



**UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y  
ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**PRUEBAS DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS A LÍNEAS  
DE TRANSMISIÓN DE 60 KV - 2021  
(PROYECTO QUELLAVECO)**

**PRESENTADO POR**

**BACHILLER CÉSAR FRANCO CASAS GUTIÉRREZ**

**ASESOR:**

**INGENIERO FELIX RICARDO PEREZ PUERTAS**

**PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

**MOQUEGUA – PERÚ**

**2022**

## ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
ÍNDICE .....	iv
ÍNDICE DE TABLAS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN .....	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN .....	xii

### **CAPÍTULO I.**

#### **ASPECTOS GENERALES DEL TEMA**

1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Descripción de cómo es y qué tipo de servicio otorga la organización, empresa o institución en la que desarrolla la experiencia profesional.....	2
1.3. Contexto socioeconómico, descripción del área de la institución .....	5
1.4. Descripción de la experiencia.....	5
1.5. Explicación del cargo, funciones ejecutadas. ....	5
1.6. Propósitos del puesto (objetivos y retos) .....	6
1.7. Producto o proceso que será objeto del informe .....	6
1.8. Resultados concretos que ha alcanzado en este periodo de tiempo. ....	6

### **CAPÍTULO II.**

#### **FUNDAMENTACIÓN**

2.1 Explicación del papel que jugaron la teoría y la práctica en el desempeño laboral en la situación objeto de informe, como se integraron ambas para resolver problemas. ....	7
---	---

2.2	Descripción de las acciones, metodología y procedimiento los que se recorrió para resolver la situación profesional objeto del informe .....	8
-----	--	---

### **CAPÍTULO III.**

#### **APORTES Y DESARROLLO DE EXPERIENCIAS**

3.1.	Aportes utilizando los conocimientos o bases teóricas adquiridas durante la carrera .....	102
3.2	Desarrollo de Experiencias. ....	106
CONCLUSIONES .....		108
OBSERVACIONES .....		109
RECOMENDACIONES .....		110
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		111
ANEXO.....		113

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Descripción de los alimentadores de la línea de 60 kV . . . . .	9
Tabla 2. Resultados de medición de identificación de fases 11/4330-la-001 . . . . .	31
Tabla 3. Resultados de medición de aislamiento de fase-fase y fase-tierra 11/4330-la-001. .....	32
Tabla 4. Resultado de medición de resistencia de conductor 11/4330-la-001 . . . . .	34
Tabla 5. Resultados de medición de impedancia de secuencia positiva 11/4330-la-001... .	36
Tabla 6. Resultado de mediciones de impedancia homopolar 11/4330-la-001 . . . . .	39
Tabla 7. Resultados de medición de identificación de fases 12/4320-la-022 . . . . .	46
Tabla 8. Resultados de medición de aislamiento de fase-tierra 12/4320-la-022.....	47
Tabla 9. Resultados de medición de aislamiento de fase-fase 12/4320-la-022.....	48
Tabla 10. Resultado de mediciones de resistencia de conductor 12/4320-la-022.....	50
Tabla 11. Resultado de medicion de impedancia de secuencia positiva 12/4320-la-022 . .	52
Tabla 12. Resultado de mediciones impedancia homopolar 12/4320-la-022 . . . . .	55
Tabla 13. Resultados de medición de identificación de fases 12/4320-la-021 . . . . .	60
Tabla 14. Resultado de mediciones de aislamiento fase-fase y fase-tierra 12/4320-la-021 .....	62
Tabla 15. Resultados de medición de resistencia eléctrica de conductores 12/4320-la-021 .....	64
Tabla 16. Resultado de medicion de impedancia de secuencia positiva 12/4320-la-021 ..	66
Tabla 17. Resultado de mediciones impedancia homopolar 12/4320-la-021 . . . . .	69
Tabla 18. Resultados de medición de identificación de fases 13/4030-la-003 . . . . .	74
Tabla 19. Resultados de medición de aislamiento fases a tierra y fase-fase 13/4030-la-003 .....	76
Tabla 20. Resultados de medición de resistencia eléctrica de conductores 13/4030-la-003 .....	78

Tabla 21. Resultado de medición de impedancia de secuencia positiva 13/4030-1a-003 ..	80
Tabla 22. Resultado de medición de impedancia homopolar 13/4030-1a-003 .....	83
Tabla 23. Resultados de medición de identificación de fases 14/4030-1a-004 .....	88
Tabla 24. Resultado de medición de resistencia de aislamiento 14/4030-1a-004 .....	90
Tabla 25. Resultado de medición de resistencia eléctrica de conductores 14/4030-1a-004. .....	92
Tabla 26. Resultado de medición de impedancia de secuencia positiva 14/4030-1a-004 ..	94
Tabla 27. Resultados de medición de impedancia homopolar 14/4030-1a-004 .....	97

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Circuito Equivalente de una línea de transmisión de longitud corta .....	8
Figura 2. Generador eléctrico monofásico .....	11
Figura 3. Equipo Omicron CPC 100 lado A .....	12
Figura 4. Equipo Omicron CPC 100 lado B .....	12
Figura 5. Equipo Omicron CPC 100 parte lateral izquierdo .....	13
Figura 6. Equipo Omicron CPC 100 parte lateral derecho .....	13
Figura 7. Equipo Omicron CP CU1 .....	14
Figura 8. Caja de conexionado a tierra CP. GB1 .....	14
Figura 9. Conexionado de acoplamiento de equipo Omicron CPC 100 y CP. CU1 .....	15
Figura 10. Megóhmetro analógico megabras Mi20kVe.....	15
Figura 11. Conexionado global para la Impedancia de Línea.....	19
Figura 12. Prueba de identificación de Fase .....	20
Figura 13. Prueba de aislamiento N°1 .....	21
Figura 14. Prueba de resistencia eléctrica de conductores N°2 .....	22
Figura 15. Prueba de medición de la impedancia de secuencia positiva N° 3 fase R-S .....	23
Figura 16. Prueba de medición de la impedancia de secuencia positiva N° 3 fase S-T.....	24
Figura 17. Prueba de medición de la impedancia de secuencia positiva N° 3 fase R-T .....	25
Figura 18. Prueba de medición de la impedancia homopolar N° 4.....	26
Figura 19. Prueba de medición de la impedancia propia y mutua N° 5 fase R.....	27

Figura 20. Prueba de medición de la impedancia propia y mutua N° 5 fase S .....	28
Figura 21. Prueba de medición de la impedancia propia y mutua N° 5 fase T .....	29
Figura 22. Malla de puesta a tierra.....	45
Figura 23. Circuito equivalente de una línea de transmisión .....	103
Figura 24. Pórtico de línea Eléctrica de 60 kV. ....	114
Figura 25. Conexión de equipo CP CU1 .....	114
Figura 26. Conexión de equipo CPC 100.....	115
Figura 27. Conexión de Megóhmetro Mi 20 kVe .....	115
Figura 28. Acoplamiento de CPC 100 Y CP CU1 .....	116
Figura 29. Generador y tablero eléctrico.....	116
Figura 30. Conexión de la caja de conexión a tierra del CP GB1 .....	117
Figura 31. Conexión de cables de corriente del CPC 100.....	117
Figura 32. Torre de celosía de línea eléctrica de 60 kV.....	118
Figura 33. Maniobra en torre de celosía de 60 kV .....	119
Figura 34. Conexión de cable auxiliar en línea de 60 kV .....	120

## **RESUMEN**

Este informe describe las pruebas eléctricas realizadas en líneas de transmisión de 60 kV. antes de la puesta en servicio en el proyecto minero de Anglo American Quellaveco S.A. (AAQSA). La principal función de estas pruebas es determinar los parámetros eléctricos de la línea y comparar los valores medidos con los teóricos, así también ver el tendido adecuado en todo el tramo de la línea y que no estén accidentalmente en contacto a tierra o estén transpuestas. Una vez obtenidos los resultados de las pruebas eléctricas, estos valores medidos se comparan con los valores teóricos suministrado por la Empresa Anglo American Quellaveco S.A. (AAQSA. Y así se demuestre el buen dimensionamiento e instalación de la línea de transmisión de 60 kV.

Palabras Claves: Pruebas Eléctricas, Parámetros eléctricos, Valores teóricos y Valores medidos.

## **ABSTRACT**

This report describes the electrical tests performed on 60 kV transmission lines prior to commissioning at the Anglo American Quellaveco S.A. (AAQSA) mining project. The main function of these tests is to determine the electrical parameters of the line and compare the measured values with the theoretical ones, as well as to check that the entire section of the line is properly laid and that it is not accidentally grounded or transposed. Once the results of the electrical tests are obtained, these measured values are compared with the theoretical values supplied by Anglo American Quellaveco S.A. (AAQSA). In this way, the proper sizing and installation of the 60 kV transmission line is demonstrated.

*Keywords:* Electrical Testing, Electrical Parameters, Theoretical Values and Measured Values.

## INTRODUCCIÓN

En el sector minero, el correcto funcionamiento de suministro de energía es vital, porque de este depende toda la producción; desde las etapas de acarreo, chancado, molienda, flotación y almacenamiento de minerales. Tanto así que una paralización en las operaciones por falta de energía puede significar pérdidas económicas y muchas veces accidentes laborales, o un retraso en la ejecución de nuevos proyectos mineros, si estos están por implementarse.

Otra situación para tomar en cuenta es la eficiencia energética, puesto que, en la minería, su consumo es alta e intensiva. Considerando que esto corresponde a un costo aproximadamente del 50% del costo total de operación, es por eso que se debe tener un correcto funcionamiento de las líneas Eléctricas.

En el presente informe se detallara los procedimientos que se efectuaron para las pruebas Eléctricas en las líneas del Proyecto y también se describirá las dificultades que se dieron en el transcurso de las pruebas y las soluciones con la que se optó para finalizar de forma satisfactoria las Pruebas Eléctricas y así entregar de manera confiable un Sistema Eléctrico Seguro y sin fallas futuras para que se brinde un suministro eléctrico estable y la minera pueda trabajar de manera continua y eficiente.

## **CAPÍTULO I.**

### **ASPECTOS GENERALES DEL TEMA**

#### **1.1. Antecedentes**

Anglo American Quellaveco S.A. (AAQSA) desarrolló el Proyecto Quellaveco que para la construcción y operación minera a tajo abierto que prevé alcanzar una capacidad de tratamiento de 127,5 ktpd, durante un período de explotación de 29 años. El proyecto abastecerá su suministro de energía eléctrica en 220 kV desde la S/E Moquegua (Ex Montalvo), a través de una línea de transmisión de 220 kV para alimentar la nueva S/E Papujune para la operación de las instalaciones de la Planta Concentradora y Mina, ubicada a una altitud aproximada de 3.600 m.s.n.m. Además, dentro de la S/E Papujune existirá otro nivel de voltaje, generado a partir de dos 2 transformadores elevadores de 22,9/60 kV que se conectará a una subestación tipo GIS de 60 kV TAG 5110-SG-003 para alimentar diferentes instalaciones del depósito de relaves, mediante una línea de transmisión de 60 kV desde la S/E Papujune hacia la nueva S/E Intermedia, ubicada a una altitud de 3360 m.s.n.m. La distribución de energía desde la S/E Intermedia hacia las áreas de dren, relaves, ciclones y torres se realizará a través de líneas de transmisión en 60 kV. La subestación es de tipo GIS de 60 kV TAG 4330-SG-001. (Copemi Sac. Constructores, 2018, p. 6).

Todas las estructuras que componen la red eléctrica de las líneas de 60 kV son torres de celosía metálica, auto soportadas, galvanizadas en caliente, con una altura mínima de 19 m o 22.5 m para simple y doble terna respectivamente.

El trazo de la ruta del recorrido de la línea de Transmisión se ubicara en el ANEXO N° 1. Plano de las Líneas de 60 kV marcado según CWP y diagrama lineal marcado.

## **1.2. Descripción de cómo es y qué tipo de servicio otorga la organización, empresa o institución en la que desarrolla la experiencia profesional**

La empresa que ejecutara el proyecto es COPEMI S.A.C. CONSTRUCTORES una sociedad constituida de acuerdo con las leyes de la República del Perú, con Registro Único de Contribuyentes (RUC) No. 20497670561, domiciliada en Avenida Manuel Olgún 501, Oficina 603, Distrito de Santiago de Surco, Provincia de Lima y Departamento de Lima, Perú. (Copemi Sac. Constructores, 2019).

La empresa que adquiere los servicios de la empresa antes mencionada es ANGLO AMERICAN QUELLAVECO S.A., es una sociedad anónima constituida de acuerdo con las leyes de la República del Perú, con Registro Único de Contribuyentes (RUC) No. 20137913250, domiciliada en Esquilache No. 371, Piso 10, distrito de San Isidro, provincia y departamento de Lima, Perú (AngloAmérica, 2021).

### **1.2.1. Organigrama del proyecto.**

El organigrama del proyecto de línea aérea de Transmisión de 60 kV – Quellaveco, está encabezada por una gerencia de proyectos, cuya estructura se muestra en el anexo N°02.

## **1.2.2. Visión y misión.**

### ***1.2.2.1. Misión.***

Es compartida entre ambas empresas involucradas en el proyecto; según el sitio web de la compañía minera (AngloAmerican, 2021.), dentro de su propósito menciona lo siguiente:

“Re imaginar la minería para mejorar la vida de las personas” Bajo el principio supremo de la mina del mañana será proporcionar por un largo tiempo las preciadas materias primas que requiere nuestra sociedad moderna (AngloAmérica, 2021).

“Ser esenciales para la vida moderna” La producción de metales, que es una materia prima es esencial para la producción de teléfonos inteligentes, vehículos eléctricos y turbinas eólicas, así como para purificar las emisiones tradicionales de los automóviles y otros dispositivos. Además, también se utilizan en la construcción de viviendas, oficinas, ferrocarriles y aeropuertos. En resumen, estos productos mueven al mundo hacia un futuro más sostenible (AngloAmérica, 2021).

“Cien años de liderazgo con el ejemplo” Promover el progreso de la minería mediante la búsqueda de nuevas formas de extraer y procesar productos. Reduce la huella física por onza, quilate, kilogramo de mineral o metal precioso, con la ayuda de tecnología que permite un menor uso de agua y de energía, para una extracción más precisa (AngloAmérica, 2021).

Anglo American forja su futuro combinando la integridad, creatividad e innovación inteligente, con el mayor respeto por sus empleados, sus familias, sus comunidades, sus clientes y el mundo. Para así lograr conectar mejor los recursos de la tierra con las personas que los necesitan y valoran (AngloAmérica, 2021).

### ***1.2.2.2. Visión.***

Transformar la relación existente entre las minas, las comunidades y la sociedad en su conjunto y ser parte de una cadena de valor que apoye y refuerce el respeto por los derechos humanos y los resultados sustentables (AngloAmérican, 2021).

### ***1.2.2.3. Valores.***

#### ***a. Innovación.***

“En Anglo American desarrollamos activamente nuevas soluciones, estimulamos nuevas formas de pensar y descubrimos nuevas maneras de trabajar para mejorar como empresa responsable” (AngloAmérican, 2021).

#### ***b. Colaboración.***

“Nadie está solo aquí. Somos una empresa con un deseo conjunto: trabajar todos como equipo para tomar decisiones y ser eficaces (AngloAmérican, 2021).

#### ***c. Responsabilidad.***

“Asumimos plena responsabilidad de nuestras decisiones, acciones y resultados. Cumplimos nuestras promesas y reconocemos nuestros errores” (AngloAmérican, 2021).

#### ***d. Integridad.***

“Esto significa un enfoque honesto, equitativo, ético y transparente en todo lo que hacemos” (AngloAmérican, 2021).

#### ***e. Preocupación y respeto.***

“Tratamos a las personas con respeto, dignidad y cortesía, independientemente de sus antecedentes, estilo de vida o posición” (AngloAmérican, 2021).

*f. Seguridad.*

“Creemos fehacientemente que todas las lesiones son evitables y que, trabajando conjuntamente, podemos hacer de la seguridad un modo de vida, dentro fuera de nuestro lugar de trabajo” (AngloAmericana, 2021).

**1.3. Contexto socioeconómico, descripción del área de la institución**

La empresa COPEMI SAC CONSTRUCTORES es una empresa que brinda Servicios de Ingeniería (estudio, diseño, construcción y puesta en servicio) de Líneas Eléctricas de Distribución, Transmisión y subestaciones (Copemi Sac. Constructores, 2019).

También presta el servicio de Rentail de equipos certificados y herramientas de calidad para lograr que éstos, operen con seguridad y al 100% de su capacidad. Para las actividades de montaje y tendido, hacen uso de los equipos de la marca italiana TESMEC (Copemi Sac. Constructores, 2019).

**1.4. Descripción de la experiencia**

Mi experiencia laboral en el Proyecto “Líneas Aéreas de Distribución de 22.9 kV y 60 kV” Contrato N° K-EPCN—154C, fue de supervisar y ejecutar las pruebas eléctricas a las Línea Eléctricas de 60 kV, dicho cargo me ayudo a poner en práctica la teoría adquirida durante mi formación profesional, también pude adquirir y compartir conocimiento con profesionales en la rama de la Ingeniería.

**1.5. Explicación del cargo, funciones ejecutadas**

Personal a cargo de supervisar y ejecutar las pruebas eléctricas a Líneas Eléctricas de 60 kV, así también como elaborar los permisos para realizar trabajos eléctricos.

### **1.6. Propósitos del puesto (objetivos y retos)**

El propósito del puesto es de realizar Las Pruebas de Parámetros Eléctricos de la Línea de Transmisión de 60 kV antes de la puesta en servicio y así verificar que los valores teóricos son similares a los valores encontrados en las Pruebas e informar el buen resultado a gerencia.

### **1.7. Producto o proceso que será objeto del informe**

El objetivo de mi informe es describir los pasos para realizar las Pruebas de Parámetros Eléctricos de la Línea de 60 kV, también es comparar los resultados obtenidos para el equipo de Medición CPC100 y CP. CU1 con los resultados teóricos.

### **1.8. Resultados concretos que ha alcanzado en este periodo de tiempo**

En este periodo de tiempo en el cual me he desarrollado profesionalmente en el área de las Pruebas eléctricas de las Líneas de 60 kV puedo decir que he logrado cumplir mis expectativas que tenía en un inicio cuando entre a laborar a la empresa, una de ella fue de adquirir conocimientos en el ámbito de la Ingeniera de Redes Eléctricas, también pude completar a cabalidad las pruebas Eléctricas y dar soluciones a los problemas que se presentaron en el transcurso de los trabajos realizados.

## **CAPÍTULO II.**

### **FUNDAMENTACIÓN**

#### **2.1 Explicación del papel que jugaron la teoría y la práctica en el desempeño laboral en la situación objeto de informe, como se integraron ambas para resolver problemas**

(Herrera, 2012) afirma que según la teoría en el tema de Parámetros Eléctricos de Líneas de Transmisión nos indica que hay tres parámetros básicos, y estas son:

- Resistencia Serie
- Inductancia Serie
- Capacitancia en derivación

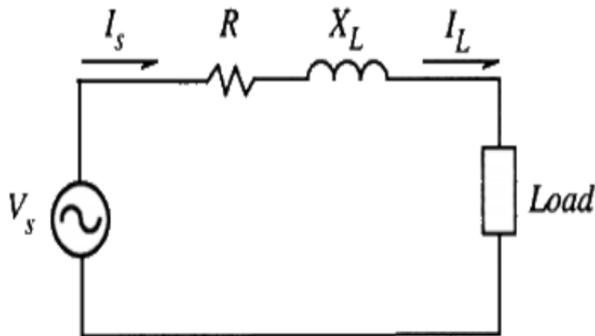
Una línea de Transmisión es definida como una línea corta si su longitud es menos a 80 kilómetros (p. 29).

En el presente informe se tiene la línea más larga con una distancia de 6 km, esta distancia hace que el efecto capacitivo sea despreciable y es por eso que solo la Resistencia y la inductancia sean consideradas en las Líneas de Transmisión 60 kV del Proyecto.

A continuación, se mostrará una imagen en la cual se asume un circuito balanceado, En la Figura 1. se representa un circuito equivalente con resistencia  $R$  e Inductancia  $XL$  en serie.

**Figura 1**

*Circuito Equivalente de una línea de transmisión de longitud corta*



*Nota:* Grigsby, 2012

Viendo la teoría del Circuito equivalente de una Línea de transmisión de longitud corto, en la práctica también se busca un circuito balanceado y es por eso por lo que para obtener dicho diagrama se forma un bucle puenteando las tres fases de la línea eléctrica y en un extremo se inyecta tensión y corriente y así poder hallar los valores de resistencia eléctrica de cada fase.

## **2.2 Descripción de las acciones, metodología y procedimiento los que se recorrió para resolver la situación profesional objeto del informe**

### **2.2.1. Descripción del Sistema Eléctrico.**

El sistema Eléctrico de la Línea de Transmisión de 60 kV tiene como punto de partida la subestación de Papujune, del cual sale el primer alimentador L1/4330-LA-001 y tiene como llegada el Pórtico del área 3000 (Cortadera), de dicho pórtico inician los alimentadores L2 Y L3, la línea L4 estará interconectada en la estructura LT3-10.

En la Tabla 1, se podrá apreciar los alimentadores de todo el sistema

eléctrico de la línea de Transmisión de 60 kV, en el cual se detallará sus longitudes y tipos de configuración definidas en la ingeniería básica.

**Tabla 1**

*Descripción de los alimentadores de la línea de transmisión de 60 kV*

<b>Circuitos</b>	<b>Longitud (km)</b>	<b>Tipos de Configuración</b>
Línea LT1: desde S/E Papujune a S/E Intermedia	6.22	Simple terna con estructuras de celosía en configuración triangular de 19 m de altura, con conductor de aluminio tipo AAAC (Cairo) y cable de guarda tipo OPGW de 96 fibras.
Línea LT2 desde S/E Intermedia a Ciclones	1.45	Simple terna con estructuras de celosía en configuración triangular de 19 m de altura, con conductor de aluminio tipo AAAC (Cairo) y cable de guarda tipo OPGW de 96 fibras.
Línea LT3 desde S/E Intermedia a Torres de Captación	3.58	Donde terna con estructuras de celosía en configuración vertical de 22.5 m de altura, con conductor de aluminio tipo AAAC (Cairo) y cable de guarda tipo OPGW de 96 fibras.
Línea LT4: desde Punto de Empalme LT3 a S/E Dren	2.14	Simple terna con estructuras de celosía en configuración triangular de 19 m de altura, con conductor de aluminio tipo AAAC (Cairo) y cable de guarda tipo OPGW de 96 fibras.

### **2.2.2. Metodología de prueba para líneas de transmisión en 60 kV.**

A continuación, se describen la metodología y procedimientos a los que se recurrió para obtener los valores de las pruebas de parámetros eléctricos de cada alimentador.

### **2.2.2.1. Relación De Equipos.**

A continuación, se describirá los equipos que se emplearon para realizar las pruebas de parámetros eléctricos de la Línea de Transmisión de 60 kV:

- Primeramente, haremos uso de un grupo electrógeno monofásico de 220 VAC (figura 2.) para alimentar de energía al Equipo CPC 100 y CP. CU1.
- Haremos uso del equipo CPC 100 (Figura 3.) para la medición de parámetros eléctricos, este equipo cuenta con una pantalla digital para poder realizar las configuraciones necesarias para realizar las pruebas deseadas, este equipo también cuenta con un fusible de 3.15 amperios para proteger de sobre cargas al equipo. (figura 3,4 y 5)
- Se usara el equipo CP CU1 que es una unidad de acoplamiento con el Equipo CPC 100 para realizar las pruebas en las Redes Eléctricas, este equipo consta de un fusible de 30 amperios para proteger de sobre cargas al equipo. (figura 7.)
- Haremos uso de la Caja de conexionado a tierra CP. GB1 (Figura 8) para que pueda transmitir la corriente de retorno de la línea hacia el Equipo CPC 100 y así se puedan evaluar los parámetros de la línea; esta caja de conexionada cuenta con 3 bobinas para proteger de sobre tensión de la línea.
- Haremos uso de un Megóhmetro (Figura 10.) para determinar el aislamiento de todos los alimentadores (LT1, LT2, LT3 y LT4) y así poder verificar el correcto estado de los conductores en todo el recorrido de la red de trasmisión.
- El acoplamiento del equipo CPC 100 y CP CU1 nos brindaran los parámetros:
  - Resistencia Eléctrica de la línea
  - Impedancia Positiva de la línea
  - Impedancia Homopolar de la línea

- Impedancia Propia y Mutua línea

Todos estos parámetros se almacenan en la memoria del Equipo CPC 100 y luego podremos evaluarlas en una computadora portátil.

- Radio de comunicación.
- Termómetro digital de 0° a 50 °C.

A continuación, se mostrará los equipos usados:

### Figura 2

*Generador eléctrico monofásico*

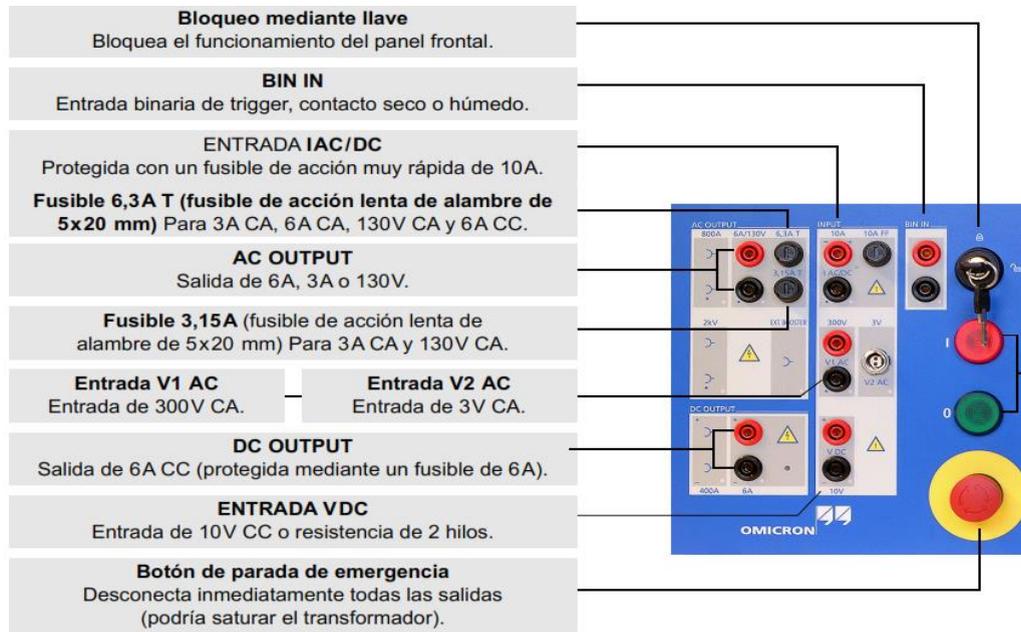


*Nota: Honda, 2022*

- Características del Generador eléctrico:
  - Modelo de Generador: EG 6500 CX
  - Frecuencia AC: 60 hz
  - Voltaje AC: 120 V / 240 V
  - Potencia nominal: 5.5 KVA (5500 watts)
  - Potencia máxima AC: 6.5 KVA (6500 watts)
  - Salida de DC: 12 V – 8.3 A
  - Dimensiones: 850 x 510 x 540 mm
  - Peso en Seco: 89 kg / 196 lb
  - Motor modelo: GX 390 (11.6 hp)

**Figura 3**

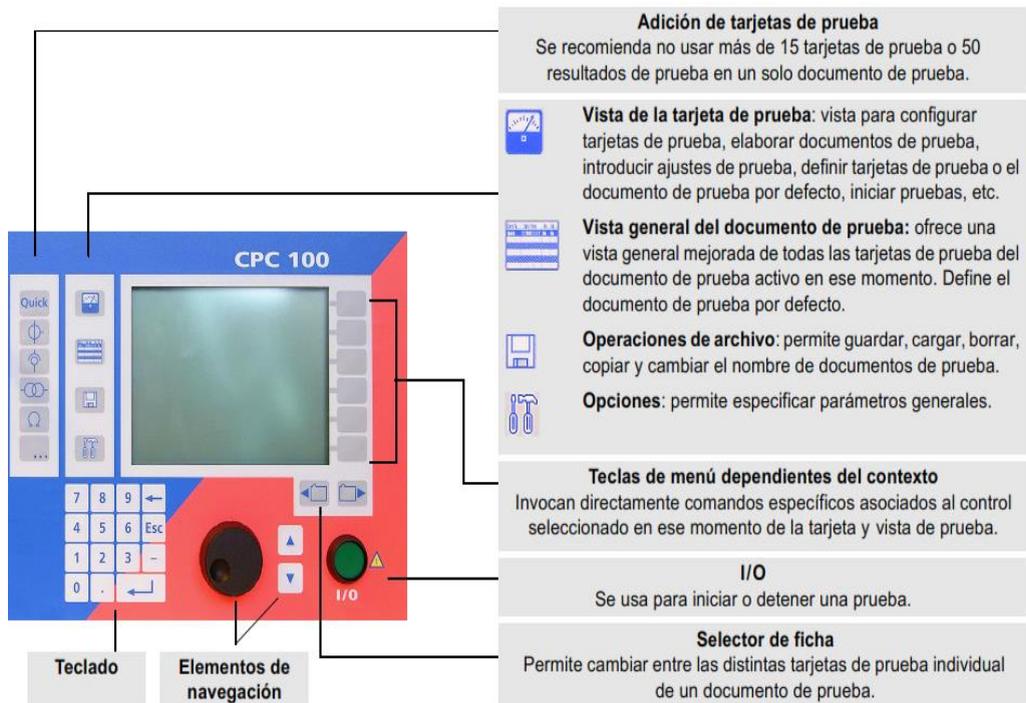
*Equipo Omicron CPC 100 lado A*



*Nota: Omicron, 2020*

**Figura 4**

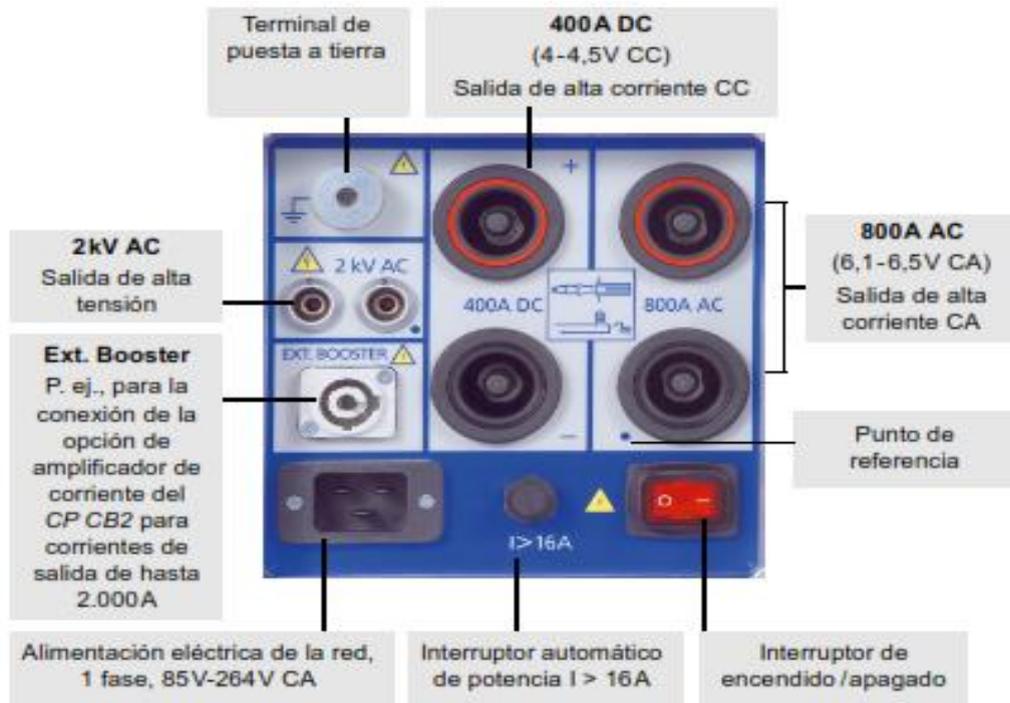
*Equipo Omicron CPC 100 lado B*



*Nota: Omicron, 2020*

**Figura 5**

*Equipo Omicron CPC 100 parte lateral izquierdo*

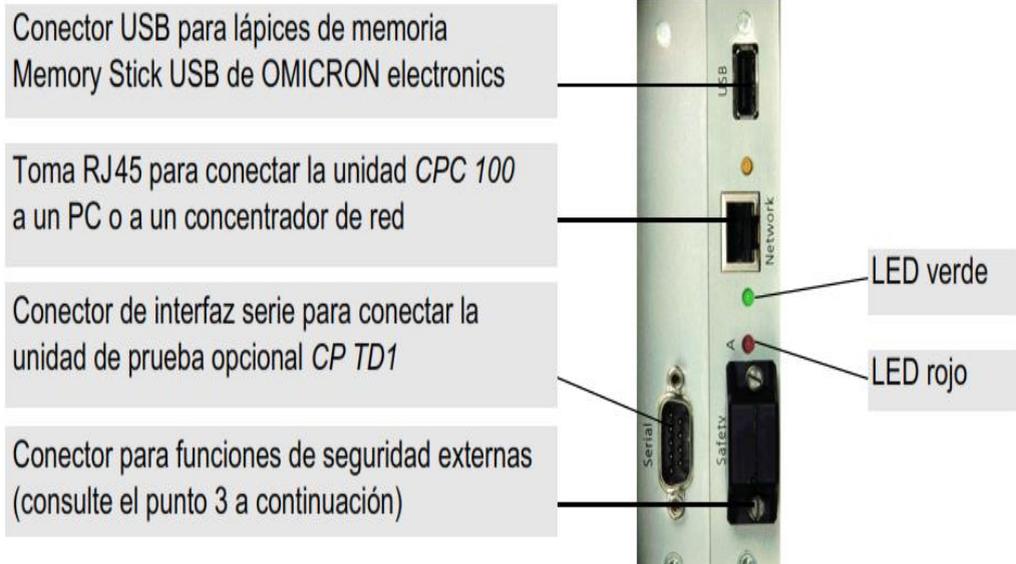


*Nota: Omicron, 2020*

**Figura 6**

*Equipo Omicron CPC 100 parte lateral derecho*

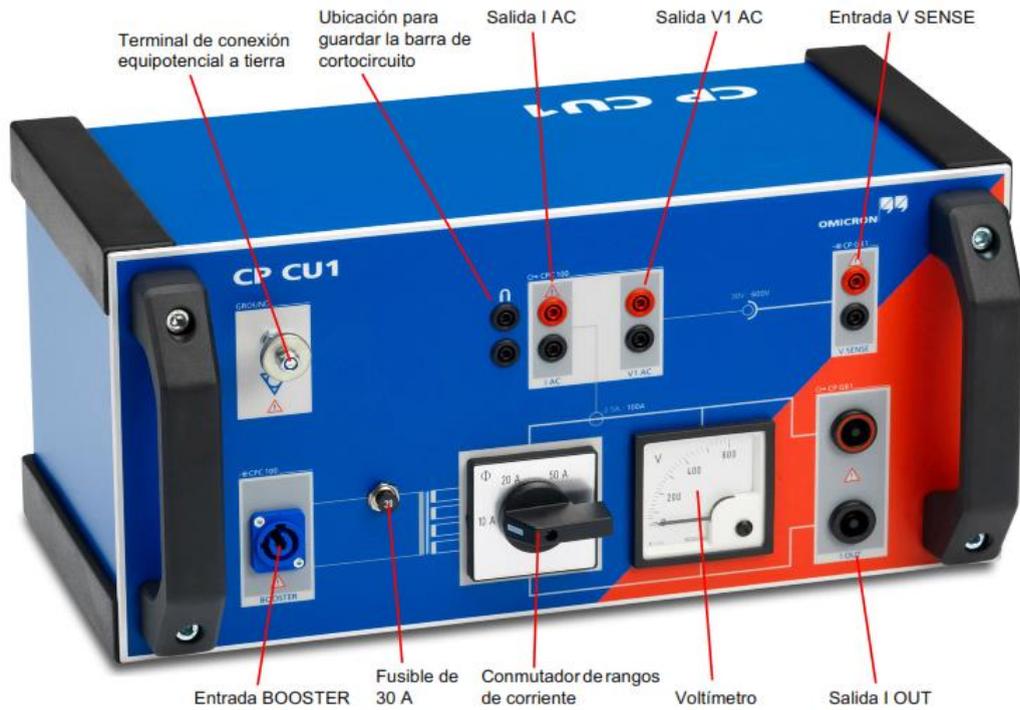
### Interfaces ePC<sup>1</sup>



*Nota: Omicron, 2020*

**Figura 7**

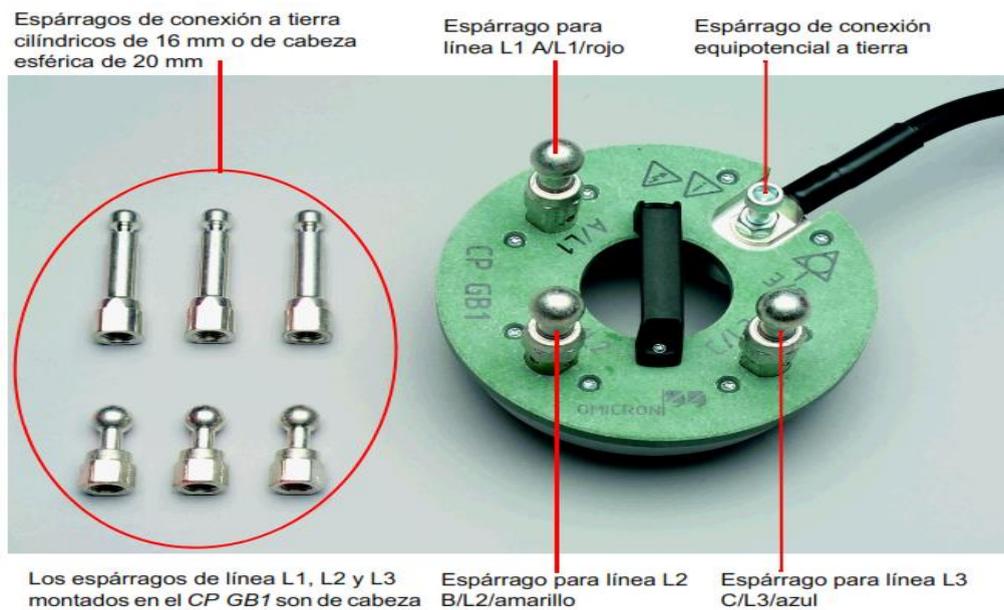
*Equipo Omicron CP CUI*



*Nota:* Omicron, 2020

**Figura 8**

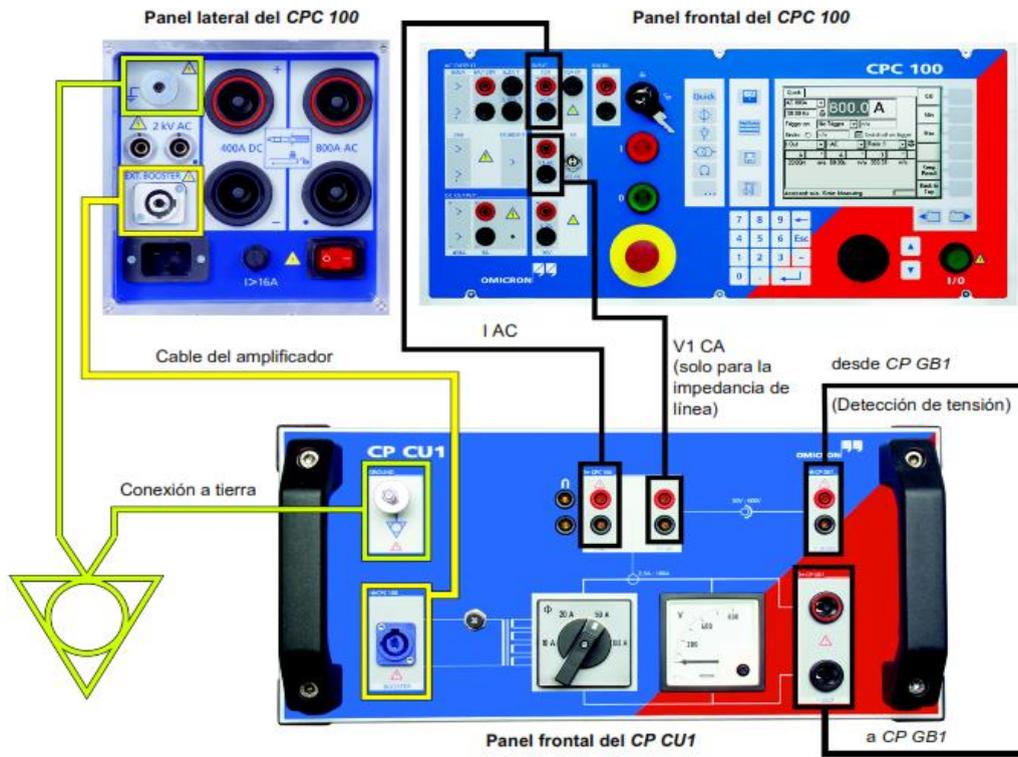
*Caja de conexionado a tierra CP. GB1*



*Nota:* Omicron, 2020

**Figura 9**

*Conexión de acoplamiento de equipo Omicron CPC 100 y CP. CU1*



*Nota:* Omicron, 2020

**Figura 10**

*Megóhmetro analógico megabras Mi20kVe*



*Nota:* Megabras, 2021

### **2.2.3. Pruebas para ejecutar.**

Previo a las pruebas a realizar se evaluará el estado de clima y el entorno del trabajo para la protección del personal y equipos a utilizar, por protección del personal y equipos por descargas atmosféricas durante estas pruebas se mantuvo en constante comunicación con el centro meteorológico de la empresa.

#### ***2.2.3.1. Medida de la resistencia dieléctrica entre conductores R, S y T.***

Se identificará la continuidad de las fases para eso se medirá la resistencia dieléctrica de las fases R-S y T individualmente hacia tierra, se obtendrá valores de cero Ohmios. Esta prueba se realizará con un Megóhmetro.

Primeramente, mediremos la resistencia Dieléctrica de las fases R, S y T contra TIERRA y se evaluara que los tres valores obtenidos sean casi similares en magnitud.

Luego procederemos a medir la resistencia dieléctrica entre las fases (R-S, R-T, S-T), para poder detectar una confiable medición, se observará que los valores obtenidos de la medición son superiores a las pruebas iniciales.

#### ***2.2.3.2. Medida de la resistencia eléctrica de los conductores de fase.***

Mediremos la resistencia eléctrica de las fases R, S y T del alimentador (inicio y final del conductor eléctrico), para esta prueba haremos uso del Equipo CPC100 el cual será alimentado de energía con un grupo electrógeno monofásico de 220 V en AC, El equipo CPC 100 inyectará una corriente continua de 6 Amp, el equipo medirá los valores de resistencia en DC.

Uno de los principios fundamentales de esta prueba es verificar que los valores medidos tienen relación con los valores teóricos, lo permisible de la diferencia

entre los valores teóricos y el de la medición con el equipo CPC100 no deben ser mayores al 5 %. Por exigencia del cliente (AngloAmerican) también nos pide respetar esa diferencia del valor porcentual antes mencionado.

En el final de la línea se procederá a cortocircuitar las tres fases (R, S y T) hacia Tierra, creando un bucle entre las. En el inicio de la línea se conectará los cables auxiliares del Equipo CPC 100 a las fases correspondientes.

#### ***2.2.3.3. Medición de la impedancia directa.***

Para esta prueba se hará el acoplamiento del Equipo CPC 100 y CP CU1 el primero será alimentado de energía con un grupo electrógeno monofásico de 220 V en AC.

En el final de la línea se procederá a cortocircuitar las tres fases (R, S y T) hacia Tierra, creando un bucle entre las. En el inicio de la línea se conectará los cables auxiliares del Equipo CPC 100.

Se reportarán tres mediciones en esta prueba (R-S, S-T y T-R); el Equipo CPC 100 nos brindara los valores de corriente, tensión y ángulo de desfasaje. Con el desfase reportado, podremos tener la impedancia resistiva y reactiva inductiva.

#### ***2.2.3.4. Medida de la impedancia homopolar.***

Para esta prueba también se hará el acoplamiento del Equipo CPC 100 y CP CU1 el primero será alimentado de energía con un grupo electrógeno monofásico de 220 V en AC.

Se procederá a cortocircuitar las fases (R, S y T) al inicio y final de la línea eléctrica, uno de los extremos será referido a TIERRA y el otro extremo a la Caja de conexionado a tierra CP. GB1.

De igual manera en esta prueba inyectaremos 10 amperios a la línea y para

que el equipo CPC 100 censara la corriente de retorno a través de la Caja de conexionado a tierra CP. GB1 donde están conectados los cables auxiliares del equipo.

#### ***2.2.3.5. Medición de la impedancia mutua y propia.***

Para esta prueba también se hará el acoplamiento del Equipo CPC 100 y CP CU1 el primero será alimentado de energía con un grupo electrógeno monofásico de 220 V en AC.

Se procederá a cortocircuitar en un extremo de la línea las fases (R, S y T) y referidas a tierra y en el otro extremo se conectará individualmente una fase a la Caja de conexionado CP. GB1 hasta concluir con las tres fases.

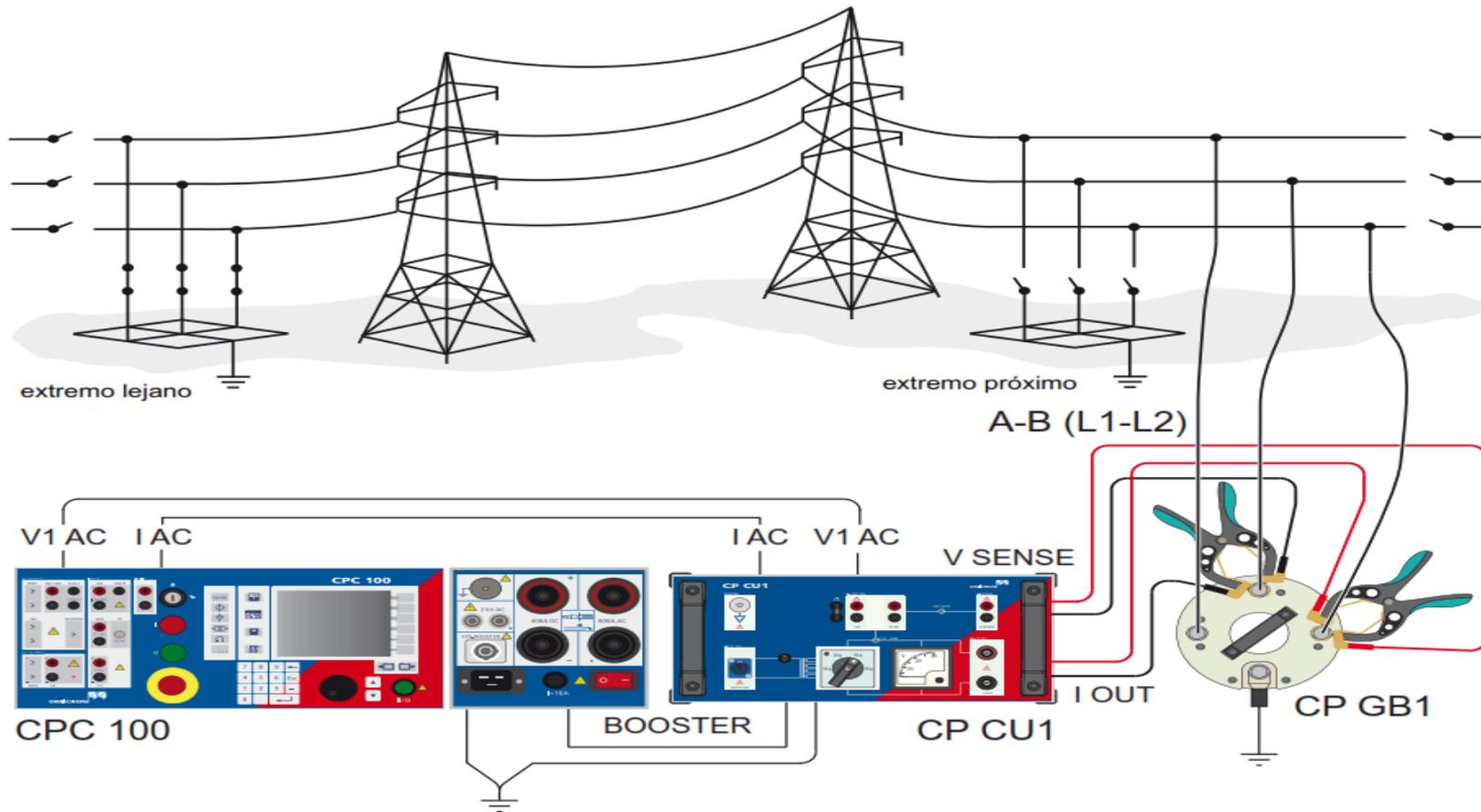
De igual manera en esta prueba inyectaremos 10 amperios a la línea y para que el equipo CPC 100 censara la corriente de retorno a través de la Caja de conexionado a tierra CP. GB1 donde están conectados los cables auxiliares del equipo.

A continuación, se mostrará esquemas de conexionado en la Línea de Transmisión de 60 kV para poder determinar los siguientes parámetros eléctricos:

- Resistencia Dieléctrica.
- Resistencia Eléctrica de los conductores.
- Impedancia Directa o Secuencia Positiva.
- Impedancia Homopolar o Secuencia Cero.
- Impedancia Mutua y Propia.

Figura 11

Conexión global para la Impedancia de Línea



Nota: Omicron, 2020

Figura 12

Prueba de identificación de Fase

**PRUEBA DE IDENTIFICACIÓN DE FASES  
(ESQUEMA DE CONEXIONADO)**

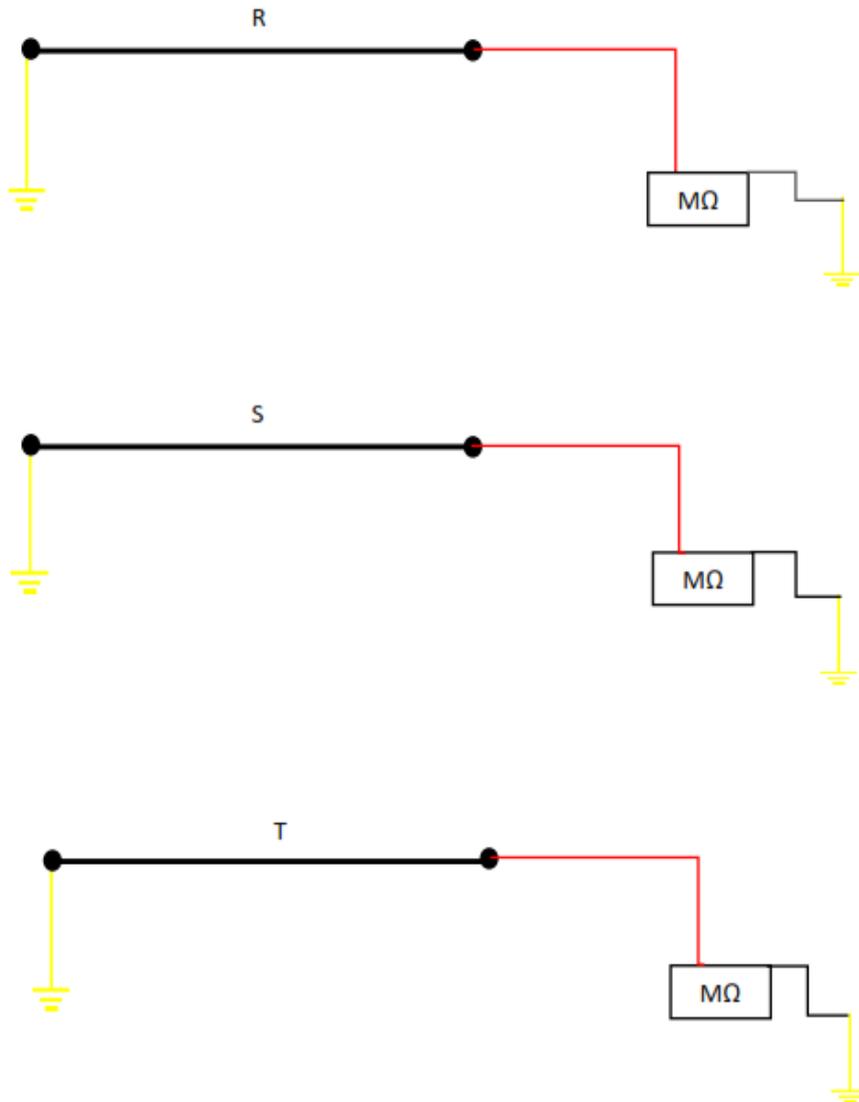


Figura 13

Prueba de aislamiento N°1

**PRUEBA N° 1 AISLAMIENTO DE FASE-TIERRA Y FASE-FASE  
(ESQUEMA DE CONEXIONADO)**

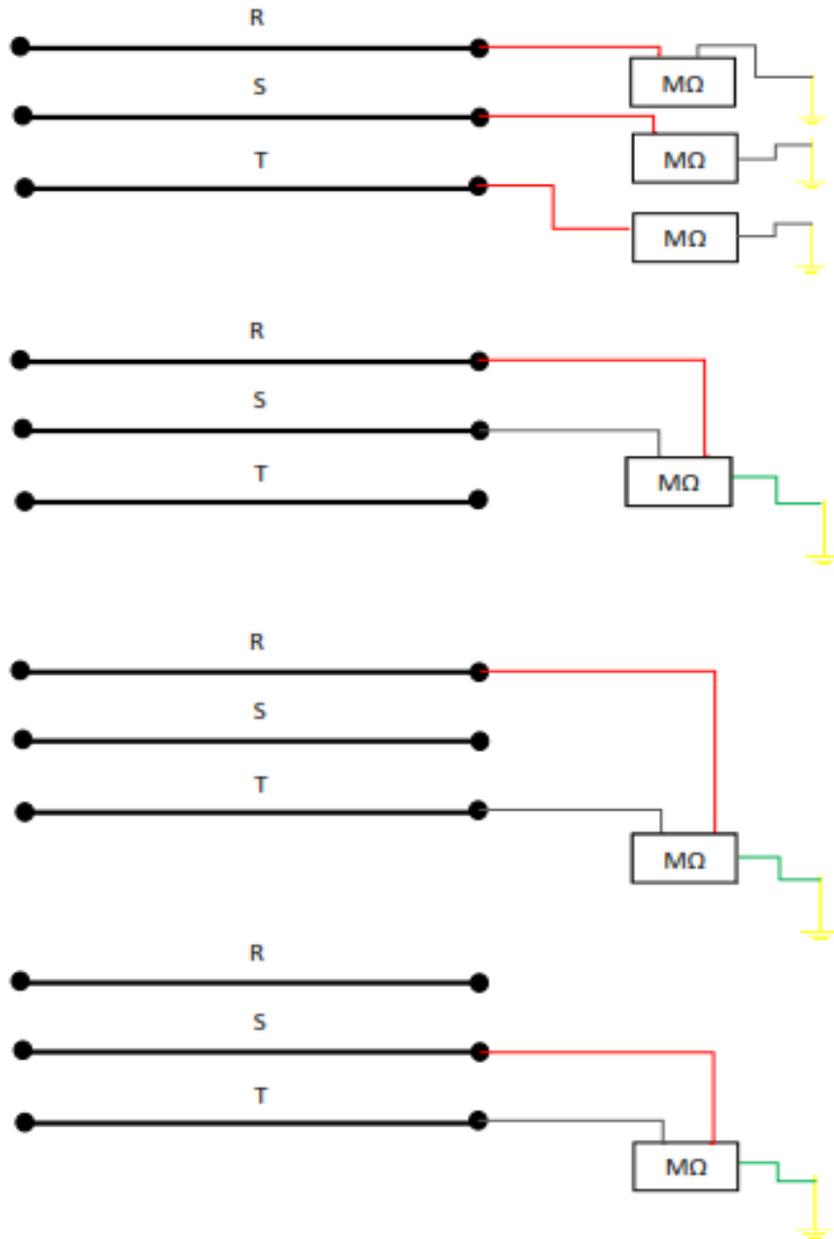


Figura 14

Prueba de resistencia eléctrica de conductores N°2

**PRUEBA N° 2 RESISTENCIA ELÉCTRICA DEL CONDUCTOR  
(ESQUEMA DE CONEXIONADO)**

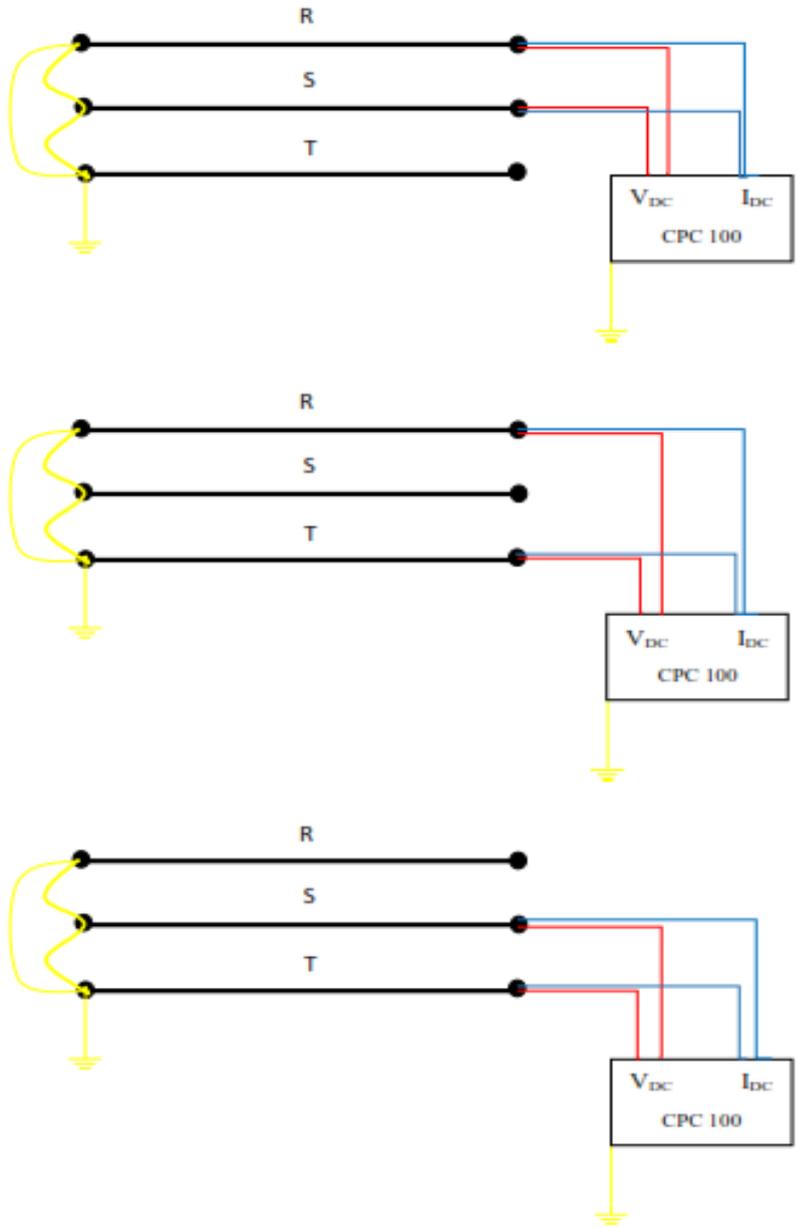
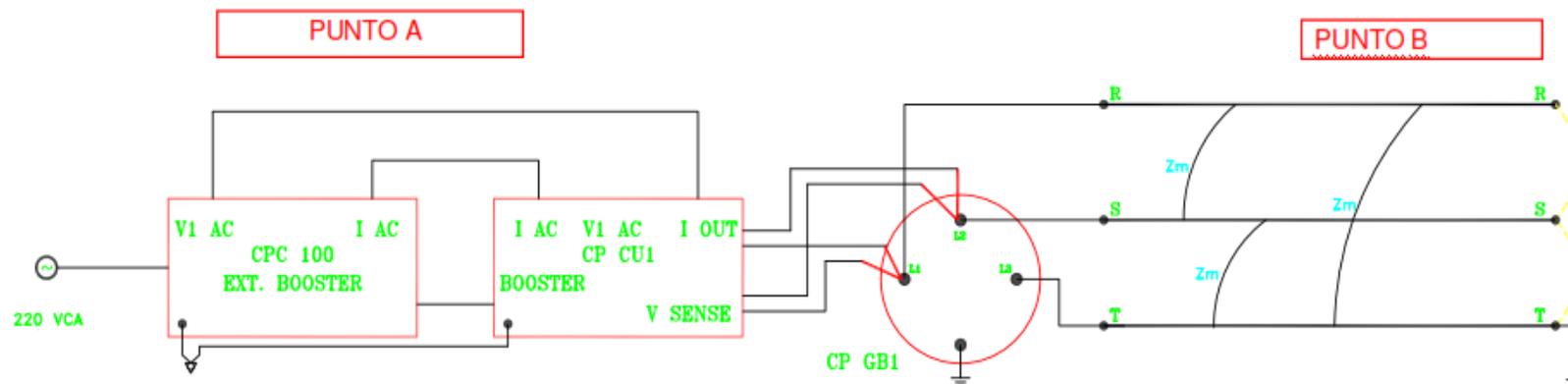


Figura 15

Prueba de medición de la impedancia de secuencia positiva N° 3 fase R-S

PRUEBA N°3  
MEDICION DE LA IMPEDANCIA DE SECUENCIA POSITIVA  
ESQUEMA DE MEDICION PARA FASES R - S

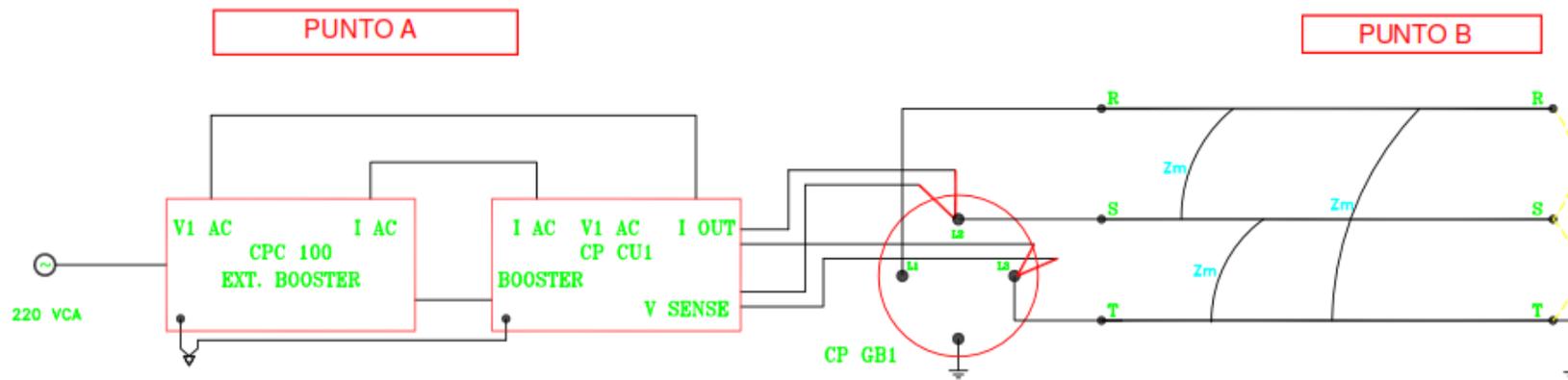


Nota: Copemi Sac. Constructores, 2021

Figura 16

Prueba de medición de la impedancia de secuencia positiva N° 3 fase S-T

PRUEBA N°3  
MEDICION DE LA IMPEDANCIA DE SECUENCIA POSITIVA  
ESQUEMA DE MEDICION PARA FASES S - T

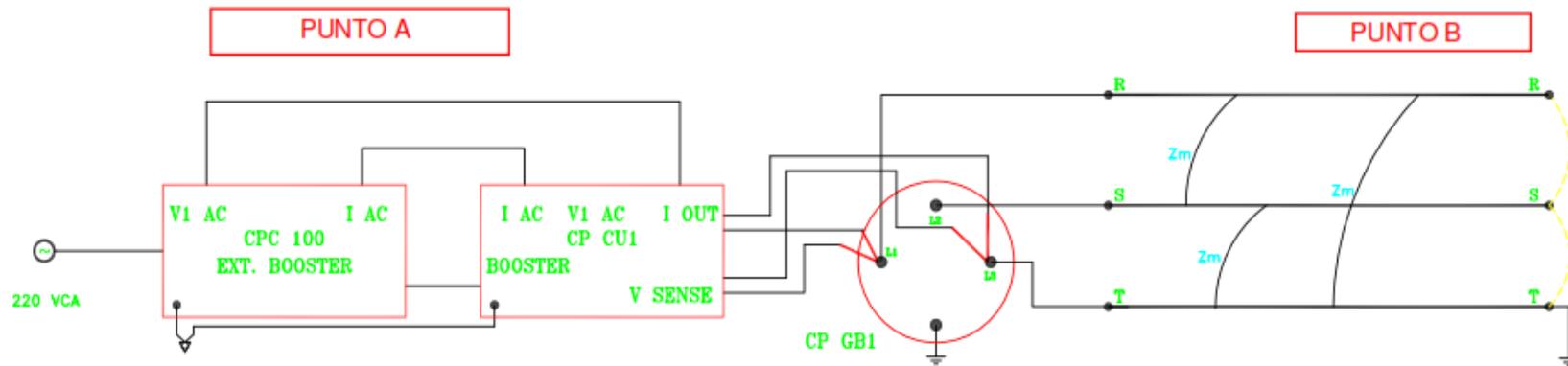


Nota: Copemi Sac. Constructores, 2021

Figura 17

Prueba de medición de la impedancia de secuencia positiva N° 3 fase R-T

PRUEBA N°3  
MEDICION DE LA IMPEDANCIA DE SECUENCIA POSITIVA  
ESQUEMA DE MEDICION PARA FASES R - T

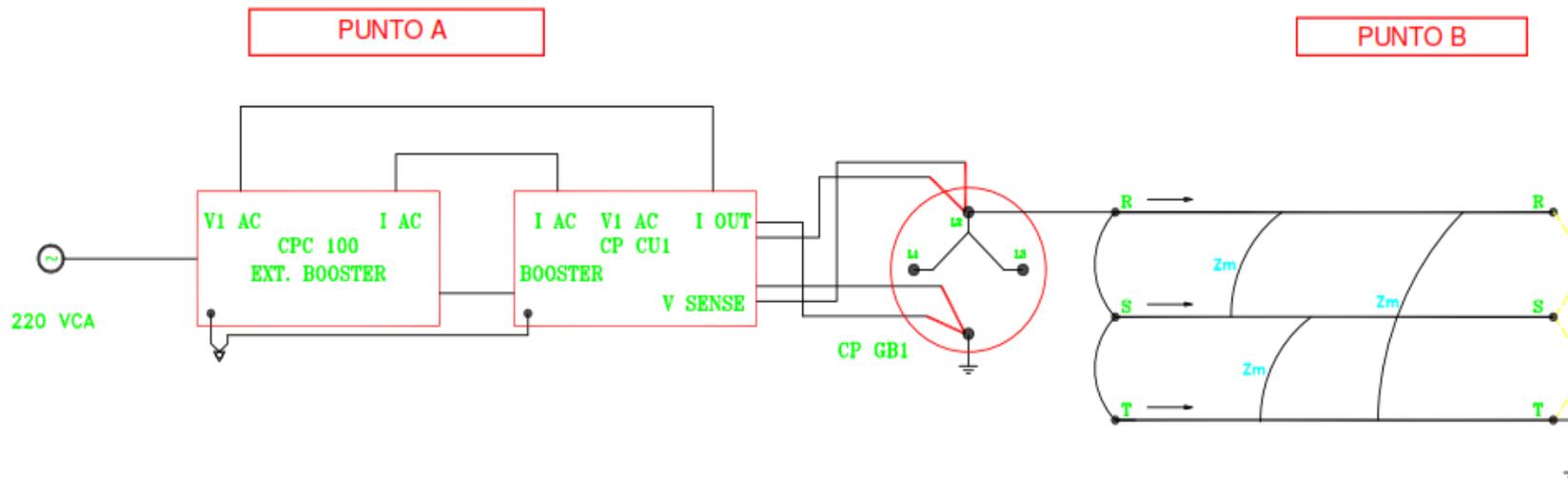


Nota: Copemi Sac. Constructores, 2021

Figura 18

Prueba de medición de la impedancia homopolar N° 4

PRUEBA N°4  
MEDICION DE LA IMPEDANCIA HOMOPOLAR  
ESQUEMA DE MEDICION

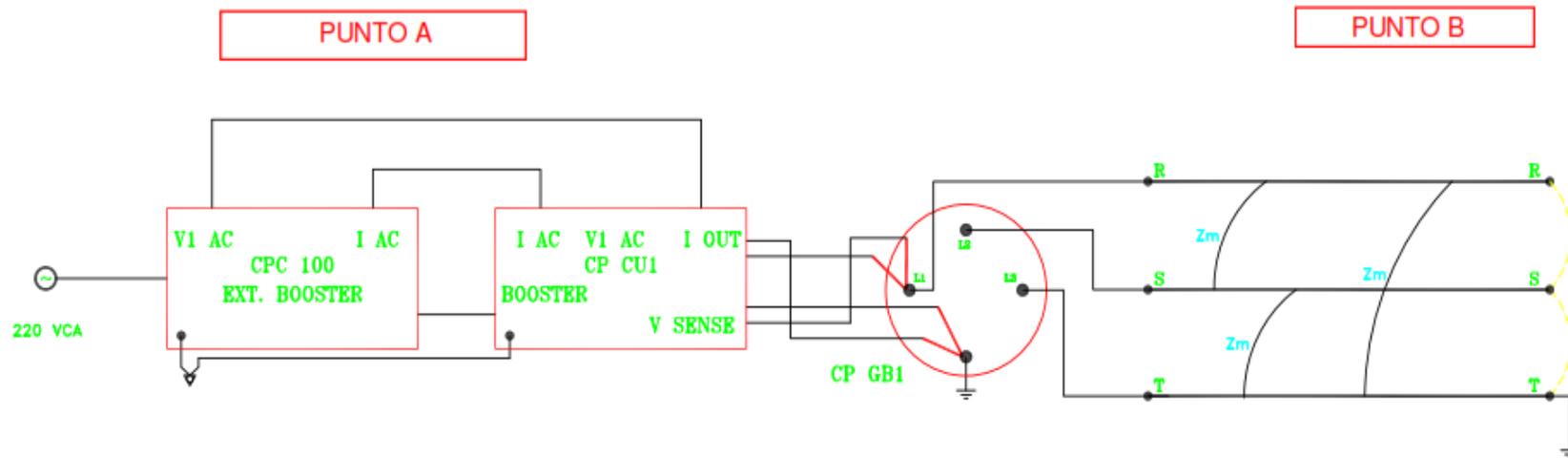


Nota: Copemi Sac. Constructores, 2021

Figura 19

Prueba de medición de la impedancia propia y mutua N° 5 fase R

PRUEBA N°5  
MEDICION DE LA IMPEDANCIA PROPIA Y MUTUA  
ESQUEMA DE MEDICION PARA LA FASE R

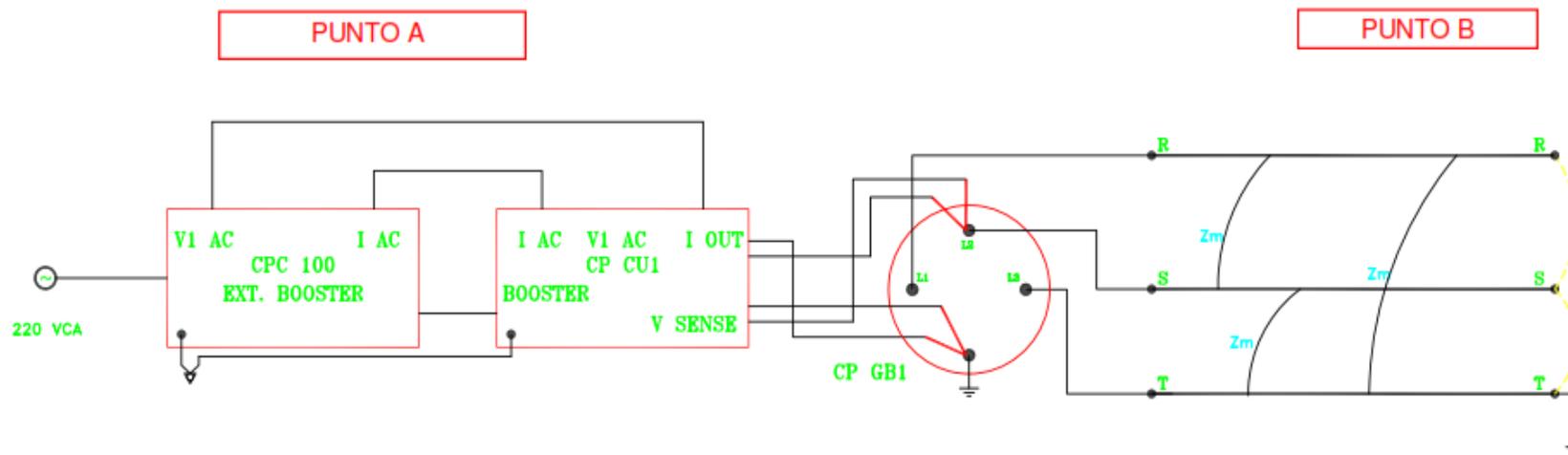


Nota: Copemi Sac. Constructores, 2021

Figura 20

Prueba de medición de la impedancia propia y mutua N° 5 fase S

PRUEBA N°5  
MEDICION DE LA IMPEDANCIA PROPIA Y MUTUA  
ESQUEMA DE MEDICION PARA LA FASE S

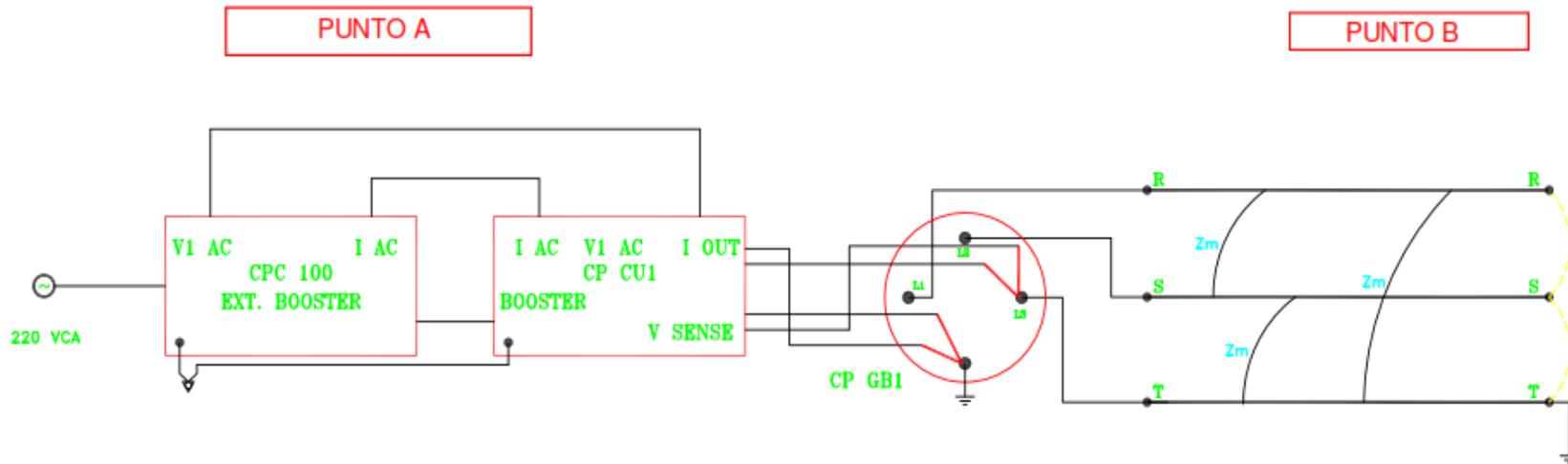


Nota: Copemi Sac. Constructores, 2021

Figura 21

Prueba de medición de la impedancia propia y mutua N° 5 fase T

PRUEBA N°5  
MEDICION DE LA IMPEDANCIA PROPIA Y MUTUA  
ESQUEMA DE MEDICION PARA LA FASE T



Nota: Copemi Sac. Constructores, 2021

#### **2.2.4. Protocolo de cálculos de parámetros eléctricos de la línea de 60 Kv.**

En este punto del informe se describirán los valores eléctricos que se encontraron al realizar los conexiones en los alimentadores LT1, LT2 (21/22), LT3 Y LT4, también se realizara la comparación Teórica y el calculado por el equipo de Pruebas Omicron CPC 100 Y CP. CU1.

##### ***2.2.4.1. Identificación de fases del Alimentador I1/4330-la-001.***

- Características:

- Línea: L1/4330-LA-001
- Nivel: 60 kV
- Tramo:LT1(Pórtico 3000) – LT1 (Pórtico 4000)
- Fecha: 29/04/2021

*a. Procedimiento (figura 12).*

- Procedemos a medir la resistencia dieléctrica de las fases (R, S y T) aterrizadas a TIERRA individualmente.
- En el final de la línea se asegurará que la línea a probar haga buen contacto con tierra.
- En el punto de medición se conectará los cables auxiliares del megóhmetro a una de las fases.
- Se logrará un valor de aislamiento similar a cero megohmios.
- Realizaremos la medición de las demás fases siguiendo los pasos anteriores.

*b. Resultados de medición.*

**Tabla 2**

*Resultados de medición de identificación de fases II/4330-la-001*

<b>Número de pruebas</b>	<b>Fases</b>	<b>Resistencia (kilo-ohmios)</b>	<b>Tensión Aplicada (kilovoltios)</b>	<b>Tiempo de Aplicación (Segundos)</b>	<b>Observaciones</b>
1	R	0	15.0	60	Ninguno
2	S	0	15.0	60	Ninguno
3	T	0	15.0	60	Ninguno

*c. Condiciones ambientales.*

- Temperatura inicial: 23 °C
- Temperatura final: 21 °C
- Estado del clima en la zona: Soleado

*d. Equipo de pruebas.*

- Analizador de Nivel de Aislamiento:
  - Marca: MEGABRAS
  - Modelo: Mi20kVe
  - Serie : 14E0901

*e. Comentarios.*

El dato obtenido de la resistencia de aislamiento tiene una tendencia al valor cero y para esta prueba se considera aceptable.

#### 2.2.4.2. Resistencia de aislamiento de fase-fase y fase- tierra del l1/4330-la-001

- Características:

- Línea: L1/4330-LA-001
- Nivel: 60kv
- Tramo:LT1(Pórtico 3000) – LT1 (Pórtico 4000)
- Fecha: 29/04/2021

a. Procedimiento: (figura 13).

- Para realizar la medición de aislamiento de las fases (R, S y T) con TIERRA, se conectará cada fase de manera individual hacia tierra, y en el punto de medición conectaremos los cables auxiliares del Megóhmetro a una de las fases.
- Para realizar la medición de aislamiento entre- fases (R-S, S-T y R-T) conectaremos los cables auxiliares del Megóhmetro en dos fases.

b. Resultados de medición.

**Tabla 3**

*Resultados de medición de aislamiento de fase-fase y fase-tierra l1/4330-la-001*

Número de pruebas	Fases	Resistencia (giga ohmios)	Tensión Aplicada (kilovoltio)	Tiempo de aplicación (segundos)	Observación
1	R-Tierra	12.3	15.0	60	Ninguno
2	S-Tierra	12.0	15.0	60	Ninguno
3	T-Tierra	13.1	15.0	60	Ninguno
4	R – S	125	15.0	60	Ninguno
5	S - T	122	15.0	60	Ninguno
6	T - R	124	15.0	60	Ninguno

*c. Condiciones ambientales.*

- Temperatura inicial: 23 °C
- Temperatura final: 21 °C
- Clima en la zona: Soleado

*d. Equipo pruebas utilizadas.*

- Analizador de Nivel de Aislamiento:
  - Marca: MEGABRAS
  - Modelo: Mi20kVe
  - Serie: 14E0901

*e. Comentarios*

Los valores obtenidos de las pruebas de megado de fase-fase y fase-tierra están en el rango de gigahonmios, de esto podemos decir que las magnitudes son correctas.

**2.2.4.3. Resistencia eléctrica de conductor l1/4330-la-001**

- Características:
  - Línea: L1/4330-LA-001
  - Nivel: 60kv
  - Tramo:LT1(Pórtico 3000) – LT1 (Pórtico 4000)
  - Fecha: 29/04/2021

*a. Procedimiento (figura 14).*

- Procedemos a cortocircuitar en el final de la línea lo cual generara un bucle entre las tres fases y las derivaremos a tierra.

- En el punto de medición de la línea, conectaremos los cables auxiliares del Equipo CPC 100 a las fases respectivas.
- Con el Equipo CPC 100 aplicaremos una corriente de prueba de 6 amperios a las dos primeras fases según el requerimiento que se desea.
- Para obtener los valores restantes de las fases, debemos conmutar los cables auxiliares en la línea, verificar que los valores de la prueba sean próximos a los valores teóricos de los conductores.

*b. Valores teóricos.*

- Tipo de conductor: AAAC 465.4 MCM
- Sección del conductor: 236 mm<sup>2</sup>
- Longitud de línea: 6.533 Km
- Resistencia c.c. @ 20°C: 0.1417 Ohm/Km
- Longitud de circuito: 6.533 Km
- Resistencia total @ 20 °C (Rt): 0.926 Ohmios
- Factor de corrección por temp. ( $k = 1 + 0.0036 * (tm - 20)$ ): 1.0072
- Temperatura medida ( $tm = (tinicial + tfinal) / 2$ ) : 22 °C
- Resistencia corregida @ 22°C ( $Rc = Rt * k$ ) : 0.932  $\Omega$

*c. Resultado de mediciones (se adjunta reporte de pruebas).*

**Tabla 4**

*Resultado de medición de resistencia de conductor ll/4330-la-001*

Número de prueba	Conexión	Resistencia medida	Unidad
1	R - S	1.798	$\Omega$
2	S - T	1.789	$\Omega$
3	T - R	1.792	$\Omega$

- Valores:
  - Promedio (valor medido) = 1.793  $\Omega$
  - Valor teórico = 1.865  $\Omega$

*d. Condiciones ambientales.*

- Temperatura inicial: 23 °C
- Temperatura final: 21 °C
- Estado del clima en la zona: Soleado

*e. Equipo pruebas utilizado.*

- Analizador de parámetros eléctricos:
  - Marca: OMICRON
  - Modelo: CPC100
  - Serie: WB567F

*f. Comentarios.*

Los valores de resistencia obtenidos de las pruebas al alimentador 11/4330-la-001 son similares al valor teórico del conductor.

**2.2.4.4. Impedancia de secuencia positiva o directa 11/4330-la-001.**

- Características:
  - Línea: L1/4330-LA-001
  - Nivel: 60kv
  - Tramo:LT1(Pórtico 3000) – LT1 (Pórtico 4000)
  - Fecha: 22/09/2021

a. *Procedimiento (figura 15,16 y 17).*

- Procedemos a cortocircuitar las fases del final de línea y las derivaremos a tierra; al inicio de la línea se conectarán los cables auxiliares hacia la Caja de conexionado a tierra CP. GB1.
- El inicio de la línea será el punto de medición en el cual se conectarán dos fases hacia la Caja de conexionado a tierra CP GB1 quedando una fase libre.
- Con el Equipo CPC 100 inyectaremos una corriente de prueba de 10 amperios a las dos fases conectadas a la Caja de conexionado a tierra CP. GB1.
- Se obtendrán los valores restantes conmutando los cables auxiliares en las fases de la línea.

b. *Valores teóricos.*

- Resistencia de secuencia positiva (R): 0.888 ohm
- Reactancia de secuencia positiva (X): 2.979 ohm
- Impedancia de secuencia positiva (Z): 3.109 ohm.
- Ángulo de secuencia positiva ( $\Phi$ ) : 73.40 grados.

c. *Resultado de mediciones (se adjunta reporte de pruebas).*

**Tabla 5**

*Resultados de medición de impedancia de secuencia positiva II/4330-la-001*

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Medidos</b>	<b>Teóricos</b>
Resistencia	<b><math>R(\Omega)</math></b>	0.916	0.888
Reactancia	<b><math>X(\Omega)</math></b>	2.912	2.979
Impedancia	<b><math>Z(\Omega)</math></b>	3.053	3.109
Ángulo	<b><math>\emptyset(^{\circ})</math></b>	72.54	73.40

*d. Condiciones ambientales.*

- Temperatura inicial: 23 °C
- Temperatura final: 21 °C
- Estado del clima en la zona: Soleado

*e. Analizador de parámetros eléctricos.*

- Marca: OMICRON
- Modelo: CPC100
- Serie: WB567
- Marca: OMICRON
- Modelo: CP. CU1
- Serie: RH011M

*f. Verificación de la impedancia de secuencia positiva*

- Impedancia de secuencia positiva:

$$Z_1 = Z_p - Z_m$$

$$Z_1 = Z_p - (Z_m)$$

Donde:

$Z_p$ : Impedancia Propia

$Z_m$ : Impedancia mutua

*g. Valores calculados y medidos de impedancia de secuencia positiva.*

- Medido

$$Z_1 = 3.0527 \, \Omega$$

- Calculado

$$Z_1 = 3.0527 \Omega$$

*h. Comentarios y observaciones.*

Los resultados de impedancia medidos se compararon con las magnitudes teóricas de los parámetros eléctricos y se verificó que son similares.

Tomar en cuenta que siempre se debe verificar que los valores teóricos y los valores calculados deben ser similares.

**2.2.4.5. Impedancia homopolar o de secuencia cero l1/4330-la-001.**

- Características:

- Línea: L1/4330-LA-001
- Nivel: 60 kV
- Tramo: LT1 (Pórtico 3000) – LT1 (Pórtico 4000)
- Fecha: 22/09/2021

*a. Procedimiento (figura 19).*

- Para esta prueba, procederemos a cortocircuitar el inicio y fin de línea, el fin de línea que está en cortocircuito la derivaremos a TIERRA.
- En el inicio de línea, donde será el punto de medición conectaremos cables auxiliares y derivaremos las tres fases conectadas hacia la caja de conexión CP GB1.
- Con el Equipo CPC 100 procederemos a inyectar una corriente de 10 amp hacia la línea.
- El equipo CPC 100 censará el retorno de la corriente a través de la caja de

conexionado CP GB1 y se podrá apreciar los valores en la pantalla del equipo.

*b. Valores teóricos.*

- Resistencia de secuencia positiva (R): 2.092 ohm.
- Reactancia de secuencia positiva (X): 8.013 ohm.
- Impedancia de secuencia positiva (Z): 8.282 ohm.
- Ángulo de secuencia positiva ( $\Phi$ ) : 75.36 grados.

*c. Resultado de los parámetros medidos (se adjunta reporte de pruebas).*

**Tabla 6**

*Resultado de mediciones de impedancia homopolar I1/4330-la-001*

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Medidos</b>	<b>Teóricos</b>
Resistencia	<b><math>R(\Omega)</math></b>	4.109	2.092
Reactancia	<b><math>X(\Omega)</math></b>	8.245	8.013
Impedancia	<b><math>Z(\Omega)</math></b>	9.212	8.282
Ángulo	<b><math>\Phi(^{\circ})</math></b>	63.51	75.36

*d. Condiciones ambientales.*

- Temperatura inicial: 23 °C
- Temperatura final : 21 °C
- Estado del Clima: Soleado

*e. Analizador de parámetros eléctricos.*

- Marca:OMICRON
- Modelo: CPC100
- Serie: WB567
- Marca:OMICRON

- Modelo: CP. CU1
- Serie: RH011M

*f. Verificación de la impedancia homopolar.*

- Impedancia homopolar:

$$Z_0 = Z_p + 2(Z_m)$$

Donde:

$Z_p$ = Impedancia Propia

$Z_m$ = Impedancia mutua

*g. Valores medidos y calculados de Impedancia homopolar.*

- Medido
  - $Z_0 = 9.212 \Omega$
- Calculado
  - $Z_0 = 9.213 \Omega$

*h. Comentarios.*

Las pruebas realizadas nos muestran magnitudes similares a los parámetros eléctricos teóricos de Impedancia homopolar.

**2.2.4.6. Impedancia propia y mutua l1/4330-la-001.**

- Características:
  - Línea: L1/4330-LA-001
  - Nivel: 60 kV
  - Tramo: LT1(Pórtico 3000) – LT1 (Pórtico 4000)
  - Fecha: 22/09/2021

*a. Procedimiento (figura 19, 20 y 21).*

- Procedemos a cortocircuitar el final de la línea, creando un bucle en las tres fases y las derivamos a tierra.
- En el punto inicial de la línea, haremos la bajada de las tres fases del circuito mediante cables auxiliares.
- Conectaremos uno de los cables auxiliares de las fases a la caja de conexión CP GB1 y con el acoplamiento del Equipo CPC 100 y CP CU1 aplicaremos una corriente de 10 a la fase conectada.
- Procederemos a realizar la misma configuración antes mencionada y obtendremos los valores de medición de las fases restantes.

*b. Resultado de las pruebas (se adjunta reporte de pruebas).*

- Impedancia propia (Valores promedio medidos):
  - $R_p = 1.829 \Omega$
  - $X_p = 1.014 \Omega$
  - $Z_p = 2.091 \Omega$
- Impedancia mutua (Valores promedio medidos):
  - $R_m = 1.829 \Omega$
  - $X_m = 1.014 \Omega$
  - $Z_m = 2.091 \Omega$

*c. Condiciones ambientales.*

- Temperatura inicial: 23 °C
- Temperatura final: 21 °C
- Estado del clima en la zona: Soleado

*d. Analizador de parámetros eléctricos.*

- Marca: OMICRON
- Modelo: CPC100
- Serie: WB567
- Marca: OMICRON
- Modelo: CP. CU1
- Serie: RH011

*e. Verificación de la impedancia propia y mutua.*

- Impedancia propia:  $Z_p$

$$Z_p = \frac{Z_0 + 2(Z_1)}{3}$$

- Impedancia mutua:  $Z_m$

$$Z_m = \frac{Z_0 - (Z_1)}{3}$$

Donde:

$Z_1$ = Impedancia de secuencia positiva

$Z_0$ = Impedancia homopolar

*f. Impedancia Propia (Valores medidos y calculados).*

- Medido
  - $Z_p = 5.0907 \Omega$
- Calculado
  - $Z_p = 5.0908 \Omega$

*g. Impedancia Mutua (valores medidos y calculados).*

- Medido

- $Z_m = 2.0723 \Omega$

- Calculado

- $Z_m = 2.0718 \Omega$

*h. Comentarios y observaciones.*

Los resultados de las magnitudes de impedancia propia y mutua han sido verificados con las magnitudes teóricas de los parámetros de Impedancia y se ha encontrado que hay similitud en los valores.

Se hace menciona que esta alimentadora tuvo dificultad al realizar la medición de Impedancia a Tierra. Esté alimentador tiene como inicio en el pórtico del área 3000 (Papujune), perteneciente a la S.E. del proyecto y se extiende con una distancia de 6.533 km. Y concluye en el Pórtico del área 4000 (Cortadera).

El problema se suscita cuando se hace la medición de Impedancia a Tierra y se observa que en la pantalla digital del Equipo CPC100 valores negativos lo que da a concluir que el retorno de corriente era despreciable y no se producía.

Se tomó varias posibles causas del porque se obtenía esos valores, las posibles causas fueron las siguientes:

- Cables Auxiliares en mal estado.
- Bobinas del descargador de sobretensión del CP. GB1 en mal estado.
- Mal conexionado en las fases de la línea.
- Falso contacto de las pinzas auxiliares en las fases de la línea.
- Muy poco corriente inyectada a la línea.

- Equipo CPC100 y CP. CU1 sobrecargado.

Todas estas causas fueron revisadas minuciosamente y se encontraron en perfectas condiciones.

Ya que se vio que todas las causas posibles del problema estaban en perfectas condiciones, se tomó un enfoque diferente y se acudió a la teoría de la Impedanciaa Tierra y se observó que la corriente retorna al punto inyectado por tierra.

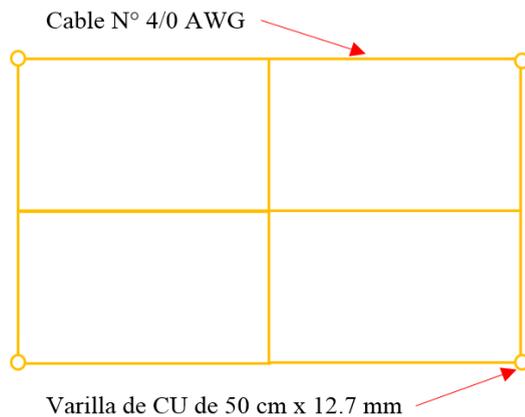
La corriente que retornaba por tierra tenía dificultades para poder encontrar el punto a tierra CP. GB1 del Equipo CPC100, esto se debía por el terreno accidentado por donde recorría el alimentador LT1 y la varilla de tierra instalada en el punto de medición era insuficiente para captar el retorno de la corriente.

Se procedió a realizar un sistema de malla en los puntos de medición (Pórtico LT1) Área 3000-Papujune y en el punto final (Pórtico LT1) Área 4000-Cortadera.

Este sistema de malla tenía las proporciones de un cuadrado con las dimensiones de 4x4 m y en su interior se dividía en dos secciones creando 4 cuadrados de 2x2 m el material usada era cobre desnudo de 4/0 AWG, también estaba compuesta por cuatro varillas de cobre, cada una media 50 centímetros de longitud y con una circunferencia de 12.7 mm y se incrusto a una profundidad de 30 cm quedando libre 20 cm al exterior. Fig.22

**Figura 22**

*Malla de puesta a tierra*



Al implementar estas mallas en los puntos antes mencionados se volvió a retomar las pruebas de la línea LT1 y al momento de inyectar la corriente de prueba en las fases, se observó en la pantalla digital del CPC100 que la corriente de ingreso era censada y de esta manera se dio la confiabilidad de que las mallas diseñadas estaban cumpliendo su función.

#### ***2.2.4.7. Identificación de fases del Alimentador l2/4320-la-022.***

- Características:

- Línea: L2/4320-LA-022
- Nivel: 60 kV
- Tramo: LT2- (S.E Estación Intermedia) Hacia LT2- (S.E Torre de Captación)
- Fecha: 29/09/2021

*a. Procedimiento (figura 12).*

- Procedemos a medir la resistencia dieléctrica de las fases (R, S y T) aterrizadas a TIERRA individualmente.

- En el final de la línea se asegurará que la línea a probar haga buen contacto con tierra.
- En el punto de medición se conectará los cables auxiliares del megóhmetro a una de las fases. Se logrará un valor de aislamiento similar a cero megohmios.
- Realizaremos la medición de las demás fases siguiendo los pasos anteriores.

*b. Resultados de medición.*

**Tabla 7**

*Resultados de medición de identificación de fases I2/4320-la-022*

Número de pruebas	Fases	Resistencia (kilo-ohmios)	Tensión aplicada (kilovoltio)	Tiempo de aplicación (segundos)	Observación
1	R	0	15.0	60	Ninguno
2	S	0	15.0	60	Ninguno
3	T	0	15.0	60	Ninguno

*c. Condiciones ambientales.*

- Temperatura inicial : 23 °C
- Temperatura final : 21 °C
- Estado del clima en la zona: Soleado

*d. Equipo prueba utilizado.*

- Analizador de Nivel de Aislamiento:
  - Marca: MEGABRAS
  - Modelo: Mi20kVe
  - Serie : 14E0901

*e. Comentarios y observaciones.*

Los datos obtenidos de la resistencia de aislamiento tienen una tendencia al valor cero y para esta prueba se considera aceptable.

**2.2.4.8. Resistencia de aislamiento de fase-fase y fase- tierra del l2/4320-la-022**

- Características: Fecha de prueba 29/09/2021

- Línea: L2/4320-LA-022
- Nivel: 60 kV
- Tramo:LT2- (S.E Estación Intermedia) Hacia LT2- (S.E Torre de Captación)

*a. Procedimiento (figura 13).*

- Para realizar la medición de aislamiento de las fases (R, S y T) con TIERRA, se conectará cada fase de manera individual hacia tierra, y en el punto de medición conectaremos los cables auxiliares del Megóhmetro a una de las fases.
- Para realizar la medición de aislamiento entre- fases (R-S, S-T y R-T) conectaremos los cables auxiliares del Megóhmetro en dos fases.

*b. Resultados de medición (se adjunta reporte de pruebas).*

**Tabla 8**

*Resultados de medición de aislamiento de fase- tierra l2/4320-la-022*

<b>Número de pruebas</b>	<b>Fases</b>	<b>Resistencia (megohmios)</b>	<b>Tensión Aplicada (kilovoltio)</b>	<b>Tiempo de Aplicación (segundos)</b>	<b>Observación</b>
1	R-Tierra	14.5	15.0	60	Ninguno
2	S-Tierra	14.1	15.0	60	Ninguno
3	T-Tierra	14.6	15.0	60	Ninguno

**Tabla 9**

*Resultados de medición de aislamiento de fase-fase l2/4320-la-022*

<b>Número de pruebas</b>	<b>Fases</b>	<b>Resistencia (megohmios)</b>	<b>Tensión Aplicada (kilovoltio)</b>	<b>Tiempo de Aplicación (segundos)</b>	<b>Observación</b>
1	R – S	129	15.0	60	Ninguno
2	S - T	134	15.0	60	Ninguno
3	T - R	136	15.0	60	Ninguno

*c. Condiciones ambientales.*

- Temperatura inicial: 23 °C
- Temperatura final: 21 °C
- Estado del clima en la zona: Soleado

*d. Equipo pruebas utilizadas.*

- Analizador de Nivel de Aislamiento
  - Marca: MEGABRAS
  - Modelo: Mi20kVe
  - Serie : 14E0901

*e. Comentarios.*

Los valores obtenidos de las pruebas de megado de fase-fase y fase-tierra están en el rango de gigahonmios, de esto podemos decir que las magnitudes son correctas.

**2.2.4.8. Resistencia eléctrica del conductor en el alimentador l2/4320-la-022.**

- Características:
  - Línea: L2/4320-LA-022

- Nivel: 60 kV
- Tramo: LT2- (S.E Estación Intermedia) Hacia LT2- (S.E Torre de Captación)
- Fecha: 29/09/2021

a. *Procedimiento (figura 14).*

- Procedemos a cortocircuitar en el final de la línea lo cual generara un bucle entre las tres fases y las derivaremos a tierra.
- En el punto de medición de la línea, conectaremos los cables auxiliares del Equipo CPC 100 a las fases respectivas.
- Con el Equipo CPC 100 aplicaremos una corriente de prueba de 6 amperios a las dos primeras fases según el requerimiento que se desea.
- Para obtener los valores restantes de las fases, debemos conmutar los cables auxiliares en la línea, verificar que los valores de la prueba sean próximos a los valores teóricos de los conductores.

b. *Valores teóricos.*

- Tipo de conductor: AAAC 465.4 MCM
- Sección del conductor: 236 mm<sup>2</sup>
- Longitud de línea: 1.525 Km
- Resistencia c.c. @ 20°C: 0.1417 Ohm/Km
- Longitud de circuito: 1.525 Km
- Resistencia total @ 20 °C (Rt): 0.216 Ohmios
- Factor de corrección por temp. ( $k = 1 + 0.0036 * (t_m - 20)$ ): 1.0072
- Temperatura medida ( $t_m = (t_{inicial} + t_{final}) / 2$ ): 22 °C

- Resistencia corregida @ 22 °C ( $R_c = R_t * k$ ): 0.218 Ohmios

c. *Resultado de mediciones (se adjunta reporte de pruebas).*

**Tabla 10**

*Resultado de mediciones de resistencia de conductor l2/4320-la-022*

Número de prueba	Conexión	Resistencia medida = $V/I$	Unidad
1	R - S	0.435	$\Omega$
2	S - T	0.432	$\Omega$
3	T - R	0.440	$\Omega$

- Valores:

- Promedio (valor medido) = 0.438  $\Omega$
- Valor teórico ( $2xRC$ ) = 0.435  $\Omega$

d. *Condiciones ambientales.*

- Temperatura inicial: 23 °C
- Temperatura final: 21 °C
- Estado del clima en la zona: Soleado

e. *Equipo pruebas utilizado.*

- Analizador de parámetros eléctricos:
  - Marca: OMICRON
  - Modelo: CPC100
  - Serie : WB567F

*f. Comentarios y observaciones.*

Los valores de resistencia eléctrica obtenidos de las pruebas al alimentador L2/4320-LA-022 son similares al valor teórico del conductor.

**2.2.4.9. Impedancia de secuencia positiva l2/4320-la-022.**

- Características:

- Línea: L2/4320-LA-022
- Nivel: 60 kV
- Tramo: LT2- (S.E Estación Intermedia) Hacia LT2- (S.E Torre de Captación)
- Fecha: 30/09/2021

*a. Procedimiento (figura 15,16 y 17).*

- Procedemos a cortocircuitar las fases del final de línea y las derivaremos a tierra; al inicio de la línea se conectarán los cables auxiliares hacia la Caja de conexionado a tierra CP. GB1.
- El inicio de la línea será el punto de medición en el cual se conectarán dos fases hacia la Caja de conexionado a tierra CP GB1 quedando una fase libre.
- Con el Equipo CPC 100 inyectaremos una corriente de prueba de 10 amperios a las dos fases conectadas a la Caja de conexionado a tierra CP. GB1.
- Se obtendrán los valores restantes conmutando los cables auxiliares en las fases de la línea.

*b. Valores teóricos.*

- Resistencia de secuencia positiva (R): 0.218 ohm
- Reactancia de secuencia positiva (X): 0.730 ohm

- Impedancia de secuencia positiva ( $Z$ ): 0.762 ohm.
- Ángulo de secuencia positiva ( $\Phi$ ) : 73.40 grados.

c. *Resultado de mediciones (se adjunta reporte de pruebas).*

**Tabla 11**

*Resultado de medición de impedancia de secuencia positiva I2/4320-la-022*

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Medidos</b>	<b>Teóricos</b>
Resistencia	$R(\Omega)$	0.282	0.218
Reactancia	$X(\Omega)$	0.683	0.730
Impedancia	$Z(\Omega)$	0.739	0.762
Ángulo	$\emptyset(^{\circ})$	67.56	73.40

d. *Condiciones ambientales.*

- Temperatura inicial: 23 °C
- Temperatura final: 21 °C
- Estado del clima en la zona: Soleado

e. *Equipo de pruebas utilizados.*

- Analizador de parámetros eléctricos:
  - Marca: OMICRON
  - Modelo: CPC100
  - Serie : WB567
  - Marca: OMICRON
  - Modelo: CP. CU1
  - Serie : RH011M

*f. Verificación de la impedancia de secuencia positiva*

- Impedancia de secuencia positiva:

$$Z_1 = Z_p - Z_m$$

$$Z_1 = Z_p - (Z_m)$$

Donde:

$Z_p$  = Impedancia propia.

$Z_m$  = Impedancia mutua.

*g. Valores calculados y medidos de impedancia de secuencia positiva*

- Calculado

a.  $Z_1 = 0.739 \Omega$

- Medido

•  $Z_1 = 0.739 \Omega$

*h. Comentarios y observaciones*

Los resultados de impedancia medidos se compararon con las magnitudes teóricas de los parámetros eléctricos y se verificó que son similares.

Tomar en cuenta que siempre se debe verificar que los valores teóricos y los valores calculados deben ser similares.

**2.2.4.10. Impedancia homopolar l2/4320-la-022.**

- Características:

- Línea: L2/4320-LA-022
- Nivel: 60 kV
- Tramo: LT2- (S.E Estación Intermedia) Hacia LT2- (S.E Torre de

Captación)

- Fecha: 30/09/2021

*a. Procedimiento (figura 18)*

- Para esta prueba, procederemos a cortocircuitar el inicio y fin de línea, el fin de línea que está en cortocircuito la derivaremos a TIERRA, debemos asegurarnos que la derivación a tierra este haciendo un buen contacto para que no se produzca un falso contacto y nos de valores erróneos en la prueba.
- En el inicio de línea, donde será el punto de medición conectaremos cables auxiliares y derivaremos las tres fases conectadas hacia la caja de conexionado CP GB1.
- Con el Equipo CPC 100 procederemos a inyectar una corriente de 10 amperios hacia la línea, debemos de mantener una distancia de 5 metros cuando se haya inyectado la corriente, esta recomendación la da el fabricante del Equipo CPC 100 para resguardar al operador del Equipo.
- El equipo CPC 100 censará el retorno de la corriente a través de la caja de conexionado CP GB1 y se podrá apreciar los valores en la pantalla del equipo, para una mejor visualización de los parámetros censados por el equipo es recomendable contar con un ordenador portátil.

*b. Valores teóricos.*

- Resistencia de secuencia positiva (R): 0.513 ohm.
- Reactancia de secuencia positiva (X): 1.965 ohm.
- Impedancia de secuencia positiva (Z): 2.031 ohm.
- Ángulo de secuencia positiva ( $\Phi$ ) : 75.36 grados.

c. Resultado de los parámetros medidos (se adjunta reporte de pruebas).

**Tabla 12**

Resultado de mediciones impedancia homopolar I2/4320-Ia-022

Parámetros	Unidad	Medidos	Teóricos
Resistencia	$R(\Omega)$	4.919	0.513
Reactancia	$X(\Omega)$	1.679	1.965
Impedancia	$Z(\Omega)$	5.197	2.031
Ángulo	$\emptyset(^{\circ})$	18.85	75.36

d. Condiciones ambientales.

- Temperatura inicial: 23 °C
- Temperatura final: 21 °C
- Estado del clima en la zona: Soleado

e. Equipo de pruebas utilizados.

- Analizador de parámetros eléctricos:
  - Marca: OMICRON
  - Modelo: CPC100
  - Serie : WB567
  - Marca: OMICRON
  - Modelo: CP. CU1
  - Serie : RH011

*f. Verificación de la impedancia homopolar.*

- Impedancia homopolar:

$$Z_0 = Z_p + 2(Z_m)$$

Donde:

$Z_p$ = Impedancia propia

$Z_m$ =Impedancia mutua

*g. Valores medidos y calculados de Impedancia homopolar.*

- Medido

- $Z_0 = 5.197 \Omega$

- Calculado

- $Z_0 = 5.199 \Omega$

*h. Comentarios.*

Las pruebas realizadas nos muestran magnitudes similares a los parámetros eléctricos teóricos de Impedancia homopolar.

Como este Alimentador era de doble circuito, se tuvo que poner a Tierra las fases del Alimentador L2/4320-LA-021, para que la línea no induzca tensión cuando se realice las pruebas y los valores no sean erróneos.

#### ***2.2.4.11. Impedancia propia y mutua l2/4320-la-022.***

- Características:

- Línea: L2/4320-LA-022
- Nivel: 60 kV
- Tramo: LT2- (S.E Estación Intermedia) / LT2-(S.E Torre de Captación)

- Fecha: 30/09/2021

*a. Procedimiento (figura 19,20 y 21)*

- Procedemos a cortocircuitar el final de la línea, creando un bucle en las tres fases y las derivamos a tierra.
- En el punto inicial de la línea, haremos la bajada de las tres fases del circuito mediante cables auxiliares.
- Conectaremos uno de los cables auxiliares de las fases a la caja de conexión CP GB1 y con el acoplamiento del Equipo CPC 100 y CP CU1 aplicaremos una corriente de 10 a la fase conectada.
- Procederemos a realizar la misma configuración antes mencionada y obtendremos los valores de medición de las fases restantes.

*b. Resultado de mediciones (se adjunta reporte de pruebas).*

- Impedancia propia (Valores promedio medidos):
  - $R_p = 1.829 \Omega$
  - $X_p = 1.014 \Omega$
  - $Z_p = 2.091 \Omega$
- Impedancia mutua (Valores promedio medidos):
  - $R_m = 1.546 \Omega$
  - $X_m = 0.331 \Omega$
  - $Z_m = 1.582 \Omega$

*c. Condiciones ambientales.*

- Temperatura inicial: 23 °C

- Temperatura final: 21 °C
- Estado del clima en la zona: Soleado

*d. Equipo de pruebas utilizados.*

- Analizador de parámetros eléctricos.
  - Marca: OMICRON
  - Modelo: CPC100
  - Serie : WB567
  - Marca: OMICRON
  - Modelo: CP. CU1
  - Serie : RH011

*e. Verificación de la impedancia propia y mutua.*

- Impedancia propia:

$$Z_p = \frac{Z_0 + 2(Z_1)}{3}$$

- Impedancia mutua:

$$Z_p = \frac{Z_0 + 2(Z_1)}{3}$$

Donde:

$Z_1$ =Impedancia de secuencia positiva.

$Z_0$ =Impedancia homopolar.

*f. Impedancia Propia (Valores medidos y calculados).*

- Medido
  - $Z_p = 2.0910 \Omega$
- Calculado
  - $Z_p = 2.0904 \Omega$

*g. Impedancia Mutua (valores medidos y calculados).*

- Medido
  - $Z_m = 1.5817 \Omega$
- Calculado
  - $Z_m = 1.5807 \Omega$

*h. Comentarios y observaciones.*

Los resultados de las magnitudes de impedancia propia y mutua han sido verificados con las magnitudes teóricas de los parámetros de Impedancia y se ha encontrado que hay similitud en los valores.

Como este Alimentador era de doble circuito, se tuvo que poner a Tierra las fases del Alimentador L2/4320-LA-021, para que la línea no induzca tensión cuando se realice las pruebas y los valores no sean erróneos.

**2.2.4.12. Identificación de fases del alimentador l2/4320-la-021.**

- Características:
  - Línea: L2/4320-LA-021
  - Nivel: 60 kV
  - Tramo: LT2- (S.E Estación Intermedia) Hacia LT2- (S.E Torre de

Captación)

- Fecha: 29/09/2021

*a. Procedimiento (figura 12)*

- Procedemos a medir la resistencia dieléctrica de las fases (R, S y T) aterrizadas a TIERRA individualmente.
- En el final de la línea se asegurará que la línea a probar haga buen contacto con tierra.
- En el punto de medición se conectará los cables auxiliares del megóhmetro a una de las fases.
- Se logrará un valor de aislamiento similar a cero megohmios.
- Realizaremos la medición de las demás fases siguiendo los pasos anteriores.

*b. Resultados de medición.*

**Tabla 13**

*Resultados de medición de identificación de fases l2/4320-la-021*

Número de pruebas	Fases	Resistencia (kilo-ohmios)	Tensión aplicada (kilovoltio)	Tiempo de aplicación (segundos)	Observación
1	R	0	15.0	60	Ninguno
2	S	0	15.0	60	Ninguno
3	T	0	15.0	60	Ninguno

*c. Condiciones ambientales.*

- Temperatura inicial: 23 °C
- Temperatura final: 21 °C
- Estado del clima en la zona: Soleado

*d. Equipo prueba utilizado.*

- Analizador de nivel de aislamiento:
  - Marca: MEGABRAS
  - Modelo: Mi20kVe
  - Serie : 14E0901

*e. Comentarios y observaciones.*

Los datos obtenidos de la resistencia de aislamiento tienen una tendencia al valor cero y para esta prueba se considera aceptable.

**2.2.4.13. Resistencia de aislamiento fase-fase y fase-tierra l2/4320-la-021.**

- Características:
  - Línea: L2/4320-LA-021
  - Nivel: 60 kV
  - Tramo: LT2- (S.E Estación Intermedia) Hacia LT2- (S.E Torre de Captación)
  - Fecha: 29/09/2021

*a. Procedimiento (figura 13)*

- Para realizar la medición de aislamiento de las fases (R, S y T) con TIERRA, se conectará cada fase de manera individual hacia tierra, y en el punto de medición conectaremos los cables auxiliares del Megóhmetro a una de las fases.
- Para realizar la medición de aislamiento entre- fases (R-S, S-T y R-T) conectaremos los cables auxiliares del Megóhmetro en dos fases.

b. Resultados de medición (se adjunta reporte de pruebas).

**Tabla 14**

Resultado de mediciones de aislamiento fase-fase y fase-tierra l2/4320-la-021

Número de pruebas	Fases	Resistencia (megohmios)	Tensión Aplicada (kilovoltio)	Tiempo de Aplicación (segundos)	Observación
1	R-Tierra	14.2	15.0	60	Ninguno
2	S-Tierra	14.8	15.0	60	Ninguno
3	T-Tierra	13.7	15.0	60	Ninguno
4	R – S	133	15.0	60	Ninguno
5	S - T	135	15.0	60	Ninguno
6	T - R	138	15.0	60	Ninguno

c. Condiciones ambientales.

- Temperatura inicial: 23 °C
- Temperatura final: 21 °C
- Estado del clima en la zona: Soleado

d. Equipo pruebas utilizadas.

- Analizador de Nivel de Aislamiento:
  - Marca: MEGABRAS
  - Modelo: Mi20kVe
  - Serie : 14E0901

e. Comentarios.

Los valores obtenidos de las pruebas de megado de fase-fase y fase-tierra están en el rango de gigahonmios, de esto podemos decir que las magnitudes son correctas.

#### ***2.2.4.14. Resistencia eléctrica de conductor en el alimentador l2/4320-la-021.***

- Características:

- Línea: L2/4320-LA-021
- Nivel: 60 kV
- Tramo: LT2- (S.E Estación Intermedia) Hacia LT2- (S.E Torre de Captación)
- Fecha: 29/09/2021

*a. Procedimiento (figura 14).*

- Procedemos a cortocircuitar en el final de la línea lo cual generara un bucle entre las tres fases y las derivaremos a tierra.
- En el punto de medición de la línea, conectaremos los cables auxiliares del Equipo CPC 100 a las fases respectivas.
- Con el Equipo CPC 100 aplicaremos una corriente de prueba de 6 amperios a las dos primeras fases según el requerimiento que se desea.
- Para obtener los valores restantes de las fases, debemos conmutar los cables auxiliares en la línea, verificar que los valores de la prueba sean próximos a los valores teóricos de los conductores.

*b. Valores teóricos.*

- Tipo de conductor: AAAC 465.4 MCM
- Sección del conductor: 236 mm<sup>2</sup>
- Longitud del circuito: 1.525. Km
- Resistencia c.c. @ 20°C: 0.1417 Ohm/Km
- Longitud total de línea: 1.525 Km

- Resistencia total @ 20 °C (Rt): 0.216 Ohmios
- Factor de corrección por temp. ( $k = 1 + 0.0036 * (tm - 20)$ ) :1.0072
- Temperatura medida ( $tm = (tinicial + tfinal) / 2$ ): 22 °C
- Resistencia corregida @22 °C ( $Rc = Rt * k$ ): 0.218 Ohmios

c. *Resultado de mediciones (se adjunta reporte de pruebas).*

**Tabla 15**

*Resultados de medición de resistencia eléctrica de conductores l2/4320-la-021*

Número de prueba	Conexión	Resistencia <i>medida</i> = $V/I$	Unidad
1	R - S	0.433	$\Omega$
2	S - T	0.439	$\Omega$
3	T - R	0.442	$\Omega$

- Valores:
  - Promedio (valor medido) = 0.438  $\Omega$
  - Valor teórico ( $2xRC$ ) = 0.435  $\Omega$

d. *Condiciones ambientales.*

- Temperatura inicial: 21 °C
- Temperatura final : 22 °C
- Estado del clima en la zona: Soleado

e. *Equipo pruebas utilizad.*

- Analizador de parámetros eléctricos:
  - Marca : OMICRON

- Modelo: CPC100
- Serie : WB567F

*f. Comentarios.*

Los valores de resistencia eléctrica obtenidos de las pruebas al alimentador L2/4320-LA-021 son similares al valor teórico del conductor.

**2.2.4.15. Impedancia de secuencia positiva o directa l2/4320-la-021.**

- Características:

- Línea: L2/4320-LA-021
- Nivel: 60 kV
- Tramo:LT2- (S.E Estación Intermedia) Hacia LT2- (S.E Torre de Captación)
- Fecha: 30/09/2021

*a. Procedimiento (figura 15, 16 y 17).*

- Procedemos a cortocircuitar las fases del final de línea y las derivaremos a tierra; al inicio de la línea se conectarán los cables auxiliares hacia la Caja de conexionado a tierra CP. GB1.
- El inicio de la línea será el punto de medición en el cual se conectarán dos fases hacia la Caja de conexionado a tierra CP GB1 quedando una fase libre.
- Con el Equipo CPC 100 inyectaremos una corriente de prueba de 10 amperios a las dos fases conectadas a la Caja de conexionado a tierra CP. GB1.
- Se obtendrán los valores restantes conmutando los cables auxiliares en las fases de la línea.

*b. Valores teóricos.*

- Resistencia de secuencia positiva (R): 0.218 ohm.
- Reactancia de secuencia positiva (X): 0.730 ohm
- Impedancia de secuencia positiva (Z): 0.762 ohm.
- Ángulo de secuencia positiva ( $\Phi$ ) : 73.40 grados.

*c. Resultado de mediciones (se adjunta reporte de pruebas).*

**Tabla 16**

*Resultado de medición de impedancia de secuencia positiva l2/4320-la-021*

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Medidos</b>	<b>Teóricos</b>
Resistencia	<b>R(<math>\Omega</math>)</b>	0.282	0.218
Reactancia	<b>X(<math>\Omega</math>)</b>	0.690	0.730
Impedancia	<b>Z(<math>\Omega</math>)</b>	0.748	0.762
Ángulo	<b><math>\Phi</math>(°)</b>	67.38	73.40

*d. Condiciones ambientales.*

- Temperatura inicial: 23 °C
- Temperatura final: 21 °C
- Estado del clima en la zona: Soleado

*e. Equipo de pruebas utilizados.*

- Analizador de parámetros eléctricos:
  - Marca: OMICRON
  - Modelo: CPC100
  - Serie : WB567

- Marca: OMICRON
- Modelo: CP. CU1
- Serie : RH011

*f. Verificación de la impedancia de secuencia positiva.*

- Impedancia de secuencia positiva:

$$Z_1 = Z_p - Z_m$$

$$Z_1 = Z_p - (Z_m)$$

Donde:

$Z_p$ = Impedancia propia

$Z_m$ = Impedancia mutua

*g. Valores calculados y medidos de impedancia de secuencia positiva.*

- Calculado

b.  $Z_1 = 0.747 \Omega$

- Medido

- $Z_1 = 0.748 \Omega$

*h. Comentarios.*

Los resultados de impedancia medidos se compararon con las magnitudes teóricas de los parámetros eléctricos y se verifico que son similares.

Tomar en cuenta que siempre se debe verificar que los valores teóricos y los valores calculados deben ser similares.

#### **2.2.4.16. Impedancia homopolar l2/4320-la-021.**

- Características:

- Línea: L2/4320-LA-021
- Nivel: 60 kV
- Tramo: LT2- (S.E Estación Intermedia) Hacia LT2- (S.E Torre de Captación)
- Fecha: 30/09/2021

*a. Procedimiento (figura 18).*

- Para esta prueba, procederemos a cortocircuitar el inicio y fin de línea, el fin de línea que está en cortocircuito la derivaremos a TIERRA.
- En el inicio de línea, donde será el punto de medición conectaremos cables auxiliares y derivaremos las tres fases conectadas hacia la caja de conexión CP GB1.
- Con el Equipo CPC 100 procederemos a inyectar una corriente de 10 amp hacia la línea
- El equipo CPC 100 censará el retorno de la corriente a través de la caja de conexión CP GB1 y se podrá apreciar los valores en la pantalla del equipo.

*b. Valores teóricos.*

- Resistencia de secuencia positiva (R): 0.513 ohm.
- Reactancia de secuencia positiva (X): 1.965 ohm.
- Impedancia de secuencia positiva (Z): 2.031 ohm.
- Ángulo de secuencia positiva ( $\Phi$ ): 75.36 grados.

c. Resultado de los parámetros medidos (se adjunta reporte de pruebas).

**Tabla 17**

Resultado de mediciones impedancia homopolar l2/4320-la-021

Parámetros	Unidad	Medidos	Teóricos
Resistencia	$R(\Omega)$	4.870	0.513
Reactancia	$X(\Omega)$	1.627	1.965
Impedancia	$Z(\Omega)$	5.135	2.031
Ángulo	$\emptyset(^{\circ})$	18.47	75.36

d. Condiciones ambientales.

- Temperatura inicial: 23 °C
- Temperatura final : 21 °C
- Estado del clima en la zona: Soleado

e. Equipo de pruebas utilizados.

- Analizador de parámetros eléctricos:
  - Marca: OMICRON
  - Modelo: CPC100
  - Serie: WB567
  - Marca: OMICRON
  - Modelo: CP. CU1 / Serie: RH011

f. Verificación de la impedancia homopolar.

- Impedancia homopolar o de secuencia cero:

$$Z_0 = Z_p + 2(Z_m)$$

Donde:

$Z_p$ =Impedancia propia

$Z_m$ =Impedancia mutua

*g. Valores medidos y calculados de Impedancia homopolar.*

- Medido

- $Z_0 = 5.135 \Omega$

- Calculado

- $Z_0 = 5.138 \Omega$

*h. Comentarios.*

Las pruebas realizadas nos muestran magnitudes similares a los parámetros eléctricos teóricos de Impedancia homopolar.

Como este Alimentador era de doble circuito, se tuvo que poner a Tierra las fases del Alimentador L2/4320-LA-022, para que la línea no induzca tensión cuando se realice las pruebas y los valores no sean erróneos

#### ***2.2.4.17. Impedancia propia y mutua l2/4320-la-021.***

- Características:

- Línea: L2/4320-LA-021
- Nivel: 60 kV
- Tramo: LT2- (S.E Estación Intermedia) Hacia LT2- (S.E Torre de Captación)
- Fecha: 30/09/2021

a. *Procedimiento (figura 19, 20 y 21)*

- Procedemos a cortocircuitar el final de la línea, creando un bucle en las tres fases y las derivamos a tierra.
- En el punto inicial de la línea, haremos la bajada de las tres fases del circuito mediante cables auxiliares.
- Conectaremos uno de los cables auxiliares de las fases a la caja de conexión CP GB1 y con el acoplamiento del Equipo CPC 100 y CP CU1 aplicaremos una corriente de 10 a la fase conectada.
- Procederemos a realizar la misma configuración antes mencionada y obtendremos los valores de medición de las fases restantes.

b. *Resultado de mediciones (se adjunta reporte de pruebas).*

- Impedancia propia (Valores promedio medidos):
  - $R_p = 1.815 \Omega$
  - $X_p = 1.001 \Omega$
  - $Z_p = 2.073 \Omega$
- Impedancia mutua (Valores promedio medidos):
  - $R_m = 1.527 \Omega$
  - $X_m = 0.311 \Omega$
  - $Z_m = 1.559 \Omega$

c. *Condiciones ambientales.*

- Temperatura inicial: 23 °C
- Temperatura final: 21 °C
- Estado del clima en la zona: Soleado

*d. Equipo de pruebas utilizados.*

- Analizador de parámetros eléctricos:

- Marca: OMICRON
- Modelo: CPC100
- Serie: WB567
- Marca: OMICRON
- Modelo: CP. CU1
- Serie: RH011

*e. Verificación de la impedancia propia y mutua.*

- Impedancia propia

$$Z_p = \frac{Z_0 + 2(Z_1)}{3}$$

- Impedancia mutua

$$Z_m = \frac{Z_0 - (Z_1)}{3}$$

Donde:

$Z_1$ = Impedancia de secuencia positiva.

$Z_0$ =Impedancia homopolar.

*f. Impedancia propia (valores calculados).*

- Medido

- $Z_p = 2.0727 \Omega$

- Calculado

- $Z_p = 2.0704 \Omega$

*g. Impedancia Mutua (valores medidos y calculados).*

- Medido

- $Z_m = 1.5613 \Omega$

- Calculado

- $Z_m = 1.5590 \Omega$

*h. Comentarios y observaciones.*

Los resultados de las magnitudes de impedancia propia y mutua han sido verificados con las magnitudes teóricas de los parámetros de Impedancia y se ha encontrado que hay similitud en los valores.

Como este Alimentador era de doble circuito, se tuvo que poner a Tierra las fases del Alimentador L2/4320-LA-022, para que la línea no induzca tensión cuando se realice las pruebas y los valores no sean erróneos.

#### **2.2.4.18. Identificación de fases del alimentador l3/4030-la-003.**

- Características:

- Línea: L3/4030-LA-003
- Nivel: 60 kV
- Tramo: LT3.1 – LT3.10
- Fecha: 27/04/2021

*a. Procedimiento (figura 12)*

- Procedemos a medir la resistencia dieléctrica de las fases (R, S y T) aterrizadas a TIERRA individualmente.
- En el final de la línea se asegurará que la línea a probar haga buen contacto con

tierra.

- En el punto de medición se conectará los cables auxiliares del megóhmetro a una de las fases.
- Se logrará un valor de aislamiento similar a cero megohmios.
- Realizaremos la medición de las demás fases siguiendo los pasos anteriores.

*b. Resultados de medición.*

**Tabla 18**

*Resultados de medición de identificación de fases 13/4030-la-003*

Número de pruebas	Fases	Resistencia (kilo-ohmios)	Tensión aplicada (kilovoltio)	Tiempo de aplicación (segundos)	Observación
1	R	0	15.0	60	Ninguno
2	S	0	15.0	60	Ninguno
3	T	0	15.0	60	Ninguno

*c. Condiciones ambientales:*

- Temperatura inicial: 23 °C
- Temperatura final: 22 °C
- Estado del clima en la zona: Soleado

*d. Equipo prueba utilizado.*

- Analizador de nivel de aislamiento:
  - Marca: MEGABRAS
  - Modelo: Mi20kVe
  - Serie : 14E0901

*e. Comentarios.*

Los datos obtenidos de la medición de resistencia de aislamiento tienden a cero y para esta prueba se considera aceptable.

Como este Alimentador estaba conectado al alimentador L4/4030-LA-004 en la estructura LT3-10, se tuvo que aperturar los cuellos en la estructura mencionada y poder realizar las pruebas de Parámetros Eléctricos de manera segura y confiable.

Por seguridad también se llevó a tierra las fases del alimentador L4/4030-LA-004 para poder resguardar la seguridad del Operario Liniero.

***2.2.4.19. Resistencia de aislamiento fase-fase y fase-tierra l3/4030-la-003.***

- Características:

- Línea: L3/4030-LA-003
- Nivel: 60 kV
- Tramo: LT3.1 – LT3.10
- Fecha: 27/04/2021

*a. Procedimiento (figura 13).*

- Para realizar la medición de aislamiento de las fases (R, S y T) con TIERRA, se conectará cada fase de manera individual hacia tierra, y en el punto de medición conectaremos los cables auxiliares del Megóhmetro a una de las fases.
- Para realizar la medición de aislamiento entre- fases (R-S, S-T y R-T) conectaremos los cables auxiliares del Megóhmetro en dos fases.

*b. Resultados de medición.*

**Tabla 19**

*Resultados de medición de aislamiento fase- tierra y fase-fase 13/4030-la-003*

<b>Número de pruebas</b>	<b>Fases</b>	<b>Resistencia (giga-ohmios)</b>	<b>Tensión Aplicada (kilovoltio)</b>	<b>Tiempo de Aplicación (segundos)</b>	<b>Observación</b>
1	R-Tierra	5.7	15.0	60	Ninguno
2	S-Tierra	5.9	15.0	60	Ninguno
3	T-Tierra	5.9	15.0	60	Ninguno
4	R – S	>5T	15.0	60	Ninguno
5	S - T	>5T	15.0	60	Ninguno
6	T - R	>5T	15.0	60	Ninguno

*c. Condiciones ambientales.*

- Temperatura inicial: 18.3 °C
- Temperatura final: 18.9 °C
- Estado del clima en la zona: Nublado

*d. Equipo pruebas utilizadas.*

- Analizador de Nivel de Aislamiento:
  - Marca: MEGABRAS
  - Modelo: Mi20kVe
  - Serie : 14E0901

*e. Comentarios.*

Los valores obtenidos de las pruebas de megado de fase-fase y fase-tierra están en el rango de gigahonmios, de esto podemos decir que las magnitudes son correctas.

Como este Alimentador estaba conectado al alimentador L4/4030-LA-004 en la estructura LT3-10, se tuvo que aperturar los cuellos en la estructura mencionada y poder realizar las pruebas de Parámetros Eléctricos de manera segura y confiable.

Por seguridad también se llevó a tierra las fases del alimentador L4/4030-LA-004 para poder resguardar la seguridad del Operario Liniero.

#### ***2.2.4.20. Resistencia eléctrica de conductor en el alimentador l3/4030-la-003.***

- Características:

- Línea: L3/4030-LA-003
- Nivel: 60 kV
- Tramo: LT3.1 – LT3.10
- Fecha: 23/04/2021

*a. Procedimiento (figura 14)*

- Procedemos a cortocircuitar en el final de la línea lo cual generara un bucle entre las tres fases y las derivaremos a tierra.
- En el punto de medición de la línea, conectaremos los cables auxiliares del Equipo CPC 100 a las fases respectivas.
- Con el Equipo CPC 100 aplicaremos una corriente de prueba de 6 amperios a las dos primeras fases según el requerimiento que se desea.
- Para obtener los valores restantes de las fases, debemos conmutar los cables auxiliares en la línea, verificar que los valores de la prueba sean próximos a los valores teóricos de los conductores.

*b. Valores teóricos.*

- Tipo de conductor: AAAC 740 MM
- Sección del conductor: 236 mm<sup>2</sup>
- Longitud de línea: 3.756 Km
- Resistencia c.c. @ 20°C: 0.1417 Ohm/Km
- Longitud del circuito: 3.756 Km
- Resistencia total @ 20 °C (Rt): 0.532 Ohmios
- Factor de corrección por temp. ( $k = 1 + 0.0036 * (tm - 20)$ ): 0.9946
- Temperatura medida ( $tm = (tinicial + tfinal) / 2$ ): 18.5 °C
- Resistencia corregida @22 °C ( $Rc = Rt * k$ ): 0.529 Ohmios

*c. Resultado de mediciones (se adjunta reporte de pruebas).*

**Tabla 20**

*Resultados de medición de resistencia eléctrica de conductores l3/4030-la-003*

Número de prueba	Conexión	Resistencia <i>medida</i> = $V/I$	Unidad
1	R - S	1.0018	$\Omega$
2	S - T	1.0161	$\Omega$
3	T - R	0.9933	$\Omega$

- Valores:
  - Promedio (valor medido) = 1.004  $\Omega$
  - Valor teórico ( $2xRC$ ) = 1.059  $\Omega$

*d. Condiciones ambientales.*

- Temperatura inicial: 18 °C

- Temperatura final: 19 °C
- Estado del clima en la zona: Nublado

*e. Equipo de pruebas utilizados.*

- Analizador de parámetros eléctricos:
  - Marca: OMICRON
  - Modelo: CPC100
  - Serie : WB567

*f. Comentarios y observaciones*

Los valores de resistencia eléctrica obtenidos de las pruebas al alimentador L3/4030-LA-003 son similares al valor teórico del conductor.

**2.2.4.21. Impedancia de secuencia positiva o directa l3/4030-la-003.**

- Características:
  - Línea: L3/4030-LA-003
  - Nivel: 60 kV
  - Tramo:LT3.1 – LT3.10
  - Fecha: 23/04/2021

*a. Procedimiento (figura 15, 16 y 17)*

- Procedemos a cortocircuitar las fases del final de línea y las derivaremos a tierra; al inicio de la línea se conectarán los cables auxiliares hacia la Caja de conexionado a tierra CP. GB1.
- El inicio de la línea será el punto de medición en el cual se conectarán dos fases hacia la Caja de conexionado a tierra CP GB1 quedando una fase libre.

- Con el Equipo CPC 100 inyectaremos una corriente de prueba de 10 amperios a las dos fases conectadas a la Caja de conexionado a tierra CP. GB1.
- Se obtendrán los valores restantes conmutando los cables auxiliares en las fases de la línea.

*b. Valores teóricos*

- Resistencia de secuencia positiva (R): 0.537 ohm.
- Reactancia de secuencia positiva (X): 1.801 ohm.
- Impedancia de secuencia positiva (Z): 1.879 ohm.
- Ángulo de secuencia positiva ( $\Phi$ ) : 73.40 grados.

*c. Resultado de mediciones (se adjunta reporte de pruebas).*

**Tabla 21**

*Resultado de medición de impedancia de secuencia positiva l3/4030-la-003*

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Medidos</b>	<b>Teóricos</b>
Resistencia	<b><math>R(\Omega)</math></b>	0.584	0.537
Reactancia	<b><math>X(\Omega)</math></b>	1.742	1.801
Impedancia	<b><math>Z(\Omega)</math></b>	1.837	1.879
Ángulo	<b><math>\Phi(^{\circ})</math></b>	71.46	73.40

*d. Condiciones ambientales.*

- Temperatura inicial: 20.5 °C
- Temperatura final: 20.8 °C
- Estado del clima en la zona: Nublado

*e. Equipo de pruebas utilizados.*

- Analizador de parámetros eléctricos:
  - Marca: OMICRON
  - Modelo: CPC100
  - Serie : WB567
  - Marca: OMICRON
  - Modelo: CP. CU1
  - Serie : RH011

*f. Verificación de la impedancia de secuencia positiva.*

- Impedancia de secuencia positiva:

$$Z_1 = Z_p - Z_m$$

$$Z_1 = Z_p - (Z_m)$$

Donde:

Z<sub>p</sub>= Impedancia propia

Z<sub>m</sub>= Impedancia mutua

*g. Valores calculados y medidos de impedancia de secuencia positiva.*

- Calculado
  - $Z_1 = 0.847 \Omega$
- Medido
  - $Z_1 = 1.837 \Omega$

*h. Comentario.*

Los resultados de impedancia medidos se compararon con las magnitudes teóricas

de los parámetros eléctricos y se verifico que son similares.

Tomar en cuenta que siempre se debe verificar que los valores teóricos y los valores calculados deben ser similares.

#### **2.2.4.22. Impedancia homopolar l3/4030-la-003.**

- Características:

- Línea: L3/4030-LA-003
- Nivel: 60 kV
- Tramo:LT3.1 – LT3.10
- Fecha: 23/04/2021

##### *a. Procedimiento (figura 18).*

- Para esta prueba, procederemos a cortocircuitar el inicio y fin de línea, el fin de línea que está en cortocircuito la derivaremos a TIERRA.
- En el inicio de línea, donde será el punto de medición conectaremos cables auxiliares y derivaremos las tres fases conectadas hacia la caja de conexionado CP GB1.
- Con el Equipo CPC 100 procederemos a inyectar una corriente de 10 amp hacia la línea
- El equipo CPC 100 censará el retorno de la corriente a través de la caja de conexionado CP GB1 y se podrá apreciar los valores en la pantalla del equipo.

##### *b. Valores teóricos.*

- Resistencia de secuencia positiva (R): 42.022 ohm.
- Reactancia de secuencia positiva (X): 5.798 ohm.
- Impedancia de secuencia positiva (Z): 42.420 ohm.

- Ángulo de secuencia positiva ( $\Phi$ ) : 7.86 grados.

c. *Resultado de los parámetros medidos (se adjunta reporte de pruebas).*

**Tabla 22**

*Resultado de medición de impedancia homopolar I3/4030-la-003*

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Medidos</b>	<b>Teóricos</b>
Resistencia	<b><math>R(\Omega)</math></b>	41.973	42.022
Reactancia	<b><math>X(\Omega)</math></b>	5.789	5.798
Impedancia	<b><math>Z(\Omega)</math></b>	42.371	42.420
Ángulo	<b><math>\emptyset(^{\circ})</math></b>	7.85	7.86

d. *Condiciones ambientales.*

- Temperatura inicial: 20.5 °C
- Temperatura final: 20.8 °C
- Estado del clima en la zona: Nublado

e. *Equipo de pruebas utilizados.*

- Analizador de parámetros eléctricos:
  - Marca: OMICRON
  - Modelo: CPC100
  - Serie : WB567. Marca: OMICRON
  - Modelo: CP. CU1
  - Serie : RH011

*f. Verificación de la impedancia homopolar.*

- Impedancia homopolar:

$$Z_0 = Z_p + 2(Z_m)$$

Donde:

$Z_p$  =Impedancia propia

$Z_m$  =Impedancia mutua

*g. Valores medidos y calculados de Impedancia homopolar.*

- Medido

- $Z_0 = 42.371 \Omega$

- Calculado

- $Z_0 = 42.484 \Omega$

*h. Comentario.*

Las pruebas realizadas nos muestran magnitudes similares a los parámetros eléctricos teóricos de Impedancia homopolar.

**2.2.4.23. Impedancia propia y mutua l3/4030-la-003.**

- Características:

- Línea: L3/4030-LA-003

- Nivel: 60 kV

- Tramo:LT3.1 – LT3.10

- Fecha: 23/04/2021

*a. Procedimiento (figura 19, 20 y 21).*

- Procedemos a cortocircuitar el final de la línea, creando un bucle en las tres fases y las derivamos a tierra.
- En el punto inicial de la línea, haremos la bajada de las tres fases del circuito mediante cables auxiliares.
- Conectaremos uno de los cables auxiliares de las fases a la caja de conexión CP GB1 y con el acoplamiento del Equipo CPC 100 y CP CU1 aplicaremos una corriente de 10 a la fase conectada.
- Procederemos a realizar la misma configuración antes mencionada y obtendremos los valores de medición de las fases restantes.

*b. Resultado de mediciones (se adjunta reporte de pruebas).*

- Impedancia propia (Valores promedio medidos):
  - $R_p = 1.815 \Omega$
  - $X_p = 1.001 \Omega$
  - $Z_p = 2.073 \Omega$
- Impedancia mutua (Valores promedio medidos):
  - $R_m = 1.527 \Omega$
  - $X_m = 0.311 \Omega$
  - $Z_m = 1.559 \Omega$

*c. Condiciones ambientales.*

- Temperatura inicial: 20.5 °C
- Temperatura final: 20.8 °C
- Estado del clima en la zona: Nublado

*d. Equipo de pruebas utilizados.*

- Analizador de parámetros eléctricos:

- Marca: OMICRON
- Modelo: CPC100
- Serie : WB567
- Marca: OMICRON
- Modelo: CP. CU1
- Serie : RH011

*e. Verificación de la impedancia propia y mutua.*

- Impedancia propia:

$$Z_p = \frac{Z_0 + 2(Z_1)}{3}$$

- Impedancia mutua:

$$Z_m = \frac{Z_0 - (Z_1)}{3}$$

Donde:

$Z_1$  = Impedancia de secuencia positiva

$Z_0$  = Impedancia homopolar.

*f. Impedancia propia (valores calculados).*

- Medido

- $Z_p = 14.726 \Omega$

- Calculado

- $Z_p = 15.348 \Omega$

*g. Impedancia Mutua (valores medidos y calculados).*

- Medido

- $Z_m = 13.879 \Omega$

- Calculado

- $Z_m = 13.511 \Omega$

*h. Comentarios y observaciones.*

Los resultados de las magnitudes de impedancia propia y mutua han sido verificados con las magnitudes teóricas de los parámetros de Impedancia y se ha encontrado que hay similitud en los valores.

Como este Alimentador estaba conectado al alimentador L4/4030-LA-004 en la estructura LT3-10, se tuvo que aperturar los cuellos en la estructura mencionada y poder realizar las pruebas de Parámetros Eléctricos de manera segura y confiable.

Por seguridad también se llevó a tierra las fases del alimentador L4/4030-LA-004 para poder resguardar la seguridad del Operario Liniero.

#### ***2.2.4.24. Identificación de fases del alimentador l4/4030-la-004.***

- Características:

- Línea: L4/4030-LA-004
- Nivel: 60 kV
- Tramo: LT4.1 – Pórtico LT4
- Fecha: 09/08/2021

*a. Procedimiento (figura 12).*

- Procedemos a medir la resistencia dieléctrica de las fases (R, S y T) aterrizadas a TIERRA individualmente.
- En el final de la línea se asegurará que la línea a probar haga buen contacto con tierra.
- En el punto de medición se conectará los cables auxiliares del megóhmetro a una de las fases.
- Se logrará un valor de aislamiento similar a cero megohmios.
- Mediremos las demás fases siguiendo los pasos anteriores.

*b. Resultados de medición.*

**Tabla 23**

*Resultados de medición de identificación de fases 14/4030-la-004*

Número de pruebas	Fases	Resistencia (kilo-ohmios)	Tensión aplicada (kilovoltio)	Tiempo de aplicación (segundos)	Observación
1	R	0	15.0	60	Ninguno
2	S	0	15.0	60	Ninguno
3	T	0	15.0	60	Ninguno

*c. Condiciones ambientales.*

- Temperatura inicial: 23 °C
- Temperatura final: 22 °C
- Estado del clima en la zona: Soleado

*d. Equipo prueba utilizado.*

- Analizador de Nivel de Aislamiento:
  - Marca: MEGABRAS
  - Modelo: Mi20kVe
  - Serie : 14E0901

*e. Comentarios.*

Los datos obtenidos de la medición de resistencia de aislamiento tienden a cero y para esta prueba se considera aceptable.

**2.2.4.25. Resistencia de aislamiento fase-fase y fase-tierra l4/4030-la-004.**

- Características:
  - Línea: L4/4030-LA-004
  - Nivel: 60 kV
  - Tramo: LT4.1 – Pórtico LT4
  - Fecha: 09/08/2021

*a. Procedimiento (figura 13).*

- Para medir el aislamiento de las fases (R, S y T) con TIERRA, se pondrá a tierra cada fase por separado, en el punto de medida conectaremos el cable auxiliar del megóhmetro a una de las fases, tener en cuenta que el final de línea debe estar libre.
- Para medir el aislamiento de las fases (R-S, S-T y R-T) conectaremos los cables auxiliares del megóhmetro en dos fases y el cable “R” del megóhmetro se pondrá a tierra.

*b. Resultados de medición.*

**Tabla 24**

*Resultado de medición de resistencia de aislamiento l4/4030-la-004*

<b>Número de pruebas</b>	<b>Fases</b>	<b>Resistencia (giga-ohmios)</b>	<b>Tensión Aplicada (kilovoltio)</b>	<b>Tiempo de Aplicación (segundos)</b>	<b>Observación</b>
1	R-Tierra	11.1	15.0	60	Ninguno
2	S-Tierra	11.9	15.0	60	Ninguno
3	T-Tierra	10.7	15.0	60	Ninguno
4	R – S	105	15.0	60	Ninguno
5	S - T	102	15.0	60	Ninguno
6	T - R	100	15.0	60	Ninguno

*c. Condiciones ambientales.*

- Temperatura inicial: 24 °C
- Temperatura final: 21 °C
- Apreciación general del clima en la zona: Soleado

*d. Equipo de prueba utilizado.*

- Analizador de Nivel de Aislamiento:
  - Marca: MEGABRAS
  - Modelo: Mi20kVe
  - Serie : 14E0901

*e. Comentarios y observaciones.*

Los valores obtenidos de las pruebas de megado de fase-fase y fase-tierra están en

el rango de gigahonmios, de esto podemos decir que las magnitudes son correctas.

#### **2.2.4.26. Resistencia eléctrica del conductor en el alimentador l4/4030-la-004.**

- Características:

- Línea: L4/4030-LA-004
- Nivel: 60 kV
- Tramo: LT4.1 – Pórtico LT4
- Fecha: 09/08/2021

*a. Procedimiento (figura 14).*

- Procedemos a cortocircuitar en el final de la línea lo cual generara un bucle entre las tres fases y las derivaremos a tierra.
- En el punto de medición de la línea, conectaremos los cables auxiliares del Equipo CPC 100 a las fases respectivas.
- Con el Equipo CPC 100 aplicaremos una corriente de prueba de 6 amperios a las dos primeras fases según el requerimiento que se desea.
- Para obtener los valores restantes de las fases, debemos conmutar los cables auxiliares en la línea, verificar que los valores de la prueba sean próximos a los valores teóricos de los conductores.

*b. Valores teóricos.*

- Tipo de conductor: AAAC 465.4 MCM
- Sección del conductor: 236 mm<sup>2</sup>
- Longitud de línea: 1.996 Km
- Resistencia c.c. @ 20°C: 0.1417 Ohm/Km
- Longitud del circuito: 1.996 Km

- Resistencia total @ 20 °C (Rt): 0.283 Ohmios
- Factor de corrección por temp. ( $k = 1 + 0.0036 * (tm - 20)$ ): 1.0018
- Temperatura medida ( $tm = (tinicial + tfinal) / 2$ ): 20.5 °C
- Resistencia corregida @ 20.5 °C ( $Rc = Rt * k$ ): 0.283 Ohmios

c. *Resultado de mediciones (se adjunta reporte de pruebas).*

**Tabla 25**

*Resultado de medición de resistencia eléctrica de conductores l4/4030-la-004*

Número de prueba	Conexión	Resistencia <i>medida</i> = $V/I$	Unidad
1	R - S	<b>0.544</b>	$\Omega$
2	S - T	<b>0.546</b>	$\Omega$
3	T - R	<b>0.563</b>	$\Omega$

- Valores:
  - Promedio (valor medido) = 0.551  $\Omega$
  - Valor teórico ( $2xRC$ ) = 0.567  $\Omega$

d. *Condiciones ambientales.*

- Temperatura inicial: 20 °C
- Temperatura final: 21 °C
- Estado del clima en la zona: Soleado

e. *Equipo pruebas utilizado.*

- Analizador de parámetros eléctricos:
  - Marca: OMICRON

- Modelo: CPC100
- Serie : WB567F

*f. Comentarios.*

Los valores de resistencia eléctrica obtenidos de las pruebas al alimentador L4/4030-LA-004 son similares al valor teórico del conductor.

**2.2.4.27. Impedancia de secuencia positiva o directa l4/4030-la-004.**

- Características:

- Línea: L4/4030-LA-004
- Nivel: 60 kV
- Tramo: LT4.1 – Pórtico LT4
- Fecha: 09/08/2021

*a. Procedimiento (figura 15, 16 y 17)*

- Procedemos a cortocircuitar las fases del final de línea y las derivaremos a tierra; al inicio de la línea se conectarán los cables auxiliares hacia la Caja de conexionado a tierra CP. GB1.
- El inicio de la línea será el punto de medición en el cual se conectarán dos fases hacia la Caja de conexionado a tierra CP GB1 quedando una fase libre.
- Con el Equipo CPC 100 inyectaremos una corriente de prueba de 10 amperios a las dos fases conectadas a la Caja de conexionado a tierra CP. GB1.
- Se obtendrán los valores restantes conmutando los cables auxiliares en las fases de la línea.

*b. Valores teóricos.*

- Resistencia de secuencia positiva (R): 0.281 ohm.
- Reactancia de secuencia positiva (X): 0.942 ohm.
- Impedancia de secuencia positiva (Z): 0.982 ohm.
- Ángulo de secuencia positiva ( $\Phi$ ) : 73.39 grados.

*c. Resultado de mediciones (se adjunta reporte de pruebas).*

**Tabla 26**

*Resultado de medición de impedancia de secuencia positiva l4/4030-la-004*

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Medidos</b>	<b>Teóricos</b>
Resistencia	<b>R(<math>\Omega</math>)</b>	0.363	0.281
Reactancia	<b>X(<math>\Omega</math>)</b>	0.895	0.942
Impedancia	<b>Z(<math>\Omega</math>)</b>	0.965	0.982
Ángulo	<b><math>\Phi</math>(°)</b>	67.92	73.39

*d. Condiciones ambientales.*

- Temperatura inicial: 20 °C
- Temperatura final: 21 °C
- Estado del clima en la zona: Soleado

*e. Equipos de pruebas utilizados.*

- Analizador de parámetros eléctricos:
  - Marca: OMICRON
  - Modelo: CPC100
  - Serie : WB567

- Marca: OMICRON
- Modelo: CP. CU1
- Serie : RH011

*f. Verificación de la impedancia de secuencia positiva.*

- Impedancia de secuencia positiva:

$$Z_1 = Z_p - (Z_m)$$

Donde:

$Z_p$ = Impedancia propia

$Z_m$ = Impedancia mutua

*g. Valores calculados y medidos de impedancia de secuencia positiva.*

- Calculado

- $Z_1 = 0.994 \Omega$

- Medido

- $Z_1 = 0.965 \Omega$

*h. Comentarios.*

Los resultados de impedancia medidos se compararon con las magnitudes teóricas de los parámetros eléctricos y se verifico que son similares.

Tomar en cuenta que siempre se debe verificar que los valores teóricos y los valores calculados deben ser similares.

#### **2.2.4.28. Impedancia homopolar l4/4030-la-004.**

- Características:

- Línea: L4/4030-LA-004
- Nivel: 60 kV
- Tramo: LT4.1 – Pórtico LT4
- Fecha: 09/08/2021

*a. Procedimiento (figura 18).*

- Para esta prueba, procederemos a cortocircuitar el inicio y fin de línea, el fin de línea que está en cortocircuito la derivaremos a TIERRA.
- En el inicio de línea, donde será el punto de medición conectaremos cables auxiliares y derivaremos las tres fases conectadas hacia la caja de conexión CP GB1.
- Con el Equipo CPC 100 procederemos a inyectar una corriente de 10 amp hacia la línea
- El equipo CPC 100 censará el retorno de la corriente a través de la caja de conexión CP GB1 y se podrá apreciar los valores en la pantalla del equipo.

*b. Valores teóricos*

- Resistencia de secuencia positiva (R): 0.675 ohm.
- Reactancia de secuencia positiva (X): 2.571 ohm.
- Impedancia de secuencia positiva (Z): 2.658 ohm.
- Ángulo de secuencia positiva ( $\Phi$ ): 75.37 grados.

c. *Resultado de mediciones (se adjunta reporte de pruebas).*

**Tabla 27**

*Resultados de medición de impedancia homopolar l4/4030-la-004*

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Medidos</b>	<b>Teóricos</b>
Resistencia	<b><math>R(\Omega)</math></b>	0.747	0.675
Reactancia	<b><math>X(\Omega)</math></b>	1.863	2.571
Impedancia	<b><math>Z(\Omega)</math></b>	2.007	2.658
Ángulo	<b><math>\emptyset(^{\circ})</math></b>	68.15	75.37

d. *Condiciones ambientales.*

- Temperatura inicial: 20 °C
- Temperatura final: 21 °C
- Estado del clima en la zona: Soleado

e. *Equipo de pruebas utilizados.*

- Analizador de parámetros eléctricos:
  - Marca: OMICRON
  - Modelo: CPC100
  - Serie: WB567
  - Marca: OMICRON
  - Modelo: CP. CU1
  - Serie : RH011

*f. Verificación de la impedancia homopolar.*

- Impedancia homopolar:

$$Z_0 = Z_p + 2(Z_m)$$

Donde:

$Z_p$ : Impedancia propia

$Z_m$ : Impedancia mutua

*g. Valores medidos y calculados de Impedancia homopolar.*

- Medido

- $Z_0 = 2.007 \Omega$

- Calculado

- $Z_0 = 1.982 \Omega$

*h. Comentarios.*

Las pruebas realizadas nos muestran magnitudes similares a los parámetros eléctricos teóricos de Impedancia homopolar.

Una de las maneras de poder ver que la prueba se realizó de manera confiable es verificar que la corriente inyectada es la misma que la corriente censada.

**2.2.4.28. Impedancia propia y mutua l4/4030-la-004.**

- Características:

- Línea: L4/4030-LA-004
- Nivel: 60 kV
- Tramo: LT4.1 – Pórtico LT4
- Fecha: 09/08/2021

*a. Procedimiento (figura 19, 20 y 21).*

- Procedemos a cortocircuitar el final de la línea, creando un bucle en las tres fases y las derivamos a tierra.
- En el punto inicial de la línea, haremos la bajada de las tres fases del circuito mediante cables auxiliares.
- Conectaremos uno de los cables auxiliares de las fases a la caja de conexión CP GB1 y con el acoplamiento del Equipo CPC 100 y CP CU1 aplicaremos una corriente de 10 a la fase conectada.
- Procederemos a realizar la misma configuración antes mencionada y obtendremos los valores de medición de las fases restantes.

*b. Resultado de mediciones (se adjunta reporte de pruebas).*

- Impedancia propia (Valores promedio medidos):
  - $R_p = 0.491 \Omega$
  - $X_p = 1.217 \Omega$
  - $Z_p = 1.313 \Omega$
- Impedancia mutua (Valores promedio medidos):
  - $R_m = 0.128 \Omega$
  - $X_m = 0.323 \Omega$
  - $Z_m = 0.349 \Omega$

*c. Condiciones ambientales.*

- Temperatura inicial: 20 °C
- Temperatura final: 21 °C
- Estado del clima en la zona: Nublado

*d. Equipo de pruebas utilizados.*

- Analizador de parámetros eléctricos:

- Marca: OMICRON
- Modelo: CPC100
- Serie : WB567
- Marca: OMICRON
- Modelo: CP. CU1
- Serie : RH011

*e. Verificación de la impedancia propia y mutua.*

- Impedancia propia

$$Z_p = \frac{Z_0 + 2(Z_1)}{3}$$

- Impedancia mutua

$$Z_m = \frac{Z_0 - (Z_1)}{3}$$

Donde:

$Z_1$ = Impedancia de secuencia positiva

$Z_0$ = Impedancia homopolar

*f. Impedancia propia (valores calculados).*

- Medido

- $Z_p = 1.313 \Omega$

- Calculado

- $Z_p = 1.312 \Omega$

*g. Impedancia Mutua (valores medidos y calculados).*

- Medido

- $Z_m = 0.349 \Omega$

- Calculado

- $Z_m = 0.347 \Omega$

*h. Comentarios y observaciones.*

Los resultados de las magnitudes de impedancia propia y mutua han sido verificados con las magnitudes teóricas de los parámetros de Impedancia y se ha encontrado que hay similitud en los valores.

Como este Alimentador estaba conectado al alimentador L3/4030-LA-003 en la estructura LT3-10, se tuvo que aperturar los cuellos en la estructura mencionada y poder realizar las pruebas de Parámetros Eléctricos de manera segura y confiable.

### **CAPÍTULO III.**

#### **APORTES Y DESARROLLO DE EXPERIENCIAS**

##### **3.1. Aportes utilizando los conocimientos o bases teóricas adquiridas durante la carrera**

Uno de los aportes realizados por mi persona fue crear una hoja de cálculo en Excel para comparar los valores teóricos de impedancia en los alimentadores de la línea de 60 kV con los resultados de evaluación del Equipo de Medición CPC 100 en combinación con el CP. CU1.

Dichas ecuaciones se formulan en el curso de Diseño eléctrico de Líneas de Transmisión en la universidad recibida por mi persona y se pone en práctica en la elaboración de la tabla de cálculo.

Dierks, Troskie, y Kruger, (2005) define que “La medición física de la impedancia de una línea aérea se basa en la ley de Ohm” (p. 457):

$$Z= V / I$$

Donde:

Z= impedancia

V= voltaje

I= corriente

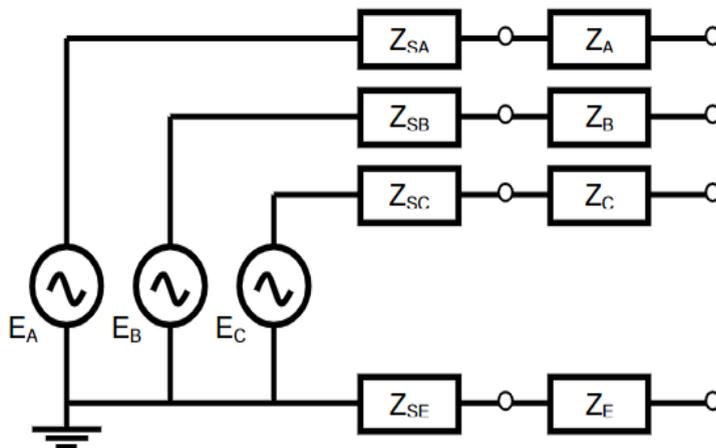
Al realizar mediciones de resistencia en líneas de transmisión de 60 kV, se debe inyectar una corriente ( $I_{\text{test}}$ ) en las tres fases (R, S y T), creando una caída de tensión ( $V_{\text{test}}$ ) debido a la impedancia resultante, que se debe medir en términos de amplitud y ángulo de fase.

“La impedancia compleja  $Z$  es calculada realizando una división compleja de ( $V_{\text{test}}$ ) dividida por ( $I_{\text{test}}$ ). La componente real de la impedancia compleja resultante es la componente resistiva y la componente compleja es la componente reactiva de la impedancia medida” (Herrera, 2012, p. 101).

“Para medir la impedancia de un sistema de transmisión trifásico, considere el circuito equivalente de una línea de transmisión” (Dierks, Troskie, Kruger 2005, p. 457).

**Figura 23**

*Circuito equivalente de una línea de transmisión*



*Nota:* Dierks, Troskie, y Kruger, 2005

“Cuando se inyecta la corriente en cada uno de los lazos de medición A-B, B-C, C-A, A-E, B-E, C-E, y  $A_{BC-E}$ , los lazos de impedancia  $Z_{A-B}$ ,  $Z_{B-C}$ ,  $Z_{C-A}$ ,  $Z_{A-E}$ ,  $Z_{B-E}$ ,  $Z_{C-E}$  y  $Z_{ABC-E}$  pueden ser determinadas por las siguientes ecuaciones” (Dierks, Troskie, y Kruger, 2005, p. 457):

- $Z_{A-B} = Z_A + Z_B$
- $Z_{B-C} = Z_B + Z_C$
- $Z_{C-A} = Z_C + Z_A$
- $Z_{A-E} = Z_A + Z_E$
- $Z_{B-E} = Z_B + Z_E$
- $Z_{C-E} = Z_C + Z_E$
- $Z_{ABC} = (Z_A // Z_B // Z_C) + Z_E$

Se puede ver que se generan siete ecuaciones en el sistema equivalente de la línea de transmisión.

Para la tabla de cálculo se aplicó las siguientes ecuaciones para comparar con el programa de cálculo del CPC100, También se verificó las ecuaciones que maneja el programa para realizar su propio cálculo al momento de censar de realizar la evaluación del cálculo para su reporte.

A continuación, se mostrará las ecuaciones usadas para la comparación del valor teórico del sistema eléctrico con el Equipo Analizador de Redes CPC100:

- Impedancia de secuencia positiva:

$$Z_1 = Z_p - (Z_m)$$

Donde:

$Z_1$  = Impedancia de secuencia positiva

$Z_p$  = Impedancia propia

$Z_m$  = Impedancia mutua

- Impedancia propia:

$$Z_p = \frac{Z_o + 2 * (Z_1)}{3}$$

Donde:

$Z_0$ = Impedancia cero

$Z_1$  = Impedancia secuencia positiva o directa

$Z_p$  = Impedancia propia

- Impedancia mutua:

$$Z_m = \frac{Z_o - (Z_1)}{3}$$

Donde:

$Z_0$ = Impedancia cero

$Z_1$  = Impedancia secuencia positiva

$Z_m$  = Impedancia mutua

- Impedancia homopolar:

$$Z_0 = Z_p + 2(Z_m)$$

Donde:

$Z_0$ = Impedancia cero

$Z_p$  = Impedancia propia

$Z_m$  = Impedancia mutua

Se mostrará las hojas de cálculo de las líneas de transmisión de 60 kV de los alimentadores (LT1, LT2-21, LT2-22, LT3 y LT4) en el Anexo (6,7,8,9 y 10).

### **3.2 Desarrollo de experiencias**

El desarrollo de experiencia en el transcurso de mi permanencia en el proyecto Quellaveco se enfocó en la realización de las PRUEBAS DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE 60 kV, cada prueba que se realizaba a los Alimentadores L1, L2-21, L2-22, L3 y L4 fueron retos individuales, ya que cada alimentador tenía una geometría distinta y terreno geográfico distinto lo que hacía que los parámetros Eléctricos sean distinto entre ellos, esto fue de suma importancia para mi crecimiento personal y profesional. lo que despertó un interés más profundo en la rama de la Ingeniería en el tema de las pruebas eléctricas de las Líneas y Equipos Eléctricos.

El interés que despertó las pruebas eléctricas en las líneas eléctricas fue debido a que siempre se veía que en los proyectos se realizaban pruebas eléctricas a las líneas eléctricas de manera lineal de un solo alimentador y no se veía mayor problema en la realización de los trabajos, Con el fin de obtener los valores de los parámetros eléctricos, en esta oportunidad realicé pruebas eléctricas a los diversos alimentadores del proyecto, los cuales se unían y se ramificaban en su trayectoria, es decir eran alimentados por un alimentador L1 el cual llegaba a la subestación intermedia y distribuía a 2 dos alimentadores L2 y L3, el alimentador L2 era de doble terna (L2-21 Y L2-22), y el alimentador L3 tenía un recorrido lineal, pero en la estructura L3-10 deriva a otro alimentador L4, las pruebas a cada alimentador deberían ser cuidadosamente realizadas, cumpliendo procedimientos y medidas de seguridad ya que a inducción en las líneas podrían dar valores de medición erróneas y también podrían poner en peligro la integridad del trabajador.

Poder cumplir cada trabajo programado dependió mucho de mi formación

profesional y personalidad; también pude dar a conocer ciertos aspectos:

- **Liderazgo:** Estar a cargo de un grupo de personas capacitadas y experimentadas, me hizo comprender que la comunicación eficaz es de suma importancia para poder asignar tareas y que estas sean cumplidas en su totalidad y si se presentara dificultades para realizarlas se estudie como darle solución en conjunto con el equipo de trabajo.
- **Toma de decisiones:** Al momento de que se vea afectado un trabajo por circunstancias de materiales, personas, equipos, etc. Se debe tomar de manera inmediata decisiones con las cuales se pueda subsanar dichas dificultades y continuar el trabajo de manera normal, ya que si no se tomara acciones inmediatas esto ocasionaría un retraso en la programación de trabajo, pérdida de horas hombre y trabajos inconclusos.
- **Conocimiento Teórico:** Durante el desarrollo de los trabajos en las pruebas eléctricas, se presentaron algunas dificultades, estas dificultades no dependía de los recursos, equipos, herramientas o personal Técnico, esto dependía más sobre el conocimiento teórico y dominio del tema, es así que a menudo era necesaria recurrir a información de distintos autores con respecto al tema de Pruebas Eléctricas, de este modo pude ampliar mis conocimientos y estar más capacitado para los trabajos futuros.

## CONCLUSIONES

- Primera.** Con las pruebas eléctricas realizadas a las Líneas de Transmisión de 60 kV del Proyecto Minero Quellaveco se da la confiabilidad de que se está entregando un sistema eléctrico confiable y que no presenta restricciones para su uso.
- Segunda.** Es indispensable realizar las pruebas eléctricas en las líneas eléctricas antes de su puesta en servicio ya que con estas pruebas podemos detectar fallas a lo largo de la trayectoria de las líneas que no se pueden apreciar a simple vista.
- Tercera.** Seguir los procedimientos para efectuar las pruebas a las líneas eléctricas nos benefició en muchos aspectos, tanto en el tema de seguridad, confiabilidad, costos y horas hombre, ya que seguir de manera eficaz el procedimiento nos asegura resultados óptimos y fiables.

## OBSERVACIONES

- Primera.** El equipo CPC 100 Y CP. CU1 son equipos, los cuales tienen múltiples funciones y brindan una gran ayuda al momento de realizar las pruebas eléctricas y brinda gran confiabilidad en las áreas de la Ingeniería.
- Segunda.** Uno de los métodos prácticos para verificar que las pruebas eléctricas fueron correctamente realizadas es verificar que la corriente inyectada por el equipo CPC 100 en la Línea debe ser igual a la corriente de salida detectada por el equipo CPC 100.
- Tercera.** La resistencia medida de los conductores combinados no debe diferir en más del 5 % del valor teórico, y las tres (3) fases de resistencia medidas deben compararse entre sí de la misma manera para garantizar que no difieran en más de 5 %.

## RECOMENDACIONES

**Primera.** Cuando se pretenda realizar pruebas eléctricas y se use cables auxiliares para el conexionado, se debe realizar una inspección visual a los terminales de los cables, ya que un desperfecto en los terminales generará una medición errónea en las pruebas.

**Segunda.** Cuando se realice un bucle en las fases de la línea eléctrica, estas deben ser cortocircuitadas en cada fase L1-L2, L2-L3 y L1-L3, ya que se observó que cuando solo se cortocircuita L1-L2 y L2-L3 hay una diferencia muy grande en los resultados de la fase L1 y L3 lo que ocasiona que no se obtenga un valor próximo al teórico al obtener el valor promedio de la suma de L1, L2 y L3.

**Tercera.** Al realizar mediciones de resistencia de línea, se recomienda establecer un sistema de conexión a tierra para que el equipo de prueba CPC 100 pueda medir la corriente con precisión y confiabilidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AngloAmerican. (2021). *Innovación y sostenibilidad para Moquegua y el Perú*.

Recuperado de <https://peru.angloamerican.com/anglo-american/nuestros-valores.aspx>

Copemi Sac. Constructores. (2018). *Diseño de Líneas Eléctricas de Distribución de 22.9 kV y 60 kV en el Proyecto Minero Quellaveco*. [Alcance]. Proyecto Quellaveco.

Copemi Sac. Constructores. (2019). *Soluciones que generan Energía*. Recuperado de <https://copemi.com/>

Copemi Sac. Constructores. (2021). *Diagrama de conexión eléctrico para pruebas de parámetros eléctricos en el Proyecto Minero Quellaveco*. [Alcance]. Proyecto Quellaveco.

Dierks, A. Troskie, H. y Krüger, M. (11 de julio del 2005). *Accurate Calculation And Physical Measurement of Transmission Line Parameters to Improve Impedance Relay Performance*. Recuperado el 2 de Diciembre del 2017 de [https://kupdf.net/download/accurate-calculation-and-physical-measurement-of-trasmission-line-parameters-to-improve-impedance-relay-performance\\_5a22c24ce2b6f5d16186a354\\_pdf](https://kupdf.net/download/accurate-calculation-and-physical-measurement-of-trasmission-line-parameters-to-improve-impedance-relay-performance_5a22c24ce2b6f5d16186a354_pdf)

Grigsby L. (2012). *The electric Power Handbook*. Recuperado de <https://zlibrary.to/pdfs/power-systems-the-electric-power-engineering-handbook>

Herrera, A. (2012). *Pruebas Eléctricas Durante La Puesta En Servicio De Líneas De Transmisión De Energía Eléctrica*. Universidad San Carlos De Guatemala, Guatemala. Recuperado de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0808\\_EA.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0808_EA.pdf).

Honda, (2022). *Generador monofásico de 5 KW*. Recuperado de <https://pf.honda.com.pe/producto/eg5000cx-5kv/>

Megabras. (2021). *Megóhmetro electrónico de alta tensión - 20 kV*. Recuperado de <https://www.megabras.com/es/productos/megóhmetro/megóhmetro-MI20KVe.php>

Omicron. (2020). *Manual Del Usuario CPC 100*. Recuperado de <https://www.omicronenergy.com/es/productos/cpc-100/>

Omicron. (2020). *Manual Del Usuario CP CUI*. Recuperado de <https://www.omicronenergy.com/es/productos/cp-cu1/#contact-menu-open>