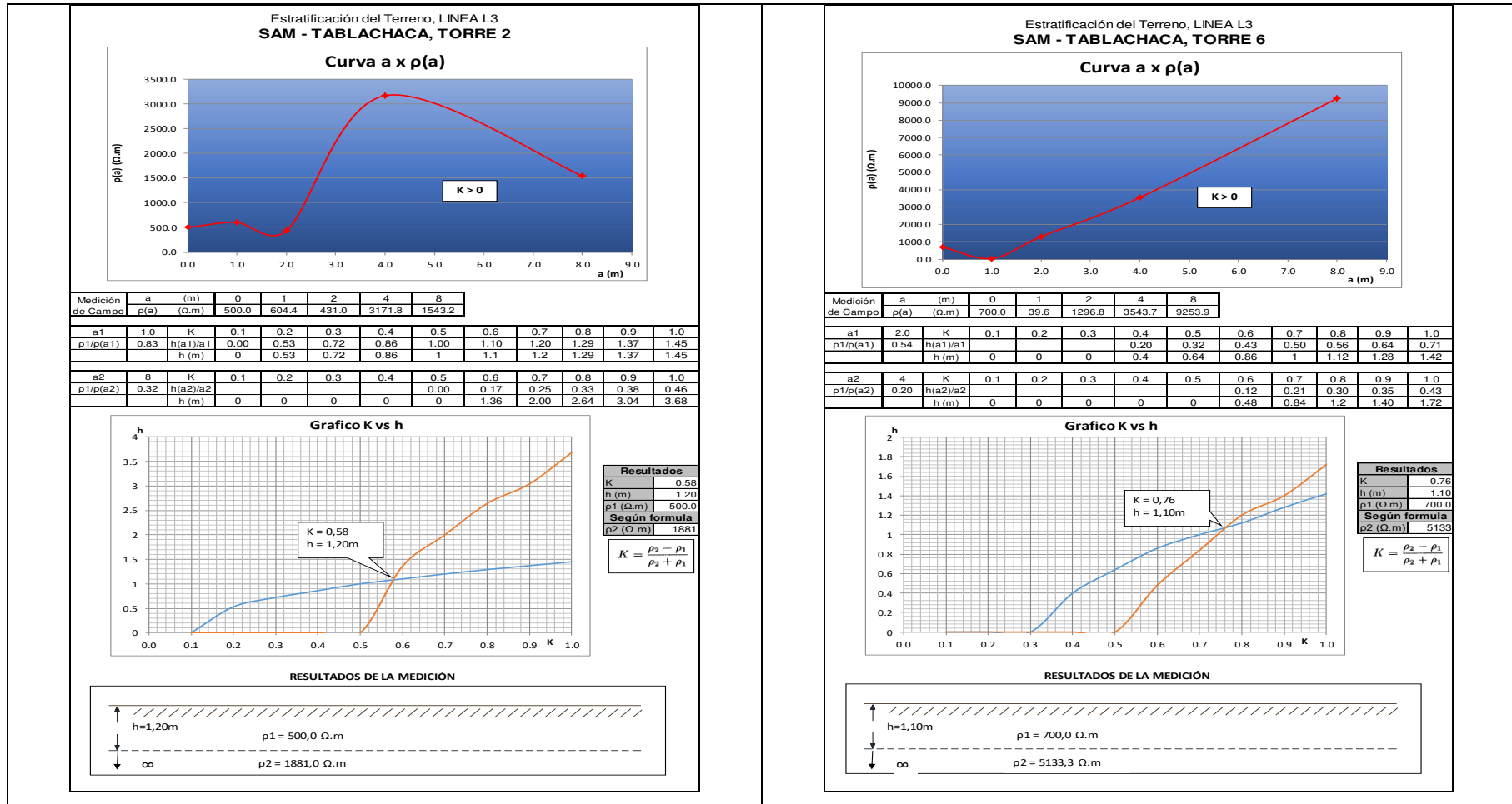
- Registro fotográfico estructura 79

Línea de transmisión 33 kV, "SAM- Tablachaca" torre 79	
<p>Foto 1.- Placa de indentificación y no cuenta con señalización de riesgo eléctrico ni nombre de línea</p>	<p>Foto 2.- Vista panorámica de la torre y tipo de armado.</p>
<p>Foto 3.- No cuentan con proteccion anticorrosiva los perfiles de la base de torre.</p>	<p>Foto 4.- No cuenta con señalización de fases.</p>
<p>Medición torre 79 en (Ω): antes de la optimización 35.7 Ω</p>	<p>Medición torre 79 en (Ω): después de la optimización 13.68 Ω</p>

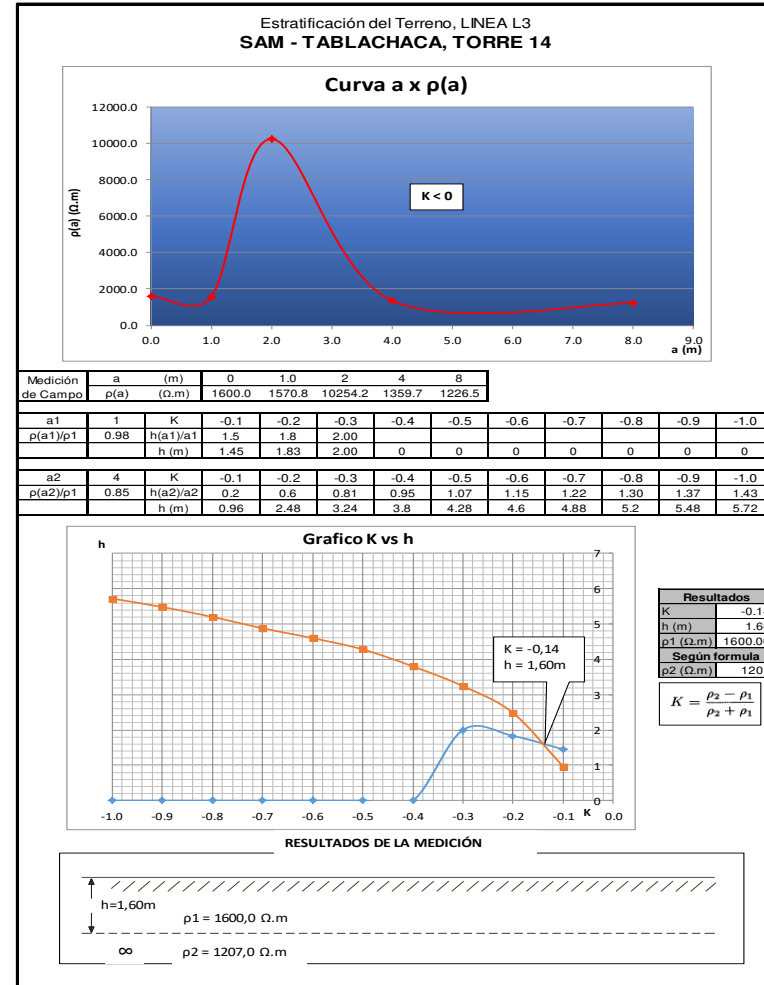
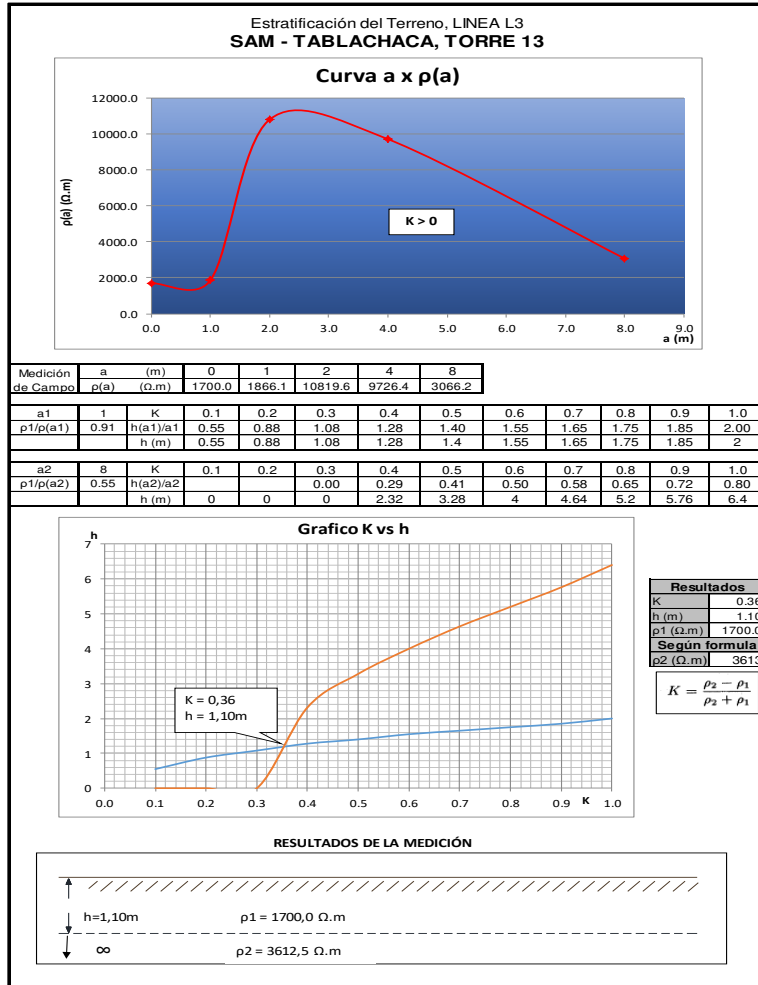
Anexo 5

Resultados de estratificación del terreno

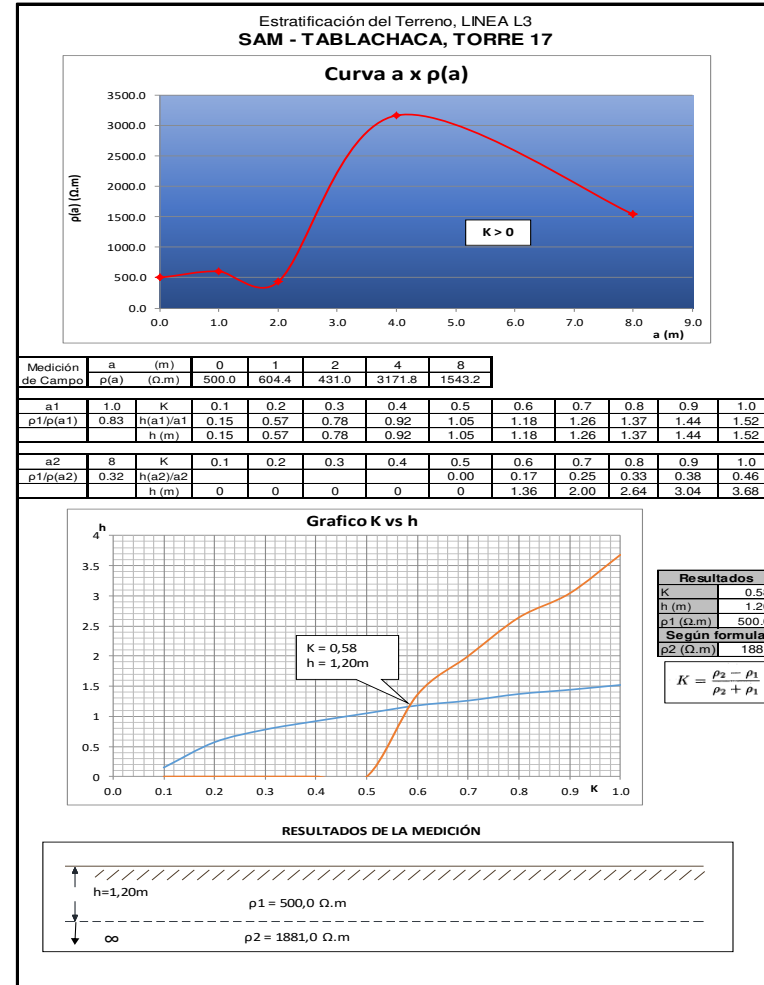
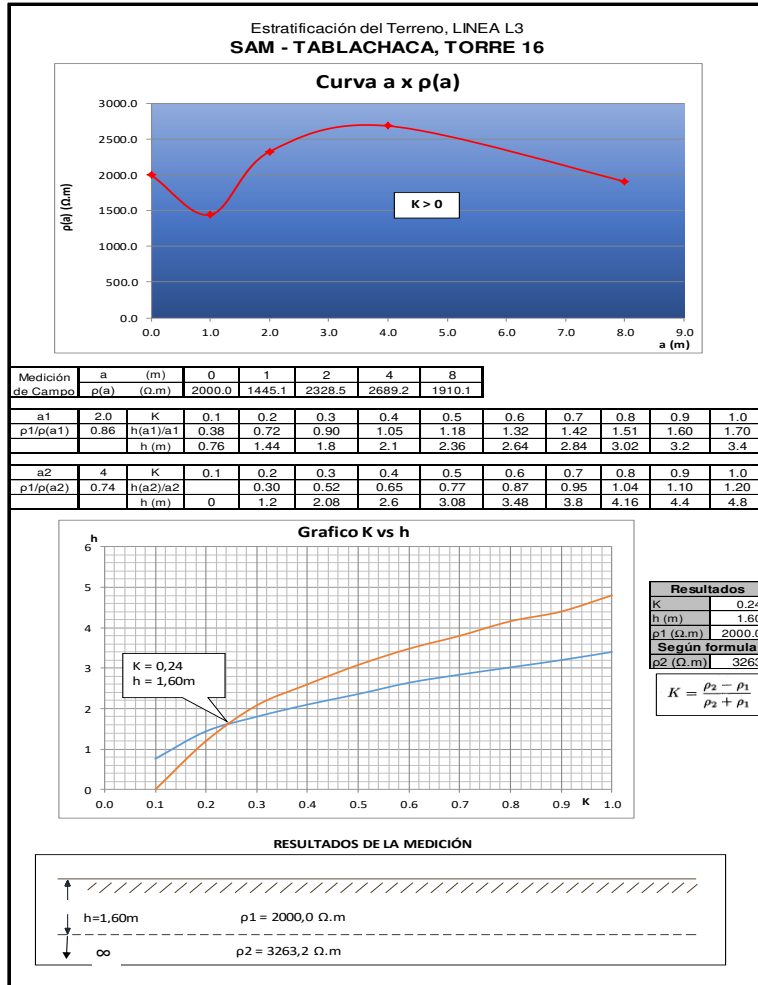
- Resultados de estratificación del terreno estructura 2 y 6.



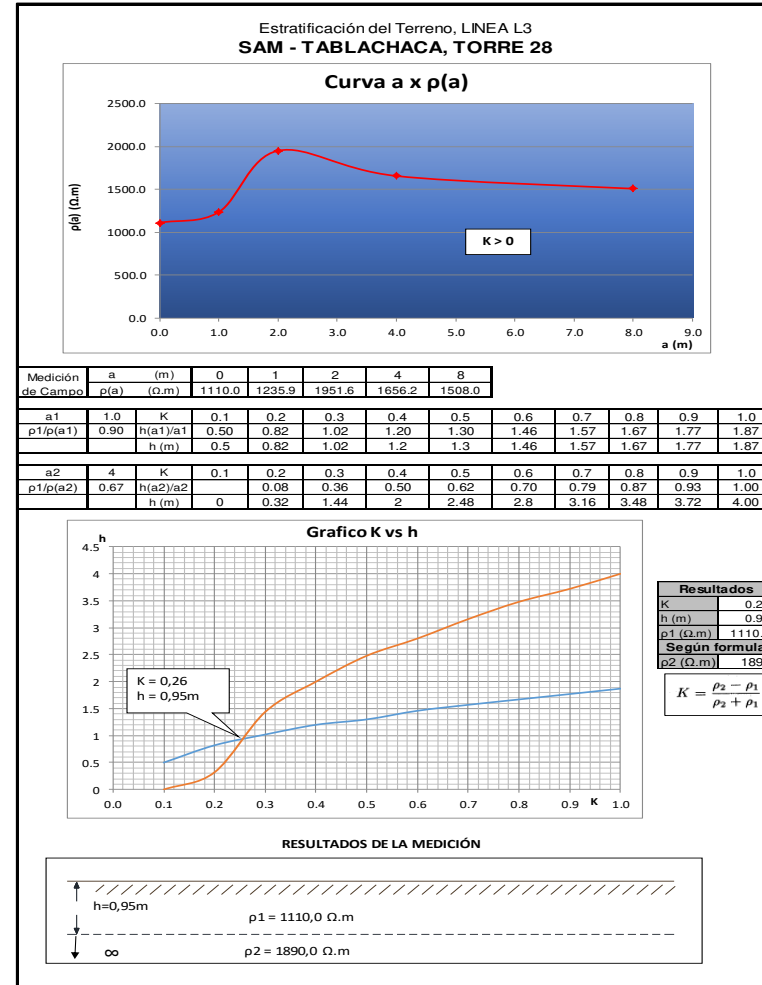
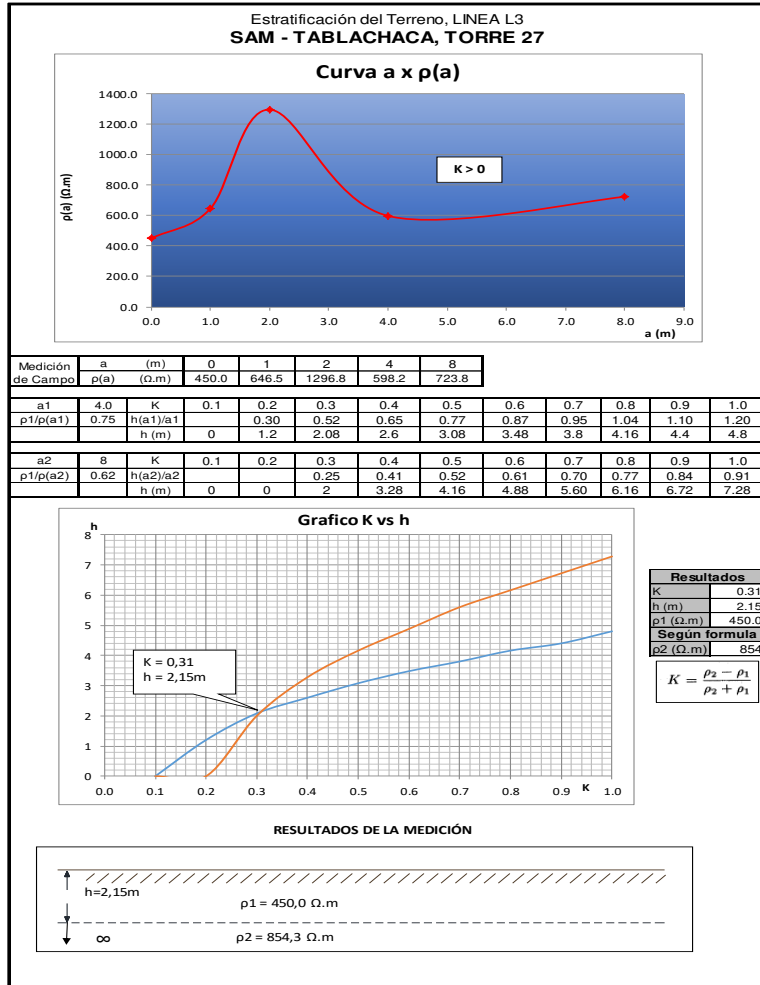
- Resultados de estratificación del terreno estructura 13 y 14.



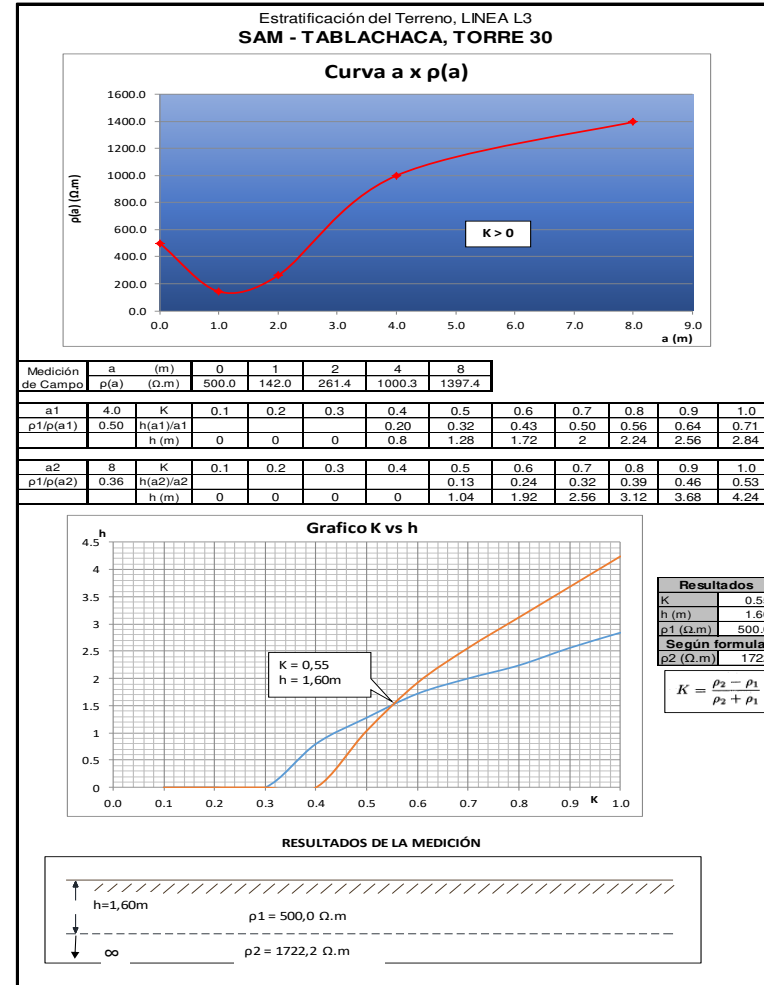
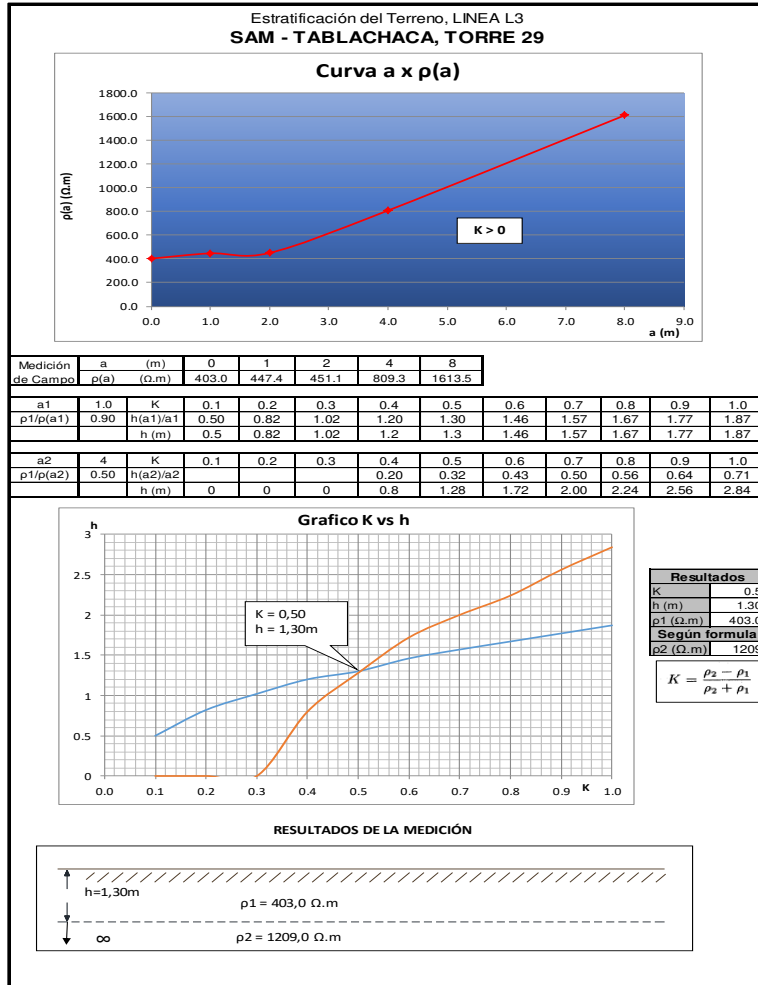
- Resultados de estratificación del terreno estructura 16 y 17.



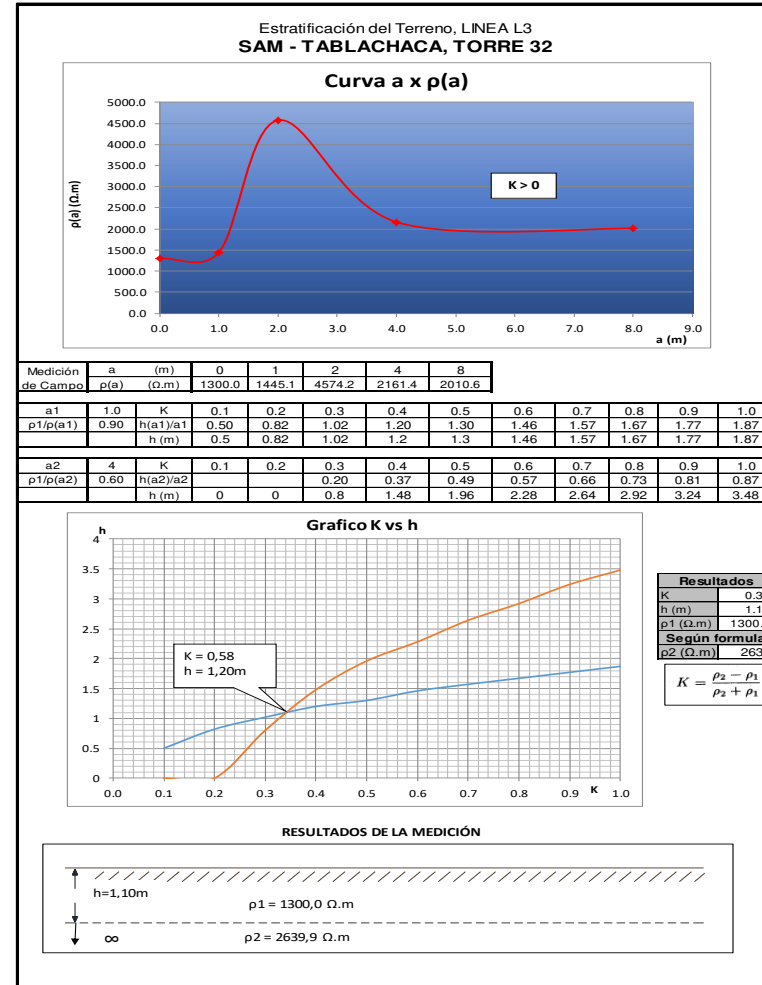
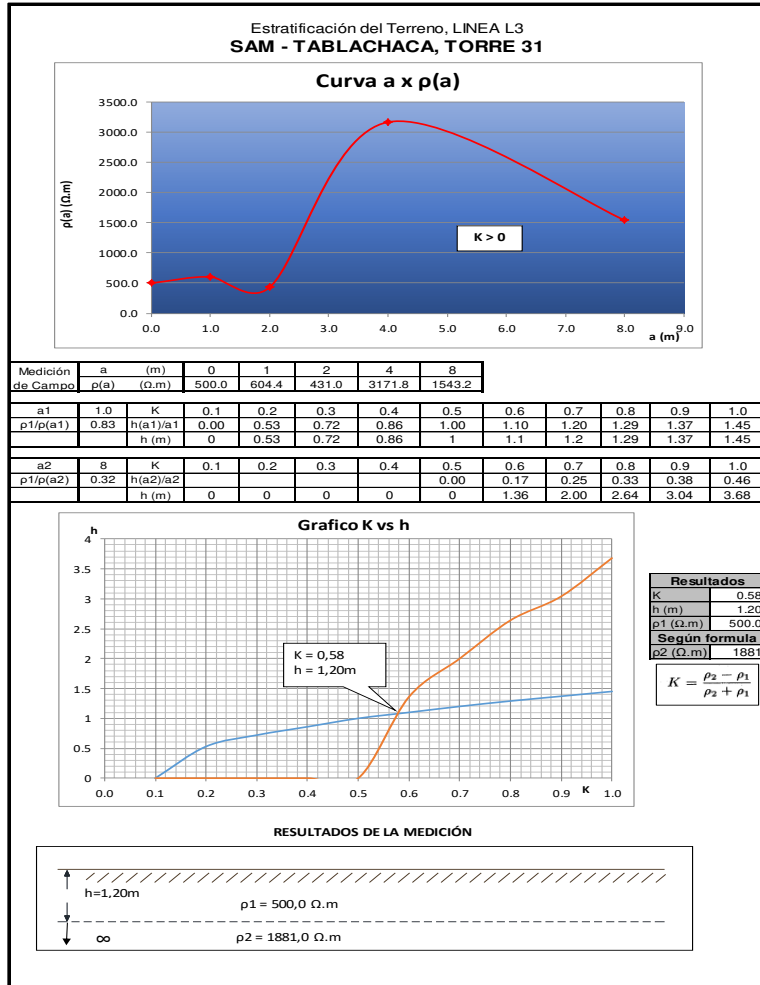
- Resultados de estratificación del terreno estructura 27 y 28.



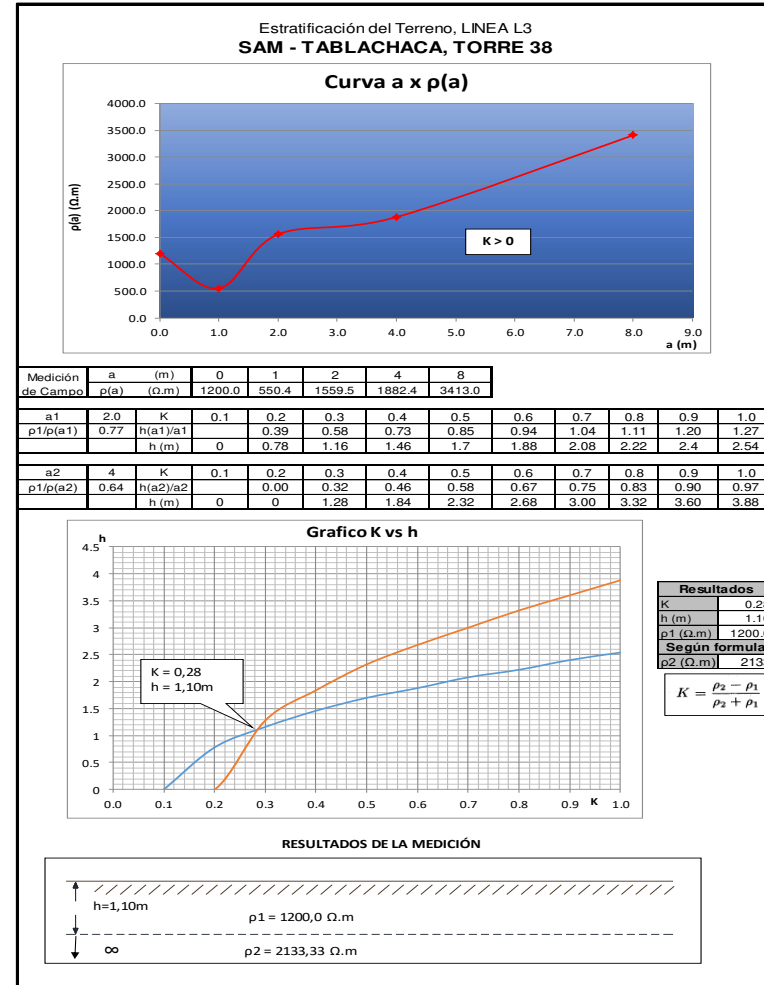
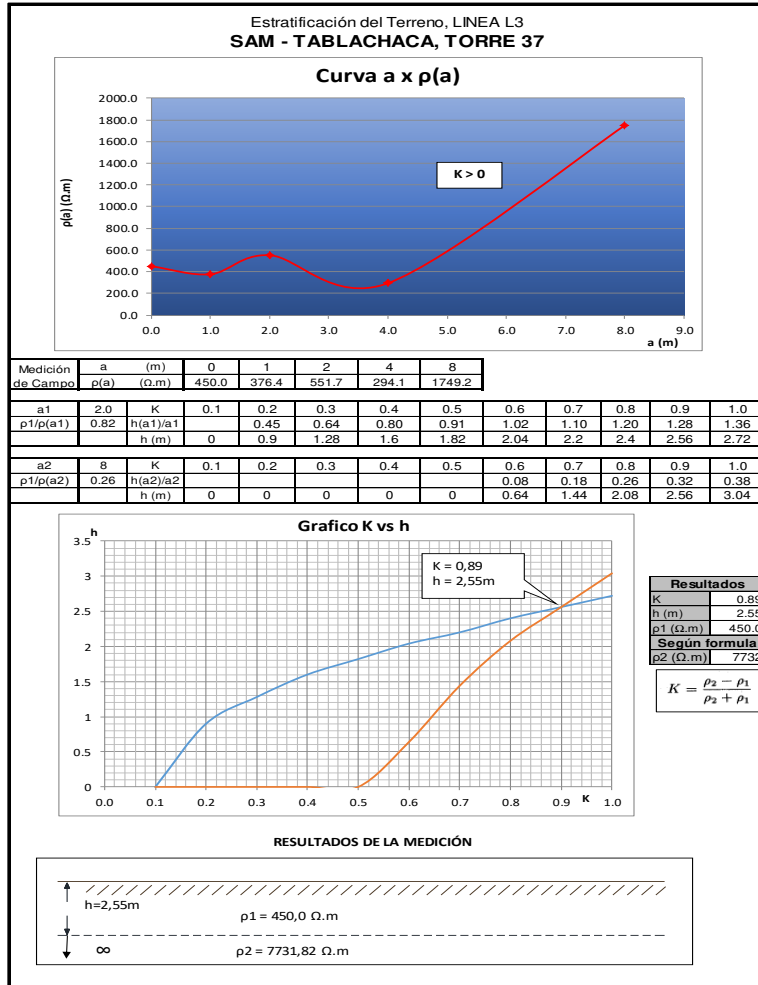
- Resultados de estratificación del terreno estructura 29 y 30.



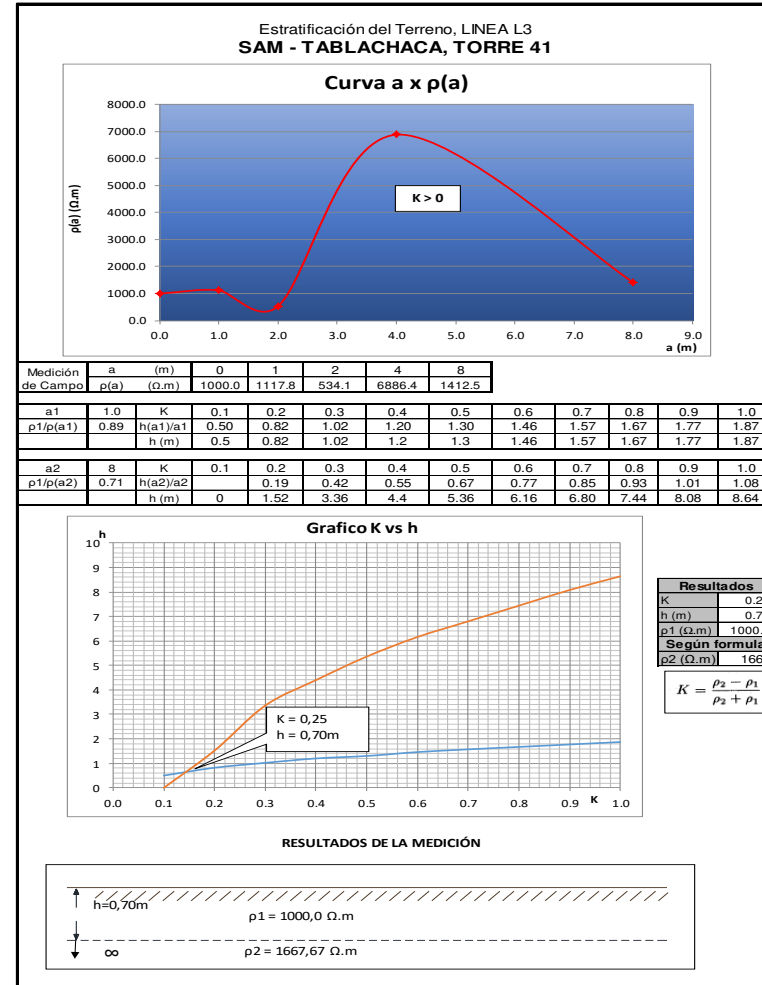
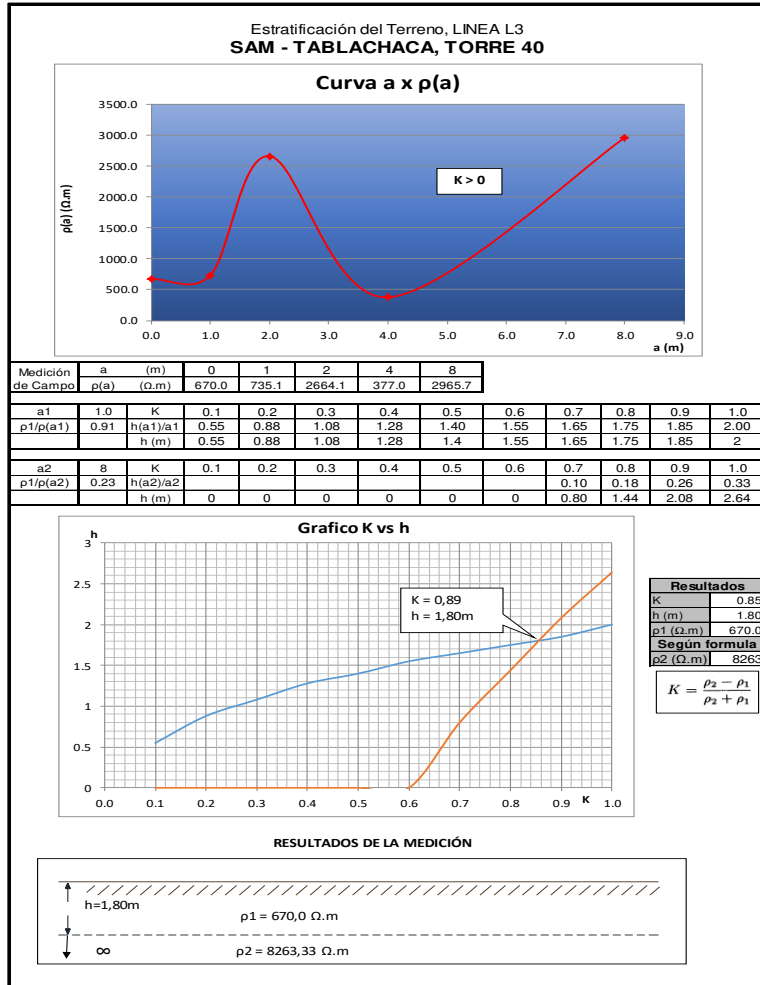
- Resultados de estratificación del terreno estructura 31 y 32.



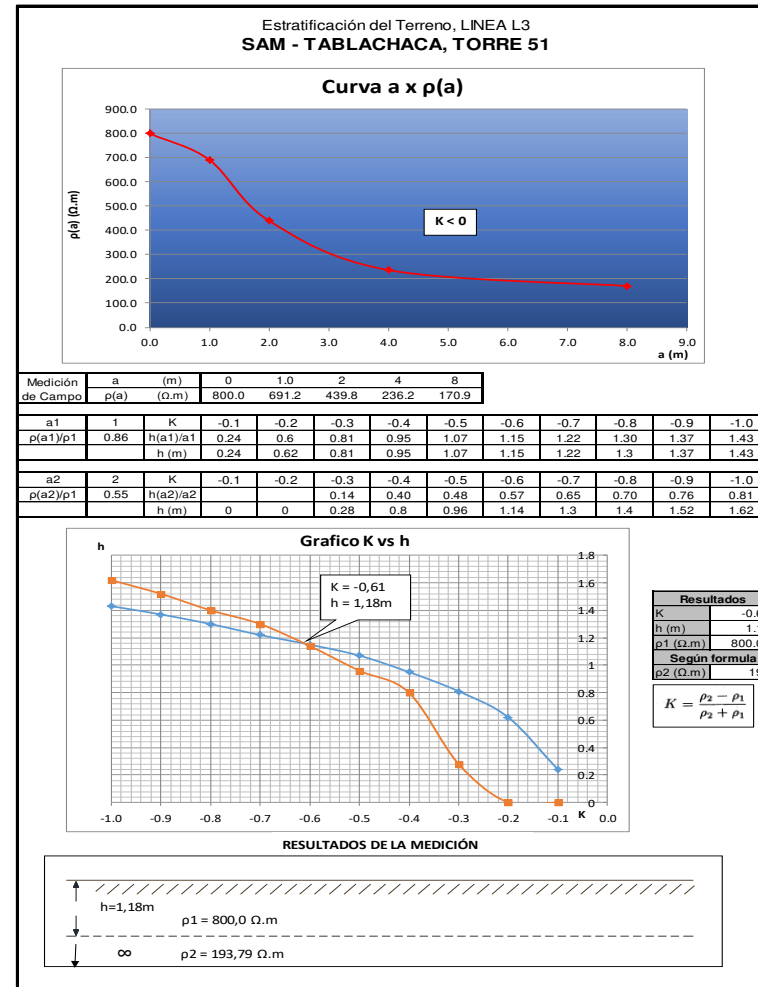
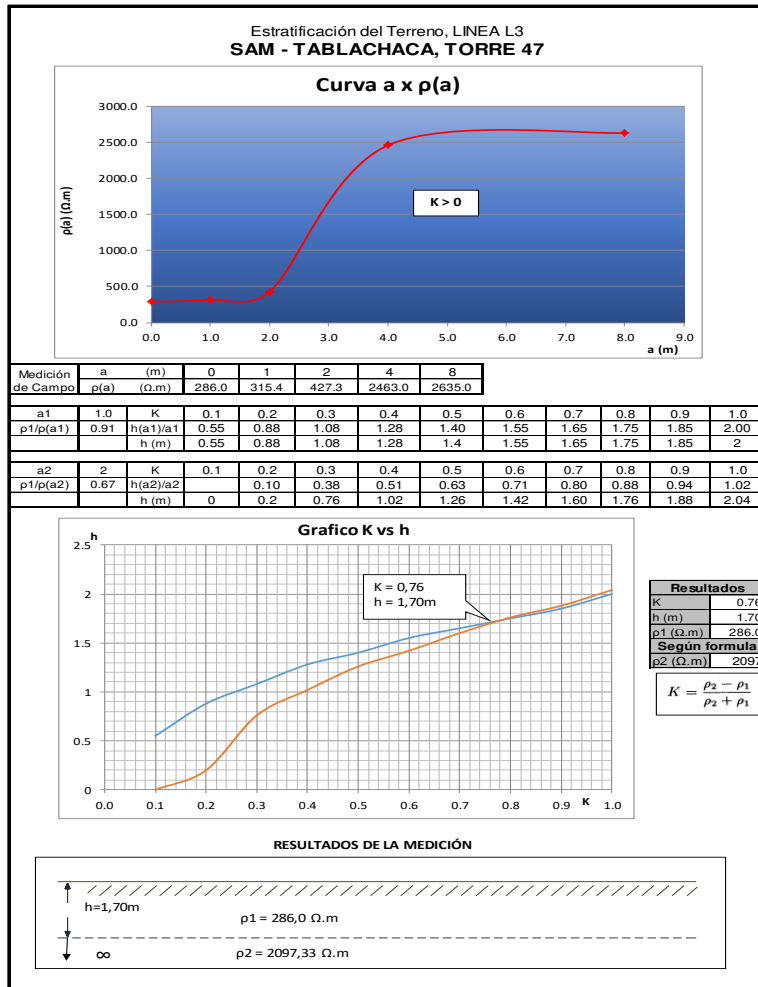
- Resultados de estratificación del terreno estructura 37 y 38.



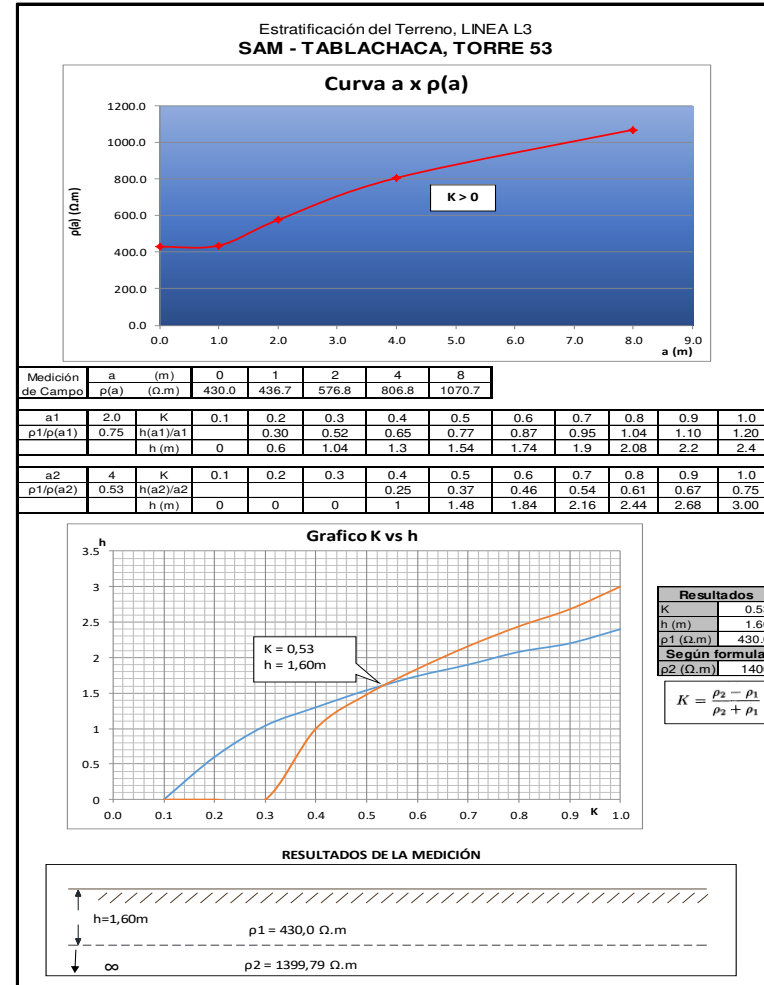
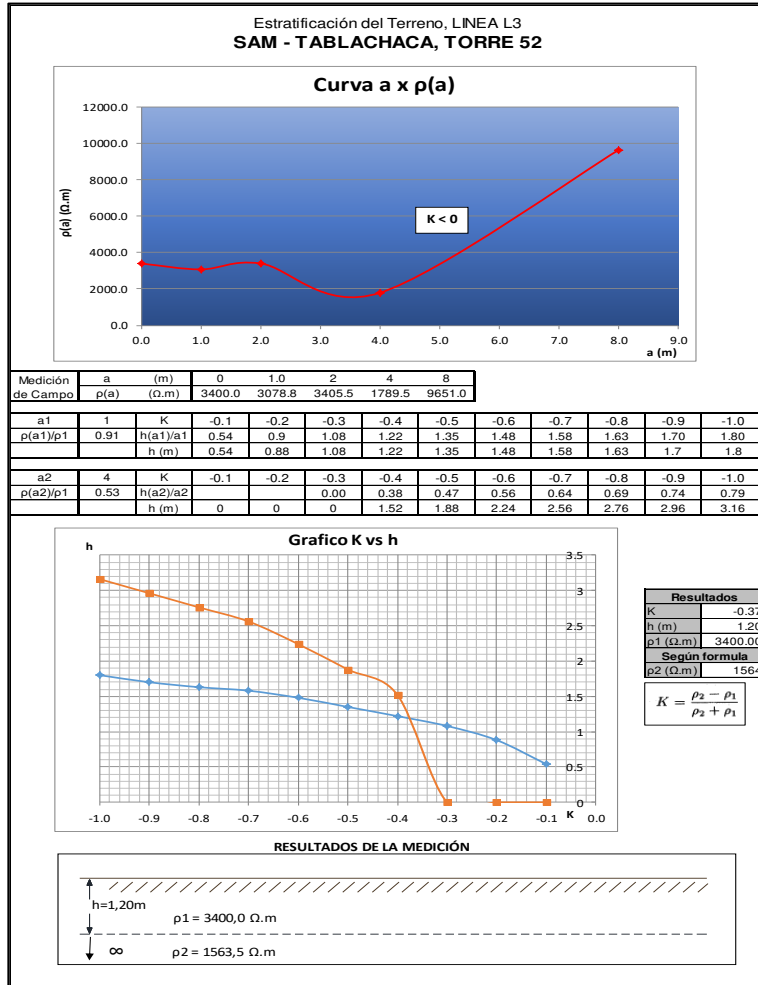
- Resultados de estratificación del terreno estructura 40 y 41.



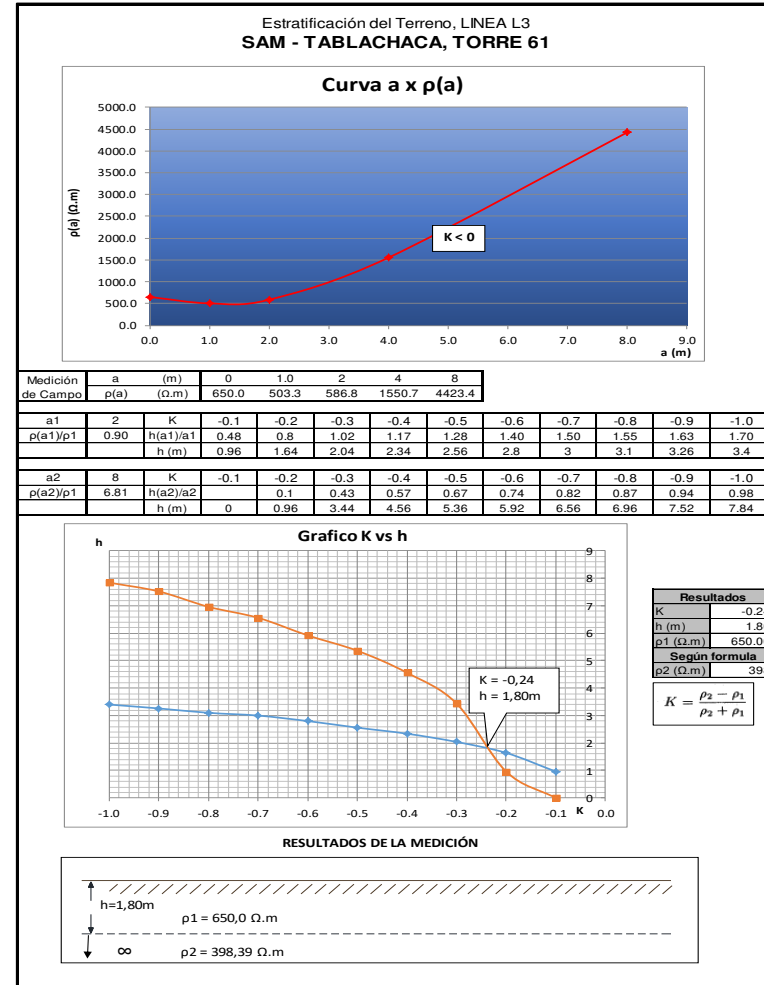
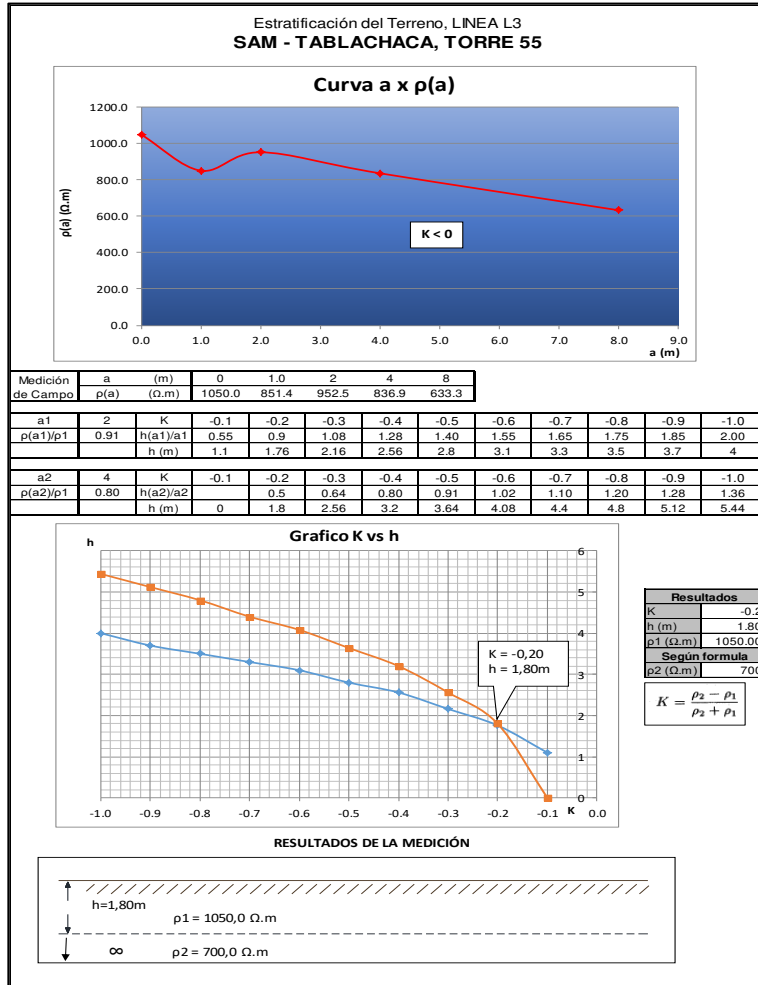
- Resultados de estratificación del terreno estructura 47 y 51.



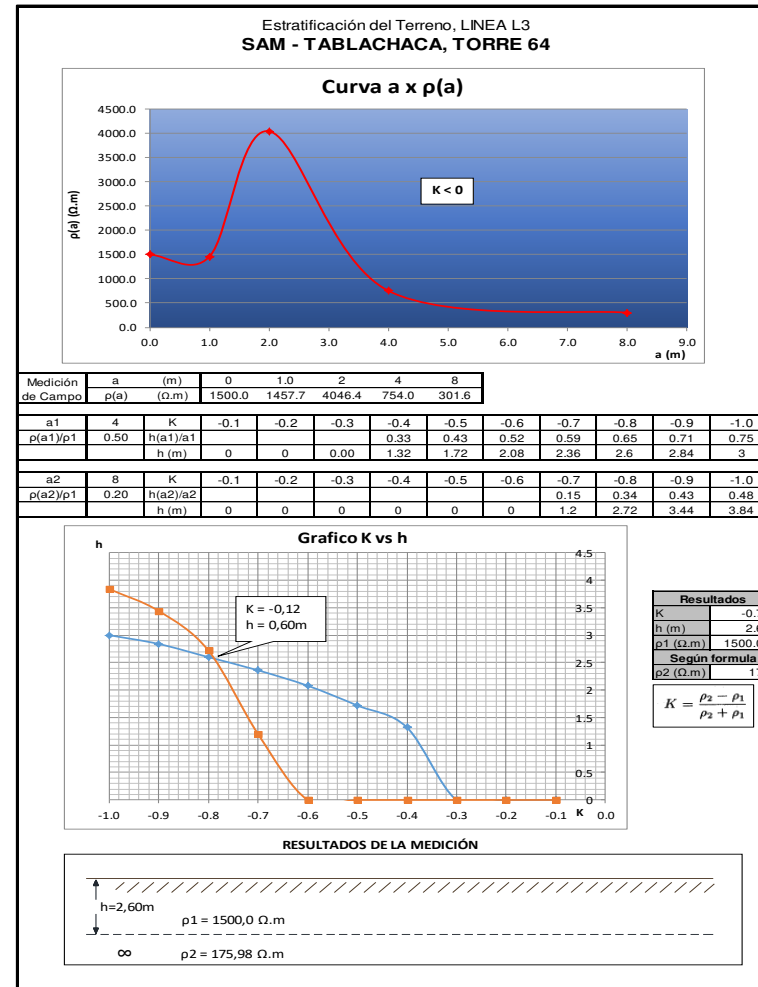
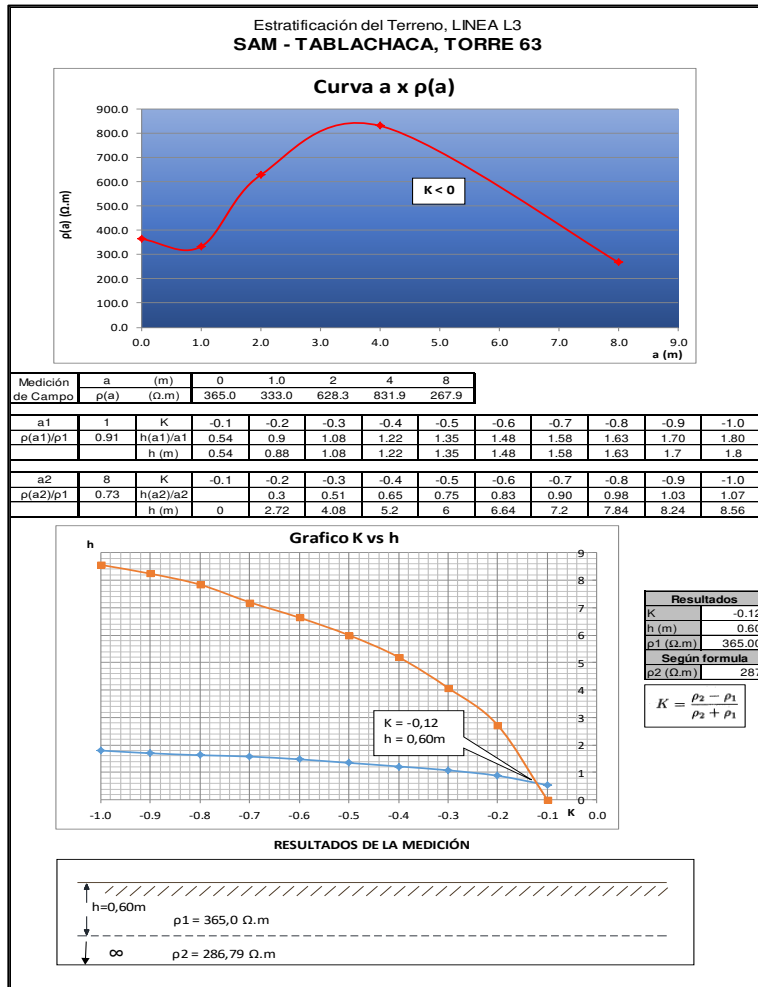
- Resultados de estratificación del terreno estructura 52 y 53.



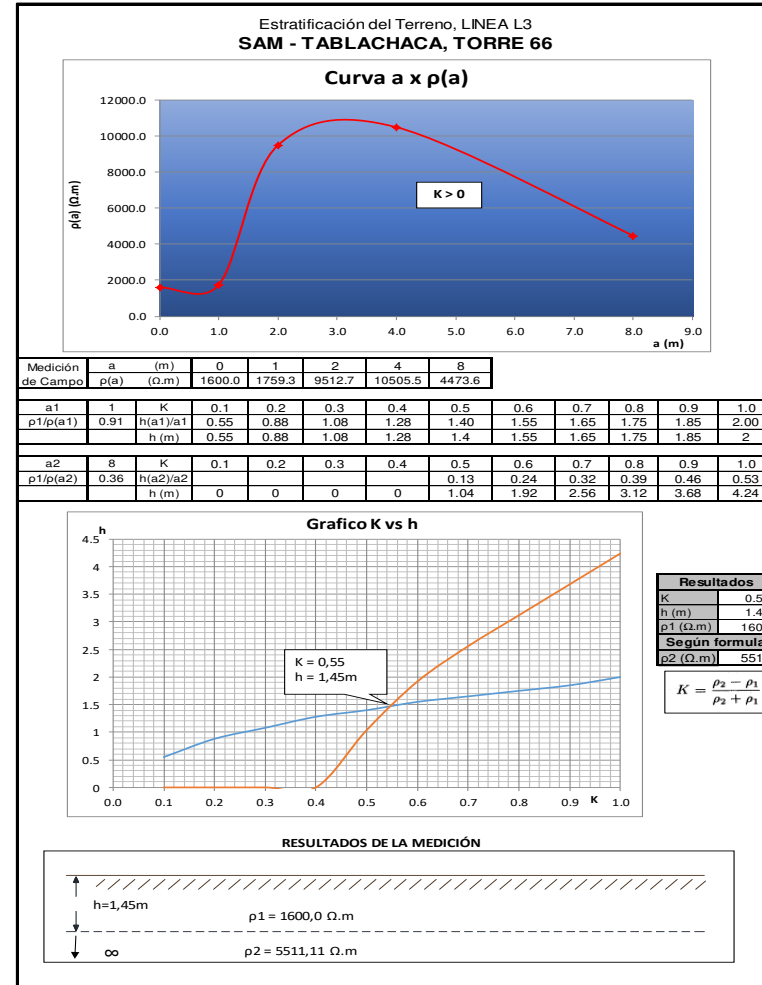
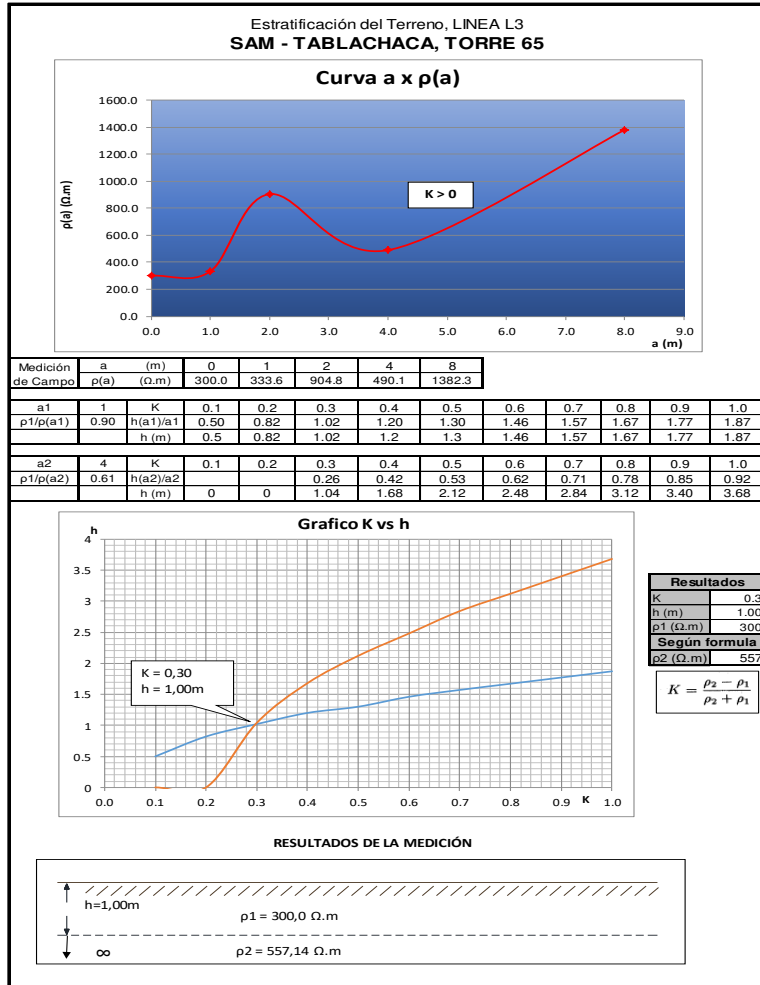
- Resultados de estratificación del terreno estructura 55 y 61.



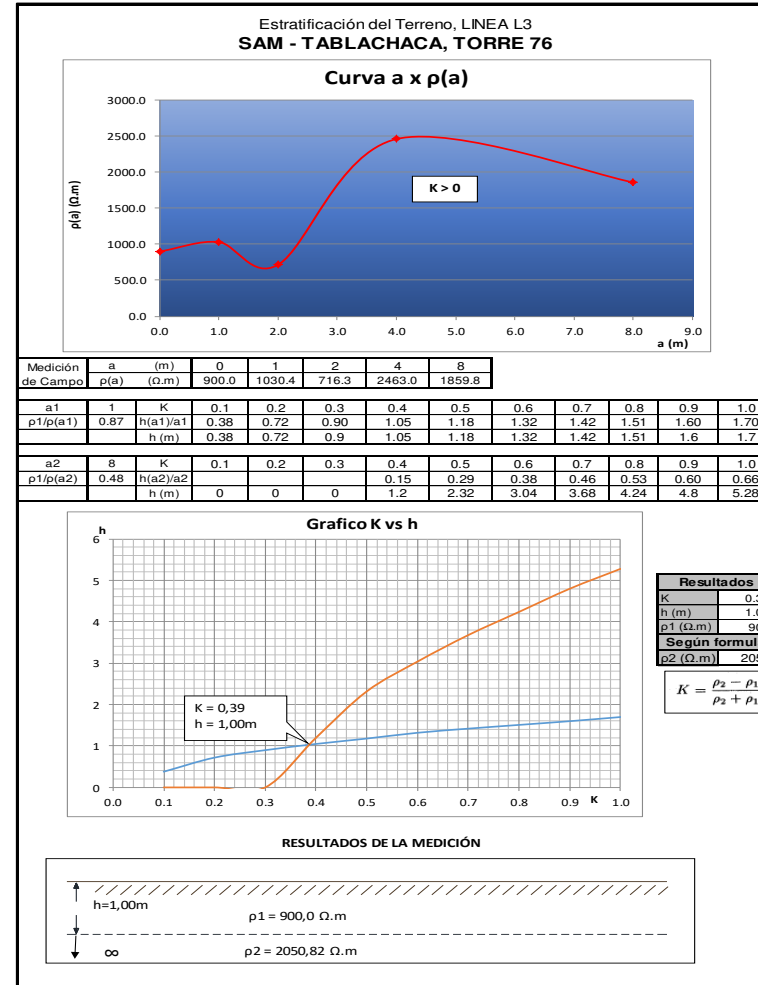
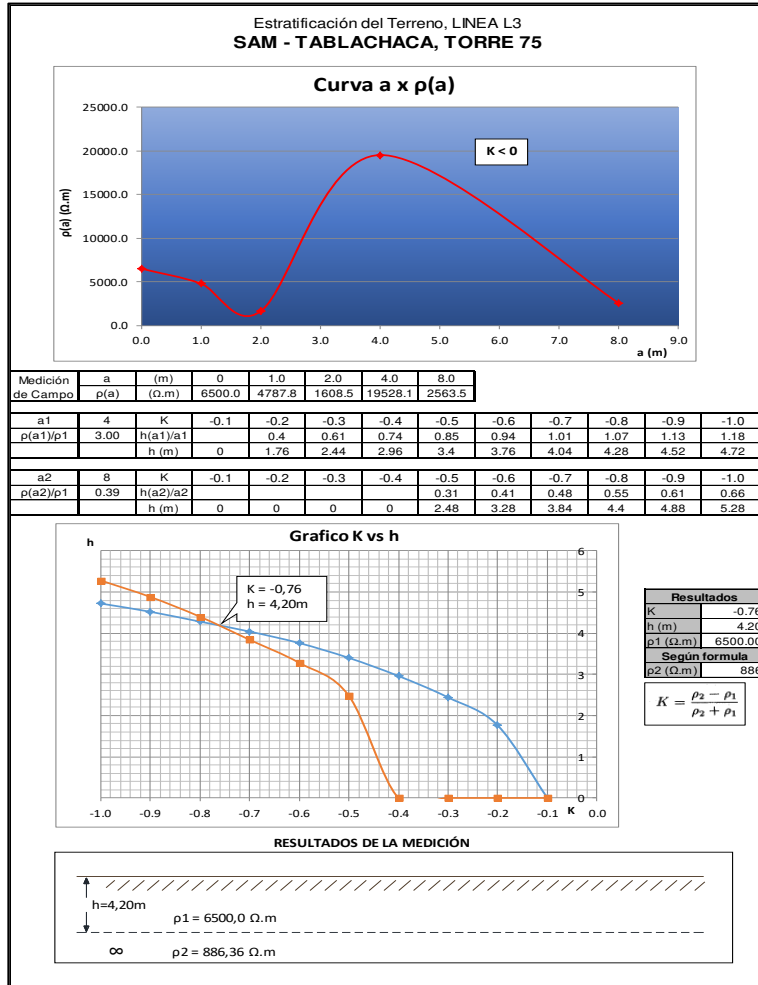
- Resultados de estratificación del terreno estructura 63 y 64.



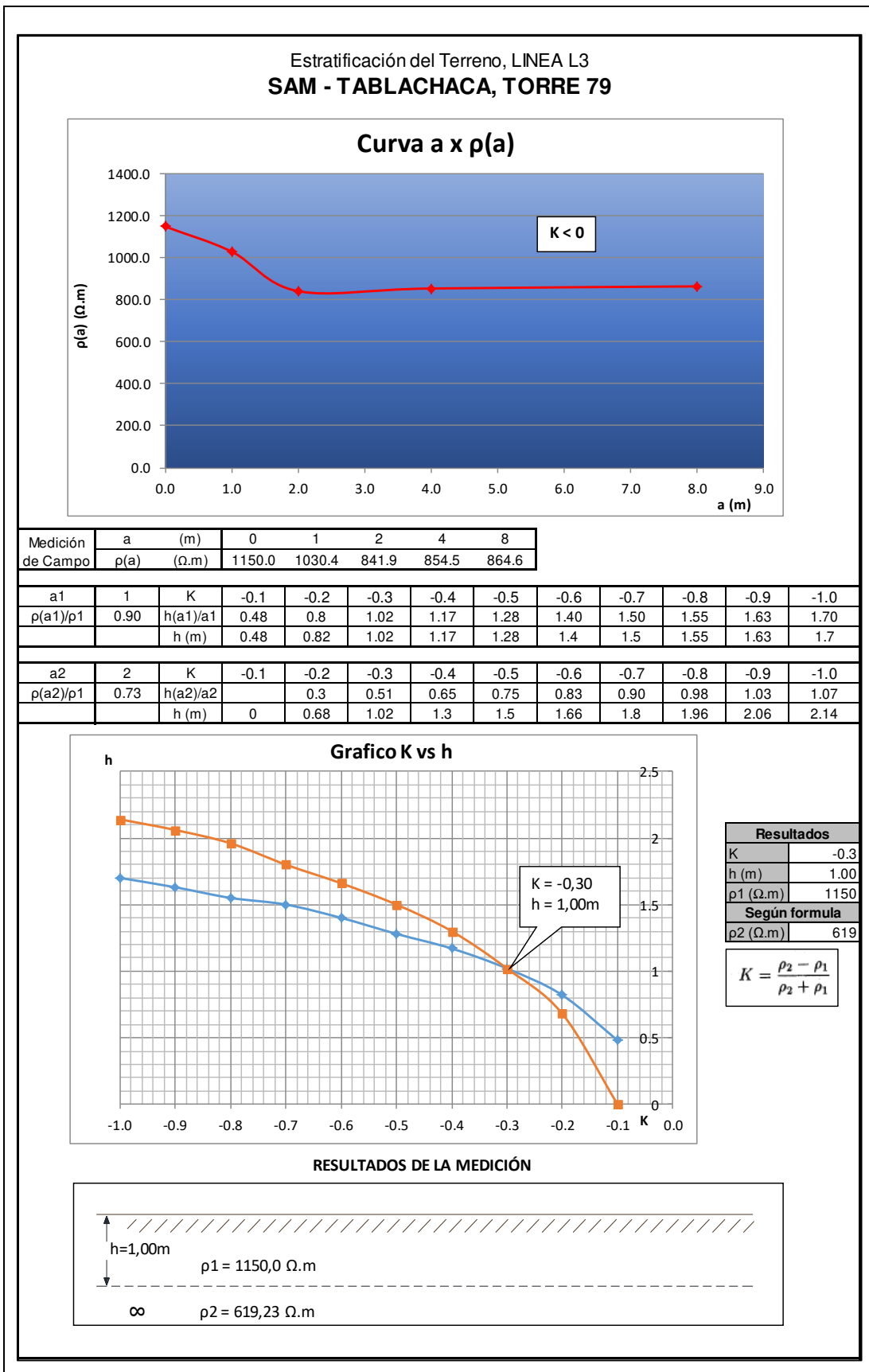
- Resultados de estratificación del terreno estructura 65 y 66.



- Resultados de estratificación del terreno estructura 75 y 76.



- Resultados de estratificación del terreno estructura 79.



Anexo 6

Resultados de cálculo de sistema de PAT por estructura

- Resultados de cálculo de resistencia de PAT de las estructuras 2 y 6.

DISEÑO DE SISTEMA DE PAT PARA LAS TORRES
TRANSMISIÓN ELECTROPERU S.A.

CALCULAR TORRE N° Torre 2-L3

MEDICION REALIZADA DE SPAT		
Item	Número de Torre	RESISTENCIA R _c (Ω)
1	Torre 2-L3	42,3

PROCESAMIENTO

p1 (Ω-m)	h1 (m)	p2 (Ω-m)
500,00	1,2	1880,952

CALCULOS RESISTENCIA PAT

p equivalente (Ω-m)	Longitud de Conductor (m)	Resistencia PAT (Ω)
619,9	90	5,9

DISEÑO FINAL

A-3

DIAGRAMA DE DISEÑO FINAL DE SPAT

MEDICION REALIZADA DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO

N°	Número de Estructura	Distancia "a" (m)	Valor medido "R" (Ω)	Resultado 2 π.a.R (Ω.m)
1	Torre 2-L3	1	96,2	604,4
		2	34,3	431,0
		4	126,2	3171,8
		8	30,7	1543,2

RELLENO TIERRA VEGETAL Y BENTONITA

Ancho de la zanja (m):	0,4
Profundidad de la zanja (m):	0,5
Radio equivalente de la zanja (m):	0,25

DATOS DEL CONDUCTOR CON CEMENTO CONDUCTIVO

Diámetro equivalente conductor y cemento (m):	0,0635
Radio equivalente conductor y cemento (m):	0,0318

DATOS DEL TRATAMIENTO PARA EL CONTRAPESO

Tipo: Tierra vegetal + Cemento Conductivo + Bentonita	
Factor de tratamiento:	3

MATERIALES PARA EL CONTRAPESO

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD
Cemento Conductivo	BOLSAS 25Kg	14
Tierra Vegetal	m3	11
Bentonita	BOLSAS 30Kg	36
Conductor de 70 mm2	m	90

DETALLE CONTRAPESO HORIZONTAL

FORMULADO POR: RICHARD POMA GOMEZ - PRAC. MANTENIMIENTO CPM CAMPO ARMIÑO

DISEÑO DE SISTEMA DE PAT PARA LAS TORRES
TRANSMISIÓN ELECTROPERU S.A.

CALCULAR TORRE N° Torre 6-L3

MEDICION REALIZADA DE SPAT		
Item	Número de Torre	RESISTENCIA R _c (Ω)
2	Torre 6-L3	39,1

PROCESAMIENTO

p1 (Ω-m)	h1 (m)	p2 (Ω-m)
700,00	1,1	5133,333

CALCULOS RESISTENCIA PAT

p equivalente (Ω-m)	Longitud de Conductor (m)	Resistencia PAT (Ω)
906,2	90	8,6

DISEÑO FINAL

A-3

DIAGRAMA DE DISEÑO FINAL DE SPAT

MEDICION REALIZADA DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO

N°	Número de Estructura	Distancia "a" (m)	Valor medido "R" (Ω)	Resultado 2 π.a.R (Ω.m)
1	Torre 6-L3	1	6,3	39,6
		2	103,2	1296,8
		4	141,0	3543,7
		8	184,1	9253,9

RELLENO TIERRA VEGETAL Y BENTONITA

Ancho de la zanja (m):	0,4
Profundidad de la zanja (m):	0,5
Radio equivalente de la zanja (m):	0,25

DATOS DEL CONDUCTOR CON CEMENTO CONDUCTIVO

Diámetro equivalente conductor y cemento (m):	0,0635
Radio equivalente conductor y cemento (m):	0,0318

DATOS DEL TRATAMIENTO PARA EL CONTRAPESO

Tipo: Tierra vegetal + Cemento Conductivo + Bentonita	
Factor de tratamiento:	3

MATERIALES PARA EL CONTRAPESO

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD
Cemento Conductivo	BOLSAS 25Kg	14
Tierra Vegetal	m3	11
Bentonita	BOLSAS 30Kg	36
Conductor de 70 mm2	m	90

DETALLE CONTRAPESO HORIZONTAL

FORMULADO POR: RICHARD POMA GOMEZ - PRAC. MANTENIMIENTO CPM CAMPO ARMIÑO

- Resultados de cálculo de resistencia de PAT de las estructuras 13 y 14.

electroperu la energía de los peruanos

DISEÑO DE SISTEMA DE PAT PARA LAS TORRES TRANSMISIÓN ELECTROPERU S.A.

CALCULAR TORRE N° Torre 13-L3

MEDICION REALIZADA DE SPAT		
Item	Número de Torre	RESISTENCIA R _c (Ω)
3	Torre 13-L3	47,4

PROCESAMIENTO

p1 (Ω-m)	h1 (m)	p2 (Ω-m)
1700,00	1,1	3612,500

CALCULOS RESISTENCIA PAT

p equivalente (Ω-m)	Longitud de Conductor (m)	Resistencia PAT (Ω)
1975,6	90	18,8

DISEÑO FINAL

A-3

DIAGRAMA DE DISEÑO FINAL DE SPAT

DETALLE CONTRAPESO HORIZONTAL

FORMULADO POR: RICHARD POMA GOMEZ - PRAC. MANTENIMIENTO CPM CAMPO ARMIÑO

electroperu la energía de los peruanos

DISEÑO DE SISTEMA DE PAT PARA LAS TORRES TRANSMISIÓN ELECTROPERU S.A.

CALCULAR TORRE N° Torre 14-L3

MEDICION REALIZADA DE SPAT		
Item	Número de Torre	RESISTENCIA R _c (Ω)
4	Torre 14-L3	30,6

PROCESAMIENTO

p1 (Ω-m)	h1 (m)	p2 (Ω-m)
1600,00	1,6	1207,018

CALCULOS RESISTENCIA PAT

p equivalente (Ω-m)	Longitud de Conductor (m)	Resistencia PAT (Ω)
1473,6	90	14,1

DISEÑO FINAL

A-3

DIAGRAMA DE DISEÑO FINAL DE SPAT

DETALLE CONTRAPESO HORIZONTAL

FORMULADO POR: RICHARD POMA GOMEZ - PRAC. MANTENIMIENTO CPM CAMPO ARMIÑO

- Resultados de cálculo de resistencia de PAT de las estructuras 16 y 17.

electroperu la energía de los peruanos

DISEÑO DE SISTEMA DE PAT PARA LAS TORRES TRANSMISIÓN ELECTROPERU S.A.

CALCULAR TORRE N° Torre 16-L3

MEDICION REALIZADA DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO

N°	Número de Estructura	Distancia "a" (m)	Valor medido "R" (Ω)	Resultado 2.π.a.R (Ω.m)
1	Torre 16-L3	1	230,0	1445,1
		2	185,3	2328,5
		4	107,0	2689,2
		8	38,0	1910,1

MEDICION REALIZADA DE SPAT

Item	Número de Torre	RESISTENCIA R _c (Ω)
5	Torre 16-L3	62,3

PROCESAMIENTO

p1 (Ω-m)	h1 (m)	p2 (Ω-m)
2000,00	1,6	3263,158

RELLENO TIERRA VEGETAL Y BENTONITA

Ancho de la zanja (m):	0,4
Profundidad de la zanja (m):	0,5
Radio equivalente de la zanja (m):	0,25

DATOS DEL CONDUCTOR CON CEMENTO CONDUCTIVO

Diámetro equivalente conductor y cemento (m):	0,0635
Radio equivalente conductor y cemento (m):	0,0318

DATOS DEL TRATAMIENTO PARA EL CONTRAPESO

Tipo: Tierra vegetal + Cemento Conductivo + Bentonita	
Factor de tratamiento:	3

MATERIALES PARA EL CONTRAPESO

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD
Cemento Conductivo	BOLSAS 25Kg	18
Tierra Vegetal	m3	14
Bentonita	BOLSAS 30Kg	48
Conductor de 70 mm ²	m	120

CALCULOS RESISTENCIA PAT

p equivalente (Ω-m)	Longitud de Conductor (m)	Resistencia PAT (Ω)
2227,2	120	16,5

DISEÑO FINAL

A-3

DIAGRAMA DE DISEÑO FINAL DE SPAT

TIPO A-3
TRES CONTRAPESOS HORIZONTALES

DETALLE CONTRAPESO HORIZONTAL

FORMULADO POR: RICHARD POMA GOMEZ - PRAC. MANTENIMIENTO CPM CAMPO ARMIÑO

electroperu la energía de los peruanos

DISEÑO DE SISTEMA DE PAT PARA LAS TORRES TRANSMISIÓN ELECTROPERU S.A.

CALCULAR TORRE N° Torre 17-L3

MEDICION REALIZADA DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO

N°	Número de Estructura	Distancia "a" (m)	Valor medido "R" (Ω)	Resultado 2.π.a.R (Ω.m)
1	Torre 17-L3	1	96,2	604,4
		2	431,0	5416,4
		4	126,2	3171,8
		8	30,7	1543,2

MEDICION REALIZADA DE SPAT

Item	Número de Torre	RESISTENCIA R _c (Ω)
6	Torre 17-L3	60,6

PROCESAMIENTO

p1 (Ω-m)	h1 (m)	p2 (Ω-m)
500,00	1,2	1880,952

RELLENO TIERRA VEGETAL Y BENTONITA

Ancho de la zanja (m):	0,4
Profundidad de la zanja (m):	0,5
Radio equivalente de la zanja (m):	0,25

DATOS DEL CONDUCTOR CON CEMENTO CONDUCTIVO

Diámetro equivalente conductor y cemento (m):	0,0635
Radio equivalente conductor y cemento (m):	0,0318

DATOS DEL TRATAMIENTO PARA EL CONTRAPESO

Tipo: Tierra vegetal + Cemento Conductivo + Bentonita	
Factor de tratamiento:	3

MATERIALES PARA EL CONTRAPESO

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD
Cemento Conductivo	BOLSAS 25Kg	8
Tierra Vegetal	m3	6
Bentonita	BOLSAS 30Kg	20
Conductor de 70 mm ²	m	50

CALCULOS RESISTENCIA PAT

p equivalente (Ω-m)	Longitud de Conductor (m)	Resistencia PAT (Ω)
619,9	50	9,9

DISEÑO FINAL

A-2

DIAGRAMA DE DISEÑO FINAL DE SPAT

TIPO A-2,
DOS CONTRAPESOS HORIZONTALES

DETALLE CONTRAPESO HORIZONTAL

FORMULADO POR: RICHARD POMA GOMEZ - PRAC. MANTENIMIENTO CPM CAMPO ARMIÑO

- Resultados de cálculo de resistencia de PAT de las estructuras 27 y 28.

electroperu la energía de los peruanos

DISEÑO DE SISTEMA DE PAT PARA LAS TORRES TRANSMISIÓN ELECTROPERU S.A.

CALCULAR TORRE N° Torre 27-L3

MEDICION REALIZADA DE SPAT		
Item	Número de Torre	RESISTENCIA R _c (Ω)
7	Torre 27-L3	50,2

PROCESAMIENTO

p1 (Ω-m)	h1 (m)	p2 (Ω-m)
450,00	2,15	854,348

CALCULOS RESISTENCIA PAT

p equivalente (Ω-m)	Longitud de Conductor (m)	Resistencia PAT (Ω)
514,1	50	8,2

DISEÑO FINAL

A-2

DIAGRAMA DE DISEÑO FINAL DE SPAT

DETALLE CONTRAPESO HORIZONTAL

FORMULADO POR: RICHARD POMA GOMEZ - PRAC. MANTENIMIENTO CPM CAMPO ARMIÑO

electroperu la energía de los peruanos

DISEÑO DE SISTEMA DE PAT PARA LAS TORRES TRANSMISIÓN ELECTROPERU S.A.

CALCULAR TORRE N° Torre 28-L3

MEDICION REALIZADA DE SPAT		
Item	Número de Torre	RESISTENCIA R _c (Ω)
8	Torre 28-L3	45,2

PROCESAMIENTO

p1 (Ω-m)	h1 (m)	p2 (Ω-m)
1110,00	0,95	1890,000

CALCULOS RESISTENCIA PAT

p equivalente (Ω-m)	Longitud de Conductor (m)	Resistencia PAT (Ω)
1245,4	90	11,9

DISEÑO FINAL

A-3

DIAGRAMA DE DISEÑO FINAL DE SPAT

DETALLE CONTRAPESO HORIZONTAL

FORMULADO POR: RICHARD POMA GOMEZ - PRAC. MANTENIMIENTO CPM CAMPO ARMIÑO

- Resultados de cálculo de resistencia de PAT de las estructuras 29 y 30.

electroperu la energía de los peruanos

DISEÑO DE SISTEMA DE PAT PARA LAS TORRES TRANSMISIÓN ELECTROPERU S.A.

CALCULAR TORRE N° Torre 29-L3

MEDICION REALIZADA DE SPAT		
Item	Número de Torre	RESISTENCIA R _c (Ω)
9	Torre 29-L3	52,4

MEDICION REALIZADA DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO				
N°	Número de Estructura	Distancia "a" (m)	Valor medido "R" (Ω)	Resultado 2.π.a.R (Ω.m)
1	Torre 29-L3	1	71,2	447,4
		2	35,9	451,1
		4	32,2	809,3
		8	32,1	1613,5

PROCESAMIENTO		
p1 (Ω-m)	h1 (m)	p2 (Ω-m)
403,00	1,3	1209,000

RELENO TIERRA VEGETAL Y BENTONITA		
Ancho de la zanja (m):	0,4	
Profundidad de la zanja (m):	0,5	
Radio equivalente de la zanja (m):	0,25	

DATOS DEL CONDUCTOR CON CEMENTO CONDUCTIVO	
Diámetro equivalente conductor y cemento (m):	0,0635
Radio equivalente conductor y cemento (m):	0,0318

DATOS DEL TRATAMIENTO PARA EL CONTRAPESO		
Tipo: Tierra vegetal + Cemento Conductivo + Bentonita		
Factor de tratamiento:	3	

CALCULOS RESISTENCIA PAT		
p equivalente (Ω-m)	Longitud de Conductor (m)	Resistencia PAT (Ω)
488,9	25	14,1

MATERIALES PARA EL CONTRAPESO		
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD
Cemento Conductivo	BOLSAS 25Kg	4
Tierra Vegetal	m3	3
Bentonita	BOLSAS 30Kg	10
Conductor de 70 mm ²	m	25

DISEÑO FINAL

A-1

DIAGRAMA DE DISEÑO FINAL DE SPAT

DETALLE CONTRAPESO HORIZONTAL

FORMULADO POR: RICHARD POMA GÓMEZ - PRAC. MANTENIMIENTO CPM CAMPO ARMIÑO

electroperu la energía de los peruanos

DISEÑO DE SISTEMA DE PAT PARA LAS TORRES TRANSMISIÓN ELECTROPERU S.A.

CALCULAR TORRE N° Torre 30-L3

MEDICION REALIZADA DE SPAT		
Item	Número de Torre	RESISTENCIA R _c (Ω)
10	Torre 30-L3	31,4

MEDICION REALIZADA DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO				
N°	Número de Estructura	Distancia "a" (m)	Valor medido "R" (Ω)	Resultado 2.π.a.R (Ω.m)
1	Torre 30-L3	1	22,6	142,0
		2	20,8	261,4
		4	39,8	1000,3
		8	27,8	1397,4

PROCESAMIENTO		
p1 (Ω-m)	h1 (m)	p2 (Ω-m)
500,00	1,6	1722,222

RELENO TIERRA VEGETAL Y BENTONITA		
Ancho de la zanja (m):	0,4	
Profundidad de la zanja (m):	0,5	
Radio equivalente de la zanja (m):	0,25	

DATOS DEL CONDUCTOR CON CEMENTO CONDUCTIVO	
Diámetro equivalente conductor y cemento (m):	0,0635
Radio equivalente conductor y cemento (m):	0,0318

DATOS DEL TRATAMIENTO PARA EL CONTRAPESO		
Tipo: Tierra vegetal + Cemento Conductivo + Bentonita		
Factor de tratamiento:	3	

CALCULOS RESISTENCIA PAT		
p equivalente (Ω-m)	Longitud de Conductor (m)	Resistencia PAT (Ω)
615,0	25	17,8

MATERIALES PARA EL CONTRAPESO		
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD
Cemento Conductivo	BOLSAS 25Kg	4
Tierra Vegetal	m3	3
Bentonita	BOLSAS 30Kg	10
Conductor de 70 mm ²	m	25

DISEÑO FINAL

A-1

DIAGRAMA DE DISEÑO FINAL DE SPAT

DETALLE CONTRAPESO HORIZONTAL

FORMULADO POR: RICHARD POMA GÓMEZ - PRAC. MANTENIMIENTO CPM CAMPO ARMIÑO

- Resultados de cálculo de resistencia de PAT de las estructuras 31 y 32.

electroperu la energía de los peruanos

DISEÑO DE SISTEMA DE PAT PARA LAS TORRES TRANSMISIÓN ELECTROPERU S.A.

CALCULAR TORRE N° Torre 31-L3

MEDICION REALIZADA DE SPAT		
Item	Número de Torre	RESISTENCIA R _c (Ω)
11	Torre 31-L3	45,6

MEDICION REALIZADA DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO				
N°	Número de Estructura	Distancia "a" (m)	Valor medido "R" (Ω)	Resultado 2.π.a.R (Ω.m)
1	Torre 31-L3	1	96,2	604,4
		2	34,3	431,0
		4	126,2	3171,8
		8	30,7	1543,2

PROCESAMIENTO		
p1 (Ω-m)	h1 (m)	p2 (Ω-m)
500,00	1,2	1880,952

RELENO TIERRA VEGETAL Y BENTONITA		
Ancho de la zanja (m):	0,4	
Profundidad de la zanja (m):	0,5	
Radio equivalente de la zanja (m):	0,25	

DATOS DEL CONDUCTOR CON CEMENTO CONDUCTIVO	
Diámetro equivalente conductor y cemento (m):	0,0635
Radio equivalente conductor y cemento (m):	0,0318

DATOS DEL TRATAMIENTO PARA EL CONTRAPESO		
Tipo: Tierra vegetal + Cemento Conductivo + Bentonita		
Factor de tratamiento:	3	

CALCULOS RESISTENCIA PAT		
p equivalente (Ω-m)	Longitud de Conductor (m)	Resistencia PAT (Ω)
619,9	50	9,9

DATOS DEL TRATAMIENTO PARA EL CONTRAPESO		
Tipo: Tierra vegetal + Cemento Conductivo + Bentonita		
Factor de tratamiento:	3	

DISEÑO FINAL

A-2

DIAGRAMA DE DISEÑO FINAL DE SPAT

TIPO A-2, DOS CONTRAPESOS HORIZONTALES

DETALLE CONTRAPESO HORIZONTAL

FORMULADO POR: RICHARD POMA GOMEZ - PRAC. MANTENIMIENTO CPM CAMPO ARMIÑO

electroperu la energía de los peruanos

DISEÑO DE SISTEMA DE PAT PARA LAS TORRES TRANSMISIÓN ELECTROPERU S.A.

CALCULAR TORRE N° Torre 32-L3

MEDICION REALIZADA DE SPAT		
Item	Número de Torre	RESISTENCIA R _c (Ω)
12	Torre 32-L3	29

MEDICION REALIZADA DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO				
N°	Número de Estructura	Distancia "a" (m)	Valor medido "R" (Ω)	Resultado 2.π.a.R (Ω.m)
1	Torre 32-L3	1	230,0	1445,1
		2	364,0	4574,2
		4	86,0	2161,4
		8	40,0	2010,6

PROCESAMIENTO		
p1 (Ω-m)	h1 (m)	p2 (Ω-m)
1300,00	1,1	2639,394

RELENO TIERRA VEGETAL Y BENTONITA		
Ancho de la zanja (m):	0,4	
Profundidad de la zanja (m):	0,5	
Radio equivalente de la zanja (m):	0,25	

DATOS DEL CONDUCTOR CON CEMENTO CONDUCTIVO	
Diámetro equivalente conductor y cemento (m):	0,0635
Radio equivalente conductor y cemento (m):	0,0318

DATOS DEL TRATAMIENTO PARA EL CONTRAPESO		
Tipo: Tierra vegetal + Cemento Conductivo + Bentonita		
Factor de tratamiento:	3	

CALCULOS RESISTENCIA PAT		
p equivalente (Ω-m)	Longitud de Conductor (m)	Resistencia PAT (Ω)
1500,7	90	14,3

DATOS DEL TRATAMIENTO PARA EL CONTRAPESO		
Tipo: Tierra vegetal + Cemento Conductivo + Bentonita		
Factor de tratamiento:	3	

DISEÑO FINAL

A-3

DIAGRAMA DE DISEÑO FINAL DE SPAT

TIPO A-3, TRES CONTRAPESOS HORIZONTALES

DETALLE CONTRAPESO HORIZONTAL

FORMULADO POR: RICHARD POMA GOMEZ - PRAC. MANTENIMIENTO CPM CAMPO ARMIÑO

- Resultados de cálculo de resistencia de PAT de las estructuras 37 y 38.

electroperu la energía de los peruanos

DISEÑO DE SISTEMA DE PAT PARA LAS TORRES TRANSMISIÓN ELECTROPERU S.A.

CALCULAR TORRE N° Torre 37-L3

MEDICION REALIZADA DE SPAT		
Item	Número de Torre	RESISTENCIA R _c (Ω)
13	Torre 37-L3	39,7

PROCESAMIENTO

p1 (Ω-m)	h1 (m)	p2 (Ω-m)
450,00	2,55	7731,818

CALCULOS RESISTENCIA PAT

p equivalente (Ω-m)	Longitud de Conductor (m)	Resistencia PAT (Ω)
598,5	25	17,3

DISEÑO FINAL

A-1

DIAGRAMA DE DISEÑO FINAL DE SPAT

DETALLE CONTRAPESO HORIZONTAL

FORMULADO POR: RICHARD POMA GOMEZ - PRAC. MANTENIMIENTO CPM CAMPO ARMIÑO

electroperu la energía de los peruanos

DISEÑO DE SISTEMA DE PAT PARA LAS TORRES TRANSMISIÓN ELECTROPERU S.A.

CALCULAR TORRE N° Torre 38-L3

MEDICION REALIZADA DE SPAT		
Item	Número de Torre	RESISTENCIA R _c (Ω)
14	Torre 38-L3	62,7

PROCESAMIENTO

p1 (Ω-m)	h1 (m)	p2 (Ω-m)
1200,00	1,1	2133,333

CALCULOS RESISTENCIA PAT

p equivalente (Ω-m)	Longitud de Conductor (m)	Resistencia PAT (Ω)
1356,4	60	18,4

DISEÑO FINAL

A-2

DIAGRAMA DE DISEÑO FINAL DE SPAT

DETALLE CONTRAPESO HORIZONTAL

FORMULADO POR: RICHARD POMA GOMEZ - PRAC. MANTENIMIENTO CPM CAMPO ARMIÑO

- Resultados de cálculo de resistencia de PAT de las estructuras 40 y 41.

electroperu la energía de los peruanos

DISEÑO DE SISTEMA DE PAT PARA LAS TORRES TRANSMISIÓN ELECTROPERU S.A.

CALCULAR TORRE N° Torre 40-L3

MEDICION REALIZADA DE SPAT		
Item	Número de Torre	RESISTENCIA R _c (Ω)
15	Torre 40-L3	40,8

MEDICION REALIZADA DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO				
N°	Número de Estructura	Distancia "a" (m)	Valor medido "R" (Ω)	Resultado 2.π.a.R (Ω.m)
1	Torre 40-L3	1	117,0	735,1
		2	212,0	2664,1
		4	15,0	377,0
		8	59,0	2965,7

PROCESAMIENTO		
p1 (Ω-m)	h1 (m)	p2 (Ω-m)
670,00	1,8	8263,333

RELENO TIERRA VEGETAL Y BENTONITA		
Ancho de la zanja (m):	0,4	
Profundidad de la zanja (m):	0,5	
Radio equivalente de la zanja (m):	0,25	

DATOS DEL CONDUCTOR CON CEMENTO CONDUCTIVO	
Diámetro equivalente conductor y cemento (m):	0,0635
Radio equivalente conductor y cemento (m):	0,0318

DATOS DEL TRATAMIENTO PARA EL CONTRAPESO		
Tipo: Tierra vegetal + Cemento Conductivo + Bentonita		
Factor de tratamiento:	3	

CALCULOS RESISTENCIA PAT		
p equivalente (Ω-m)	Longitud de Conductor (m)	Resistencia PAT (Ω)
884,1	50	14,1

MATERIALES PARA EL CONTRAPESO		
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD
Cemento Conductivo	BOLSAS 25Kg	8
Tierra Vegetal	m3	6
Bentonita	BOLSAS 30Kg	20
Conductor de 70 mm2	m	50

DISEÑO FINAL

A-2

DIAGRAMA DE DISEÑO FINAL DE SPAT

TIPO A-2, DOS CONTRAPESOS HORIZONTALES

DETALLE CONTRAPESO HORIZONTAL

FORMULADO POR: RICHARD POMA GOMEZ - PRAC. MANTENIMIENTO CPM CAMPO ARMIÑO

electroperu la energía de los peruanos

DISEÑO DE SISTEMA DE PAT PARA LAS TORRES TRANSMISIÓN ELECTROPERU S.A.

CALCULAR TORRE N° Torre 41-L3

MEDICION REALIZADA DE SPAT		
Item	Número de Torre	RESISTENCIA R _c (Ω)
16	Torre 41-L3	35,3

MEDICION REALIZADA DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO				
N°	Número de Estructura	Distancia "a" (m)	Valor medido "R" (Ω)	Resultado 2.π.a.R (Ω.m)
1	Torre 41-L3	1	177,9	1117,8
		2	42,5	534,1
		4	274,0	6886,4
		8	28,1	1412,5

PROCESAMIENTO		
p1 (Ω-m)	h1 (m)	p2 (Ω-m)
1000,00	0,7	1666,667

RELENO TIERRA VEGETAL Y BENTONITA		
Ancho de la zanja (m):	0,4	
Profundidad de la zanja (m):	0,5	
Radio equivalente de la zanja (m):	0,25	

DATOS DEL CONDUCTOR CON CEMENTO CONDUCTIVO	
Diámetro equivalente conductor y cemento (m):	0,0635
Radio equivalente conductor y cemento (m):	0,0318

DATOS DEL TRATAMIENTO PARA EL CONTRAPESO		
Tipo: Tierra vegetal + Cemento Conductivo + Bentonita		
Factor de tratamiento:	3	

CALCULOS RESISTENCIA PAT		
p equivalente (Ω-m)	Longitud de Conductor (m)	Resistencia PAT (Ω)
1117,8	90	10,7

MATERIALES PARA EL CONTRAPESO		
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD
Cemento Conductivo	BOLSAS 25Kg	14
Tierra Vegetal	m3	11
Bentonita	BOLSAS 30Kg	36
Conductor de 70 mm2	m	90

DISEÑO FINAL

A-3

DIAGRAMA DE DISEÑO FINAL DE SPAT

TIPO A-3, TRES CONTRAPESOS HORIZONTALES

DETALLE CONTRAPESO HORIZONTAL

FORMULADO POR: RICHARD POMA GOMEZ - PRAC. MANTENIMIENTO CPM CAMPO ARMIÑO

- Resultados de cálculo de resistencia de PAT de las estructuras 47 y 51.

electroperu la energía de los peruanos

DISEÑO DE SISTEMA DE PAT PARA LAS TORRES TRANSMISIÓN ELECTROPERU S.A.

CALCULAR TORRE N° Torre 47-L3

MEDICION REALIZADA DE SPAT		
Item	Número de Torre	RESISTENCIA R _c (Ω)
17	Torre 47-L3	64,7

PROCESAMIENTO

p1 (Ω-m)	h1 (m)	p2 (Ω-m)
286,00	1,7	2097,333

CALCULOS RESISTENCIA PAT

p equivalente (Ω-m)	Longitud de Conductor (m)	Resistencia PAT (Ω)
370,3	25	10,7

DISEÑO FINAL

A-1

DIAGRAMA DE DISEÑO FINAL DE SPAT

DETALLE CONTRAPESO HORIZONTAL

FORMULADO POR: RICHARD POMA GOMEZ - PRAC. MANTENIMIENTO CPM CAMPO ARMIÑO

electroperu la energía de los peruanos

DISEÑO DE SISTEMA DE PAT PARA LAS TORRES TRANSMISIÓN ELECTROPERU S.A.

CALCULAR TORRE N° Torre 51-L3

MEDICION REALIZADA DE SPAT		
Item	Número de Torre	RESISTENCIA R _c (Ω)
18	Torre 51-L3	75,7

PROCESAMIENTO

p1 (Ω-m)	h1 (m)	p2 (Ω-m)
800,00	1,18	193,789

CALCULOS RESISTENCIA PAT

p equivalente (Ω-m)	Longitud de Conductor (m)	Resistencia PAT (Ω)
438,5	25	12,7

DISEÑO FINAL

A-1

DIAGRAMA DE DISEÑO FINAL DE SPAT

DETALLE CONTRAPESO HORIZONTAL

FORMULADO POR: RICHARD POMA GOMEZ - PRAC. MANTENIMIENTO CPM CAMPO ARMIÑO

- Resultados de cálculo de resistencia de PAT de las estructuras 52 y 53.

electroperu la energía de los peruanos

DISEÑO DE SISTEMA DE PAT PARA LAS TORRES TRANSMISIÓN ELECTROPERU S.A.

CALCULAR TORRE N° Torre 52-L3

MEDICION REALIZADA DE SPAT		
Item	Número de Torre	RESISTENCIA R _c (Ω)
19	Torre 52-L3	67,3

PROCESAMIENTO

p1 (Ω-m)	h1 (m)	p2 (Ω-m)
3400,00	1,2	1563,504

CALCULOS RESISTENCIA PAT

p equivalente (Ω-m)	Longitud de Conductor (m)	Resistencia PAT (Ω)
2596,4	120	19,2

DISEÑO FINAL

A-3

DIAGRAMA DE DISEÑO FINAL DE SPAT

DETALLE CONTRAPESO HORIZONTAL

FORMULADO POR: RICHARD POMA GOMEZ - PRAC. MANTENIMIENTO CPM CAMPO ARMIÑO

electroperu la energía de los peruanos

DISEÑO DE SISTEMA DE PAT PARA LAS TORRES TRANSMISIÓN ELECTROPERU S.A.

CALCULAR TORRE N° Torre 53-L3

MEDICION REALIZADA DE SPAT		
Item	Número de Torre	RESISTENCIA R _c (Ω)
20	Torre 53-L3	50

PROCESAMIENTO

p1 (Ω-m)	h1 (m)	p2 (Ω-m)
430,00	1,6	1399,787

CALCULOS RESISTENCIA PAT

p equivalente (Ω-m)	Longitud de Conductor (m)	Resistencia PAT (Ω)
526,0	25	15,2

DISEÑO FINAL

A-1

DIAGRAMA DE DISEÑO FINAL DE SPAT

DETALLE CONTRAPESO HORIZONTAL

FORMULADO POR: RICHARD POMA GOMEZ - PRAC. MANTENIMIENTO CPM CAMPO ARMIÑO

- Resultados de cálculo de resistencia de PAT de las estructuras 55 y 61.

electroperu la energía de los peruanos

DISEÑO DE SISTEMA DE PAT PARA LAS TORRES TRANSMISIÓN ELECTROPERU S.A.

CALCULAR TORRE N° Torre 55-L3

MEDICION REALIZADA DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO

N°	Número de Estructura	Distancia "a" (m)	Valor medido "R" (Ω)	Resultado 2.π.a.R (Ω.m)
1	Torre 55-L3	1	135,5	851,4
		2	75,8	952,5
		4	33,3	836,9
		8	12,6	633,3

MEDICION REALIZADA DE SPAT

Item	Número de Torre	RESISTENCIA R _c (Ω)
21	Torre 55-L3	38,9

PROCESAMIENTO

p1 (Ω-m)	h1 (m)	p2 (Ω-m)
1050,00	1,8	700,000

RELLENO TIERRA VEGETAL Y BENTONITA

Ancho de la zanja (m):	0,4
Profundidad de la zanja (m):	0,5
Radio equivalente de la zanja (m):	0,25

DATOS DEL CONDUCTOR CON CEMENTO CONDUCTIVO

Diámetro equivalente conductor y cemento (m):	0,0635
Radio equivalente conductor y cemento (m):	0,0318

DATOS DEL TRATAMIENTO PARA EL CONTRAPESO

Tipo: Tierra vegetal + Cemento Conductivo + Bentonita	
Factor de tratamiento:	3

MATERIALES PARA EL CONTRAPESO

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD
Cemento Conductivo	BOLSAS 25Kg	8
Tierra Vegetal	m3	6
Bentonita	BOLSAS 30Kg	20
Conductor de 70 mm2	m	50

CALCULOS RESISTENCIA PAT

p equivalente (Ω-m)	Longitud de Conductor (m)	Resistencia PAT (Ω)
927,8	50	14,8

DISEÑO FINAL

A-2

DIAGRAMA DE DISEÑO FINAL DE SPAT

TIPO A-2, DOS CONTRAPESOS HORIZONTALES

DETALLE CONTRAPESO HORIZONTAL

FORMULADO POR: RICHARD POMA GOMEZ - PRAC. MANTENIMIENTO CPM CAMPO ARMIÑO

electroperu la energía de los peruanos

DISEÑO DE SISTEMA DE PAT PARA LAS TORRES TRANSMISIÓN ELECTROPERU S.A.

CALCULAR TORRE N° Torre 61-L3

MEDICION REALIZADA DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO

N°	Número de Estructura	Distancia "a" (m)	Valor medido "R" (Ω)	Resultado 2.π.a.R (Ω.m)
1	Torre 61-L3	1	80,1	503,3
		2	46,7	586,8
		4	61,7	1550,7
		8	88,0	4423,4

MEDICION REALIZADA DE SPAT

Item	Número de Torre	RESISTENCIA R _c (Ω)
22	Torre 61-L3	65,5

PROCESAMIENTO

p1 (Ω-m)	h1 (m)	p2 (Ω-m)
650,00	1,8	398,387

RELLENO TIERRA VEGETAL Y BENTONITA

Ancho de la zanja (m):	0,4
Profundidad de la zanja (m):	0,5
Radio equivalente de la zanja (m):	0,25

DATOS DEL CONDUCTOR CON CEMENTO CONDUCTIVO

Diámetro equivalente conductor y cemento (m):	0,0635
Radio equivalente conductor y cemento (m):	0,0318

DATOS DEL TRATAMIENTO PARA EL CONTRAPESO

Tipo: Tierra vegetal + Cemento Conductivo + Bentonita	
Factor de tratamiento:	3

MATERIALES PARA EL CONTRAPESO

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD
Cemento Conductivo	BOLSAS 25Kg	4
Tierra Vegetal	m3	3
Bentonita	BOLSAS 30Kg	10
Conductor de 70 mm2	m	25

CALCULOS RESISTENCIA PAT

p equivalente (Ω-m)	Longitud de Conductor (m)	Resistencia PAT (Ω)
557,3	25	16,1

DISEÑO FINAL

A-1

DIAGRAMA DE DISEÑO FINAL DE SPAT

TIPO A-1, UN CONTRAPESO HORIZONTAL

DETALLE CONTRAPESO HORIZONTAL

FORMULADO POR: RICHARD POMA GOMEZ - PRAC. MANTENIMIENTO CPM CAMPO ARMIÑO

- Resultados de cálculo de resistencia de PAT de las estructuras 63 y 64.

electroperu la energía de los peruanos

DISEÑO DE SISTEMA DE PAT PARA LAS TORRES TRANSMISIÓN ELECTROPERU S.A.

CALCULAR TORRE N° Torre 63-L3

MEDICION REALIZADA DE SPAT		
Item	Número de Torre	RESISTENCIA R _c (Ω)
23	Torre 63-L3	34,9

PROCESAMIENTO

p1 (Ω-m)	h1 (m)	p2 (Ω-m)
365,00	0,6	286,786

CALCULOS RESISTENCIA PAT

p equivalente (Ω-m)	Longitud de Conductor (m)	Resistencia PAT (Ω)
340,5	25	9,8

DISEÑO FINAL

A-1

DIAGRAMA DE DISEÑO FINAL DE SPAT

DETALLE CONTRAPESO HORIZONTAL

FORMULADO POR: RICHARD POMA GÓMEZ - PRAC. MANTENIMIENTO CPM CAMPO ARMIÑO

electroperu la energía de los peruanos

DISEÑO DE SISTEMA DE PAT PARA LAS TORRES TRANSMISIÓN ELECTROPERU S.A.

CALCULAR TORRE N° Torre 64-L3

MEDICION REALIZADA DE SPAT		
Item	Número de Torre	RESISTENCIA R _c (Ω)
24	Torre 64-L3	32,1

PROCESAMIENTO

p1 (Ω-m)	h1 (m)	p2 (Ω-m)
1500,00	2,6	175,978

CALCULOS RESISTENCIA PAT

p equivalente (Ω-m)	Longitud de Conductor (m)	Resistencia PAT (Ω)
502,9	25	14,5

DISEÑO FINAL

A-1

DIAGRAMA DE DISEÑO FINAL DE SPAT

DETALLE CONTRAPESO HORIZONTAL

FORMULADO POR: RICHARD POMA GÓMEZ - PRAC. MANTENIMIENTO CPM CAMPO ARMIÑO

- Resultados de cálculo de resistencia de PAT de las estructuras 65 y 66.

electroperu la energía de los peruanos

DISEÑO DE SISTEMA DE PAT PARA LAS TORRES TRANSMISIÓN ELECTROPERU S.A.

CALCULAR TORRE N° Torre 65-L3

MEDICION REALIZADA DE SPAT		
Item	Número de Torre	RESISTENCIA R _c (Ω)
25	Torre 65-L3	32,9

PROCESAMIENTO

p1 (Ω-m)	h1 (m)	p2 (Ω-m)
300,00	1	557,143

CALCULOS RESISTENCIA PAT

p equivalente (Ω-m)	Longitud de Conductor (m)	Resistencia PAT (Ω)
341,5	25	9,9

DISEÑO FINAL

A-1

DIAGRAMA DE DISEÑO FINAL DE SPAT

DETALLE CONTRAPESO HORIZONTAL

FORMULADO POR: RICHARD POMA GOMEZ - PRAC. MANTENIMIENTO CPM CAMPO ARMIÑO

electroperu la energía de los peruanos

DISEÑO DE SISTEMA DE PAT PARA LAS TORRES TRANSMISIÓN ELECTROPERU S.A.

CALCULAR TORRE N° Torre 66-L3

MEDICION REALIZADA DE SPAT		
Item	Número de Torre	RESISTENCIA R _c (Ω)
26	Torre 66-L3	44,7

PROCESAMIENTO

p1 (Ω-m)	h1 (m)	p2 (Ω-m)
1600,00	1,45	5511,111

CALCULOS RESISTENCIA PAT

p equivalente (Ω-m)	Longitud de Conductor (m)	Resistencia PAT (Ω)
1968,0	120	14,6

DISEÑO FINAL

A-3

DIAGRAMA DE DISEÑO FINAL DE SPAT

DETALLE CONTRAPESO HORIZONTAL

FORMULADO POR: RICHARD POMA GOMEZ - PRAC. MANTENIMIENTO CPM CAMPO ARMIÑO

- Resultados de cálculo de resistencia de PAT de las estructuras 75 y 76.

electroperu la energía de los peruanos

DISEÑO DE SISTEMA DE PAT PARA LAS TORRES TRANSMISIÓN ELECTROPERU S.A.

CALCULAR TORRE N° Torre 75-L3

MEDICION REALIZADA DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO

N°	Número de Estructura	Distancia "a" (m)	Valor medido "R" (Ω)	Resultado 2.π.a.R (Ω.m)
1	Torre 75-L3	1	762,0	4787,8
		2	128,0	1608,5
		4	777,0	19528,1
		8	51,0	2563,5

MEDICION REALIZADA DE SPAT

Item	Número de Torre	RESISTENCIA R _c (Ω)
27	Torre 75-L3	34,7

PROCESAMIENTO

p1 (Ω-m)	h1 (m)	p2 (Ω-m)
6500,00	4,2	886,364

RELLENO TIERRA VEGETAL Y BENTONITA

Ancho de la zanja (m):	0,4
Profundidad de la zanja (m):	0,5
Radio equivalente de la zanja (m):	0,25

DATOS DEL CONDUCTOR CON CEMENTO CONDUCTIVO

Diámetro equivalente conductor y cemento (m):	0,0635
Radio equivalente conductor y cemento (m):	0,0318

DATOS DEL TRATAMIENTO PARA EL CONTRAPESO

Tipo: Tierra vegetal + Cemento Conductivo + Bentonita	
Factor de tratamiento:	3

MATERIALES PARA EL CONTRAPESO

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD
Cemento Conductivo	BOLSAS 25Kg	24
Tierra Vegetal	m3	19
Bentonita	BOLSAS 30Kg	64
Conductor de 70 mm2	m	160

CALCULOS RESISTENCIA PAT

p equivalente (Ω-m)	Longitud de Conductor (m)	Resistencia PAT (Ω)
2435,5	160	14,0

DISEÑO FINAL

A-4

DIAGRAMA DE DISEÑO FINAL DE SPAT

TIPO A-4
CUATRO CONTRAPESOS HORIZONTALES

DETALLE CONTRAPESO HORIZONTAL

FORMULADO POR: RICHARD POMA GOMEZ - PRAC. MANTENIMIENTO CPM CAMPO ARMIÑO

electroperu la energía de los peruanos

DISEÑO DE SISTEMA DE PAT PARA LAS TORRES TRANSMISIÓN ELECTROPERU S.A.

CALCULAR TORRE N° Torre 76-L3

MEDICION REALIZADA DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO

N°	Número de Estructura	Distancia "a" (m)	Valor medido "R" (Ω)	Resultado 2.π.a.R (Ω.m)
1	Torre 76-L3	1	164,0	1030,4
		2	57,0	716,3
		4	98,0	2463,0
		8	37,0	1859,8

MEDICION REALIZADA DE SPAT

Item	Número de Torre	RESISTENCIA R _c (Ω)
28	Torre 76-L3	51

PROCESAMIENTO

p1 (Ω-m)	h1 (m)	p2 (Ω-m)
900,00	1	2050,820

RELLENO TIERRA VEGETAL Y BENTONITA

Ancho de la zanja (m):	0,4
Profundidad de la zanja (m):	0,5
Radio equivalente de la zanja (m):	0,25

DATOS DEL CONDUCTOR CON CEMENTO CONDUCTIVO

Diámetro equivalente conductor y cemento (m):	0,0635
Radio equivalente conductor y cemento (m):	0,0318

DATOS DEL TRATAMIENTO PARA EL CONTRAPESO

Tipo: Tierra vegetal + Cemento Conductivo + Bentonita	
Factor de tratamiento:	3

MATERIALES PARA EL CONTRAPESO

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD
Cemento Conductivo	BOLSAS 25Kg	8
Tierra Vegetal	m3	6
Bentonita	BOLSAS 30Kg	20
Conductor de 70 mm2	m	50

CALCULOS RESISTENCIA PAT

p equivalente (Ω-m)	Longitud de Conductor (m)	Resistencia PAT (Ω)
1056,2	50	16,8

DISEÑO FINAL

A-2


DIAGRAMA DE DISEÑO FINAL DE SPAT

TIPO A-2,
DOS CONTRAPESOS HORIZONTALES

DETALLE CONTRAPESO HORIZONTAL

FORMULADO POR: RICHARD POMA GOMEZ - PRAC. MANTENIMIENTO CPM CAMPO ARMIÑO

- Resultados de cálculo de resistencia de PAT de las estructuras 79.



DISEÑO DE SISTEMA DE PAT PARA LAS TORRES
TRANSMISIÓN ELECTROPERU S.A.

CALCULAR TORRE N°	Torre 76-L3
--------------------------	-------------

MEDICION REALIZADA DE SPAT		
Ítem	Número de Torre	RESISTENCIA
		Rc (Ω)
28	Torre 76-L3	51

PROCESAMIENTO		
ρ1	h1	ρ2
(Ω-m)	(m)	(Ω-m)
900,00	1	2050,820

CALCULOS RESISTENCIA PAT		
ρ equivalente	Longitud de Conductor	Resistencia PAT
(Ω-m)	(m)	(Ω)
1056,2	50	16,8

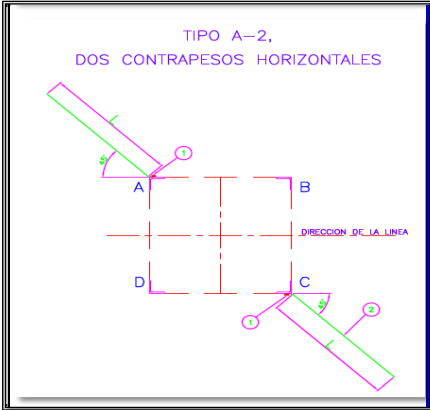
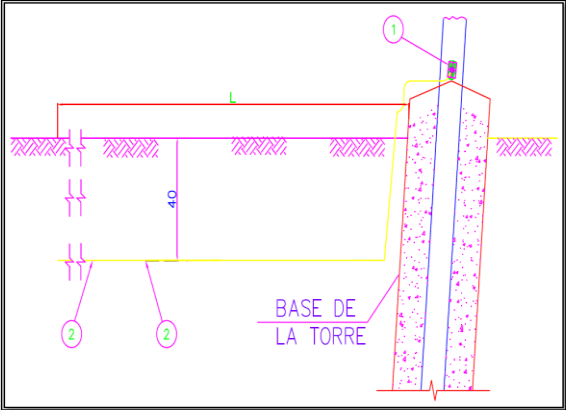
RELLENO TIERRA VEGETAL Y BENTONITA	
Ancho de la zanja (m):	0,4
Profundidad de la zanja (m):	0,5
Radio equivalente de la zanja (m):	0,25

DATOS DEL CONDUCTOR CON CEMENTO CONDUCTIVO	
Diámetro equivalente conductor y cemento (m):	0,0635
Radio equivalente conductor y cemento (m):	0,0318

DATOS DEL TRATAMIENTO PARA EL CONTRAPESO	
Tipo: Tierra vegetal + Cemento Conductivo + Bentonita	
Factor de tratamiento:	3

MATERIALES PARA EL CONTRAPESO		
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD
Cemento Conductivo	BOLSAS 25Kg	8
Tierra Vegetal	m3	6
Bentonita	BOLSAS 30Kg	20
Conductor de 70 mm2	m	50

DISEÑO FINAL
A-2

DIAGRAMA DE DISEÑO FINAL DE SPAT	DETALLE CONTRAPESO HORIZONTAL
	

FORMULADO POR: RICHARD POMA GOMEZ - PRAC. MANTENIMIENTO CPM CAMPO ARMIÑO