

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**REDISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN DEL ALIMENTADOR CAY-201
PARA LA REDUCCIÓN DE INTERRUPCIONES POR FALLAS ELÉCTRICAS**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR

GERARDO PAOLO PELTROCHE CAICEDO

ASESOR

ALEXANDER QUEREVALU MORANTE

<https://orcid.org/0000-0001-5672-6829>

Chiclayo, 2021

**REDISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN DEL
ALIMENTADOR CAY-201 PARA LA REDUCCIÓN DE
INTERRUPCIONES POR FALLAS ELÉCTRICAS**

PRESENTADA POR
GERARDO PAOLO PELTROCHE CAICEDO

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

APROBADA POR

Jony Villalobos Cabrera
PRESIDENTE

Wilson Jimenez Zuloeta
SECRETARIO

Querevalu Morante Alexander
VOCAL

DEDICATORIA

A mis padres, Rolando y Roxana y mis abuelos, Noé, Lili, Hipólito y Petronila, fuentes de inspiración y fortaleza.

ÍNDICE

RESUMEN.....	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO I ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA	14
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	14
1.2. Justificación e importancia de la investigación	15
1.2.1. Social.....	15
1.2.2. Económica.....	15
1.2.3. Tecnológico.....	15
1.2.4. Ambiental	15
1.3. Objetivos.....	16
1.3.1. Objetivo general	16
1.3.2. Objetivo específico.....	16
1.4. Alcance de la investigación	16
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	17
2.1. Antecedentes de la investigación.....	17
2.2. Bases teóricas	18
2.2.1. Filosofía de las protecciones	18
2.2.2. Coordinación de la protección.....	18
2.2.3. Reporte de interrupciones.....	18
2.2.4. Compensaciones por interrupciones.....	20
2.2.5. Criterios de diseño.....	21
2.2.6. Fallas eléctricas	22
2.2.7. Fallas por cortocircuito.....	22

2.2.8. Ajustes de las protecciones de corriente.....	25
2.2.9. Componentes de los sistemas de protección	28
2.2.10. Estudio de proyección de la demanda	34
2.2.10.1. Proyección de demanda eléctrica de corto plazo.....	34
2.2.10.2. La proyección de demanda eléctrica a mediano plazo	35
2.2.10.3. La proyección de la demanda eléctrica de largo plazo.....	36
2.2.11. Método ARIMA	36
2.3. Hipótesis	37
2.3.1. Formulación del problema	37
2.3.2. Formulación de la hipótesis.....	37
CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO	38
3.1. Enfoque y diseño	38
3.2. Sujetos de la investigación	38
Variables dependientes.....	38
Variables independientes.....	38
3.3. Método y procedimientos	38
3.4. Técnicas e instrumentos.....	39
CAPÍTULO IV DESARROLLO Y RESULTADOS.....	40
4.1. Desarrollo y resultados	40
4.1.1. Descripción general del sistema eléctrico	40
4.1.2. Reporte de interrupciones del alimentador CAY-201	41
4.1.3. Sistema de protección actual.....	48
4.1.4. Estudio de proyección de la demanda del alimentador CAY-201	52
4.1.5. Análisis del flujo de potencia del sistema de protección actual.....	61
4.1.6. Estudio de corto circuito	63
4.1.7. Curvas de disparo del sistema de protección actual	69

4.1.8. Thevenin equivalente	71
4.1.9. Ajustes de los relés para las funciones 50/51	73
4.1.10. Curvas de disparo de los relés	75
4.1.11. Ajustes para los relés con la función 50/51	76
4.1.12. Ajustes de los relés para las funciones 50N/51N	82
4.1.13. Selección de fusibles	86
4.1.14. Simulación de fallas por cortocircuito.....	88
4.1.15. Simulación de fallas a tierra	97
CAPITULO V COSTOS	104
Rediseño del sistema de protección del alimentador CAY-201.....	104
CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	105
Conclusiones	105
Recomendaciones	106
ANEXOS.....	107
Anexo 1	107
Anexo 2	107
Anexo 3	108
Anexo 4	108
Anexo 5	109
Anexo 6	109
Anexo 7	110
Anexo 8	111
Anexo 9	112
Anexo 10	113

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de interruptores según su clasificación	26
Tabla 2 Tipos de interruptores según su clasificación	32
Tabla 3 Corriente nominal de los transformadores de corriente	33
Tabla 4 Tolerancias	42
Tabla 5 Motivo de las fallas eléctricas en el alimentador CAY-201	43
Tabla 6 Reporte de interrupciones del alimentador CAY-201.....	46
Tabla 7 Especificaciones Técnicas de los equipos de protección	49
Tabla 8 Especificaciones del gabinete de control EVRC2A.....	50
Tabla 9 Energía en kWh por mes del alimentador CAY-201	52
Tabla 10 Potencia en kW de cada mes del alimentador CAY-201	53
Tabla 11 Información histórica de variables explicativas	54
Tabla 12 Ventas históricas de energía.....	57
Tabla 13 Tasa de crecimiento.....	59
Tabla 14 Resumen de corrientes y potencias de falla por cortocircuito.....	68
Tabla 15 Parámetros Relé 1.....	76
Tabla 16 Ajustes Relé 1	76
Tabla 17 Parámetros Relé 2.....	77
Tabla 18 Ajustes Relé 2	78
Tabla 19 Parámetros Relé 3.....	79
Tabla 20 Ajustes Relé 3	79
Tabla 21 Parámetro Relé 4.....	80
Tabla 22 Ajustes Relé 4	80
Tabla 23 Ajustes Relé 1Tierra.....	82
Tabla 24 Ajustes Relé 2 Tierra.....	83
Tabla 25 Ajustes Relé 3 Tierra.....	84
Tabla 26 Ajustes Relé 4 Tierra.....	85
Tabla 27 Costos.....	104
Tabla 28 Características de conductores AAAC	109
Tabla 29 Características del cable tipo N2XSY	110
Tabla 30 Características de los conductores utilizados	111

LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1 Cortocircuito 1 fase - tierra	22
Ilustración 2 Cortocircuito 2 fases.....	23
Ilustración 3 Cortocircuito dos fases - tierra	24
Ilustración 4 Cortocircuito tres fases y tres fases - tierra	25
Ilustración 5 Características de operación de los relés de sobrecorriente	27
Ilustración 6 Sistema de accionamiento de relé	28
Ilustración 7 Interruptor de la subestación de potencia Cayalti	29
Ilustración 8 Transformador de potencia del Alimentador CAY-201.....	30
Ilustración 9 Interruptor de recierre automático.....	31
Ilustración 10 Proyeccion realizada por el COES para el día 17 de abril de 2017	35
Ilustración 11 Proyección de mediano plazo para el periodo 2010 a 2014 en Algeria	35
Ilustración 12 La proyección realizada por el COES para el periodo 2015 a 2028 en la red eléctrica del Perú.	36
Ilustración 13 Grafico acumulativo de interrupciones del alimentador CAY-201 del año 2018	48
Ilustración 14Gráfico de evolución de PBI en el área de Lambayeque	55
Ilustración 15 Gráfico de evolución del número de clientes en el área de Lambayeque	55
Ilustración 16 Gráfico de evolución de la población en el área de Lambayeque.....	56
Ilustración 17 Gráfico de evolución de tarifa en el área de Lambayeque	56
Ilustración 18 Ventas históricas de energía eléctrica	58
Ilustración 19 Unifilar del alimentador CAY-201 en DIgSILENT.....	61
Ilustración 20 Unifilar de la interconexión con Niepos en DIgSILENT.....	62
Ilustración 21 Flujo de potencia en la barra del Alimentador CAY-201	63
Ilustración 22 Simulación de corto circuito en el alimentador CAY-201	64
Ilustración 23 Simulación corriente de cortocircuito en la línea del RECLOSER N° 1	64
Ilustración 24Simulacion corriente de cortocircuito en la línea del RECLOSER N°2	65
Ilustración 25 Simulación Cortocircuito en la barra del lado de media tensión de la C.H Buenos Aires	65
Ilustración 26 Simulación cortocircuito monofásico en el alimentador CAY-201	66

Ilustración 27 Simulación cortocircuito monofásico en la línea del RECLOSER N°1	66
Ilustración 28 Simulación cortocircuito monofásico en la línea del RECLOSER N° 2	67
Ilustración 29 Simulación cortocircuito monofásico en la barra de media tensión de la C.H de Buenos Aires	67
Ilustración 30 Curvas de disparo sistema actual	69
Ilustración 31 Ubicación cortocircuito	70
Ilustración 32 Simulación cortocircuito sistema de protección actual	70
Ilustración 33 SEIN-Barra de 60kV Cayaltí.....	71
Ilustración 34 Cargas del alimentador por código de subestación	72
Ilustración 35 Ubicación del relé N°1	73
Ilustración 36 Ubicación del relé N°2	73
Ilustración 37 Ubicación relé N°3	74
Ilustración 38 Ubicación relé N°4	74
Ilustración 39 Curva de disparo relé N°1	77
Ilustración 40 Curva de disparo relé N°2	78
Ilustración 41 Curva de disparo relé N°3	80
Ilustración 42 Curva de disparo relé N°4	81
Ilustración 43 Curva de disparo relé tierra N°1	82
Ilustración 44 Curva de disparo relé tierra N°2.....	83
Ilustración 45 Curva de disparo relé tierra N°3.....	84
Ilustración 46 Curva de disparo relé tierra N°4.....	85
Ilustración 47 Ubicación fusibles	86
Ilustración 48 Curvas de disparo tipo "K" para fusibles de 4 A y 2 A.....	87
Ilustración 49 Ubicación cortocircuito Caso 1	88
Ilustración 50 Simulación de cortocircuito caso 1	89
Ilustración 51 Ubicación cortocircuito Caso 2	90
Ilustración 52 Simulación de cortocircuito caso 2 para fusibles	90
Ilustración 53 Simulación de cortocircuito Caso 2	91
Ilustración 54 Ubicación cortocircuito Caso 1	92
Ilustración 55 Simulación de cortocircuito Caso 1	92
Ilustración 56 Ubicación cortocircuito Caso 2	93
Ilustración 57 Simulación de cortocircuito caso 2 para fusibles	94

Ilustración 58 Simulación de cortocircuito Caso 2	94
Ilustración 59 Ubicación cortocircuito Caso 1	95
Ilustración 60 Simulación de cortocircuito Caso 1	95
Ilustración 61 Ubicación cortocircuito Caso 2	96
Ilustración 62 Simulación de cortocircuito caso 2 para fusibles	96
Ilustración 63 Simulación de cortocircuito Caso 2	97
Ilustración 64 Ubicación del cortocircuito de alta impedancia tramo 1	98
Ilustración 65 Simulación de falla de alta impedancia en fusibles tramo 2	98
Ilustración 66 Simulación falla de alta impedancia en relés 50N/51N	99
Ilustración 67 Simulación de falla de alta impedancia en relés función 50/51	99
Ilustración 68 Ubicación del cortocircuito de alta impedancia tramo 2	100
Ilustración 69 Simulación de falla de alta impedancia en fusibles tramo 2	101
Ilustración 70 Simulación falla de alta impedancia en relés 50N/51N	101
Ilustración 71 Ubicación del cortocircuito de alta impedancia tramo 3	102
Ilustración 72 Simulación de falla de alta impedancia en fusibles tramo 3	102
Ilustración 73 Simulación falla de alta impedancia en relés 50N/51N	103
Ilustración 74 Ubicación del relé existente a la salida del alimentador CAY-201	107
Ilustración 75 Ubicación de relé existente a la salida de la C.H Buenos Aire	107
Ilustración 76 Ubicación nuevo relé 1 en la troncal	108
Ilustración 77 Ubicación nuevo relé 2 en la troncal	108
Ilustración 78 Relé existente reubicado a la salida de la C.H Buenos Aires	109
Ilustración 79 Transformador de corriente catálogo Zaiger	112
Ilustración 80 Curva de disparo fusibles tipo K	113

RESUMEN

Debido a la revisión del resumen de interrupciones en los reportes de SAIDI SAIFI, se constata la existencia de múltiples fallas, las cuales deberán ser aisladas de manera adecuada, con selectividad, rapidez y confiabilidad, se manifiesta de esta manera que se debe realizar mejoras en el sistema de coordinación y protecciones en el alimentador CAY-201, del sistema eléctrico de potencia de Cayaltí, actualmente los equipos con los que cuenta el sistema de protección del alimentador CAY-201, en base al presente estudio se encuentran erróneamente instalados y o/ajustados, lo que produce un comportamiento inadecuado de los mismos, causando excesivas interrupciones que perjudican tanto a usuarios como a la concesionaria.

La norma técnica DS 020-97-NTCSE, establece para el sector típico 4 rural, como es el caso del alimentador CAY-201, un máximo de 4 interrupciones por semestre en usuarios de media tensión, sin embargo, del registro de interrupciones indicados en el SAIFI de Electronorte S.A indica un total de 32 interrupciones en el periodo del año 2018, excediendo así los parámetros de tolerancia.

Debido a la demanda eléctrica existente, el alimentador se interconectó a la Central Hidroeléctrica Buenos Aires Niepos, lo cual, ha generado que las fallas que se producen en el alimentador afecten a la C.H y viceversa.

Como medida correctiva se propuso una correcta coordinación de los equipos de protección y se realizó un análisis de flujo de potencia en el sistema existente y el proyectado, haciendo uso del Software DIgSILENT.

Obteniendo que es necesario implementar 4 relés a lo largo de la troncal del sistema, así como también fusibles en las derivaciones del mismo, seleccionados y ajustados tomando en consideración las corrientes nominales y de cortocircuito obtenidas en el análisis de flujo de potencia, comprobando su rapidez, selectividad y sensibilidad ante una falla eléctrica.

Palabras Claves: Sistema de protección, Alimentador, CAY-201, análisis de coordinación, análisis de flujo de corriente, C.H Buenos Aires Niepos.

ABSTRACT

Due to the review of the summary of interruptions in SAIDI SAIFI reports, it is found that there are multiple failures, which should be adequately isolated, with selectivity, speed and reliability, it is manifested in this way that improvements must be made in the system of coordination and protections in the feeder CAY-201, of the electrical power system of Cayalti, currently the equipment that has the protection system of the feeder CAY-201, based on the present study are wrongly installed I / adjusted , which produces an inappropriate behavior of the same, causing excessive interruptions that harm both users and the concessionaire.

The technical norm DS 020-97-NTCSE, establishes for the typical rural sector 4, as is the case of the feeder CAY-201, a maximum of 4 interruptions per semester in medium voltage users, however, of the register of interruptions indicated in The SAIFI of Electronorte SA indicates a total of 32 interruptions in the period of the year 2018, thus exceeding the tolerance parameters.

Due to the existing electricity demand, the power supply was interconnected to the Buenos Aires Niepos Hydroelectric Power Plant, which has caused the faults that occur in the power supply to affect the C.H and vice versa.

As a corrective measure, a correct coordination of the protection equipment was proposed and a power flow analysis was performed on the existing and projected system, using the DIgSILENT Software.

Obtaining that it is necessary to implement 4 relays along the trunk of the system, as well as fuses in the derivations thereof, selected and adjusted taking into account the nominal and short-circuit currents obtained in the power flow analysis, checking its speed, selectivity and sensitivity to an electrical failure.

Keywords: Protection system, Feeder, CAY-201, coordination analysis, current flow analysis, C.H Buenos Aires Niepos.

INTRODUCCIÓN

La calidad del servicio de un sistema eléctrico puede medirse a través de diversos parámetros como continuidad del servicio, esta se ve directamente afectada luego de producirse un corte del suministro de energía eléctrica, estos cortes afectan a todos los usuarios produciendo perturbaciones en el desarrollo habitual de sus actividades y en el confort, estos pueden cuantificarse midiendo su frecuencia de aparición y su duración. [1]

La regulación de la calidad de suministro eléctrico y calidad de producto en la actualidad se ve enfocada a la continuidad del servicio eléctrico y a las características de la corriente eléctrica suministrada, es un tema de preocupación relativamente reciente a nivel mundial. [2]

Los sistemas de protección tienen como función principal garantizar el suministro eléctrico de forma regular o continua, siempre buscando el mínimo costo y el mejor aprovechamiento de los recursos, estos están sometidos a condiciones de operación de régimen permanente, existen diversas instalaciones que deben ser interconectadas, distinguiendo el área de generación, transmisión y distribución. [3]

En el alimentador a tratar ha presentado múltiples fallas en su sistema eléctrico, que produce un corte del servicio eléctrico de manera no coordinada, perjudicando a usuarios que no deberían verse comprometidos y generando el pago de compensaciones a la concesionaria, así mismo el alimentador CAY-201 está interconectado con la central de generación hidroeléctrica de Buenos Aires Niepos, perjudicándose esta última al presentarse fallas en el alimentador.

Por tal razón es necesario realizar un estudio de coordinación, determinar la protección y el correcto ajuste de las corrientes mínimas de operación de los equipos del sistema de protección y tomar en cuenta un rediseño del mismo para que la interconexión a la central hidroeléctrica se lleva a cabo de manera satisfactoria.

CAPÍTULO I

ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA

1.1. Descripción de la realidad problemática

La calidad de servicio eléctrico en el Perú se mide con los indicadores SAIDI (índice de duración promedio de interrupción del sistema) y SAIFI (índice de frecuencia de interrupción promedio del sistema), los cuales han evolucionado a lo largo de los últimos años de manera insatisfactoria, aumentándose en algunos sistemas como es el caso del alimentador CAY-201 [2].

El alimentador CAY-201 se ha interconectado con la central hidroeléctrica Buenos Aires Niepos, dicha interconexión causa que, ante una falla eléctrica en el sistema, los equipos de protección no actúen de manera correcta, dejando a usuarios residenciales e industriales sin servicio eléctrico y en algunos casos desconectando todo el sistema del alimentador CAY-201 y la central hidroeléctrica Buenos Aires Niepos.

Con un correcto rediseño y coordinación del sistema de protección del alimentador CAY-201, estas fallas dejarán de perjudicar a usuarios que se encuentren fuera de la zona donde ocurrió la falla eléctrica, reduciendo el tiempo de identificación de la falla y reconexión del sistema beneficiando así la concesionaria eléctrica reduciendo costos por el pago de compensaciones y garantizando la continuidad del servicio eléctrico en los usuarios de este sistema eléctrico.

1.2. Justificación e importancia de la investigación

1.2.1. Social

Los erróneos accionamientos de los sistemas de protección producen interrupciones que afectan a usuarios que no se verían comprometidos si los sistemas funcionaran de manera adecuada.

1.2.2. Económica

Con una correcta coordinación y ajustes reducen los tiempos de identificación de falla y reconexión evitando el pago de compensaciones por parte de la concesionaria

1.2.3. Tecnológico

Se evaluará la implementación de nuevos equipos en puntos estratégicos y se utilizará el software DIGSILENT para simular fallas y realizar el análisis de flujo de corriente correspondiente.

1.2.4. Ambiental

Con la correcta coordinación de los equipos del sistema de protección se evitará la construcción de nuevos sistemas de distribución los cuales representan una nueva inversión económica e impactos ambientales causados por la instalación de los mismos.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Rediseñar la instalación y coordinación de sistemas de protección del alimentador CAY-201, para la reducción de interrupciones por fallas.

1.3.2. Objetivo específico

- Evaluar el reporte de interrupciones del alimentador CAY-201 para determinar su estado.
- Identificar los equipos de protección con los que cuenta actualmente.
- Determinar mediante un estudio de proyección de la demanda el comportamiento de la carga del alimentador CAY-201.
- Analizar el flujo de potencia del sistema de protección actual del alimentador CAY-201 interconectado a la C.H Buenos Aires Niepos.
- Proponer la implementación de nuevos equipos de protección y una correcta coordinación de los mismos para el sistema de protección del alimentador CAY-201.
- Simular el comportamiento del sistema de protección proyectado, utilizando el software DIGSILENT, demostrando la efectividad del nuevo sistema.

1.4. Alcance de la investigación

- Determinar las corrientes de ajuste para que cada uno de los relés de protección propuestos aperturen el sistema eléctrico de tal manera que el menor número de usuarios se vea afectado ante un cortocircuito que se presente.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

a) Título: Estudio de coordinación de las protecciones para mejorar la selectividad en el alimentador de media tensión TSU-016 de Hidrandina S.A, La Libertad.

Autor (es): Herrera Domínguez, Mike Alex.

Editorial: Universidad Cesar Vallejo Trujillo.

Año: 2015

Correlación: Se busca reducir el índice de salidas de servicio del alimentador realizando un estudio de coordinación al sistema de protección del alimentador.

b) Título: Análisis, optimización y evaluación de la coordinación de protección contra descargas de origen atmosférico y fallas a tierra en el alimentador 3003 del servicio eléctrico Ananea.

Autor (es): Jaynor Vladimir Esteba Vargasy Wilson Uliser Condori Ticona

Editorial: Universidad Nacional del Altiplano.

Año: 2018

Correlación: Se realiza un estudio de coordinación para buscar la optimización del sistema de protección en un alimentador, realizando el correcto ajuste de los equipos que conforman el sistema.

c) Título: La Influencia de la Coordinación de Protección en la Calidad de Suministro del Sistema Eléctrico del Alimentador 7004 de la Minera IRL - Chumpe

Autor (es): Socualaya Quispe, Yack

Editorial: Universidad Continental.

Año: 2018

Correlación: Análisis de como la coordinación afecta en la disponibilidad y calidad del sistema eléctrico de un alimentador.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Filosofía de las protecciones

En la ocurrencia de una falla en el sistema eléctrico, la protección debe accionar el disyuntor lo más rápido posible de modo que se elimine el cortocircuito y dejar el menor número de usuarios fuera de servicio. [4]

2.2.2. Coordinación de la protección

Significa definir los tiempos de operación de los equipos de protección, de tal manera que la actuación sea debidamente priorizada a los relés de protección, minimizando los tiempos de actuación, está determinada por la graduación de tiempos y magnitudes medidas para la correcta y oportuna actuación de las protecciones. [5]

2.2.3. Reporte de interrupciones

Se evalúa mediante indicadores (SAIDI-SAIFI), que consideran el número de interrupciones del servicio y el tiempo desde el inicio de la interrupción hasta la conexión del mismo. [6]

a) Número Total de Interrupciones por Cliente por Semestre (N)

Es el número de interrupciones totales de cada cliente durante un semestre

$N = \text{Número de interrupciones}$

b) Duración Total Ponderada de las Interrupciones por Cliente (D)

Es la sumatoria de las duraciones individuales de todas las interrupciones

La duración de las interrupciones se calcula teniendo las siguientes consideraciones [6]

$$D = \sum K_i * d_i$$

Donde:

- d_i Es la duración de la interrupción i
- K_i Son los factores de ponderación de la interrupción

1. Interrupciones programadas por expansión o reforzamiento

$$K_i=0,25$$

2. Interrupciones programadas por mantenimiento

$$K_i=0,50$$

3. Otras

$$K_i=1,00$$

Los valores de SAIDI y SAIFI se calculan a partir de la siguiente fórmula y se toman a un nivel regional tomando la siguiente fórmula. [7]

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \times u_i}{N}$$

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^n u_i}{N}$$

Donde:

t_i : Duración de cada interrupción.

u_i : Número de usuarios afectados en cada interrupción.

n : Número de interrupciones en el periodo.

N : Número de usuarios del sistema eléctrico o concesionaria al final del periodo, según corresponda.

2.2.4. Compensaciones por interrupciones

Estas se calculan semestralmente en función de la energía teóricamente no suministrada (ENS), el número de interrupciones por cliente por semestre(N) y la duración total acumulada de interrupciones (D), definida por la expresión [6]

$$\text{Compensaciones por interrupciones} = e \cdot E \cdot ENS$$

Donde:

- e, Es la compensación unitaria por el incumplimiento de la calidad de suministro, puede tomar los siguientes valores:

Primera etapa: $e=00,0$

Segunda etapa: $e=0,05$ US\$/kWh

Tercera etapa: $e=0,95$ US\$/kWh

- E, toma en consideración los indicadores de calidad de suministro y está definido como

$$E = [1 + (N - N') / N' + (D - D') / D']$$

Donde N y D son los valores de los indicadores y N' y D' son los valores de tolerancias de los mismos, en el caso de ser igual o menor a la tolerancia E asume un valor de 0.

- ENS, Es la energía teóricamente no suministrada y se expresa como

$$ENS = ERS / (NHS - \sum d_i) \cdot D \text{ expresada en kWh}$$

Donde

ERS: Es la energía registrada por semestre

NHS: Es el número de horas del semestre

$\sum d_i$: Es la duración real de las interrupciones en el semestre

2.2.5. Criterios de diseño

- **Confiabilidad:**
Capacidad del sistema de protección para efectuar su función correctamente cuando esta es requerida y evitar operaciones incorrectas durante las fallas.
- **Velocidad:**
Rapidez necesaria para despejar las fallas con la finalidad de evitar daños en los equipos.
- **Selectividad:**
Criterio para desconectar una sección mínima del circuito para aislar la falla y mantener la continuidad del servicio
- **Seguridad:**
Evitar la desenergización del circuito por desbalanceo de cargas, presencia de armónicos y otras condiciones de estado estable o transitorio.
- **Sensibilidad:**
Capacidad para detectar y diferenciar fallas temporales y permanentes.
- **Economía:**
Asegurar la máxima protección al mínimo costo.
- **Simplicidad:**
Equipos mínimos necesarios que garanticen la correcta protección del sistema. [8]

La finalidad del sistema de protección es sacar de servicio cualquier elemento de un sistema de potencia cuando este sufre un cortocircuito o presenta un comportamiento anormal que afecte de alguna manera el comportamiento eficaz del sistema, también cumplen con la función de separar la instalación afectada por una falla eléctrica indicando incluso el tipo de falla, agilizando así las tareas de reparación y contribuyendo con la prevención de futuras fallas. [9]

2.2.6. Fallas eléctricas

Las fallas presentes en el alimentador CAY-201 son por cortocircuito, estos ocurren en puntos aleatorios del sistema eléctrico, si estos no son interrumpidos en un tiempo corto los equipos que constituyen todo el sistema sufrirán daños, es importante conocer el tipo de falla para el dimensionamiento adecuado de conductores, selección de interruptores, transformadores de corriente y correcta coordinación de los relés. [10]

2.2.7. Fallas por cortocircuito

Cortocircuito 1Ø-tierra

Tipo de cortocircuito más frecuente y más agresivo, su elevada corriente y conexión a tierra hace importante su cálculo ya que permite determinar fugas a tierra, tensiones de contacto o de paso y valores que estas interferencias puedan provocar. [11]

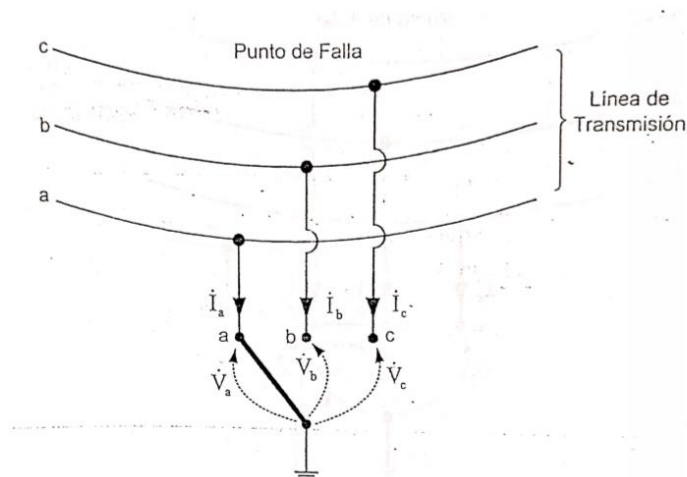


Ilustración 1 Cortocircuito 1 fase - tierra

Fuente: G. Kindermann, Corto Circuito, 2010

Condiciones de falla [10]

$$V_a = 0$$

$$I_a = I_c = 0$$

Cortocircuito 2Ø

Las corrientes de falla en esos casos se pueden ser mayores en magnitud a las de un cortocircuito trifásico, este cortocircuito ya no es equilibrado, para determinarlo en cálculo se debe usar la red de secuencia directa y la red de secuencia inversa. [11]

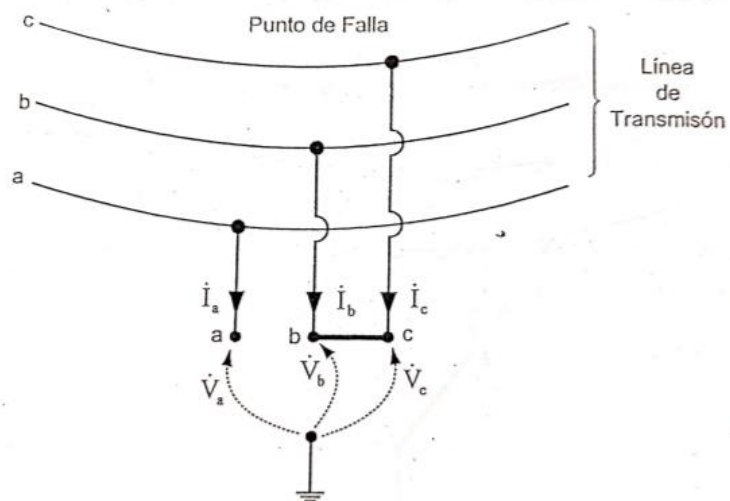


Ilustración 2 Cortocircuito 2 fases

Fuente: G. Kindermann, Corto Circuito, 2010

Condiciones de falla [10]

$$I_a = 0$$

$$V_b = V_c$$

$$I_b + I_c = 0$$

Cortocircuito 2Ø-tierra

Similares características a los cortocircuitos bifásicos, pero en este caso presenta pérdidas de energía a tierra, se presentan con mayor frecuencia en redes rígidamente puestas a tierra. [11]

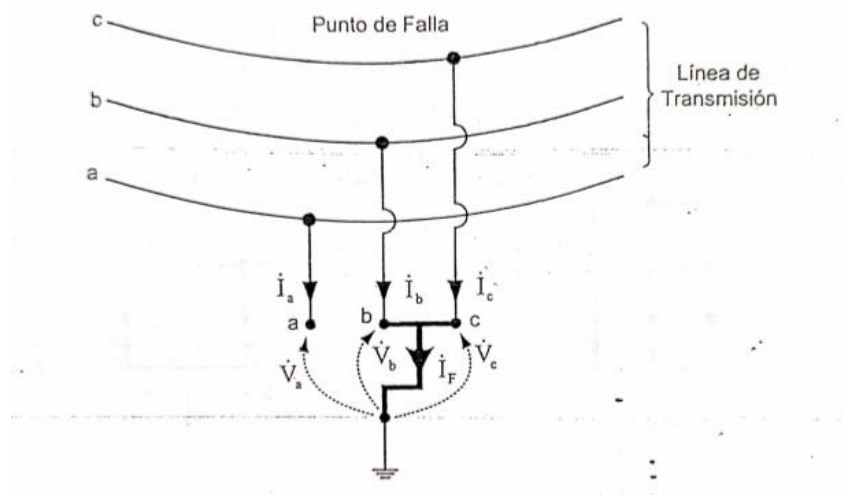


Ilustración 3 Cortocircuito dos fases - tierra

Fuente: G. Kindermann, Corto Circuito, 2010

Condiciones de falla [10]

$$I_a = 0$$

$$V_b = V_c = 0$$

Cortocircuito 3Ø

Son los únicos que se comportan como un sistema equilibrado, debido a que todas las fases se ven afectadas de la misma manera, las tensiones en el punto de cortocircuito son nulas, presenta una intensidad de corriente igual al módulo, pero con un desfase de 120° , solo es necesario usar una red de secuencia directa para su cálculo debido a su comportamiento equilibrado. [11]

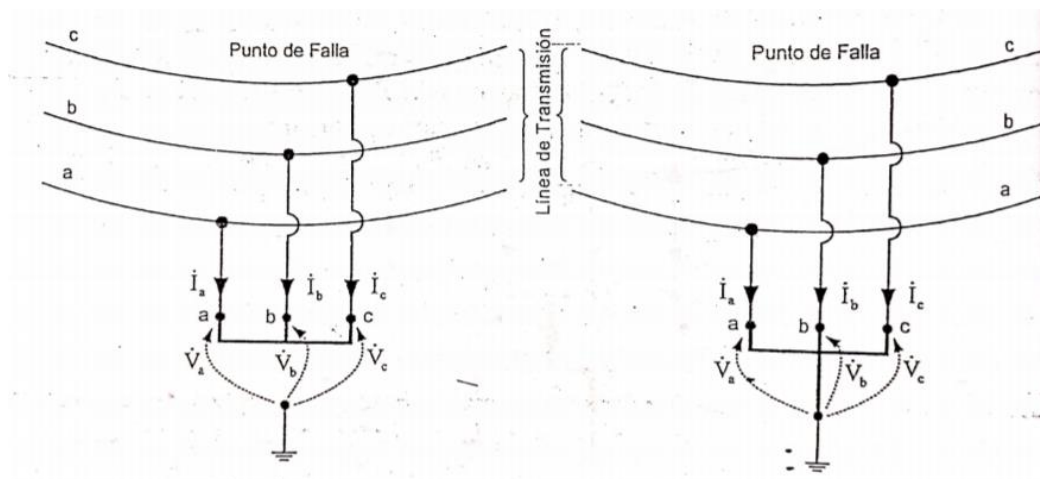


Ilustración 4 Cortocircuito tres fases y tres fases - tierra

Fuente: G. Kindermann, Corto Circuito, 2010

Condiciones de falla [10]

$$V_a = V_b = V_c = 0$$

2.2.8. Ajustes de las protecciones de corriente

Funciones 50/51-50N/51N

La protección de sobre corriente temporizado, instantáneo, temporizado a tierra y e instantánea tierra, se encarga de medir constantemente cada fase con la finalidad de detectar las sobre corrientes que se pueden producir en un cortocircuito, el tiempo de actuación de la protección está determinando por una función que depende del valor de la corriente y puede ser definida con los siguientes tipos de curvas. (Gráfico) [5]

- Tiempo definido cuando se supera un valor previamente calibrado, en esos casos su operación puede ser instantánea (función 50) y temporizada (función 51).
- Tiempo inverso, esta operación depende del tiempo dado en una función exponencial que se expresa:

$$t = TMS. \left(\frac{K}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha} + C \right)$$

Tabla 1 Tipos de interruptores según su clasificación

Características		IEC/BS			ANSI/IEEE		
		α	K	C	A	K	C
Tiempo definido		-	0	1			
Normal Inverso	NI	0,02	0,14	0	2,0938	8,9341	0,17966
Muy inverso	VI	1	13,5	0	2	3,922	0,0982
Extremadamente Inverso	EI	2	80	0	2	5,64	0,02434
Inverso de Largo Tiempo	LI	1	1,20	0	2	5,6143	2,18592

Fuente: Criterios de ajuste y coordinación de los sistemas de protección del SEIN

Donde

t= Tiempo de actuación del Relé (variable dependiente)

I=Corriente que mide el Relé (variable independiente)

α =Parámetro que define la curva característica de operación del Relé

I_s =Corriente de Arranque del Relé

TMS=Constante de ajuste del Relé

K=Parámetro que define la curva característica de operación del Relé

C=Constante de ajuste del Relé

Dependiendo del tipo de función se deben tomar las siguientes consideraciones

Para la función (51)

- La corriente de arranque del Relé (I_s) que viene a ser el umbral de la corriente de operación del relé.
- La constante de ajuste del Relé (TMS) es el parámetro que permite definir los tiempos de operación según su curva característica. [5]

Para la función (50)

- La corriente de arranque del Relé (I_s) es el umbral de la corriente de operación del relé.
- Es posible definir una temporización para su actuación si es que resulta conveniente. [5]

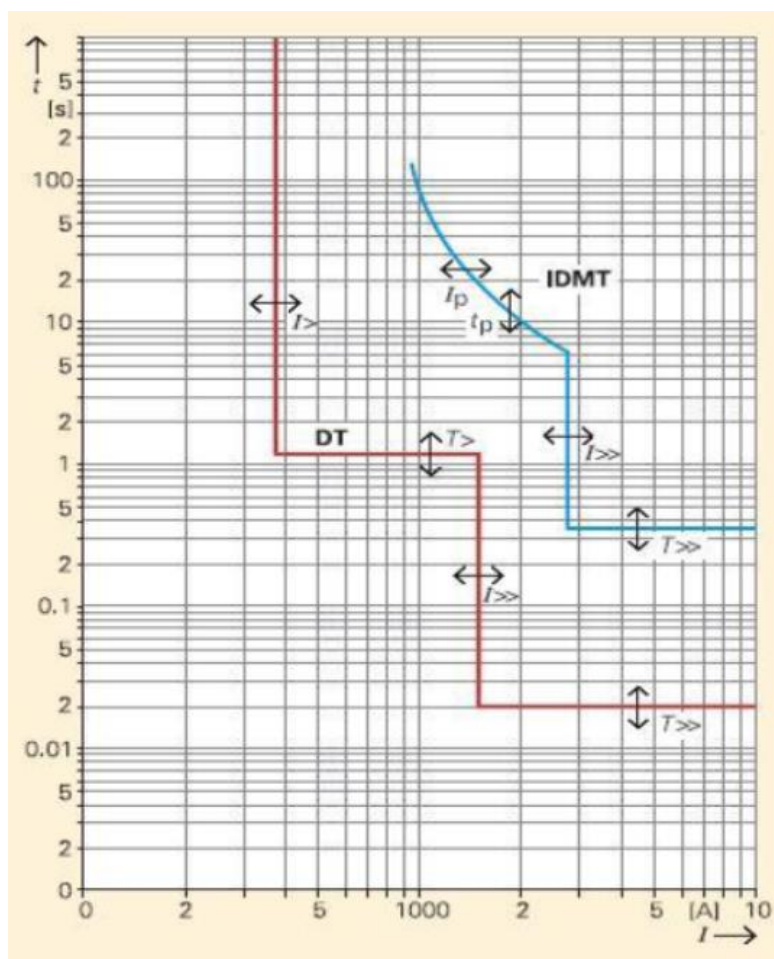


Ilustración 5 Características de operación de los relés de sobrecorriente

Fuente: COES SINAT, Criterios de ajuste y coordinación de los sistemas de protección del SEIN, 2014.

2.2.9. Componentes de los sistemas de protección

2.2.9.1. Relés de protección

Su misión es medir una o más señales de entrada que pueden ser de tensión o de corriente, las cuales se interpretan como condición normal de funcionamiento o falla, mandando una señal de salida que active uno o más equipos en caso de presentarse una falla.

Equipos cuya función en el sistema de protección es la de identificar las fallas, localizarlas de la manera más exacta y alertar al encargado de operar el sistema, con la apertura de disyuntores aísla la falla y mantiene el resto del sistema en operación normal. [4]

Todos los relés poseen una arquitectura abierta en su procesador y utilizan protocolos de comunicación establecidos por normas internacionales, estableciendo una compatibilidad e integración entre relés procedentes de distintos fabricantes. [3]

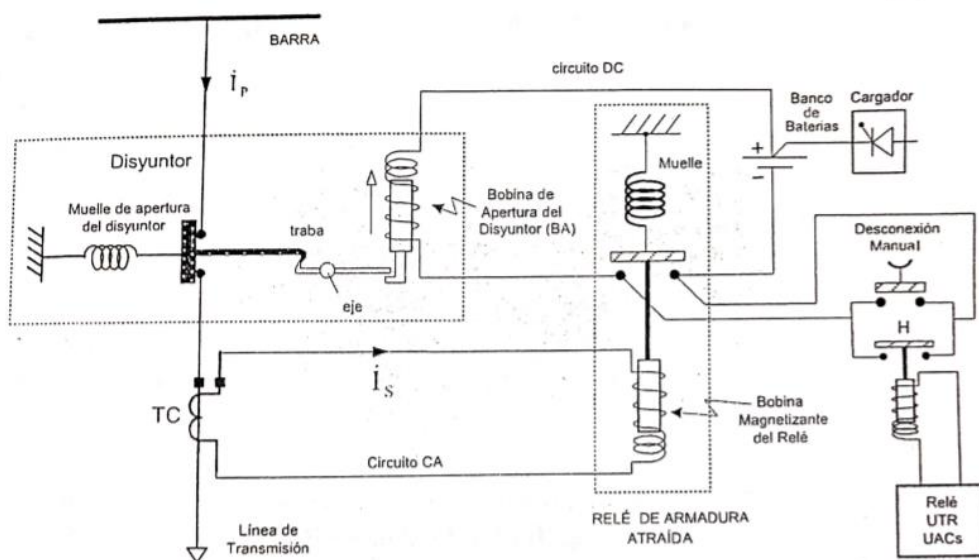


Ilustración 6 Sistema de accionamiento de relé

Fuente: Geraldo Kindermann (2014), Protección de sistemas eléctricos de potencia

2.2.9.2 Interruptores

Tienen como finalidad cerrar los circuitos y conducir las posibles corrientes que pueden circular por el circuito (de carga o de falla) e interrumpir las mismas. [3]



Ilustración 7 Interruptor de la subestación de potencia Cayalti

Fuente: Propia

2.2.9.3. Transformador de potencia

Consiste en dos o más bobinas enlazadas, de tal manera que por ellas fluye el mismo flujo magnético, estas bobinas van sobre un núcleo de acero, de manera que se enlaza en flujo en todas las bobinas que componen el transformador, el número de devanados depende del tipo de transformador y el número de vueltas en sus bobinas van desde varios de cientos hasta miles. [12]



Ilustración 8 Transformador de potencia del Alimentador CAY-201

Fuente: Propia

Donde

- ❖ μ es la permeabilidad del núcleo
- ❖ v_1 y v_2 son los voltajes en los terminales
- ❖ e_1 y e_2 son los voltajes inducidos

Despreciando las pérdidas en el núcleo y la resistencia de los devanados podemos decir se cumple la ley de Faraday

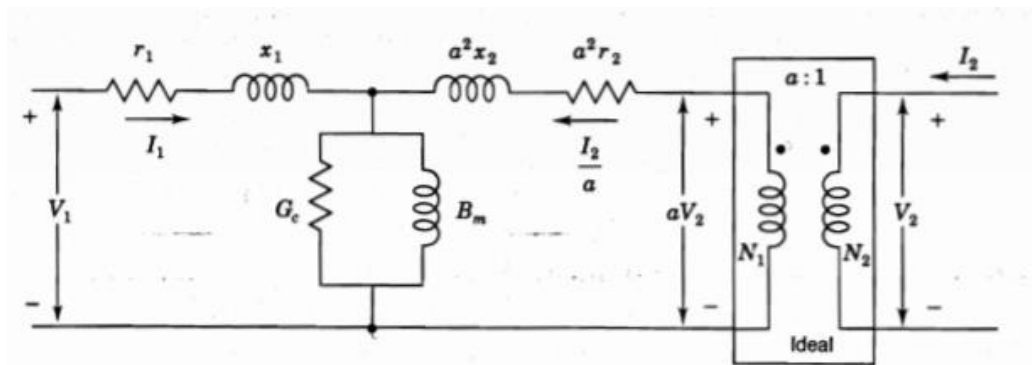
$$v_1 = e_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad \text{y} \quad v_2 = e_2 = N_2 \frac{d\phi}{dt}$$

Donde

- ❖ ϕ es el valor instantáneo del flujo
- ❖ N_1 y N_2 , el número de vueltas de cada devanado
- ❖ Circuito equivalente de un transformador monofásico

En un transformador real existen pérdidas que se pueden representar en dos ramas, la primera es la rama de conductancia representada por G_c y la segunda la rama de susceptancia de magnetización, como podemos apreciar en la figura.

[12]



Fuente: John J. Grainger, (1996), Análisis de sistemas de potencia

2.2.9.4. Reconector Automático

Es un dispositivo de protección con la capacidad de detectar sobre corrientes, interrumpirlas y reconectar de forma automática con la finalidad de energizar la línea, tiene un sistema de control que permite realizar varias reconexiones sucesivas y en caso de falla del tipo permanente, interrumpir de forma definitiva de modo que aísla la sección del sistema donde se presentó la falla, generalmente se instalan en líneas de distribución. [13]



Ilustración 9 Interruptor de recierre automático

Fuente: Cooper Power system, Interruptor de recierre automático, ficha técnica

Tabla 2 Tipos de interruptores según su clasificación

Tipos de interruptores según su aplicación							
Aplicación	15Kv	27Kv	38Kv	72,5 kV	145 kV	245kV	Muy alta tensión
Línea de Transmisión	Tripolar	Tripolar	Tripolar	Tripolar	Uni/tripolar	Uni/tripolar	Uni/tripolar
Transformadores y Reactores y Capacitores	Tripolar	Tripolar	Tripolar	Tripolar	Tripolar	Uni/tripolar	Uni/tripolar

Fuente: Criterios de ajuste y coordinación de los sistemas de protección del SEIN

2.2.9.5. Transformadores de Tensión

Encargados de entregar al relé una onda de tensión igual a la que está presente en el SEP, pero este presenta un valor reducido en magnitud, con una proporción establecida previamente. [3]

En media tensión se usan transformadores de tensión del tipo inductivo y en el caso de alta tensión se usarán del tipo capacitivo.

2.2.9.6. Transformador de Corriente

Proporciona al relé una onda de corriente igual a la que fluye por el SEP, pero con un valor reducido en magnitud, con una proporción fijada con anterioridad, la precisión no debe ser menor al 5% para 20 veces la corriente nominal a la que fueron diseñados y deben soportar las altas corrientes de cortocircuito. [3]

Tabla 3 Corriente nominal de los transformadores de corriente

Corriente Nominal de los Transformadores de Corriente	
Corriente de Cortocircuito del sistema de potencia [kA]	Corriente Nominal mínima del Transformador de corriente [A]
40	1600-200
31,5	1250-1600
25	1000-1250
16	600-800

Fuente: Criterios de ajuste y coordinación de los sistemas de protección del SEIN

2.2.9.7. Enlaces de Comunicación

Sirven para comunicar los relés de dos subestaciones que se encuentran en los extremos de la línea de transmisión, estableciendo así una lógica de operación entre los relés sobre la base recibida del extremo remoto. [3]

- Enlace: Medio de transmisión de alta frecuencia, como la fibra óptica.
- Canal: Es una transmisión de señales de alta frecuencia en un ancho de banda específico.
- Señales: Comunicación entre los relés que es enviada por medio de los canales.

2.2.9.8. Fuente de alimentación auxiliar

Consta de un transformador de conexión auxiliar, que proporcionan la energía a los circuitos de protección, debe transmitir energía de forma ininterrumpida y en periodos en los que la SEP no cuente con energía. [3]

2.2.9.9. Cableado de control

Interconecta los transformadores de tensión y corriente con los relés y viceversa, debe asegurar la posibilidad de presencia de señales espurias. [3]

Se deben utilizar dos cables apantallados independientes para los siguientes casos:

- Desde las fuentes de alimentación a los tableros de control.
- Desde los transformadores de Medida a los tableros de control.
- Desde de los tableros de telecomunicaciones a los tableros de control.
- Desde de los tableros de control al interruptor de potencia.

2.2.10. Estudio de proyección de la demanda

Determinar la proyección de la demanda eléctrica, es un paso crucial para un estudio de planificación, ya que en base a estos datos se realizarán los estudios correspondientes para garantizar el suministro eléctrico de manera continua, económica y confiable. [14]

2.2.10.1. Proyección de demanda eléctrica de corto plazo

La proyección de demanda eléctrica de corto plazo, es empleada para pronosticar la demanda del día a la semana siguiente. Las variables empleadas son la demanda histórica, precios de electricidad, condiciones meteorológicas, tipo de día (normal o festivo) y/o eventos especiales. [14]

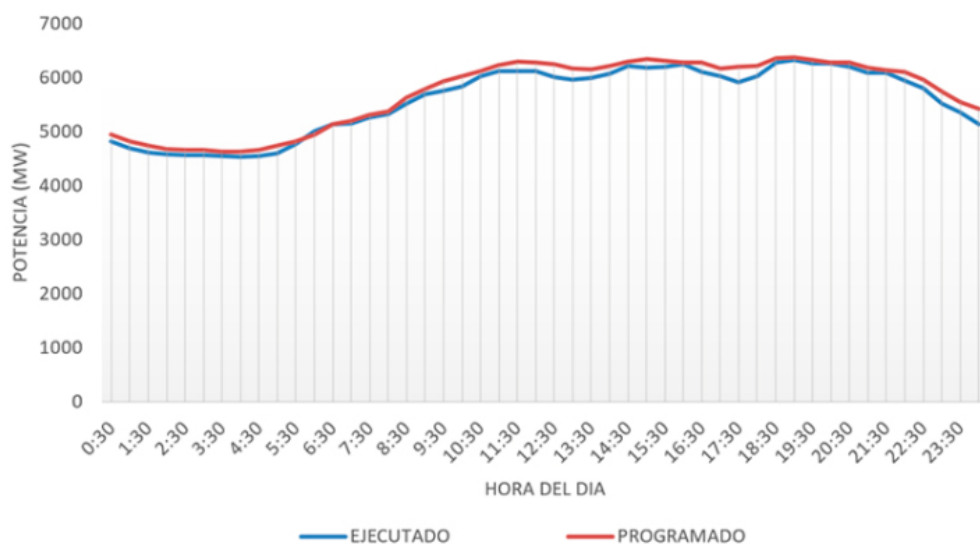


Ilustración 10 Proyección realizada por el COES para el día 17 de abril de 2017

Fuente: Dheybi Cervan (2014), Proyección de la demanda eléctrica: clasificación, variables y métodos empleados.

2.2.10.2. La proyección de demanda eléctrica a mediano plazo

La proyección de demanda eléctrica de mediano plazo, es empleada para pronosticar los picos de demanda de las siguientes semanas y meses. Esta proyección es frecuentemente desarrollada en países donde la estación del año juega un rol importante. [14]

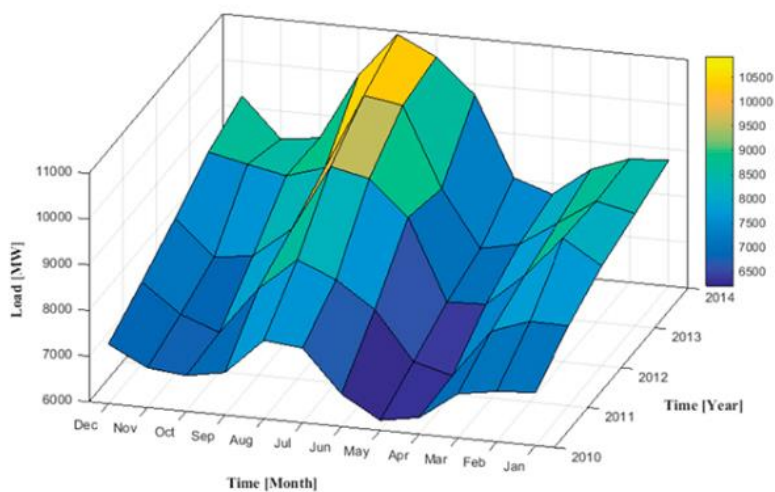


Ilustración 11 Proyección de mediano plazo para el periodo 2010 a 2014 en Algeria

Fuente: Dheybi Cervan (2014), Proyección de la demanda eléctrica: clasificación, variables y métodos empleados.

2.2.10.3. La proyección de la demanda eléctrica de largo plazo

La proyección de demanda eléctrica de largo plazo, es empleada para estimar la demanda máxima de los próximos años. Las variables determinantes son la población, el “Producto Bruto Interno”, tendencias de consumo de electricidad y otras variables macroeconómicas. [14]

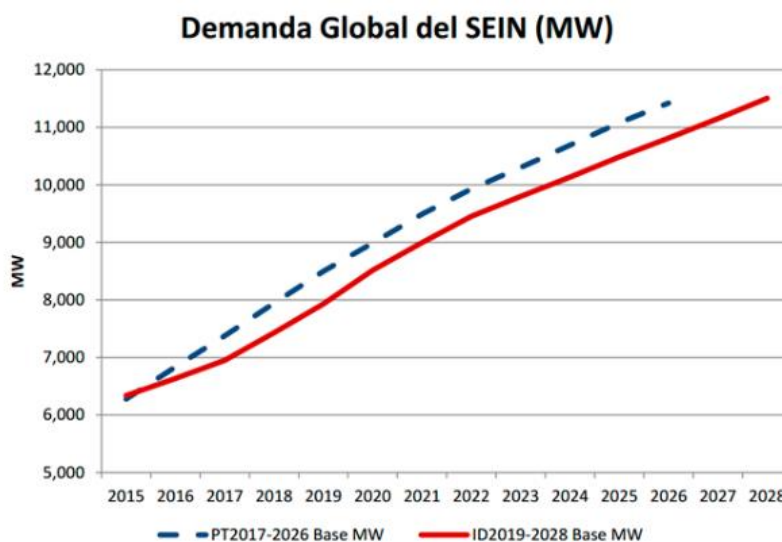


Ilustración 12 La proyección realizada por el COES para el periodo 2015 a 2028 en la red eléctrica del Perú.

Fuente: Dheybi Cervan (2014), Proyección de la demanda eléctrica: clasificación, variables y métodos empleados

2.2.11. Método ARIMA

Modelo auto regresivo integrado de medidas móviles, es un modelo paramétrico que sirve para obtener la representación de la serie en términos de la interrelación temporal de los elementos que conforman sus series, pudiendo pronosticar escenarios futuros en relación a la evolución de los valores de las series relacionadas. [15]

2.3. Hipótesis

2.3.1. Formulación del problema

¿Será factible realizar un rediseño del sistema de protección del alimentador CAY-201 para reducir las interrupciones por fallos?

2.3.2. Formulación de la hipótesis

Rediseñando el sistema de protección del alimentador se logrará eliminar los problemas presentes en el sistema de protección a casusa interrupciones no deseadas y reduciendo el tiempo de reconexión del sistema.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque y diseño

El presente trabajo de investigación se desarrolla en el área de Diseño Eléctrico, se busca solucionar los problemas presentes en el sistema de protección del alimentador CAY-201 interconectado con la central hidroeléctrica Buenos Aires Niepos por lo que la finalidad de este trabajo es aplicada, su objetivo es descriptivo, ya que para solucionar estos problemas se analizaron las variables eléctricas del mismo, como la corriente, nivel de tensión, flujo de potencia y corrientes de falla.

3.2. Sujetos de la investigación

Variables dependientes

- ❖ Rediseñar el Sistema de protección

Variables independientes

- ❖ Reducción de interrupciones por fallas eléctricas.
- ❖ Reducción de indicadores SAIDI, SAIFI.

3.3. Método y procedimientos

Se hará uso del método analítico, ya que realizamos una descripción del sistema identificando sus partes y los fenómenos que presenta para analizar su comportamiento.

Mediante la comparación de indicadores de calidad de suministro eléctrico (SAIDI, SAIFI), se establecerá el estado actual del alimentador CAY-201, haciendo uso de mediciones eléctricas se obtendrán los valores de demanda máxima necesarios para realizar un estudio de mercado en el cual se determinará el comportamiento de la carga en escenarios futuros, mediante la simulación de flujo de potencia y fallas por cortocircuito se obtendrán los datos necesarios para realizar los ajustes correspondientes a los equipos así como se evaluará la instalación de nuevos equipos con la finalidad de mejorar la confiabilidad y funcionamiento óptimo del sistema tanto actual como proyectado.

3.4. Técnicas e instrumentos

❖ Recopilación de información

La información necesaria de mediciones de consumo eléctrico y datos técnicos de los equipos de protección fue brindada por la concesionaria Electronorte S.A, los indicadores y tolerancias del tiempo y la frecuencia de las interrupciones correspondientes al sistema eléctrico están basados en la normativa vigente.

❖ Hoja de Cálculo Excel

El procesamiento de los datos de mediciones de consumo eléctrico, indicadores de calidad de suministro, cálculo de corriente para el ajuste de los equipos de protección y el procesamiento de datos para el estudio de proyección de la demanda eléctrica se llevó a cabo haciendo uso de hojas de cálculo Excel.

❖ Software

Se realizó el modelamiento del sistema de protección, simulación de flujo de potencia y fallas por cortocircuito en el software DIGSILENT para obtener los parámetros de ajuste de los equipos de protección y demostrar la correcta coordinación de los mismos.

Se obtuvo la proyección de la demanda eléctrica utilizando el software estadístico Gretl mediante el método ARIMA.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO Y RESULTADOS

4.1. Desarrollo y resultados

4.1.1. Descripción general del sistema eléctrico

El sistema eléctrico en desarrollo corresponde al alimentador CAY-201, tensionada en 22,9 kV (media tensión), conectada desde la subestación de potencia CAYALTI con potencias de 7-9/7-9/3 MVA ONAN/ONAF, 60/22,9/10 kV, atendiendo el suministro de energía eléctrica para un sector de Cayaltí, que consiste de 3385 usuarios.

Este a su vez esta interconectado al sistema eléctrico de Niepos, el cual posee una central con una potencia instalada de 1.2 MVA, esta suministra energía eléctrica a una tensión de 22,9 kV, siendo uno de sus alimentadores el NIE-201 que recorre La Florida, Virú, Las Delicias, Oyotún, Nueva Arica, Chumbenique y Caserío Culpón.

El alimentador CAY-201, tiene su inicio en la subestación de potencia de Cayaltí, siguiendo su recorrido por la misma ciudad de Cayaltí, continuando por la carretera atravesando los caseríos de Corral de Palos, Aviación, La Curva, La Viña, Oyotún llegando hasta la Central Hidroeléctrica de Buenos Aires, como se muestra en el Anexo 1.

4.1.1.1. Características técnicas principales

- Tensión nominal del sistema: 22,9 kV
- Configuración de Redes Eléctricas 3Ø, 22,9 kV
- Tensión Máxima de Servicio 25 kV
- Frecuencia 60 Hz
- Factor de Potencia 0,9(en atraso)

Se compone en resumen por:

- Celda de salida circuito 22,9 kV CAY-201 SET CAYATI
- Línea de su transmisión 22,9 kV
- Celda de llegada C.H Buenos Aires

4.1.2. Reporte de interrupciones del alimentador CAY-201

La calidad de suministro depende de la continuidad del servicio eléctrico a los clientes, por esta razón se evalúa en razón al número de interrupciones que presente.

Se le considera interrupción de servicio eléctrico a toda falta de suministro eléctrico en el medidor de los abonados que atiende el alimentador, parte del alimentador, subestación de distribución, redes de baja tensión y/o acometida de entrega, estos pueden ser causados por maniobras, mantenimiento, fallas o mal funcionamiento de la infraestructura eléctrica, las interrupciones menores a 3 minutos no serán tomadas en cuenta en estos indicadores de calidad de suministro, de acuerdo a lo que señala la norma técnica de suministro Eléctrico Urbano/rural, en el decreto supremo DS 020-97-NTCSE1./NTCSER.

4.1.2.1. Tolerancias

El número de interrupciones y el tiempo de las mismas mínimamente deben ser:

Tabla 4 Tolerancias

Número de interrupciones por cliente (N)	
Cientes en Alta Tensión	02 Interrupciones/semestre
Cientes en Media Tensión	04 Interrupciones/semestre
Cientes en Baja Tensión	06 Interrupciones/semestre
Duración Total Ponderada de Interrupciones por cliente (D)	
Cientes en Alta Tensión	02 horas/semestre
Cientes en Media Tensión	07 horas/semestre
Cientes en Baja Tensión	10 horas/semestre

Fuente: Norma técnica de calidad de servicios eléctricos

4.1.2.2. Estado actual del alimentador

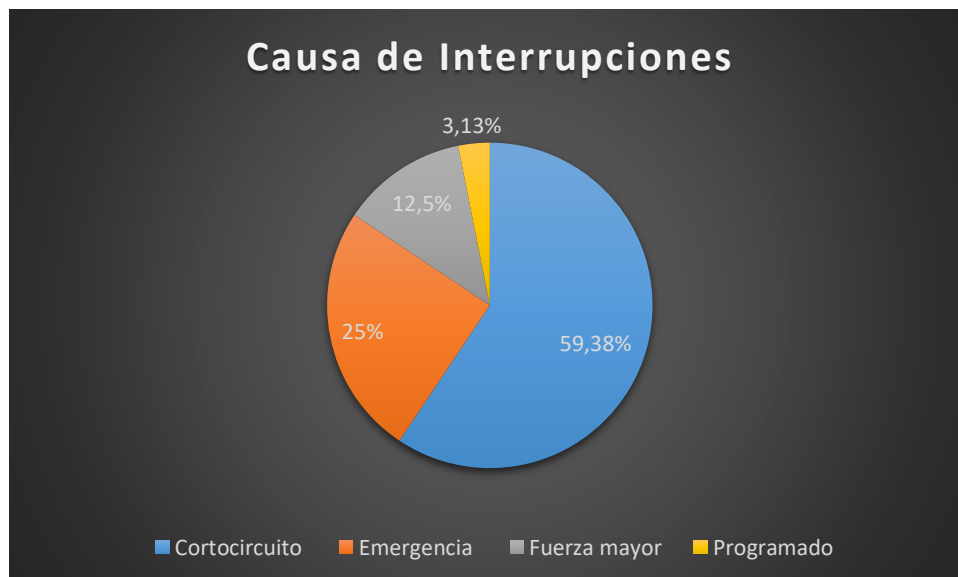
El reporte de interrupciones del alimentador CAY-201 del año 2018 fue proporcionado por la concesionaria Electronorte S.A, en total contamos con 32 interrupciones, así mismo se detalla el número de usuarios afectados, el tiempo y el motivo de las fallas.

Tabla 5 Motivo de las fallas eléctricas en el alimentador CAY-201

Motivo	Sub-Motivo
Falla	BAJO NIVEL DE AISLAMIENTO (ELEMENTO ELECTRICO MAL DIMENSIONADO)
Falla	CORTOCIRCUITO
Interrupción por Expansión y Reforzamiento	EXPANSION DE REDES
Falla	BAJO NIVEL DE AISLAMIENTO (ELEMENTO ELECTRICO MAL DIMENSIONADO)
Por maniobra sin aviso, corta	SEGURIDAD
Por maniobra sin aviso, corta	SEGURIDAD
Por maniobra sin aviso, corta	SEGURIDAD
Falla	BAJO NIVEL DE AISLAMIENTO (ELEMENTO ELECTRICO MAL DIMENSIONADO)
Falla	BAJO NIVEL DE AISLAMIENTO (ELEMENTO ELECTRICO MAL DIMENSIONADO)
Falla	AISLADOR SUCIO
Falla	BAJO NIVEL DE AISLAMIENTO (ELEMENTO ELECTRICO MAL DIMENSIONADO)
Falla	BAJO NIVEL DE AISLAMIENTO (ELEMENTO ELECTRICO MAL DIMENSIONADO)
Por maniobra sin aviso, corta	SEGURIDAD
Falla	CORTOCIRCUITO
Falla	BAJO NIVEL DE AISLAMIENTO (ELEMENTO ELECTRICO MAL DIMENSIONADO)
Falla	BAJO NIVEL DE AISLAMIENTO (ELEMENTO ELECTRICO MAL DIMENSIONADO)

Otros y/o terceros	COLISION DE VEHICULO CONTRA ESTRUCTURAS
Por maniobra sin aviso, corta	SEGURIDAD
Otros y/o terceros	COLISION DE VEHICULO CONTRA ESTRUCTURAS
Por maniobra sin aviso, corta	SEGURIDAD
Por maniobra sin aviso, corta	SEGURIDAD
Por maniobra sin aviso, corta	SEGURIDAD
Falla	NO IDENTIFICADO
Falla	CORTOCIRCUITO
Falla	NO IDENTIFICADO
Falla	BAJO NIVEL DE AISLAMIENTO (ELEMENTO ELECTRICO MAL DIMENSIONADO)
Falla	BAJO NIVEL DE AISLAMIENTO (ELEMENTO ELECTRICO MAL DIMENSIONADO)
Falla	CORTOCIRCUITO
Falla	CORTOCIRCUITO
Falla	CORTOCIRCUITO
Otros y/o terceros	COLISION DE VEHICULO CONTRA ESTRUCTURAS
Otros y/o terceros	COLISION DE VEHICULO CONTRA ESTRUCTURAS

Fuente: Electronorte S.A.



Los motivos resaltados en color azul, gris y naranja representan los casos en la que la protección debe actuar de manera correcta aislando solo el sector donde se presentó la falla, los motivos restantes son a causa de actividades de mantenimiento o maniobras en las cuales la interrupción es manual y no se presentan corrientes de corto circuito. Sin embargo, ante un accidente en labores de mantenimiento o maniobra eléctrica, lo equipos de protección deben actuar en el tiempo establecido despejando la falla de manera instantánea.

Tabla 6 Reporte de interrupciones del alimentador CAY-201

Fecha de Inicio	Fecha de Fin	N° Usuarios Afectados	Demanda Afectada	Duración Horas	SAIFI	SAIDI
11/01/2018 05:29	11/01/2018 07:55	3349	2540,0719	2,43	0,01040156	0,01213021
28/01/2018 13:03	28/01/2018 14:46	26	272,025	1,71	0,00008075	0,00013863
10/02/2018 08:00	10/02/2018 12:00	22	337,5936	4	0,00006811	0,00027245
9/02/2018 09:40	9/02/2018 09:44	3385	3093,8268	0,06	0,01048004	0,00069867
15/02/2018 09:02	15/02/2018 13:05	2	2,755	4,05	0,00000619	0,00002508
15/02/2018 09:11	15/02/2018 13:00	22	276,2551	3,81	0,00006811	0,00025996
11/03/2018 13:02	11/03/2018 13:55	26	283,8579	0,88	0,00008044	0,00007106
13/03/2018 04:55	13/03/2018 06:25	26	283,8579	1,5	0,00008044	0,00012066
14/03/2018 02:15	14/03/2018 02:53	26	283,8579	0,63	0,00008044	0,00005095
19/03/2018 11:13	19/03/2018 12:30	26	283,8579	1,28	0,00008044	0,00010324
10/04/2018 03:00	10/04/2018 04:36	26	272,4582	1,6	0,00008053	0,00012885
2/07/2018 08:03	2/07/2018 08:12	3247	4139,8856	0,15	0,01001678	0,00150252
27/07/2018 07:35	27/07/2018 12:37	54	20,2285	5,03	0,00016659	0,00083849
16/08/2018 15:34	16/08/2018 17:07	26	194,0501	1,55	0,00007999	0,00012398
31/10/2018 09:58	31/10/2018 11:37	10	3,9874	1,65	0,0000306	0,00005049

31/10/2018 09:00	31/10/2018 12:13	100	23,0746	3,21	0,000306	0,00098429
6/11/2018 13:17	6/11/2018 15:48	957	154,8741	2,51	0,00292069	0,00735041
7/11/2018 11:13	7/11/2018 14:02	21	204,1745	2,81	0,00006409	0,00018052
8/11/2018 13:30	8/11/2018 16:30	972	156,6652	3	0,00296647	0,00889941
12/11/2018 12:54	12/11/2018 14:43	21	170,5511	1,81	0,00006409	0,00011643
15/11/2018 09:35	15/11/2018 12:35	25	173,256	3	0,0000763	0,00022889
17/11/2018 13:07	17/11/2018 14:30	25	173,256	1,38	0,0000763	0,00010555
19/11/2018 09:31	19/11/2018 10:39	25	173,256	1,13	0,0000763	0,00008647
19/11/2018 12:05	19/11/2018 13:45	25	173,256	1,66	0,0000763	0,00012716
6/12/2018 18:52	6/12/2018 21:31	2	2,5859	2,65	0,0000061	0,00001617
14/12/2018 02:02	14/12/2018 05:54	20	3,0208	3,86	0,00006101	0,00023591
14/12/2018 21:34	15/12/2018 04:07	1147	220,7066	6,55	0,00349904	0,02291873
14/12/2018 02:56	16/12/2018 00:07	15	1,7312	45,18	0,00004576	0,00206755
20/12/2018 14:56	21/12/2018 00:48	17	1,4898	9,86	0,00005186	0,00051169
22/12/2018 08:43	22/12/2018 10:27	1147	223,7249	1,73	0,00349904	0,00529323
29/12/2018 23:49	30/12/2018 05:10	3140	3172,0304	5,35	0,00957889	0,0236665
30/12/2018 04:07	30/12/2018 05:10	2699	575,0614	1,05	0,00823358	0,00864526

Fuente: Electronorte S.A.

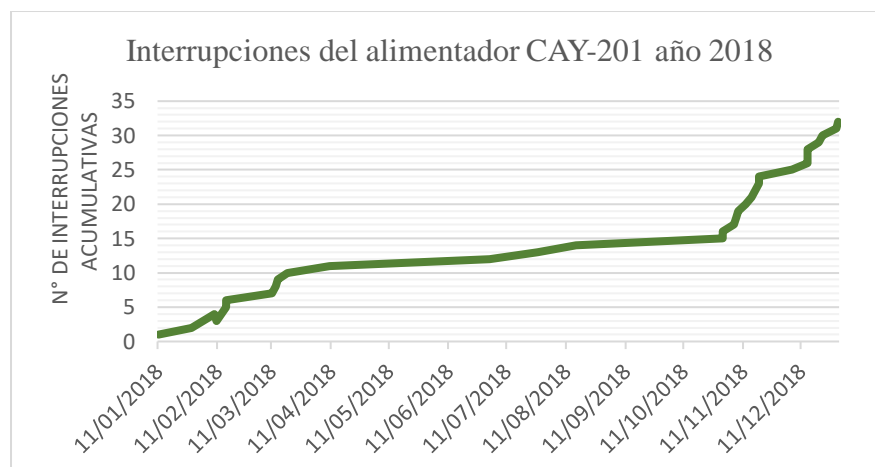


Ilustración 13 Gráfico acumulado de interrupciones del alimentador CAY-201 del año 2018

Fuente: Propia

Se observa que el tiempo mínimo tolerable por interrupción sobre pasa las tolerancias señaladas en la Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos con una máxima duración de 45,18 horas y un total de 32 interrupciones de las cuales 19 ocurren a causa de fallas en el sistema eléctrico y 4 por colisión de vehículos contra estructuras eléctricas del sistema.

4.1.3. Sistema de protección actual

El sistema se compone de 4 equipos de protección a los cuales se le realizaran los ajustes y sobre los cuales se basará el estudio de coordinación

- Relé de barra tierra, ubicado en el alimentador CAY-201.
- Recloser ENTEC, ubicado en la troncal CAY-NIPEOS.
- Recloser ENTEC, ubicado en la troncal CAY-NIPEOS.
- Recloser ENTEC, ubicado en la salida de la central hidroeléctrica Buenos Aíres.

También se cuenta con seccionadores Cut Out equipados con fusibles de expulsión tipo K, a estos equipos no se les puede realizar ajustes, pero nuestro estudio plantea una adecuada coordinación, fusible-fusible, fusible-relé, relé-relé.

Tabla 7 Especificaciones Técnicas de los equipos de protección

Descripción		EVR1	EVR2	EVR3
Tensión máxima de servicio	kV ms	15	27	38
Corriente nominal	A ms	400/630	400/630	630/800
Frecuencia	Hz	50/60	50/60	50/60
Capacidad de Cortocircuito	kA ms	12,5/16	12,5/16	12,5/16
Corriente de corta duración (3 segundos)	kA ms	12,5/16	12,5/16	12,5/16
Capacidad de cierre sobre falla	kA peak	31,5	31,5	31,5
Carga de interrupción de carga de cable	A ms	2	5	5
Carga de interrupción magnetización del transformador	A ms	22	22	22/28
Nivel básico de aislamiento (BIL)	kV ms	110	125	170
Tensión de descarga seco (60Hz-1min)	kV	50	60	70
Tensión de descarga húmedo (60Hz-10seg)	kV	45	50	60
Tensión auxiliar	110/220 AC			
Temperatura ambiente	°C	-30 a 70		
Grado de Protección		IP65		

Fuente: Electronorte S.A

Tabla 8 Especificaciones del gabinete de control EVRC2A

Fuente de alimentación	Frecuencia	50/60 Hz
	Voltaje	110/220 AC
Medio Ambiente	Rango de Temperaturas del Ambiente	Almacenado: -40° a 85°C Operación: -30° a 70°
	Grado de Protección	IP65
	Voltaje de Prueba de Aislamiento	2kV 50/60Hz, un minuto
	Resistencia de la Prueba de arranque	5kV 1,2/50µs IEEE 62,45
	Resistencia de la Prueba de Interferencia	IEC61000-4-4
	Interferencia de la Radio frecuencia	IEC 255-22-3, ANSI C37.90.2
	Protección General	Tiempo de activación en caso de sobrecarga
Gama instantánea del multiplicador de fase Variación de tiempo de sobrecarga		20 a 600 A
Intervalo de variación del multiplicador instantáneo		1 a 40
Avería sensible de tierra		2 a 20A
Curva de fase y variación de tiempo		IEEE37.112, IEC255-3

Recloser	Tiempos del Recloser	Programable desde 1 hasta el 4 segundos
	Tiempo de recierre	1er recierre 0,5-180 segundos en paso de 0.1 segundos
		2er recierre 0,5-180 segundos en paso de 0.1 segundos
		3er recierre 0,5-180 segundos en paso de 0.1 segundos
	Tiempo de Reposición	3-180 segundos en pasos de 1 segundo

Fuente: Electronorte S.A

4.1.4. Estudio de proyección de la demanda del alimentador CAY-201

4.1.4.1. Tasa de crecimiento

Periódicamente se toman lecturas de las mediciones de energía en kWh, el medidor registra un valor máximo de energía cada 15 minutos que corresponde a la energía entregada al sistema proveniente de la barra de alimentador CAY-201, se presenta un cuadro con la máxima energía entregada por mes a partir del año 2010.

Tabla 9 Energía en kWh por mes del alimentador CAY-201

ENERGÍA kWh												
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2010	387,468	374,644	366,4	368,69	366,858	366,858	372,354	409,91	421,36	448,382	399,376	452,504
2011	441,054	411,284	406,704	409,91	454,336	467,618	465,328	504,716	542,73	550,058	524,41	482,274
2012	412,658	434,184	466,244	463,954	472,198	474,488	506,09	526,242	545,02	136,16	444,26	491,434
2013	463,954	463,496	467,618	448,382	443,344	462,122	494,182	545,478	646,696	663,184	670,97	682,878
2014	699,366	476,32	350,828	341,21	416,78	391,132	420,902	336,63	381,056	328,844	455,252	304,57
2015	378,766	373,27	434,184	424,108	264,724	251,9	227,168	427,314	298,158	329,302	402,582	298,616
2016	393,422	407,162	449,756	437,848	416,78	291,288	370,98	432,352	416,322	427,314	512,044	526,242
2017	556,47	550,974	516,624	425,024	437,848	370,522	435,558	543,646	511,128	541,814	620,132	542,73
2018	594,942	534,028	545,478	567,92	541,814	489,602	479,068	531,738	487,312	396,628	444,26	435,1

Fuente: Electronorte S.A.

Se convierten los datos de energía en datos de potencia al dividirlos entre 0,25 que sería el equivalente en horas del periodo de 15 minutos en los que se realiza la medición.

Tabla 10 Potencia en kW de cada mes del alimentador CAY-201

POTENCIA kW												
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2010	1 549,872	1 498,576	1 465,6	1 474,76	1 467,432	1 467,432	1 489,416	1 639,64	1 685,44	1 793,528	1 597,504	1 810,016
2011	1764,216	1 645,136	1 626,816	1 639,64	1 817,344	1 870,472	1 861,312	2 018,864	2 170,92	2 200,232	2 097,64	1 929,096
2012	1650,632	1 736,736	1 864,976	1 855,816	1 888,792	1 897,952	2 024,36	2 104,968	2 180,08	544,64	1 777,04	1 965,736
2013	1855,816	1 853,984	1 870,472	1 793,528	1 773,376	1 848,488	1 976,728	2 181,912	2 586,784	2 652,736	2 683,88	2 731,512
2014	2797,464	1 905,28	1 403,312	1 364,84	1 667,12	1 564,528	1 683,608	1 346,52	1 524,224	1 315,376	1 821,008	1 218,28
2015	1515,064	1 493,08	1 736,736	1 696,432	1 058,896	1 007,6	908,672	1 709,256	1 192,632	1 317,208	1 610,328	1 194,464
2016	1573,688	1 628,648	1 799,024	1 751,392	1 667,12	1 165,152	1 483,92	1 729,408	1 665,288	1 709,256	2 048,176	2 104,968
2017	2225,88	2 203,896	2 066,496	1 700,096	1 751,392	1 482,088	1 742,232	2 174,584	2 044,512	2 167,256	2 480,528	2 170,92
2018	2379,768	2 136,112	2 181,912	2 271,68	2 167,256	1 958,408	1 916,272	2 126,952	1 949,248	1 586,512	1 777,04	1 740,4

Fuente: Electronorte S.A.

Se realizó un modelo de proyección econométrica tomando en cuenta las variables de PBI, número de clientes, población y tarifas como variables explicativas

Tabla 11 Información histórica de variables explicativas

INFORMACIÓN HISTÓRICA DE VARIABLES EXPLICATIVAS								
AÑO	PBI		NÚMERO DE CLIENTES		POBLACIÓN		TARIFAS	
	Millones S/	TASA DE CRECIMIENTO (%)	N° DE CLIENTES	TASA DE CRECIMIENTO (%)	HABITANTES	TASA DE CRECIMIENTO (%)	TARIFA REAL S/	TASA DE CRECIMIENTO (%)
1996	5 200,73		112,966		1 043,336			
1997	5 371,68	3,29%	141,301	25,08%	1 060,800	1,67%	45,23	
1998	5 434,45	1,17%	104,405	-26,11%	1 078,003	1,62%	37,88	-16,26%
1999	5 752,00	5,84%	113,048	8,28%	1 094,511	1,53%	40,61	7,21%
2000	5 875,48	2,15%	163,813	44,91%	1 109,896	1,41%	42,95	5,76%
2001	5 345,71	-9,02%	164,906	0,67%	1 123,980	1,27%	43,24	0,67%
2002	5 664,64	5,97%	197,346	19,67%	1 137,054	1,16%	40,43	-6,50%
2003	5 948,00	5,00%	202,301	2,51%	1 149,376	1,08%	39,84	-1,46%
2004	5 760,67	-3,15%	208,333	2,98%	1 161,211	1,03%	38,23	-4,03%
2005	6 215,07	7,89%	215,396	3,39%	1 172,820	1,00%	38,54	0,82%
2006	6 463,93	4,00%	224,338	4,15%	1 184,122	0,96%	37,35	-3,09%
2007	6 903,95	6,81%	236,783	5,55%	1 194,944	0,91%	34,22	-8,40%
2008	7 601,29	10,10%	249,107	5,20%	1 205,404	0,88%	31,11	-9,08%
2009	8 041,13	5,79%	268,354	7,73%	1 215,624	0,85%	33,52	7,74%
2010	8 498,53	5,69%	309,062	15,17%	1 225,726	0,83%	31,38	-6,36%
2011	8 967,39	5,52%	337,610	9,24%	1 235,718	0,82%	30,85	-1,69%
2012	9 766,52	8,91%	358,697	6,25%	1 245,520	0,79%	31,21	1,16%
2013	10 031,86	2,72%	382,667	6,68%	1 255,116	0,77%	30,28	-3,00%
2014	10 176,71	1,44%	408,230	6,68%	1 264,493	0,75%	33,64	11,12%
2015	10 533,47	3,51%	441,902	8,25%	1 273,634	0,72%	36,31	7,91%
2016	10 716,07	1,73%	465,845	5,42%	1 282,538	0,70%	37,18	2,42%
2017	10 989,22	2,55%	474,086	1,77%	1 291,214	0,68%	36,87	-0,84%
2018	11 409,12	3,82%	488,766	3,10%	1 299,665	0,65%	38,91	5,55%

Fuente: Electronorte S.A.

- Crecimiento del PBI desde 1996 hasta 2018

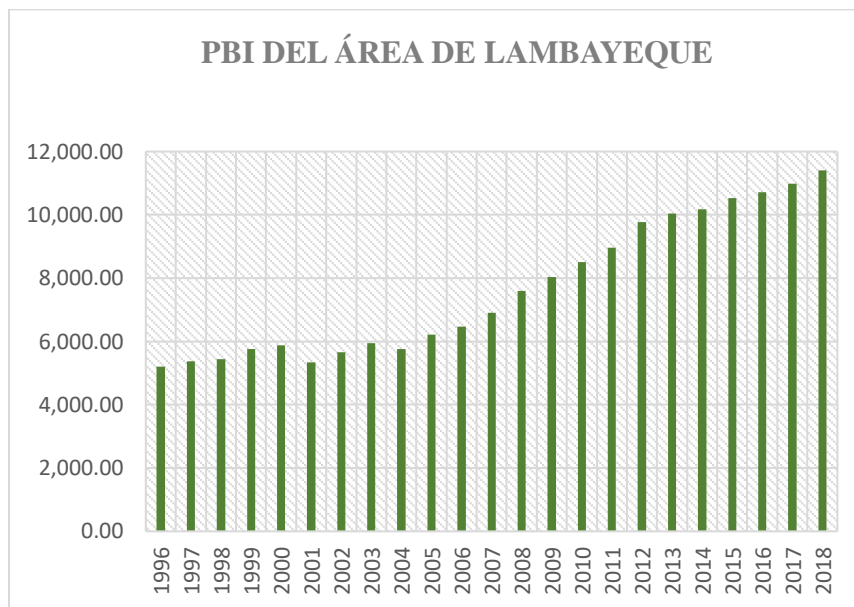


Ilustración 14 Gráfico de evolución de PBI en el área de Lambayeque

Fuente: Electronorte S.A.

- Crecimiento del número de clientes desde 1996 hasta 2018

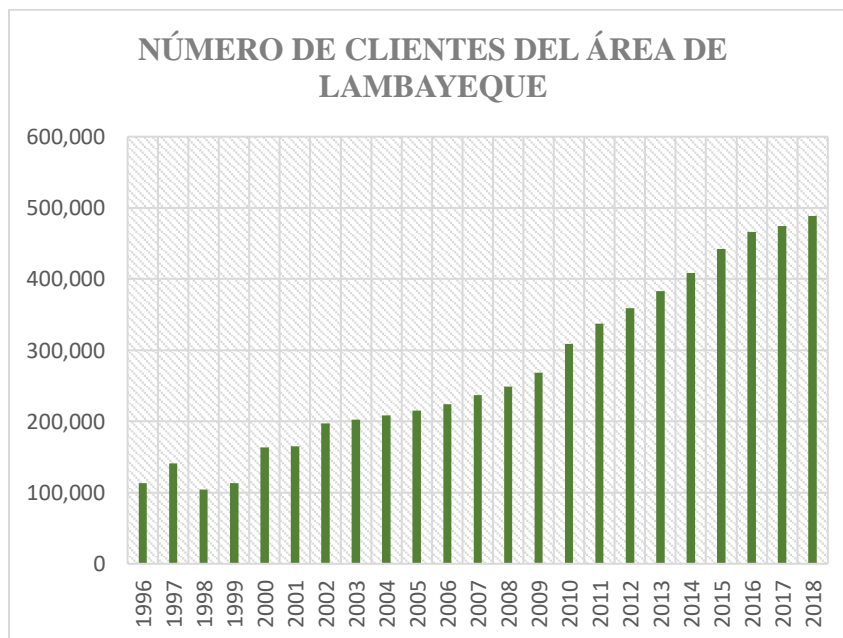


Ilustración 15 Gráfico de evolución del número de clientes en el área de Lambayeque

Fuente: Electronorte S.A.

- Crecimiento de la población desde 1996 hasta 2018

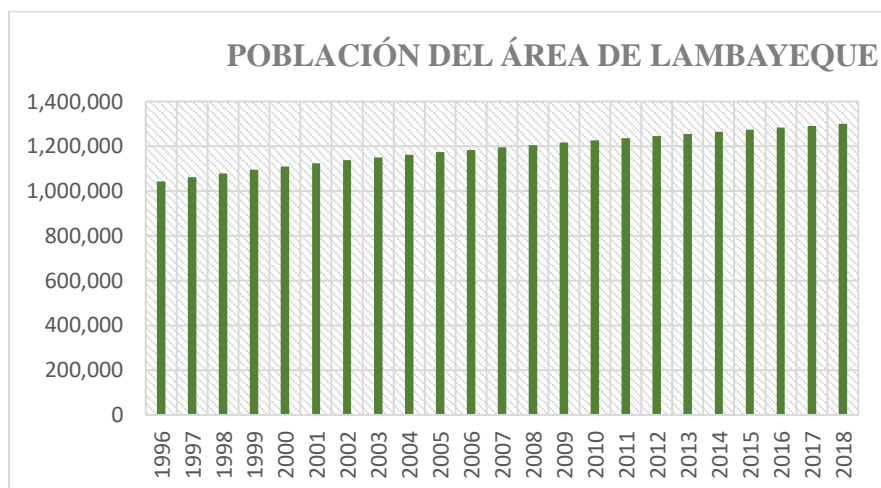


Ilustración 16 Gráfico de evolución de la población en el área de Lambayeque

Fuente: Electronorte S.A.

- Crecimiento de la tarifa eléctrica desde 1996 hasta 2018

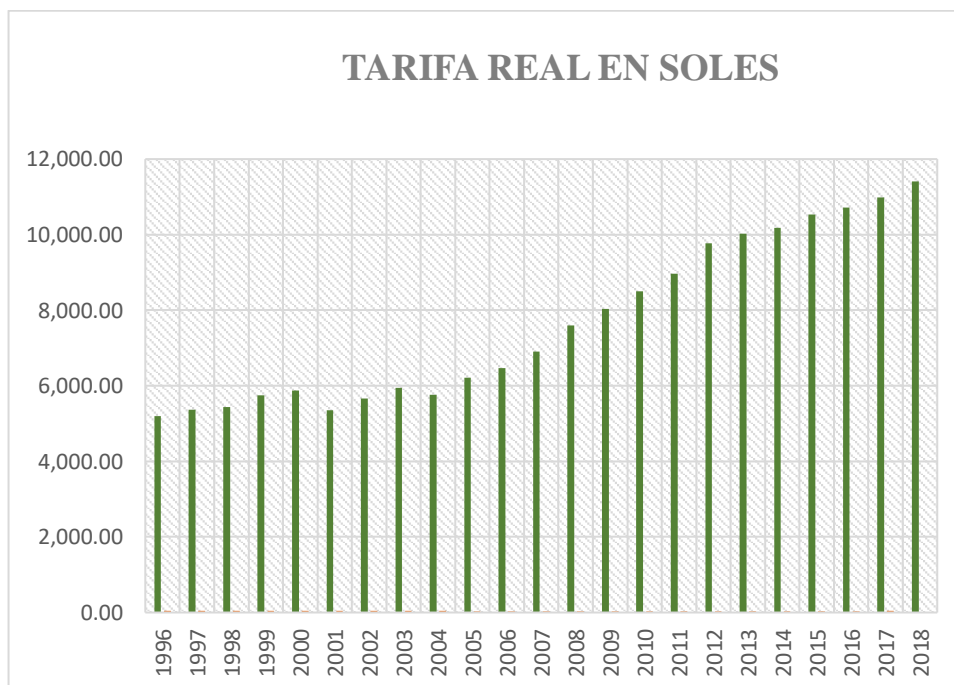


Ilustración 17 Gráfico de evolución de tarifa en el área de Lambayeque

Fuente: Electronorte S.A.

La variable dependiente son las ventas de energía eléctrica, la cual a partir del comportamiento a través del tiempo de las variables explicativas se pronosticará un valor de proyección hasta el año 2050.

Tabla 12 Ventas históricas de energía

VENTAS HISTÓRICAS DE ENERGÍA (MWh)			
Año	MT	BT	TOTAL
1996	39,915	143,649	183,565
1997	47,803	141,698	189,502
1998	48,130	128,187	176,317
1999	53,955	142,938	196,893
2000	64,807	187,613	252,420
2001	68,579	190,702	259,281
2002	75,197	201,635	276,831
2003	78,219	210,510	288,728
2004	79,322	225,351	304,673
2005	88,936	243,359	332,296
2006	105,800	265,492	371,292
2007	124,167	290,100	414,266
2008	150,510	317,791	468,301
2009	167,640	335,949	503,589
2010	189,124	365,673	554,797
2011	224,692	406,321	631,013
2012	250,070	417,463	667,533
2013	271,749	445,963	717,712
2014	293,489	475,713	769,201
2015	319,132	494,402	813,535
2016	325,829	517,073	842,902
2017	313,373	525,340	838,713
2018	328,053	534,096	862,148

Fuente: Electronorte S.A.

- GRÁFICO DE LA VENTA DE ENERGÍA ELÉCTRICA DESDE 1996 HASTA EL 2018

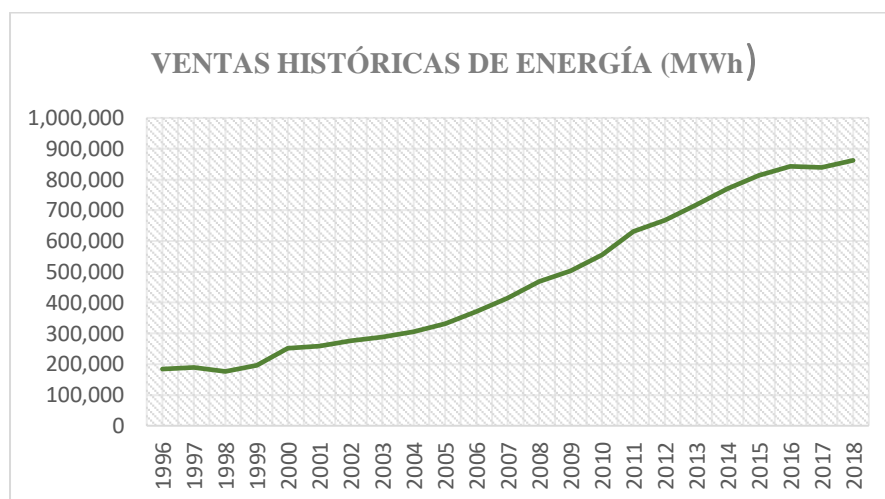


Ilustración 18 Ventas históricas de energía eléctrica

Fuente: Electronorte S.A.

Para obtener las proyecciones se tomó en cuenta un modelo haciendo uso del software estadístico Gretl, de tal manera que al utilizar el método ARIMA en econometría obtenemos:

Dependent Variable: LOG(VENTAS)
 Method: ARMA Conditional Least Squares (Marquardt - EViews legacy)
 Date: 05/17/19 Time: 15:36
 Sample (adjusted): 1998 2018
 Included observations: 21 after adjustments
 Convergence achieved after 13 iterations
 MA Backcast: 1997

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.855776	0.799044	1.071000	0.3001
LOG(PBIA02)	0.551387	0.149236	3.694728	0.0020
LOG(CLIENTES)	0.704383	0.082991	8.487457	0.0000
LOG(TARIFAS(-1))	-0.436187	0.123144	-3.542090	0.0027
MA(1)	0.999594	0.100855	9.911162	0.0000
R-squared	0.996556	Mean dependent var	13.00742	
Adjusted R-squared	0.995695	S.D. dependent var	0.515092	
S.E. of regression	0.033796	Akaike info criterion	-3.732706	
Sum squared resid	0.018274	Schwarz criterion	-3.484010	
Log likelihood	44.19341	Hannan-Quinn criter.	-3.678733	
F-statistic	1157.489	Durbin-Watson stat	2.401579	
Prob(F-statistic)	0.000000			
Inverted MA Roots	-1.00			

Se proyectó la venta de energía eléctrica hasta el año 2050, cabe resaltar que el ajuste de este método tiene una confiabilidad del 99,6% de estimación.

Tabla 13 Tasa de crecimiento

PROYECCIÓN DE VENTAS DE ENERGÍA (MWh)		
AÑO	TOTAL	Tasa de crecimiento
2018	862,148	100,00%
2019	891,963	103,46%
2020	927,954	104,03%
2021	975,594	105,13%
2022	1 027,565	105,33%
2023	1 083,543	105,45%
2024	1 143,419	105,53%
2025	1 207,215	105,58%
2026	1 275,041	105,62%
2027	1 347,066	105,65%
2028	1 423,497	105,67%
2029	1 504,577	105,70%
2030	1 590,571	105,72%
2031	1 681,770	105,73%
2032	1 778,486	105,75%
2033	1 881,055	105,77%
2034	1 989,834	105,78%
2035	2 105,201	105,80%
2036	2 227,562	105,81%
2037	2 357,344	105,83%
2038	2 495,005	105,84%
2039	2 641,029	105,85%
2040	2 795,929	105,87%

2041	2 960,252	105,88%
2042	3 134,578	105,89%
2043	3 319,523	105,90%
2044	3 515,741	105,91%
2045	3 723,926	105,92%
2046	3 944,816	105,93%
2047	4 179,192	105,94%
2048	4 427,888	105,95%
2049	4 691,785	105,96%
2050	4 971,821	105,97%
TASA PROMEDIO		
(%):	5,63%	

Fuente: Propia

La tasa de crecimiento promedio obtenida mediante el método ARIMA es de 5,63% con una proyección hasta el año 2050, con la cual se logra explicar el comportamiento de la carga en la zona y los escenarios futuros a los cuales se deberá enfrentar el sistema de protección a implementar, cabe resaltar que el método de regresiones lineales queda descargado ya que en el sistema CAY-201 conectado a la central hidroeléctrica Buenos Aires en Niepos, la demanda eléctrica vario de forma bruza en el año 2015 cuando se realizó la interconexión de ambos, esto hace que los datos de lectura de los medidores que fueron usados para la aproximación no se adecuen a un modelo Lineal, exponencial o polinómico, presentando un nivel de confiabilidad bajo.

4.1.5. Análisis del flujo de potencia del sistema de protección actual

Las simulaciones de flujo de potencia nos permiten observar el comportamiento del sistema en estado estacionario determinándose los niveles de tensiones en las barras, la distribución de los flujos de potencia activa y reactiva en las redes y transformadores de distribución.

Para evaluar los resultados del flujo de potencia se ha considerado como criterio de calidad y confiabilidad, la capacidad del sistema para satisfacer las siguientes condiciones:

Niveles de Tensión admisibles en Barra:

- ❖ Operación normal: $\pm 5\%$ V_n
- ❖ Operación ante contingencias: $\pm 10\%$ V_n

Cargas en Líneas de Transmisión y Transformadores:

- ❖ Redes de distribución: 100% de su potencia nominal.
- ❖ Transformadores de distribución: 100% de su potencia nominal.

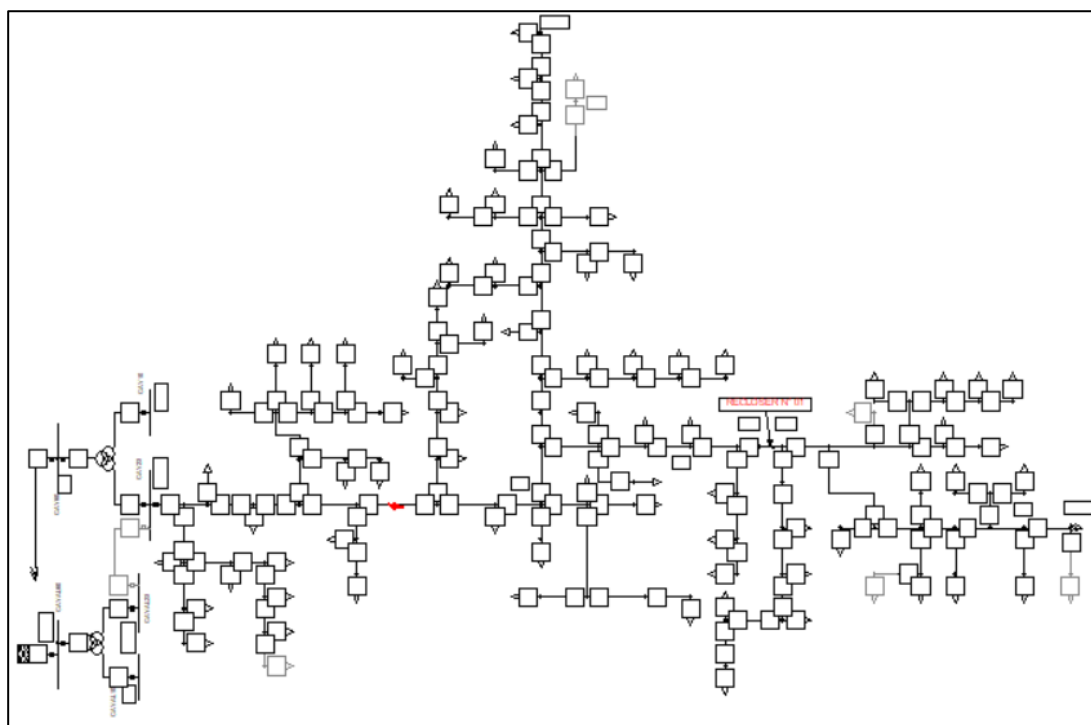


Ilustración 19 Unifilar del alimentador CAY-201 en DIGSILENT

Fuente: Propia

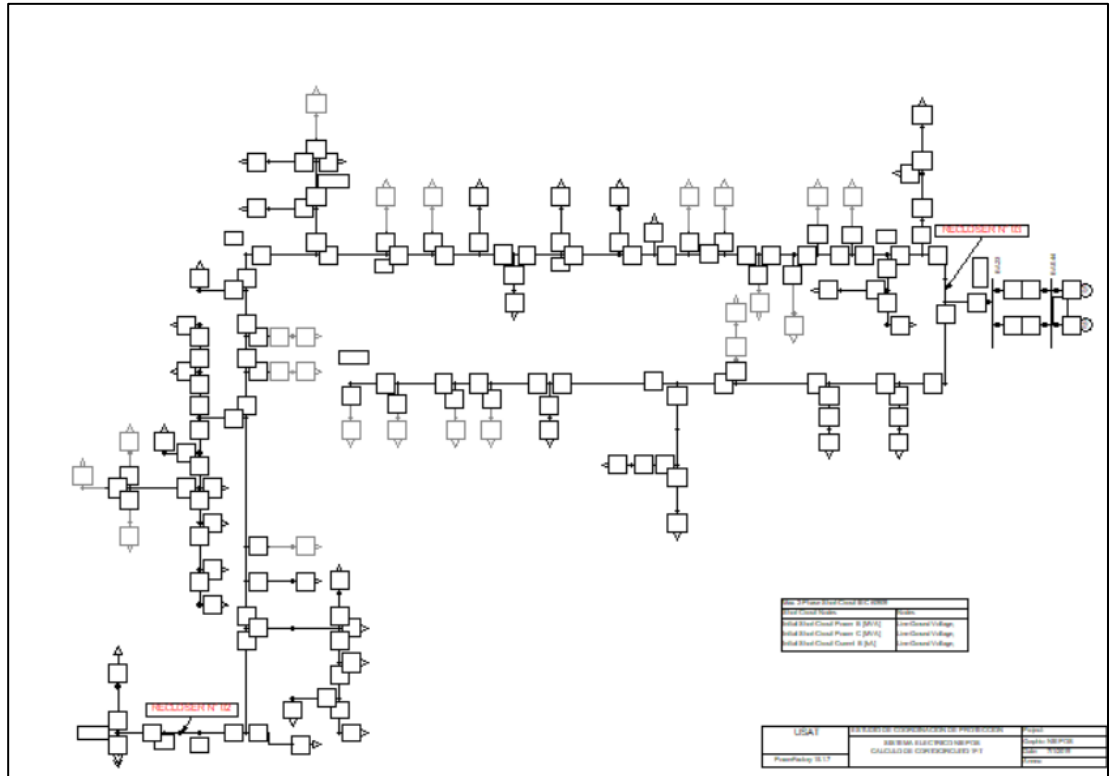


Ilustración 20 Unifilar de la interconexión con Niepos en DIgSILENT

Fuente: Propia

Se logró concluir del análisis de flujo de potencia que los niveles de tensión en 22,9 kV del sistema eléctrico en estudio se encuentran dentro del rango de +/- 5% de sus tensiones nominales de operación, obteniendo una tensión de 22,78 kV en la barra principal, una corriente de 27.75 A en la troncal y una potencia de 1.3 MVA.

Al alimentador 22,9 kV que se deriva de subestación Cayaltí atiende una demanda actual que asciende a 2.1 MW en punta, con una corriente en la troncal de 53 A.

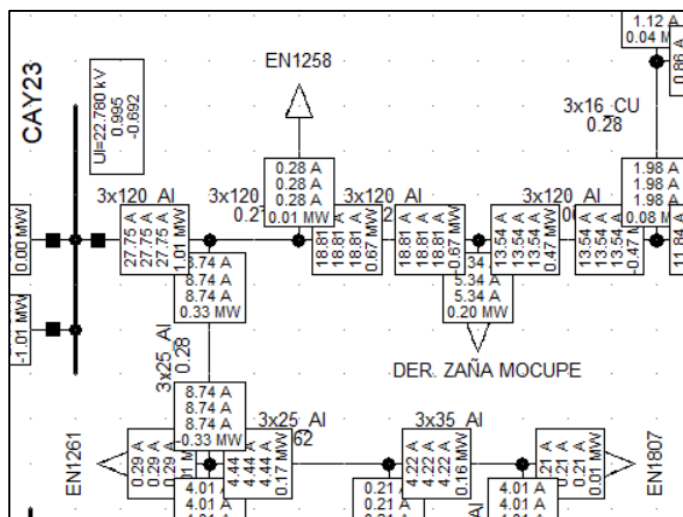


Ilustración 21 Flujo de potencia en la barra del Alimentador CAY-201

Fuente: Propia

4.1.6. Estudio de corto circuito

Los resultados de cortocircuito nos proporcionarán los valores de corrientes para fallas trifásicas y monofásicas a tierra que medirán los relés para las diferentes ubicaciones. Tomando como referencia estos valores se determinarán los ajustes de los relés de protección que forman parte del presente estudio.

Adicionalmente, el resultado de cortocircuito nos permitirá verificar la capacidad de corriente de cortocircuito que tienen los equipos como son: cables, interruptores, transformadores de corriente, etc.

❖ Corrientes de falla trifásica

Se han calculado las corrientes de falla trifásica en los principales puntos 22,9 kV de la red eléctrica, para determinar la máxima corriente de falla.

❖ Corriente de falla monofásica

En el caso de fallas de fase a tierra, se ha calculado las corrientes para estas fallas en los principales puntos 22,9 kV de la red eléctrica, para determinar la máxima corriente ante este tipo de falla, considerando la resistencia de falla igual a $R_f = 0 \text{ Ohm}$.

❖ Corto circuito trifásico en el alimentador CAY-201

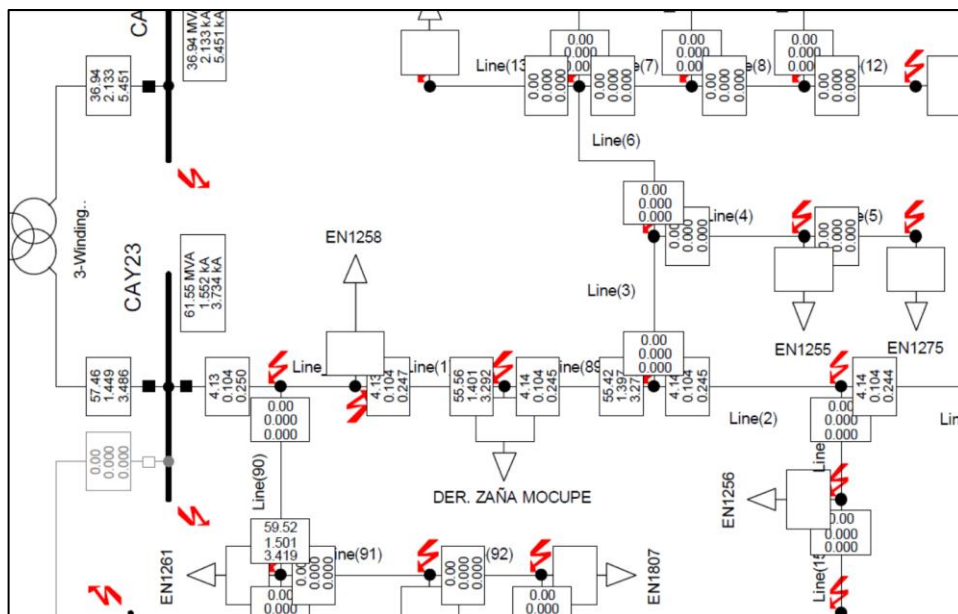


Ilustración 22 Simulación de corto circuito en el alimentador CAY-201

Fuente: Propia

Se obtuvo una corriente de 1,55 kA y una potencia de 61,55 MVA en la barra del alimentador CAY-201

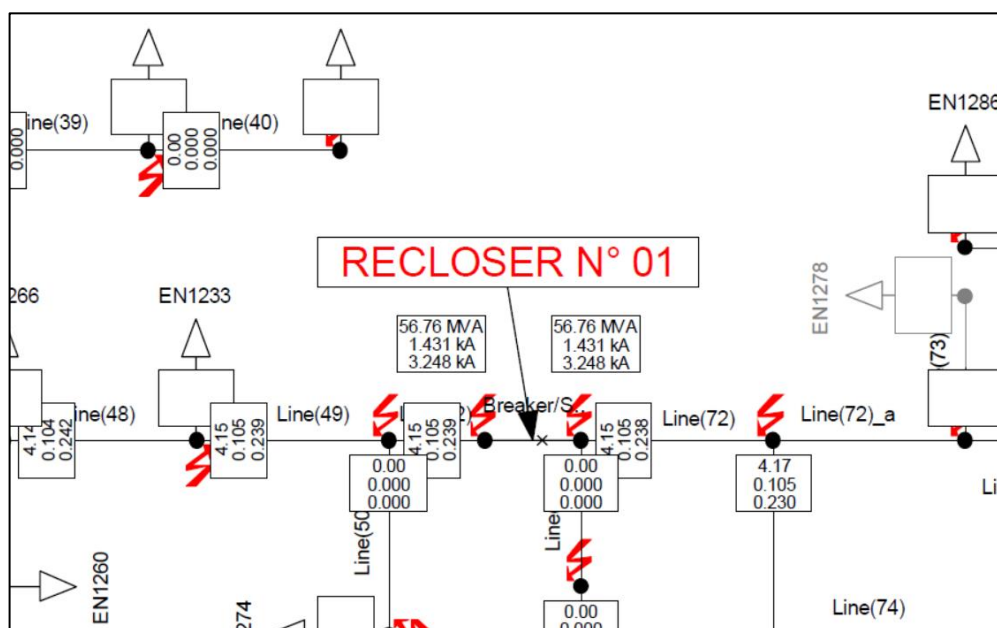


Ilustración 23 Simulación corriente de cortocircito en la línea del RECLOSER N° 1

Fuente: Propia

Se obtuvo una corriente de 1,431 kA en la línea donde se encuentra el RECLOSER N°1

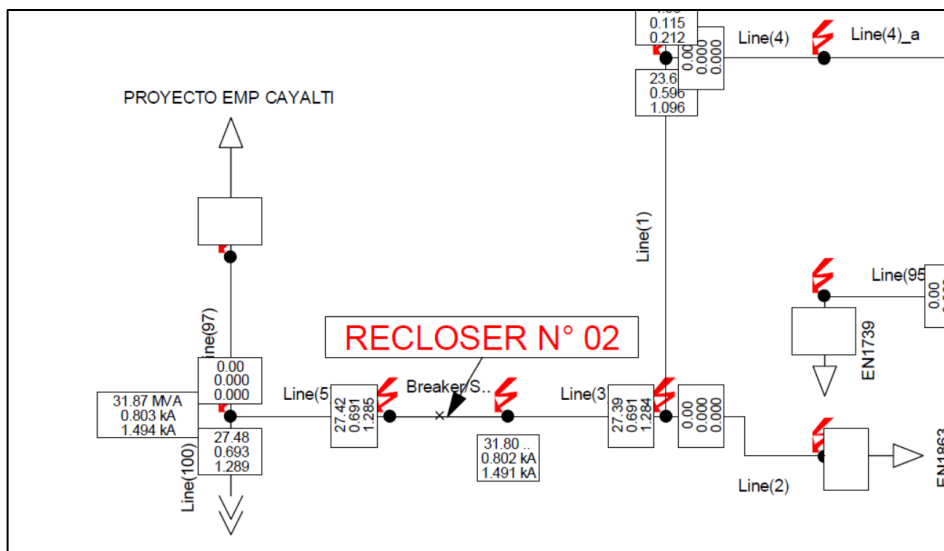


Ilustración 24 Simulación corriente de cortocircuito en la línea del RECLOSER N°2

Fuente: Propia

Se obtuvo una corriente de 0,8 kA para la línea donde se ubica el Recloser N°2 y una potencia de 31,8 MVA.

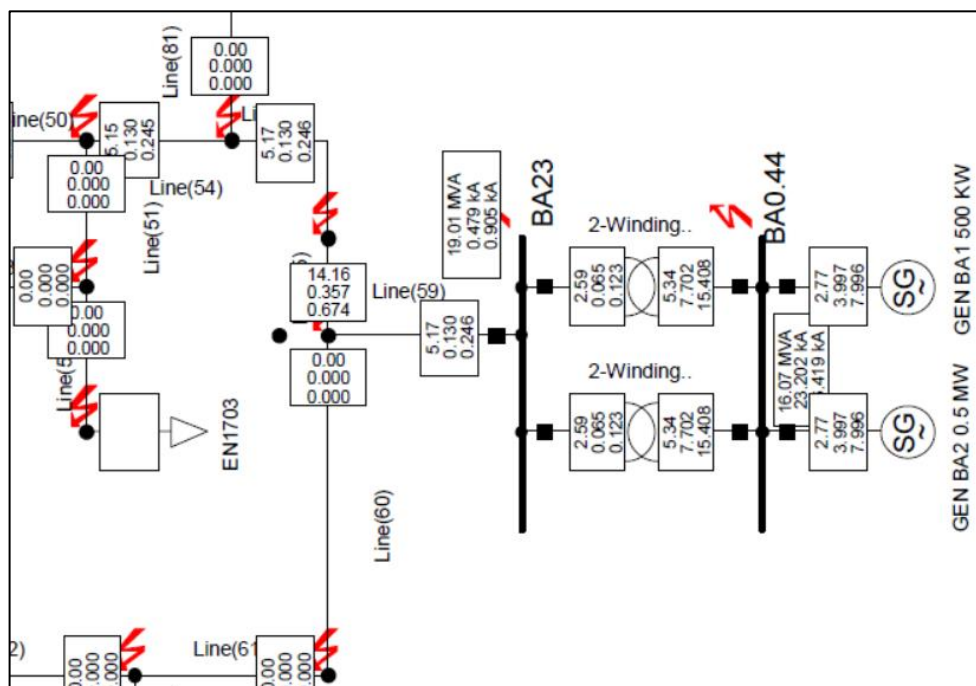


Ilustración 25 Simulación Cortocircuito en la barra del lado de media tensión de la C.H Buenos Aires

Fuente: Propia

Se obtuvo una corriente de corto circuito de 0,479 kA y una potencia de 19,01 MVA.

❖ Corto circuito monofásico en el alimentador CAY-201

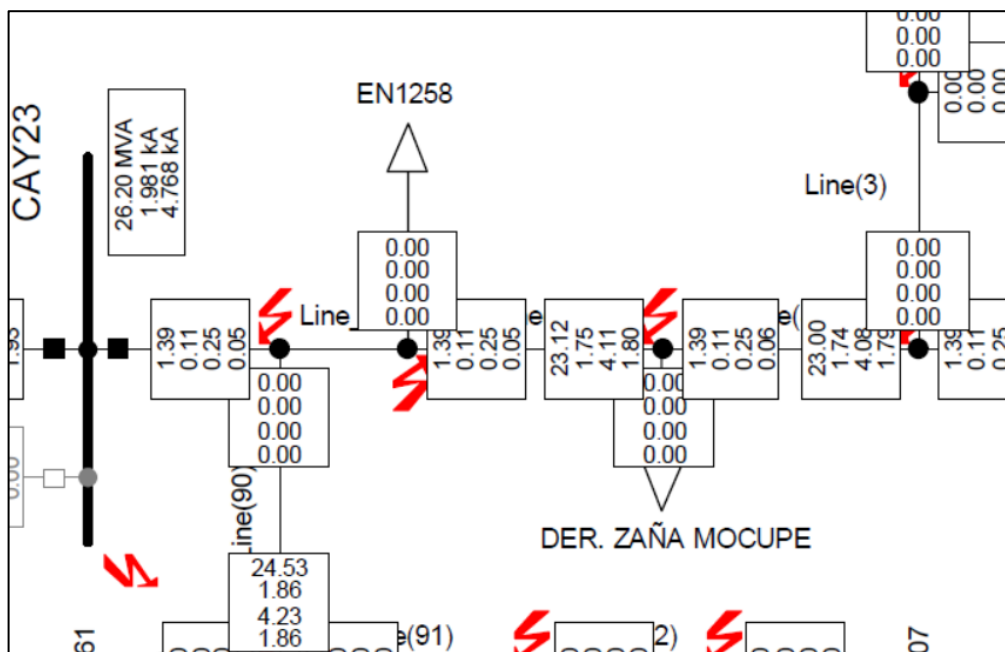


Ilustración 26 Simulación cortocircuito monofásico en el alimentador CAY-201

Fuente: Propia

Se obtuvo una corriente de cortocircuito monofásica de 1,981 kA y una potencia de 26.2 MVA.

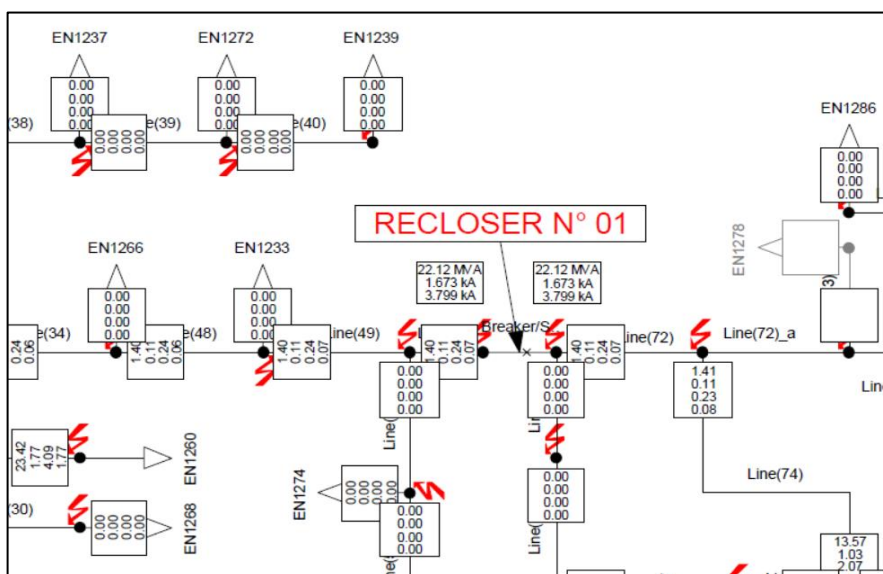


Ilustración 27 Simulación cortocircuito monofásico en la línea del RECLOSER N° 1

Fuente: Propia

Se obtuvo una corriente de cortocircuito monofásico de 1,673 kA y una potencia de 22,12 MVA.

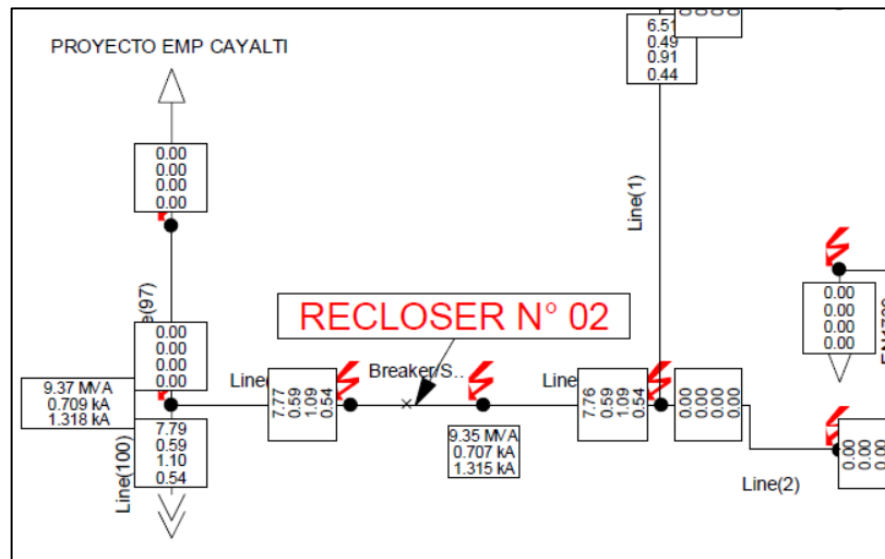


Ilustración 28 Simulación cortocircuito monofásico en la línea del RECLOSER N° 2

Fuente: Propia

Se obtuvo una corriente de cortocircuito de 0,707 kA y una potencia de 9,35 MVA.

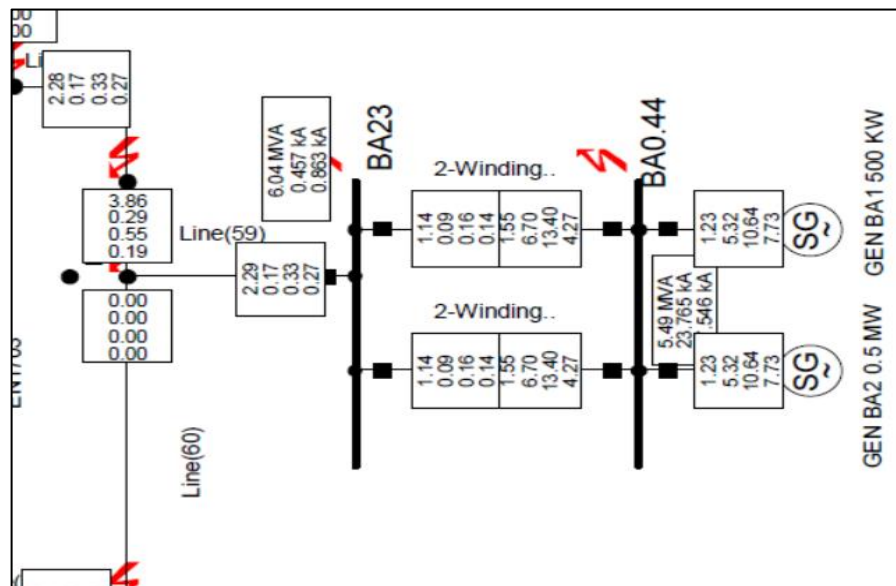


Ilustración 29 Simulación cortocircuito monofásico en la barra de media tensión de la C.H de Buenos Aires

Fuente: Propia

Se obtuvo una corriente de 0,457 kA y una potencia de 6,04 MVA.

❖ Resumen de las corrientes y potencia de cortocircuito

Tabla 14 Resumen de corrientes y potencias de falla por cortocircuito

SECTOR	FALLA TRIFÁSICA		FALLA MONOFÁSICA	
	MVA	kA	MVA	kA
BARRA CAY-201	61,55	1,55	26,2	1,98
RECLOSER N°1	56,7	1,43	22,1	1,6
RECLOSER N°2	31,8	0,8	9,3	0,7
BARRA C.H BUENOS AIRES	19,01	0,47	6,04	0,46

Fuente: Propia

Los sectores fueron seleccionados de acuerdo a la ubicación actual de los reconectores automáticos, las corrientes de corto circuito presentadas en los distintos tramos serán las utilizadas en las curvas de disparo de los relés y fusibles para la coordinación, tomando en cuenta los tiempos de disparos según las variables de

I> corriente temporizado (50)

I>> corriente de falla instantáneo (51)

Ie> corriente a tierra temporizado (50N)

Ie>> corriente de falla a tierra instantánea (51N)

Tomando en consideración que el tiempo de disparo de la corriente de falla instantánea en la cabecera del alimentador no debe ser mayor a 450 ms y la corriente a tierra temporizada no debe pasar de los 20 A debido a fallas de aislamiento en los aisladores de las estructuras del sistema.

El tiempo de disparo de la corriente temporizada en ambos casos debe ser mayor al de la instantánea y en el caso de la corriente de falla a tierra instantánea debe ser menor a 12 A.

4.1.7. Curvas de disparo del sistema de protección actual

- Curvas de disparo funciones 50/51 del sistema actual

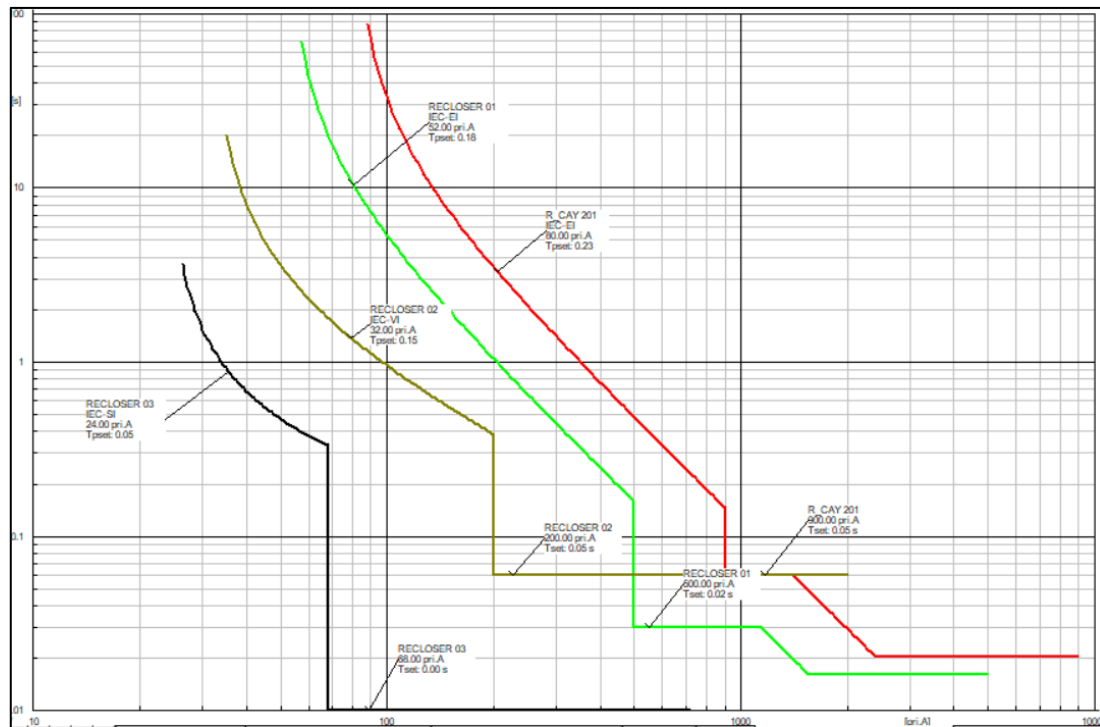


Ilustración 30 Curvas de disparo sistema actual

Fuente: Propia

Como se observa el recloser 03 presenta la mayor sensibilidad, teniendo un ajuste de 24 A para la curva temporizada y 68 A para la instantánea, este reclose se ubica a la salida de la barra de la central hidroeléctrica de Buenos Aires Niepos, provocando que ante cualquier falla se desconecta la central, seguido del relé proximo a la falla, dejando la mayor parte del sistema desconectado.

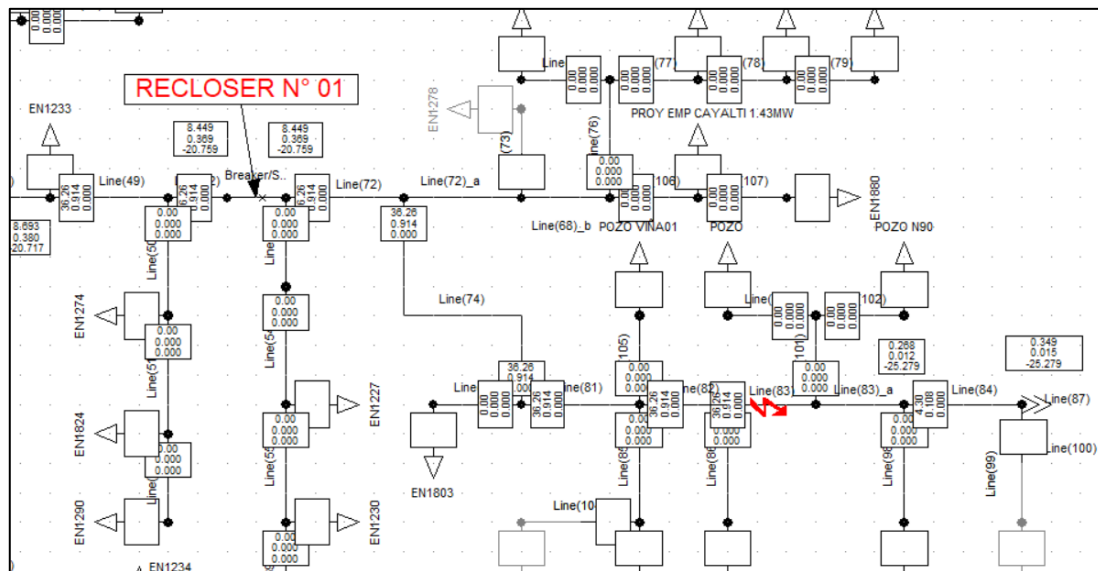


Ilustración 31 Ubicación cortocircuito

Fuente: Propia

Se simuló un cortocircuito entre los recloser 1 y 2 obteniendo una corriente de 1022 A.

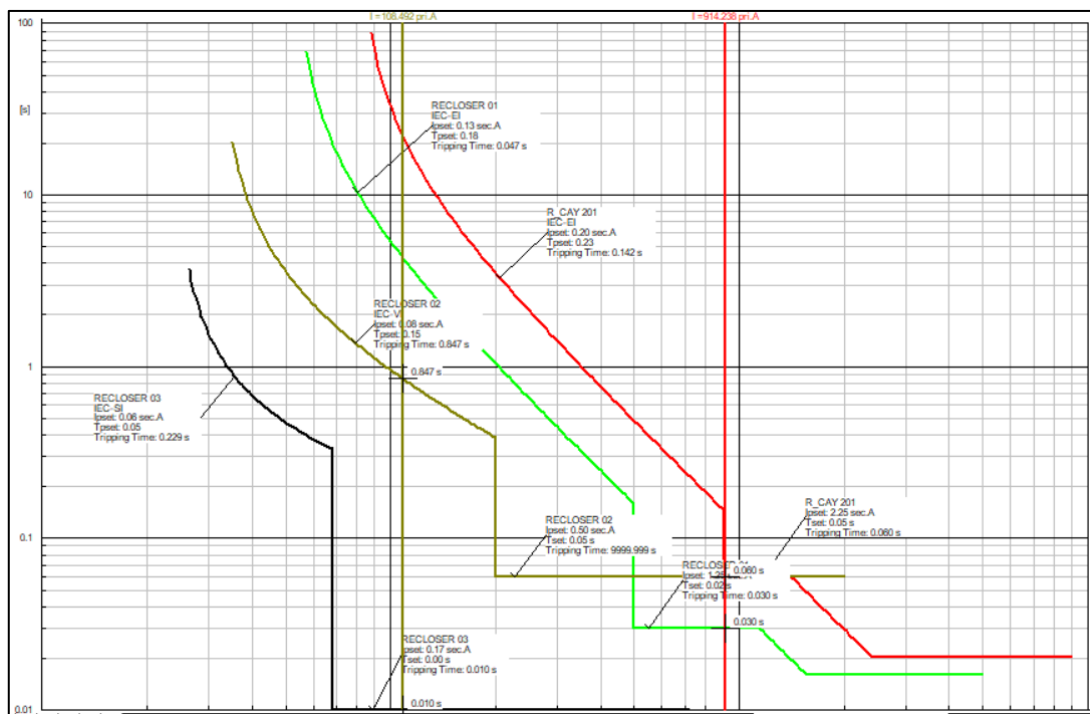


Ilustración 32 Simulación cortocircuito sistema de protección actual

Fuente: Propia

El recloser 3 apertura en un tiempo de 0.01 segundos dejando fuera de servicio a la central hidroeléctrica Buenos Aires Niepos, seguido del recloser 1 en un tiempo de 0.03 segundos dejando fuera de servicio todas las cargas aguas debajo de este recloser, el comportamiento de las protecciones no es el más eficiente ya que se puede aislar el sistema en 2 tramos, el que puede ser alimentado por la central hidroeléctrica y el que necesariamente necesita de la intervención del alimentador CAY-201, esto aumenta el tiempo de ubicación de la falla en el sistema dificultando la reconexión y dejando usuarios industriales importantes sin energía eléctrica.

4.1.8. Thevenin equivalente

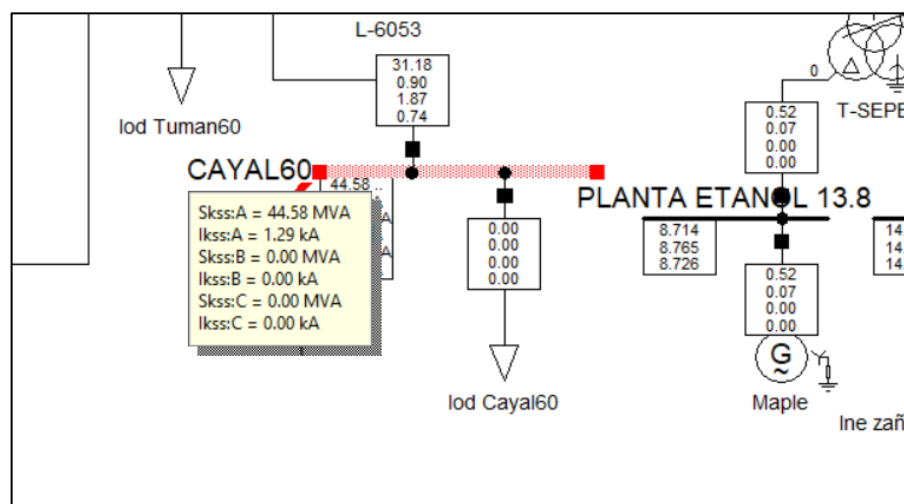


Ilustración 33 SEIN-Barra de 60kV Cayaltí

Fuente: Propia

En SIEN brinda un estudio de flujo de potencia en el cual se encuentra representado todo el sistema interconectado nacional, a nivel de transmisión, realizar un cálculo de thevenin equivalente de todo el alimentador sería inexacto, es por eso que aplicando un cálculo de cortocircuito en la barra del alimentador obtenemos la potencia equivalente para ser usada en la fuente que alimentara nuestro sistema, obteniendo en este caso 44,58 MVA.

	Name	Input Mode	Balanced/Unbala...	Act. Pow. MW	React. Pow. Mvar	App. Pow. MVA	I kA	Pow. Fact.	cos(phi)/(ind.cap)	Power Direction	Voltage p.u.	Scaling Factor	Adjusted by Load ...
▼	AJOSMAYO	SC	0	0.0245	0.00497	0.025	0.00063	0.98	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	ANTENA	SC	0	0.03675	0.00746	0.0375	0.00094	0.98000	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	ANTENA(1)	SC	0	0.0245	0.00497	0.025	0.00063	0.98	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	ARANGO	PC	0	0.005	0.00101	0.00510	0.00038	0.98	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	CASERIO	SC	0	0.0049	0.00099	0.005	0.00012	0.98	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EMPRESA CAYALTI	PC	0	1.435	0.29138	1.46428	0.03691	0.98	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EMPRESA CAYALTI(1)	PC	0	0.55	0.11168	0.56122	0.01414	0.98	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EMPRESA CAYALTI(2)	PC	0	0.9	0.18275	0.91836	0.02315	0.98	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EN 1219	SC	0	0.07350	0.01492	0.075	0.00189	0.98000	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EN 1220	SC	0	0.07350	0.01492	0.075	0.00189	0.98000	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EN 1226	SC	0	0.03675	0.00746	0.0375	0.00094	0.98000	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EN 1228	SC	0	0.03675	0.00746	0.0375	0.00094	0.98000	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EN 1233	SC	0	0.03675	0.00746	0.0375	0.00094	0.98000	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EN 1235	SC	0	0.07350	0.01492	0.075	0.00189	0.98000	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EN 1238	SC	0	0.07350	0.01492	0.075	0.00189	0.98000	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EN 1240	SC	0	0.03675	0.00746	0.0375	0.00094	0.98000	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EN 1241	SC	0	0.07350	0.01492	0.075	0.00189	0.98000	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EN 1242	SC	0	0.03675	0.00746	0.0375	0.00094	0.98000	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EN 1243	SC	0	0.07350	0.01492	0.075	0.00189	0.98000	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EN 1244	SC	0	0.07350	0.01492	0.075	0.00189	0.98000	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EN 1245	SC	0	0.03675	0.00746	0.0375	0.00094	0.98000	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EN 1246	SC	0	0.03675	0.00746	0.0375	0.00094	0.98000	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EN 1247	SC	0	0.03675	0.00746	0.0375	0.00094	0.98000	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EN 1248	SC	0	0.03675	0.00746	0.0375	0.00094	0.98000	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EN 1249	SC	0	0.07350	0.01492	0.075	0.00189	0.98000	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EN 1250	SC	0	0.03675	0.00746	0.0375	0.00094	0.98000	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EN 1251	SC	0	0.03675	0.00746	0.0375	0.00094	0.98000	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EN 1252	SC	0	0.03675	0.00746	0.0375	0.00094	0.98000	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EN 1254	SC	0	0.07350	0.01492	0.075	0.00189	0.98000	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EN 1255	SC	0	0.03675	0.00746	0.0375	0.00094	0.98000	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EN 1256	SC	0	0.07350	0.01492	0.075	0.00189	0.98000	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EN 1257	SC	0	0.03675	0.00746	0.0375	0.00094	0.98000	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EN 1258	SC	0	0.03675	0.00746	0.0375	0.00094	0.98000	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EN 1260	SC	0	0.049	0.00994	0.05	0.00126	0.98	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EN 1261	SC	0	0.01078	0.00218	0.011	0.00027	0.98	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EN 1268	SC	0	0.03675	0.00746	0.0375	0.00094	0.98000	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EN 1269	SC	0	0.03675	0.00746	0.0375	0.00094	0.98000	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EN 1270	SC	0	0.03675	0.00746	0.0375	0.00094	0.98000	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EN 1271	SC	0	0.03675	0.00746	0.0375	0.00094	0.98000	ind.	P>=0	1.	0.175	☑
▼	EN 1273	SC	0	0.03675	0.00746	0.0375	0.00094	0.98000	ind.	P>=0	1.	0.175	☑

Ilustración 34 Cargas del alimentador por código de subestación

Fuente: Propia

El Sistema cuenta con una demanda máxima de 10,6 MVA, cuando las subestaciones de distribución operan a su máxima capacidad, para asemejar el sistema a la realidad la demanda máxima obtenida mediante mediciones es 2,25 MVA, correspondiente al mes de febrero del presente año 2019, multiplicando todas las cargas por un factor de 0,2124083 se logra asemejar el sistema a la realidad.

4.1.9. Ajustes de los relés para las funciones 50/51

Los relés se ubicaron de manera estratégica a lo largo de la troncal del alimentador como se muestra.

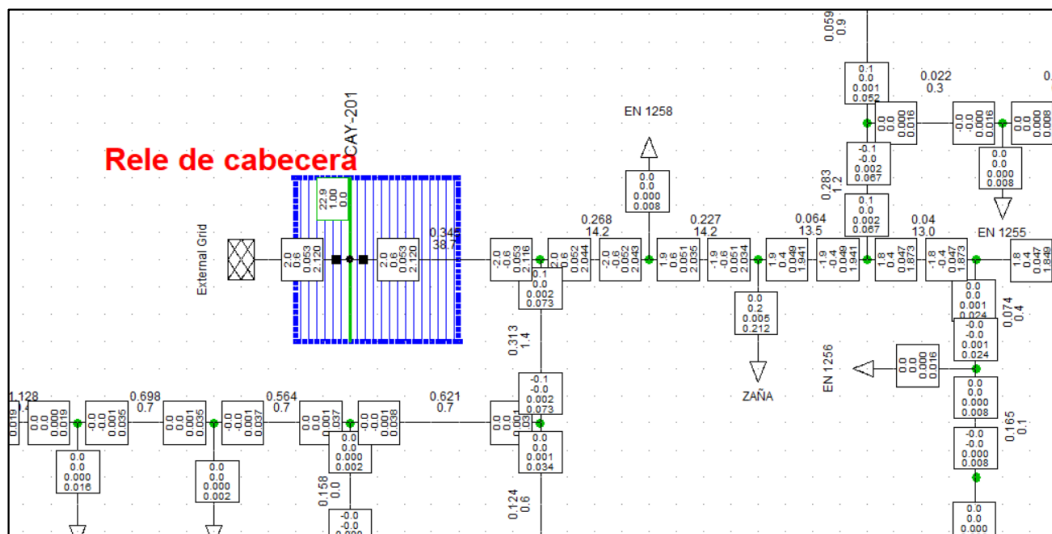


Ilustración 35 Ubicación del relé N°1

Fuente: Propia

El primer relé se ubica a la salida de la barra del alimentador, este será el encargado de proteger el transformador de potencia que conforma la subestación de potencia.

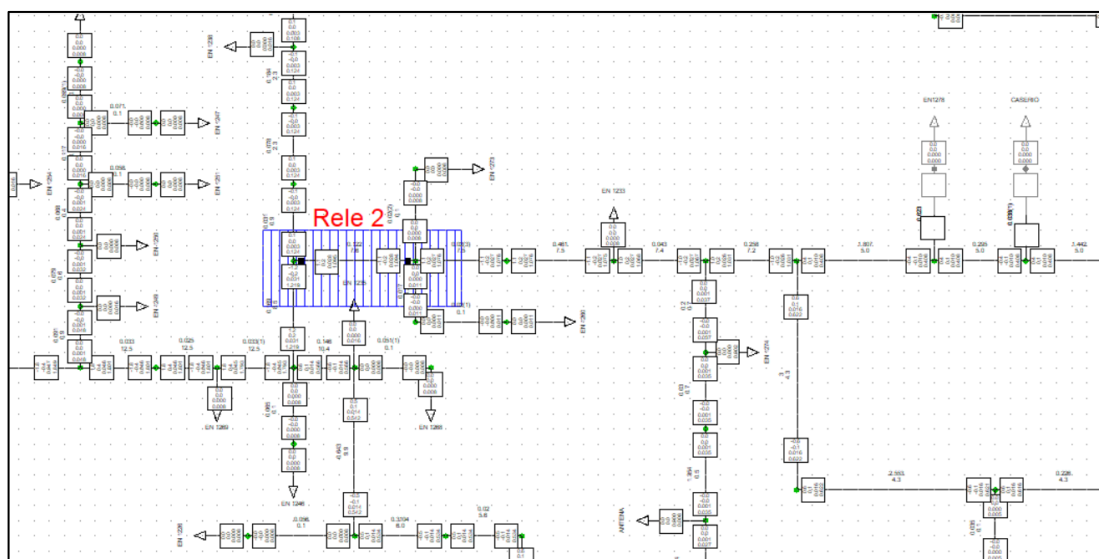


Ilustración 36 Ubicación del relé N°2

Fuente: Propia

El segundo relé se ubica de tal manera que se agrupan todas las cargas industriales en esta sección, para que las fallas que se puedan producir a este nivel no afecten a usuarios residenciales asegurando así la continuidad del servicio en caso de una falla eléctrica que pueda presentar una de estas industrias.

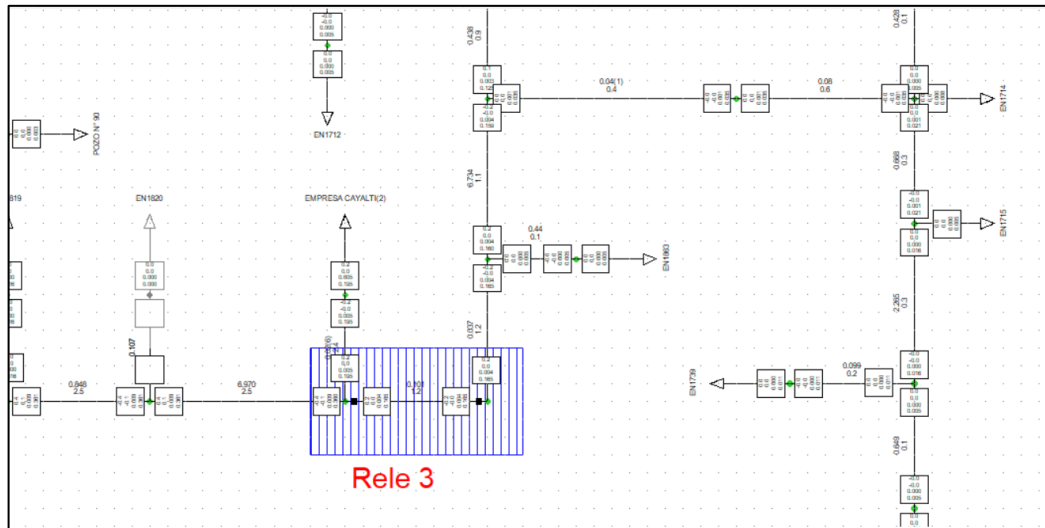


Ilustración 37 Ubicación relé N°3

Fuente: Propia

El tercer relé tiene la función de aislar el sistema hasta el punto donde la central hidroeléctrica de Buenos Aires Niepos puede alimentar el sistema, este actúa ante cualquier falla del sistema, para evitar daños en las turbinas de la central por sobrecarga.

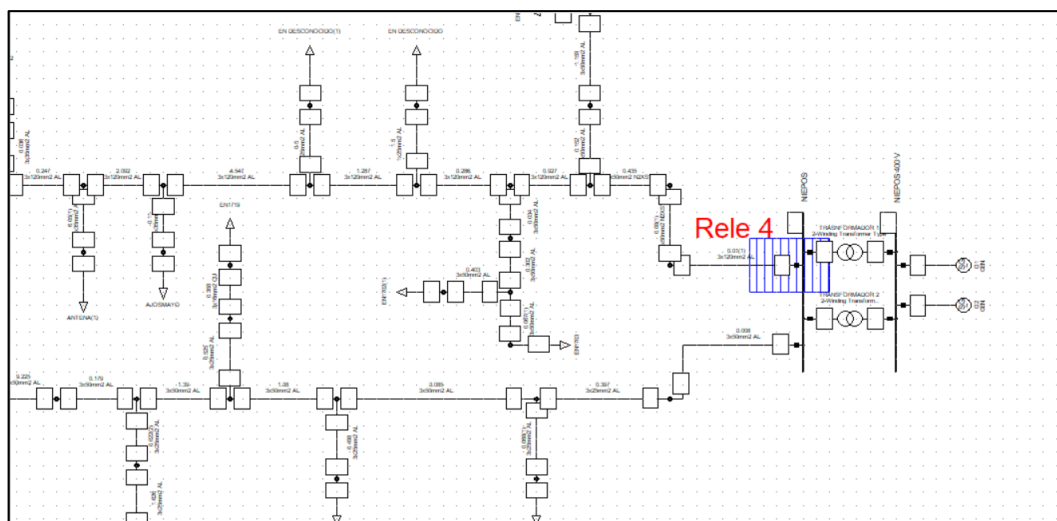


Ilustración 38 Ubicación relé N°4

Fuente: Propia

El cuarto relé se activa en el caso de una falla eléctrica en el sistema alimentado por la central hidroeléctrica de Buenos Aires Niepos protegiendo así esta central generadora.

4.1.10. Curvas de disparo de los relés

Se empleó la curva de disparo inversa normal correspondiente a la norma IEC 255-3, las cuales se definen por las siguientes ecuaciones.

Inversa normal (S/C. inv) (IEC 255-3 Tipo A);	$t = \frac{0.14}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^{0.02-1}} T_p$
Muy inversa (S/C. inv A) (IEC 255-3 Tipo B);	$t = \frac{13.5}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^{-1}} T_p$
Extremadamente inversa (S/C. inv E) (IEC 255-3 Tipo C)	$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^2-1} T_p$
Inverso Largo (S/C T.inv L) (IEC 255-3 Tipo B)	$t = \frac{120}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^{-1}} T_p$

Donde:

t	: Tiempo de disparo
T_p	: Valor de ajuste del multiplicador de tiempo
I	: Corriente de falla
I_p	: Valor de ajuste de corriente

4.1.11. Ajustes para los relés con la función 50/51

Tabla 15 Parámetros Relé 1

RELÉ 1	
CORRIENTE DEL CONDUCTOR PRINCIPAL DE LA TRONCAL	
IN	0,053 kA actual
PORCENTAJE	38,7 %
I ADMISIBLE	0,1369509 kA
CONDUCTOR	Cu 3x16mm ²

Fuente: Propia

En el estudio de flujo de potencia se determinó que la corriente que pasa por el conductor principal de la troncal es de 53 A, trabajando a un porcentaje del 38,7 %, la corriente admisible del conductor Cu 3x16mm² es de 136,95 A, conociendo estos parámetros determinamos la corriente de ajuste para la curva de la función 50, aplicamos el 25% más de la corriente nominal.

Tabla 16 Ajustes Relé 1

TC	RELÉ 1			
	P.U.	pri. A	segundos	Dial
I>	0,2	80	14,675	0,2
I>>	0,5	200	0,45	

Fuente: Propia

- Función 50

La corriente para el ajuste del relé I_p resultó 68,174 A aproximando a 80 A para el ajuste, con un dial de 0,2, el T_p , multiplicador de tiempo, se fijó en 1 para todos los casos.

Según la curva inversa de la norma IEC 255-3 el tiempo en el que se accionará el interruptor para una corriente de 80 A es 14,675 segundos.

- Función 51

Se definió un tiempo de accionamiento instantáneo de 0,45 segundos, considerando una corriente de cortocircuito mínima de 200 A, a partir de este valor toda corriente censada por el relé accionara en un tiempo igual al definido anteriormente.

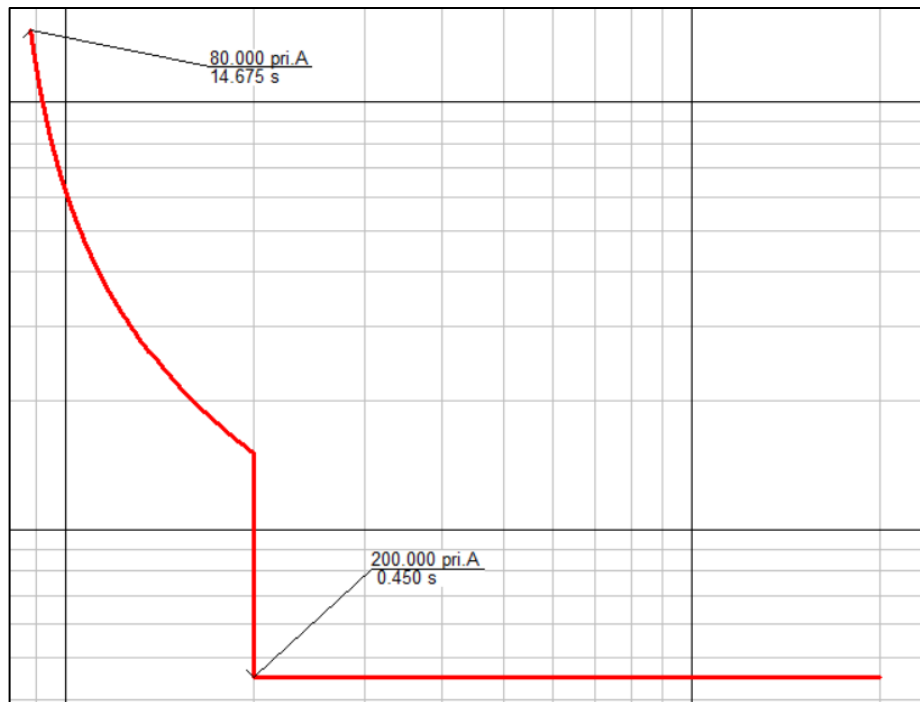


Ilustración 39 Curva de disparo relé N°1

Fuente: Propia

Tabla 17 Parámetros Relé 2

RELÉ 2	
CORRIENTE DEL CONDUCTOR PRINCIPAL DE LA TRONCAL	
IN	0,028 kA actual
PORCENTAJE	7,6 %
I ADMISIBLE	0,3684 kA
CONDUCTOR	Al 3x120 mm ²

Fuente: Propia

En este caso la corriente nominal que pasa por el transformador de corriente es de 28 A, trabajando al 7,6 % de su capacidad, para el conductor de AL 3x120 mm² que puede admitir una corriente de hasta 368,4 A.

Tabla 18 Ajustes Relé 2

TC	RELÉ 2			
	P.U.	pri. A	segundos	Dial
400	0,1	40	14,675	0,16
I>	0,375	150	0,35	
I>>				

Fuente: Propia

- Función 50

La corriente para el ajuste del relé I_p resultó 35,2129 A aproximando a 40 A para el ajuste, con un dial de 0,16.

Según la curva inversa de la norma IEC 255-3 el tiempo en el que se accionará el interruptor para una corriente de 40 A es 11,74 segundos.

- Función 51

Se definió un tiempo de accionamiento instantáneo de 0,35 segundos, considerando una corriente de cortocircuito mínima de 150 A.

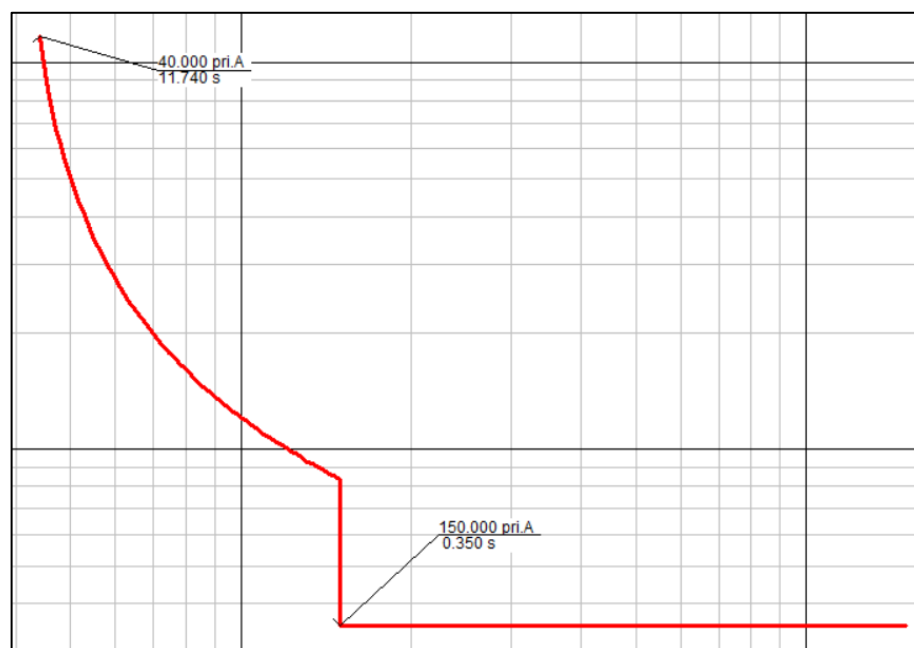


Ilustración 40 Curva de disparo relé N°2

Fuente: Propia

Tabla 19 Parámetros Relé 3

RELÉ 3	
CORRIENTE DEL CONDUCTOR PRINCIPAL DE LA TRONCAL	
IN	0,004 kA actual
PORCENTAJE	1,2 %
I ADMISIBLE	0,3684 kA
CONDUCTOR	Al 3x120 mm ²

Fuente: Propia

Para el relé 3 la corriente nominal es de 4 A, utilizando un conductor de Al 3x120 mm² que opera al 1,2 % de su capacidad puedo admitir hasta 368.4 A.

Tabla 20 Ajustes Relé 3

TC	RELÉ 3			
400	P.U.	pri. A	segundos	Dial
I>	0,02	8	14,675	0,16
I>>	0,2	80	0,2	

Fuente: Propia

- Función 50

La corriente para el ajuste del relé I_p resultó 5,306 A aproximando a 8 A para el ajuste, con un dial de 0,2.

La curva de disparo arroja un tiempo de 11,74 segundo para una corriente de 8 A en el primario.

- Función 51

El interruptor actuará de forma instantánea para una corriente de 80 A en el primario en un tiempo de 0,2 segundos.

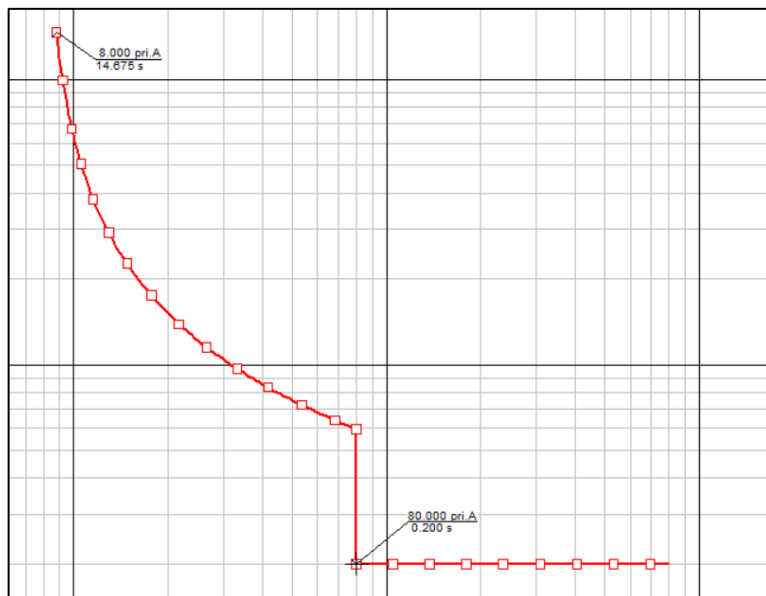


Ilustración 41 Curva de disparo relé N°3

Fuente: Propia

Tabla 21 Parámetro Relé 4

RELÉ 4	
CORRIENTE DEL CONDUCTOR PRINCIPAL DE LA TRONCAL	
IN	0,003 kA actual
PORCENTAJE	0,7 %
I ADMISIBLE	0,3684 kA
CONDUCTOR	Al 3x120 mm ²

Fuente: Propia

Para el relé 4 la corriente nominal es de 3 A, utilizando un conductor de Al 3x120 mm² que opera al 0.7 % de su capacidad puedo admitir hasta 368.4 A.

Tabla 22 Ajustes Relé 4

TC	RELÉ 4			
	P.U.	pri. A	segundos	Dial
400				
I>	0,025	10	14,675	0,16
I>>	0,25	100	0,25	

Fuente: Propia

- Función 50

La corriente para el ajuste del relé I_p resultó 3,85 A aproximando a 10 A, por coordinación, con un dial de 0,16.

La curva de disparo arroja un tiempo de 16,876 segundo para una corriente de 10 A en el primario.

- Función 51

El interruptor actuará de forma instantánea para una corriente de 100 A en el primario en un tiempo de 0,25 segundos.

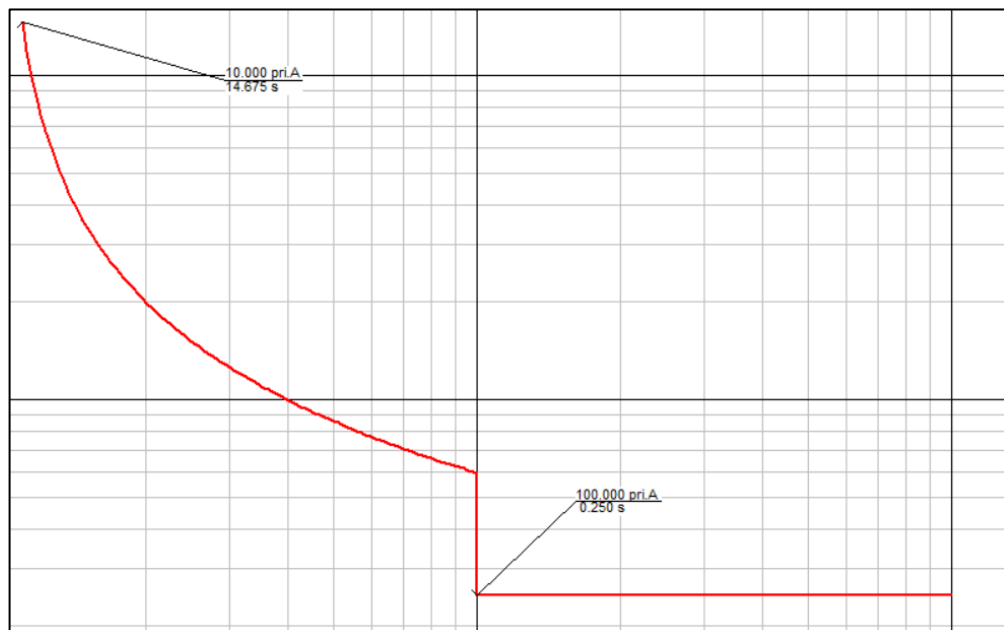


Ilustración 42 Curva de disparo relé N°4

Fuente: Propia

4.1.12. Ajustes de los relés para las funciones 50N/51N

Tabla 23 Ajustes Relé 1 Tierra

TC	RELÉ 1 TIERRA			
	P.U.	pri. A	segundos	Dial
400				
I>	0,05	20	14,675	0,2
I>>	0,2	80	0,4	

Fuente: Propia

- Función 50N

La corriente para el ajuste para descarga a tierra del relé 1 se fijó 20 A, con un dial de 0,20.

La curva de disparo arroja un tiempo de 14,675 segundo para una corriente de 20 A en el primario.

- Función 51N

El interruptor actuará de forma instantánea para una corriente de 80 A en el primario en un tiempo de 0,2 segundos.

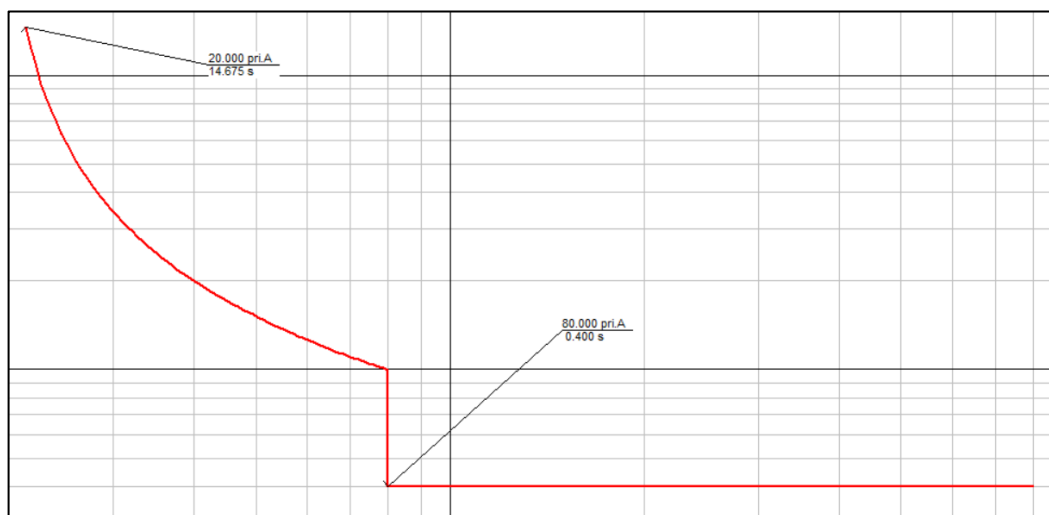


Ilustración 43 Curva de disparo relé tierra N°1

Fuente: Propia

Tabla 24 Ajustes Relé 2 Tierra

TC	RELÉ 2 TIERRA			
	P.U.	pri. A	segundos	Dial
400				
I>	0,0425	17	2,7	0.15
I>>	0,1	40	0,3	

Fuente: Propia

- Función 50N

La corriente para el ajuste para descarga a tierra del relé 2 se fijó 17 A, con un dial de 0,15.

La curva de disparo arroja un tiempo de 14,675 segundo para una corriente de 17 A en el primario.

- Función 51N

El interruptor actuará de forma instantánea para una corriente de 40 A en el primario en un tiempo de 0,3 segundos.

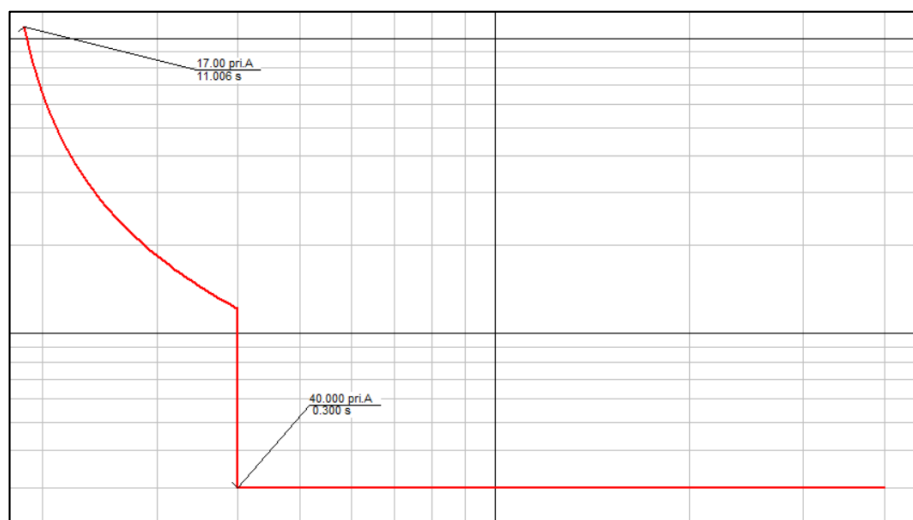


Ilustración 44 Curva de disparo relé tierra N°2

Fuente: Propia

Tabla 25 Ajustes Relé 3 Tierra

TC	RELÉ 3 TIERRA			
	P.U.	pri. A	segundos	Dial
400				
I>	0,0025	10	2	0.05
I>>	0,05	20	0,1	

Fuente: Propia

- Función 50N

La corriente para el ajuste para descarga a tierra del relé 3 se fijó 10 A, con un dial de 0,05.

La curva de disparo arroja un tiempo de 14,675 segundo para una corriente de 10 A en el primario.

- Función 51N

El interruptor actuará de forma instantánea para una corriente de 20 A en el primario en un tiempo de 0,1 segundos.

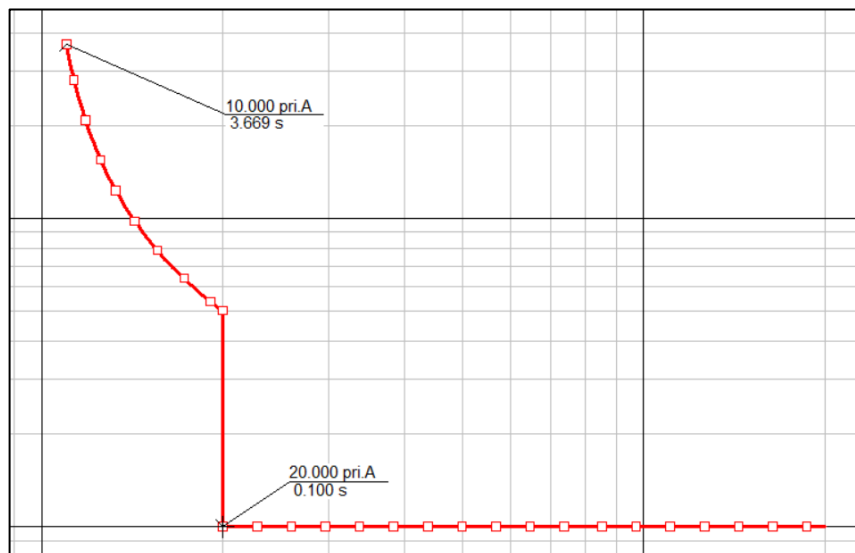


Ilustración 45 Curva de disparo relé tierra N°3

Fuente: Propia

Tabla 26 Ajustes Relé 4 Tierra

TC	RELÉ 4 TIERRA			
	P.U.	pri. A	segundos	Dial
400				
I>	0,0035	14	2	0.1
I>>	0,075	30	0,2	

Fuente: Propia

- Función 50N

La corriente para el ajuste para descarga a tierra del relé 4 se fijó 14 A, con un dial de 0,1. La curva de disparo arroja un tiempo de 14,675 segundo para una corriente de 14 A en el primario.

- Función 51N

El interruptor actuará de forma instantánea para una corriente de 30 A en el primario en un tiempo de 0,2 segundos.

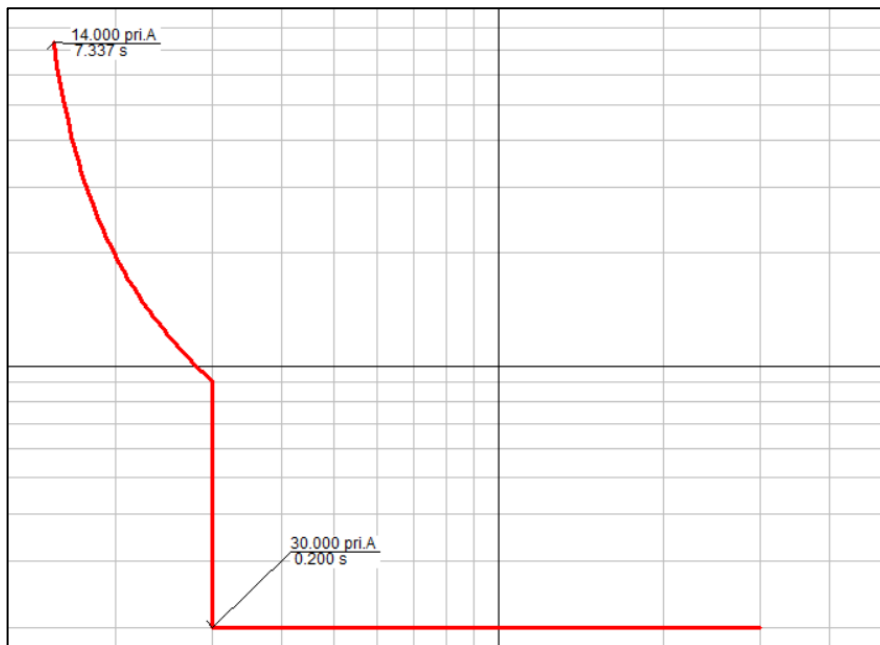


Ilustración 46 Curva de disparo relé tierra N°4

Fuente: Propia

4.1.13. Selección de fusibles

Los fusibles se seleccionaron de acuerdo a la corriente nominal, ubicándose en las ramificaciones del circuito, la curva seleccionada para trabajar es la curva “K” la más usada en fusibles de media tensión.

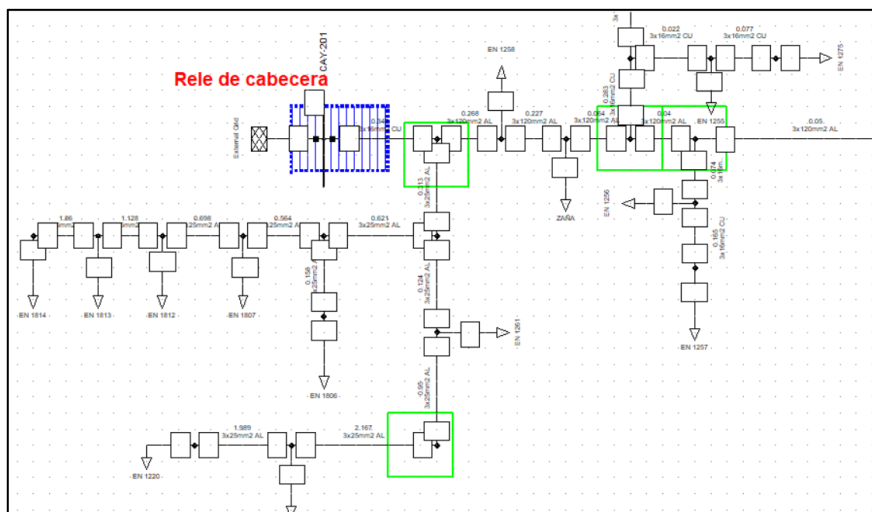


Ilustración 47 Ubicación fusibles

Fuente: Propia

Se señala en los cuadros de color verde la ubicación de los fusibles.

- Curvas de disparo de los fusibles

En la figura N° 45 se muestra las curvas correspondientes a los fusibles de 4 A y 2 A de color verde y rojo respectivamente seleccionados para la primera ramificación del circuito, para el resto de ramificaciones se aplicó la misma metodología.

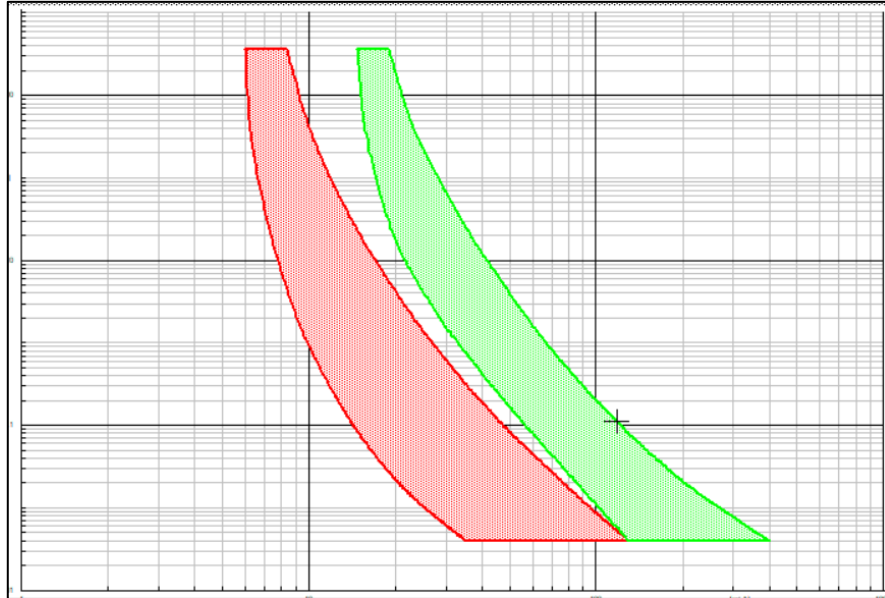


Ilustración 48 Curvas de disparo tipo "K" para fusibles de 4 A y 2 A

Fuente: Propia

4.1.14. Simulación de fallas por cortocircuito

Se simularon cortocircuitos en las distintas secciones del sistema separadas por los relés, para comprobar la correcta coordinación del sistema antes sobre corrientes y corrientes de cortocircuito.

- Sección entre Relé 1 (cabecera) y Relé 2

a) Caso 1, en la troncal del sistema

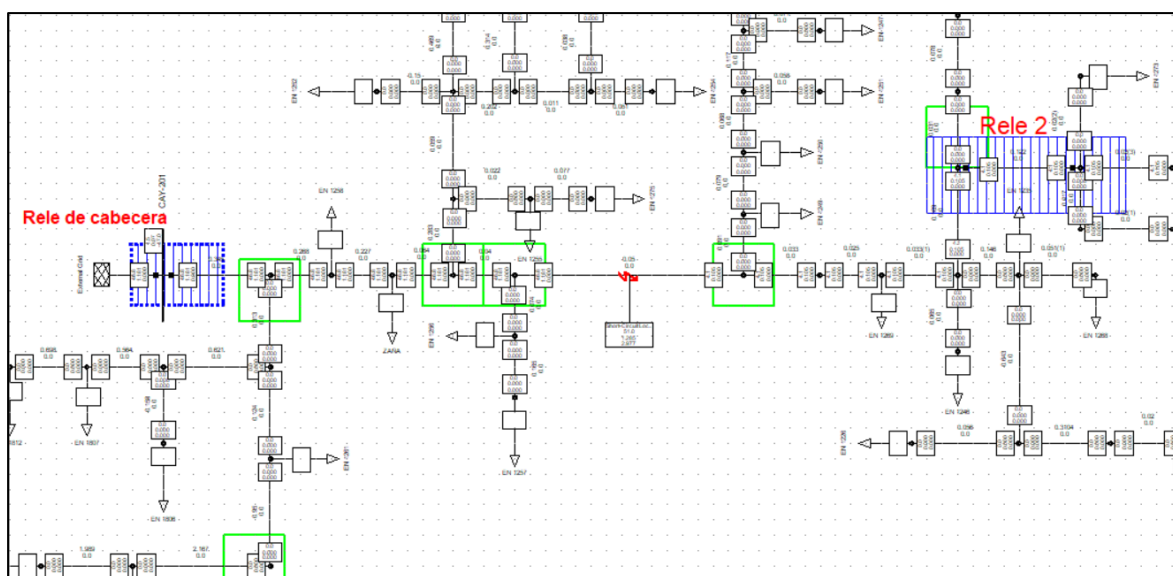


Ilustración 49 Ubicación cortocircuito Caso 1

Fuente: Propia

Simulación de cortocircuito trifásico en la troncal utilizando el método de la norma IEC 60909.

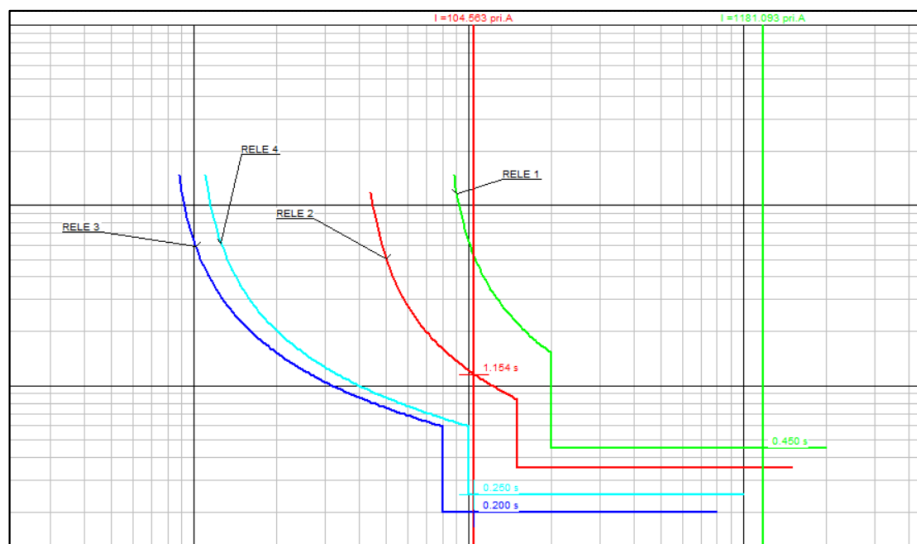


Ilustración 50 Simulación de cortocircuito caso 1

Fuente: Propia

Como se aprecia en la figura N° 50 el Relé 3 apertura primero en todos los casos con la finalidad de separar los sistemas, de no ser así se podría sobre cargar la central hidroeléctrica de Buenos Aires Niepos.

Ante la apertura del Relé 3 en un tiempo de 0,2 segundos, por el Relé 4 deja de circular corriente eléctrica lo cual hace que este no accione a su respectivo interruptor, por lo tanto, el segundo en actuar sería el Relé 1 en un tiempo de 0,45 segundos.

Se consigue despejar la falla, sacando de servicio al alimentador CAY-201 y manteniendo la continuidad del mismo en la parte del sistema que es alimentado por la central hidroeléctrica Buenos Aires Niepos.

b) Caso 2, en una ramificación del sistema

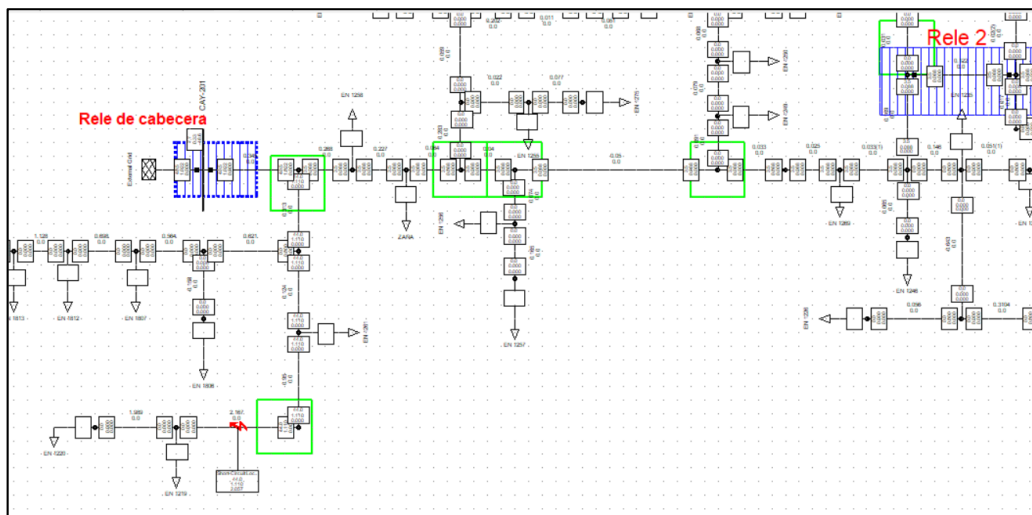


Ilustración 51 Ubicación cortocircuito Caso 2

Fuente: Propia

Simulación de cortocircuito trifásico en la troncal utilizando el método de la norma IEC 60909.

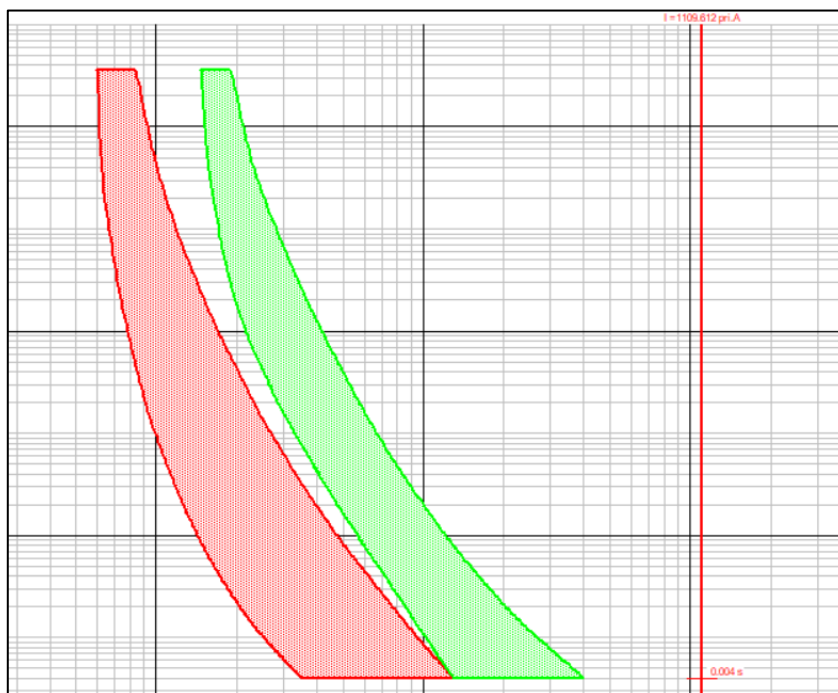


Ilustración 52 Simulación de cortocircuito caso 2 para fusibles

Fuente: Propia

En este caso, debido a que la falla es en la ramificación y existen fusibles, estos deben quemarse para aislar primero la falla por cortocircuito en un tiempo menor al del accionamiento de los interruptores por los Relés, como se observa en la figura N°52 ante la corriente de 1109.612 A el fusible de 2 A colocado se funde en un tiempo de 0,004 segundos.

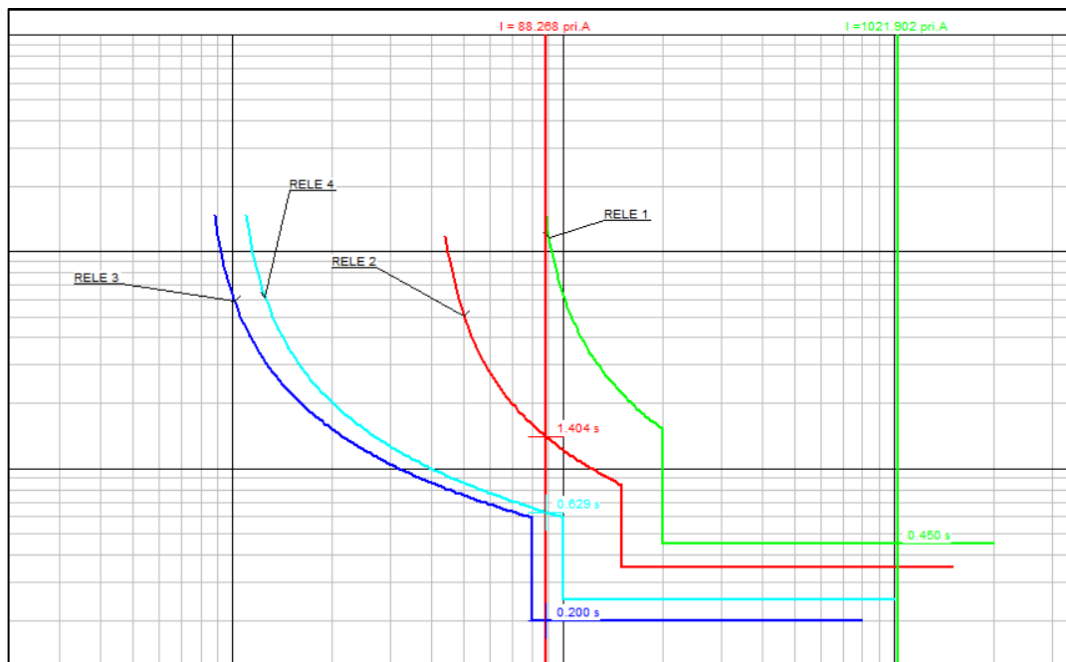


Ilustración 53 Simulación de cortocircuito Caso 2

Fuente: Propia

En este caso el Relé 3 apertura primero como en los demás casos en un tiempo de 0,2 segundos seguido del Relé 1 a un tiempo de 0.45 segundos, como en el caso anterior el alimentador CAY-201 sale de servicio y la central hidroeléctrica Buenos Aires Niepos alimenta el sistema hasta la ubicación del Relé 3, ya que debido a su potencia instalada solo puede alimentar esas cargas, estos tiempos de actuación son mayores al que se fundió el fusible, por lo tanto, los Relés no actuarán y se aislará la falla dejando solo fuera de servicio a las subestaciones EN 1219 y EN 1220, manteniendo la continuidad en el resto del sistema.

- Sección entre Relé 2 y Relé 3

c) Caso 1, en la troncal del sistema

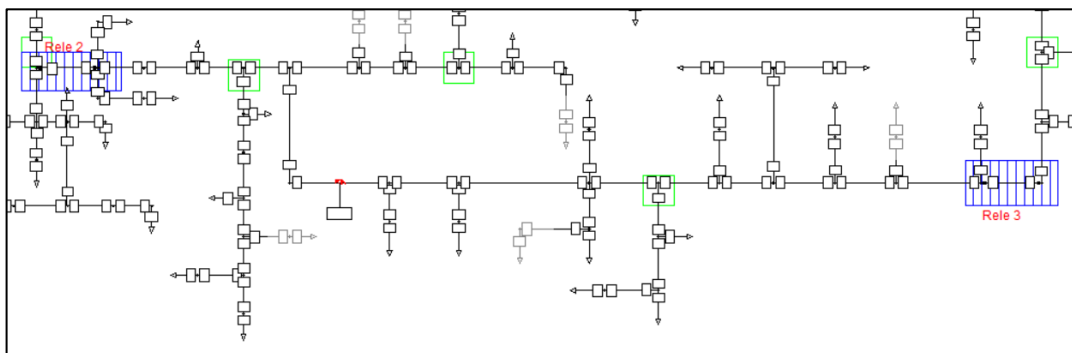


Ilustración 54 Ubicación cortocircuito Caso 1

Fuente: Propia

La falla se ubica en la troncal del sistema, en el tramo comprendido entre los Relés 2 y 3.

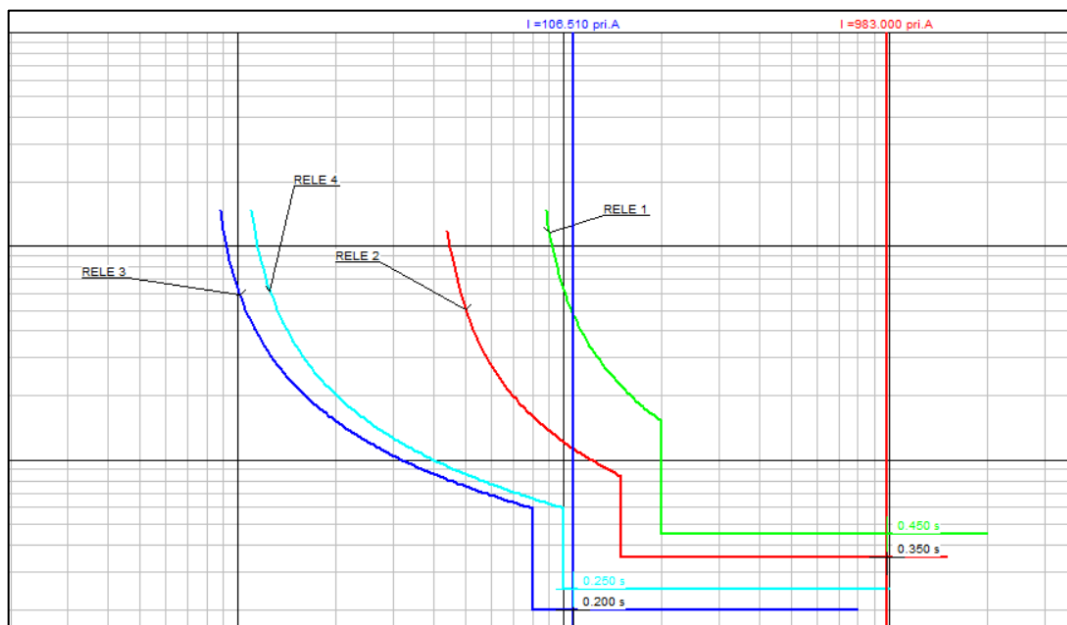


Ilustración 55 Simulación de cortocircuito Caso 1

Fuente: Propia

Siguiendo la metodología de los casos anteriores el Relé 3 apertura en un tiempo de 0.2 segundos separando los sistemas, el Relé 2 apertura en un tiempo de 0,35 segundos, en este caso el alimentador CAY-201 podrá alimentar las cargas que estén ubicadas antes del Relé 2 y la central hidroeléctrica Buenos Aires Niepos alimentará las cargas hasta el Relé 3, despejando la falla comprendida entre el sector del Relé 2 y 3, agilizando el reconocimiento de la ubicación de la misma.

d) Caso 2, en una ramificación del sistema

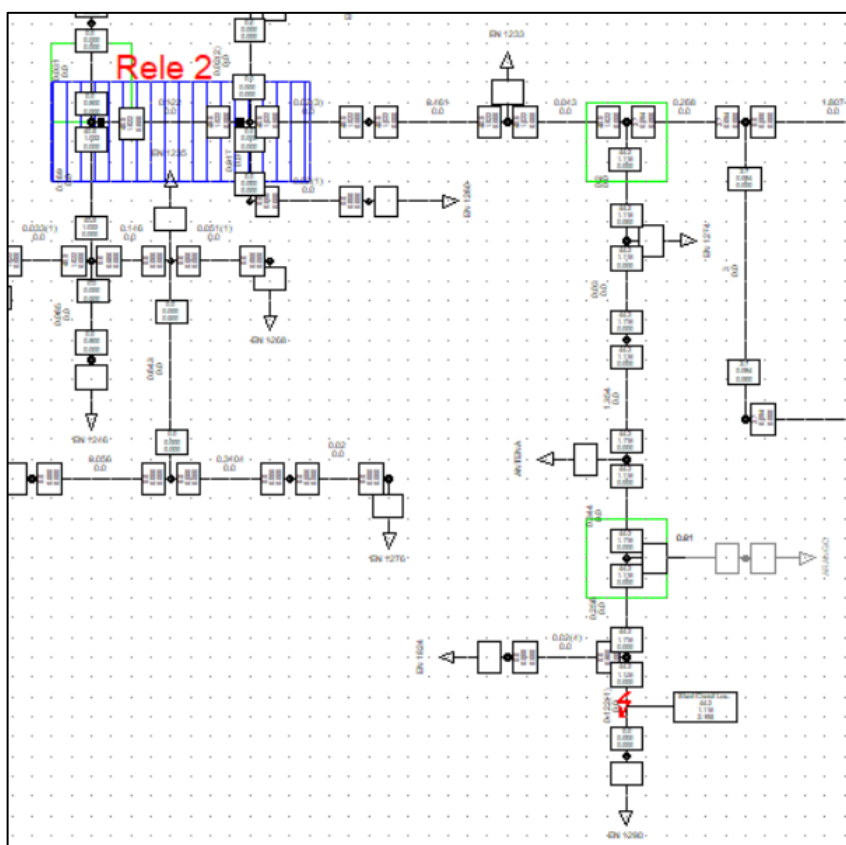


Ilustración 56 Ubicación cortocircuito Caso 2

Fuente: Propia

Falla ubicada en una ramificación del sistema entre los Relés 2 y 3.

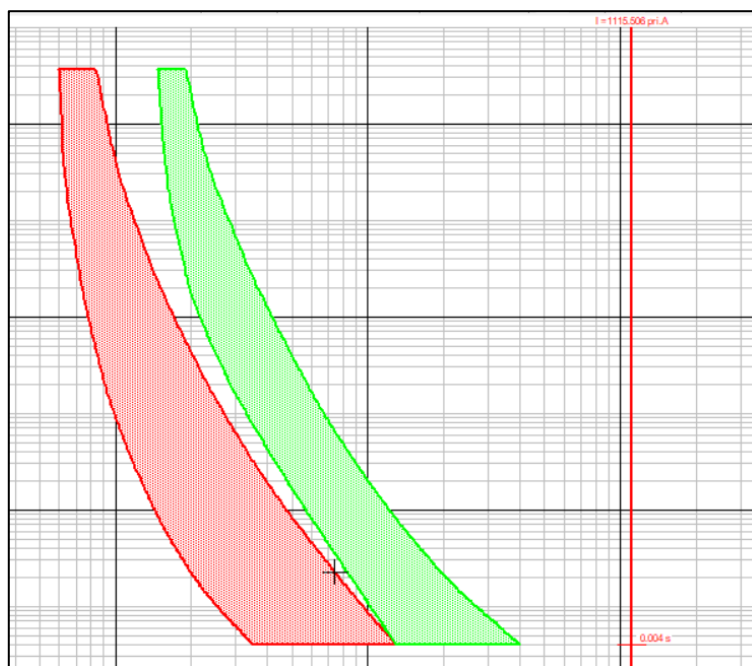


Ilustración 57 Simulación de cortocircuito caso 2 para fusibles

Fuente: Propia

Los fusibles seleccionados corresponden a 4 A y 10 A respectivamente, la corriente de cortocircuito es de 1115,506 A para lo cual el fusible se funde en 0,004 segundos.

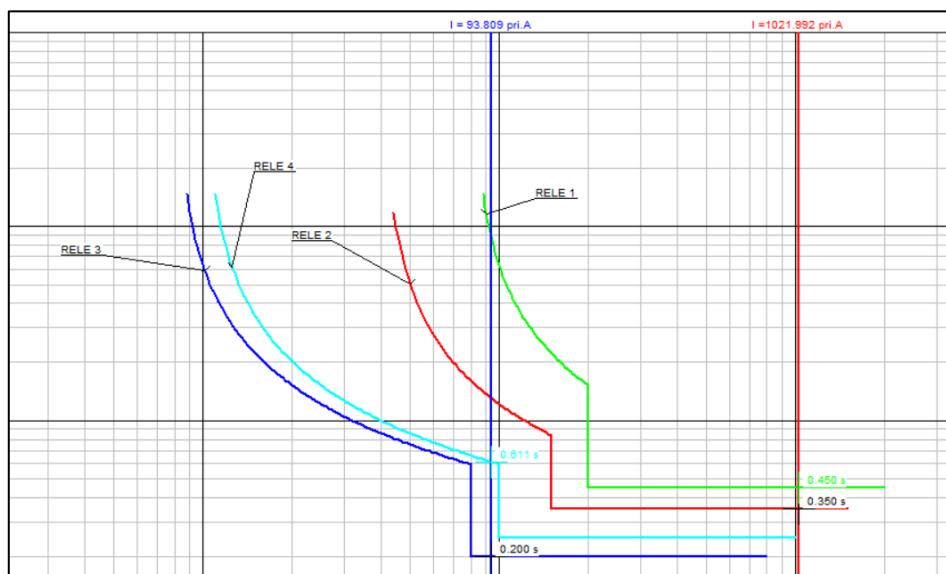


Ilustración 58 Simulación de cortocircuito Caso 2

Fuente: Propia

El fusible tiene tiempo de accionamiento mayor al de los Relés, siguiendo la metodología plateada, la falla se despeja de manera satisfactoria aislando solo la ramificación donde se produjo el cortocircuito, en un tiempo de 0,004 segundos, por lo que el accionamiento de los Relés no se llevaría a cabo.

- Sección entre Relé 3 y Relé 4
- e) Caso 1, en la troncal del sistema

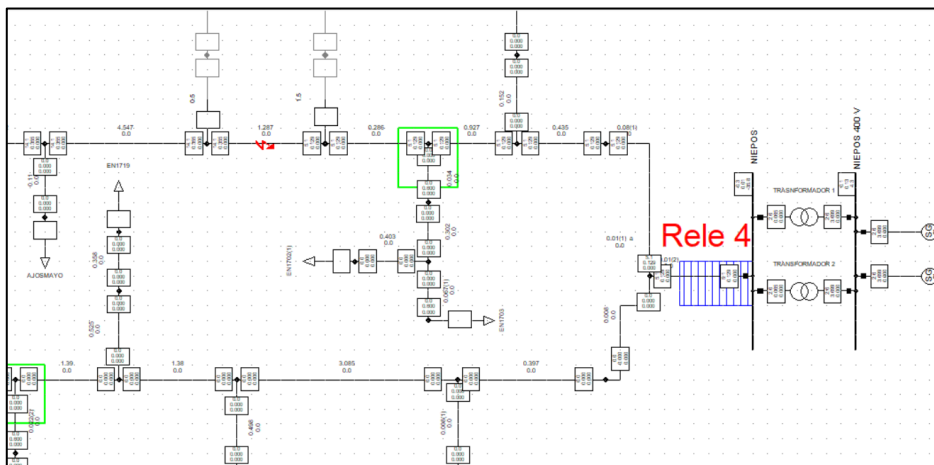


Ilustración 59 Ubicación cortocircuito Caso 1

Fuente: Propia

La falla se ubica en la troncal del sistema, en el tramo comprendido entre los Relés 2 y 3.

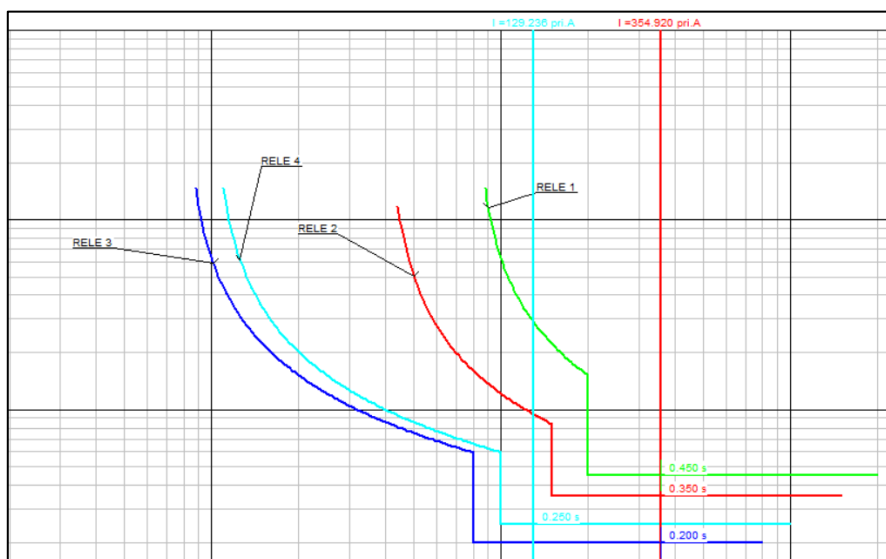


Ilustración 60 Simulación de cortocircuito Caso 1

Fuente: Propia

En este caso el Relé 3 apertura primero en un tiempo de 0,2 segundos, separando los sistemas, de manera continua actúa el Relé 4 en un tiempo de 0,25 segundos desconectando la central hidroeléctrica de Buenos Aires Niepos, se aísla la falla de manera correcta y se mantiene la continuidad del servicio desde el alimentador CAY-201 hasta el Relé 3.

f) Caso 2, en una ramificación del sistema

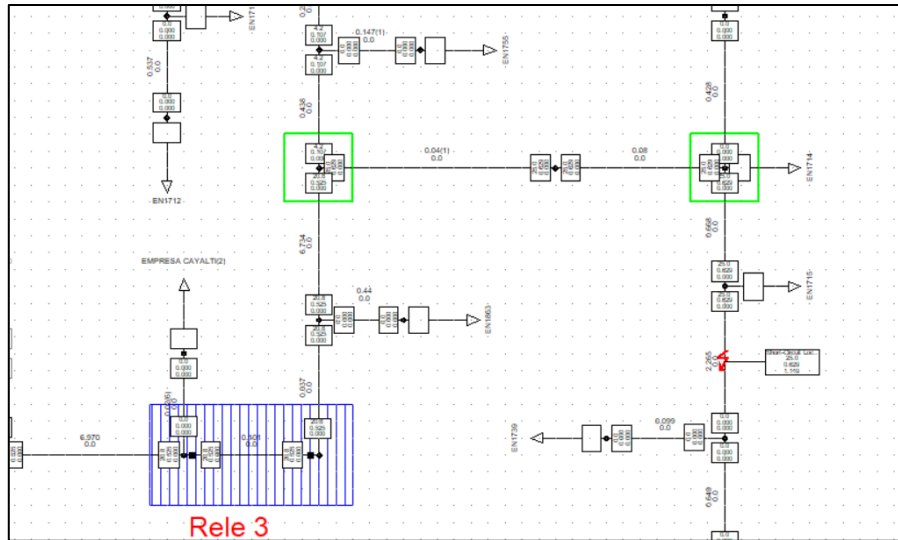


Ilustración 61 Ubicación cortocircuito Caso 2

Fuente: Propia

La falla se ubica en la troncal del sistema, en el tramo comprendido entre los Relés 3 y 4.

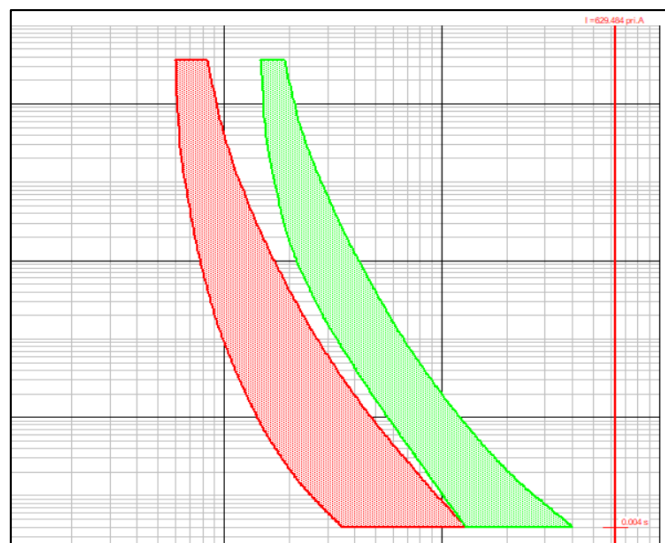


Ilustración 62 Simulación de cortocircuito caso 2 para fusibles

Fuente: Propia

Los fusibles de la curva K se funden en un tiempo de 0,04 segundos ante una corriente de cortocircuito en este tramo del sistema, se funde primero el fusible de 4 A aislando correctamente la falla, dejando solo fuera de servicio a las subestaciones EN1739 y EN1716.

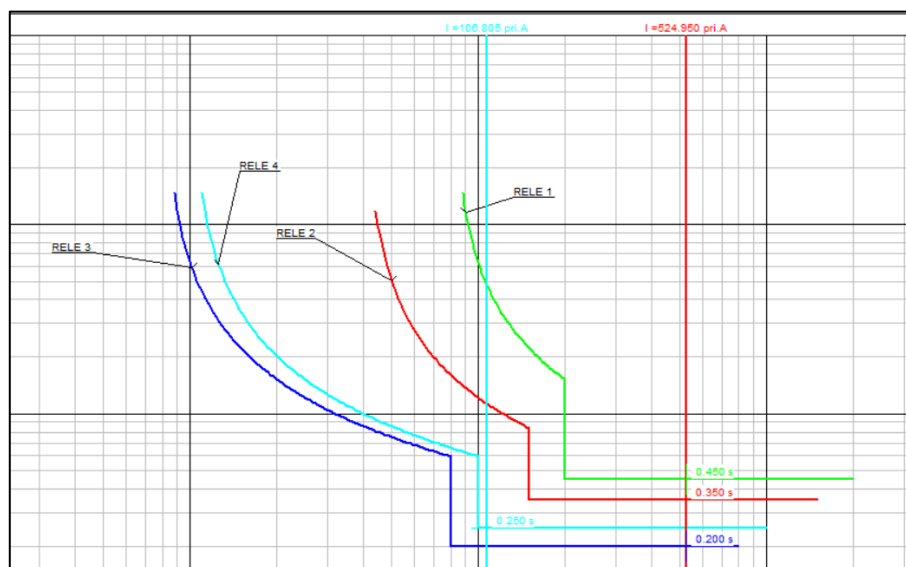


Ilustración 63 Simulación de cortocircuito Caso 2

Fuente: Propia

Los Relés actúan de manera correcta, en caso los fusibles fallen o estén quemados, el Relé 3 separa el sistema y el Relé 4 apertura en un tiempo de 0,25 segundos, aislando la falla.

4.1.15. Simulación de fallas a tierra

Se simularon corrientes de cortocircuito a tierra, como puede ser corrientes de fuga a tierra o utilizando el método de la normal IEC 60909.

Las corrientes de ajuste instantáneo para la función 51N son más bajas que en el caso anterior ya que para este caso debido a la contaminación y al polvo los aisladores pierden su capacidad de aislar el conductor del poste, por lo cual se producen pequeñas corrientes de fuga a tierra, que no pueden ser vistas por la función 50 y 51 planteadas en el caso anterior, estas corrientes pueden ocasionar accidentes cuando una persona se ponga en contacto con el poste.

- Sección entre Relé 1 (cabecera) y Relé 2

Para este caso se realizó una simulación de cortocircuitos por la caída de una línea o descarga a tierra.

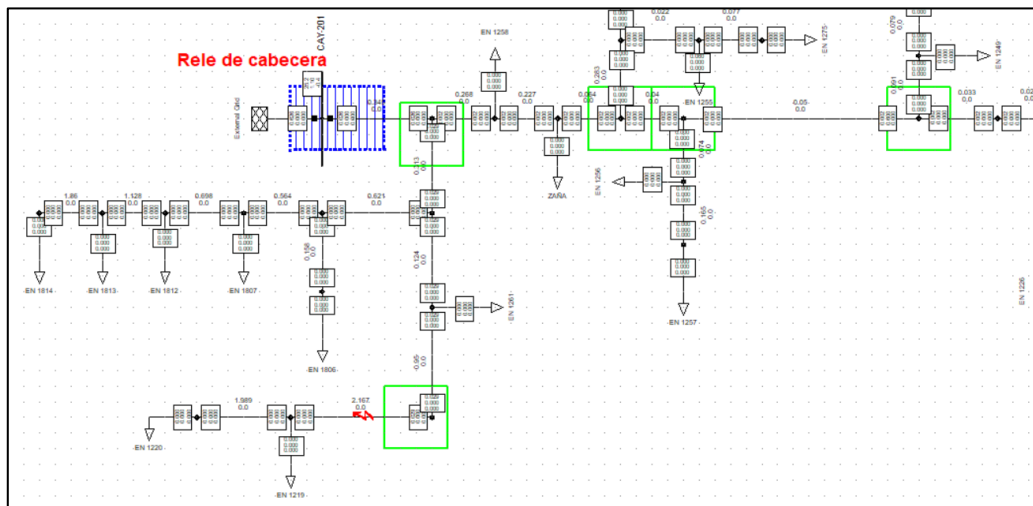


Ilustración 64 Ubicación del cortocircuito de alta impedancia tramo 1

Fuente: Propia

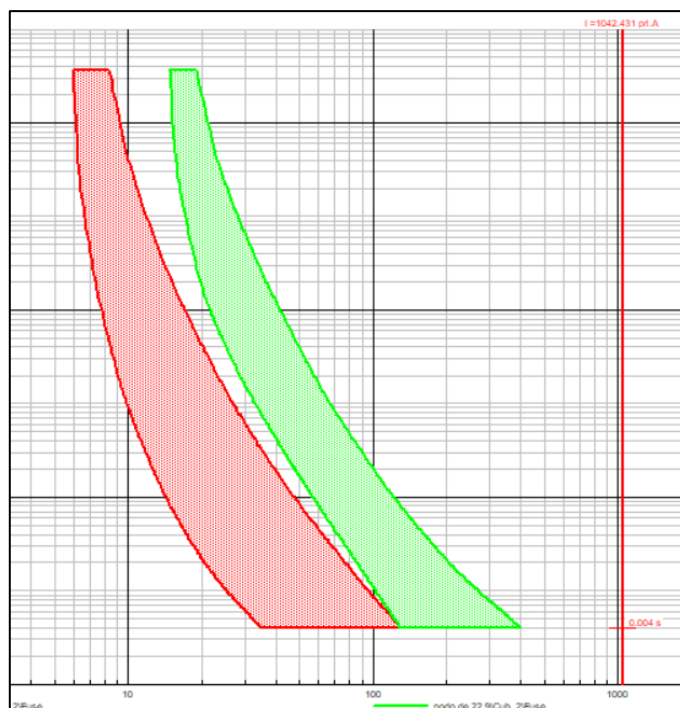


Ilustración 65 Simulación de falla de alta impedancia en fusibles tramo 2

Fuente: Propia

En este caso el fusible detectará esta corriente y se fundirá en un tiempo de 0,004 segundos, para una corriente de falla de 1042,431 A, aislando la falla y manteniendo la continuidad en el resto del sistema, siguiendo la filosofía de los casos anteriores.

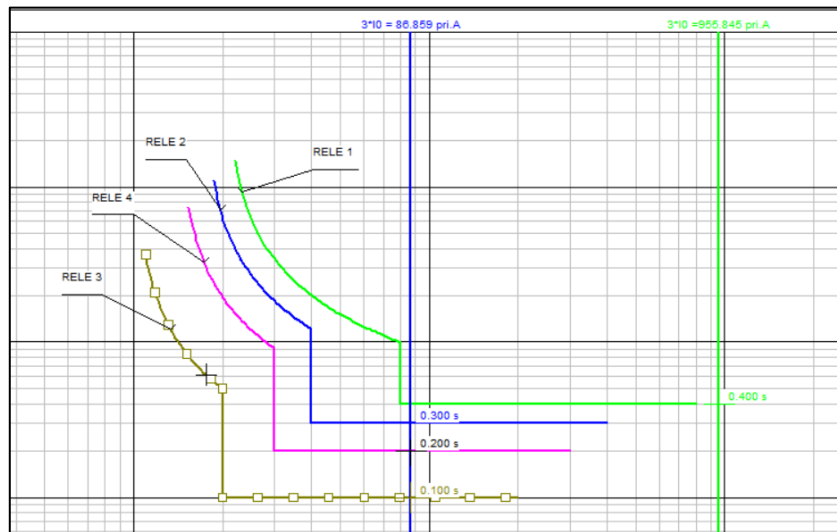


Ilustración 66 Simulación falla de alta impedancia en relés 50N/51N

Fuente: Propia

El siguiente equipo en detectar la falla es el Relé 1 que actuará en un tiempo de 0,4 segundos, en la curva de instantáneo este no actuará ya que el fusible despeja la falla, pero en el caso de que el fusible no se funda el relé despejará la falla en el tiempo señalado.



Ilustración 67 Simulación de falla de baja impedancia en relés función 50/51

Fuente: Propia

Los relés con las funciones 50/51 actúan en los tiempos señalados en la figura, estos tiempos son mayores a los cuales se ajustaron los relés a tierra, ya que en este caso la falla a tierra debe ser despejada por estos últimos, facilitando así la detección del tipo de falla.

- Sección entre Relé 2 y Relé 3

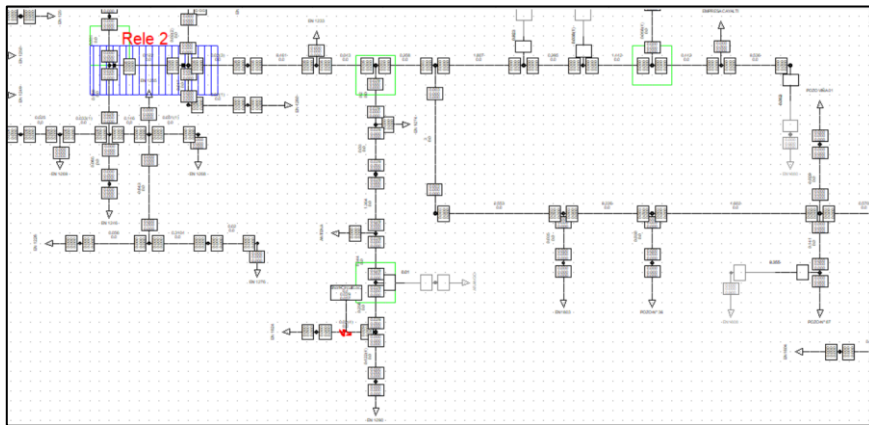


Ilustración 68 Ubicación del cortocircuito de alta impedancia tramo 2

Fuente: Propia

En este caso se simuló la caída de una línea en la ramificación del sistema entre el relé 2 y el relé 3, obteniendo una corriente de cortocircuito de 1037,24 A.

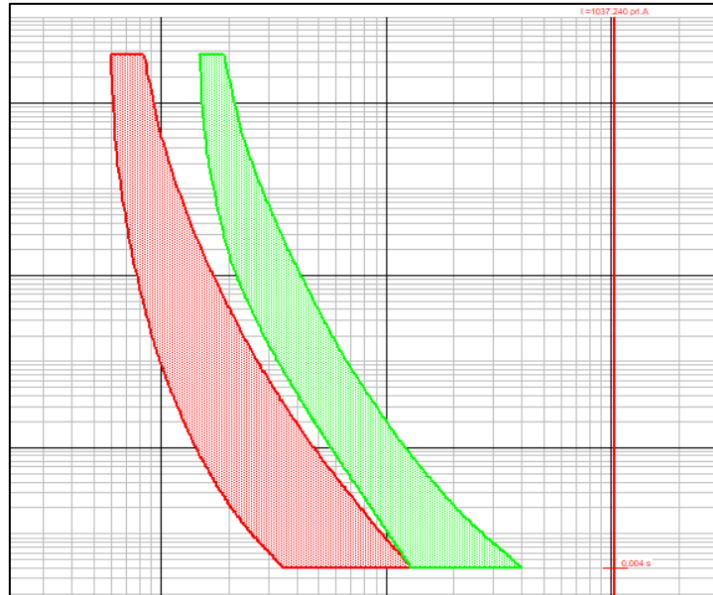


Ilustración 69 Simulación de falla de alta impedancia en fusibles tramo 2

Fuente: Propio

El fusible de 4 A se funde en un tiempo de 0,4 segundos, despejando la falla en la ramificación del sistema.

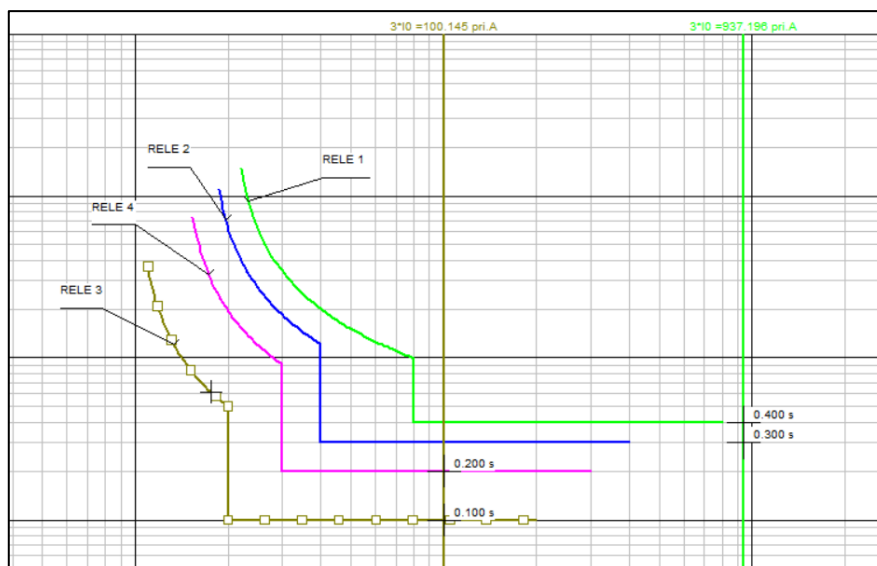


Ilustración 70 Simulación falla de alta impedancia en relés 50N/51N

Fuente: Propia

Como en el caso anterior, dada la circunstancia de que el fusible no se funda, el Relé 2 actuará despejando la falla.

- Sección entre Relé 3 y Relé 4

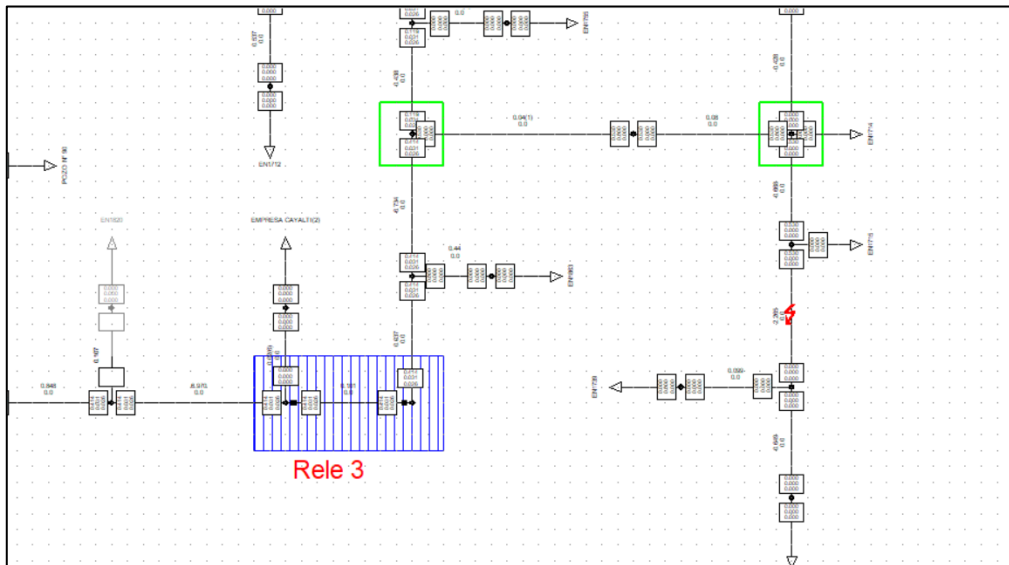


Ilustración 71 Ubicación del cortocircuito de alta impedancia tramo 3

Fuente: Propia

En este caso se simula la caída de una línea a tierra según la norma IEC 60909, en una ramificación del sistema entre los Relés 3 y 4.

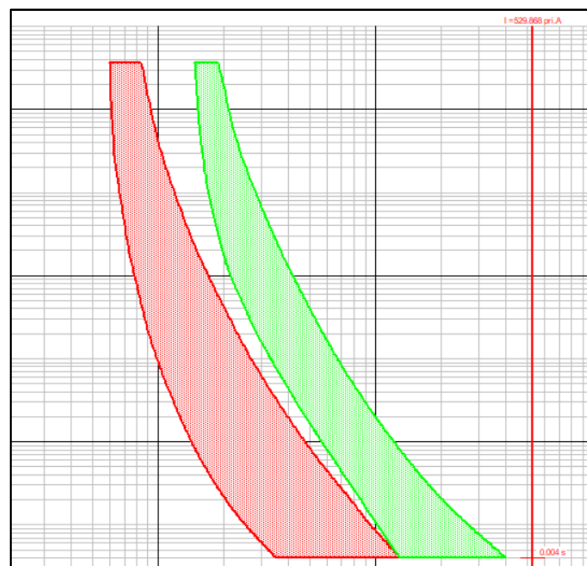


Ilustración 72 Simulación de falla de alta impedancia en fusibles tramo 3

Fuente: Propia

Los fusibles al igual que en los casos anteriores actúan en un tiempo de 0,004 segundos ante una corriente de 529,868 A, aislando de manera correcta la falla.

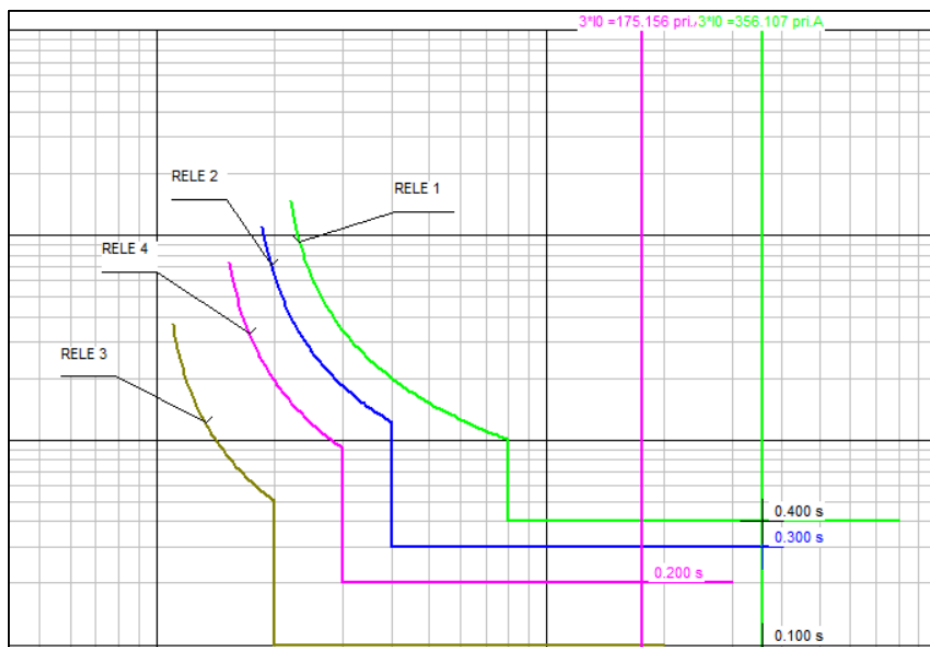


Ilustración 73 Simulación falla de alta impedancia en relés 50N/51N

Fuente: Propia

El relé 3 actúa primero en un tiempo de 0,1 segundos, separando los sistemas siguiendo la metodología de los casos anteriores, luego actúa el Relé 4 en 0,2 segundos desconectando la central hidroeléctrica Buenos Aires Niepos, dejando el servicio eléctrico disponible para las cargas hasta antes del Relé 3.

El nuevo sistema de protección enfrenta de una manera más eficiente las fallas, los casos anteriores demuestran la correcta coordinación del sistema ante distintas fallas eléctricas, al tratar con un sistema que está interconectado con una central hidroeléctrica, el relé 3 debe separar las cargas que son alimentadas por el CAY-201 de las que son alimentadas por la central Buenos Aires Niepos, para que las fallas presentes en el alimentador no afecten a la central y viceversa, con la finalidad de mantener la mayor continuidad del servicio posible y dejar al menor número de usuarios fuera de servicio.

Los relés usados son genéricos y utilizan la norma IEC-253, por lo tanto, los ajustes obtenidos son compatibles con cualquier equipo de protección diseñado bajo esta normativa.

CAPITULO V

COSTOS

Rediseño del sistema de protección del alimentador CAY-201

Tabla 27 Costos

ITEM	DESCRIPCION DE PARTIDAS	UNID.	METRADO	PRECIO	TOTAL
1.00	OBRAS PRELIMINARES				
1.01	REPLANTEO TOPOGRÁFICO, UBICACIÓN DE ESTRUCTURAS DE REDES SECUNDARIAS	km	1.00	350.00	350.00
1.02	INGENIERIA DE DETALLE	km	1.00	220.00	220.00
1.03	ESTUDIO DE COORDINACION DE PROTECCIONES	u	1.00	1,500.00	1,500.00
	TOTAL				2,070.00
2.00	INSTALACIÓN DE RELES DE				
2.01	TRANSPORTE DE EQUIPOS	u	3.00	120.00	360.00
2.02	INSTALACION DE RELES	u	3.00	700.00	2,100.00
2.03	AJUSTE DE RELES	u	3.00	500.00	1,500.00
2.04	SEÑALIZACIÓN DE POSTES DE CONCRETO	u	3.00	250.00	750.00
	TOTAL				4,710.00
3.00	PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO:				
3.01	PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO DE REDES SECUNDARIAS	Loc	1.00	900.00	900.00
3.02	EXPEDIENTE TECNICO FINAL CONFORME OBRA	Loc	1.00	1200.00	1200.00
	TOTAL				2100.00
	TOTAL				8880.00

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- El alimentador CAY-201 sobrepasa las tolerancias de la Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos, con 32 interrupciones totales, una máxima duración de 45.18 horas y 3349 usuarios fuera de servicio.
- Actualmente el sistema cuenta con 1 relé de barra y 3 interruptores de recierre automático, distribuidos a lo largo de la troncal del sistema, los cuales llevan a cabo las tareas de protección del sistema del alimentador CAY-201 interconectado con la C.H Buenos Aires Niepos.
- Se determinó que la tasa de crecimiento de la demanda eléctrica del alimentador CAY-201 es de 5,63%, determinada mediante el método ARIMA, utilizando el software Gretl, determinando el crecimiento de la demanda hasta el año 2050.
- Con el análisis del flujo de potencia realizado se determinó la potencia y corriente de todo el sistema, la corriente nominal del troncal sistema era de 27.75 A con una potencia de 1.3 MVA cuando se realizó el estudio antiguo, en el presente estudio llega a 53 A con una potencia de 2.12 MVA.
- Se implementaron 4 relés de protección utilizando la curva normalmente inversa según la norma IEC-253 para las funciones 50/51 y 50N/51N, con sus respectivos ajustes, distribuidos como se muestra en el diagrama unifilar del sistema en el anexo 1, así como también fusibles en las ramificaciones del sistema, que cumplen con los tiempos de actuación establecidos en norma, mejorando así la continuidad, selectividad y sensibilidad del sistema de protección,
- Se simuló descargas a tierra y cortocircuitos entre fases, ante los cuales el sistema de protección rediseñado actuó de manera correcta despejando la falla en el sector correspondiente donde ocurrió, en un tiempo menor o igual a 450ms.

Recomendaciones

- Se recomienda utilizar datos de mediciones periódicas para una mayor precisión en el comportamiento de la demanda y registro de la misma.
- Para el estudio proyección de la demanda eléctrica se recomienda utilizar datos específicos de la localidad para una mayor precisión.
- Se recomienda actualizar las corrientes nominales cada año debido a que aumenta en función de la demanda.

ANEXOS

Anexo 1

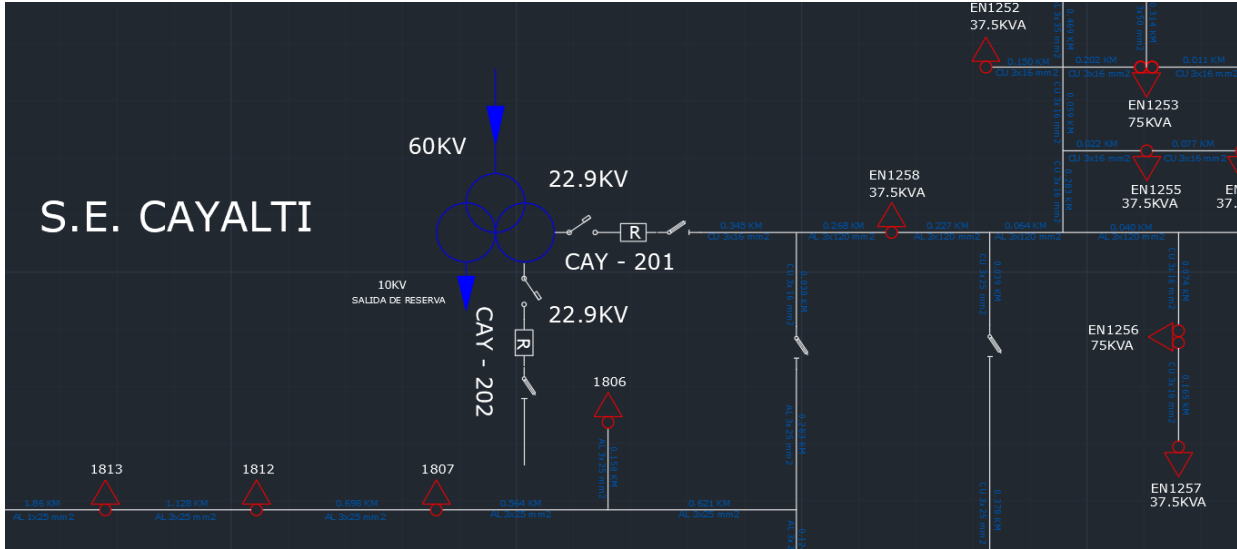


Ilustración 74 Ubicación del relé existente a la salida del alimentador CAY-201

Fuente: Propia

Anexo 2

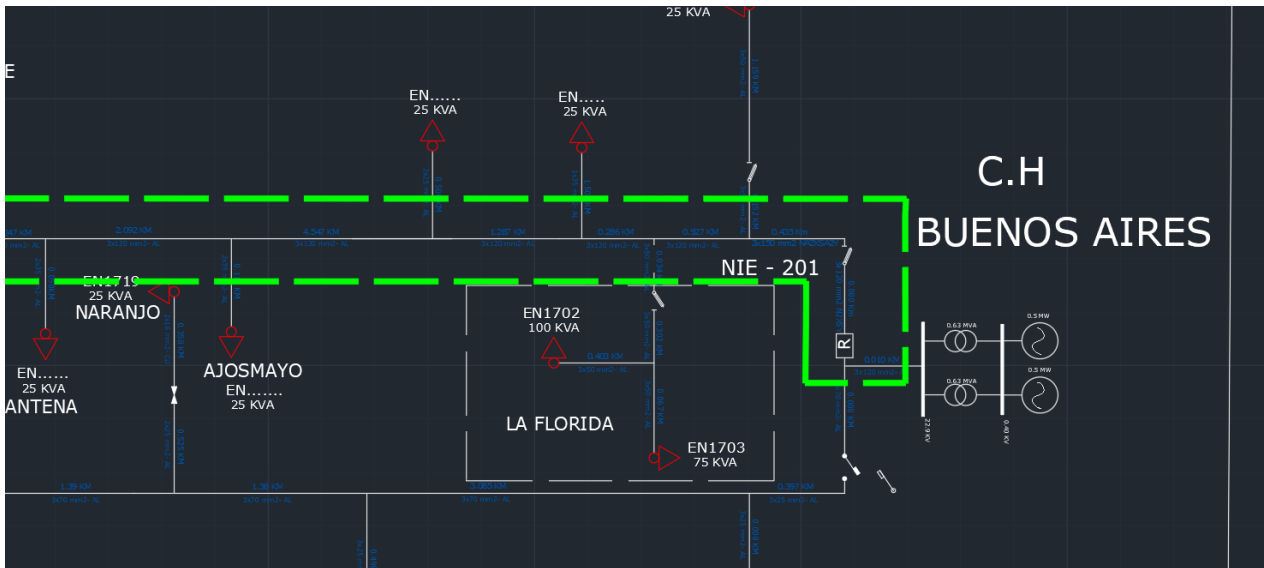


Ilustración 75 Ubicación de relé existente a la salida de la C.H Buenos Aire

Fuente: Propia

Anexo 3

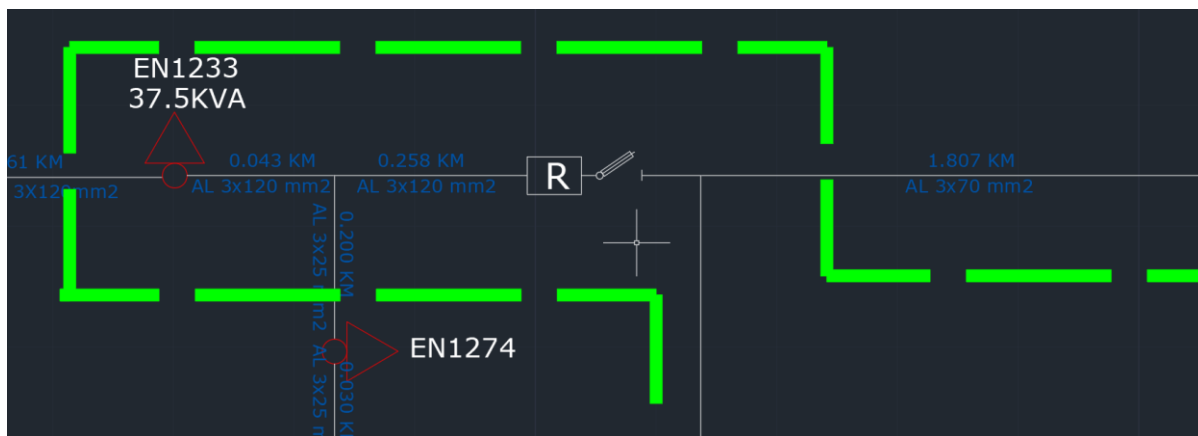


Ilustración 76 Ubicación nuevo relé 1 en la troncal

Fuente: Propia

Anexo 4

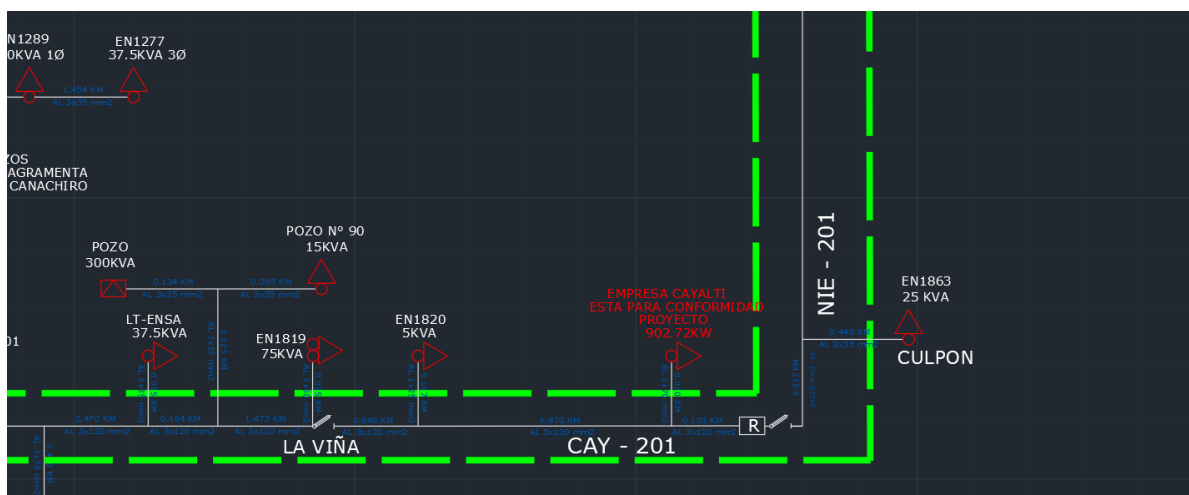


Ilustración 77 Ubicación nuevo relé 2 en la troncal

Fuente: Propia

Anexo 5

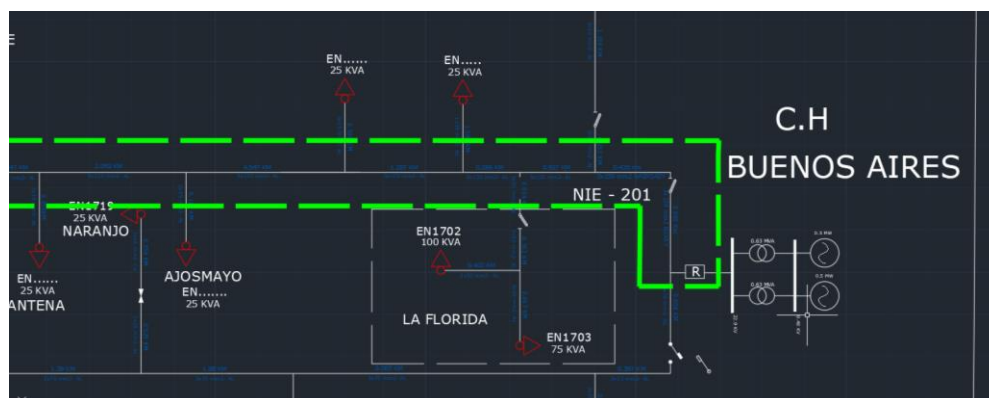


Ilustración 78 Relé existente reubicado a la salida de la C.H Buenos Aires

Fuente: Propia

Anexo 6

Tabla 28 Características de conductores AAAC

Sección Nominal	Formación Hilos x Diámetro	Diámetro Exterior	Carga de Rotura	Resistencia Máxima		Capacidad de Corriente	Peso Total
				20°C C.C.	75°C C.A.		
mm ²	N° x mm	mm	KN	Ohm/km		Amp.	Kg/Km
25	7x2,13	6,4	7,9	1,370	1,640	134	68
35	7x2,52	7,6	11,06	0,979	1,173	166	95
50	7x3,02	9,1	15,89	0,681	0,816	208	136
70	7x3,57	10,7	21,19	0,488	0,585	257	190
70	19x2,17	10,9	21,57	0,486	0,582	259	192
95	19x2,52	12,6	29,08	0,361	0,432	312	259
120	19x2,84	14,2	36,9	0,284	0,340	363	329
150	19x3,17	15,8	46,3	0,226	0,270	417	412
185	19x3,52	17,6	57,1	0,184	0,220	477	509
240	19x4,01	20,0	71,8	0,142	0,170	563	660

Fuente: Ceper cables

Anexo 7

Tabla 29 Características del cable tipo N2XSY

Sección Nominal	Resistencia DC a 20°C	Resistencia AC		Resistencia Inductiva		Corriente Máxima Enterrado(20°C)		Corriente Máxima Aire (30°C)	
		(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)
mm2	Ohm/km	Ohm/km	Ohm/km	Ohm/km	Ohm/km	(A)	(B)	(A)	(B)
35	0,524	0,668	0,668	0,2865	0,1689	215	190	235	200
50	0,387	0,494	0,494	0,272	0,1572	250	225	270	240
70	0,268	0,342	0,342	0,2598	0,1492	305	275	350	300
95	0,193	0,247	0,247	0,2489	0,1416	365	325	420	360
120	0,153	0,196	0,196	0,240	0,1353	410	370	485	415

Fuente: Ceper cables

Anexo 8

Tabla 30 Características de los conductores utilizados

Sección	Parámetros eléctricos (Ohm/km)				Capacidad de corriente (kA)
	R (+)	R(o)	X (+)	X(o)	
Tipo AAC					
2 x 25 mm ²	1,37	1,546	0,51	1,53	0,134
2 x 35 mm ²	0,966	1,139	0,5	1,5	0,166
3 x 16 mm ²	2,12	2,276	0,49	1,53	0,08
3 x 25 mm ²	1,37	1,546	0,47	1,41	0,134
3 x 35 mm ²	0,966	1,139	0,45	1,35	0,166
3 x 50 mm ²	0,749	0,85	0,44	1,32	0,208
3 x 70 mm ²	0,54	0,684	0,43	1,29	0,259
3 x 95 mm ²	0,38	0,534	0,41	1,23	0,312
3 x 120 mm ²	0,318	0,468	0,4	1,21	0,363
3 x 240 mm ²	0,16	0,348	0,39	1,18	0,56
TIPO CU					
3 x 16 mm ²	1,18	1,248	0,49	1,53	0,138
3 x 25 mm ²	0,76	0,952	0,47	1,41	0,185
3 x 35 mm ²	0,54	0,652	0,45	1,35	0,225
TIPO N2XSY					
3 x 120 mm ²	0,196	0,386	0,24	0,35	0,393
3 x 50 mm ²	0,494	0,586	0,272	0,37	0,24

Fuente: Ceper Cables

Anexo 9

IB-50 Transformadores de protección



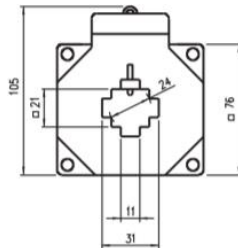
Intensidad nominal: 75 - 600 A

■ Secundaria: 1 A / 5 A

Cable: Ø 24 mm

Barra primaria:
30 x 10 / 20 x 20 mm

Dimensiones:
76 x 105 x 50 mm



IB-50 Características Técnicas, Ejecuciones

Intensidad primaria nominal A	Potencias de precisión VA (.../5A, .../1A)			
	Clase			
	5P10	10P10	5P5	10P5
75	-	-	1,25	1,25
100	-	-	2,5	2,5
125	1,25	1,25	2,5	2,5
150	1,25	1,25	3,75	3,75
200	1,25	1,25	5	5
250	2,5	2,5	7,5	7,5
300	2,5	3,75	7,5	7,5
400	1,25	1,25	5	5
500	1,25	1,25	5	5
600	1,25	1,25	5	7,5

Incluido en la entrega: fijación a barra primaria

Accesorios (capítulo 10): fijación a base / fijación a rail DIN EN 50 022)

Ilustración 79 Transformador de corriente catálogo Zaiger

Fuente: Zaiger catálogo

Anexo 10

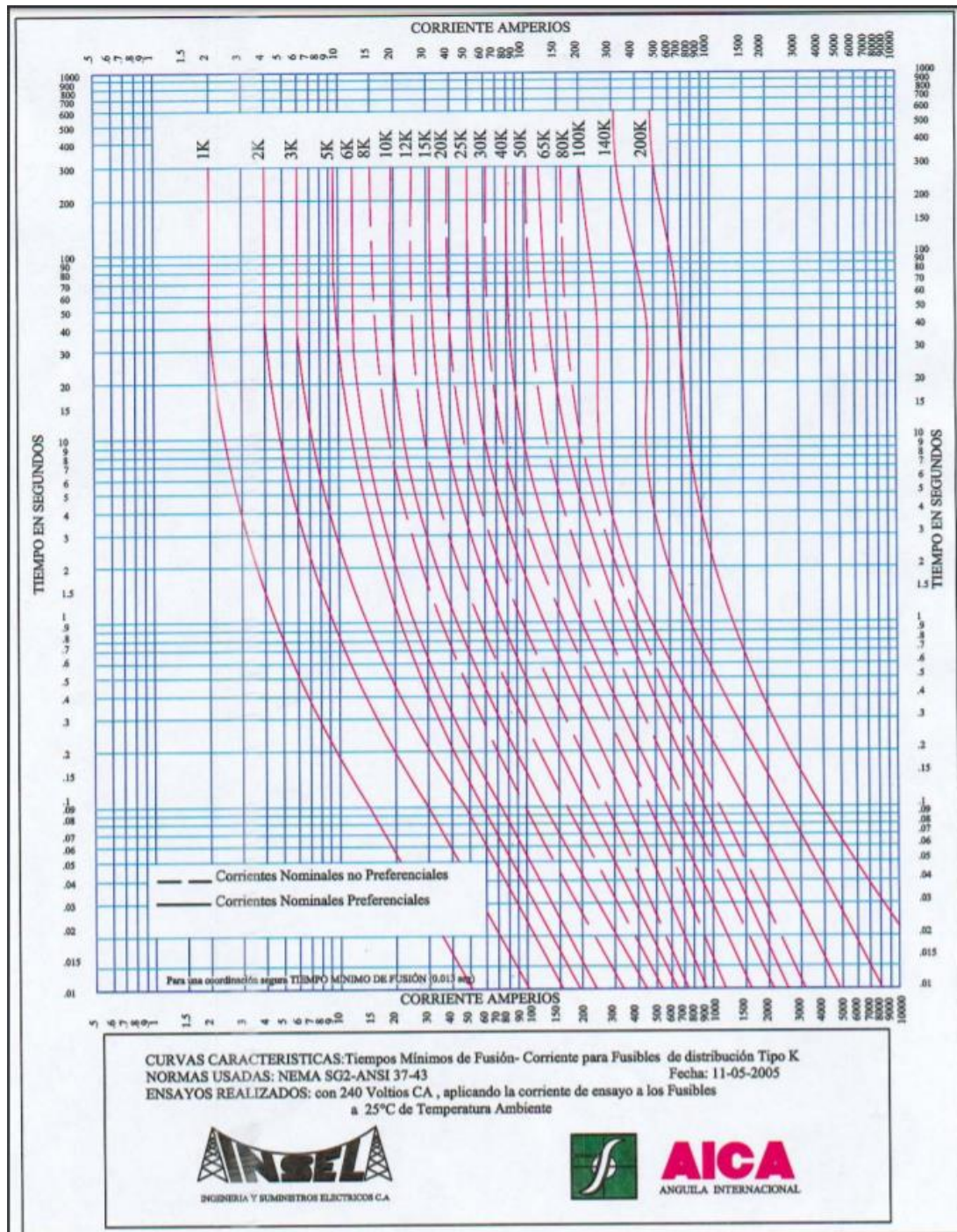


Ilustración 80 Curva de disparo fusibles tipo K

Fuente: AICA catálogo