

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**“IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO LOCALIZADOR DE FALLAS POR  
ONDAS VIAJERAS, APLICADO A LAS LÍNEAS AÉREAS DE  
ABENGOA TRANSMISIÓN NORTE”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
ELECTRICISTA**

**AUTOR: BACH. NILTHON EUFRACIO FERRER**

Callao, Diciembre, 2015  
PERÚ



## **HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN**

**Dar por aprobado con calificativo de muy bueno:**

**PRESIDENTE : DR. ING. JUAN HERBER GRADOS GAMARRA**

**SECRETARIO : ING. JESUS HUBER MURILLO MANRIQUE**

**VOCAL : ING. PABLO MANUEL MORCILLO VALDIVIA**

**ASESOR : MG. ING. CARLOS ALBERTO HUAYLLASCO MONTALVA**



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

## FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

### ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

#### TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRICISTA

**“IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO LOCALIZADOR DE FALLAS POR  
ONDAS VIAJERAS, APLICADO A LAS LÍNEAS AÉREAS DE  
ABENGOA TRANSMISIÓN NORTE”**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:**

**NILTHON EUFRACIO FERRER**

**ASESOR:**

**MG. ING. CARLOS ALBERTO HUAYLLASCO MONTALVA**

**CALIFICACIÓN:**

**DIECISIETE (17)**

**DR. ING. JUAN HERBER**

**GRADOS GAMARRA**

**Presidente del Jurado**

**ING. JESUS HUBER MURILLO**

**MANRIQUE**

**Secretario del Jurado**

**ING. PABLO MANUEL MORCILLO VALDIVIA**

**Vocal del Jurado**

**Callao - Perú, Diciembre, 2015**

## DEDICATORIA

A mis padres, Francisco y Rosalia, a mis hermanas Nelcy, Yaneth e Hiliana y a mi hermano Noel.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero iniciar agradeciendo a Dios, por darme la vida lleno de retos e hizo que me rodee con personas que cada día fueron de constante aprendizaje.

Quiero agradecer a mi padre Francisco, que desde niño me enseñó la disciplina, la constancia, la ética, y sobre todo ser hombre prevenido.

A mi madre Rosalía, que desde el cielo junto a Dios, me ilumina con su bendición.

A mis hermanas Nelcy y Yaneth, que han suplido a mi madre y hicieron que nunca me falte cariño y amor.

A mi alma mater y a mis profesores de la Universidad, que me inspiraron la pasión por nuestra carrera de Ingeniería Eléctrica.

A mi Capítulo Estudiantil IEEE Power and Energy Society (PES) de mi Universidad, donde aprendí a formar una maravillosa familia profesional emprendedora y realizar el trabajo en equipo, en el campo de Sistemas Eléctricos de Potencia.

Al Departamento de Protecciones de la Gerencia de Operaciones de la empresa Abengoa Omega Perú, la cual me ha permitido desarrollar mi potencial intelectual y me han brindado la confianza para poder desarrollar este y diferentes proyectos de investigación, para el beneficio de la empresa.

A mi asesor Mg. Ing. Carlos Alberto Huayllasco Montalvo y al Ing. Pablo Manuel Morcillo Valdivia, quienes me apoyaron en las correcciones y la orientación de la culminación de mi tesis.

A Cinthia Estefanero, la cual me ha brindado su amor y apoyo en todos mis proyectos, y ha estado en mis triunfos y derrotas.

## ÍNDICE

<b>CARÁTULA</b> .....	1
<b>DEDICATORIA</b> .....	4
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	5
<b>ÍNDICE</b> .....	6
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	8
<b>CUADROS DE CONTENIDO</b> .....	12
<b>RESUMEN</b> .....	14
<b>ABSTRAC</b> .....	16
<b>I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	18
1.1. Identificación del problema .....	18
1.2. Formulación del problema .....	19
1.3. Objetivos de la investigación .....	20
1.4. Justificación .....	21
1.5. Importancia .....	21
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	22
2.1. Antecedentes del estudio.....	22
2.2. Fundamento ontológico .....	46
2.3. Fundamento metodológico .....	46
2.4. Fundamento epistemológico .....	46
2.5. Definición de términos básicos .....	46
<b>III. VARIABLES E HIPÓTESIS</b> .....	51
3.1. Variables de la investigación .....	51
3.2. Operacionalización de variables .....	51
3.3. Hipótesis general e hipótesis específica .....	51
<b>IV. METODOLOGÍA</b> .....	53
4.1. Tipo de investigación .....	53
4.2. Diseño de la investigación .....	53
4.3. Población y muestra .....	53
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	56
4.5. Procedimientos de recolección de datos .....	62

4.6. Procesamiento estadístico y análisis de datos .....	62
<b>V. RESULTADOS .....</b>	<b>75</b>
<b>VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>94</b>
6.1. Contrastación de hipótesis con los resultados.....	94
6.2 Contrastación de resultados con otros estudios similares .....	95
<b>VII. CONCLUSIONES.....</b>	<b>96</b>
<b>VIII. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>97</b>
<b>IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>98</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>99</b>
<b>Matriz de consistencia.....</b>	<b>100</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura N° 2.1:</b> Modelo de Sistema Eléctrico de Potencia .....	24
<b>Figura N° 2.2:</b> Modelo de Sistema Eléctrico de Potencia del Perú-Agosto 2014 .....	24
<b>Figura N° 2.3:</b> Representación Fasorial de Secuencias .....	26
<b>Figura N° 2.4:</b> Representación de un SEP con sus Redes de Secuencia ...	29
<b>Figura N° 2.5:</b> Modelo para una Falla Monofásica a Tierra.....	30
<b>Figura N° 2.6:</b> Modelamiento para una Falla Bifásica a Tierra.....	31
<b>Figura N° 2.7:</b> Modelamiento para una Falla Bifásica Aislada .....	31
<b>Figura N° 2.8:</b> Modelamiento para una Falla Trifásica.....	32
<b>Figura N° 2.9:</b> Relés de la Marca SIEMENS.....	33
<b>Figura N° 2.10:</b> Esquema de Conexión de un Relé SEL - 421 .....	33
<b>Figura N° 2.11:</b> Representación de Fallas en las LT .....	34
<b>Figura N° 2.12:</b> Zonas de Protección Diferencial de Línea .....	35
<b>Figura N° 2.13:</b> Esquema General de Línea Corta .....	36
<b>Figura N° 2.14:</b> Modelamiento en Pre-Falla de una LT.....	36
<b>Figura N° 2.15:</b> Modelamiento en Post-Falla de una LT .....	37
<b>Figura N° 2.16:</b> Esquema Simplificado de una Falla.....	42
<b>Figura N° 2.17:</b> Esquema para de Relés ABB .....	44

<b>Figura N° 2.18:</b> Esquema para de Relés General Electric.....	44
<b>Figura N° 3.1:</b> Oscilografía de Relé FP1 L-2264 S.E. Conococha.....	51
<b>Figura N° 4.1:</b> Relés RED670 en ATN.....	58
<b>Figura N° 4.2:</b> Relés L90 en ATN .....	58
<b>Figura N° 4.3:</b> Arquitectura del RPV-311 - S.E.Carhuamayo Nueva .....	59
<b>Figura N° 4.4:</b> Centro de Control de Abengoa Omega Perú - ATN.....	60
<b>Figura N° 4.5:</b> PC de Gestión de los Relés - ATN .....	60
<b>Figura N° 4.6:</b> Total de Fallas de ATN del 2011-2014 .....	61
<b>Figura N° 4.7:</b> Fallas de ATN Calificación de Osinergmin.....	61
<b>Figura N° 4.8:</b> Fallas de ATN por Año .....	62
<b>Figura N° 4.9:</b> “Base_Tesis_Nilthon” en Digsilent Power Factory.....	63
<b>Figura N° 4.10:</b> Modelo de la Línea L-2268 en Digsilent Power Factory .....	64
<b>Figura N° 4.11:</b> Modelo de la Línea L-2270 en Digsilent Power Factory .....	65
<b>Figura N° 4.12:</b> Modelo de la Línea L-2274 en Digsilent Power Factory .....	67
<b>Figura N° 4.13:</b> Modelo de la Línea L-2275 en Digsilent Power Factory .....	68
<b>Figura N° 4.14:</b> Modelo de la Línea L-2264 en Digsilent Power Factory .....	70
<b>Figura N° 4.15:</b> Oscilografías de relé L90 L-2270 S.E. Conococha .....	72
<b>Figura N° 4.16:</b> Aisladores Rotos Fase “R” Torre T-183 de la Línea L-2270.....	72

<b>Figura N° 4.17:</b> Aisladores Repuestas Fase "R" Torre T-183 de la Línea L-2270.....	73
<b>Figura N° 4.18:</b> Flujograma MOLOVI.....	74
<b>Figura N° 5.1:</b> Flujograma de la Implementación del MOLOVI .....	76
<b>Figura N° 5.2:</b> Portada del MOLOVI Desarrollado en Matlab.....	77
<b>Figura N° 5.3:</b> Parte de la Programación en Matlab del MOLOVI.....	77
<b>Figura N° 5.4:</b> Portada del MOLOVI desarrollado en Matlab .....	78
<b>Figura N° 5.5:</b> "Módulo Localizador de Fallas por Ondas Viajeras – MOLOVI".....	78
<b>Figura N° 5.6:</b> Gráficas de los Relés y Transformada de Karrenbauer - MOLOVI.....	80
<b>Figura N° 5.7:</b> Gráficas de la Transformada de Wavelet- MOLOVI .....	81
<b>Figura N° 5.8:</b> Registros Oscilográficos - MOLOVI.....	82
<b>Figura N° 5.9:</b> Gráficas de Corrientes por Fase (R, S y T) - MOLOVI .....	83
<b>Figura N° 5.10:</b> Gráficas de Transformada de Karrenbauer - MOLOVI .....	84
<b>Figura N° 5.11:</b> Gráficas de Transformada de Wavelet - MOLOVI .....	85
<b>Figura N° 5.12:</b> Operación Final del Cálculo de la Distancia de Falla - MOLOVI.....	86
<b>Figura N° 5.13:</b> Errores en Kilómetros de la Línea L-2268 .....	87
<b>Figura N° 5.14:</b> Errores en Kilómetros de la Línea L-2270 .....	88

<b>Figura N° 5.15: Errores en Kilómetros de la Línea L-2274 .....</b>	<b>89</b>
<b>Figura N° 5.16: Errores en Kilómetros de la Línea L-2275 .....</b>	<b>90</b>
<b>Figura N° 5.17: Errores en Kilómetros de la Línea L-2264 .....</b>	<b>91</b>
<b>Figura N° 5.18: Visualización Distancia de Falla de la Línea L-2264.....</b>	<b>93</b>

## RESUMEN

Los algoritmos desarrollados por la mayoría de los relés de protecciones y equipos osciloperturbógrafos, para el cálculo de la distancia de falla utilizan el método de impedancias, y por su propio algoritmo dependen de parámetros de la línea, transposición de las líneas, resistencia de falla, carga de la línea, fallas de alta impedancia, acoplamiento entre líneas, y ello conlleva errores en el cálculo de la distancia de falla en los relés de protección de 8 km hasta 30 km, estos valores son obtenidos de la base de datos de fallas de Abengoa Omega Perú.

El objetivo principal de esta investigación es la implementación del Módulo Localizador de Fallas por Ondas Viajeras (MOLOVI), en su efecto se ha utilizado el modelamiento de onda viajeras, la misma que ha sido diseñada mediante una rutina de cálculo bajo la plataforma de programación en Matlab.

DESMENBRACIÓN MENTAL DE LA INGENIERÍA ELÉCTRICA		
PROGRAMA	SUB PROGRAMA	PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN
Transmisión de la Energía Eléctrica	Hasta 500 kV.	Media Tensión
		Alta Tensión
		Extra Alta Tensión
	Mayor a 500 kV.	Estabilidad, Potencia y Protección de Sistemas Eléctricos

Cuadro N° 0.1: Cuadro de Desmenbración Mental Ing. Eléctrica(Fuente: [2])

## **ABSTRAC**

The algorithms developed by most protection relays and osciloperturbógrafos equipment for calculating the fault distance using the impedance method, and its own algorithm dependent line parameters, transposing lines, fault resistance, load line, high impedance faults, coupling between the lines, and this entails errors in the calculation of the fault distance protection relays in 8 km to 30 km, these values are obtained from the database failures Omega Abengoa Peru.

The main objective of this research is the implementation of MOLOVI module (Fault Locator by Traveling Waves Module), its effect has been used traveling wave modeling, it has been designed by a calculation routine in the programming platform in Matlab.

Matlab processes the information extracted from the records of protective relays at both ends of the line (A and B), and this information is complemented with the mathematical formula in a simplified form of the traveling wave and finally have the MOLOVI digital module.

The MOLOVI, is capable of processing signals wavefront voltage or current, which are generated when a fault lines occur in North Tranmsión Abengoa, these signals are extracted from the disturbance of IEDs and then calculates the distance fault.

Currently the development of this modeling by traveling waves already exist, are used by different brands of equipment osciloperturbógrafos but are economically costly, these range from \$ 30 to US \$ 000,00 35 000,00 per team, often for transmission companies find it too expensive.

The importance of the digital module MOLOVI implemented, lies in accurately calculate the fault distance, and thus locate the point of failure in the lines of ATN, the Caules by the insulators can be damaged, broken conductors, etc. Subsequent to this the respective corrections

maintenance is performed and has shorter indisposition line and so no loss is generated in the system, its application described below:

- Airlines long high voltage and extra high voltage of 138 kV, 220 kV and 500 kV as in the case of Peru.
- Lines with Series Compensation Banks (BCS) at 220 kV and 500 kV as in the case of Peru, no longer considers the influence of line parameters.
- Application system ring networks.
- To HVDC systems in the case of the Integrated Brazil.

## **I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

Debido al incremento en la complejidad de los Sistemas Eléctricos de Potencia es de gran importancia la detección de fallas en todos los elementos que componen el Sistema, más aún en las Líneas Aéreas de Transmisión ya que por ser una parte mayoritaria e indispensable para unir los centros de generación con los centros de carga y estar ubicadas en toda la geografía del territorio nacional se vuelven más vulnerables a fallas debido a elementos externos como: descargas atmosféricas, ramas de árboles, nieve o granizo, hielo excesivo, etc.

Por el agitado clima de la zona sierra del Perú, están propensas a las fallas las líneas de Abengoa Transmisión Norte de 220 kV, que es parte de la concesión de Abengoa Omega Perú, que comprende el enlace desde el sistema centro hacia el sistema norte del SEIN, que parte de las Subestación de Paragsha II, recorriendo con tramos de simple y doble terna por subestaciones de Carhuamayo Nueva, Conococha, Kiman Ayllu, La Ramada y finalmente concluyendo en Cajamarca Norte.

### **1.1. Identificación del problema**

Los algoritmos desarrollados por la mayoría de los IEDs de protecciones para el cálculo de la distancia de falla utilizan el método de impedancias y por su propio algoritmo dependen de parámetros de la línea, transposición de las líneas, resistencia de falla, carga de la línea, fallas de alta impedancia, acoplamiento entre líneas, y ello conlleva al cálculo de la distancia de falla en los relés de protección con errores de 8 km hasta 30 km, esto representa una gran desventaja para indisponer el tiempo de la línea y repercute económica y técnicamente de forma negativa en los intereses de la empresa.

Actualmente existen osciloperturbógrafos o comunmente llamados registradores de falla de diferentes marcas que utilizan el modelamiento de ondas viajeras, si bien es efectivo en su cálculo de la distancia de falla,



pero económicamente es muy costoso en su adquisición, la cual es una de las desventajas para la adquisición de estos equipos.

## 1.2. Formulación del problema

### ➤ Problema General

Actualmente ante la ocurrencia de una falla en las líneas de Abengoa Transmisión Norte, son los relés de protección ó comúnmente llamado IEDs de las marcas ABB (RED670) y GE (L60 y D60), adicional a sus funciones de protección ( 87L, 21L, etc), son las que realizan el cálculo de la distancia de falla, las cuales según los esquemas de las figuras **Figura N° 2.18** (ABB) y **Figura 2.19** (GE), utilizan el método de impedancias, las cuales implican conocer los parámetros de la línea y resistencia de falla a tierra, la cual es muy difícil saber el valor de dicha resistencia, como consecuencia influye técnica y tecnológicamente de forma negativa en el cálculo eficiente de la distancia de falla. Al no obtener la distancia correcta de falla, implica mayor tiempo de indisponibilidad de operación de la línea y ello influye de forma negativa en los intereses de ATN, puesto le genera gastos en el pago de compensación a los clientes afectados (resarcimiento) por la potencia interrumpida, sumado al tiempo de indisponibilidad que la línea estuvo fuera de servicio, la cual por cada 30 minutos y 100 MW de interrupción implica compensación de \$ 100.00 dólares, adicional a ello los costos en los recursos del personal de mantenimiento de \$ 1000 dólares.

Similar a la tecnología de los IEDs, en las líneas de ATN, existen los osciloperturbógrafos o comúnmente llamado registradores de falla de marca Reason, que utilizan el modelamiento por Ondas Viajeras para el cálculo de la distancia de falla, según descrita en el Figura N° 2.16 y detallado según la fórmula (2.34), la cual es muy efectivo en los cálculos de la distancia de falla, pero cada equipo aborda los \$ 20 000 dólares y multiplicado por 20 equipos que se cuenta en las instalaciones de ATN, la

cual ha generado un costo de \$ 400 000 dólares en su adquisición y ha generado el impacto económico negativo por su elevado costo.

#### ➤ **Problemas Específicos**

Actualmente no existe un software especializado en el mercado eléctrico que utilice el método de ondas viajeras y que conlleve a errores mínimos en su cálculo y que no implique elevado costo en la adquisición de la misma, para el cálculo de la distancia de falla en líneas de Abengoa Transmisión Norte (ATN).

Entonces nos hacemos las siguientes preguntas:

**P.E.1:** ¿Es posible diseñar un módulo digital, utilizando el método de ondas viajeras, que reduzca los costos en tecnologías similares y calcule la distancia de falla de maneras más efectiva?.

**P.E.2:** ¿Qué información, equipos y herramientas tecnológicas requiere para su diseño e implementación?.

**P.E.3:** ¿Cuáles pueden ser los alcances de implementarse en el Centro de Control de Abengoa Omega Perú?.

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### **- Objetivo general**

Implementar el Módulo Localizador de Fallas por Ondas Viajeras (MOLOVI), de tal manera que sea capaz de calcular la distancia de falla con errores mínimos, aportando tecnológica y económicamente en los intereses de la empresa al ser aplicadas a las líneas de ATN.

#### **- Objetivo específicos**

**O.E.1:** Diseñar el Módulo Localizador de Fallas por Ondas Viajeras (MOLOVI), utilizando el método de ondas viajeras, que reduzca los costos en tecnologías similares y calcule la distancia de falla de manera más efectiva.

### **Basado en Ondas Viajeras:**

Los autores del estudio aluden a los aportes de J. Carson, basados en la medición del tiempo que toma el frente de onda en propagarse desde el punto de la línea donde ocurrió una discontinuidad hasta el punto de medición en el extremo de dicha línea. Si se conoce la velocidad con que viaja la onda (que es cercana a la velocidad de la luz), entonces es posible calcular la distancia recorrida por el frente de onda. Estos métodos fueron propuestos por primera vez en 1931. Su implementación en el mercado se dio inicialmente a mediados del siglo XX pero fueron gradualmente abandonados en la década de 1970 debido a sus altos costos, poca confiabilidad y problemas de mantenimiento, sin embargo luego fueron retomados en otros trabajos que utilizan esta técnica para la localización.

Es así como el desarrollo de mejores sistemas de comunicación y procesamiento de señales en la década de 1990, han aumentado las aplicaciones de los métodos basados en onda viajera en los sistemas AC, sin embargo estos métodos son más usados en líneas de alta tensión en DC (HVDC). De hecho, todos los métodos de localización de fallas usados en líneas HVDC se basan en onda viajera sin excepción [6].

### **Introducción General a Fallas en los Sistemas Eléctricos de Potencia**

El sistema eléctrico de potencia, que se encuentran operando en condiciones de estado estacionario, están sujetas a perturbaciones(fallas) producidas por diversas causas. Estas perturbaciones, originan cambios en las magnitudes de la corriente y la tensión en todo el sistema eléctrico de potencia.

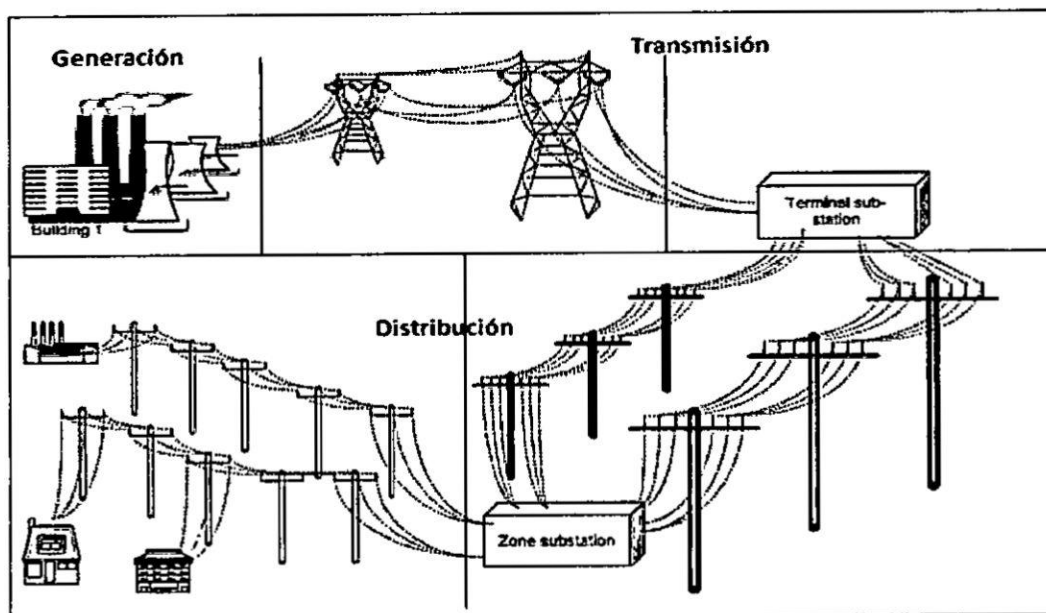


Figura N° 2.1: Modelo de Sistema Eléctrico de Potencia (Fuente: [6])

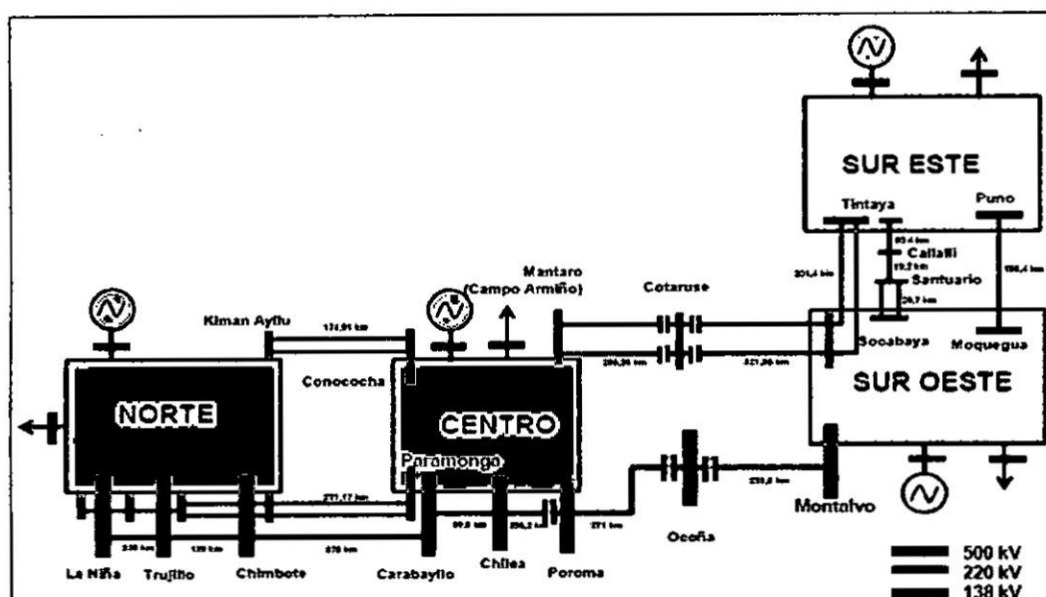


Figura N° 2.2: Modelo de Sistema Eléctrico de Potencia del Perú-Agosto 2014 (Fuente: [6])

Las estadísticas de fallas se muestran a continuación:

Ubicación	Porcentaje
Lineas de transmisión	85%
Barras ó Subestaciones	12%
Transformadores y Generadores	03%

Cuadro N° 2.2: Porcentaje de Fallas en un SEP (Fuente: [7])

Como se puede observar la **Cuadro N°2.2**, las líneas de transmisión están más propensas a las fallas, y los tipos de fallas en este sistema se muestra a continuación:

<b>Tipos de Fallas</b>	<b>Porcentaje</b>
Monofásicas a tierra	85%
Bifásicas/Bifásicas a tierra	10%
Transformador	05%

**Cuadro N° 2.3:** Porcentaje de Fallas en Líneas de Transmisión (Fuente: [7])

Estas fallas tienen orígenes en:

- Condiciones climáticas (descargas atmosféricas, lluvias, nieve, granizo)
- Medio ambiente (contaminación, corrosión, incendio, movimiento telúrico)
- Animales (aves, roedores)
- Terceros (actos vandálicos, choques)
- Propias de la red (error de operación, sobrecargas, envejecimiento)

### **Modelamiento General de Fallas**

#### **a) Componentes Simétricas:**

Un sistema eléctrico de potencia se puede representar por una red de secuencias:

##### **Secuencia positiva:**

Formado por tres fasores de igual magnitud, desfasados  $120^\circ$  entre si con la misma secuencia de fase que el sistema original. Se representa con el número 1.

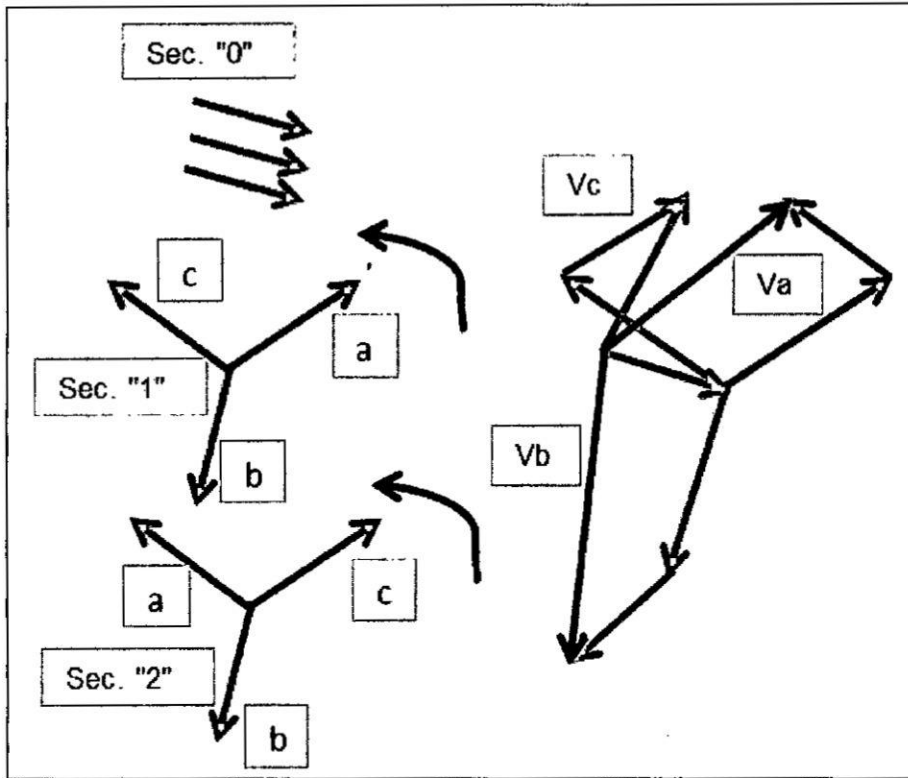
##### **Secuencia negativa:**

Formado por tres fasores de igual módulo, desfasados  $120^\circ$  entre si con la secuencia de fases opuesta a la de los fasores originales. Se representa con el número 2.

**Secuencia cero:**

Formada por tres fasores de igual módulo con desfase nulo. Se representa con el número 0.

Fasorialmente se representa a continuación:



**Figura N° 2.3:** Representación Fasorial de Secuencias (Fuente: [6])

Las ecuaciones vectoriales se describe a continuación [6]:

$$\begin{aligned} \vec{V}_R &= \vec{V}_{R0} + \vec{V}_{R1} + \vec{V}_{R2} \\ \vec{V}_S &= \vec{V}_{S0} + \vec{V}_{S1} + \vec{V}_{S2} \\ \vec{V}_T &= \vec{V}_{T0} + \vec{V}_{T1} + \vec{V}_{T2} \end{aligned} \dots\dots\dots(2.1)$$

Las relaciones:

$$\begin{aligned}\bar{V}_{R1} &= V_{R1} < 0^\circ \\ \bar{V}_{S1} &= V_{R1} < 240^\circ \\ \bar{V}_{T1} &= V_{R1} < 120^\circ\end{aligned}\dots\dots\dots(2.2)$$

$$\begin{aligned}\bar{V}_{R2} &= V_{R2} < 0^\circ \\ \bar{V}_{S2} &= V_{R2} < 120^\circ \\ \bar{V}_{T2} &= V_{R2} < 240^\circ\end{aligned}\dots\dots\dots(2.3)$$

$$\begin{aligned}\bar{V}_{R0} &= V_{R0} < 0^\circ \\ \bar{V}_{S0} &= V_{R0} < 0^\circ \\ \bar{V}_{T0} &= V_{R0} < 0^\circ\end{aligned}\dots\dots\dots(2.4)$$

Operador complejo:

$$\bar{a} = 1 < 120^\circ = -1/2 + j\sqrt{\frac{3}{2}}\dots\dots\dots(2.5)$$

Tensiones para cada fase:

$$\begin{aligned}\bar{V}_R &= \bar{V}_{R0} + \bar{V}_{R1} + \bar{V}_{R2} = V_{R0} + V_{R1} + V_{R2} \\ \bar{V}_S &= \bar{V}_{S0} + \bar{V}_{S1} + \bar{V}_{S2} = V_{R0} + a^2V_{R1} + aV_{R2} \\ \bar{V}_T &= \bar{V}_{T0} + \bar{V}_{T1} + \bar{V}_{T2} = V_{R0} + aV_{R1} + a^2V_{R2}\end{aligned}\dots\dots\dots(2.6)$$

Las ecuaciones detalladas en las fórmulas anteriores se puede representar para tensiones y corrientes:

$$\begin{bmatrix} V_R \\ V_S \\ V_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{R0} \\ V_{R1} \\ V_{R2} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\begin{bmatrix} I_R \\ I_S \\ I_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{R0} \\ I_{R1} \\ I_{R2} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.8)$$

Tensiones de secuencia:

$$\begin{bmatrix} V_{R0} \\ V_{R1} \\ V_{R2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ V_S \\ V_T \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.9)$$

Corrientes de secuencia:

$$\begin{bmatrix} I_{R0} \\ I_{R1} \\ I_{R2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_R \\ I_S \\ I_T \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.10)$$

Para una línea de transmisión, se tiene las siguientes consideraciones:

$$Z_1 = Z_2 \neq Z_0 \dots\dots\dots(2.11)$$



Un sistema eléctrico de potencia se puede representar por tres redes de secuencia:

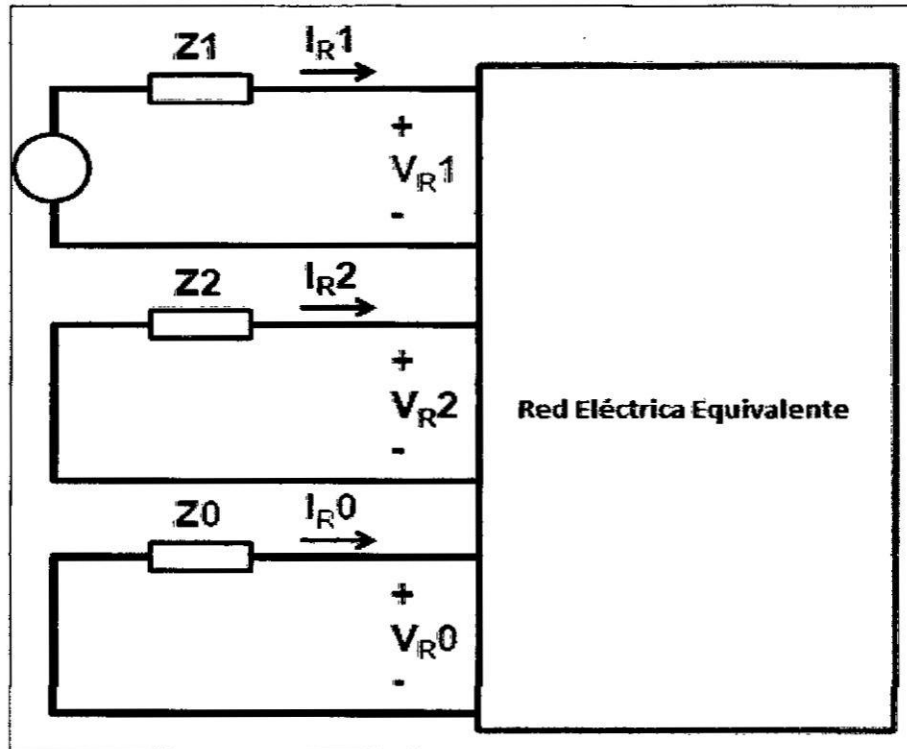


Figura N° 2.4: Representación de un SEP con sus redes de secuencia

(Fuente: Propio del autor)

Ante la ocurrencia de una falla en la línea de transmisión su presentación se detalla a continuación:

#### a) Falla Monofásica a Tierra

Por ejemplo ante una falla monofásica a tierra en la fase R, el modelamiento se resume en la Figura N° 2.5, donde se puede observar que se conectan en serie los circuitos de las secuencias (positivas, negativa y cero).

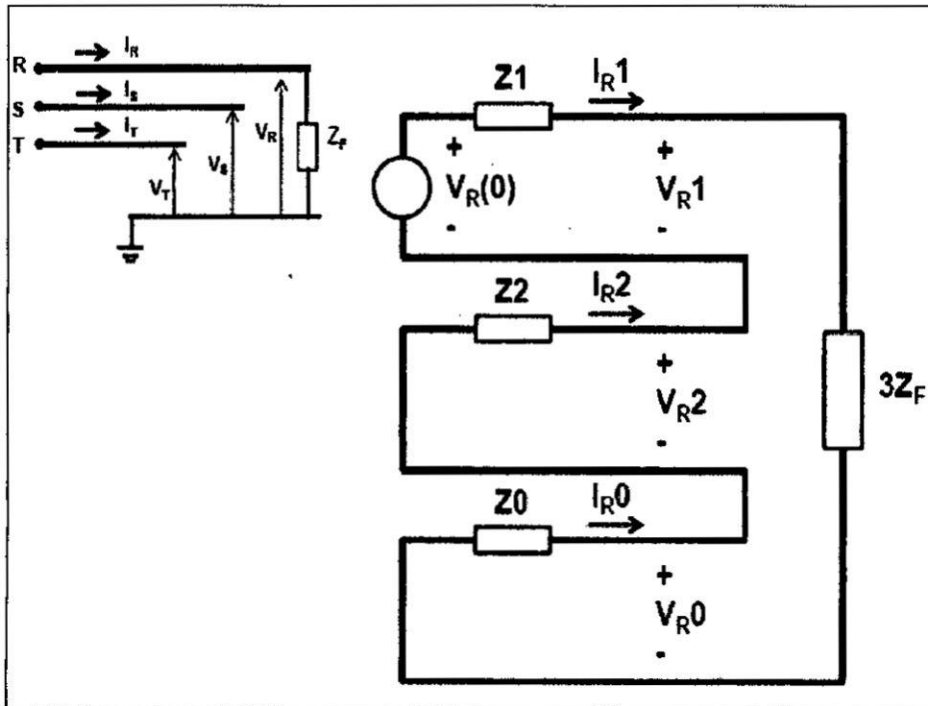


Figura N° 2.5: Modelo para una Falla Monofásica a Tierra (Fuente: Propio del autor)

#### b) Falla Bifásica a Tierra

Por ejemplo para una falla bifásica a tierra en las fases S y T, el modelamiento se resume en la Figura N° 2.6, donde se puede observar que se conectan en paralelo los circuitos de las secuencias (positivas, negativa y cero).

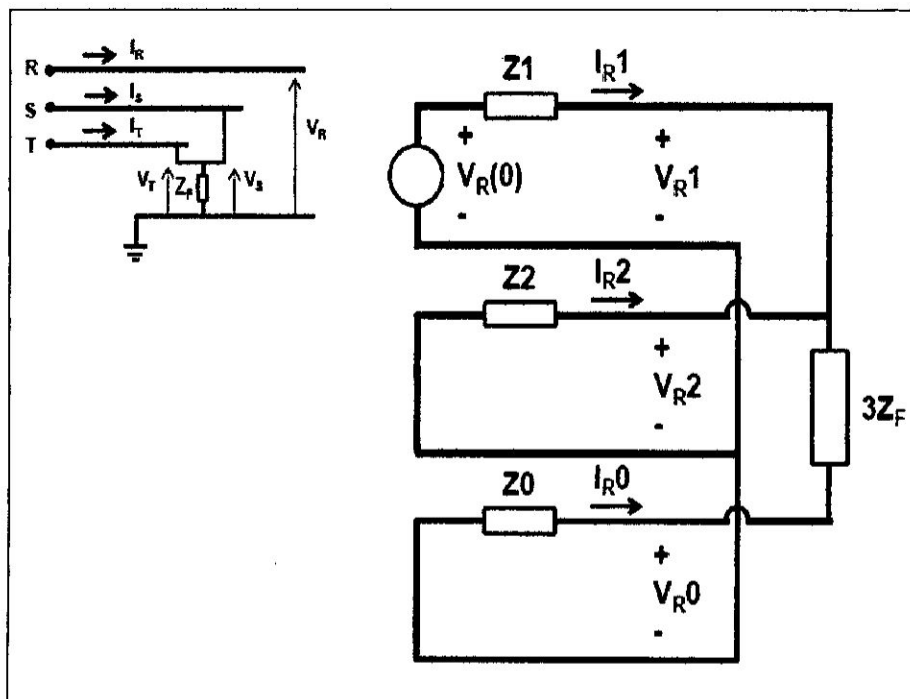


Figura N° 2.6: Modelamiento para una Falla Bifásica a Tierra (Fuente: Propio del autor)

### c) Falla Bifásica Aislada

Por ejemplo para una falla bifásica aislada en las fases S y T, el modelamiento se resume en la Figura N° 2.7, donde se puede observar que se conectan en paralelo los circuitos de las secuencias (positivas y negativa).

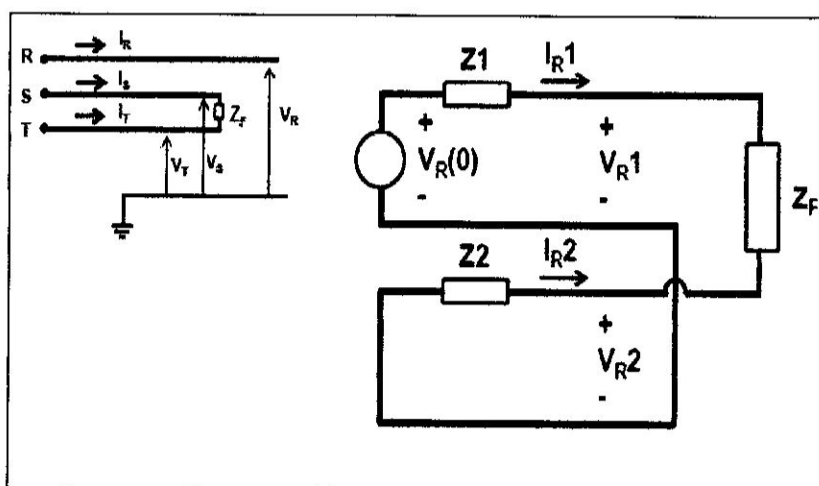


Figura N° 2.7: Modelamiento para una Falla Bifásica Aislada (Fuente: Propio del autor)

#### d) Falla Trifásica

Para este tipo de falla, sólo se considera la secuencia positiva

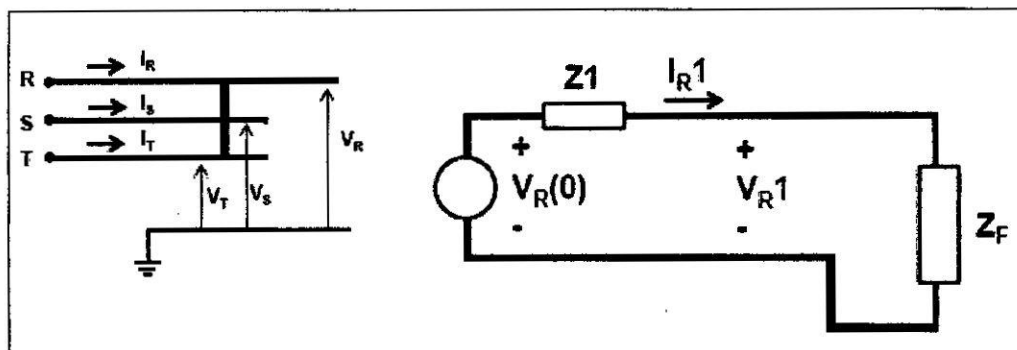


Figura N° 2.8: Modelamiento para una Falla Trifásica (Fuente: Propio del autor)

#### Introducción a los Sistemas de Protecciones en Líneas de Trasmisión

El sistema de protección para una línea de transmisión se detalla a continuación las más importantes:

- Protección diferencial de línea (87L)
- Protección de distancia de línea (21L)
- Protección de sobrecorriente de fases y a tierra instantánea (50 y 50N)
- Protección de sobrecorriente de fases y a tierra temporizadas (51 y 51N)
- Protección con comparador direccional de fases y tierra ( 67 y 67N)
- Protección con teleprotección ( POTT, PUTT, TDD, 67N)

#### Relés de Protección:

Los relés de protección o también llamadas IEDs(Intelligent Electronic Device), son dispositivos electrónicos inteligentes, que son capaces de detectar fallas en las líneas y poder aislarlas en el menor tiempo posible, dentro de las marcas más importantes están ABB, GE, SEL, SIEMENS, etc.

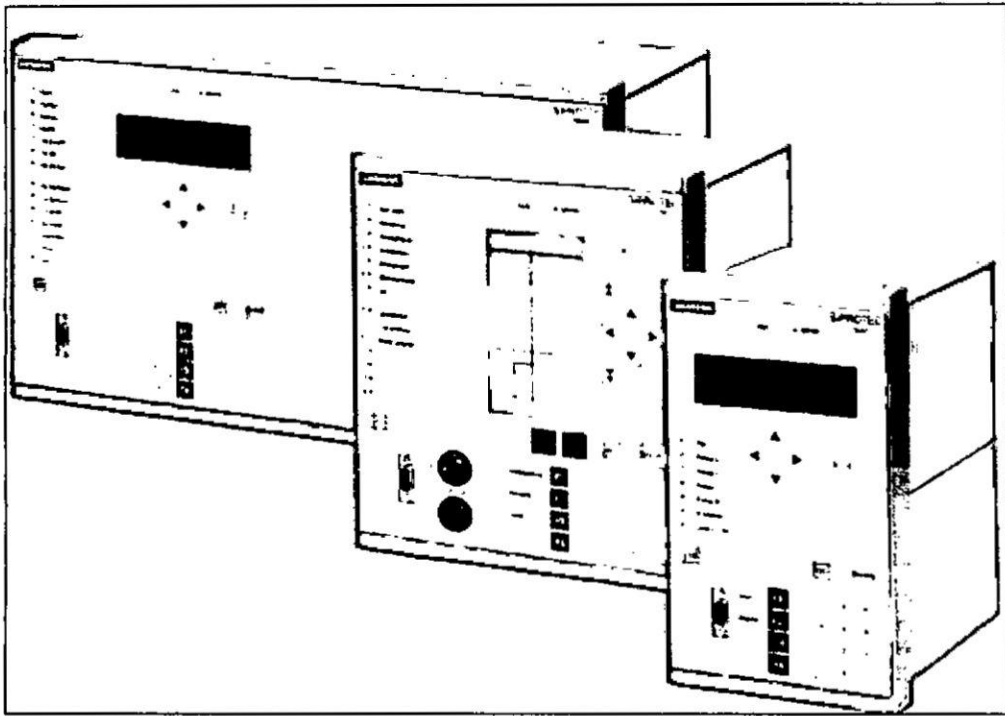


Figura N° 2.9: Relés de la Marca SIEMENS (Fuente: [3])

**Conexión de un Relé de Protección:**

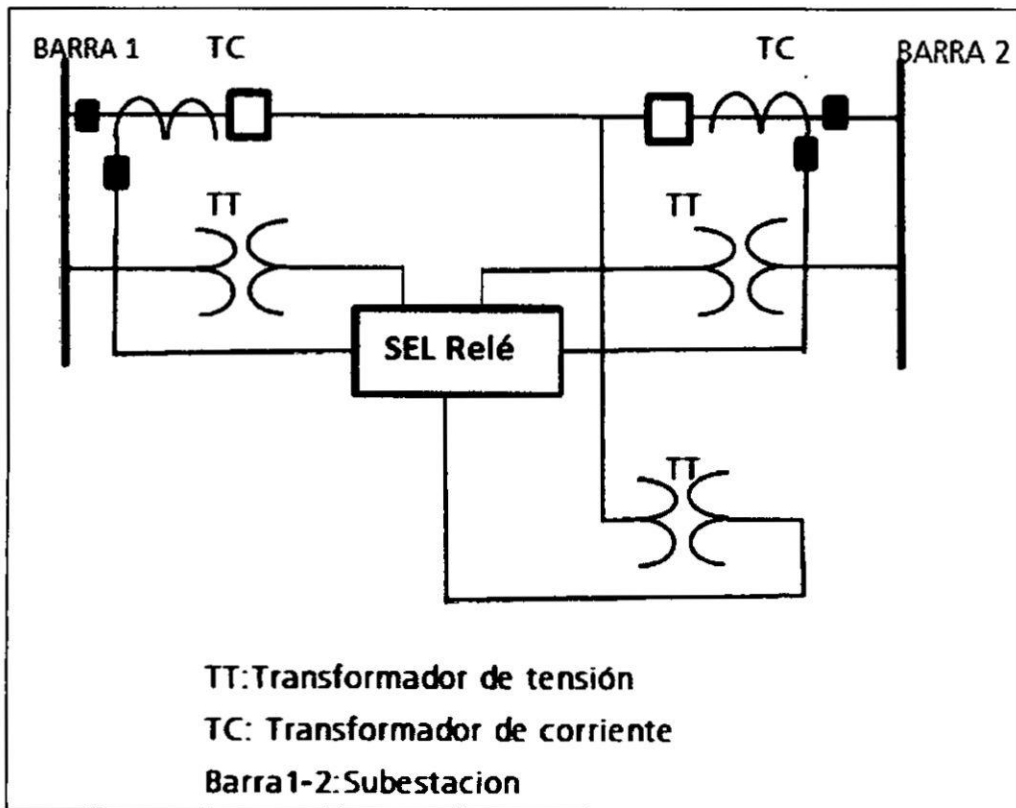


Figura N° 2.10: Esquema de Conexionado de un Relé SEL - 421 (Fuente: [3])

En las líneas de transmisión, dentro de las protecciones más importantes se encuentra la protección diferencial de línea (87L)

### Protección Diferencial de Línea (87L):

Es un relé diseñado para detectar fallas a través de la medida de la magnitud y la diferencia angular entre las corrientes de los extremos de la zona cubierta por el sistema de protección. Su fundamento se basa en que las sumas de las corrientes que entran y salen de la zona de protección, o sea es un sistema de protección selectiva, en forma esquemática se muestra a continuación:

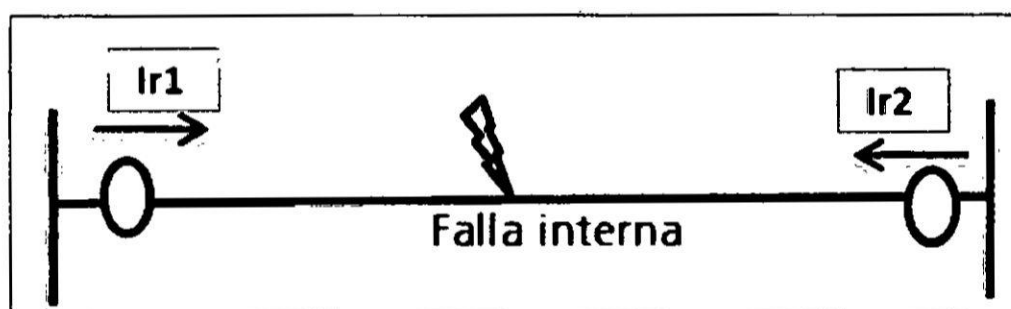


Figura N° 2.11: Representación de Fallas en las LT (Fuente: Propio del autor)

Según lo descrito en la **Figura N° 2.11**, para una falla interna, operará en su zona de operación (envía señal de disparo al interruptor), si en caso es una falla externa, no enviará ninguna señal de disparo al interruptor, gráficamente se representa en la **Figura N° 2.12**.

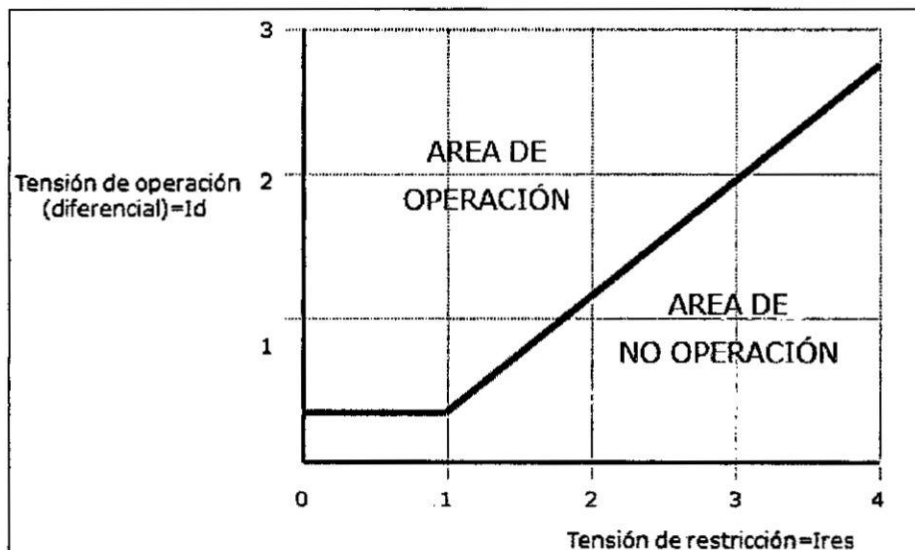


Figura N° 2.12: Zonas de Protección Diferencial de Línea (Fuente: Propio del autor)

### Algoritmos para el Cálculo de Distancias de Fallas en LTs

Los cinco algoritmos en estudio son: Reactancia, Takagi, Schweitzer, Ericksson y Ondas Viajeras; se eligieron por ser los más representativos encunto a la utilización en relés de protección, por sus características, las variables que usan, y por ser los de mayor aplicación en el sector eléctrico peruano.

Los algoritmos de Reactancia, Takagi, Schweitzer y Ericksson trabajan basados en la ecuación de línea corta para LT (ver Figura N° 2.13 y Cuadro N° 2.4) y usando directamente señales de tensión y corriente calculados por el relé de distancia, usando la impedancia de línea vista por el mismo, la cual se ve afectada por la resistencia de falla y por el aporte de corriente de los dos extremos de la LT. De la Figura N° 2.13 se deduce la ecuación (2.12), la cual es el lugar de partida para todos los algoritmos [5].

$$V_a = m * Zl * I_a + R_f * I_f \dots\dots\dots(2.12)$$

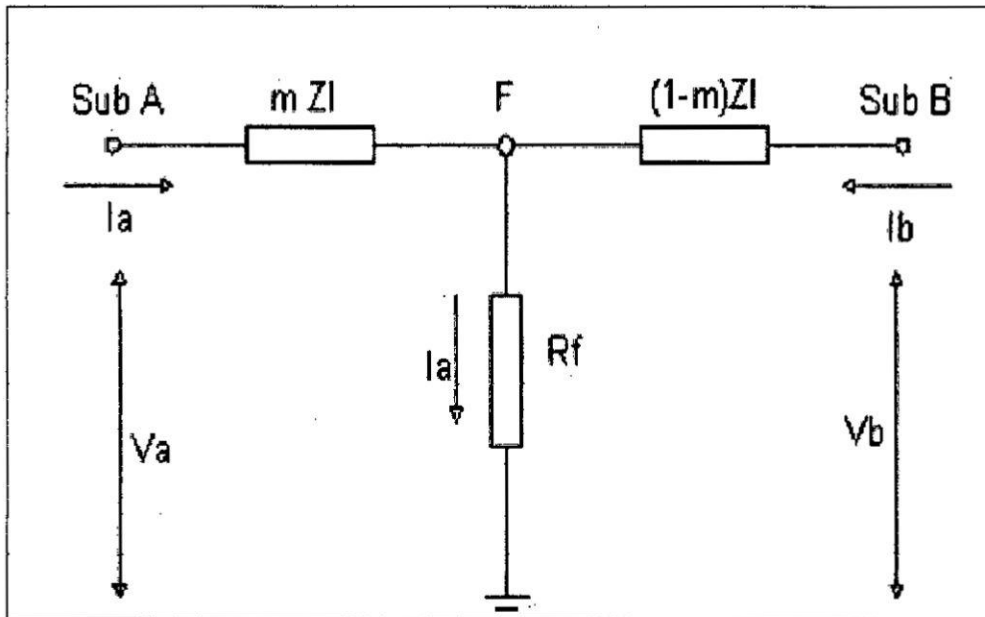


Figura N° 2.13: Esquema General de Línea Corta (Fuente: [5])

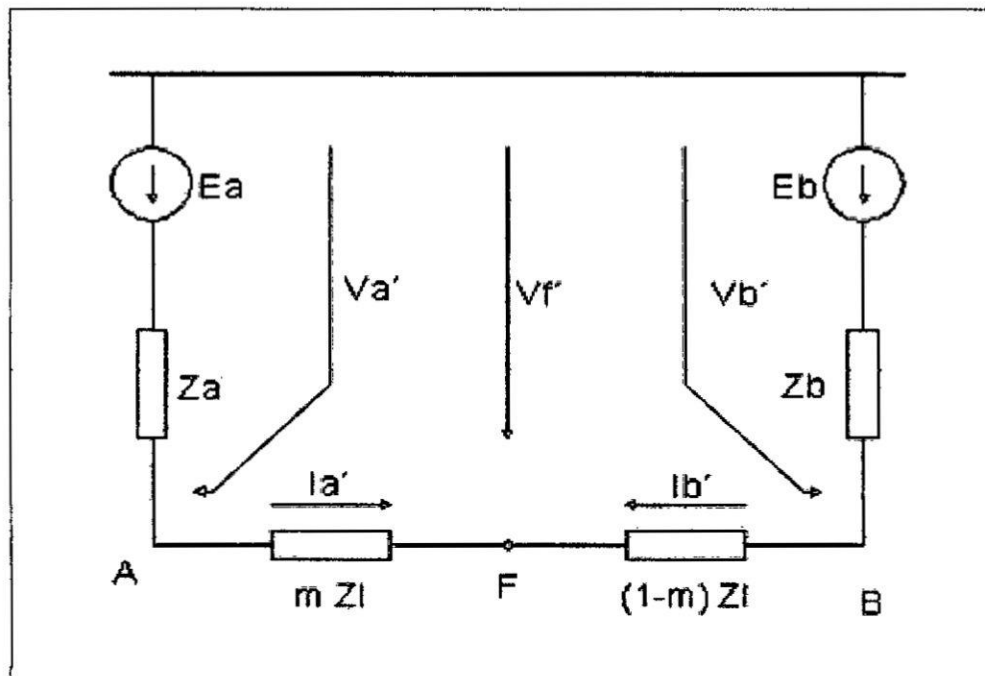


Figura N° 2.14: Modelamiento en Pre-Falla de una LT (Fuente: [5])



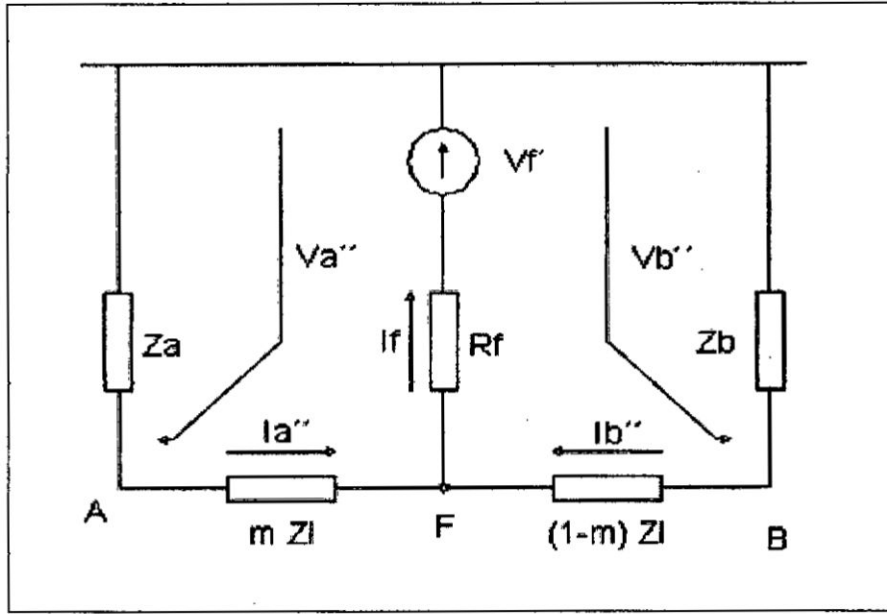


Figura N° 2.15: Modelamiento en Post-Falla de una LT (Fuente: [5])

Donde se mencionan las más importantes:

Nombre	Definición
m	Longitud de la línea
Zl	Impedancia de la línea
Rf	Resistencia de falla
If	Corriente de falla
Va	Voltaje de fase A
F	Punto de falla
Sub A	Subestación A
Sub B	Subestación B

Cuadro N° 2.4: Definiciones Básicas (Fuente: [5])

### Algoritmo Reactancia [5]

Este algoritmo toma la parte imaginaria de la ecuación 2.12, luego al dividir por la corriente  $I_A$ , se trata de reducir el efecto del factor  $R_F$ , posterior a ello se asume que la resistencia de falla es pequeña y se realiza la siguiente aproximación:

$$m = \frac{1}{X1} * I_m \begin{bmatrix} V_a \\ I_a \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.13)$$

El error del algoritmo está dado por:

$$\varepsilon = \frac{R_F}{X_L} \text{Im} \left\{ \frac{I_F}{I_A} \right\} \dots\dots\dots(2.14)$$

Este error es cero cuando “ $I_F$ ” é “ $I_A$ ” están en fase, lo que implica que no hay generación en B, o que  $\alpha = 0$  y el sistema es homogéneo (todas las impedancias tienen ángulos iguales).

**Algoritmo Takagi [5]**

El algoritmo de Takagi trata de eliminar el error del algoritmo de reactancia multiplicando el término de la tensión en la falla por una magnitud tal, que el resultado sea real.

Asumiendo:

$$I_a = I_{a^i} + I_{a^{ii}} \dots\dots\dots(2.15)$$

Sea:

$$K_a = K_a * e^{j\alpha} = \frac{I_f}{I_{a^{ii}}} \dots\dots\dots(2.16)$$

Donde:

$$I_f = K_a * I_{a^{ii}} \dots\dots\dots(2.17)$$

Multiplicando la ecuación (2.13) por el conjugado complejo de  $I_f$ , reemplazando en la ecuación (2.17) y tomando la parte imaginaria se elimina el término que contiene  $R_F$ .

$$m = \frac{\text{Im}[VA^* IA^{ii*} * KA^*]}{\text{Im}[Zl^* IA^* KA^* * IA^{..*}]} \dots\dots\dots(2.18)$$

Donde:

$$m = \frac{\text{Im}[VA^* IA^{ii*} * \ell^{-ja}]}{\text{Im}[Zl^* IA^* IA^* * \ell^{-ja}]} \dots\dots\dots(2.19)$$

Takagi efectúa la aproximación  $\alpha = 0$  , y resulta:

$$m = \frac{\text{Im}[VA^* IA^{ii*}]}{\text{Im}[Zl^* IA^* A^{..*}]} \dots\dots\dots(2.20)$$

Takagi pretende minimizar el error, usando el factor  $e^\alpha$  de tal forma que la  $R_F$  no ingrese en la parte imaginaria de la (ecuación 2.12).

**Algoritmo de Schweitzer para Líneas Cortas [5]**

Se busca principalmente encontrar una expresión para Vf. De la **Figura N°2.13:**

$$Vf = Va - m * Zl * Ia \dots\dots\dots(2.21)$$

$$Vf = Vb - (1 - m) * Zl * Ib \dots\dots\dots(2.22)$$

Igualando la ecuación (2.21) y la ecuación (2.22) se obtiene:

$$\frac{[Va - Vb + Zl * Ib]}{[Zl(Ia + Ib)]} \dots\dots\dots(2.23)$$

Esta ecuación no presenta aproximaciones y en teoría debe detectar la falla perfectamente. Sin embargo, puede arrojar resultados imaginarios debido a imprecisiones en los equivalentes de línea y medidas en los extremos.

**Algoritmo de Eriksson [5]**

Este algoritmo está orientado a la obtención de una ecuación para "m", a partir de una reducción de toda la red, incluyendo las impedancias de las fuentes. Solo se necesita hacer dos aproximaciones (la de línea corta e impedancia de secuencia positiva y negativa iguales) para el cálculo de m, pero se requiere conocer las impedancias de las fuentes, que varían con el régimen de operación del sistema.

Como en todos los algoritmos de líneas cortas se parte de la ecuación (2.12):

Sea:

$$D = D\ell^{j\Delta} = \frac{I_{A''}}{I_F} \dots\dots\dots(2.24)$$

Obsérvese que  $D = 1/K_A$ , por tanto :

$$VA = m * Z_l * IA + R_f * \frac{I_{A''}}{D} \dots\dots\dots(2.25)$$

Pero:

$$D = \frac{(1 - m) * Z_l * Z_B}{Z_A + Z_l + Z_B} \dots\dots\dots(2.26)$$

Sustituyendo la ecuación 2.26 en la ecuación 2.25, se tiene lo siguiente:

$$m^2 - m * K_1 + K_2 - K_3 R_F = 0 \dots\dots\dots(2.27)$$

Donde:

$$K_1 = \frac{V_A}{Z_l \cdot I_A} + 1 + \frac{Z_B}{Z_l} \dots\dots\dots(2.28)$$

$$K_2 = \frac{V_A}{Z_l \cdot I_A} \left( 1 + \frac{Z_B}{Z_l} \right) \dots\dots\dots(2.29)$$

$$K_3 = \frac{I_{A''}}{Z_l \cdot I_A} \left( \frac{Z_A + Z_B}{Z_l} + 1 \right) \dots\dots\dots(2.30)$$

Se separa la ecuación (2.27) en dos ecuaciones (partes real e imaginaria), que se resuelven eliminando  $R_F$  y queda una ecuación única en m de la forma:  $am^2 + bm + c = 0$

Donde:

$$\begin{aligned} a &= \text{Im}(K3) \\ b &= \text{Re}(K3)\text{Im}(K1) - \text{Re}(K1)\text{Im}(K3) \\ c &= \text{Re}(K2)\text{Im}(K3) - \text{Re}(K3)\text{Im}(K2) \dots\dots\dots(2.31) \end{aligned}$$

Para cortocircuitos entre fases el cambio en las corrientes de línea se usa directamente, mientras que para fallas a tierra, se usan magnitudes de secuencia positiva.

El valor de  $I_A$  a utilizar en la ecuación 2.30 depende del tipo de falla, ese valor es dado en la **Cuadro N° 2.5**:

Tipo de falla	$I_A$
Ag	$(3/2) * (I_{Aa}'' - I_{A0})$
Bg	$(3/2) * (I_{Ab}'' - I_{A0})$
Cg	$(3/2) * (I_{Ac}'' - I_{A0})$
ab,abg	$I_{Aa}'' - I_{Ab}''$
bc,bcg	$I_{Ab}'' - I_{Ac}''$
Ca,cag	$I_{Ac}'' - I_{Aa}''$

**Cuadro N° 2.5:** Corrientes del Algoritmo de Eriksson (Fuente: [3])

### Algoritmo por Ondas Viajeras [8]

La tensión y corriente en cualquier punto “x” de la línea, obedece las siguientes ecuaciones diferenciales parciales:

$$\frac{\delta e}{\delta x} = -L \frac{\delta i}{\delta x}$$

$$\frac{\delta i}{\delta x} = -C \frac{\delta e}{\delta x} \dots\dots\dots(2.32)$$

Donde L y C son inductancia y capacitancia respectivamente por unidad de la línea de transmisión.

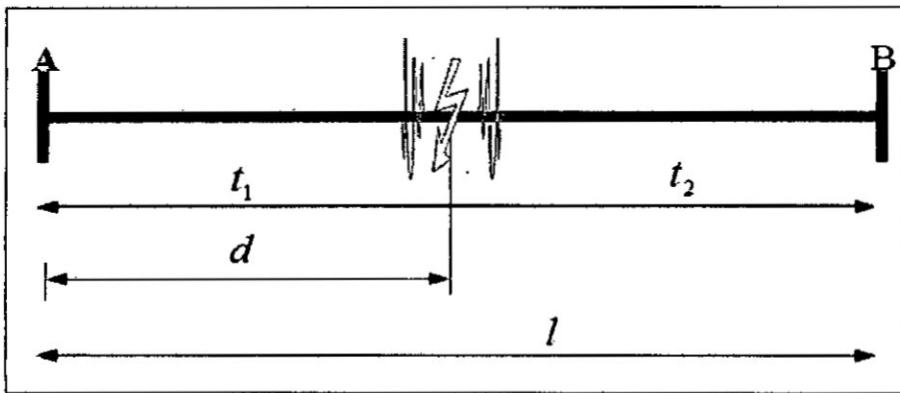


Figura N° 2.16: Esquema Simplificado de una Falla (Fuente: Propio del autor)

Cuando ocurre una falla o perturbación en la línea de transmisión, la solución de la ecuación diferencial parcial es la siguiente:

$$e_{(x,t)} = e_a(x - vt) + e_b(x + vt)$$

$$i_{(x,t)} = \frac{1}{Z} e_a(x - vt) - \frac{1}{Z} e_b(x + vt) \dots\dots\dots(2.33)$$

Donde :

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Es la impedancia característica de la línea de transmisión y "v" es la velocidad de propagación de la onda. Para las ecuaciones del 2.33, se puede notar que dos ondas parten de un punto "x", propagando en direcciones opuestas a una velocidad "v".

Entonces conociendo el instante de tiempo del frente de onda que llega a los terminales o subestaciones A y B, que el enlace es la línea en falla ( $t_1$  y  $t_2$ ), la longitud de la línea, se puede determinar la localización de falla, a partir del terminal o subestación A como referencia, la fórmula sería la siguiente:

$$d = \frac{l + kc(t_1 - t_2)}{2}, \text{ cuya unidad es en kilómetros} \dots\dots\dots(2.34)$$

Donde:

$d$  : Distancia en de falla calculada de la línea con referencia a una subestación (kilómetros "km").

$l$  : Longitud de la línea (kilómetros "km"),

$k = 0,95$  ,...,  $0,98$ : (sin unidad) es un factor de reducción que depende de las particularidades de la línea.

$c$  : Velocidad de la luz  $3 \times 10^8$  (metros por segundo "m/s").

$(t_1 - t_2)$ : Diferencia de tiempo que llega la onda hacia los extremos (subestación A y B) desde el punto de la falla, se obtiene de los registros de los relés de protección (segundos "s").

**Algoritmo de los Relés RED670 de marca ABB [3]**

El modelamiento de forma simplificado que utiliza los relés RED670 de marca ABB, para el cálculo de la distancia de falla es la siguiente:

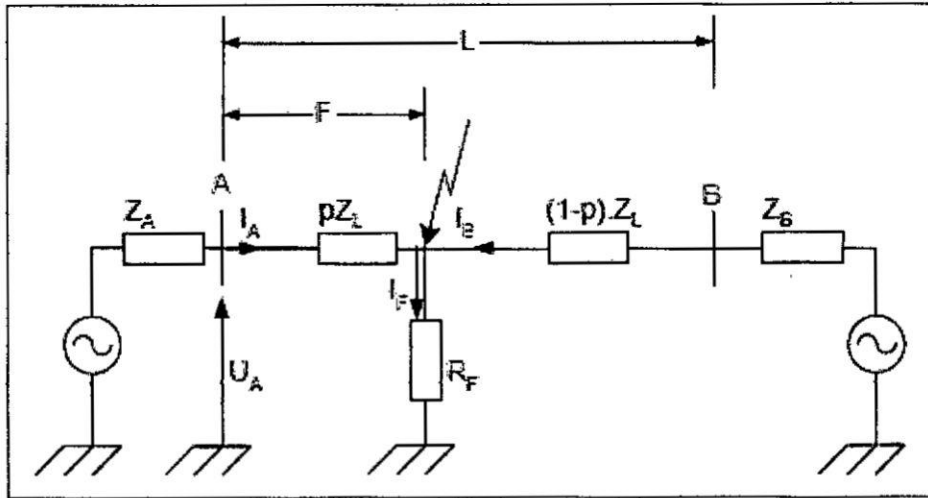


Figura N° 2.17: Esquema para de Relés ABB (Fuente: [3])

Donde por la regla de ohm se puede calcular fácilmente la resistencia equivalente y en porcentaje de las reactancias, y así se obtiene la distancia de falla.

**Algoritmo de los Relés L90/D60 de Marca General Electric [3]**

El modelamiento de forma simplificado que utiliza los relés L90/D60 de marca General Electric, para el cálculo de la distancia de falla es el siguiente:

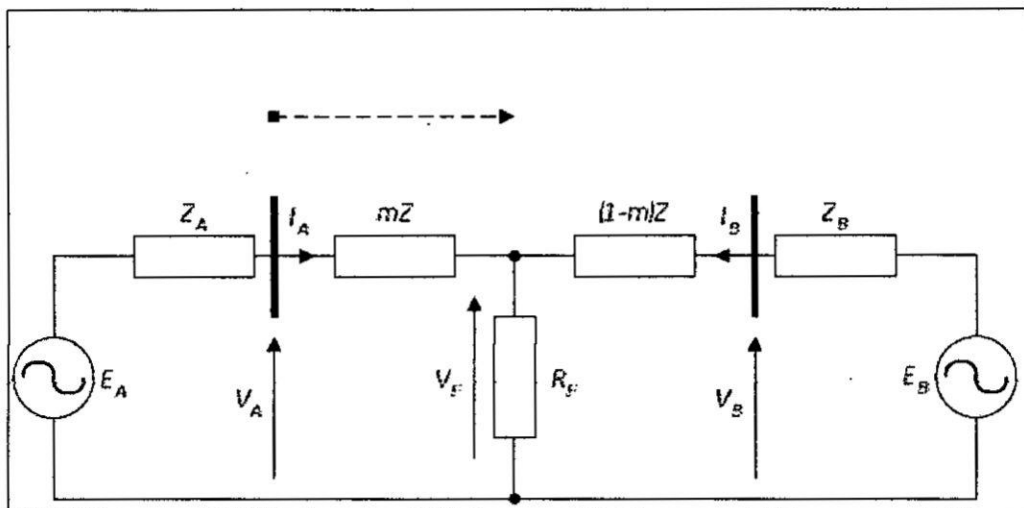


Figura N° 2.18: Esquema para de Relés General Electric (Fuente: [3])



Donde por la regla de ohm se puede calcular fácilmente la resistencia equivalente y en porcentaje de las reactancias, y así se obtiene la distancia de falla.

### Transformadas de Conversión

#### Transformadas de Karrenbauer [5]

Realiza la descomposición de las señales de corriente(R, S y T) a sus componentes modales, como se muestra en las siguiente ecuación:

$$\begin{bmatrix} i_0 \\ i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1,1,1;1,-1,0;1,0,-1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.35)$$

Donde:

$i_a, i_b, i_c$  : Son las corrientes de la línea ya se en operación normal o falla( KA).

$i_0$  : Representa el modo a tierra de corriente (KA).

$i_\alpha, i_\beta$  : Representa el modo a aéreo de corriente (KA).

#### Transformadas de Wavelet [10]

Es un entorno de Matlab , llamado "Toolbox Wavelet", la cual tienen prefijos predefinidos como :

```
s = leleccum(1:3920);
l_s = length(s);
A1 = upcoef('a',cA1,'db1',1,l_s);
D1 = upcoef('d',cD1,'db1',1,l_s);
A1 = idwt(cA1,'db1',l_s);
D1 = idwt(cD1,'db1',l_s);
```

- **Líneas de transmisión eléctrica:** Sistema de equipos de conductores eléctricos, torres y accesorios, encargados de transportar energía eléctrica desde los centros de generación hasta sistemas de transformadoras de energía.
- **Transposición de líneas:** Consiste en intervenir en el reacomodo de las fases, para compensar las reactancias de las fases.
- **Registros oscilógrafos de los IEDs:** Archivo en formato "Comtrade", que son generados de los relés de protección, luego de ocurrir algún evento en la línea de transmisión.
- **Sistemas eléctricos de potencia:** Agrupación de conjuntos de sistemas de generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica.
- **Componentes simétricas:** Sistema basado en la Teoría de Fortescue, la cual se indica que un sistema desbalanceado, se puede representar por la suma vectorial de tres componentes simétricamente balanceados.
- **MOLOVI:** Módulo Optimizador de Localización de Fallas por Ondas Viajeras que será implementado en el presente proyecto de investigación.
- **COES:** Comité de Operación Económica del Sistema.
- **Oscilperturbógrafo:** Equipo registrador de fallas.
- **Transformada de Karrenbauer:** Es la transformada para desacoplar los modos a tierra y aéreos de las señales de corriente.
- **Transformada de Wavelet:** Transformada que detecta los puntos máximos de las ondas desacopladas de corriente.
- **Costo aproximado del MOLOVI:** S/. 20 000.00 nuevos soles
- **Validación del MOLOVI:** Con fallas reales en las líneas de ATN y se realizará la comparación con otras herramientas y modelos similares.

- **Osinergmin:** Organismo Supervisor de la Inversión de la Energía y la Minería.
- **Empresa Abengoa Perú:** Empresa líder en construcción, montaje, operación y mantenimiento de líneas de transmisión y subestaciones de alta tensión.

#### **Abreviaturas utilizadas**

- **ATN:** Abengoa Transmisión Norte, líneas de 138 kV y 220 kV.
- **ATS:** Abengoa Transmisión Sur, líneas de 500 kV.
- **ATN1:** Proyecto ATN1, líneas de 50 kV y 220 kV.
- **ATN2:** Proyecto ATN2, líneas de 220 kV.
- **IEEE:** Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos.
- **ABB:** Asea Brown Boveri.
- **GE:** General Electric.
- **SEL:** Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.
- **RED670:** Relé diferencial de línea de la marca ABB.
- **L90:** Relé diferencial de línea de la marca GE.
- **D60:** Relé distancia de línea.
- **IED:** Intelligent Electronic Device.
- **SEP:** Sistemas Eléctricos de Potencia.
- **LT:** Línea de Transmisión.
- **87L:** Función de protección diferencial de línea.
- **21L:** Función de protección distancia de línea.
- **50/51:** Funciones de protección de sobrecorriente de fases.
- **50/51N:** Funciones de protección de sobrecorriente a tierra.
- **27/59:** Funciones de protección de subtensión y sobretensión.
- **Z1:** Impedancia de secuencia positiva.
- **Z2:** Impedancia de secuencia negativa.
- **Z0:** Impedancia de secuencia cero.
- **ZF:** Impedancia de falla.

- **Sub A:** Subestación A.
- **Sub B:** Subestación B.
- **Ia, Ib, Ic:** Corrientes en las fases A, B y C.
- **Va, Vb, Vc:** Tensiones en las fases A, B y C.
- **Zl:** Impedancia de la línea(ohmios).
- **F:** Punto de la falla.
- **Rf:** Resistencia de falla(ohmios).
- **m, l:** Longitud de la línea(km).
- **d:** Distancia de falla calculada(km).
- **c:** Velocidad de la luz  $3 \times 10^8$  m/s
- **k:** 0.95,..., 0.98, es un factor de reducción que depende de las particularidades de la línea.
- **kV:** Kilovolt.
- **HVDC:** Compact systems for DC transmission.
- **BCS:** Banco de Compensación Serie.
- **DC:** Corriente continua.
- **a:** Operador complejo.
- **IR1:** Corriente de falla en la fase R, de secuencia positiva.
- **IR2:** Corriente de falla en la fase R, de secuencia negativa.
- **IR0:** Corriente de falla en la fase R, de secuencia cero.
- **t<sub>1</sub>-t<sub>2</sub>:** Diferencia de tiempo que llega la onda hacia los extremos (subestación A y B) desde el punto de la falla, se obtiene de los registros de los relés de protección (segundos "s").
- **Zf:** Impedancia de falla

### **III. VARIABLES E HIPÓTESIS**

#### **3.1. Variables de la investigación**

Se describe de la siguiente manera:

**X:** Módulo Localizador de Fallas por Ondas Viajeras (MOLOVI).

**Y:** Efectividad en el cálculo de la distancia de falla, influyendo tecnológica y económicamente en los intereses de la empresa Abengoa Omega Perú.

#### **3.2. Operacionalización de variables**

Por su naturaleza, todas las variables identificadas son del tipo cualitativas. Por su dependencia, la variable Y es dependiente, y la variables X es independiente.

Es decir:  $Y = f(X)$

#### **3.3. Hipótesis general y específica**

Se detallan a continuación:

##### **Hipótesis general**

El MOLOVI, realizará el cálculo de la distancia de falla por ondas viajeras y determinará de manera efectiva dicha distancia de falla, influyendo tecnológica y económicamente en los intereses de la empresa Abengoa Omega Perú.

##### **Hipótesis específica**

**H.E.1:** El diseño del MOLOVI, será capaz de calcular la distancia de falla de manera efectiva, y reducirá los costos en tecnologías similares.

**H.E.2:** El MOLOVI, utilizará la información de los registros oscilógrafos o comtrades (estandar IEEE) de los IEDs, la misma que se utilizará la herramienta tecnológica del Matlab, la cual se modelará el cálculo de la distancia de falla similar al modelo del Osciloperturbógrafo.

**H.E.3:** La implementación del MOLOVI genera ventajas en la operatividad del Centro de Control de Abengoa Omega Perú.

## **IV. METODOLOGÍA**

### **4.1. Tipo de investigación**

La Investigación desarrollada es del tipo aplicada, porque reúne los conocimientos teóricos de ondas viajeras, para luego aplicarse en forma práctica con el desarrollo del programa Matlab para el cálculo de la distancia de falla en las líneas de ATN.

La investigación también es tecnológica, porque al implementar el módulo digital MOLOVI, se aplica la innovación y automatización en su desarrollo.

### **4.2. Diseño de la investigación**

- La primera etapa se considerará el modelamiento del MOLOVI, la cual se realizará con el software del Matlab, donde se incluirá la secuencia para importar registros oscilógrafos, luego realizará las transformadas de Karrenbauer y Wavelet, para luego obtener la distancia de falla.
- Una vez diseñado el MOLOVI, se procederá en validar su desempeño, la cual se realizará el cálculo de la distancia de falla para diferentes escenarios y ello incluirá registros oscilógrafos que serán simuladas con el Digsilent Power Factory y como también se realizará con los registros de fallas reales.
- Como parte final será la implementación en el Centro de Control de Abengoa Omega Perú.

### **4.3. Población y muestra**

#### **a. Delimitación de la Unidad de Análisis del problema objeto de investigación**

Para validar el cálculo de la distancia de falla de las líneas de Abengoa Perú con el módulo digital MOLOVI que ha implementado, se ha delimitado como "Unidad de Análisis" a la red de las líneas de la parte Norte de Perú, que son de propiedad de la concesionaria de Abengoa Transmsión Norte (ATN).

**b. Población(N)**

Las líneas de Abengoa Transmisión Norte(ATN) es una cantidad finita, las cuales son un total de **N=10** líneas entre líneas simples y doble terna, que se detallan en la siguiente tabla:

Líneas de Abengoa Transmisión Norte(ATN)			
Tipos	En la de las líneas entre subestaciones	Población (N)	
		%	Total
Doble terna	L-2267/L-2268 (Paragsha II-Carhuamayo Nueva)	80,00	8
	L-2269/L2270 (Conococha-Kiman Ayllu)		
	L-2272/L-2274 (Kiman Ayllu-La Ramada)		
	L-2273/L-2275 (La Ramada-Cajamarca Norte)		
Simple terna	L-2264 (Paragsha II-Conococha)	20,00	2
	L-1707 (Carhua. Existente-Carhua. Nueva)		
<b>Total</b>		<b>100.00</b>	<b>10</b>

**Cuadro N° 4.1:** Líneas Aéres de ATN/Población

(Fuente: Base de datos Abengoa Omega Perú)

**c.- Muestra Inicial (n<sub>0</sub>)**

Por ser finita la muestra inicial, se determina aplicando la fórmula:

$$n_0 = \frac{NZ^2 pq}{e^2(N-1) + Z^2 pq} \dots\dots\dots(2.36)$$

Donde:

$p + q = 1.0$  ó 100%

$n_0$  = Tamaño de la muestra inicial

$Z$  = Límite de confianza para generalizar los resultados

$p$  = Campo de variabilidad de aciertos ó éxitos

$q$  = Campo de variabilidad de desaciertos o fracasos

$e$  = Nivel de precisión para generalizar los resultados

Los valores considerados son extraídos de la tabla "Distribución Normal Estandar de Áreas Bajo de Curva" tipificada de cero a zeta



("0" a "Z" encontramos el valor de  $Z=1.96$  para los campos de variabilidad), entonces:

$$Z = 1.96$$

$p = 0.80$  para los aciertos o éxitos, por ser más favorable.

$q = 0.20$  para los errores o fracasos, por ser menos favorable.

$$e = 0.06$$

Entonces se reemplaza los valores:

$$n_0 = \frac{(10)(1.96)^2(0.8)(0.2)}{(0.06)^2(10-1) + (1.96)^2(0.8)(0.2)} = 9.4 \approx 9$$

Como:

$$\frac{n_0}{N} = \frac{9}{10} = 0,9 > 0,05$$

Entonces ajustamos el tamaño de la muestra:

#### d.- Muestra Ajustada(n)

La muestra inicial determinada es de 9, entonces será sometido a factor de corrección finita para las líneas de simple terna y doble terna, según la siguiente fórmula:

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}} = \frac{9}{1 + \frac{9}{10}} = 8$$

Líneas de Abengoa Transmisión Norte(ATN)			
Tipos	En la de las líneas entre subestaciones	Población(N)	
		%	Total
Doble terna	L-2267/L-2268(Paragsha II-Carhuamayo Nueva)	80,00	7
	L-2269/L-2270(Conococha-Kiman Ayllu)		
	L-2272/L-2274(Kiman Ayllu-La Ramada)		
	L-2273/L-2275(La Ramada-Cajamarca Norte)		
Simple terna	L-2264(Paragsha II-Conococha)	20,00	1
	L-1707(Carhua. Existente-Carhua. Nueva)		
<b>Total</b>		<b>100.00</b>	<b>8</b>

**Cuadro N° 4.2:** Líneas de ATN/Muestra (Fuente: Base de datos Abengoa Omega Perú)

Para líneas de doble terna, como criterio se tomará sólo una terna de dos, entonces la muestra será:  $n_1=4$ , y para línea de simple terna se tomará como muestra:  $n_2=1$ .

Entonces par las líneas de doble terna( $n_1=4$ ) las líneas seleccionadas han sido:

- L-2268(Paragsha II-Carhuamayo Nueva) de 220 kV.
- L-2270(Conococha-Kiman Ayllu) de 220 kV.
- L-2274(Kiman Ayllu-La Ramada) de 220 kV.
- L-2275(La Ramada-Cajamarca Norte) de 220 kV.

Y para la línea de simple terna( $n_1=1$ ) la línea seleccionada ha sido:

- L-2264(Paragsha II-Conococha) de 220 kV.

#### **4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

##### **General:**

A continuación se describen en forma general para la recolección de datos, la cual parte desde conocer el sistema de transmisión de Abengoa Transmisión Norte(ATN), los equipos de protección que lo componen en las líneas, luego el registrador de fallas, las mismas que se gestiona y monitorea remotamente de todo los equipos mencionados desde el Centro de Control de Abengoa Perú.

##### **Sistema de Transmisión de Abengoa Transmisión Norte (ATN)**

##### **Descripción General**

El sistema de Abengoa Transmisión Norte (ATN) de 220 kV comprende las líneas L-2264 (Paragsha II – Conococha), L-1707 (Carhuamayo Existente – Carhuamayo Nueva), L-2267/L-2268 (Paragsha II – Carhuamayo Nueva), L-2269/L-2270 (Conococha – Kiman Ayllu), L-2272/L-2274 (Kiman Ayllu – La Ramada) y L-2273/L-2275 (La Ramada – Cajamarca Norte).

### Sistema de Protección

Actualmente el sistema de protección para las líneas de Abengoa Transmisión Norte(ATN), están bajo la filosofía de dos sistemas, para los relés ABB(Asea Brown Bobery), están bajo la filosofía del sistema de protección principal y redundante, o sea existen dos(02) relés de protección por bahía con las mismas características, en este caso con relés diferenciales de línea RED670, y por otra parte para los relés GE(General Electric), están bajo la característica del sistema de protección principal, en este caso el relé diferencial de línea L90, y como respaldo se tiene el relé de distancia D60, que funciona como respaldo a la protección principal. A continuación se detalla la relación de relés de protección por bahía:

S.E.	Bahía	Sistema	Relé	Marca
Paragshall-Carhuamayo Nueva	L-2267/L2268	Principal	L90	GE
		Respaldo	D60	GE
Carhuamayo Nueva-Existente	L-1707	Principal	L90	GE
		Respaldo	D60	GE
Paragsha II-Conococha	L-2264	Principal	L90	GE
		Respaldo	D60	GE
Conococha-Kiman Ayllu	L-2269/L-2270	Principal	L90	GE
		Respaldo	D60	GE
Kiman Ayllu-La Ramada	L-2272/L-2274	Principal	RED670	ABB
		Redundante	RED670	ABB
La Ramada-Cajamarca Norte	L-2273/L-2275	Principal	RED670	ABB
		Redundante	RED670	ABB

**Cuadro N° 4.3:** Relación de Relés por Bahía-Abengoa Transmisión Norte (ATN)

(Fuente: Base de datos Abengoa Omega Perú)

Las funciones activadas para cada relés se especifica:

**RED670:** 87L, 21L, 67/67N, 50/50N, 51/51N, 27/59,25

L90: 87L, 21L, 67/67N, 50/50N, 51/51N, 27/59,25

D60: 21L, 67/67N, 50/50N, 51/51N, 27/59,25

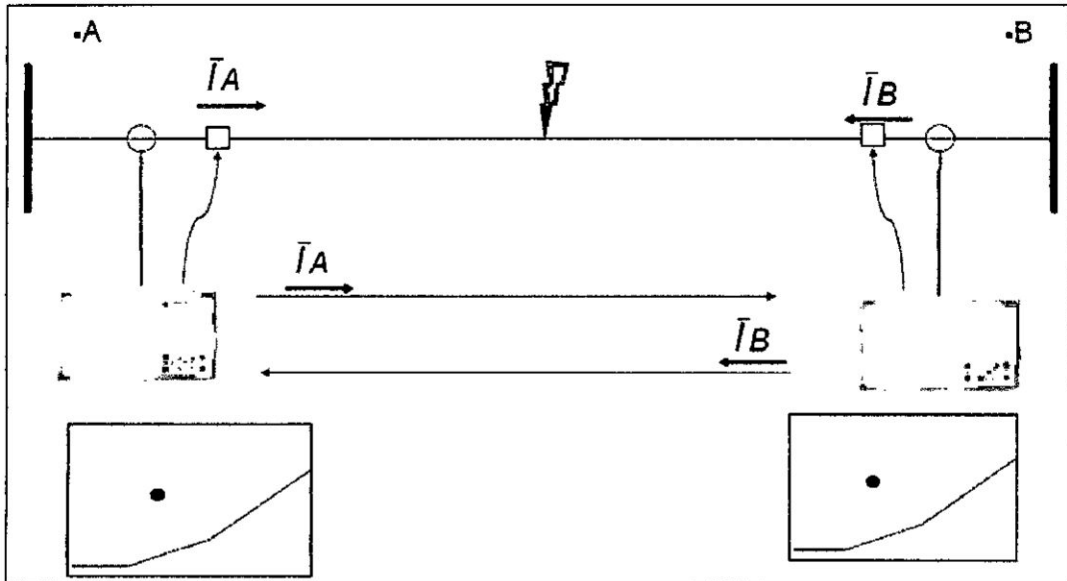


Figura N° 4.1: Relés RED670 en ATN (Fuente: [3])

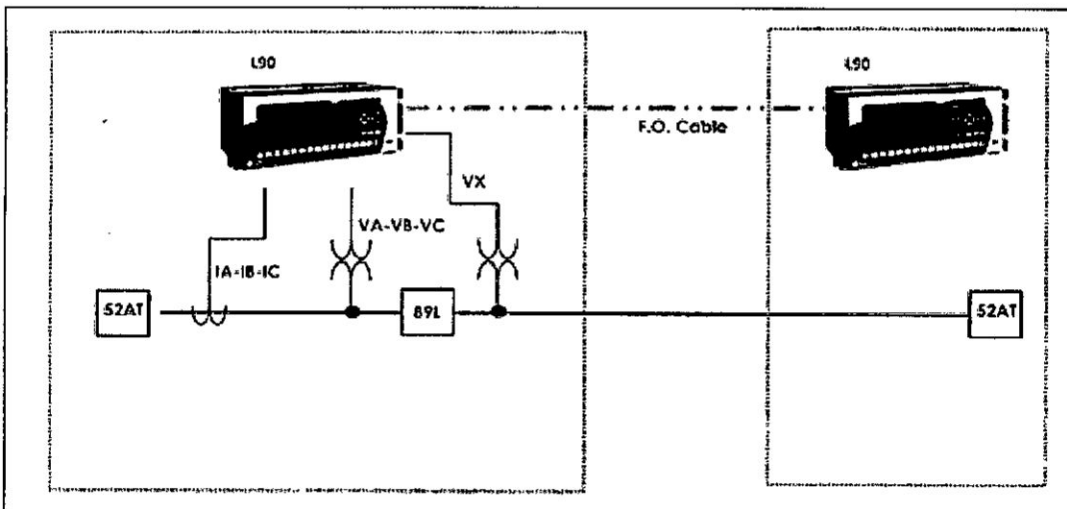


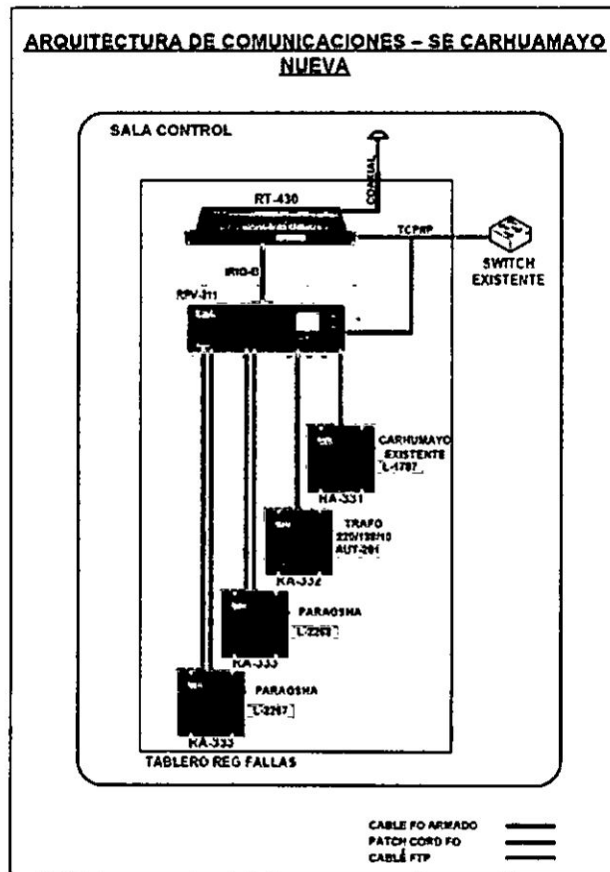
Figura N° 4.2: Relés L90 en ATN (Fuente: [3])

### Registrador de Fallas (Osciloperturbógrafos)

De acuerdo a las disposiciones descritas por el COES en el Anexo 1. "Requerimientos mínimos para la funcionalidad de los equipos registradores de falla" del Procedimiento Técnico N°40, en adelante PR-40, el COES establece que todas aquellas instalaciones con niveles de tensión iguales o superiores a 100 kV deben contar con equipos

Registadores de Falla que cumplan con los requisitos mínimos establecidos en dicho procedimiento.

ATN en cumplimiento con el PR-40 actualmente ha instalado equipos registradores de falla de marca Reason, que se esquematiza a manera de ejemplo en la siguiente figura:



**Figura N° 4.3:** Arquitectura del RPV-311 - S.E. Carhuamayo Nueva

(Fuente: Base de datos Abengoa Omega Perú)

Como se puede observar en la **Figura N°4.3** se tiene una unida central, llamado RPV-311, es allí donde recibe la información de la unidades de adquisición, que de acuerdo a sus funcionalidades son RA333, RA332 y RA331, que sirvan para registrar las señales analógicas y digitales en forma paralela a las señales de los relés de protección, de acuerdo a la actuación de alguna protección al producirle falla.

## Centro de Control

El Centro de Control de Abengoa Perú, supervisa, controla y monitorea remotamente en tiempo real el sistema de transmisión de Abengoa Transmisión Sur (ATS) de 500 kV y 220 kV, Abengoa Transmisión Norte (ATN) de 220 kV, 138 kV y 50 kV, y ATN1.

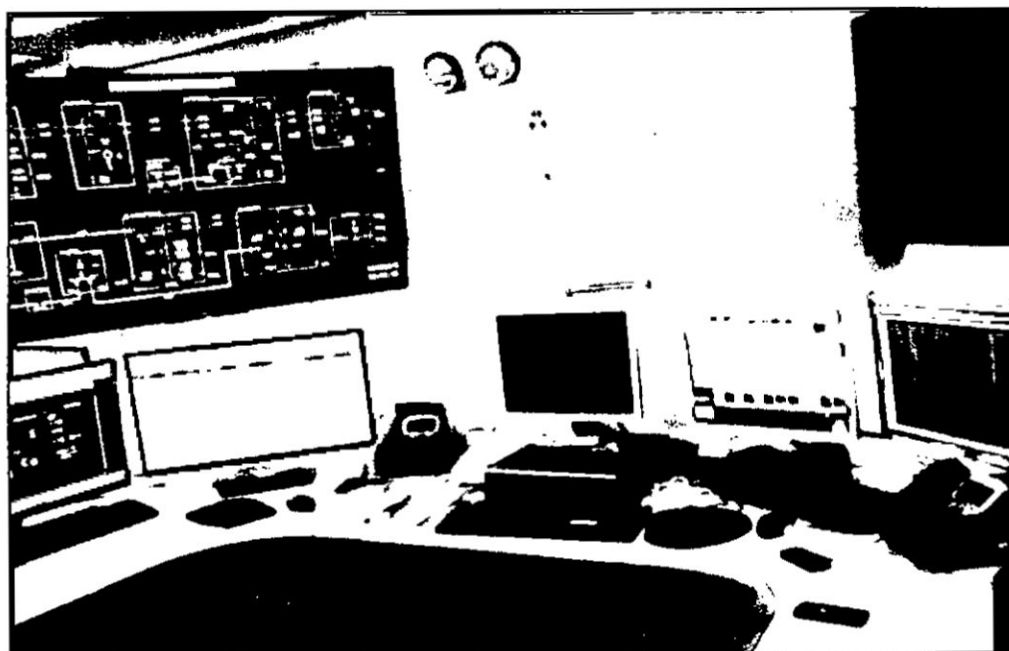


Figura N° 4.4: Centro de Control de Abengoa Omega Perú - ATN



Figura N° 4.5: PC de Gestión de los Relés - ATN

### Específicos:

Se ha optado en analizar las estadísticas de fallas en las líneas de Abengoa Transmisión Norte(ATN), la cual es parte y ha conllevado a la elección del título del investigación.

### Estadísticas de Fallas en Abengoa Transmisión Norte(ATN)

Total de fallas en Abengoa Transmisión Norte(ATN) desde el 2011-2014:

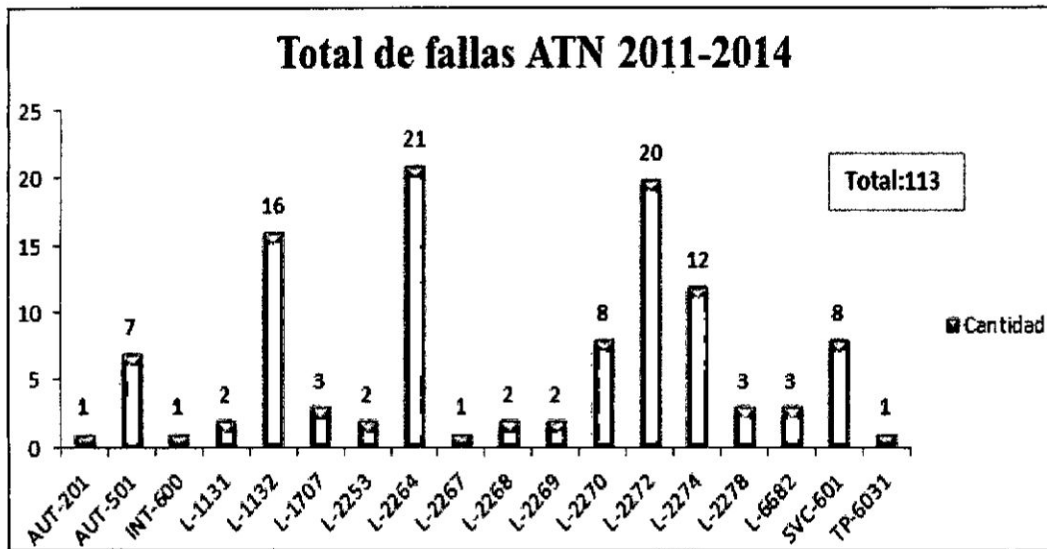


Figura N° 4.6: Total de Fallas de ATN del 2011-2014 (Fuente: Propio del autor)

Según la calificación de Osinergmin:

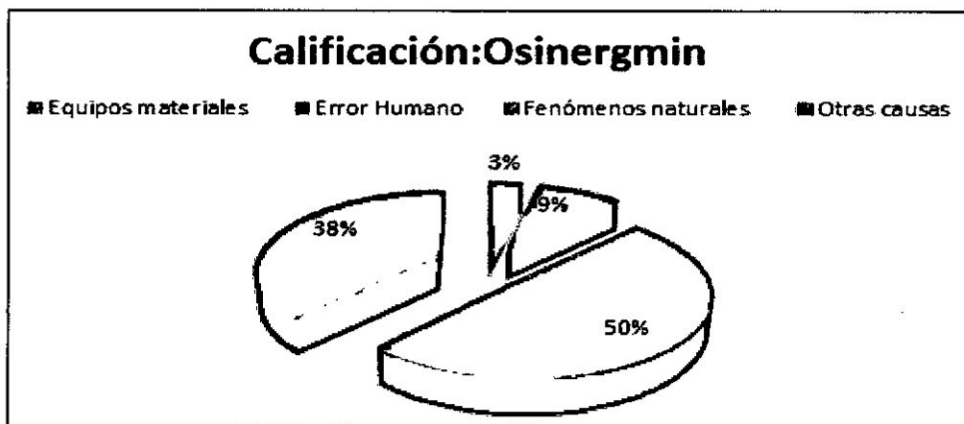


Figura N° 4.7: Fallas de ATN Calificación de Osinergmin (Fuente: Propio del autor)

Por comparativo de año:

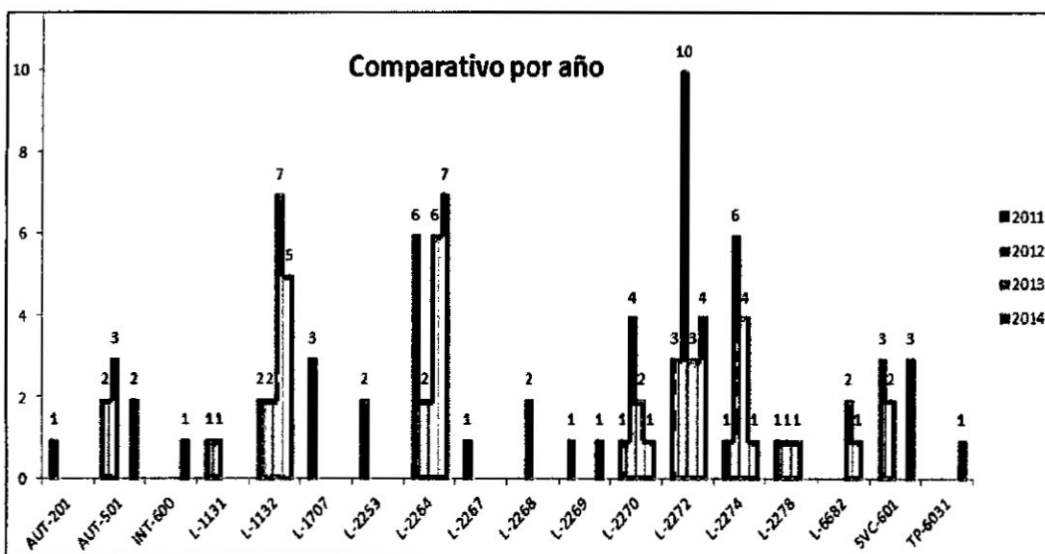


Figura N° 4.8: Fallas de ATN por Año (Fuente: Propio del autor)

#### 4.5. Procedimientos de recolección de datos

Según explicadas en el punto 4.3, para líneas de doble terna, como criterio se tomará sólo una terna de dos, entonces la muestra será:  $n_1=4$ , y para línea de simple terna se tomará como muestra:  $n_2=1$ . Entonces por las líneas de doble terna ( $n_1=4$ ) las líneas seleccionadas han sido:

- L-2268(Paragsha II-Carhuamayo Nueva) de 220 kV.
- L-2270(Conococha-Kiman Ayllu) de 220 kV.
- L-2274(Kiman Ayllu-La Ramada) de 220 kV.
- L-2275(La Ramada-Cajamarca Norte) de 220 kV.

Y para la línea de simple terna ( $n_1=1$ ) la línea seleccionada ha sido:

- L-2264(Paragsha II-Conococha) de 220 kV.

#### 4.6. Procesamiento estadístico y análisis de datos

**Paso 01: Selección de las líneas a analizar:**

**Caso 1: Una terna de doble**



Las líneas seleccionadas son:

- L-2268(Paragsha II-Carhuamayo Nueva) de 220 kV.
- L-2270(Conococha-Kiman Ayllu) de 220 kV.
- L-2274(Kiman Ayllu-La Ramada) de 220 kV.
- L-2275(La Ramada-Cajamarca Norte) de 220 kV.

## Caso 2: Una terna simple

La línea seleccionada es:

- L-2264(Paragsha II-Conococha) de 220 kV.

## Paso 02: Elaboración de los archivos contrade (Oscilografías)

El objetivo es definir y elaborar los casos de simulaciones en el programa DigsilentPower Factory a fin de evaluar la exactitud del localizador de fallas por el MOLOVI.

Para generar las comtrade(oscilografías) se ha modelado la red de Abengoa Transmisión Norte (ATN) en el programa DigsilentPower Factory, siendo el proyecto “Base\_Tesis\_Nilthon”, en donde se simularán fallas de diferentes tipos para los dos casos:

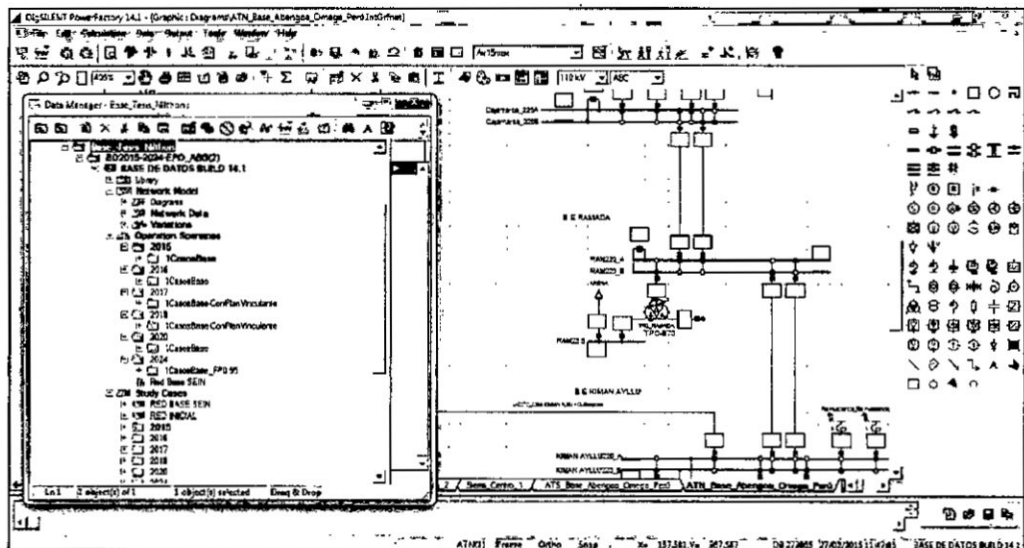


Figura N° 4.9: “Base\_Tesis\_Nilthon” en Digsilent Power Factory

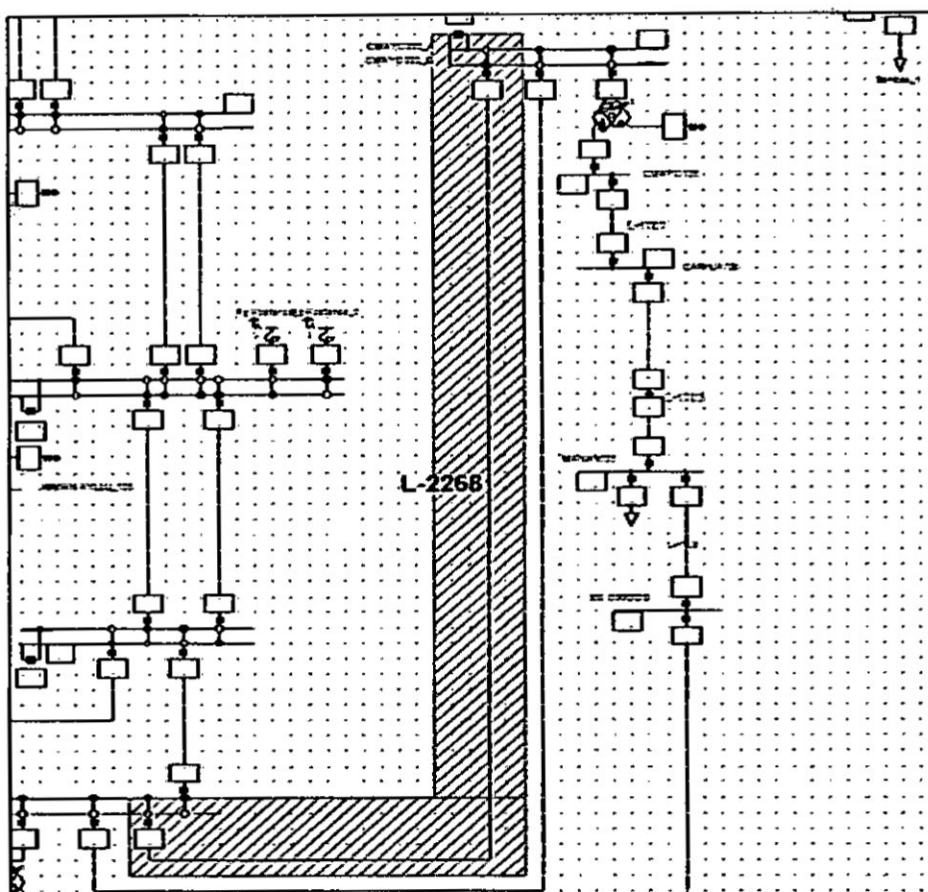
(Fuente: Propio del autor)

**Caso 1: Una tema de doble**

**Casos simulados:**

Para definir los casos a simular se analiza la configuración de la línea, el diagrama unifilar se presenta en cada ítem de la línea en estudio y con sus respectivas tablas de los casos analizados, las cuales serán usados para realizar el cálculo de la distancia de falla y posteriormente hacer la comparación con el módulo MOLOVI.

❖ **L-2268 (Paragsha II - Carhuamayo Nueva) de 220 kV.**



**Figura N° 4.10: Modelo de la Línea L-2268 en Digsilent Power Factory**

(Fuente: Propio del autor)

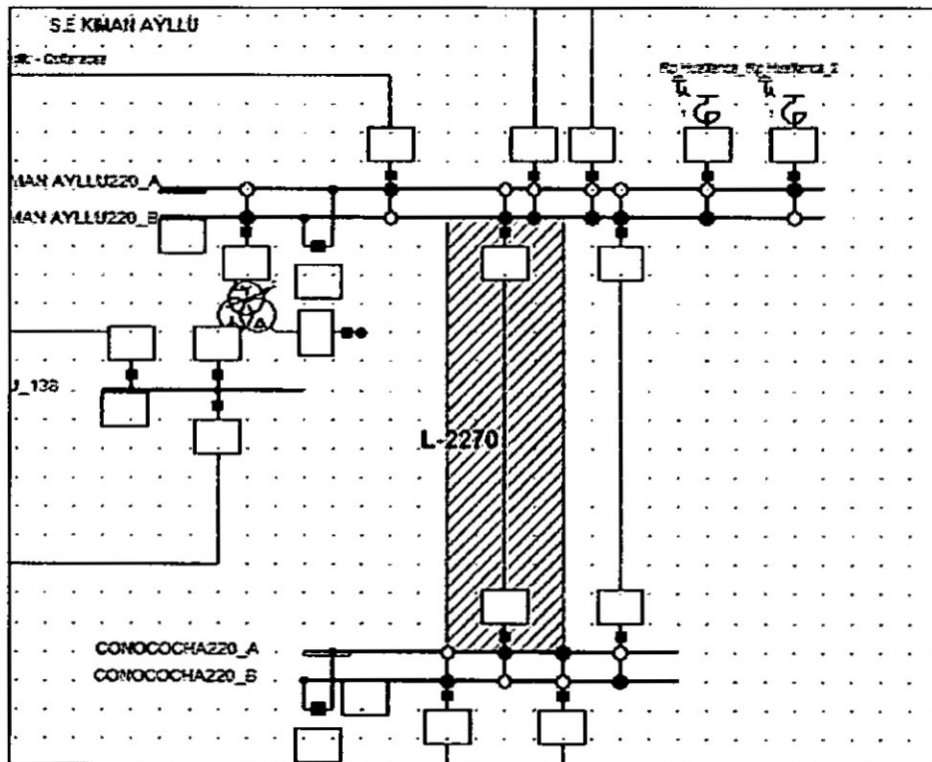
Nombre de la línea	Tramo		Lonitud (km)	Inominal (A)	Vnominal (kV)
	S.E. Inicial	S.E. Final			
L-2268	Paragsha II	Carhuamayo Nueva	43.32	394	220

**Cuadro N° 4.4: Características de la Línea L-2268 (Fuente: Base de datos ATN)**

Línea	Ubicación desde Paragsha II		Tipo de falla	Tiempo prefalla (ms)	Tiempo simulación (ms)	Frecuencia de muestreo (Hz)	Nombre del archivo
	(%)	(km)					
L-2268	10%	4.332	R-N	250	500	1400	L2268_CASO1.cfg
L-2268	50%	21.66	R-N	250	500	1400	L2268_CASO2.cfg
L-2268	90%	38.988	R-N	250	500	1400	L2268_CASO3.cfg
L-2268	10%	4.332	R-S-T	250	500	1400	L2268_CASO4.cfg
L-2268	50%	21.66	R-S-T	250	500	1400	L2268_CASO5.cfg
L-2268	90%	38.988	R-S-T	250	500	1400	L2268_CASO6.cfg
L-2268	10%	4.332	A-B	250	500	1400	L2268_CASO7.cfg
L-2268	50%	21.66	A-B	250	500	1400	L2268_CASO8.cfg
L-2268	90%	38.988	A-B	250	500	1400	L2268_CASO9.cfg
L-2268	10%	4.332	A-B-N	250	500	1400	L2268_CASO10.cfg
L-2268	50%	21.66	A-B-N	250	500	1400	L2268_CASO11.cfg
L-2268	90%	38.988	A-B-N	250	500	1400	L2268_CASO12.cfg

Cuadro N° 4.5: Casos Simulados Línea L-2268 (Fuente: Propio del autor)

❖ L-2270 (Conocochoa – Kiman Ayllu) de 220 kV.



**Figura N° 4.11: Modelo de la Línea L-2270 en Digsilent Power Factory**

(Fuente: Propio del autor)

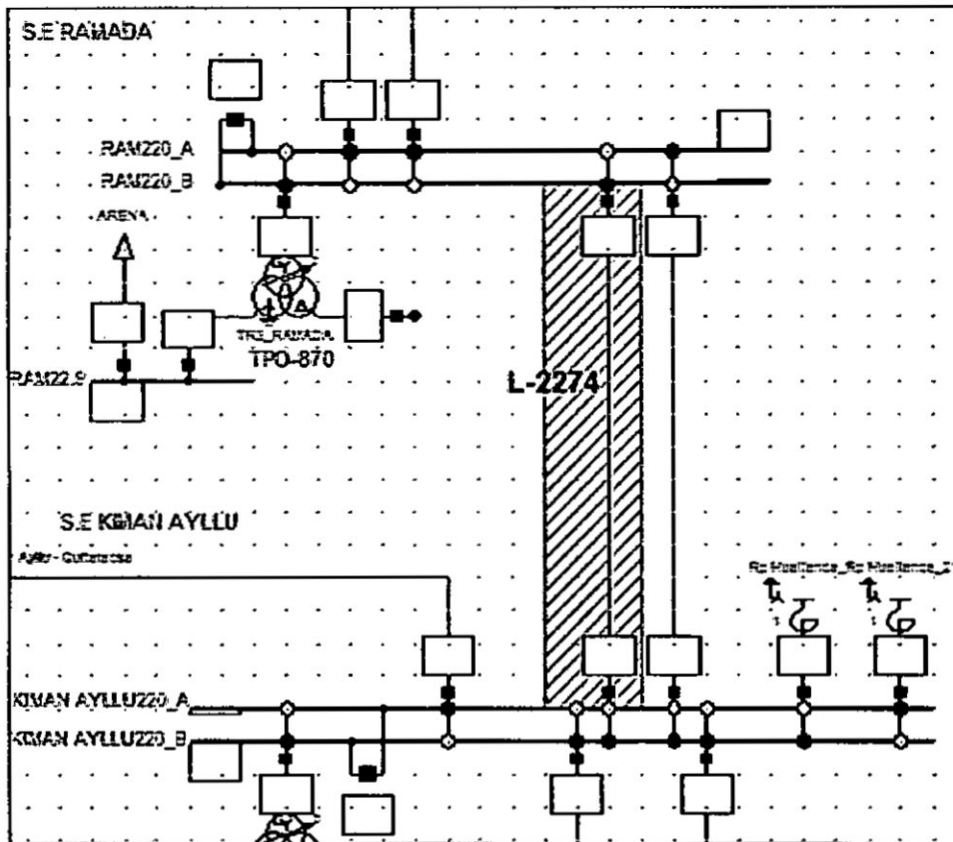
Nombre de la línea	Tramo		Lonitud (km)	Inominal (A)	Vnominal (kV)
	S.E. Inicial	S.E. Final			
L-2270	Conococha	Kiman Ayllu	174.91	472	220

**Cuadro N° 4.6: Características de la Línea L-2270 (Fuente: Base de datos ATN)**

Línea	Ubicación desde Conococha		Tipo de falla	Tiempo prefalla (ms)	Tiempo simulación (ms)	Frecuencia de muestreo (Hz)	Nombre del archivo
	(%)	(km)					
L-2270	10%	17.491	R-N	250	500	1400	L2270_CASO1.cfg
L-2270	50%	87.455	R-N	250	500	1400	L2270_CASO2.cfg
L-2270	90%	157.419	R-N	250	500	1400	L2270_CASO3.cfg
L-2270	10%	17.491	R-S-T	250	500	1400	L2270_CASO4.cfg
L-2270	50%	87.455	R-S-T	250	500	1400	L2270_CASO5.cfg
L-2270	90%	157.419	R-S-T	250	500	1400	L2270_CASO6.cfg
L-2270	10%	17.491	A-B	250	500	1400	L2270_CASO7.cfg
L-2270	50%	87.455	A-B	250	500	1400	L2270_CASO8.cfg
L-2270	90%	157.419	A-B	250	500	1400	L2270_CASO9.cfg
L-2270	10%	17.491	A-B-N	250	500	1400	L2270_CASO10.cfg
L-2270	50%	87.455	A-B-N	250	500	1400	L2270_CASO11.cfg
L-2270	90%	157.419	A-B-N	250	500	1400	L2270_CASO12.cfg

**Cuadro N° 4.7: Casos Simulados Línea L-2270 (Fuente: Propio del autor)**

❖ **L-2274 (Kiman Ayllu – La Ramada) de 220 kV.**



**Figura N° 4.12:** Modelo de la Línea L-2274 en Digsilent Power Factory  
(Fuente: Propio del autor)

Nombre de la línea	Tramo		Lonitud (km)	Inominal (A)	Vnominal (kV)
	S.E. Inicial	S.E. Final			
L-2274	Kiman Ayllu	La Ramada	140.75	630	220

**Cuadro N° 4.8:** Características de la Línea L-2274 (Fuente: Base de datos ATN)

Línea	Ubicación desde Kiman Ayllu		Tipo de falla	Tiempo prefalla (ms)	Tiempo simulación (ms)	Frecuencia de muestreo (Hz)	Nombre del archivo
	(%)	(km)					
L-2274	10%	14.075	R-N	250	500	1400	L2274_CASO1.cfg
L-2274	50%	70.375	R-N	250	500	1400	L2274_CASO2.cfg
L-2274	90%	126.675	R-N	250	500	1400	L2274_CASO3.cfg
L-2274	10%	14.075	R-S-T	250	500	1400	L2274_CASO4.cfg
L-2274	50%	70.375	R-S-T	250	500	1400	L2274_CASO5.cfg
L-2274	90%	126.675	R-S-T	250	500	1400	L2274_CASO6.cfg
L-2274	10%	14.075	A-B	250	500	1400	L2274_CASO7.cfg
L-2274	50%	70.375	A-B	250	500	1400	L2274_CASO8.cfg
L-2274	90%	126.675	A-B	250	500	1400	L2274_CASO9.cfg
L-2274	10%	14.075	A-B-N	250	500	1400	L2274_CASO10.cfg
L-2274	50%	70.375	A-B-N	250	500	1400	L2274_CASO11.cfg
L-2274	90%	126.675	A-B-N	250	500	1400	L2274_CASO12.cfg

Cuadro N° 4.9: Casos Simulados L-2274 (Fuente: Propio del autor)

❖ **L-2275 (La Ramada – Cajamarca Norte) de 220 kV.**

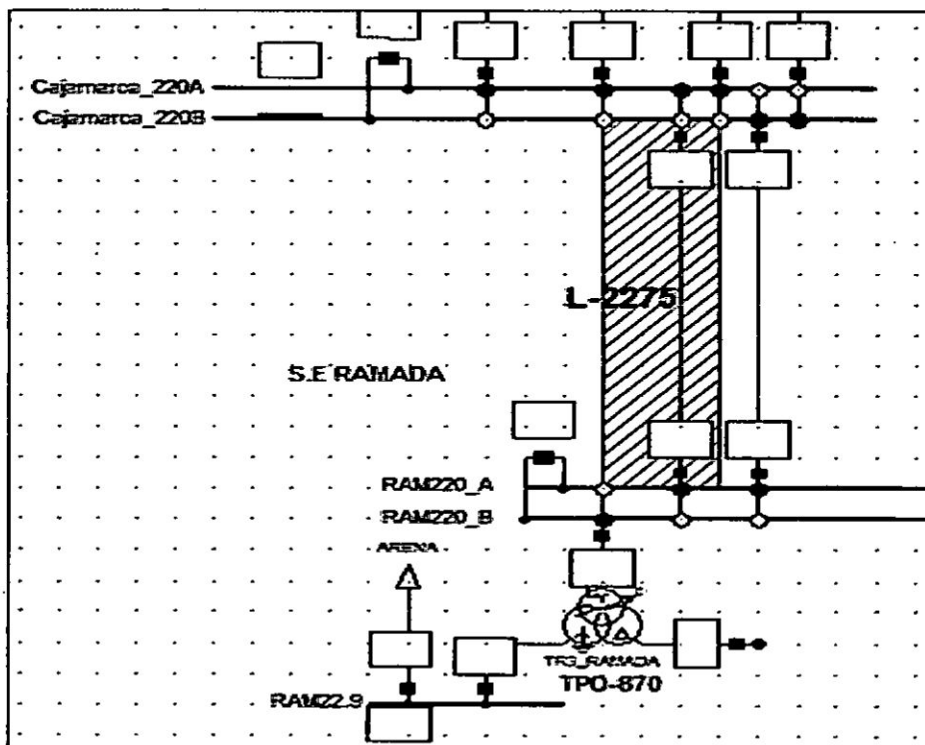


Figura N° 4.13: Modelo de la Línea L-2275 en Digsilent Power Factory

(Fuente: Propio del autor)

Nombre de la línea	Tramo		Lonitud (km)	Inominal (A)	Vnominal (kV)
	S.E. Inicial	S.E. Final			
L-2275	La Ramada	Cajamarca Norte	87.0	630	220

**Cuadro N° 4.10:** Características de la Línea L-2275 (Fuente: Base de datos ATN)

Línea	Ubicación desde La Ramada		Tipo de falla	Tiempo prefalla (ms)	Tiempo simulación (ms)	Frecuencia de muestreo (Hz)	Nombre del archivo
	(%)	(km)					
L-2275	10%	8.7	R-N	250	500	1400	L2275_CASO1.cfg
L-2275	50%	43.5	R-N	250	500	1400	L2275_CASO2.cfg
L-2275	90%	78.3	R-N	250	500	1400	L2275_CASO3.cfg
L-2275	10%	8.7	R-S-T	250	500	1400	L2275_CASO4.cfg
L-2275	50%	43.5	R-S-T	250	500	1400	L2275_CASO5.cfg
L-2275	90%	78.3	R-S-T	250	500	1400	L2275_CASO6.cfg
L-2275	10%	8.7	A-B	250	500	1400	L2275_CASO7.cfg
L-2275	50%	43.5	A-B	250	500	1400	L2275_CASO8.cfg
L-2275	90%	78.3	A-B	250	500	1400	L2275_CASO9.cfg
L-2275	10%	8.7	A-B-N	250	500	1400	L2275_CASO10.cfg
L-2275	50%	43.5	A-B-N	250	500	1400	L2275_CASO11.cfg
L-2275	90%	78.3	A-B-N	250	500	1400	L2275_CASO12.cfg

**Cuadro N° 4.11:** Casos Simulados L-2275 (Fuente: Propio del autor)

## Caso 2: Una simple tema

### Casos simulados:

Se realizará similar a lo realizado en las de doble tema.

- ❖ **L-2264 (Paragsha II - Conococha) de 220 kV.**

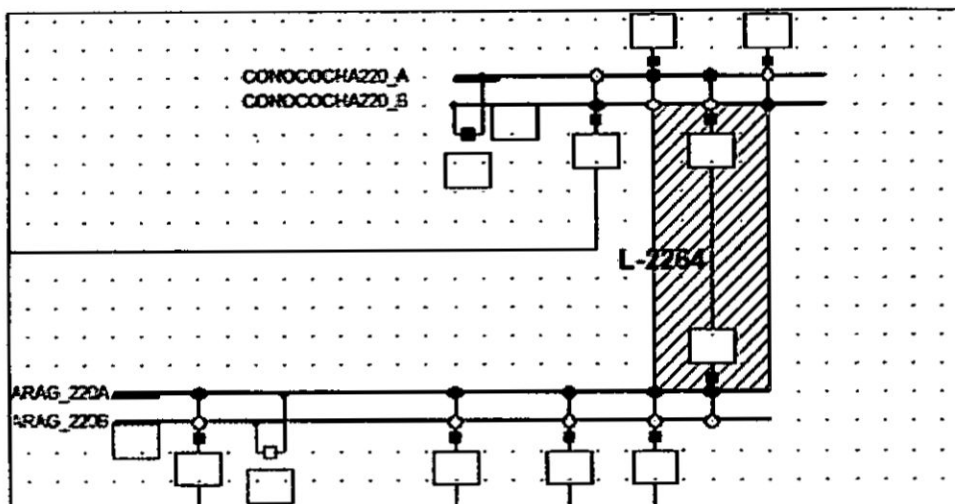


Figura N° 4.14: Modelo de la Línea L-2264 en Digsilent Power Factory

(Fuente: Propio del autor)

Nombre de la línea	Tramo		Lonitud (km)	Inominal (A)	Vnominal (kV)
	S.E. Inicial	S.E. Final			
L-2264	Paragsha II	Conococha	140.2	472	220

Cuadro N° 4.12: Características de la Línea L-2264 (Fuente: Base de datos ATN)

Línea	Ubicación desde Paragsha II		Tipo de falla	Tiempo prefalla (ms)	Tiempo simulación (ms)	Frecuencia de muestreo (Hz)	Nombre del archivo
	(%)	(km)					
L-2264	10%	14.02	R-N	250	500	1400	L-2264_CASO1.cfg
L-2264	50%	70.1	R-N	250	500	1400	L-2264_CASO2.cfg
L-2264	90%	126.18	R-N	250	500	1400	L-2264_CASO3.cfg
L-2264	10%	14.02	R-S-T	250	500	1400	L-2264_CASO4.cfg
L-2264	50%	70.1	R-S-T	250	500	1400	L-2264_CASO5.cfg
L-2264	90%	126.18	R-S-T	250	500	1400	L-2264_CASO6.cfg
L-2264	10%	14.02	A-B	250	500	1400	L-2264_CASO7.cfg
L-2264	50%	70.1	A-B	250	500	1400	L-2264_CASO8.cfg
L-2264	90%	126.18	A-B	250	500	1400	L-2264_CASO9.cfg
L-2264	10%	14.02	A-B-N	250	500	1400	L-2264_CASO10.cfg
L-2264	50%	70.1	A-B-N	250	500	1400	L-2264_CASO11.cfg
L-2264	90%	126.18	A-B-N	250	500	1400	L-2264_CASO12.cfg

Cuadro N° 4.13: Casos Simulados L-2264 (Fuente: Propio del autor)



### Paso 03: Oscilografías generadas de los fallas reales

Las oscilografías son generadas al acurir una falla en la línea de transmisión y las cuales se describirán como ejemplo para las líneas L-2270 y L-2264:

#### L-2270 (Conocochoa – Kiman Ayllu)

Fecha	Descripción de la Falla	Nombres del archivo
01/05/2013	Desconexión de la línea por falla monofásica a tierra fase T, produjo de rotura de cadena de aisladores.	L-2270_CNC
		L-2270_KMA
28/09/2013	Desconexión de la línea por falla monofásica a tierra fase R, produjo de rotura de cadena de aisladores.	L-2270_CNC
		L-2270_KMA
06/01/2014	Desconexión de la línea por falla monofásica a tierra fase R, produjo de rotura de cadena de aisladores.	L-2270_CNC
		L-2270_KMA

Cuadro N° 4.14: Cuadro de Fallas Reales L-2270 (Fuente: Base de datos ATN)

#### L-2264 (Paragsha II - Conocochoa)

Fecha	Descripción de la Falla	Nombres del archivo
21/04/2014	Recierre exitoso en la línea por falla monofásica a tierra fase S.	L-2264_PRS
		L-2264_CNC
12/11/2014	Desconexión de la línea por falla bifásica a tierra en las fases R y S, produjo de rotura de cadena de aisladores.	L-2264_PRS
		L-2264_CNC
28/01/2015	Desconexión de la línea por falla monofásica a tierra fase R, produjo de rotura de cadena de aisladores.	L-2264_PRS
		L-2264_CNC

Cuadro N° 4.15: Cuadro de Fallas Reales L-2264 (Fuente: Base de datos ATN)

#### Ejemplo: Descripción de la falla en la línea L-2270

El 06/01/2014, a las 20:12:05 h, se produjo una falla monofásica a tierra en la fase "R" en la línea L-2270 (Conocochoa - Kiman Ayllu) de 220 kV, posteriormente luego de 678 ms de iniciada la falla se produjo el recierre monofásico no exitoso y 55 ms después se

produjo el disparo trifásico definitivo al persistir la falla, como se muestra en las oscilografías en el relé L90 en el extremo Conocochoa.

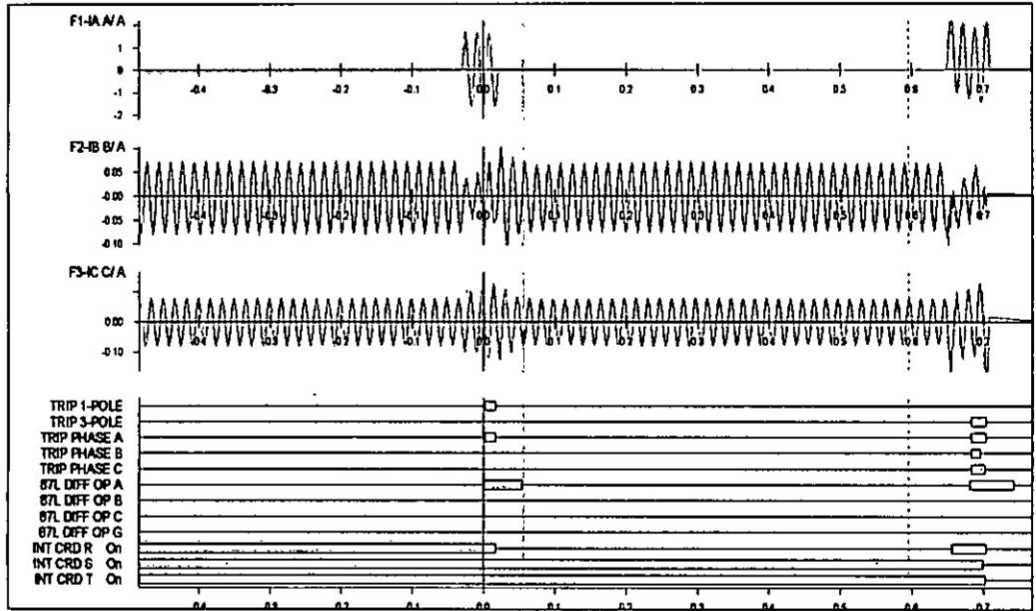


Figura N° 4.15: Oscilografías de Relé L90 L-2270 S.E. Conocochoa

(Fuente: Base de datos ATN)

Durante la inspección de la línea L-2270, se encontró la rotura de toda la cadena de aisladores en la torre T-183 debido a actos vandálicos, como se puede apreciar en la siguiente figura:

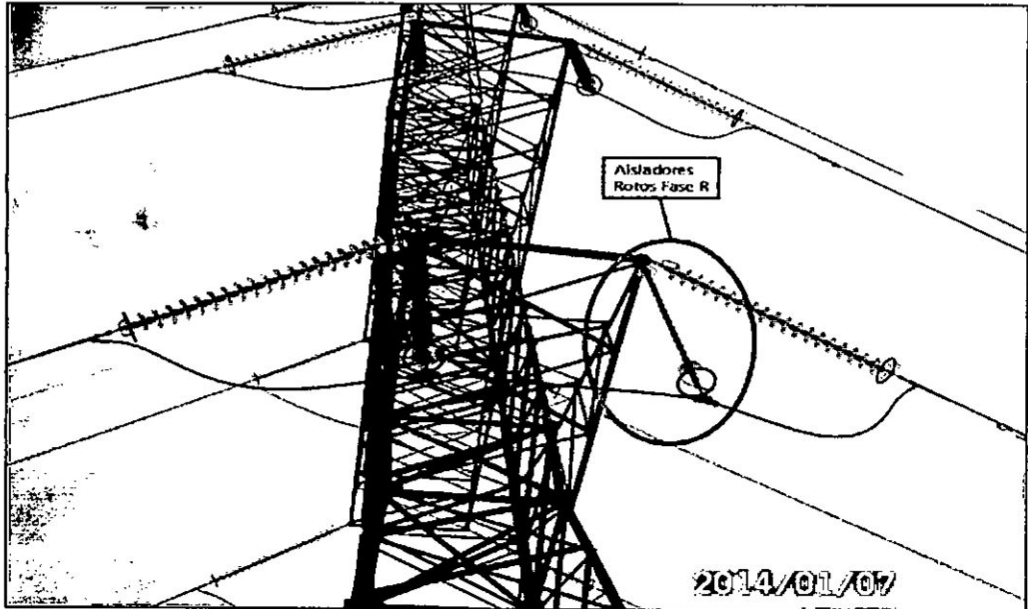


Figura N° 4.16: Aisladores Rotos Fase "R" Torre T-183 de la Línea L-2270

(Fuentes: Base de datos ATN)

Como medida correctiva se procedió al cambio de la cadena de aisladores afectada para finalmente declarar disponible la línea L-2270 a las 12:39 h del día 07.01.2014 al CCO – COES, tal como se muestra en la siguiente figura:

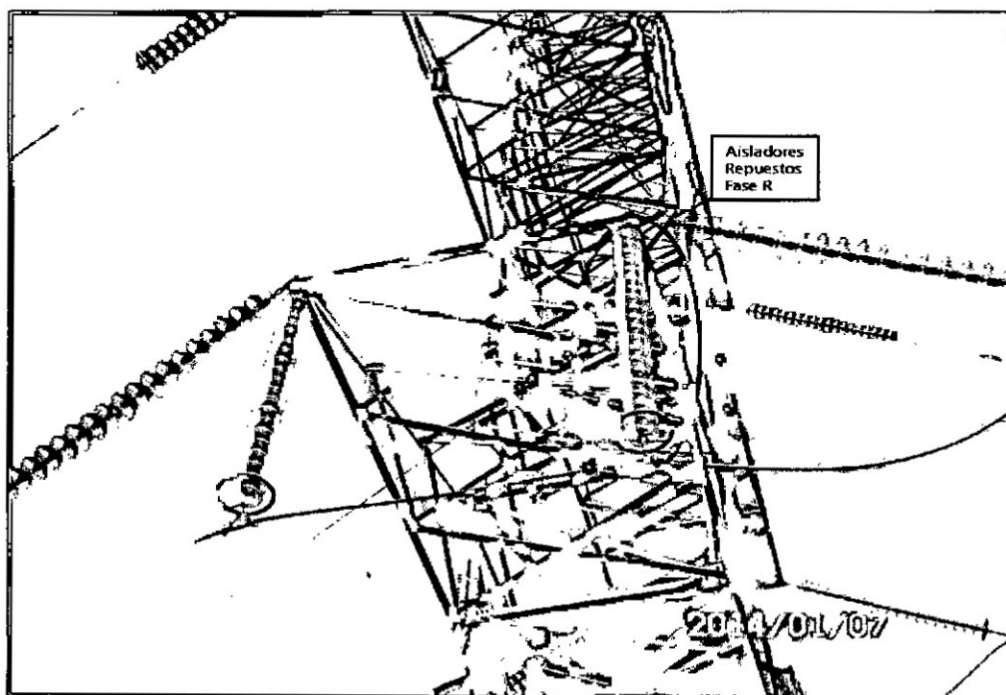


Figura N° 4.17: Aisladores Repuestas Fase "R" Torre T-183 de la Línea L-2270

(Fuentes: Base de datos ATN)

#### Paso 04: Procesamiento de datos

El procesamiento de datos (Oscilografías) y el cálculo de la distancia de falla lo realizará el MOLOVI, que posteriormente será comparado con los datos del digisilent power factory y los datos de distancia calculado por los relés en los casos reales.

El flujograma del MOLOVI es la siguiente:

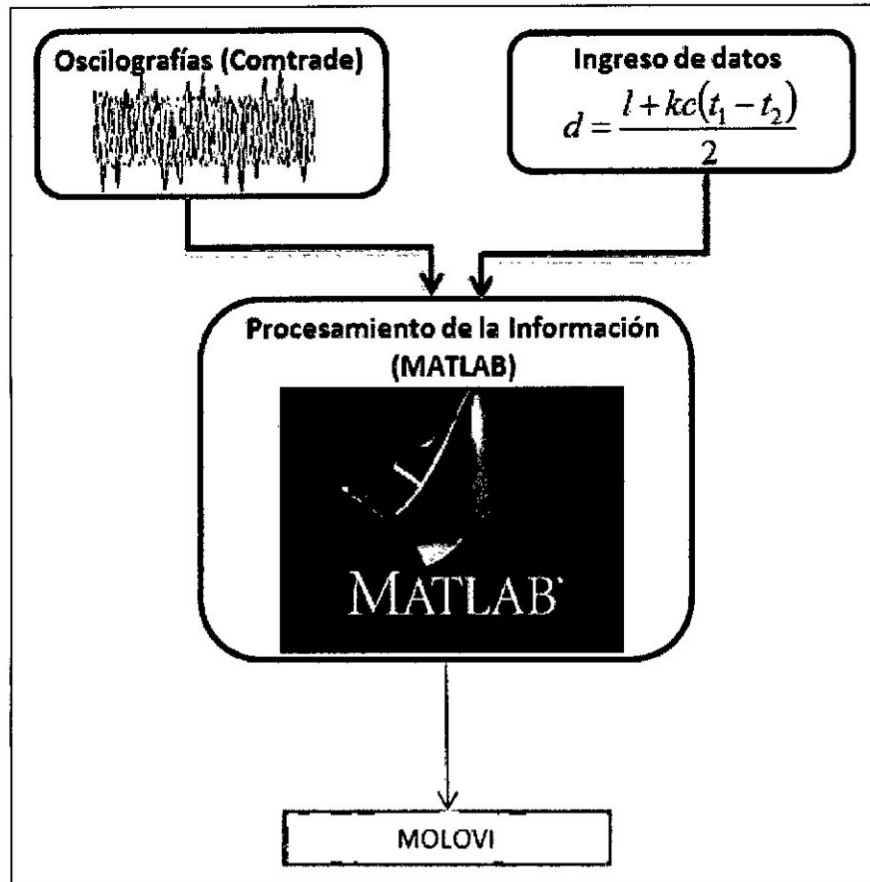


Figura N° 4.18: Flujograma MOLOVI (Fuente: Propio del autor)

El desarrollo del programa será explicado en el capítulo V.

#### Paso 05: Cálculo de la distancia de falla

Los resultados calculados por el MOLOVI, comparado con el digsilent para casos simulados, y los relés de protección para los casos reales será explicados en el capítulo V.

## **V. RESULTADOS**

### **“IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO LOCALIZADOR DE FALLAS POR ONDAS VIAJERAS, APLICADO A LAS LÍNEAS AÉREAS DE ABENGOA TRANSMISIÓN NORTE”**

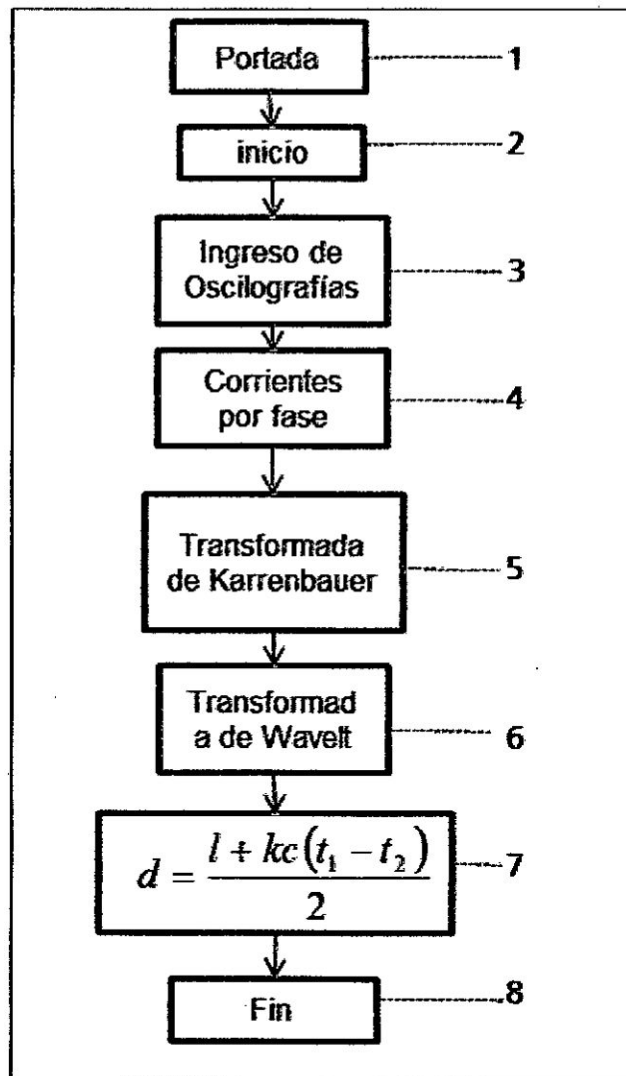
#### **Implementación del Programa MOLOVI**

El módulo digital MOLOVI, ha sido desarrollado en el programa Matlab, bajo entornos de rutinas de cálculos de programación, la cual utiliza los registros oscilógrafos de los relés de protección (IEDs), generadas por las fallas en las líneas de transmisión de ATN y como también puede utilizar registros simulados como del Digsilent Power Factory, posterior a ello utiliza estos datos (corrientes) por cada fase y realiza las transformadas de karrenbauer y wavelet, para luego obtener los puntos máximos de las ondas, la cual es la diferencia de tiempo que viaja las ondas de un extremo al otro al ocurrir una perturbación en la onda, luego mediante la fórmula de la onda viajera realiza el cálculo de la distancia de falla, todo se explicará en los siguientes puntos.

El objetivo no es explicar la parte de programación de Matlab, sino la utilización del programa y su utilidad en calcular la distancia de falla y obtener los resultados esperados.

#### **Diagrama de Flujo del MOLOVI**

Debido al incremento en la complejidad de los Sistemas Eléctricos de Potencia es de gran importancia la detección de fallas en todos los elementos que componen el Sistema.



**Figura N° 5.1:** Flujograma de la Implementación del MOLOVI  
(Fuente: Propio del autor)

### Descripción del MOLOVI Implementado

#### 1. Portada:

La portada es la presentación del MOLOVI y se muestra a continuación:



Figura N° 5.2: Portada del MOLOVI Desarrollado en Matlab

(Fuente: Propio del autor)

```

25     fe=imread('LT_FONDOS.jpg');
26 -   e=imread('IMAGENES PORTADA\LT_FONDOS.jpg');
27 -   f=imresize(e,[320 640]);
28 -   axes(handles.axes6); imshow(f);
29 -   nombre1='UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO';
30 -   nombre2='FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA';
31 -   nombre3='ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA';
32 -   nombre4='MÓDULO LOCALIZADOR DE FALLAS POR ONDAS VIAJERAS';
33 -   nombre5='AUTOR: NILTHON EUFRACIO FERRER';
34 -   set(handles.axes1,'visible','off');
35 -   set(handles.axes2,'visible','off');
36 -   set(handles.axes3,'visible','off');
37 -   set(handles.axes4,'visible','off');
38
39 -   set(handles.text1,'string',nombre1)
40 -   set(handles.text1,'HorizontalAlignment','center')
41 -   set(handles.text1,'FontSize',20)
42 -   set(handles.text1,'FontName','Arial')
43 -   set(handles.text1,'FontWeight','bold')
44
45 -   set(handles.text2,'string',nombre2)
46 -   set(handles.text2,'HorizontalAlignment','center')

```

Figura N° 5.3: Parte de la Programación en Matlab del MOLOVI

(Fuente: Propio del autor)

## 2. Inicio:

El "Inicio" es el ícono inicial del MOLOVI, para poder acceder a la segunda ventana interfaz "Módulo Localizador de Fallas por Ondas Viajeras – MOLOVI", tal como se muestran en la siguientes figuras:

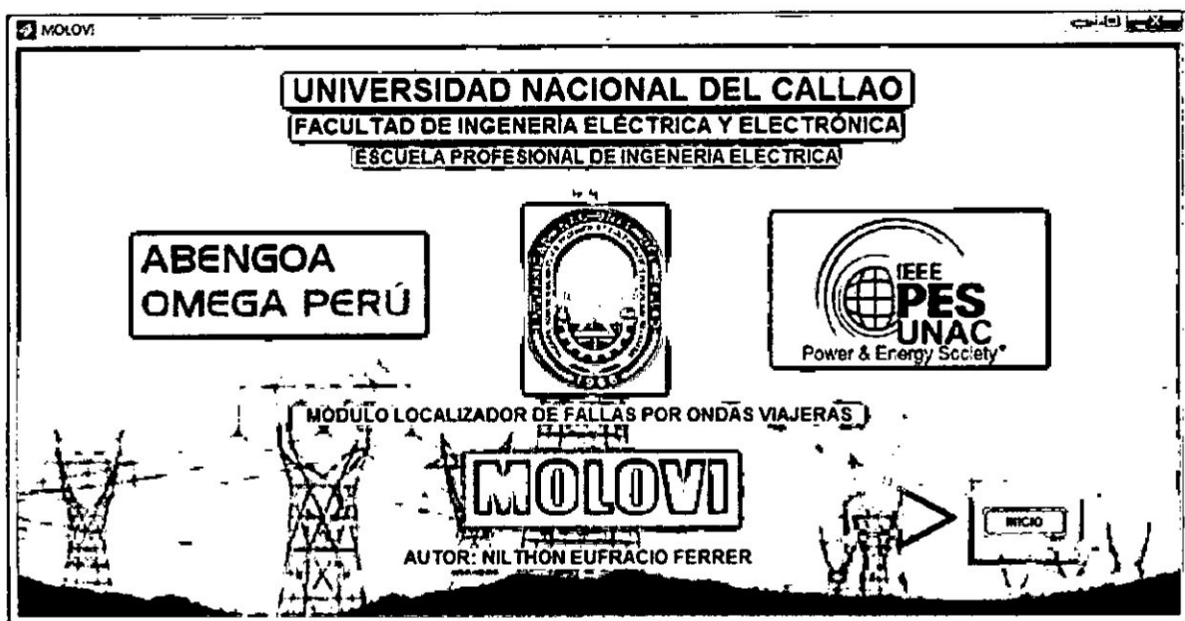


Figura N° 5.4: Portada del MOLOVI desarrollado en Matlab  
(Fuente: Propio del autor)

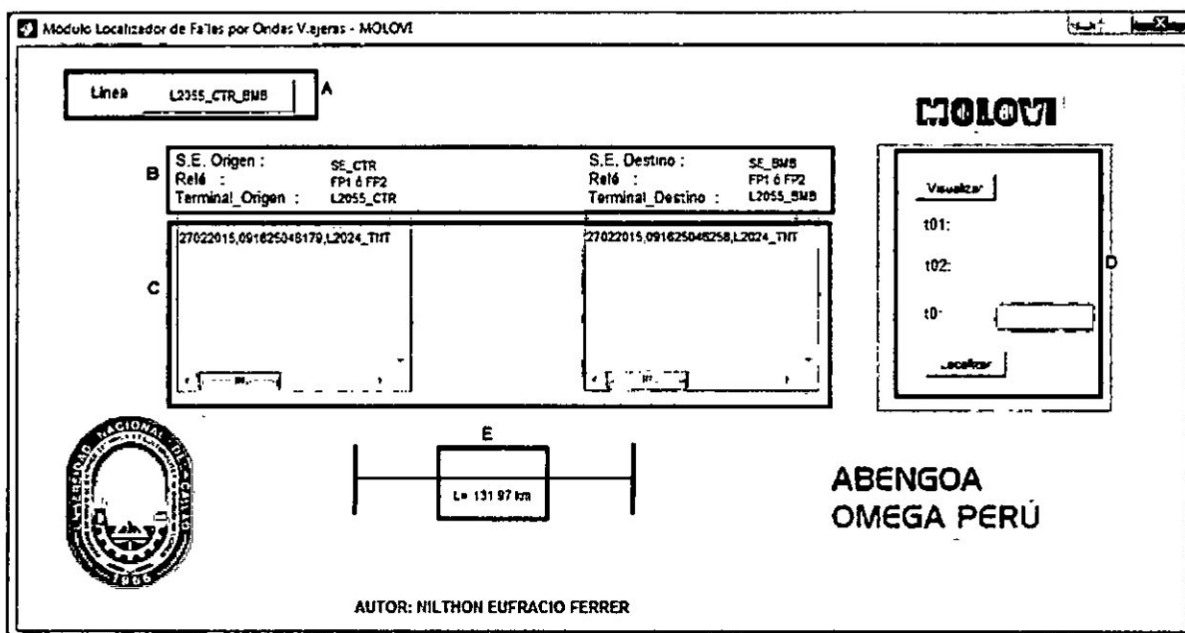


Figura N° 5.5: "Módulo Localizador de Fallas por Ondas Viajeras – MOLOVI"  
(Fuente: Propio del autor)



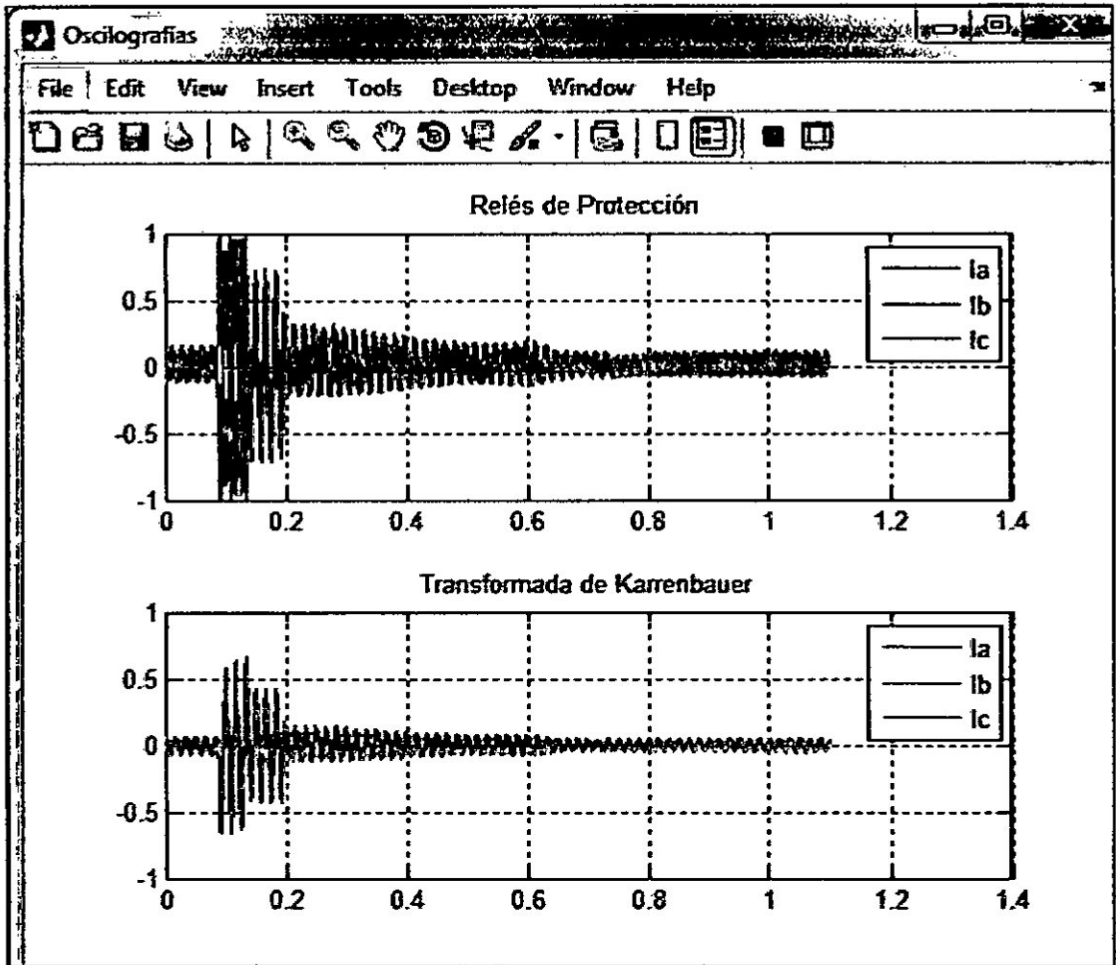
Según la Figura N° 5.5 , se describe las partes del “Módulo Localizador de Fallas por Ondas Viajeras – MOLOVI”

**A:** Selección de la línea, las cuales están cargadas la base de datos de todas las líneas de ATN.

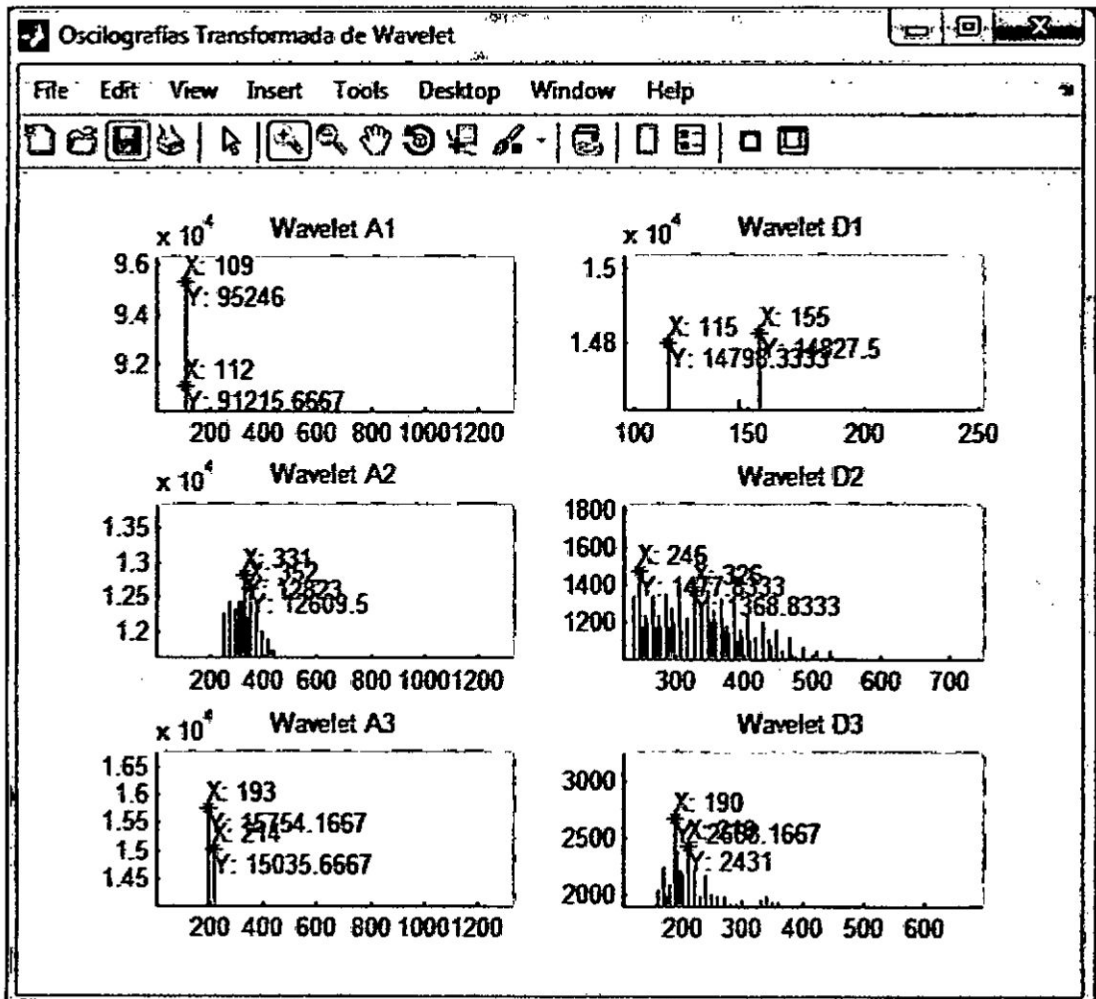
**B:** Identificar de la línea seleccionada, desde el origen hasta el terminar y el tipo de rele(IED) seleccionada.

**C:** Lista de los registros de ondas viajeras de cada terminal para la configuración de la línea elegida. Cada registro de esta línea se identifica con el tiempo y aparecen en orden descendiente. El usuario debe seleccionar una fecha y hora de cada terminal que se conecta al mismo evento.

**D:** Visualización de la diferencia de tiempo de las ondas viajeras, la cual es el resultado luego de realizar las transformadas de Karrenbauer y Wavelet.



**Figura N° 5.6:** Gráficas de los Relés y Transformada de Karenbauer - MOLOVI  
(Fuente: Propio del autor)



**Figura N° 5.7:** Gráficas de la Transformada de Wavelet- MOLOVI  
(Fuente: Propio del autor)

### 3. Ingreso de Oscilografías:

La base de datos de las oscilografías se direccionan a una carpeta (con extensión de archivo ".dat"), la cual ha sido trabajado el Matlab.

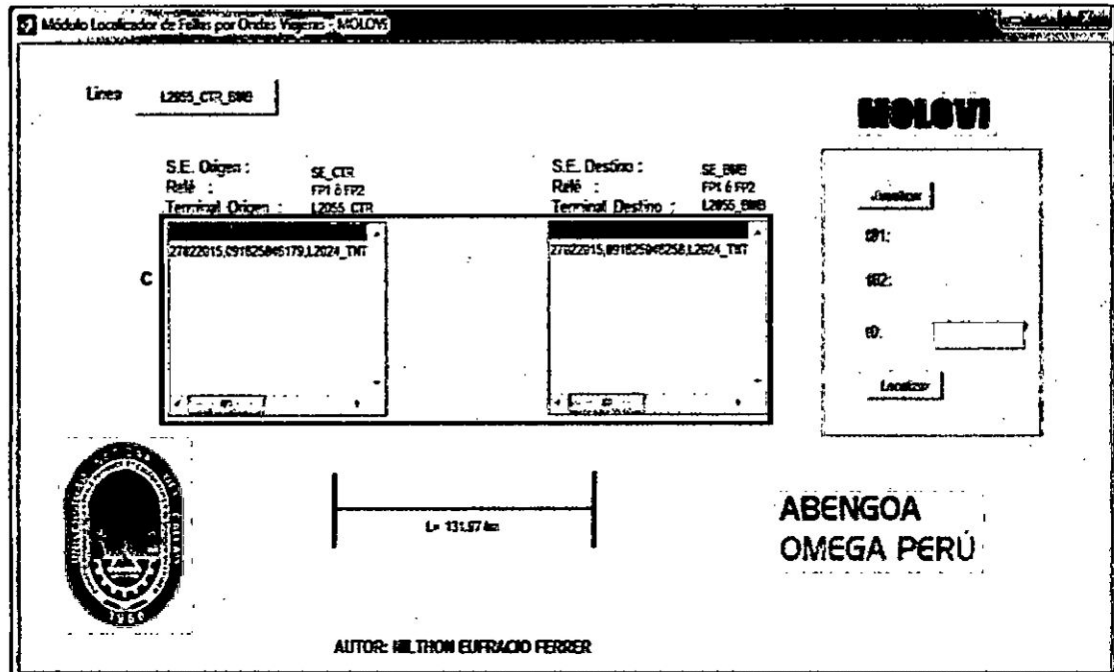


Figura N° 5.8: Registros Oscilográficos - MOLOVI

(Fuente: Propio del autor)

C: Lista de los registros de ondas viajeras de cada terminal para la configuración de la línea elegida. Cada registro de esta línea se identifica con el tiempo y aparecen en orden descendiente. El usuario debe seleccionar una fecha y hora de cada terminal que se conecta al mismo evento.

#### 4. Corrientes por Fase:

Una vez seleccionada la opción "Visualizar" en la ventana "D", automáticamente se generan las gráficas de las corrientes por fase (R,S y T), como se muestra en la siguiente figura:

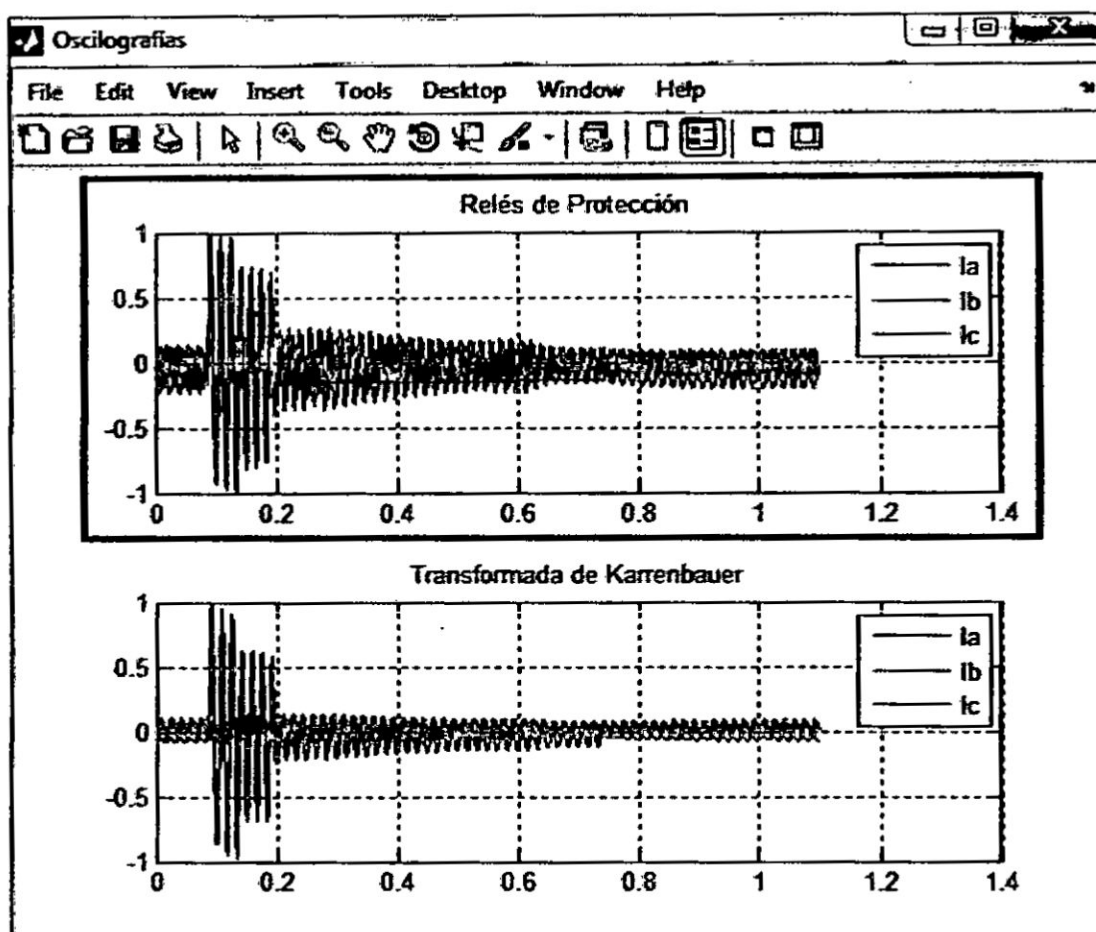


Figura N° 5.9: Gráficas de Corrientes por Fase (R, S y T) - MOLOVI  
(Fuente: Propio del autor)

## 5. Transformada de Karrenbauer:

La gráfica se muestra en la siguiente figura:

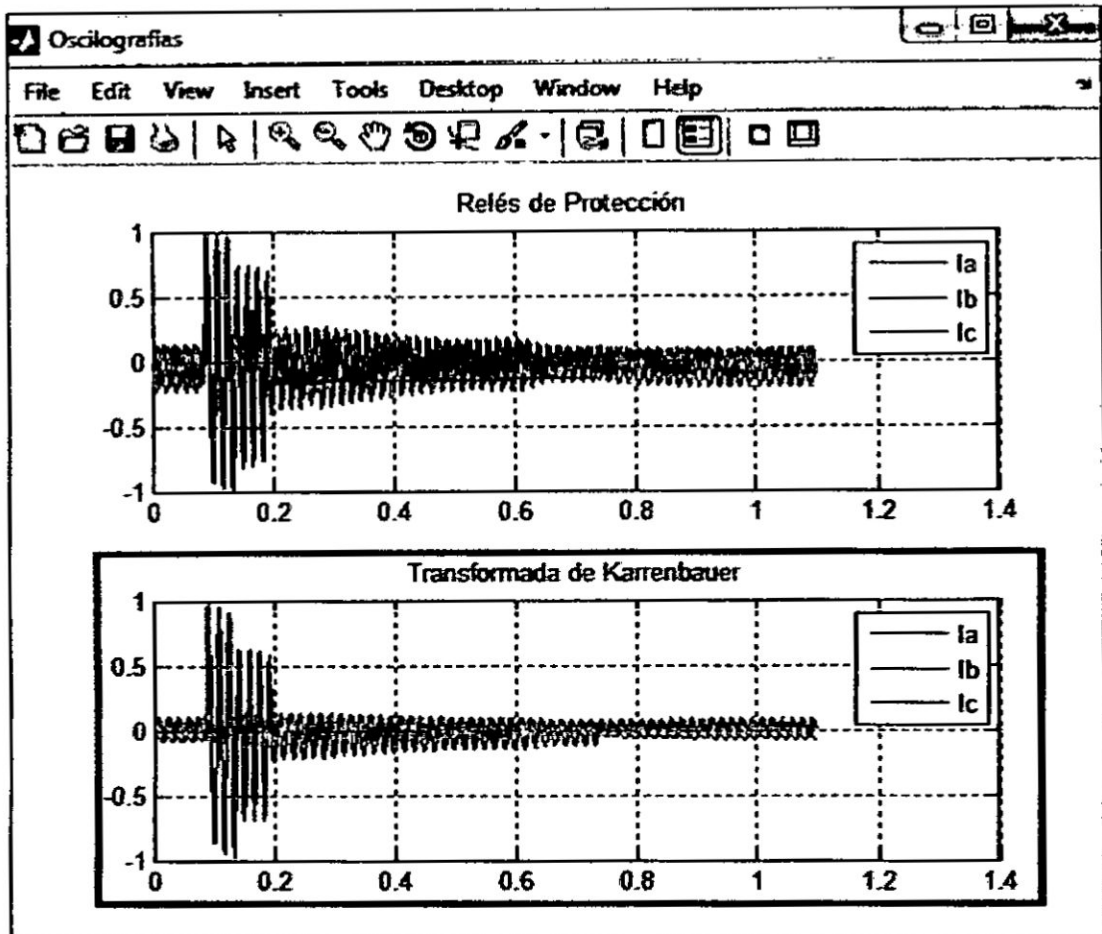


Figura N° 5.10: Gráficas de Transformada de Karrenbauer - MOLOVI  
(Fuente: Propio del autor)

## 6. Transmada de Wavelet:

La gráfica se muestra en la siguiente figura:

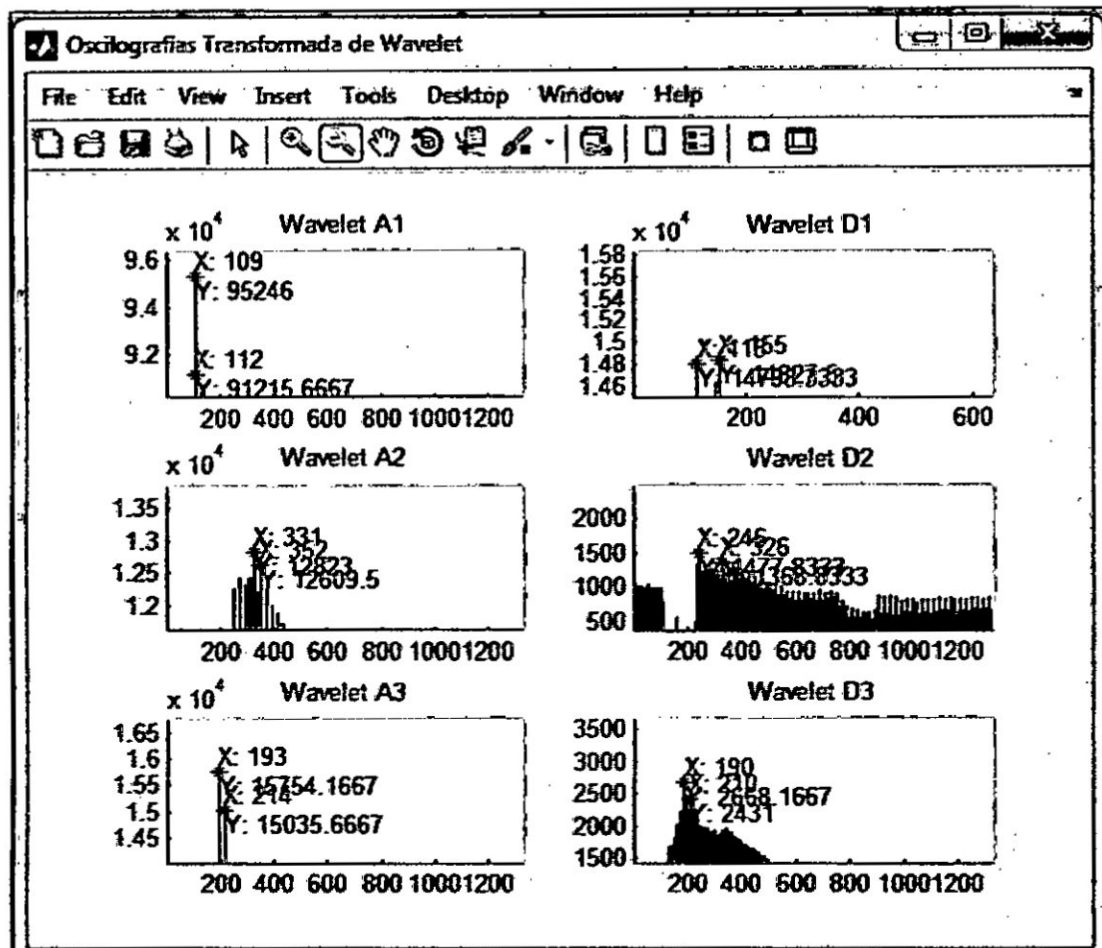


Figura N° 5.11: Gráficas de Transformada de Wavelet - MOLOVI

(Fuente: Propio del autor)

## 7. Cálculo de la Distancia de Dalla (d):

Una vez calculada la diferencia de tiempo( $t_1-t_2$ ), con las transformadas de Karrenbauer y Wavelet, el MOLOVI realiza el cálculo aplicando la fórmula 2.34, la cual se hace efectivo al presionar el ícono o boton "Localizar" y se muestra la distancia de falla referente a uno de sus extremos de la subestación, tal como se muestra en la siguiente figura:

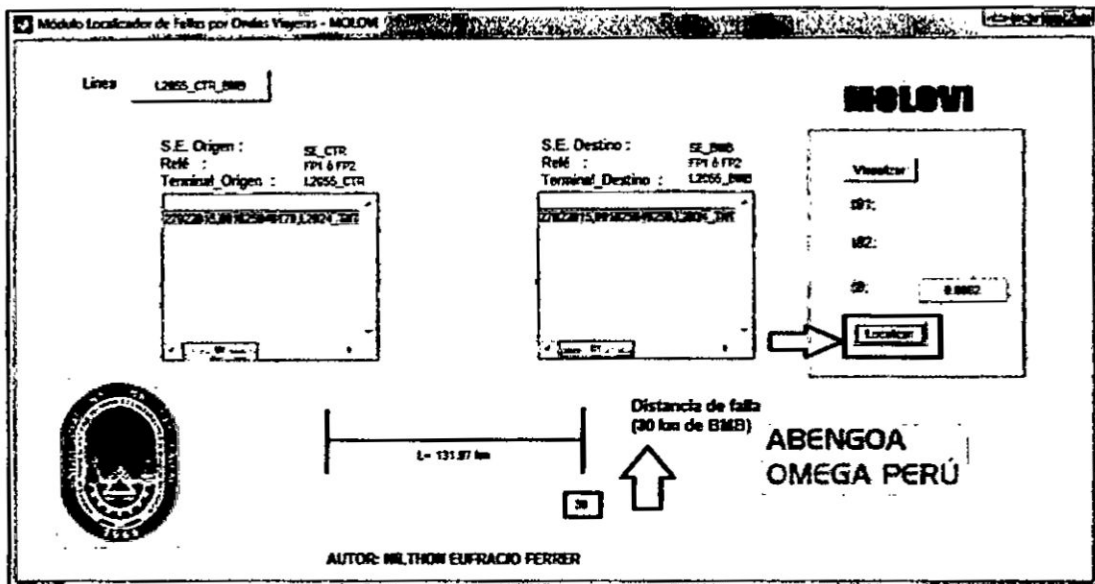


Figura N° 5.12: Operación Final del Cálculo de la Distancia de Falla - MOLOVI

(Fuente: Propio del autor)

## 8. Fin

### Resultados Finales de los Cálculos de la Distancia de Falla

#### Caso1: Con Oscilografías Simuladas en el Digsilent Power Factory

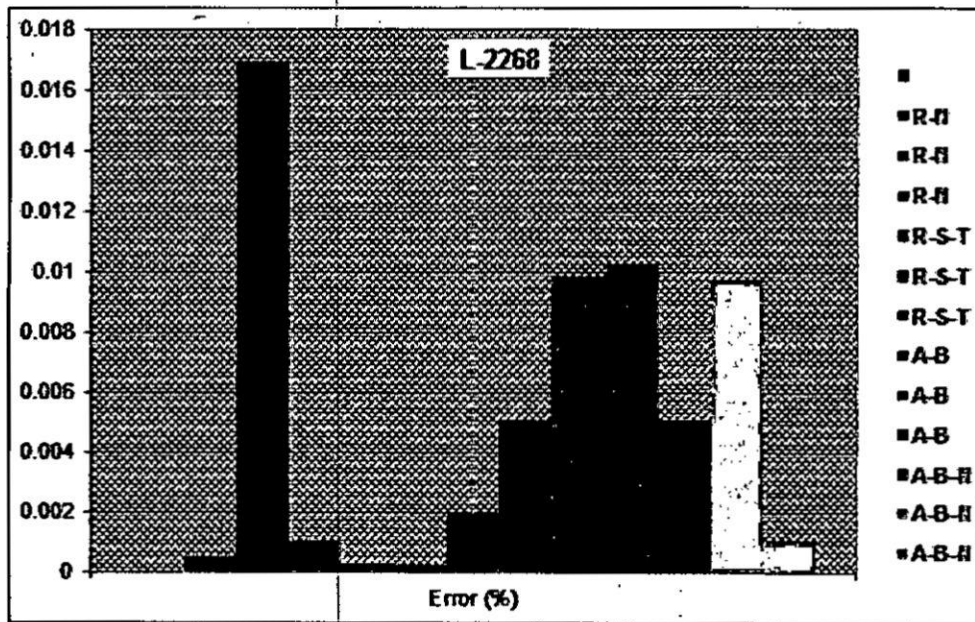
En las siguientes tablas se mostrarán los resultados calculados con el MOLOVI y serán comparados con las distancias de falla teóricas, simuladas con el Digsilent Power Factory, ello con la finalidad de hallar el error, según la siguiente fórmula:

$$error = \frac{|d_{teórica} - d_{calculada}|}{Longitud\_Linea} \dots\dots\dots(2.37)$$



Línea	Ubicación desde Paragsha II		Tipo de falla	Nombre del archivo	Dcalculada MOLOVI (km)	Error (%)
	(%)	Dteórica(km)				
L-2268	10%	4.332	R-N	L2268_CASO1.cfg	4.311	0.05%
L-2268	50%	21.66	R-N	L2268_CASO2.cfg	22.4	1.70%
L-2268	90%	38.988	R-N	L2268_CASO3.cfg	38.943	0.10%
L-2268	10%	4.332	R-S-T	L2268_CASO4.cfg	4.345	0.03%
L-2268	50%	21.66	R-S-T	L2268_CASO5.cfg	21.65	0.02%
L-2268	90%	38.988	R-S-T	L2268_CASO6.cfg	38.899	0.20%
L-2268	10%	4.332	A-B	L2268_CASO7.cfg	4.111	0.51%
L-2268	50%	21.66	A-B	L2268_CASO8.cfg	21.23	0.99%
L-2268	90%	38.988	A-B	L2268_CASO9.cfg	38.54	1.03%
L-2268	10%	4.332	A-B-N	L2268_CASO10.cfg	4.112	0.51%
L-2268	50%	21.66	A-B-N	L2268_CASO11.cfg	21.2345	0.98%
L-2268	90%	38.988	A-B-N	L2268_CASO12.cfg	38.945	0.10%

**Cuadro N° 5.1:** Resultados de Cálculo de la Línea L-2268 (Fuente: Propio del autor)



**Figura N° 5.13:** Errores en Kilómetros de la Línea L-2268 (Fuente: Propio del autor)

Línea	Ubicación desde Conocochoa		Tipo de falla	Nombre del archivo	Dcalculada MOLOVI (km)	Error (%)
	(%)	Dteórica(km)				
L-2270	10%	17.491	R-N	L2270_CASO1.cfg	17.556	0.04%
L-2270	50%	87.455	R-N	L2270_CASO2.cfg	87.655	0.11%
L-2270	90%	157.419	R-N	L2270_CASO3.cfg	156.89	0.30%
L-2270	10%	17.491	R-S-T	L2270_CASO4.cfg	17.591	0.06%
L-2270	50%	87.455	R-S-T	L2270_CASO5.cfg	87.466	0.01%
L-2270	90%	157.419	R-S-T	L2270_CASO6.cfg	158	0.33%
L-2270	10%	17.491	A-B	L2270_CASO7.cfg	17.543	0.03%
L-2270	50%	87.455	A-B	L2270_CASO8.cfg	87.995	0.31%
L-2270	90%	157.419	A-B	L2270_CASO9.cfg	156.719	0.40%
L-2270	10%	17.491	A-B-N	L2270_CASO10.cfg	18	0.29%
L-2270	50%	87.455	A-B-N	L2270_CASO11.cfg	86.985	0.27%
L-2270	90%	157.419	A-B-N	L2270_CASO12.cfg	157.499	0.05%

Cuadro N° 5.2: Resultados de Cálculo de la Línea L-2270 (Fuente: Propio del autor)

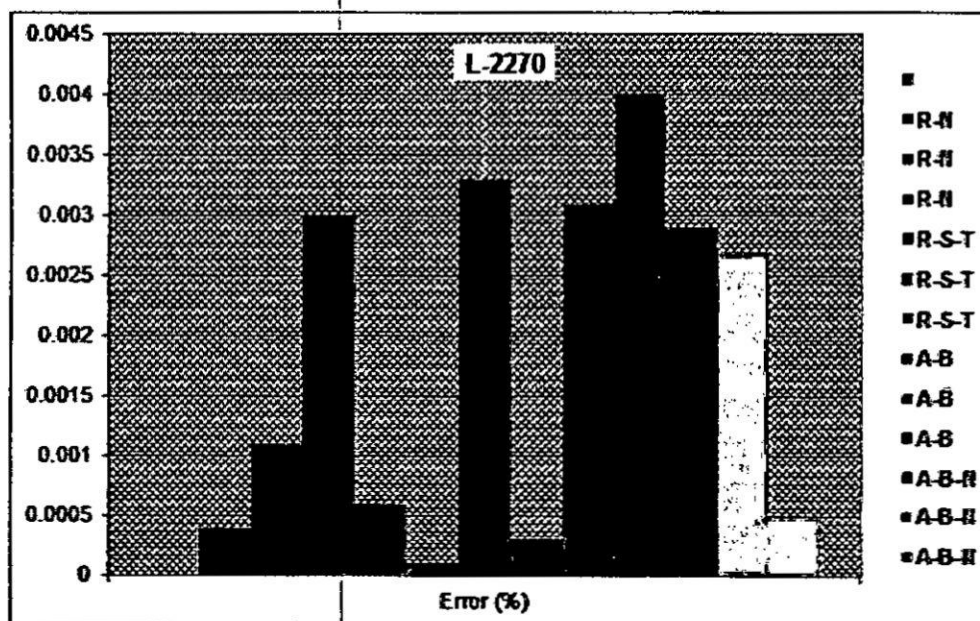


Figura N° 5.14: Errores en Kilómetros de la Línea L-2270 (Fuente: Propio del autor)

Línea	Ubicación desde Kiman Ayllu		Tipo de falla	Nombre del archivo	Dcalculada MOLOVI (km)	Error (%)
	(%)	Dteórica(km)				
L-2274	10%	14.075	R-N	L2274_CASO1.cfg	14.932	0.61%
L-2274	50%	70.375	R-N	L2274_CASO2.cfg	70.897	0.37%
L-2274	90%	126.675	R-N	L2274_CASO3.cfg	127.175	0.36%
L-2274	10%	14.075	R-S-T	L2274_CASO4.cfg	15.075	0.71%
L-2274	50%	70.375	R-S-T	L2274_CASO5.cfg	71.475	0.78%
L-2274	90%	126.675	R-S-T	L2274_CASO6.cfg	127.975	0.92%
L-2274	10%	14.075	A-B	L2274_CASO7.cfg	16.075	1.42%
L-2274	50%	70.375	A-B	L2274_CASO8.cfg	71.975	1.14%
L-2274	90%	126.675	A-B	L2274_CASO9.cfg	127.475	0.57%
L-2274	10%	14.075	A-B-N	L2274_CASO10.cfg	14.956	0.63%
L-2274	50%	70.375	A-B-N	L2274_CASO11.cfg	70.745	0.26%
L-2274	90%	126.675	A-B-N	L2274_CASO12.cfg	126.987	0.22%

dro N° 5.3: Resultados de Cálculo de la Línea L-2274 (Fuente: Propio del autor)

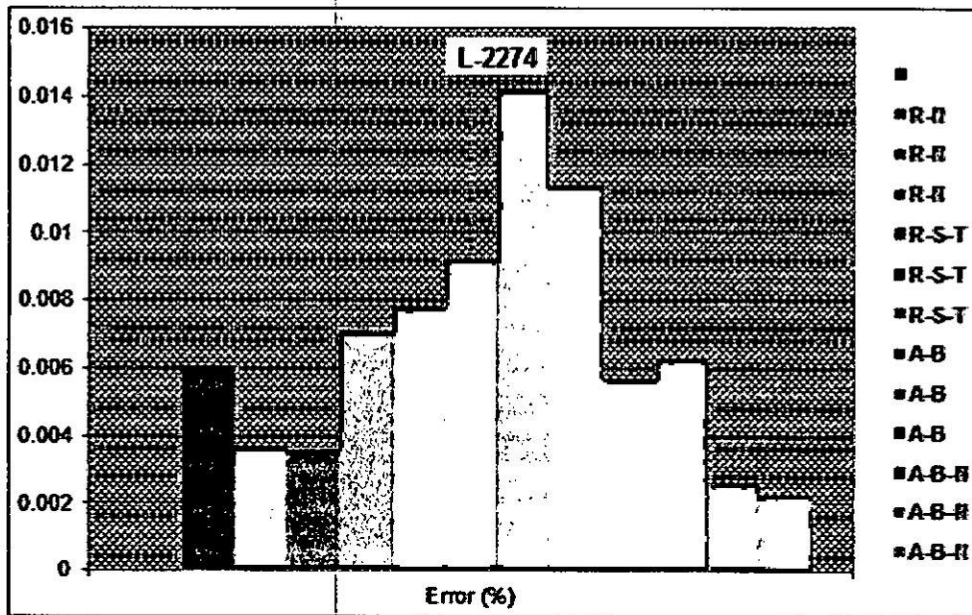


Figura N° 5.15: Errores en Kilómetros de la Línea L-2274 (Fuente: Propio del autor)

Línea	Ubicación desde La Ramada		Tipo de falla	Nombre del archivo	Dcalculada MOLOVI (km)	Error (%)
	(%)	Dteórica(km)				
L-2275	10%	8.7	R-N	L2275_CASO1.cfg	8.98	0.61%
L-2275	50%	43.5	R-N	L2275_CASO2.cfg	44.455	0.37%
L-2275	90%	78.3	R-N	L2275_CASO3.cfg	79.98	0.36%
L-2275	10%	8.7	R-S-T	L2275_CASO4.cfg	8.98	0.71%
L-2275	50%	43.5	R-S-T	L2275_CASO5.cfg	45	0.78%
L-2275	90%	78.3	R-S-T	L2275_CASO6.cfg	79.33	0.92%
L-2275	10%	8.7	A-B	L2275_CASO7.cfg	8.987	1.42%
L-2275	50%	43.5	A-B	L2275_CASO8.cfg	43.694	1.14%
L-2275	90%	78.3	A-B	L2275_CASO9.cfg	78.897	0.57%
L-2275	10%	8.7	A-B-N	L2275_CASO10.cfg	8.9	0.63%
L-2275	50%	43.5	A-B-N	L2275_CASO11.cfg	43.345	0.26%
L-2275	90%	78.3	A-B-N	L2275_CASO12.cfg	79.893	0.22%

Cuadro N° 5.4: Resultados de Cálculo de la Línea L-2275 (Fuente: Propio del autor)

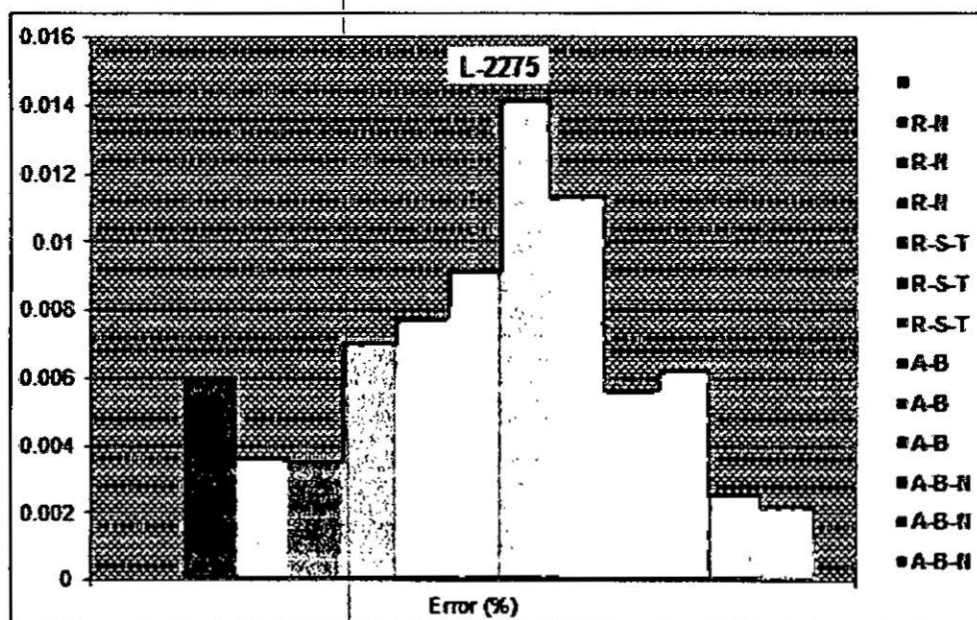


Figura N° 5.16: Errores en Kilómetros de la Línea L-2275 (Fuente: Propio del autor)

Línea	Ubicación desde Paragsha II		Tipo de falla	Nombre del archivo	Dcalculada MOLOVI (km)	Error (%)
	(%)	Dteórica(km)				
L-2264	10%	14.02	R-N	L2264_CASO1.cfg	15.02	0.61%
L-2264	50%	70.1	R-N	L2264_CASO2.cfg	72.1	0.37%
L-2264	90%	126.18	R-N	L2264_CASO3.cfg	124.18	0.36%
L-2264	10%	14.02	R-S-T	L2264_CASO4.cfg	14.98	0.71%
L-2264	50%	70.1	R-S-T	L2264_CASO5.cfg	72.56	0.78%
L-2264	90%	126.18	R-S-T	L2264_CASO6.cfg	127.88	0.92%
L-2264	10%	14.02	A-B	L2264_CASO7.cfg	15.02	1.42%
L-2264	50%	70.1	A-B	L2264_CASO8.cfg	72.4	1.14%
L-2264	90%	126.18	A-B	L2264_CASO9.cfg	126.18	0.57%
L-2264	10%	14.02	A-B-N	L2264_CASO10.cfg	15.32	0.63%
L-2264	50%	70.1	A-B-N	L2264_CASO11.cfg	72.1	0.26%
L-2264	90%	126.18	A-B-N	L2264_CASO12.cfg	124.18	0.22%

Cuadro N° 5.5: Resultados de Cálculo de la Línea L-2264 (Fuente: Propio del autor)

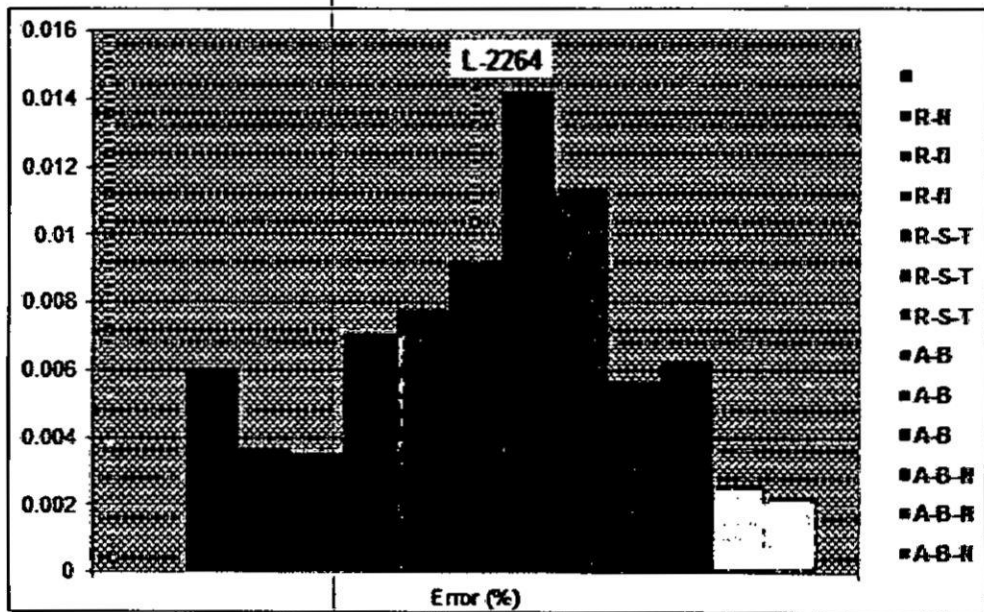


Figura N° 5.17: Errores en Kilómetros de la Línea L-2264 (Fuente: Propio del autor)

### Caso2: Con Oscilografías de las Fallas Reales en ATN

En las siguientes tablas se mostrarán los resultados calculados con el MOLOVI y serán comparados con las distancias de falla medidas en campo y los relés de protección, con fallas reales ocurridas en el sistema de transmisión de ATN.

<b>Línea L-2270 (Conocochoa - Kiman Ayllu) de 220 kV de 174.91 km</b>						
Fecha	Tipo de falla	Distancia de fall en "km" con referencia a S.E. Conocochoa				
		Distancia en campo (km)	Distancia MOLOVI (km)	Distancia relé (km)	Error MOLOVI (%)	Error Relé (%)
01/05/2013	1F-N fase T	48.3	48.89	56.0	0.34%	4.40%
28/09/2013	1F-N fase R	59.3	60.3	62.7	0.57%	1.94%
06/01/2014	1F-N fase R	89.8	88.98	95.6	0.47%	3.32%

**Cuadro N° 5.6:** Resultados de Falla Real de la Línea L-2270 (Fuente: Propio del autor)

<b>Línea L-2264 (Paragsha II - Conocochoa) de 220 kV de 140.20 km</b>						
Fecha	Tipo de falla	Distancia de fall en "km" con referencia a S.E. Paragsha II				
		Distancia en campo (km)	Distancia MOLOVI (km)	Distancia relé (km)	Error MOLOVI (%)	Error Relé (%)
21/04/2014	1F-N fase S	25.1	24.68	29.67	0.30%	3.26%
12/11/2014	2F-N fases R-S	126.20	125.34	124.20	0.61%	1.43%
28/01/2015	1F-N fase R	28.9	27.9	27.34	0.71%	1.11%

**Cuadro N° 5.7:** Resultados de Falla Real de la Línea L-2264 (Fuente: Propio del autor)

### **Ejemplo de visualización de la distancia de falla L-2264:**

Para la falla del día 12/11/2014, la distancia calculada por el MOLOVI fue de 125.34 km con referencia a Paragsha II, tal como se muestra en la siguiente figura:

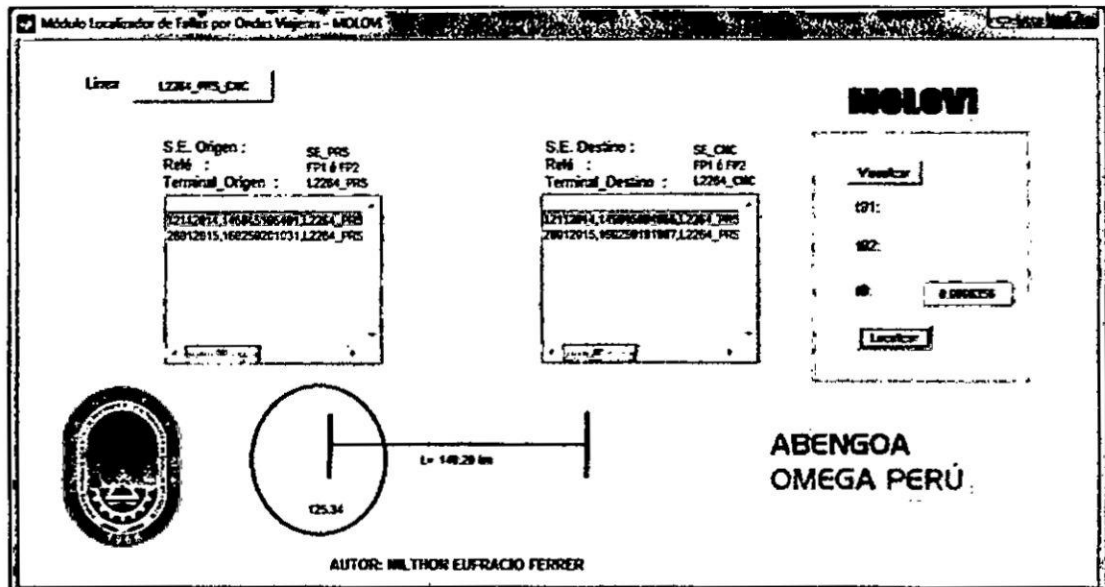


Figura N° 5.18: Visualización Distancia de Falla de la Línea L-2264  
 (Fuente: Propio del autor)

## **VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **6.1. Contratación de hipótesis con los resultados**

#### **Hipótesis general**

El MOLOVI, realizará el cálculo de la distancia de fallas por ondas viajeras y será modelado en Matlab, la cual será capaz de calcular de manera efectiva dicha distancia de falla, ello implica errores mínimos, de la misma forma influirá de forma positiva en los intereses de la empresa, tecnológica y económicamente.

#### **Contratación de la Hipótesis General:**

Se ha diseñado de manera exitosa el MOLOVI en Matlab, la misma que es capaz de calcular la distancia de falla de manera efectiva y con errores mínimos, y ha influenciado de manera tecnológica, generando valor agregado a los IEDs, y de forma económica, puesto hubiera generado ahorro de \$ 400 000 dólares en remplazo de los registradores de falla, y en compensación \$ 500 dólares aproximadamente y en recursos de mantenimiento \$ 500 dólares aproximadamente.

#### **Hipótesis específica**

**H.E.1:** El producto final diseñado, llamado MOLOVI, será capaz de calcular la distancia de falla de manera efectiva, con errores mínimos de 2% a 5%, la cual reducirá los costos en tecnologías como los IEDs y Registradores de Falla.

#### **Contratación del H.E.1:**

Se ha demostrado en los cuadros de resultados del capítulo V, que los errores del MOLOVI avarcan máximo al 2%, la cual se confirma que inicialmente se tenía planeado.

**H.E.2:** El MOLOVI, utilizará la información de los registros oscilógrafos o comtrades (estandar IEEE) de los relés de protección, para obtener las corrientes de las tres fases de la línea, luego de ocurrir una falla, y utilizar



la herramienta tecnológica del Matlab, para realizar las transformadas de Karrenbauer y Wavelet.

**Contrastación del H.E.2:**

Se ha demostrado en los cuadros de resultados del capítulo V, que el modelamiento del MOLOVI ha sido desarrollado en el programa Matlab y utiliza los datos de los registros de los relés(IEDs) de protección.

**H.E.3:** Se validará el desempeño del MOLOVI, comparando con las tecnologías existentes (IEDs y registradores) para fallas reales y fallas simuladas con el Digsilent Power Factory.

**Contrastación del H.E.3:**

Se ha demostrado en los cuadros de resultados del capítulo V, su validación con los datos medidos en campo, relés de protección(IEDs) y con los datos simulados en el Digsilent Power Factory.

**H.E.4:** Se describirá los beneficios del MOLOVI de implementarse en el Centro de Control de Abengoa Omega Perú.

**Contrastación del H.E.4:**

Sus beneficios son tecnológicos y económicos, como lo descrito en la contrastación en la hipótesis general.

**6.2. Contrastación de resultados con otros estudios similares**

Al realizar la comparación de las distancias de falla con los relés (IEDs) de protección y registradores de falla, más los valores de distancia de campo con el MOLOVI, se ha realizado la contrastación para dicho fin.

## **VII. CONCLUSIONES**

**7.1.** Se ha diseñado de forma exitosa el Módulo Localizador de Fallas por Ondas Viajeras (MOLOVI), utilizando el método de ondas viajeras, la misma que es capaz de calcular la distancia de falla de manera efectiva y con errores mínimos de 1.4%, y ha influenciado de manera tecnológica, generando valor agregado a los IEDs, y de forma económica, puesto hubiera generado ahorro de \$ 400 000 dólares en remplazo de los registradores de falla, y en compensación \$ 500 dólares aproximadamente por cada 30 minutos y 100 MW de interrupción y en recursos de mantenimiento \$ 100 dólares aproximadamente para cada falla.

**7.2.** Se ha utilizado la información de los registros oscilógrafos o comtrades (estandar IEEE) de los IEDs, y se ha utilizado la herramienta tecnológico de Matlab, para modelar el MOLOVI similar al modelo del osciloperturbógrafo.

**7.3.** Se ha validado el desempeño del MOLOVI, para las líneas de simple y doble terna de las líneas de ATN, con fallas reales, y también se ha simulado las distancias teóricos con el Digsilent Power Factory y se ha realizado la comparación, obteniendo errores mínimos de 1.42 %.

**7.4.** El MOLOVI, además de la aplicación en las líneas de ATN, ATN1 y ATN2 de la red de 138 kV y 220 kV, se ha implementado en el Centro de Control de Abengoa Omega Perú, para las líneas de ATS en la red de 220 kV y 500 kV con Bancos de Compensación Serie (BCS), la cual en este sistema es más aún indispensable su aplicación, por el alto grado de compensación y la influencia de la impedancia variable de la línea.

**7.5.** Actualmente el MOLOVI, ha sido validado por la Gerencia de Operaciones de Abengoa Omega Perú y se ha implementado en el Centro de Control, como el software especializado para el cálculo de la distancia de falla en toda la red de transmisión de la empresa.

## VIII. RECOMENDACIONES

**8.1.** Se recomienda reducir el valor de error al 0% de la distancia de falla, para todas las líneas de ATN, ello se logrará ajustando el valor óptimo de "k", que depende de las particularidad de la línea, ello se logrará iterando con datos muestrales con 5 fallas reales.

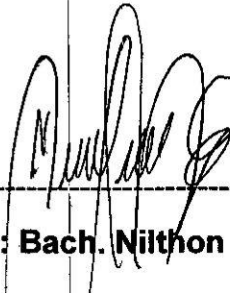
**8.2.** Patentar el MOLOVI, la cual se coordinará con la empresa Abengoa Omega Perú para su comercialización a nivel del Perú y el mundo en todas las empresas de Abengoa, la cual se encuentra en 50 países.

**8.3.** Para el uso comercial del MOLOVI, se recomienda instalar la versión R2401A del Matlab

**8.4.** Se recomienda implementar en el MOLOVI, los datos "kml", la cual se mostrará los trazos de ruta de la línea y como también la ubicación geográfica de la falla.

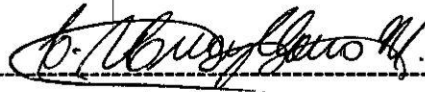
## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] EUFRACIO FERRER, Nilthon. Informe Final de Perturbaciones. Informe Final de Perturbaciones de la Línea L-2264 enviado al COES.
- [2] DAMAS NIÑO, Marcelo Nemesio. Separatas del Curso de Tesis – I y Tesis - II. Pp 02-84. Lima Perú. Marzo, 2013.
- [3] IEDs ABB, GE, SEL, SIEMENS. Manual Técnico de Fabricante de los IEDs(Intelligent Electronic Device).
- [4] IEEE Std C37.111-1999 IEEE Common Format for Transient Data Exchange (COMTRADE) for power systems.
- [5] INDAGARRA OSPINA, Gina M; RODRIGUEZ, Robinson; HERNANDEZ RIVEROS, Jesús A. Algoritmos para Localización de Fallas en Líneas de Transmisión, Análisis para el caso Colombiano. Dyna, Universidad Nacional de Colombia. Medellín Colombia. Número 143. pp. 95-100. Noviembre, 2004.
- [6] GALOC MASLUCAN, Humberto. Separatas del Curso de Protecciones de Sistemas Eléctricos de Potencia –AUDIGENSAC. Lima Perú. Febrero, 2015.
- [7] JÁCOME DEPAZ, Yofré. Separatas del Curso de Protecciones de Sistemas Eléctricos de Potencia – SEL PERÚ. Lima Perú. Noviembre, 2014.
- [8] REASON TECNOLOGÍA S.A., Manual del Fabricante de Localización de Fallas por Ondas Viajeras – Registrador de Fallas. pp.02-60. Florianópolis Brasil. Mayo, 2015.
- [9] SAHA, M.M; WIKSTROM, K; IZYKOWSKI, J; AND ROSOLOWSKI, E; IEEE, New Fault Location Algorithm for Parallel Lines. IEEE 7th International Conference on Developments in Power System Protection, Amsterdam, pp 407-410, in proc. 1997.
- [10] Matlab R2014A, ToWavelet Toolbox.



---

**Tesista: Bach. Nilthon Eufrazio Ferrer**



---

**Asesor: Mg. Ing. Carlos Alberto Huayllasco Montalva**