



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

"ESTUDIOS DE COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES POR
MÉTODOS COMPUTARIZADOS APLICADOS A LA
INTERCONEXIÓN VALDEZ - ECOELECTRIC"

INFORME DE MATERIA DE GRADUACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN POTENCIA

Presentado por:

Alberto David Llumitaxi Candelario

José Luis Suárez Muñoz

Guayaquil - Ecuador

Año: 2012

AGRADECIMIENTO

A Dios, Jesús y María, porque sin ellos nada es posible, porque nos brindan amparo y fortaleza cuando más lo necesita

A nuestros padres, amigos y profesores que nos impartieron sus enseñanzas y que hoy pueden ver el reflejo de lo que han formado.

A nuestro profesor guía el Ing. Juan Saavedra por el apoyo brindado y por hacer posible que esto se lleve a cabo.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a aquellos que a lo largo de toda mi vida, influenciaron en todo aspecto de mi ser, de una u otra forma, porque pienso que de toda situación se aprende especialmente de lo malo.

A mis padres que supieron guiarme, educarme y corregirme cuando era necesario, y quienes representan, al igual que toda mi familia, todo para mí.

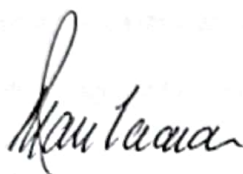
José Luis Suárez Muñoz

A mi madre y mi padre que hicieron siempre lo posible para que llegue hasta aquí, no me llenaron de lujos pero si de amor y cariño, lo que realmente necesitaba, ahora lo sé.

A mis hermanas que con sus regaños, siempre me daban a entender lo importante que soy para ellas y lo que ellas son para mí.

Alberto David Llumitaxi Candelario

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ing. Juan Saavedra

PROFESOR DE MATERIA
DE GRADUACIÓN



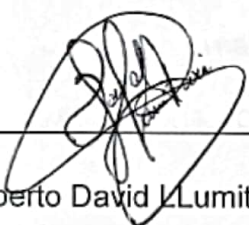
Ing. Alberto Hanze

PROFESOR DELEGADO
DEL DECANO

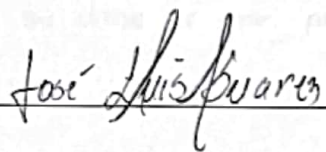
DECLARACIÓN EXPRESA

"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)



Alberto David LLumitaxi Candelario



José Luis Suárez Muñoz

RESUMEN

Con el proyecto se pretende realizar los ajustes de los equipos de protección para la coordinación de la Interconexión Valdez-Ecoelectric, es decir definir los límites de operación para detectar las fallas, las condiciones anormales del sistema y las condiciones indeseadas de los equipos. Además definir los tiempos de operación de la protección para permitir la actuación eficaz y oportuna de los relés de protección, minimizando los tiempos de actuación y garantizando una apropiada operación de todas las protecciones, tanto las protecciones primarias como las de respaldo.

Antes de poder realizar esta coordinación, se debe conocer primero el funcionamiento del sistema en condiciones normales de operación (carga máxima) y por supuesto en condiciones de falla o cortocircuito. Estos estudios se realizarán utilizando el software "POWER WORLD".

Una vez obtenido los resultados, ahora si en el programa "MICROSOFT EXCEL" se procederá a realizar los ajustes de los equipos de protección, para la coordinación de la Interconexión Valdez-Ecoelectric y los resultados que se obtengan serán presentados de forma gráfica y cuantitativa.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO.....	II
DEDICATORIA.....	III
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	IV
DECLARACIÓN EXPRESA	V
RESUMEN.....	VI
ÍNDICE.....	VII
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XII
ÍNDICES DE TABLAS.....	XIV
SIMBOLOGÍA.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XVIII
CAPÍTULO 1.....	1
DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES.....	1
1.1 UBICACIÓN DE LA PLANTA.....	1
1.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO	2
1.3 DESCRIPCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	6
1.4 ENTREGA DE ENERGÍA.....	11

CAPÍTULO 2.....	13
2. ESTUDIOS DE FLUJO DE CARGA.....	13
2.1 CRITERIOS ADOPTADOS PARA EL ESTUDIO.....	13
2.1.1 FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	13
2.1.2 NIVELES DE CONFIABILIDAD	13
2.1.3 NIVELES DE SOBRECARGA	14
2.1.4 REGULACIÓN DE VOLTAJE	14
2.2 ANÁLISIS DE CASOS	14
2.2.1 CASO BASE CARGA MÁXIMA	14
2.3. DATOS DEL SISTEMA	15
2.3.1 DATOS DE GENERACIÓN	15
2.3.2 DATOS DE BARRAS DE CARGA	15
2.3.3 DATOS DE LÍNEAS Y CONDUCTORES	18
2.3.4 DATOS DE TRANSFORMADORES DE FUERZA.....	20
2.4 RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS DE FLUJO DE CARGA.....	20
2.4.1 CASO BASE CARGA MÁXIMA	22
2.4.1.1 VOLTAJES EN BARRAS	22
2.4.1.2 ENERGÍA PARA LA VENTA Y CONSUMO INTERNO DE VALDEZ	24
2.4.1.3 REQUERIMIENTOS DE POTENCIA REACTIVA.....	24

2.4.1.4 CARGA DE CONDUCTORES.....	25
2.4.1.5 CARGA DE LOS TRANSFORMADORES.....	26
2.4.1.6 AJUSTE DE TAPS DE LOS TRANSFORMADORES	27
2.5 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE FLUJO	27
CAPÍTULO 3.....	29
3. ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO.....	29
3.1 ALCANCE DE LOS ESTUDIOS DE CORTO CIRCUITO.	30
3.2 DATOS DEL SISTEMA.....	31
3.2.1 IMPEDANCIAS EQUIVALENTES EN EL PUNTO DE ENTREGA DE CNEL MILAGRO.....	31
3.2.1.1 MVA DE CORTO CIRCUITO (CASO BASE)	31
3.2.1.2 IMPEDANCIAS EQUIVALENTES	32
3.2.2 IMPEDANCIA EN PU DE GENERADORES SINCRÓNICOS.....	32
3.2.3 RESISTENCIA DE TIERRA DE GENERADORES DE 27.5 MW Y 6MW	33
3.2.4 DATOS DE CONDUCTORES	33
3.2.5 DATOS DE TRANSFORMADORES DE FUERZA.....	34
3.3 RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS DE CORTO CIRCUITO	34
3.3.1 ESTUDIOS DE CORTO CIRCUITO CASO BASE.....	34
3.3.1.1 CORRIENTE DE FALLA EN CADA BARRA	35

3.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	36
CAPÍTULO 4.....	38
4. COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES.....	38
4.1 ESQUEMAS DE PROTECCIÓN.....	39
4.1.1 ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DE GENERADORES	39
4.1.2 ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DE LOS TRANSFORMADORES DE FUERZA	42
4.1.3 ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DE LOS MOTORES.....	46
4.1.4 ESQUEMA DE PROTECCIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN .	48
4.2 AJUSTE Y COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES.....	50
4.2.1 PROTECCIÓN DEL GENERADOR DE 27.5MW	50
4.2.1.1 PROTECCIÓN DIFERENCIALPORCENTUAL (87G)	51
4.2.1.2 PROTECCIÓN POR SOBREVOLTAJE (59)	55
4.2.1.3 PROTECCIÓN POR BAJOVOLTAJE (27)	57
4.2.1.4 PROTECCIÓN POR PÉRDIDA DE CAMPO (40)	59
4.2.1.5 PROTECCIÓN DE SECUENCIA NEGATIVA (46)	64
4.2.1.6 PROTECCIÓN DE POTENCIA INVERSA (32)	70
4.2.1.7 PROTECCIÓN POR FRECUENCIA (81)	72
4.2.1.8 PROTECCIÓN POR SOBREEXCITACIÓN O VOLTS/HERTZ (24)	74

4.1.2.9 PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE CON RESTRICCIÓN DE VOLTAJE (51V)	76
4.2.2 PROTECCIÓN DEL GENERADOR DE 6MW	77
4.2.2.1 PROTECCIÓN DIFERENCIAL.....	78
4.2.2.1.1 CÁLCULO DE AJUSTE.....	78
4.2.3 PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES DE FUERZA	78
4.2.3.1 PROTECCIÓN DIFERENCIAL (87)	80
4.2.3.2 PROTECCIÓN POR SOBREEXCITACIÓN O VOLTS/HERTS (59/81)	82
4.2.3.3 PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE (51).....	83
4.2.4 PROTECCIÓN DE MOTORES	83
4.2.5 PROTECCIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	84
4.2.6 COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES	84
4.2.5.3 COORDINACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.....	85
4.3 RESUMEN DE AJUSTES	92
4.4 CONCLUSIONES	96

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1: Diagrama unifilar del sistema Valdez-Ecoelectric	5
Gráfico 1-2: Cosecha de caña de azúcar	6
Gráfico 1-3: Bagazo	7
Gráfico 1-4: Caldera y bandas transportadoras	8
Gráfico 1-5: Turbina turbo de compresión	9
Gráfico 1-6: Subestación Ecoelectric	10
Gráfico 2-1: Resultado del flujo de carga del caso base	23
Gráfico 4-1: Esquema de protección del generador de 27.5 MW	40
Gráfico 4-2: Esquema de protección del generador de 6 MW	41
Gráfico 4-3 Esquema de protección de transformador de 20/25 MVA	44
Gráfico 4-4: Esquema de protección del transformador de 15 MVA	45
Gráfico 4-5: Esquema de protección de transformadores de 4 MVA	46
Gráfico 4-6: Esquema de protección del motor de 3000 HP	47
Gráfico 4-7: Esquema de protección del motor de 4000 HP y acometida	48
Gráfico 4-8: Esquema de protección del sistema de distribución	49
Gráfico 4-9: Curva de Diferenciación de Equipo	53
Gráfico 4-10: Diagrama R-X para la protección de pérdida de campo	62
Gráfico 4-11: Coordinación de las protecciones de la red de 13800V	87

Gráfico 4-12 Coordinación de las protecciones de la red de 4160V	88
Gráfico 4-13: Coordinación de las protecciones del Motor de 4000 HP.....	90
Gráfico 4-14: Coordinación de las protecciones del Motor de 3000 HP.....	91

ÍNDICES DE TABLAS

Tabla I: Generación de Valdez-Ecoelectric.....	15
Tabla II:Valores de las cargas en las barras 1 al 7	16
Tabla III: Valores de las cargas en las barra 8 y el Total de Carga Conectada .	17
Tabla IV: Valores de impedancia de los conductores	18
Tabla V: Detalle de los conductores	18
Tabla VI: Valores de impedancia en pude los conductores	19
Tabla VII: Datos de los transformadores de fuerza.....	20
Tabla VIII: Valores de las voltajes en las barras	22
Tabla IX: Valores de energía y consumo	24
Tabla X: Valores de reactivos en el sistema	25
Tabla XI: Valores de cargabilidad en los conductores	26
Tabla XII: Valores de cargabilidad en los transformadores.....	26
Tabla XIII: Ajustes de los transformadores	27
Tabla XIV: Valores de corto circuito.....	31
Tabla XV: Valores de las impedancias	32
Tabla XVI: Valores de las impedancia en por unidad	32
Tabla XVII: Valores de las corrientes de falla en cada barra	35
Tabla XVIII: Ajuste para la función 87G	54
Tabla XIX: Ajustes de la función 59	57

Tabla XX: Ajustes para la función 27	59
Tabla XXI: Ajustes de la función 40	64
Tabla XXII: Valores permisibles de I2 según la IEEE	66
Tabla XXIII: Valores permisibles de K según la IEEE	68
Tabla XXIV: Ajustes de la función 46.....	70
Tabla XXV: Porcentajes de motorización según la IEEE	71
Tabla XXVI: Ajuste de la función 32.....	72
Tabla XXVII: AJUSTES DE LA FUNCIÓN 81	74
Tabla XXVIII: Ajuste de la función 24.....	76
Tabla XXIX: Ajuste de la función 87.....	78
Tabla XXX: Cálculos para Transformador de 20/25MVA.....	80
Tabla XXXI: Cálculos para transformador de 15MVA	81
Tabla XXXII: Ajustes de la función 87 Transformador 20/25MVA.....	82
Tabla XXXIII: Ajustes de la función 87 Transformador 15MVA.....	82
Tabla XXXIV: Ajustes para la función 59/81 para ambos transformadores	83
Tabla XXXV: Ajustes en el relé GE-489 Generador 27.5 MW	92
Tabla XXXVI: Ajustes en el relé Toshiba 87 Generador 6MW	94
Tabla XXXVII: Ajustes en relé GE 745 Transformador 20/25MVA.....	94
Tabla XXXVIII: Ajuste en relé GE 745 Transformador 15MVA	95
Tabla XXXIX: Ajustes de los GE 760	95

Tabla XL: Ajustes de los GE 469, SEL 551 y GE F60	95
---	----

SIMBOLOGÍA

A:	Amperio.
AC:	Corriente alterna.
CONELEC:	Consejo Nacional de Electricidad.
fp:	factor de potencia.
GE:	General Electric.
Hp:	Horse Power.
IEEE:	Institute of Electrical and Electronic Engineers.
Km:	Kilómetros.
KV	Kilo voltios.
MVA:	Mega Voltios-Amperios.
MVAR:	Mega Voltios-Amperios Reactivos.
MW:	Mega Vatios.
OA/FA:	sumergido en aceite, con enfriamiento de aire forzado.
Ohm:	Ohmios.
pu:	por unidad.
rpm:	revoluciones por minuto.
S/E:	Sub-Estación.
SEL:	Schweitzer Engineering Laboratories, INC.
SIN:	Sistema Nacional Interconectado.
Std.:	Estándar

INTRODUCCIÓN

Para que un sistema de potencia pueda operar de forma adecuada y confiable, es indispensable que tenga un buen sistema de protección, que permitirá a los equipos detectar anomalías en el sistema, haciendo que estos operen en la zona de falla, asegurando la continuidad del servicio en el resto del sistema.

Para esto es indispensable realizar un estudio de coordinación de protecciones, en donde se determinarán las características y ajustes necesarios de los elementos de protección. Para esto se requiere los diagramas unifilares actualizados, así como también la información de los elementos del sistema como capacidades de los equipos, impedancias de las líneas, etc.

El estudio de coordinación a realizarse es de la Interconexión Valdez Ecoelectric, empresas pertenecientes al grupo NOBIS, que en los últimos años han adquirido equipos modernos con la intención de mejorar su producción y cuidado del medio ambiente.

A lo largo de este proyecto describiremos las instalaciones de las empresas, los estudios de flujo para carga máxima y los estudios de cortocircuito necesarios para poder realizar el debido ajuste de protecciones.

CAPÍTULO 1

1. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES.

1.1 UBICACIÓN DE LA PLANTA

El Ingenio Azucarero Valdez y la empresa Ecoelectric están ubicados en el cantón Milagro, provincia del Guayas entre las calles 10 de Agosto y Roberto Astudillo.

El Ingenio Azucarero Valdez es una importante empresa que cuenta con una fábrica que posee una capacidad instalada de molienda diaria de 8500 toneladas de caña de azúcar, con un rendimiento de 2.10 sacos de azúcar de 50 kilos por tonelada de caña. Se encarga del cultivo, producción y comercialización de azúcar en distintas presentaciones, además de la panela.

Ecoelectric es una empresa que surgió de aprovechar los residuos de la caña de azúcar (bagazo) como combustible para la producción de energía

eléctrica. Ecoelectric se localiza en el interior de las instalaciones del Ingenio Valdez, y se encarga de generar la energía para suplir toda la carga del Ingenio y el excedente de energía se vende al SNI.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO

El sistema de Ecoelectric posee tres generadores de distintas capacidades; los cuales son:

- TG7 es un generador de 27.5 MW que opera a un nivel de voltaje de 13800 V.
- TG6 es un generador de 6 MW que opera a un nivel de voltaje de 4160 V.
- TG5 es un generador 3 MW que opera a un nivel de voltaje de 480 V y sirve como respaldo operativo, en caso de emergencia.

La potencia instalada de generación de Ecoelectric es de 33.5 MW, con una generación máxima de 32.5 MW. El consumo del sistema Valdez-Ecoelectric es de 17 MW aproximadamente, quedando un excedente de 15.5 MW para la venta.

El sistema de Ecoelectric posee transformadores de distintas capacidades, los más importantes son:

- Un transformador de 20/25 MVA, 69/13.8 KV, conectado en estrella-delta, que sirve para la venta del excedente de energía. Este transformador se encuentra ubicado en la Subestación de Ecoelectric.
- Un transformador de 15 MVA, 13.8/4.16 KV, conectado en delta-zigzag, que sirve para la distribución de energía en el sistema.
- Dos transformadores de 4 MVA, 4.16/0.48 KVA, conectados en delta-delta aterrizada, que sirve para la distribución de energía en el sistema.
- Un transformador de 1.5 MVA, 13.8/0.48 KV, conectado en delta-estrella, que se utiliza en caso de emergencia para suplir energía.

El sistema consta también de motores de diferentes capacidades que ayudan en el proceso de extracción del jugo de la caña, de los cuales los de mayor importancia para el estudio son:

- Un motor de 4000 HP que funciona a un nivel de 13800 V, este motor sirve como desfibrador.

- Un motor de 3000 HP que funciona a un nivel de 4160 V, este motor sirve como picador de la caña de azúcar.

Además que el sistema consta de cargas las cuales mediante transformadores auxiliares funcionan a un nivel de voltaje de 240/120V, que son para los equipos complementarios del sistema como bombas de riego, y para las diferentes áreas administrativas, las cuales se las han sumado y se las representa como si fuera una sola carga.

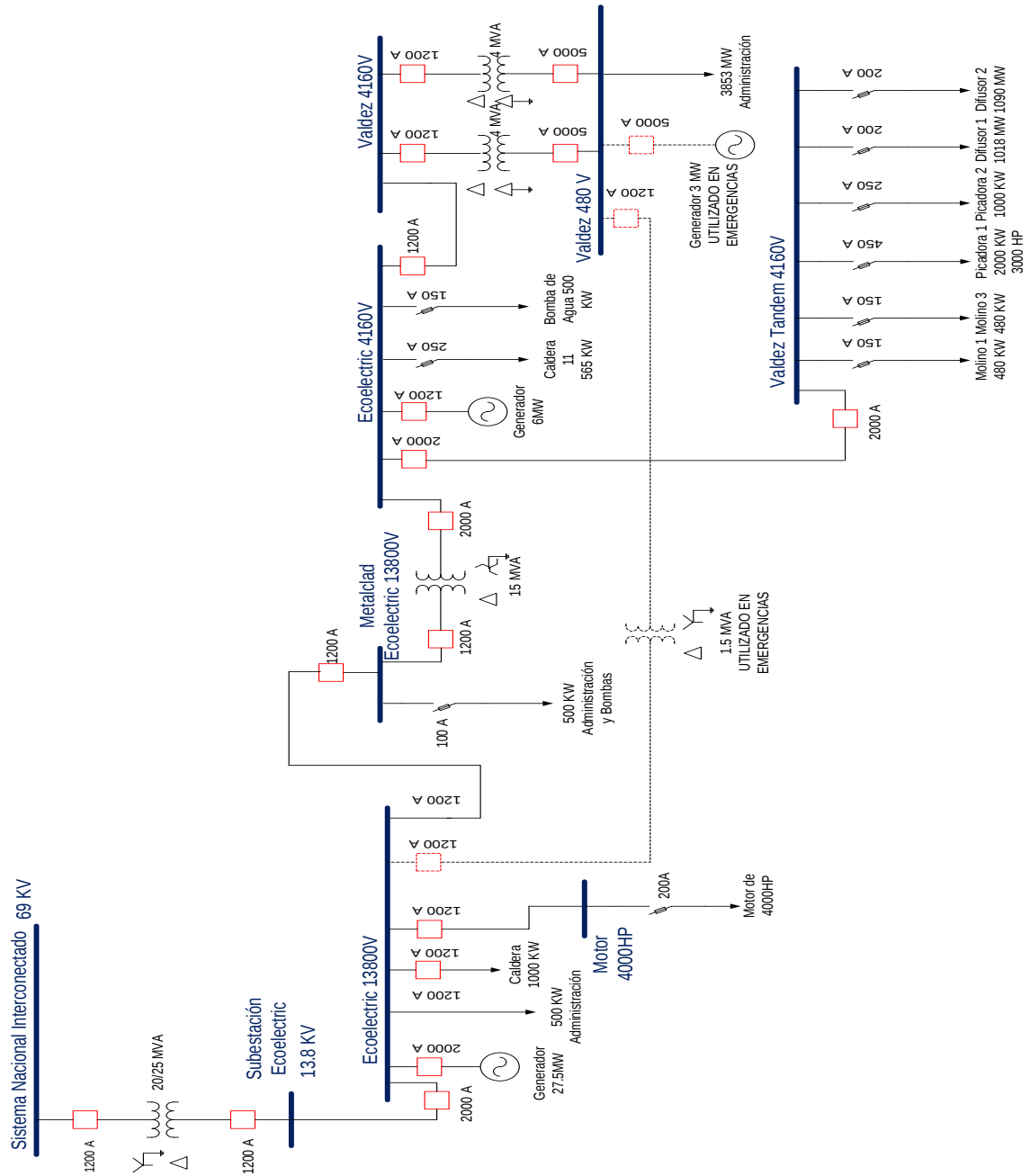


Gráfico 1-1: Diagrama unifilar del sistema Valdez-Ecoelectric

1.3 DESCRIPCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El proceso empieza en los canteros donde se siembra y cosecha la caña de azúcar.



Gráfico 1-2: Cosecha de caña de azúcar

La caña es cortada y transportada al ingenio azucarero donde se la recibe para procesarla obteniéndose las diferentes presentaciones de la azúcar y, como residuo del proceso: el bagazo, esencial para la producción de energía eléctrica.

La caña se deposita en dos picadoras, la primera corta la caña en trozos de hasta un metro de longitud y la segunda en trozos de treinta centímetros. Estas picadoras son impulsadas por motores de 1500 y 3000 HP respectivamente.

Luego la caña de azúcar es transportada a un desfibrador de 4000 HP donde es triturada para poder extraer el jugo de caña (sacarosa), esencial para la elaboración del azúcar. Para aprovechar aún más dicho jugo, la caña es llevada a un grupo de difusores donde se le sigue extrayendo el jugo de la caña. La caña pasa por este grupo de difusores dos veces.

Después de esto para aprovechar al máximo este producto, la caña es transportada a dos molinos Molino 1 y Molino 3, donde se extrae el jugo de caña restante.

Finalmente, resultado de este proceso de extracción, se obtiene un residuo de caña al que se le denomina “bagazo”. El bagazo de la caña es usado por Ecoelectric como combustible aprovechando la energía calórica que produce para transformarla en energía térmica (vapor), energía cinética y por último energía eléctrica.



Gráfico 1-3: Bagazo

El bagazo es transportado por medio de bandas transportadoras a Ecoelectric que lo usa como combustible en el caldero donde se transforma el agua en vapor y que a una presión y temperatura determinada es enviada a la turbina de vapor.

Dicha caldera posee las siguientes características:

- Acuatubular tipo colgante
- 185 Ton Vapor Hora
- Presión: 45.7 Kgf/cm²
- Combustible: Biomasa sólida



Gráfico 1-4: Caldera y bandas transportadoras

El vapor es guiado por medio de tuberías hasta las turbinas de los generadores para así lograr moverlas y poder producir energía eléctrica.

Las características del generador de 27.5 MW son:

- Generador tipo sincrónico
- Turbina turbo de contrapresión de etapas: 12
- Velocidad sincrónica: 1800 rpm
- Potencia en bornes 27.500 KW
- Voltaje de generación 13.8 KV



Gráfico 1-5: Turbina turbo de compresión

La energía generada es distribuida en el sistema mediante los transformadores y líneas de alimentación, una vez suplida la demanda del sistema, el excedente de la generación es transportado hasta la subestación de Ecoelectric donde

gracias al transformador de 20/25 MVA aumenta la tensión para así poder distribuir energía al Sistema Nacional Interconectado.



Gráfico 1-6: Subestación Ecoelectric

La energía producida es consumida por el Ingenio Valdez y la ciudad de Milagro, constituyendo esto un aporte importante de Ecoelectric a Milagro, sobre todo cuando hay suspensión del servicio de energía eléctrica abrupto.

1.4 ENTREGA DE ENERGÍA

La energía es llevada a la subestación de elevación donde se realizan mediciones de la energía bruta generada, lo cual es requerido por el CONELEC.

Como la energía producida por el generador está a un nivel de voltaje inferior al de interconexión del SNI, se dispone de una subestación de elevación de 20/25 MVA OA/FA de capacidad, que permite elevar el nivel de voltaje de 13800V a 69.000V.

Dicha subestación tiene un patio de 13.8 KV con un disyuntor en vacío para protección, coordinado previamente con la protección de 69 KV. Así también como un seccionador tripolar, para maniobras de mantenimiento.

El transformador de elevación con ventilación forzada, tiene sus respectivos transformadores de corriente internos para su protección. Dichas protecciones las provee un relé diferencial numérico multifunción, incluyendo la protección diferencial, sobrecorriente de tiempo inverso, de tiempo definido y de secuencia negativa las que serán descritas en el capítulo 4.

Luego se tienen los medidores de energía y potencia que sirven para facturación, los mismos que tendrán todas las características técnicas que exige el CONELEC.

Para la interconexión con el sistema de subtransmisión de la Corporación Nacional Eléctrica de Milagro (CNEL) se dispone en la Subestación de seccionadores de operación manual.

En la siguiente sección se analizará por medio de un estudio de flujo de carga la operación del sistema de Valdez-Ecoelectric, lo que permite precisar la cantidad de energía a ser entregada al Sistema y sus condiciones operativas.

CAPÍTULO 2

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 Valdez en forma prioritaria, ante la existencia de falla de un elemento 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

Se considera la variación del voltaje de la CNEL Milagro entre 0.9916 y 1.00417 para máxima y mínima carga.

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

Para el desarrollo del proyecto se considera todas las cargas instaladas en el sistema Valdez-Ecoelectric, lo que resulta en un aproximado de 17MW aproximadamente.

2. 3. DATOS DEL SISTEMA

2.3.1 DATOS DE GENERACIÓN

Los datos de generación corresponden a los generadores Turbo 7 de 27.5 MW y el Turbo 6 de 6 MW. Aunque cabe mencionar el generador Turbo 5 de 3 MW, el cual opera solamente en casos de emergencia, mientras tanto está fuera de servicio.

Tabla I: Generación de Valdez-Ecoelectric

Barra	Voltaje en barra (V)	Nombre	Potencia Real MW	Potencia Reactiva MVAR		Voltaje Pu
				Límite Superior	Límite Inferior	
3	13800	Turbo 7	27.5	16	8	1.01
5	4160	Turbo 6	6	3.72	1.86	1
8	480	Turbo 5	3	1.6	0.8	1

2.3.2 DATOS DE BARRAS DE CARGA

La tabla a continuación, muestra los datos de carga de cada barra para nuestro caso de carga máxima. La carga está dada en KW y KVAR.

A voltaje nominal, normalmente en los estudios de flujo de carga se considera la carga a constante KVAR, independiente del voltaje. Para el

cálculo de la potencia reactiva se ha considerado un factor de potencia de 0.9 en atraso en las cargas, a excepción del motor de 4000 HP que opera con un factor de potencia de 0.85 en atraso.

Tabla II:Valores de las cargas en las barras 1 al 7

Barra	Nombre de Barra	Carga	Carga KW	Carga KVAR
3	Ecoelectric 13800V	Caldera Reserva de Riego Motor 4000 HP TOTAL	1000 500 2984 4484	484.32 242.16 1691.11 2417.54
4	MetalcladEcoelectric 13800V	Administración y Bomba de río TOTAL	500 500	242.16 242.16
5	Ecoelectric 4160V	Caldera 11 Bombas de Riego Bomba TOTAL	565 680 180 1245	273.64 329.33 87.17 602.97
6	Valdez 4160V			
7	Valdez Tandem4160V	Molino 1 Molino 3 Picadora 2 Picadora 1 Difusor 1 Difusor 2 TOTAL	480 480 2000 1000 1818 1090 6868	232.47 232.47 968.64 484.32 880.49 527.91 3326.30

Tabla III: Valores de las cargas en las barra 8 y el Total de Carga Conectada

Barra	Nombre de Barra	Carga	Carga KW	Carga KVAR
8	Valdez 480 V	Servicio Auxiliar	20	9.69
		Calderas	20	9.69
		Caldera 6	20	9.69
		Caldera 7	20	9.69
		Caldera 8	20	9.69
		Caldera 9	20	9.69
		Caldera 10	20	9.69
		Bomba Eva.	20	9.69
		Compresores	133	64.41
		Taller Automotriz	86	41.65
		Taller Mecánico	230	111.39
		Bom. Cachazo	79	38.26
		Bom. Chatarra	93	45.04
		P. Eléctrica	29	14.05
		Panela Central A/A	35	16.95
		Tandem 1	366	177.26
		Tandem 2	165	79.91
		Filtro Oliver	150	72.65
		Cristalizadora	70	33.90
		Centrífuga	173	83.79
		Bom. Guarapo	194	93.96
		Clarificación	56	27.12
		Bom. Evaporadora	182	88.15
		Tachos	500	242.16
		Piscina Bom.	426	206.32
		Centrífuga	426	206.32
		Centrífuga 1	20	9.69
		Centrífuga 2	20	9.69
		Centrífuga 3	20	9.69
		Centrífuga 4	20	9.69
		Centrífuga 5	20	9.69
		Centrífuga 6	20	9.69
		Centrífuga 7	20	9.69
		Centrífuga Aux.	20	9.69
		Bodega Azúcar	10	4.84
		Tandem 2	20	9.69
		Calderas	10	4.84
		Tandem 1	10	4.84
		Filtros Oliver	20	9.69
		Alumbrado	10	4.84
		Evaporadores	10	4.84
		Administración	10	4.84
		Planta Generador	20	9.69
		Envasado	10	4.84
		Tachos	10	4.84
		Clarificación	20	9.69
		TOTAL	3853	1866.12
CARGA TOTAL	16950	8455.09		

2.3.3 DATOS DE LÍNEAS Y CONDUCTORES

La tabla siguiente muestra las características de los cables, las ampacidades dependiendo del medio de transporte, la resistencia y reactancia por unidad de longitud.

Tabla IV: Valores de impedancia de los conductores

Conductor	Ampacidad		Resistencia (Ω /km)	Reactancia (Ω /km)
	Ducto	Electrocanal		
4/0	405	400	0.2150	0.2050
500 MCM	675	685	0.0967	0.1900

Ahora apreciamos los conductores usados para conectar las barras, así como también el número de cables por fase y sus respectivas capacidades.

Tabla V: Detalle de los conductores

Barra	A Barra	Conductor por fase	Medio	Ampacidad (A)	Voltaje (KV)	Capacidad (MVA)
2	3	4#500MCM	Electrocanal	2740	13.8	65.49
3	9	1#500MCM	Electrocanal	685	13.8	16.37
3	10	3#4/0	Electrocanal	1200	13.8	28.68
3	4	2#500MCM	Electrocanal	1370	13.8	32.75
5	6	3#4/0	Electrocanal	1200	4.16	8.65
5	7	3#4/0	Electrocanal	1200	4.16	8.65

La tabla siguiente muestra las características de los conductores, expresados en pu en la base de 100 MVA.

Tabla VI: Valores de impedancia en pu de los conductores

Barra	A	Conductor por fase	Por fase		Distancia (km)	Z Base (Ω)	R pu	X pu
			Resistencia (Ω/km)	Reactancia (Ω/km)				
2	3	4#500MCM	0.02418	0.04750	0.250	1.90440	0.00317	0.00624
3	9	1#500MCM	0.09670	0.19000	0.211	1.90440	0.01071	0.02105
3	10	3#4/0	0.07167	0.06833	0.410	1.90440	0.01543	0.01471
3	4	2#500MCM	0.04835	0.09500	0.300	1.90440	0.00762	0.01497
5	6	3#4/0	0.07167	0.06833	0.050	0.17306	0.02071	0.01974
5	7	3#4/0	0.07167	0.06833	0.120	0.17306	0.04969	0.04738

2.3.4 DATOS DE TRANSFORMADORES DE FUERZA

Tabla VII: Datos de los transformadores de fuerza

		S/E Venta	Distribución	Distribución
1.	MVA	20/25 MVA OA/FA	15 MVA	4 MVA
2.	Tipo	Trifásico Convencional	Trifásico Padmount	Trifásico Convencional
	Cantidad	1	1	2
3.	Alta Tensión			
	KV Nominal	69 KV	13.8 KV	4.16 KV
	KV BIL	350 KV	110 KV	75 KV
	Conexión	Y aterrizado	Delta	Delta
	TC Protecciones	4x200:5	3x750:5	3x600:5
4.	Baja Tensión			
	KV Nominal	13.8 KV	4.16KV	0.48 KV
	KV BIL	110 KV	75 KV	30 KV
	Conexión	Delta	Zigzagaterrrizado	Deltaaterrrizado
	TC Protecciones	3x1000:5	4x2000:5	4x5000:5
5.	Impedancia	7%	7%	5.74%
6.	Taps sin carga lado de baja	4 x 2 1/2. 2 Up. 2 down	4 x 2 1/2. 2 Up. 2 down	4 x 2 1/2. 2 Up. 2 down
7.	Protecciones			
	Presión Súbita	Alarma y disparo	Alarma y disparo	
	Bucholtz	Alarma y disparo	Alarma y disparo	
8.	Valor de Z pu	0.28000	0.46667	1.43500

2.4 RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS DE FLUJO DE CARGA

Los resultados de flujo de carga serán presentados principalmente en forma gráfica por ser el método más conciso y usualmente más informativo. El flujo del

sistema puede ser rápidamente analizado con la presentación gráfica y relacionar la configuración del sistema, condiciones operativas y resultados.

El análisis del flujo de carga muestra lo siguiente:

- Voltaje en barras.
- Energía para la venta y consumo Interno del Ingenio Valdez.
- Generación de Ecoelectric, cargas del Ingenio y pérdidas.
- Requerimientos de potencia reactiva en los generadores de Ecoelectric, comparados con los requerimientos de reactivos del sistema.
- Carga sobre todos los conductores y transformadores, verificar que la carga esté dentro de la capacidad de transmisión para condiciones normales y contingencias operativas.
- Ajustes de Taps de los transformadores.

2.4.1 CASO BASE CARGA MÁXIMA

En el gráfico 2-1 se aprecia los resultados gráficos del flujo de carga del caso base, luego se muestra de forma detallada en tablas los resultados.

2.4.1.1 VOLTAJES EN BARRAS

Tabla VIII: Valores de las voltajes en las barras

Barra	Nombre de la Barra	Caso Base
1	Sistema Nacional Interconectado	1.0000
2	Subestación Ecoelectric	1.0093
3	Ecoelectric 13800V	1.0100
4	MetalcladEcoelectric 13800V	1.0091
5	Ecoelectric 4160V	0.9982
6	Valdez 4160V	0.9970
7	Valdez Tandem4160V	0.9932
8	Valdez 480V	1.0089
9	Caldera 12	1.0098
10	Motor 4000 HP	1.0093

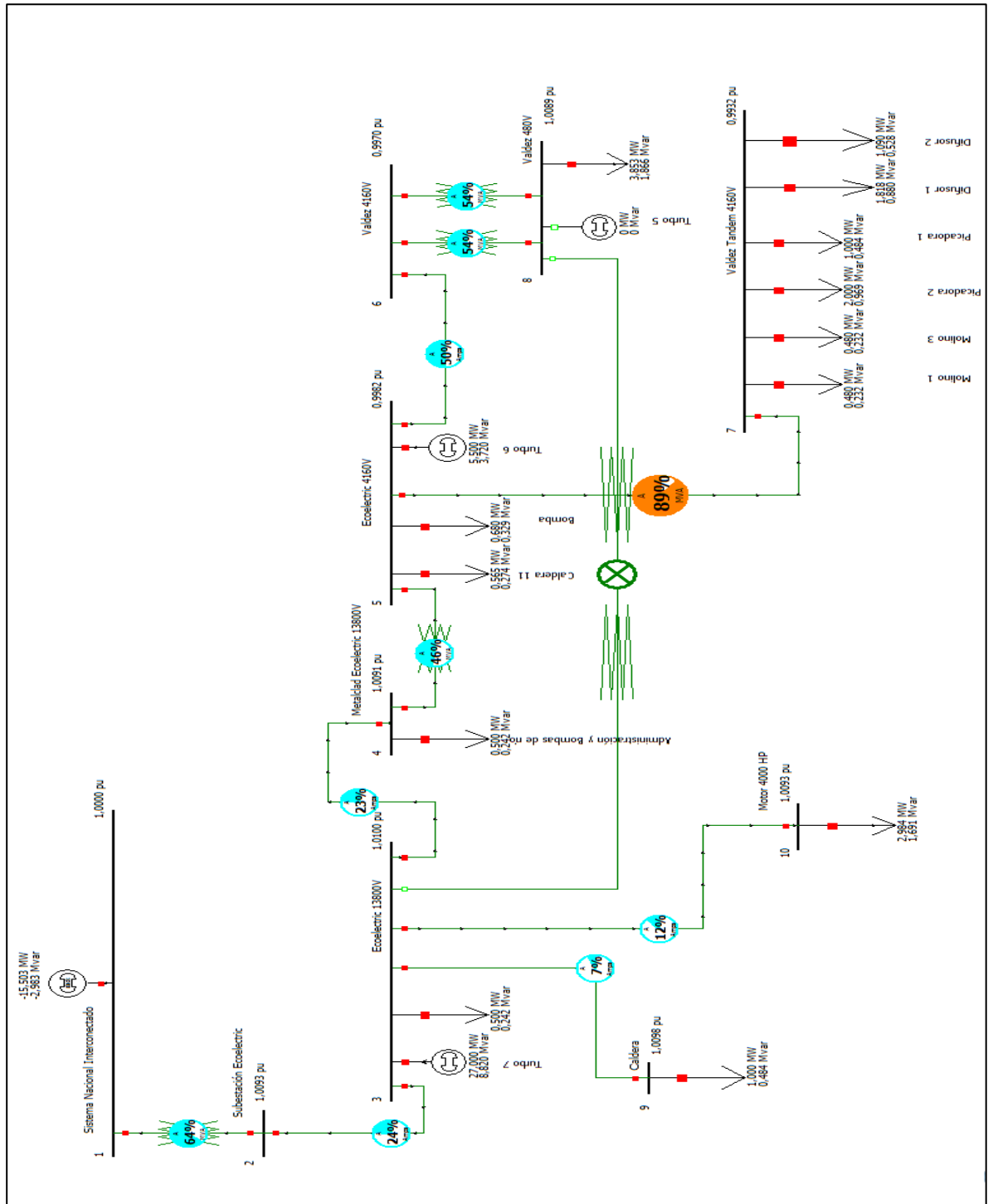


Gráfico 2-1: Resultado del flujo de carga del caso base

2.4.1.2 ENERGÍA PARA LA VENTA Y CONSUMO INTERNO DE VALDEZ

La tabla siguiente muestra la energía generada por Ecoelectric, el consumo propio de Valdez y el excedente para la Venta del Proyecto de Cogeneración para el caso Base, que representa la operación normal del Sistema.

Tabla IX: Valores de energía y consumo

	Caso Base
Generación Total	32.500 MW
Carga Total	16.997 MW
Energía para la venta	15.503 MW

2.4.1.3 REQUERIMIENTOS DE POTENCIA REACTIVA

Como es conocido la potencia reactiva sostiene el voltaje del sistema, en esta parte queremos establecer para el caso del análisis que elemento del sistema mantiene el voltaje. En principio los generadores de Ecoelectric deben emitir los Reactivos para abastecer los reactivos y a la vez sostener los voltajes del sistema.

La tabla siguiente muestra los reactivos emitidos por los generadores de Ecoelectric, comparados con los reactivos del sistema. Se observa que los requerimientos de reactivos del Ingenio son suministrados por los generadores de Ecoelectric, habiendo inclusive un remanente que son entregados al sistema.

Tabla X: Valores de reactivos en el sistema

	Caso Base
Reactivos de Generación	12.540 MVAR
Reactivos al SIN	2.983 MVAR
Carga total Reactivos Inductivos	9.557 MVAR

2.4.1.4 CARGA DE CONDUCTORES

La carga de los conductores está dentro de las capacidades normales de operación, para el caso base analizado, sin embargo se aclara que el aparente sobre dimensionamiento se justifica cuando el sistema está sometido a contingencias operativas de Generación y Distribución.

La tabla siguiente muestra la carga y porcentaje de carga de los conductores para el caso base.

Tabla XI: Valores de cargabilidad en los conductores

De		A		Caso Base
Barra	Nombre de Barra	Barra	Nombre de Barra	
2	Subestación Ecoelectric	3	Ecoelectric 13800V	24%
3	Ecoelectric 13800V	9	Caldera	7%
3	Ecoelectric 13800V	10	Motor 4000 HP	12%
3	Ecoelectric 13800V	4	MetalcladEcoelectric 13800V	23%
5	Ecoelectric 4160V	6	Valdez 4160V	50%
5	Ecoelectric 4160V	7	Valdez Tandem4160V	89%

2.4.1.5 CARGA DE LOS TRANSFORMADORES

La tabla siguiente muestra la carga y porcentaje de carga de los transformadores para el caso base.

Tabla XII: Valores de cargabilidad en los transformadores

De		A		Relación Nominal (KV)	Caso Base
Barra	Nombre de Barra	Barra	Nombre de Barra		
1	Sistema Nacional Interconectado	2	Subestación Ecoelectric	69/13.8	64%
4	MetalcladEcoelectric 13800V	5	Ecoelectric 4160V	13.8/4.16	46%
6	Valdez 4160V	8	Valdez 480V	4.16/0.48	54%
6	Valdez 4160V	8	Valdez 480V	4.16/0.48	54%

2.4.1.6 AJUSTE DE TAPS DE LOS TRANSFORMADORES

Tabla XIII: Ajustes de los transformadores

De		A		Relación Nominal (KV)	Ajuste TAP (pu)
Barra	Nombre de Barra	Barra	Nombre de Barra		
1	Sistema Nacional Interconectado	2	Subestación Ecoelectric	69/13.8	1.000
4	MetalcladEcoelectric 13800V	5	Ecoelectric 4160V	13.8/4.16	1.000
6	Valdez 4160V	8	Valdez 480V	4.16/0.48	0.975
6	Valdez 4160V	8	Valdez 480V	4.16/0.48	0.975

2.5 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE FLUJO

- Como se puede observar en la tabla VIII, los voltajes en las barras para el caso base se mantienen dentro de los límites acordados, por lo que no exceden del 2.5% hacia arriba y 2.5% hacia abajo, ($\pm 2.5\%$).
- En la tabla XI, podemos observar en porcentaje, la carga en los conductores, la cual está dentro de los límites establecidos, permitiendo así en un futuro una ampliación en el sistema, sin afectar por mucho la capacidad de los conductores. Hay que tomar en consideración al conductor entre la barras 5 y 7, que trabaja a un 89% de su capacidad

nominal, con el cual si se va a realizar una ampliación en la barra 7, es un dato que se deberá tomar en cuenta.

- En la tabla XII, se aprecian en porcentaje cuan cargados se encuentran los transformadores de la interconexión Valdez-Ecoelectric. Funcionan a una capacidad que va del 18 al 62 % de su capacidad máxima, lo que indica que se encuentran en un buen punto de operación, manteniendo un margen de reserva para las proyecciones futuras que se tengan en mente.

CAPÍTULO 3

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 máquinas rotatorias.
- Creación de condiciones peligrosas para la seguridad del personal.

El estudio del sistema eléctrico del sistema Valdez-Ecoelectric 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 realizarán 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 determinarán 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 Valdez-Ecoelectric 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 verificará que la corriente de falla a tierra no exceda la corriente trifásica.

3.2 DATOS DEL SISTEMA

La información básica es aplicable a todos los casos del sistema, su aplicación depende del tipo de corriente de falla a determinar.

3.2.1 IMPEDANCIAS EQUIVALENTES EN EL PUNTO DE ENTREGA DE CNEL MILAGRO

CNEL de Milagro 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 las siguientes tablas:

3.2.1.1 MVA DE CORTO CIRCUITO (CASO BASE)

Tabla XIV: Valores de corto circuito

Tipo de Falla	Corriente de Falla (pu)	Ángulo	Corriente de Falla (Amperios)	MVA de Cortocircuito
Trifásica-Tierra	4.6955	-76.06	3929	470
Línea- Tierra	3.023	-78.54	2529	302

3.2.1.2 IMPEDANCIAS EQUIVALENTES

Tabla XV: Valores de las impedancias

Tipo de Falla	Magnitud (pu)	Ángulo	R + Xj (Ohmios)	X/R
ZQQ-1	0.2910	-76.06	0.0734+j0.2816	3.8365
ZQQ-0	0.5674	-80.27	0.0958+j0.55926	5.8378

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 de voltaje.

3.2.2 IMPEDANCIA EN PU DE GENERADORES SINCRÓNICOS

Los datos de generación corresponden al Generador de 27.5 MW (Turbo7), y al Generador de 6 MW (Turbo 6).

Tabla XVI: Valores de las impedancia en por unidad

Generador	KV Nominal	MVA Nominal	X''d (pu)	X'd (pu)	Xd (pu)	X2 (pu)	Xo (pu)
Turbo 7	13.8	34.375	0.378	0.669	4.567	0.378	0.169
Turbo 6	4.16	7.5	2.133	3.2	21.2	2.133	0.7733

3.2.3 RESISTENCIA DE TIERRA DE GENERADORES DE 27.5 MW Y 6MW

Se sabe que el generador de 27.5 MW está provisto de una resistencia de tierra, clase 15 KV, voltaje de fase, 150 amperios /10 segundos, 40 Ω , con un CT clase 15 KV, relación 150/5 precisión 10B100. Considerando que la Z base a nivel de 13.8 KV es 1.9044 la resistencia de puesta a tierra en pu es igual a $40/1.9044 = 21$ pu

De igual manera, se tiene para el generador de 6 MW una resistencia de puesta a tierra de 10 Ω . De las corridas de corto circuito se aprecia que esta resistencia, tiene muy poco efecto en el propósito de limitar la corriente de falla a tierra debido a la conexión Delta-Y aterrizado del transformador de 15 MVA.

3.2.4 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.

3.2.5 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.

3.3 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.

3.3.1 ESTUDIOS DE CORTO CIRCUITO CASO BASE

En el anexo 3 se adjunta los resultados gráficos de los resultados de las corridas de corto circuito del caso base, que se resume a continuación.

3.3.1.1 CORRIENTE DE FALLA EN CADA BARRA

Tabla XVII: Valores de las corrientes de falla en cada barra

Barra	Nombre	Voltaje (KV)	Falla 3L-T		Falla L-T	
			p.u.	Amperios	p.u.	Amperios
1	Sistema Nacional Interconectado	69	5.050	4225.260	3.114	2605.430
2	Subestación Ecoelectric	13.8	4.845	20270.200	4.349	18196.600
3	Ecoelectric 13800V	13.8	4.887	20446.900	4.275	17884.100
4	MetalcladEcoelectric 13800V	13.8	4.603	19256.000	3.918	16392.600
5	Ecoelectric 4160V	4.16	1.943	26970.100	2.006	27838.500
6	Valdez 4160V	4.16	1.866	25903.600	1.885	26156.400
7	Valdez Tandem 4160V	4.16	1.769	24545.800	1.731	24025.100
8	Valdez 480V	0.48	0.806	96958.800	0.940	113119.00
9	Caldera	13.8	4.418	18485.400	3.754	15703.700
10	Motor 4000 HP	13.8	4.533	18966.200	3.877	16220.000

3.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente estudio de corto circuito preparado para la interconexión Valdez-Ecoelectric ha permitido cumplir los siguientes objetivos:

1. 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.
2. Determinar las zonas del sistema en donde la falla puede resultar en depresión inaceptable de voltajes.
3. El estudio de corto circuito considera los siguientes tipos de falla:
 - Falla trifásica a tierra
 - Falla de Línea a tierra.
4. La corriente de falla a línea a tierra fue limitada a la corriente de falla trifásica a tierra por medio de la instalación de resistencias en los neutros de los generadores de 27,5 MW y 6MW.

5. 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.
6. Las corrientes de falla trifásica y línea a tierra fueron aplicadas a cada barra del sistema, los resultados se pueden apreciar de manera gráfica en la parte de Anexos.
7. El ajuste de los equipos de protección, los cuales son determinados considerando el sistema bajo condiciones de falla, será estudiado en la cuarta parte de este trabajo relacionada con la coordinación de las protecciones.

CAPÍTULO 4

4. COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES.

Los estudios de flujo de carga y corto circuito del proyecto de cogeneración de energía del Ingenio Valdez, es la base para el ajuste y coordinación de las protecciones del sistema. Los estudios se realizarán 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 Valdez-Ecoelectric propiamente y con las protecciones del sistema de la CNEC de Milagro.

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

4.1 ESQUEMAS DE PROTECCIÓN

4.1.1 ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DE GENERADORES

La protección del generador de 27.5 MW se la realiza mediante un relé digital General Electric 489, el cual está diseñado expresamente para generadores.

Mientras tanto la protección del Generador de 6 MW se la realiza con un relé analógico Toshiba 87. En los siguientes gráficos se detallan los esquemas para cada uno de los generadores con sus respectivos equipos.

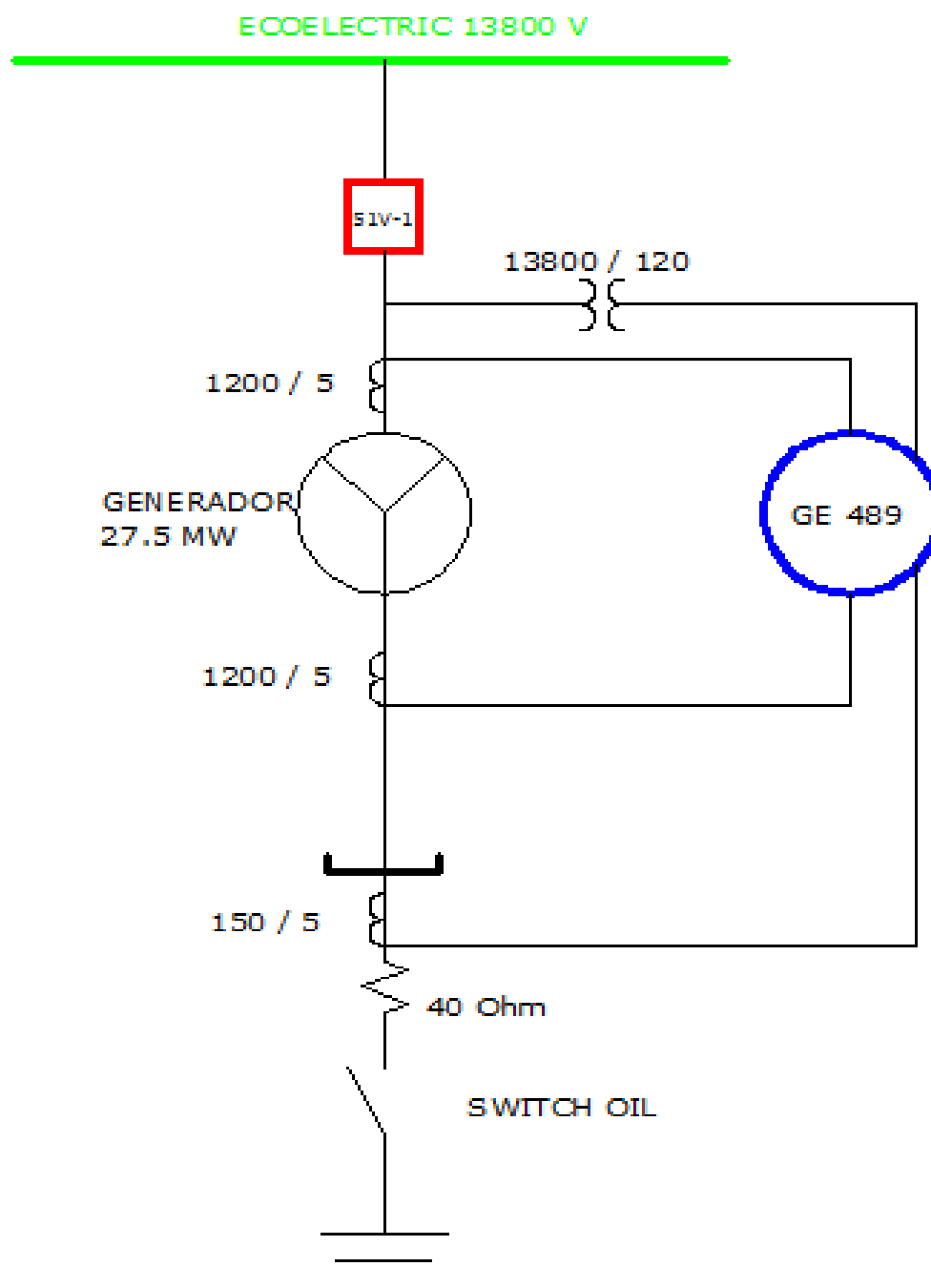


Gráfico 4-1: Esquema de protección del generador de 27.5 MW

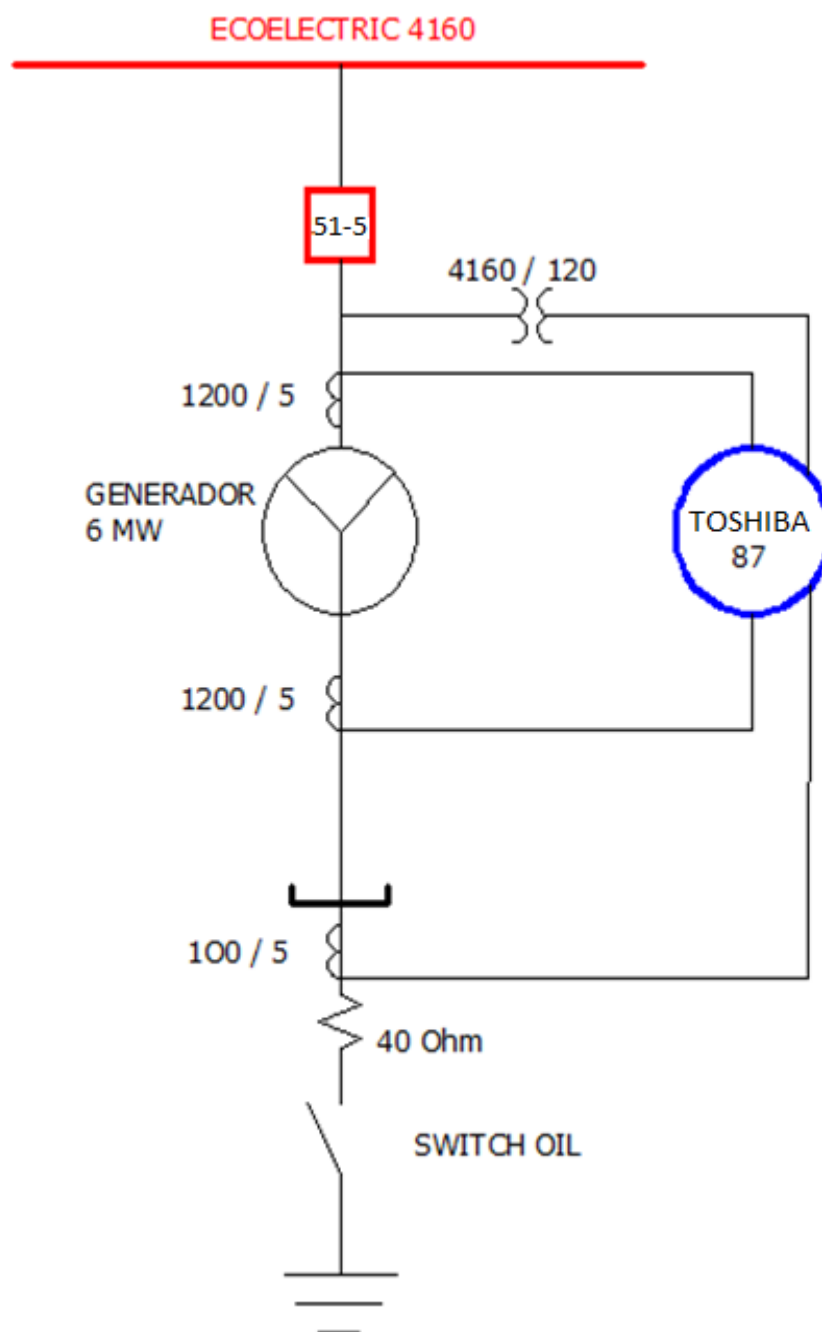


Gráfico 4-2: Esquema de protección del generador de 6 MW

4.1.2 ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DE LOS TRANSFORMADORES DE FUERZA

El sistema consta de un transformador de 20/25 MVA, el cual se encuentra ubicado en la subestación de Ecoelectric, este transformador es el que ayuda a elevar el voltaje de generación de 13.8 KV del generador de 27.5MW a 69KV, de ahí el excedente de energía que queda una vez suplida la demanda en el Ingenio Valdez y Ecoelectric pasa al Sistema Nacional Interconectado para la venta. También se cuenta con un transformador de 15 MVA, que disminuye el voltaje de generación de 13.8KV del generador de 27.5 MW a 4.16KV para poder corresponder con la demanda del sistema Valdez-Ecoelectric.

La protección de los transformadores previos se la realiza con el relé digital General Electric 745, el cual está diseñado especialmente para transformadores de fuerza.

Los otros dos transformadores de 4 MVA que ayudan a la distribución de energía, disminuyen el voltaje de 4.16KV a 480V, son protegidos por un relé digital SEL 551, cada uno, el cual es un relé de sobrecorriente que se

encuentra ubicado en la acometida de alta tensión de los transformadores.

A continuación se aprecia los esquemas para cada uno de los transformadores mencionados anteriormente.

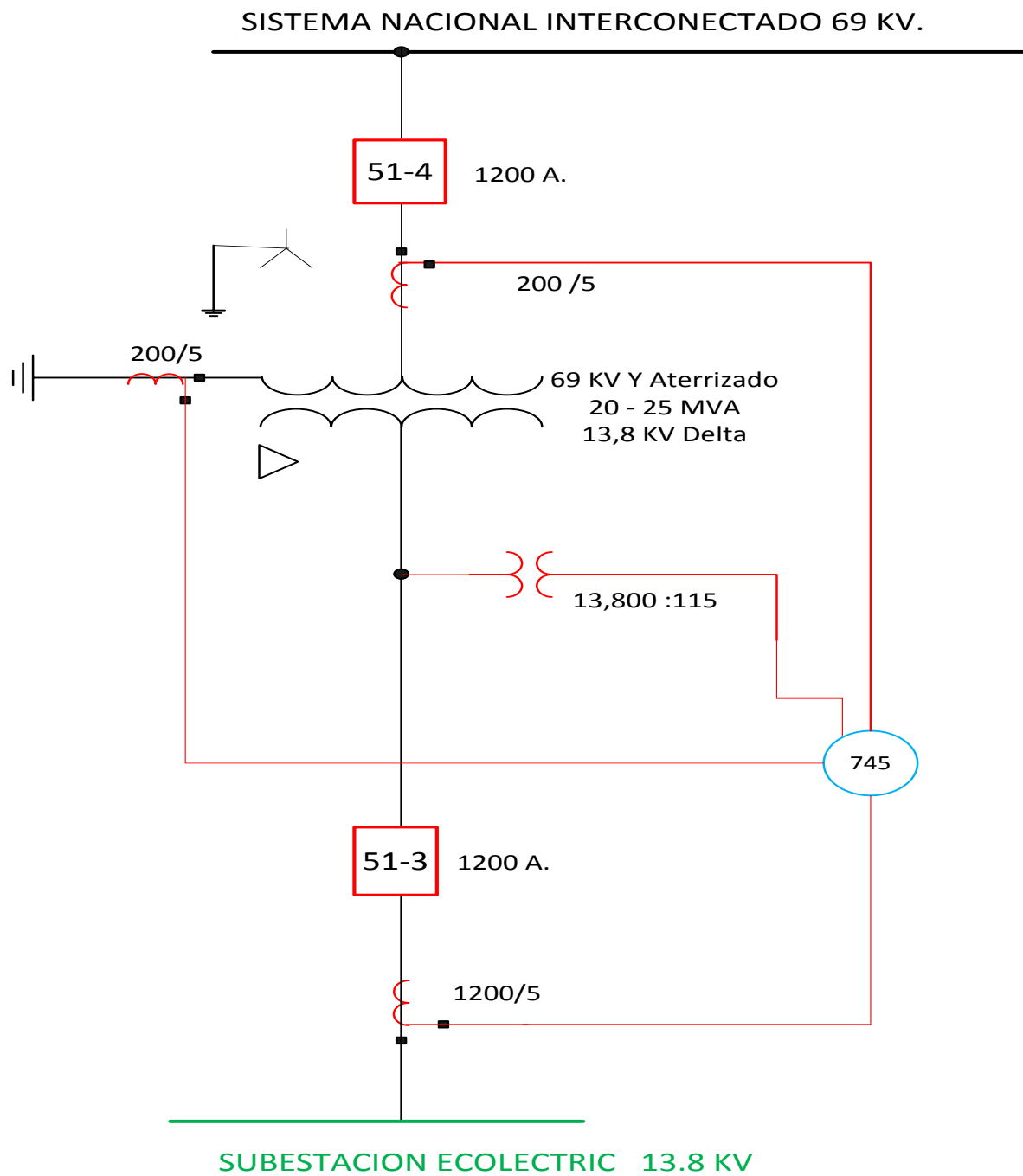


Gráfico 4-3 Esquema de protección de transformador de 20/25 MVA

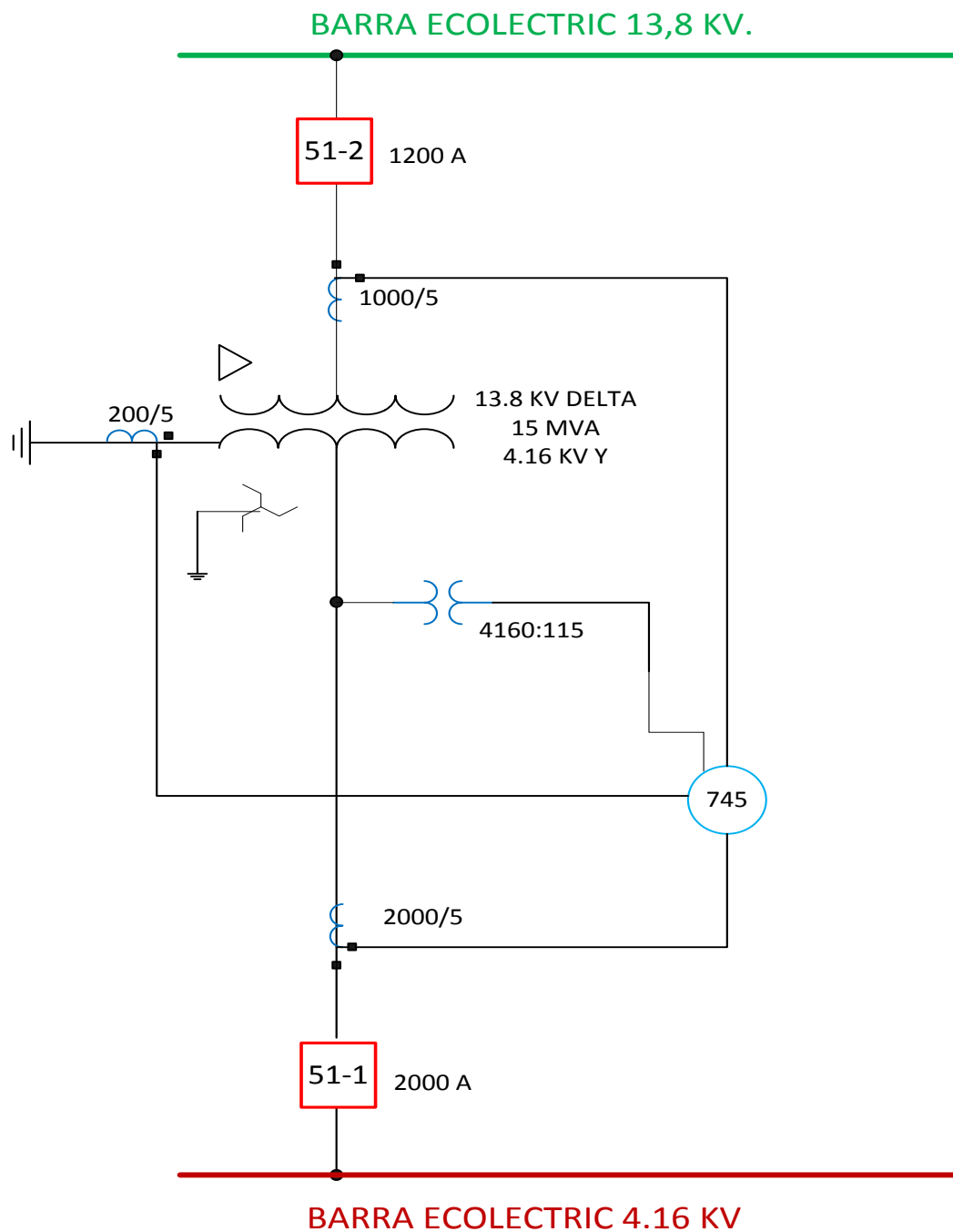


Gráfico 4-4: Esquema de protección del transformador de 15 MVA

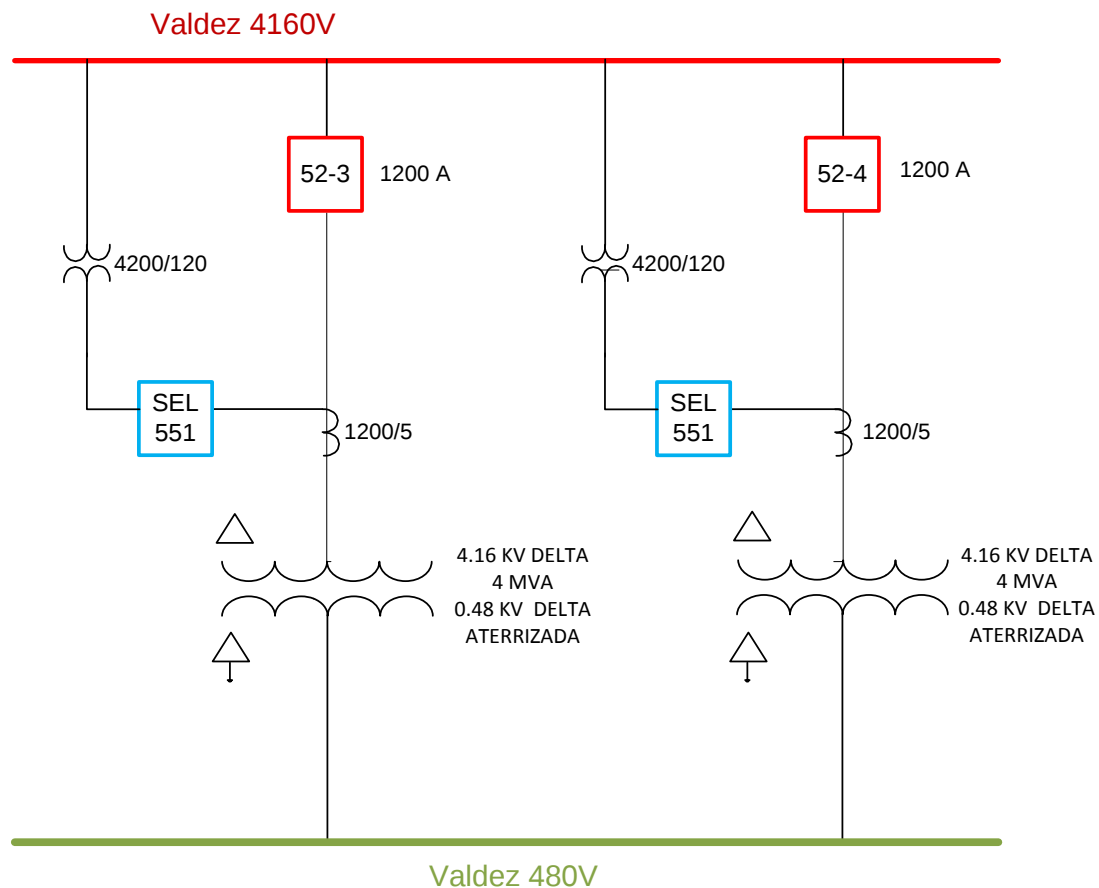


Gráfico 4-5: Esquema de protección de transformadores de 4 MVA

4.1.3 ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DE LOS MOTORES

El sistema consta de motores que ayudan en el proceso, de los cuales los de mayor capacidad son dos, uno de 4000HP y otro de 3000HP.

El motor de 4000HP trabaja a una tensión de 13.8KV, mientras que el motor de 3000HP lo hace a 4.16KV.

La protección de los motores se la realiza usando fusibles General Electric de 200A (4000HP) y 450A (3000HP), además cuentan con la protección del relé digital General Electric 469, el cual es un relé orientado a salvaguardar motores.

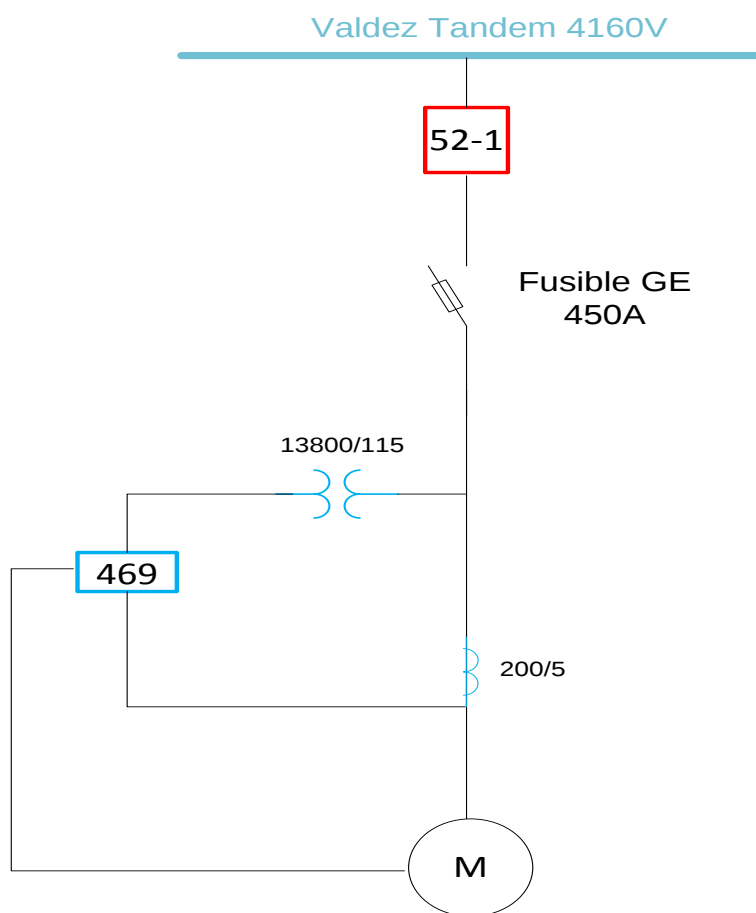


Gráfico 4-6: Esquema de protección del motor de 3000 HP

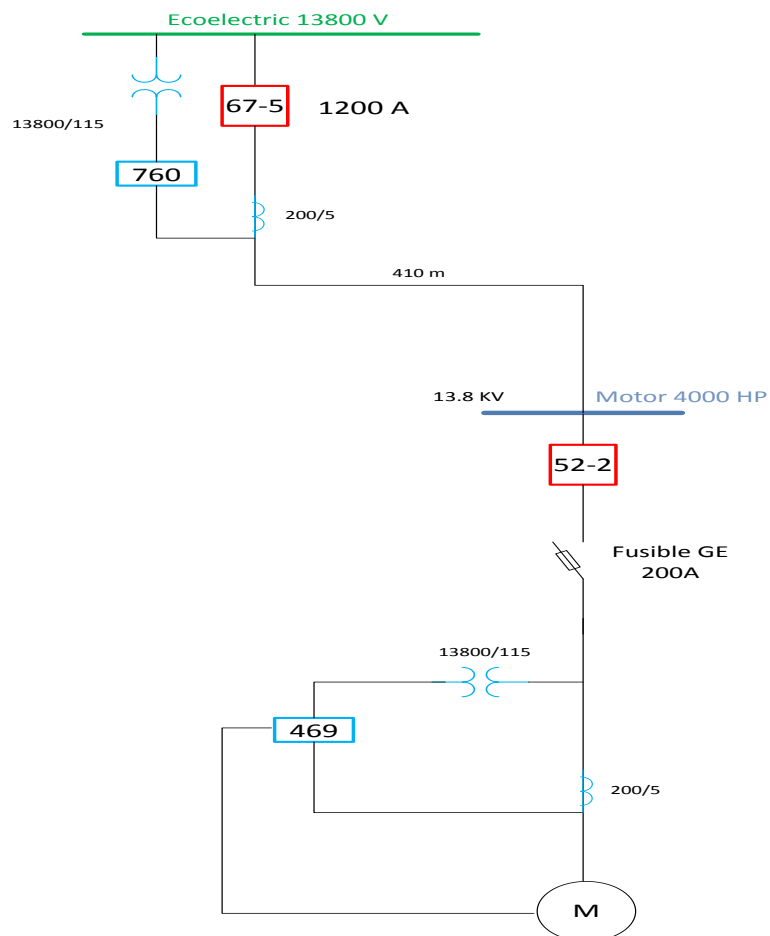


Gráfico 4-7: Esquema de protección del motor de 4000 HP y acometida

4.1.4 ESQUEMA DE PROTECCIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

La protección del sistema de distribución se la hará con ayuda de relés digitales SEL 551, General Electric 760 y General Electric F60 que son relés diseñados para resguardar las acometidas del sistema.

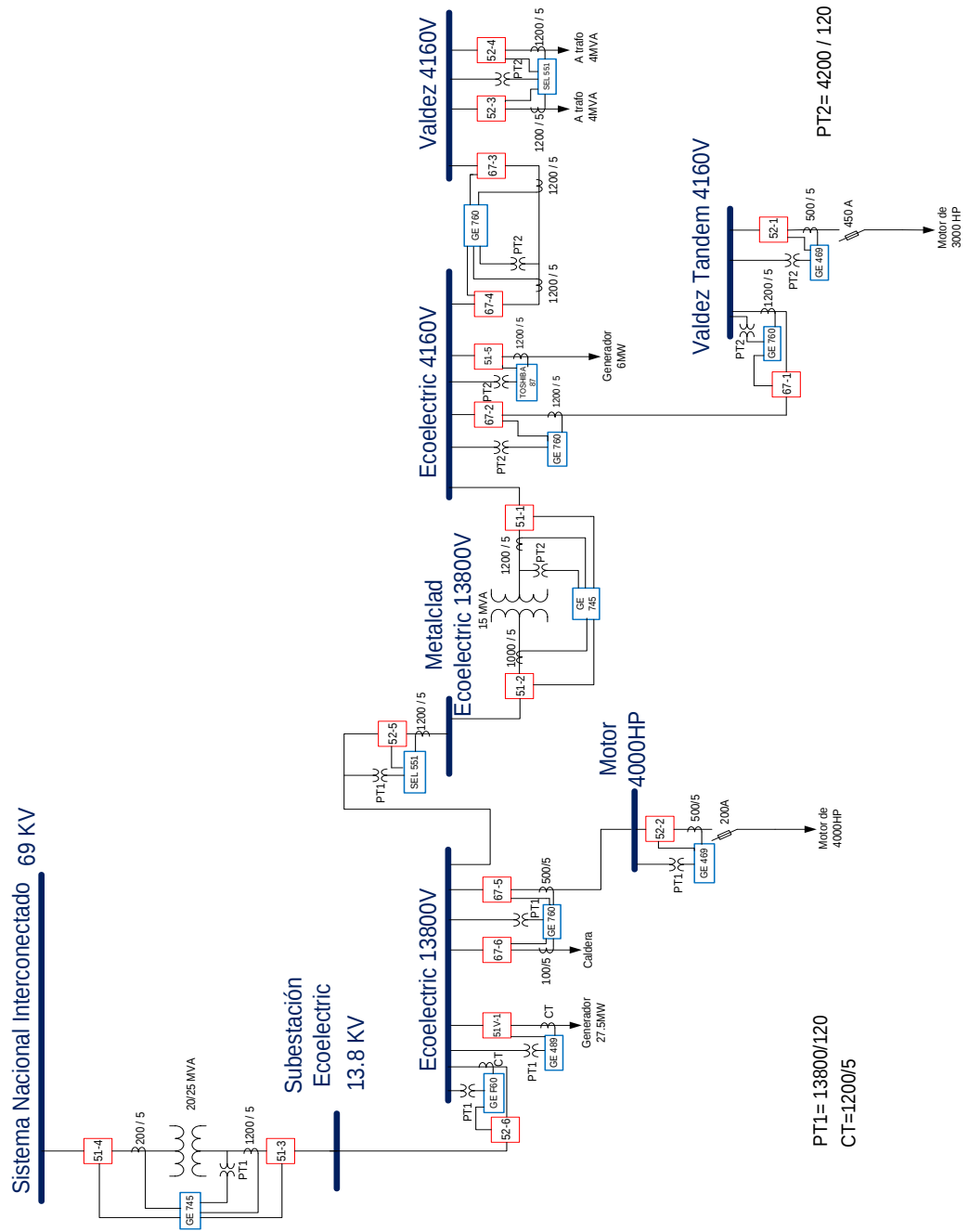


Gráfico 4-8: Esquema de protección del sistema de distribución

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 DEL GENERADOR DE 27.5MW

En esta sección se detallarán los cálculos y ajustes para la protección de los generadores, el generador de 27.5MW al tener el relé digital GE-489, se tiene las siguientes funciones:

- 87G Protección Diferencial Porcentual
- 59 Protección por Sobrevoltaje
- 27 Protección por Bajovoltaje
- 40 Protección por Pérdida de Campo
- 46 Protección de Secuencia Negativa
- 32 Protección de Potencia Inversa
- 81 Protección de Frecuencia
- 24 Protección por Sobreexcitación o Volts/Hertz
- 51V Protección por Sobrecorriente con restricción de voltaje

En cambio el generador de 6MW tiene el relé analógico Toshiba 87, el cual consta de las siguientes funciones:

- 87 Protección Diferencial
- 51 Protección por Sobrecorriente Temporizado

4.2.1.1 PROTECCIÓN DIFERENCIALPORCENTUAL (87G)

Cuando ocurre una falla de fase en el devanado del estator del generador, ésta es considerada como grave debido a las altas corrientes encontradas y el daño potencial a los devanados de la máquina, así como también al acoplamiento. Los largos tiempos de reparación para máquinas severamente dañadas pueden ser muy costosos; por consiguiente, también generan altos costos por reemplazo de potencia mientras la máquina está fuera de servicio. Por lo tanto, es muy importante minimizar el daño debido a fallas en el estator utilizando la protección diferencial.

El relé GE 489 para la protección diferencial tiene dos entradas de corriente. El relé opera cuando la siguiente condición se cumple:

$$I_{\text{OPERATE}} \geq K * I_{\text{RESTRAINT}}$$

Donde:

$$I_{\text{OPERATE}} = \vec{I}_1 - \vec{I}_2$$

$$I_R = I_{\text{RESTRAINT}} = \frac{(|\vec{I}_1| + |\vec{I}_2|)}{2}$$

K = pendiente característica del elemento diferencial de porcentaje

$$K = \text{Pendiente 1, si } I_R < 2CT; \text{Pendiente 2, si } I_R \geq 2CT$$

Esta ecuación muestra que la protección requiere mayor diferencia entre las corrientes de entrada en relación con el incremento de los valores absolutos de las corrientes

Cada unidad diferencial está prevista de una doble pendiente de restricción de porcentaje con punto de quiebre reajutable y sensibilidad diferencial programable, como se muestra en la siguiente figura:

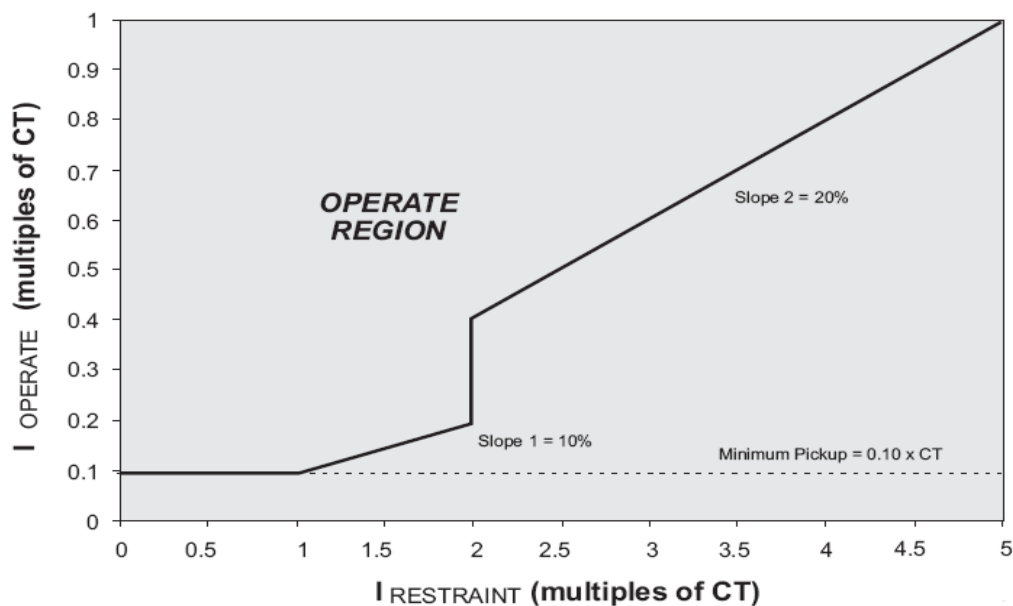


Gráfico 4-9: Curva de Diferenciación de Equipo

4.2.1.1.1 CÁLCULO DE AJUSTE

Para esto se requiere regular el ajuste básico en el relé, en el cual para generadores, este ajuste está entre 5% y 10 % del CT, el cual ajustamos a un 10%.

Para la elección de la mínima pendiente se puede establecer entre un 10% a 20%, cabe recalcar que mientras menor sea el valor de la pendiente, brindará mayor sensibilidad al relé respecto a fallas internas, por el

contrario si es mayor dará un rango mayor de error, los valores altos se utilizan para CT's de distintas marcas o usados. Como se trata de una instalación reciente los equipos son nuevos y los CT's son de la misma marca, elegiremos como mínima pendiente 10%.

En cambio para la elección de máxima pendiente, se recomienda un valor entre 20% a 50% para permitir diferencias de saturación entre los CT's, que se hacen notables cuando las corrientes son muy altas en el primario. Para esto elegiremos como máxima pendiente 20%.

4.2.1.1.2 AJUSTE

Tabla XVIII: Ajuste para la función 87G

SETTING	PARAMETER
PHASE DIFFERENTIAL	
DifferentialTrip Min. Pickup	0.10 x CT
DifferentialTripSlope 1	10%
DifferentialTripSlope 2	20%
DifferentialTripDelay	0 Cycles

4.2.1.2 PROTECCIÓN POR SOBREVOLTAJE (59)

Esta protección se la utiliza principalmente para proteger a los equipos eléctricos que se encuentran conectados a los terminales del generador, contra voltajes que pueden encontrarse por encima de un máximo tolerable. Los sobrevoltajes pueden ser producidos por:

- Incorrecta operación del regulador de voltaje del generador cuando este se encuentra en modo manual.
- Falta en el funcionamiento del regulador automático de voltaje.
- Pérdida repentina de carga.
- Separación del generador del sistema de potencia durante operación.

4.2.1.2.1 CÁLCULO DE AJUSTES

Para esto haremos uso de las restricciones en la regulación de voltaje, mencionadas en el capítulo 2, las cuales serán la base para el ajuste de esta

protección. La restricción indica que el voltaje no debe excederse un 2.5% del voltaje nominal.

El voltaje que medirá el relé es el voltaje secundario del PT, cuya relación es de 13800/120, por tanto para el ajuste trabajaremos con los 120V (Rated) en el secundario del PT.

Ahora esta protección consta de 2 etapas, la primera que se ajusta no en 2.5% sino en 3%, debido a que el relé sólo permite cambios en pasos de 0.01 y no en 0.001 que sería el requerido para el ajuste de 2.5%.

$$(1 + 0.03)(120) = 123.6 \text{ V}$$

según la restricción y daremos un tiempo de 3 segundos hasta que el regulador de voltaje actúe de lo contrario se activará la alarma, alertando así al operador.

Para la segunda etapa, trabajaremos con un 4% más del voltaje nominal, lo cual es:

$$(1 + 0.04)(120) = 124.8 \text{ V}$$

Para ese valor de voltaje dará paso al disparo de la unidad y la haremos que actúe en 1 segundo.

4.2.1.2.2 AJUSTES

Tabla XIX: Ajustes de la función 59

SETTINGS	PARAMETERS
ALARM	
UndervoltageAlarm Pickup	1.03xRated
UndervoltageAlarmDelay	3.0 s
TRIP	
UndervoltageTrip Pickup	1.04xRated
UndervoltageTripDelay	1.0 s

4.2.1.3 PROTECCIÓN POR BAJOVOLTAJE (27)

La función de bajo voltaje, protege principalmente a los equipos (sistemas auxiliares) conectados al generador, contra reducciones de voltaje que pueden derivar en condiciones inapropiadas de operación, sobre todo de motores y bombas. Las principales razones para la presencia de bajos voltajes son:

- Proximidad de fallas

- Pérdida de un generador en el sistema
- Incremento en la demanda del sistema
- Fallas en el regulador automático de voltaje (AVR)

4.2.1.3.1 CÁLCULO DE AJUSTES

Para el ajuste de la función 27 se hará uso de la restricción para la regulación de voltaje mencionada en el capítulo 2.

Al igual que la función 59, existen dos etapas, la primera, de alarma que será ajustada a un 3%, por debajo del valor nominal del PT que es 120V (Rated), la justificación fue explicada en el ajuste de sobrevoltaje:

$$(1 - 0.03)(120) = 116.4 \text{ V}$$

A este nivel de tensión se encenderá la alarma en un tiempo ajustado de 3 segundos, si en ese tiempo el regulador de voltaje no compensa el bajo voltaje.

En la segunda etapa, la de disparo se ajusta en 4% por debajo del voltaje nominal del PT:

$$(1 - 0.04)(120) = 115.2 \text{ V}$$

El tiempo de disparo será en de 1 segundo.

4.2.1.3.2 AJUSTES

Tabla XX: Ajustes para la función 27

SETTINGS	PARAMETERS
ALARM	
UndervoltageAlarm Pickup	0.97xRated
UndervoltageAlarmDelay	3.0 s
TRIP	
UndervoltageTrip Pickup	0.98xRated
UndervoltageTripDelay	1.0 s

4.2.1.4 PROTECCIÓN POR PÉRDIDA DE CAMPO (40)

El generador sincrónico requiere del devanado de campo, ubicado en el rotor, para proporcionar el flujo magnético necesario en el entrehierro para la conversión de energía mecánica a eléctrica. El devanado de campo es energizado con corriente continua y controla

principalmente la potencia reactiva que el generador entrega o recibe del sistema de potencia, si algún problema ocurre con el circuito de excitación provocando la pérdida parcial o total del campo, el generador empezará a recibir gran cantidad de potencia reactiva del sistema operando en la zona de subexcitación. Si la pérdida de excitación es drástica, el punto de operación puede desplazarse fuera de la curva de estabilidad en estado estable, provocando inestabilidad y pérdida de sincronismo. La pérdida de campo puede ser ocasionada por:

- Circuito abierto del campo
- Cortocircuito en el campo
- Disparo accidental del interruptor de campo
- Falla en el sistema de control del regulador de voltaje
- Pérdida de campo del excitador principal

Los principales problemas que se presentan cuando se pierde parcial o totalmente la excitación, son los siguientes:

- Sobrecalentamiento de los devanados por la excesiva corriente capacitiva circulando a través de ellos.
- Inestabilidad del sistema
- Pérdida de sincronismo
- Colapso de voltaje si el sistema no es lo suficientemente fuerte para entregar la potencia reactiva necesaria para mantener la excitación del generador.
- Daño en el rotor por corrientes inducidas.

4.2.1.4.1 CÁLCULO DE AJUSTES

Para esto nos guiaremos según el manual del relé GE-489, en la que utiliza una protección de distancia tipo mho, con dos zonas de operación.

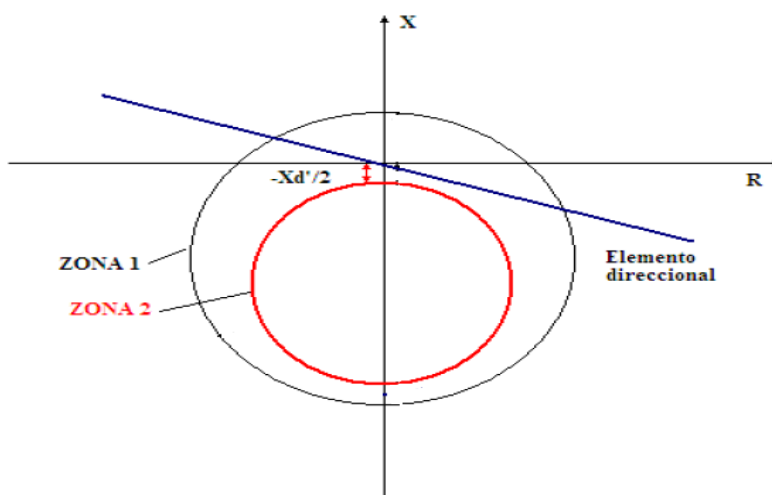


Gráfico 4-10: Diagrama R-X para la protección de pérdida de campo

Las recomendaciones del manual indican que el diámetro de la zona 1 debe ser calibrado con el valor de la reactancia sincrónica del generador X_d y el círculo de compensación (offset) ser $X'_d/2$. Por tanto:

Diámetro de la primera zona:

$$X_d = 4.567(1.43) = 6.57 \text{ Ohmios}$$

Círculo de compensación:

$$X'd/2 = 0.669(1.43)/2 = 0.48 \text{ Ohmios}$$

Luego para determinar el diámetro para la segunda zona, el fabricante recomienda ajustarlo a un 70%Xd y el círculo de compensación (offset) igual a X'd/2.

Diámetro de la segunda zona:

$$0.7Xd = 0.7(6.57) = 4,59 \text{ Ohmios}$$

Círculo de compensación:

$$X'd/2 = 0.669(1.43)/2 = 0.48 \text{ Ohmios}$$

Los valores hallados son con respecto al primario, éstos tenemos que llevarlo al lado del secundario, eso se lo realiza multiplicando por la relación de CT (1200/5) y dividiendo para la relación de PT (13800/120).

4.2.1.4.2 AJUSTES

Tabla XXI: Ajustes de la función 40

SETTINGS	PARAMETERS
Circle 1 Diameter	13.71 Ω sec
Circle 1 Offset	1.00 Ω sec
Circle 1 Trip Delay	5.0 s
Circle 2 Diameter	9.57 Ω sec
Circle 2 Offset	1.00 Ω sec
Circle 2 TripDelay	5.0s

4.2.1.5 PROTECCIÓN DE SECUENCIA NEGATIVA (46)

Existen numerosas condiciones del sistema que pueden causar corrientes trifásicas desbalanceadas en un generador. Estas condiciones del sistema producen componentes de corriente de secuencia de fase negativa la cual induce una corriente de doble frecuencia en la superficie del rotor. Estas corrientes en el rotor pueden causar altas y dañinas temperaturas en muy corto tiempo. Es práctica común proporcionar al generador protección para condiciones de desbalance externo que podrían dañar el equipo.

4.2.1.5.1 CÁLCULO DE AJUSTE

Para el ajuste de esta protección haremos uso de la siguiente fórmula:

$$I_{alarma} = \%I_{2permisible} \left(\frac{I_{Nsec}}{I_{sec}} \right)$$

Donde:

I_{alarma} : corriente de alarma (pu)

I_{Nsec} : corriente nominal en el secundario del CT

I_{sec} : corriente en el secundario del CT

$\%I_{2permisible}$: porcentaje de corriente negativa permisible

La ecuación nos permitirá determinar la corriente (pu) para el ajuste de alarma del relé. El valor de $I_{2permisible}$ nos lo da norma IEEE Std. C37.102-2006, que depende del tipo de generador.

Tabla XXII: Valores permisibles de I_2 según la IEEE

Tipo de generador	$I_{2permisible}(\%)$
Polos Salientes (PS)	
PS con devanado amortiguador	10
PS sin devanado amortiguador	5
Rotor Cilíndrico (RC)	
RC enfriado indirectamente	10
RC directamente enfriado	
>350MVA	8
351MVA-1250MVA	$8 - ((MVA - 350)/300)$
1251MVA-1600MVA	5

Ahora determinamos la corriente nominal en el secundario del CT:

$$I_N = \frac{MVA}{\sqrt{3} * KV_{L-L}}$$

$$I_N = \frac{34375}{\sqrt{3} * 13.8} = 1438 \text{ A}$$

$$I_{Nsec} = 1438 * \frac{5}{1200} = 5.99 \text{ A}$$

Determinamos la corriente de alarma, para nuestro caso la corriente permisible de secuencia negativa es 10%, según la tabla XXII:

$$I_{alarma} = \%I_{2permisible} \left(\frac{I_{Nsec}}{I_{sec}} \right)$$

$$I_{alarma} = 0.1 \left(\frac{5.99}{5} \right) = 0.12 \text{ pu}$$

Una vez que hemos hallado el ajuste de la I_{alarma} , y se regula un retardo de tiempo en el que el generador puede soportar la corriente de secuencia negativa, este valor lo regulamos en 5 segundo.

Luego procederemos al cálculo de otro de los parámetros que requiere el relé para su ajuste, que es el tiempo máximo que circula la corriente negativa, una de las ecuaciones que ayudará es la siguiente:

$$K = I_2^2 t$$

Donde:

K : constante de capacidad de secuencia negativa de la máquina IEEE Std. C37.102-2006

I_2 : corriente de secuencia negativa, que es igual a la corriente de secuencia positiva nominal.

t : tiempo que circula la corriente negativa

El valor de K , nos lo da la norma IEEE Std. C37.102-2006, en la siguiente tabla:

Tabla XXIII: Valores permisibles de K según la IEEE

Tipo de generador	$I_2^2 t$ (s)
Polos Salientes	40
Condensador Sincrónico	30
Rotor Cilíndrico (RC)	
RC enfriado indirectamente	30
RC directamente enfriado	
0 – 800 MVA	10
801 – 1600 MVA	$10 - (0.00625)(MVA - 800)$

Según la tabla XXIII, nuestro valor de K es 40s por ser la máquina un generador de polos salientes, cabe recalcar que I_2 se halla en el lado del secundario del CT y también que el valor de K visto por el relé es diferente y viene dado por:

$$K_{relé} = K \left(\frac{I_{Nsec}}{I_{sec}} \right)^2 = 40 \left(\frac{5.99}{5} \right)^2 = 57.4 \text{ s}$$

Por lo tanto calibramos a $K_{relé}$ en 57 s

El tiempo máximo es calibrado para una falla de corriente de arranque que es calculada con la siguiente fórmula:

$$I_{arranque} = I_{2min} \left(\frac{I_{Nsec}}{I_{sec}} \right)$$

Donde I_{2min} es la corriente de secuencia negativa mínima que ocurre cuando se tiene una falla de fase abierta, en nuestro caso, esta corriente toma el valor de 0.2 pu.

$$I_{arranque} = 0.2 \left(\frac{5.99}{5} \right) = 0.24 \text{ pu}$$

Ahora con esto procedemos a sustituir este valor de $I_{arranque}$ en I_2 :

$$t_{max} = \frac{K}{I_2^2} = \frac{57}{(0.24)^2} = 989.58 \text{ s}$$

Por tanto calibramos este tiempo en 990 s

4.2.1.5.2 AJUSTES

Tabla XXIV: Ajustes de la función 46

SETTINGS	PARAMETERS
ALARM	
Neg. Sequence Alarm Pickup	$0.12 I_N$
Neg. Sequence Alarm Delay	5 s
TRIP	
Neg. Sequence O/C Trip Pickup	$0.24 I_N$
Neg. Sequence O/C Constant K	57
Neg. Sequence O/C Max. Time	990 s
Neg. Sequence O/C Reset Rate	40 s

4.2.1.6 PROTECCIÓN DE POTENCIA INVERSA (32)

La protección de la potencia inversa sirve como protección de una unidad turbogeneradora cuando en caso de fallo de la energía de accionamiento, el generador síncrono actúa como motor y pone en marcha la turbina recibiendo de la red la potencia de arrastre necesaria. Este estado supone un riesgo para los álabes de la turbina y debe subsanarse en un breve período de tiempo abriendo el interruptor de la red.

Para el generador existe además el peligro de que en caso de que fluya fluido residual, al desconectar el interruptor de potencia la unidad de generador-turbina se acelere y alcance un número de revoluciones excesivas. Por ello, la separación de la red debe tener lugar una vez detectado el consumo de potencia activa.

4.2.1.6.1 CÁLCULO DE AJUSTES

Para esto se debe calibrar el relé para que actúe ante un determinado porcentaje de la potencia de motorización del generador, este valor nos la da la norma IEEE Std. C37.102-2006.

Tabla XXV: Porcentajes de motorización según la IEEE

Tipo de Generador	% Pn
Turbina de gas	50
Con motor a diesel	25
Turbina a vapor	0.5 – 3
Hidro-turbina	0.2 – 2

En nuestro caso tenemos una turbina de vapor para la cual utilizaremos un 3% y elegiremos en

primera instancia un tiempo de retardo de 5 s para la alarma y un tiempo de disparo de 20 s.

4.2.1.6.2 AJUSTES

Tabla XXVI: Ajuste de la función 32

SETTINGS	PARAMETERS
ALARM	
Reverse Power Alarm	$0.03 P_N$
Reverse Power Alarm Delay	5 s
TRIP	
Reverse Power Trip Level	$0.03 P_N$
Reverse Power Trip Delay	20 s

4.2.1.7 PROTECCIÓN POR FRECUENCIA (81)

La protección de frecuencia tiene como misión detectar sobrefrecuencias o bajafrecuencias del generador. Si la frecuencia se encuentra fuera del campo permitido se efectúan las operaciones de desconexión correspondientes, como por ejemplo: la separación del generador de la red.

La disminución de la frecuencia se produce debido a una mayor necesidad de potencia activa de la red o a un

funcionamiento defectuoso de la regulación de la frecuencia o de las revoluciones.

El aumento de la frecuencia se produce, por ejemplo, por desconexión de cargas o por un comportamiento defectuoso de la regulación de frecuencia.

4.2.1.7.1 CÁLCULO DE AJUSTES

Respecto al ajuste de máxima y mínima frecuencia, se ajustarán dos niveles, uno de alarma y otro de disparo.

Para el nivel de alarma se establece ± 0.5 Hz y como nivel de disparo ± 2 Hz, con un tiempo de actuación para alarma de 5s y de disparo de 60s y 30s tanto para bajafrecuencia y sobrefrecuencia.

Por lo tanto tenemos para baja frecuencia:

$$f_{\text{alarm}} = 60 - 0,5 = 59.5 \text{ Hz}$$

$$f_{\text{trip}} = 60 - 2 = 58 \text{ Hz}$$

Y sobrefrecuencia:

$$f_{\text{alarm}} = 60 + 0,5 = 60.5 \text{ Hz}$$

$$f_{\text{trip}} = 60 + 2 = 62 \text{ Hz}$$

4.2.1.7.2 AJUSTES

Tabla XXVII: AJUSTES DE LA FUNCIÓN 81

SETTINGS	PARAMETERS
Underfrequency	
ALARM	
Underfrequency Alarm Level	59.5 Hz
Underfrequency Alarm Delay	5 s
TRIP	
Underfrequency Trip Level 1	59.5 Hz
UnderfrequencyTrip Delay1	60 s
Underfrequency Trip Level 2	58 Hz
UnderfrequencyTrip Delay2	30 s
Overfrequency	
ALARM	
Overfrequency Alarm Level	60.5 Hz
Overfrequency Alarm Delay	5 s
TRIP	
Overfrequency Trip Level 1	60.5 Hz
OverfrequencyTrip Delay1	60 s
Overfrequency Trip Level 2	62 Hz
OverfrequencyTrip Delay2	30 s

4.2.1.8 PROTECCIÓN POR SOBREEXCITACIÓN O

VOLTS/HERTZ (24)

Esta protección es aplicada tanto para generadores como para transformadores, en un mismo dispositivo.

El flujo magnético necesario para producir inducción de voltaje en el devanado de armadura en un generador sincrónico, es provisto por el hierro del estator del generador. Este elemento está diseñado para entregar el suficiente flujo magnético para que la máquina trabaje sin complicaciones en condiciones nominales. La sobreexcitación del generador, se produce cuando su operación demanda un flujo magnético que excede los límites de diseño.

4.1.2.8.1 CÁLCULO DE AJUSTE

Según la norma IEEE Std. C37.102-2006, los generadores deben trabajar bien en un 105% de la relación V/Hz nominal, por tanto para la ajuste de alarma ajustaremos en un 110% de la relación V/Hz en la cual se puede usar un rango de tiempo de 40 a 60 segundos. Para el estado de alarma ajustamos a un 118% de la V/Hz con un retardo de 2 segundos.

4.1.2.8.2 AJUSTES

Tabla XXVIII: Ajuste de la función 24

SETTINGS	PARAMETERS
ALARM	
Volts/Hertz Alarm Level	1.10 V/Hz
Volts/Hertz Alarm Delay	40 s
TRIP	
Volts/Hertz Trip Level 1	1.18V/Hz
Volts/Hertz Trip Delay1	2 s

4.1.2.9 PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE CON RESTRICCIÓN DE VOLTAJE (51V)

Esta protección sirve de respaldo ante fallas de fase a fase y fase tierra en el generador, en caso de que la protección diferencial del generador no actúe. Además que el sistema Valdez-Ecoelectric es un sistema de distribución, el relé 51V es la mejor opción como protección de respaldo, principalmente para la coordinación entre las protecciones del sistema y las del generador.

4.1.2.9.1 CÁLCULO DE AJUSTE

Los ajustes de esta función se la realiza más adelante ya que debe ser coordinada con otros elementos.

Lo único que se adelantará es que la restricción de voltaje se la ajustará a un 80% del voltaje nominal.

4.2.2 PROTECCIÓN DEL GENERADOR DE 6MW

El generador de 6 MW será debidamente protegido por el relé analógico Toshiba 87. El cual posee las siguientes funciones.

- 87 Protección Diferencial
- 51 Protección de Sobrecorriente

Los ajustes de la función de sobrecorriente (51) se realizarán en este capítulo, y serán mostradas más adelante. Por el momento solo se presentarán los ajustes del elemento diferencial.

4.2.2.1 PROTECCIÓN DIFERENCIAL

4.2.2.1.1 CÁLCULO DE AJUSTE

En este caso el ajuste para la corriente de pickup lo ajustaremos al 10% de la corriente nominal en el secundario del CT.

4.2.2.1.2 AJUSTES

Tabla XXIX: Ajuste de la función 87

AJUSTE	PARÁMETRO
PICKUP DIFERENCIAL	0.10CT

4.2.3 PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES DE FUERZA

Para realizar la debida protección del transformador de 20/25 MVA localizado entre las barras de Ecoelectric 13.8 kV y la del SIN, se utiliza un relé numérico GE-745

Las funciones a utilizar para la protección son las siguientes:

- 87 Protección Diferencial
- 59/81 Protección por Sobreexcitación o Voltios/Hertz
- 51 Protección por Sobrecorriente Temporizada

Las cuales son la protección principal para fallas internas del y poseen el ajuste típico o recomendado por el fabricante.

Para los dos transformadores de 4 MVA ubicados en la barra Valdez 4160V se utilizará el equipo SEL 551 Overcurrent/Reclosing Relay, este equipo sólo consta de protección por sobrecorriente. En este equipo el elemento de protección se debe coordinar con el resto de las unidades de protección del sistema.

Los ajustes de la protección de sobrecorriente de los equipos SEL 551 y GE 745 se lo hará en la sección de Coordinación de las Protecciones, y dicha información se presentará a manera de tablas.

A continuación se mostrará los ajustes de las funciones 87 y 59/81 de los equipos de protección de los transformadores de 20/25MVA y 15MVA.

4.2.3.1 PROTECCIÓN DIFERENCIAL (87)

El relé GE/745 dispone de tres elementos de sobrecorriente diferencial (uno por fase), que permiten el control de fallas internas.

4.2.3.1.1 CÁLCULO DE AJUSTES

Para esto analizaremos las corrientes en los secundarios de los CT's en los transformadores de 20/25MVA y 15MVA.

Tabla XXX: Cálculos para Transformador de 20/25MVA

TRANSFORMADOR 20/25MVA	
Conexión en alta	Y aterrizado
Corriente Nominal en alta	167.4
Relación de CT	200/5
Corriente en secundario CT	4.2
Corriente en el relé	4.2
Conexión en baja	Delta
Corriente Nominal en baja	836.7
Relación de CT	2000/5
Corriente en secundario CT	2.1
Corriente en el relé	3.6
Corriente diferencial (Id)	0.6
%Id con respecto a CT	12%

Tabla XXXI: Cálculos para transformador de 15MVA

TRANSFORMADOR 15MVA	
Conexión en alta	Delta
Corriente Nominal en alta	627.6
Relación de CT	750/5
Corriente en secundario CT	4.2
Corriente en el relé	7.2
Conexión en baja	Y aterrizado
Corriente Nominal en baja	2081.8
Relación de CT	1500/5
Corriente en secundario CT	6.9
Corriente en el relé	6.9
Corriente diferencial (Id)	0.3
%Id con respecto a CT	6%

Así como el relé GE 489, el relé GE 745, consta con una característica de doble pendiente, en la cual el valor para la primera pendiente el fabricante recomienda un 25%, para la segunda pendiente se recomienda valores menores al 98% con un punto de inflexión a 200% de CT, para lo cual elegimos 90%.

4.2.3.1.2 AJUSTES

Tabla XXXII: Ajustes de la función 87 Transformador 20/25MVA

SETTING	PARAMETER
PHASE DIFFERENTIAL	
Differential Trip Min. Pickup	0.12 x CT
Differential Trip Slope 1	25%
Differential Trip Slope 2	90%
Differential Trip Delay	0 Cycles

Tabla XXXIII: Ajustes de la función 87 Transformador 15MVA

SETTING	PARAMETER
PHASE DIFFERENTIAL	
Differential Trip Min. Pickup	0.06 x CT
Differential Trip Slope 1	25%
Differential Trip Slope 2	90%
Differential Trip Delay	0 Cycles

4.2.3.2 PROTECCIÓN POR SOBREEXCITACIÓN O VOLTS/HERTS (59/81)

4.2.3.2.1 CÁLCULO DE AJUSTES

Para esta protección usaremos los mismos ajustes que realizamos en el relé GE 489, para ambos transformadores.

4.2.3.2.2 AJUSTES

Tabla XXXIV: Ajustes para la función 59/81 para ambos transformadores

SETTINGS	PARAMETERS
ALARM	
Volts/Hertz Alarm Level	1.10 V/Hz
Volts/Hertz Alarm Delay	40 s
TRIP	
Volts/Hertz Trip Level 1	1.18V/Hz
Volts/Hertz Trip Delay1	2 s

4.2.3.3 PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE (51)

El ajuste de esta protección se lo realiza más adelante, ya que se lo tiene que coordinar con los elementos de protección existentes en el sistema.

4.2.4 PROTECCIÓN DE MOTORES

Para la protección de motores usaremos el elemento 50 de protección de cortocircuito, el cual comandará la apertura del elemento 52, los ajuste de esta función se la aprecia más adelante.

Cabe mencionar que aparte del elemento de protección GE 469, también se tiene la ayuda de un fusible, el cual habrá que tomar en cuenta en la coordinación.

4.2.5 PROTECCIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

Para la protección del sistema de distribución, usaremos los relés GE-760, GE-F60 y SEL 551. De estos equipos ajustaremos la protección de sobrecorriente que comandará la apertura del interruptor de CA (52), en el caso de los relés SEL 551 y GE-F60, en cambio en los relés GE-760 usaremos la función 67, que es la protección de sobrecorriente direccional, los ajustes de estos equipos se la presenta más adelante.

4.2.6 COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES

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

- Selectividad: cada relé o elemento de protección deberá operar 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 unidad instantánea se la ha ajustado para la corriente máxima de falla en la barra más cercana al relé o para la mayor corriente de contribución en la localidad del relé.

4.2.5.3 COORDINACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

Como se ha mencionado antes la coordinación de las protecciones se la realizará con un intervalo de 0.2 a 0.25 segundos, de esta manera se asegura selectividad y velocidad en la coordinación.

Se han seleccionado curvas que obedecen a las normas ANSI e IEC para la coordinación, las fórmulas de las curvas se las encuentra en el manual del fabricante de cada uno de los equipos.

En los esquemas de protección vistos previamente se puede observar la ubicación de cada una de las unidades de sobrecorriente del sistema.

La unidad de protección en los motores se ha ajustado para que la curva del relé sea constante una vez exceda un valor dado de corriente, este ajuste se lo ha hecho en 7 veces la corriente nominal para el motor de 3000HP y 6 veces la corriente nominal para el motor de 4000HP.

El gráfico 4-11 muestra la coordinación de los elementos de protección desde el punto de conexión con el SNI hasta la barra Metalclad Ecoelectric 13800V.

En el gráfico 4-12 se muestra la coordinación de los elementos de protección desde la barra Metalclad Ecoelectric 13800V hasta las barras de Valdez 4160V y Valdez Tandem 4160V.

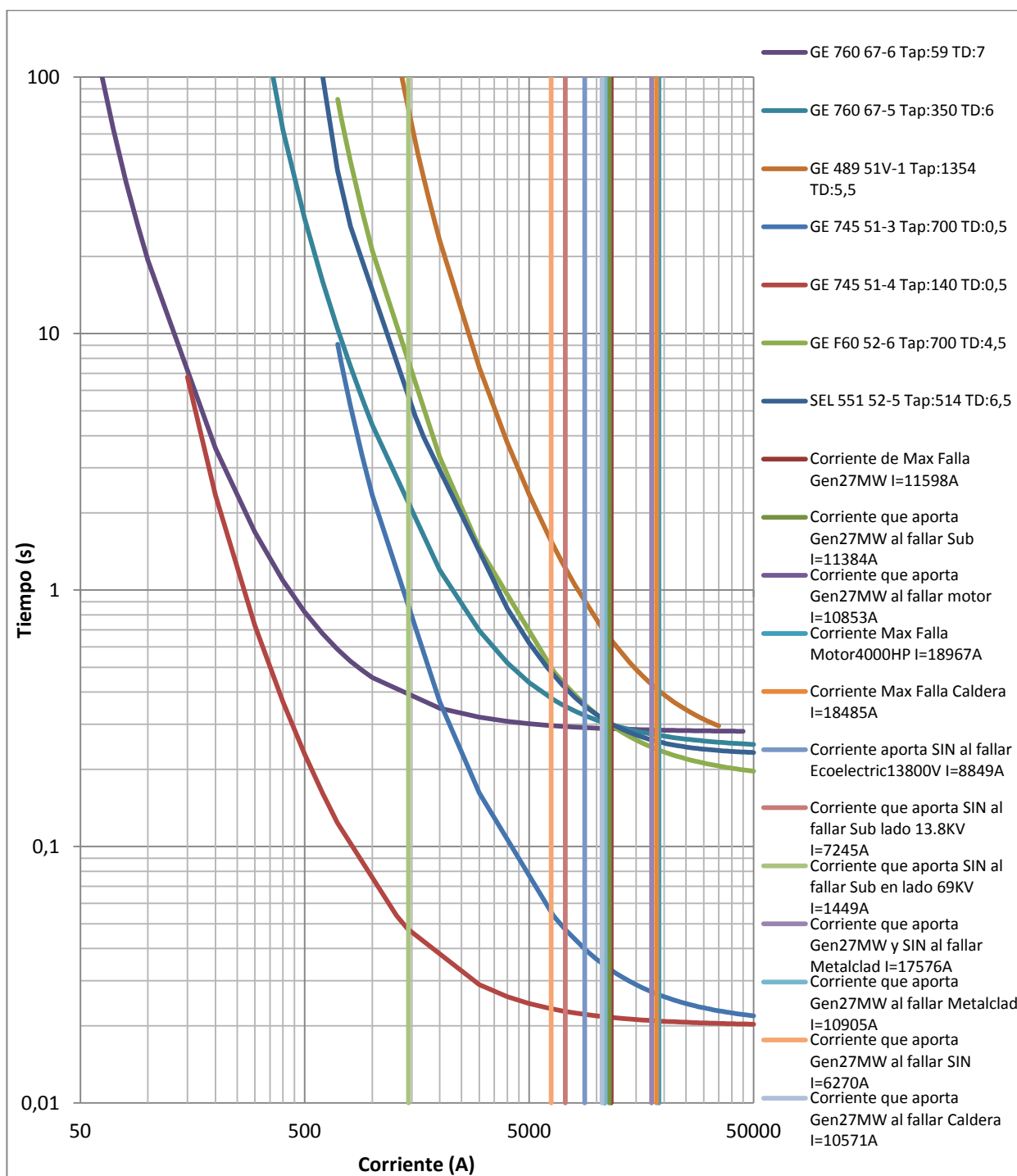


Gráfico 4-11: Coordinación de las protecciones de la red de 13800V

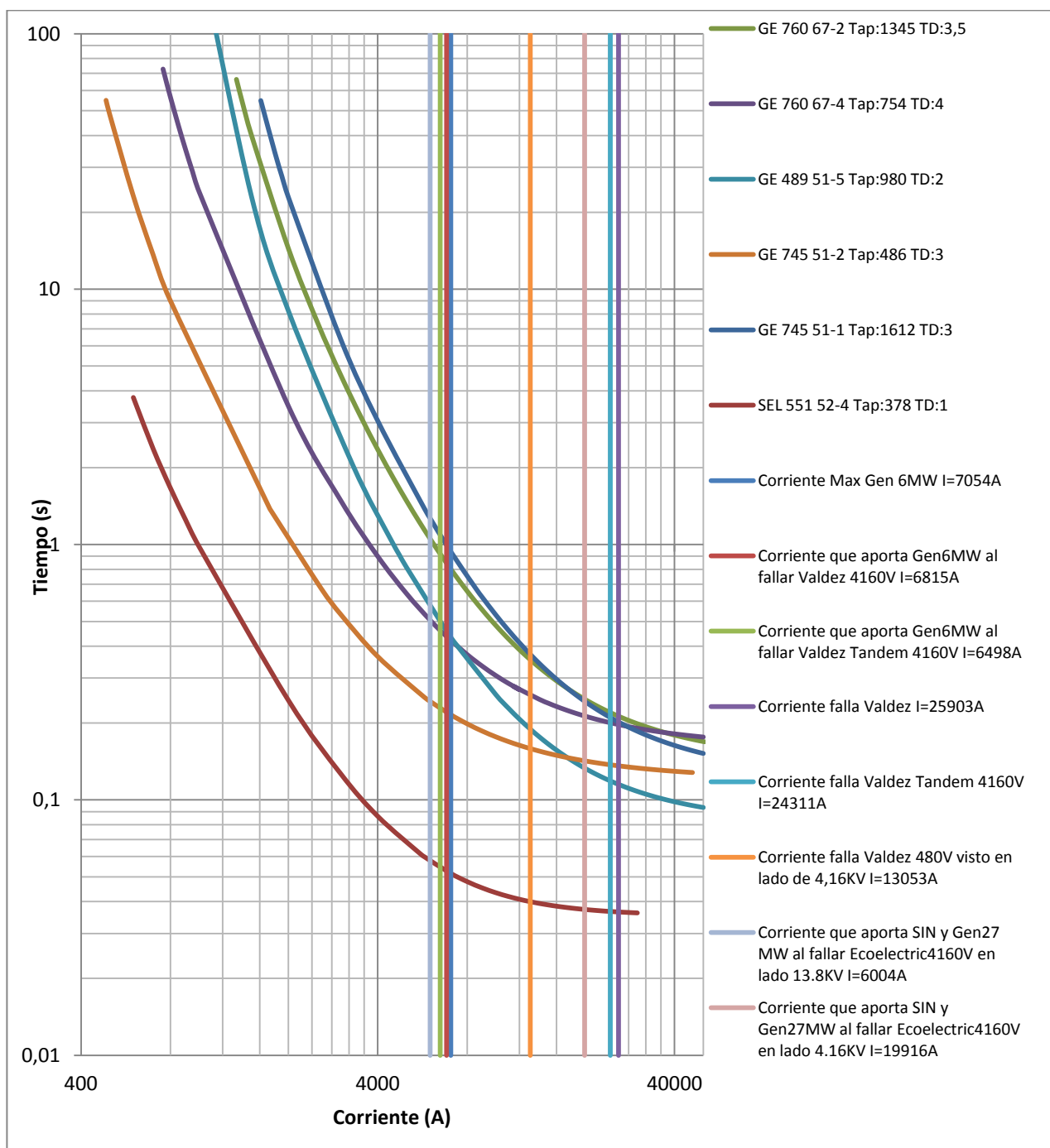


Gráfico 4-12 Coordinación de las protecciones de la red de 4160V

En los gráficos 4-13 y 4-14 se aprecian las curvas de los elementos de protección de los motores de 4000 HP y 3000 HP respectivamente, se detalla las curvas de los fusibles, de los relé GE 469, además de los relés GE 760 que se encargan de proteger la línea de alimentación de los motores.

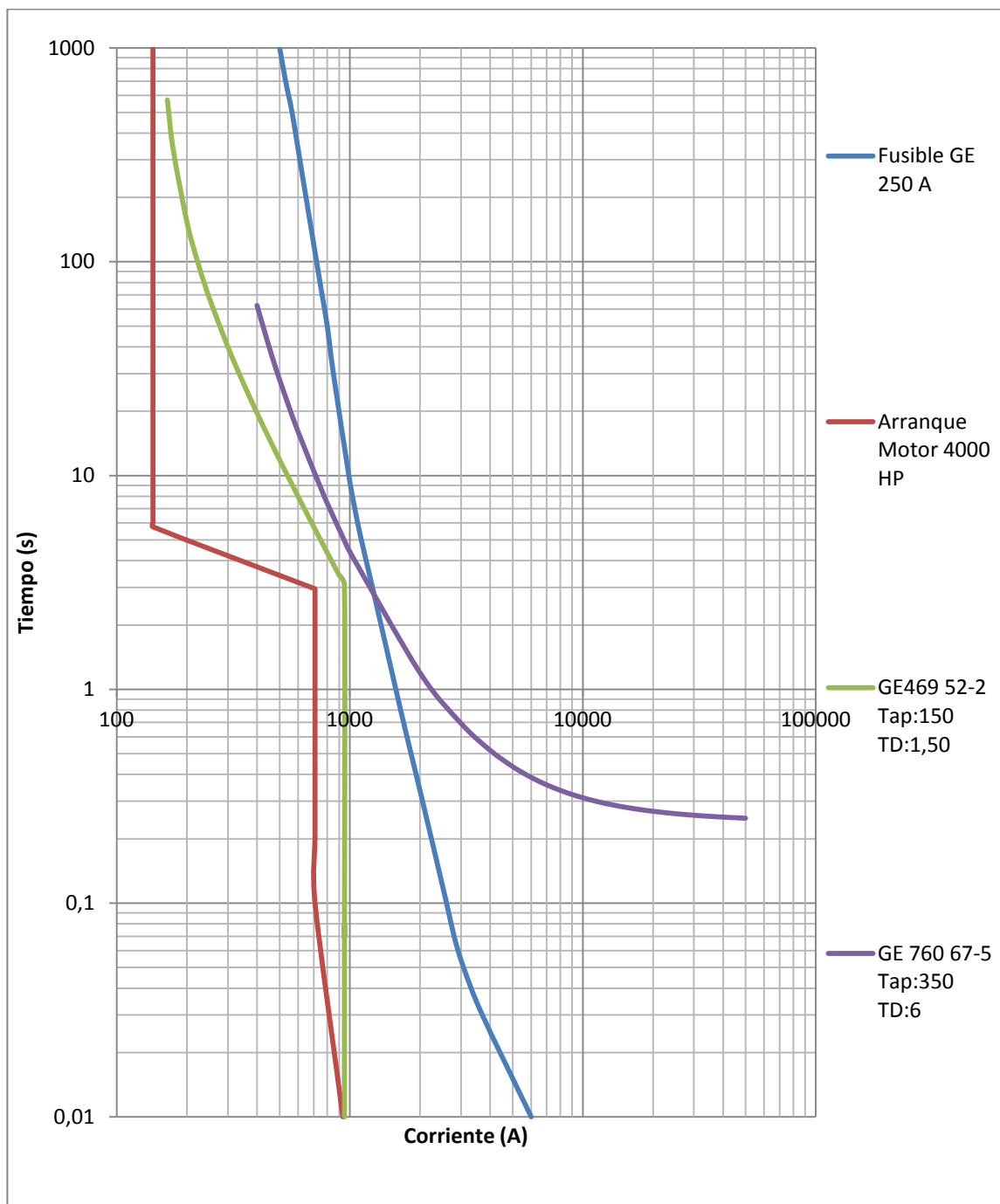


Gráfico 4-13: Coordinación de las protecciones del Motor de 4000 HP

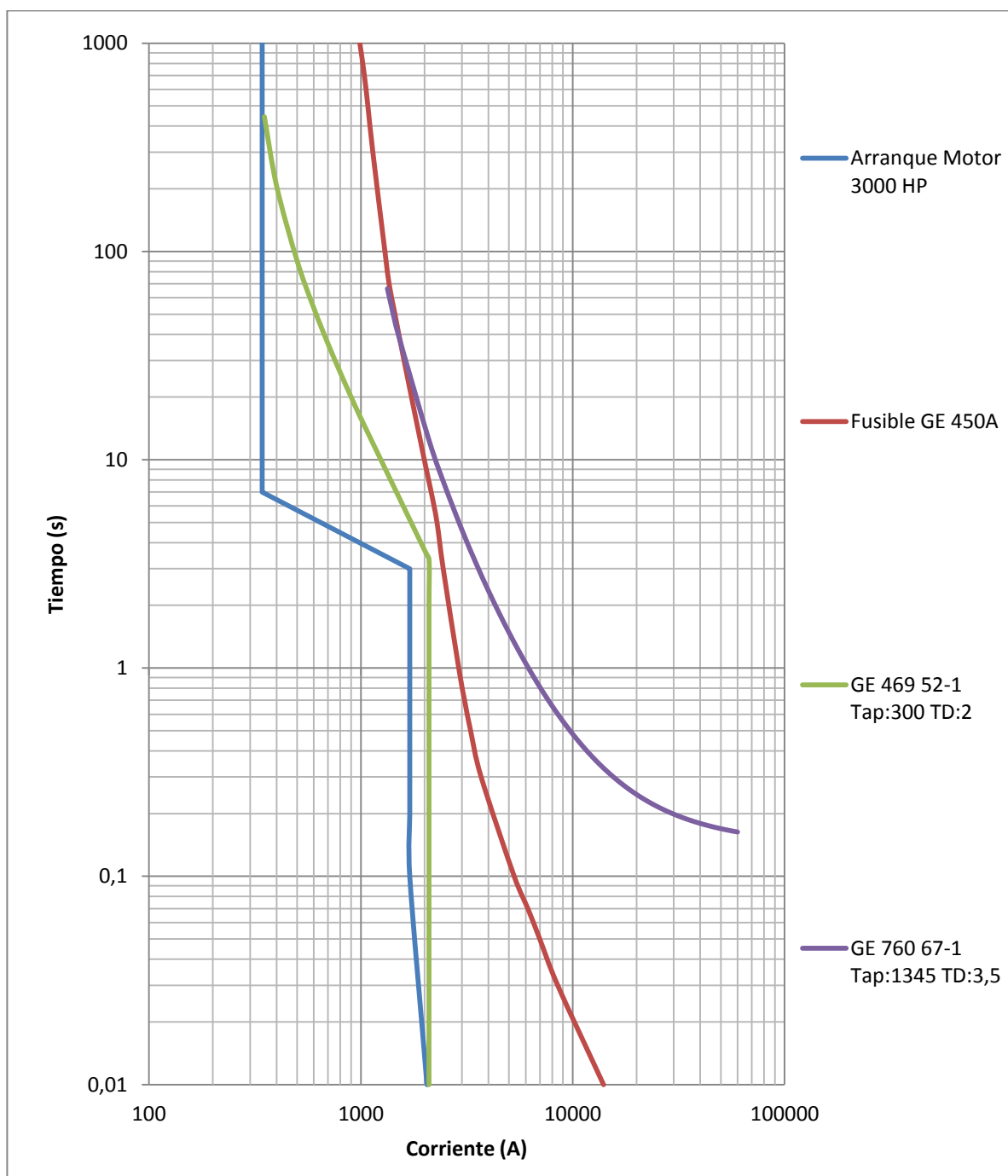


Gráfico 4-14: Coordinación de las protecciones del Motor de 3000 HP

4.3 RESUMEN DE AJUSTES

Tabla XXXV: Ajustes en el relé GE-489 Generador 27.5 MW

FUNCIÓN	AJUSTE	PARÁMETRO
87G	DifferentialTrip Min. Pickup	$0.10 \times CT$
	DifferentialTripSlope 1	10%
	DifferentialTripSlope 2	20%
	DifferentialTripDelay	0 Cycles
59	ALARM	
	OvervoltageAlarm Pickup	$1.03 \times \text{Rated}$
	OvervoltageAlarmDelay	3.0 s
	TRIP	
	OvervoltageTrip Pickup	$1.04 \times \text{Rated}$
	OvervoltageTripDelay	1.0 s
27	ALARM	
	UndervoltageAlarm Pickup	$0.97 \times \text{Rated}$
	UndervoltageAlarmDelay	3.0 s
	TRIP	
	UndervoltageTrip Pickup	$0.98 \times \text{Rated}$
	UndervoltageTripDelay	1.0 s
40	Circle 1 Diameter	$13.71 \Omega \text{sec}$
	Circle 1 Offset	$1.00 \Omega \text{sec}$
	Circle 1 Trip Delay	5.0 s
	Circle 2 Diameter	$9.57 \Omega \text{sec}$
	Circle 2 Offset	$1.00 \Omega \text{sec}$
	Circle 2 TripDelay	5.0s
46	ALARM	
	Neg. Sequence Alarm Pickup	$0.12 I_N$
	Neg. Sequence Alarm Delay	5 s
	TRIP	
	Neg. Sequence O/C Trip Pickup	$0.24 I_N$
	Neg. Sequence O/C Constant K	57
	Neg. Sequence O/C Max. Time	990 s
	Neg. Sequence O/C Reset Rate	40 s
32	ALARM	
	Reverse Power Alarm	$0.03 P_N$
	Reverse Power Alarm Delay	5 s
	TRIP	
	Reverse Power Trip Level	$0.03 P_N$

	Reverse Power Trip Delay	20 s
81	Underfrequency	
	ALARM	
	Underfrequency Alarm Level	59.5 Hz
	Underfrequency Alarm Delay	5 s
	TRIP	
	Underfrequency Trip Level 1	59.5 Hz
	Underfrequency Trip Delay1	60 s
	Underfrequency Trip Level 2	58 Hz
	Underfrequency Trip Delay2	30 s
	Overfrequency	
	ALARM	
	Overfrequency Alarm Level	60.5 Hz
	Overfrequency Alarm Delay	5 s
	TRIP	
	Overfrequency Trip Level 1	60.5 Hz
	Overfrequency Trip Delay1	60 s
	Overfrequency Trip Level 2	62 Hz
	Overfrequency Trip Delay2	30 s
24	ALARM	
	Volts/Hertz Alarm Level	1.10 V/Hz
	Volts/Hertz Alarm Delay	40 s
	TRIP	
	Volts/Hertz Trip Level 1	1.18V/Hz
	Volts/Hertz Trip Delay1	2 s
51V	% Voltage	80%
	Tap	1354
	TD	5.5
	Curve	E.I.

Tabla XXXVI: Ajustes en el relé Toshiba 87 Generador 6MW

FUNCIÓN	AJUSTE	PARÁMETRO
87	PICKUP DIFERENCIAL	0.10CT
51-5	Tap	980
	TD	2
	Curve	E.I.

Tabla XXXVII: Ajustes en relé GE 745 Transformador 20/25MVA

FUNCIÓN	AJUSTE	PARÁMETRO
87	Differential Trip Min. Pickup	0.12 x CT
	Differential Trip Slope 1	25%
	Differential Trip Slope 2	90%
	Differential Trip Delay	0 Cycles
59/81	ALARM	
	Volts/Hertz Alarm Level	1.10 V/Hz
	Volts/Hertz Alarm Delay	40 s
	TRIP	
	Volts/Hertz Trip Level 1	1.18V/Hz
	Volts/Hertz Trip Delay1	2 s
51-4	Tap	140
	TD	0.5
	Curve	E.I.
51-3	Tap	700
	TD	0.5
	Curve	E.I.

Tabla XXXVIII: Ajuste en relé GE 745 Transformador 15MVA

FUNCIÓN	AJUSTE	PARÁMETRO
87	Differential Trip Min. Pickup	0.06 x CT
	Differential Trip Slope 1	25%
	Differential Trip Slope 2	90%
	Differential Trip Delay	0 Cycles
59/81	ALARM	
	Volts/Hertz Alarm Level	1.10 V/Hz
	Volts/Hertz Alarm Delay	40 s
	TRIP	
	Volts/Hertz Trip Level 1	1.18V/Hz
	Volts/Hertz Trip Delay1	2 s
51-1	Tap	1612
	TD	3
	Curve	E.I.
51-2	Tap	486
	TD	3
	Curve	E.I.

Tabla XXXIX: Ajustes de los GE 760

	GE 760					
	67-1	67-2	67-3	67-4	67-5	67-6
Voltaje (KV)	4.16	4.16	4.16	4.16	13.8	13.8
Tap	1345	1345	754	754	350	59
TD	3.5	3.5	4	4	6	7
Tipo de Curva	E.I.	E.I.	E.I.	E.I.	E.I.	E.I.

Tabla XL: Ajustes de los GE 469, SEL 551 y GE F60

	GE 469		SEL 551			GE F60
	52-1	52-2	52-3	52-4	52-5	52-6
Voltaje (KV)	13.8	4.16	4.16	4.16	13.8	13.8
Tap	300	1345	378	378	514	700
TD	2	1,5	1	1	6.5	4.5
Tipo de Curva	E.I.	E.I.	E.I.	E.I.	E.I.	E.I.

4.4 CONCLUSIONES

El estudio de protecciones para el proyecto de cogeneración del Ingenio Valdez de la ciudad de Milagro incluyen los siguientes aspectos:

- A. La determinación del ajuste de los equipos de protección, los cuales se hallaron considerando el sistema bajo condiciones de falla, incluye: la coordinación de las protecciones de la red de distribución industrial interna del ingenio con las funciones de sobrecorriente de la protección del transformador de 15 MVA y la protección de respaldo contra fallas externas de los relés de sobrecorrientes de la protección de los generadores de 27.5 MW y 6 MW.
- B. La aplicación del Estudio permitirá el despeje oportuno y selectivo de las fallas del sistema.
- C. La coordinación que se muestra garantiza la debida protección y operación de los elementos incluso en estados críticos, como es el arranque de los motores de 3000 HP y 4000 HP.

D. Con los ajustes que se realizaron en los relés de protección se garantizan tiempos de despeje de fallas rápidos, asegurándonos que en caso de presentarse una falla, esta produzca un daño mínimo o ninguno en los equipos.

CONCLUSIONES

1. Con el estudio de coordinación se asegura que al darse una falla en una determinada zona, ésta es despejada rápidamente por el equipo más cercano a la falla, aislando de esta manera el sector donde se originó la falla, sin afectar la continuidad del servicio en las zonas aledañas.
2. El avance de la tecnología ha ayudado al sector eléctrico con la invención de los relés digitales, ya que estos en comparación con los analógicos son más versátiles, actúan de manera más rápida aún, lo que los analógicos hacen en milisegundos los digitales lo hacen en microsegundos, además que los ajustes de los digitales es por mucho más flexible, dándonos así mayor seguridad a la hora de proteger nuestros equipos.
3. El tener un buen sistema de coordinación nos ahorra costos por reparación y remplazo de unidades al haber una falla, por no acotar también el hecho de que en las industrias el proceso de producción se puede ver afectado y como sabemos eso no puede suceder porque se generarían enormes pérdidas que verían afectada la economía de la industria.

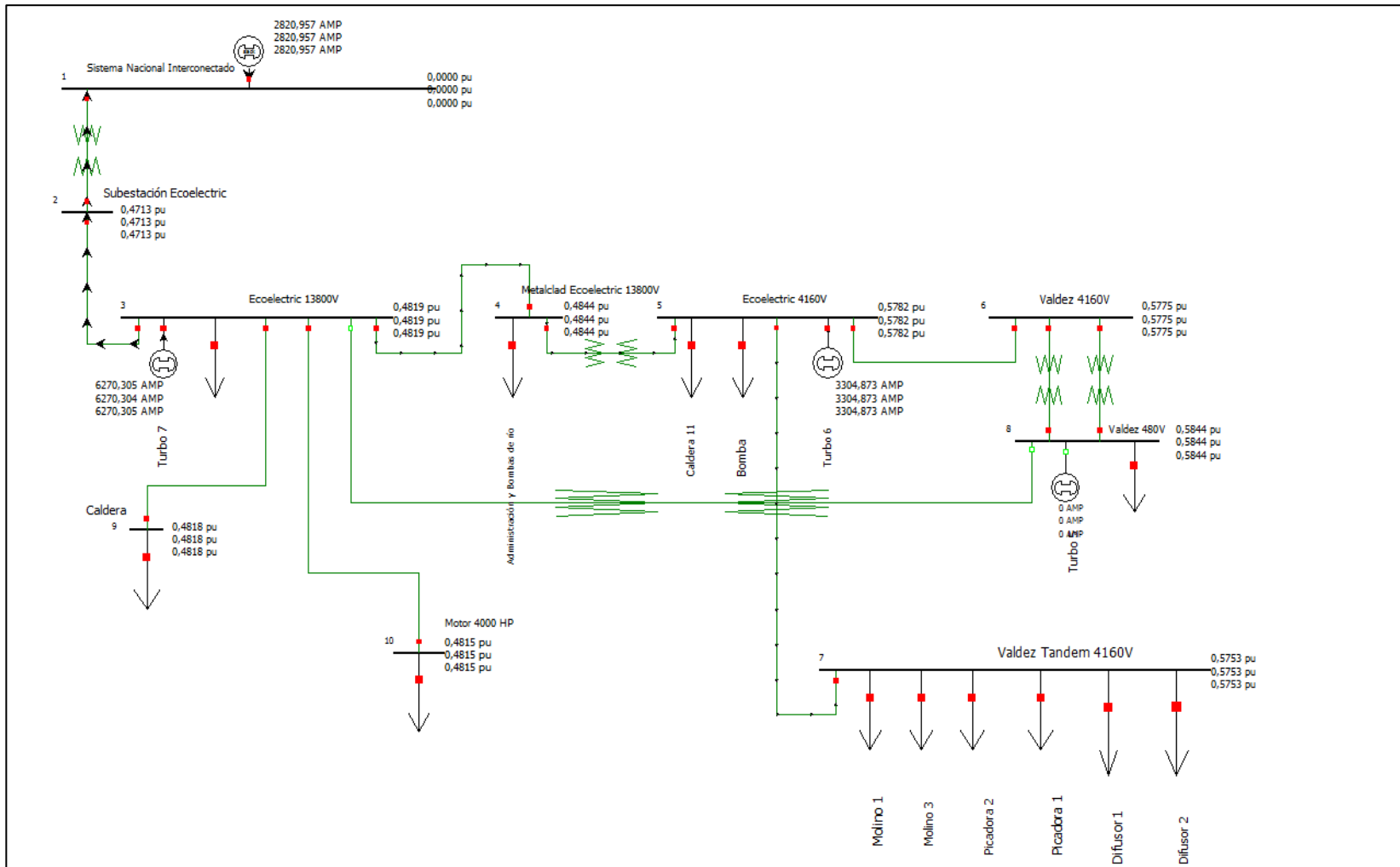
RECOMENDACIONES

- 1.- El estudio de coordinación de protecciones es importante en nuestro campo de acción, ya que de esto depende cuan confiable es el sistema en caso de haber una falla, garantizando de esta forma el menor daño posible en las unidades y así su vida útil no es afectada por los grandes sobre esfuerzos a los cuales se verían sometidos debido a corrientes de corto circuito.

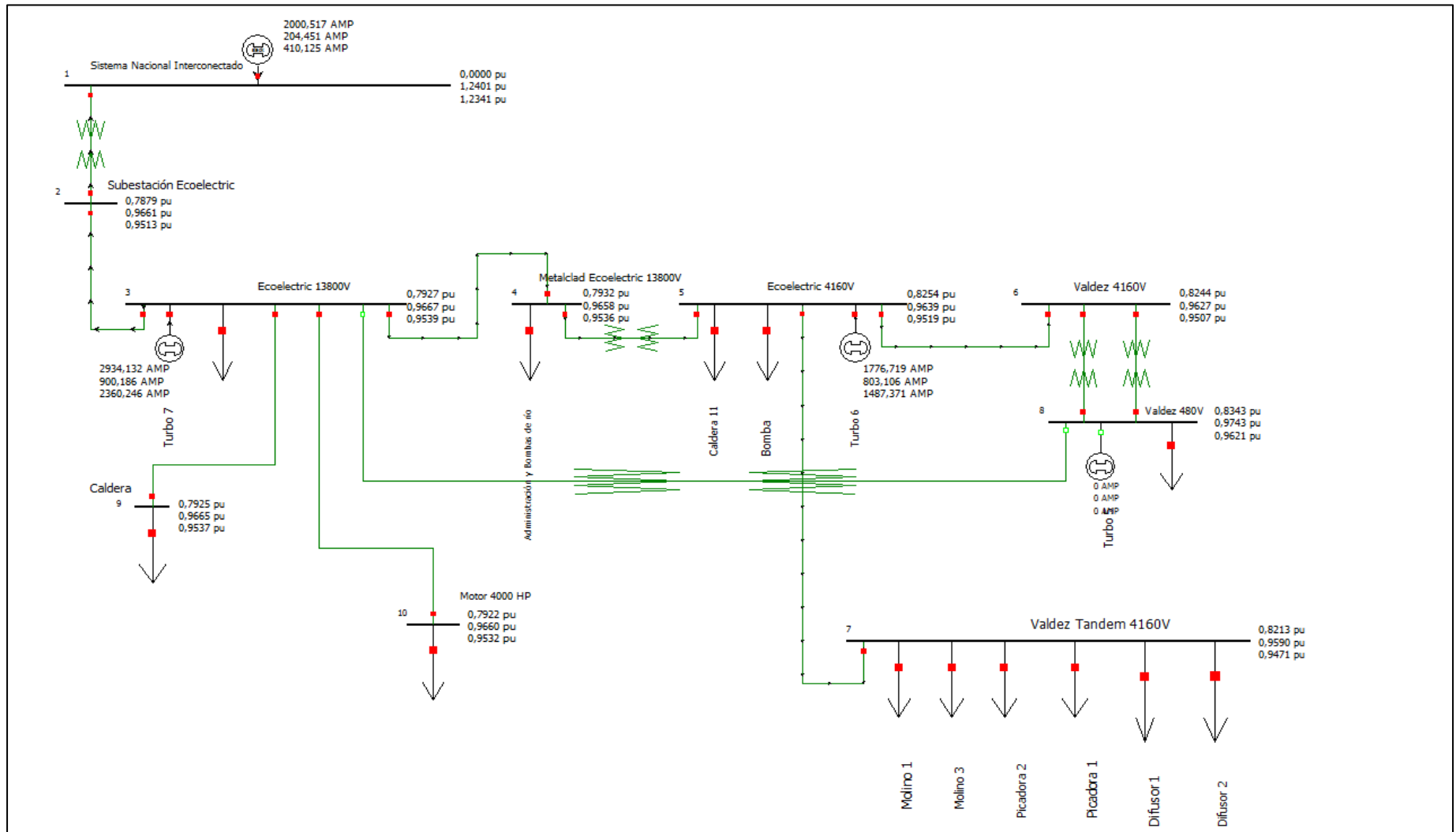
- 2.- Se debe contar con toda la información del sistema, tanto de los equipos de generación, como los transformadores, motores, cargas y conductores, ya que de esto depende que los resultados sean lo más fidedignos posibles.

ANEXOS

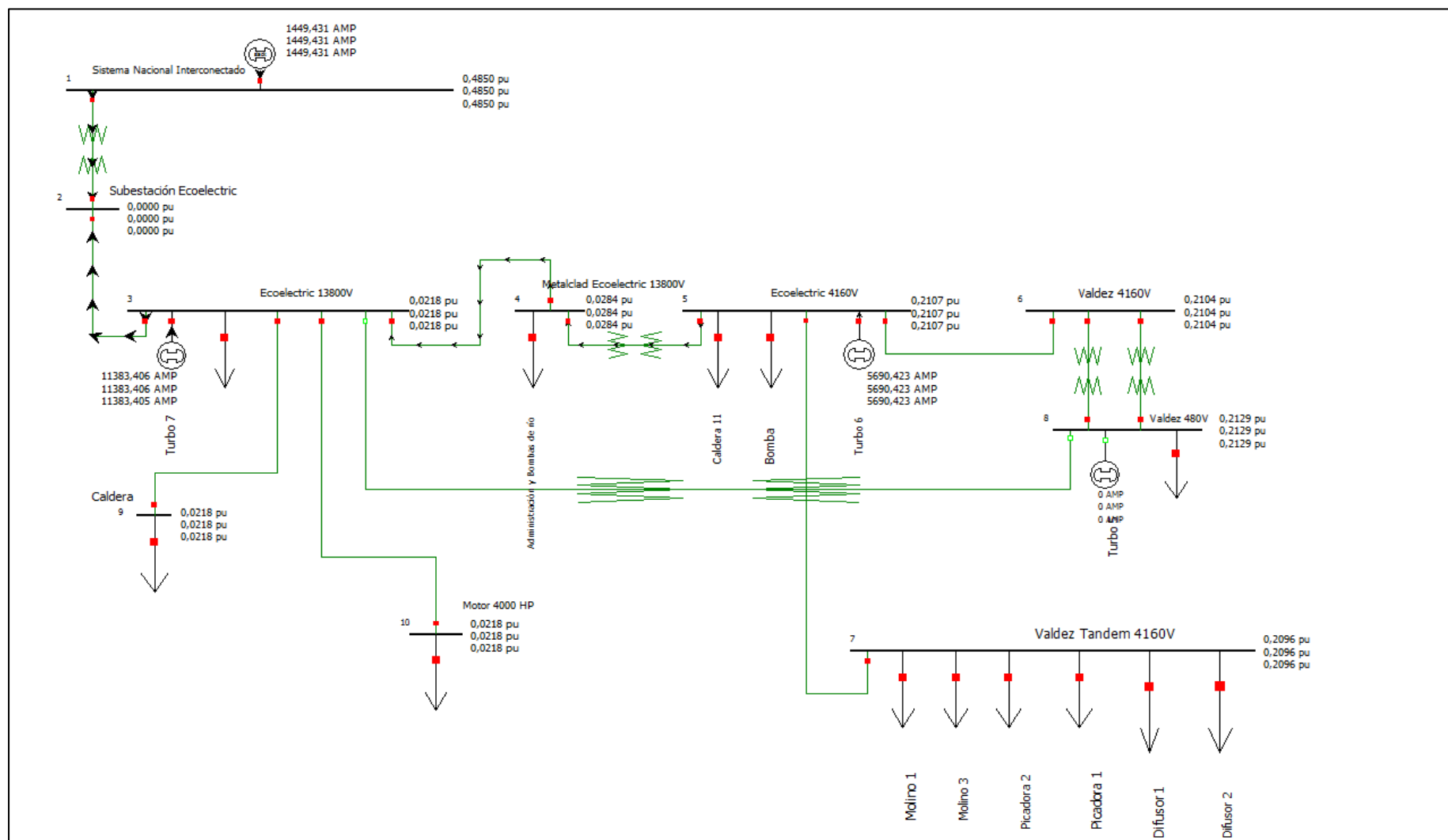
ANEXO 3.1: Falla Trifásica en la Barra (1) Sistema Nacional Interconectado



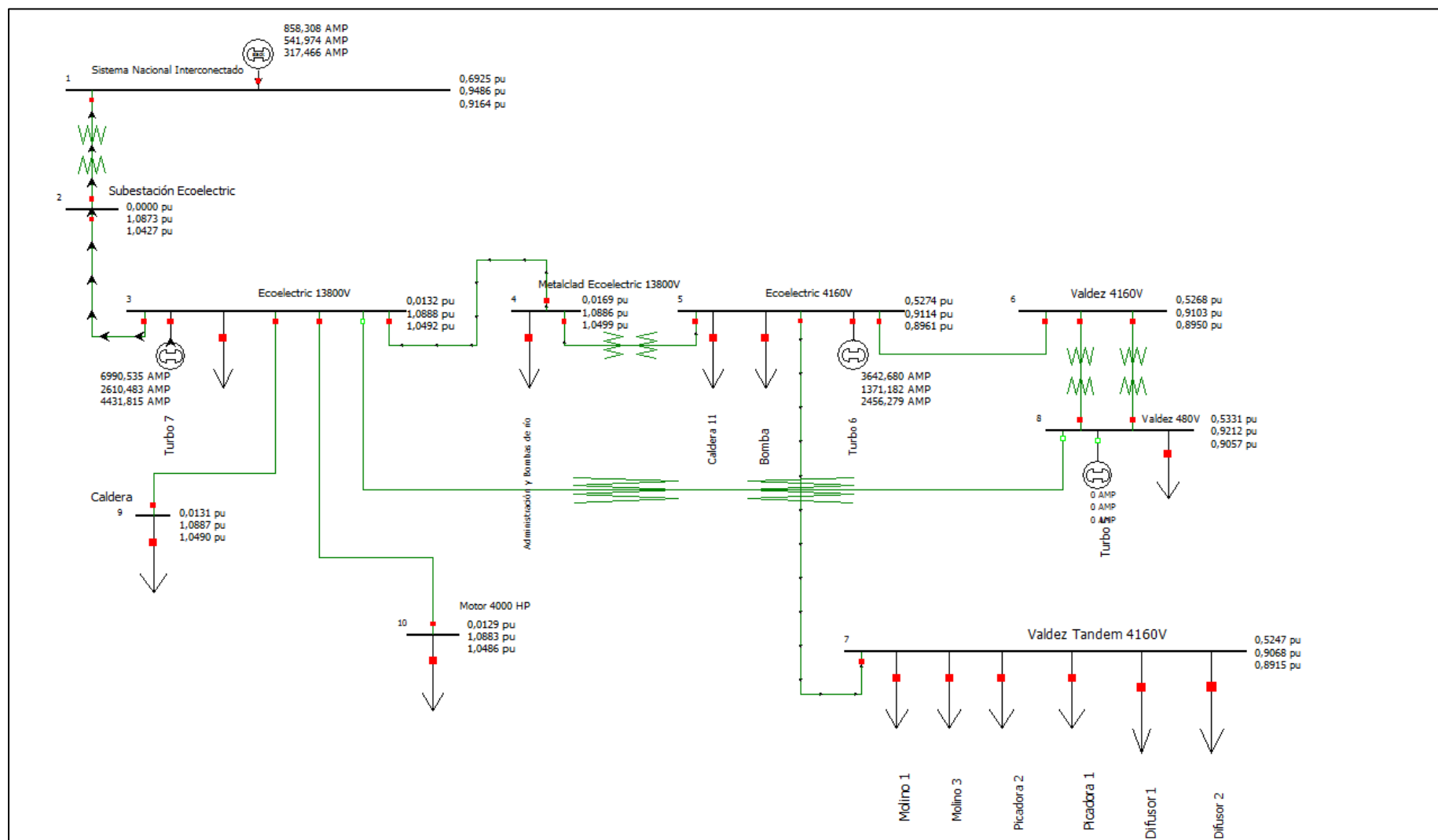
ANEXO 3.2: Falla Monofásica en la Barra (1) Sistema Nacional Interconectado



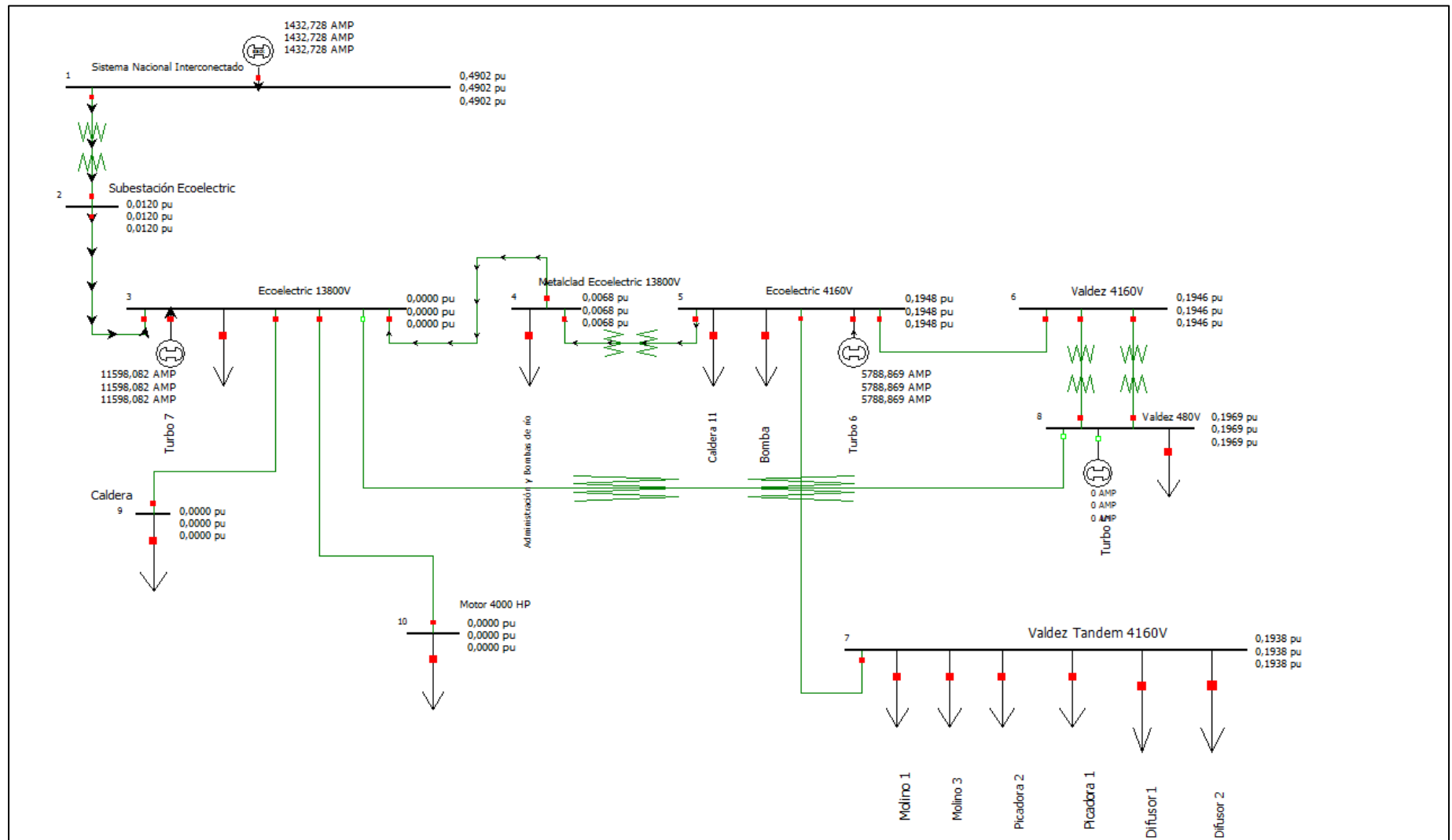
ANEXO 3.3: Falla Trifásica en la Barra (2) Subestación Ecoelectric 13800V



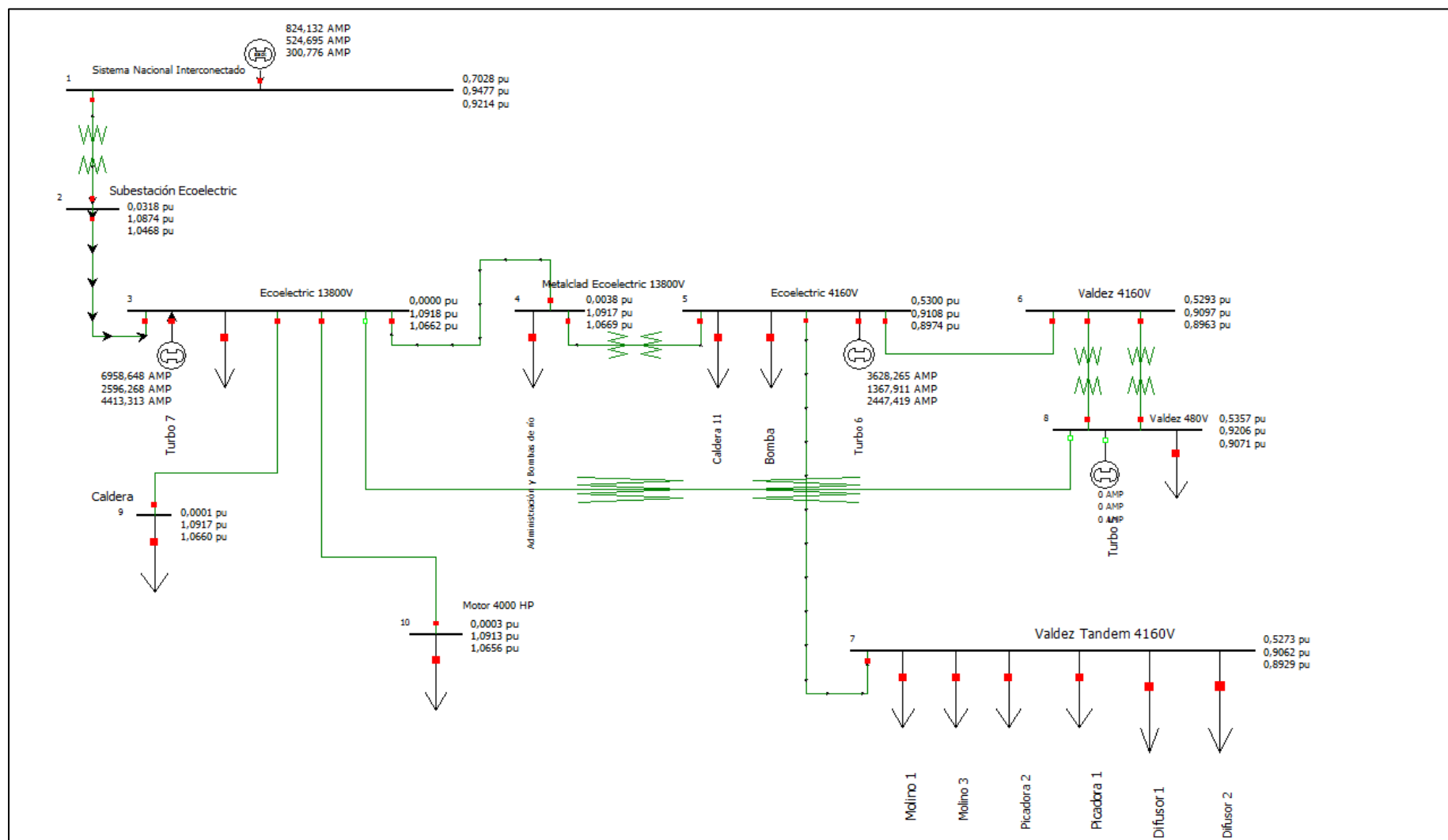
ANEXO 3.4: Falla Monofásica en la Barra (2) Subestación Ecoelectric 13800V



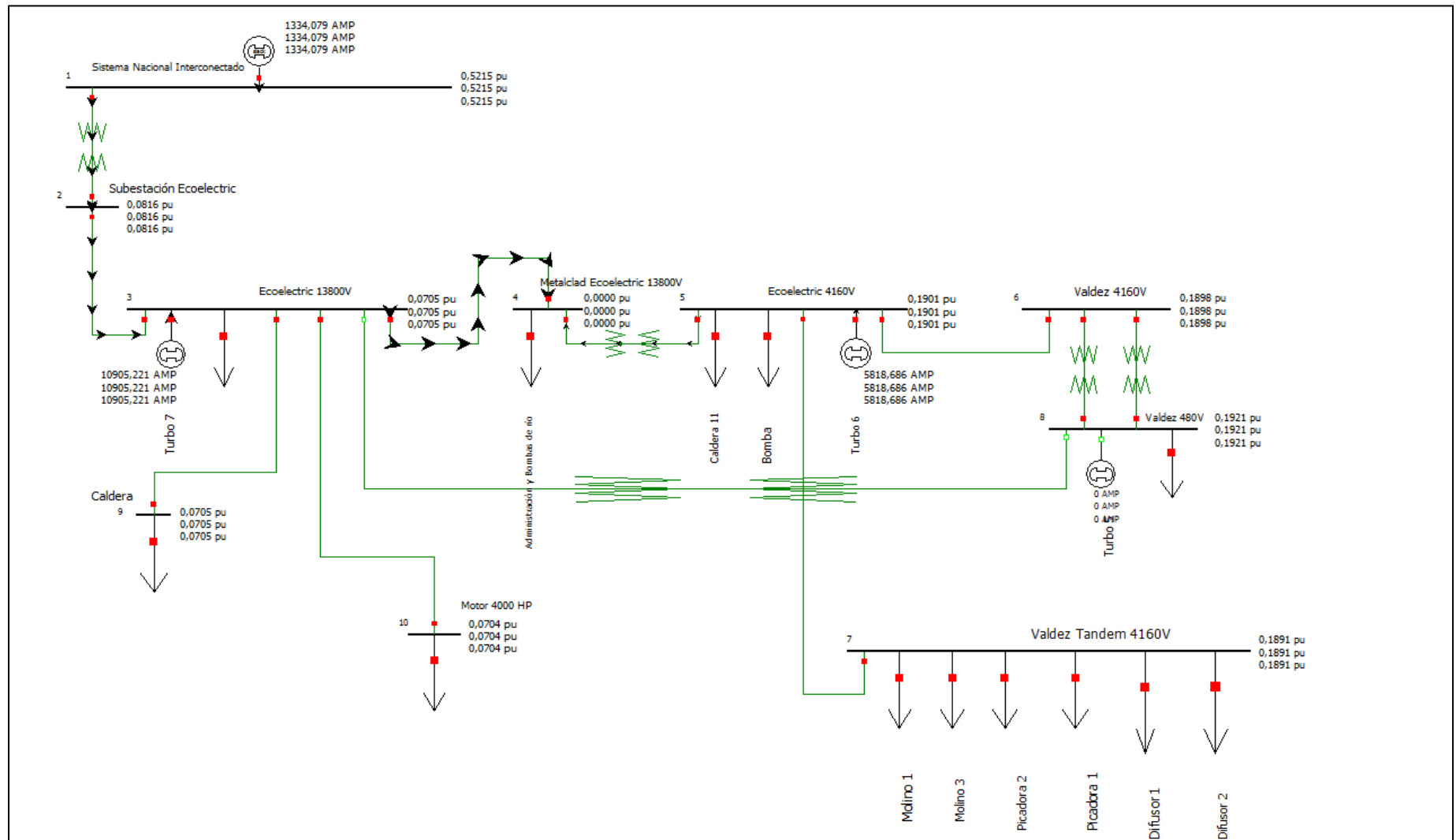
ANEXO 3.5: Falla Trifásica en la barra (3) Ecoelectric 13800V



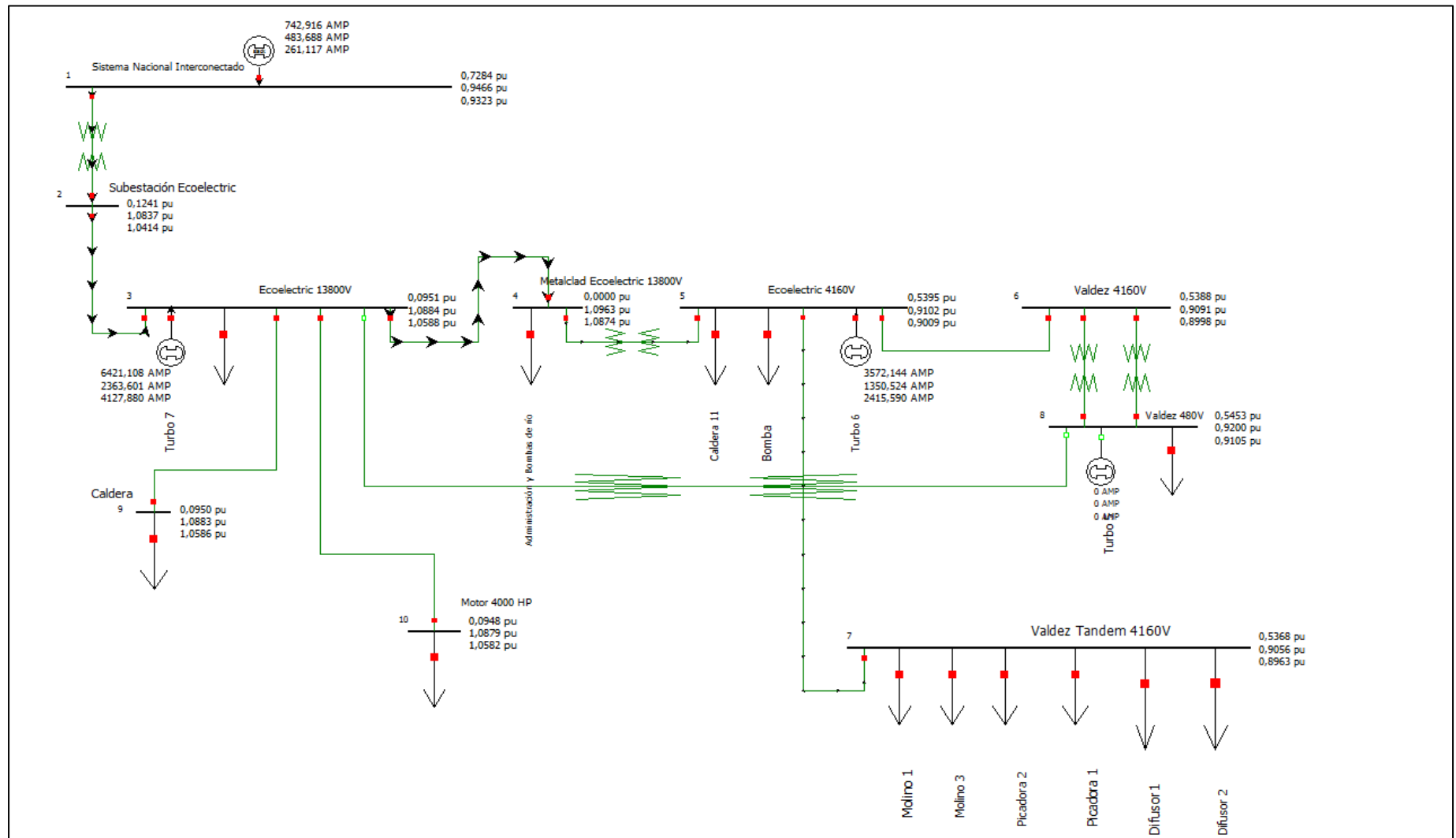
ANEXO 3.6: Falla Monofásica en la barra (3) Ecoelectric 13800V



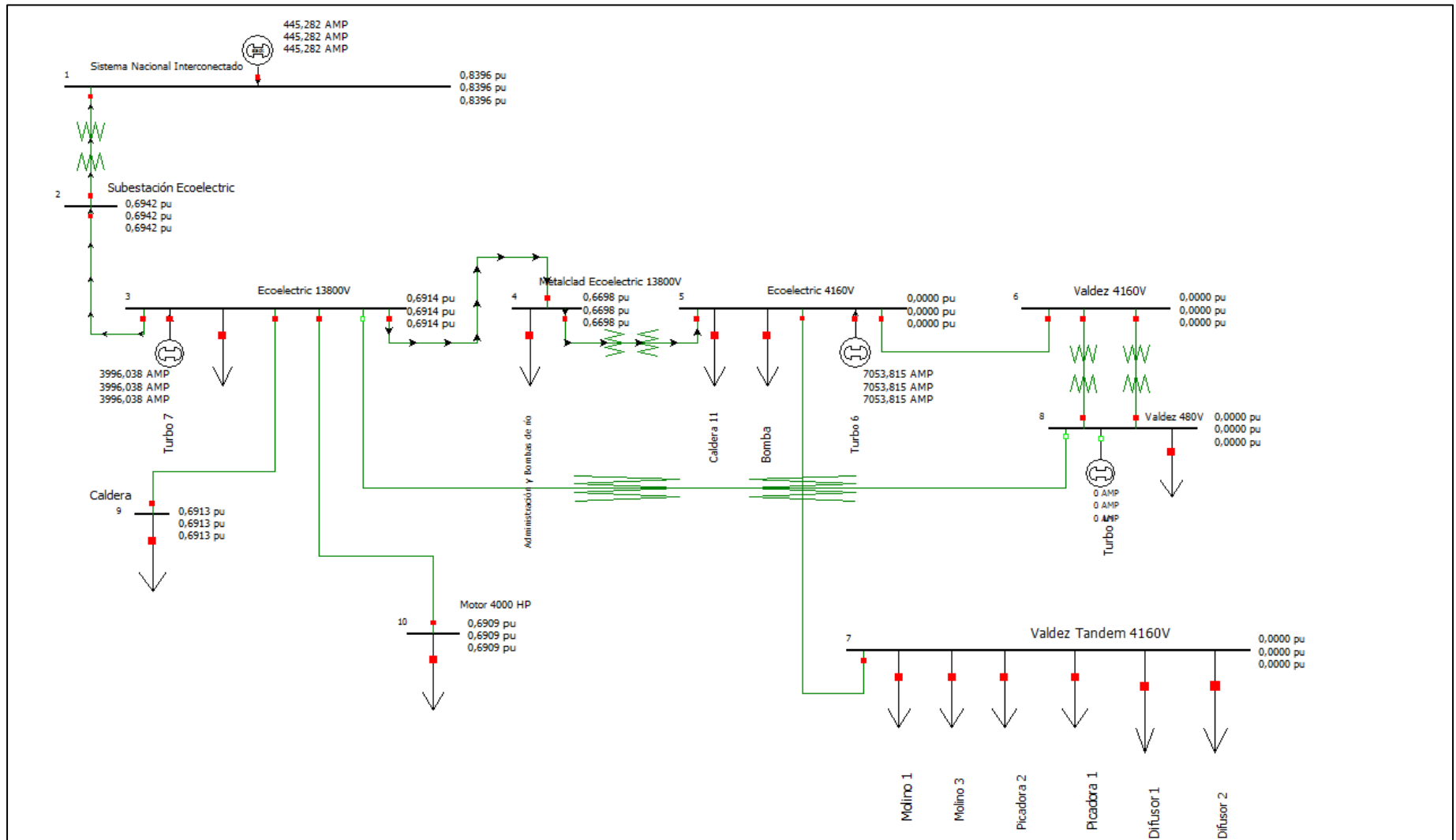
ANEXO 3.7: Falla Trifásica en la Barra (4) MetalcladEcoelectric 13800V



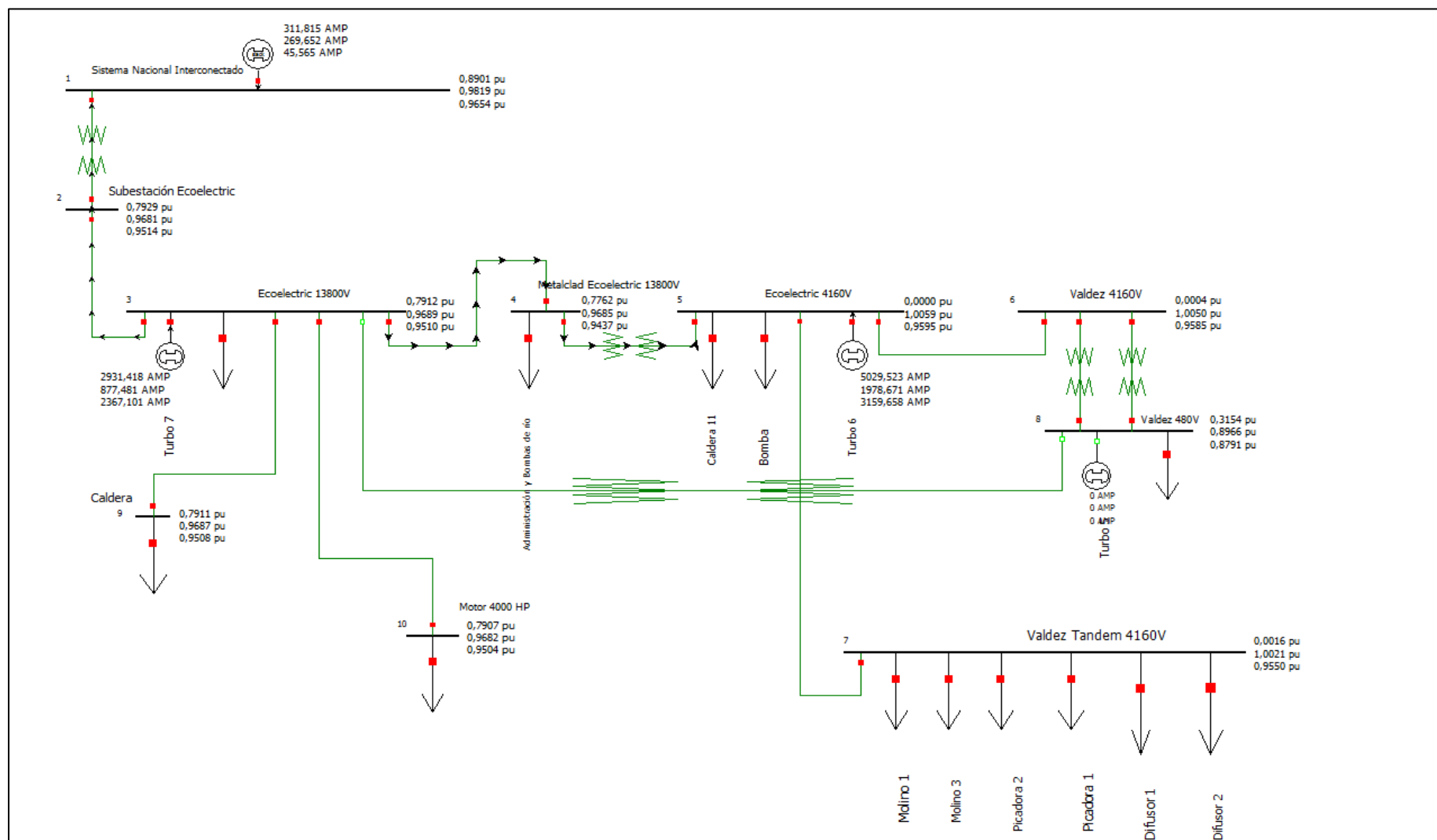
ANEXO 3.8: Falla Monofásica en la barra (4) MetalcladEcoelectric 13800V



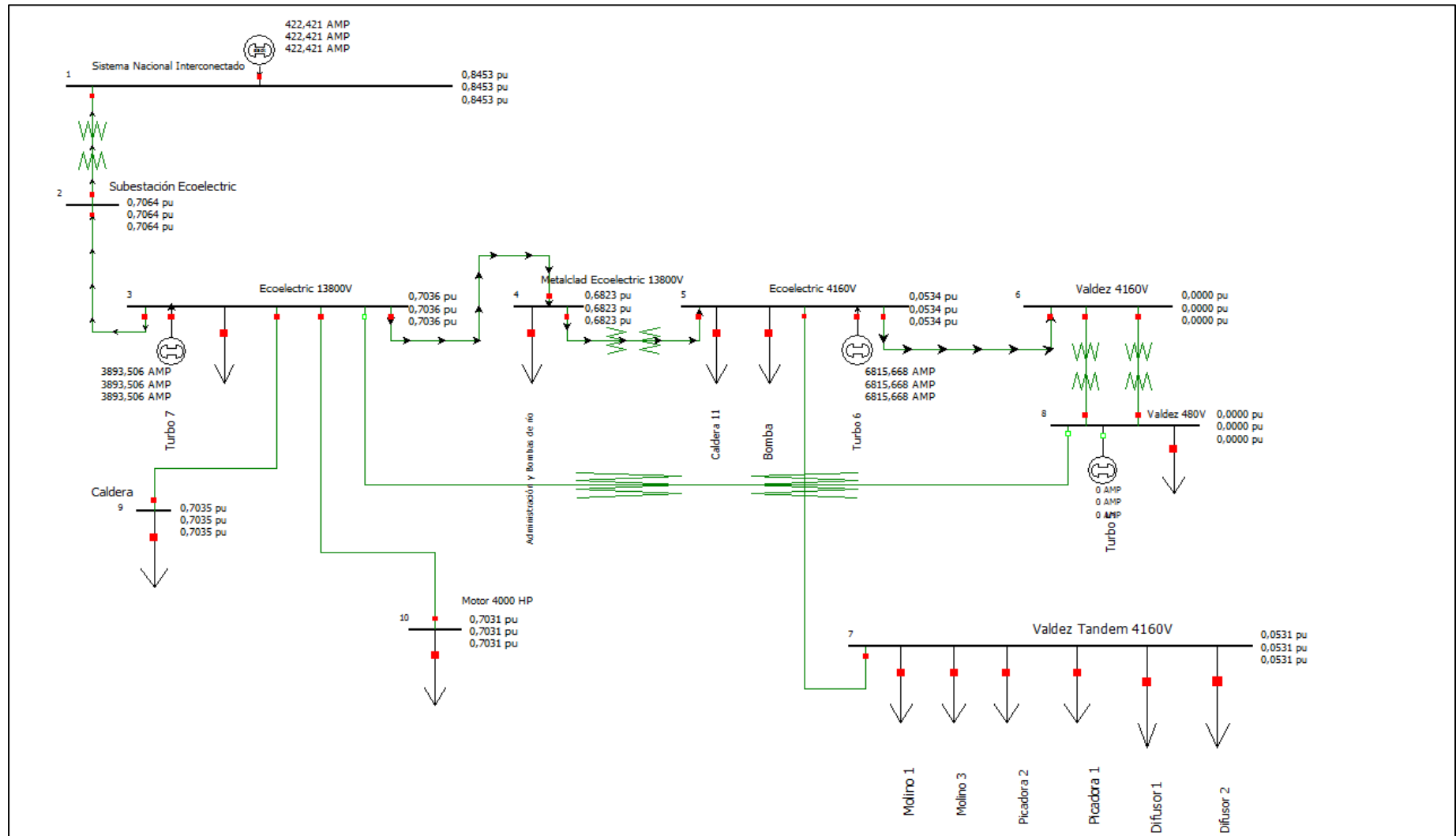
ANEXO 3.9: Falla Trifásica en la Barra (5) Ecoelectric 4160 V



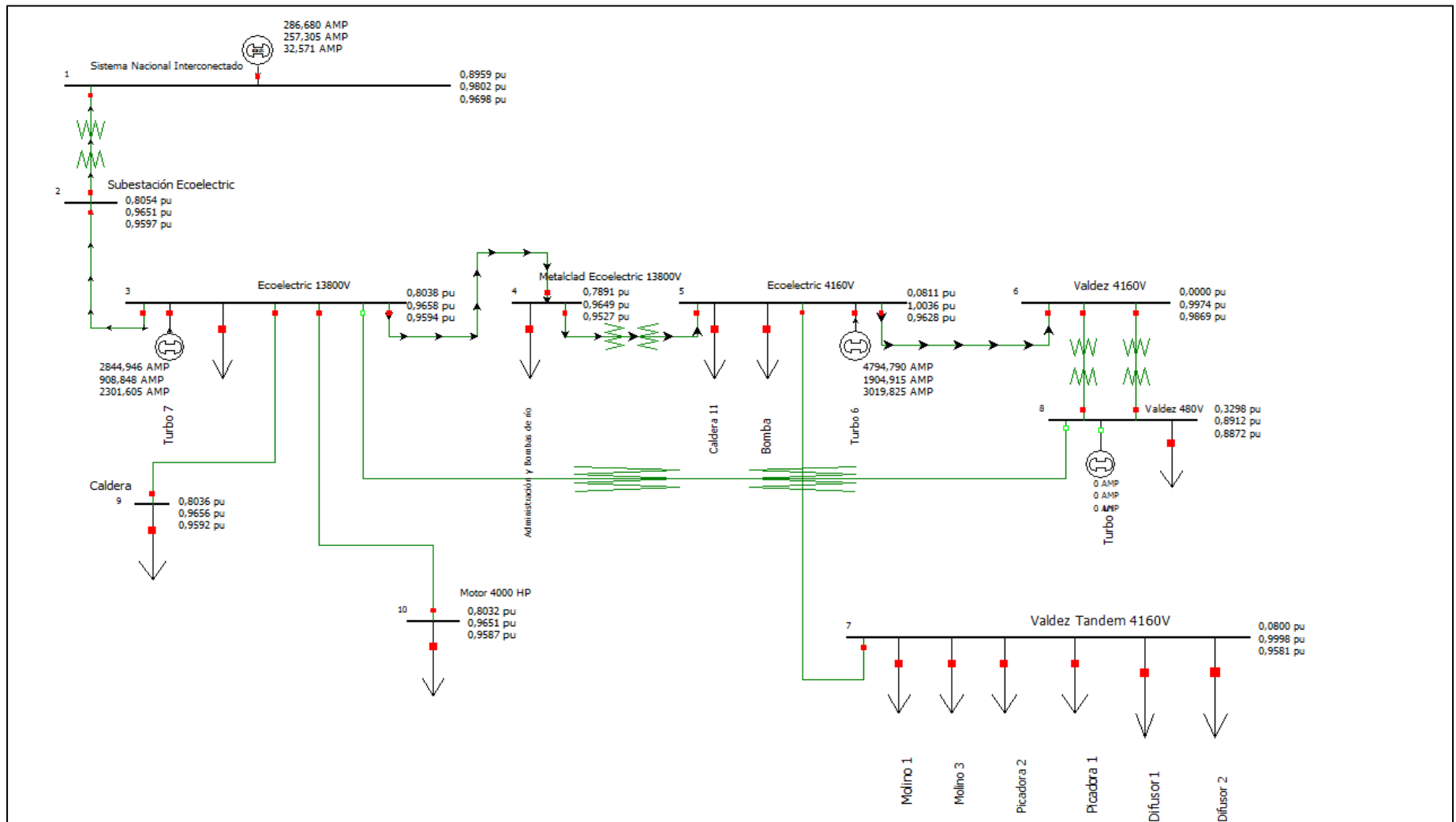
ANEXO 3.10: Falla Monofásica en la barra (5) Ecoelectric 4160 V



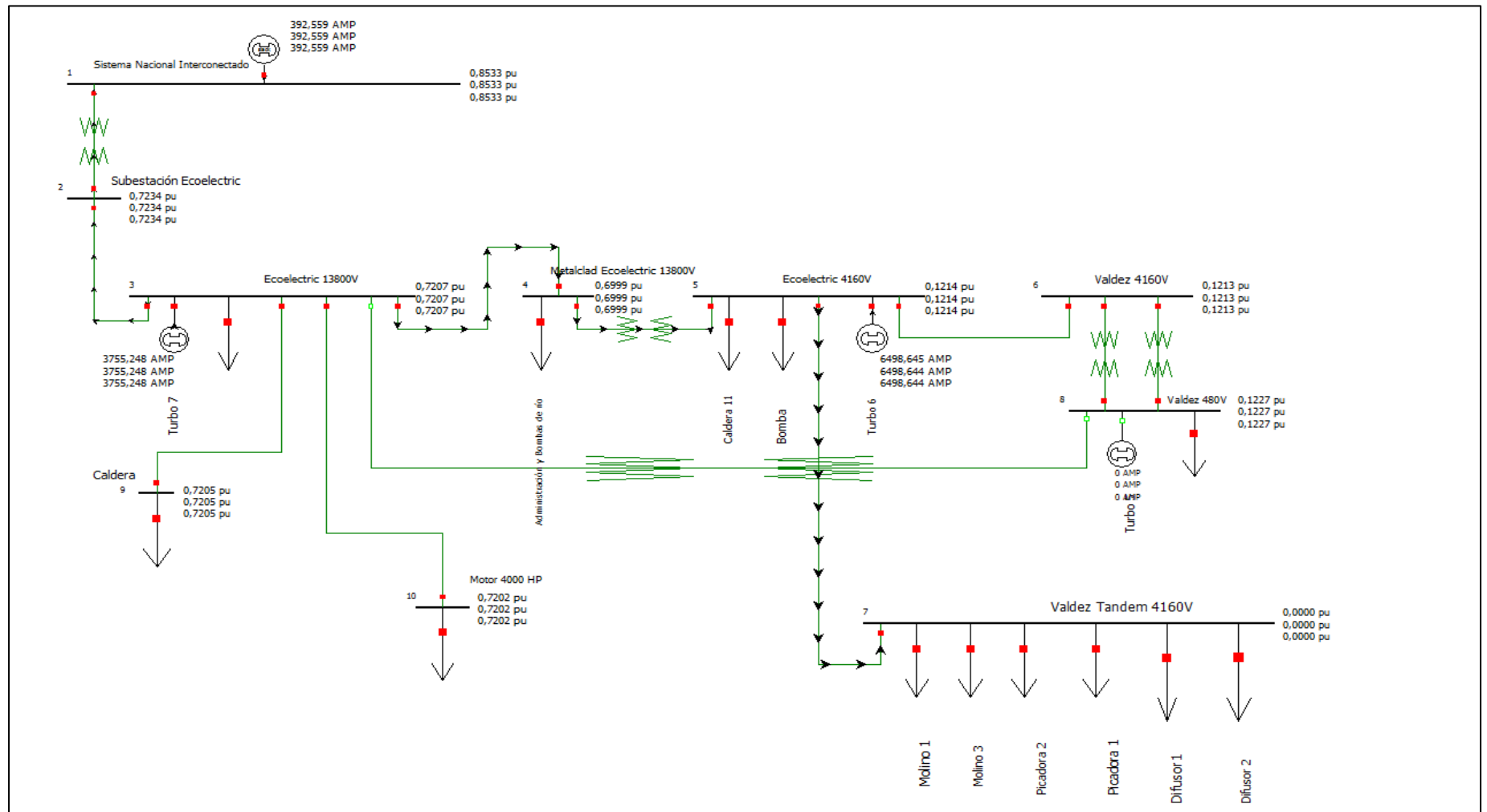
ANEXO 3.11: Falla Trifásica en la Barra (6) Valdez 4160 V



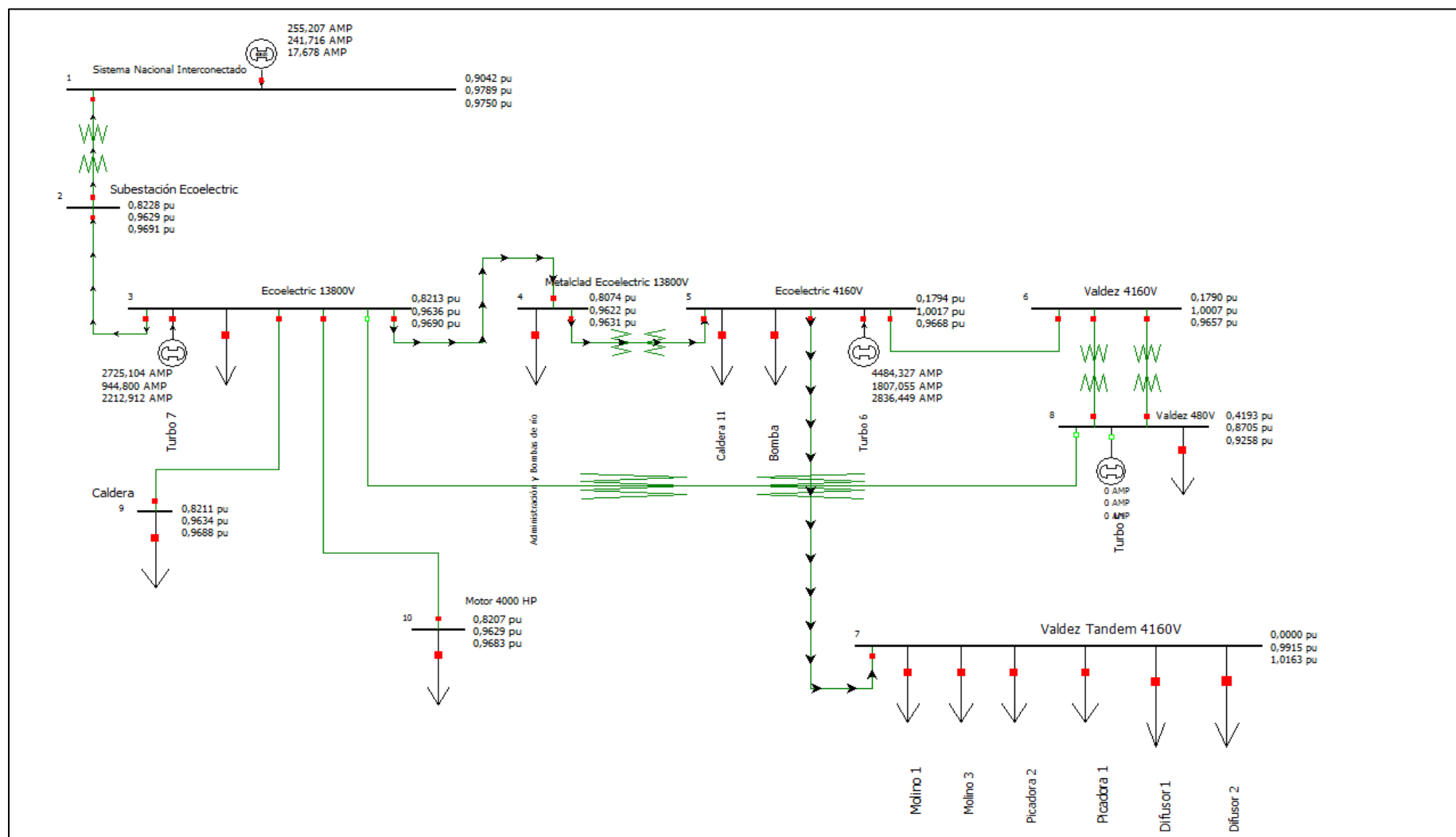
ANEXO 3.12: Falla Monofásica en la barra (6) Valdez 4160 V



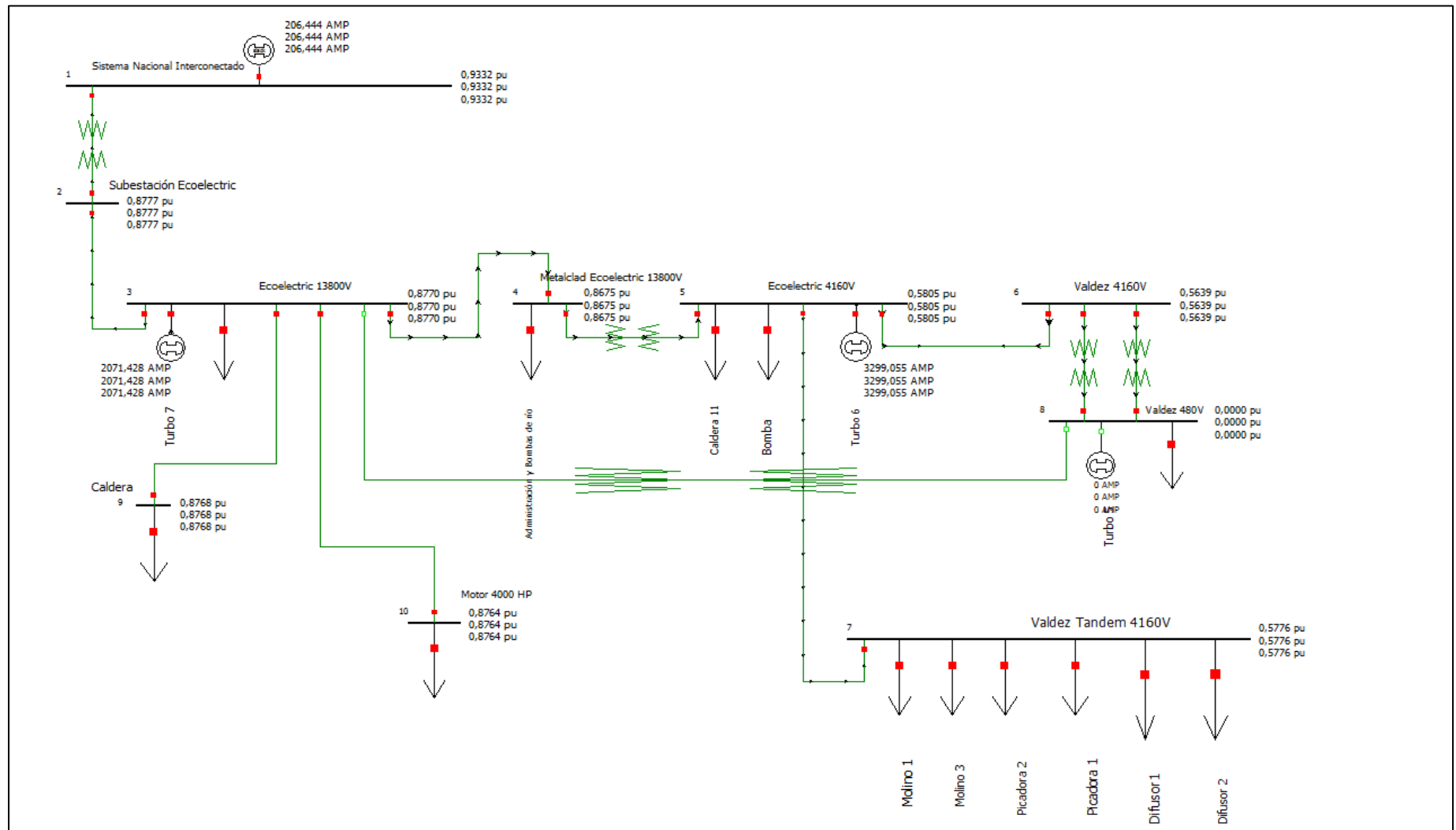
ANEXO 3.13: Falla Trifásica en la Barra (7) Valdez Tandem 4160V



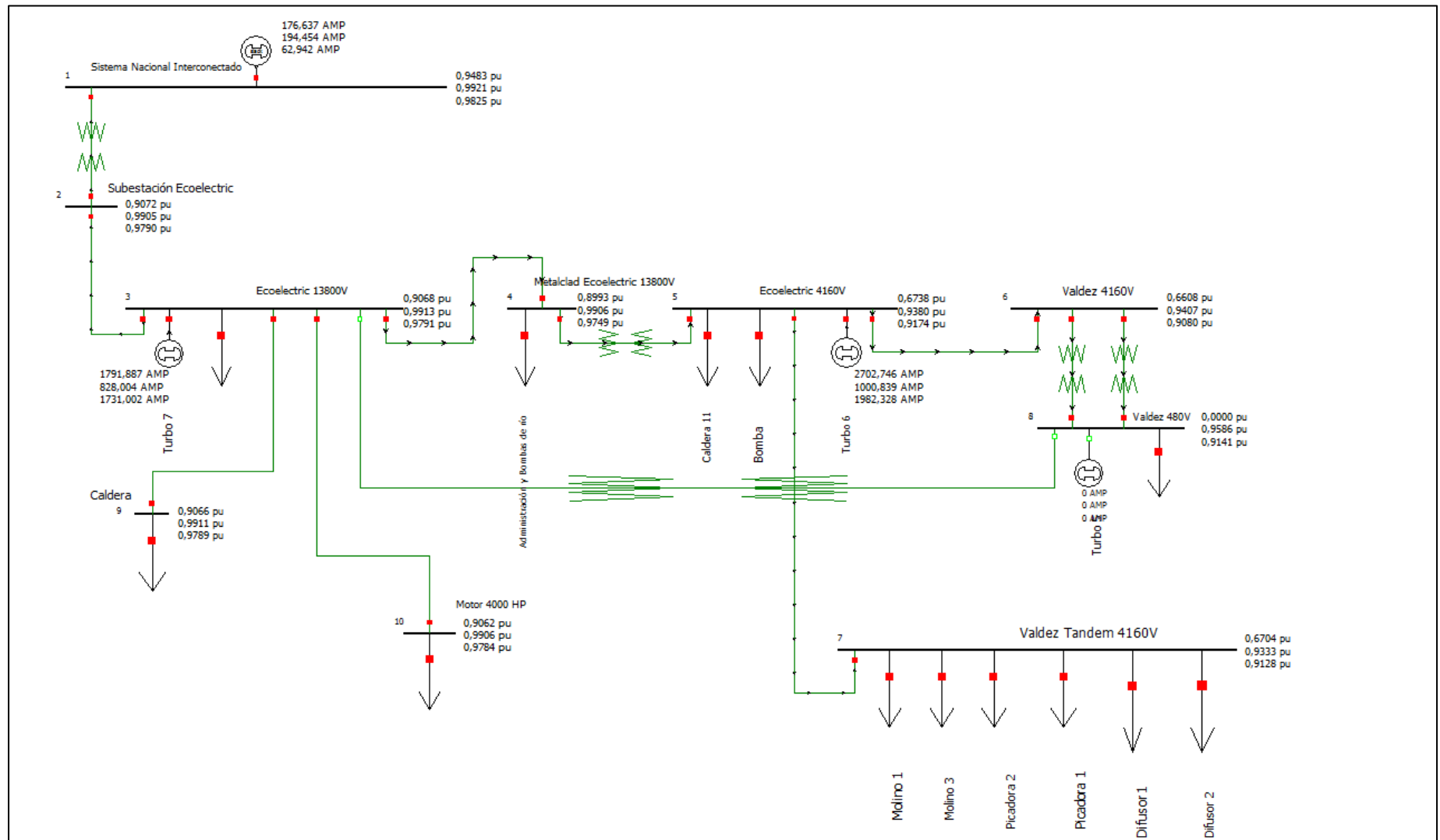
ANEXO 3.14: Falla Monofásica en la Barra (7) Valdez Tandem 4160 V



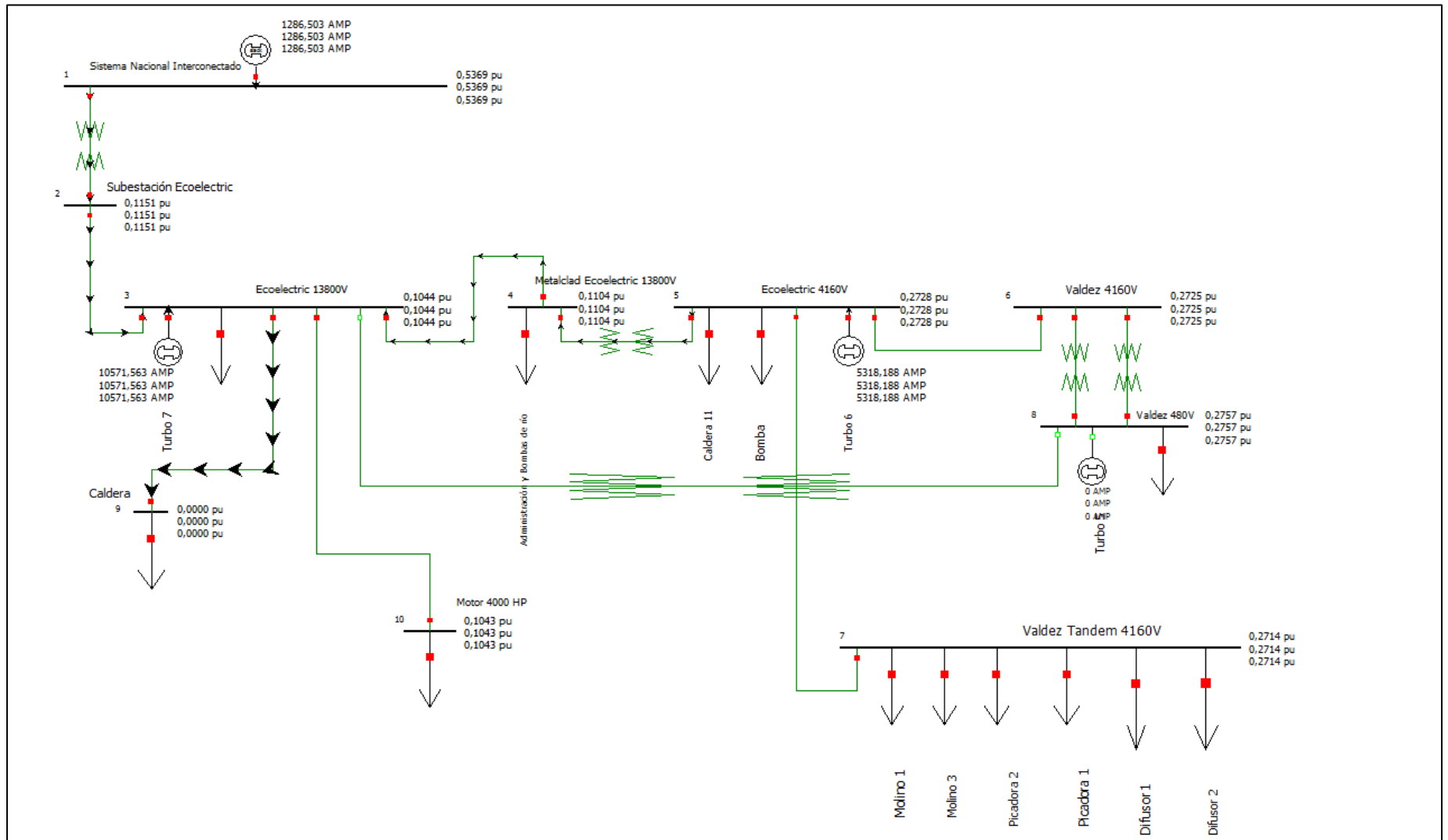
ANEXO 3.15: Falla Trifásica en la barra (8) Valdez 480 V



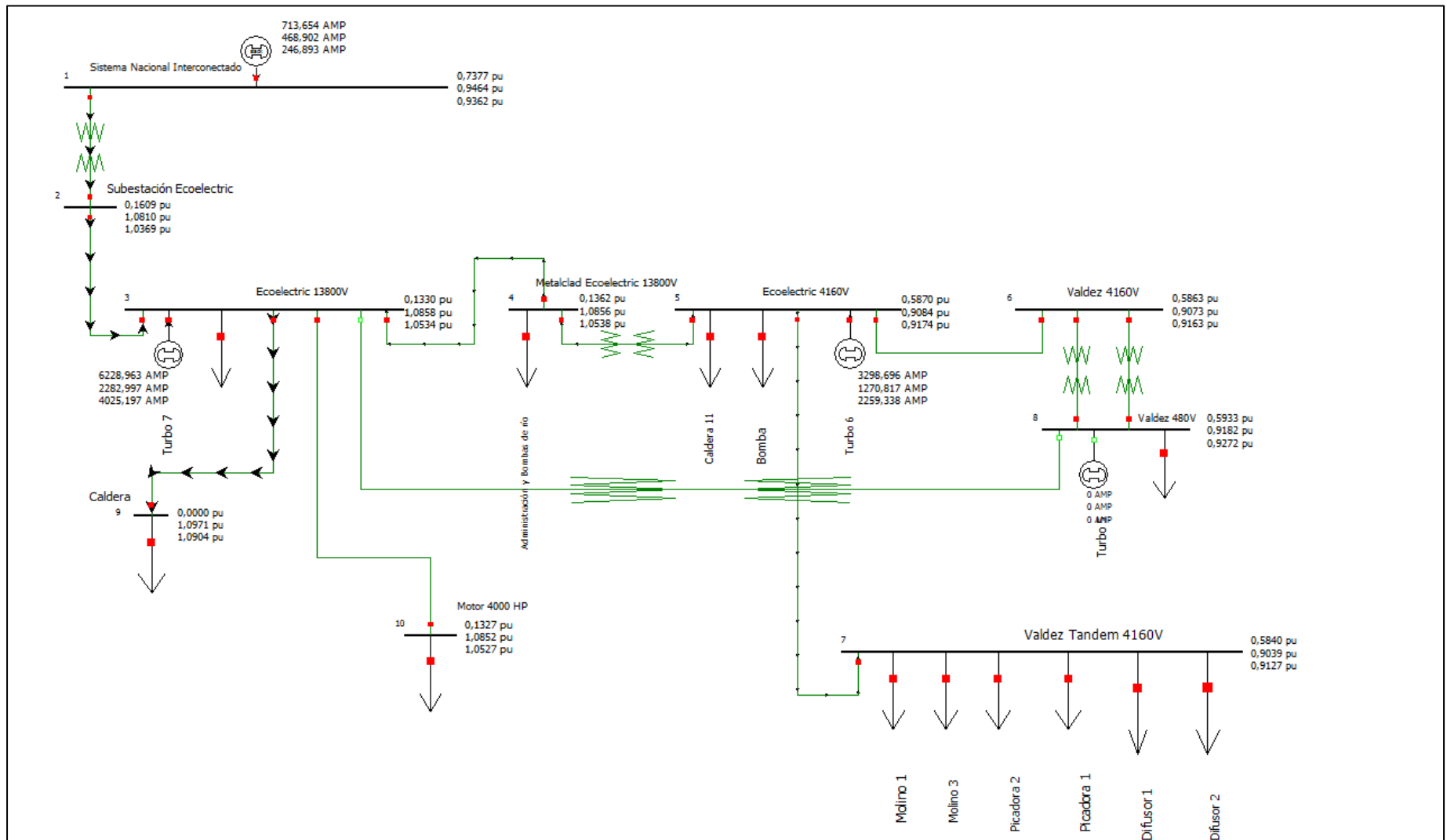
ANEXO 3.16: Falla Monofásica en la Barra (8) Valdez 480 V



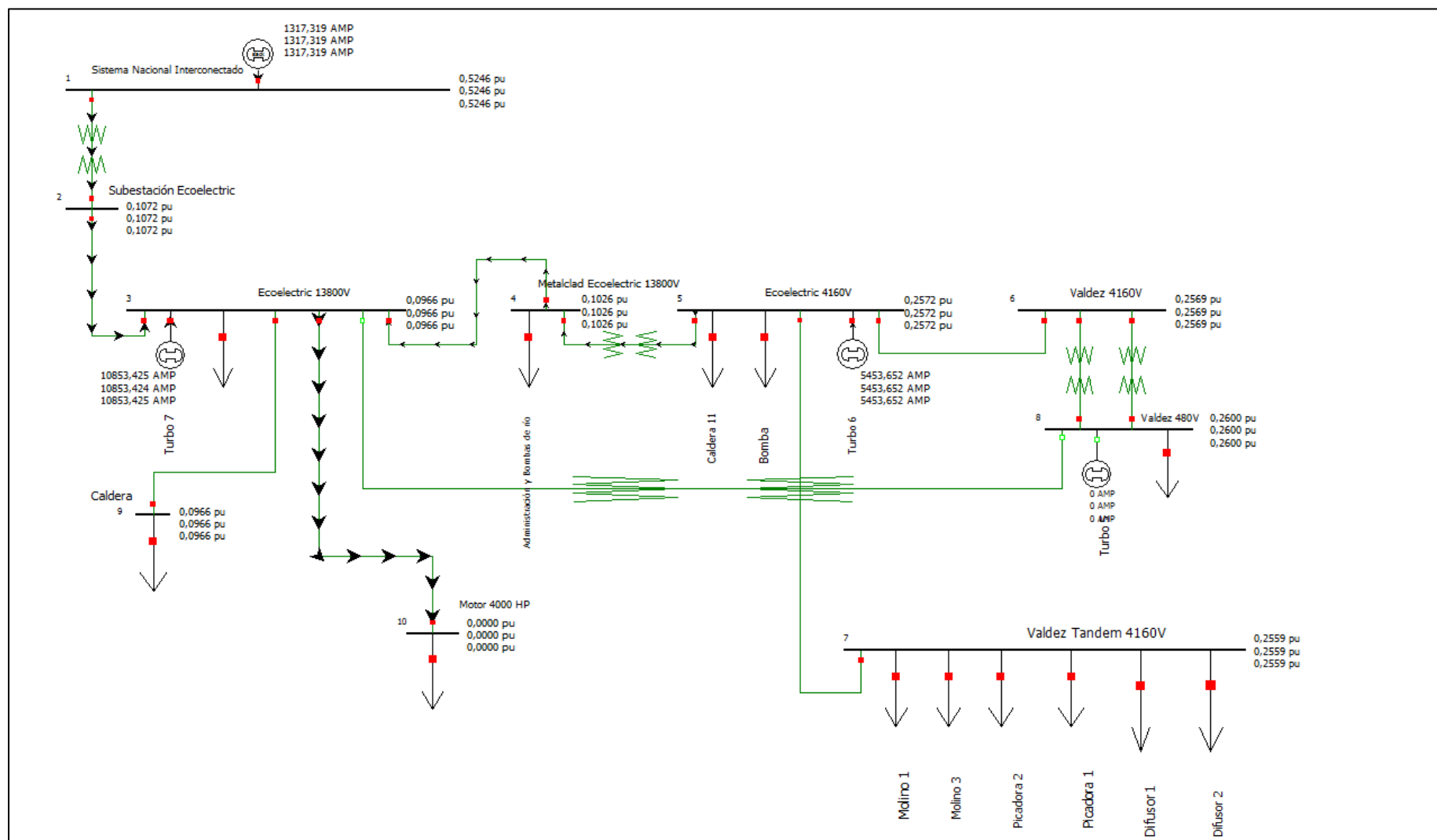
ANEXO 3.17: Falla Trifásica en la Barra (9) Caldera



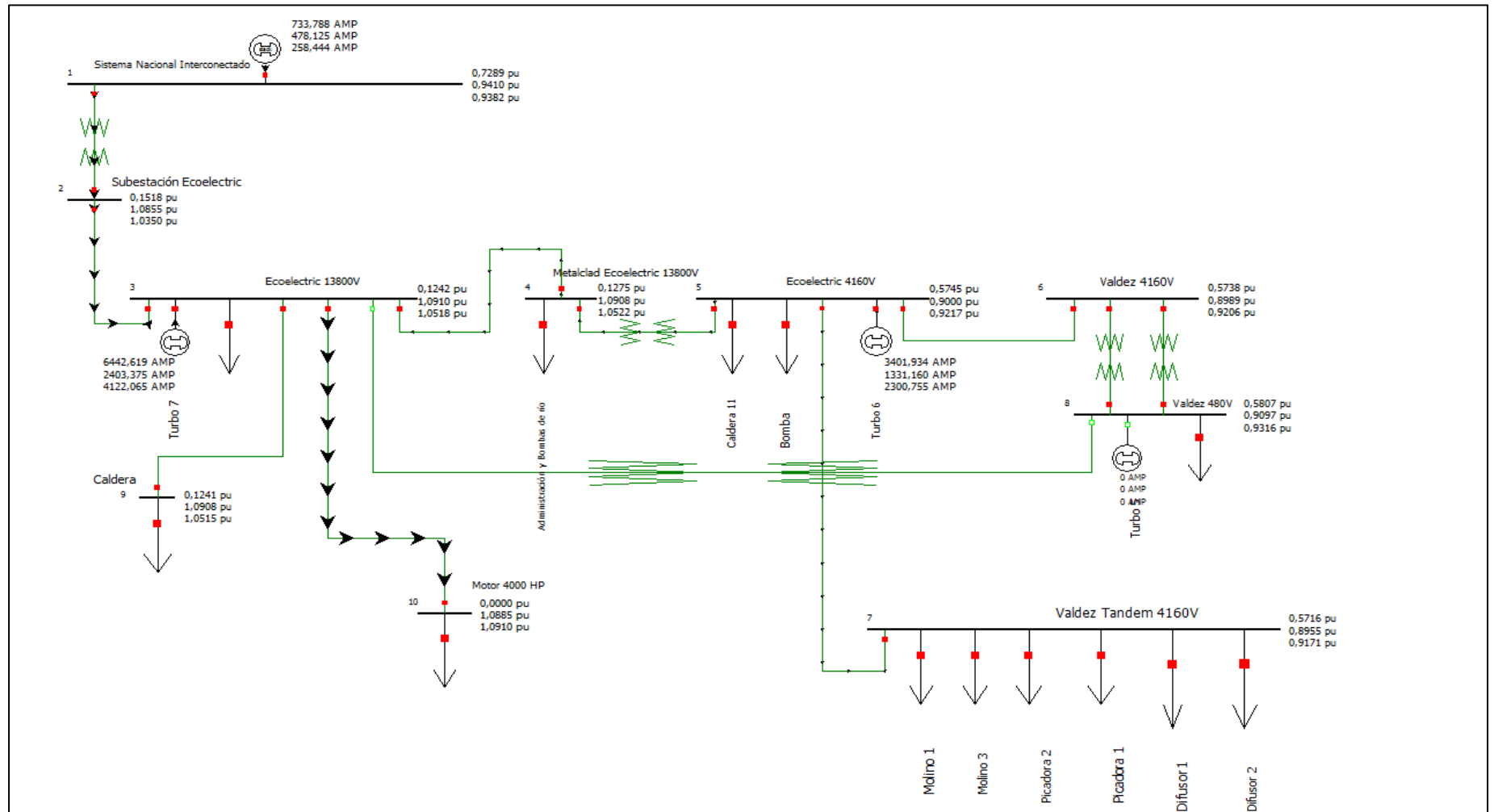
ANEXO 3.18: Falla Monofásica en la Barra (9) Caldera



ANEXO 3.19: Falla Trifásica en la Barra (10) Motor 4000 HP



ANEXO 3.20: Falla Monofásica en la Barra (10) Motor 4000 HP



BIBLIOGRAFÍA

- General Electric Industrial System; Manual del Equipo “489 Generator Management Relay”; Canadá – 2010.
- General Electric Industrial System; Manual del Equipo “745 Transformer Management Relay”, Canadá – 2004.
- General Electric Industrial System; Manual del Equipo “SR 750/760 Feeder Management Relay”; Canadá – 2008.
- General Electric Industrial System; Manual del Equipo “469 Motor Management Relay”; Canadá – 2004.
- General Electric Industrial System; Manual del Equipo “F60 Feeder Management Relay”; Canadá – 2006.
- Schweitzer Engineering Laboratories Inc; Manual del Equipo “SEL 511 Overcurrent/Recloser Relay”; Estados Unidos– 2007
- Normas IEEE Std C37.010-1979, IEEE Std C37.5-1979, IEEE Std 141-1993, IEEE Std 241-1990, IEEE Std 242-1986 y IEEE Std. C37.102-2006.