

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE**  
**NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**  
**DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD**



**COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DE LAS LÍNEAS ASOCIADAS A  
LAS BAHIAS H-705 y H-805 DE LA SUBESTACION CERRO NEGRO.**

**REALIZADO POR:**

Mario Guillermo Isava Cotua

Trabajo de grado presentado ante la Universidad de Oriente como requisito parcial  
para optar por el título de:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

Barcelona, 2025

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE**  
**NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**  
**DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD**



**COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DE LAS LÍNEAS ASOCIADAS A  
LAS BAHIAS H-705 y H-805 DE LA SUBESTACION CERRO NEGRO.**

**ASESORES:**

\_\_\_\_\_

**Asesor Académico**

Ing. Adriana Méndez

\_\_\_\_\_

**Asesor Industrial**

Ing. Francisco Romero

Barcelona, 2025

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE**  
**NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**  
**DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD**



**COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DE LAS LÍNEAS ASOCIADAS A  
LAS BAHIAS H-705 y H-805 DE LA SUBESTACION CERRO NEGRO.**

**JUSTADO CALIFICADOR:**

El jurado hace constar que asigno a este trabajo de grado la calificación de:

---

**Asesor académico**

Ing. Adriana Méndez

---

**Jurado Principal**

Ing. Jesús Brum

---

**Jurado Principal**

Ing. Simón Ramírez

Barcelona, 2025

## RESOLUCIÓN

De acuerdo con el artículo 41 del Reglamento de Trabajo de Grado:

*“Los Trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario, para su autorización”*



## **DEDICATORIA**

A mi madre Betty Cotua, por su incansable dedicación, motivación esfuerzo y apoyo en las todo lo que me he propuesto.

A la memoria de mi padre José Guillermo Isava, por su gran motivación y ejemplo a seguir en su basta disciplina y terquedad, pilar fundamental de su personalidad.

A mi hermana Aguasanta Isava por su fiel apoyo y complicidad en nuestra amistad, sociedad y hermandad porque una vida siendo hijo único jamás hubiese sido igual.

A mi tío Helis Aguilera por estar siempre presente con sus consejos, observaciones e inventiva que me han servido de inspiración, motivación y guía.

A los Uditos Maruen Tahmouche por ser cómplice en los breaks de la universidad y darnos cobijo en su casa y grupo de estudio. Y a Girot José Ernesto por su inagotable paciencia como amigo y preparador/estudiante y siempre estar dispuesto a brindar su apoyo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Doy gracias a Dios por darme salud, sabiduría, determinación y paciencia por ponerme en el camino las correctas oportunidades y personas que me han motivado y ayudado durante todo este camino recorrido para ser ingeniero electricista.

A mi familia por ser el pilar fundamental en mi preparación primeramente como persona y como profesional, motivándome y siendo el mejor ejemplo a seguir.

A mis verbo To Be (ser y estar) Maximiliano Aguana, Luisa González, Aurimar González, Karen Zabala, Orlani López, Karianna Mérida, Ángel Barios, Luis y Jesús Galindo, Valeria Vallera por siempre estar al pendiente recordándonos y apoyándonos en nuestros caminos separados.

A los amigos que tuve la dicha de conocer durante la travesía de estudiar en la Universidad de Oriente, principalmente a José Girot, Maruen Tahmouche, Milagros Solorzano, Luis Suarez, Luis Guillermo Triana, Jesús Romero y Carlos Camacho por conformar el grupito UDITOS que sirvió como grupo de estudio y de apoyo mutuo durante la carrera, por las risas compartidas y buenos recuerdos atesorados en el cora.

A mis compañeros, profesores y amigos de Arthur Ingenieros Carlos Vásquez por ser parte de mi formación y darme la oportunidad de ser pasante, Francisco Romero por estar al pendiente de mis actividades durante las pasantías, Jesús Brum por su dedicación armando y desarmando bases de datos, Rigoberto Alcalá por sus consejos durante el proceso de redacción, Elie Awad por dedicarle el tiempo necesario durante todo el proceso a corregir, prestar su constante apoyo, dedicación y paciencia hasta lograr tener todo correcto porque "si vamos a hacer algo hay que hacerlo bien sino no lo hagas" Edna Arreaza por su impecable ojo en los detalles que yo omitía y José Ernesto Girot siempre estar apoyando en lo que fuese necesario. Aún más agradezco por su total apoyo, por brindarme su amistad en los buenos y malos momentos.

A los AmixTop Yulianny Tovar, Oriana Castillo, Sebastián Depe, Mary Rivas, Nahum Martínez y Jorge Garzón por brindarme su amistad, compañía y apoyo en buscar algún plan o WOD para alegrarme un poco el día a día.

## **RESUMEN**

Este trabajo se basa en la coordinación las protecciones de distancia y sobrecorriente direccional (21/21N y 67N) respectivamente, de las líneas asociadas a las bahías H-705 y H-805 de la subestación Cerro Negro en 115 kV de la División Carabobo de PDVSA. Para ello, se consideraron cambios que se realizaron en la topología de la red que compone a la División Carabobo, los cuales en base a esta nueva topología se realiza este estudio. Inicialmente, se describió las características del sistema eléctrico de transmisión de la División Carabobo de PDVSA. Seguidamente, se evaluó el comportamiento de la red en régimen permanente a través de estudios de flujo de carga y cortocircuito utilizando el software computacional ETAP 20.6.0. El cual permitió posteriormente realizar los cálculos para los ajustes necesarios de las protecciones de distancia y sobrecorriente direccional de los relés asociados a las Bahías H-705 y H-805 de la Subestación Cerro Negro. Una vez establecidos los ajustes, se propuso un esquema de aceleración de zonas de protección en los extremos de las líneas Cerro Negro – Morichal y Cerro Negro – Petromonagas, seguido por la validación de la selectividad de los ajustes propuestos para los relés de protección. Esta validación permite demostrar a través de tablas y gráficos la correcta coordinación de las protecciones asociadas a las Bahías H-705 y H-805 de la subestación Cerro Negro permitiendo el despeje selectivo y fiable ante posibles fallas en las líneas asociadas a estas salidas.

# ÍNDICE GENERAL

<b>RESOLUCIÓN.....</b>	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>vi</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE GENERAL .....</b>	<b>viii</b>
<b>    CAPÍTULO I.....</b>	<b>19</b>
<b>EL PROBLEMA .....</b>	<b>19</b>
<b>1.1. Planteamiento del Problema.....</b>	<b>19</b>
<b>1.2. Objetivos.....</b>	<b>21</b>
1.2.1. Objetivo General .....	21
1.2.2. Objetivos Específicos .....	21
<b>1.3. Justificación.....</b>	<b>22</b>
<b>1.4. Alcance.....</b>	<b>22</b>
<b>1.5. Petróleos de Venezuela S.A (PDVSA) .....</b>	<b>23</b>
1.5.1. Objetivo de la Empresa .....	23
1.5.2. Visión de la Empresa .....	23
1.5.3. Misión de la Empresa .....	23
1.5.4. División Carabobo.....	24
1.5.5. Ubicación Geográfica.....	24
<b>    CAPÍTULO II .....</b>	<b>25</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>25</b>
<b>2.1. Antecedentes.....</b>	<b>25</b>
<b>2.2. Bases Teóricas .....</b>	<b>27</b>
2.2.1. Sistema Eléctrico .....	27
2.2.2. Subestaciones Eléctricas.....	27

2.2.3. Protecciones Eléctricas.....	27
2.2.4. Fallas Eléctricas.....	28
2.2.5. Dispositivos de Despeje de Fallas .....	29
2.2.6. Transformadores de Medida (TM) .....	29
2.2.6.1. Transformador de Corriente (TC) .....	29
2.2.6.2. Transformador de Potencial (TP) .....	30
2.2.7. Relés de Distancia .....	30
2.2.7.1. Zonas de Protección .....	30
2.2.7.2. Esquemas de Protección de Distancia .....	31
2.2.8. Relés de Impedancia.....	31
2.2.9. Relé de Sobrecorriente direccional.....	32
2.2.10. Línea de Transmisión .....	32
2.2.10.1. Relación de la Impedancia de la Fuente a la Impedancia de la Línea SIR (Source-to-line Impedance Ratio). .....	33
2.2.11. Esquemas de Teleprotección.....	34
2.2.11.1. DUTT: Disparo Directo Transferido en Sub Alcance (Direct Underreaching Transfer Trip). .....	34
2.2.11.2. PUTT: Disparo Permisivo Transferido en Sub Alcance (Permissive Under- reaching Transfer Trip).....	35
2.2.11.3. POTT: Disparo Permisivo Transferido en Sobre Alcance (Permissive Over- reaching Transfer Trip).....	36
2.2.11.4. Aceleración de Zona (Zone acceleration). .....	37
2.2.11.5. CD: Disparo Permisivo Transferido por Comparación Direccional (Permissive Directional Comparison Transfer Trip). .....	37
2.2.11.6. Bloqueo por Comparación Direccional (Directional Comparison Blocking). .....	38
2.2.11.7. Desbloqueo por Comparación Direccional (Directional Comparison Unblocking).....	39

2.2.11.8. Comparación Direccional Híbrida o Desbloqueo con lógica Eco (Unblocking with Echo Logic).....	40
2.2.12. Estudio de Cortocircuito.....	41
2.2.13. Estudio de Flujo de Carga .....	41
2.2.14. Coordinación de Protecciones .....	41
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>43</b>
<b>DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE TRANSMISIÓN A 115 KV DE PDVSA DIVISIÓN CARABOBO.....</b>	<b>43</b>
<b>3.1. Subestaciones asociadas a la división Carabobo.....</b>	<b>43</b>
<b>3.2. Subestación Palital.....</b>	<b>44</b>
<b>3.3. Subestación Cerro Negro .....</b>	<b>45</b>
<b>3.4. Subestación Petrosinovenza .....</b>	<b>46</b>
<b>3.5. Cerro Negro 34,5kV.....</b>	<b>46</b>
<b>3.6. Subestación Petromonagas .....</b>	<b>46</b>
<b>3.7. Subestación Morichal.....</b>	<b>47</b>
<b>3.8. Subestación Jobo Norte.....</b>	<b>47</b>
<b>3.9. Subestación Temblador .....</b>	<b>48</b>
<b>3.10. Subestación Temblador A .....</b>	<b>48</b>
<b>3.11. Demanda eléctrica de la División Carabobo .....</b>	<b>48</b>
<b>3.12. Líneas de transmisión de la División Carabobo.....</b>	<b>49</b>
<b>3.13. Sistema de protección de línea de la subestación Cerro Negro.....</b>	<b>50</b>
3.13.1. Relé Multilin L90 .....	50
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>52</b>
<b>OBTENCIÓN DEL COMPORTAMIENTO EN RÉGIMEN PERMANENTE DEL SISTEMA ELECTRICO EN 115 KV DE PDVSA DIVISION CARABOBO .....</b>	<b>52</b>
<b>4.1. Premisas de Simulación.....</b>	<b>52</b>
<b>4.2. Estudio de Flujo de Carga .....</b>	<b>53</b>
4.2.1. Criterios para el Estudio de Flujo de Carga.....	54
4.2.2. Escenarios y casos de simulación para el estudio .....	54

4.2.2.1. Resultados del flujo de carga del escenario base.....	56
4.2.2.2. Resultados del flujo de carga escenarios de contingencia .....	57
4.2.3. Análisis de resultados del flujo de carga.....	60
<b>4.3. Estudio de Cortocircuito .....</b>	<b>61</b>
4.3.1. Criterios para el estudio de cortocircuito.....	61
4.3.2. Escenarios de simulación para el estudio .....	61
4.3.2.1. Fallas simuladas en la Bahía H-805 .....	62
4.3.2.2. Fallas simuladas en la Bahía H-705 .....	62
4.3.3. Datos obtenidos del estudio.....	62
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>65</b>
<b>CÁLCULO DE LOS AJUSTES DE LAS PROTECCIONES DE DISTANCIA Y SOBRECORRIENTE DIRECCIONAL DE TIERRA ASOCIADAS A LAS BAHÍAS H-705 Y H-805 DE LA SUBESTACIÓN CERRO NEGRO .....</b>	<b>65</b>
<b>5.1. Criterios de ajustes para la función de distancia de líneas de transmisión en las bahías H-705 y H-805 de la Subestación Cerro Negro.....</b>	<b>65</b>
5.1.1. Criterio de ajuste Zona 1 .....	66
5.1.2. Criterio de ajuste Zona 2 .....	67
5.1.3. Criterio de ajuste Zona 3 .....	68
<b>5.2. Ajustes de la función 21 de distancia .....</b>	<b>69</b>
5.2.2. Ajuste de la protección de distancia de la línea Cerro Negro-Petromonagas ....	72
5.2.2.1. Ajuste de Zona 1 Protección de distancia (21) .....	72
5.2.2.2. Ajuste de Zona 2 Protección de distancia (21) .....	73
5.2.2.3. Ajuste de Zona 3 Protección de distancia (21).....	74
5.2.2.4. Ajuste de protección de distancia a tierra (21N) .....	77
5.2.2.5. Ajuste de Zona 1 Fase (21N).....	77
5.2.2.6. Ajuste de Zona 2 Fase (21N).....	79
5.2.2.7. Ajuste de Zona 3 Fase (21N).....	80
5.2.3. Ajuste de la protección de distancia de la línea Cerro Negro-Morichal .....	82

5.2.3.1. Ajuste de Zona 1 Protección de distancia (21) .....	82
5.2.3.2. Ajuste de Zona 2 Protección de distancia (21) .....	83
5.2.3.3. Ajuste de Zona 3 Protección de distancia (21) .....	85
5.2.3.4. Ajuste de protección de distancia de tierra (21N) .....	87
5.2.3.5. Ajuste de Zona 1 Tierra (21N).....	88
5.2.3.6. Ajuste de Zona 2 Tierra (21N).....	89
5.2.3.7. Ajuste de Zona 3 Tierra (21N).....	90
<b>5.3. Resumen de los ajustes calculados de las protecciones de distancia (21/21N)</b> .....	<b>92</b>
<b>5.4. Ajuste de Sobrecorriente direccional .....</b>	<b>93</b>
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>97</b>
<b>PROPUESTA DE UN ESQUEMA DE ACELERACION DE ZONAS DE PROTECCIÓN EN LOS EXTREMOS DE LAS LÍNEAS 115 KV CERRO NEGRO-MORICHAL Y CERRO NEGRO-PETROMONAGAS.....</b>	<b>97</b>
<b>6.1. Aceleración de las protecciones asociadas a las Bahías H-705 y H-805 de la subestación Cerro Negro.....</b>	<b>97</b>
<b>6.2. Esquema de protección de distancia 21 .....</b>	<b>98</b>
6.2.1. Funcionamiento del esquema de distancia en la bahía H-705 .....	99
6.2.2. Funcionamiento del esquema de distancia en la bahía H-805 .....	100
<b>6.3. Esquemas de Teleprotección en el relé Multilin L90 .....</b>	<b>101</b>
<b>6.4. Selección de los esquemas de teleprotección .....</b>	<b>102</b>
6.4.1. Esquema de disparo directo transferido de bajo alcance (DUTT).....	102
6.4.2. Esquema de disparo permisivo transferido de bajo alcance (PUTT).....	104
6.4.3. Esquema de disparo permisivo transferido de sobre alcance (POTT) .....	106
<b>CAPÍTULO VII.....</b>	<b>109</b>
<b>VALIDACION DE LA SELECTIVIDAD DE LOS AJUSTES PROPUESTOS ANTE FALLAS SHUNT DENTRO DE LAS ZONAS DE PROTECCION DE LOS RELÉS DE LAS BAHÍAS H-705 Y H-805 DE LA SUBESTACION CERRO NEGRO.....</b>	<b>109</b>
<b>7.1. Selectividad Relé L90 Bahía H-705.....</b>	<b>109</b>

7.2. Selectividad Relé L90 Bahía H-805.....	112
7.3. Resultados de la selectividad .....	114
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>118</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>120</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>121</b>
<b>METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:.....</b>	<b>123</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Divisiones de la Faja Petrolífera del Orinoco.....	24
Figura 2.1. Esquema de disparo directo transferido de bajo alcance (DUTT).....	34
Figura 2.2. Esquema de disparo permisivo transferido de bajo alcance (PUTT) .....	35
Figura 2.3. Esquema de disparo permisivo transferido de sobre alcance (POTT) .....	36
Figura 2.4. Esquema de Zona de aceleración .....	37
Figura 2.5. Esquema de Disparo permisivo transferido por Comparación Direccional	38
Figura 2.6. Esquema Bloqueo por Comparación Direccional.....	39
Figura 2.7. Esquema Desbloqueo por Comparación Direccional .....	40
Figura 3.1. Diagrama de la División Carabobo (PDVSA, 2024).....	43
Figura 3.2. Esquema equivalente de la División Carabobo (Autor 2024).....	44
Figura 3.3. Diagrama de la Subestación Cerro Negro (PDVSA, 2024).....	45
Figura 3.4. Diagrama de la configuración en anillo 115 kV (PDVSA, 2024) .....	47
Figura 3.5. Relé de protección Multilin L90.....	50
Figura 5.1. Análisis de corriente para resistencias de fallas en zona 1.....	66
Figura 5.2. Análisis de corriente para resistencias de fallas en zona 2.....	67
Figura 5.3. Análisis de corriente para resistencias de falla en zona 3 .....	69
Figura 5.4. Bahías H-705 y H-805 de la Subestación Cerro Negro y Zonas de protección .....	70
Figura 5.5. Grafica corriente – tiempo del ajuste 67N bahía H-705.....	95
Figura 5.6. Grafica corriente – tiempo del ajuste 67N bahía H-805.....	96
Figura 6.1. Esquema de protección de distancia con disparo piloto, zonas de protección Bahía H-705.....	98
Figura 6.2. Esquema de protección de distancia con disparo piloto, zonas de protección Bahía H-805.....	99

<b>Figura 6.3. Falla al 50% y lógica de operación de la protección de distancia ANSI 21 adaptado al sistema.....</b>	<b>99</b>
<b>Figura 6.4. Falla al 15% y lógica de operación de la protección de distancia ANSI 21 adaptado al sistema.....</b>	<b>100</b>
<b>Figura 6.5. Comportamiento del esquema DUTT adaptado al sistema con falla al 50% de la línea de transmisión .....</b>	<b>102</b>
<b>Figura 6.6. Comportamiento del esquema DUTT adaptado al sistema con falla al 15% de la línea de transmisión .....</b>	<b>103</b>
<b>Figura 6.7. Comportamiento del esquema PUTT adaptado al sistema con falla al 50% de la línea de transmisión .....</b>	<b>104</b>
<b>Figura 6.8. Comportamiento del esquema PUTT adaptado al sistema con falla al 15% de la línea de transmisión .....</b>	<b>105</b>
<b>Figura 6.9. Comportamiento del esquema POTT adaptado al sistema con falla al 50% de la línea de transmisión .....</b>	<b>106</b>
<b>Figura 6.10. Comportamiento del esquema POTT adaptado al sistema con falla al 15% de la línea de transmisión .....</b>	<b>107</b>
<b>Figura 7.1. Gráfico Multilin L90, Función 21 Fase, Bahía H-705. Rf= 0 ohm .....</b>	<b>114</b>
<b>Figura 7.2. Gráfico Multilin L90, Función 21 Fase, Bahía H-705. Rf= 4 ohm .....</b>	<b>114</b>
<b>Figura 7.3. Gráfico Multilin L90, Función 21N Tierra, Bahía H-705. Rf= 0 ohm .....</b>	<b>115</b>
<b>Figura 7.4. Gráfico Multilin L90, Función 21N Tierra, Bahía H-705. Rf= 12 ohm .....</b>	<b>115</b>
<b>Figura 7.5. Gráfico Multilin L90, Función 21 Fase, Bahía H-805. Rf= 0 ohm .....</b>	<b>116</b>
<b>Figura 7.6. Gráfico Multilin L90, Función 21 Fase, Bahía H-805. Rf= 4 ohm .....</b>	<b>116</b>
<b>Figura 7.7. Gráfico Multilin L90, Función 21N Tierra, Bahía H-805. Rf= 0 ohm .....</b>	<b>117</b>
<b>Figura 7.8. Gráfico Multilin L90, Función 21N Tierra, Bahía H-805. Rf= 12 ohm .....</b>	<b>117</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 3.1. Cargas asociadas a la División Carabobo .....</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 3.2. Características de las líneas de transmisión de la División Carabobo.....</b>	<b>49</b>
<b>Tabla 3.3. Características del Rele Multilin L90.....</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 4.1. Equivalentes de Red .....</b>	<b>52</b>
<b>Tabla 4.2. Casos de contingencia .....</b>	<b>55</b>
<b>Tabla 4.3. Perfiles de voltaje 115 kV.....</b>	<b>56</b>
<b>Tabla 4.4. Flujo de Potencia en las líneas de transmisión escenario Base.....</b>	<b>56</b>
<b>Tabla 4.5. Flujos de potencia de las líneas de transmisión. Caso1 .....</b>	<b>57</b>
<b>Tabla 4.6. Flujo de potencia Caso 2 .....</b>	<b>57</b>
<b>Tabla 4.7. Flujo de potencia Caso 3 .....</b>	<b>58</b>
<b>Tabla 4.8. Flujo de potencia Caso 4 .....</b>	<b>58</b>
<b>Tabla 4.9. Flujo de potencia Caso 5 .....</b>	<b>59</b>
<b>Tabla 4.10. Flujo de potencia. Caso 6 .....</b>	<b>59</b>
<b>Tabla 4.11. Flujo de potencia. Caso 7 .....</b>	<b>60</b>
<b>Tabla 4.12. Cortocircuito al 80% de la línea Cerro Negro-Morichal .....</b>	<b>62</b>
<b>Tabla 4.13. Cortocircuito al 50% de la línea Morichal-Jobo Norte.....</b>	<b>62</b>
<b>Cortocircuito al 50% de la línea Jobo Norte-Temblador .....</b>	<b>62</b>
<b>Tabla 4.14. Cortocircuito al 80% de la línea Cerro Negro-Petromonagas.....</b>	<b>63</b>
<b>Tabla 4.15. Cortocircuito al 50% de la línea Petromonagas-Morichal .....</b>	<b>63</b>
<b>Tabla 4.16. Cortocircuito al 50% de la línea Morichal-Jobo Norte.....</b>	<b>64</b>
<b>Tabla 4.17. Cortocircuito simétrico 30 ciclos Subestación Cerro Negro 115 kV.....</b>	<b>64</b>
<b>Tabla 5.1. Datos para el cálculo del SIR.....</b>	<b>70</b>
<b>Tabla 5.2. Clasificación del SIR de las líneas de transmisión de la División Cerro Negro .....</b>	<b>70</b>

<b>Tabla 5.3. Datos de los transformadores de medición de la Bahía .....</b>	<b>71</b>
<b>Tabla 5.4. Característica de protección de distancia de los relés L90 .....</b>	<b>71</b>
<b>Tabla 5.5. Impedancias de Líneas para el ajuste del relé asociado a la bahía H-705.....</b>	<b>72</b>
<b>Tabla 5.6. Datos para el cálculo de corrientes INFEED que inciden en Zona3.....</b>	<b>75</b>
<b>Tabla 5.7. Datos para el cálculo de corriente INFEED Zona 3 .....</b>	<b>80</b>
<b>Tabla 5.8. Impedancias de Líneas para el ajuste del relé asociado a la bahía H-805.....</b>	<b>82</b>
<b>Tabla 5.9. Datos para el cálculo de corriente INFEED Zona 2 .....</b>	<b>84</b>
<b>Tabla 5.10. Datos para el cálculo de la corriente INFEED para Zona 3.....</b>	<b>85</b>
<b>Tabla 5.11. Datos para el cálculo de corriente INFEED para Zona 2 de 21N .....</b>	<b>89</b>
<b>Tabla 5.12. Datos para el cálculo de las corrientes INFEED de Zona 3 de 21N.....</b>	<b>91</b>
<b>Tabla 5.13. Zonas de protección de fase (21), línea Cerro Negro - Petromonagas .....</b>	<b>92</b>
<b>Tabla 5.14. Zonas de protección de tierra (21N), línea Cerro Negro - Petromonagas ....</b>	<b>92</b>
<b>Tabla 5.15. Zonas de protección de fase (21), línea Cerro Negro – Morichal .....</b>	<b>93</b>
<b>Tabla 5.16. Zonas de protección de tierra (21N), línea Cerro Negro – Morichal .....</b>	<b>93</b>
<b>Tabla 5.17. Capacidad de las líneas de transmisión de la subestación Cerro Negro .....</b>	<b>93</b>
<b>Tabla 5.18. Cálculo del ajuste de sobrecorriente direccional 67N .....</b>	<b>94</b>
<b>Tabla 6.1. Comparación de las características de los esquemas de teleprotección.....</b>	<b>108</b>
<b>Tabla 7.1. Fallas Trifásicas evaluadas Línea Cerro Negro A-Petromonagas, Bahía H-705 .....</b>	<b>110</b>
<b>Tabla 7.2. Fallas Trifásicas con resistencia de falla 4 ohm, Bahía H-705 .....</b>	<b>110</b>
<b>Tabla 7.3. Fallas Línea a tierra, Línea Cerro Negro A - Petromonagas, Bahía H-705...111</b>	
<b>Tabla 7.4. Fallas Línea a tierra, con resistencia de falla 12 ohm, Línea Cerro Negro A - Petromonagas, Bahía H-705.....</b>	<b>111</b>
<b>Tabla 7.5. Fallas Trifásicas evaluadas Línea Cerro Negro A-Morichal, Bahía H-805 ...112</b>	

**Tabla 7.6. Fallas Trifásicas con resistencia de falla 4 ohm, evaluadas Línea Cerro Negro A-Morichal, Bahía H-805 .....112**

**Tabla 7.7. Fallas Línea a tierra, Línea Cerro Negro A - Morichal, Bahía H-805 .....113**

**Tabla 7.8. Fallas Línea a tierra con resistencia de falla 12ohm, Línea Cerro Negro A - Morichal, Bahía H-805 .....113**

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA

### 1.1. Planteamiento del Problema

Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA), es una corporación estatal que se encarga de todas las actividades relacionadas con el crudo y los hidrocarburos en el país, desde su exploración hasta su exportación. PDVSA se organiza en Direcciones Ejecutivas, que a su vez están separadas en Divisiones, existiendo en cada División, Distritos Operacionales; cada uno estructurado en unidades básicas de producción y procesos.

Particularmente, la Dirección Ejecutiva de Producción de la Faja del Orinoco (DEPFPO), opera en un territorio dividido en cinco Divisiones, estratégicamente ubicadas al sur de los estados Guárico, Anzoátegui, Monagas y Barinas. Esta región, conocida como la Faja Petrolífera del Orinoco (FPO), es vital por albergar las mayores reservas confirmadas a nivel mundial de petróleo extrapesado y pesado, configurándose como un enclave estratégico para la industria petrolera venezolana.

Específicamente, la División Carabobo está encargada de las subestaciones Cerro Negro, Morichal, Jobo Norte, Petromonagas y Temblador, siendo las líneas de transmisión provenientes de Cerro negro, principales encargadas de alimentar a las subestaciones de la División Carabobo, situada al sur de los Estados Monagas y Anzoátegui, que también forma parte de la estructura organizativa de PDVSA en la FPO.

Dada la cantidad de reservas de petróleo en la FPO, resulta fundamental mantener un proceso continuo de extracción, procesamiento y transporte de los hidrocarburos en cada una de las Divisiones que conforman la DEPFPO. Para lograr esto, es imperativo garantizar la fiabilidad del suministro eléctrico que abastece a los campos operativos de la FPO, asegurando que estos procesos no se vean interrumpidos ante posibles fallas

en la red de transmisión. Con la finalidad de cumplir lo mencionado, es fundamental contar con un sistema de protección capaz de identificar y aislar la sección afectada en condición de falla, minimizando las alteraciones en la red y reduciendo los riesgos tanto para el personal como para los equipos eléctricos instalados en las subestaciones.

Debido a diversas descargas atmosféricas que generan arcos eléctricos los cuales han incidido en las líneas de transmisión Cerro Negro-Morichal y Cerro Negro-Petromonagas, se han efectuado disparos no selectivos de las protecciones asociadas a las líneas antes mencionadas, llegando a ocasionar que la falla sea despejada por la protección de respaldo, poniendo en riesgo la confiabilidad y continuidad del suministro eléctrico que aportan las líneas. Estos disparos no selectivos se han producido debido diversos cambios en la topología de la red, requiriendo así, la coordinación de nuevos ajustes de las protecciones de distancia.

Con base en lo anteriormente expuesto, se plantea un proyecto para coordinar las protecciones (ANSI 21/21N y ANSI 67N) de las líneas asociadas a las bahías H-705 y H-805 de la subestación Cerro Negro específicamente las líneas de 115 kV Cerro Negro – Morichal y Cerro Negro – Petromonagas de la División Carabobo de PDVSA. Para ello, se describirán las características del sistema eléctrico de transmisión de energía de PDVSA División Carabobo. Seguidamente, se evaluará el comportamiento de la red en régimen permanente a través de estudios de flujo de carga y cortocircuito. Posteriormente, se calcularán los ajustes necesarios para las protecciones de distancia y sobrecorriente direccional de los relés asociados a las Bahías H-705 y H-805 de la Subestación Cerro Negro. Una vez establecidos los ajustes, se propondrá un esquema para acelerar las zonas de protección en los extremos de las líneas Cerro Negro – Morichal y Cerro Negro – Petromonagas, seguido por una evaluación de la selectividad de los ajustes propuestos para los relés de protección.

La actualización y coordinación de los ajustes de las protecciones de líneas en Cerro Negro – Morichal y Cerro Negro – Petromonagas de la División Carabobo de PDVSA afianzará la confiabilidad en el sistema eléctrico que alimenta a la División

Carabobo al contar con un sistema seguro y confiable al momento de ocurrir una falla los dispositivos de protección reaccionaran a su correcto despeje aislando la misma y garantizando la producción del complejo petrolero.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

Coordinar las protecciones de las líneas asociadas a las bahías H-705 y H-805 de la Subestación Cerro Negro.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

1. Describir el sistema eléctrico de transmisión a 115 kV de PDVSA División Carabobo.
2. Obtener el comportamiento en régimen permanente del sistema de eléctrico en 115 kV de PDVSA División Carabobo.
3. Calcular los ajustes de las protecciones de distancia (21/21N) y sobrecorriente direccional de tierra (67N) asociadas a las bahías H-705 y H-805 de la Subestación Cerro Negro.
4. Proponer un esquema de aceleración de zonas de protección en los extremos de las líneas 115 kV Cerro Negro – Morichal y Cerro Negro – Petromonagas.
5. Evaluar la selectividad de los ajustes propuestos ante fallas shunt dentro de las zonas de protección de los relés de las bahías H-705 y H-805 de la Subestación Cerro Negro.

### **1.3. Justificación**

Las líneas de transmisión asociadas a la Subestación Cerro Negro son vitales para el suministro eléctrico de las subestaciones que conforman la División Carabobo de PDVSA. Debido a la importancia primordial de la Subestación Cerro Negro para la División Carabobo, es imperativo permitir el despeje de fallas para asegurar la integridad del resto del sistema y la seguridad del personal de trabajo. Por este motivo, se propone la coordinación de protecciones de las líneas asociadas a las bahías H-705 y H-805 de la Subestación Cerro Negro. Esto garantiza que las protecciones de las líneas de transmisión Cerro Negro-Morichal y Cerro Negro-Petromonagas actúen correctamente y de manera eficiente, despejando la zona afectada. Así, se asegura que el resto del sistema no se vea comprometido ante posibles fallas, manteniendo la estabilidad y seguridad del suministro eléctrico.

### **1.4. Alcance**

Mediante la realización de este trabajo se pretende coordinar los ajustes de los relés de distancia asociados a las salidas H-705 y H-805 de la subestación Cerro Negro de la División Carabobo de PDVSA, permitiendo extinguir posibles fallas en el sistema de transmisión en 115 kV en las líneas de transmisión Cerro Negro-Morichal y Cerro Negro-Petromonagas. La cual permitirá proponer un esquema de aceleración de zona de protección que optimice el disparo de los interruptores en los extremos de las líneas de transmisión en estudio.

Se describirá como está compuesta la División Carabobo y se realizará un estudio en régimen permanente para determinar flujos de carga y niveles de cortocircuito del sistema en estudio, el cual permitirá la realización de los cálculos para los ajustes de las protecciones.

## **1.5. Petróleos de Venezuela S.A (PDVSA)**

Petróleos de Venezuela, SA es una empresa estatal venezolana, cuyas principales actividades son la explotación, producción, refinación, mercadeo y transporte del petróleo venezolano. Fue creada por decreto gubernamental el 30 de agosto de 1975, luego de la nacionalización de la industria petrolera, e inició operaciones en 1976.

La petrolera posee las mayores reservas petrolíferas del mundo, alcanzando a finales de 2013, una suma total certificada de 298.353 millones de barriles, que representan el 20% de las reservas mundiales de este recurso.

### **1.5.1. Objetivo de la Empresa**

PDVSA tiene la responsabilidad de prever y mejorar los requerimientos de hidrocarburos, tanto para atender la demanda interna como para cumplir con las necesidades de exportación. Asimismo, debe cumplir con los requisitos sociales, comunitarios y de conservación, contribuyendo al impulso de la eficiencia y profesionalismo en la industria. Su responsabilidad incluye asegurar la disponibilidad, desarrollo y óptimo aprovechamiento de los recursos petroleros.

### **1.5.2. Visión de la Empresa**

Transformarse en una corporación de alcance global, asumiendo todas las implicaciones y responsabilidades inherentes.

### **1.5.3. Misión de la Empresa**

Satisfacer a la nación venezolana, mejorando continuamente el rendimiento de la empresa, su participación en el ingreso fiscal, su contribución directa e indirecta al desarrollo económico del país y su colaboración en servicios prestados a las comunidades, tanto en Venezuela como en el exterior.

#### 1.5.4. División Carabobo

La División Carabobo de PDVSA, forma parte de cinco divisiones que abarcan 55.314 kilómetros cuadrados las cuales conforman la Faja Petrolífera del Orinoco, siendo estas divisiones: Boyaca, Junin, Ayacucho y Carabobo

La División Carabobo es la que se encuentra situada más al este de las divisiones de la FPO, se extiende desde el sureste del estado Anzoátegui y ocupa toda la parte sur del estado Monagas y un sector de occidente del estado Delta Amacuro. Esta, tiene una superficie total de 2.311 kilómetros cuadrados, esta División posee aproximadamente el 22% de las reservas totales certificadas de la FPO. La División Carabobo está conformada las áreas de producción: extrapesado (Campo Cerro Negro) y en las áreas de pesado (Campos Jobo, Morichal, Pílon, y Uverito)

#### 1.5.5. Ubicación Geográfica

La División Carabobo, ocupa una superficie de 1.550 kilómetros cuadrados y se encuentra ubicada a lo largo de los estados Monagas, Anzoátegui y Guárico, a 450 km de Caracas.



Figura 1.1. Divisiones de la Faja Petrolífera del Orinoco

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes

Sabeh, E. (2022), realizó la coordinación de las Protecciones de Línea asociadas a la Subestación Planta de Generación Furrial de PDVSA Producción Oriente. En este trabajo de grado, se describe el sistema eléctrico que compone el área de estudio, posteriormente, se determinaron los flujos de potencia y niveles de cortocircuito del sistema en 115 kV para establecer el esquema de protección asociado a las bahías H-105 y H-205, así como también, se evaluó la selectividad de los ajustes propuestos de los relés asociados a los interruptores H-105 y H-205 de la Subestación Planta de Generación Furrial. Este trabajo sirvió como referencia para la evaluación de la selectividad de los ajustes propuestos ante fallas shunt de los relés de protección.

Sánchez, C. y Torres, O. (2020), presentaron una revisión bibliográfica de los métodos de aceleración de las protecciones de distancia en líneas de transmisión. En este artículo se abordan primero los métodos de aceleración sin comunicación, investigados e implementados por varios científicos y luego se presentan los métodos convencionales, implementados sobre sistemas de comunicaciones para acelerar la operación de las protecciones frente a fallas. También, en este documento son analizados los sistemas de aceleración de detección de fallas, utilizando la metodología de análisis de ondas viajeras. Se consideraron los criterios de esta investigación para la realización de una propuesta de un esquema de aceleración de zona de protección.

Vargas, M. (2018), realizó un estudio de coordinación de las protecciones de distancia y sobrecorriente direccional de las líneas de transmisión pertenecientes a la zona norte del país y la central Coca Codo Sinclair considerando la influencia del ingreso en operación del sistema de 500 kV. En esta investigación, se realizó un estudio eléctrico de estado estable para determinar las corrientes de cortocircuito en distintos

puntos de la zona norte del sistema. También, se determinaron los ajustes adecuados de las protecciones de distancia implementadas en las líneas de transmisión, de modo que, éstas operen de manera coordinada. Por ende, este estudio aportó consideraciones necesarias para la realización de los cálculos de los ajustes de los relés de protección de distancia y sobrecorriente direccional asociados a los interruptores en estudio.

Marval, R. (2010), efectuó un estudio donde coordinó las protecciones de sobrecorriente del sistema en 34,5 kV de la subestación Luisa Cáceres de Arismendi de SENECA, junto la incorporación de la subestación El Manglillo. Donde principalmente describe el sistema eléctrico en 34,5 kV de la Subestaciones Luisa Cáceres de Arismendi y el Manglillo, posteriormente realizó un levantamiento del sistema eléctrico que compone estas subestaciones. También, realizó un estudio de flujo de carga y cortocircuito mediante el software computacional ETAP, de las subestaciones en estudio y finalizó calculando los ajustes para los equipos de protección. Esta investigación, sirvió de referencia para realizar el estudio de flujo de carga y cortocircuito, igualmente, para determinar la magnitud de las corrientes que fluyen y niveles de tensión durante la presencia de una falla eléctrica en el sistema.

Ortiz, J. (2009), desarrolló un estudio para la coordinación de protecciones en las Subestaciones a nivel de 34,5 kV y 13,8 kV del Sistema Eléctrico de Potencia del Área de Producción de Crudo Pesado del Distrito Social Morichal, PDVSA. Para alcanzar este objetivo, realizó un levantamiento eléctrico de las unidades de protección, además, realizó un estudio en régimen permanente del sistema eléctrico, para observar el comportamiento de la red de distribución en condiciones normales de operación, conocer las corrientes máximas de carga y los niveles de cortocircuito, utilizando la herramienta computacional ETAP. Se tomó como referencia este trabajo de investigación para la descripción del sistema eléctrico de transmisión de PDVSA División Carabobo.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Sistema Eléctrico**

Con base en Matulic I. (2003), un sistema eléctrico de potencia es un conjunto de dispositivos que convierte energía de una forma primaria a energía eléctrica, la transporta y la distribuye a los consumidores finales. Por razones históricas y de eficiencia se adoptó en forma generalizada el uso de la corriente alterna. Un sistema eléctrico de potencia está compuesto por tres componentes principales:

- Generación
- Transmisión
- Distribución

### **2.2.2. Subestaciones Eléctricas**

Las subestaciones eléctricas se encuentran cerca de las centrales generadoras, en la periferia de las zonas de consumo o incluso en el interior de edificios. Estas subestaciones cumplen diferentes funciones:

- Subestaciones de Transformación: Utilizan uno o más transformadores para modificar la tensión de la energía eléctrica. Pueden elevar o reducir la tensión según sea necesario.
- Subestaciones de Maniobra: Conectan dos o más circuitos y realizan maniobras eléctricas. A diferencia de las subestaciones de transformación, en este tipo de subestaciones la tensión no se altera.

Núñez F. (2019), indica que una subestación eléctrica es parte de un sistema de generación, transmisión y distribución eléctrica, donde la tensión es transformada de baja a alta tensión y/o viceversa.

### **2.2.3. Protecciones Eléctricas**

Son equipos que monitorean el funcionamiento de un sistema eléctrico que, ante la presencia de alguna falla en el sistema, estas protecciones deben actuar de manera

precisa y eficaz mandando una señal de apertura a los interruptores para que no haya daños a equipos cercanos y al personal de las instalaciones.

Con base en Ramírez S. (2003), la función principal de un sistema de protección es fundamentalmente la de causar la pronta remoción del servicio cuando algún elemento del sistema de potencia sufre un cortocircuito, o cuando opera de manera anormal. Existe, además, una función secundaria la cual consiste en proveer indicación de la localización y tipo de falla.

#### **2.2.4. Fallas Eléctricas**

Estas ocurren cuando hay una alteración que impide que la corriente eléctrica fluya con regularidad. Las fallas en los sistemas eléctricos de potencia pueden tener un impacto significativo en la operación de dichos sistemas, existen varios tipos de fallas que pueden afectar el funcionamiento y confiabilidad de estos sistemas.

- Fallas circuito abierto: Estas fallas ocurren cuando hay una interrupción en un circuito eléctrico, lo que provoca la interrupción del flujo de corriente. Esto puede suceder debido a la falla de uno o dos conductores en serie con la línea. Por esta razón, también se les llama fallas en serie.
- Fallas de cortocircuito (tipo shunt): estas son las más comunes y se producen cuando dos o más conductores (generalmente fases) entran en contacto directo entre sí o con tierra.

Harper E. (1999), señala que en un sistema eléctrico de potencia se pueden presentar distintas fallas tipo shunt, de forma general menciona las siguientes:

- Falla de línea a tierra (fase a tierra).
- Falla de línea a línea (fase a fase).
- Falla de dos líneas a tierra.
- Falla trifásica.

### **2.2.5. Dispositivos de Despeje de Fallas**

Con base en Lewis, J. (2014), los relés de protección desempeñan un papel en la lógica y en la detección de problemas, pero no tienen la capacidad de abrir y aislar la zona problemática del sistema de energía. Para lograr esto, se emplean varios tipos de interruptores de circuito, que proporcionan la capacidad de desconexión necesaria para aislar las fallas.

De acuerdo con el IEEE Std C37.113 (2015), un elemento del sistema eléctrico con falla puede separarse de su fuente de energía mediante dispositivos como:

- Disyuntores
- Interruptores de desconexión
- Interruptores de circuito
- Fusibles
- Mediante el disparo remoto de dispositivos de interrupción de fallas.

### **2.2.6. Transformadores de Medida (TM)**

Latorre, C. (2010), define estos instrumentos como los elementos que suministran la información a los relés, mediante magnitudes de corrientes y voltajes, sobre el estado del sistema eléctrico. Estos transformadores se encargan de aislar a los dispositivos de medida y de protección de la alta tensión del sistema eléctrico y reducen las magnitudes de corriente y voltaje a niveles normalizados permitiendo la medición a los dispositivos conectados. Se puede identificar dos clases de Transformadores de medida:

#### **2.2.6.1. Transformador de Corriente (TC)**

Según IEEE Std. 242 (2001), un TC transforma la corriente de línea en valores adecuados para relés de protección estándar y aísla los relés de los voltajes de línea. Un TC tiene dos devanados, designados como primario y secundario. El devanado primario está conectado en serie con el circuito que transporta la corriente de línea a medir; y el devanado secundario está conectado a dispositivos de protección,

instrumentos, medidores o dispositivos de control. El devanado secundario suministra una corriente en proporción directa y con una relación fija con la corriente primaria.

#### **2.2.6.2. Transformador de Potencial (TP)**

Según IEEE Std. 242 (2001), un TP es básicamente un transformador convencional con devanados primario y secundario en un núcleo común. Los TP estándar son unidades monofásicas diseñadas y construidas de manera que el voltaje secundario mantenga una relación fija con el voltaje primario. La tensión primaria nominal requerida de un TP está determinada por la tensión del sistema al que se va a conectar y por la forma en que se va a conectar. La mayoría de los TP están diseñados para proporcionar 120 V en los terminales secundarios cuando se aplica el voltaje nominal de la placa al primario.

#### **2.2.7. Relés de Distancia**

Montoya, J. (2019), indica que estos basan su funcionamiento mediante el cálculo de la distancia donde se encuentra la falla en la línea de transmisión, medida desde el punto donde se encuentra el relé. La distancia de la falla es estimada en términos de la impedancia aparente vista por el relé gracias a las medidas de voltaje y corriente que este posee, y su operación es efectuada si los valores medidos son menores a un valor de impedancia definido.

##### **2.2.7.1. Zonas de Protección**

Según Montoya, J. (2019), estas zonas establecen una cobertura o área de protección en cada relé de distancia, además de asegurar selectividad en la operación cuando se tienen varios dispositivos adyacentes, por ejemplo, en redes de transmisión enmalladas. Es por esto que cada zona de protección tiene asociado un tiempo definido de operación, que comúnmente incrementa con las zonas definidas

Rosero, R. (2020), indica que las zonas de protección de un relé de distancia son 4: Zona 1 protege hasta el 80% de la impedancia de línea de la sección 1. Zona 2 protege el 100% de la impedancia de línea de la sección 1, más el 50% de la impedancia de la

línea contigua más corta en la siguiente sección. Zona 3 tiene dos ajustes, el primero considera el 100% de la impedancia de línea de la sección 1, más el 100% de la impedancia de línea de la sección 2 + 25% de la línea impedancia de la sección 3, el segundo ajuste considera el 100% de la impedancia de línea de sección I + 120% de la impedancia de línea de la más larga Línea contigua en la sección 2. Finalmente, la Zona 4 o llamada también Zona 3 (reverso) protege el 15% de la Zona 1.

#### **2.2.7.2. Esquemas de Protección de Distancia**

La norma IEEE C37.113 (2015), indica que las características de los relés de distancia se pueden mostrar en diagramas R-X. Para configurar estos relés se utilizan los valores de las impedancias de secuencia positiva y cero de la línea de transmisión que protegen. Las características básicas del relé de distancia son las siguientes:

- Impedancia
- Mho
- Offset mho
- Resistencia reactiva
- Cuadrilátero
- Lenticular
- Polígono

#### **2.2.8. Relés de Impedancia**

IEEE Std C37.113 (2015), indica que este es un relé en el que el umbral de operación depende de la magnitud y el ángulo de la relación entre el vector de voltaje y el vector de corriente aplicado al relé. Son relés utilizados comúnmente para protección de fallas entre fases en líneas de transmisión de longitud media, esta protección no cuenta con la propiedad de direccionalidad; es decir, solo es capaz de detectar fallas en una sola dirección.

### **2.2.9. Relé de Sobrecorriente direccional**

Ramírez, S. (2003), describe que estos relés están capacitados para distinguir el flujo de corriente de una dirección a la otra, reconociendo las diferencias en el ángulo de fase entre la corriente y la magnitud de polarización. La capacidad para distinguir entre el flujo de corriente en una dirección o en la opuesta depende de la elección de la magnitud de polarización y del ángulo de torque máximo. El relé responderá sólo si la falla está en la dirección programada (adelante o atrás). Son usados con conexión por fase en sistemas trifásicos o como protección direccional de tierra, usando la tensión y la corriente residual, de tierra o de neutro

### **2.2.10. Línea de Transmisión**

Es el medio que permite la distribución de energía eléctrica, esta es una estructura metálica, fundamental para la transmisión de energía eléctrica a grandes distancias.

IEEE Std C37.113 (2015), indica que una "línea" se define por las ubicaciones de los disyuntores (u otros dispositivos seccionadores) que se utilizan para aislar la línea de otras partes del sistema de energía. La línea podrá incluir los tramos de buses, conductor aéreo, cable subterráneo y otros aparatos eléctricos que se encuentran entre estos disyuntores.

Olle, I. (1982), indica que las líneas de transmisión constituyen las “arterias” de un sistema de energía eléctrica. La disponibilidad de un sistema de líneas de transmisión bien desarrollado y de alta capacidad hace que sea técnica y económicamente factible mover grandes cantidades de energía eléctrica a lo largo de grandes distancias y el diseño de la línea se clasifica en cualquiera de las siguientes categorías:

- Líneas aéreas
- Cables subterráneos
- Líneas aisladas de gas comprimido

### 2.2.10.1. Relación de la Impedancia de la Fuente a la Impedancia de la Línea SIR (Source-to-line Impedance Ratio).

Thompson A. (2015), sostiene que la longitud de la línea se utiliza a menudo para ayudar a determinar el esquema de protección especificado. También señala que se utiliza para guiar al ingeniero de configuración de relés a la hora de determinar qué elementos se pueden aplicar y/o seleccionar márgenes. La longitud de una línea se puede definir por la distancia física, la impedancia o su relación de impedancia de fuente (SIR). La SIR es la relación entre la impedancia de la fuente,  $Z_S$ , y la impedancia de la línea,  $Z_L$ . El SIR está bien establecido en la industria como el método preferido para clasificar la longitud eléctrica de una línea con el fin de aplicar relés de protección. Se menciona en la IEEE C37.113, Guía IEEE para aplicaciones de relés de protección en líneas de transmisión que clasifica la longitud de la línea según SIR de la siguiente manera:

- Línea larga ( $SIR < 0,5$ )
- Línea media ( $0,5 < SIR < 4$ )
- Línea corta ( $SIR > 4$ )

Ecuaciones para realizar el cálculo del SIR:

$$SIR = \left[ \frac{Z^+_{Source\ p.u}}{Z^+_{Linea\ p.u}} \right] \quad (2.1)$$

$$SIR = \left[ \frac{\left[ \frac{MVA_{BASE}}{MVA_{CC\ sym\ 30\ Ciclos}} \right]}{\left[ \frac{Z^+_{Linea\ (\Omega/Km)} * Km_{Linea}}{\frac{V^2_{BASE}}{MVA_{BASE}}} \right]} \right] \quad (2.1)$$

### 2.2.11. Esquemas de Teleprotección

Con base en la norma IEEE Std C37.113 (2015), estos esquemas son usados como complemento a las protecciones de línea para acelerar el disparo cuando hay una falla en una línea de transmisión, estos pueden ser permisivos o de bloqueo.

Según GNPC (2014), podemos encontrar los siguientes esquemas que permiten la aceleración de zona de protección.

#### 2.2.11.1. DUTT: Disparo Directo Transferido en Sub Alcance (Direct Underreaching Transfer Trip).

Este esquema es llamado de bajo alcance (under reach RU) ya que solo acciona bajo condiciones de zona 1. Se caracteriza por requerir únicamente la señal de bajo alcance (zona 1 ajustada a menos del 100% de la impedancia de la línea). Cada extremo da orden de disparo cuando ve falla en zona 1 o cuando recibe orden de disparo del otro extremo como se muestra en la figura 2.1.

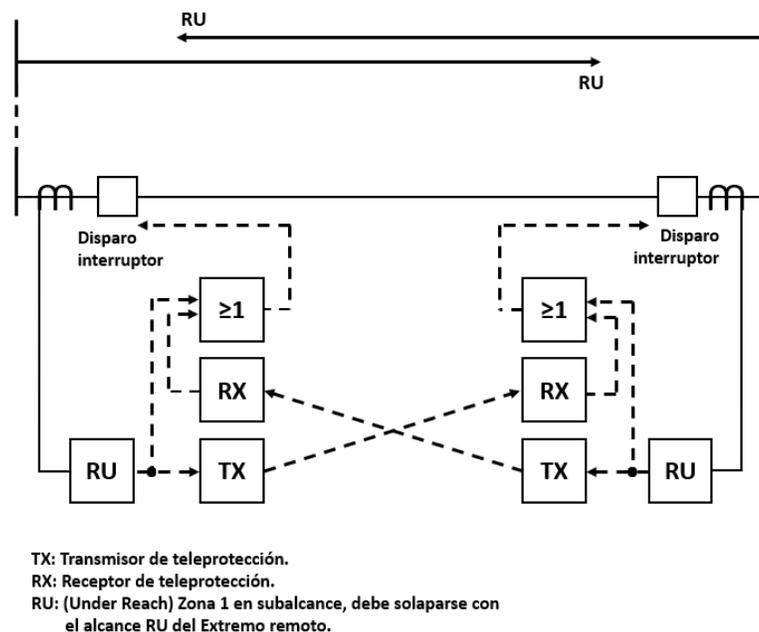


Figura 2.1. Esquema de disparo directo transferido de bajo alcance (DUTT)

### 2.2.11.2. PUTT: Disparo Permisivo Transferido en Sub Alcance (Permissive Under-reaching Transfer Trip).

Este esquema, al igual que el esquema DUTT requiere una función de subalcance (zona 1 ajustada a menos del 100% de la impedancia de línea) sin embargo este esquema requiere de una función de sobrealcance (over reach RO) (zona 2 ajustada a más del 100% de la impedancia de línea). Para una falla en el extremo A que esté cubierta por la zona 1 del relé local, el relé opera y dispara el interruptor asociado y simultáneamente envía una señal de disparo permisivo al extremo remoto; este esquema se hace más selectivo mediante la supervisión de la señal permisiva recibida con la detección de falla en zona 2, antes de permitir un disparo instantáneo.

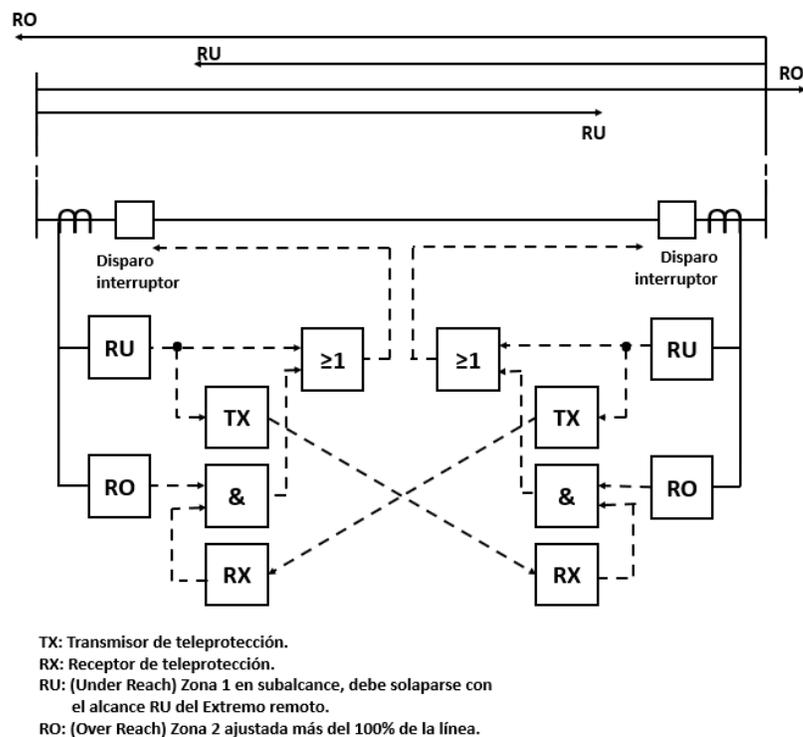
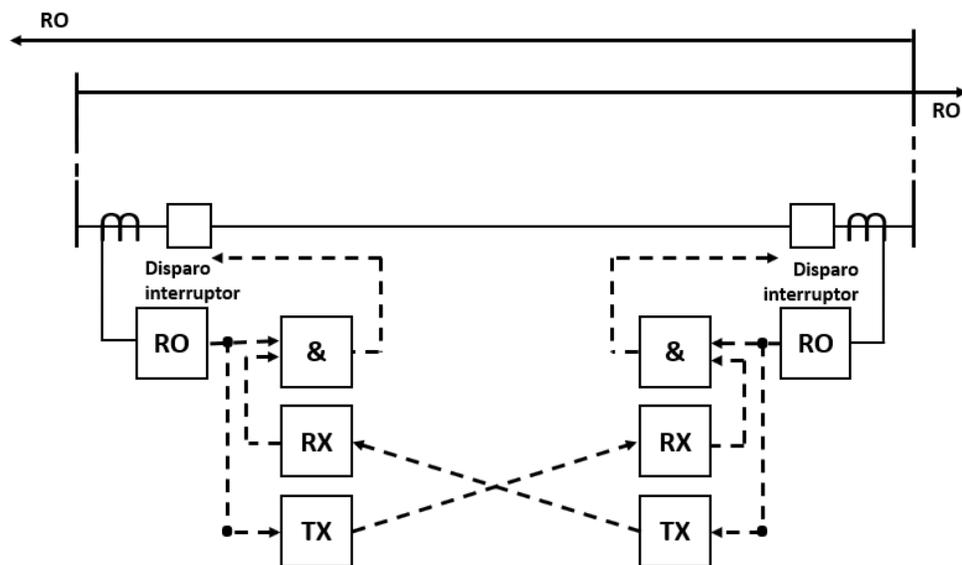


Figura 2.2. Esquema de disparo permisivo transferido de bajo alcance (PUTT)

### 2.2.11.3. POTT: Disparo Permisivo Transferido en Sobre Alcance (Permissive Over-reaching Transfer Trip).

Este esquema requiere de funciones de sobre alcance (Over Reach RO) (zona 2 a configurado a más del 100% de la impedancia de línea) para enviar la señal de solicitud de disparo al extremo remoto. La lógica de operación de este esquema ante una falla en el relé en el extremo local A, es recibida una señal de pickup llamada “POTT\_PKP” lista para transferir el bit llamado “POTT\_TX” al extremo remoto B, donde es recibida por ese relé como “POTT\_RX” y al igual que el esquema PUTT en lugar de realizar un disparo directo, este solicita la información del extremo remoto para confirmar el disparo, siendo la confirmación de disparo en el extremo B por zona 2 esto se puede visualizar en la figura 2.3, la sección lógica muestra una compuerta “AND” o “Y” en español la cual al recibir dos UNO lógicos en su salida, envía un impulso positivo, de lo contrario se obtiene un Cero Lógico.



TX: Transmisor de teleprotección.  
 RX: Receptor de teleprotección.  
 RO: (Over Reach) Zona 2 ajustada más del 100% de la línea.

Figura 2.3. Esquema de disparo permissivo transferido de sobre alcance (POTT)

#### 2.2.11.4. Aceleración de Zona (Zone acceleration).

Este esquema es similar al PUTT, pero en lugar de activar un disparo, la señal permisiva se recibe en el subalcançe (zona 1) y se expande la zona 1 a una zona más extensa, que puede ser la zona 2 o una zona de aceleración. Esta nueva zona debe tener un alcance superior al 100% de la línea.

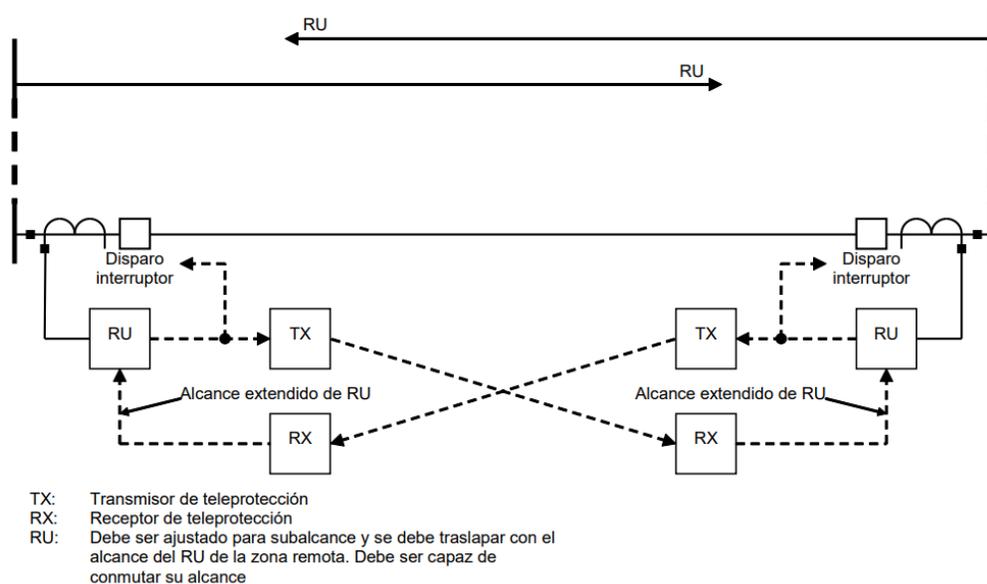
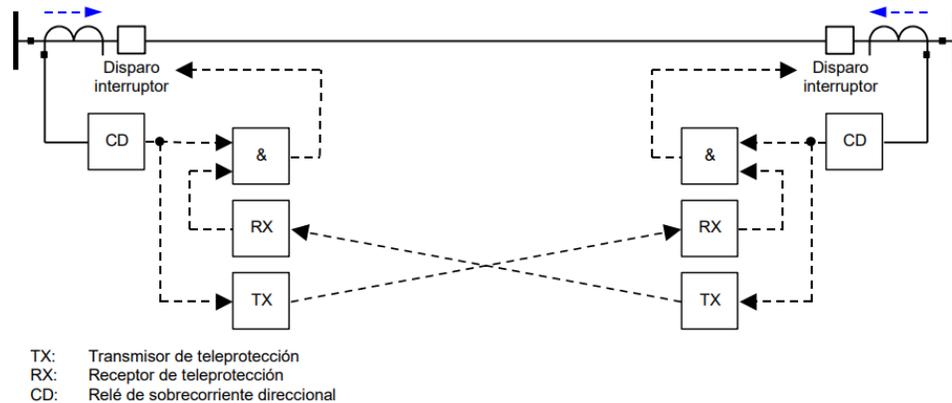


Figura 2.4. Esquema de Zona de aceleración

#### 2.2.11.5. CD: Disparo Permisivo Transferido por Comparación Direccional (Permissive Directional Comparison Transfer Trip).

En este esquema, se compara únicamente la dirección de la corriente. Si ocurre una falla dentro de la línea, ambos relés asociados detectarán la falla hacia adelante. Cada relé que identifica la falla hacia adelante envía una señal permisiva al otro extremo. El disparo se efectúa cuando cada extremo detecta la falla y recibe la autorización del otro extremo. Este esquema generalmente se implementa con relés de sobrecorriente de tierra direccionales, que son muy efectivos para detectar fallas de alta impedancia. Este esquema también requiere una función de eco en el canal,

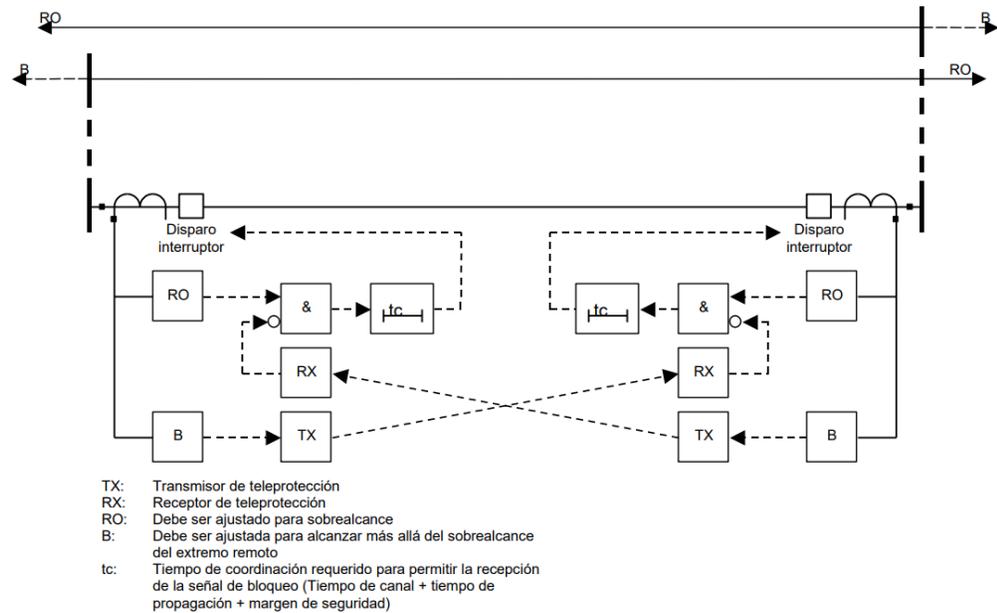
especialmente cuando el interruptor está abierto o hay condiciones de fuente débil en uno de los extremos.



**Figura 2.5. Esquema de Disparo permisivo transferido por Comparación Direccional**

#### 2.2.11.6. Bloqueo por Comparación Direccional (Directional Comparison Blocking).

Este esquema utiliza funciones de sobrealcance y bloqueo, con un canal de comunicación del tipo OFF-ON. Normalmente, el transmisor está en la posición OFF y cambia a ON cuando se activa una función de bloqueo. La señal de bloqueo recibida del extremo remoto se aplica a una compuerta NOT antes de llegar al comparador que desencadena el disparo. La función de sobrealcance (zona 1) está configurada para cubrir más del 100% de la línea, y la función de bloqueo (zona de reversa) está ajustada para superar la zona de sobrealcance del otro extremo. Este esquema es muy confiable ya que sigue operando incluso si el canal de comunicación falla, aunque en esa situación puede disparar de manera insegura con fallas externas. No tiene problemas cuando el interruptor del otro extremo está abierto, ya que no necesita una señal de permiso de ese extremo.



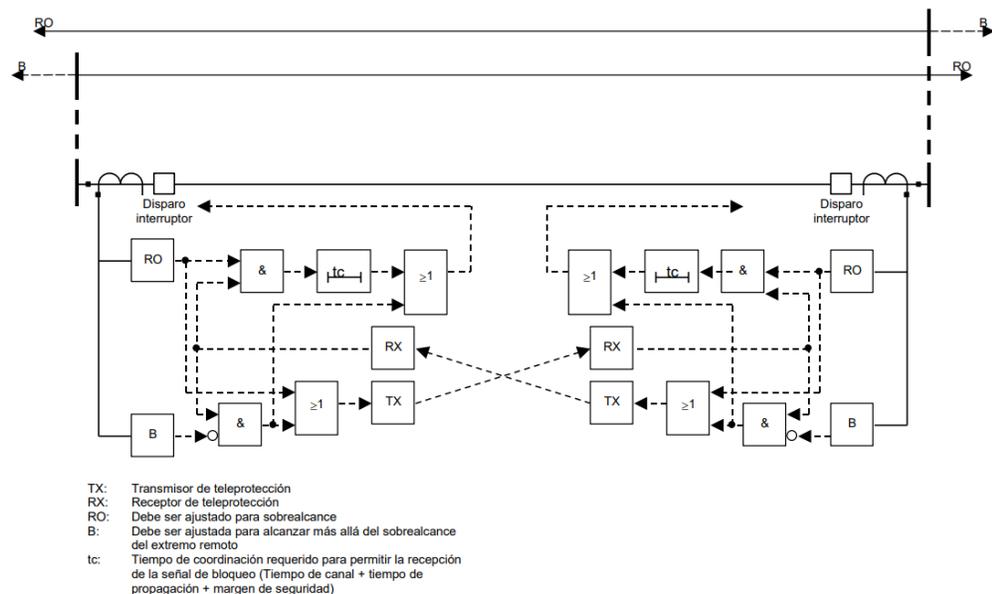
**Figura 2.6. Esquema Bloqueo por Comparación Direccional**

### 2.2.11.7. Desbloqueo por Comparación Direccional (Directional Comparison Unblocking).

Cuando se usa la línea de transmisión para transmitir las comunicaciones con un esquema de sobrealcance permisivo por comparación direccional (CD), puede suceder que la misma falla, por rotura del cable o por baja impedancia, atenúe la señal permisiva proveniente del otro extremo, impidiendo de esta forma el disparo. Esto se reconoce porque se pierde la señal en el extremo receptor, razón por la cual se puede dotar a este extremo de una lógica que habilite la señal permisiva durante una ventana de tiempo de 150 ms a 300 ms, cuando se pierda la señal. Si la señal se perdió por culpa de la falla, al menos se tendrá permiso para disparar cuando se active la función de sobrealcance y se active la lógica de desbloqueo. Posteriormente a la ocurrencia de pérdida de la señal y transcurrido el tiempo de la ventana, el relé se bloqueará hasta que retorne la señal de comunicaciones.

### 2.2.11.8. Comparación Direccional Híbrida o Desbloqueo con lógica Eco (Unblocking with Echo Logic).

El esquema de Comparación Híbrida combina funciones de disparo y bloqueo, similares a los esquemas de bloqueo. Este esquema se activa utilizando las funciones de sobrealcance o mediante la recepción de una señal permisiva del extremo remoto, siempre y cuando no haya una señal de bloqueo simultánea. La función Eco se utiliza cuando el otro extremo no puede enviar una señal permisiva debido a que no detecta la falla, ya sea porque el interruptor está abierto o porque la fuente en ese extremo es muy débil ("Weak Infeed"). En este caso, si la zona de sobrealcance en el extremo fuerte detecta la falla y no recibe una señal de bloqueo, se enviará una señal permisiva al otro extremo, que luego se devolverá al extremo inicial, permitiendo el disparo, siempre que no haya una señal de bloqueo en el extremo remoto (falla hacia atrás).



**Figura 2.7. Esquema Desbloqueo por Comparación Direccional**

Según GNPC (2014), el esquema de aceleración de zona, amplía la zona de protección inicial (generalmente la zona 1) a una zona extendida (como la zona 2 o una

zona específica de aceleración). Esto permite que, el relé de protección tome una decisión más rápida y dispare el interruptor de la línea antes de que la falla se propague más allá de la zona inicial.

#### **2.2.12. Estudio de Cortocircuito**

Según IEEE Std.399 (1997), se realizan estudios de cortocircuito para determinar el nivel de falla en varios intervalos de tiempo después de que ocurre una falla. La magnitud de las corrientes que fluyen a través del sistema de energía después de una falla, varía con el tiempo hasta que alcanzan una condición de estado estable. Esto se hace para distintos tipos de fallas (trifásicas, fase a fase, doble fase a tierra y fase a tierra) en diferentes ubicaciones a lo largo del sistema.

#### **2.2.13. Estudio de Flujo de Carga**

Según IEEE Std. 399 (1997), un estudio de flujo de carga determina el voltaje, la corriente, la potencia activa y reactiva y el factor de potencia en un sistema eléctrico. Estos pueden analizar el sistema, incluidas condiciones de contingencia, como la pérdida de un generador, una línea de transmisión, un transformador o una carga.

#### **2.2.14. Coordinación de Protecciones**

La IEEE Std. C37.113 (2015), establece la coordinación de protecciones como el proceso de elegir ajustes de corriente o voltaje en función al tiempo de actuación de los dispositivos de protección, de modo que la operación de los dispositivos ocurra en un orden específico para minimizar la interrupción y aislamiento del sistema debido a una perturbación del sistema de eléctrico. La coordinación adecuada, asegura que los dispositivos de protección más cercanos a la falla actúen primero, mientras que los dispositivos más alejados actúan solo si los primeros no logran despejar la falla. Este enfoque secuencial y jerárquico es esencial para mantener la estabilidad y la continuidad del suministro eléctrico, reduciendo al mínimo el impacto de las fallas en el sistema de energía.

Algunas de las características que debería tener cumplir una coordinación de protecciones son:

- **Rápida respuesta:** Un buen sistema debe detectar y aislar fallas rápidamente para minimizar daños y mantener la continuidad del servicio.
- **Selectividad:** Debe ser capaz de identificar con precisión la parte específica del sistema que tiene la falla, actuando solo sobre ella sin afectar el resto del sistema.
- **Sensibilidad:** Debe detectar pequeñas anomalías en el sistema antes de que se conviertan en problemas mayores.
- **Fiabilidad:** Debe funcionar correctamente bajo todas las condiciones, garantizando una protección constante.
- **Redundancia:** Debe incluir sistemas de respaldo para asegurar la protección en caso de fallos en los componentes primarios.

## CAPÍTULO III

# DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE TRANSMISIÓN A 115 KV DE PDVSA DIVISIÓN CARABOBO

### 3.1. Subestaciones asociadas a la división Carabobo

La División Carabobo de PDVSA en 115kV se conforma por las subestaciones Cerro Negro, Petromonagas, Morichal, Temblador y Jobo Norte, esta División es alimentada por el sistema eléctrico nacional (SEN) a través de dos líneas de transmisión con llegada a la subestación Palital 400-115 kV, y a su vez está interconectada con las subestaciones Morichal y Petromonagas en 115 kV por medio de dos líneas de transmisión, Petromonagas a través de su bahía H-220 tiene interconexión a Morichal presentando una conexión en anillo en la figura 3.2. Se muestra el esquema equivalente de la de red de transmisión de la División Carabobo.

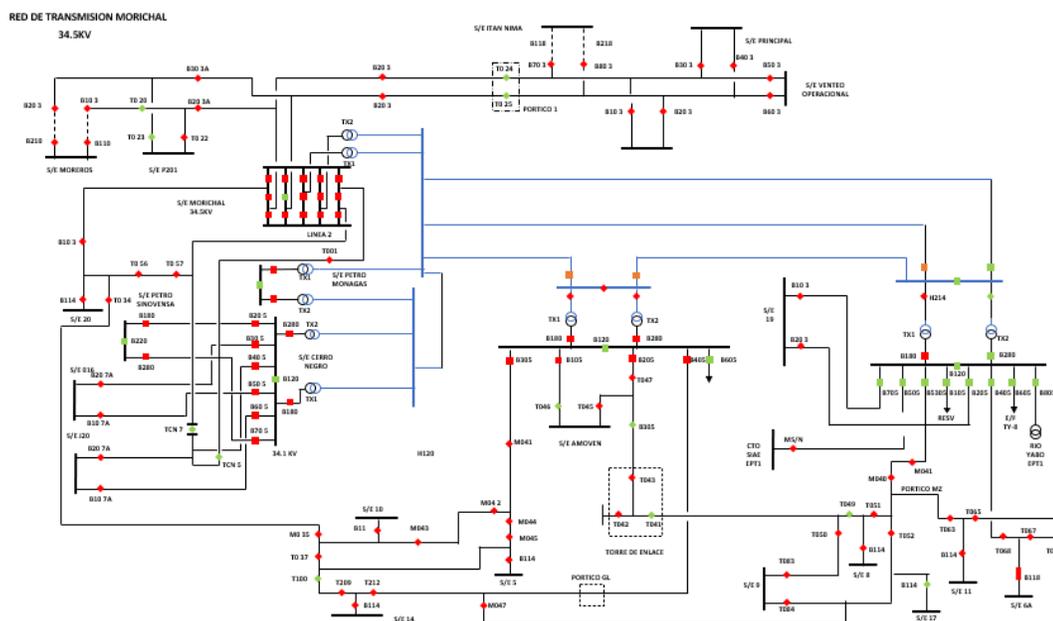


Figura 3.1. Diagrama de la División Carabobo (PDVSA, 2024)

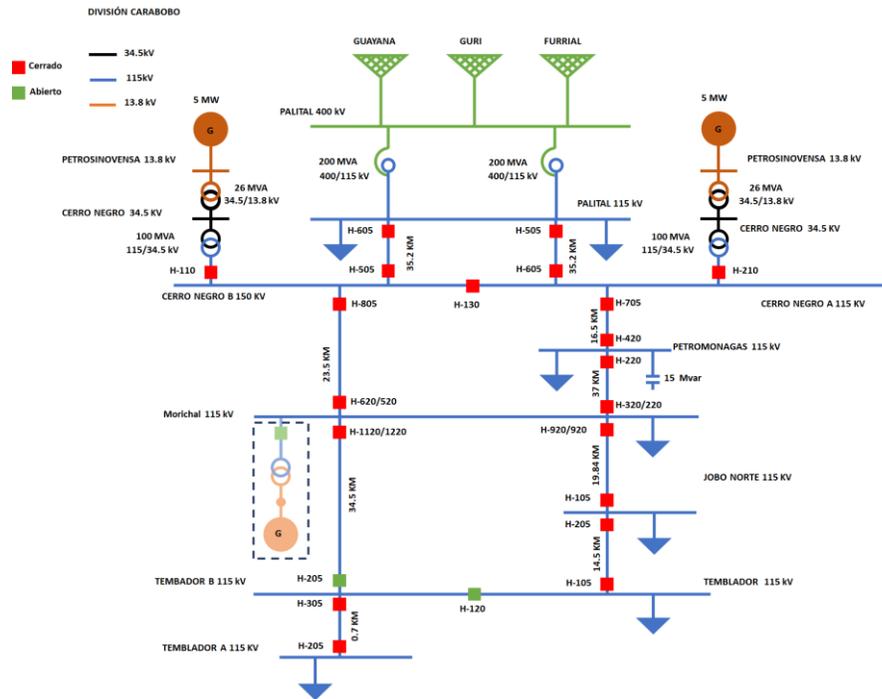


Figura 3.2. Esquema equivalente de la División Carabobo (Autor 2024)

### 3.2. Subestación Palital

Esta subestación se encarga del suministro de energía a las cargas asociadas Barranca 1 y Barranca 2 con un consumo de 65,5MW y 55,5MW respectivamente, esta subestación es alimentada por tres líneas de transmisión asociadas a las bahías de llegada X-103, X-203 y x-303 respectivamente, estas líneas tienen por nombre Guayana B, Guri y Furrial, siendo Guri fuente de mayor aporte a la División Carabobo, esta energía es transformada en la subestación Palital por medio de dos auto transformadores 400/115 kV de 200 MVA cada uno, los cuales están interconectados a la Subestación Cerro Negro 115 kV, mediante dos líneas de transmisión en 115 kV, de longitud 36,5 km cada una.

### 3.3. Subestación Cerro Negro

La Subestación Cerro Negro es una de las subestaciones más importantes de la División Carabobo, esta es la encargada principal de alimentar a las subestaciones asociadas a esta División en 115 kV.

Esta subestación tiene una configuración de doble barra con interruptor de enlace H-130 en 115 kV, es alimentada por medio de dos líneas de transmisión provenientes de Palital a 115 kV, dispone del aporte de dos generadores en paralelo de 11 MVA cada uno, desde la subestación Petrosinovenza poseen interconexión con dos transformadores 34,5/13,8 kV con capacidad de 26 MVA hacia Cerro Negro 34,5 kV que, a su vez tiene conexión a dos transformadores 115/34,5 kV de 100 MVA cada uno con conexión a Cerro Negro 115 kV. La subestación Cerro Negro 115 kV por medio sus bahías H-705 y H-805 tiene salida de dos líneas de transmisión a 115 kV una de 16,5 km a la subestación Petromonagas y otra de 23,5 km a la subestación Morichal. Vease la Figura 3.2.

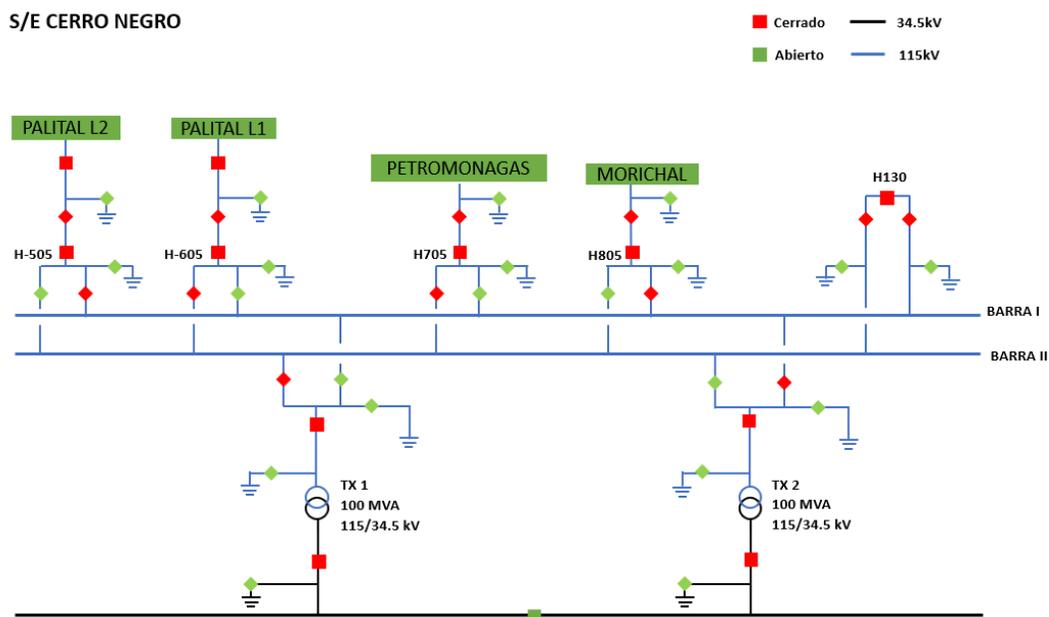


Figura 3.3. Diagrama de la Subestación Cerro Negro (PDVSA, 2024)

### **3.4. Subestación Petrosinovensa**

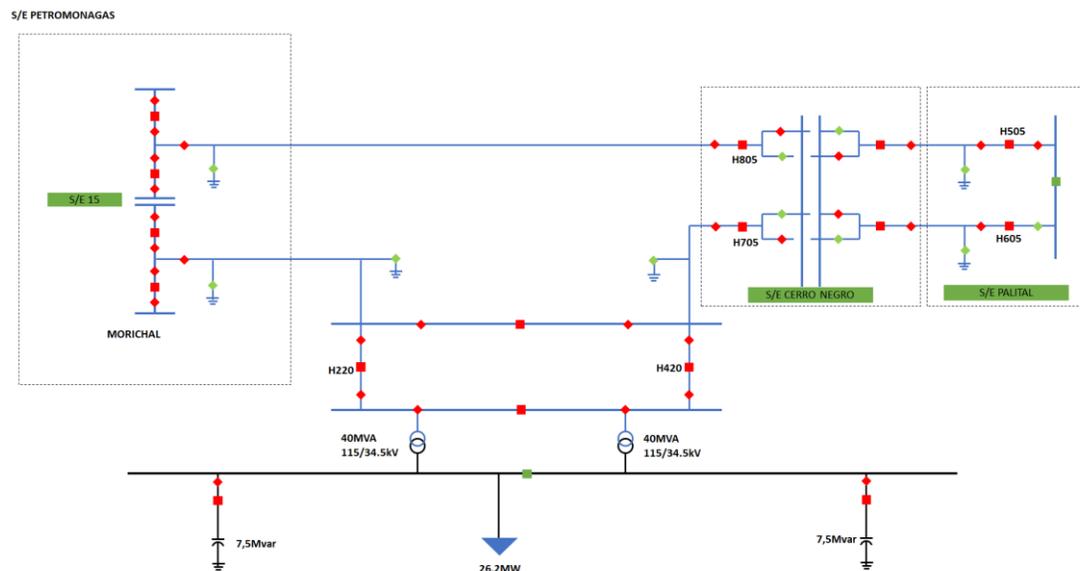
Esta subestación consta de 2 generadores de 10 MW en servicio, operando a 13,8 kV, esta Subestación tiene una salida a dos transformadores elevadores 13,8/34,5 kV de una capacidad de 26 MVA, la cual se interconecta con la subestación Cerro Negro en 34,5 kV.

### **3.5. Cerro Negro 34,5kV**

Esta, tiene una interconexión con la subestación petrosinovensa por medio de dos transformadores 34,5/13,8 kV de 26 MVA de capacidad, tiene una carga conectada de un consumo total de 10 MW y consta de una conexión a dos transformadores reductores de 115/34,5 kV con una capacidad de 100 MVA respectivamente, los cuales se interconectan con Cerro Negro 115 kV.

### **3.6. Subestación Petromonagas**

Alimentada por una línea de transmisión a 115 kV proveniente la subestación Cerro Negro y posee un banco de capacitores que aporta 15 Mvar al sistema. Está encargada de suministrar energía eléctrica a su carga asociada con un consumo de 26,2 MW, esta subestación tiene salida en H-220 que conforma un sistema en anillo con la subestación Morichal por medio de la interconexión de una línea de transmisión en 115 kV, de 37 km de longitud.



**Figura 3.4. Diagrama de la configuración en anillo 115 kV (PDVSA, 2024)**

### 3.7. Subestación Morichal

Esta subestación es alimentada por las líneas de las subestaciones Morichal y Cerro Negro, es encargada del suministro eléctrico a su carga asociada que consume 18,5 MW, Posee fuera de servicio dos de turbogeneradores de 50 MW de capacidad a 13,8 kV, conectado a dos transformadores elevadores con una capacidad de 70 MVA, de 13,8/115kV, esta subestación tiene dos salidas hacia las subestaciones Temblador y Jobo Norte a través de dos líneas de transmisión de 34,4 km y de 19,84 km respectivamente.

### 3.8. Subestación Jobo Norte

Esta subestación es alimentada por una línea de transmisión proveniente de la subestación Morichal, es encargada de suplir 4,8 MW a su carga asociada y dispone de interconexión con la subestación Temblador por medio de una línea de transmisión de 14,56 km a 115 kV.

### 3.9. Subestación Temblador

Esta subestación tiene una configuración de barra simple seccionada con interruptor de enlace H-120 abierto a 115 kV, esta subestación se alimenta de dos líneas de transmisión a 115 kV provenientes de las subestaciones Jobo Norte y Morichal, la subestación se encarga de suministrar 5,2 MW a su carga asociada, posee conexión a la subestación Temblador A por medio de una línea de transmisión de 0,7 km de longitud a 115 kV.

### 3.10. Subestación Temblador A

Esta, es alimentada por la interconexión de la línea proveniente de Temblador B y es encargada del suministrar a la carga asociada 26,6 MW.

### 3.11. Demanda eléctrica de la División Carabobo

Las cargas asociadas a las Subestaciones que componen a la División Carabobo están descritas en la tabla 3.1.

**Tabla 3.1. Cargas asociadas a la División Carabobo**

<b>Cargas División Carabobo</b>				
<b>Subestación/Carga</b>	<b>Perfil de Voltaje</b>	<b>MW</b>	<b>Mvar</b>	<b>MVA</b>
<b>C.Palital</b>	115	61,245	37,956	83,298
<b>C.Palital-BarrancaL1L2</b>	115	51,824	11,354	53,053
<b>Petromonagas (Campo)</b>	115	26,2	6,2	26,924
<b>Cerro Negro</b>	34,5	10	5,4	11,365
<b>Morichal PDVSA</b>	115	19,2	14,2	23,881
<b>Jobo Norte PDVSA</b>	115	5	3,5	6,103
<b>Temblador PDVSA</b>	115	5,5	2,7	6,127
<b>CLTemblador-TembladorPD</b>	115	28,664	7,802	29,707

### 3.12. Líneas de transmisión de la División Carabobo

Las características de las líneas de transmisión de la División Carabobo en 115 kV se pueden visualizar en la tabla 3.2. donde se indican tipo, calibre, distancia de los conductores, junto con las impedancias de secuencia positiva y cero dadas en ohmios por kilometros.

**Tabla 3.2. Características de las líneas de transmisión de la División Carabobo**

Línea	Nivel de tensión (kV)	Tipo de conductor	Calibre conductor (kcmil)	Longitud (km)	RT(Ohm/km)	XT(Ohm/km)	RO(Ohm/km)	Xo(Ohm/km)
Palital-Cerro Negro1	115	ACAR	750 CELOCIA	35,5	0,1473	0,4729	0,469	1,382
Palital-Cerro Negro2	115	ACAR	750 CELOCIA	35,5	0,1473	0,4729	0,469	1,382
CerroNegro-Morichal	115	ACAR	750 CELOCIA	23,5	0,1473	0,4729	0,469	1,382
CerroNegro-Petromonagas	115	ACAR	750 CELOCIA	16,5	0,1212	0,4776	0,4751	1,2981
Petromonagas-Morichal	115	ACAR	750 CELOCIA	37	0,1212	0,4776	0,4751	1,298
Morichal-TembladorPDV SA B	115	ACAR	500 CELOCIA	34,4	0,1211	0,4959	0,3	1,5
Morichal-JoboNorte	115	ACAR	500 CELOCIA	19,84	0,1211	0,4959	0,3	1,5
JoboNorte-TembladorPDV SA A	115	ARVIDAL	312,0 CELOCIA	14,56	0,1211	0,4959	0,3	1,5
TembladorPDV SA B-Temblador A	115	ACAR	500 KCM	0,7	0,0843	0,3162	0,3619	0,930

### 3.13. Sistema de protección de línea de la subestación Cerro Negro

La subestación Cerro Negro cuenta con un sistema de protección de distancia (21/21N), como protección principal y sobrecorriente direccional (87) como protección de respaldo para las líneas de transmisión de esta subestación, estas funciones están asociadas al relé Multilin L90 ver figura 3.5.



Figura 3.5. Relé de protección Multilin L90

#### 3.13.1. Relé Multilin L90

El L90 es un relé de protección de alta velocidad, diseñado para líneas de transmisión y cables de diferentes niveles de voltaje. Sus características principales son:

- **Protección diferencial de corriente:** Proporciona protección de alta velocidad, adecuada para aplicaciones de disparo monopolar y tripolar.
- **Protección de distancia:** Incluye protección de distancia de fase y tierra en 5 zonas, con configuraciones de compensación independientes.
- **Medición y monitoreo:** Capacidad de medición de sincros fasores según IEEE C37.118 y soporte para IEC 61850-90-5.
- **Comunicación avanzada:** Tres puertos Ethernet independientes para conexiones de red simultáneas y dedicadas, con soporte para sincronización de tiempo IEEE 1588.
- **Ciberseguridad:** Funciones avanzadas de ciberseguridad “CyberSentry™” para cumplir con los requisitos modernos de la industria.

**Tabla 3.3. Características del Relé Multilin L90**

<b>Relé</b>	<b>L90</b>
Marca	Multilin
Protección Primaria	Relé diferencial de corriente
Medición	64 veces por ciclo
Características	Mho Fase - Tierra Cuadrilateral Fase - Tierra
Zonas	Protección diferencial de corriente segregada 5 zonas de protección de distancia compensación de corriente de carga
Ajustes de Zonas	hacia adelante hacia atrás no direccional configurables en cada zona individualmente
Reporte / duración de memoria	5 a 31 ciclos en pasos de 1
Tiempo de operación	average operating times of 1.5 cycles for 75% line reach and SIR 30, and <2.5 cycles for 90% line reach and SIR 60.
Relés de respaldo Local	Diferencial de tierra “87G” Compensación de corriente de carga Funciones de monitoreo mejoradas Compensación de transformador en zona Enganche de línea (encendido en falla) Detección de oscilación de potencia Líneas compensadas en serie Disparo unipolar Disparo de transferencia directa (DTT) Protección contra sobretensión y subtensión Funciones de sobrecorriente Esquemas asistidos por comunicación (piloto) (DUTT, PUTT, POTT, Aceleración de zona , CD, BCD, DCD, CD híbrido) Reenganche automático Verificación de sincronismo
topología de comunicaciones	Fibra directa RS422 G.703 Interfases IEEE C37.94 a 64/128Kbps
Software interfase	EnerVista

## CAPÍTULO IV

### OBTENCIÓN DEL COMPORTAMIENTO EN RÉGIMEN PERMANENTE DEL SISTEMA ELECTRICO EN 115 KV DE PDVSA DIVISION CARABOBO

Fueron establecidos diversos casos para la realización de simulaciones que permitieron determinar el comportamiento en estado estable y la carga máxima de las líneas de transmisión del sistema eléctrico de la División Carabobo mediante el análisis de los datos obtenidos en los estudios de cortocircuito y flujo de carga.

#### 4.1. Premisas de Simulación

Para determinar el comportamiento en Régimen Permanente del sistema eléctrico de la División Carabobo se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Para realizar las simulaciones y modelado del sistema eléctrico que compone a la División Carabobo se utilizó el software ETAP en su versión 20.6.0.
- Fueron establecidos tres equivalentes externos en la Subestación Palital 400 kV de CORPOELEC (Guayana, Guri y Furrial) configurando al equivalente Guri como el equivalente SLACK del sistema. Véase el aporte al sistema de los equivalentes en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Equivalentes de Red

S/E	MW	Mvar	%FP	Trifásico			Monofásico		
				MVAcc	Icc (kA)	X/R	MVAcc	Icc (kA)	X/R
GuayanaB	839,49	51,38	99,81	9018,48	13,01	22.44	1937,14	2,79	22.44
Guri	91,13	88,95	Slack	4209,67	6,07	22.35	851,96	1,23	22.35
Furrial	-738,92	-42,34	-99,83	1658,46	2,39	22.44	449,87	0,64	22.44

- Se consideran como datos el aporte de dos autotransformadores reductores de 400/115 kV de 200 MVA interconectados desde la subestación Palital 400 kV a Palital 115 kV con Tap en 2,5% en el secundario

- Las cargas equivalentes de las principales subestaciones que componen a la División Carabobo a 115 kV se pueden visualizar en la Tabla 3.1.
- Se toma en cuenta el aporte de dos generadores de 11 MW a la subestación Cerro Negro 115 kV. Estos generadores operan a 13,8 kV y están conectados a dos transformadores de 34,5/13,8 kV, que a su vez están enlazados con dos transformadores de 115/34,5 kV en Cerro Negro 34,5 kV, con una conexión final a Cerro Negro 115 kV.
- Se consideró el aporte del banco de transformadores de la subestación Petromonagas de 15 Mvar
- Los generadores y transformadores asociados a la subestación Morichal se colocaron fuera de servicio.
- Fueron modeladas las líneas de transmisión del sistema eléctrico de la División Carabobo véase la Tabla 3.2.

## **4.2. Estudio de Flujo de Carga**

Se realizó un estudio de flujo de carga para determinar el comportamiento del sistema eléctrico de la División Carabobo en régimen permanente, para obtener los perfiles de voltajes en las barras de las subestaciones que componen a esta División y la máxima carga en las líneas de transmisión en 115 kV. Así mismo, este estudio permitió alcanzar los siguientes resultados:

- Determinación de casos de operación normal y de contingencia del sistema eléctrico de la División Carabobo en 115 kV.
- Evaluación de los perfiles de voltaje en condición normal de las subestaciones que componen a la División Carabobo en 115 kV.
- Determinación de los flujos de potencia en los distintos casos de operación (Normal y Contingencia).

- Análisis de las cargas máximas en las líneas de transmisión de la División Carabobo a 115 kV para determinar la impedancia de carga para los ajustes de la protección de distancia.

#### **4.2.1. Criterios para el Estudio de Flujo de Carga**

En la simulación se consideraron los siguientes criterios para la obtención y evaluación de los flujos de carga en el sistema:

- Se ejecuto la simulación de flujo de carga bajo el método Newton Raphson, configurando la precisión de esta en 0,0001 para su convergencia.
- Durante la operación normal y en caso de contingencia del sistema en 115 kV el voltaje en este nivel de operación debe mantenerse entre 0,95 y 1,95, para cumplir el estándar ANSI C.84.1.
- En este estudio no se consideran variaciones de frecuencia por lo que solo serán evaluadas las barras de 115 kV de la División Carabobo.

#### **4.2.2. Escenarios y casos de simulación para el estudio**

Se evaluó un escenario de operación del sistema eléctrico de la División Carabobo, el cual fue considerado como escenario base con las siguientes premisas para su simulación:

- Auto transformadores de la Subestación Palital 115 kV en funcionamiento con Tap en 2,5%.
- Generadores G1 y G2 de la Subestación Cerro Negro en funcionamiento suministrando 5 MW cada uno.
- Generador G3 de la Subestación Morichal y su transformador asociado fuera de servicio.
- Banco de Capacitores de la Subestación Petromonagas aportando 15 Mvar al sistema.
- Condición normal sin contingencias de operación en las líneas de transmisión.

- La demanda de las Subestaciones del sistema fue modelada conforme al levantamiento eléctrico realizado.

En base a las primicias de operación normal se evaluaron los siguientes casos de contingencias ver tabla 4.2.

**Tabla 4.2. Casos de contingencia**

<b>Caso</b>	<b>Contingencia</b>
<b>1</b>	<b>Salida de Banco de capacitores asociado a Petromonagas</b>
<b>2</b>	<b>Salida de G1/G2 asociados a Cerro Negro</b>
<b>3</b>	<b>Salida G1 y G2 asociados a Cerro Negro</b>
<b>4</b>	<b>Salida G1, G2, Banco de capacitores</b>
<b>5</b>	<b>Salida LT Petromonagas - Morichal</b>
<b>6</b>	<b>Salida LT Cerro Negro - Morichal</b>
<b>7</b>	<b>Salida LT Cerro Negro - Petromonagas</b>

#### 4.2.2.1. Resultados del flujo de carga del escenario base

Se muestran los resultados de los perfiles de voltaje en condición normal de operación de las subestaciones que componen a la División Carabobo ver tabla 4.3.

**Tabla 4.3. Perfiles de voltaje 115 kV**

<b>Subestación Eléctrica</b>	<b>Voltaje %</b>
<b>Palital PDVSA</b>	103,4
<b>Cerro Negro A</b>	100,5
<b>Cerro Negro B</b>	100,5
<b>Petromonagas</b>	99,9
<b>Morichal</b>	98,12
<b>Jobo Norte</b>	97,56
<b>Temblador PDVSA B</b>	96,32
<b>Temblador PDVSA A</b>	97,36
<b>Temblador A</b>	96,29

**Tabla 4.4. Flujo de Potencia en las líneas de transmisión escenario Base**

<b>Línea</b>	<b>MW</b>	<b>Mvar</b>	<b>AMP</b>	<b>FP (%)</b>
<b>Palital-Cerro Negro1</b>	36,8	11,6	187,2	95,32
<b>Palital-Cerro Negro2</b>	36,8	11,6	187,2	95,32
<b>CerroNegro-Morichal</b>	44,7	14,9	235,2	95,25
<b>CerroNegro- Petromonagas</b>	37,7	0,92	188,2	99,97
<b>Petromonagas-Morichal</b>	11,3	9,63	74,7	71,55
<b>Morichal-TembladorPDVSA B</b>	26,8	6,85	141,7	96,48
<b>Morichal-JoboNorte</b>	10	4,55	56, 2	88,32
<b>JoboNorte-TembladorPDVSA A</b>	5,22	1,97	28,7	89,77
<b>TembladorPDVSA B-Temblador A</b>	26,6	7,24	143,6	96,49

#### 4.2.2.2. Resultados del flujo de carga escenarios de contingencia

Para el Caso 1 se considera la salida del banco de capacitores de la subestación Petromonagas, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.6.

**Tabla 4.5. Flujos de potencia de las líneas de transmisión. Caso1**

Línea	MW	Mvar	AMP	FP (%)
Palital-Cerro Negro1	35,7	16,7	191,9	90,55
Palital-Cerro Negro2	35,6	16,7	191,9	90,55
Cerro Negro-Morichal	43,7	17,7	237,8	93,15
Cerro Negro- Petromonagas	36,5	12,4	194,5	94,73
Petromonagas-Morichal	11	6,28	64,5	81,87
Morichal-TembladorPDVSA B	26,2	6,69	140,1	96,48
Morichal-Jobo Norte	9,77	4,45	55,6	88,32
Jobo Norte-TembladorPDVSA A	5,1	1,92	28,4	89,77
TembladorPDVSA B-Temblador A	26	7,08	142	96,49

Para el caso 2 se consideró el Generador G1 asociado a la subestación Cerro Negro fuera de Servicio

**Tabla 4.6. Flujo de potencia Caso 2**

Línea	MW	Mvar	AMP	FP (%)
Palital-Cerro Negro1	41,7	11,5	210,4	96,62
Palital-Cerro Negro2	41,7	11,5	210,4	96,62
Cerro Negro-Morichal	44,5	14,9	234,8	95,25
Cerro Negro- Petromonagas	37,5	0,925	187,9	99,97
Petromonagas-Morichal	11,3	9,59	74,5	71,55
Morichal-TembladorPDVSA B	26,7	6,82	141,5	96,48
Morichal-Jobo Norte	9,97	4,54	56,1	88,32
Jobo Norte-TembladorPDVSA A	5,2	1,96	28,6	89,77
TembladorPDVSA B-Temblador A	26,5	7,22	143,4	96,49

Para el caso 3 se consideraron los generadores G1 y G2 asociados a la subestación Cerro negro Fuera de servicio.

**Tabla 4.7. Flujo de potencia Caso 3**

Línea	MW	Mvar	AMP	FP (%)
<b>Palital-Cerro Negro1</b>	46,7	11,7	234	97,44
<b>Palital-Cerro Negro2</b>	46,7	11,7	234	97,44
<b>Cerro Negro-Morichal</b>	44,3	14,8	234,3	95,25
<b>Cerro Negro- Petromonagas</b>	37,4	0,921	187,5	99,97
<b>Petromonagas-Morichal</b>	11,2	9,55	74,4	71,55
<b>Morichal-TembladorPDVSA B</b>	26,6	6,79	141,2	96,48
<b>Morichal-Jobo Norte</b>	9,92	4,52	56	88,32
<b>Jobo Norte-TembladorPDVSA A</b>	5,18	1,95	28,6	89,77
<b>TembladorPDVSA B-Temblador A</b>	26,4	7,19	143,1	96,49

En el caso 4 los generadores asociados a Cerro Negro y banco de capacitores asociado a Petromonagas se consideraron fuera de servicio

**Tabla 4.8. Flujo de potencia Caso 4**

Línea	MW	Mvar	AMP	FP (%)
<b>Palital-Cerro Negro1</b>	45,3	18,8	239,3	93,03
<b>Palital-Cerro Negro2</b>	45,3	18,8	239,3	93,03
<b>Cerro Negro-Morichal</b>	43,1	17,5	236	93,15
<b>Cerro Negro- Petromonagas</b>	36	12,2	193	94,73
<b>Petromonagas-Morichal</b>	10,8	6,18	64,1	81,87
<b>Morichal-TembladorPDVSA B</b>	25,8	6,59	139	96,48
<b>Morichal-Jobo Norte</b>	9,63	4,38	55,2	88,32
<b>Jobo Norte-TembladorPDVSA A</b>	5,02	1,89	28,2	89,77
<b>TembladorPDVSA B-Temblador A</b>	25,6	6,97	140,9	96,49

En el caso 5 se consideró la salida de la línea Petromonagas-Morichal

**Tabla 4.9. Flujo de potencia Caso 5**

Línea	MW	Mvar	AMP	FP (%)
Palital-Cerro Negro1	36,3	12,3	186,1	94,64
Palital-Cerro Negro2	36,3	12,3	186,1	94,64
Cerro Negro-Morichal	54,8	26,5	304,4	91,08
Cerro Negro- Petromonagas	26,6	-9,19	140,7	-94,52
Petromonagas-Morichal	-	-	-	-
Morichal-TembladorPDVSA B	26,1	6,66	139,8	96,48
Morichal-Jobo Norte	9,73	4,43	55,5	88,32
Jobo Norte-TembladorPDVSA A	5,08	1,91	28,3	89,77
TembladorPDVSA B-Temblador A	25,9	7,05	141,7	96,49

Para el caso 6 se considera la salida de la línea de transmisión Cerro Negro-Morichal

**Tabla 4.10. Flujo de potencia. Caso 6**

Línea	MW	Mvar	AMP	FP (%)
Palital-Cerro Negro1	34	13,3	177,2	92,88
Palital-Cerro Negro2	34	13,3	177,2	92,88
Cerro Negro-Morichal	-	-	-	-
Cerro Negro- Petromonagas	76,9	20	397,6	97,58
Petromonagas-Morichal	50,7	25,5	290,7	91,08
Morichal-TembladorPDVSA B	24,1	6,14	134,2	96,48
Morichal-Jobo Norte	8,96	4,08	53,2	88,32
Jobo Norte-TembladorPDVSA A	4,68	1,76	27,2	89,77
TembladorPDVSA B-Temblador A	23,8	6,49	136	96,49

En el caso 7 se considera salida de la línea de transmisión Cerro Negro-Petromonagas

**Tabla 4.11. Flujo de potencia. Caso 7**

<b>Línea</b>	<b>MW</b>	<b>Mvar</b>	<b>AMP</b>	<b>FP (%)</b>
<b>Palital-Cerro Negro1</b>	35,7	13,3	185,2	93,61
<b>Palital-Cerro Negro2</b>	35,7	13,3	185,2	93,61
<b>Cerro Negro-Morichal</b>	80,3	20,2	414,6	98,12
<b>Cerro Negro- Petromonagas</b>	-	-	-	-
<b>Petromonagas-Morichal</b>	-24,9	-8,87	-137,2	-94,18
<b>Morichal-TembladorPDVSA B</b>	26	6,64	139,5	96,48
<b>Morichal-Jobo Norte</b>	9,7	4,41	55,4	88,32
<b>Jobo Norte-TembladorPDVSA A</b>	5,06	1,91	28,3	89,77
<b>TembladorPDVSA B-Temblador A</b>	25,8	7,02	141,4	96,49

#### 4.2.3. Análisis de resultados del flujo de carga

De los distintos casos evaluados en el estudio de flujo de carga del sistema se obtuvieron resultados que reflejan la máxima carga que pudiese presentarse en las salidas de la subestación Cerro Negro bahías H-705 y H-805. Identificando el Caso 7 como el escenario menos favorable para la salida H-805 donde la máxima carga de la línea Cerro Negro-Morichal es de 80,3 MW y el Caso 6 donde la salida H-705 presenta máxima carga para la línea de transmisión Cerro Negro-Petromonagas obteniendo un flujo de potencia en esta de 76,9 MW. Una vez identificada la máxima carga en las salidas de la Subestación Cerro Negro estas serán consideradas para la validación del ajuste de Zona 3 de la protección de distancia, determinado la impedancia de carga con la ecuación 4.1.

$$Z_c = \frac{V^2}{S_{max}} < \theta \quad (0.1)$$

- Línea Cerro Negro-Morichal:

$$Z_c = \frac{(115)^2}{80,3} = 164,69 \Omega/\text{primarios}$$

- Línea Cerro Negro-Petromonagas:

$$Z_c = \frac{(115)^2}{76,9} = 171,97 \Omega/\text{primarios}$$

### 4.3. Estudio de Cortocircuito

Este estudio determinará los niveles de cortocircuito de fallas trifásicas y línea a tierra en varios porcentajes de las líneas de transmisión en 115 kV de la Subestación Cerro Negro, abarcado hasta la zona 3 de protección de distancia. Los datos recopilados pueden ser visualizados desde la tabla 4.12 a la 4.17 y serán usados para realizar el cálculo de los ajustes de las protecciones de distancia (21/21N).

#### 4.3.1. Criterios para el estudio de cortocircuito

Para este estudio se consideraron los siguientes criterios para el análisis de los datos obtenidos:

- Se consideró el voltaje pre-falla en 1,00 p.u siguiendo los criterios de las normas IEEE 242 y ANSI C84.1
- Para falla trifásicas y monofásicas se consideró hacer el estudio a medio ciclo con impedancia de falla en 5 y 15 Ohm.

#### 4.3.2. Escenarios de simulación para el estudio

Fallas simuladas en diversos tramos de la línea en estudio

#### 4.3.2.1. Fallas simuladas en la Bahía H-805

- 80% Cerro Negro-Morichal (Zona 1).
- 50% Morichal-Jobo Norte (Zona 2).
- 50% Jobo Norte-Temblador (Zona 3).

#### 4.3.2.2. Fallas simuladas en la Bahía H-705

- 80% Cerro Negro-Petromonagas (Zona 1)
- 50% Petromonagas-Morichal (Zona 2)
- 50% Morichal-Jobo Norte (Zona 3)

#### 4.3.3. Datos obtenidos del estudio

- Bahía H-805

**Tabla 4.12. Cortocircuito al 80% de la línea Cerro Negro-Morichal**

Tramo		Falla Monofásica		Falla Trifásica	
		Mag (kA)	ANG	Mag (kA)	ANG
Cerro Negro	Morichal	1,738	-45,05	2,629	-76,34
Pmngas-Mor	<b>REV</b>	0,573	-46,49	0,853	-79,15
80% Cerro Negro-Morichal		2,31	-45,41	3,481	-77,02

**Tabla 4.13. Cortocircuito al 50% de la línea Morichal-Jobo Norte**

Tramo		Falla Monofásica		Falla Trifásica	
		Mag (kA)	ANG	Mag (kA)	ANG
Morichal	Jobo Norte	1,76	-53,43	2,637	-76,8
Cerro Negro	Morichal	1,215	-52,94	1,83	-75,87
50% Morichal-Jobo Norte		1,76	-53,43	2,637	-76,8

**Cortocircuito al 50% de la línea Jobo Norte-Temblador**

Tramo		Falla Monofásica		Falla Trifásica	
		Mag (kA)	ANG	Mag (kA)	ANG
Jobo Norte	Temblador	1,293	-60,12	1,957	-76,67
Morichal	Jobo Norte	1,293	-60,12	1,957	-76,67
Cerro Negro	Morichal	0,893	-59,64	1,358	-75,73
50% Jobo Norte-Temblador		1,293	-60,12	1,957	-76,67

- Bahía H-705

**Tabla 4.14. Cortocircuito al 80% de la línea Cerro Negro-Petromonagas**

Tramo		Falla Monofásica		Falla Trifásica	
		Mag (kA)	ANG	Mag (kA)	ANG
Cerro Negro	Petromonagas	2,105	-42,81	3,154	-78,23
MOR-CNegro	<b>REV</b>	0,432	-42,22	0,652	-77,1
80% Cerro Negro-Petromonagas		2,537	-42,71	3,806	-78,04

**Tabla 4.15. Cortocircuito al 50% de la línea Petromonagas-Morichal**

Tramo		Falla Monofásica		Falla Trifásica	
		Mag (kA)	ANG	Mag (kA)	ANG
Petromonagas	Morichal	1,136	-48,46	1,689	-78,1
Cerro Negro	Petromonagas	1,136	-48,46	1,689	-78,1
MOR-Ptmngas	<b>REV</b>	0,936	-47,97	1,404	-76,38
50% Petromonagas-Morichal		2,072	-48,46	3,093	-77,32

**Tabla 4.16. Cortocircuito al 50% de la línea Morichal-Jobo Norte**

Tramo		Falla Monofásica		Falla Trifásica	
		Mag (kA)	ANG	Mag (kA)	ANG
Morichal	Jobo Norte	1,76	-53,43	2,637	-76,8
Petromonagas	Morichal	0,545	-54,51	0,808	-78,93
Cerro Negro	Petromonagas	0,545	-54,51	0,808	-78,93
50% Morichal-Jobo Norte		1,76	-53,43	2,637	-76,8

Para realizar el cálculo del SIR (SOURCE IMPEDANCE RATIO) de las líneas de transmisión se determinó el nivel de cortocircuito en la barra de la Subestación Cerro Negro a 30 ciclos.

**Tabla 4.17. Cortocircuito simétrico 30 ciclos Subestación Cerro Negro 115 kV.**

Subestación	Falla Trifásica	
	Mag (kA)	ANG
Cerro Negro	5,505	-79,14

## CAPÍTULO V

### **CÁLCULO DE LOS AJUSTES DE LAS PROTECCIONES DE DISTANCIA Y SOBRECORRIENTE DIRECCIONAL DE TIERRA ASOCIADAS A LAS BAHÍAS H-705 Y H-805 DE LA SUBESTACIÓN CERRO NEGRO**

Se establecen los criterios para realizar los cálculos de las zonas de protección de los relés de distancia de fase (21) y de distancia de tierra (21N), con el fin de obtener los ajustes adecuados para las protecciones de distancia y sobrecorriente direccional

#### **5.1. Criterios de ajustes para la función de distancia de líneas de transmisión en las bahías H-705 y H-805 de la Subestación Cerro Negro.**

Se establecieron tres zonas de protección para las protecciones de las líneas asociadas a las salidas de la Subestación Cerro Negro, zonas que permitieron delimitar el rango de disparo de cada ajuste calculado. Estas zonas, actúan como protección principal a las líneas asociadas a las bahías H-705 y H-805, también sirven como protección de respaldo a las líneas adyacentes a la subestación Cerro Negro, estas, fueron establecidas para cubrir fallas hacia adelante (Forward), considerando efectos de fuentes intermedias (INFEED) conforme al comportamiento de la red en estudio.

Las protecciones de las líneas de transmisión de la Subestación Cerro Negro están establecidas al relé Multilin L90 en ambas bahías, configurados con las funciones de distancia 21/21N y sobrecorriente direccional de tierra 67N, estableciendo un esquema tipo Mho para fallas trifásicas y cuadrilateral para fallas a tierra según las características de las líneas de la subestación Cerro Negro tomando en cuenta el Source Impedance Ratio (SIR) de cada una, cumpliendo con las practicas recomendadas se establece:

- Línea media y corta: Característica Mho

- Línea larga: Característica Cuadrilateral

### 5.1.1. Criterio de ajuste Zona 1

El alcance de protección de Zona 1 en la subestación Cerro Negro abarcará hasta el 80% de la impedancia de la línea representado en la ecuación 5.1

$$Zona\ 1 = 80\% * Z_{de\ línea} \quad (0.1)$$

$$Z_{de\ Línea} = R_{de\ Línea} + jX_{de\ Línea} \quad (0.2)$$

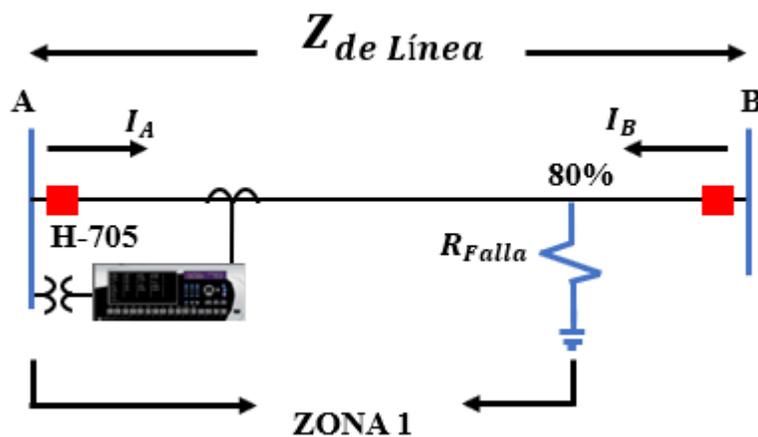


Figura 5.1. Análisis de corriente para resistencias de fallas en zona 1.

Analizando el circuito de la figura 5.1. Se obtienen las siguientes expresiones.

$$R_{zona\ 1} = 80\% * R_{de\ línea} + R_{falla} \quad (0.3)$$

$$X_{zona\ 1} = 80\% * X_{de\ línea} \quad (0.4)$$

El tiempo de disparo establecido para Zona 1 es inmediato, ya que se busca despejar posibles fallas de manera instantánea.

### 5.1.2. Criterio de ajuste Zona 2

Zona 2 busca proteger el 100% de la línea más el 50% de la línea adyacente más corta o con menor impedancia.

$$Zona\ 2 = Z_{de\ línea} + 50\% * Z_{de\ línea\ adyacente} \quad (0.5)$$

Mediante simulación, se busca certificar que los ajustes establecidos en zona 2 no alcance a ver fallas en el secundario de transformadores de potencia en barras remotas

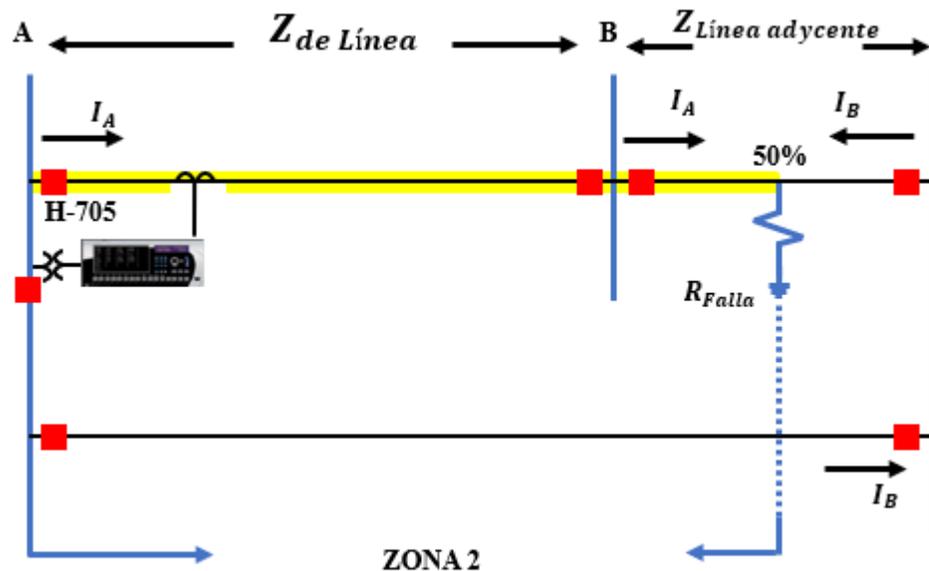


Figura 5.2. Análisis de corriente para resistencias de fallas en zona 2.

Para conocer el alcance resistivo y reactivo en zona 2 usamos las ecuaciones 5.6 y 5.7 respectivamente.

$$R_{zona\ 2} = R_{de\ línea} + 50\% * R_{línea\ adyacente} + R_{falla} \quad (0.6)$$

$$X_{zona\ 2} = X_{de\ linea} + 50\% * X_{linea\ adyacente} \quad (0.7)$$

El tiempo de despeje de falla, configurado en zona 2 del relé será de 500 ms (30 ciclos).

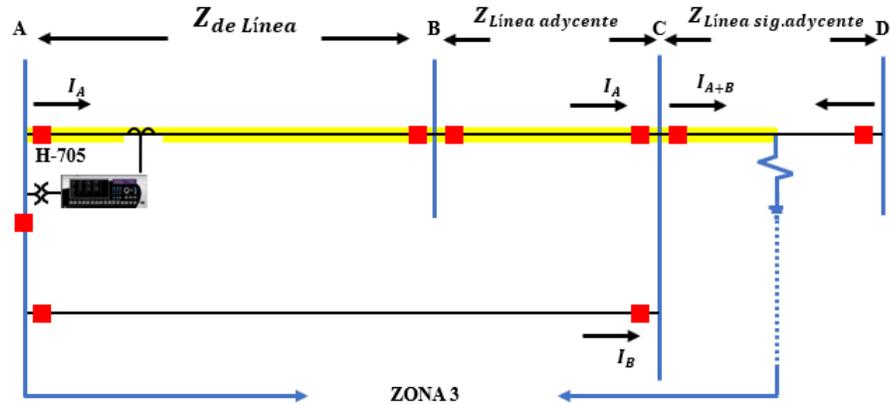
### 5.1.3. Criterio de ajuste Zona 3

Zona 3 debe abarcar el 100% de la impedancia de línea de zona 1, más el 100% de la impedancia de línea de zona 2, más el 50% de la impedancia de la línea adyacente de menor impedancia. Como se muestra en la ecuación 5.8.

En Zona 3, se considerará el efecto de fuentes intermedias (INFEED) de líneas adyacentes, teniendo en cuenta que estas generan un aporte adicional de corriente a la falla vista por el relé, estas fuentes adicionales de corriente pueden influir en la medición de la falla, impidiendo que la protección no sea selectiva al momento de una falla en zona 3, es por ello que es considerado este efecto al realizar el cálculo de esta zona.

$$\begin{aligned} Zona\ 3 = & ZL_{de\ linea} + Z_{linea\ adyacente} * (1 + K_1) + 50\% \\ & * Z_{linea\ siguiente\ adyacente} (1 + K_1) \end{aligned} \quad (0.8)$$

Según lo establecido anteriormente, considerando el efecto de fuentes intermedias (INFEED) en el sistema, se procede a analizar el comportamiento de este para los ajustes real e imaginario de la impedancia de zona 3.



**Figura 5.3. Análisis de corriente para resistencias de falla en zona 3**

El alcance resistivo y reactivo en zona 3 se obtiene utilizando las ecuaciones 5.9 y 5.10 respectivamente.

$$R_{zona\ 3} = R_{de\ línea} + R_{línea\ adyacente} + 50\% * R_{línea\ siguiente\ adyacente} * (1 + K_1) + R_{falla} * (1 + K_1) \quad (0.9)$$

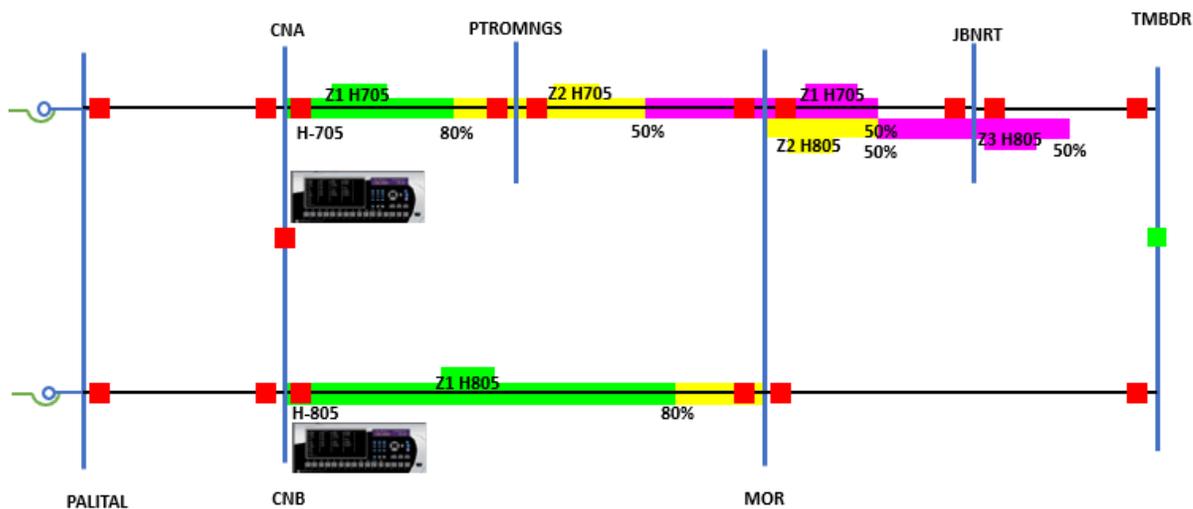
$$X_{zona\ 3} = X_{de\ línea} + X_{línea\ adyacente} + 50\% * X_{línea\ sig.\ adyacente} * (1 + K_1) \quad (0.10)$$

El tiempo de operación del relé en zona 3 estará establecido a un tiempo aproximado a 1000 ms (60 ciclos)

## 5.2. Ajustes de la función 21 de distancia

Siguiendo los criterios de las zonas protección, fueron ajustados y calculados zona 1, zona 2 y zona 3 de los relés de distancia Multilin L90 de las bahías H-705 y H-805 de la subestación Cerro Negro.

- Bahía H-705: Línea CNA-PTRMNGS-JBNRT
- Bahía H-805: Línea CNB-MOR-JBNRT



**Figura 5.4. Bahías H-705 y H-805 de la Subestación Cerro Negro y Zonas de protección**

Para realizar los cálculos correspondientes de cada zona de protección, también se calcularon los siguientes parámetros necesarios en las protecciones de distancia:

- **Cálculo del SIR:** Para determinar la clasificación de las líneas de transmisión de la División Carabobo, se debe calcular la longitud eléctrica de la línea. Este cálculo es esencial para elegir un correcto esquema de teleprotección que se adapte a la clasificación de esta.

Esta clasificación se calculó con la ecuación 2.1 usando los datos de la tabla 5.1 para determinar la impedancia de fuente a 30 ciclos.

**Tabla 5.1. Datos para el cálculo del SIR**

<b>MVAbase</b>	100
<b>Kvbase</b>	115
<b>kAcc 30C Fuente</b>	5.505

**Tabla 5.2. Clasificación del SIR de las líneas de transmisión de la División Cerro Negro**

<b>Línea</b>	<b>SIR</b>	<b>Clasificación</b>
<b>Palital-Cerro Negro1</b>	0.68	Media
<b>Palital-Cerro Negro2</b>	0.68	Media

<b>CerroNegro-Morichal</b>	1.03	Media
<b>CerroNegro- Petromonagas</b>	1.48	Media
<b>Petromonagas-Morichal</b>	0.66	Media
<b>Morichal-TembladorPDVSA B</b>	0.68	Media
<b>Morichal-JoboNorte</b>	1.19	Media
<b>JoboNorte-TembladorPDVSA A</b>	1.62	Media
<b>TembladorPDVSA B-Temblador A</b>	144	Corta

- **Cálculo de la relación de transformación:** Para ingresar los ajustes de las zonas a calcular de cada relé L90 que protege a las líneas de Cerro Negro, estos ajustes deben ser ingresados en ohmios secundarios, para esto es necesario conocer los datos y relación de transformación de los transformadores de medida de las Bahías H-705 y H-805 de dicha subestación.

**Tabla 5.3. Datos de los transformadores de medición de la Bahía**

<b>TC</b>		<b>TP</b>	
<b>I Primaria</b>	600	<b>V Primario</b>	115000
<b>I Secundaria</b>	1	<b>V Secundario</b>	115

Obteniendo mediante las ecuaciones 5.11 y 5.12 la relación de transformación de los equipos de medición.

$$RTC = \frac{600}{1} = 600 \quad (0.21)$$

$$RTP = \frac{115000}{115} = 1000 \quad (0.12)$$

Una vez obtenida la clasificación SIR de las líneas de transmisión, se utilizará las siguientes características de los reles L90:

**Tabla 5.4. Característica de protección de distancia de los relés L90**

<b>Bahía</b>	<b>Relé</b>	<b>Característica</b>	
		<b>Fase (21)</b>	<b>Tierra (21N)</b>

<b>H-705 Cerro Negro -Petromonagas</b>	L90	Mho	Cuadrilateral
<b>H-805 Cerro Negro - Morichal</b>	L90	Mho	Cuadrilateral

### 5.2.2. Ajuste de la protección de distancia de la línea Cerro Negro-Petromonagas

En este apartado se detallaron los cálculos de los de los ajustes realizados para el Relé L90 de la línea Cerro Negro A-Petromonagas asociado a la bahía H-705 de la subestación Cerro Negro. En la tabla 5.5 se muestran las impedancias de líneas que fueron consideradas para estos cálculos.

**Tabla 5.5. Impedancias de Líneas para el ajuste del relé asociado a la bahía H-705**

Línea	R+ OHM	X+ OHM	R0 OHM	X0 OHM
<b>CerroNegro- Petromonagas</b>	1,9998	7,8804	7,8391	214,1865
<b>Petromonagas-Morichal</b>	4,4844	17,6712	17,5787	480,297
<b>Morichal-JoboNorte</b>	2,4026	9,8386	5,952	29,76

#### 5.2.2.1. Ajuste de Zona 1 Protección de distancia (21)

Siguiendo los criterios para el cálculo de zona 1 se usa la ecuación 5.1. donde se toma el 80% de la línea a proteger.

$$Zona\ 1 = 80\% * Z_{Línea\ CN\ B-PTRMNGS}$$

Expresando la parte resistiva y reactiva de la la impedancia de la línea Cerro Negro B – Petromonagas, se tiene:

$$Z_{Línea\ CN\ B-PTRMNGS} = R_{Línea\ CN\ B-ptrmngs} + jX_{Línea\ CN\ B-ptrmngs}$$

$$R_{zona\ 1} = 80\% * R_{Línea\ -CN\ B-Ptrmngs}$$

$$R_{zona1} = 1,1 * 80\% * 1,99 = 1,75\ \Omega/\text{primarios.}$$

Se aplica la Ecuación 5.4 para el alcance reactivo.

$$X_{zona1} = 1,1 * 80\% * X_{Línea\ CN\ B-Ptrmngs}$$

$$X_{zona1} = 1,1 * 80\% * 7,88 = 7,155 \Omega/\text{primarios}.$$

Se calculó los valores secundarios de la impedancia de Zona 1 multiplicando los valores obtenidos por la relación de transformación que se expresa en la tabla 5.3.

$$X_{zona1_{sec}} = 7,155 * \left( \frac{600/1}{115000/115} \right)$$

$$X_{zona1} = 4,292 \Omega/\text{secundarios}.$$

$$R_{zona1_{sec}} = 1,759 * \left( \frac{600/1}{115000/115} \right)$$

$$R_{zona1} = 1,055/\text{secundarios}.$$

Teniendo como el ajuste de impedancia calculado para zona 1.

$$Zona 1 = 1,055 + 4,292j \Omega/\text{secundarios}.$$

$$Zona 1 = 4,420 \angle 76,181^\circ \Omega/\text{secundarios}.$$

#### 5.2.2.2. Ajuste de Zona 2 Protección de distancia (21)

Según lo establecido en los criterios de Zona 2, esta protege el 100% de la impedancia de línea más el 50% de la impedancia de la línea adyacente protegiendo así el 100% de la Línea Cerro Negro B-Petromonagas más el 50% de la línea Petromonagas-Morichal.

$$Zona 2 = Z_{CN B-PTRMONGS} + 50\% * Z_{PTRMNGS-MORICHAL}$$

El cálculo reactivo y resistivo de Zona 2 se realizaron con las ecuaciones 5.6 y 5.7.

$$R_{zona 2} = 1,1 * R_{CN B-PTRMONGS} * 50\% * R_{PTRMNGS-MORICHAL}$$

$$X_{zona\ 2} = 1,1 * X_{CN\ B-PTRMONGS} + 50\% * X_{PTRMNGS-MORICAL}$$

Al sustituir los valores de la tabla 5.5 en la ecuación 5.7. Se tiene:

$$X_{zona\ 2} = 1,1 * 7,880 + 50\% * 17,671$$

$$X_{zona\ 2} = 18,388 \Omega/\text{primarios.}$$

$$R_{zona\ 2} = 1,1 * 1,999 * 50\% * 4,484$$

$$R_{zona\ 2} = 4,666 \Omega/\text{primarios.}$$

Para calcular los valores secundarios de la impedancia de Zona 2 se multiplica la impedancia por la relación de transformación de los transformadores de medición.

$$X_{zona2_{sec}} = 18,388 * \left( \frac{600/1}{115000/115} \right)$$

$$X_{zona2_{sec}} = 11,382 \Omega/\text{secundarios.}$$

$$R_{zona2_{sec}} = 4,666 * \left( \frac{600/1}{115000/115} \right)$$

$$R_{zona2_{sec}} = 2,799 \Omega/\text{secundarios.}$$

Obteniendo el ajuste de impedancia para zona 2 de la siguiente manera.

$$Z_{zona2} = 2,799 + 11,382j \Omega/\text{secundarios.}$$

$$Z_{zona2} = 11,382 \angle 75,760^\circ \Omega/\text{secundarios.}$$

### 5.2.2.3. Ajuste de Zona 3 Protección de distancia (21)

Siguiendo los criterios para el cálculo de Zona 3 se realiza la sumatoria de impedancias del 100% de la Línea Cerro Negro B-Petromonagas más el 100% de

Petromonagas-Morichal más 50% Morichal Jobo Norte, considerando un efecto INFEED en el cálculo en el ajuste de Zona 3.

$$Z_{\text{Zona 3}} = Z_{CNB-PTRMNGS} + Z_{PTRMNGS-MOR} + 50\% * Z_{MOR-JBNRT} (1 + K_1)$$

Descomponiendo la impedancia en sus componentes resistivos y reactivos tenemos las ecuaciones 5.9 y 5.10 respectivamente.

$$R_{\text{Zona 3}} = 1,1 * R_{CNB-PTRMNGS} + R_{PTRMNGS-MOR} + 50\% * R_{MOR-JBNRT} * (1 + K_1)$$

$$X_{\text{Zona 3}} = 1,1 * X_{CNB-PTRMNGS} + X_{PTRMNGS-MOR} + 50\% * X_{MOR-JBNRT} * (1 + K_1)$$

Para determinar el aporte de Corrientes INFEED se usaron los datos que se muestran en la tabla 5.6 donde muestra la corriente total en el punto de falla y la que mide el relé.

**Tabla 5.6. Datos para el cálculo de corrientes INFEED que inciden en Zona3**

Zona 3	MAG (kA)	ANG	Real	Imag	FASOR
I Total	2,637	-76,8	602,161	-2567,328	602,1612-2567,3275j
I Relé	808	-78,93	155,142	-792,965	155,1425-792,9658j

Se calcula la corriente total INFEED con la ecuación 5.13.

$$I_{\text{total infeed}} = I_{\text{total}} - I_{\text{relé}} \quad (5.13)$$

$$I_{\text{total infeed}} = [602,161 - 2567,328j] - [155,1425 - 792,9658j]$$

$$I_{\text{total infeed}} = 447,0186 - 1774,3617j$$

$$I_{\text{total infeed}} = \sqrt{1774,3617^2 + 447,0186^2} = 1829,804$$

Para K1 INFEED se tiene la ecuación 5.14.

$$K_1 = \frac{I_{total\ infeed}}{I_{relé}} \quad (5.14)$$

$$K_1 = \frac{1829,804}{808} = 2,26$$

Teniendo el cálculo del efecto INFEED K1 en Zona 3, se realiza el cálculo resistivo y reactivo de dicha Zona considerando el aporte INFEED calculado.

$$R_{zona\ 3} = 1,1 * R_{CNB-PTRMNGS} + R_{PTRMNGS-MOR} + 50\% * R_{MOR-JBNRT} * (1 + K_1)$$

$$R_{zona\ 3} = 1,1 * 1,9998 + 4,4844 + 50\% * 2,4026 * (1 + 2,26)$$

$$R_{zona\ 3} = 11,446$$

$$X_{zona\ 3} = 1,1 * X_{CNB-PTRMNGS} + X_{PTRMNGS-MOR} + 50\% * X_{MOR-JBNRT} * (1 + K_1)$$

$$X_{zona\ 3} = 1,1 * 7,8804 + 17,6712 + 50\% * 9,8386 * (1 + 2,26)$$

$$X_{zona\ 3} = 45,772$$

Llevados a valores secundarios se obtiene los ajustes del relé para la zona 3

$$X_{zona3_{sec}} = 45,772 * \left( \frac{600/1}{115000/115} \right)$$

$$X_{zona3} = 27,463 \Omega/\text{secundarios.}$$

$$R_{zona3_{sec}} = 11,446 * \left( \frac{600/1}{115000/115} \right)$$

$$R_{zona3} = 6,867 \Omega/\text{secundarios}$$

Por consecuente Zona 3 tiene un alcance de:

$$Zona\ 3 = 6,867 + 27,463j \Omega/\text{secundarios}$$

$$Zona\ 3 = 28,309 \angle 75,959^\circ \Omega/\text{secundarios}$$

#### 5.2.2.4. Ajuste de protección de distancia a tierra (21N)

Ante fallas monofásicas de alta impedancia se considera una resistencia de falla de  $R_f = 15\Omega$  como medida conservadora para realizar los cálculos y se aplica un factor de compensación residual ( $K0$ ).

$$K0 = \frac{Z0 - Z1}{3 * Z1}$$

$$K0 = \frac{[7,839 + 21,418j] - [1,999 + 7,880j]}{3 * [1,999 + 7,880j]}$$

$$K0 = 0,604 \angle -3,229^\circ$$

#### 5.2.2.5. Ajuste de Zona 1 Fase (21N)

Siguiendo lo expresado en los criterios para calcular los ajustes de zona 1 aplicamos la ecuación 5.1. Para dimensionar Zona 1 de protección de distancia a tierra (21N), considerando a su vez un factor de seguridad del 110% para contar con un alcance más amplio ante fallas de alta resistencia obteniendo la siguiente expresión.

$$Zona\ 1 = 1,1 * 80\% * Z_{Línea\ CN\ B-PTRMNGS}$$

Para proceder al cálculo de Zona 1 expresamos la impedancia de la línea a proteger con sus componentes real e imaginaria, teniendo:

$$Z_{Línea\ CN\ B-PTRMNGS} = R_{Línea\ CN\ B-PTRMNGS} + jX_{Línea\ CN\ B-PTRMNGS}$$

Para el alcance resistivo en Zona 1 se usa la ecuación 5.3. Considerando una impedancia de falla  $R_f = 15 \Omega$ .

$$R_{zona1} = 1,1 * 80\% * R_{Linea\ CN\ B-PTRMNGS} + R_{falla}$$

Al sustituir los valores tenemos

$$R_{zona1} = 1,1 * 80\% * 1,99 + 15 = 18,259 \Omega/\text{primarios.}$$

Para el alcance reactivo el cálculo del ajuste se expresa.

$$X_{zona1} = 1,1 * 80\% * X_{Linea\ CN\ B-Ptrmngs}$$

Sustituyendo, tenemos.

$$X_{zona1} = 1,1 * 80\% * 7,88 = 7,155 \Omega/\text{primarios.}$$

Teniendo el alcance resistivo y reactivo, estos se expresan a valores secundarios usando la relación de transformación para obtener el ajuste de zona 1.

$$X_{zona1_{sec}} = 7,155 * \left( \frac{600/1}{115000/115} \right)$$

$$X_{zona1} = 4,292 \Omega/\text{secundarios.}$$

$$R_{zona1_{sec}} = 18,259 * \left( \frac{600/1}{115000/115} \right)$$

$$R_{zona1} = 10,955/\text{secundarios.}$$

Teniendo como ajuste de Zona 1 de tierra.

$$Zona\ 1 = 10,955 + 4,292j \Omega/\text{secundarios.}$$

$$Zona\ 1 = 11,766 \angle 21,39^\circ \Omega/\text{secundarios.}$$

### 5.2.2.6. Ajuste de Zona 2 Fase (21N)

Para Zona 2 se estableció como línea adyacente Petromonagas-Morichal

$$Z_{\text{zona 2}} = 1,1 * Z_{CN B-PTRMONGS} + 50\% * Z_{PTRMNGS-MORICHAL}$$

Para establecer el alcance resistivo y reactivo se usan las ecuaciones 5.6 y 5.7.

$$R_{\text{zona 2}} = 1,1 * R_{CN B-PTRMONGS} * 50\% * R_{PTRMNGS-MORICHAL} + R_{\text{falla}}$$

$$X_{\text{zona 2}} = 1,1 * X_{CN B-PTRMONGS} + 50\% * X_{PTRMNGS-MORICHAL}$$

Sustituyendo valores, se tiene:

$$X_{\text{zona 2}} = 1,1 * 7,880 + 50\% * 17,671$$

$$X_{\text{zona 2}} = 18,388 \Omega/\text{primarios.}$$

$$R_{\text{zona 2}} = 1,1 * 1,999 * 50\% * 4,484 + 15$$

$$R_{\text{zona 2}} = 21,166 \Omega/\text{primarios.}$$

Llevamos los cálculos obtenidos a valores secundarios y obtenemos el ajuste en zona 2.

$$X_{\text{zona2}_{\text{sec}}} = 18,388 * \left( \frac{600/1}{115000/115} \right)$$

$$X_{\text{zona2}_{\text{sec}}} = 11,032 \Omega/\text{secundarios.}$$

$$R_{\text{zona2}_{\text{sec}}} = 21,166 * \left( \frac{600/1}{115000/115} \right)$$

$$R_{\text{zona2}_{\text{sec}}} = 12,699 \Omega/\text{secundarios.}$$

Obteniendo el ajuste de zona 2 expresado en impedancia.

$$Z_{\text{zona2}} = 12,699 + 11,382j \Omega/\text{secundarios.}$$

$$Z_{\text{zona2}} = 16,822 \angle 40,981^\circ \Omega/\text{secundarios.}$$

### 5.2.2.7. Ajuste de Zona 3 Fase (21N)

Zona 3 debe ser capaz de detectar fallas en Zona 1 y Zona 2 es decir su alcance debe cubrir el 100% de la impedancia de línea a proteger más el 100% de la línea adyacente y el 50% de la línea adyacente de menor impedancia, según lo establecido en los criterios de zona 3, considerando el efecto INFEED en los cálculos, Zona 3 protegerá el 50% de la línea MORICHAL-JOBONORTE.

$$Zona\ 3 = Z_{CNB-PTRMNGS} + Z_{PTRMNGS-MOR} + 50\% * Z_{MOR-JBNRT} * (1 + K_1)$$

Para calcular el ajuste de Zona 3 se usa el componente resistivo y reactivo de la ecuación 5.8.

$$R_{zona\ 3} = 1,1 * R_{CNB-PTRMNGS} + R_{PTRMNGS-MOR} + 50\% * R_{MOR-JBNRT} * (1 + K_1) + R_{falla} * (1 + K_1)$$

$$X_{zona\ 3} = 1,1 * X_{CNB-PTRMNGS} + X_{PTRMNGS-MOR} + 50\% * X_{MOR-JBNRT} * (1 + K_1)$$

Para determinar el efecto INFEED que se presenta en Zona 3 se usan las corrientes que se muestran en la tabla 5.7.

**Tabla 5.7. Datos para el cálculo de corriente INFEED Zona 3**

Zona 3	MAG (kA)	ANG	Real	Imag	FASOR
I Total	1,760	-53,43	1048,616	-1413,508	1048,615-1413,508j
I Relé	545	-54,51	316,405	-443,748	316,405-443,748j

Para calcular el efecto INFEED en la línea Morichal-Jobo Norte se usa la ecuación 5.13 sustituyendo los datos de la tabla 5.7.

$$I_{total\ infeed} = [1048,616 - 1413,508j] - [316,405 - 443,748j]$$

$$I_{total\ infeed} = 732,210 - 969,759j$$

$$I_{total\ infeed} = \sqrt{969,759^2 + 732,210^2} = 1215,140$$

Para el cálculo de la constante INFEED K1 se usa la ecuación 5.14, sustituyendo valores, obtenemos esta expresión:

$$K_1 = \frac{1215,140}{545} = 2,23$$

Al sustituir los valores para el cálculo resistivo y reactivo de Zona 3 se tiene:

$$R_{zona\ 3} = 1,1 * R_{CNB-PTRMNGS} + R_{PTRMNGS-MOR} + 50\% * R_{MOR-JBNRT} + (1 + K_1) \\ + R_{falla} * (1 + K_1)$$

$$R_{zona\ 3} = 1,1 * 1,9998 + 4,4844 + 50\% * 2,402624 * (1 + 2,23) + 15 * (1 + 2,23)$$

$$R_{zona\ 3} = 64,689$$

$$X_{zona\ 3} = 1,1 * X_{CNB-PTRMNGS} + X_{PTRMNGS-MOR} + 50\% * X_{MOR-JBNRT} + (1 + K_1)$$

$$X_{zona\ 3} = 1,1 * 7,8804 + 17,6712 + 50\% * 9,8386 + (1 + 2,26)$$

$$X_{zona\ 3} = 45,583$$

Para obtener el ajuste de zona 3 transformamos a valores secundarios lo antes calculado.

$$X_{zona3\ sec} = 45,583 * \left( \frac{600/1}{115000/115} \right)$$

$$X_{zona3} = 27,3498 \Omega/\text{secundarios.}$$

$$R_{zona3\ sec} = 64,689 * \left( \frac{600/1}{115000/115} \right)$$

$$R_{zona3} = 38,813 \Omega/\text{secundarios}$$

El ajuste de la impedancia de Zona 3 queda:

$$Zona\ 3 = 38,813 + 27,3498j\ \Omega/\text{secundarios.}$$

$$Zona\ 3 = 47,481 \angle 35,170^\circ\ \Omega/\text{secundarios.}$$

### 5.2.3. Ajuste de la protección de distancia de la línea Cerro Negro-Morichal

Los cálculos que se realizaron para determinar el alcance de las zonas de protección de la Línea Cerro Negro – Morichal de la Bahía H-805 se detallan a continuación, para esto es requerido contar con los detalles de secuencia positiva y secuencia cero de la línea en estudio, las líneas adyacentes se detallan en la tabla 5.8.

**Tabla 5.8. Impedancias de Líneas para el ajuste del relé asociado a la bahía H-805**

Línea	R+ OHM	X+ OHM	R0 OHM	X0 OHM
<b>Cerro Negro – Morichal</b>	3,461	11,113	11,021	32,477
<b>Morichal - Jobo Norte</b>	2,402	9,8386	5,952	29,76
<b>Jobo Norte-Temblador PDVSA A</b>	1,763	7,220	4,368	21,84

#### 5.2.3.1. Ajuste de Zona 1 Protección de distancia (21)

Siguiendo el criterio de protección de Zona 1, esta debe cubrir 80% de la impedancia total de la línea y aplicando un factor de seguridad de 110% para tener un mayor alcance en la protección y aumentar la selectividad en esta, obteniendo la siguiente expresión:

$$Zona\ 1 = 1,1 * 80\% * Z_{Línea\ CN\ A-MOR}$$

Descomponiendo la impedancia a resistencia y reactancia, tenemos

$$Z_{Línea\ CN\ B-PTRMNGS} = R_{Línea\ CN\ A-MOR} + jX_{Línea\ CN\ A-MOR}$$

$$R_{zona\ 1} = 1,1 * 80\% * R_{Línea\ -CN\ A-MOR}$$

$$X_{zona1} = 1,1 * 80\% * X_{Linea\ CN\ A-MOR}$$

Sustituyendo esta ecuación con los valores de resistencia y reactancia de la línea a proteger:

$$R_{zona1} = 1,1 * 80\% * 5,229 = 3,046 \ \Omega/\text{primarios.}$$

$$X_{zona1} = 1,1 * 80\% * 16,787 = 10,243 \ \Omega/\text{primarios.}$$

Llevamos los cálculos obtenidos a valores secundarios y obtenemos el ajuste en zona 1.

$$X_{zona1sec} = 10,243 * \left( \frac{600/1}{115000/115} \right)$$

$$X_{zona1} = 6,145 \ \Omega/\text{secundarios.}$$

$$R_{zona1sec} = 3,046 * \left( \frac{600/1}{115000/115} \right)$$

$$R_{zona1} = 5,712 \ \Omega/\text{secundarios.}$$

Obteniendo como Ajuste de Zona 1 del relé L90 de la bahía H-805:

$$Zona\ 1 = 1,827 + 6,145j \ \Omega/\text{secundarios.}$$

$$Zona\ 1 = 6,411 \angle 73,438^\circ \ \Omega/\text{secundarios.}$$

### 5.2.3.2. Ajuste de Zona 2 Protección de distancia (21)

Para el cálculo de Zona 2 se determinó como línea adyacente de menor impedancia la línea Morichal-Jobo Norte debido a los aportes de corrientes INFEED, se realiza el cálculo correspondiente de este aporte. Expresando la ecuación 5.5.

$$Zona\ 2 = Z_{CN\ A-MOR} + 50\% * Z_{MOR-JBNRT} * (1 + K)$$

Zona 2 tiene un aporte INFEED el cual es calculado con las corrientes expresadas en la tabla 5.9.

**Tabla 5.9. Datos para el cálculo de corriente INFEED Zona 2**

Zona 2	MAG (kA)	ANG	Real	Imag	FASOR
I Total	2,637	-76,8	602,161	-2567,328	602,161-2567.327j
I Relé	1,830	-75,87	446,744	-1774,632	446,744-1774.632j

Sustituyendo esto datos en ecuación 5.14 se tiene:

$$I_{total\ infeed} = I_{total} - I_{relé}$$

$$I_{total\ infeed} = [602,161 - 2567,328j] - [446,744 - 1774,632j]$$

$$I_{total\ infeed} = 155,4165 - 792,695j$$

$$I_{total\ infeed} = \sqrt{792,695^2 + 155,4165^2} = 807,787$$

Para K1 INFEED se sustituye los valores para la ecuación 5.14.

$$K_1 = \frac{807,787}{1,830} = 0,44$$

El alcance reactivo y resistivo de Zona 2 se calcula con las ecuaciones 5.6 y 5.7.

$$R_{zona\ 2} = 1,1 * R_{CNA-MOR} * 50\% * R_{MOR-JBNRT} * (1 + K_1)$$

$$X_{zona\ 2} = 1,1 * X_{CNA-MOR} + 50\% * X_{MOR-JBNRT} * (1 + K_1)$$

Sustituyendo, se obtiene la siguiente expresión:

$$X_{zona\ 2} = 1,1 * 11,113 + 50\% * 9,838 * (1 + 0,44)$$

$$X_{zona\ 2} = 20,024\ \Omega/primarios.$$

$$R_{zona\ 2} = 1,1 * 3,461 * 50\% * 2,402 * (1 + 0,44)$$

$$R_{zona\ 2} = 5,712\ \Omega/primarios.$$

Expresando los componentes resistivos y reactivos en Valores secundarios:

$$X_{zona2_{sec}} = 20,024 * \left( \frac{600/1}{115000/115} \right)$$

$$X_{zona2} = 12,014 \Omega/\text{secundarios.}$$

$$R_{zona2_{sec}} = 5,712 * \left( \frac{600/1}{115000/115} \right)$$

$$R_{zona2} = 3,427 \Omega/\text{secundarios}$$

Teniendo así el ajuste de impedancia en Zona 2.

$$Z_{zona2} = 3,427 + 12,014j \Omega/\text{secundarios.}$$

$$Z_{zona2} = 12,493 \angle 74,077^\circ \Omega/\text{secundarios.}$$

### 5.2.3.3. Ajuste de Zona 3 Protección de distancia (21)

Siguiendo los criterios para el cálculo de Zona 3 y considerando la línea Jobo Norte – Temblador como línea adyacente se realiza el cálculo, tomando en cuenta el efecto de fuentes intermedias (INFEED) en el ajuste de impedancia de Zona 3 se obtiene la siguiente expresión:

$$Zona\ 3 = Z_{CNA-MOR} + Z_{MOR-JBNRT} + 50\% * Z_{JBNRT-TMBLDR} (1 + K_1)$$

Descomponiendo la impedancia en sus componentes resistivos y reactivos expresamos las ecuaciones 5.9 y 5.10.

$$R_{zona\ 3} = 1,1 * R_{CNA-MOR} + R_{MOR-JBNRT} + 50\% * R_{JBNRT-TMBLDR} * (1 + K_1)$$

$$X_{zona\ 3} = 1,1 * X_{CNA-MOR} + X_{MOR-JBNRT} + 50\% * X_{JBNRT-TMBLDR} * (1 + K_1)$$

Para determinar el aporte de Corrientes INFEED se usaron los datos que se muestran en la tabla 5.10 para realizar el cálculo.

**Tabla 5.10. Datos para el cálculo de la corriente INFEED para Zona 3**

Zona 3	MAG (kA)	ANG	Real	Imag	FASOR
I Total	1,957	-76,67	451,204	-1904,275	451,204-1904,275j
I Relé	1,358	-75,73	334,735	-1316,098	334,735-1316,098j

Para obtener la corriente infeed total se usa la ecuacion 5.13.

$$I_{total\ infeed} = [451,204 - 334,735j] - [334,735 - 1316,098j]$$

$$I_{total\ infeed} = 116,468 - 588,176j$$

$$I_{total\ infeed} = \sqrt{588,176^2 + 116,468^2} = 599,596$$

Para K1 INFEED se sustituye los valores para la ecuación 5.14.

$$K_1 = \frac{599,596}{1358} = 0,44$$

Una vez realizado el cálculo del efecto INFEED K1 en Zona 3, se realiza el cálculo resistivo y reactivo de dicha Zona, considerando también el aporte INFEED calculado anteriormente.

$$Zona\ 3 = Z_{CNA-MOR} + Z_{MOR-JBNRT} + 50\% * Z_{JBNRT-TMBLDR} * (1 + K_1)$$

$$R_{zona\ 3} = 1,1 * R_{CNA-MOR} + R_{MOR-JBNRT} + 50\% * R_{JBNRT-TMBLDR} * (1 + K_1)$$

$$R_{zona\ 3} = 1,1 * 3,461 + 2,402 + 1,763 + 50\% * 1,763 * (1 + 0,44)$$

$$R_{zona\ 3} = 8,59$$

$$X_{zona\ 3} = 1,1 * X_{CNA-MOR} + X_{MOR-JBNRT} + 50\% * X_{JBNRT-TMBLDR} * (1 + K_1)$$

$$X_{zona\ 3} = 1,1 * 11,113 + 9,838 + 50\% * 7,220 * (1 + 0,44)$$

$$X_{zona\ 3} = 31,80$$

Expresando los componentes resistivos y reactivos en Valores secundarios:

$$X_{zona3_{sec}} = 31,80 * \left( \frac{600/1}{115000/115} \right)$$

$$X_{zona3} = 19,077 \Omega/\text{secundarios.}$$

$$R_{zona3_{sec}} = 8,59 * \left( \frac{600/1}{115000/115} \right)$$

$$R_{zona3} = 5,152 \Omega/\text{secundarios}$$

Por consecuente Zona 3 tiene un alcance de:

$$Zona 3 = 5,152 + 19,077j \Omega/\text{secundarios,}$$

$$Zona 3 = 19,761 \angle 74,886^\circ \Omega/\text{secundarios}$$

#### 5.2.3.4. Ajuste de protección de distancia de tierra (21N)

Considerando un factor de compensación  $K_0$  y tomando el valor de una resistencia de falla  $R_F = 15 \text{ ohm}$  se ponen en práctica los criterios para obtener el alcance de las Zonas de protección.

$$K_0 = \frac{Z_0 - Z_1}{3 * Z_1}$$

$$K_0 = \frac{[11,0215 + 32,477j] - [3,461 + 11,113j]}{3 * [11,0215 + 32,477j]}$$

$$K_0 = 0,648 \angle -0,741^\circ$$

### 5.2.3.5. Ajuste de Zona 1 Tierra (21N)

Se aplican los criterios para Zona 1 y se usa un factor de seguridad de 110% para mayor alcance de la protección

$$Zona\ 1 = 1,1 * 80\% * Z_{Linea\ CN\ A-MOR}$$

Impedancia expresada en valores resistivos y reactivos

$$Z_{Linea\ CN\ A-MOR} = R_{Linea\ CN\ A-MOR} + jX_{Linea\ CN\ A-MOR}$$

$$R_{zona\ 1} = 1,1 * 80\% * R_{Linea\ -CN\ A-MOR} + R_{falla}$$

$$X_{zona1} = 1,1 * 80\% * X_{Linea\ CN\ A-MOR}$$

Al sustituir se tiene lo siguiente:

$$R_{zona1} = 1,1 * 80\% * 3,461 + 15 = 19,546\ \Omega/\text{primarios}$$

$$X_{zona1} = 1,1 * 80\% * 11,113 = 19,243\ \Omega/\text{primarios}$$

Expresando lo calculado en valores secundarios:

$$X_{zona1_{sec}} = 19,243 * \left( \frac{600/1}{115000/115} \right)$$

$$X_{zona1} = 6,145\ \Omega/\text{secundarios.}$$

$$R_{zona1_{sec}} = 19,546 * \left( \frac{600/1}{115000/115} \right)$$

$$R_{zona1} = 11,727\ \Omega/\text{secundarios}$$

Obteniendo como Ajuste de Zona 1 de tierra del relé L90 asociado a la bahía H-805

$$Zona\ 1 = 11,727 + 6,145j\ \Omega/\text{secundarios.}$$

$$Zona\ 1 = 13,240 \angle 27,656^\circ \Omega/\text{secundarios}$$

### 5.2.3.6. Ajuste de Zona 2 Tierra (21N)

Zona 2 protege la línea Morichal-Jobo Norte, esta presenta incidencia del efecto INFEED en esta zona, su cálculo es expresado por medio la ecuación 5.5.

$$Zona\ 2 = Z_{CN\ A-MOR} + 50\% * Z_{MOR-JBNRT} * (1 + K_1)$$

Para calcular la corriente INFEED son usados los datos de la tabla 5.11.

**Tabla 5.11. Datos para el cálculo de corriente INFEED para Zona 2 de 21N**

Zona 3	MAG (kA)	ANG	Real	Imag	FASOR
I Total	1,293	-60,12	644,153	-1121,122	644,153-1121,122j
I Relé	893	-59,64	451,350	-770,539	451,350-770,539j

Sustituyendo en la ecuación 5.13:

$$I_{total\ infeed} = I_{total} - I_{relé}$$

$$I_{total\ infeed} = [644,153 - 1121,122j] - [451,350 - 770,539j]$$

$$I_{total\ infeed} = 316,394 - 443,932j$$

$$I_{total\ infeed} = \sqrt{443,932^2 + 316,394^2} = 545,143$$

Para K1 INFEED se sustituye los valores para la ecuación 5.14.

$$K_1 = \frac{545,143}{893} = 0,45$$

Para calcular el alcance resistivo y reactivo

$$Zona\ 2 = Z_{CN\ A-MOR} + 50\% * Z_{MOR-JBNRT} * (1 + K_1)$$

$$R_{zona\ 2} = 1,1 * R_{CN\ A-MOR} * 50\% * R_{MOR-JBNRT} + R_{falla} * (1 + K_1)$$

$$X_{zona\ 2} = 1,1 * X_{CN\ A-MOR} + 50\% * X_{MOR-JBNRT} * (1 + K_1)$$

Sustituyendo se obtiene la expresión

$$R_{zona\ 2} = 1,1 * 3,461 * 50\% * 2,40 + 15 * (1 + 0,45)$$

$$R_{zona\ 2} = 29,625 \Omega / \text{primarios.}$$

$$X_{zona\ 2} = 1,1 * 11,113 + 50\% * 9,838 * (1 + 0,45)$$

$$X_{zona\ 2} = 20,064 \Omega / \text{primarios.}$$

Llevado a valores secundarios, se tiene

$$X_{zona2_{sec}} = 20,064 * \left( \frac{600/1}{115000/115} \right)$$

$$X_{zona2_{sec}} = 12,038 \Omega / \text{secundarios.}$$

$$R_{zona2_{sec}} = 29,625 * \left( \frac{600/1}{115000/115} \right)$$

$$R_{zona2_{sec}} = 17,775 \Omega / \text{secundarios}$$

Calculado así la el ajuste de Zona 2 de tierra de la Bahía H-805

$$Z_{zona2} = 17,775 + 12,625j \Omega / \text{secundarios.}$$

$$Z_{zona2} = 21,467 \angle 34,107^\circ \Omega / \text{secundarios.}$$

### 5.2.3.7. Ajuste de Zona 3 Tierra (21N)

Para la Zona 3 esta debe cumplir con lo establecido en el criterio y abarcar el 100% de la línea a proteger más el 100% adyacente a esta más el 50% de la línea adyacente de menor impedancia, siendo así la línea Jobo Norte- Temblador la establecida para la protección de zona 3, en esta se presenta incidencia del efecto INFEED, los datos de las corrientes para su cálculo son mostrados en la tabla 5.12, y a su vez el cálculo es expresado por la ecuación 5.8.

$$Zona\ 3 = Z_{CNA-MOR} + Z_{MOR-JBNRT} + 50\% * Z_{JBNRT-TMBLDR} * (1 + K_1)$$

**Tabla 5.12. Datos para el cálculo de las corrientes INFEED de Zona 3 de 21N**

Zona 3	MAG (kA)	ANG	Real	Imag	FASOR
I Total	1,293	-60,12	644,153	-1121,122	644,153-1121,122j
I Relé	893	-59,64	451,350	-770,539	451,350-770,539j

Sustituyendo estos datos en la ecuación 5.13.

$$I_{total\ infeed} = [644,153 - 1121,122j] - [451,350 - 770,539j]$$

$$I_{total\ infeed} = 192,803 - 350,582j$$

$$I_{total\ infeed} = \sqrt{350,582^2 + 192,803^2} = 400,101$$

Para K1 INFEED se sustituye los valores para la ecuación 5.14.

$$K_1 = \frac{400,101}{545893} = 0,45$$

Expresando la impedancia en valores resistivos y reactivos

$$R_{zona\ 3} = 1,1 * R_{CNA-MOR} + R_{MOR-JBNRT} + 50\% * R_{JBNRT-TMBLDR} + R_{falla} * (1 + K_1)$$

$$X_{zona\ 3} = 1,1 * X_{CNA-MOR} + X_{MOR-JBNRT} + 50\% * X_{JBNRT-TMBLDR} * (1 + K_1)$$

Al sustituir:

$$R_{zona\ 3} = 1,1 * 3,461 + 2,40 + 50\% * 1,763 + 15 * (1 + 0,45)$$

$$X_{zona\ 3} = 1,1 * 11,113 + 9,838 + 50\% * 7,220 * (1 + 0,45)$$

$$R_{zona3} = 25,104 \Omega / \text{primarios}$$

$$X_{zona3} = 31,867 \Omega / \text{primarios}$$

Expresando lo calculado en valores secundarios se tiene:

$$X_{zona3_{sec}} = 31,867 * \left( \frac{600/1}{115000/115} \right)$$

$$X_{zona3_{sec}} = 19,120 \Omega / \text{secundarios.}$$

$$R_{zona3_{sec}} = 25,104 * \left( \frac{600/1}{115000/115} \right)$$

$$R_{zona3_{sec}} = 15,062 \Omega / \text{secundarios}$$

Teniendo así el alcance reactivo y resistivo de Zona 3

$$Z_{zona2} = 15,062 + 19,120j \Omega / \text{secundarios.}$$

$$Z_{zona2} = 24,340 \angle 51,769^\circ \Omega / \text{secundarios.}$$

### 5.3. Resumen de los ajustes calculados de las protecciones de distancia (21/21N)

Los ajustes y tiempos de disparo de los relés Multilin L90 de la subestación Cerro Negro en las bahías H-705 y H-805 se desglosan en las siguientes tablas:

- **Ajustes del relé Multilin L90 de la bahía H-705:**

**Tabla 5.13. Zonas de protección de fase (21), línea Cerro Negro - Petromonagas**

EXTREMO	TIPO	ZONA	FASE 21N		TIEMPO	K0
			R [ $\Omega$ /SEC]	X [ $\Omega$ /SEC]		
Cerro Negro-Petromonagas H-705	Mho	Z1	1.056	4.293	t1= instantáneo	0,604∠-3,229°
		Z2	2.800	11.033	t2= 500 ms	
		Z3	6.868	27.463	t3= 1000 ms	

**Tabla 5.14. Zonas de protección de tierra (21N), línea Cerro Negro - Petromonagas**

EXTREMO	TIPO	ZONA	FASE 21N		TIEMPO	K0
			R [ $\Omega$ /SEC]	X [ $\Omega$ /SEC]		
Cerro Negro - Petromonagas H-705	Cuadrilateral	Z1	10.956	4.293	t1= instantáneo	0,604 $\angle$ - 3,229°
		Z2	12.700	11.033	t2= 500 ms	
		Z3	38.813	27.350	t3= 1000 ms	

- **Ajustes del relé Multilin L90 de la bahía H-805:**

**Tabla 5.15. Zonas de protección de fase (21), línea Cerro Negro – Morichal**

EXTREMO	TIPO	ZONA	FASE 21N		TIEMPO	K0
			R [ $\Omega$ /SEC]	X [ $\Omega$ /SEC]		
Cerro Negro - Morichal H-805	Mho	Z1	1.828	6.146	t1= instantáneo	0,648 $\angle$ - 0,741°
		Z2	3.427	12.015	t2= 500 ms	
		Z3	5.152	19.078	t3= 1000 ms	

**Tabla 5.16. Zonas de protección de tierra (21N), línea Cerro Negro – Morichal**

EXTREMO	TIPO	ZONA	FASE 21N		TIEMPO	K0
			R [ $\Omega$ /SEC]	X [ $\Omega$ /SEC]		
Cerro Negro - Morichal H-805	Cuadrilateral	Z1	11.728	6.146	t1= instantáneo	0,648 $\angle$ - 0,741°
		Z2	17.775	12.038	t2= 500 ms	
		Z3	15.063	19.120	t3= 1000 ms	

#### 5.4. Ajuste de Sobrecorriente direccional

Para el cálculo del ajuste de sobrecorriente direccional (67N) se determinó la capacidad de las líneas de transmisión de la subestación Cerro Negro mediante el método Westinghouse Modificado, las cuales pueden ser visualizadas en la tabla 5.17.

**Tabla 5.17. Capacidad de las líneas de transmisión de la subestación Cerro Negro**

Línea	Tensión [kV]	Calibre [kcmil]	Longitud [km]	Capacidad [Amp]
Cerro Negro - Petromonagas	115	750	16,5	297,27
Cerro Negro - Morichal	115	750	23,5	297,27

Para el ajuste de la protección de sobrecorriente direccional (67 N) se define arranque de la protección al tener un desbalance del 20% de la capacidad máxima del

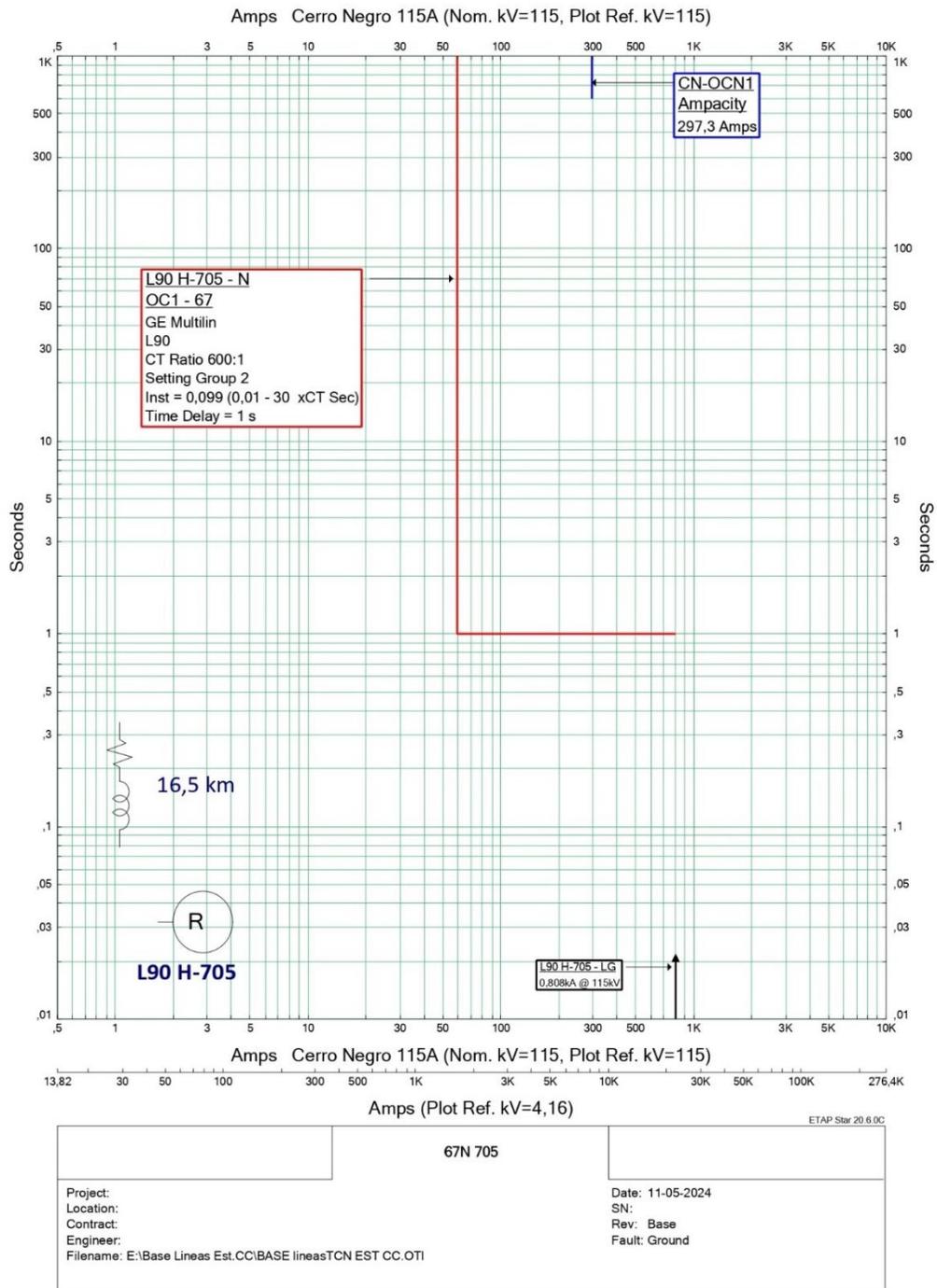
conductor, con una curva de operación de tiempo definido acorde al tiempo de operación de Zona 3.

$$67N = 20\% * \text{Capacidad del conductor (Amp)}.$$

**Tabla 5.18. Cálculo del ajuste de sobrecorriente direccional 67N**

Circuito	IPK Amp Prim	RTC	IPK Amp Sec	Type	Delay (s)
67N H705	59.453	600	0.1	DEFINITE TIME	1
67N H805	59.453	600	0.1	DEFINITE TIME	1

Los ajustes de las protecciones de corriente direccional (67N) en las bahías de la subestación Cerro Negro H-705 y H-805 Se ven a continuación en gráficos de Corriente-Tiempo.



**Figura 5.5. Grafica corriente – tiempo del ajuste 67N bahía H-705**

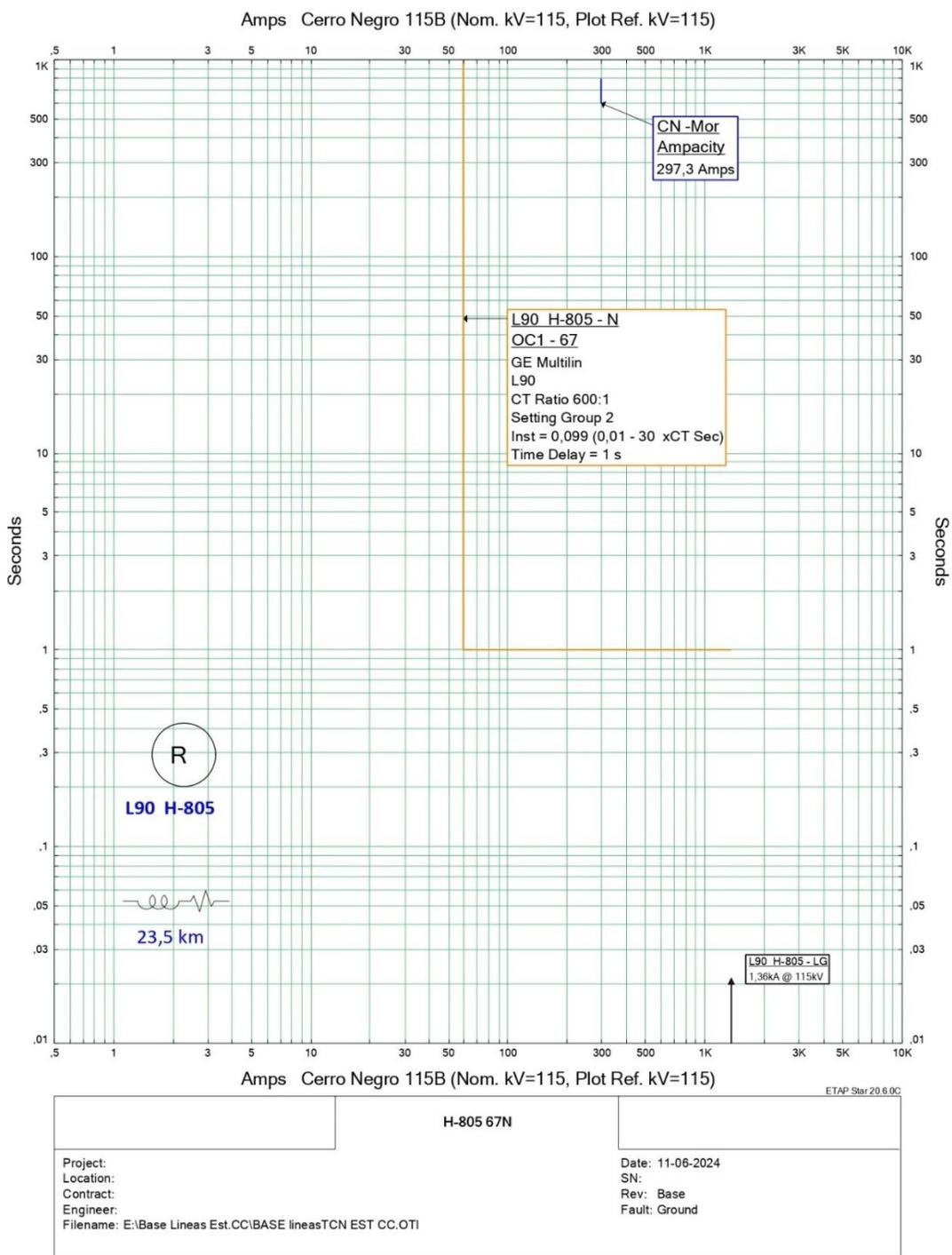


Figura 5.6. Grafica corriente – tiempo del ajuste 67N bahía H-805

## **CAPÍTULO VI**

### **PROPUESTA DE UN ESQUEMA DE ACELERACION DE ZONAS DE PROTECCIÓN EN LOS EXTREMOS DE LAS LÍNEAS 115 KV CERRO NEGRO-MORICHAL Y CERRO NEGRO-PETROMONAGAS**

Para obtener una mejor respuesta y aumentar la seguridad en las protecciones del sistema eléctrico de la División Carabobo, se propone un esquema de teleprotección que permita acelerar los disparos de los interruptores de las bahías H-705 y H-805 asociados a los extremos de las líneas de transmisión Cerro Negro-Petromonagas y Cerro Negro-Morichal respectivamente, permitiendo así reducir el tiempo de apertura de los interruptores ante fallas que pudiesen ocurrir en estas líneas de transmisión garantizando disparos en tiempo instantáneo de las protecciones de distancia en zona 1 y zona 2.

#### **6.1. Aceleración de las protecciones asociadas a las Bahías H-705 y H-805 de la subestación Cerro Negro**

Analizando el comportamiento de las protecciones de distancia (ANSI 21) de la subestación Cerro Negro en los capítulos anteriores, se observa que los relés actúan de forma escalonada a tiempos definidos según su zona de protección, logrando así el disparo de los interruptores H-705 y H-805, sin embargo Cerro Negro al conformar una configuración en anillo, dada su topología de red eléctrica, con las subestaciones Petromonagas y Morichal se debe tener en cuenta las protecciones asociadas a los interruptores (H-420 y H-620/520 respectivamente) en las llegadas de estas subestaciones adyacentes, siendo estas los extremos remotos a la subestación Cerro Negro. Para lograr un correcto despeje, en caso que pueda presentarse una falla en algún tramo de las líneas protegidas, el relé debe enviar una señal a ambos extremos de la línea para abrir el interruptor local de la subestación Cerro Negro y el que se

encuentra en el extremo remoto (Petromonagas o Morichal) para lograr esto, se propone la implementación de un esquema de aceleración de zona de protección que permita el disparo simultáneo en ambos extremos de la línea en tiempos de zona 1 (instantáneo).

## 6.2. Esquema de protección de distancia 21

El esquema de protección de distancia 21, junto a las zonas de protección y esquema de conexión de los relés L90 de la subestación Cerro Negro se visualiza en las figuras 6.1 y 6.2.

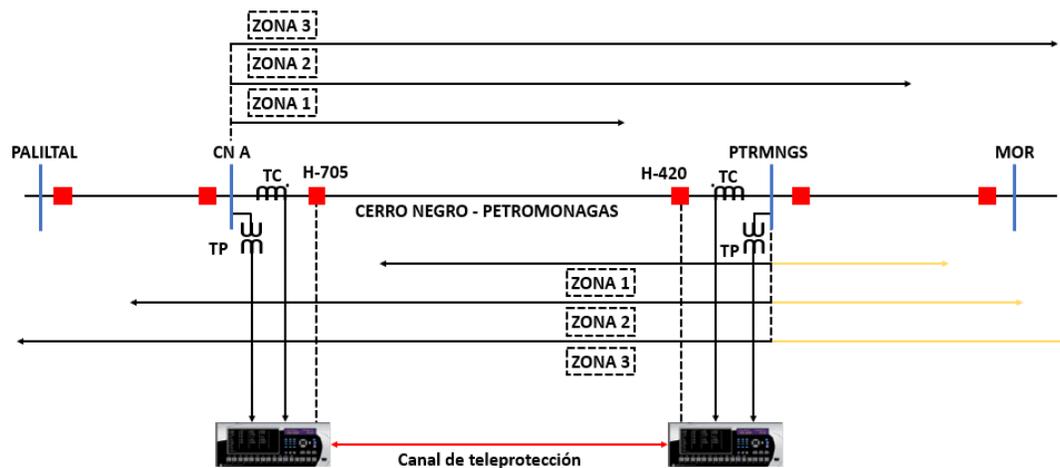
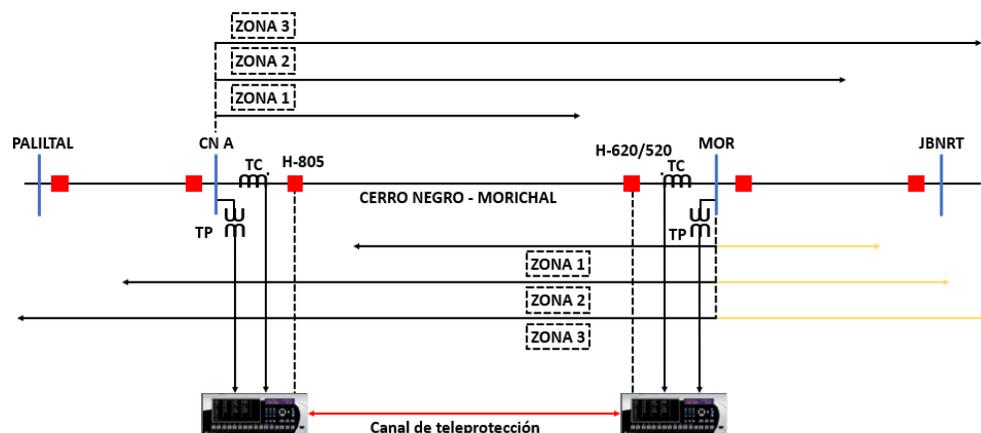


Figura 6.1. Esquema de protección de distancia con disparo piloto, zonas de protección Bahía H-705

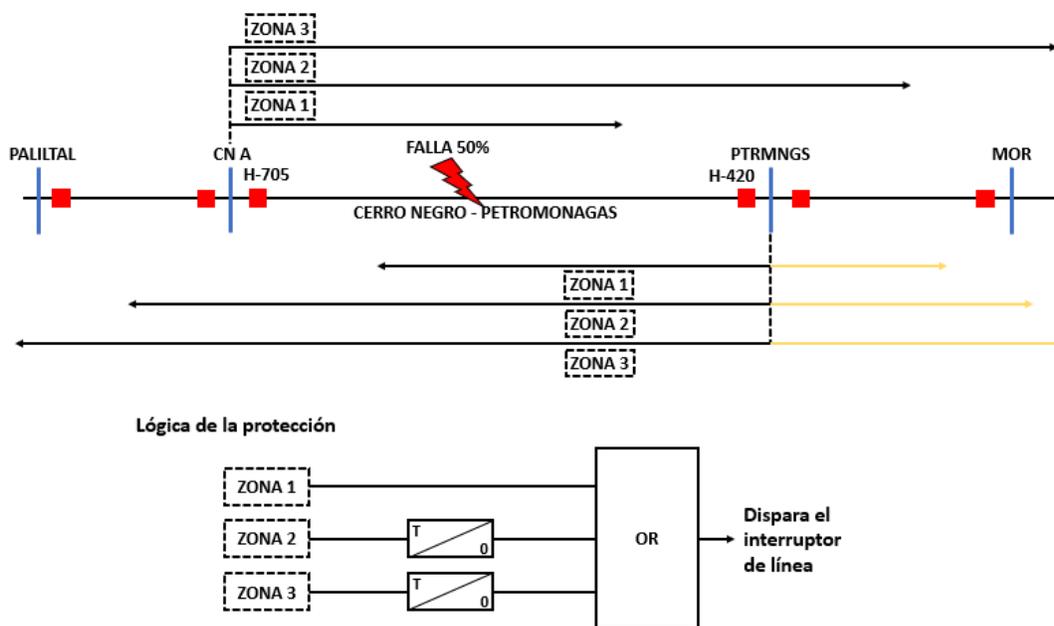


**Figura 6.2. Esquema de protección de distancia con disparo piloto, zonas de protección Bahía H-805**

Con la selección de un esquema de teleprotección propicio, que se ajuste a las condiciones del sistema en estudio, el relé podrá actuar de acuerdo a una lógica preprogramada, de acuerdo al tipo de protección piloto elegido y la interconexión de los relés por medio del canal de comunicación, el cual permitirá la reacción simultánea de los interruptores en cada extremo.

### 6.2.1. Funcionamiento del esquema de distancia en la bahía H-705

Para analizar el funcionamiento del esquema de protección de distancia 21 ante una falla en la línea protegida se muestra el caso 1 en la figura 6.3.



**Figura 6.3. Falla al 50% y lógica de operación de la protección de distancia ANSI 21 adaptado al sistema**

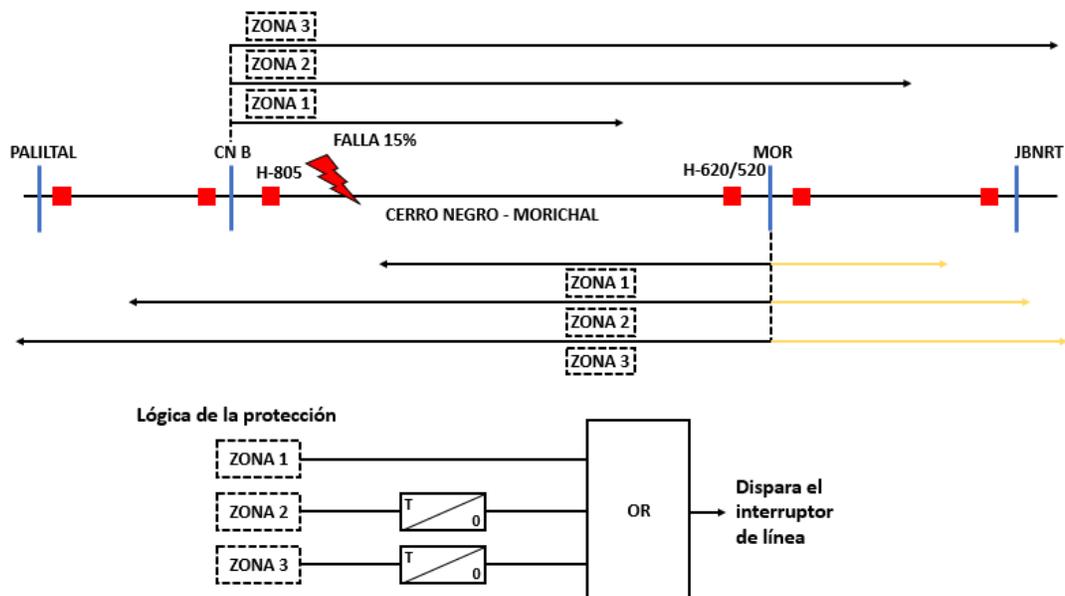
En este caso, se tienen un relé de distancia en cada extremo de la línea Cerro Negro - Petromonagas (CN A y PTRMNGS) y cada uno tiene configuradas sus 3 zonas de protección, para este caso se presenta una falla que es localizada al 50% de la línea, es vista en zona 1 por ambos relés. Según la lógica de operación de los relés mostrado

en la figura 6.3 estos generan una señal lógica llamada “uno lógico”, el cual hace que dispare el interruptor en su extremo, de acuerdo a esto, la falla es despejada de forma instantánea.

Cabe destacar, que ante una falla al 50% en la Bahía H-805 de Cerro Negro el esquema de protección de distancia en esta bahía actúa de igual manera que la anteriormente explicada.

### 6.2.2. Funcionamiento del esquema de distancia en la bahía H-805

Para el caso 2, suponiendo una falla al 15% en la línea Cerro Negro – Morichal se muestra la figura 6.4.



**Figura 6.4. Falla al 15% y lógica de operación de la protección de distancia ANSI 21 adaptado al sistema**

Se puede analizar cómo se comportan los relés en estas condiciones, el relé en el extremo CN B detecta la falla al 15% de la línea Cerro Negro - Morichal en zona 1, mientras que el relé en el extremo MOR detecta la falla al 85% de la línea, correspondiente a zona 2. De acuerdo a la lógica de operación de los relés, el relé en CN B dispara su interruptor asociado instantáneamente mientras que el relé en el

extremo MOR disparará el interruptor una vez transcurrido el tiempo de zona 2 (500ms). Mencionando que la falla es despejada luego de que ambos relés actúen y sean disparados los interruptores de ambos extremos.

Ahora bien, para una falla al 15% en la Bahía H-705 el comportamiento del esquema de protección de distancia de la línea Cerro Negro – Petromonagas es el mismo que el explicado anteriormente.

En este sentido, el funcionamiento de los esquemas presentados en los casos 1 y 2, se determina que este esquema pudiese ser más eficiente ante el despeje de falla si el relé del extremo de Cerro Negro enviara una señal de disparo al extremo remoto (Petromonagas o Morichal) para que así disparen instantáneamente ambos interruptores en simultaneo.

### **6.3. Esquemas de Teleprotección en el relé Multilin L90**

En estos esquemas, la función de distancia (21) permanece como respaldo de la zona que usa telecomunicación para el comando de disparo, en caso de existir alguna falla en el canal de comunicación, la protección de distancia operará su función básica de zonas escalonadas según la zona en falla. Como fue observado en los casos analizados, la protección de distancia (21) tiene una desventaja, siendo que la zona 1 de protección instantánea, habilitada en cada extremo no cubre el 100% de la línea, esta zona solo cubre un 80% de la impedancia de la línea, el 20% restante se considera como un margen de error que debe tenerse en cuenta en los quipos de medición. Dependiendo de la falla, esta es despejada, una vez que ambos interruptores hayan sido activados, en el caso 2 (ver figura 6.4) el interruptor asociado al extremo de Cerro Negro, se activa instantáneamente, sin embargo, la falla es despejada luego de haber transcurrido el tiempo de zona 2 en el extremo remoto. El sistema de protección puede ser optimizado en la rapidez de disparo de las protecciones para una pronta actuación para que las protecciones de las líneas Cerro Negro – Morichal y Cerro Negro – Petromonagas permitan el disparo simultaneo en los interruptores asociados a estas y

actúen simultáneamente en tiempos de zona 1, ya que estas, son de vital importancia para las subestaciones adyacentes a Cerro Negro.

#### 6.4. Selección de los esquemas de teleprotección

Para determinar el esquema a implementar en esta propuesta, se tomó en cuenta las características del relé Multilin L90, canal de comunicaciones y características de las líneas en estudio. Tomando estas características se explica el funcionamiento de los esquemas de teleprotección más comunes y ampliamente usados (DUTT, PUTT, POTT) del relé L90. Esto permitirá realizar una tabla comparativa donde se pueda determinar el esquema más propicio que se adapte a las necesidades de la subestación Cerro Negro. Las características del relé Multilin L90 se pueden visualizar en la tabla 3.3.

Se puede observar que se estableció el Caso 1 a la bahía H-705 y Caso 2 a la bahía H-805, considerando que el funcionamiento de los esquemas, ante las condiciones de falla que se muestran en cada caso, tienen el mismo comportamiento descrito en ambas líneas.

##### 6.4.1. Esquema de disparo directo transferido de bajo alcance (DUTT)

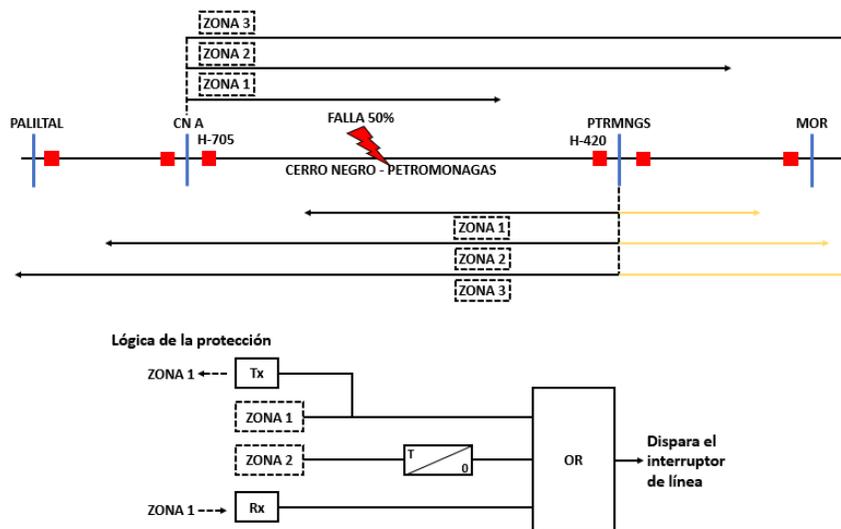
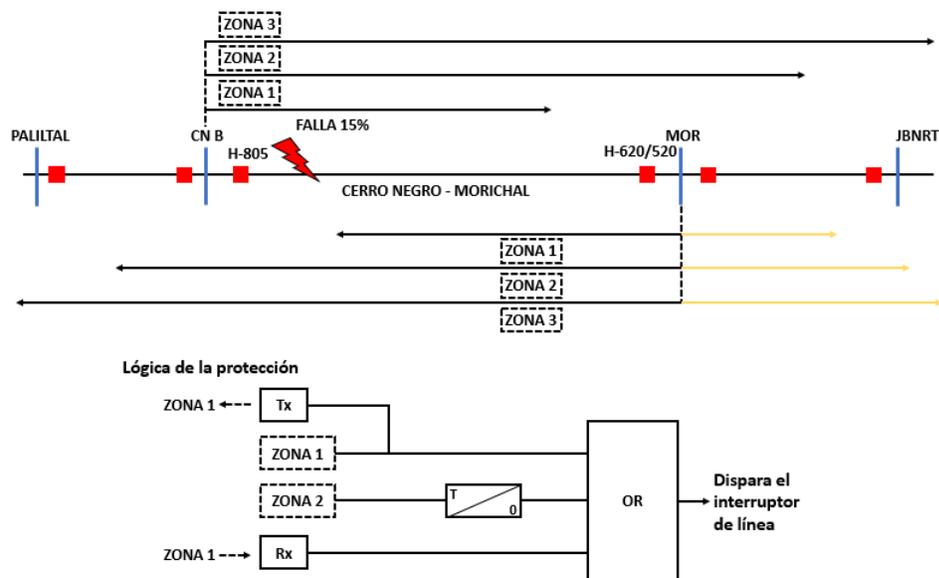


Figura 6.5. Comportamiento del esquema DUTT adaptado al sistema con falla al 50% de la línea de transmisión

Para esta falla al 50% de la línea, este esquema actúa en consecuencia del esquema de protección de distancia ANSI (21), es decir, de forma escalonada como es explicado anteriormente en la figura 6.3, ambos extremos detectan la falla y los interruptores actúan instantáneamente bajo el esquema DUTT, actuando así de manera redundante a la zona 1 de la protección de distancia, en caso de que el esquema de protección de distancia del extremo remoto no actúe en presencia de falla en su zona 1 el disparo se genera por zona 1 del extremo local, haciendo más confiable el esquema DUTT.

Al activarse el bit llamado zona 1 pkp en el esquema del relé, un bit llamado “DUTT TX” será enviado solicitando un disparo remoto del otro extremo de la línea de transmisión a través del canal de comunicación donde será recibido por el relé en el extremo remoto. Una vez recibido este bit será llamado “DUTT RX” por el relé en el extremo remoto y podrá disparar el interruptor remoto.

Ahora analizando el caso 2 donde la falla solo es detectada en zona 1 del extremo local A y en zona 2 del extremo remoto B al analizar la figura 6.6.

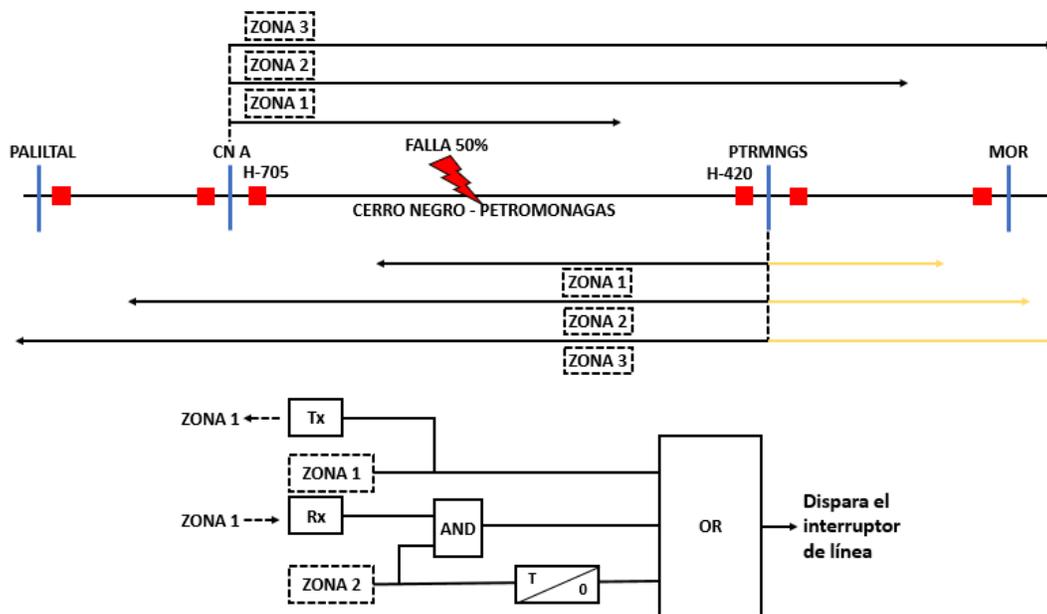


**Figura 6.6. Comportamiento del esquema DUTT adaptado al sistema con falla al 15% de la línea de transmisión**

Al detectar la falla en zona 1 genera una señal que dispara el interruptor local y envía una señal llamada “DUTT\_TX” que es recibida por el relé B en el extremo remoto al recibir esta señal llamada “DUTT\_RX” el relé disparará instantáneamente tal y como se muestra en la lógica implementada en la figura 6.6, con esto se obtiene un disparo veloz, con el cual el disparo escalonado no pudiese ser despejada hasta que accionara el interruptor por tiempo de zona 2. La desventaja de este sistema es la posibilidad de disparos no deseados por operación accidental, mal funcionamiento de los equipos o interferencias en el canal de comunicación.

#### 6.4.2. Esquema de disparo permisivo transferido de bajo alcance (PUTT)

El esquema PUTT aporta bastante seguridad dado a que no ocasiona falsos disparos, aunque una de sus limitaciones se encuentra en que ante fallas de alta impedancia en sistemas de líneas largas este esquema no es óptimo.

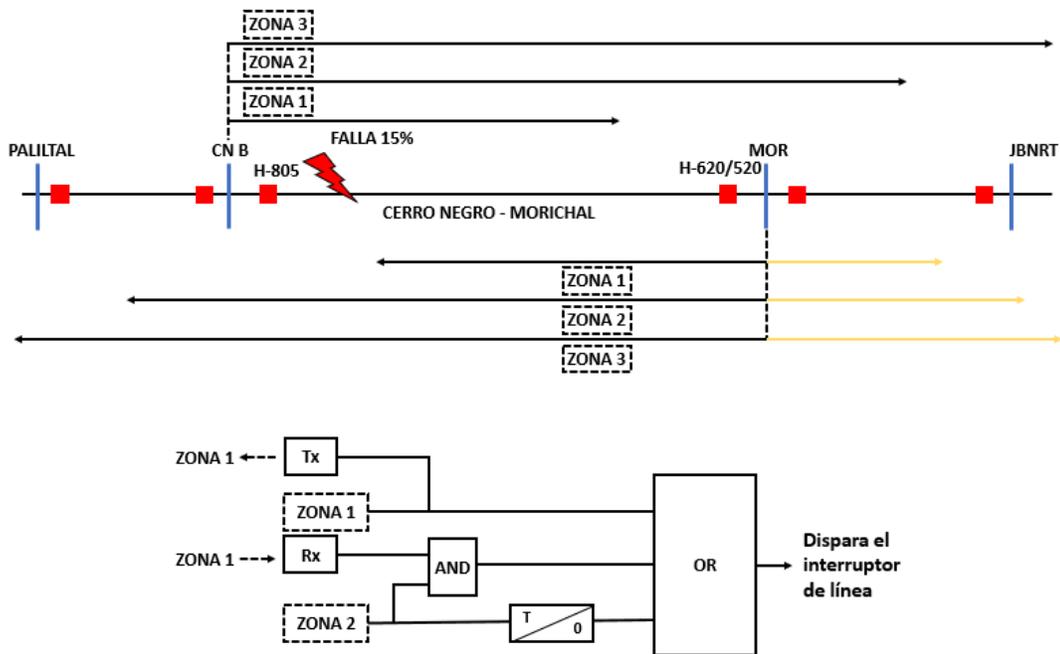


**Figura 6.7. Comportamiento del esquema PUTT adaptado al sistema con falla al 50% de la línea de transmisión**

Para entender el comportamiento de este esquema, se analiza como actuaría este ante una falla al 50% de la línea, ante estas condiciones de falla, este esquema actúa de

igual forma que el esquema de distancia escalonada, donde zona 1 de ambos extremos detectan la falla en su zona 1 y disparan su interruptor asociado instantáneamente, una vez cuando esta haya sido confirmada por zona 2 en ambos extremos lo que conlleva a tener un sistema más selectivo, el comportamiento lógico lo podemos ver en la figura 6.7.

Analizando cómo se comporta este esquema ante una falla supongamos una falla al 15% como se ve en la figura 6.8.

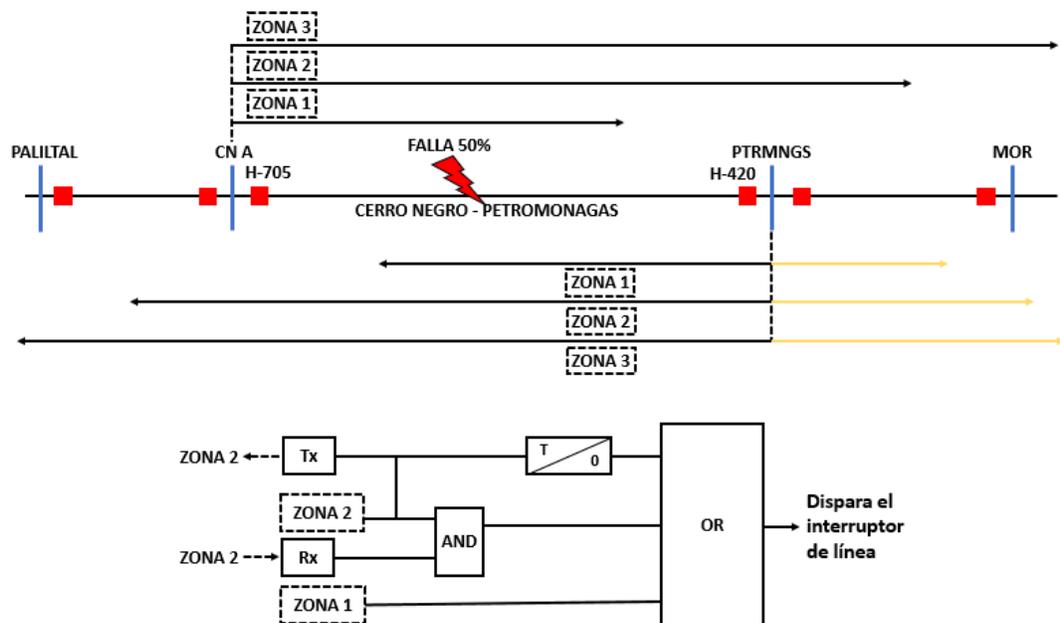


**Figura 6.8. Comportamiento del esquema PUTT adaptado al sistema con falla al 15% de la línea de transmisión**

Para condiciones de falla en el caso 2, la cual está presente al 15% de la línea, de la misma manera que en el esquema DUTT, esta falla es detectada en zona 1 del extremo local A y es vista en el extremo remoto B en zona 2, esta detecta y envía la confirmación

del disparo al activarse el bit de zona 2. Al entrar ambos bits como un uno lógico, en la salida de la compuerta AND sale un uno lógico permitiendo así el disparo del extremo B, esto hace que este esquema sea más selectivo, ya que perturbaciones en el canal de comunicación ocasionaban disparos no deseados.

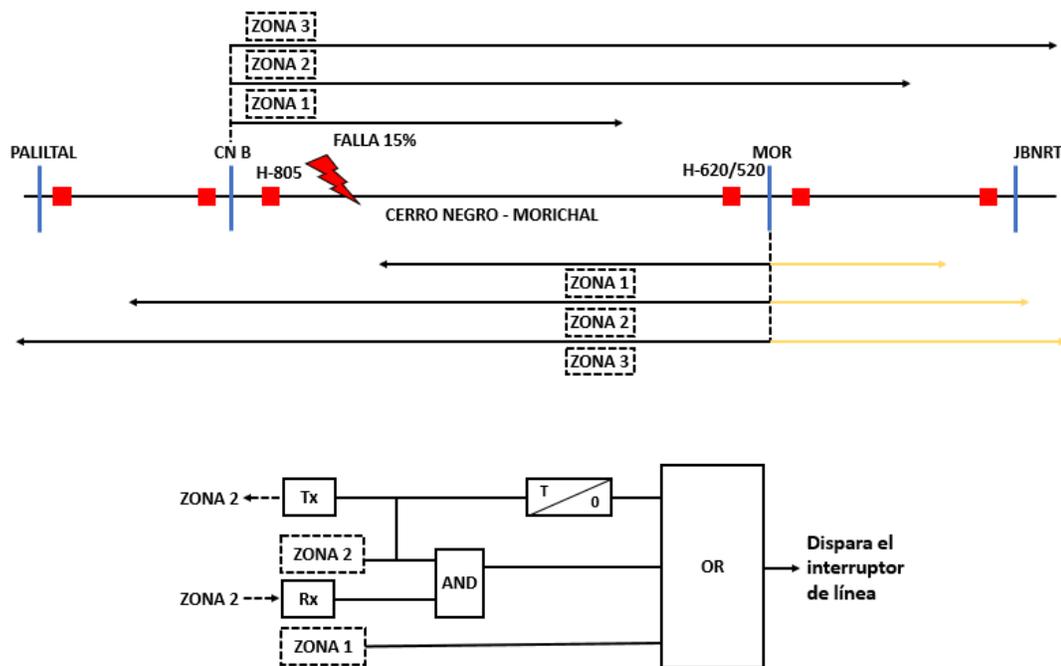
#### 6.4.3. Esquema de disparo permisivo transferido de sobre alcance (POTT)



**Figura 6.9. Comportamiento del esquema POTT adaptado al sistema con falla al 50% de la línea de transmisión**

Analizando el comportamiento del esquema POTT ante una falla al 50% de la línea, en ambos extremos la falla es detectada en la Zona 2, ya que este esquema utiliza funciones de sobre alcance para una mayor sensibilidad. La Zona 1 podría no ver la

falla debido a su ajuste más limitado cuando se implementa el esquema POTT, cada extremo envía una señal permisiva al otro extremo al detectar la falla en la Zona 2. Ambos interruptores operan solo después de recibir la señal permisiva del otro extremo, asegurando una respuesta coordinada. La lógica de disparo se basa en la detección de la falla en la Zona 2 y no en la Zona 1, debido a que el esquema POTT prioriza la cobertura de la Zona 2 para mejorar la seguridad, aunque Zona 2 tiene un tiempo de retardo configurado antes de proceder al disparo, el esquema POTT permite que este tiempo se reduzca cuando se recibe la señal permisiva.



**Figura 6.10. Comportamiento del esquema POTT adaptado al sistema con falla al 15% de la línea de transmisión**

Analizando el caso 2, la falla se encuentra al 15% de la línea protegida, siendo detectada en la Zona 1 del extremo local A y en la Zona 2 del extremo remoto B. Sin embargo, debido a la mayor sensibilidad en la Zona 2, característica del esquema POTT, la falla en el extremo local A es primero detectada en la Zona 2. Esto activa el

envío del bit “POTT TX”, mientras el relé en el extremo B también detecta la falla en su Zona 2 y envía simultáneamente el bit “POTT RX”. Al recibir ambas señales permisivas, ambos extremos proceden a despejar la falla. Dependiendo del canal de comunicación, el esquema POTT puede ser más rápido que el PUTT.

En la tabla comparativa, se reflejan las características de los esquemas de teleprotección ver tabla 6.1.

**Tabla 6.1. Comparación de las características de los esquemas de teleprotección**

Criterio	Distancia escalonada	DUTT	PUTT	<b>POTT</b>
Velocidad de operación	Bajo	Alto	Alto	<b>Muy Alto</b>
Confiabilidad	Bajo	Medio	Alto	<b>Alto</b>
Selectividad	Medio	Medio	Alto	<b>Alto</b>
Sensibilidad	Bajo	Bajo	Medio	<b>Alto</b>

En base a la tabla 6.1. Donde se comparan las características de los esquemas, se determina que el uso del esquema POTT sería el más eficiente como esquema de teleprotección para las líneas de la subestación Cerro Negro.

## CAPÍTULO VII

### VALIDACION DE LA SELECTIVIDAD DE LOS AJUSTES PROPUESTOS ANTE FALLAS SHUNT DENTRO DE LAS ZONAS DE PROTECCION DE LOS RELÉS DE LAS BAHÍAS H-705 Y H- 805 DE LA SUBESTACION CERRO NEGRO

Según los ajustes calculados en el capítulo anterior, se procederá a evaluar la selectividad en la operación de las protecciones de distancia mediante simulaciones de fallas trifásicas y fallas línea a tierra en las líneas de transmisión de en estudio

Estas simulaciones fueron realizadas con los valores de resistencia de falla:

- Fallas trifásicas con  $R_{FALLA} = 0 \Omega$
- Fallas trifásicas con  $R_{FALLA} = 4 \Omega$
- Fallas líneas a tierra con  $R_{FALLA} = 12 \Omega$

#### 7.1. Selectividad Relé L90 Bahía H-705

Las tablas muestran las fallas aplicadas al sistema y los resultados de las protecciones de Fase (21) y Tierra (21N). En ellas, TRIP indica que la protección ordena disparar el interruptor, Pick Up significa que la protección detecta la falla, pero no actúa porque otra zona la despeja, y No Pick Up señala que la protección no detecta la falla.

**Tabla 7.1. Fallas Trifásicas evaluadas Línea Cerro Negro A-Petromonagas, Bahía H-705**

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	MAG V(AB)	ANG V(AB)	MAG I(AB)	ANG I(AB)	Z MED RELÉ		OPERACIÓN		
					MAG	ANG	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
FALLA AL 64% LÍNEA CN-PTRMNGS	32.44	26.61	6.234	-49.16	5.2	75.76	TRIP	PICK UP	PICK UP
FALLA AL 40% LÍNEA PTRMNGS-MOR	51.6	26.59	3.342	-48.75	15.44	75.34	NO PICK UP	TRIP	PICK UP
FALLA AL 40% LÍNEA MOR-JBNRT	60.05	26.31	1.513	-47.32	39.68	73.63	NO PICK UP	NO PICK UP	TRIP

**Tabla 7.2. Fallas Trifásicas con resistencia de falla 4 ohm, Bahía H-705**

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	MAG V(AB)	ANG V(AB)	MAG I(AB)	ANG I(AB)	Z MED RELÉ		OPERACIÓN		
					MAG	ANG	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
FALLA AL 64% LÍNEA CN-PTRMNGS <b>RF=4</b> OHM	44.33	4.19	5.748	-36.57	7.71	40.76	NO PICK UP	TRIP	PICK UP
FALLA AL 40% LÍNEA PTRMNGS-MOR <b>RF=4</b> OHM	57.39	15.89	3.167	-38.74	18.12	54.63	NO PICK UP	TRIP	PICK UP
FALLA AL 40% LÍNEA MOR-JBNRT <b>RF=4</b> OHM	64.31	18.89	1.47	-38.42	43.74	57.31	NO PICK UP	NO PICK UP	TRIP

**Tabla 7.3. Fallas Línea a tierra, Línea Cerro Negro A - Petromonagas, Bahía H-705**

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	MAG V	ANG V	MAG I	ANG I	MAG IO	ANG IO	Z MED RELÉ		OPERACIÓN		
							R	X	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
FALLA AL 64% LÍNEA CN-PTRMNGS	29.31	-6.78	3.516	-78.63	1.179	-79.89	1.2824	5.0496	TRIP	PICK UP	PICK UP
FALLA AL 40% LÍNEA PTRMNGS-MOR	41.32	-5.85	1.687	-76.39	0.567	-79.53	3.9237	14.570	NO PICK UP	TRIP	PICK UP
FALLA AL 40% LÍNEA MOR-JBNRT	46.08	-4.95	0.74	-72.73	0.249	-80.19	12.3253	35.2153	NO PICK UP	NO PICK UP	TRIP

**Tabla 7.4. Fallas Línea a tierra, con resistencia de falla 12 ohm, Línea Cerro Negro A - Petromonagas, Bahía H-705**

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	MAG V	ANG V	MAG I	ANG I	MAG IO	ANG IO	Z MED RELÉ		OPERACIÓN		
							R	X	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
FALLA AL 64% LÍNEA CN-PTRMNGS <b>RF=12 OHM</b>	45.88	-22.95	2.626	-48.69	0.848	-49.89	9.6319	5.0701	TRIP	PICK UP	PICK UP
FALLA AL 40% LÍNEA PTRMNGS-MOR <b>RF=12 OHM</b>	48.7	-14.87	1.43	-54.01	0.455	-57	15.7519	14.3048	NO PICK UP	TRIP	PICK UP
FALLA AL 40% LÍNEA MOR-JBNRT <b>RF=12 OHM</b>	50.63	-11.64	0.69	-53.81	0.21	-60.6	32.6141	32.2406	NO PICK UP	NO PICK UP	TRIP

## 7.2. Selectividad Relé L90 Bahía H-805

Tabla 7.5. Fallas Trifásicas evaluadas Línea Cerro Negro A-Morichal, Bahía H-805

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	MAG V(AB)	ANG V(AB)	MAG I(AB)	ANG I(AB)	Z MED RELÉ		OPERACIÓN		
					MAG	ANG	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
FALLA AL 64% LÍNEA CN-MOR	39.83	25.17	5.346	-47.53	7.45	72.7	TRIP	PICK UP	PICK UP
FALLA AL 40% LÍNEA MOR-JBNRT	60.05	26.31	3.444	-46.9	17.44	73.21	NO PICK UP	TRIP	PICK UP
FALLA AL 40% LÍNEA JBNRT-TMBLDR	75.88	26.39	2.529	-46.09	30.00	72.48	NO PICK UP	NO PICK UP	TRIP

Tabla 7.6. Fallas Trifásicas con resistencia de falla 4 ohm, evaluadas Línea Cerro Negro A-Morichal, Bahía H-805

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	MAG V(AB)	ANG V(AB)	MAG I(AB)	ANG I(AB)	Z MED RELÉ		OPERACIÓN		
					MAG	ANG	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
FALLA AL 64% LÍNEA CN-PTRMNGS <b>RF=4</b> OHM	49.73	8.72	4.963	-36.17	10.02	44.89	TRIP	PICK UP	PICK UP
FALLA AL 40% LÍNEA PTRMNGS-MOR <b>RF=4</b> OHM	64.31	18.89	3.287	-38.33	19.56	57.22	NO PICK UP	TRIP	PICK UP
FALLA AL 40% LÍNEA MOR-JBNRT <b>RF=4</b> OHM	77.61	23.04	2.466	-39.87	31.47	62.91	NO PICK UP	NO PICK UP	TRIP

**Tabla 7.7. Fallas Línea a tierra, Línea Cerro Negro A - Morichal, Bahía H-805**

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	MAG V	ANG V	MAG I	ANG I	MAG I0	ANG I0	Z MED RELÉ		OPERACIÓN		
							R	X	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
FALLA AL 64% LÍNEA CN- PTRMNGS	34.69	-6.39	2.849	-77.33	0.93	-79.66	2.2196	7.122	TRIP	PICK UP	PICK UP
FALLA AL 40% LÍNEA PTRMNGS- MOR	46.08	-4.95	1.635	-76.09	0.52	-81.12	4.8448	16.774	NO PICK UP	TRIP	PICK UP
FALLA AL 40% LÍNEA MOR-JBNRT	53.25	-4.61	1.115	-74.36	0.341	-82.75	9.3912	28.165	NO PICK UP	NO PICK UP	TRIP

**Tabla 7.8. Fallas Línea a tierra con resistencia de falla 12ohm, Línea Cerro Negro A - Morichal, Bahía H-805**

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	MAG V	ANG V	MAG I	ANG I	MAG I0	ANG I0	Z MED RELÉ		OPERACIÓN		
							R	X	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
FALLA AL 64% LÍNEA CN- PTRMNGS <b>RF=12</b> OHM	45.88	-24.61	2.838	-47.63	0.698	-52.6	11.5672	7.3408	TRIP	PICK UP	PICK UP
FALLA AL 40% LÍNEA PTRMNGS- MOR <b>RF=12</b> OHM	50.63	-11.64	1.452	-57.64	0.437	-61.52	15.6460	16.9672	NO PICK UP	TRIP	PICK UP
FALLA AL 40% LÍNEA MOR-JBNRT <b>RF=12</b> OHM	54.82	-7.75	1.063	-61.79	0.309	-68.9	17.832	27.8621	NO PICK UP	NO PICK UP	TRIP

### 7.3. Resultados de la selectividad

Se procede a realizar una comparativa con las tablas presentadas anteriormente, se procede a ser evaluadas gráficamente las simulaciones realizadas en el estudio para certificar que los cálculos propuestos actúan de manera correcta siguiendo los criterios de cada una de las Zonas calculadas, estos resultados gráficos se visualizan en las siguientes figuras:

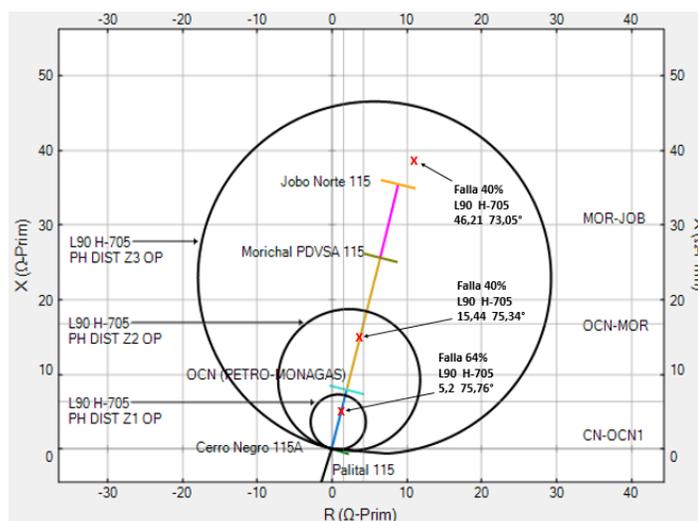


Figura 7.1. Gráfico Multilin L90, Función 21 Fase, Bahía H-705. Rf= 0 ohm

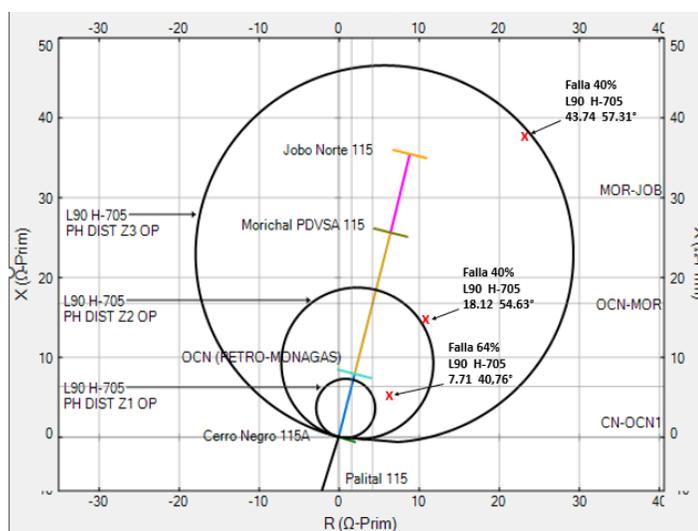


Figura 7.2. Gráfico Multilin L90, Función 21 Fase, Bahía H-705. Rf= 4 ohm

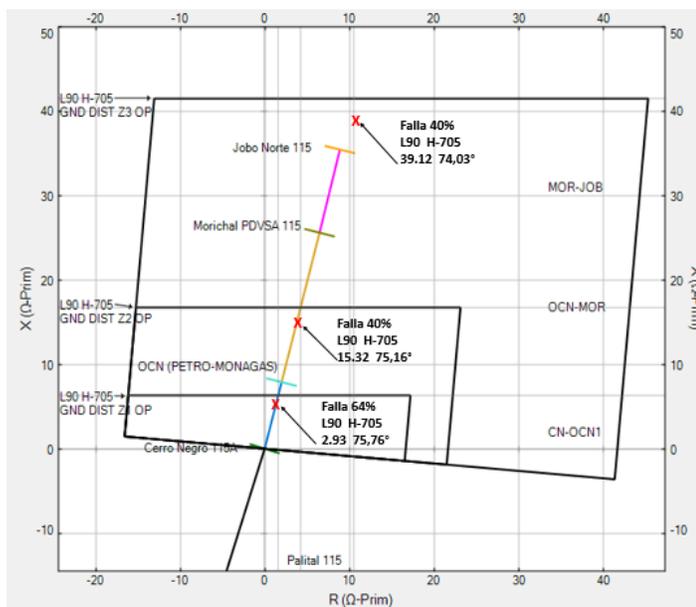


Figura 7.3. Gráfico Multilin L90, Función 21N Tierra, Bahía H-705. Rf= 0 ohm

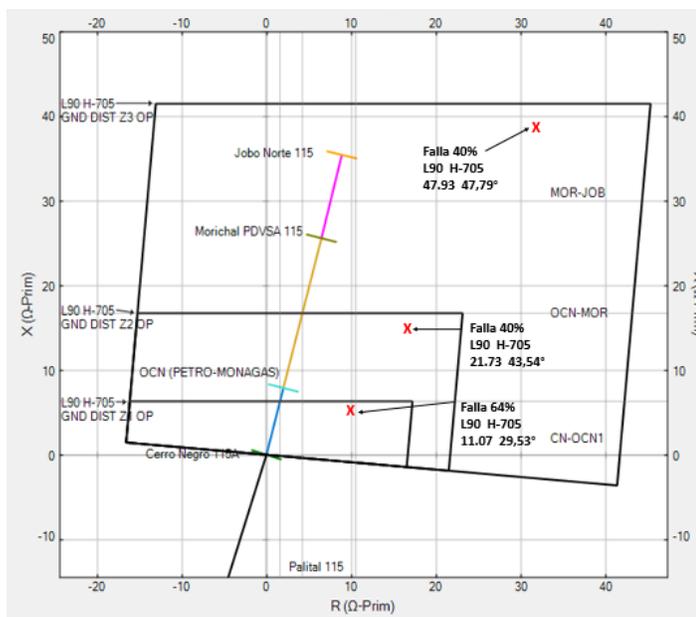


Figura 7.4. Gráfico Multilin L90, Función 21N Tierra, Bahía H-705. Rf= 12 ohm

fs 1 rf 15

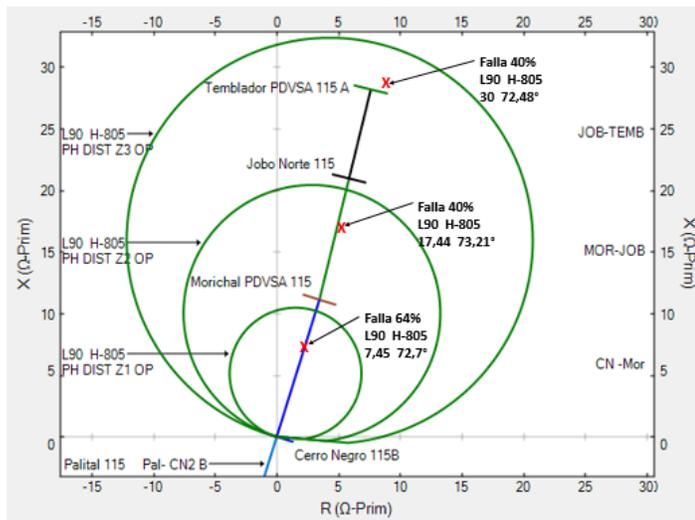


Figura 7.5. Gráfico Multilin L90, Función 21 Fase, Bahía H-805. Rf= 0 ohm

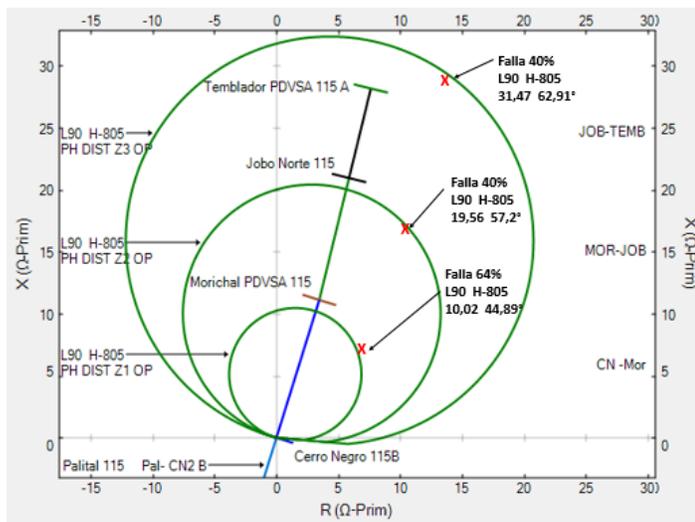


Figura 7.6. Gráfico Multilin L90, Función 21 Fase, Bahía H-805. Rf= 4 ohm

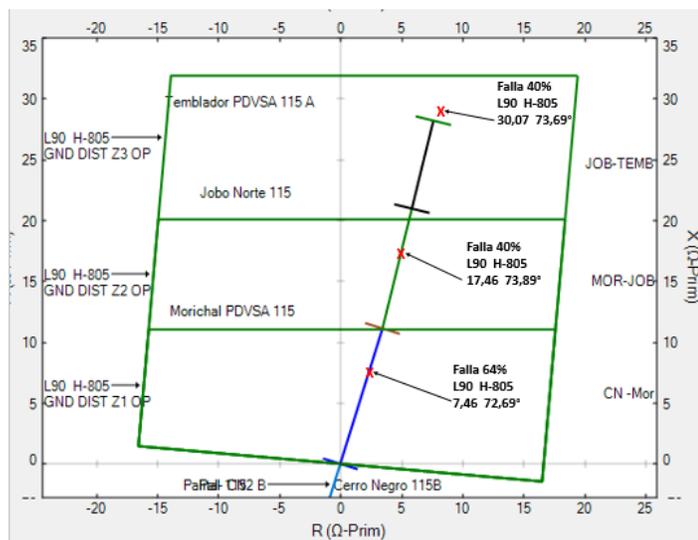


Figura 7.7. Gráfico Multilin L90, Función 21N Tierra, Bahía H-805. Rf= 0 ohm

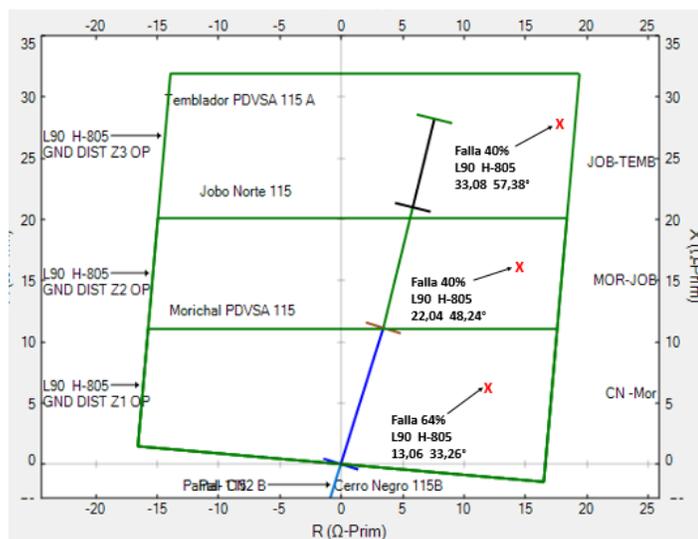


Figura 7.8. Gráfico Multilin L90, Función 21N Tierra, Bahía H-805. Rf= 12 ohm

## CONCLUSIONES

- Los resultados del estudio en régimen permanente de la red eléctrica de la División Carabobo en 115 kV se encuentran dentro del rango establecido, entre el 0,95 p.u y 1,05 p.u, cumpliendo así con los criterios de calidad y servicios.
- Dadas las características y topología del sistema eléctrico de la subestación Cerro Negro fluirán en las líneas de transmisión asociadas a las Bahías H-705 y H-805 corriente de efecto INFEED las cuales modifican la impedancia vista por los relés asociados a estas bahías.
- Fueron establecidas 3 Zonas de protección hacia adelante (FOWARD) en los relés L90 asociados a las bahías H-705 y H-805 con la finalidad de dar protección de respaldo a las líneas adyacentes a Cerro Negro.
- Los ajustes de las zonas de protección para la protección de distancia 21/21N de los relés Multilin L90 de las bahías H-705 y H-805 fueron verificados mediante simulación de cortocircuito simétricos y asimétricos considerando aportes del efecto INFEED y resistencia de fallas en cada zona de protección.
- La impedancia de Máxima Carga de los extremos H-705 y H-805 se encuentra lo suficientemente alejadas de la zona 3 de las protecciones de distancia, garantizándose que no ocurra arranque de protecciones indebidos bajo el escenario de máximo flujo de potencia por las líneas interconectadas de Cerro Negro.
- El ajuste de sobrecorriente direccional de tierra (67N) es lo suficientemente sensible para actuar como protección de respaldo hasta zona 3 en fallas a tierra, garantizado un adecuado tiempo de respuesta, aumentando la redundancia en el sistema de protecciones de la División Carabobo.

- Se estableció la propuesta de la implementación del esquema de aceleración de zona de protección de disparo permisivo transferido en sobre alcance (POTT) como esquema de teleprotección para la subestación Cerro Negro.
- Se garantizó la selectividad de protecciones de las zonas 1, 2 y 3, pero debido a la topología de red y del sistema en anillo de la subestación cerro negro interconectada con las demás subestaciones, no se realizó ajustes de zonas 4 para garantizar protección de reversa en tiempo mayores de 1250 ms, teniendo en cuenta únicamente las protecciones de los extremos para disparar fallas.

## **RECOMENDACIONES**

- En caso de modificaciones en la topología de la subestación Cerro Negro deben ser actualizados los ajustes de los relés L90 de las bahías H-705 y H-805, considerando nuevos escenarios adaptados a las nuevas condiciones de red.
- Realizar mantenimiento y actualización de los equipos de mitigación de descargas atmosféricas de las líneas asociadas a las bahías H-705 y H-805 para disminuir la probabilidad de fallas y daños causados por rayos.
- Realizar la coordinación de las protecciones de distancia al resto de la División Carabobo considerando la condición actual del sistema, para para garantizar la seguridad de las subestaciones que componen a esta división.
- Realizar pruebas al sistema de comunicaciones atreves del OPGW, con la finalidad de implementar el esquema de aceleración de zonas POTT
- Considerar las características de las subestaciones adyacentes para la implementación de esquemas de teleprotección que aceleren los disparos de las protecciones adyacentes, para obtener un despeje más rápido de las protecciones.
- Evaluar la modernización de los extremos remotos para implementar un esquema de protección diferencia de línea (87L) como protección de respaldo.

## BIBLIOGRAFÍA

Anderson, P. (1999). *Power System Protection*, John Wiley & Sons, Inc., Piscataway, New Jersey, EUA.

GNPC. (2014). *Guías para El Buen Ajuste y la Coordinación de Protecciones del SIN*. Extraído de [https://cnostatic.s3.amazonaws.com/con-public/archivosAdjuntos/2018-07-19-guias\\_protecciones.pdf](https://cnostatic.s3.amazonaws.com/con-public/archivosAdjuntos/2018-07-19-guias_protecciones.pdf).

Harper, E. (1.999). *Protección De Instalaciones Eléctricas Industriales y Comerciales*. Limusa: México.

IEEE. (1997). *IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis. Std 399*. New York: IEEE.

IEEE. (2001). *IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems. Std 242*. New York: IEEE.

IEEE. (2015). *IEEE Guide for Protective Relay Applications to Transmission Lines. Std C37.113*. New York: IEEE.

Latorre, C. (2010). *Protección de Sistemas Eléctricos de Potencia*. USACH: Chile.

Marval, R. (2010). *Coordinación de Protección de Sobrecorriente del Sistema Eléctrico de 34,5 kV de la S/E Luisa Cáceres de Arismendi Incorporando la S/E el Manglillo Seneca, Estado Nueva Esparta*. Barcelona: Tesis no publicada.

Matulic, I. (2003). *Introducción a los Sistemas Eléctricos de Potencia* ActaNova: Bolivia.

Montoya, J. (2019). *Algoritmo adaptativo para la coordinación de protecciones de distancia y sobrecorriente de respaldo que considere cambios de topología de un sistema eléctrico de potencia*. Medellín: Tesis no publicada.

Núñez, F. (2019). *Centrales de Generación y Subestaciones Eléctricas*. Universidad APEC: República Dominicana.

Ortiz, J. (2009). *Coordinación de Protecciones Eléctricas en el Sistema de Distribución a Nivel de 34,5 kV Y 13,8 kV del Área Pesado, Distrito Morichal, PDVSA*. Barcelona: Tesis no publicada.

Olle, I. (1982). *Electric Energy Systems Theory an Introduction* New York: McGraw-Hill.

Ramírez, S. (2003). *Protección de Sistemas Eléctricos*. Universidad Nacional de Colombia Manizales.

Rosero, R. (2020). *Estado del Arte criterios de coordinación de protecciones en líneas de transmisión*. Quito, Ecuador

Sabeh, E. (2022). *Coordinación de Las Protecciones de Línea Asociadas a La Subestación Planta de Generación Furrial de PDVSA Producción Oriente*. Barcelona: Tesis no publicada.

*Sampieri, R. (2014). Metodología de la Investigación*. McGraw-Hill: México.

Sánchez, C. y Torres, O. (2020). *Análisis de los métodos para la aceleración de protecciones sin comunicación, en líneas de transmisión*. La Habana, Cuba.

Tamayo, M. (2003). *El Proceso de la Investigación Científica*. Limusa: México.

Thompson, A. (2015). *Tutorial on Calculating Source Impedance Ratios for Determining Line Length*. College Station, TX, USA.

Vargas, M. (2010). *Estudio de Coordinación de Protecciones en Líneas de Transmisión de La Zona Norte Considerando La Influencia del Ingreso en Operación del Sistema de 500 kV*. Quito: Tesis no publicada.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y  
ASCENSO:**

<b>TÍTULO</b>	COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DE LAS LÍNEAS ASOCIADAS A LAS BAHIAS H-705 y H-805 DE LA SUBESTACION CERRO NEGRO
<b>SUBTÍTULO</b>	

**AUTOR(ES):**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>CVLAC / E_MAIL</b>	
Isava C., Mario G	<b>CVLAC :</b>	28535617
	<b>E_MAIL</b>	marioisava@gmail.com

**PALÁBRAS O FRASES CLAVES:**

división Carabobo
Subestación Cerro Negro
coordinación de protecciones de distancia
sobrecorriente direccional
líneas de transmisión
esquema de aceleración de zona de protección.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y  
ASCENSO:**

ÁREA	SUBÁREA
Escuela de ingeniería y ciencias aplicadas	Departamento de Electricidad

**RESUMEN (ABSTRACT):**

Este trabajo se basa en la coordinación las protecciones de distancia y sobrecorriente direccional (21/21N y 67N) respectivamente, de las líneas asociadas a las bahías H-705 y H-805 de la subestación Cerro Negro en 115 kV de la División Carabobo de PDVSA. Para ello, se consideraron cambios que se realizaron en la topología de la red que compone a la División Carabobo, los cuales en base a esta nueva topología se realiza este estudio. Inicialmente, se describió las características del sistema eléctrico de transmisión de la División Carabobo de PDVSA. Seguidamente, se evaluó el comportamiento de la red en régimen permanente a través de estudios de flujo de carga y cortocircuito utilizando el software computacional ETAP 20.6.0. El cual permitió posteriormente realizar los cálculos para los ajustes necesarios de las protecciones de distancia y sobrecorriente direccional de los relés asociados a las Bahías H-705 y H-805 de la Subestación Cerro Negro. Una vez establecidos los ajustes, se propuso un esquema de aceleración de zonas de protección en los extremos de las líneas Cerro Negro – Morichal y Cerro Negro – Petromonagas, seguido por la validación de la selectividad de los ajustes propuestos para los relés de protección. Esta validación permite demostrar a través de tablas y gráficos la correcta coordinación de las protecciones asociadas a las Bahías H-705 y H-805 de la subestación Cerro Negro permitiendo el despeje selectivo y fiable ante posibles fallas en las líneas asociadas a estas salidas.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y  
ASCENSO**

**CONTRIBUIDORES**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>ROL / Código CVLAC / E_MAIL</b>				
Adriana Mendez	<b>ROL</b>	CA	AS X	TU	JU
	<b>CVLAC:</b>	16.064.183			
	<b>E_MAIL</b>	mendezadriana82@gmail.com			
Jesús Brum	<b>ROL</b>	CA	AS	TU	JU X
	<b>CVLAC:</b>				
	<b>E_MAIL</b>	profe.jesusbrum@gmail.com			
Simón Ramírez	<b>ROL</b>	CA	AS	TU	JU X
	<b>CVLAC:</b>				
	<b>E_MAIL</b>	pasantesudosimonramirez@gmail.com			

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

2025	03	07
<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>DIA</b>

**LENGUAJE: SPA.**

## **METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO**

### **ARCHIVO (S):**

<b>NOMBRE DE ARCHIVO</b>	<b>TIPO MIME</b>
	Application/msword

### **ALCANCE**

**ESPACIAL:** inespacial

**TEMPORAL:** intemporal

### **TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Ingeniero Electricista

### **NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Pregrado.

### **ÁREA DE ESTUDIO:**

Departamento de Electricidad

### **INSTITUCIÓN:**

Universidad de Oriente/Núcleo de Anzoátegui.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
CONSEJO UNIVERSITARIO  
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano  
**Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ**  
Vicerrector Académico  
Universidad de Oriente  
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda "SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009".

Leído el oficio SIBI - 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
SISTEMA DE BIBLIOTECA  
RECIBIDO POR *[Signature]*  
FECHA 05/08/09 HORA 5:20

Cordialmente,

*[Signature]*  
JUAN A. BOLANOS CUNVELO  
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teletecnología, Coordinación General de Postgrado.  
JABC/YGC/manuja

## **METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO**

### **Derechos**

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajos de grado (Vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009)

“Los Trabajos de grado son exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizadas a otros fines con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo, quien lo participara al Consejo Universitario, para su autorización”

**MARIO ISAVA**

**AUTOR**

**ADIRANA MENDEZ**

**ASESOR**

**JESÚS BRUM**

**JURADO**

**SIMÓN RAMÍREZ**

**JURADO**

**CORDINADOR(A)**

**COMISION DE TRABAJO DE GRADO**