



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

"ESTUDIOS DE COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES
POR MÉTODOS COMPUTARIZADOS APLICADOS A LA
COGENERACIÓN DEL INGENIO ECUDOS"

INFORME DE MATERIA DE GRADUACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN
POTENCIA

Presentado por:

Luis Enrique Armijos Saldaña
Marlon Stalin Valverde Vásquez

Guayaquil - Ecuador
Año: 2011

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradecemos con todo nuestro corazón a Dios, por siempre estar junto a nosotros guiándonos en cada paso que damos, ya que gracias a Él hoy en día somos hombres de bien gozando de una excelente instrucción académica un privilegio que no todo el mundo adquiere.

A nuestros padres, personas ejemplares que siempre han dado todo por nosotros, cultivando en nosotros buenos valores y de esa manera formarnos como hombres que aporten a la sociedad, nosotros somos el reflejo de su gran esfuerzo por sacarnos adelante y brindarnos una excelente educación, gracias a Dios por regalarnos la Bendición de tener unos padres maravillosos.

Al Ing. Juan Saavedra, quien con mucha sabiduría, paciencia y entrega supo guiarnos con nuestra tesis de graduación. A cada uno de los ingenieros que nos instruyeron a lo largo de nuestra carrera ya que ellos son las bases de nuestros conocimientos.

Al INGENIO ECUDOS, por confiar en nosotros y sin dudar nos brindaron toda la información necesaria, un agradecimiento especial a los ingenieros Luis Aguirre, Luis Guerrero y Álvaro Cueva por siempre estar con la mejor disposición del mundo para aclarar nuestras inquietudes o dudas sobre el desarrollo de los estudios realizados.

DEDICATORIA

A Dios por entregarme las fuerzas día a día para demostrarme que todo es posible en esta vida con propósito y visión, por ponerme en el camino a personas idóneas que enriquecen mi conocimiento y mi espíritu, gracias Dios por todo lo que has hecho en mi vida y por lo que seguirás haciendo gracias yo sé que es poco lo que te ofrezco pero tu cual buen alfarero moldearas mi camino para ser el hombre de bien y de éxito que tu deseas.

A mis padres ya que con su ayuda y apoyo han sabido darme las herramientas y la guía en este arduo camino para poder sobresalir adelante.

A la familia Castillo Armijos que en todo momento supieron brindarme su ayuda incondicional.

A mis familiares que siempre confiaron en mí y en todo momento estuvieron pendientes de mí aconsejándome y ayudándome en lo que más se pueda.

A mis amigos que entre juegos, bromas y

salones de clases supieron complementárseme para poder dar lo mejor de mí.

A todos ellos les dedico este trabajo y mi triunfo universitario que también es de ellos ya que supieron acompañarme en el trayecto de mis estudios y aportaron con su granito de arena para llegar hasta lo que soy hoy.

Y en especial a ti que estés donde estés quiero que sepas que siempre te voy a amar, que si por circunstancias de la vida hoy no estás conmigo siempre te voy a recordar y te voy a llevar dentro de mi corazón GVACH.

Luis Enrique Armijos Saldaña.

DEDICATORIA

La presente tesis de graduación va dedicada en primer lugar con todo mi corazón a mi papito Jehová, a mi Señor Jesucristo y al Espíritu Santo de mi Señor Jesucristo, todos un solo Dios todopoderoso, por guiar cada uno de mis pasos, siempre estando junto a mí en las buenas y en las malas levantándome en cada una de mis caídas y haciéndome saber que a lo largo de la vida se presentaran muchas barreras pero si estamos junto a Él nada será imposible. “Todo lo puedo en Cristo Jesús que me fortalece”

A mi mamita Marilú Vásquez Montiel por siempre demostrarme su inmenso amor, brindándome su confianza y haciéndome saber que poniendo todo en las manos de Dios y con convicción siempre voy alcanzar todo lo que me proponga en la vida, con todo el corazón gracias mamita por todo tu esfuerzo que siempre has hecho para sacarme adelante, eres la Bendición más hermosa que mi Diosito me ha regalado en la vida, gracias ya que por ti ahora soy un hombre de bien, capacitado para afrontar las adversidades de la vida. “Te amo mamita”

A mi papito Enrique Valverde Pantoja que al igual demostrándome su gran amor me ha sabido aconsejar con sabiduría para saber cómo actuar ante las barreras de la vida siempre haciéndome mantener la humildad y dándole gracias a Dios por nuestros éxitos y nuestras caídas ya que de aquello también aprendemos. “Eres una Bendición de mi Dios papito, te amo”

A mi abuelita bella, como yo le digo mi mami Oralita por siempre brindarme su amor y cariño, a mi ñaña Adriana por siempre apoyarme a lo largo de mi carrera y en todo aspecto de mi vida. “Las amo mucho son una Bendición de mi Dios”

A mis abuelitos y mi abuelita que están en cielo junto a mi Dios, en especial a mi papi Vásquez por ser esa figura a seguir desde niño siempre poniendo mano firme cuando estaba equivocado, gracias a él soy un hombre de bien sin vicio alguno. “Siempre estarán en mi corazón, los amo”

A mi familia en general por todo su apoyo son una Bendición de Dios. “Los amo”

Marlon Stalin Valverde Vásquez.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Juan Saavedra

PROFESOR DE LA MATERIA
DE GRADUACIÓN

Ing. Alberto Hanze

PROFESOR DELEGADO POR
EL DECANO

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este trabajo de graduación, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”

(Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL)

Luis Enrique Armijos Saldaña

Marlon Stalin Valverde Vásquez

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo realizar la coordinación de las protecciones eléctricas del sistema de cogeneración del Ingenio ECUDOS, se realizará la coordinación de dicho sistema basándonos en los principios de la coordinación de protecciones para un sistema eléctrico como lo son selectividad, respaldo, tiempo de operación y simplicidad, con la finalidad de obtener un buen resultado.

Nos ayudamos con el software Power World para obtener el flujo de carga del sistema y de igual manera para obtener el Análisis de Cortocircuito, ya que ambos estudios son fundamentales para empezar a realizar la coordinación de las protecciones del sistema.

Además usaremos la página de cálculos Excel para realizar el análisis de los ajustes de los relés y la coordinación de todos ellos para una protección óptima del sistema de cogeneración. La información para realizar este estudio fue entregada por el Ingenio ECUDOS.

Como resultados mostraremos la coordinación de las protecciones del sistema de una manera gráfica, además de una manera tabulada estaremos mostrando los ajustes de cada relé y las corrientes de cortocircuito en cada barra.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	IV
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	VIII
DECLARACIÓN EXPRESA	IX
RESUMEN	X
INTRODUCCIÓN.....	XXI
CAPÍTULO 1.....	1
DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES.....	1
1.1 DESCRIPCIÓN FÍSICA O GEOGRÁFICA DE LA EMPRESA.....	1
1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA ELÉCTRICO.....	2
1.3 DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA LA OBTENCIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.....	6
 CAPÍTULO 2	
ESTUDIOS DE FLUJO DE CARGA.....	11
2.1 CRITERIOS ADOPTADOS PARA EL ESTUDIO.....	11
2.1.1 FLEXIBILIDAD OPERACIONAL.....	11
2.1.2 NIVELES DE CONFIABILIDAD.....	11
2.1.3 NIVELES DE SOBRECARGA.....	12

2.1.4	REGULACIÓN DE VOLTAJE.....	12
2.2	ANÁLISIS DE CASOS.....	12
2.2.1	CASO BASE “CARGA MÁXIMA”.....	12
2.3	DATOS DEL SISTEMA.....	13
2.3.1	DATOS DE VOLTAJE DE BARRA.....	13
2.3.2	DATOS DE BARRA DE CARGA.....	13
2.3.3	DATOS DE LÍNEAS Y CONDUCTORES.....	14
2.3.4	DATOS Y TRANSFORMADORES DE FUERZA.....	15
2.4	RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS DE FLUJO DE CARGA.....	15
2.4.1	CASO BASE.....	16
2.4.1.1	VOLTAJES EN BARRAS.....	16
2.4.1.2	CONSUMO.....	17
2.4.1.3	CARGA DE CONDUCTORES.....	17
2.4.1.4	CARGA DE LOS TRANSFORMADORES.....	18
2.4.1.5	AJUSTES DE LOS TAPS.....	18
2.5	CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE FLUJO.....	19
CAPÍTULO 3		
ESTUDIOS DE CORTO CIRCUITO		
3.1	ALCANCE DE LOS ESTUDIOS DE CORTO CIRCUITO.....	22

3.2	IMPEDANCIAS EQUIVALENTES EN EL PUNTO DE ENTREGA DE CNEL MILAGRO.....	22
3.2.1	IMPEDANCIAS EQUIVALENTE.....	23
3.2.2	DATOS DE CONDUCTORES.....	23
3.3	DATOS DE TRANSFORMADOR DE FUERZA.....	24
3.4	RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS DE CORTO CIRCUITO.....	24
3.4.1	CASO BASE.....	24
3.4.2	CORRIENTE DE FALLA EN CADA BARRA.....	25
3.5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	25
 CAPÍTULO 4		
	COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES.....	28
4.1	ESQUEMA DE PROTECCIONES.....	29
4.1.1	ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DE GENERADORES.....	29
4.1.2	ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES.....	33
4.1.3	ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DE LÍNEAS.....	37
4.1.4	ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DE MOTORES.....	39
4.1.5	ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN A LOS MOTORES.....	41
4.2	AJUSTE Y COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES.....	42
4.2.1	PROTECCIÓN DE GENERADORES.....	42

4.2.2	PROTECCIÓN DE LOS TRANSFORMADORES.....	45
4.2.3	PROTECCIÓN DE MOTORES.....	47
4.2.4	PROTECCIÓN DE DISTANCIA.....	50
4.2.5	PROTECCIÓN DE ALIMENTADORA.....	53
4.2.6	COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES.....	56
4.3	RESUMEN DE AJUSTES.....	61
4.4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	61
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	63
	ANEXOS.....	64
ANEXO 2.1	FLUJO DE CARGA DE CASO BASE.....	65
ANEXO 3.1	FALLA TRIFÁSICA EN BARRA 1.....	65
ANEXO 3.2	FALLA MONOFÁSICA EN BARRA 1.....	66
ANEXO 3.3	FALLA TRIFÁSICA EN BARRA 2.....	66
ANEXO 3.4	FALLA MONOFÁSICA EN BARRA 2.....	67
ANEXO 3.5	FALLA TRIFÁSICA EN BARRA 3.....	67
ANEXO 3.6	FALLA MONOFÁSICA EN BARRA 3.....	68
ANEXO 3.7	FALLA TRIFÁSICA EN BARRA 4.....	68
ANEXO 3.8	FALLA MONOFÁSICA EN BARRA 4.....	69
ANEXO 3.9	FALLA TRIFÁSICA EN BARRA 5.....	69

ANEXO 3.10	FALLA MONOFÁSICA EN BARRA 5.....	70
ANEXO 3.11	FALLA TRIFÁSICA EN BARRA 6.....	70
ANEXO 3.12	FALLA MONOFÁSICA EN BARRA 6.....	71
ANEXO 3.13	FALLA TRIFÁSICA EN BARRA 7.....	71
ANEXO 3.14	FALLA MONOFÁSICA EN BARRA 7.....	72
ANEXO 3.15	FALLA TRIFÁSICA EN BARRA 8.....	72
ANEXO 3.16	FALLA MONOFÁSICA EN BARRA 8.....	73
ANEXO 3.17	FALLA TRIFÁSICA EN BARRA 9.....	73
ANEXO 3.18	FALLA MONOFÁSICA EN BARRA 9.....	74
ANEXO 3.19	FALLA TRIFÁSICA EN BARRA 10.....	74
ANEXO 3.20	FALLA MONOFÁSICA EN BARRA 10.....	75
ANEXO 3.21	FALLA TRIFÁSICA EN BARRA 11.....	75
ANEXO 3.22	FALLA MONOFÁSICA EN BARRA 11.....	76
BIBLIOGRAFÍA		77

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1: SUBESTACIÓN DEL INGENIO ECUDOS.....	2
FIGURA 1.2: TRANSFORMADORES DE POTENCIA DE SUBESTACIÓN ECUDOS.....	3
FIGURA 1.3: GENERADORES ELÉCTRICOS DEL INGENIO ECUDOS.....	4
FIGURA 1.4: DIAGRAMA UNIFILAR DE INGENIO ECUDOS.....	5
FIGURA 4.1: ESQUEMA DE PROTECCIÓN DEL TGE-1 Y TGE-2.....	30
FIGURA 4.2: ESQUEMA DE PROTECCIÓN DEL TGE-3.....	31
FIGURA 4.3: ESQUEMA DE PROTECCIÓN DEL TGE-4.....	32
FIGURA 4.4: ESQUEMA DE PROTECCIÓN DEL TRANSFORMADOR TPE.....	34
FIGURA 4.5: ESQUEMA DE PROTECCIÓN DEL TRANSFORMADOR DE 13.8 KV A 5.5 KV.....	35
FIGURA 4.6: ESQUEMA DE PROTECCIÓN DEL TRANSFORMADOR TPR.....	36
FIGURA 4.7: ESQUEMA DE PROTECCIÓN DE LA LINEA CNEL MILAGRO.....	38
FIGURA 4.8: ESQUEMA DE PROTECCIÓN DE LOS MOTORES.....	40
FIGURA 4.9: ESQUEMA DE PROTECCIÓN DE LA ALIMENTACIÓN DE LOS MOTORES.....	41
FIGURA 4.10: ESQUEMA DE CONEXIONES DEL RELE GE 489 Y SUS FUNCIONES.....	44

FIGURA 4.11: ESQUEMA DE CONEXIONES DEL RELE GE 745 Y SUS FUNCIONES.....	47
FIGURA 4.12: ESQUEMA DE CONEXIONES DEL RELE GE 469 Y SUS FUNCIONES.....	49
FIGURA 4.13: ESQUEMA DE CONEXIONES DEL RELE SEL 311C Y SUS FUNCIONES.....	52
FIGURA 4.14: ESQUEMA DE CONEXIONES DEL RELE GE 750 Y SUS FUNCIONES.....	55
FIGURA 4.15: COORDINACION DE LAS PROTECCIONES DEL SEL 311C - 745 TPE – 489 TGE-4.....	57
FIGURA 4.16: COORDINACION DE LAS PROTECCIONES DEL SEL 311C -745 TPE -745 (13.8/4.16 KV)- 489 TGE-3.....	58
FIGURA 4.17: COORDINACION DE LAS PROTECCIONES DEL SEL 311C - 745 TPE - 745 (13.8/4.16 KV)- 489 TGE-1 Y TGE-2.....	59
FIGURA 4.18: COORDINACION DE LAS PROTECCIONES DEL ARRANQUE DEL MOTOR 469- FUSIBLE- 745 TPR.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1:	VALORES DE VOLTAJE EN LAS BARRAS.....	13
TABLA 2.2:	VALORES DE CARGAS EN LAS BARRAS.....	13
TABLA 2.3:	VALORES DE IMPEDANCIAS DE LOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS.....	14
TABLA 2.4:	VALORES DE CAPACIDADES DE TRANSFORMADORES Y SUS IMPEDANCIAS.....	15
TABLA 2.5:	VALORES DE VOILTAJES EN LAS BARRAS OBTENIDOS DEL FLUJO DE CARGA.....	16
TABLA 2.6:	VALORES DE LA GENERACIÓN, CONSUMO Y EXCEDENTES TOTAL DE INGENIO ECUDOS.....	17
TABLA 2.7:	VALORES DE LA CARGABILIDAD DE LOS CONDUCTORES OBTENIDOS DEL FLUJO DE CARGA.....	17
TABLA 2.8:	VALORES DE CARGABILIDAD DE LOS TRANSFORMADORES...	18
TABLA 2.9:	VALORES DE LOS AJUSTES DE LOS TAPS EN LOS TRANSFORMADORES.....	18
TABLA 3.1:	IMPEDANCIAS EQUIVALENTES.....	23
TABLA 3.2:	VALORES DE CORRIENTES DE FALLAS EN CADA BARRA.....	25
TABLA 4.1:	AJUSTES DE LOS RELES.....	61

SIMBOLOGÍA

A:	AMPERIOS
AC:	ALTERN CURRENT
ACSR:	ALUMINIUM CONDUCTOR STEEL REINFORCED
ANSI:	AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE
CCM:	CENTRO DE CONTROL DE MOTORES
CNEL:	CORPORACIÓN NACIONAL DE ELECTRICIDAD
CONELEC:	CONSEJO NACIONAL DE ELECTRICIDAD
FP:	FACTOR DE POTENCIA
GE:	GENERAL ELECTRIC
HP:	HORSE POWER
IEEE:	INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS
Km:	KILOMETRO
Kv:	KILO VOLTIOS
MVA:	MEGA VOLTIOS-AMPERIOS
MVAR:	MEGA VOLTIOS-AMPERIOS-REACTIVOS
MW:	MEGA VATIOS
Ohm:	OHMIOS
P.U:	POR UNIDAD
RPM:	REVOLUCIONES POR MINUTO
S/E:	SUBESTACIÓN ELECTRICA

SIN:	SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO
Std:	STANDARD
TGE:	TURBO GENERADOR ELÉCTRICO
TPE:	TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE ENVÍO
TPR:	TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE RECIBO
V:	VOLTIOS

INTRODUCCIÓN

Un índice de la calidad y de la confiabilidad de un sistema eléctrico es referente de su sistema de protección y esta de su correcta coordinación.

El Ingenio ECUDOS cuenta con un sistema de generación a vapor mediante la quema del bagazo de la caña de azúcar, cada 6 meses en época de zafra, que es cuando se obtiene la materia prima “bagazo de la caña”, todo el Ingenio en general opera sus maquinarias y de igual manera su sistema de generación estará en funcionamiento continuo, y para este caso en particular basamos nuestro estudio.

El sistema de generación como auto-productores es de gran importancia su funcionamiento para el Ingenio ya que es todo un ciclo dependiente en el que de la producción del azúcar se utiliza el residuo “bagazo de la caña” para la producción de energía eléctrica y de esta producción de energía eléctrica parte es entregada al sistema nacional interconectado en el punto de interconexión con Milagro y otra parte es consumida por el propio Ingenio para sus cargas auxiliares y para energizar el proceso mismo de la producción de azúcar. Debido a esto la correcta coordinación de los dispositivos de protección es pertinente.

Para el análisis de la coordinación de los diversos dispositivos de protección eléctrica del Ingenio ECUDOS es necesario realizar los estudios de flujo de carga y cortocircuito, ya que en estos estudios podremos analizar el comportamiento del sistema eléctrico en si del Ingenio tanto para casos de operación normal como para casos en falla.

Los ajustes de los dispositivos de protección dependerán de los estudios para corrientes a plena carga y de cortocircuito, ya que de estos estudios conoceremos la máxima corriente admisible a la cual el dispositivo de protección empezara a operar con el propósito de que no sufra ningún daño el elemento que se está protegiendo.

Todo el sistema eléctrico del Ingenio ECUDOS básicamente está conformado por 4 niveles de voltaje que son: 69 [Kv], 13.8 [Kv], 4.16 [Kv] y 5.5 [Kv].

CAPÍTULO 1

DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES

1.1 DESCRIPCIÓN FÍSICA O GEOGRÁFICA DE LA EMPRESA

Nuestro tema de tesis va a ser realizado en el ingenio ECUDOS antes conocido por el nombre de Ingenio La Troncal. Esta empresa está situada en La Troncal, ciudad ubicada en la región costanera del Ecuador. Es una de las empresas azucareras más importantes del Ecuador, y además es un aporte para el sistema eléctrico del país con su contribución de energía eléctrica generada en sus instalaciones mediante el uso del bagazo obtenido de la caña de azúcar.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

"ESTUDIOS DE COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES
POR MÉTODOS COMPUTARIZADOS APLICADOS A LA
COGENERACIÓN DEL INGENIO ECUDOS"

INFORME DE MATERIA DE GRADUACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN
POTENCIA

Presentado por:

Luis Enrique Armijos Saldaña
Marlon Stalin Valverde Vásquez

Guayaquil - Ecuador
Año: 2011

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradecemos con todo nuestro corazón a Dios, por siempre estar junto a nosotros guiándonos en cada paso que damos, ya que gracias a Él hoy en día somos hombres de bien gozando de una excelente instrucción académica un privilegio que no todo el mundo adquiere.

A nuestros padres, personas ejemplares que siempre han dado todo por nosotros, cultivando en nosotros buenos valores y de esa manera formarnos como hombres que aporten a la sociedad, nosotros somos el reflejo de su gran esfuerzo por sacarnos adelante y brindarnos una excelente educación, gracias a Dios por regalarnos la Bendición de tener unos padres maravillosos.

Al Ing. Juan Saavedra, quien con mucha sabiduría, paciencia y entrega supo guiarnos con nuestra tesis de graduación. A cada uno de los ingenieros que nos instruyeron a lo largo de nuestra carrera ya que ellos son las bases de nuestros conocimientos.

Al INGENIO ECUDOS, por confiar en nosotros y sin dudar nos brindaron toda la información necesaria, un agradecimiento especial a los ingenieros Luis Aguirre, Luis Guerrero y Álvaro Cueva por siempre estar con la mejor disposición del mundo para aclarar nuestras inquietudes o dudas sobre el desarrollo de los estudios realizados.

DEDICATORIA

A Dios por entregarme las fuerzas día a día para demostrarme que todo es posible en esta vida con propósito y visión, por ponerme en el camino a personas idóneas que enriquecen mi conocimiento y mi espíritu, gracias Dios por todo lo que has hecho en mi vida y por lo que seguirás haciendo gracias yo sé que es poco lo que te ofrezco pero tu cual buen alfarero moldearas mi camino para ser el hombre de bien y de éxito que tu desees.

A mis padres ya que con su ayuda y apoyo han sabido darme las herramientas y la guía en este arduo camino para poder sobresalir adelante.

A la familia Castillo Armijos que en todo momento supieron brindarme su ayuda incondicional.

A mis familiares que siempre confiaron en mí y en todo momento estuvieron pendientes de mí aconsejándome y ayudándome en lo que más se pueda.

A mis amigos que entre juegos, bromas y

salones de clases supieron complementárseme para poder dar lo mejor de mí.

A todos ellos les dedico este trabajo y mi triunfo universitario que también es de ellos ya que supieron acompañarme en el trayecto de mis estudios y aportaron con su granito de arena para llegar hasta lo que soy hoy.

Y en especial a ti que estés donde estés quiero que sepas que siempre te voy a amar, que si por circunstancias de la vida hoy no estás conmigo siempre te voy a recordar y te voy a llevar dentro de mi corazón GVACH.

Luis Enrique Armijos Saldaña.

DEDICATORIA

La presente tesis de graduación va dedicada en primer lugar con todo mi corazón a mi papito Jehová, a mi Señor Jesucristo y al Espíritu Santo de mi Señor Jesucristo, todos un solo Dios todopoderoso, por guiar cada uno de mis pasos, siempre estando junto a mí en las buenas y en las malas levantándome en cada una de mis caídas y haciéndome saber que a lo largo de la vida se presentaran muchas barreras pero si estamos junto a Él nada será imposible. “Todo lo puedo en Cristo Jesús que me fortalece”

A mi mamita Marilú Vásquez Montiel por siempre demostrarme su inmenso amor, brindándome su confianza y haciéndome saber que poniendo todo en las manos de Dios y con convicción siempre voy alcanzar todo lo que me proponga en la vida, con todo el corazón gracias mamita por todo tu esfuerzo que siempre has hecho para sacarme adelante, eres la Bendición más hermosa que mi Diosito me ha regalado en la vida, gracias ya que por ti ahora soy un hombre de bien, capacitado para afrontar las adversidades de la vida. “Te amo mamita”

A mi papito Enrique Valverde Pantoja que al igual demostrándome su gran amor me ha sabido aconsejar con sabiduría para saber cómo actuar ante las barreras de la vida siempre haciéndome mantener la humildad y dándole gracias a Dios por nuestros éxitos y nuestras caídas ya que de aquello también aprendemos. “Eres una Bendición de mi Dios papito, te amo”

A mi abuelita bella, como yo le digo mi mami Oralita por siempre brindarme su amor y cariño, a mi ñaña Adriana por siempre apoyarme a lo largo de mi carrera y en todo aspecto de mi vida. “Las amo mucho son una Bendición de mi Dios”

A mis abuelitos y mi abuelita que están en cielo junto a mi Dios, en especial a mi papi Vásquez por ser esa figura a seguir desde niño siempre poniendo mano firme cuando estaba equivocado, gracias a él soy un hombre de bien sin vicio alguno. “Siempre estarán en mi corazón, los amo”

A mi familia en general por todo su apoyo son una Bendición de Dios. “Los amo”

Marlon Stalin Valverde Vásquez.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Juan Saavedra

PROFESOR DE LA MATERIA
DE GRADUACIÓN

Ing. Alberto Hanze

PROFESOR DELEGADO POR
EL DECANO

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este trabajo de graduación, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”

(Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL)

Luis Enrique Armijos Saldaña

Marlon Stalin Valverde Vásquez

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo realizar la coordinación de las protecciones eléctricas del sistema de cogeneración del Ingenio ECUDOS, se realizará la coordinación de dicho sistema basándonos en los principios de la coordinación de protecciones para un sistema eléctrico como lo son selectividad, respaldo, tiempo de operación y simplicidad, con la finalidad de obtener un buen resultado.

Nos ayudamos con el software Power World para obtener el flujo de carga del sistema y de igual manera para obtener el Análisis de Cortocircuito, ya que ambos estudios son fundamentales para empezar a realizar la coordinación de las protecciones del sistema.

Además usaremos la página de cálculos Excel para realizar el análisis de los ajustes de los relés y la coordinación de todos ellos para una protección óptima del sistema de cogeneración. La información para realizar este estudio fue entregada por el Ingenio ECUDOS.

Como resultados mostraremos la coordinación de las protecciones del sistema de una manera gráfica, además de una manera tabulada estaremos mostrando los ajustes de cada relé y las corrientes de cortocircuito en cada barra.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	IV
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	VIII
DECLARACIÓN EXPRESA	IX
RESUMEN	X
INTRODUCCIÓN.....	XXI
CAPÍTULO 1.....	1
DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES.....	1
1.1 DESCRIPCIÓN FÍSICA O GEOGRÁFICA DE LA EMPRESA.....	1
1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA ELÉCTRICO.....	2
1.3 DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA LA OBTENCIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.....	6
 CAPÍTULO 2	
ESTUDIOS DE FLUJO DE CARGA.....	11
2.1 CRITERIOS ADOPTADOS PARA EL ESTUDIO.....	11
2.1.1 FLEXIBILIDAD OPERACIONAL.....	11
2.1.2 NIVELES DE CONFIABILIDAD.....	11
2.1.3 NIVELES DE SOBRECARGA.....	12

2.1.4	REGULACIÓN DE VOLTAJE.....	12
2.2	ANÁLISIS DE CASOS.....	12
2.2.1	CASO BASE “CARGA MÁXIMA”.....	12
2.3	DATOS DEL SISTEMA.....	13
2.3.1	DATOS DE VOLTAJE DE BARRA.....	13
2.3.2	DATOS DE BARRA DE CARGA.....	13
2.3.3	DATOS DE LÍNEAS Y CONDUCTORES.....	14
2.3.4	DATOS Y TRANSFORMADORES DE FUERZA.....	15
2.4	RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS DE FLUJO DE CARGA.....	15
2.4.1	CASO BASE.....	16
2.4.1.1	VOLTAJES EN BARRAS.....	16
2.4.1.2	CONSUMO.....	17
2.4.1.3	CARGA DE CONDUCTORES.....	17
2.4.1.4	CARGA DE LOS TRANSFORMADORES.....	18
2.4.1.5	AJUSTES DE LOS TAPS.....	18
2.5	CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE FLUJO.....	19
CAPÍTULO 3		
ESTUDIOS DE CORTO CIRCUITO		
3.1	ALCANCE DE LOS ESTUDIOS DE CORTO CIRCUITO.....	22

3.2	IMPEDANCIAS EQUIVALENTES EN EL PUNTO DE ENTREGA DE CNEL MILAGRO.....	22
3.2.1	IMPEDANCIAS EQUIVALENTE.....	23
3.2.2	DATOS DE CONDUCTORES.....	23
3.3	DATOS DE TRANSFORMADOR DE FUERZA.....	24
3.4	RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS DE CORTO CIRCUITO.....	24
3.4.1	CASO BASE.....	24
3.4.2	CORRIENTE DE FALLA EN CADA BARRA.....	25
3.5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	25
CAPÍTULO 4		
COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES.....		
4.1	ESQUEMA DE PROTECCIONES.....	28
4.1.1	ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DE GENERADORES.....	29
4.1.2	ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES.....	33
4.1.3	ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DE LÍNEAS.....	37
4.1.4	ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DE MOTORES.....	39
4.1.5	ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN A LOS MOTORES.....	41
4.2	AJUSTE Y COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES.....	42
4.2.1	PROTECCIÓN DE GENERADORES.....	42

4.2.2	PROTECCIÓN DE LOS TRANSFORMADORES.....	45
4.2.3	PROTECCIÓN DE MOTORES.....	47
4.2.4	PROTECCIÓN DE DISTANCIA.....	50
4.2.5	PROTECCIÓN DE ALIMENTADORA.....	53
4.2.6	COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES.....	56
4.3	RESUMEN DE AJUSTES.....	61
4.4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	61
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	63
	ANEXOS.....	64
ANEXO 2.1	FLUJO DE CARGA DE CASO BASE.....	65
ANEXO 3.1	FALLA TRIFÁSICA EN BARRA 1.....	65
ANEXO 3.2	FALLA MONOFÁSICA EN BARRA 1.....	66
ANEXO 3.3	FALLA TRIFÁSICA EN BARRA 2.....	66
ANEXO 3.4	FALLA MONOFÁSICA EN BARRA 2.....	67
ANEXO 3.5	FALLA TRIFÁSICA EN BARRA 3.....	67
ANEXO 3.6	FALLA MONOFÁSICA EN BARRA 3.....	68
ANEXO 3.7	FALLA TRIFÁSICA EN BARRA 4.....	68
ANEXO 3.8	FALLA MONOFÁSICA EN BARRA 4.....	69
ANEXO 3.9	FALLA TRIFÁSICA EN BARRA 5.....	69

ANEXO 3.10	FALLA MONOFÁSICA EN BARRA 5.....	70
ANEXO 3.11	FALLA TRIFÁSICA EN BARRA 6.....	70
ANEXO 3.12	FALLA MONOFÁSICA EN BARRA 6.....	71
ANEXO 3.13	FALLA TRIFÁSICA EN BARRA 7.....	71
ANEXO 3.14	FALLA MONOFÁSICA EN BARRA 7.....	72
ANEXO 3.15	FALLA TRIFÁSICA EN BARRA 8.....	72
ANEXO 3.16	FALLA MONOFÁSICA EN BARRA 8.....	73
ANEXO 3.17	FALLA TRIFÁSICA EN BARRA 9.....	73
ANEXO 3.18	FALLA MONOFÁSICA EN BARRA 9.....	74
ANEXO 3.19	FALLA TRIFÁSICA EN BARRA 10.....	74
ANEXO 3.20	FALLA MONOFÁSICA EN BARRA 10.....	75
ANEXO 3.21	FALLA TRIFÁSICA EN BARRA 11.....	75
ANEXO 3.22	FALLA MONOFÁSICA EN BARRA 11.....	76
BIBLIOGRAFÍA		77

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1: SUBESTACIÓN DEL INGENIO ECUDOS.....	2
FIGURA 1.2: TRANSFORMADORES DE POTENCIA DE SUBESTACIÓN ECUDOS.	3
FIGURA 1.3: GENERADORES ELÉCTRICOS DEL INGENIO ECUDOS.....	4
FIGURA 1.4: DIAGRAMA UNIFILAR DE INGENIO ECUDOS.....	5
FIGURA 4.1: ESQUEMA DE PROTECCIÓN DEL TGE-1 Y TGE-2.....	30
FIGURA 4.2: ESQUEMA DE PROTECCIÓN DEL TGE-3.....	31
FIGURA 4.3: ESQUEMA DE PROTECCIÓN DEL TGE-4.....	32
FIGURA 4.4: ESQUEMA DE PROTECCIÓN DEL TRANSFORMADOR TPE.....	34
FIGURA 4.5: ESQUEMA DE PROTECCIÓN DEL TRANSFORMADOR DE 13.8 KV A 5.5 KV.....	35
FIGURA 4.6: ESQUEMA DE PROTECCIÓN DEL TRANSFORMADOR TPR.....	36
FIGURA 4.7: ESQUEMA DE PROTECCIÓN DE LA LINEA CNEL MILAGRO.....	38
FIGURA 4.8: ESQUEMA DE PROTECCIÓN DE LOS MOTORES.....	40
FIGURA 4.9: ESQUEMA DE PROTECCIÓN DE LA ALIMENTACIÓN DE LOS MOTORES.....	41
FIGURA 4.10: ESQUEMA DE CONEXIONES DEL RELE GE 489 Y SUS FUNCIONES.....	44

FIGURA 4.11: ESQUEMA DE CONEXIONES DEL RELE GE 745 Y SUS FUNCIONES.....	47
FIGURA 4.12: ESQUEMA DE CONEXIONES DEL RELE GE 469 Y SUS FUNCIONES.....	49
FIGURA 4.13: ESQUEMA DE CONEXIONES DEL RELE SEL 311C Y SUS FUNCIONES.....	52
FIGURA 4.14: ESQUEMA DE CONEXIONES DEL RELE GE 750 Y SUS FUNCIONES.....	55
FIGURA 4.15: COORDINACION DE LAS PROTECCIONES DEL SEL 311C - 745 TPE – 489 TGE-4.....	57
FIGURA 4.16: COORDINACION DE LAS PROTECCIONES DEL SEL 311C -745 TPE -745 (13.8/4.16 KV)- 489 TGE-3.....	58
FIGURA 4.17: COORDINACION DE LAS PROTECCIONES DEL SEL 311C - 745 TPE - 745 (13.8/4.16 KV)- 489 TGE-1 Y TGE-2.....	59
FIGURA 4.18: COORDINACION DE LAS PROTECCIONES DEL ARRANQUE DEL MOTOR 469- FUSIBLE- 745 TPR.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1:	VALORES DE VOLTAJE EN LAS BARRAS.....	13
TABLA 2.2:	VALORES DE CARGAS EN LAS BARRAS.....	13
TABLA 2.3:	VALORES DE IMPEDANCIAS DE LOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS.....	14
TABLA 2.4:	VALORES DE CAPACIDADES DE TRANSFORMADORES Y SUS IMPEDANCIAS.....	15
TABLA 2.5:	VALORES DE VOILTAJES EN LAS BARRAS OBTENIDOS DEL FLUJO DE CARGA.....	16
TABLA 2.6:	VALORES DE LA GENERACIÓN, CONSUMO Y EXCEDENTES TOTAL DE INGENIO ECUDOS.....	17
TABLA 2.7:	VALORES DE LA CARGABILIDAD DE LOS CONDUCTORES OBTENIDOS DEL FLUJO DE CARGA.....	17
TABLA 2.8:	VALORES DE CARGABILIDAD DE LOS TRANSFORMADORES...	18
TABLA 2.9:	VALORES DE LOS AJUSTES DE LOS TAPS EN LOS TRANSFORMADORES.....	18
TABLA 3.1:	IMPEDANCIAS EQUIVALENTES.....	23
TABLA 3.2:	VALORES DE CORRIENTES DE FALLAS EN CADA BARRA.....	25
TABLA 4.1:	AJUSTES DE LOS RELES.....	61

SIMBOLOGÍA

A:	AMPERIOS
AC:	ALTERN CURRENT
ACSR:	ALUMINIUM CONDUCTOR STEEL REINFORCED
ANSI:	AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE
CCM:	CENTRO DE CONTROL DE MOTORES
CNEL:	CORPORACIÓN NACIONAL DE ELECTRICIDAD
CONELEC:	CONSEJO NACIONAL DE ELECTRICIDAD
FP:	FACTOR DE POTENCIA
GE:	GENERAL ELECTRIC
HP:	HORSE POWER
IEEE:	INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS
Km:	KILOMETRO
Kv:	KILO VOLTIOS
MVA:	MEGA VOLTIOS-AMPERIOS
MVAR:	MEGA VOLTIOS-AMPERIOS-REACTIVOS
MW:	MEGA VATIOS
Ohm:	OHMIOS
P.U:	POR UNIDAD
RPM:	REVOLUCIONES POR MINUTO
S/E:	SUBESTACIÓN ELECTRICA

SIN:	SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO
Std:	STANDARD
TGE:	TURBO GENERADOR ELÉCTRICO
TPE:	TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE ENVÍO
TPR:	TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE RECIBO
V:	VOLTIOS

INTRODUCCIÓN

Un índice de la calidad y de la confiabilidad de un sistema eléctrico es referente de su sistema de protección y esta de su correcta coordinación.

El Ingenio ECUDOS cuenta con un sistema de generación a vapor mediante la quema del bagazo de la caña de azúcar, cada 6 meses en época de zafra, que es cuando se obtiene la materia prima “bagazo de la caña”, todo el Ingenio en general opera sus maquinarias y de igual manera su sistema de generación estará en funcionamiento continuo, y para este caso en particular basamos nuestro estudio.

El sistema de generación como auto-productores es de gran importancia su funcionamiento para el Ingenio ya que es todo un ciclo dependiente en el que de la producción del azúcar se utiliza el residuo “bagazo de la caña” para la producción de energía eléctrica y de esta producción de energía eléctrica parte es entregada al sistema nacional interconectado en el punto de interconexión con Milagro y otra parte es consumida por el propio Ingenio para sus cargas auxiliares y para energizar el proceso mismo de la producción de azúcar. Debido a esto la correcta coordinación de los dispositivos de protección es pertinente.

Para el análisis de la coordinación de los diversos dispositivos de protección eléctrica del Ingenio ECUDOS es necesario realizar los estudios de flujo de carga y cortocircuito, ya que en estos estudios podremos analizar el comportamiento del sistema eléctrico en si del Ingenio tanto para casos de operación normal como para casos en falla.

Los ajustes de los dispositivos de protección dependerán de los estudios para corrientes a plena carga y de cortocircuito, ya que de estos estudios conoceremos la máxima corriente admisible a la cual el dispositivo de protección empezara a operar con el propósito de que no sufra ningún daño el elemento que se está protegiendo.

Todo el sistema eléctrico del Ingenio ECUDOS básicamente está conformado por 4 niveles de voltaje que son: 69 [Kv], 13.8 [Kv], 4.16 [Kv] y 5.5 [Kv].

1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA ELÉCTRICO



Figura 1.1: Subestación del Ingenio ECUDOS

ECUDOS en sus instalaciones posee su propia subestación en la cual existen dos transformadores de potencia, uno con una capacidad de 31.6 MVA (TPE) y otro con una capacidad de 17.25 MVA (TPR), alimentados ambos en su lado primario por la empresa eléctrica de Milagro a un nivel de tensión de 69000 voltios.

En su secundario una vez hecha la transformación de voltaje, el transformador TPE entrega un nivel de tensión de 13800 voltios y el transformador TPR el cual es un transformador de tres devanados entrega niveles de voltaje de 5500 voltios y 4160 voltios. Estos son los niveles de voltaje que usa el ingenio ECUDOS agregándole los niveles de voltaje que usan ciertas cargas, de servicios auxiliares, como lo son 480 voltios y 120/240 voltios.



Figura 1.2: Transformadores de Potencia de Subestación ECUDOS

Lucega empresa generadora que es parte de ECUDOS posee cuatro generadores de distintas capacidades; son dos generadores de 3 MW los cuales son llamados TGE-1 y TGE-2, un generador de 12.5 MW llamado TGE-3 y finalmente un generador de 16.8 MW llamado TGE-4. El TGE-1 y el TGE-2 operan a un nivel de voltaje de 5500 voltios, el TGE-3 opera a un nivel de voltaje de 4160 voltios y el TGE-4 opera a un nivel de voltaje de 13800 voltios.

Aquí se genera aproximadamente 27.6 MW de los cuales 13 MW son consumidos por ECUDOS y 14.6 MW son entregados mediante la venta de energía al sistema nacional interconectado en este caso mediante la conexión a Milagro.



Figura 1.3: Generadores Eléctricos del Ingenio ECUDOS

CONEXIÓN AL SNI (CNEL MILAGRO)

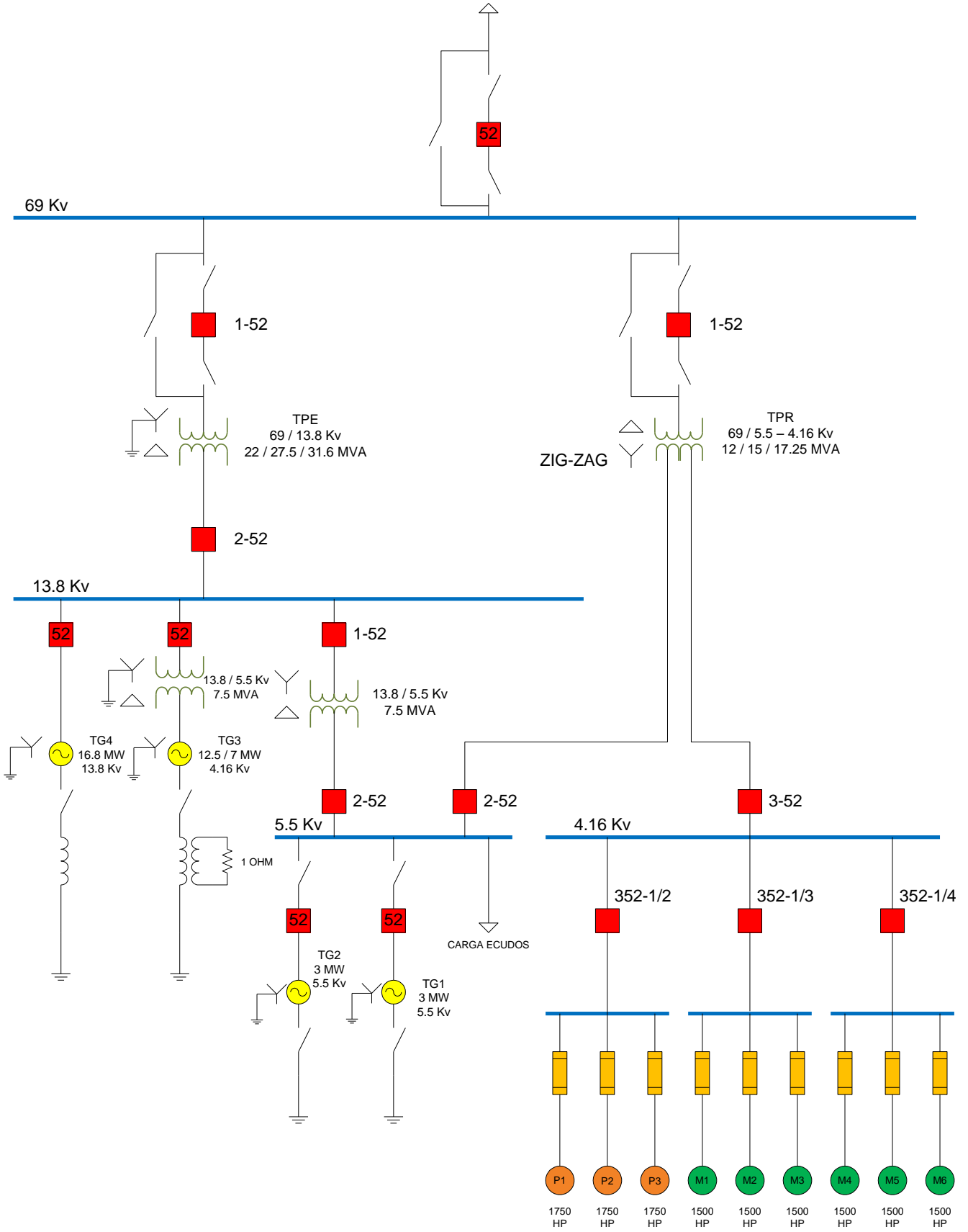


Figura 1.4: Diagrama Unifilar de Ingenio ECUDOS

1.3 DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA LA OBTENCIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

El proceso de producción de energía eléctrica mediante biomasa, en nuestro caso a estudiar mediante el bagazo de la caña de azúcar, comienza una vez que empieza la zafra. Una vez recolectada la caña de azúcar esta es llevada por grandes camiones los cuales depositan la caña de azúcar en tres picadoras las cuales son impulsadas por motores de 1750 Hp a 1800 RPM.

Luego que la caña de azúcar es triturada pasa por un proceso de lavado y es transportada hasta los molinos, estos son seis, los cuales están ubicados uno a continuación de otro, es decir, que la caña de azúcar ingresa al molino 1 y luego pasa al molino 2 y de esa manera va siendo transportada hasta el molino 6 que es el ultimo molino.

Estos molinos son impulsados por motores que tienen una capacidad de 1500 Hp a 1200 RPM, aquí se le extrae a la caña de azúcar su jugo el cual va a servir para la producción del azúcar y el residuo de ese jugo, lo concentrado es vendido para la producción de alcohol industrial.

La caña de azúcar es pasada dos veces por los molinos, el bagazo que es el residuo de la caña de azúcar, es llevado a cuatro calderos en donde va a ser quemado con un cierto nivel de humedad. Gracias al potencial calorífico de la caña de azúcar se va a producir una cantidad de vapor, el cual se usará para impulsar las turbinas de los cuatro generadores que tiene Lucega. Es aquí en donde se va a producir la energía eléctrica.

Lucega produce aproximadamente 27.6 MW de los cuales 13 MW son consumidos por el ingenio ECUDOS y 14.6 MW son vendidos al sistema nacional interconectado.

El turbo generador 4 (TGE-4) es el generador de mayor capacidad en la planta con 16.8 MW, este está conectado a una barra de 13800 voltios, aquí está conectado el turbo generador (TGE-3) con una capacidad de 17.25 MW aunque este turbo generador solo le hacen producir 7 MW ya que la producción de vapor no es suficiente para hacerle producir su máxima capacidad. Este turbo generador está conectado a la barra de 13800 voltios mediante un transformador de 13800 v / 4160 v, esto es porque el TGE-3 opera a un nivel de voltaje de 4160 voltios.

El turbo generador dos (TGE-2) y el turbo generador uno (TGE-1) con capacidades de 3 MW cada uno están conectados a una barra de 5500 voltios, el cual es el nivel de voltaje al que funciona la carga de ECUDOS. Esta barra se conecta a la barra de 13800 voltios mediante un transformador de 13800 v / 5500 v.

Ahora la barra de 13800 voltios eleva su nivel de voltaje a 69000 voltios mediante un transformador de potencia, este transformador se lo ha llamado como TPE, que significa transformador de potencia de envío y tiene una capacidad de 31.6 MVA. Es en esta barra en donde ECUDOS se conecta con el sistema nacional interconectado mediante la línea de 69000 voltios que viene desde la ciudad de Milagro.

En la barra de 69000 voltios se conecta un segundo transformador de potencia con nombre TPR, que significa transformador de potencia de recibo, este transformador es de características algo especial ya que tiene tres devanados, el cual transforma el voltaje de 69000 voltios a 5500 voltios y a 4160 voltios.

Mediante el devanado de 5500 voltios se conecta la barra de 69000 voltios a la barra de las cargas de ECUDOS, que está a un nivel de voltaje

de 5500 voltios, esto hace que el ingenio tenga mayor confiabilidad en su sistema eléctrico, este devanado se conecta mediante un disyuntor a ECUDOS el cual permanece en estado normalmente abierto para no formar un anillo en el sistema, aunque este sistema puede funcionar en anillo con normalidad.

El devanado de 4160 voltios de este segundo transformador de potencia sirve para alimentar a los seis molinos que funcionan a este nivel de voltaje.

El motivo principal de porque la subestación tiene estos dos transformadores de potencia es porque al inicio Lucega quería vender toda la energía generada y comprar a un valor más económico a la empresa eléctrica lo que necesite ECUDOS para su funcionamiento, pero el CONELEC ente regulador, con sus regulaciones no se lo permitió y dispuso que ellos solo debían alimentar la carga de el ingenio ECUDOS con su propia generación y vender solo el excedente de energía.

Finalmente como ya se menciona la barra de 69000 voltios se conecta al sistema nacional interconectado mediante un empalme a una línea que

llega a una subestación en la ciudad de La Troncal llamada por el mismo nombre, esta línea es proveniente de la ciudad de Milagro.

Transelectric tiene un proyecto de crear una subestación de 230000 voltios a 69000 voltios en la ciudad de La Troncal, y ECUDOS tiene como un nuevo proyecto querer conectarse a esta subestación mediante un alimentador propio a 69000 voltios lo cual le brindaría mayor confiabilidad a su sistema eléctrico.

CAPÍTULO 2

ESTUDIOS DE FLUJO DE CARGA

2.1 Criterios Adoptados para el Estudio

2.1.1 Flexibilidad Operacional

El sistema podrá funcionar alimentado por la Empresa Eléctrica o por medio de los Generadores de Emergencia sin ninguna restricción

2.1.2 Niveles de Confiabilidad

El sistema debe proveer la continuidad del servicio y la alimentación a las instalaciones del ingenio ECUDOS en forma prioritaria, ante la existencia de falla de un elemento en el del sistema.

2.1.3 Niveles de Sobrecarga.

No se aceptan sobrecarga en los cables del Sistema mayores a la cargabilidad establecida en las especificaciones técnicas.

Para el caso de los Transformadores Convencionales de Fuerza, la carga no debe exceder su capacidad OA.

2.1.4 Regulación de Voltaje

Los voltajes a nivel de barras del Sistema no deben exceder del 2.5% hacia arriba y 2.5% hacia abajo, ante cualquier contingencia operativa.

2.2 Análisis de Casos

2.2.1 Caso Base "Carga Máxima"

En nuestro proyecto a desarrollar vamos a considerar a todas las cargas instaladas en el Ingenio ECUDOS, como las picadoras, los molinos, lo cual suma un aproximado de 13 MW.

2.3 Datos del Sistema

2.3.1 Datos de Voltaje de Barra

#	Barra	Voltaje
1	CNEL-MILAGRO	69000 VOLTIOS
2	S/E ECUDOS	69000 VOLTIOS
3	Bajada del Trafo 1	13800 VOLTIOS
4	Barra de 13.8 KV	13800 VOLTIOS
5	Salida de TGE-3	4160 VOLTIOS
6	Barra de 5.5 KV	5500 VOLTIOS
7	Bajada del Trafo 4	4160 VOLTIOS
8	Barra de 4.16 KV	4160 VOLTIOS
9	CCM Picadoras 1, 2 y 3	4160 VOLTIOS
10	CCM Molinos 1, 2 y 3	4160 VOLTIOS
11	CCM Molinos 4, 5 y 6	4160 VOLTIOS

Tabla 2.1: Valores de Voltajes en las Barras

2.3.2 Datos de Barras de Carga

Carga	# barra	Barra	MW	MVAR	fp
ECUDOS	6	Barra 5.5	6,37	2,92	0,9090423
Picadora 1	9	CCM picadoras 1, 2 y 3	1,17495	0,4862	0,924013
Picadora 2	9	CCM picadoras 1, 2 y 3	1,17495	0,4862	0,924013
Picadora 3	9	CCM picadoras 1, 2 y 3	1,17495	0,4862	0,924013
Molino 1	10	CCM molinos 1, 2 y 3	0,8952	0,5782	0,840017995
Molino 2	10	CCM molinos 1, 2 y 3	0,6714	0,4336	0,840046505
Molino 3	10	CCM molinos 1, 2 y 3	0,6714	0,4336	0,840046505
Molino 4	11	CCM molinos 4, 5 y 6	0,6714	0,4336	0,840046505
Molino 5	11	CCM molinos 4, 5 y 6	0,6714	0,4336	0,840046505
Molino 6	11	CCM molinos 4, 5 y 6	0,5595	0,3614	0,840000888

Tabla 2.2: Valores de Cargas en las Barras

2.3.3 Datos de Líneas y Conductores

Barra	Barra	Línea	Tipo de Conductor
1	2	Subtransmisión	ACSR HAWK 477.0 MCM
3	4	Conexión de TPE a la barra de 13.8	AWG 350 MCM
7	8	Conexión de TPR a la barra de 4.16	AWG 350 MCM
8	9	Alimentación a CCM PICADORAS 1,2 y 3	AWG 350 MCM
8	10	Alimentación a CCM MOLINOS 1,2 y 3	AWG 350 MCM
8	11	Alimentación a CCM MOLINOS 4,5 y 6	AWG 350 MCM

Conductores por Fase	Distancia (Km)	Reactancia (Ω /Km)	Zbase (Ω)	Capacidad del Conductor (MVA)	X(Ω)	X p.u.	Capacidad Total (MVA)
1	3.2	0.2672467	47.61	50	0.855189	0.017962	50
4	0.15	0.1332	1.9044	8.34	0.00666	0.003497	33.36
4	0.256	0.1332	0.173056	3.63	0.008525	0.04926	14.52
3	0.014	0.1332	0.173056	3.63	0.000622	0.003592	10.89
2	0.0013	0.1332	0.173056	3.63	8.66E-05	0.0005	7.26
2	0.0016	0.1332	0.173056	3.63	0.000107	0.000616	7.26

Tabla 2.3: Valores de Impedancias de los Conductores Eléctricos

2.3.4 Datos de Transformadores de Fuerza

Transformador	Voltaje Primario	Voltaje Secundario	Capacidad	Conexión	Ubicación	Impedancia
TPE	69 KV	13.8 KV	31.6 MVA	Estrella Aterrizado-Delta	Subestación	9.02 %
TPR	69 KV	5.5/4.16 KV	17.25 MVA	Delta-Estrella	Subestación	8.73% / 8.8%
TRAFO 13.8/4.16 KV	13.8 KV	4.16 KV	7.5 MVA	Estrella Aterrizado-Delta	Salida del TGE-3	6.09 %
TRAFO 13,8/5,5 KV	13.8 KV	5.5 KV	7.5 MVA	Delta-Estrella	Salida del TGE-1 y TGE-2	6.10 %

Tabla 2.4: Valores de Capacidades de Transformadores y sus Impedancias

2. 4 Resultados de los Estudios de Flujo de Carga

Los resultados de Flujo de carga serán presentados principalmente en forma grafica por ser el método más conciso y usualmente mas informativo. El flujo del sistema puede ser rápidamente analizado con la presentación grafica y relacionar la configuración del sistema, condiciones operativas y resultados.

El análisis del flujo de carga muestra lo siguiente:

a) Voltaje en barras.

- b) Consumo de Potencia Activa y Reactiva.
- c) Carga sobre todos los conductores y transformadores, verificar que la carga esté dentro de la capacidad de transmisión para condiciones normales y contingencias operativas.
- d) Ajustes de TAPS de los Transformadores.

2.4.1 Casos Base

En el anexo 1 se adjunta los resultados gráficos del Flujo de carga del Caso base, que se resume a continuación:

2.4.1.1 Voltajes en Barras

# BARRA	BARRA	VOLTAJE DE BARRA (Kv)	VOLTAJE DE BARRA (p.u)
1	CNEL-MILAGRO	69	1
2	S/E ECUDOS	69.0345	1.0005
3	Baja del Trafo TPE	13.79862	0.9999
4	Barra de 13.8 KV	13.80276	1.0002
5	Salida de TGE-3	4.16	1
6	Barra de 5.5 KV	5.5	1
7	Baja del Trafo TPR	4.177472	1.0042
8	Barra de 4.16 KV	4.169152	1.0022
9	CCM Picadoras 1, 2 y 3	4.169152	1.0022
10	CCM Molinos 1, 2 y 3	4.169152	1.0022
11	CCM Molinos 4, 5 y 6	4.169152	1.0022

Tabla 2.5: Valores de Voltajes en las Barras obtenidos del Flujo de Carga

2.4.1.2 Consumo

GENERACIÓN TOTAL		CONSUMO TOTAL		EXCEDENTE TOTAL	
Mw	Mvar	Mw	Mvar	Mw	Mvar
29.04	12.2	14.01	7.05	15.02	2.78

Tabla 2.6: Valores de la Generación, Consumo y Excedentes Total del Ingenio ECUDOS

2.4.1.3 Carga de Conductores

BARRA	BARRA	EQUIPO	CARGABILIDAD (%)
CNEL-MILAGRO	S/E ECUDOS	Línea 1	31
Baja del Trafo 1	Barra de 13.8	Línea 2	70
Baja del Trafo 4	Barra de 4.16	Línea 3	58
Barra de 4.16 KV	CCM Picadoras 1, 2 y 3	Línea 4	35
Barra de 4.16 KV	CCM Molinos 1, 2 y 3	Línea 5	35
Barra de 4.16 KV	CCM Molinos 4, 5 y 6	Línea 6	30

Tabla 2.7: Valores de la Cargabilidad de los Conductores obtenidos del Flujo de Carga

2.4.1.4 Carga de los Transformadores

BARRA	BARRA	EQUIPO	CARGABILIDAD (%)
S/E ECUDOS	Baja del Trafo 1	Transformador 1	75
Barra de 13.8 KV	Salida de TGE-3	Transformador 2	62
Barra de 13.8 KV	Barra de 5.5 KV	Transformador 3	9
S/E ECUDOS	Barra de 5.5 KV	Transformador 4	0
S/E ECUDOS	Baja del Trafo 4	Transformador 4	74

Tabla 2.8: Valores de la Cargabilidad de los Transformadores

2.4.1.5 Ajustes de los Taps

Transformador	Tap	Relación
TPE	3	70725/13800
TPR(Y)	5	67275/4160
Trafo 13.8 / 4.16 Kv	3	13800/4160
Trafo 13.8 / 5.5 Kv	3	13800/5500

Tabla 2.9: Valores de los Ajustes de los Taps en los Transformadores

2.5 Conclusiones del Estudio de Flujo

- De acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio de flujo de carga, se ha determinado que tanto las líneas como los transformadores están en un nivel de carga y margen de reserva aceptable, excepto el transformador (TPE) el cual se le tuvo que ajustar a su capacidad máxima con aire forzado 31.60[MVA].
- Los voltajes de las barras obtenidos del flujo de carga están dentro de los rangos de regulación establecidos los cuales son +/- 2.5%.
- Los ajustes de los taps en los transformadores permiten que se cumplan los rangos de regulación de voltaje establecidos.
- La carga de las líneas y de los transformadores no se excede de los límites establecidos es decir que no están sobrecargados, lo que significa que tiene la reserva suficiente para un posible incremento a futuro de la carga.

CAPÍTULO 3

ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO

En el análisis de corto circuito, las fallas del sistema se manifiestan como condiciones anormales de operación que nos podrían conducir a uno de los siguientes fenómenos:

- Indeseables Flujos de Corrientes.
- Presencia de Corrientes de magnitudes exageradas que podrían dañar los equipos.
- Caída de Voltaje en la vecindad de la falla que puede afectar adversamente la operación de las maquinas rotatorias.
- Creación de condiciones peligrosas para la seguridad del personal.

El estudio del sistema eléctrico del Ingenio ECUDOS requiere realizar estudios de Corto Circuito para resolver las situaciones críticas señaladas, y obtener la información básica para la coordinación de las protecciones. Los estudios se realizaran con los siguientes objetivos:

Determinar el efecto de las corrientes de falla en los componentes del sistema tales como cables, barras y transformadores durante el tiempo que persista la falla.

Los estudios determinaran las zonas del sistema en donde la falla puede resultar en depresión inaceptable de voltajes.

Determinar el ajuste de los equipos de protección, los cuales son establecidos considerando el sistema bajo condiciones de falla.

3.1 Alcance de los Estudios de Corto Circuito

Considerando que el Sistema del Ingenio ECUDOS se caracteriza por ser un sistema típicamente aterrizado el estudio de corto circuito considera los siguientes tipos de falla:

- Falla Trifásica a tierra
- Falla de línea a tierra.

La falla trifásica a tierra es a menudo, para este tipo de sistema, la más severa de todas, por ello es costumbre de simular solamente la falla trifásica cuando se busca las magnitudes máximas de corriente de falla; sin embargo se verificara que la corriente de falla a tierra no exceda la corriente trifásica.

3.2 Impedancias Equivalentes en el Punto de Entrega de CNEL Milagro

La Empresa Eléctrica nos ha entregado los MVA de Corto Circuito y las Impedancias de Thevenin en la Barra de Interconexión de la

Industria con la Empresa. La información ha sido trasladada a la base de 100MVA y 69KV y se indica en la siguiente tabla:

3.2.1 Impedancias Equivalentes

	X1	X2	X0
Reactancia equivalente vista desde la S/E La Troncal	0.07921	0.07921	0.0522
Base: 100 MVA; 69 KV			

Tabla 3.1: Impedancias Equivalentes.

Estas impedancias se aplicarán para los cálculos de la Corriente Momentánea y la corriente a interrumpir debido a que la Empresa Eléctrica es considerada siempre como una barra infinita que se caracteriza por no tener decremento AC.

3.2.2 Datos de Conductores

Los conductores son elementos pasivos en el análisis de corto circuito, sus características técnicas son similares a las aplicadas en los estudios de flujo de carga.

3.3 Datos de Transformadores de Fuerza

Igual que en el caso de los conductores los Transformadores son elementos pasivos en el análisis de corto circuito, sus características técnicas son similares a las aplicadas en los estudios de flujo de carga.

3.4 Resultados de los Estudios de Corto Circuito

Las corrientes de cortocircuito han sido calculadas considerando los criterios técnicos indicados en la sección 2.3. La falla Trifásica a tierra y línea a tierra se aplica a cada barra del sistema.

3.4.1 Casos Base

En el anexo 2 se adjunta los resultados gráficos de los resultados de las corridas de Corto Circuito del Caso base, que se resume a continuación:

3.4.2 Corriente de Falla en Cada Barra.

Barra en Falla	Falla 3f (A)	Falla 1f (A)
CNEL-MILAGRO	11842.8	13451.4
S/E ECUDOS	9931.18	10422.3
Baja del Trafo TPE	23447.6	17464.1
Barra de 13.8 Kv	23482.5	17695.2
Salida de TGE-3	35083.2	24.018
Barra de 5.5 Kv	14939.6	11175.6
Baja del Trafo TPR	23861.5	0.004
Barra de 4.16 Kv	22048.8	0.004
CCM Picadoras 1, 2 y 3	21925.2	0.004
CCM Molinos 1, 2 y 3	22031.5	0.004
CCM Molinos 4, 5 y 6	22027.5	0.004

Tabla 3.2: Valores de Corrientes de Fallas en cada Barra

3.5 Conclusiones y Recomendaciones

- El presente estudio de Corto Circuito preparado para la cogeneración del Ingenio ECUDOS ha permitido cumplir los siguientes objetivos:
- Determinar el efecto de las corrientes de falla en los componentes del sistema tales como cables, barras y transformadores durante el tiempo que persista la falla.

- Determinar las zonas del sistema en donde la falla puede resultar en depresión inaceptable de voltajes.

El estudio de corto circuito considera los siguientes tipos de falla:

- Falla Trifásica a tierra.
- Falla de línea a tierra.

La corriente de falla de línea a tierra fue limitada a la corriente de falla trifásica a tierra por medio de la instalación de una resistencia aterrizada, elevada mediante un transformador en el generador TGE-3.

Corrientes de falla de línea a tierra aguas abajo del transformador (TPR) en el lado de 4.16 [Kv] no existen ya que no hay aporte a la corriente en secuencia cero debido a la conexión del transformador (Delta-Estrella)

Las corrientes de cortocircuito han sido calculadas considerando los estándares de la IEEE aplicables para el cálculo de falla para voltajes medio y alto. I Standard IEEE Std C37.010-1979, IEEE Std C37.5-1979, IEEE Std 141-1993, IEEE Std 241-1990, and IEEE Std 242-1986.

Las fallas Trifásica a tierra y línea a tierra fueron aplicadas a cada barra del sistema, los resultados se muestran en el Anexo 2.

El ajuste de los equipos de protección, los cuales son determinados considerando el sistema bajo condiciones de falla, será estudiado en el cuarto capítulo de este trabajo relacionado con la coordinación de las protecciones.

CAPÍTULO 4

COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES

Los estudios de flujo de carga y Corto Circuito del sistema eléctrico Ingenio ECUDOS son la base para el ajuste y coordinación de las Protecciones del Sistema. Los estudios se realizaran con los siguientes objetivos:

- Determinar el ajuste de los equipos de protección, los cuales son establecidos considerando el sistema bajo condiciones de falla.
- Determinar la coordinación de las Protecciones del sistema de cogeneración del Ingenio ECUDOS propiamente y con la Protecciones del Sistema de la Empresa Eléctrica.

- La aplicación del Estudio permitirá el despeje oportuno y selectivo de las fallas del sistema.

4.1. Esquemas de Protecciones

4.1.1 Esquemas de Protección de Generadores

La protección del TGE-4 con capacidad de 16.8 MW, del TGE-3 con capacidad de 7 MW y de los TGE-1 y TGE-2 con capacidad de un 3 MW se la realiza mediante Relés General Electric 489 los cuales son diseñados específicamente para los generadores. Estos relés son multifuncionales y brindan monitoreo, medida, protección, control e interfaz con el usuario. A continuación en la siguiente figura se muestra el esquema de protección del generador.

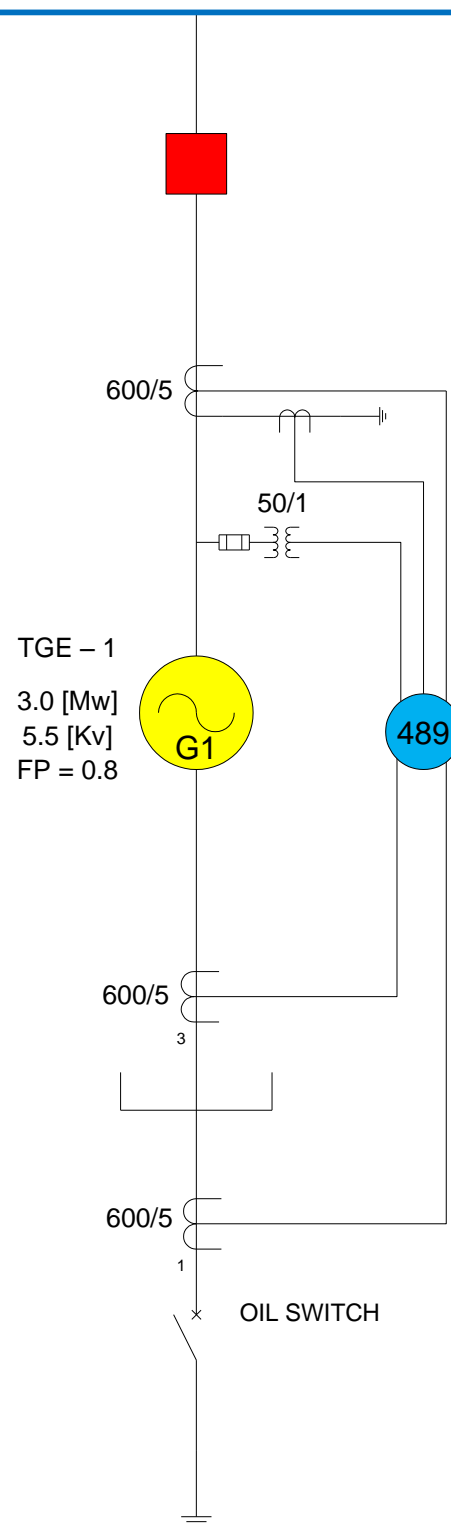


Figura # 4.1: Esquema de protección del TGE-1 y TGE-2

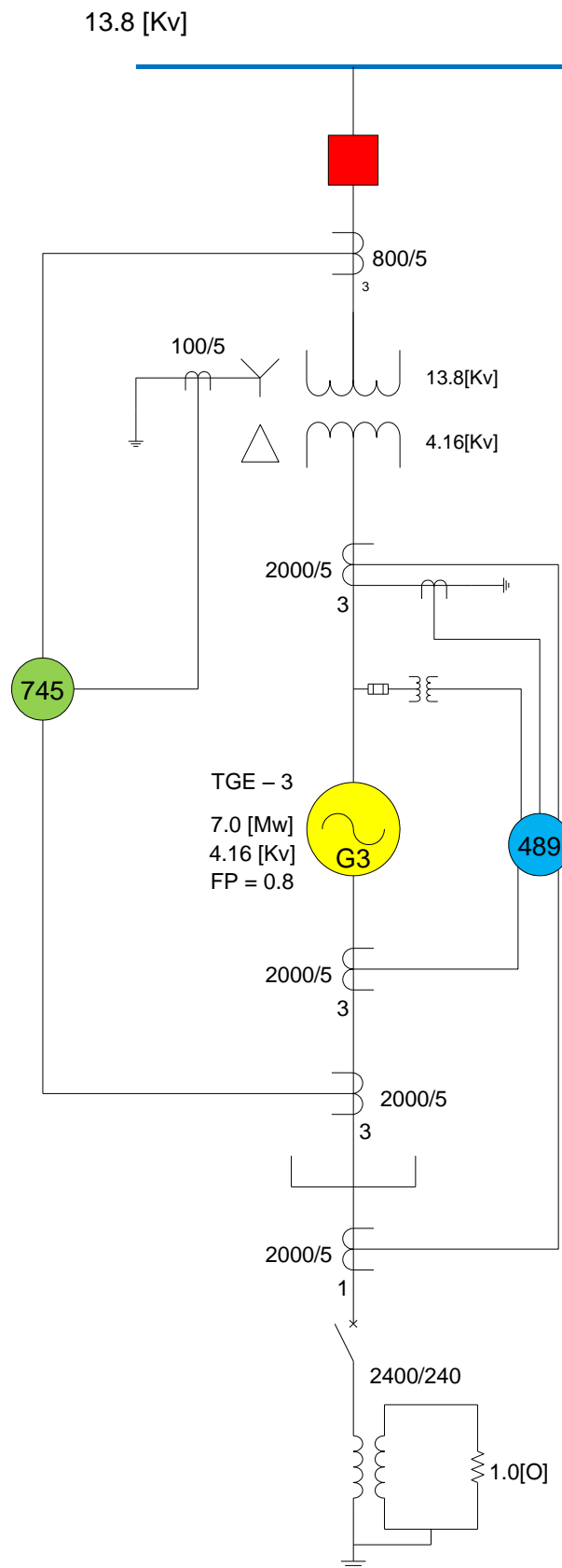


Figura # 4.2: Esquema de protección del TG3

13.8 [Kv]

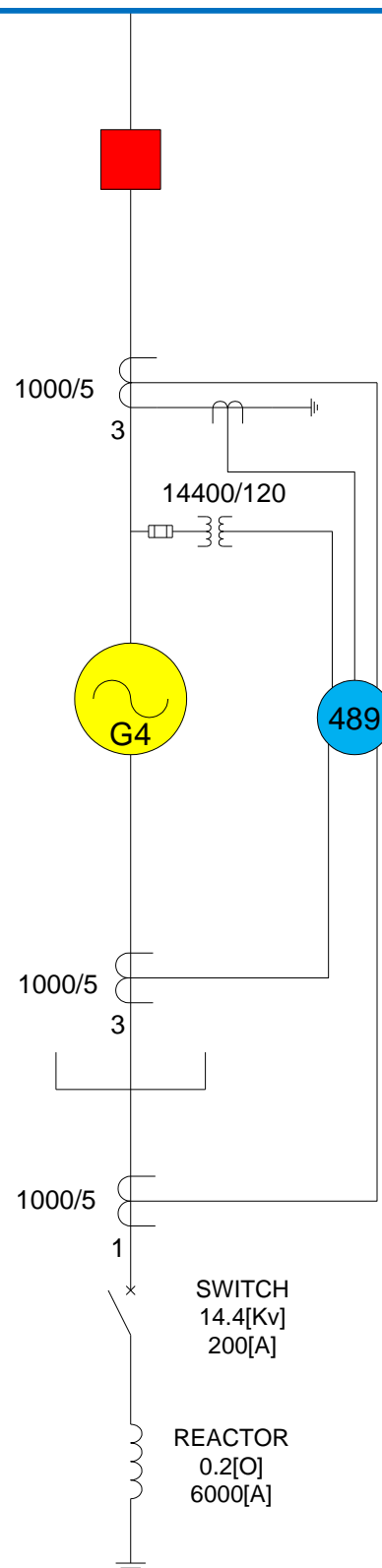


Figura # 4.3: Esquema de protección del TG4

4.1.2 Esquemas de protección de Transformadores

El TGE-4 se conecta a un transformador (TPE) que eleva el nivel de voltaje de 13800 voltios a 69000 voltios, el transformador TGE-3 está conectado a un transformador que eleva el nivel de voltaje de 4160 voltios a 13800 voltios y este a su vez se conecta al mismo transformador TPE el cual eleva el nivel de voltaje a 69000 voltios, el TGE-1 y el TGE-2 se conecta a un transformador que eleva el voltaje de 5500 voltios a 13800 voltios y este a su vez se conecta al mismo transformador TPE que eleva el nivel de voltaje a 69000 voltios.

Las cargas de las picadoras y los molinos están conectados a un transformador (TPR) con conexión especial el cual en su secundario consta con dos devanados, este está conectado al devanado de 4160 voltios el cual eleva su voltaje a 69000 voltios. Estos transformadores son protegidos mediante relés General Electric 745. Estos relés son multifuncionales y brindan monitoreo, medida, protección y control además estos relés combinan elementos de protección diferencial porcentual, sobrecorriente, frecuencia y sobreexcitación. A continuación en la siguiente

figura se muestra el esquema de protección de los transformadores.

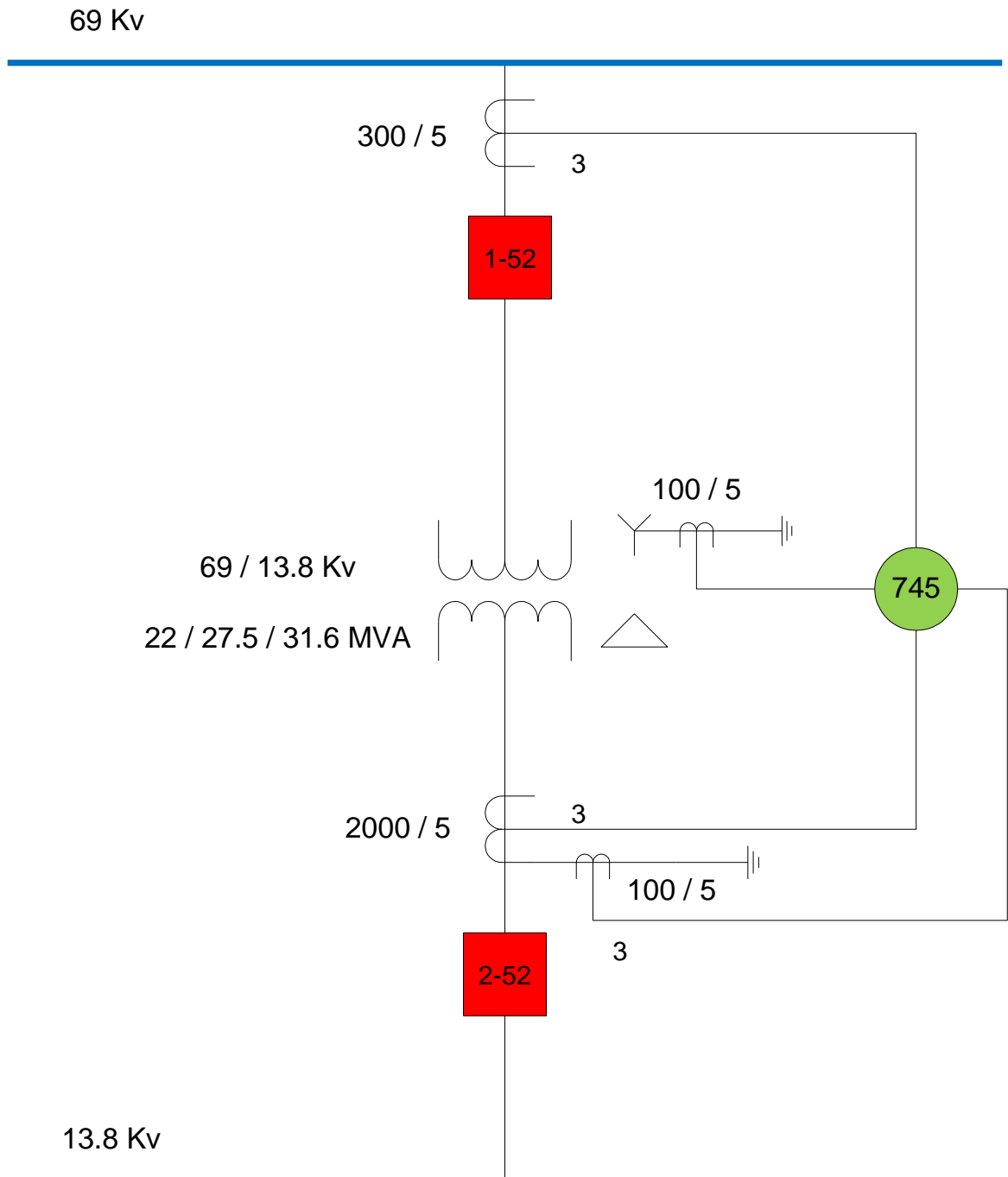


Figura # 4.4: Esquema de protección del Transformador TPE

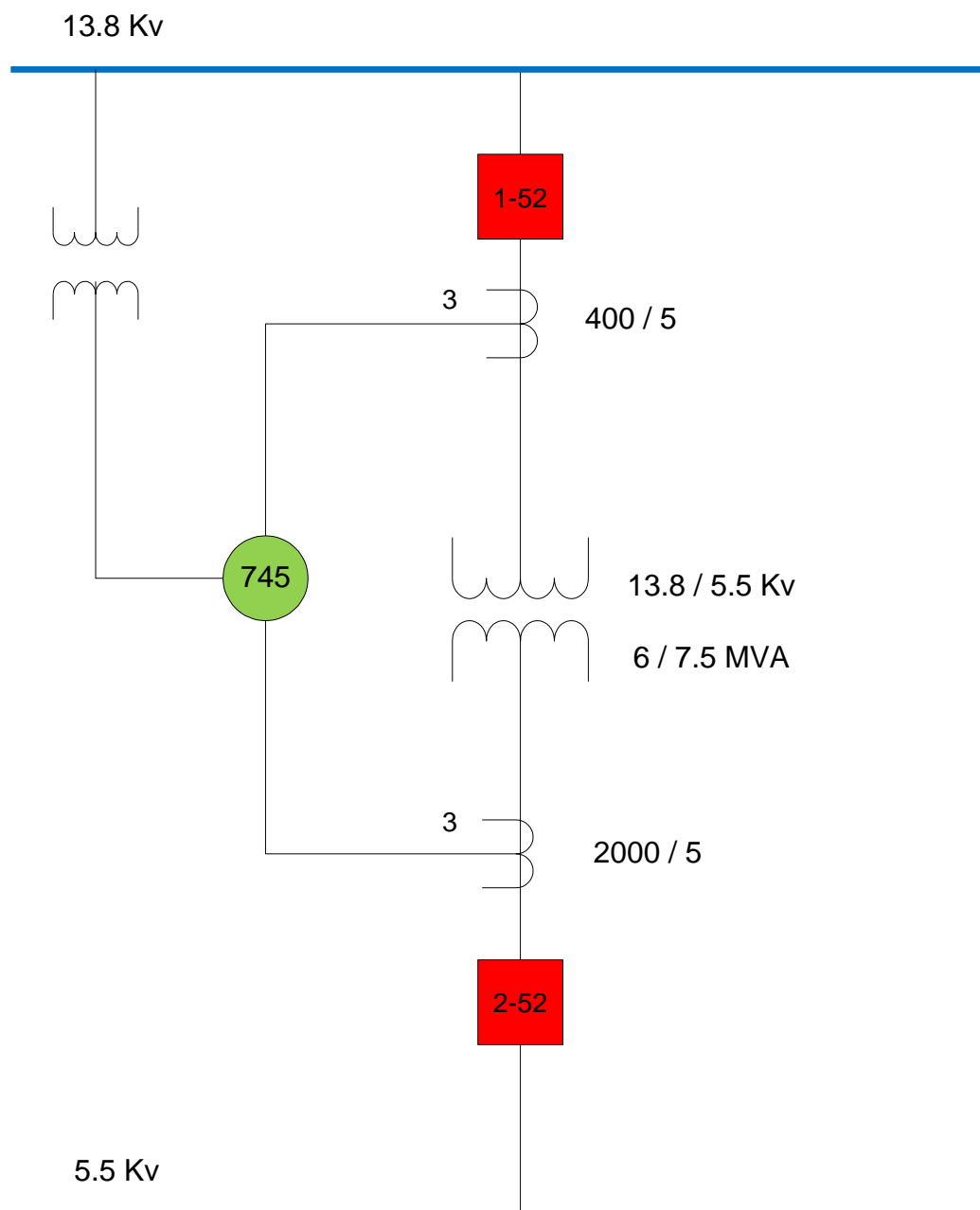


Figura # 4.5: Esquema de protección del Transformador 13.8 a 5.5 Kv

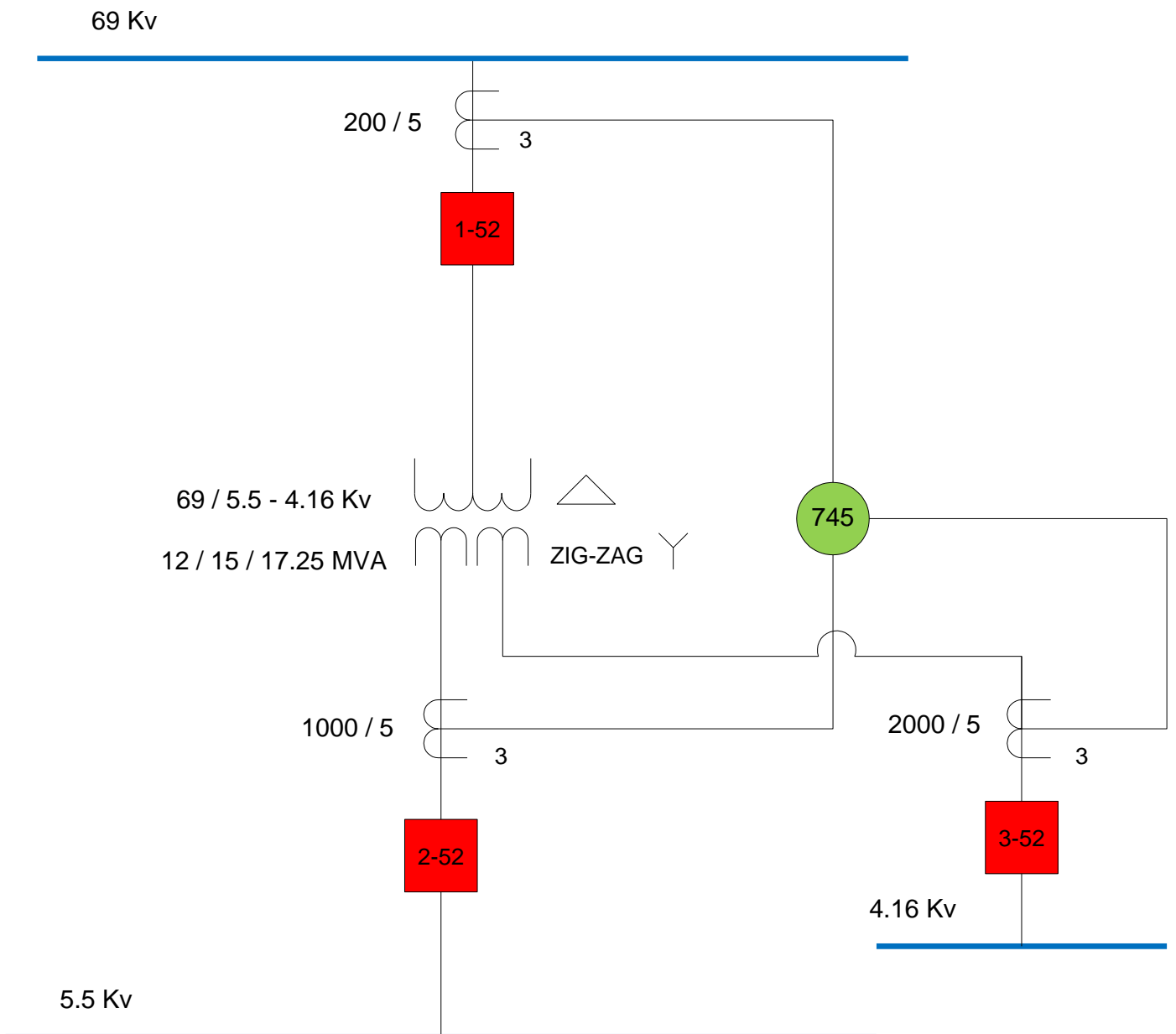


Figura # 4.6: Esquema de protección del Transformador TPR

4.1.3 Esquemas de Protección de Líneas

En nuestro estudio se realizó la protección de la línea de 69000 voltios en donde se interconecta el Ingenio ECUDOS con el Sistema Nacional Interconectado en este caso con CNEL Milagro.

Esta protección se la realizó con el Relé de Distancia Sel-311C, en el cual se uso la función de protección de distancia y la función de protección de sobrecorriente direccional. A continuación en la siguiente figura se muestra el esquema de protección del generador.

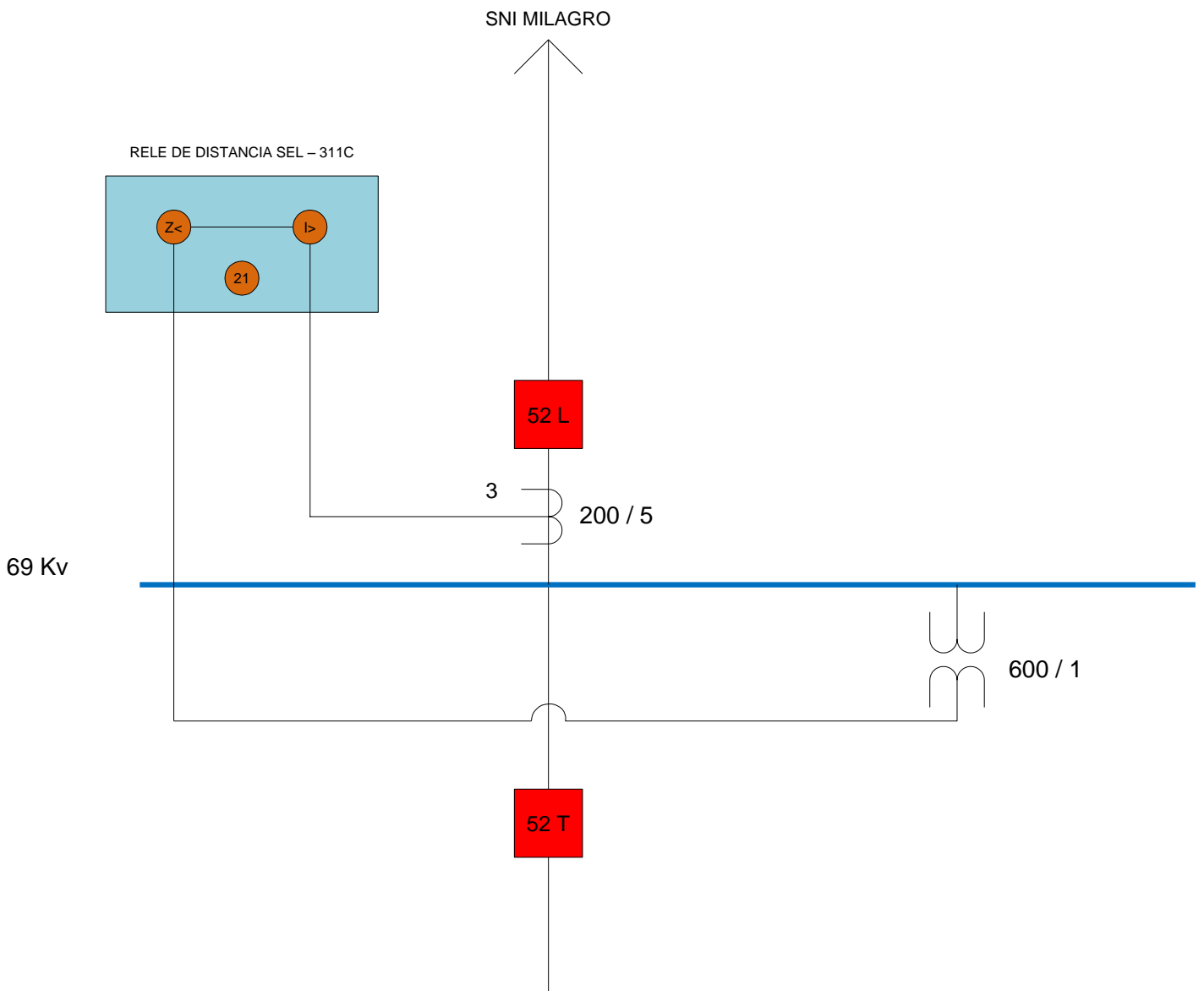


Figura # 4.7: Esquema de protección de la Línea CNEL Milagro

4.1.4 Esquemas de Protección de los Motores

Los motores de las tres picadoras y de los seis molinos están protegidos mediante un relé multifuncional General Electric 469 el cual cumple la función de sobrecarga, instantáneo y diferencial, cada motor posee su relé 469 y un fusible de 300 amperios, y cada tres motores posee un relé 750 de alimentadora el cual está coordinado y brinda respaldo a el relé 469.

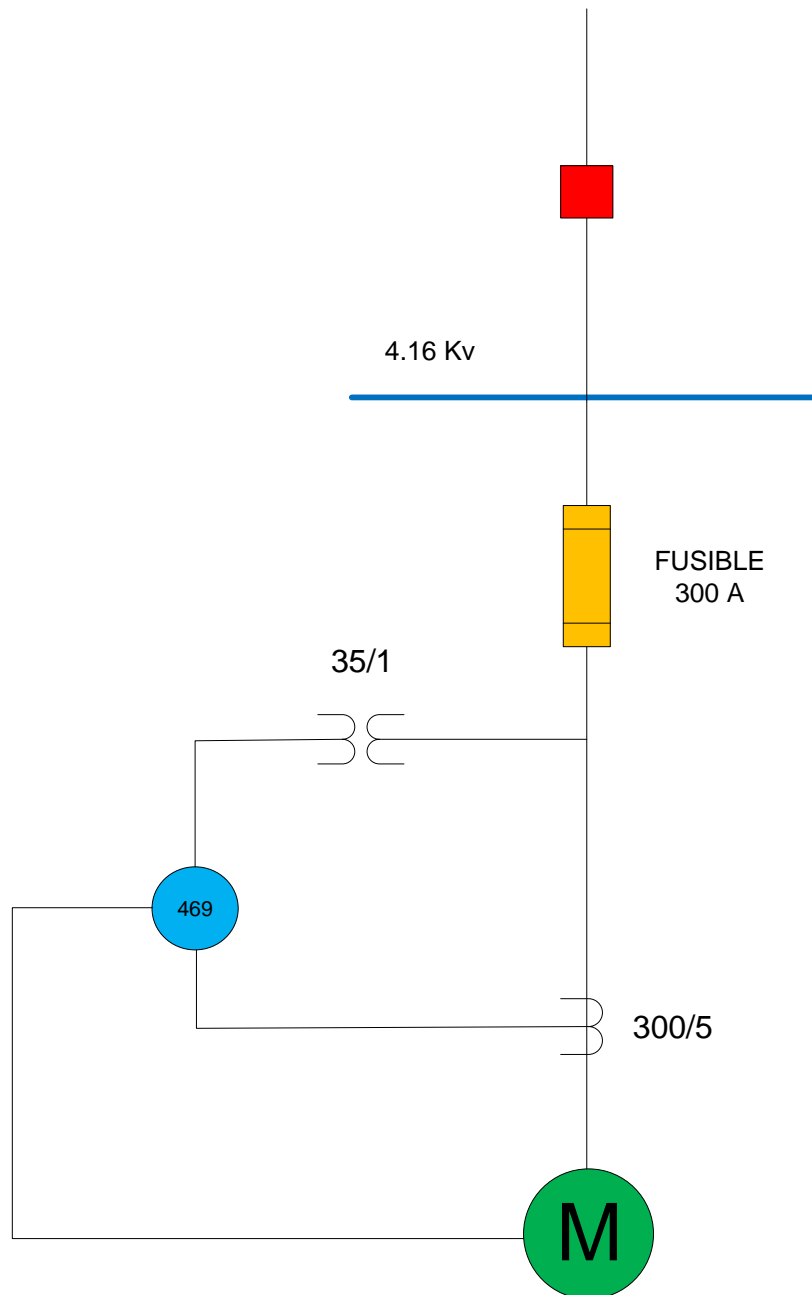


Figura # 4.8: Esquema de protección de los Motores

4.1.5 Esquemas de Protección del Sistema de Alimentación a los Motores

La alimentación de los motores es protegida por un relé multifuncional General Electric 750 el cual está cumpliendo la función de sobrecorriente y además brinda respaldo en caso de fallo del relé 469.

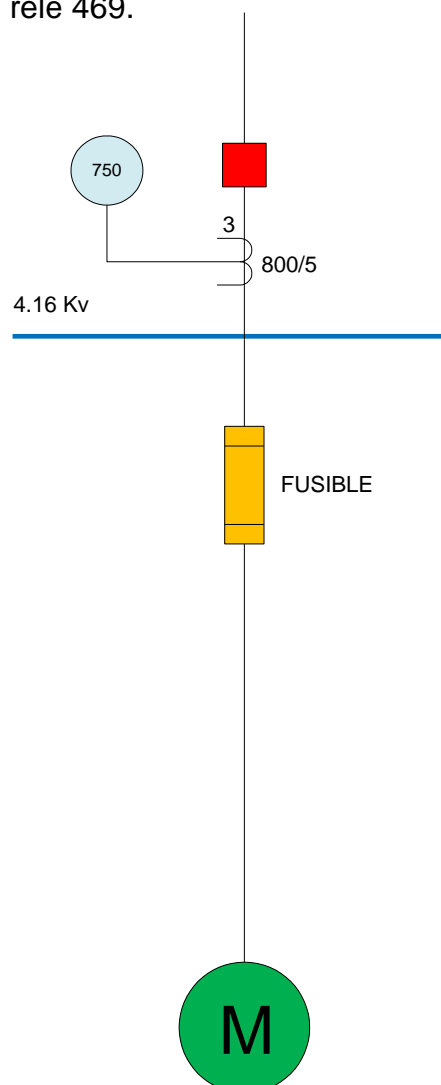


Figura # 4.9: Esquema de protección de la Alimentación de los Motores

4.2 Ajuste y Coordinación de las Protecciones

La información básica para el ajuste y coordinación de las protecciones provienen de los estudios de flujo de carga, corto circuito y los esquemas de protección indicados en la sección anterior.

4.2.1 Protección de Generadores

Para la coordinación de las protecciones de los Generadores se han adoptados los siguientes criterios utilizando unidades de sobrecorriente que cumplen las siguientes características de protecciones eléctricas:

- Selectividad: Cada relé o elemento de protección operara en su zona protegida.

- Respaldo: Los Relés dan protección primaria en la zona protegida y protección de respaldo a la zona adyacente

- Tiempo de operación: El tiempo de operación se ha ajustado para cumplir los criterios de selectividad y respaldo.
- Simplicidad: La protección cumple este criterio, evitando la redundancia de la protección en las zonas protegidas.

Considerando el estándar de IEEE para la coordinación de sobrecorriente de relés digitales, se ha considerado un Intervalo de Coordinación entre 0.2 a 0.25 segundos en el punto de coordinación correspondiente a la contribución a la corriente de falla en la ubicación del Relé.

La protección de los generadores se la realiza utilizando el Relé Multilin 489 de la General Electric el cual es un relé digital orientado para la administración y protección de los generadores, su aplicación incluye la de protección de respaldo con restricción de voltaje.

Las funciones principales del relé para la protección y su esquema de conexión se ilustran en la siguiente figura:

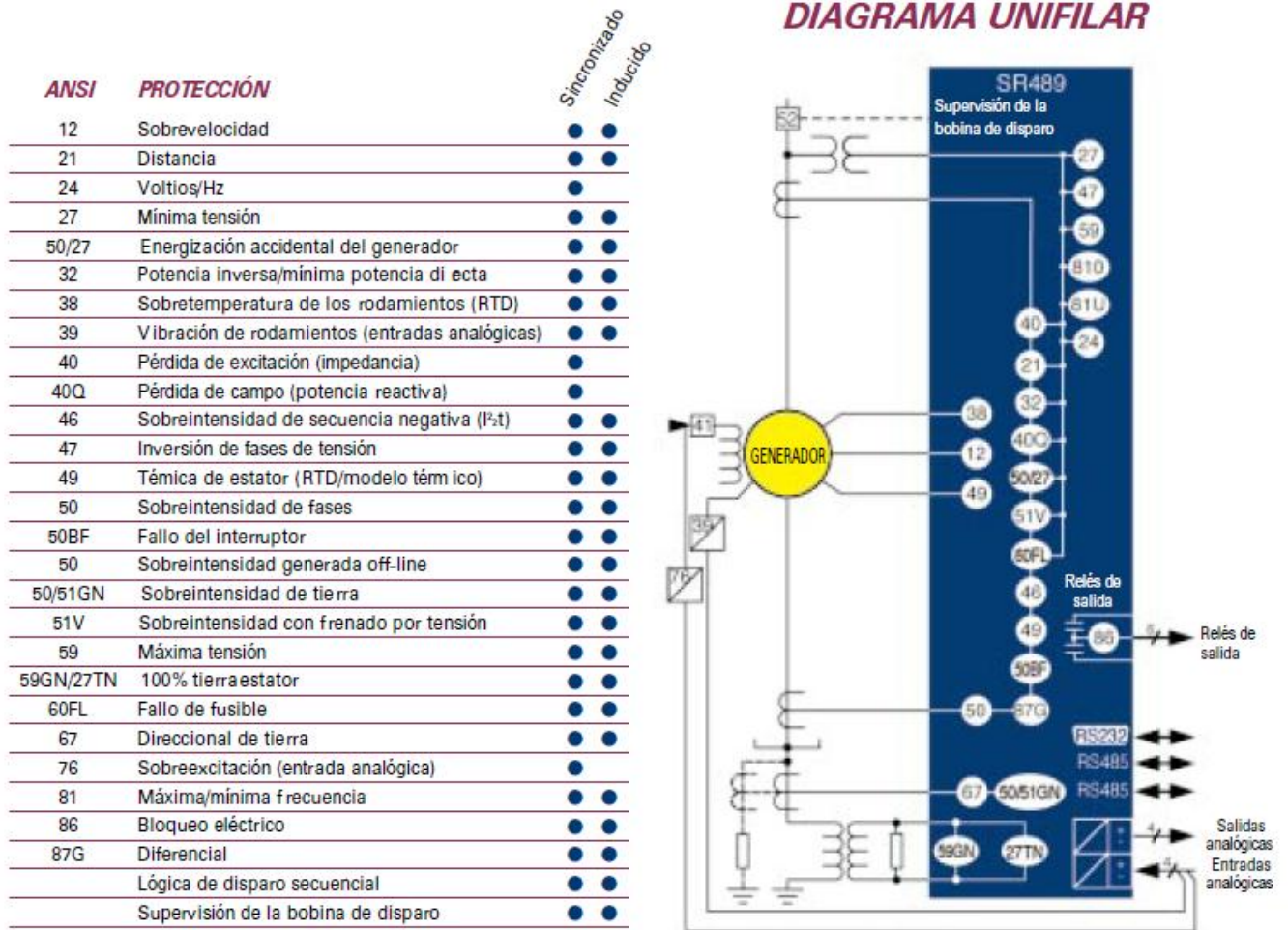


Figura # 4.10: Esquema de Conexiones del Relé GE 489 y sus Funciones

4.2.2 Protección de los Transformadores

Para la coordinación de las protecciones de los Transformadores se han adoptados los siguientes criterios utilizando unidades de sobrecorriente que cumplen las siguientes características de protecciones eléctricas:

- Selectividad: Cada relé o elemento de protección operara en su zona protegida.

- Respaldo: Los Relés dan protección primaria en la zona protegida y protección de respaldo a la zona adyacente

- Tiempo de operación: El tiempo de operación se ha ajustado para cumplir los criterios de selectividad y respaldo.

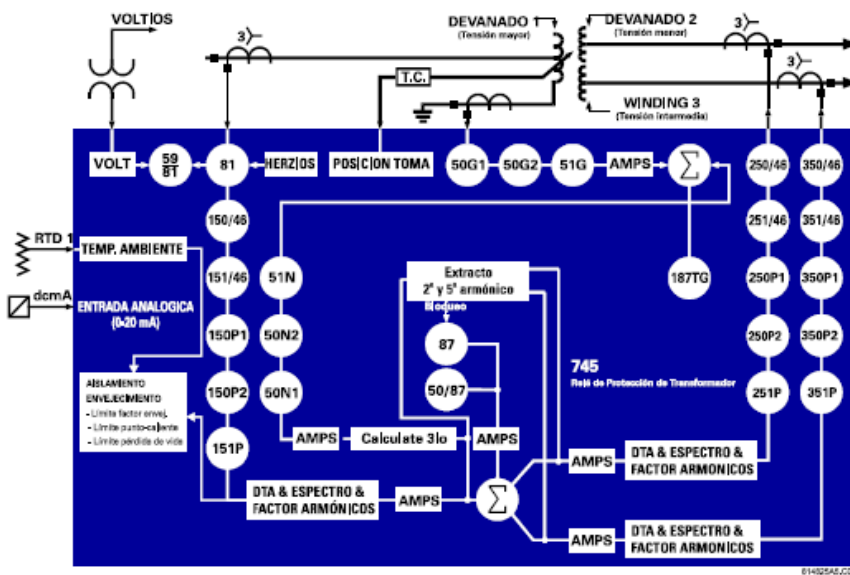
- Simplicidad: La protección cumple este criterio, evitando la redundancia de la protección en las zonas protegidas.

Considerando el estándar de IEEE para la coordinación de sobrecorriente de relés digitales, se ha considerado un Intervalo de Coordinación entre 0.2 a 0.25 segundos en el punto de coordinación correspondiente a la contribución a la corriente de falla en la ubicación del Relé. En algunos casos se ha utilizado intervalos mayores al estándar (0.4s) para mejorar la coordinación.

La protección de los transformadores se la realiza utilizando el Relé Multilin 745 de la General Electric el cual es un relé digital orientado para la administración y protección de los transformadores de potencia, su aplicación incluye la protección de respaldo.

Las funciones principales del relé para la protección y su esquema de conexión se ilustran en la siguiente figura:

DIAGRAMA FUNCIONAL



DISPOSITIVO ELEMENTOS COMUNES DE PROTEC.

50/46	S/I instantánea de secuencia inversa
50/87	Diferencial instantánea
50G	S/I instantánea de tierra
50N	S/I instantánea de neutro (3I)
50P	S/I instantánea de fases
51/46	S/I temporizada de secuencia inversa
51G	S/I temporizada de tierra
51N	S/I temporizada de neutro (3I)
51P	S/I temporizada de fases
59/81	Voltios por hertzio
81-H5	Nivel de 5º armónico
810	Máxima frecuencia
81U	Mínima frecuencia
81U-R	Ratio de disminución de la frecuencia
87	Diferencial (porcentaje)
87TG	Diferencial de tierra
AD	Demanda de intensidad
AN-1	Entrada analógica nivel 1
AN-2	Entrada analógica nivel 2
	Envejecimiento de aislamiento:
	- Limite factor de envejecimiento
	- Limite punto-caliente
	- Limite pérdida de vida
	Fallo de cambiador de tomas
THD	Nivel de distorsión armónica total

Figura # 4.11: Esquema de Conexiones del Relé GE 745 y sus Funciones

4.2.3 Protección de Motores

Para la coordinación de las protecciones de los Motores se han adoptados los siguientes criterios utilizado unidades de sobrecorriente que cumplen las siguientes características de protecciones eléctricas:

- Selectividad: Cada relé o elemento de protección operara en su zona protegida.

- Respaldo: Los Relés dan protección primaria en la zona protegida y protección de respaldo a la zona adyacente

- Tiempo de operación: El tiempo de operación se ha ajustado para cumplir los criterios de selectividad y respaldo.

- Simplicidad: La protección cumple este criterio, evitando la redundancia de la protección en las zonas protegidas.

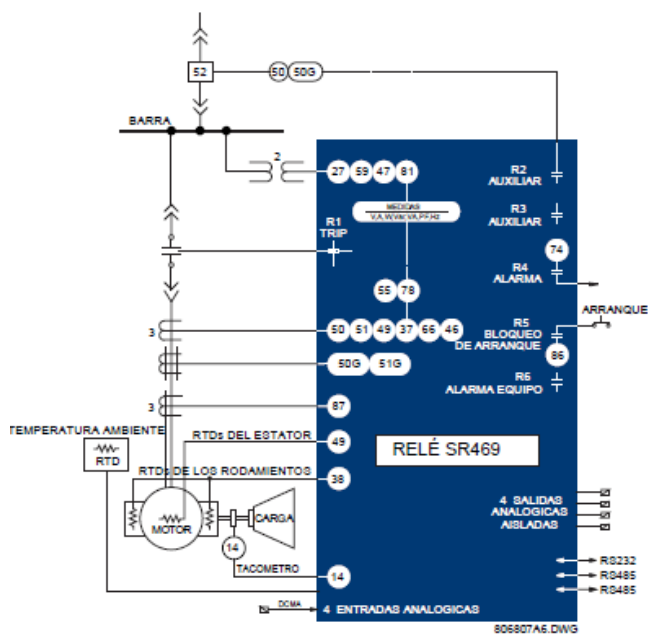
Considerando el estándar de IEEE para la coordinación de sobrecorriente de relés digitales, se ha considerado un Intervalo de Coordinación entre 0.2 a 0.25 segundos en el punto de coordinación correspondiente a la contribución a la corriente de falla en la ubicación del Relé. En algunos casos se ha utilizado intervalos mayores al estándar (0.4s) para mejorar la coordinación.

La protección de los motores se la realiza utilizando el Rele 469 Multilin de la General Electric el cual es un relé digital

orientado para la administración y protección de los motores, su aplicación incluye la de protección de respaldo.

Las funciones principales del relé para la protección y su esquema de conexión se ilustran en la siguiente figura:

DIAGRAMA UNIFILAR



Aplicación de las funciones del SR469

ANSI		Trip	Alarm	Block Start	Control
51	Sobrecarga	●	●	●	
86	Bloqueo por sobrecarga			●	
66	Tiempo de arranque y tiempo entre arranques			●	
	Bloqueo del re arranque			●	
50	Cortocircuito y respaldo del cortocircuito	●		●	
	Bloqueo mecánico	●		●	
37	Mínima intensidad/mínima potencia	●	●	●	
46	Desequilibrio de intensidades	●	●	●	
50G/51G	Falta a tierra y respaldo de falta a tierra	●	●	●	
87	Diferencial	●		●	
	Aceleración	●		●	
49	RTD del estator	●	●	●	
38	RTD de los rodamientos	●	●	●	
	Otras RTD y RTD ambiente	●	●	●	
	Alarma temperatura RTD		●		
	Baja RTD		●		
27/59	Mínima/máxima tensión	●	●	●	
47	Inversión de fase	●		●	
81	Frecuencia	●	●	●	
	Potencia reactiva	●	●	●	
55/78	Factor de potencia	●	●	●	
	Entrada analógica	●	●	●	
	Alarma demanda: A kW kvar k VA		●		
	Autochequeo del SR469, servicio		●		
	Supervisión de la bobina de disparo		●		
	Contactora		●		
	Fallo del interruptor		●		
	Entrada remota	●	●	●	
14	Entrada de velocidad y disparo por tacómetro	●	●	●	
	Entrada de deslastre de cargas	●	●	●	
	Entrada de presión	●	●	●	
	Entrada de vibración	●	●	●	
19	Arranque a tensión reducida			●	
48	Secuencia incompleta	●		●	
	Arranque/paro remoto			●	
	Par	●	●	●	

Figura # 4.12: Esquema de Conexiones del Relé GE 469 y sus Funciones

4.2.4 Protección de Distancia

Para la coordinación de las protecciones de la Línea de Transmisión de se han adoptados los siguientes criterios utilizado unidades de sobrecorriente que cumplen las siguientes características de protecciones eléctricas:

- Selectividad: Cada relé o elemento de protección operara en su zona protegida.

- Respaldo: Los Relés dan protección primaria en la zona protegida y protección de respaldo a la zona adyacente

- Tiempo de operación: El tiempo de operación se ha ajustado para cumplir los criterios de selectividad y respaldo.

- Simplicidad: La protección cumple este criterio, evitando la redundancia de la protección en las zonas protegidas.

Considerando el estándar de IEEE para la coordinación de sobrecorriente de relés digitales, se ha considerado un Intervalo de Coordinación entre 0.2 a 0.25 segundos en el punto de coordinación correspondiente a la contribución a la corriente de falla en la ubicación del Relé. En algunos casos se ha utilizado intervalos mayores al estándar (0.4s) para mejorar la coordinación.

La protección de la línea de transmisión se la realiza utilizando el Relé Sel 311C el cual es un relé digital orientado para la administración y protección de alimentadoras de transmisión, su aplicación incluye la de protección de respaldo.

Las funciones principales del relé para la protección y su esquema de conexión se ilustran en la siguiente figura:

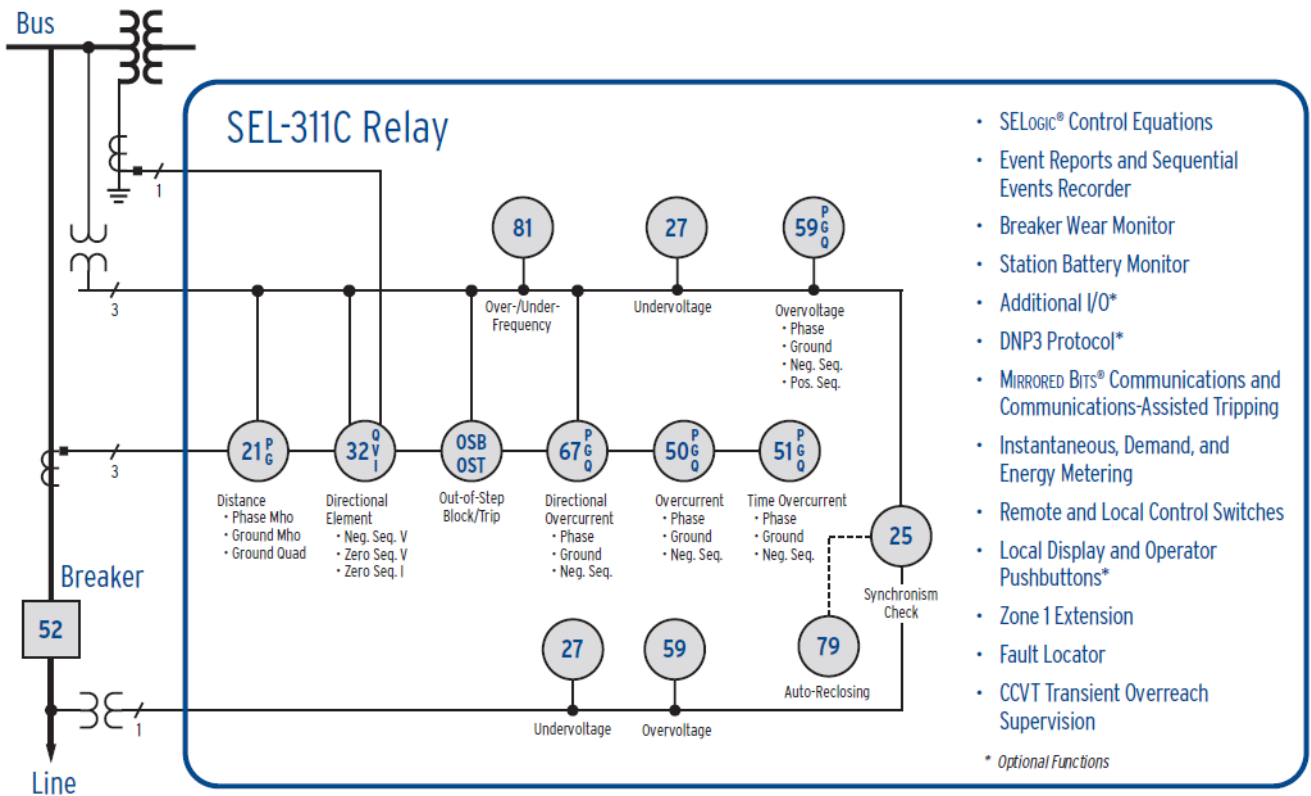


Figura # 4.13: Esquema de Conexiones del Relé Sel 311C y sus Funciones

4.2.5 Protección de Alimentadora

Para la coordinación de las protecciones de los Motores se han adoptados los siguientes criterios utilizando unidades de sobrecorriente que cumplen las siguientes características de protecciones eléctricas:

- Selectividad: Cada relé o elemento de protección operara en su zona protegida.

- Respaldo: Los Relés dan protección primaria en la zona protegida y protección de respaldo a la zona adyacente.

- Tiempo de operación: El tiempo de operación se ha ajustado para cumplir los criterios de selectividad y respaldo.

- Simplicidad: La protección cumple este criterio, evitando la redundancia de la protección en las zonas protegidas.

Considerando el estándar de IEEE para la coordinación de sobrecorriente de relés digitales, se ha considerado un Intervalo de Coordinación entre 0.2 a 0.25 segundos en el punto de coordinación correspondiente a la contribución a la corriente de falla en la ubicación del Relé. En algunos casos se ha utilizado intervalos mayores al estándar (0.4s) para mejorar la coordinación.

La protección de la línea de alimentación a los motores distribución se la realiza utilizando el Relé 750/760 Feeder Management Relay, el cual es un relé digital orientado para la administración y protección de alimentadoras de distribución, su aplicación incluye la de protección de respaldo.

Las funciones principales del relé para la protección y su esquema de conexión se ilustran en la siguiente figura:

4.2.6 Coordinación de las Protecciones

La coordinación de las protecciones se las ha realizado con un retardo de tiempo entre relés de 0,2 segundos a 0,3 segundos, de esta manera nos aseguramos que exista selectividad y velocidad en la coordinación.

En los generadores se utilizó la unidad de sobrecorriente con restricción de voltaje; el voltaje se lo reguló a un 40%. Se seleccionaron distintas curvas de acuerdo a las normas IAC e IEC para realizar la coordinación, para cada relé se uso la curva característica que detalla el manual del fabricante.

En los esquemas de protección presentados a inicios de este capítulo se detallan la ubicación de cada una de las unidades de sobrecorriente del sistema.

La unidad instantánea en el relé de protección de motores 469 se la ha ajustado a partir de que la curva de este relé se vuelve constante y su ajuste es a 8 veces la corriente nominal del motor.

La figura 4.15 muestra las curvas de operación y coordinación de las protecciones desde el punto de conexión con CNEL-Milagro hasta el TGE-4.

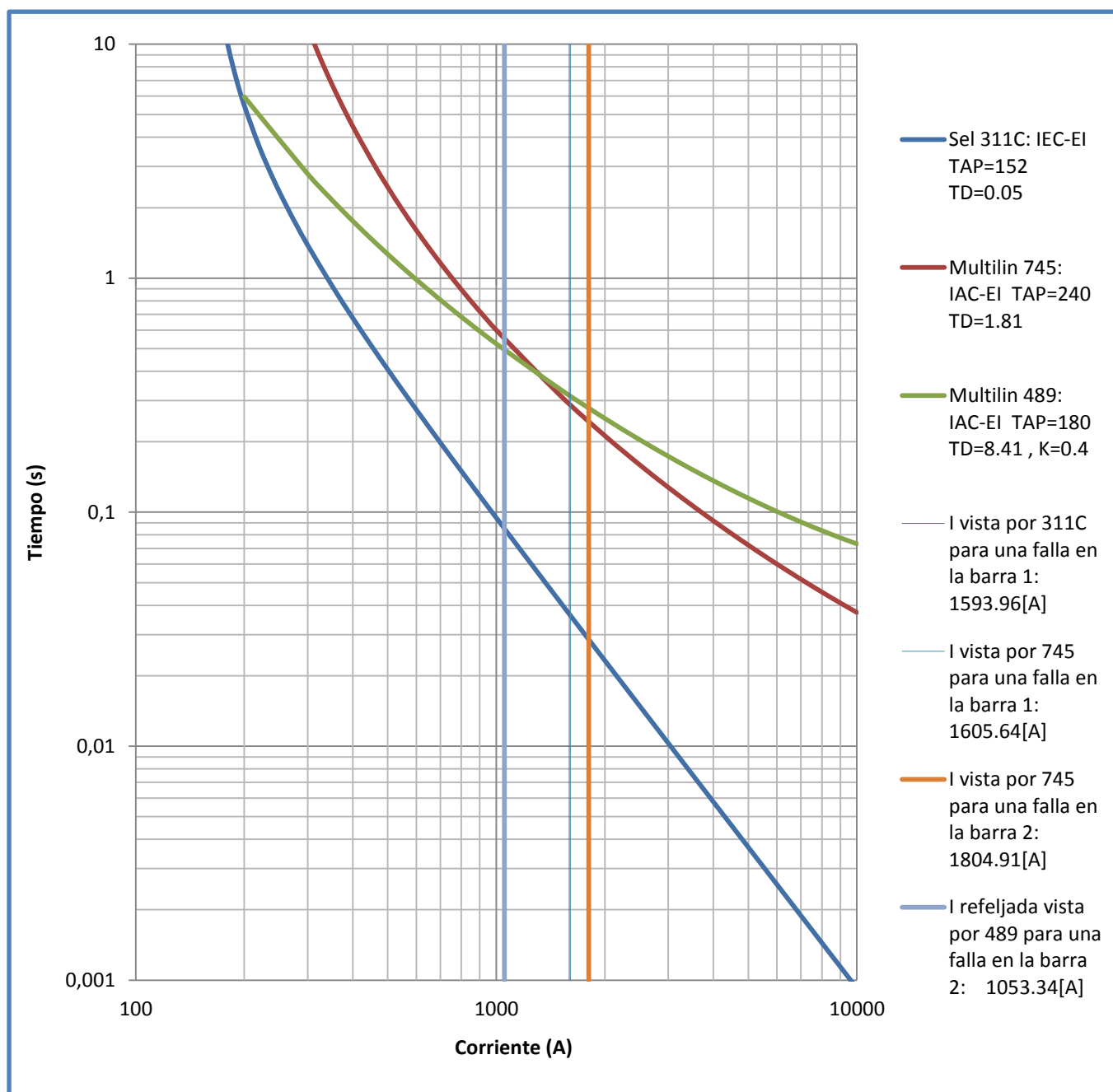


Figura # 4.15: Coordinación de las protecciones del Sel 311C – 745(TPE) – 489(TGE-4).

La figura 4.16 muestra las curvas de operación y coordinación de las protecciones desde el punto de conexión con CNEL-Milagro hasta el TGE-3.

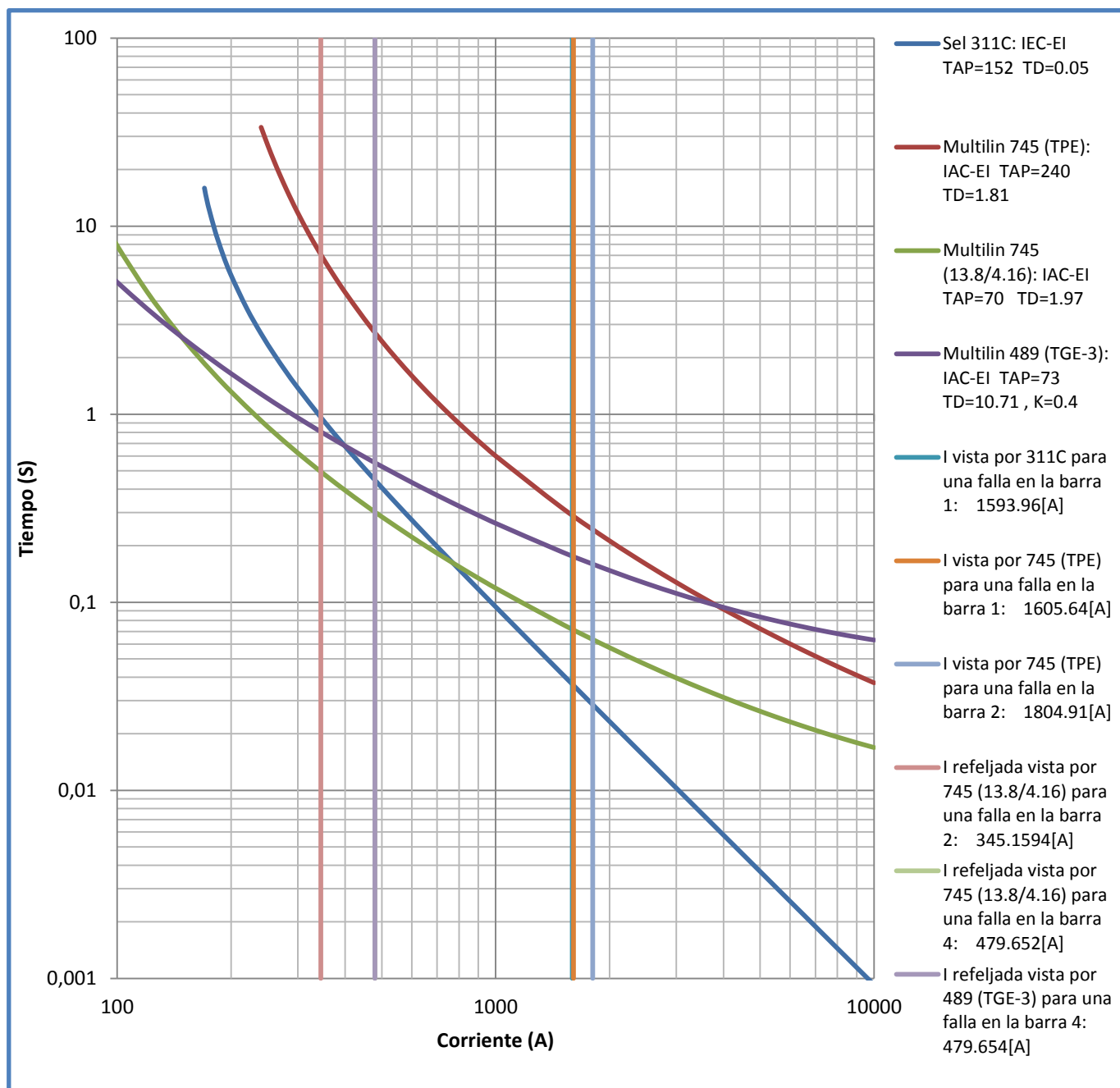


Figura # 4.16: Coordinación de las protecciones del Sel 311C – 745(TPE) – 745(13.8/4.16) - 489(TGE-3).

La figura 4.17 muestra las curvas de operación y coordinación de las protecciones desde el punto de conexión con CNEL-Milagro hasta el TGE-1 y TGE-2.

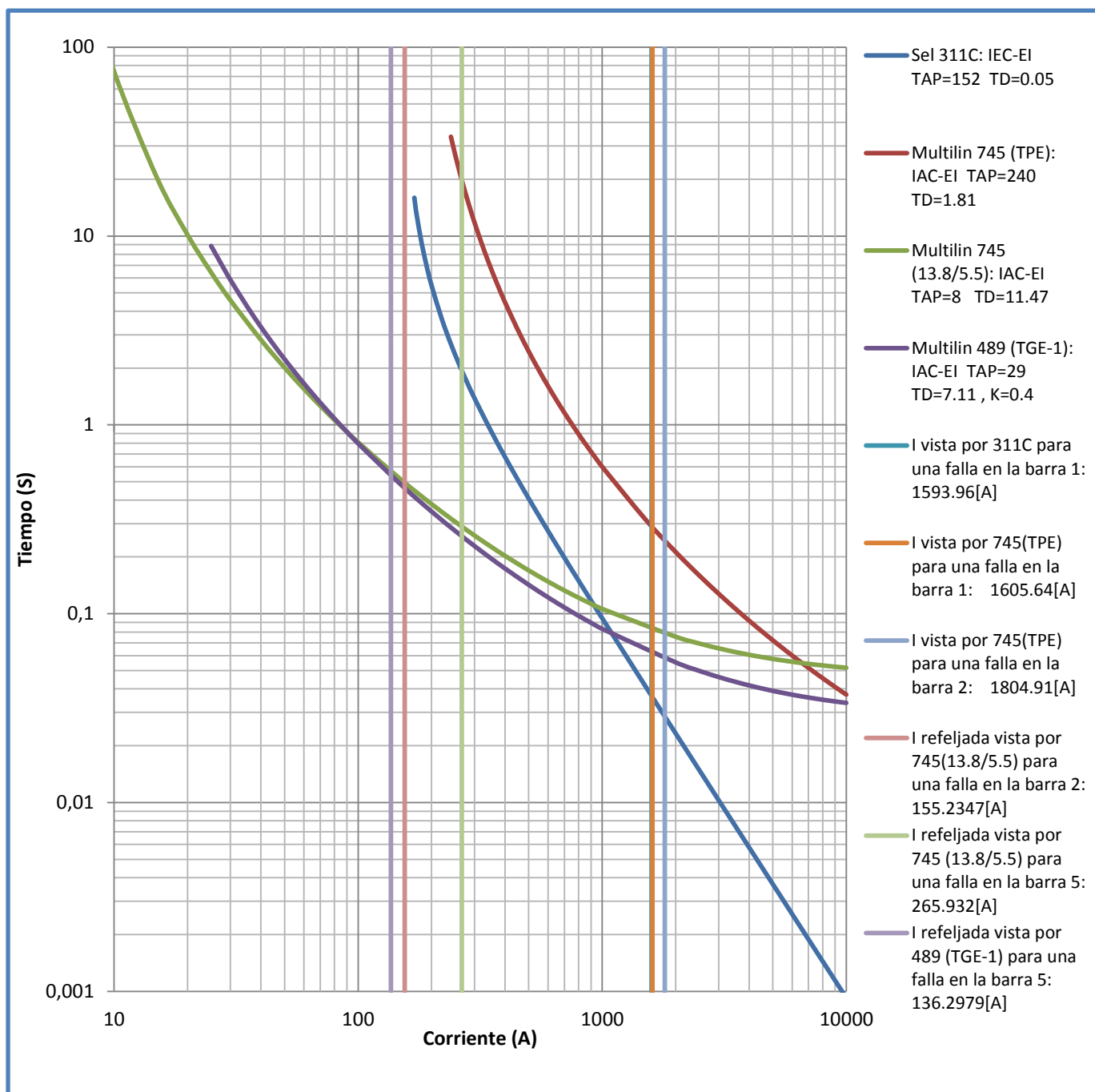


Figura # 4.17: Coordinación de las protecciones del Sel 311C – 745(TPE) – 745(13.8/5.5) - 489(TGE-1 y TGE-2).

La figura 4.18 muestra las curvas de operación y coordinación de las protecciones desde la S/E ECUDOS hasta la barra CCM.

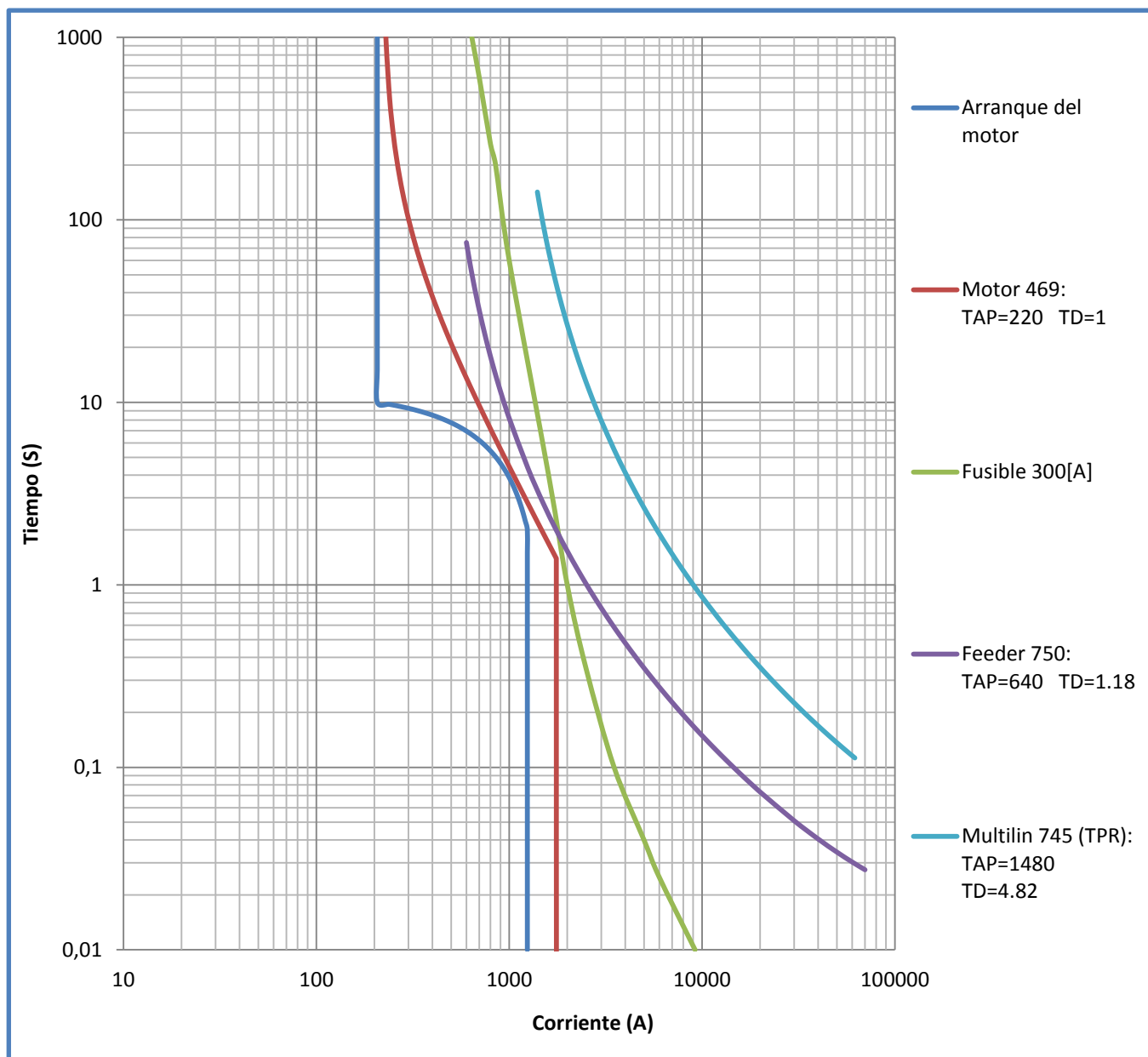


Figura # 4.18: Coordinación de las protecciones del Arranque del motor - 469 – Fusible – 750 – 745(TPR).

4.3 Resumen de Ajustes

Sel 311C		Multilin 745 (TPE)		Multilin 489 (TGE-4)		Multilin 745 (Trafo 13.8/4.16)		Multilin 489 (TGE-3)	
TD:	0.05	TD:	1.81	K:	0.4	TD:	1.97	K:	0.4
Tap:	152	Tap:	240	TD:	8.41			TD:	10.71
Curva:	IEC-EI	Curva:	IAC-EI	Tap:	180	Tap:	70	Tap:	73
		Curva:	IAC-EI	Curva:	IAC-EI	Curva:	IAC-EI	Curva:	IAC-EI

Multilin 745 (Trafo 13.8/5.5)		Multilin 489 (TGE-1)		Motor 469		Feeder 750		Multilin 745 (TPR)	
		K:	0.4	TD:	1	TD:	2.74	TD:	5.49
TD:	11.47	TD:	7.11						
Tap:	8	Tap:	29	Tap:	220	Tap:	640	Tap:	1480
Curva:	IAC-EI	Curva:	IAC-EI	Curva:	IAC-EI	Curva:	IAC-EI	Curva:	IAC-EI

Tabla 4.1: Ajustes de los Relés

4.4 Conclusiones y Recomendaciones

- Las coordinaciones fueron realizadas tomando en cuenta la corriente de falla máxima en cada barra que para nuestro caso todas se dieron para la falla trifásica excepto en la barra de 69 [Kv] en la cual la falla máxima se dio para la de línea a tierra.
- La coordinación debe realizarse para un mismo nivel de voltaje, que en nuestro caso el aporte de los generadores a la corriente de falla, para fallas aguas arriba del transformador de envío

(TPE), tuvieron que transformarse a un nivel de voltaje de 69 [Kv].

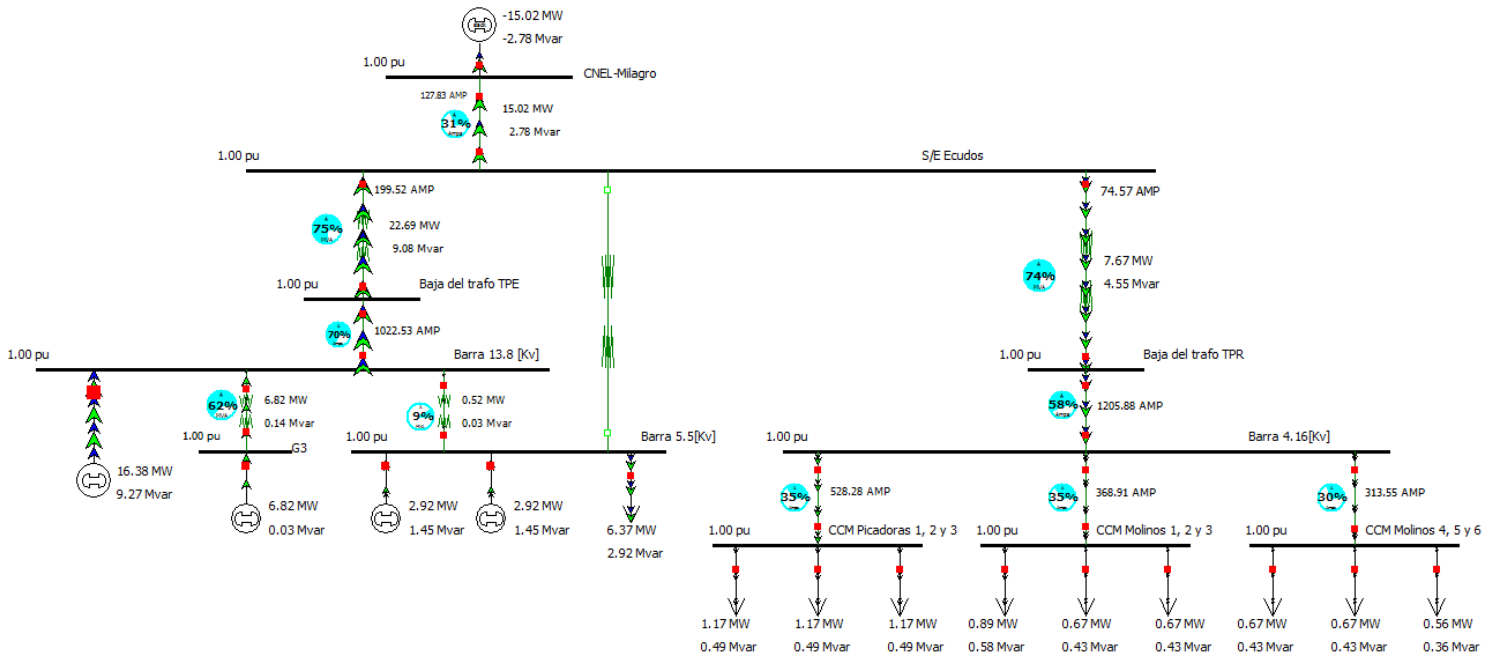
- El relé Sel 311C deberá ser ajustado el direccional (67) para que cense corrientes de falla externas a la barra de 69 [Kv].
- En la protección de los motores se observa que el relé 750 es redundante con la protección de sobrecorriente 745 (TPR) y los fusibles para la protección de motores.
- Se escogió dimensionar el fusible, para los motores, a un valor de 300 [A], ya que encaja en la coordinación con el 469 y el 750 para corrientes mayores a 7 veces la corriente nominal del motor.
- En el relé 469 se ajusto su instantáneo (50) para valores mayores a 8 veces el tap, ya que en la curva del relé para valores mayores de corriente el tiempo se vuelve constante, entonces para evitar cualquier descoordinación se decidió ajustarlo con instantáneo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

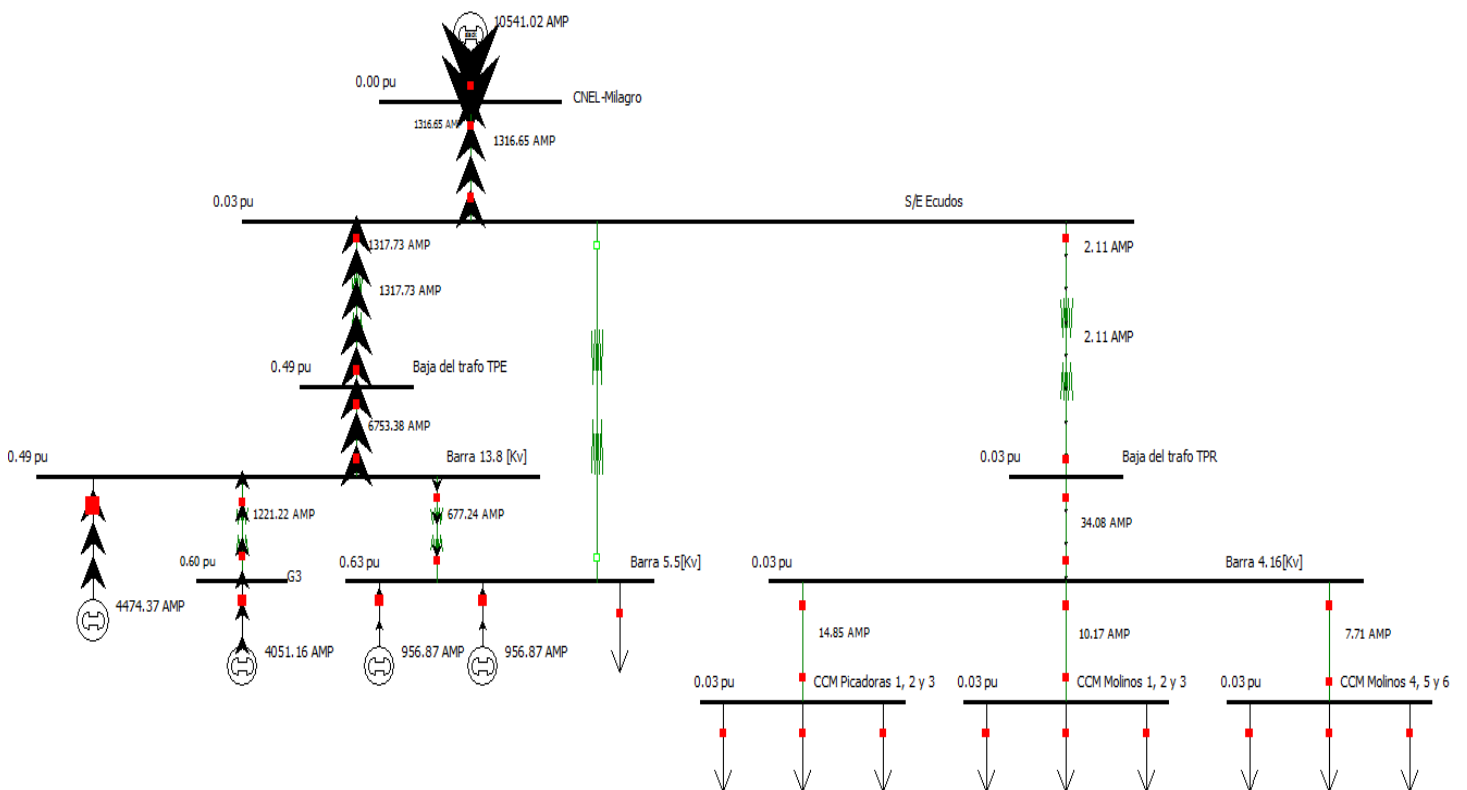
- 1) Se dedujo que la corriente de falla y las corrientes que aportan a la misma se hacen cada vez mayores cuando la falla está cercana a la barra de generación ya que con esto se reduce el valor de la impedancia desde la generación hasta el punto de falla.
- 2) Se deben tener en cuenta todos los parámetros necesarios de líneas, transformadores, generadores y de los distintos tipos de aterrizamiento del sistema para obtener un estudio lo más cercano posible a lo real, para con ello poder tomar decisiones sobre las protecciones del sistema y su coordinación.
- 3) Para los ajustes de cada uno de los relés se consideró las recomendaciones dadas por los fabricantes, tomadas de cada uno de sus respectivos manuales.

ANEXOS

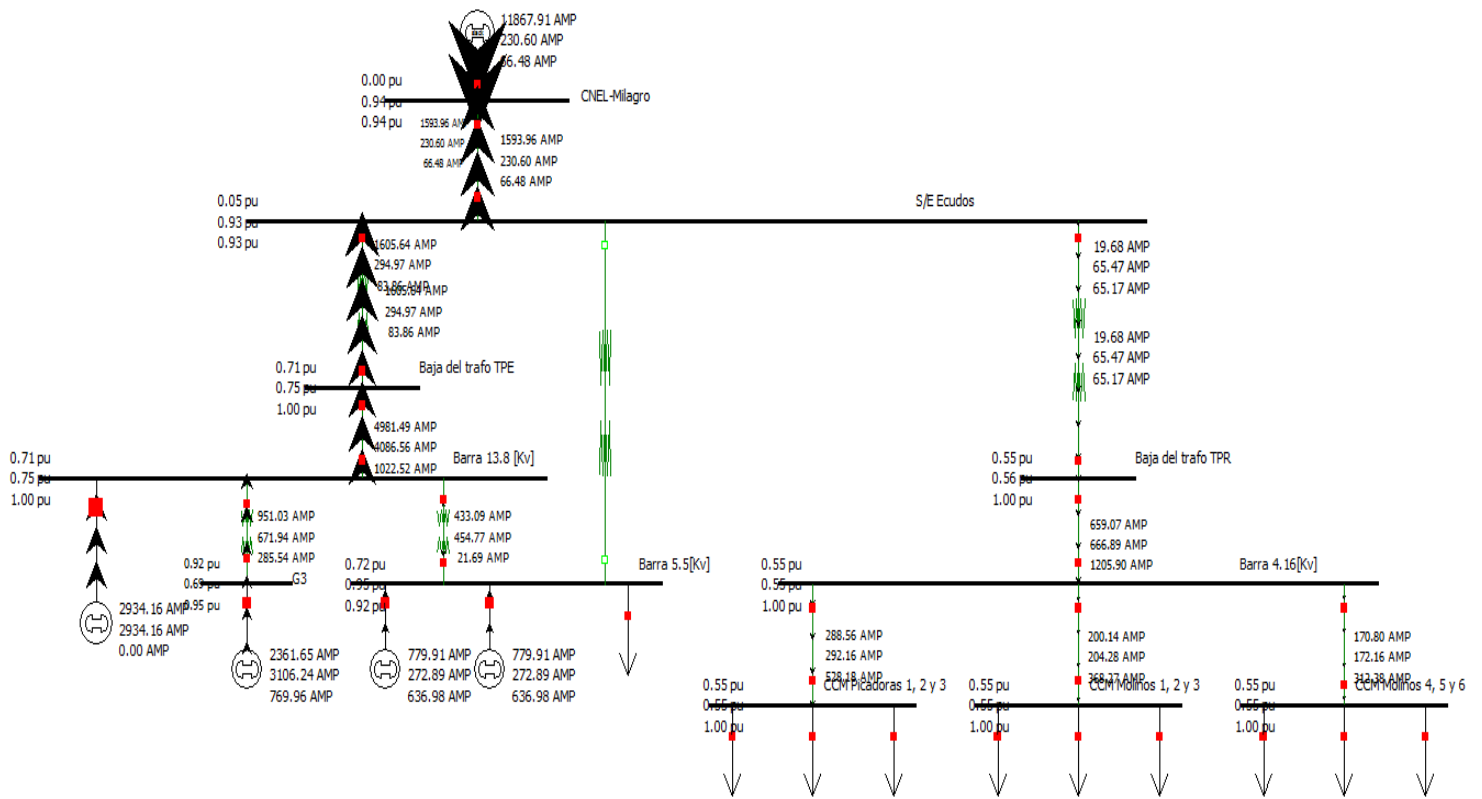
ANEXO 2.1: Flujo de Carga de Caso Base



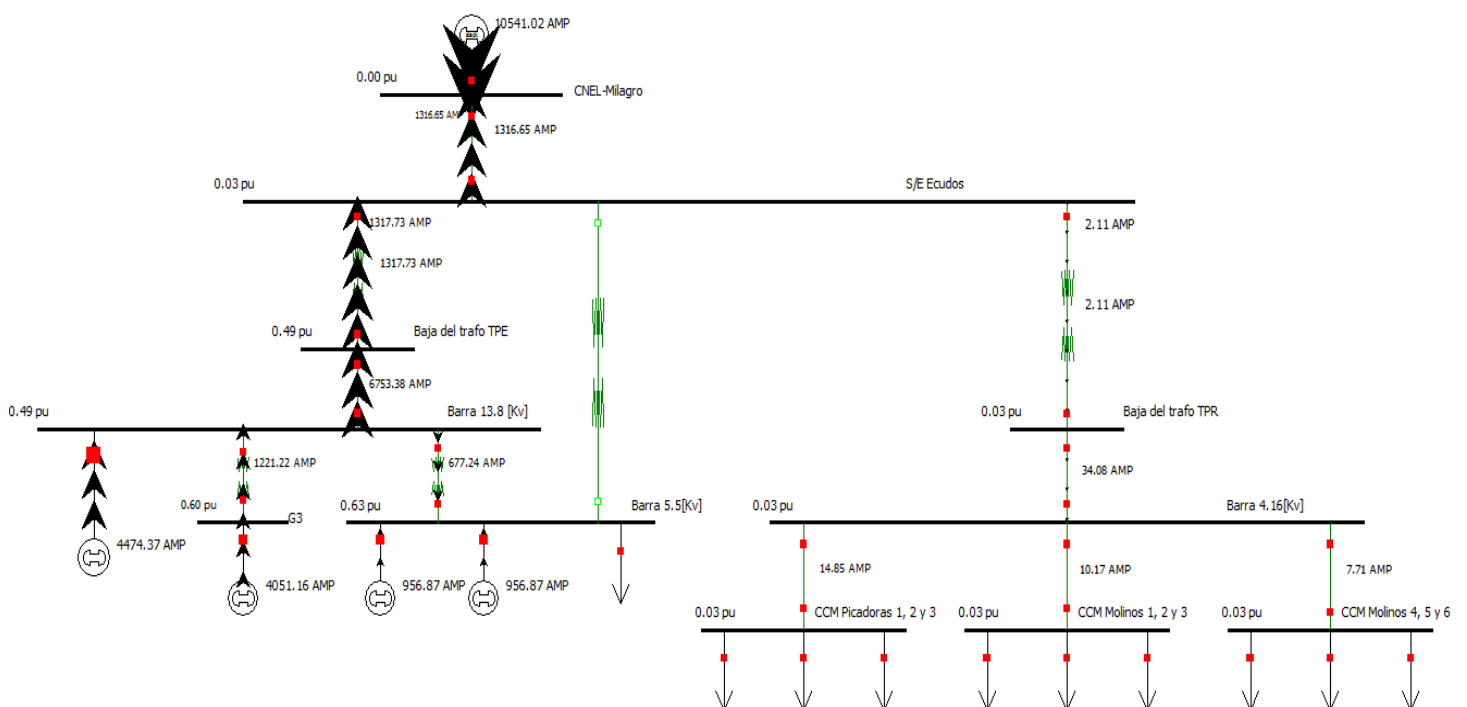
ANEXO 3.1: Falla Trifásica en Barra 1



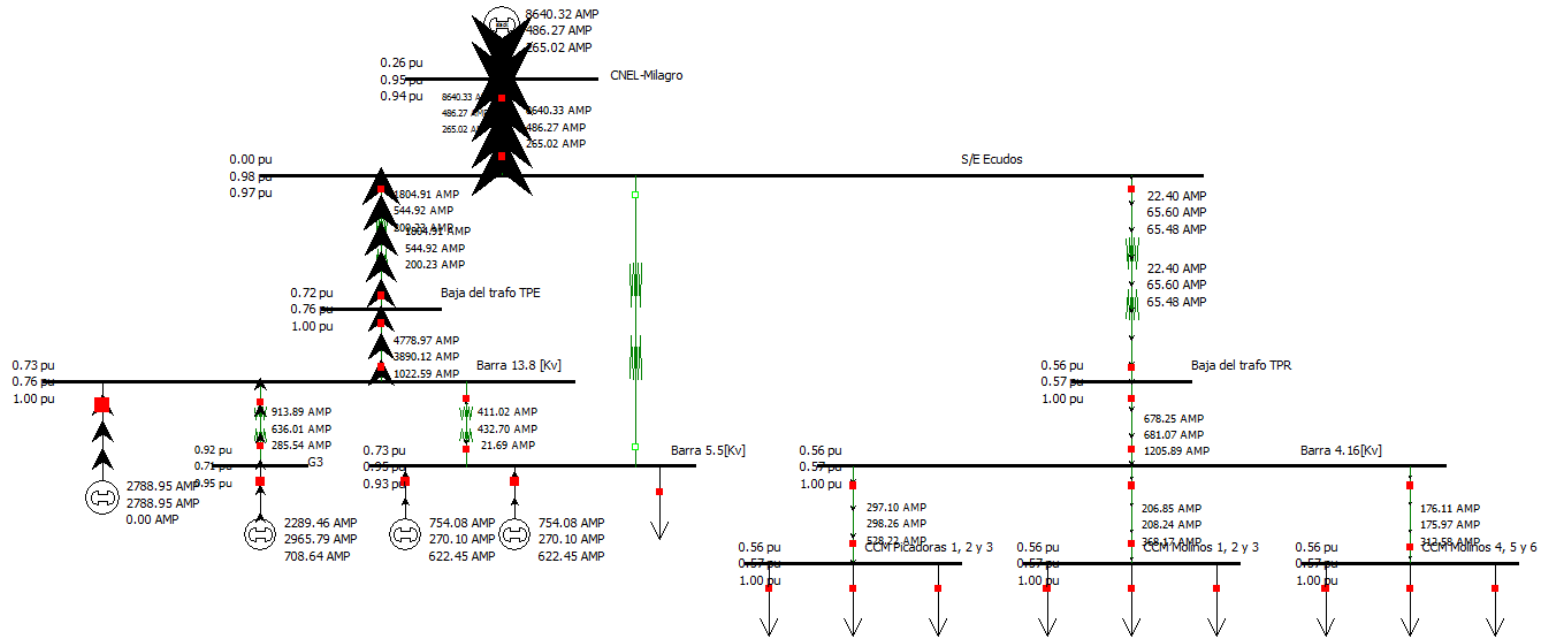
ANEXO 3.2: Falla Monofásica en Barra 1



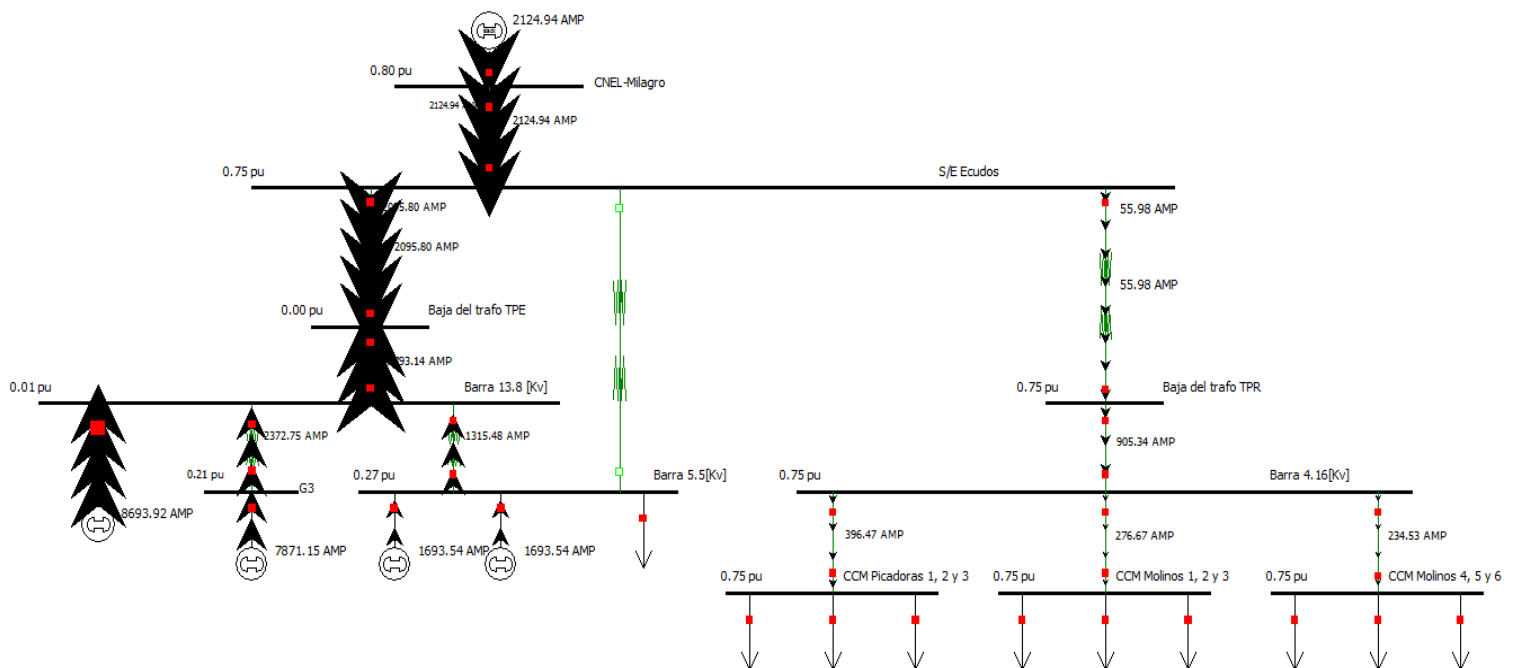
ANEXO 3.3: Falla Trifásica en Barra 2



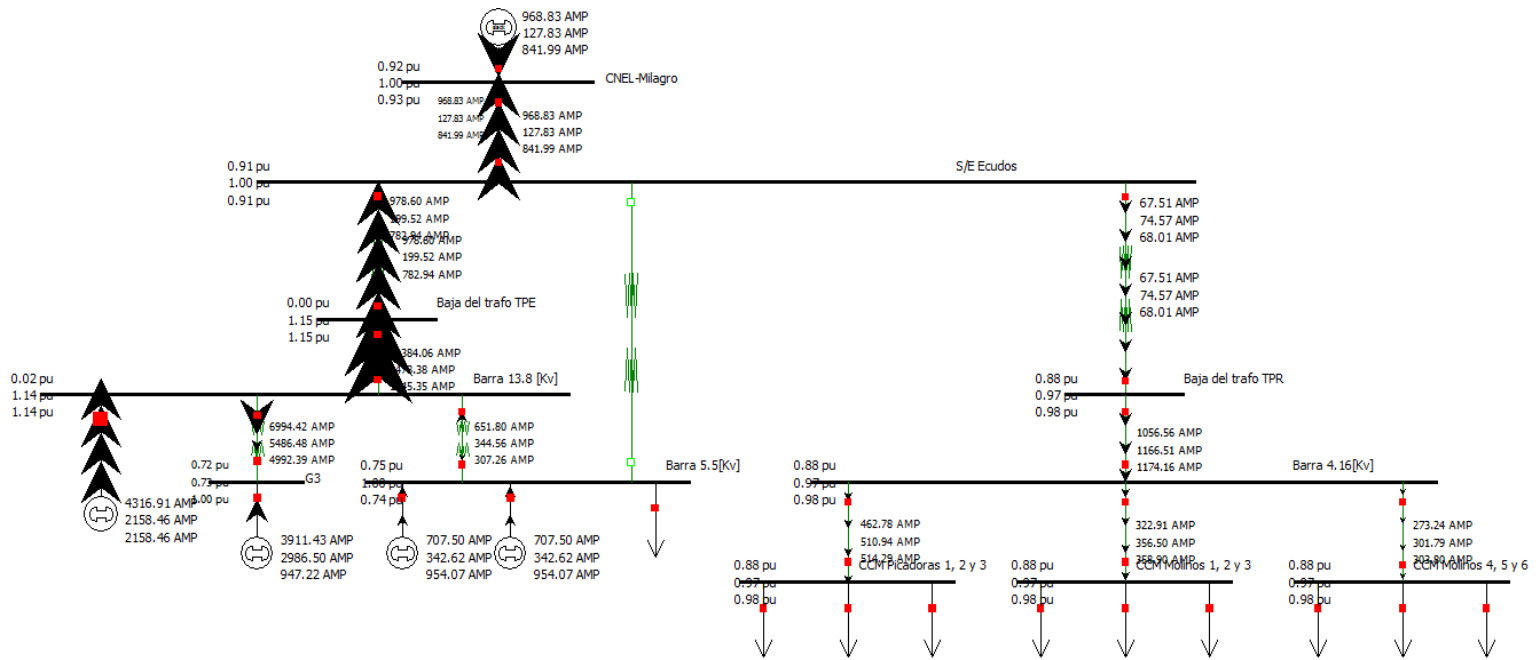
ANEXO 3.4: Falla Monofásica en Barra 2



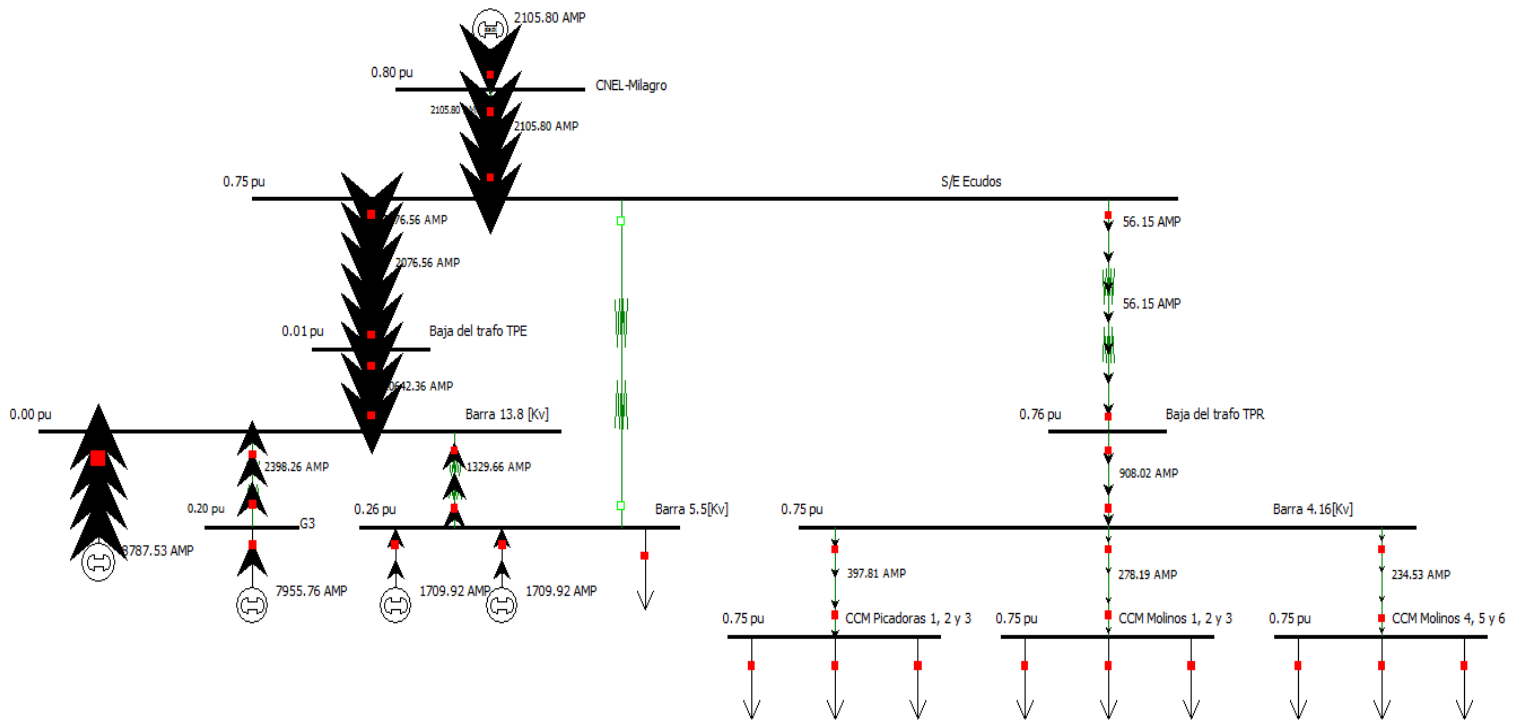
ANEXO 3.5: Falla Trifásica en Barra 3



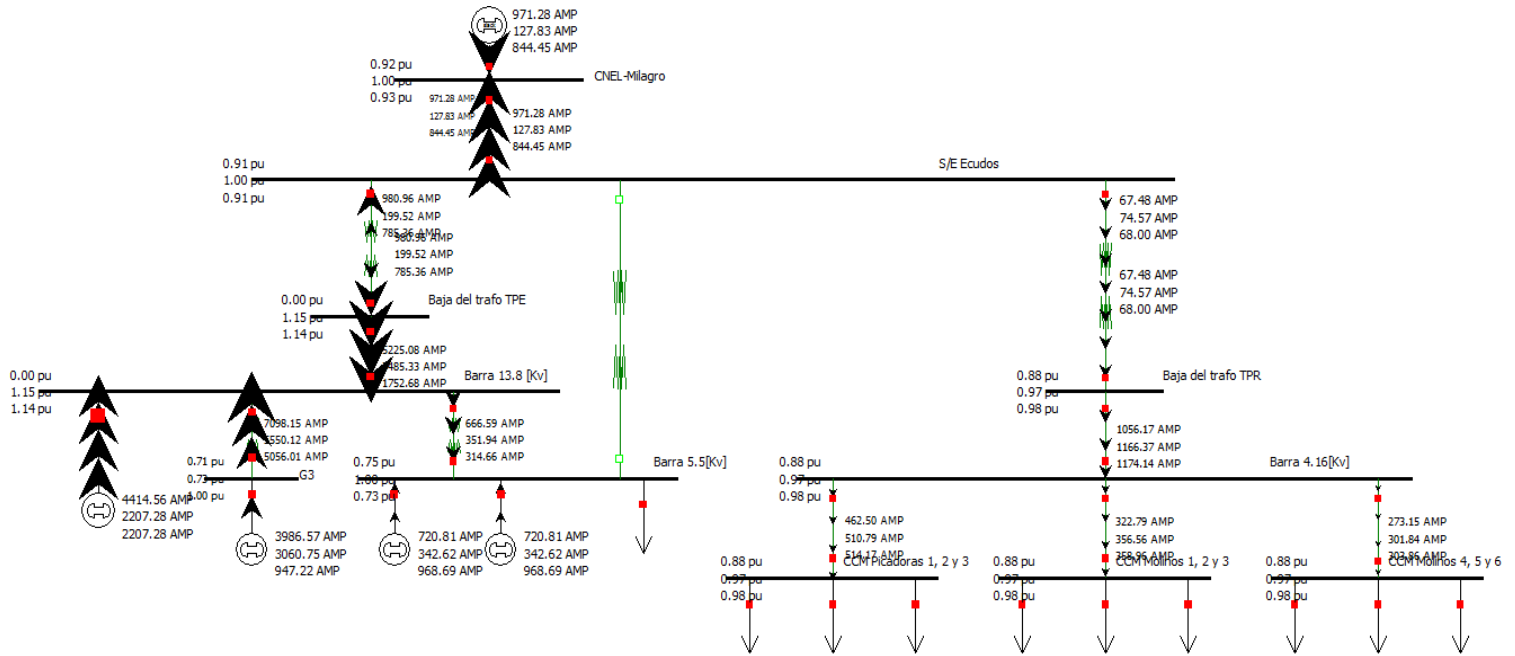
ANEXO 3.6: Falla Monofásica en Barra 3



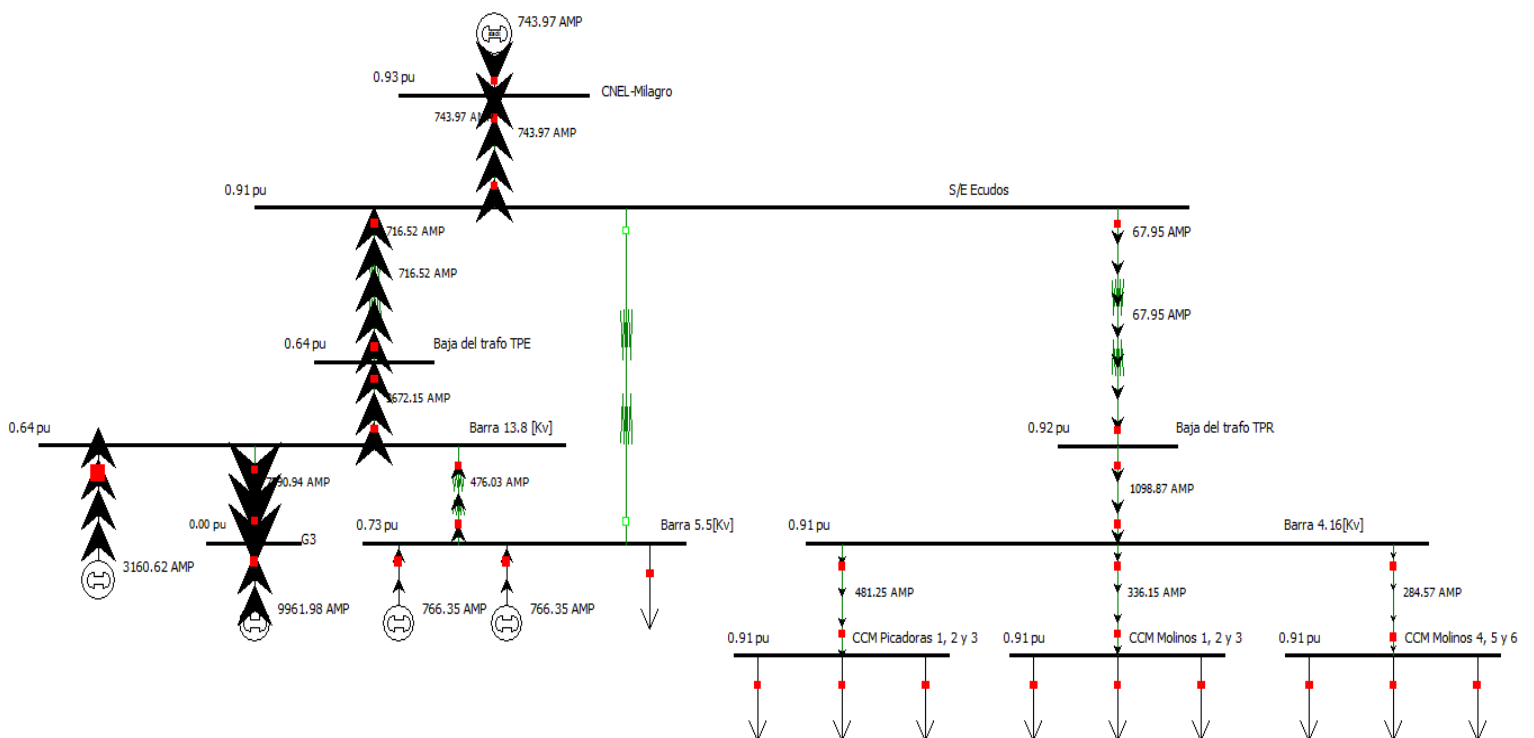
ANEXO 3.7: Falla Trifásica en Barra 4



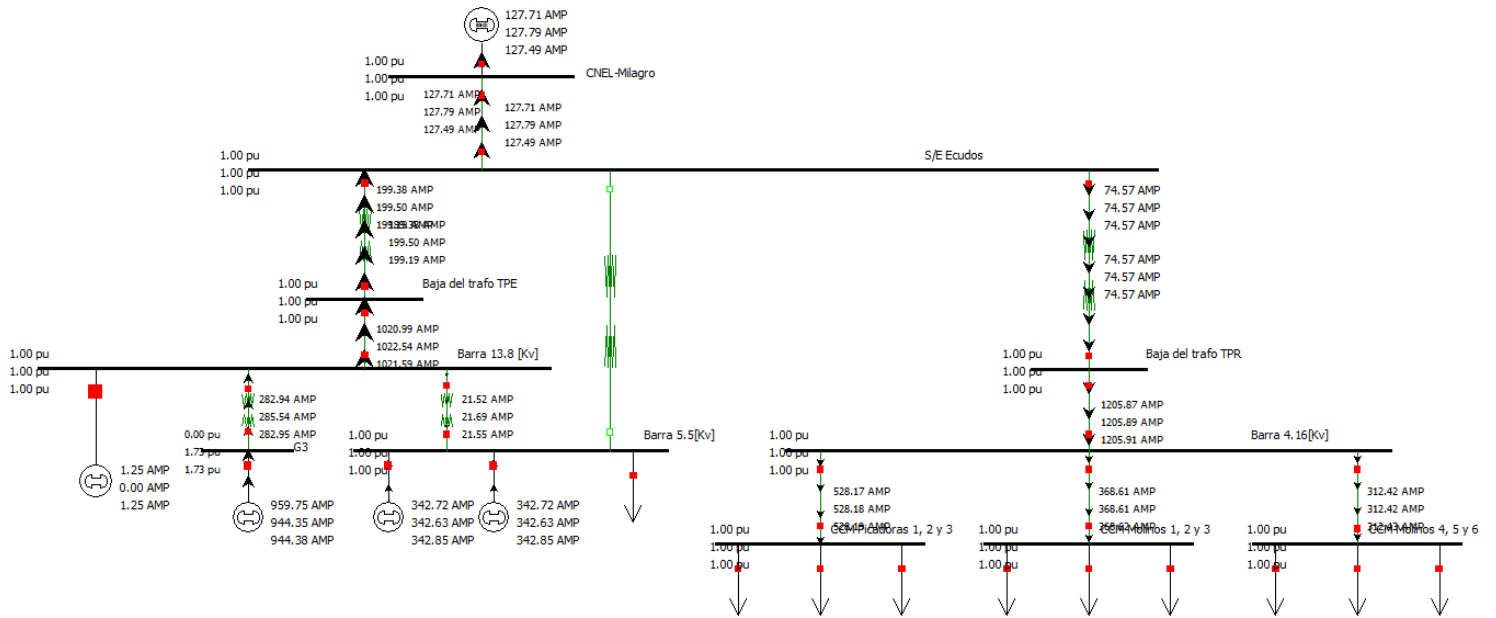
ANEXO 3.8: Falla Monofásica en Barra 4



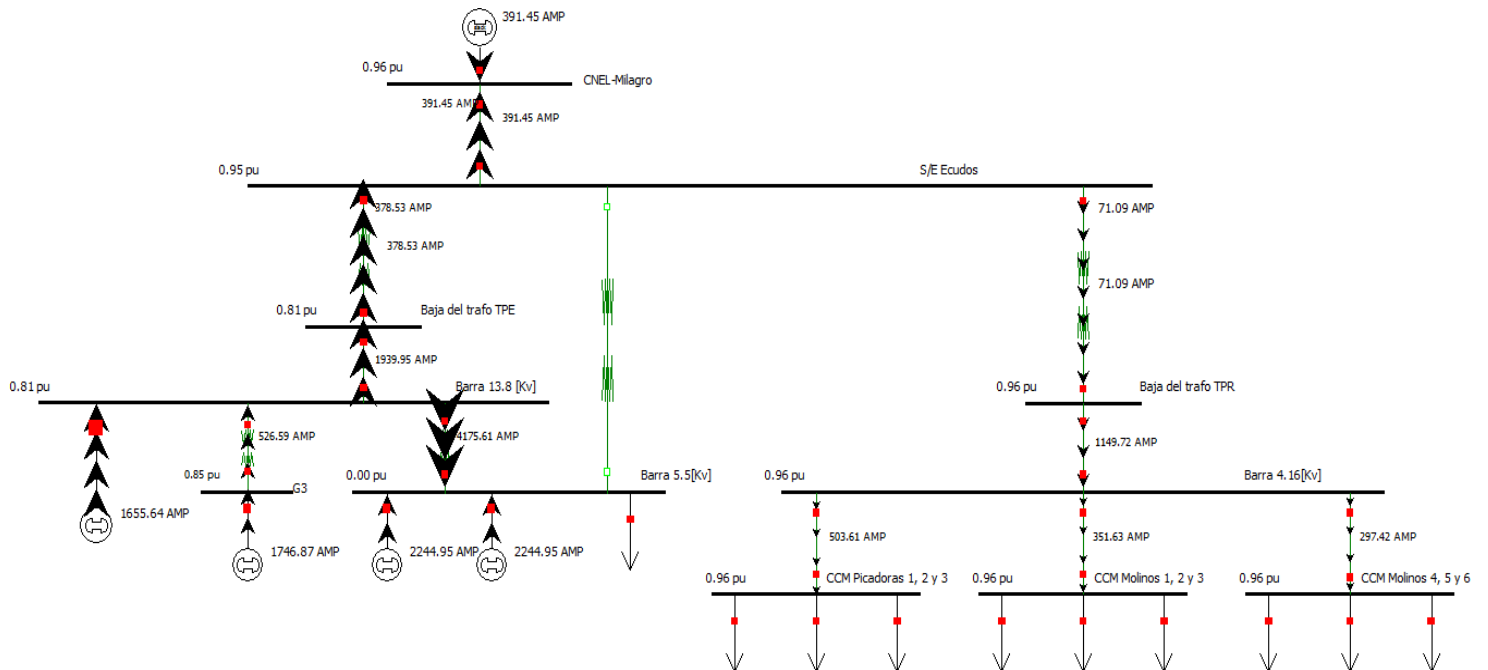
ANEXO 3.9: Falla Trifásica en Barra 5



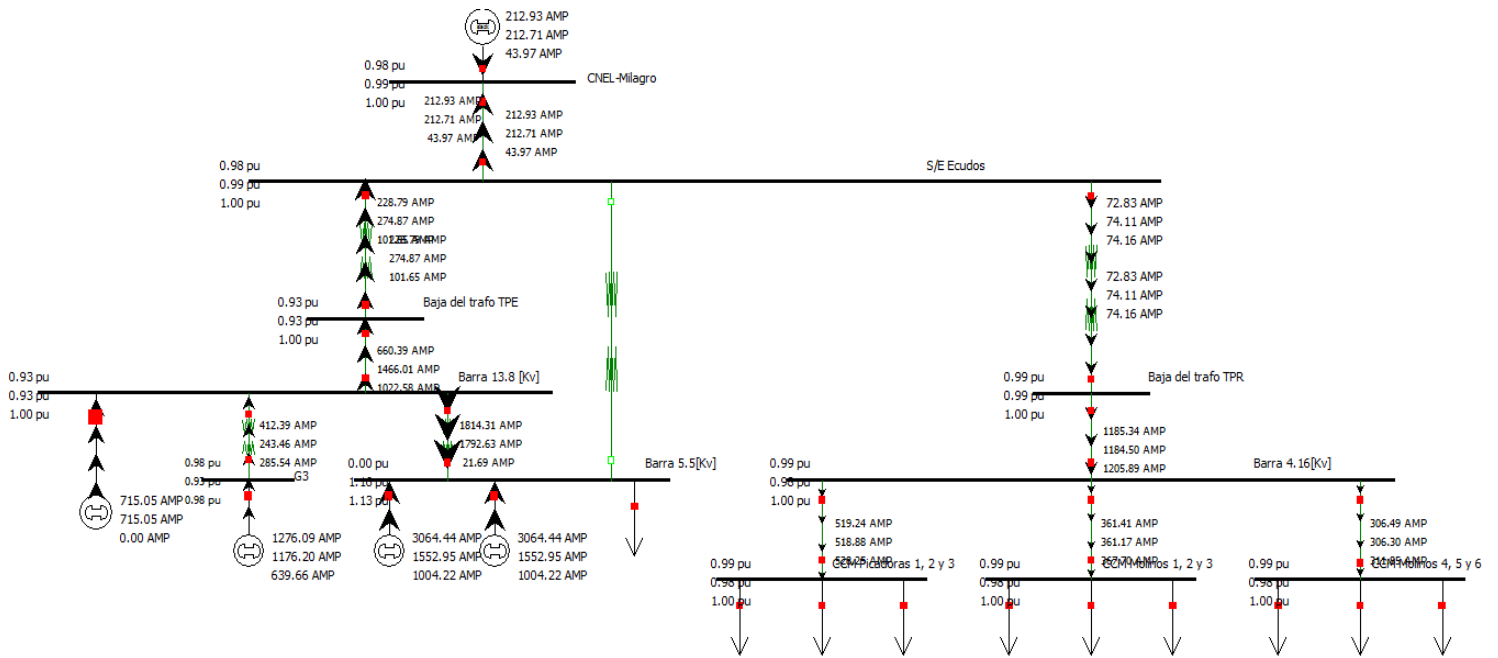
ANEXO 3.10: Falla Monofásica en Barra 5



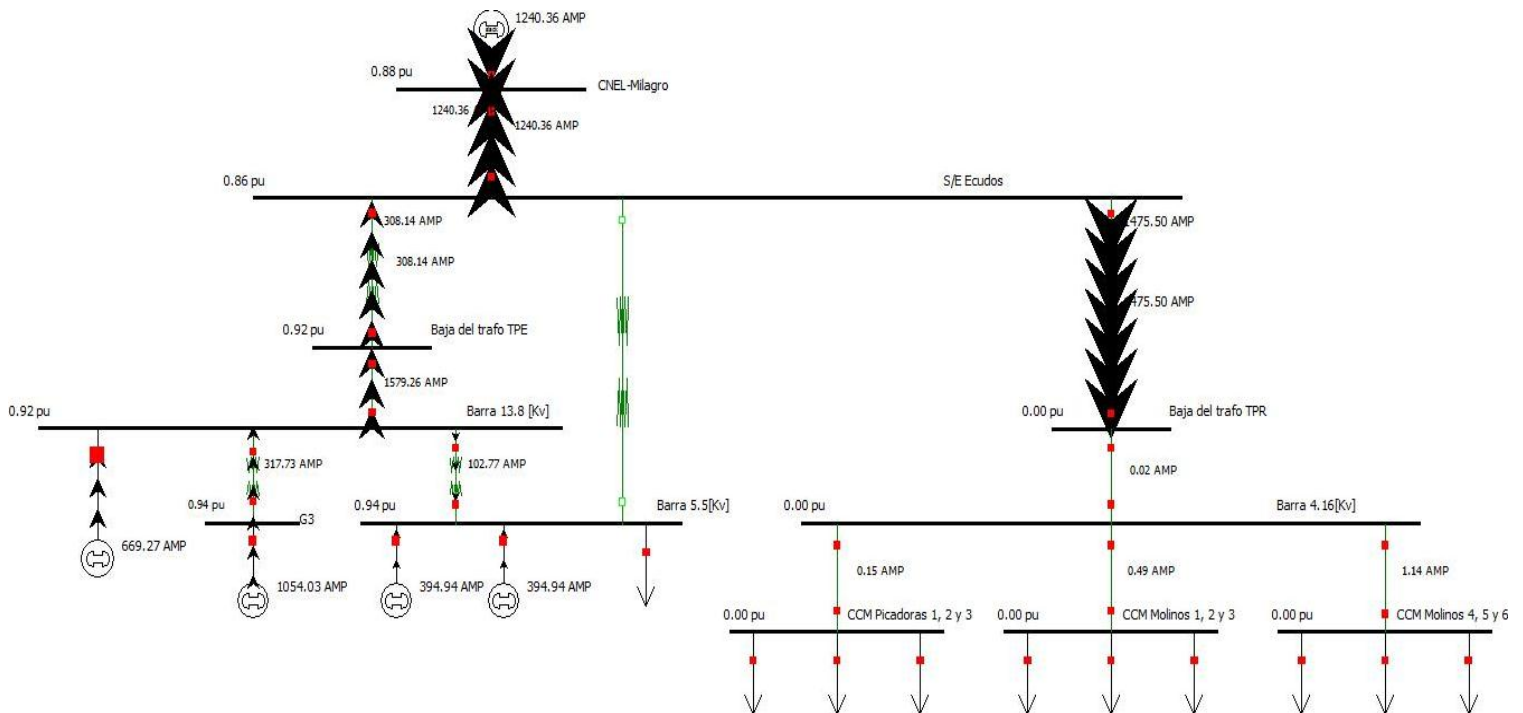
ANEXO 3.11: Falla Trifásica en Barra 6



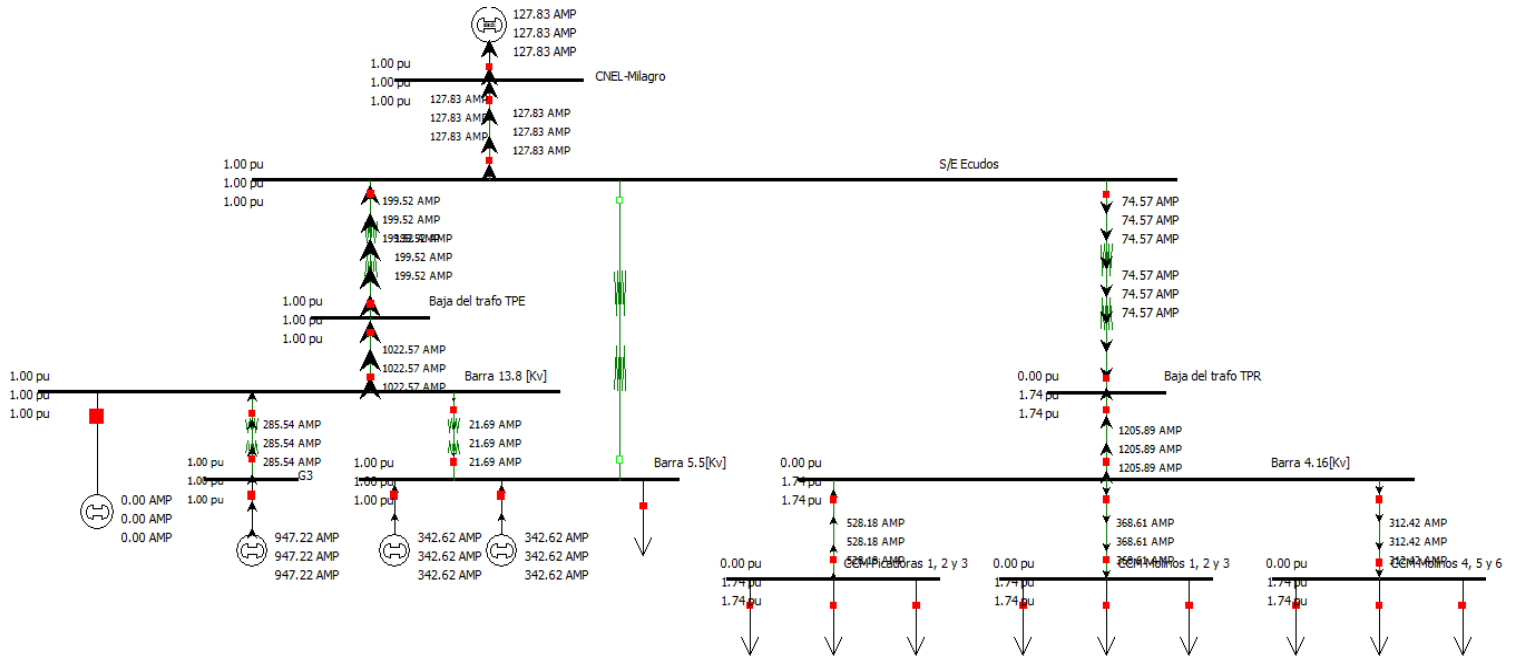
ANEXO 3.12: Falla Monofásica en Barra 6



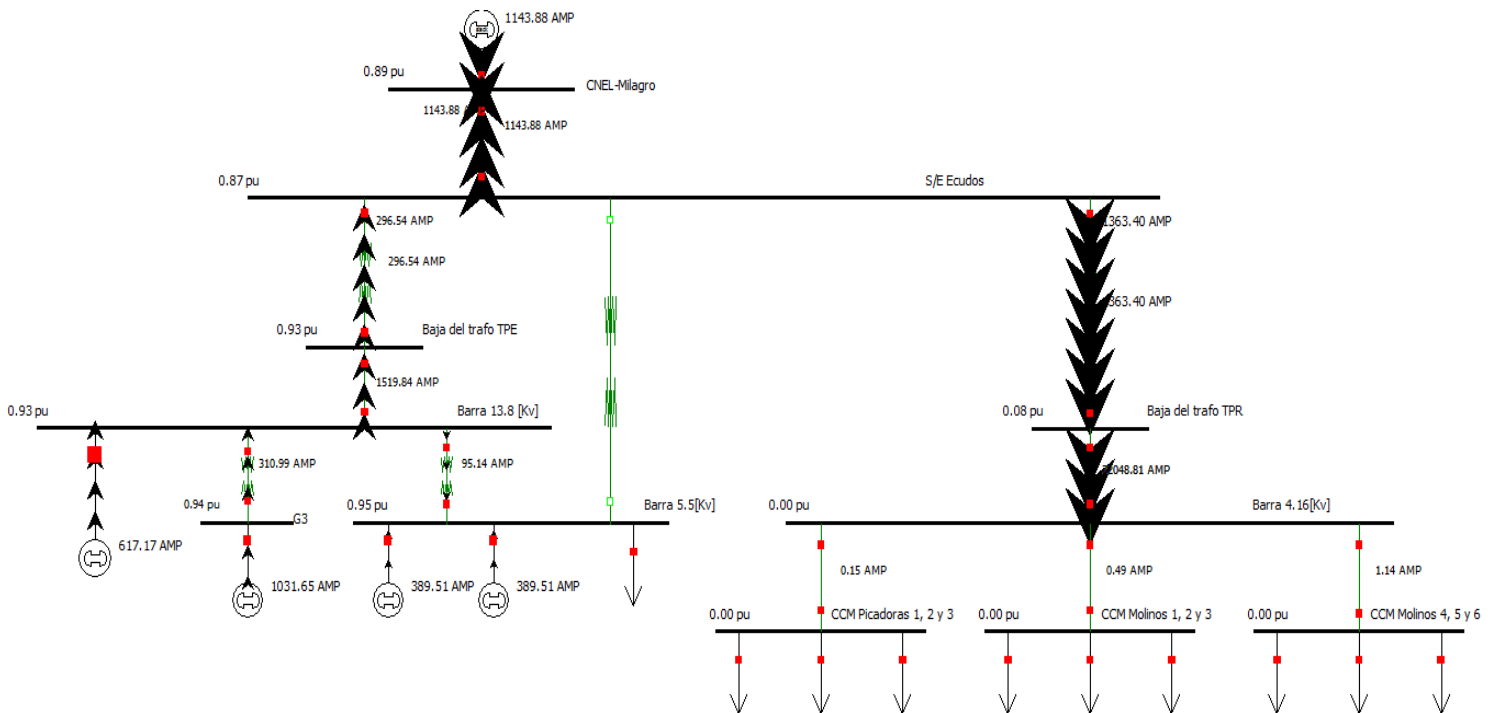
ANEXO 3.13: Falla Trifásica en Barra 7



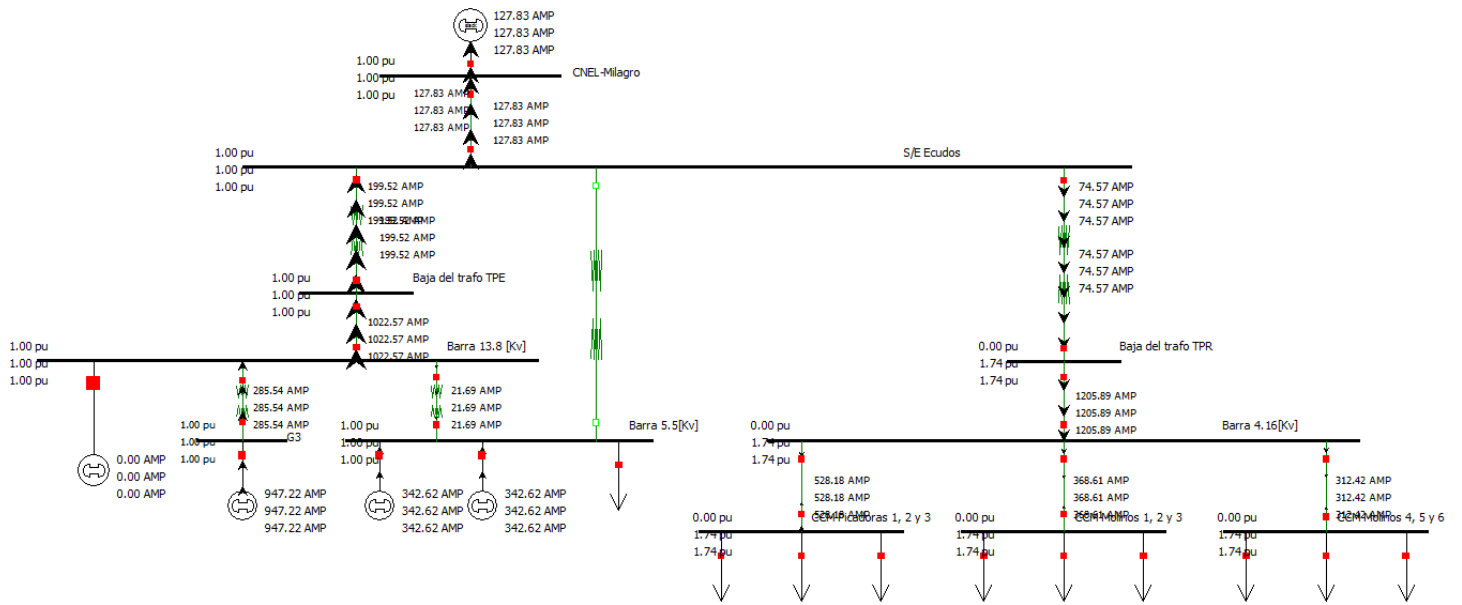
ANEXO 3.14: Falla Monofásica en Barra 7



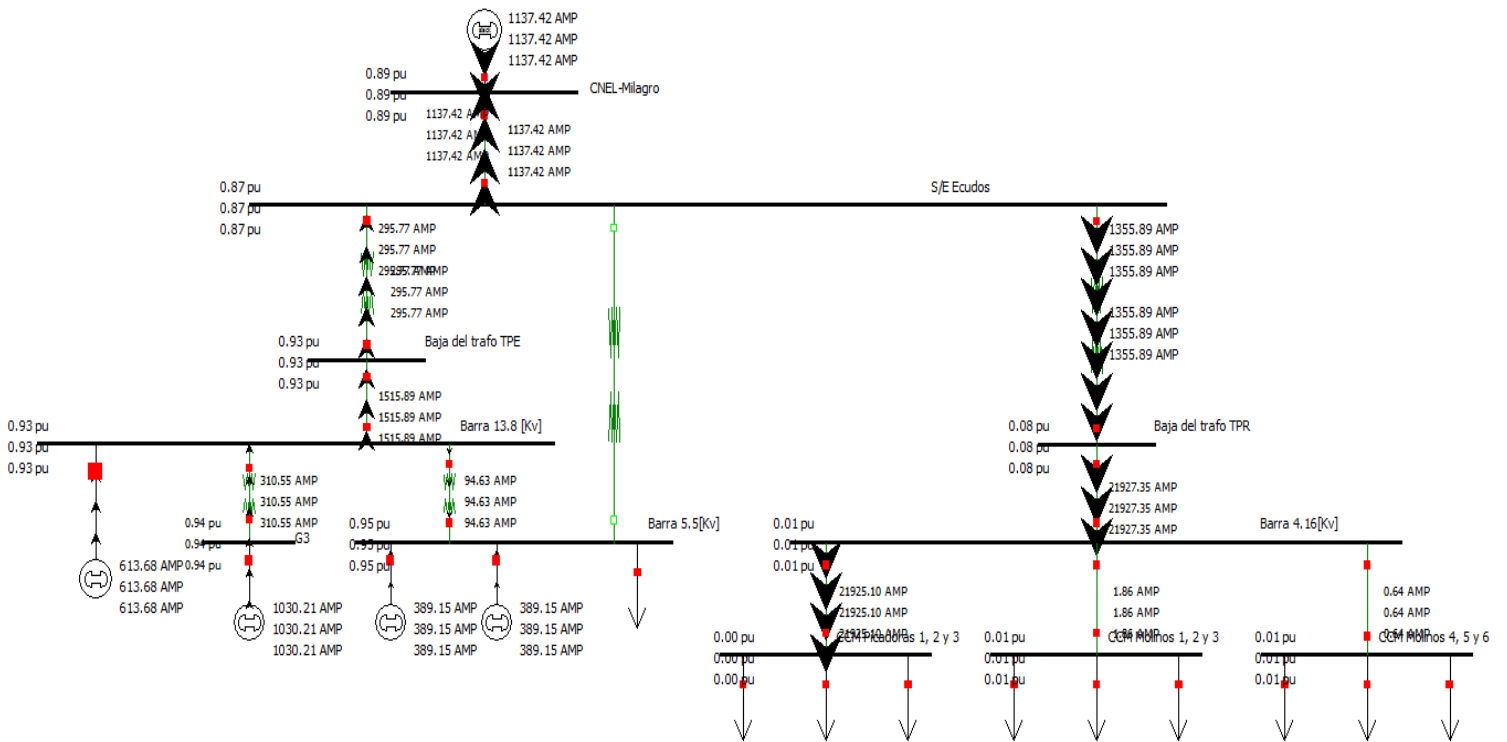
ANEXO 3.15: Falla Trifásica en Barra 8



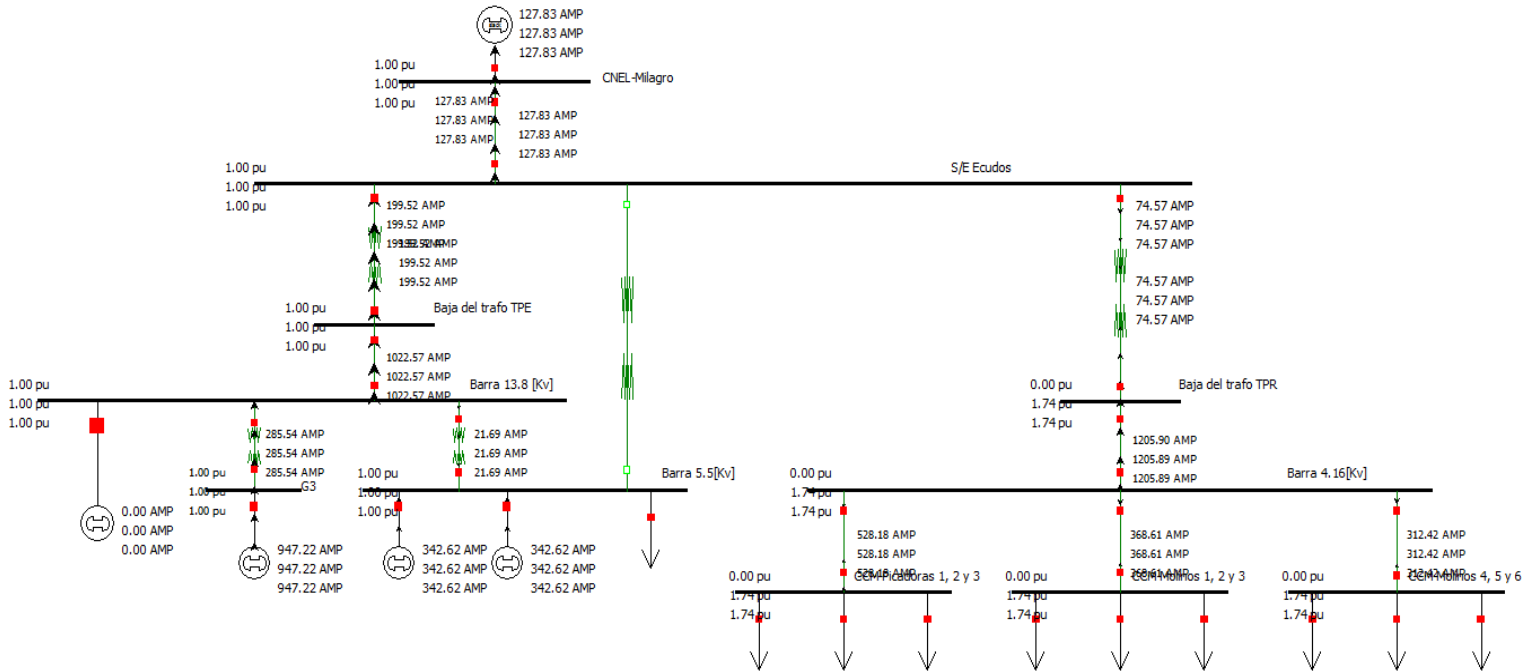
ANEXO 3.16: Falla Monofásica en Barra 8



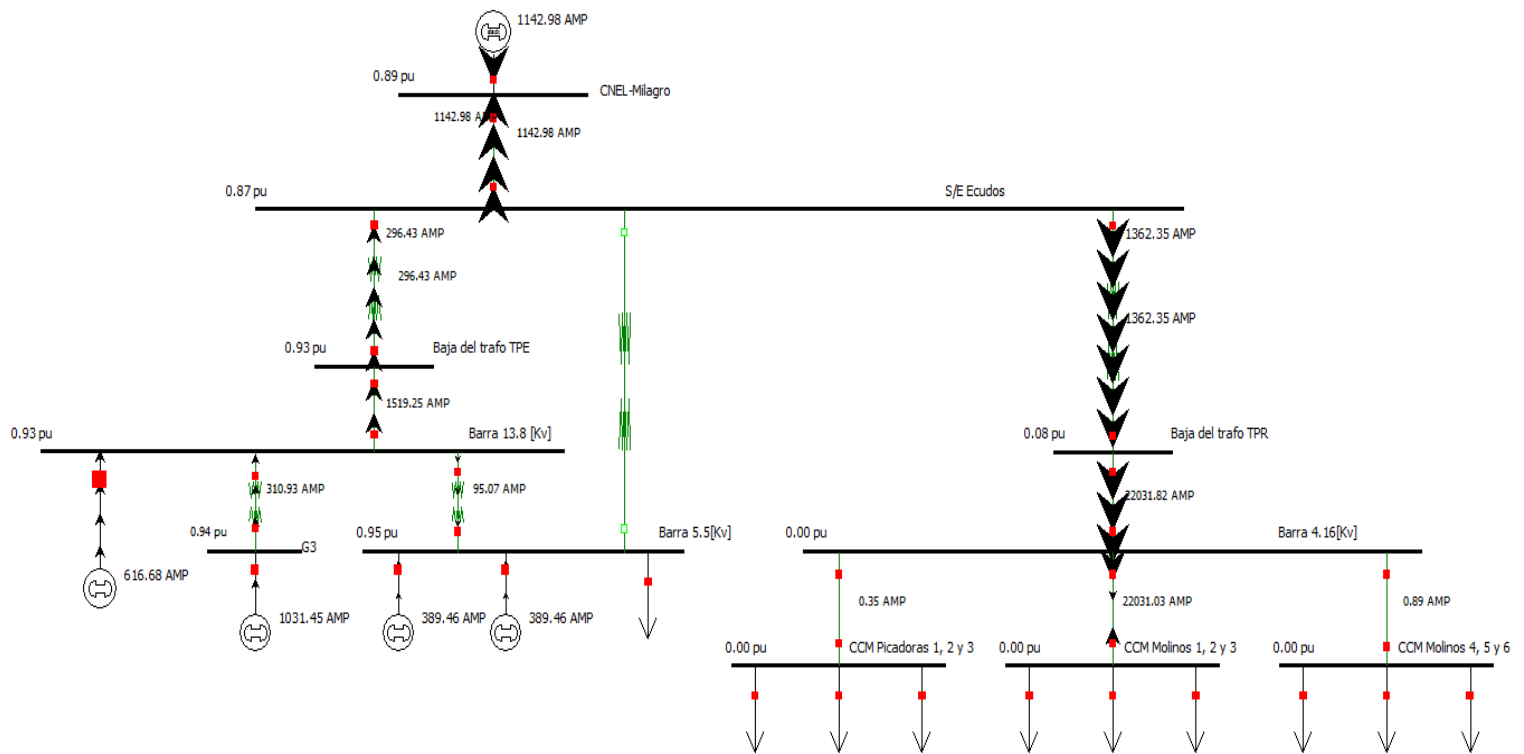
ANEXO 3.17: Falla Trifásica en Barra 9



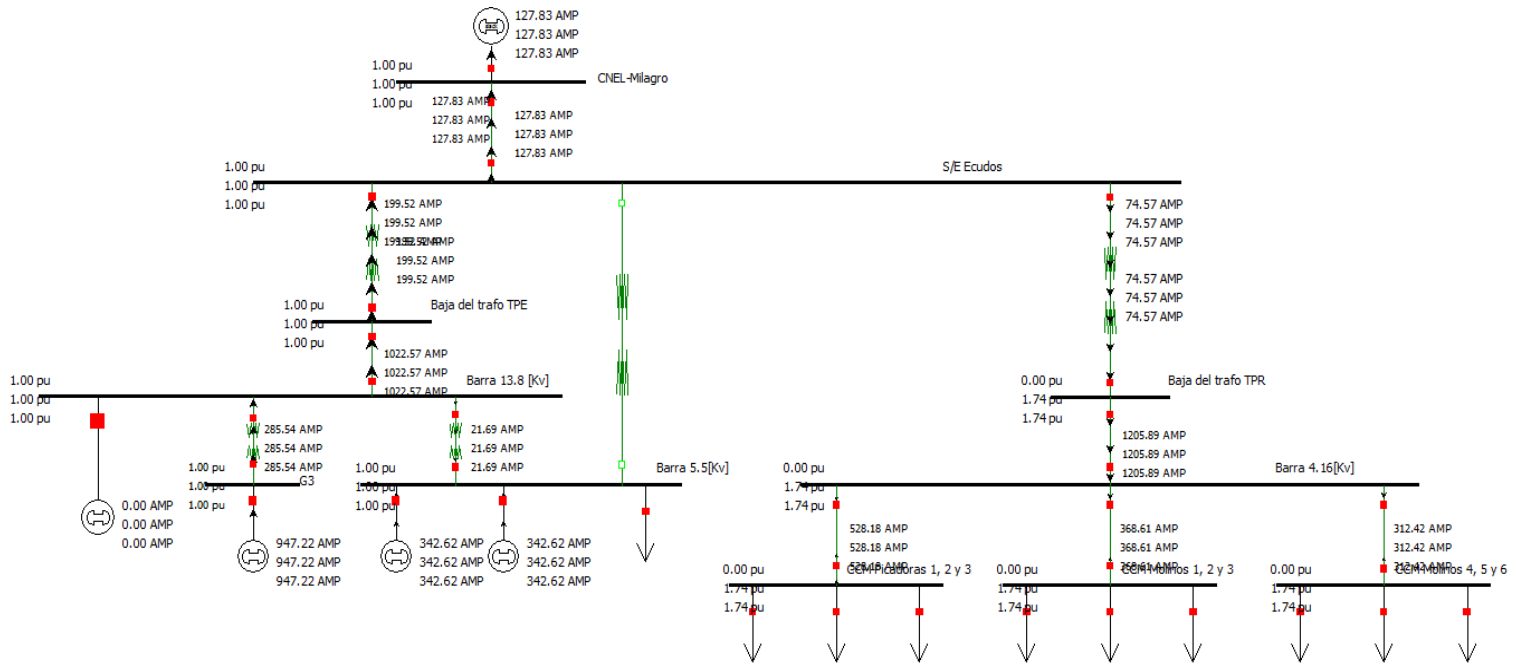
ANEXO 3.18: Falla Monofásica en Barra 9



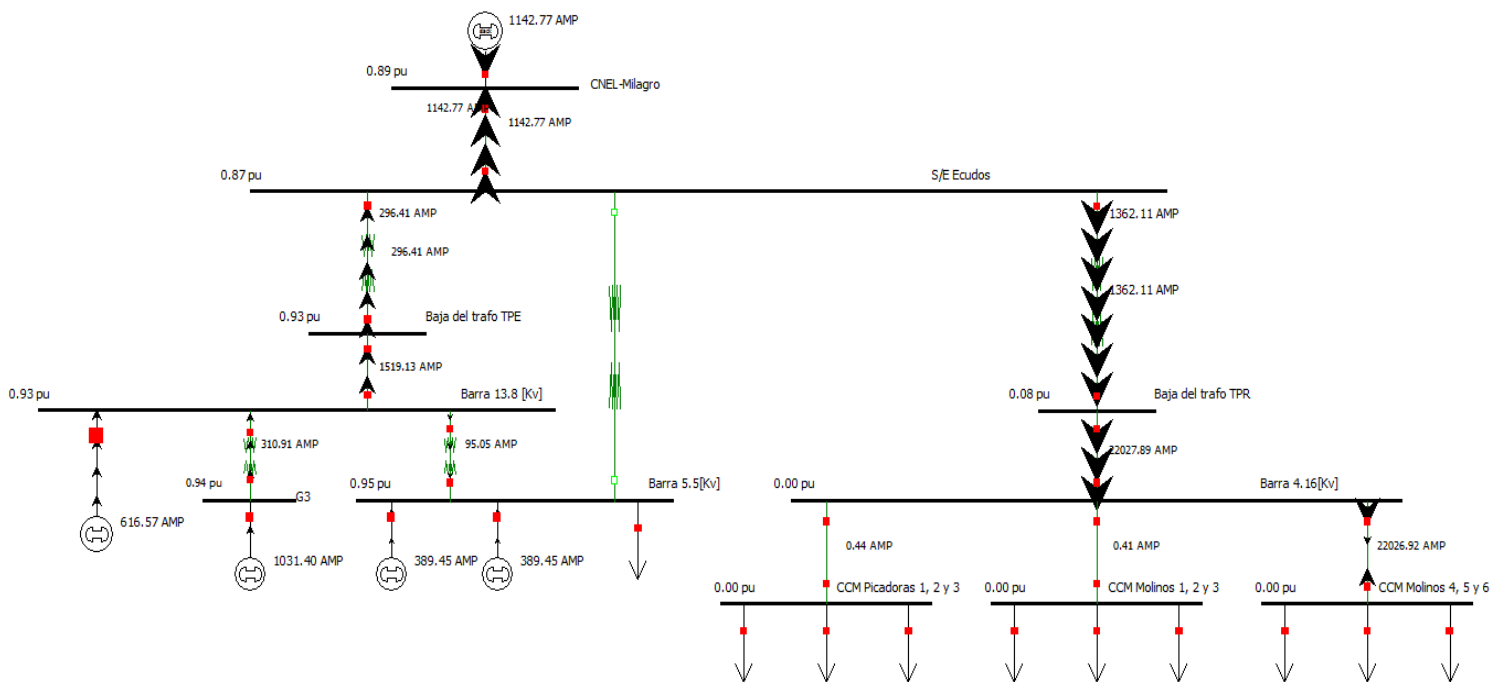
ANEXO 3.19: Falla Trifásica en Barra 10



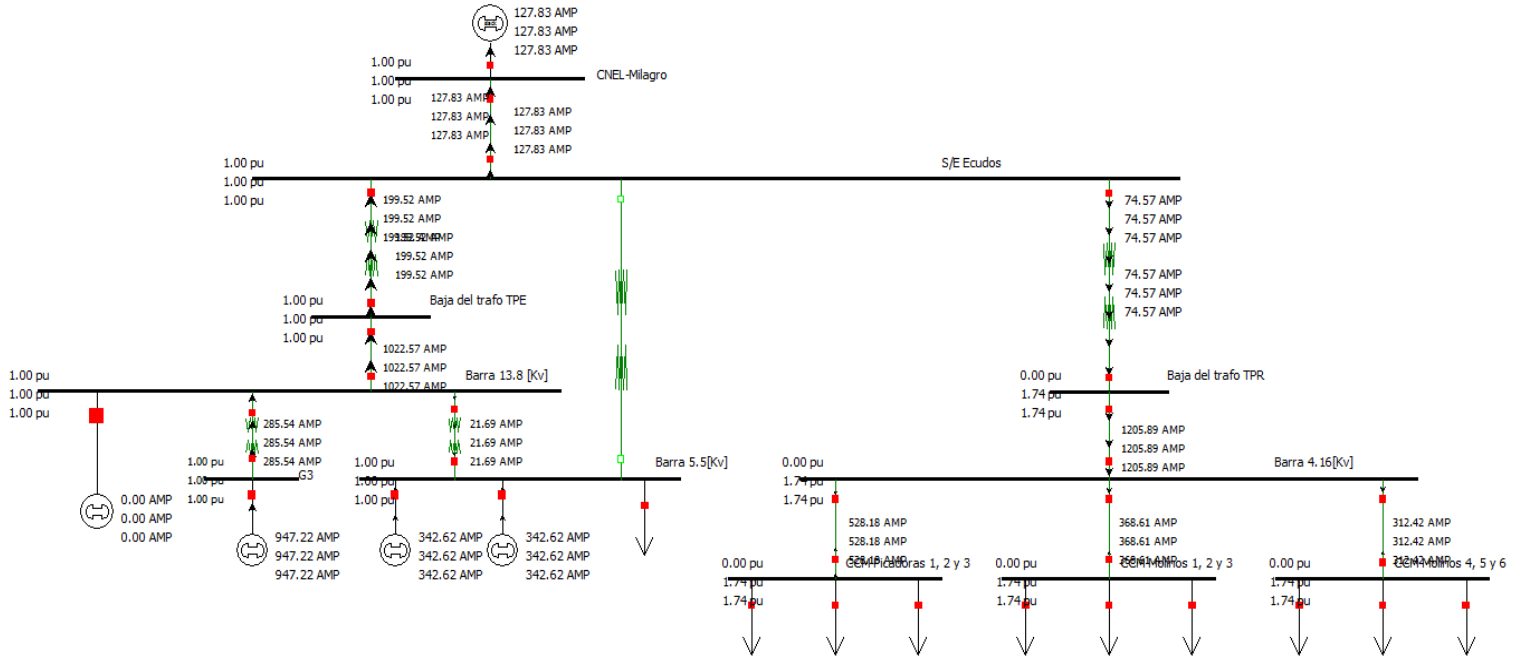
ANEXO 3.20: Falla Monofásica en Barra 10



ANEXO 3.21: Falla Trifásica en Barra 11



ANEXO 3.22: Falla Monofásica en Barra 11



BIBLIOGRAFÍA

- [1] Schweitzer Engineering Laboratories inc., (Manual de Relé SEL 311C); Estados Unidos - 2010.
- [2] General Electric Industrial System, (Manual de Relé GE- SR489); Canada – 2004.
- [3] General Electric Industrial System, (Manual de Relé GE- SR745); Canada – 2004.
- [4] General Electric Industrial System, (Manual de Relé GE- SR750); Canada – 2004.
- [5] General Electric Industrial System, (Manual de Relé GE- SR469); Canada – 2004.
- [6] STEVENSON WILLIAM. GREIGNER, JOHN; “POWER SYSTEM ANALYSIS”; McGraw Hill; Estados Unidos - 1992.
- [7] Normas IEEE Std C37.010-1979, IEEE Std C37.5-1979, IEEE Std 141-1993, IEEE Std 241-1990, and IEEE Std 242-1986.