



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPTO. INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS DE CENTRAL TÉRMICA SANTA MARÍA I”

AUTOR (ES): CHRISTOPHER BRASH PAREDES
VÍCTOR LAGOS CONCHA

SEMINARIO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO DE EJECUCIÓN EN ELECTRICIDAD

CONCEPCIÓN – CHILE
2015



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPTO. INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS DE CENTRAL TÉRMICA SANTA MARÍA I”

AUTOR (ES): CHRISTOPHER BRASH PAREDES
VÍCTOR LAGOS CONCHA

PROFESOR GUÍA : JUAN CARLOS DELGADO NAVARRO

PROFESOR GUÍA ADJUNTO : LUIS MUÑOZ SÁEZ

PROFESOR GUÍA ADJUNTO : FABRICIO SALGADO DÍAZ

A mi madre Agustina Concha y a mi pareja Jennifer Yáñez por su incondicional apoyo y comprensión durante estos años de estudio. Por darme las fuerzas cada día que amanece, gracias mis amores.

Al cuerpo docente por su formación objetiva y cercana, a los trabajadores de la central Térmica Santa María I y a mi compañero de estudios Christopher Brash quien fue un aporte fundamental en el proceso de la realización de este seminario de título.

Victor

A mis padres José Brash y Gladys Paredes, a mi novia Camila Bravo, a mis hermanos, a mis sobrinos y en especial a mi hijo Christopher Valentín. Gracias por el incondicional apoyo, comprensión y amor que me brindaron día a día durante estos años de estudio.

Al cuerpo docente por su formación objetiva y cercana, a mis compañeros de trabajo de la central Térmica Santa María I y a mi compañero de estudios Víctor Lagos quien fue un aporte fundamental en el proceso de la realización de este seminario de título.

Christopher

Resumen	3
----------------------	---

Introducción	4
---------------------------	---

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE GENERACIÓN

1.1 Definición	6
1.2 Propósito de la planta	6
1.3 Funcionamiento	7
1.3.1 Manejo de la materia prima	7
1.3.2 Proceso de aire – gases	10
1.3.3 Proceso de agua circulación	18
1.3.4 Proceso de agua vapor	18
1.3.5 Procesos auxiliares	21
1.3.6 Turbina de vapor	23
1.3.7 Modos de operación de la planta	26
1.4 Diagrama general de proceso	29

CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO

2.1 Aspectos generales	30
2.2 Descripción de la red eléctrica en 220 kV	32
2.2.1 Patio de salida 220 kV	33
2.2.2 Subestación gis	34
2.3 Descripción de equipamiento de transformador principal Step-Up	44
2.3.1 Cable subterráneo 220 kV	45
2.3.2 Transformador principal (Step-Up)	45
2.3.3 Barra capsulada	47
2.3.4 Interruptor generador principal (52G)	48
2.4 Descripción de equipamiento generador principal	52
2.4.1 Generador principal	52
2.4.2 Excitatriz estática	56

CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DE AJUSTES DE RELÉS DEL SISTEMA DE PROTECCIONES

3.1 Descripción de los elementos de protección en estudio	59
3.1.1 Descripción general de la plataforma UR	59
3.2 Protección del transformador principal UR-T60	60

3.2.1	Funciones activas del relé UR-T60 transformador principal.....	63
3.2.2	Análisis de las funciones de protección relé UR-T60	66
3.3	Protección del generador UR-G60	71
3.3.1	Funciones activas del relé UR-G60 del generador principal	73
3.3.2	Análisis de las funciones de protección relé UR-G60	74
3.4	Protección de falla interna del interruptor del generador UR-C60	82
3.4.1	Funciones activas del relé UR-C60 interruptor principal	85
3.4.2	Análisis de las funciones de protección relé UR-C60 interruptor principal	85
3.5	Comunicación y extracción de data relé UR-G60/T60/C60	87

CAPÍTULO IV: ESTUDIO DE PROTECCIONES

4.1	Fundamentos.....	89
4.2	Cálculo de cortocircuito trifásico según Norma IEC	91
4.2.1	Cálculos de impedancias y corrientes base por zona	93
4.2.2	Cálculos de impedancias en por unidad.....	93
4.2.3	Cálculo de cortocircuito trifásico en barras.....	95
4.3	Verificación de coordinación de protecciones.....	97
4.3.1	Coordinación de protecciones ante falla trifásica.....	97
4.3.2	Coordinación de protecciones ante falla monofásica a tierra	110

CAPÍTULO V: COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Bibliografía	125
Anexos	126
Anexo A: Sistema eléctrico en alta y media tensión, Central Térmica Santa María I, plano High and Medium Voltage Single Line Diagram.....	127
Anexo B: Diagrama unilineal subestación eléctrica GIS, transformador y generador principal Central Térmica Santa María I	128
Anexo C: Diagrama unilineal del sistema de protecciones del generador y transformador principal	129
Anexo D: Tabla números ANSI de funciones reles UR.....	130
Anexo E: Diagrama Flex Logic protección G60	131
Anexo F: Diagrama Flex Logic protección C60	132
Anexo G: Procedimiento de extracción de data relé UR-G60/T60/C60.....	133
Anexo H: Electrical data generator	134

RESUMEN

En el presente informe de seminario, se desarrolla el estudio del sistema de protecciones de la Central Térmica Santa María I, que forma parte del Sistema Interconectado Central (SIC), por medio del cual se transmite y distribuye la energía generada.

En el Capítulo I, se describe el proceso de generación de energía eléctrica de una central termoeléctrica convencional, cuya materia prima es el carbón. Se realiza un estudio detallado de cada uno de los componentes del proceso. Se describe además, el manejo de micro procesos de importancia, tales como el manejo del carbón, la ceniza y la escoria. También se definen los sistemas que permiten obtener un proceso de generación más limpio, como son el sistema de retención material particulado (precipitador electrostático) y el sistema de desulfurización (FGD).

En el Capítulo II, se realiza una descripción del sistema eléctrico que conforma Santa María I, partiendo desde la subestación encapsulada GIS hasta el generador, incorporando cada uno de los componentes involucrados en el sistema.

En el Capítulo III, se realiza una revisión y análisis del sistema de protecciones eléctricas del generador, transformador elevador y falla interna del interruptor del generador. Se ejecuta la conexión al relé de tal forma de descargar sus ajustes en tiempo real, para luego analizarlos.

En el Capítulo IV, se verifica la correcta coordinación de las funciones de sobrecorriente de fase y residual de la línea en estudio, mediante la herramienta ETAP.

Finalmente, en el Capítulo V se presentan los comentarios y conclusión del presente trabajo.

INTRODUCCIÓN

Chile se enfrenta al desafío de contar con recursos energéticos suficientes y competitivos para alcanzar el anhelado desarrollo de las próximas décadas. Bajo esta premisa, nace la Estrategia Nacional de Energía, ENE. Con el lema de Energía para el futuro, la ENE tiene como finalidad adoptar una posición clara con respecto del desarrollo futuro de la matriz energética, junto con las principales orientaciones y medidas para su materialización.

Actualmente el país cuenta con una potencia instalada de aproximadamente 20 GW, de la cual, un 77% está en el Sistema Interconectado Central, SIC; un 22% en el Sistema Interconectado Norte Grande, SING; y menos del 1% en los sistemas medianos de las Regiones de Aysén y Magallanes. Tomando en cuenta la tendencia de crecimiento económico al año 2020, se proyecta un aumento en el consumo eléctrico en torno a los 100 mil GWh de consumo total de energía eléctrica. Ello representa el desafío de incorporar 8 GW de capacidad instalada al SIC.

La incorporación de esta nueva central térmica Santa María I de Colbún, constituye un importante aporte al SIC. La generación térmica ha sido muy cuestionada por el uso de combustibles fósiles como materia prima. Lo cierto es que hoy en día, se han implementado sistemas de mitigación de los gases expulsados producto de la combustión, como es el precipitador electrostático, que retiene el material particulado proveniente en los gases. Además, a contar del año 2009 se comienza a exigir, que cada proyecto termoeléctrico contemple un sistema de desulfurización, para minimizar la cantidad de dióxido de azufre (SO₂) contenido en los gases.

Uno de los objetivos planteados para este seminario, es el de realizar una descripción acabada del proceso de generación de una central térmica convencional a base de carbón. En este objetivo también se incluye una visión detallada de sistemas y subsistemas que en conjunto contribuyen a una energía más limpia y de calidad.

Por otra parte, debido a la gran importancia de mantener la generación base, declarada para esta central, es que se hace necesario contar con sistemas eléctricos lo más confiables y seguros posibles. Es por esto, que la central Santa María I, cuenta con un sistema de protecciones de gran rapidez y selectividad, para con ello, salvaguardar tanto, la seguridad de los equipos, como su confiabilidad. Dichas protecciones deben estar debidamente ajustadas para no producir desconexiones que afecten el sistema eléctrico nacional.

Por lo anteriormente descrito, como segundo objetivo general de este seminario, se realiza una revisión y análisis del sistema de protecciones eléctricas instalado en central Santa María, desde el punto de vista técnico, de tal manera de conocer sus ajustes y de verificar su correcta operación.

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE GENERACIÓN

1.1 DEFINICIÓN

Una central termoeléctrica, es una central que produce energía eléctrica, a partir de la combustión de carbón, petróleo, gas, en una caldera diseñada para tal efecto. El funcionamiento de todas las centrales térmicas, o termoeléctricas, es semejante.

El combustible se almacena en canchas de acopio adyacentes a la central, desde donde se transporta hacia la caldera para provocar su combustión. Esta última genera el vapor a partir del agua que circula por una extensa red de tubos, que tapizan las paredes de la caldera. El vapor hace girar los álabes de la turbina, cuyo eje rotor gira solidariamente con el de un generador que produce la energía eléctrica; esta energía se transporta mediante líneas de alta tensión a los centros de consumo. Por su parte, el vapor es enfriado en un condensador y convertido otra vez en agua, que vuelve a los tubos de la caldera, comenzando un nuevo ciclo.

1.2 PROPÓSITO DE LA PLANTA

Los estudios de demanda energética para el Sistema Interconectado Central (SIC) y en general del país, demostraron la conveniencia de construir una nueva central termoeléctrica, con el fin de entregar una potencia generada de 342MW.

La central Santa María I ubicada en Fundo el Manco S/N Ruta 160, Coronel, se ha concebido como una planta de generación térmica, la cual se encuentra diseñada para generar principalmente una carga base, sin embargo, se ha previsto su participación para el control de frecuencia principal, con una interfaz remota con el centro de despacho de Colbún.

Su absoluta independencia del devenir hidrológico, ha posicionado a la central Santa María dentro de uno de los más importantes complejos térmicos de generación del país.

La planta se encuentra conectada a la subestación Charrúa por medio de una línea de Alta Tensión de 220 kV de doble circuito construida bajo criterio N-1, esto quiere decir, que esta línea, fué diseñada con el fin de enfrentar la ocurrencia de una contingencia simple, sin que esta se propague a las demás instalaciones del Sistema Interconectado a la cual pertenece. Esta línea de transmisión, absorberá la plena potencia inyectada en ella en cualquier condición.

Una línea de 66 kV alimenta un transformador de poder de 24 MVA, 66/11 kV, que permite poner en servicio los equipos auxiliares de la planta en caso de pérdida total de ambos circuitos de la línea de transmisión LAT 2X220 kV, que conecta la subestación GIS (Santa María I) con la subestación Charrúa. Cabe destacar que esta línea de 66 kV, permitirá tener alimentación auxiliar durante la situación descrita anteriormente, pero, no es posible la generación, ya que la central no está diseñada para generar en modo ISLA.

Un generador diesel de emergencia de 1750 kVA, se encuentra instalado para alimentar cargas esenciales y mantener los equipos de respaldo de A.C. y D.C. en caso de caída total de las líneas de Alta Tensión del SIC.

1.3 FUNCIONAMIENTO

A continuación se describe en detalle los diferentes procesos y sistemas involucrados en la central.

1.3.1 MANEJO DE LA MATERIA PRIMA

La materia prima para la producción de vapor es el carbón, dispuesto en una cancha de acopio ubicada al interior de la central. El carbón es importado principalmente desde Colombia y Australia, básicamente por su alto poder calorífico y bajo porcentaje de azufre. El carbón adquirido es Bituminoso y dependiendo sus propiedades es apilado en distintas zona de la cancha de acopio, durante la producción los diversos tipos de carbón son mezclados (dependiendo de la necesidad) y transportados hacia los 4 silos de carbón ubicados en la caldera principal de Santa María I.

1.3.1.1 PROCESO DEL CARBÓN

Sistema de carguío: Este sistema parte desde la descarga del carbón, desde el barco en el puerto de Coronel, mediante 2 grúas, luego el carbón es llevado a través de las correas transportadoras, hasta la torre de transferencia TT10, la cual se encuentra emplazada en instalaciones de Santa María I. El puerto de Coronel es el encargado de llevar a cabo esta tarea, de manera de no afectar el proceso de la planta de generación.

Sistema de acopio: La pila de carbón se distribuye utilizando un transportador llamado TRIPPER, el cual recorre a lo largo y de principio a fin, la cancha de acopio, permitiendo ubicar el carbón en distintos sectores, dependiendo de su procedencia y características.

El transportador TRIPPER se compone de tres correas, siendo su principal correa de carguío, la SC10, a su vez esta correa permite el desplazamiento del transportador TRIPPER a lo largo de la cancha. Las correas SC11 y SC12 son las encargadas de formar las pilas de acopio de carbón. El transportador TRIPPER, cuenta con un sistema humectador, el cual durante el proceso de acopio, inyecta agua pulverizada para evitar la polución de material.

En la torre de transferencia TT10, se encuentra un sistema humectador, similar a la del carro TRIPPER, a su vez cumple la misma función. En la figura 1.1 se puede visualizar el diagrama general de manejo del carbón y los tres sistemas relacionados para tal efecto.

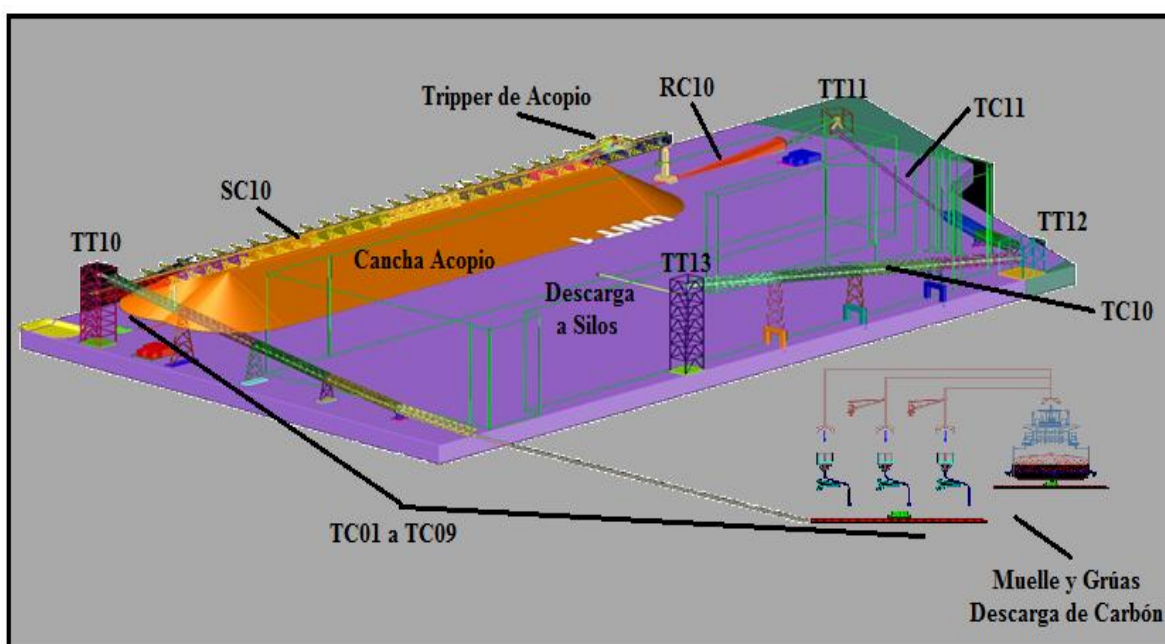


Figura 1.1: Manejo del carbón

Sistema de reclamo: Este sistema se encarga de abastecer el carbón hacia los silos. Se compone principalmente de tres correas transportadoras, 11 alimentadores vibratorios y 3 torres de transferencia.

El reclamo de carbón dependerá de las condiciones operacionales de la central, según sea el requerimiento, el carbón es extraído de distintas pilas de acopio, mediante los alimentadores vibradores, comenzando su recorrido por la correa RC10, TC11 y finalmente TC10, la cual abastece a los silos de carbón.

1.3.1.2 SILOS DE CARBÓN

El carbón enviado desde la correa transportadora TC10, antes de descargar en los 4 silos de 847 m³ cada uno, pasa por dos correas horizontales N1 y N2, esta última correa descansa sobre un carro móvil llamado Tripper de silos, el que posee dos puntos de trabajo y se desplaza a ellos dependiendo los requerimientos operacionales de llenado de silos. La correa N2 tiene la particularidad de moverse en ambas direcciones (adelante o atrás), esto permite el llenado de dos silos (no simultáneamente) mientras el carro tripper, se encuentre en una de las dos posiciones destinadas para tal efecto. En la figura 1.2 se puede visualizar el diagrama general de llegada de carbón a los silos.

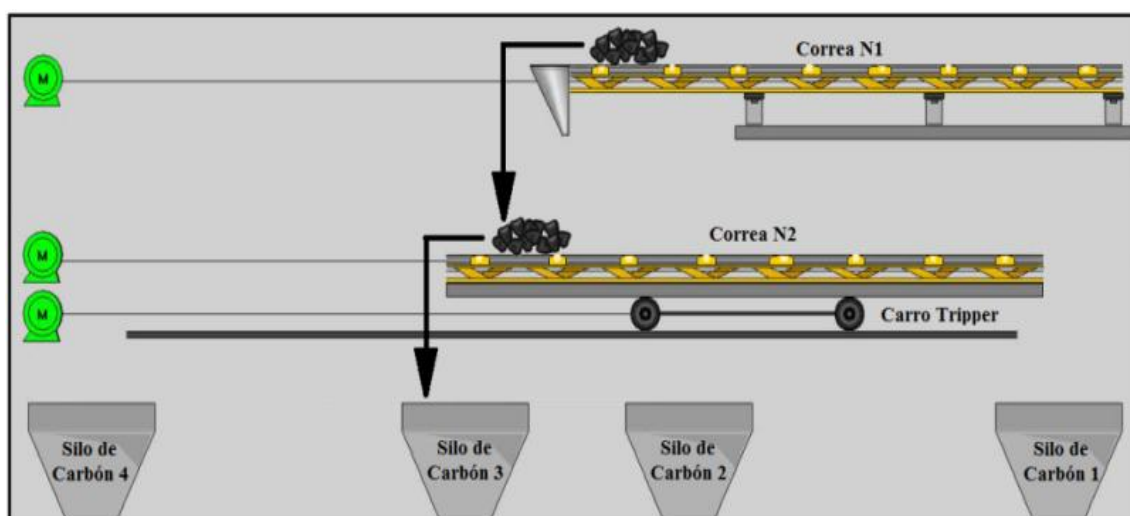


Figura 1.2: Diagrama general de la llegada del carbón a los silos

El diseño técnico de Santa María I, permite la combustión de estos carbones en distintas mezclas, que se adecúan según las disponibilidades y las ventajas derivadas ocasionalmente.

Desde estos silos se alimentan 4 molinos trituradores, los que reducen el material combustible a un finísimo polvillo. Este es inyectado por medio de aire, a través de 16 quemadores frontales hacia el interior del hogar de la caldera. Su estado casi micronizado, le permite desarrollar toda su energía térmica en el proceso de combustión.

La alimentación eléctrica para energizar los consumos del sistema de manejos de carbón, proviene desde la barra 10 BBA y 10 BDA en 11 kV, situadas en el edificio de Media Tensión. Estas barras alimentan dos transformadores de 1,5 MVA, ubicados a la entrada de la sala eléctrica

del sistema de manejo de carbón, los cuales reducen la tensión a 400V donde se conectarán los diferentes consumos del sistema “manejo de carbón”.

1.3.2 PROCESO DE AIRE – GASES

Se denomina línea Aire-Gases, al recorrido efectuado por el aire, tomado del medio ambiente por los ventiladores forzados y llevado a la cámara de combustión de la caldera y los gases producidos, que son aspirados por los ventiladores de tiro inducido y expulsados al exterior a través de la chimenea.

Como se ha descrito en el apartado anterior, el carbón es enviado a la caldera por una cinta transportadora, que vierte su contenido en 4 tolvas que alimentan a los molinos de carbón, donde éste, es pulverizado y se mezcla con un flujo de aire precalentado. Esta mezcla carbón pulverizado y aire, ingresa a la caldera por los quemadores, donde se inicia la combustión dentro del hogar.

1.3.2.1 RECORRIDO DEL AIRE

El aire necesario para la combustión del carbón en el hogar de la caldera, lo suministran los ventiladores de tiro forzado (VTF); estos ventiladores toman aire del ambiente y lo transportan por medio de tuberías, a una temperatura de 0 a 20°C y a una presión de 3.9 kPa. Antes de ser enviado al interior del hogar de la caldera, el aire pasa por un precalentador de aire vapor (PVA) encargado de elevar su temperatura a unos 30°C, luego la mayor parte del aire (denominado aire secundario), es enviado al precalentador de aire-gases Ljungstrom (LJ), el que consiste en un precalentador rotatorio trisector, encargado de elevar la temperatura del aire, gracias al intercambio de calor con los gases calientes provenientes de la combustión. A la salida del (LJ), el aire secundario ha ganado temperatura bordeando los 280-300°C con una presión de 2,85 kPa. Con estas características, el aire secundario es enviado a los quemadores de la caldera. Para producir la combustión correcta en el interior del hogar, el aire es regulado por dampers motorizados que entregan la cantidad necesaria en función a la carga térmica de la caldera. De aquí, antes de pasar por los quemadores, existe un arranque hacia (8) toberas ubicadas en la parte superior de la última línea de quemadores, que es llamado aire terciario, cuya función principal es controlar la temperatura a la salida de los gases y así reducir la cantidad de NOx.

La parte restante del aire secundario frío a la entrada del (LJ), es succionada por un ventilador de aire primario (VAP), quién aumenta el flujo de aire y lo transforma en el llamado aire primario,

este aire va a ser el encargado de desplazar el carboncillo proveniente de los molinos, hacia el interior de la caldera por medio de los quemadores.

A la descarga del (VAP), una parte del aire primario, se hace pasar por el interior del (LJ) para tomar temperatura, alcanzando valores de salida a 310°C a una presión de 10.1 kPa. La otra parte va directamente hacia el molino, que en conjunto, con el aire primario caliente, se utilizará para dar la temperatura requerida utilizando la mezcla de aire primario frío y caliente.

Por otra parte, se hace necesario mencionar que la caldera posee (16) quemadores frontales, los cuales en la partida son encendidos con petróleo diesel. Luego al encender el primer molino, el aire primario desplaza el carbón pulverizado hacia los quemadores del piso correspondiente, para continuar con la subida de presión de la caldera. En tal sentido, en la figura 1.3 se presenta un diagrama representativo del recorrido del aire hacia la caldera.

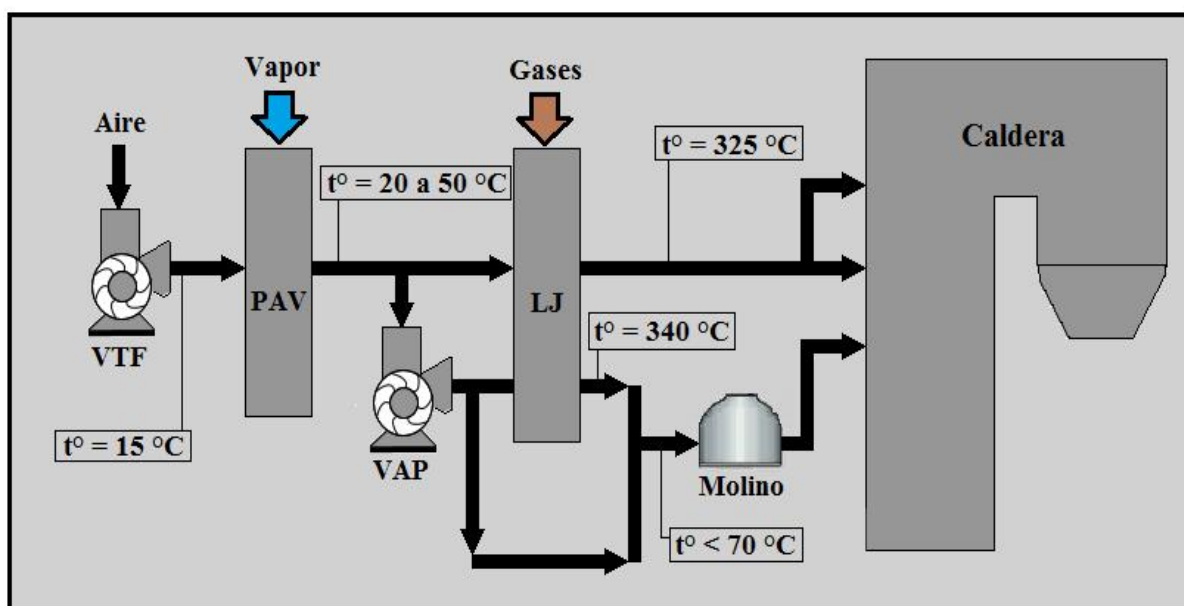


Figura 1.3: Recorrido del aire

1.3.2.1.1 MOLINOS DE CARBÓN

Como uno de los equipos de mayor envergadura que se tiene en la caldera, se encuentran los molinos de carbón, elementos encargados de producir el carbón en condiciones aptas para su combustión en el hogar. Son adecuados especialmente para instalaciones de combustión directa donde la producción de carbón es variable, dependiendo de la necesidad de combustible que se tenga en la caldera en cualquier momento.

En general, el recorrido del carbón, comienza en los 4 silos de almacenamiento en cantidad de cuatro, uno por molino y de una capacidad máxima de 847 m³ cada uno. El carbón baja al alimentador gravimétrico, (uno por molino), que regula la cantidad de carbón a moler en función a la velocidad de rotación y lo lleva al ducto de caída. Al final del ducto de caída, el carbón entra en la pista de molienda del molino, donde es molido por 3 rodillos interiores en forma de "Rollers", en este punto el aire primario desplaza el polvo de carboncillo, el que se mezcla y se envía al interior de la caldera por (4) tuberías que se introducen en la parte superior de los (4) quemadores dispuestos horizontalmente. Referente a esto, en la figura 1.4 se presenta un diagrama simplificado de los molinos de carbón.

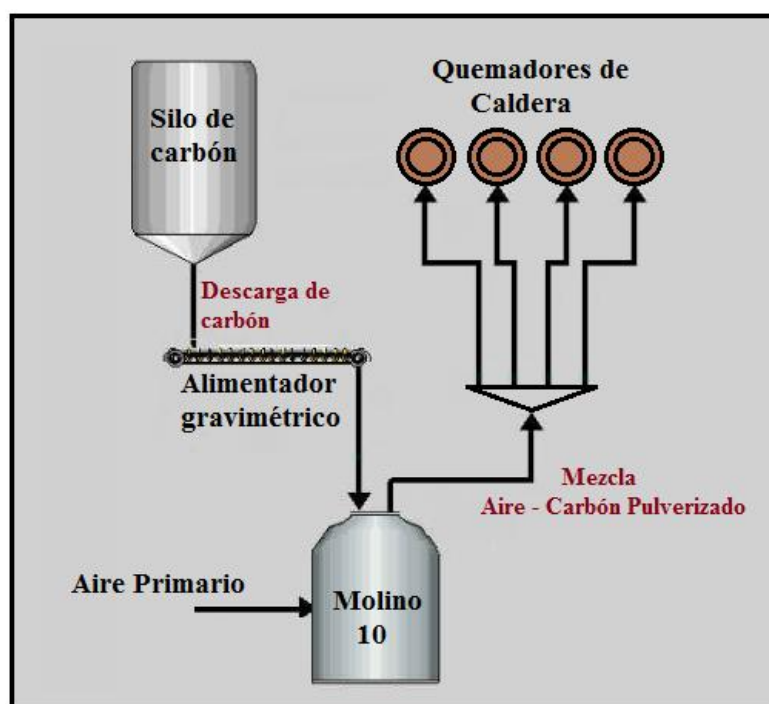


Figura 1.4: Molinos de carbón

1.3.2.1.2 QUEMADORES DE CALDERA

La ignición y puesta en régimen de la caldera, es un proceso de varias etapas. La partida es efectuada por medio de los 16 quemadores, dispuestos en 4 filas de 4 quemadores en la pared frontal de la caldera, cada fila de 4 quemadores corresponde a un molino de carbón como lo muestra la figura 1.5, los cuales en la partida son encendidos con petróleo diesel y de esta forma se inicia el calentamiento de la turbina hasta lograr la sincronización de la unidad.

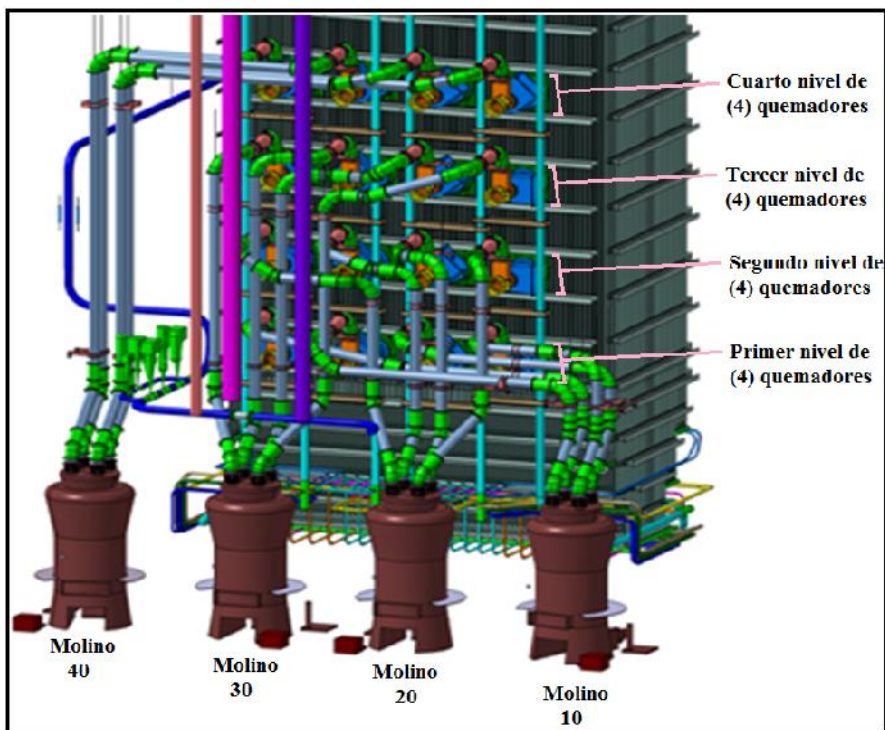


Figura 1.5: Disposición de quemadores

Los quemadores son de bajo contenido en NOx, gracias a su diseño escalonado de aire con movimiento giratorio frontal. En el centro de cada quemador, se encuentra una lanza automática de petróleo, la que se introduce dentro del hogar y enciende cuando la lanza del ignitor de alto voltaje se introduce y genera la chispa necesaria para encender el quemador. Los dampers dispuestos a cada lado del quemador, regulan la cantidad de aire necesaria para la mejor combustión en el quemador. En tal sentido, la figura 1.6 se presenta un esquema del quemador.

Los quemadores son totalmente automatizados y controlados desde la sala de control, durante la puesta en servicio de la unidad y una vez que la central se encuentra sincronizada y con carga estable, la regulación de la carga térmica entra en modo automático.

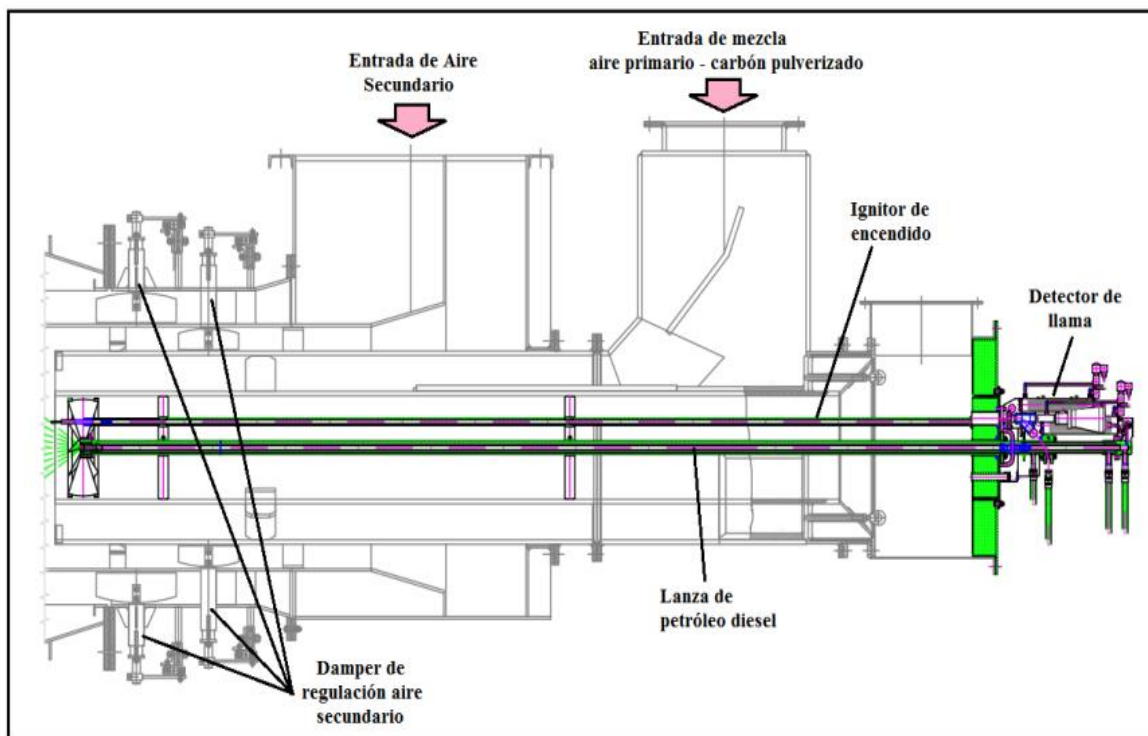


Figura 1.6: Quemador caldera, vista lateral

1.3.2.2 FLUJO DE LOS GASES

Los gases de la combustión, al interior de la caldera, entregan calor al agua para completar el cambio de estado líquido a vapor y sobrecalentar el vapor a las condiciones necesarias para entregar a la turbina; cabe señalar que el agua y vapor circulan por el interior de tubos de acero a modo de serpentines. Los gases de la combustión, una vez concluido su paso por el hogar de la caldera y efectuado la transferencia de calor al agua-vapor, deben pasar por procesos de filtro y limpieza, antes de ser evacuados al ambiente a través de chimenea.

A la salida de la caldera y posterior al paso por el calentador de aire regenerativo LJ, los gases pasan por el precipitador electrostático donde se retiene material particulado por placas colectoras y emisoras, luego son impulsados por los ventiladores de tiro inducido hacia el proceso de desulfurización, donde son extraídos los óxidos de azufre. Finalmente, los gases se envían al ambiente. Una descripción simplificada del recorrido de los gases, se puede apreciar en la figura 1.7.

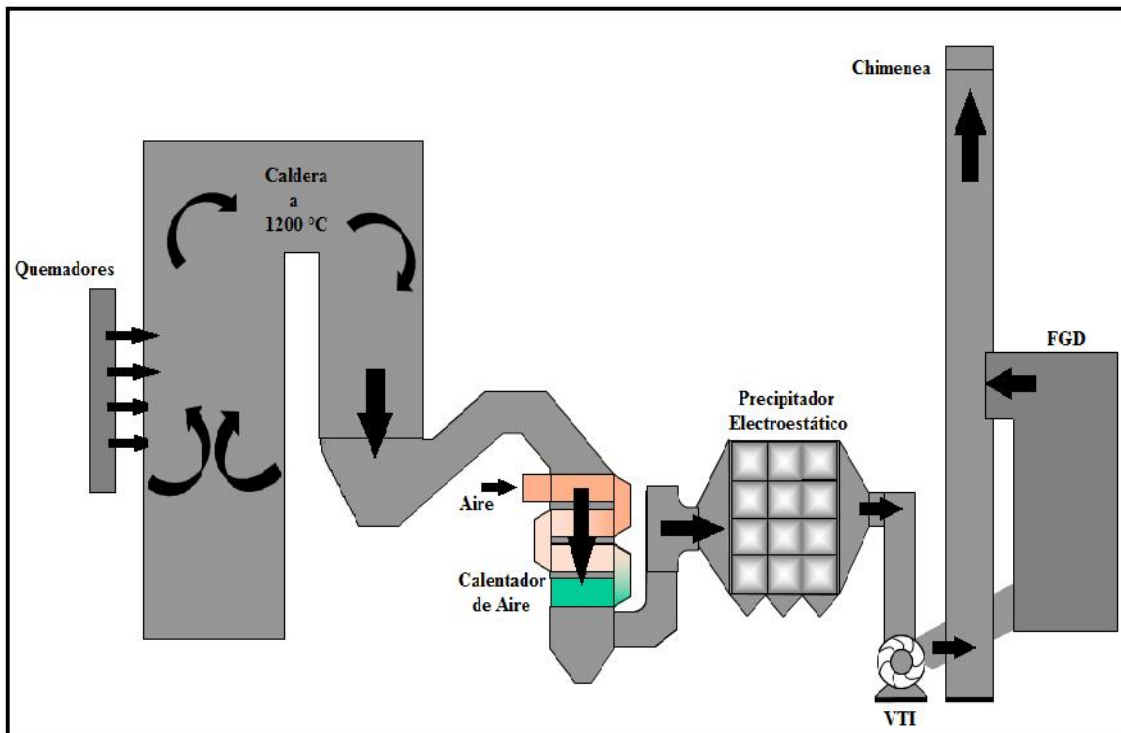


Figura 1.7: Recorrido de los gases

1.3.2.2.1 PRECIPITADOR ELECTROESTÁTICO

El precipitador electrostático (ESP) es característico de las centrales térmicas que utilizan carbón como combustible, cuya función consiste en la retención de las partículas en suspensión, que existen en los gases resultantes de la combustión, para evitar que estas partículas salgan con los gases a la atmósfera. Estas partículas en suspensión, existentes en los gases y separadas de los mismos en el electrofiltro, se conocen como cenizas volantes.

El precipitador electrostático, se basa en el principio de ionización, es decir, en el hecho de que en el interior de un campo eléctrico las partículas de ceniza se cargan eléctricamente. Para ello, los gases se hacen pasar por el interior de una cámara donde se crea un campo electrostático establecido entre los electrodos emisores o de descarga (negativos) y los electrodos colectores o placas (positivos), conectados a tierra. Los gases al pasar por los electrodos emisores, se cargan negativamente gracias al principio de ionización y al pasar por los electrodos colectores, son atraídos debido a su carga eléctrica. El máximo campo electrostático se genera en la proximidad de los electrodos de descarga o emisores, ionizando a las partículas de ceniza.

Un electrofiltro está constituido por una cámara dividida en pasillos paralelos, formados por placas colectoras dispuestas en filas en el sentido del flujo de los gases, encontrándose en el eje de los pasillos los electrodos emisores, puede estar dividido en dos mitades, separadas la una de la otra a prueba de gases, para facilitar el acceso para efectuar reparaciones, sin parar el precipitador, cada mitad recoge los gases de una de las dos salidas de la caldera (debe haber 2 tuberías de salida de gases) y los gases limpios son arrastrados por un ventilador de tiro inducido que los envía a la chimenea. A su vez, cada mitad se divide en una serie de campos o secciones separadas en serie. Cada campo está equipado con un transformador/rectificador alimentado con baja tensión, situado en el techo del precipitador. Las partículas de ceniza acumuladas sobre las superficies de las placas colectoras son periódicamente desprendidas de ellas mediante un sistema de golpeadores y recogidas en las tolvas del electrofiltro.

Una vista general del precipitador y sus componentes principales, se puede apreciar en la figura 1.8.

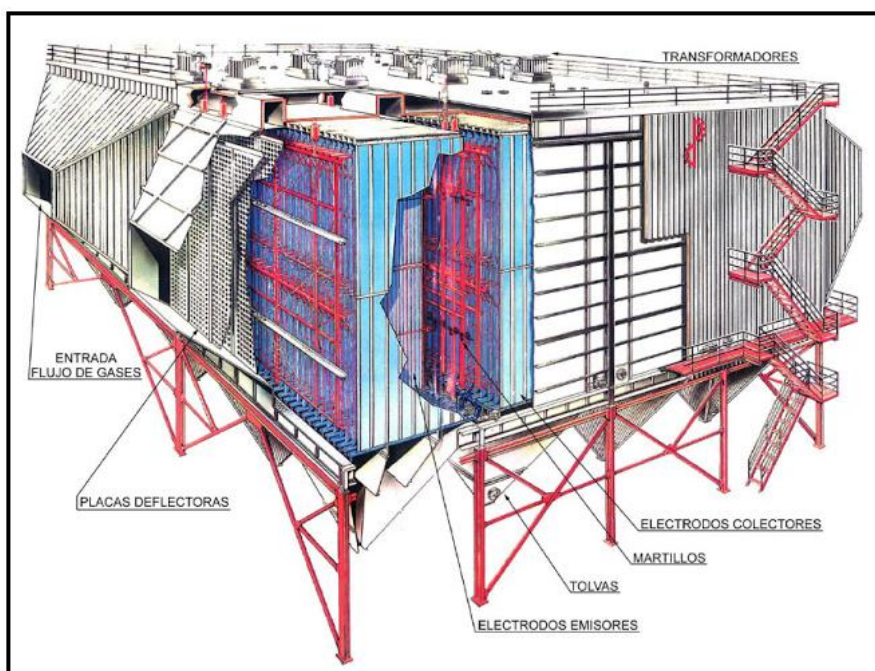


Figura 1.8: Precipitador electrostático

1.3.2.2.2 DESULFURIZADOR

El proceso de desulfurización por agua de mar, utiliza las propiedades inherentes del agua marina, para absorber y neutralizar el óxido de azufre. El agua de mar, es utilizada como agua de

enfriamiento en los condensadores. Luego de pasar por los mismos, el agua de mar se reutiliza para controlar las emisiones de SO_2 . En la figura 1.9 se representa el proceso de desulfurización.

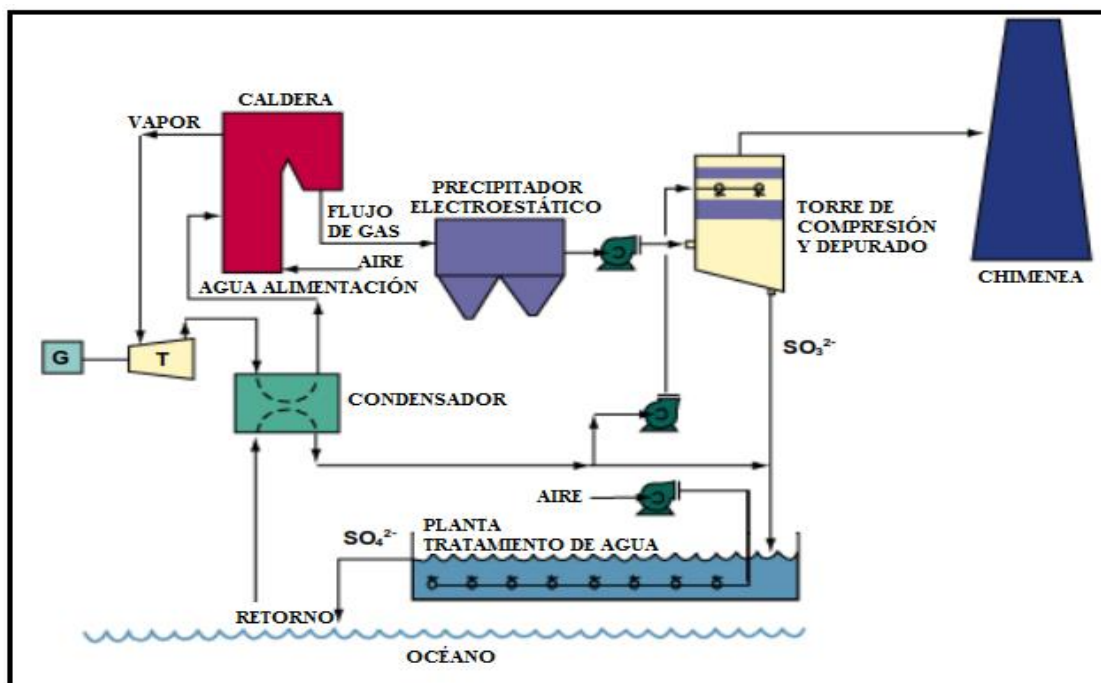


Figura 1.9: Diagrama general del sistema de desulfurización

La absorción del SO_2 ocurre en la chimenea, donde parte del agua de enfriamiento y el gas, en contracorriente, se ponen en contacto. El agua de mar es alcalina por naturaleza y tiene una gran capacidad de neutralización de los ácidos formados por la absorción del SO_2 . El efluente absorbido fluye por gravedad hasta la planta de tratamiento de agua mar, allí se mezcla con el resto de agua de mar provenientes de los condensadores y se oxida hasta que el azufre toma forma de sulfato (SO_4), inocuo y soluble. Esta oxidación se produce por una aireación, antes que el agua tratada sea devuelta al mar.

Los sulfatos son ingredientes naturales del agua de mar y sólo hay un pequeño aumento de concentración de los sulfatos en el agua de mar que se descarga en el océano. Este aumento está dentro de las variaciones naturales del agua de mar y a corta distancia del punto de descarga, esta diferencia ya es indetectable. Debido a que en este proceso, el agua de mar pasa una sola vez por el sistema, el gas se enfriará aún más, cuando pasa por el absorbedor. Generalmente, es necesario volver a calentar el gas antes de ser descargado a la atmósfera, para lo cual se instala un intercambiador de calor.

1.3.3 PROCESO DE AGUA CIRCULACIÓN

El proceso de agua circulación, es el encargado de abastecer con agua de mar la central Santa María I para los diversos procesos en la que es requerida. Esta circulación se realiza mediante dos bombas impulsadas por un motor de 11 kV/ 2400kW cada uno, ubicados en una área de la central, denominada Intake cercano a la costa.

El agua de mar está permanentemente circulando por la central Santa María I, una parte del agua de mar es utilizada para generar el agua cruda, mediante procesos de desalinización y desmineralización; esta agua será utilizada para la generación de vapor. El agua de mar no utilizada en el proceso de vapor, se utiliza para enfriar el vapor generado y eliminar los gases contaminantes en el proceso de desulfurización.

1.3.4 PROCESO DE AGUA VAPOR

En el proceso de generación de vapor, según se representa en el diagrama de la figura 1.10, el agua utilizada es extraída del mar la cual pasa por un proceso de salinización y almacenada en el estanque de agua cruda, ésta se purifica químicamente para obtener agua desmineralizada, la que es almacenada en el estanque de agua desmineralizada. Cuando el proceso entra en régimen, el domo (estanque donde coexisten agua y vapor) recibe el agua precalentada por los economizadores 309° C e impulsada por las bombas de alimentación. Desde el domo el agua descende por 6 tubos principales para luego ir subiendo por las paredes de tubos evaporador en forma natural por la transferencia de calor que se realiza en el hogar, transformando el agua en vapor saturado y regresando nuevamente al domo. De esta manera, dentro de éste se tiene agua caliente en su parte inferior y vapor saturado en la parte superior.

Para que el vapor sea utilizado en la turbina, no debe contener humedad, por lo que pasa a través de 4 sobrecalentadores, donde se le aumenta la temperatura unos 180° C llegando a 541° C con una presión de 171 Bar. Este "vapor sobrecalentado" es llevado a la turbina de alta presión, para mover la turbina a 3000 rpm. El vapor resultante, sale de la turbina de alta presión y vuelve a la caldera, con una temperatura de 342° C y 42 Bar de presión, donde ingresa a los recalentadores y se le aumenta la temperatura a 541° C, con una presión de 40,5 Bar. Este nuevo vapor es ingresado a la turbina de media presión y posteriormente a la turbina de baja presión.

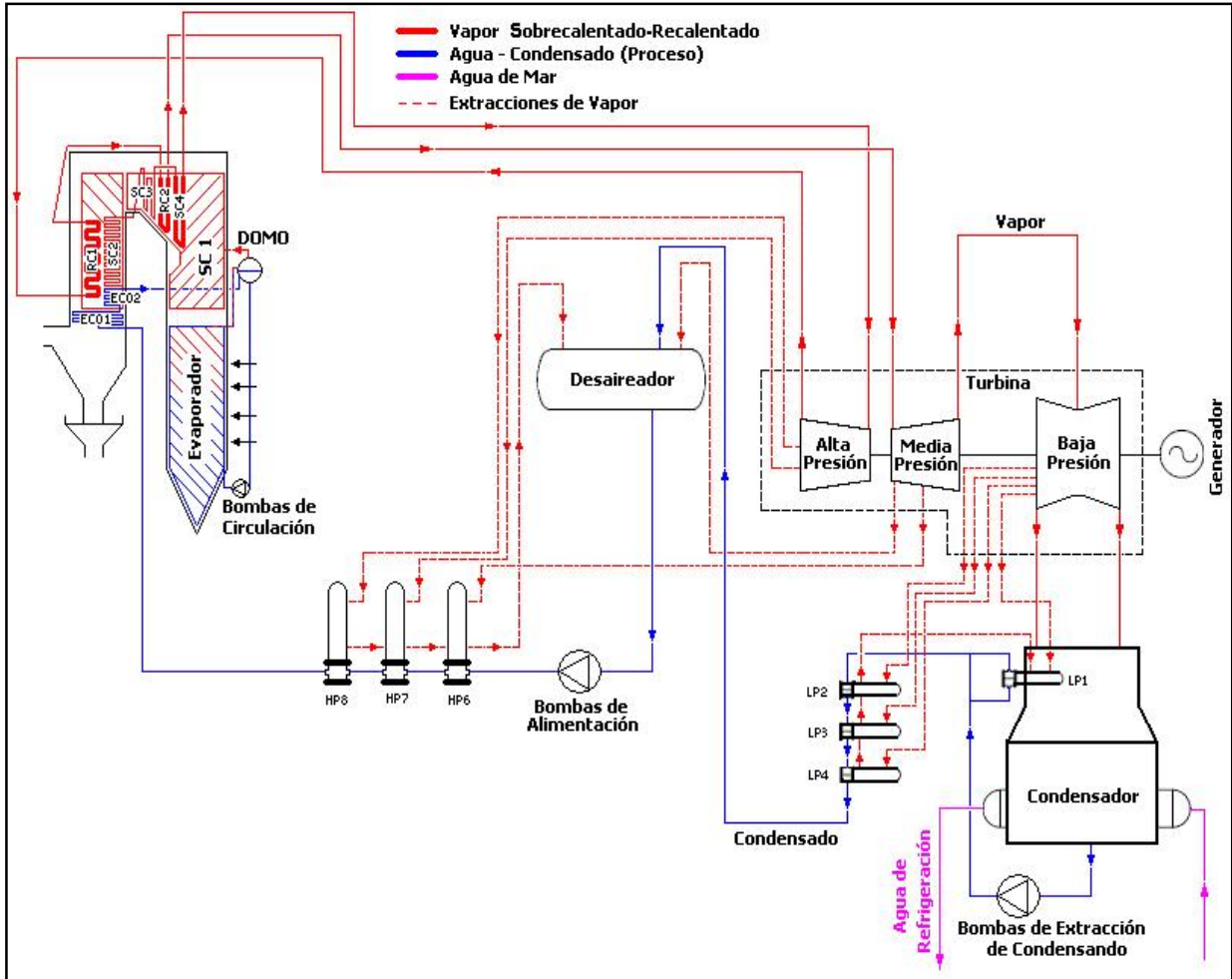


Figura 1.10: Diagrama general del circuito de agua-vapor

Para la obtención de agua desalada, los sistemas MVC funcionan comprimiendo vapor de agua, lo que causa condensación sobre una superficie de transferencia de calor, que permite al calor de la condensación ser transferido a la salmuera del otro lado de la superficie, resultando en la vaporización de ésta. El compresor es el requerimiento de energía principal, éste aumenta la presión en el lado del vapor y baja la presión del lado del agua salada para bajar su temperatura de ebullición.

Un esquema del funcionamiento de un equipo que desaliniza agua marina por medio de compresión de vapor, donde se utiliza un elemento calefactor en una caldera, y se comprime el vapor para obtener agua con una disminución considerable de sales.

El agua cruda que se utiliza para los consumos de Santa María I y para posterior desmineralización, es obtenida mediante la desalinización de agua de mar e impulsadas por bombas hacia un estanque de almacenamiento de agua cruda de 1000 m³. La planta de desmineralización cuenta con 2 lechos mixtos y un pulidor.

El objetivo final de cada una de estas etapas es obtener agua desmineralizada y almacenarla para el proceso de generación de vapor, cuyas características se resumen en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1: Características del agua desmineralizada

PARÁMETRO	VALOR
Conductividad	< 1 us/cm
PH	<6.5
Sílice	< 10 ppb

El agua cruda (desalada) almacenada en el estanque de 1000 m³, llega hasta los filtros de lecho mixto que contiene ambas resinas, aniónica y catiónica, las cuales se mezclan homogéneamente actuando como desmineralizador total. El lecho mixto, en su interior tiene resina catiónica que tiene la propiedad de retener todos los iones positivos que están en el agua. La resina aniónica retiene todos los iones negativos (aniones) que van disueltos en el agua.

El agua sale de aquí totalmente desmineralizada, pero, además se agrega un último filtro pulidor para asegurar que el agua salga con las propiedades ya mencionadas.

Para regenerar las resinas que contienen los lechos mixtos, se dispone de una línea de soda caustica al 4,5-5,5% para regenerar los filtros aniónicos; así mismo, se dispone de ácido sulfúrico al 3,5-4,5% para regenerar la resina catiónica dispuesta en los filtros.

De la planta de agua desmineralizada, el agua se va a un estanque de 2000 m³, para ser ocupada en la caldera para el proceso de generación de vapor. El agua suministrada a la caldera se realiza mediante el sistema de agua alimentación, cuyo propósito es proveer el agua desde el estanque agua alimentación de 230 m³, al sistema de calentamiento de agua de alimentación de alta presión (HP) y luego al generador de vapor. Cada calentador de alta presión agrega calor al agua hasta entregarla a la salida del calentador HP8 con 292° C y 190 Bar.

El sistema de agua alimentación también suministra agua para la atemperación del vapor sobrecalentado, vapor recalentado, By-Pass alta presión y hacia el sello turbina. Está equipado con un sets de bombas principales que durante el normal funcionamiento de la unidad, se tendrán en servicio 2 bombas quedando la tercera de respaldo, pudiendo el operador cambiarlas a voluntad. Cada sets de bombas, está compuesto por una bomba de compresión, motor eléctrico de media tensión, 11 kV/ 5.965 kW, de velocidad constante, un acoplamiento de velocidad variable y una bomba de agua de alimentación principal. El agua alimentación es alimentada separadamente desde el estanque a cada sets de bombas y luego enviada a la caldera a través de los calentadores de alta presión HP y el economizador de caldera, donde el agua alimentación aumenta casi a condiciones de saturación.

1.3.5 PROCESOS AUXILIARES

1.3.5.1 SISTEMA MANEJO CENIZA (FLY ASH)

La ceniza extraída por el sistema Fly Ash desde la tolvas del economizador, precalentadores de aire regenerativo “LJ” y del precipitador electrostático, es transportada y depositada en un silo de cenizas, con capacidad de 1500 m³ (silo Fly Ash), de donde puede ser extraída en dos modalidades, ya sea como ceniza seca o bien como cenizas húmedas, con un pequeño porcentaje de humedad. En la figura 1.11 se presenta un diagrama del sistema de manejo de ceniza.

En el caso de ceniza seca, el sistema está configurado para trabajar con una descarga telescópica controlada por el operador, éste podrá bajarla hasta una posición que permita una descarga segura, una vez que la boca de la descarga toque el camión y descanse sobre éste, se podrá comenzar el vaciado de ceniza seca.

En tanto para el caso de descarga de ceniza húmeda, ésta ingresa al mezclador que realiza la mezcla con agua, a su vez, el alimentador rotatorio controla la velocidad de la descarga que ingresará al camión una vez que esté posicionado. Al final de la descarga, las cenizas acondicionadas caen a la tolva de los camiones, que luego serán llevadas a los vertederos autorizados.

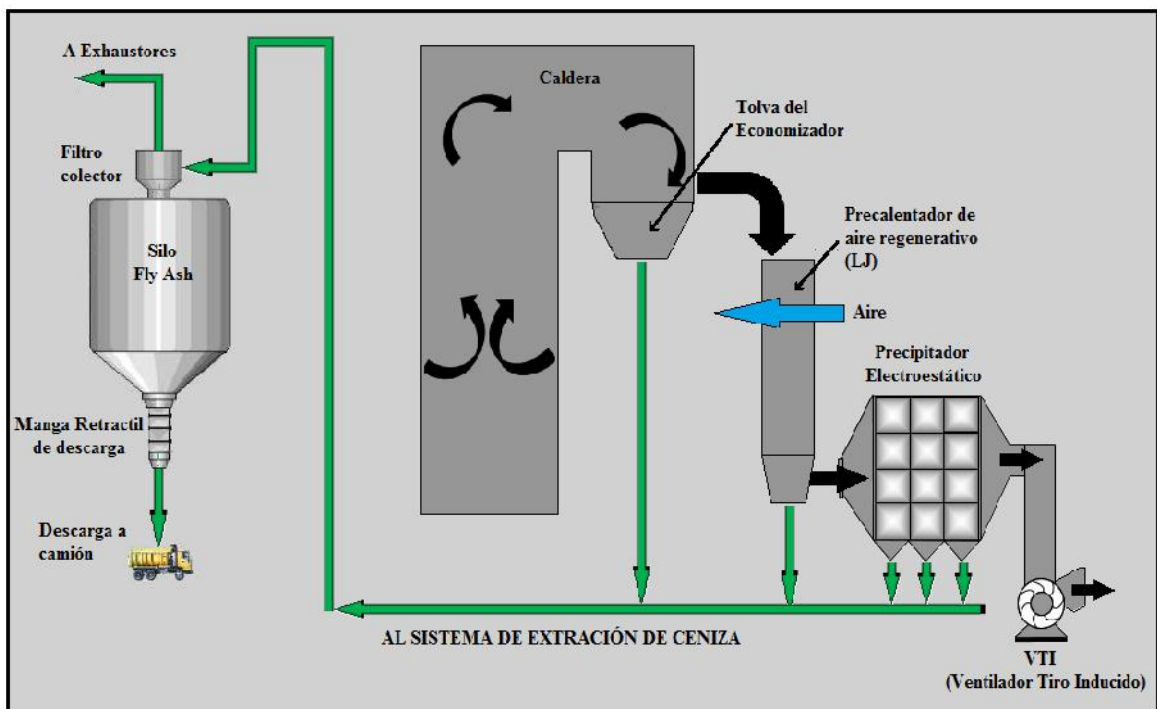


Figura 1.11: Sistema de extracción de ceniza

1.3.5.2 SISTEMA MANEJO DE ESCORIA (BOTTON ASH)

La escoria que se genera al interior de la caldera, producto de la combustión del carbón, se adhiere a las paredes de ésta y son retiradas por el sistema de soplado de la caldera, el cual hace que la escoria acumulada caiga a la tolva de fondo de la caldera. Dicha escoria es extraída por un sistema de extracción y transporte de escorias en seco, también llamado M.A.C. (MAGALDI ASH COOLER). Este sistema evita los problemas generados por el agua presente en la extracción húmeda, mejorando el funcionamiento y rendimiento de la caldera. El MAC es un sistema diseñado para la extracción seca de escoria, enfriándola y transportándola usando una pequeña cantidad de agua en un entorno seco. El elemento principal del MAC es la cinta de escorias “Superbelt”, que es una cinta transportadora de acero que recibe y transporta la escoria que cae de la caldera. En la figura 1.12 se presenta un diagrama del sistema de extracción de escoria.

La escoria luego de ser arrastrada por la cinta principal, es pasada por un triturador antes de llevarla al silo botom Ash, es aquí donde se almacena para luego ser descargada mediante el mezclador, que homogeniza la escoria humedeciéndola, antes de descargarla al camión de

transporte quién la llevará al sistema de tratamiento de escoria y ceniza fuera de la dependencias de la central.

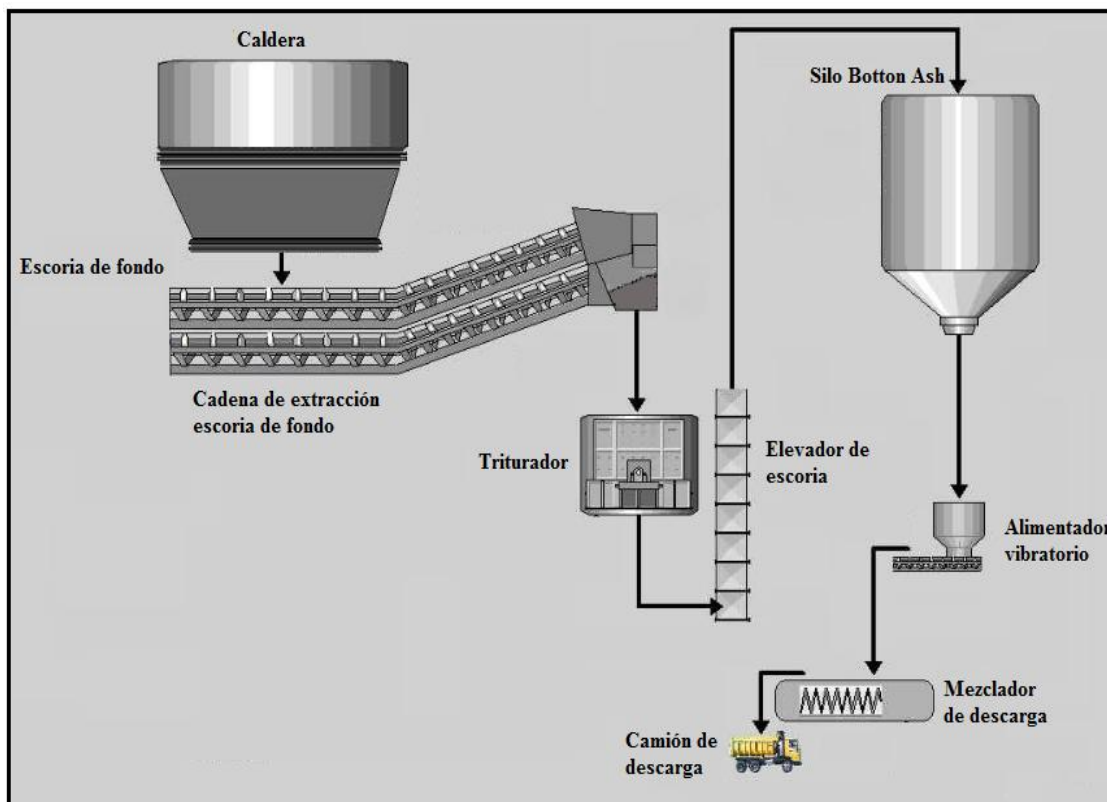


Figura 1.12: Sistema de extracción de escoria

1.3.6 TURBINA DE VAPOR

Las turbinas de vapor son máquinas de flujo permanente, en las cuales el vapor entra por toberas y efectúa el trabajo de una máquina. La forma en que se produce el trabajo en una turbina de vapor es: primero, el fluido de vapor se expande en una tobera, durante la cual se genera energía cinética; a continuación el chorro de alta velocidad pasa por las paletas o álabes de la turbina, que se encuentran diseñadas para cambiar la cantidad de movimiento del flujo de vapor. Dicho cambio produce una fuerza impulsora.

La turbina de vapor de la central Santa María I, según se presenta en la figura 1.13, es de fabricación Americana, diseño de General Electric con una sección de turbina combinada de alta presión y presión intermedia (HP/IP) y un doble cuerpo de baja presión (LP). Una vez que el vapor entrega una primera parte de su energía en la etapa de alta presión, recicla vapor, es decir,

ingresa nuevamente a la caldera, donde, tras un cierto recalentamiento vuelve a utilizarse en las etapas de media y baja presión.

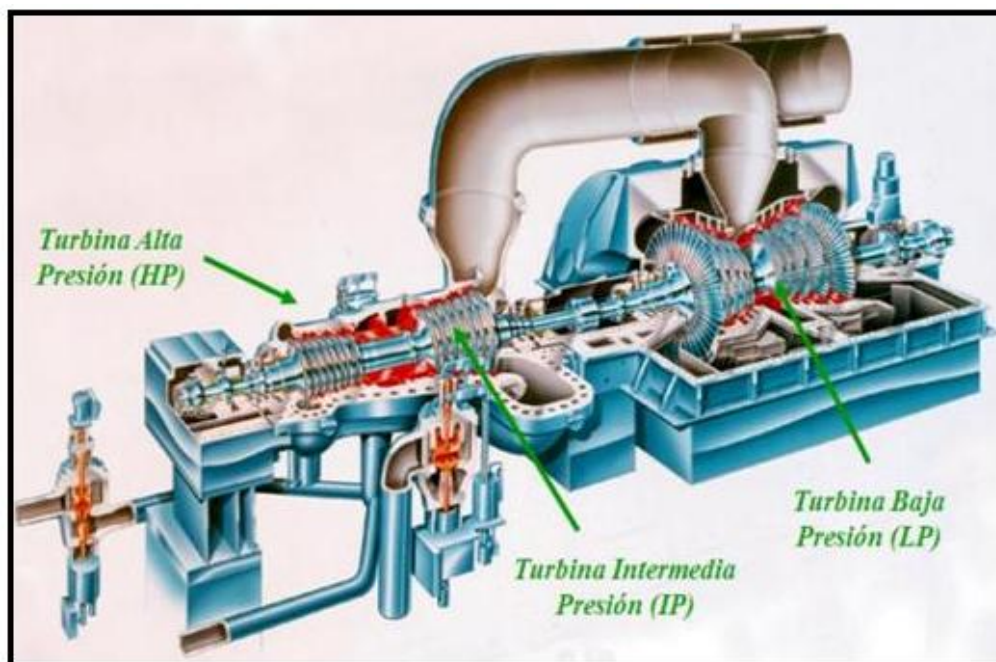


Figura 1.13: Etapas de turbina a vapor General Electric

El conjunto turbina-generador entrega una potencia nominal de 372 MW, a una velocidad de 3000 rpm.

Para el conocimiento del funcionamiento de una turbina de vapor, es necesario citar algunos conceptos y partes de gran importancia que contribuyen en conjunto al proceso de generación:

- **Calor específico del agua:** Es la cantidad de calor que es necesario suministrar a un kilogramo de agua, para elevar su temperatura en un grado centígrado.
- **Vaporización:** Es el paso del agua del estado líquido a vapor.
- **Condensación:** Es el fenómeno inverso a la vaporización.
- **Vapor húmedo:** Es aquel vapor que contiene una parte de gas y otra de líquido.
- **Vapor saturado:** Es aquel que se produce en directa relación con la presión y no contiene partículas de agua.
- **Vapor sobrecalentado:** Si se continúa calentando el vapor saturado a presión constante, su temperatura aumenta. En este caso, el vapor se denomina vapor sobrecalentado.

- **Volumen específico:** Es el volumen que ocupa una unidad de masa de un fluido, ya sea un kilogramo de agua, o bien un kilogramo de vapor.
 - Para el agua: El volumen sólo depende de la temperatura.
 - Para el vapor: El volumen depende de la temperatura y la presión.

1.3.6.1 ÓRGANOS DE REGULACIÓN Y CONTROL

Válvula de cierre rápido: El vapor que sale del sobrecalentador de la caldera, atraviesa dos órganos de admisión montados en paralelo, estas operan en dos posiciones, abierto o cerrado, y son llamadas válvulas de toma (MSV1 y MSV2) para el vapor sobrecalentado de entrada a la turbina de alta HP y válvulas de retención (RV1 y RV2) para el vapor recalentado RH de entrada en la turbina de media presión IP.

Válvulas de regulación: Se ha visto que las válvulas de cierre rápido, cumplen una función de seguridad con su funcionamiento ON-OFF, es necesario entonces, interponer en el trayecto del vapor, un órgano de regulación a fin de proporcionar el flujo de vapor a la potencia que se quiere obtener. Estas válvulas están dispuestas en dos cuerpos paralelos con dos válvulas en cada cuerpo llamadas (CV 1,2,3 y 4) para el vapor sobrecalentado de entrada a la turbina de alta HP, e (IV 1 y 2) para el vapor recalentado RH de entrada a la turbina de media presión IP. Cada una accionada por una unidad de aceite hidráulico que permite regular el flujo de vapor hacia la turbina.

Condensador: Al término del trabajo producido por el vapor en la turbina, a través de todas sus etapas, éste es condensado en un condensador de superficie de tipo flujo radial, con paso de agua de mar por el interior de tubos de Titanio para producir el enfriamiento del vapor.

Las características son: 11.424 tubos de titanio de 1 pulgada de diámetro y de longitud de 11,989 metros, con un hotwell de 120,6 m³.

Extracciones de la turbina: Para precalentar el agua a la alimentación en los diversos equipos de la planta de precalentamiento (HP y LP), se aprovecha el vapor extraído de las diferentes etapas de la turbina. Es así como se obtienen 9 extracciones de la turbina de alta, media y baja presión. En tal sentido, en la figura 1.14 se presenta un diagrama que representa cada una de las extracciones de la turbina.

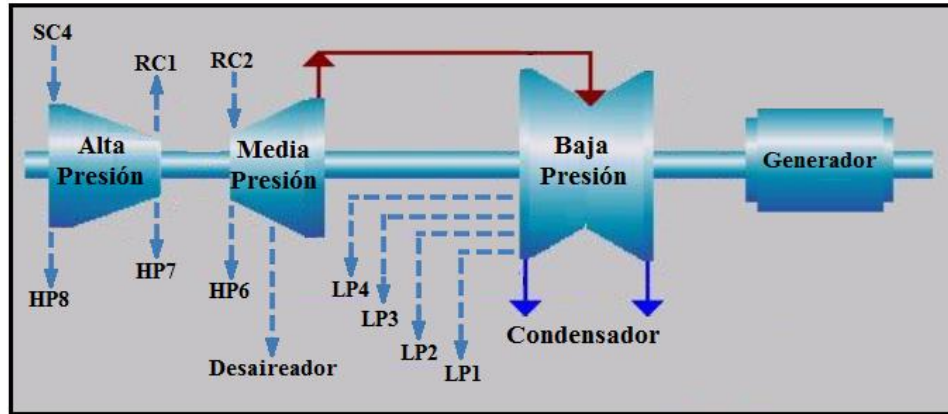


Figura 1.14: Extracciones de la turbina

- **1ª Extracción:** Se obtiene desde la turbina de alta presión y se envía al precalentador HP8.
- **2ª Extracción:** Se obtiene desde la turbina de alta presión y se envía al precalentador HP7.
- **3ª Extracción:** Se obtiene desde la turbina de media presión y se envía al precalentador HP6.
- **4ª Extracción:** Se obtiene desde la turbina de media presión y se envía al precalentador desaireador.
- **5ª Extracción:** Se obtiene desde la turbina de baja presión y se envía al precalentador LP4.
- **6ª Extracción:** Se obtiene desde la turbina de baja presión y se envía al precalentador LP3.
- **7ª Extracción:** Se obtiene desde la turbina de baja presión y se envía al precalentador LP2.
- **8ª Extracción:** Se obtiene desde la turbina de baja presión y se envía al precalentador LP1.

1.3.7 MODOS DE OPERACIÓN DE LA PLANTA

Dependiendo de la configuración de la planta, el criterio y los procedimientos lógicos en el sistema de control pueden diferir. Por tanto, la definición posible de las configuraciones de la planta es útil para estructurar el sistema de monitoreo y control. En tal sentido, las configuraciones serán clasificadas de acuerdo a las siguientes definiciones:

Estándar: Una configuración caracterizada por parámetros de operación estables, puede ser sostenida indefinidamente. Estos parámetros pueden ser variados dentro de un rango aceptable (temperatura de vapor / presión / rango de flujo, poder activo) para cumplir con los requerimientos de la producción eléctrica. Las configuraciones estándar son aquellas que van desde la carga técnica mínima a la carga tope, con los parámetros del ciclo en cumplimiento con las curvas de referencia definidas por el fabricante. El combustible es sólo carbón.

Temporal: Una configuración caracterizada por parámetros de operación estables, que pueden ser sostenidos por una cierta cantidad de tiempo, debido a algunas limitaciones, tales como, baja frecuencia, costos de producción altos y que podrían ser una transición a estados normales.

1.3.7.1 MODO 1 “CARGA BASE”

La configuración de la planta en operación carga base se caracteriza por:

1. Con respecto a la conexión con las transmisión de la red de suministro eléctrico regional:

- Línea de transmisión a la subestación Charrúa, en servicio.
- Las barras de conexión que alimentan los sistemas auxiliares de la central Santa María I deben estar energizadas y con el acoplador de conexión cerrado en el caso de las barras de 11 kV.
- Línea auxiliar de 66 kV, disponible ante falla de la subestación encapsulada GIS o línea de transmisión que une central Santa María con subestación Charrúa.

Para tener una visión más detallada de la configuración del sistema eléctrico de la planta Santa María I, ver plano adjunto en Anexo “A” al final de este documento.

2. Con respecto a la planta y su capacidad de producción:

- El generador opera en carga base, estando sobreexcitado o subexcitado, dependiendo del tipo de control seleccionado desde la sala de control.
- La caldera opera generando vapor sobrecalentado en 541° C, 171.4 bar y vapor recalentado en 541° C y 40.3 bar.
- El combustible es sólo carbón.
- La turbina recibe el vapor producido por la caldera en las siguientes condiciones: Rango de flujo del vapor principal de 1141.3 t/h HP en 166.7 bar y 538° C; rango de flujo de vapor recalentado de 940.9 t/h a 39.2 bar y 538° C, permite al generador producir carga

nominal, y el condensador condensa el vapor en el agua para ser reutilizado en el ciclo térmico.

- El ciclo térmico está en operación. Las válvulas By-Pass están cerradas y disponibles para operar si es necesario.
- El sistema de agua desmineralizada, el sistema de agua circulante y el sistema de agua de enfriamiento cerrado estarán en línea para permitir al ciclo de vapor estar en operación.
- La caldera opera con por lo menos dos molinos de operación, de acuerdo a las curvas de rendimiento del fabricante, tanto en modo de presión de deslizamiento o con presión de vapor fija.
- La turbina elabora todo el vapor producido por la caldera.
- El voltaje de excitación del generador es controlado para mantener la potencia reactiva requerida.

En estas condiciones, la planta está diseñada para operar por 30 años con disponibilidad promedio de 95%.

1.3.7.2 MODO 2 “CARGA MÍNIMO TÉCNICO”

Es la mínima capacidad de generación que garantiza una operación estable y continua, puede ser considerada como una carga térmica mínima (alrededor de 60% de carga nominal), este régimen de trabajo es solicitado por el CDEC cuando el precio del MWh deja de ser rentable para la empresa. No más de 100 horas por año están previstas para esta condición que es considerada una configuración temporal. El combustible es carbón, usualmente con petróleo diesel para apoyar la combustión.

La unidad está conectada al suministro de energía y la regulación de la planta es común para esta condición:

- La turbina es regulada por el controlador maestro de la planta DCS (Sistema de Control Distribuido) y a través de su TCS (Sistema de Control de Turbina), para proveer la potencia activa al nivel requerido.
- El voltaje de excitación del generador es controlado para mantener la potencia reactiva requerida.

1.4 DIAGRAMA GENERAL DE PROCESO

En base a lo descrito en los subcapítulos anteriores, en la figura 1.15, se presenta un diagrama general del proceso de generación de la central Santa María I, incluyendo cada uno de los subprocesos mencionados anteriormente.

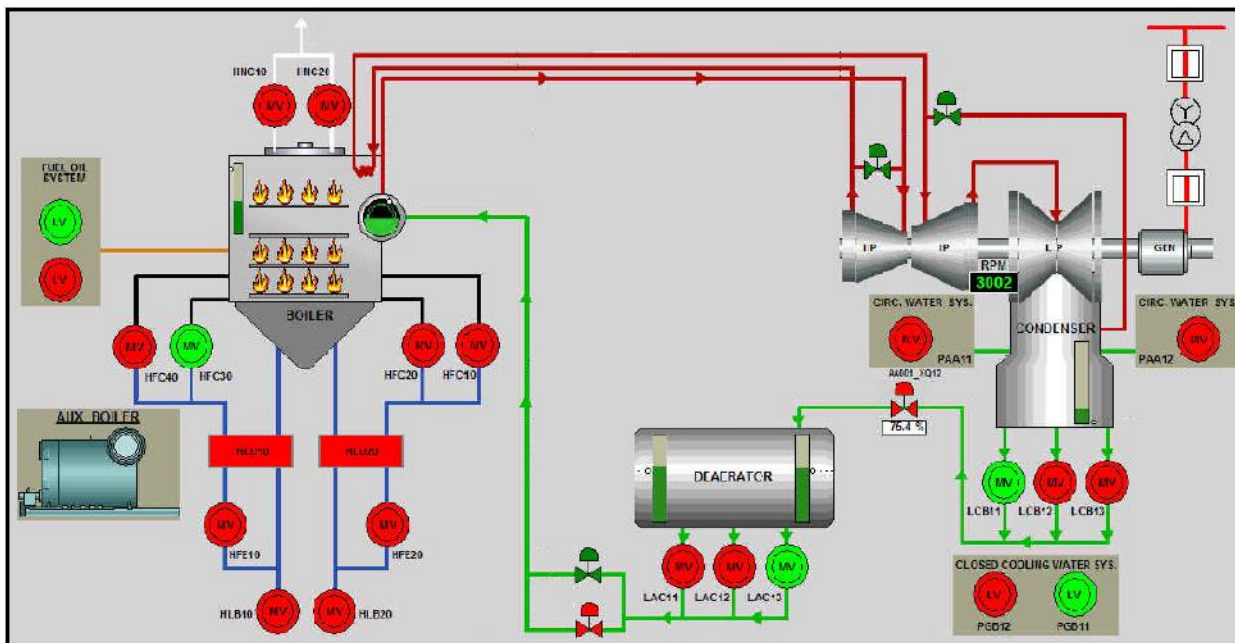


Figura 1.15: Diagrama de proceso general central térmica Santa María I

CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO

2.1 ASPECTOS GENERALES

Desde el punto de vista de la estructuración del sistema eléctrico de la central térmica Santa María I, ésta se encuentra conectada al SIC por medio de una línea de transmisión de 220 kV de doble circuito que conecta con la subestación GIS (subestación encapsulada con gas SF6) la cual se encuentra ubicada al interior de las instalaciones del complejo térmico Santa María en la comuna de Coronel, la conexión de la línea de transmisión y la subestación GIS se realiza por medio del patio de alta tensión, donde es posible encontrar los pararrayos de la línea de transmisión.

La subestación GIS permite una instalación con un elevado grado de seguridad para el personal encargado de la operación, además, de un menor espacio de construcción dado su diseño modular y compacto, el cual se traduce en un mejor impacto visual. La subestación GIS es de libre mantenimiento por un periodo mínimo de 20 años, sin afectar su confiabilidad y vida útil.

Con referencia al diagrama unilineal simplificado del complejo térmico Santa María del Anexo “B”, es posible apreciar la configuración la subestación GIS la cual consta de 5 celdas con sus respectivos elementos de maniobras. Estas 5 celdas cumplen las siguientes funciones, una de ellas destinada al transformador principal de Santa María I y la otra a la futura construcción de una segunda unidad de generación, dos celdas de salida (ambas en servicio) destinadas a cada circuito de la línea de transmisión, por último una celda de acoplamiento de barras de la subestación GIS, la cual permite realizar transferencias de potencia ya sea por requerimiento operacional o posibles fallas en uno de los circuitos de la línea de transmisión.

Las celdas de entrada y salida están compuestas por tres desconectores de puesta a tierra (89J-T), un desconector de línea (89J) y dos desconectores de barras (89J) cuya función principal es aislar y aterrizar cada celda para intervenciones programadas, tanto en la línea de transmisión, como en los transformadores principales de cada unidad generadora, teniendo presente que deben encontrarse abierto y aislado los interruptores de la subestación Charrúa para las celdas de salida y los interruptores principales de las unidades generadoras para las celdas de entrada. También es posible realizar maniobras de transferencia de energía mediante la utilización de los desconectores de barra previa sincronización de las barras de la subestación GIS.

Más abajo se encuentra ubicado el interruptor principal (52J) quien es el encargado de proteger la línea de transmisión y la subestación GIS ante una falla en la línea de transmisión. Siguiendo la línea al interior de cada celda se encuentran instalados transformadores de corriente y transformadores de potencial destinados a protección y medida.

La celda de acoplamiento está compuesta por dos desconectores de puesta a tierra (89JR-T), dos desconectores de barra (89JR), cuya función principal es aislar y aterrizar la celda del acoplador para intervenciones programadas en el interruptor principal de acoplamiento, teniendo presente para esta maniobra se deben mantener abiertos los desconectores de barra.

Debido a la distancia de 60 m y las condiciones de espacio de la central, la subestación GIS se encuentra conectada con el transformador principal, mediante un cable subterráneo de 245 kV y 2500 mm² por cada fase, de aislación XLPE de alta tensión de fabricación italiana.

El transformador principal denominado Step-Up es un transformador de dos devanados de fabricación HYUNDAI de una potencia máxima 490 MVA, el cual está encargado de elevar la tensión de 18 kV generada por el generador principal a 220 kV, para ser distribuido al SIC. En tal sentido, el generador principal fabricado para generar una potencia nominal de 468 MVA a 18 kV con un factor de potencia de 0,85 y se encuentra acoplado mecánicamente al eje de la turbina de la central termoeléctrica Santa María I.

Entre el transformador y el generador principal, se encuentra ubicado el interruptor del generador (52G) cuya función es proteger el generador ante cualquier falla existente en el sistema eléctrico o el sistema de protección mecánica de la turbo generador, este interruptor de fabricación ABB es del tipo aislado gas SF₆ lo que permite operar a altos niveles de cortocircuito y en un espacio reducido. Posee dos desconectores de puesta a tierra y un desconector de línea, pararrayos, así como también transformadores de potencial y corriente destinados a protección del sistema eléctrico.

Con respecto a la distribución de media tensión, se hace relevante mencionar que la central posee dos niveles de tensión 11 kV y 6,6 kV. La barra de 11 kV se encuentra alimentada desde tres fuentes de alimentación. La primera y la principal viene desde la salida del generador hacia un transformador de 60/72 MVA (UNITS-10BBT01) que reduce la tensión de 18 kV a 11 kV, para de esta manera auto abastecerse cuando la central se encuentra generando y en servicio. La

segunda por esta misma línea, pero ahora alimentada desde 220 kV, vía el transformador STEP-UP, se utiliza cuando la central se encuentra fuera o en proceso de puesta en servicio.

La tercera vía de alimentación, es a través del transformador de respaldo SHUT DOWN TRANSFORMER (10BDT01) de 25 MVA que se encuentra alimentado desde la barra de 66 kV de Transnet, que entra en uso cuando no se disponga de alimentación de las dos líneas anteriores (18 kV y 220 kV), queda alimentado los servicios de 11 kV y en su defecto 6,6 kV que es donde están tomados todos los servicios y equipos de baja tensión de la central.

Para tener una visión más detallada de la configuración del sistema eléctrico de la planta Santa María I, en Anexo “A” se adjunta un plano detallado.

2.2 DESCRIPCIÓN DE LA RED ELÉCTRICA EN 220 kV

En relación con el diagrama unilínea general del Anexo “B”, en la figura 2.1 se presenta el detalle de la conexión en 220 kV al SIC.

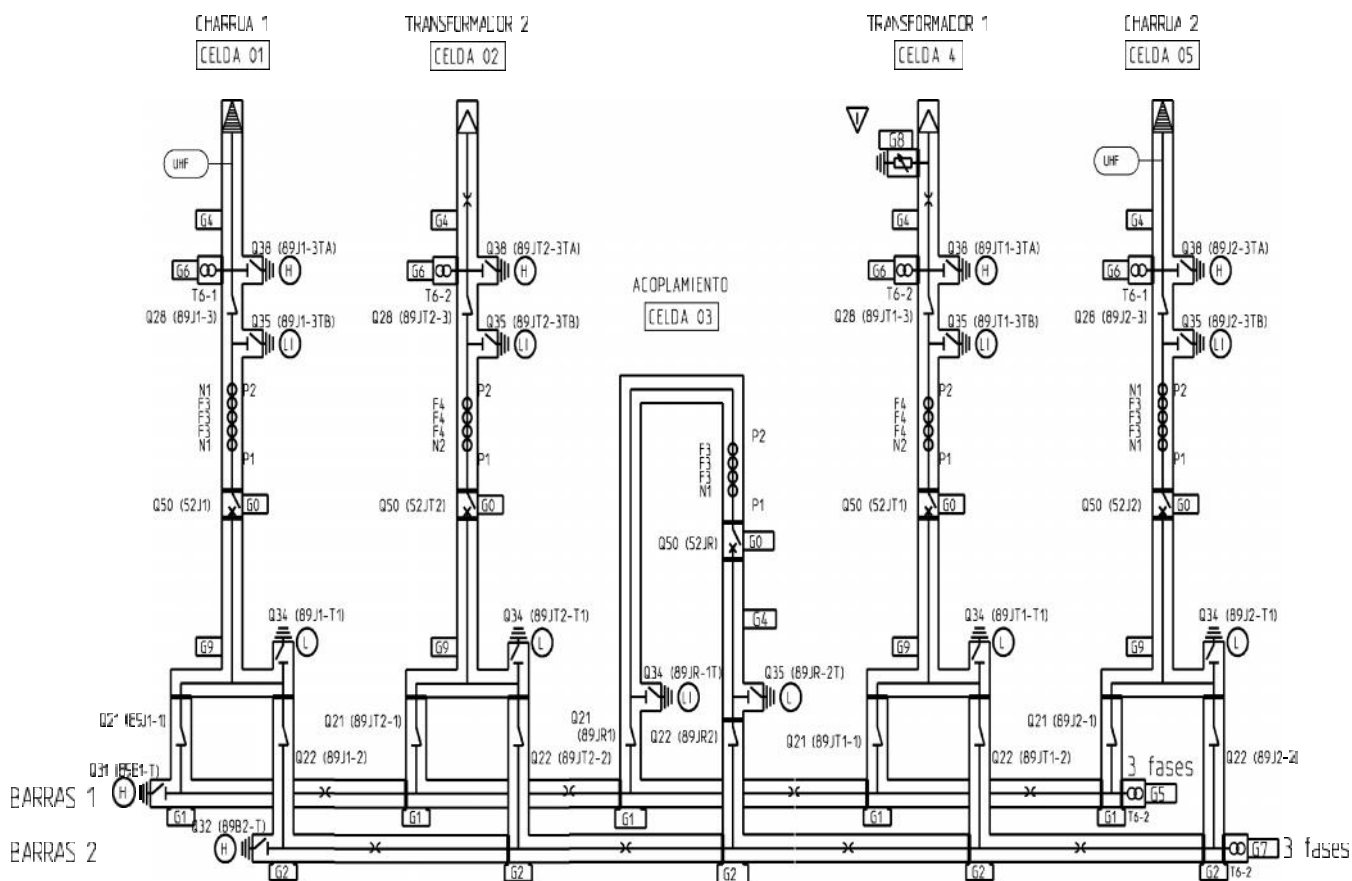


Figura 2.1: Diagrama esquemático de la SS/EE GIS en 220 kV

A continuación se realiza una descripción del patio de salida y la SS/EE GIS en 220 kV con su respectiva descripción detallada de sus componentes.

2.2.1 PATIO DE SALIDA 220 kV

El patio de salida es el lugar donde se conecta la subestación GIS con las líneas de alta tensión de 220 kV de doble circuito y recorren el trayecto desde la central Santa María I hasta la subestación Charrúa. Las partes constitutivas del patio de salida de 220 kV se muestran en la figura 2.2 y se describen a continuación de la figura.

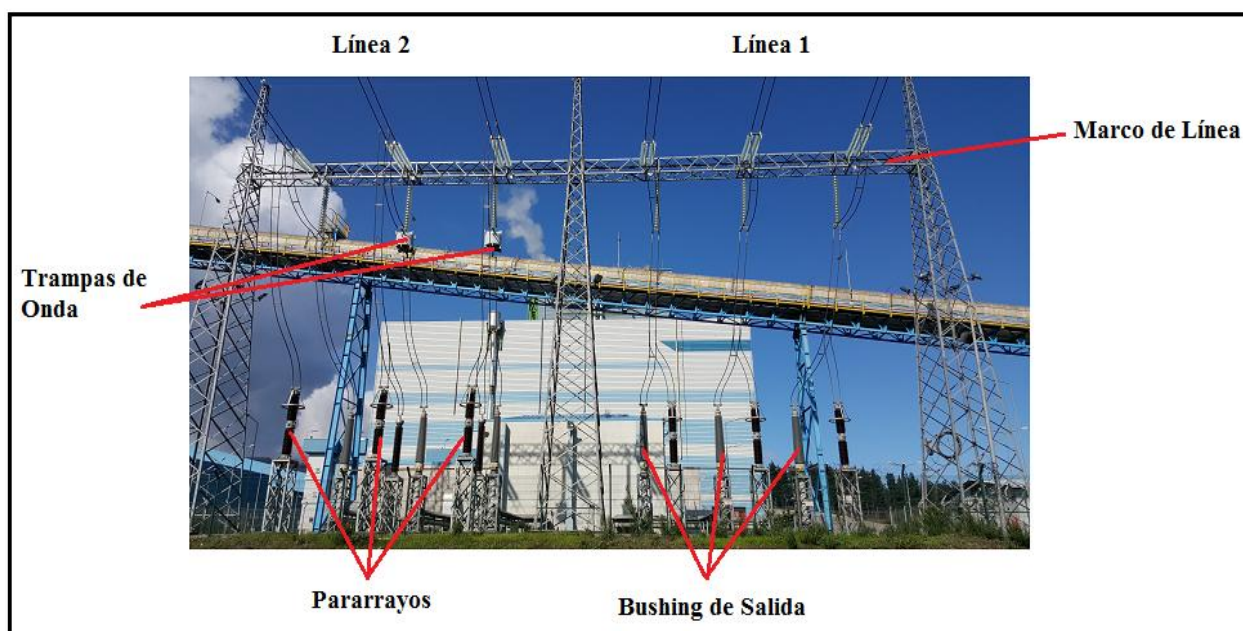


Figura 2.2: Elementos del patio de salida 220 kV

2.2.1.1 BUSHING DE SALIDA

Los bushing de salida son los encargados de hacer el empalme de conexión entre las celdas de la subestación GIS y las líneas de alta tensión. Asimismo, son el pasaje de aislamiento en gas SF6 a Aire. En el patio de salida de la central Santa María I se encuentran un total de 6 bushing los cuales conectan la línea de alta tensión que está en funcionamiento (línea 1) y la línea de alta tensión que se encuentra disponible (línea 2) para una futura ampliación de la central.

2.2.1.2 PARARRAYOS

Los pararrayos son los encargados de proteger la instalación frente a posibles sobretensiones de tipo atmosférico y con ello se daña la aislación de la instalación, al igual que los bushing de

salida la cantidad es de 6 pararrayos los cuales están conectados a la línea de alta tensión que está en funcionamiento (línea 1) y la línea de alta tensión que se encuentra disponible (línea 2) para una futura ampliación de la central.

2.2.1.3 MARCO DE LÍNEA

El marco de línea soporta la línea de alta tensión que se encuentra en funcionamiento (línea 1) y la línea de alta tensión que se encuentra disponible (línea 2). El material del marco de línea es del tipo acero galvanizado y se encuentran montadas en fundaciones de hormigón.

2.2.1.4 TRAMPAS DE ONDA

Las trampas de ondas son las encargadas de filtrar la frecuencia de comunicación del sistema de tele-protección entre subestaciones. Estos dispositivos están instalados en cada extremo de la línea de alta tensión que se encuentra en funcionamiento (línea 1).

2.2.2 SUBESTACIÓN GIS

La subestación GIS de central térmica Santa María I, es una subestación del tipo encapsulada y aislada en gas SF6 (hexafloruro de azufre), opera como una subestación de enlace o transferencia, que conecta líneas de transmisión e instalaciones de inyección de energía de 220 kV. Una vista de la subestación GIS se presenta en la figura 2.3.

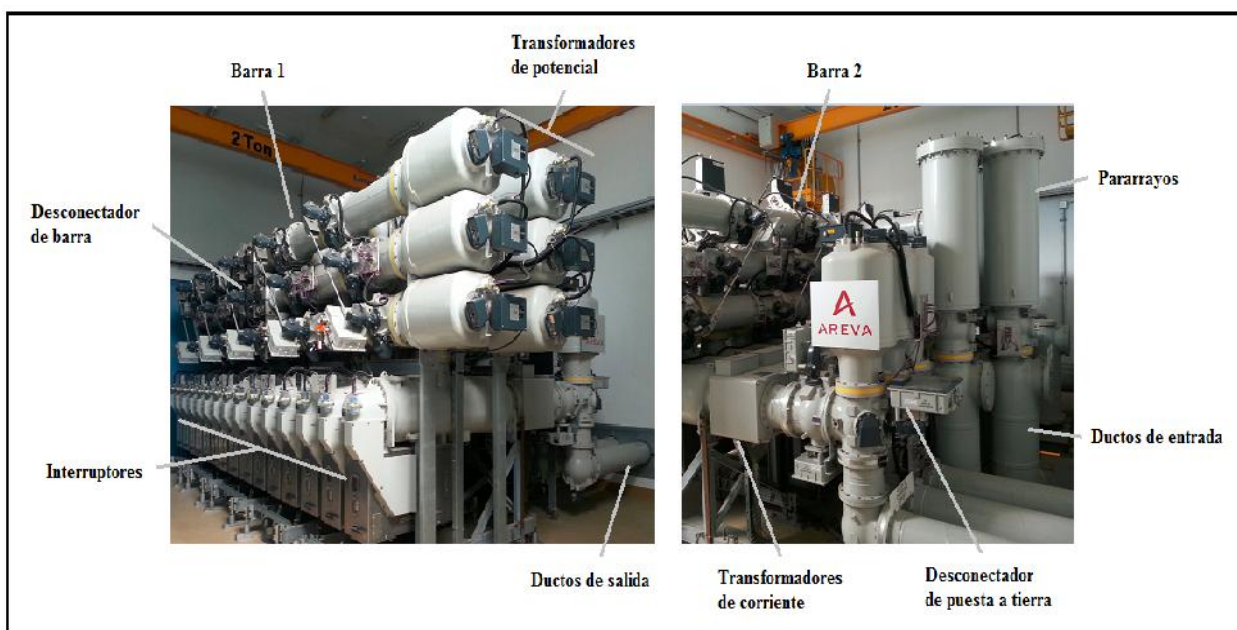


Figura 2.3: Vista de SS/EE GIS

Esta subestación está compuesta por cinco paños o bahías y fue concebida, con un esquema de barra doble, interruptor acoplador, dos paños de salida en ductos tipo GIS y dos paños de entrada en cable subterráneo desde los transformadores elevadores de la unidad 1 y 2 de central térmica Santa María I.

2.2.2.1 BARRAS

Son conductores activos situados en el interior de cubiertas metálicas. Conectan y aseguran la conexión eléctrica de dos subconjuntos (interruptores, seccionadores). Generalmente son tubos de aleación de aluminio, en cuyos extremos están soldados contactos de cobre plateados, las barras están encajadas en rótulas que, a su vez, se fijan a los conos aislantes.

En la figura 2.4 se puede apreciar una imagen de las barras de la subestación GIS.



Figura 2.4: Barras

2.2.2.2 PARARRAYOS

Los pararrayos dispuestos para la subestación GIS, presentan las siguientes características, que se resumen en Tabla 2.1

Tabla 2.1: Datos técnicos de los pararrayos.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
Equipo	Pararrayo
Marca	Areva
Serie	PSB 189F

Tabla 2.1: Datos técnicos de los pararrayos.(continuación)

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
Tensión nominal (Uc)	158 kV
Tensión de operación (Ur)	198 kV
Corriente de carga	20 kA
Presión Pre / Pae / Pme	6,3 / 5,8 / 5,5 Bar

En tal sentido, en la figura 2.5 se presenta una vista perspectiva equivalente para los pararrayos ubicados en la subestación GIS.

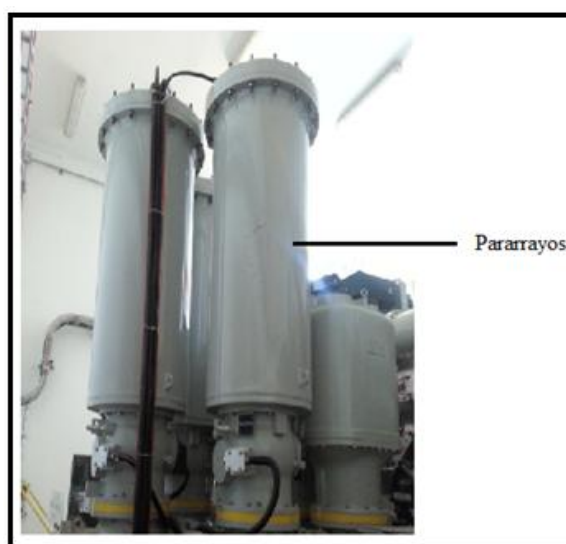


Figura 2.5: Vista de pararrayos de la subestación GIS

2.2.2.3 TRANSFORMADOR DE POTENCIAL TT/PP

Los transformadores de tensión son de tipo blindado y principio de funcionamiento inductivo, formados por elementos básicos encapsulados, parte primaria y parte secundaria. La parte primaria y secundaria se encuentran en el recinto de gas SF₆ del encapsulado, usando éste como medio aislante. Su función es transformar la tensión primaria en tensiones secundarias, de igual frecuencia y con la misma secuencia de fases, y permiten alimentar los diversos aparatos de medida y protección de circuitos de 220 kV. Están instalados transformadores de tensión, en barras y en las posiciones de línea, con las siguientes características descritas en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2: Datos técnicos de los transformadores de potencial

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
Equipo	Transformador de Potencial
Marca	Areva
Modelo	B105-VT
Razón de transferencia	1A-1N 230.000 : 3 / 115 : 3 V 2A-2N 230.000 : 3 / 120 V
Tensión máxima	245 kV
Clase de precisión	1A-1N 150 VA / CL 3P 2A-2N 75 VA / CL 0,5
Potencia máxima	500 VA
Conexión	

En tal sentido, en la figura 2.6 se presenta una vista de los transformadores de potencial ubicados en la subestación GIS.



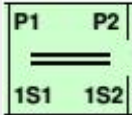
Figura 2.6: Vista de los transformadores de potencial ubicados en la subestación GIS

2.2.2.4 TRANSFORMADOR DE CORRIENTE TT/CC

Son transformadores de intensidad de tipo blindado, formados por los elementos básicos encapsulados, parte primaria y parte secundaria. La parte primaria se encuentra en el recinto de gas SF6 del encapsulado y la parte secundaria se encuentra fuera del recinto de gas. Su función es

transformar la corriente primaria en corrientes secundarias proporcionales, de igual frecuencia y con la misma secuencia de fases y trabajan según el principio inductivo, las características técnicas se resumen en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3: Datos técnicos de los transformadores de corriente

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
Equipo	Transformador de Corriente Paño Transformador
Marca	Areva
Modelo	B105-CT
Razón de transformación	1500/1 A
Tensión máxima	245 kV
Clase de precisión	N2 P1-P2 /1S1-1S2 10VA/ CL 0,2 / FS 5 F4 P1-P2 /2S1-2S2 15VA/ CL 5P20 F4 P1-P2 /3S1-3S2 15VA/ CL 5P20 F4 P1-P2 /4S1-4S2 15VA/ CL 5P20
Equipo	Transformador de Corriente Paño Acoplador de Barras
Marca	Areva
Modelo	B105-CT
Razón de transformación	3000/1 A
Tensión máxima	245 kV
Clase de precisión	N1 P1-P2 /1S1-1S2 10VA/ CL 0,2 / FS 5 F3 P1-P2 /2S1-2S2 15VA/ CL 5P20 F3 P1-P2 /3S1-3S2 15VA/ CL 5P20 F3 P1-P2 /4S1-4S2 15VA/ CL 5P20 N1 P1-P2 /1S1-1S2 10VA/ CL 0,2 / FS 5
Equipo	Transformador de Corriente Paño Líneas
Marca	Areva
Modelo	B105-CT
Razón de transformación	3000/1 A
Tensión máxima	245 kV
Clase de precisión	N1 P1-P2 /1S1-1S2 10VA/ CL 0,2 / FS 5 F3 P1-P2 /2S1-2S2 15VA/ CL 5P20 F3 P1-P2 /3S1-3S2 15VA/ CL 5P20 F3 P1-P2 /4S1-4S2 15VA/ CL 5P20
Conexión	

Montados en el lado de la línea, existen tres transformadores de intensidad que alimentan los circuitos de medida y protección, así como tres más que se disponen en el acoplamiento de las barras.

Montados en un encapsulado separado del interruptor de 220 kV de la posición del transformador, lado transformador, están instalados tres transformadores de intensidad que alimentan los circuitos de medida y protección.

En tal sentido, en la figura 2.7 se presenta una vista de los transformadores de corriente ubicados en la subestación GIS.

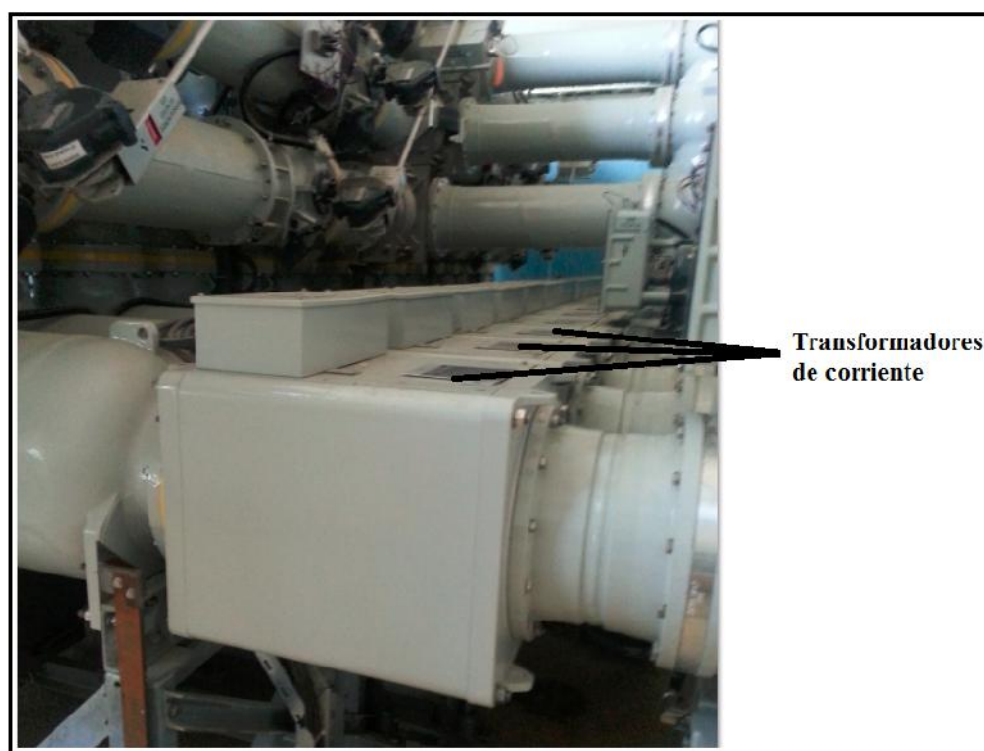


Figura 2.7: Vista de los transformadores de corriente ubicados en la subestación GIS

2.2.2.5 DESCONECTADORES

Para poder efectuar seccionamientos en la línea de alta tensión están instalados dentro de la subestación GIS seccionadores de las siguientes características:

Son de tipo tripolar, estando conectados entre sí los diferentes polos del seccionador mediante un varillaje de unión. Su accionamiento se hace por medio de un motor.

Existe un enclavamiento de seguridad que no permite maniobrar los seccionadores de aislamiento si el interruptor de su posición no está abierto.

En tal sentido, en las figuras 2.8 y 2.9 se presentan una vista de los desconectores de línea y desconectores de barra dispuestos en la subestación GIS.



Figura 2.8: Vista del desconector de línea 89J1-1

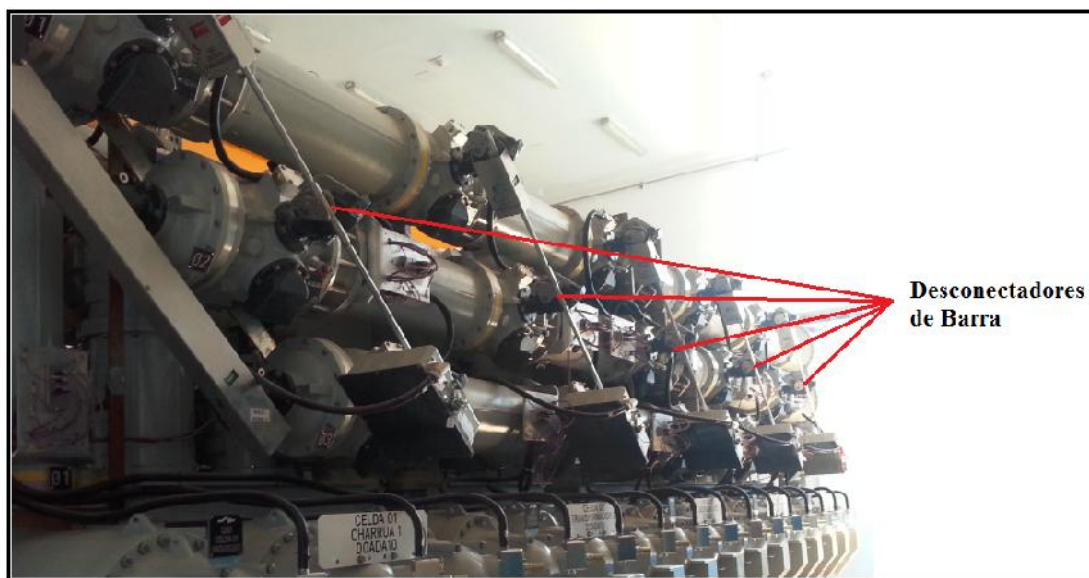


Figura 2.9: Vista del desconector de barra 89B1-T

Los desconectores de línea (89J1-1) y desconectores de barra (89B1-T) dispuestos para la línea Santa María-Charrúa (línea 1) poseen las características dispuestas en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4: Datos de desconectores línea 89J1-1 y desconectores de barra 89B1-T

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
Equipo	Desconector de Línea
Marca	Areva
Modelo	B105-DS
Tensión nominal	245 kV
Corriente nominal	3.15 kA
Tensión del Motor	125 V d.c.
Tensión de Control	230 V a.c.

2.2.2.6 DESCONECTOR DE PUESTA A TIERRA

El desconector de puesta a tierra, es un aparato de conexión mecánico para conectar a tierra y poner en cortocircuito las instalaciones eléctricas. El seccionador puede conducir, durante un tiempo determinado, corrientes bajo condiciones anormales. Se utiliza para conectar a tierra sectores parciales de la instalación para trabajos de mantenimiento y revisión, las características técnicas se resumen en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5: Datos de técnicos desconector de puesta a tierra

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
Equipo	Desconector de puesta a tierra
Marca	Areva
Serie	B105-ES
Tensión nominal	245 kV
Corriente nominal	3.15kA
Tensión del motor	125 Vd.c
Tensión de control	230 Va.c

2.2.2.7 DESCONECTOR DE PUESTA A TIERRA DE CIERRE RÁPIDO

La puesta a tierra de cables desconectados, líneas aéreas o transformadores se hace con el seccionador de puesta a tierra rápido, resistente al cierre en cortocircuito.

En el sistema de accionamiento de una disposición de desconectores de puesta a tierra tripolar, cada uno de los polos está equipado con un accionamiento propio. En tal sentido en la figura 2.10 se presenta una vista de los desconectores de puesta a tierra en la subestación GIS.

El movimiento de cierre se hace rápidamente y el movimiento de apertura lentamente, las características técnicas se resumen en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6: Datos de técnicos desconectador de puesta a tierra de cierre rápido

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
Equipo	Desconectador de puesta a tierra
Marca	Areva
Serie	B105-E
Tensión nominal	245 kV
Corriente nominal	3.15kA
Tensión del motor	125 Vd.c
Tensión de control	230 Va.c

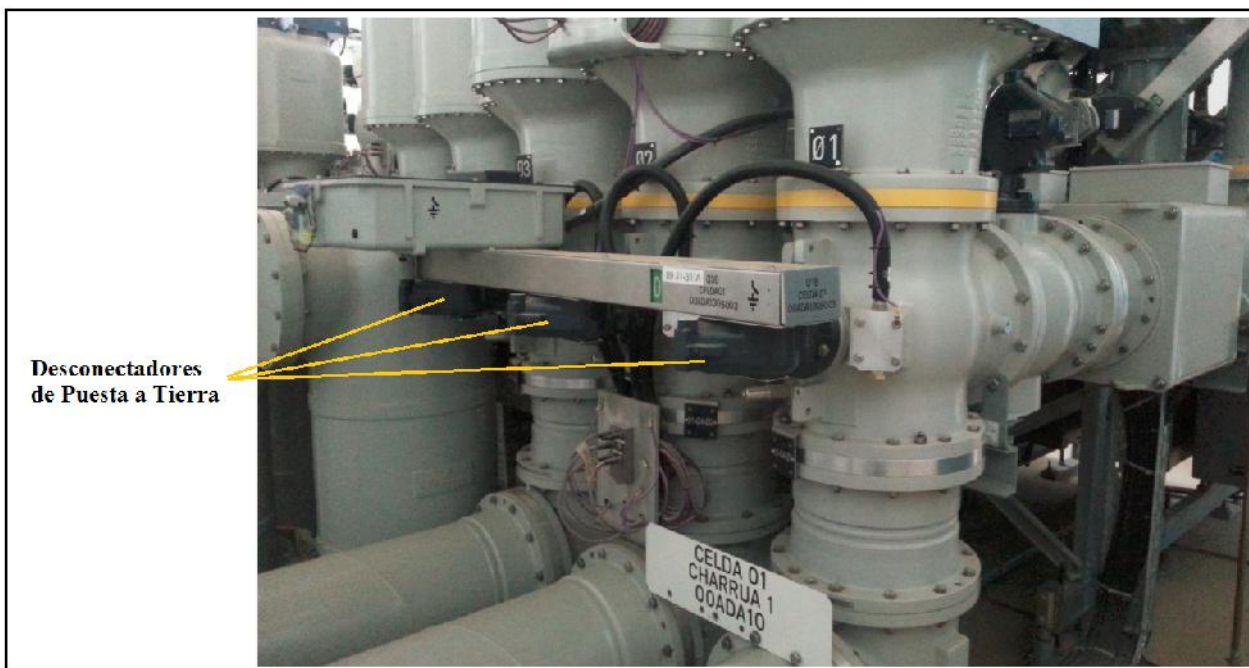


Figura 2.10: Vista de los desconectadores de puesta a tierra

2.2.2.8 INTERRUPTORES

El interruptor aislado en SF₆, consiste de tres polos monofásicos encapsulados por separado, montados en un mismo soporte, en posición horizontal. El interruptor forma la base sobre la cual los otros módulos están montados. La maniobra se realiza por medio de un mecanismo operador de presión del muelle, para auto-cierre trifásico.

El flujo de gas requerido para apagar el arco, es producido en las unidades del interruptor, por medio de un pistón amortiguador y cilindro.

En la figura 2.11 se muestra el emplazamiento de los interruptores en la subestación GIS.



Figura 2.11: Vista de interruptores

Así, para la apertura y cierre de la línea, transformador y el acoplador de barras, se encuentran en la subestación GIS un interruptor automático tripolar de SF₆ para interior del tipo blindado. En tal sentido, en la Tabla 2.7 se presentan los datos técnicos del interruptor.

Tabla 2.7: Datos de técnicos del interruptor de línea 52J, interruptor del transformador 52JT y del interruptor acoplador de barra 52JR

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
Equipo	Interruptor de Línea
Marca	Areva
Serie	B105-CB
Tensión nominal	245 kV
Corriente nominal	3.15 kA
Presión de gas SF ₆	6.3 bar
Bobina de cierre	125 Vd.c
Bobinas de disparo	125 Vd.c
Tensión del motor	125 Vd.c
Tensión de control	230 Va.c

2.3 DESCRIPCIÓN DE EQUIPAMIENTO DE TRANSFORMADOR PRINCIPAL STEP-UP

Con referencia a los equipamientos de fuerza, maniobra, medida y protección del transformador principal Step-Up, en la figura 2.12 se presenta el diagrama en detalle.

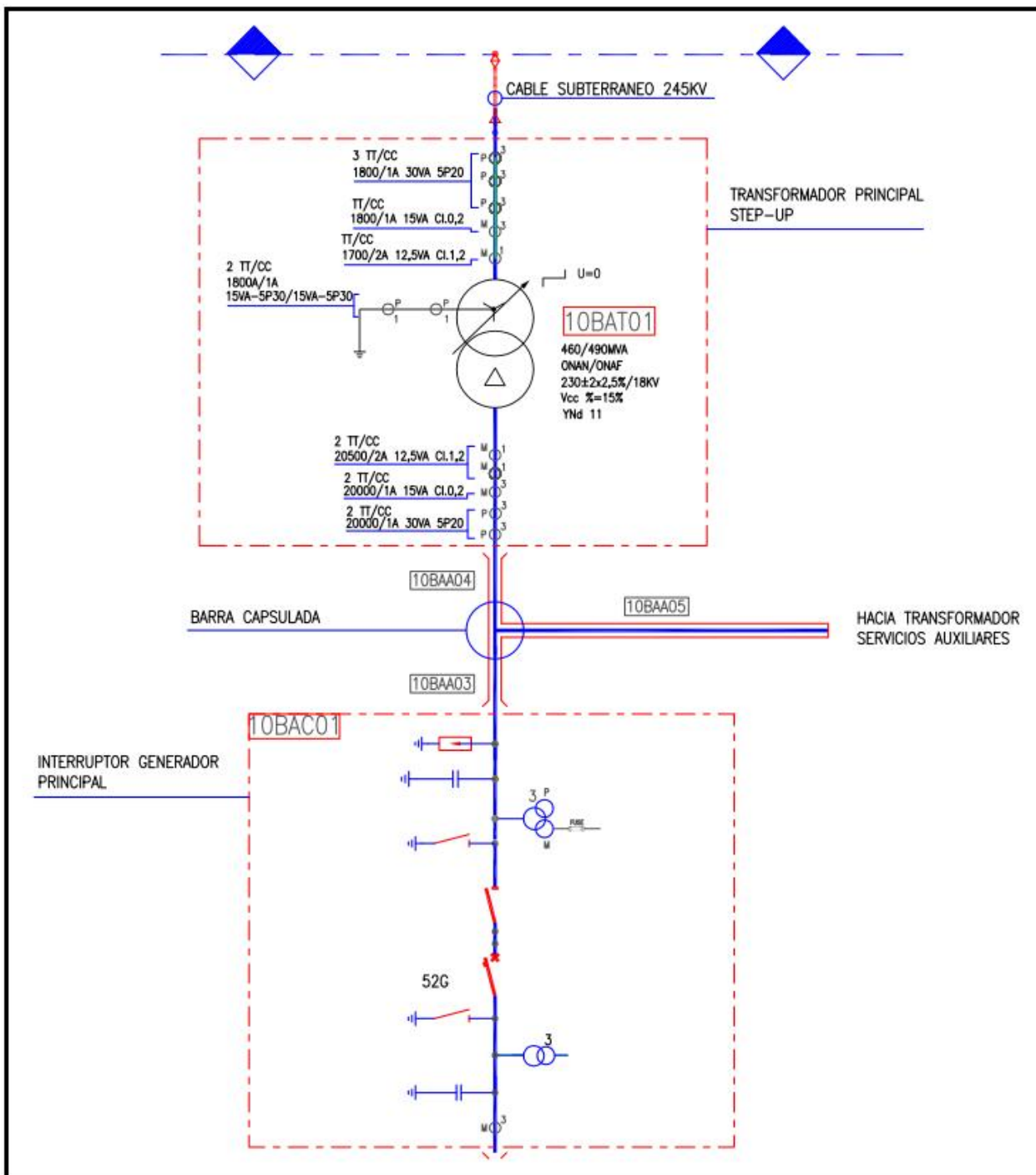


Figura 2.12: Unilineal de equipamiento del transformador principal Step-Up

Con referencia al diagrama unilineal de la figura 2.12, a continuación se presenta una breve descripción de las características de los equipos asociados.

2.3.1 CABLE SUBTERRÁNEO 220 kV

El cable subterráneo dispuesto desde el transformador principal, hasta la subestación encapsulada GIS, recorre una distancia de 50 mt aproximadamente. Este conductor es del tipo XLPE de fabricación Italiana, con una sección de 2500 mm² por cada fase, cuyas característica principales se presentan en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8: Datos técnicos del conductor subterráneo

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
EQUIPO	CABLE SUBTERRANEO
MARCA	PRYSMIAN
CONDUCTOR	COBRE
AISLACIÓN	XLPE Compound
USO	SUBTERRANEO
SECCIÓN	1 X 2500 mm ²
DIÁMETRO NOMINAL	60,0 ± 0,5 mm
T° AMBIENTE MÁXIMA	40 °C
TENSIÓN NOMINAL	220 kV
TENSIÓN MÁXIMA	245 kV
CORRIENTE NOMINAL	1378 A
I coci admisible máxima	370 kA en 1 seg
I coci a tierra máxima permitida	35 kA en 1 seg
Resistencia conductor d.c. a 20°C	0,0072 /km
Resistencia conductor a.c. a 80°C	0,0104 /km



2.3.2 TRANSFORMADOR PRINCIPAL (STEP-UP)

El transformador principal denominado Step-Up (10BAT01), es un transformador de dos devanados, de fabricación coreana, marca HYUNDAI de una potencia máxima de 490 MVA (ONAF) y cuya vista se presenta en la figura 2.13. Su función principal es de elevar la tensión de 18 kV entregada por el generador, a una tensión de 220 kV, con la cual se conecta al SIC.



Figura 2.13: Vista transformador principal Step-Up

Las principales características del transformador se describen en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9: Datos técnicos transformador principal Step-Up

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
Equipo	Transformador Step Up
KKS	10BAT01
Marca	Hyundai
Frecuencia Nominal	50 Hz
Potencias: Según Tipo de Refrigeración	
* ONAN :	460 MVA
* ONAF :	490 MVA
Tensión Nominal	
* Primario	18 kV
* Secundario	230 kV
Conexión	YNd1
Corrientes Devanado Primario	
* ONAN :	1155 A
* ONAF :	1230 A
Corrientes Devanado Secundario	
* ONAN :	14755 A
* ONAF :	15717 A

Tabla 2.9: Datos técnicos transformador principal Step-Up. (continuación)

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
Cambiador de Taps (Sin Carga) * Enrollado * Escalón Taps	Primario HV "0+-2,5% +-5%"
Z% (Ref: 85° C - 480 MVA) * Tap Central	15%
X/R	74,993

2.3.3 BARRA CAPSULADA

La unión eléctrica, entre los bornes de salida del generador principal hacia el interruptor 52G y la entrada de los transformadores principal (Step Up) y unidad, se realiza mediante barras capsuladas de tipo fases aisladas. Estos conductos están caracterizados por el empleo de conductores cilíndricos de aluminio, sostenidos por medio de aisladores, en resina o porcelana. Dentro de una carcasa de aluminio también cilíndrica. Una vista de una de las barras capsuladas se presenta en la figura 2.14.

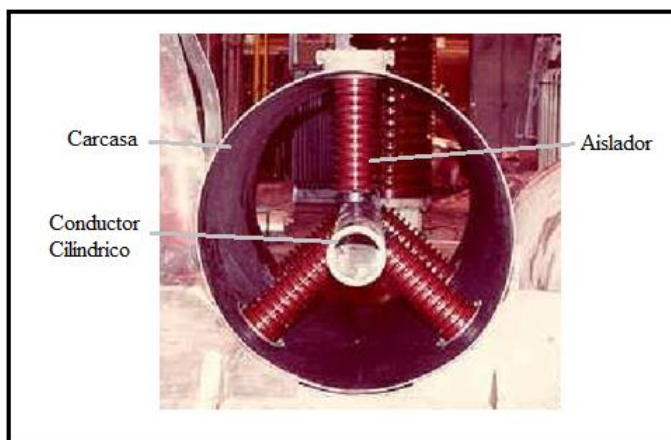


Figura 2.14: Vista barra capsulada

El medio dieléctrico entre conductor y carcasa es el aire. Los conductos son eléctricamente continuos, tanto para el conductor como para la carcasa, dado que cada uno de los troncos que forman parte del conducto, están conectados eléctricamente al elemento sucesivo sin ningún tipo de dispositivo limitador de corriente. Las fases están cortocircuitadas entre ellas en cada una de las conexiones a máquina por medio de una placa y puesta a tierra en un solo punto.

Los conductos perfectamente unidos y sellados se encuentran presurizados con aire seco suministrado por la central, el cual es inyectado al sistema de presurización de las barras. Este sistema inyecta el conducto aire seco filtrado y sin polvo, manteniendo al mismo tiempo una ligera presión positiva en el interior del conducto, de alguno mBar sobre la presión atmosférica.

Esto garantiza que no sea posible la entrada de polvo u otro agente contaminante, además de garantizar la ausencia de humedad.

Adicionalmente, consta de descargadores automáticos de agua de condensación, los que protegen contra agentes atmosféricos que pudiesen formarse en el interior de los conductos.

A continuación en la Tabla 2.10 se detallan algunas características tanto del cilindro conductor, como la cápsula de protección.

Tabla 2.10: Datos técnicos barras capsuladas

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	
CONDUCTOR	TIPO	Tubular
	MATERIAL	Aluminio 99,5%
	DIAMETRO EXTERIOR	600 mm
	ESPEJOR	10 mm
	SECCIÓN	18535 mm ²
	Inom (a 40°C)	16 kA
	Icoci trifásico	87 kA
ENCAPSULADO	TIPO	Tubular
	MATERIAL	Aluminio 99,5%
	DIAMETRO EXTERIOR	1100 mm
	ESPEJOR	5 mm
	SECCIÓN	17357 mm ²
AISLADORES INTERNOS	CANTIDAD	3
	MATERIAL	Porcelana
	ALTURA	272 mm
	DIST. MIN. ACERCAM.	220 mm
	TENSIÓN MÁX.	50 kV

2.3.4 INTERRUPTOR GENERADOR PRINCIPAL (52G)

El interruptor 52G, es un interruptor marca ABB de tipo HECS “interruptor automático generador de gas SF₆”. Además de cumplir la función conducir e interrumpir la corriente de

funcionamiento de la planta, el interruptor automático contiene en el interior de sus polos una cámara rellena con gas SF₆ a presión, el cual tiene la función de interrumpir las corrientes alternas de falla, por ejemplo corrientes de cortocircuito de cinco a diez veces más grandes que la nominal, en apenas 50 milisegundos. Una vista perspectiva del interruptor se presenta en la figura 2.15.

La extinción del arco se basa en el principio de auto soplado, es decir, que la energía necesaria para que el flujo de gas extinga el arco se obtiene del arco mismo. La energía liberada durante la generación del arco produce un gran aumento, de la presión y temperatura en la zona. El calor de convección y radiación del arco produce un rápido aumento de la presión entre el sistema de cebado y el pistón. El gas caliente sale despedido y extingue el arco en el momento en que la corriente alterna toma el valor nulo.



Figura 2.15: Vista perspectiva interruptor 52G

El interruptor 52G, posee las características principales descritas en la Tabla 2.11.

Tabla 2.11: Datos técnicos interruptor del generador 52G

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
EQUIPO	52G
MARCA	ABB
MODELO	HECS-100XL
TENSIÓN NOMINAL	24 kV
TENSIÓN DE OPERACIÓN	18 kV \pm 5%
FRECUENCIA NOMINAL	50 Hz (-5% / +3%)

Tabla 2.11: Datos técnicos interruptor del generador 52G. (continuación)

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
CORRIENTE NOMINAL	18000 A
CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO I_{cs}	100 kA
POLOS	3
MEDIO DE EXTINCIÓN DEL ARCO	SF6
TENSIÓN CIRCUITOS AUXILIARES	125 Vdc
	400 Vac
	220 Vac
PRESIÓN DE GAS SF6	620 kPa (Nominal)
	540 kPa (Mínima presión)

Los componentes principales del interruptor automático 52G, se describen en la figura 2.16.

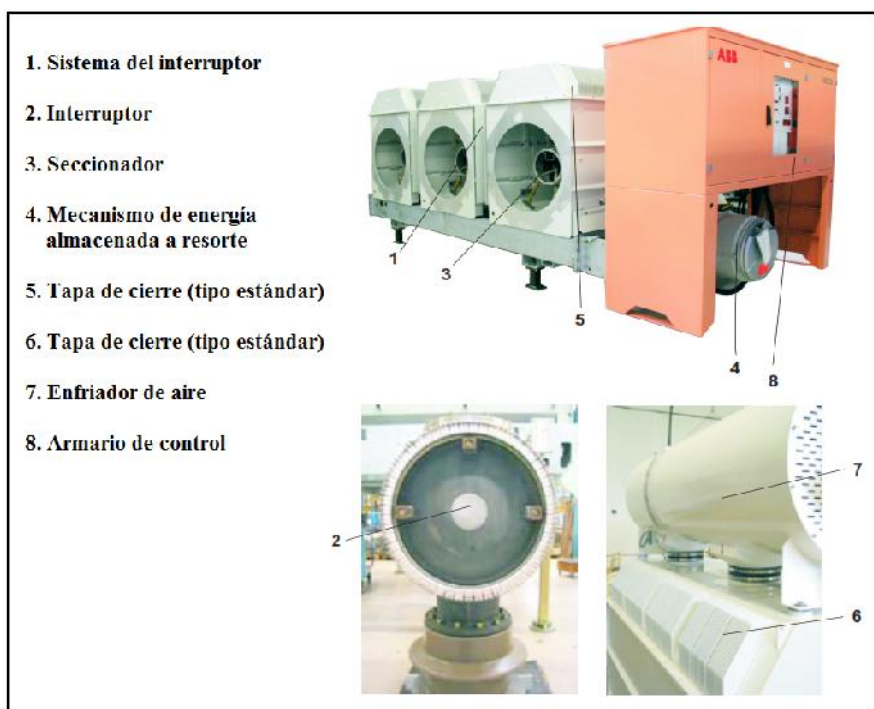


Figura 2.16: Componentes principales del Interruptor 52G

La característica principal de este interruptor es su capacidad de interrumpir una alta corriente durante el servicio normal y la alta capacidad de limitar una corriente de cortocircuito ante una falla. Normalmente el interruptor 52G es el encargado de realizar la sincronización con el SIC y de recibir el comando de apertura, desde el sistema de protección del generador UR-G60.

Es posible dar un comando manual, de abrir o cerrar, desde el panel local de control del interruptor, solo para mantenimiento o prueba, siempre y cuando se encuentre el generador detenido y el interruptor 52JT1 de la subestación GIS abierto. Una descripción de este panel se presenta en la figura 2.17.

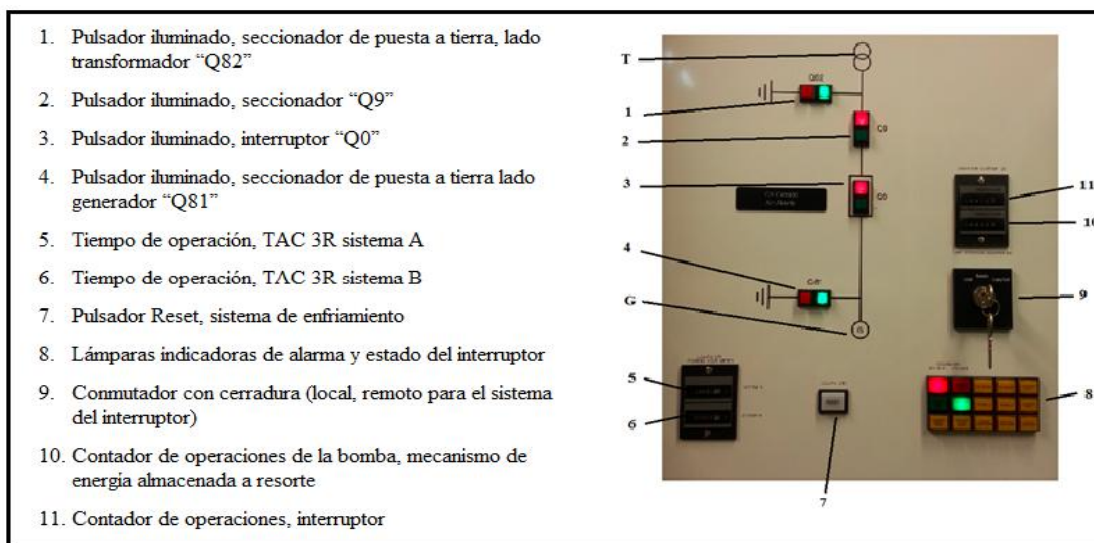


Figura 2.17: Panel de control local interruptor 52G

En la figura 2.18, se presenta un esquema multilínea interno por módulos del interruptor 52G, lo que permite visualizar sus componentes de fuerza y elementos de control.

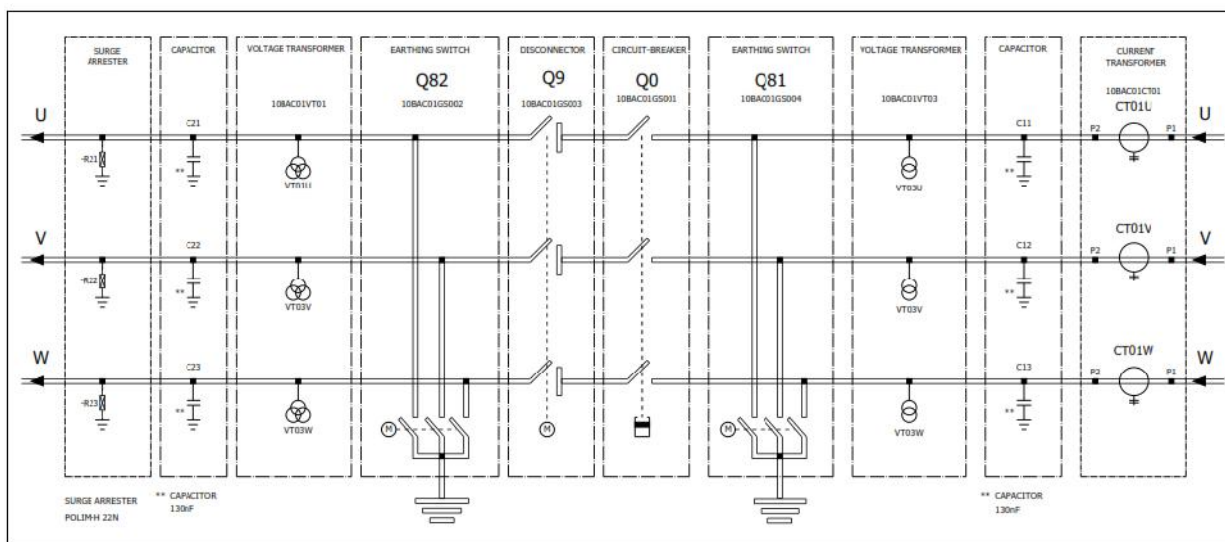


Figura 2.18: Esquema eléctrico interior interruptor 52G

Para visualizar el estado de la presión de gas SF₆, se encuentra un indicador local en un extremo de los polos del interruptor, cuya vista frontal se presenta en la figura 2.19.

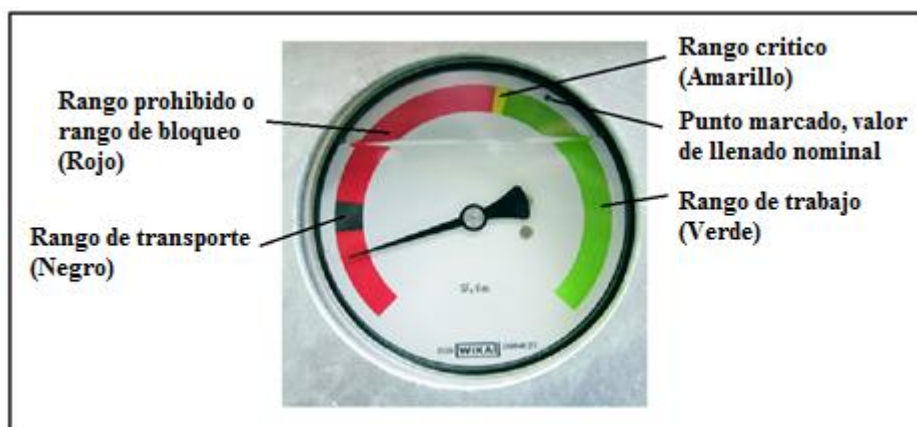


Figura 2.19: Indicador de presión de gas SF₆, interruptor 52G

2.4 DESCRIPCIÓN DE EQUIPAMIENTO GENERADOR PRINCIPAL

Con referencia a los equipamientos de fuerza, maniobra, medida y protección del generador principal, en la figura 2.20 se presenta el diagrama en detalle.

Con referencia al diagrama unilineal de la figura 2.20, a continuación se presenta una breve descripción de las características de los equipos asociados.

2.4.1 GENERADOR PRINCIPAL

El generador de corriente alterna o también llamado alternador, es una máquina eléctrica utilizada para convertir potencia mecánica en potencia eléctrica. Básicamente, en el generador debe alimentarse el enrollado del rotor con corriente continua, la cual junto con el accionamiento de la turbina, producen un campo magnético giratorio dentro de la máquina el que, a su vez, induce un sistema trifásico de voltajes en los enrollados del estator.

Esencialmente, el rotor del generador, puede considerarse como un gran electroimán, constructivamente. Dicho rotor es un cilindro macizo forjado en una pieza, este tipo de rotor se conoce como rotor cilíndrico, y se caracteriza por que sus polos magnéticos (dos) son construidos a ras con la superficie del mismo, por otro lado, es de poco diámetro por su trabajo a altas velocidades (3000 rpm). En la figura 2.21 se presenta una vista en perspectiva de un rotor cilíndrico.

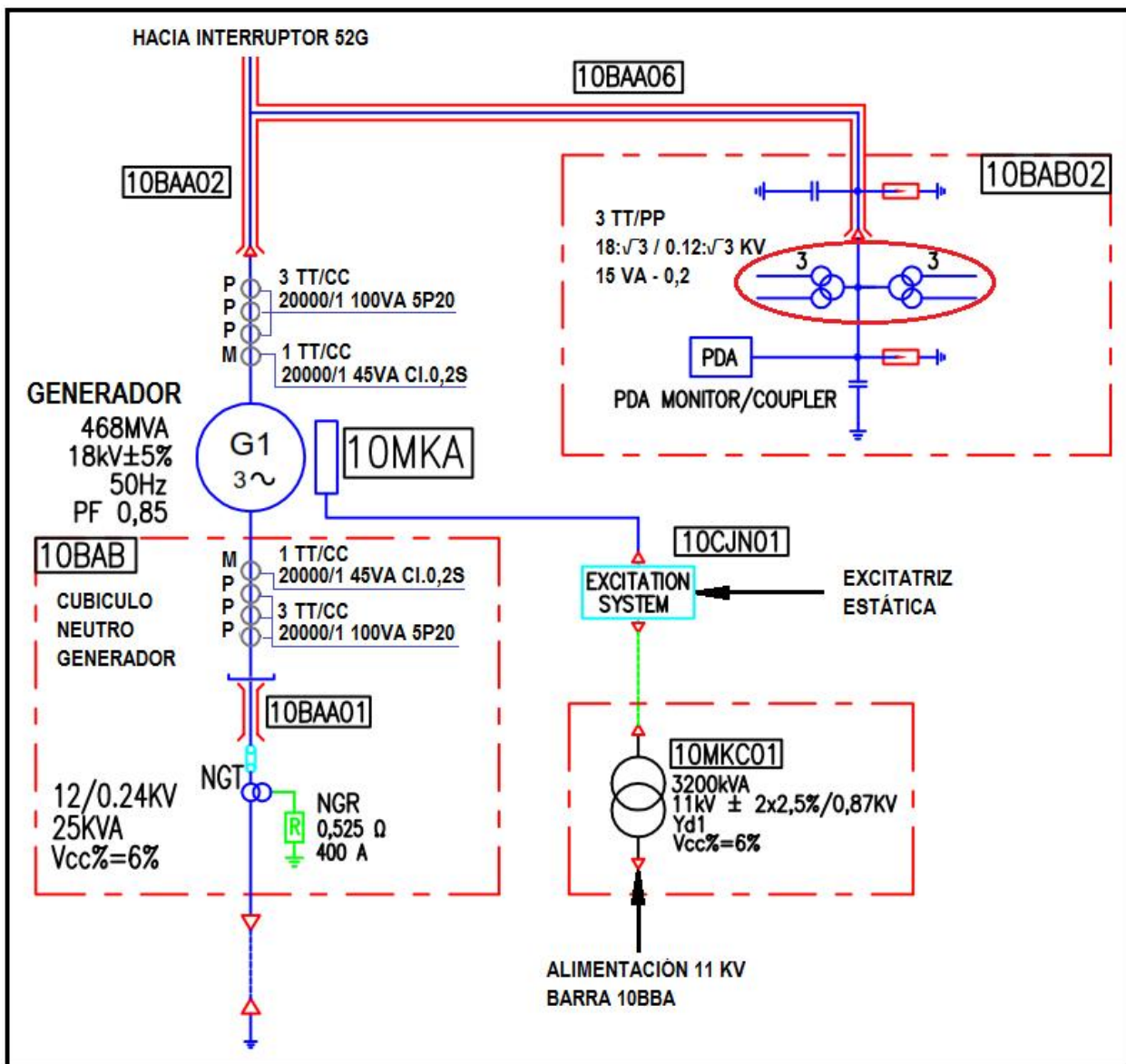


Figura 2.20: Unilineal de equipamientos del generador principal

La corriente continua es suministrada al rotor por una excitatriz estática externa a través de anillos rozantes o escobillas. Estos anillos son aros metálicos que rodean el eje en un extremo aislado del mismo. Cada uno de los extremos del arrollamiento del rotor está conectado a un anillo y cada anillo se conecta a un terminal positivo o negativo a través de las escobillas lo que hace que en todo momento el mismo voltaje este aplicado al arrollamiento de campo, sin importar la posición angular ni la velocidad del rotor.

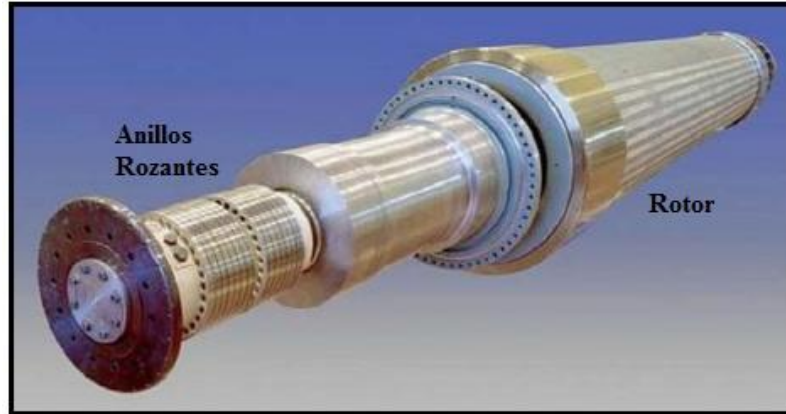


Figura 2.21: Rotor cilíndrico del generador

El generador de la central térmica Santa María I, es de fabricación americana de General Electric, con una potencia nominal de 468 MVA, la que en condiciones normales de operación suministra al SIC una potencia de 342 MW, y cuya vista se presenta en la figura 2.22.



Figura 2.22: Vista del generador principal y turbina de vapor

La atmosfera interior del estator, es de hidrógeno. El hidrógeno se usa como agente de enfriamiento principalmente por su baja densidad y sus propiedades superiores para enfriar, debido a su densidad del orden de una catorceava parte de la densidad del aire, a una temperatura y presión dada cualquiera. Cuando se usa el hidrógeno se reducen las pérdidas por fricción de aire, aumentado la eficiencia a plena carga y la vida útil del generador. En la figura 2.23 se da a conocer algunas de las partes más relevantes del alternador.

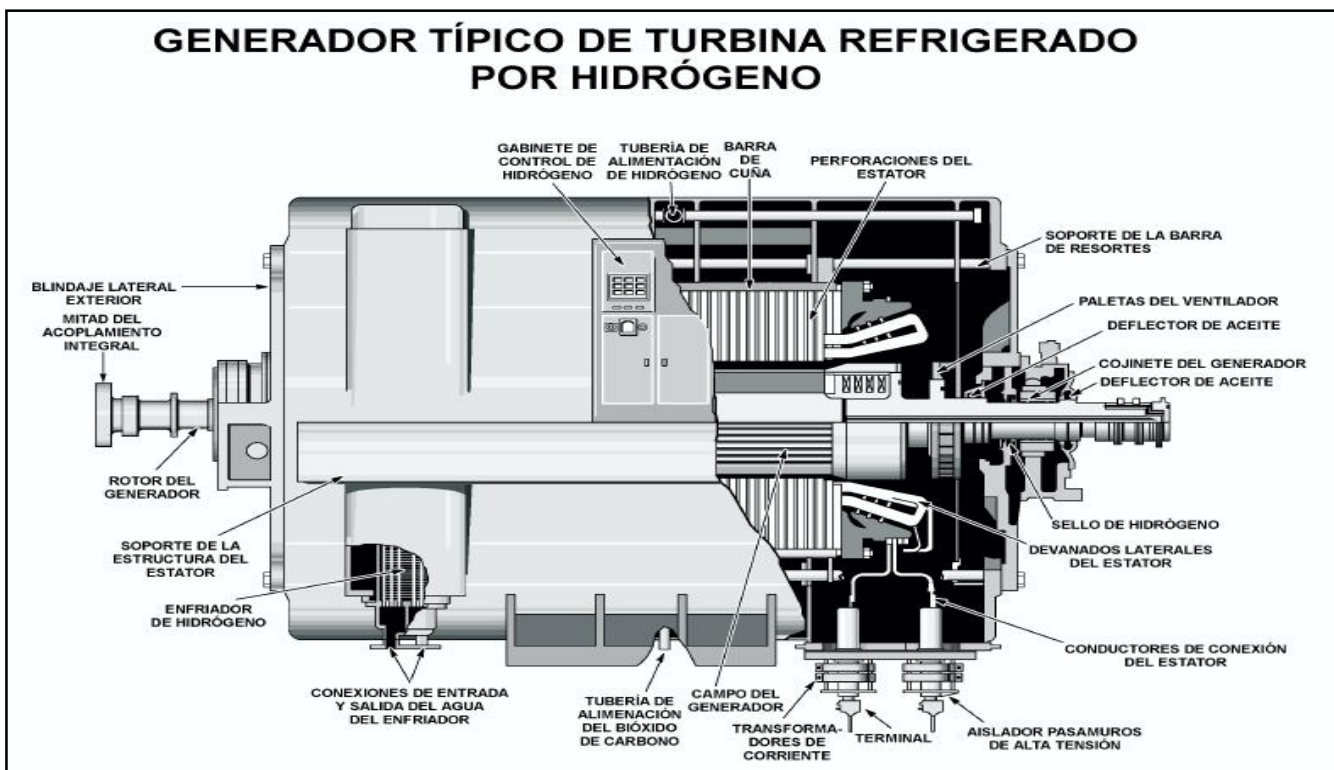


Figura 2.23: Partes principales generador principal

Las características más relevantes del generador de la central térmica Santa María I, se describen en la Tabla 2.12.

Tabla 2.12: Datos técnicos generador principal

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
MARCA	GENERAL ELECTRIC
MODELO	290T77118000 V
AÑO FABRICACIÓN	2009
POTENCIA	468 MVA
VOLTAJE ARMADURA	18000 V
CORRIENTE ARMADURA	15011 A
VOLTAJE EXCITACIÓN	850 VDC
CORRIENTE CAMPO	2444 A
FACTOR DE POTENCIA	0,85
FRECUENCIA	50 HZ

Tabla 2.12: Datos técnicos generador principal. (continuación)

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
VELOCIDAD	3000 rpm
POLOS	2
FASES	3
CONEXIÓN	ESTRELLA
PRESIÓN DEL HIDROGENO	4,22 Bar

2.4.2 EXCITATRIZ ESTÁTICA

Como se ha descrito en el apartado anterior, para generar el campo magnético giratorio en el rotor es necesario alimentarlo con una corriente continua en los anillos que conectan los devanados del rotor. La corriente continua que alimenta los devanados es proporcionada por una excitatriz estática fabricada por General Electric modelo EX2100, esta recibe la corriente alterna desde un transformador de 3200 kVA denominado transformador de excitación, quien se encuentra alimentado desde la barra de servicios auxiliares en 11kV y la baja tensión trifásica es de 850Vac.

El sistema de excitación EX2100, consiste en dos módulos de excitación estática, el cual cuenta con dos puentes rectificadores controlados (SCR), etapas de amplificadores de pulso y los controladores necesario para el control de la excitación de la unidad, una vista frontal de esta unidad se presenta en la figura 2.24.

Existen dos módulos de control (M1 y M2) cada uno de ellos opera con un puente de rectificación. Entre ambos existe una función de transferencia que habilita la condición de respaldo, es decir, debe operar uno como principal y el otro respaldando en todo momento. Esta elección se realiza a través del panel de control.

La figura 2.25 presenta un diagrama esquemático del sistema de excitación, que muestra la fuente de energía para la excitatriz, las mediciones de corrientes y la tensión del generador, el módulo de control, el módulo de conversión de potencia (PCM) y los circuitos de protección. El secundario del transformador de potencia para la excitación, se conecta a la entrada de un puente inversor de tiristores de onda completa trifásico. El puente inversor provee tensión necesaria para los polos del rotor del generador.

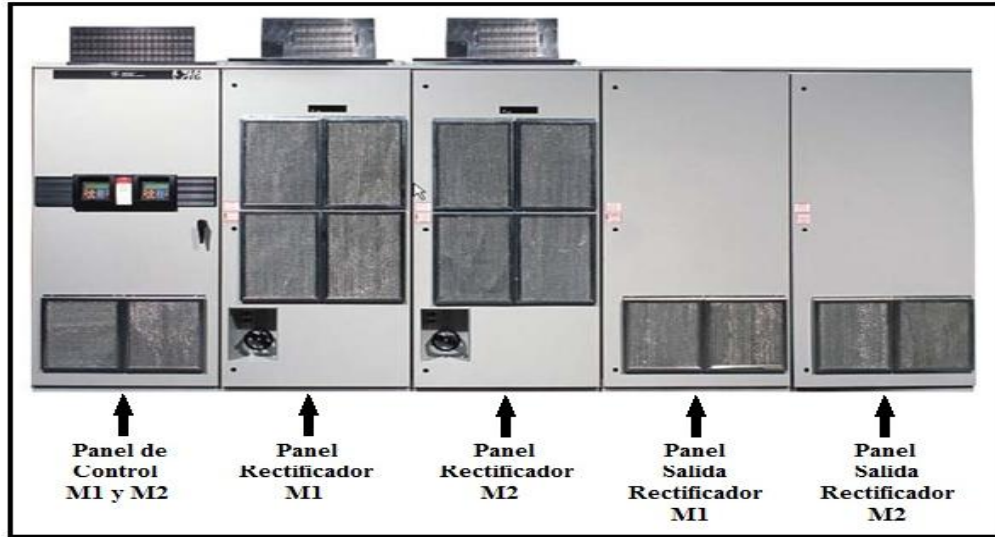


Figura 2.25: Vista general excitatriz estática EX2100

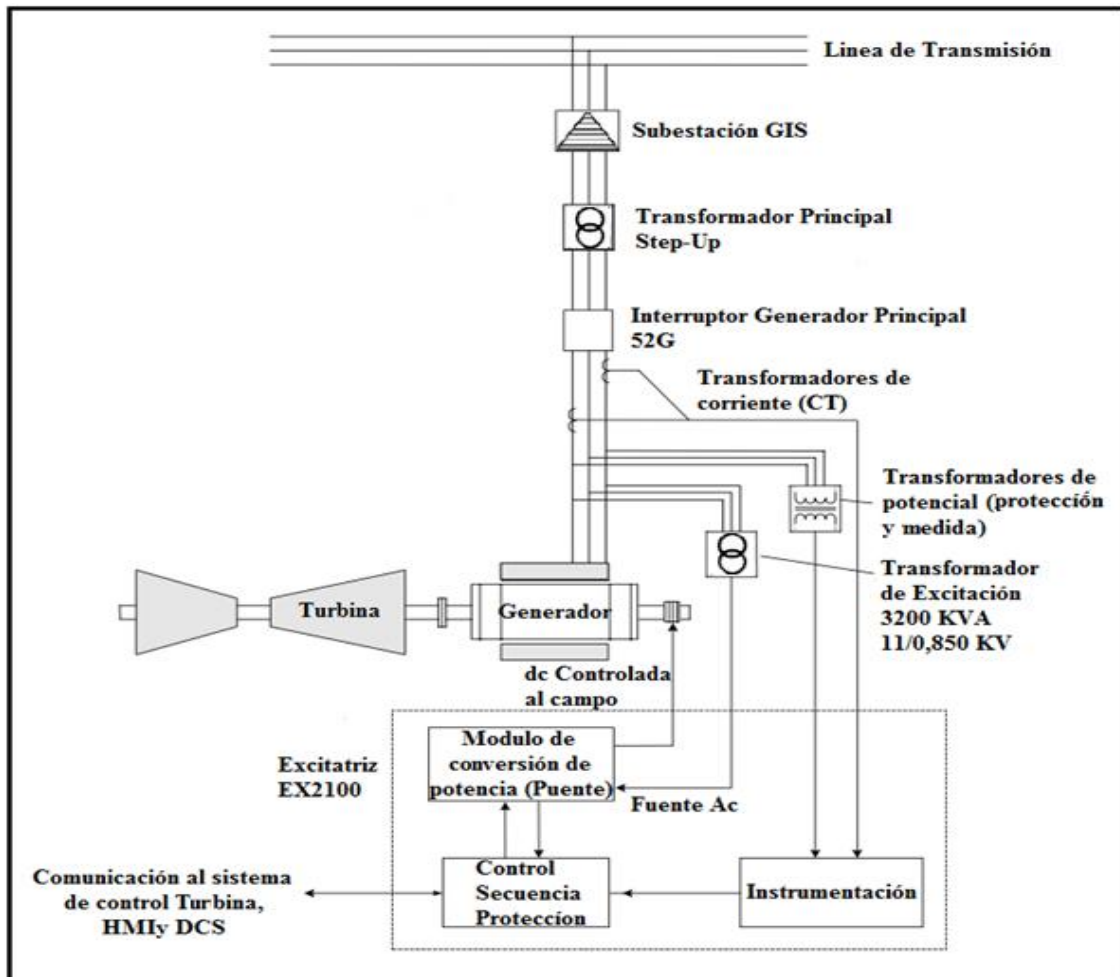


Figura 2.25: Diagrama esquemático sistema excitación EX2100

Realizada la descripción de la red eléctrica en estudio, en la figura 2.26 se presenta el diagrama unilineal simplificado con énfasis en los elementos de protección que son motivo de estudio en el presente seminario.

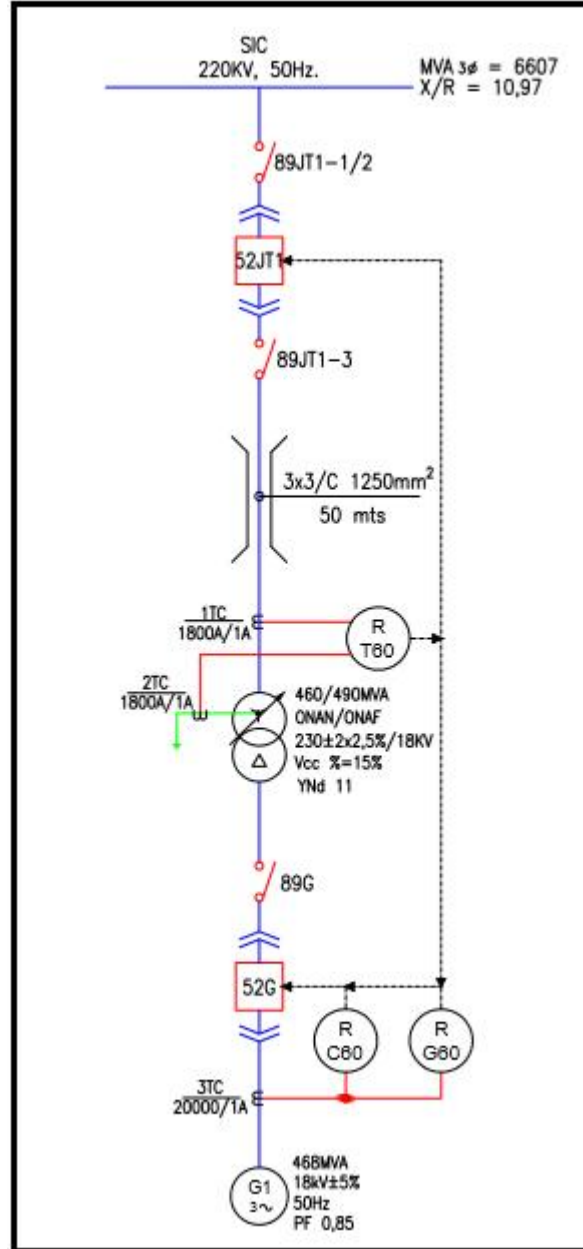


Figura 2.26: Diagrama unilineal simplificado de la red eléctrica

Con referencia al diagrama unilineal de la figura 2.26, el detalle de los ajustes de protección se describe en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DE AJUSTES DE RELÉS DEL SISTEMA DE PROTECCIONES

3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE PROTECCIÓN EN ESTUDIO

El sistema de protecciones de la central térmica Santa María I, comprende una amplia variedad de equipos de protección y control, se trata de un proceso que requiere todos los resguardos necesarios para proteger los equipos que contribuyen a una generación de electricidad y a un sistema estable en el tiempo. Se trata de sistemas complejos que abarcan cada equipo y proceso, sin pasar por alto ninguno; debido a esto se ha decidido estudiar y analizar las protecciones asociadas al alternador principal y al transformador elevador de tal forma de extraer sus ajustes, y analizarlos de manera acabada y en detalle.

Antes de iniciar un análisis de los ajustes, es necesario conocer cada uno de los elementos de protección que contiene tanto el transformador principal como el generador y el interruptor del generador. Cada elemento, posee dos relés de protección de la familia UR de General Electric T60, G60 y C60 respectivamente, la dualidad de protección obedece al criterio de protección redundante la cual garantiza la protección y confiabilidad antes los posibles fallos que puedan surgir por el uso continuo. En tal sentido, en Anexo “C”, se presenta el diagrama unilineal del sistema de protecciones del generador, el transformador principal y el interruptor del generador.

En estos relés se encuentran asociadas todas las protecciones necesarias para asegurar el buen funcionamiento de estos equipos. A continuación se realiza una descripción general de la familia UR de General Electric.

3.1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLATAFORMA UR

La familia de relés UR (Universal Relay), es la generación de relés modulares construidos sobre una plataforma común hardware y software. La lógica que determina la interacción de entradas, elementos internos, y salidas es programable a través del uso de ecuaciones lógicas (Flex Logic). La combinación de entradas y salidas remotas (enviadas a través de la red Ethernet) y entradas/salidas de hardware locales, habilitan al usuario para poder implementar y distribuir complejos esquemas lógicos, los cuales reducen el uso de componentes auxiliares y cableado. Además, la capacidad de entradas y salidas son expandibles según la necesidad del sistema. En tal sentido, en la figura 3.1 se presenta un diagrama en bloque de la estructura del relé UR.

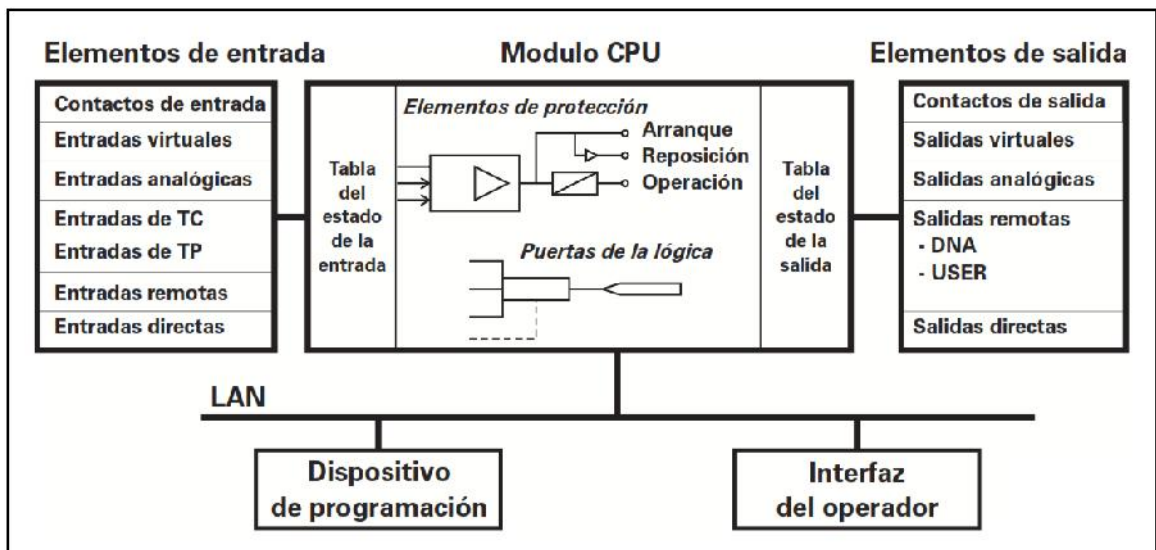


Figura 3.1: Diagrama en bloque, estructura del relé UR

El relé UR consiste en un dispositivo digital que contiene una unidad central de proceso (CPU) que maneja diversas sub unidades para recolectar las señales de entrada y de salida. La familia de relés UR cubre todas las aplicaciones de protección, control y medida de un sistema eléctrico (generación, transmisión, distribución, carga). La figura 3.2, muestra los formatos de presentación de la serie de relés UR.



Figura 3.2: Formatos de presentación serie de relés UR

3.2 PROTECCIÓN DEL TRANSFORMADOR PRINCIPAL UR-T60

El transformador principal (Step-Up), posee dos protecciones del tipo Multilin, de la serie UR de General Electric G.E. El relé UR T60, es un relé destinado a la protección de transformadores trifásicos de pequeña, mediana y elevadas potencias.

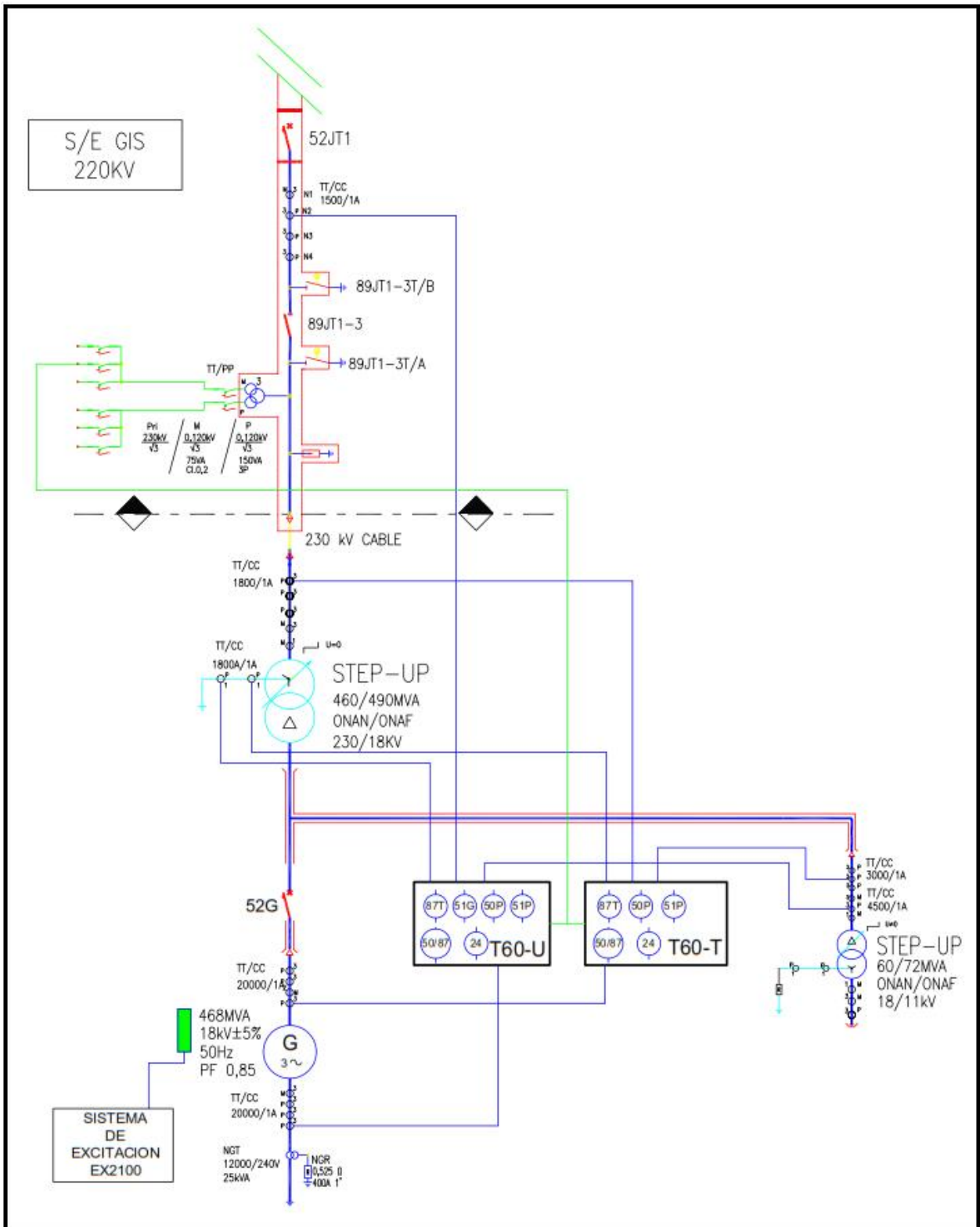


Figura 3.3: Funciones de protección en estudio, relé UR-T60

Este relé, puede ser configurado con un máximo de cuatro entradas trifásicas de corriente, cuatro entradas de corriente de tierra y pueden satisfacer aplicaciones con devanados de los transformadores conectados entre dos interruptores u otras configuraciones. Las funciones de protección seleccionadas en cada relé se describen en la figura 3.3.

El elemento diferencial porcentual es el dispositivo de protección principal en el relé T60. Protección diferencial instantánea, sobre corriente instantánea de fase, neutro, tierra, secuencia negativa. La función de sobre corriente de fase ofrece varias formas de curvas Flex Curves para una óptima coordinación de las protecciones. También proporciona reconexión automática, chequeo de sincronización, y representa un localizador de fallas de línea.

La medición de tensión, corriente, potencia y energía están integrados en el relé, como una característica estándar. Los parámetros de corriente están disponibles en total magnitud de forma de onda RMS, o como magnitud y ángulo (fasor) de frecuencia fundamental RMS.

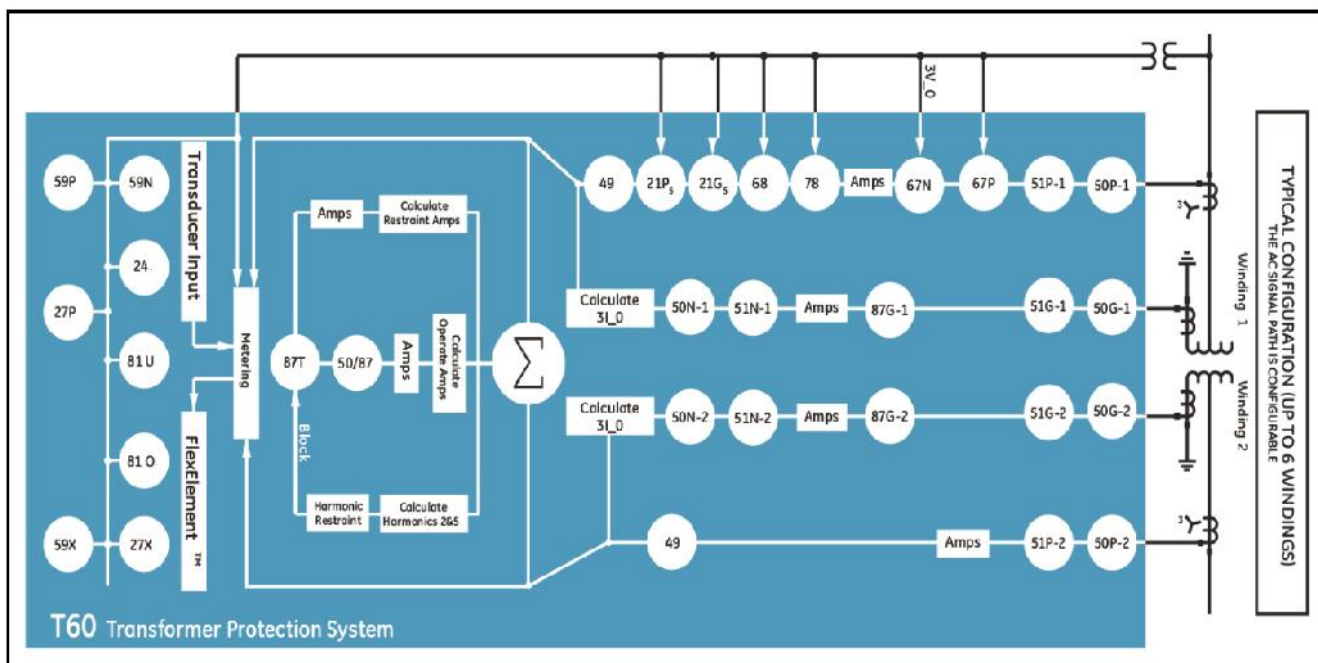


Figura 3.4: Diagrama funcional del relé UR-T60

Las características de diagnóstico incluyen un registrador de eventos, los que se pueden programar (a través de ecuaciones Flex Logic) para activar la captura de datos de oscilograma y puede ser configurado para grabar los parámetros medidos antes y después del evento para ser

observados en un computador. Estas herramientas reducen significativamente el tiempo de análisis de fallas y simplifican la generación de informes en el caso de una falla en el sistema.

En la figura 3.4, se presenta el diagrama de línea de la protección T60, en el que se muestran las funciones de protección que abarca el relé, cuya nomenclatura se basa en los números ANSI (American National Standards Institute).

Con referencia a los números ANSI de las funciones de protección del relé T60 descritos en la figura 3.4, en el Anexo “D” se presenta en detalle la abreviatura asignada y la función de protección.

3.2.1 FUNCIONES ACTIVAS DEL RELÉ UR-T60 TRANSFORMADOR PRINCIPAL

Como se ha descrito en el apartado 3.2, el relé T60, dentro de sus potencialidades, posee una gran cantidad de funciones de protección que el programador tiene a su disposición para usarlos según la aplicación existente y los requerimientos del fabricante. Es por esto que, una vez extraídos los datos de programación, se ha realizado un estudio de las funciones de protección “activas” programadas en este relé de tal forma de conocer sus ajustes para su posterior análisis.

Las funciones activas utilizadas para la protección del transformador principal se detallan en el Anexo “D”.

En la figura 3.5 y 3.6, aparecen representadas las funciones activas del relé T60-T y T60-U respectivamente, vistas desde el programa Ener Vista en el menú "Protection Summary".

GROUPED ELEMENTS	TB1	TB2	TB3	TB4	TB5	TB6	GROUP	GROUP	GROUP	GROUP
Transformer Percent Differential										
Transformer Instantaneous Differential										
Phase TOC 1										
Phase IOC 1										
Volts Per Hertz 1										
CONTROL ELEMENTS	TB1	TB2	TB3	TB4	TB5	TB6	STATUS			

Figura 3.5: Funciones activas del relé UR T60-T

GROUPED ELEMENTS	TB1	TB2	TB3	TB4	TB5	TB6	GROUP	GROUP	GROUP	GROUP
Transformer Percent Differential										
Transformer Instantaneous Differential										
Phase TOC 1										
Phase IOC 1										
Ground TOC 1										
Volts Per Hertz 1										
CONTROL ELEMENTS	TB1	TB2	TB3	TB4	TB5	TB6	STATUS			

Figura 3.6: Funciones activas del relé UR T60-U

En la figura 3.7, se presenta el diagrama Flex Logic activo en el relé T60-T.

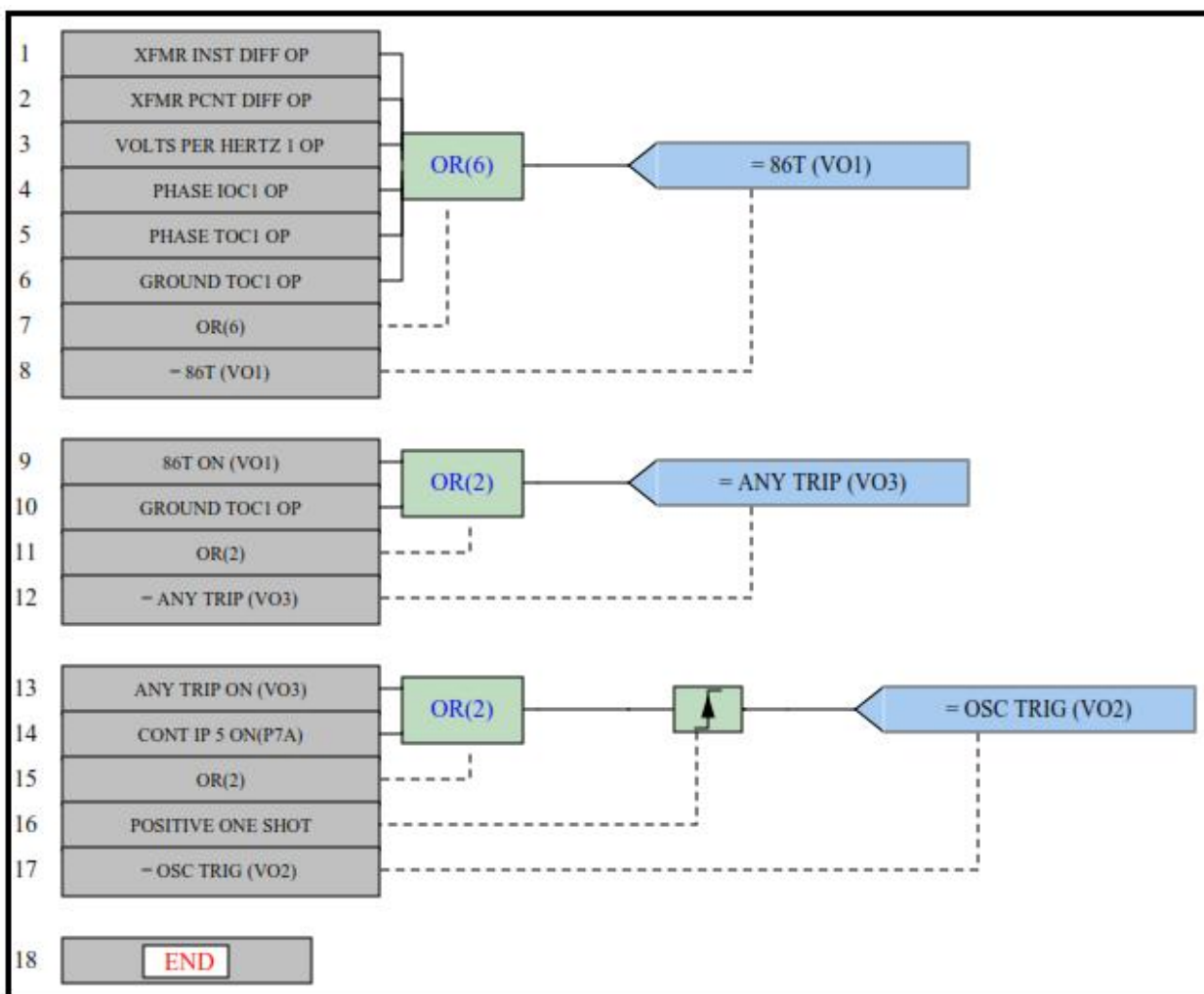


Figura 3.7: Diagrama Flex Logic del relé URT60-T, transformador principal

Por otro lado en la figura 3.8 se describe el diagrama Flex Logic activo en el relé T60-U.

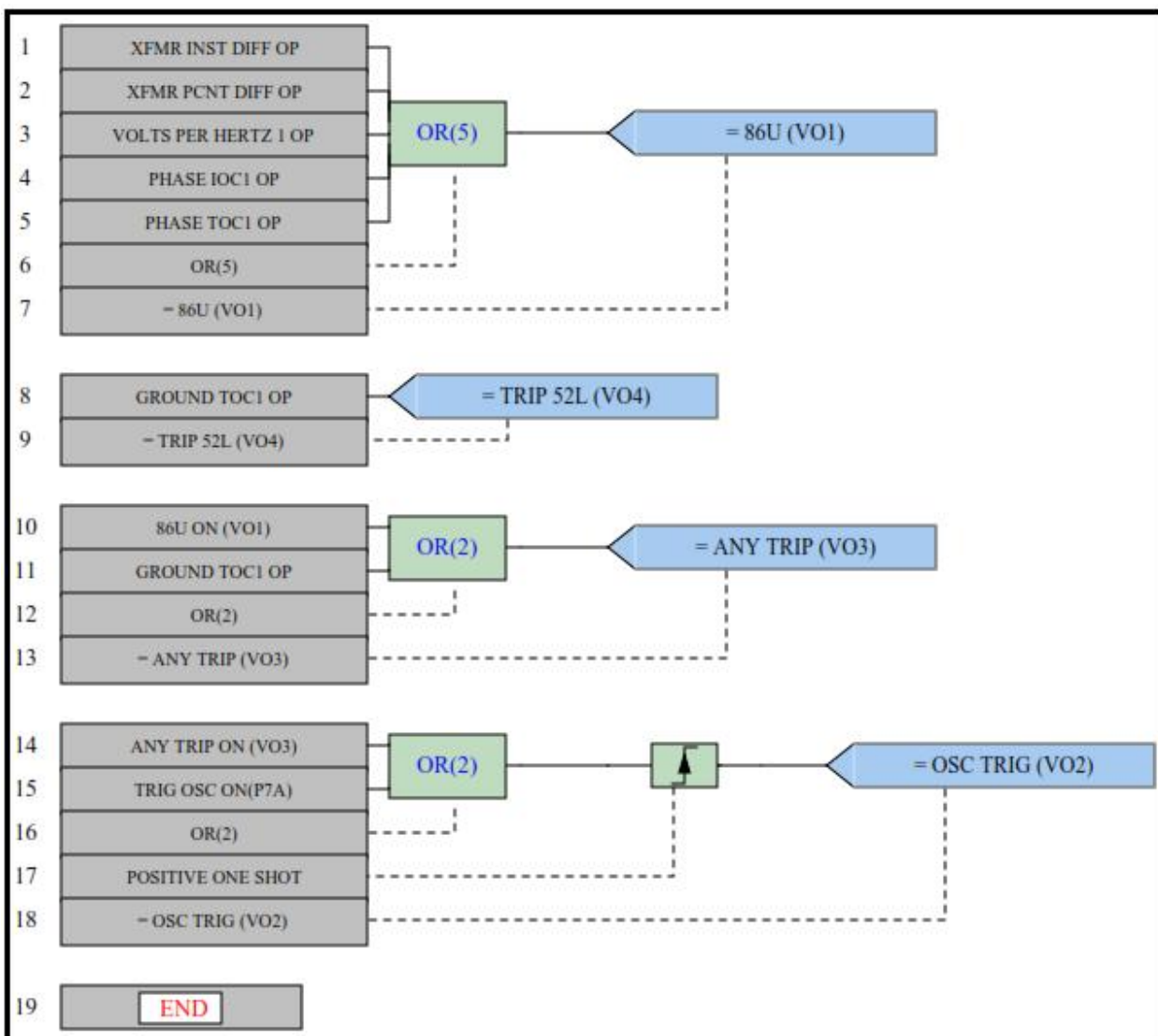


Figura 3.8: Diagrama Flex Logics del Relé UR T60-U, transformador principal

Con referencia a la figura 3.7, cabe destacar que la señal 86T (VO1), es una salida virtual auxiliar del relé, la que permite canalizar las órdenes de trip del transformador provenientes de las funciones activas de la protección T60-T descritas en la figura 3.5. Así mismo, esta señal da paso a una nueva salida virtual ANY TRIP (VO3) la que es canalizada hacia el interruptor 52G y 52JT1 dando orden apertura para despejar la falla y aislar el transformador Step-up. Sin embargo, en la lógica de programación Flex Logic de la figura 3.7, se puede apreciar la función “GROUND TOC1 OP” la cual no se encuentra activa en el relé T60-T, pero por criterios de protección se debe incluir para ser habilitada ante cualquier requerimiento. Cabe destacar que la

redundancia de protecciones existentes para el transformador STEP-UP permite este tipo de configuración ya que la protección T60-U protege ante una falla de tierra temporizada.

3.2.2 ANÁLISIS DE LAS FUNCIONES DE PROTECCIÓN RELÉ UR-T60

General Electric ha realizado un estudio de las protecciones tanto para el generador como para el transformador principal, en este estudio se detallan los ajustes sugeridos como fabricante para cada una de las funciones de protección del relé T60.

Debido a la cantidad de funciones que posee este relé se han seleccionado las funciones más relevantes desde el punto de vista eléctrico, para ser analizadas en esta parte del capítulo.

3.2.2.1 FUNCIÓN 24, "VOLTS PER HERTZ", SOBREEXCITACIÓN

La relación tensión/frecuencia en los bobinados de una máquina son un indicador del flujo magnético. Los transformadores de potencia deben operar con un valor de 1.05 y sin carga con un valor de 1.10. Por tanto, por encima de estos valores se puede producir un incremento del flujo magnético, el cual puede llegar a sufrir una saturación del núcleo magnético.

En tal sentido en la tabla 3.1, se presentan los ajustes habilitados para los relés T60-T y T60-U.

Tabla 3.1: Ajustes habilitados protección de sobreexcitación, vía Ener Vista

PARAMETER	VOLTS PER HERTZ 1
Function	Enabled
Source	220 kV (SRC 1)
Pickup	1.10 pu
Curves	Inverse A
TD Multiplier	3.00
T Reset	600.0 s
Block	OFF
Target	Latched
Events	Enabled

Con referencia a los ajustes descritos en la tabla 3.1, según especificaciones de General Electric, la protección de sobreexcitación de los devanados del transformador posee un ajuste 1,10 veces de V/Hertz en 3 segundos para una característica de tiempo inverso. Es así, que en la figura 3.9 se presenta la carta de operación de la protección, donde se verifica el correcto ajuste de la función 24 de sobreexcitación.

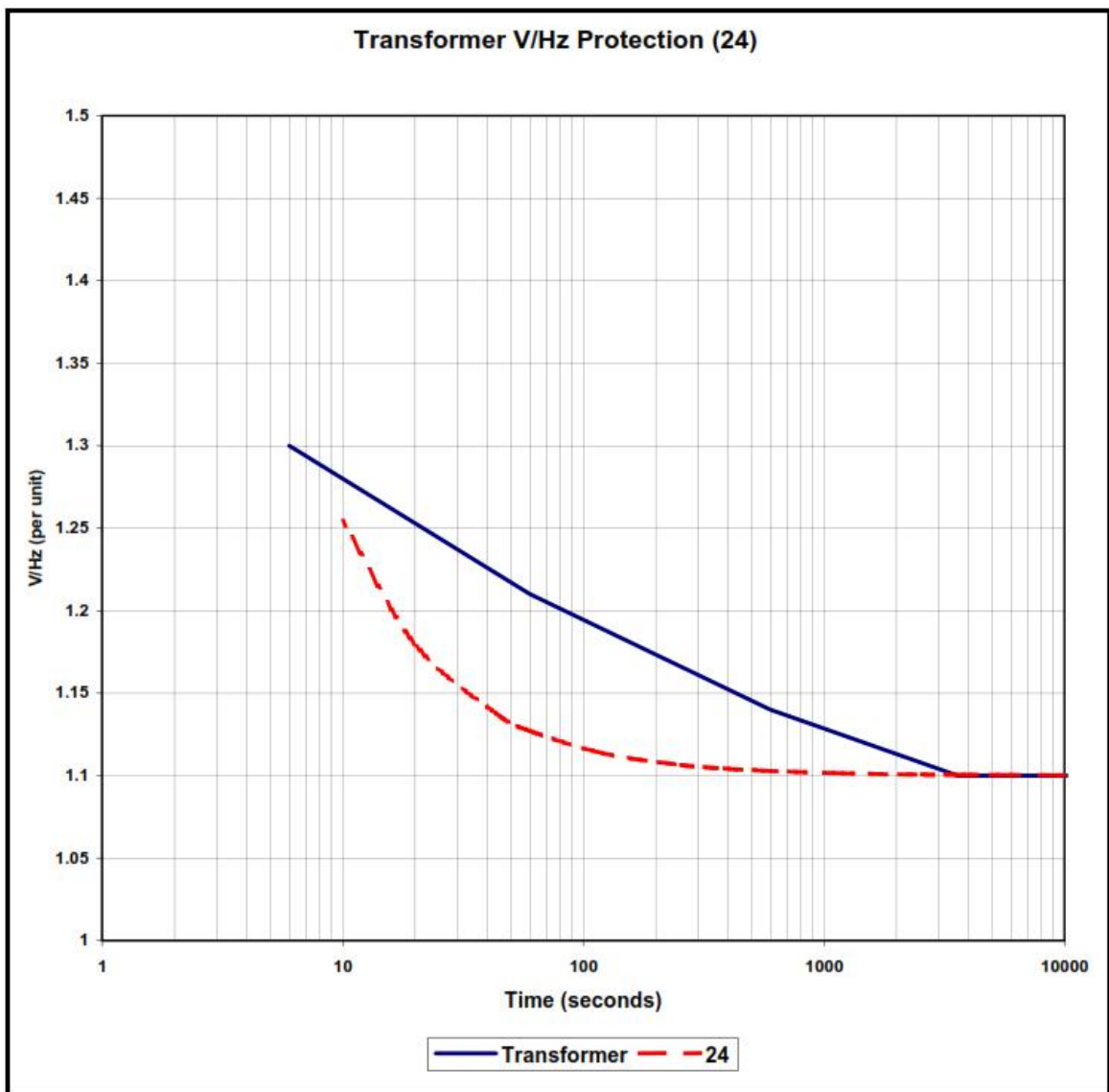


Figura 3.9: Carta de operación de la protección (24) de sobreexcitación

3.2.2.2 FUNCIÓN 50 "PHASE IOC" Y FUNCIÓN 51 "PHASE TOC"

La protección de corriente, mide permanentemente la corriente de cada fase con la finalidad de detectar sobrecorrientes que se puedan producir durante una falla. En tal sentido, en las Tablas 3.2 y 3.3 se presentan los ajustes habilitados en los relés T60-T y T60-U para las protecciones 50 y 51 respectivamente.

Con referencia a los ajustes descritos en las Tablas 3.2 y 3.3 el ajuste se ha realizado de acuerdo a las especificaciones de General Electric, el que hace referencia a las curvas de resistencia térmica y mecánicas del transformador, ref. C57.109-1993.

Es así, que en la figura 3.10 se presenta la carta de operación de la protección de sobrecorriente instantánea 50 y sobrecorriente temporizada 51. En tal sentido, se verifica que la curva de la protección, está ajustada de forma tal, que no se dañe al transformador, al ser sometido a esfuerzos mecánicos y térmicos ocasionados por un cortocircuito.

Tabla 3.2: Ajustes habilitados protección 50 de sobrecorriente instantánea de fase, vía Ener Vista

	T60-T	T60-U
PARAMETER	PHASE IOC1	PHASE IOC1
Function	Enabled	Enabled
Source	220 kV (SRC 1)	220 kV (SRC 1)
Pickup	5.100 pu	6.200 pu
Delay	0.00 s	0.00 s
Reset Delay	0.00 s	0.00 s
Block A	OFF	OFF
Block B	OFF	OFF
Block C	OFF	OFF
Target	Latched	Latched
Events	Enabled	Enabled

Tabla 3.3: Ajustes habilitados protección 51 sobrecorriente temporizada de fase, vía Ener Vista

	T60-T	T60-U
PARAMETER	PHASE TOC1	PHASE TOC1
Function	Enabled	Enabled
Signal Source	220 kV (SRC 1)	220 kV (SRC 1)
Input	Phasor	Phasor
Pickup	0.860 pu	1.030 pu
Curve	IEEE Mod Inv	IEEE Mod Inv
TD Multiplier	0.80	0.80
Reset	Instantaneous	Instantaneous
Voltage Restraint	Disabled	Disabled
Block A	OFF	OFF
Block B	OFF	OFF
Block C	OFF	OFF
Target	Latched	Latched
Events	Enabled	Enabled

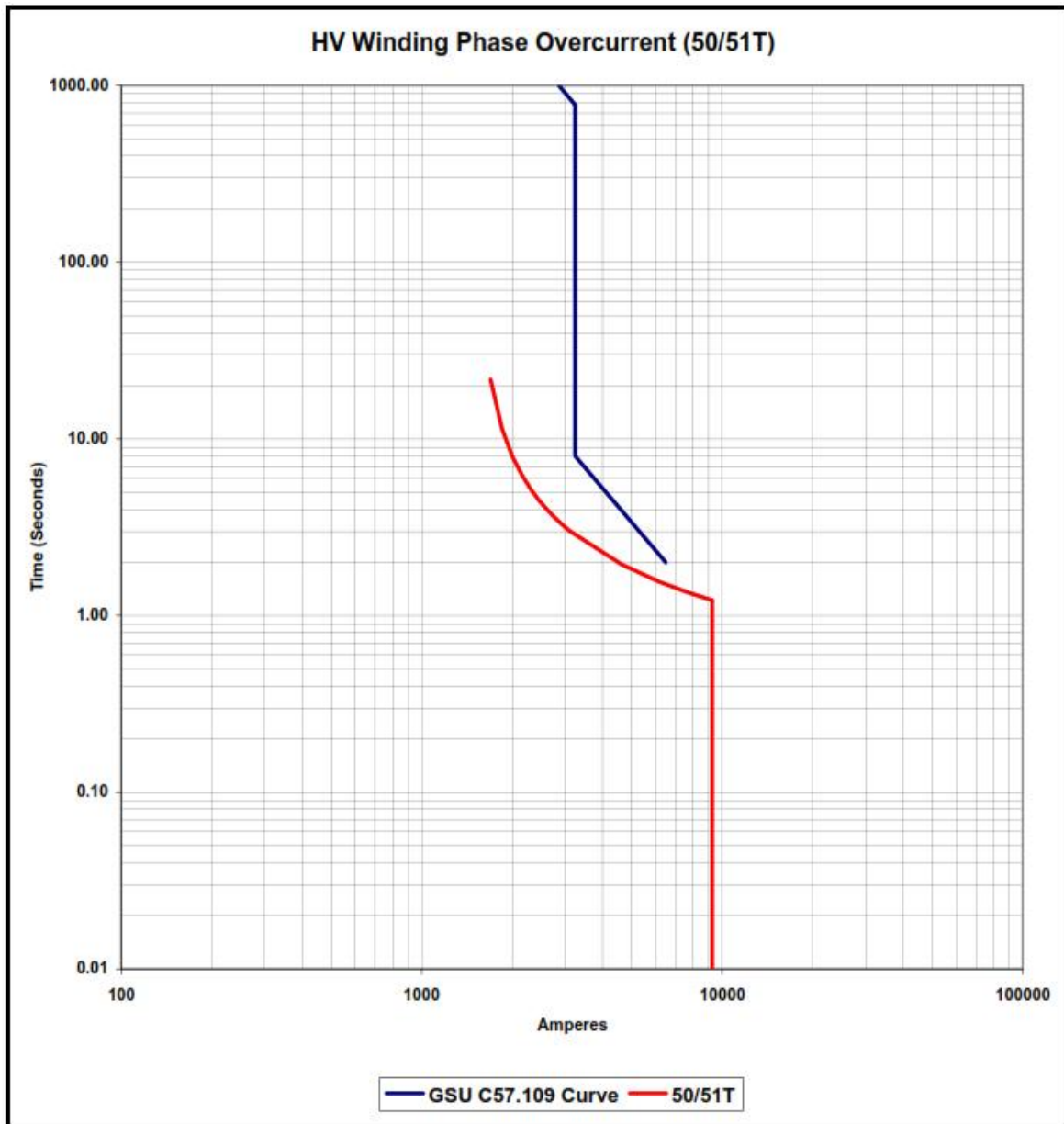


Figura 3.10: Carta de operación de las funciones 50 y 51

3.2.2.3 FUNCIÓN 51G "GROUND TOC"

La protección de corriente mide permanentemente la corriente del neutro aterrizado del transformador con la finalidad de detectar las sobrecorrientes que se pueden producir durante una falla. En tal sentido, en la Tabla 3.4 se presentan los ajustes habilitados para la protección de sobrecorriente temporizada de tierra.

Tabla 3.4: Ajustes habilitados protección 51G, vía Ener Vista

PARAMETER	GROUND TOC1
Function	Enabled
Source	220 kV (SRC 1)
Input	Phasor
Pickup	0.160 pu
Curve	IEC Curve A
TD Multiplier	0.22
Reset	Instantaneous
Block	OFF
Target	Latched
Events	Enabled

Con referencia a los ajustes descritos en la Tabla 3.4, estos se han realizado de acuerdo a las especificaciones de General Electric. Es así, que en la figura 3.11, se presenta la carta de operación de la protección donde, se verifica el correcto ajuste de la función 51G de la protección.

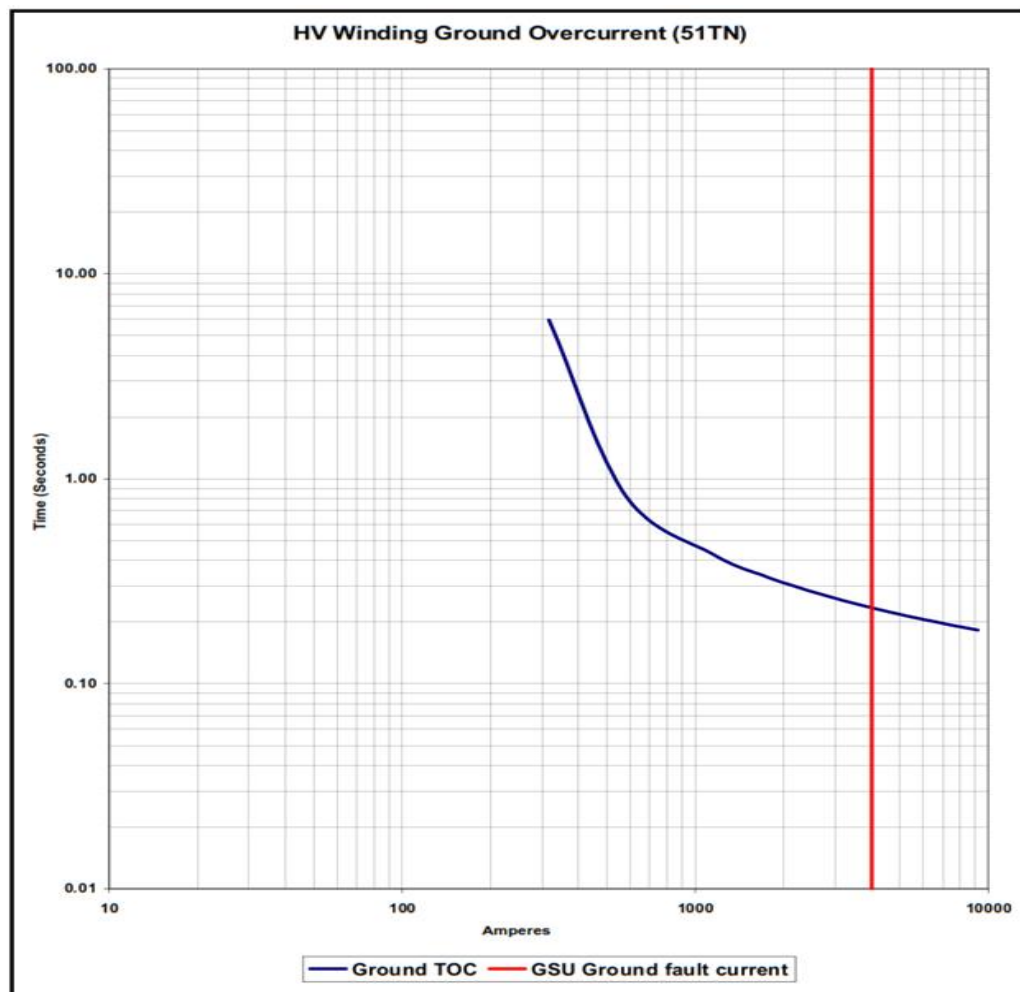


Figura 3.11: Carta de Operación de la protección 51G

3.3 PROTECCIÓN DEL GENERADOR UR-G60

El alternador principal de la central Santa María I, posee dos protecciones del tipo Multilin G60, de la serie UR de General Electric. El relé UR G60, es un relé destinado a la protección de generadores de potencia de alta envergadura, sobre 100MVA, diseñados especialmente para generadores de corriente alterna accionados por una turbina de vapor, gas y también turbinas hidráulicas. Dentro de las funciones de protección que incluye, podemos mencionar sobre tensión de fase y mínima tensión de fase, sobre frecuencia y baja frecuencia, sobre corriente instantánea de fase, neutro, tierra y secuencia negativa, supervisión de los valores reales, diagnósticos de fallas, RTU. Además, ofrece las funciones de lógica programable. La función de sobre corriente de fase ofrece varias formas de curvas o Flex Curves para una óptima coordinación de las protecciones. También proporciona reconexión automática, chequeo de sincronización, y presenta un localizador de fallas de línea. Las funciones de protección seleccionadas se describen en la figura 3.12.

La medición de tensión, corriente y energía están integrados en el relé, como una característica estándar. Los parámetros de corriente están disponibles en total magnitud de forma de onda RMS, o como magnitud y ángulo (fasor) de frecuencia fundamental RMS.

Las características de diagnóstico incluyen un registrador de eventos los que se pueden programar (a través de ecuaciones Flex Logic) para activar la captura de datos de oscilograma y puede ser configurado para grabar los parámetros medidos antes y después del evento para ser observados en un computador.

En la figura 3.13, se representa el diagrama de protección del G60, en el que se muestran las funciones de protección que abarca el relé, cuya nomenclatura se basa en los números ANSI, se detallan en Anexo “D”.

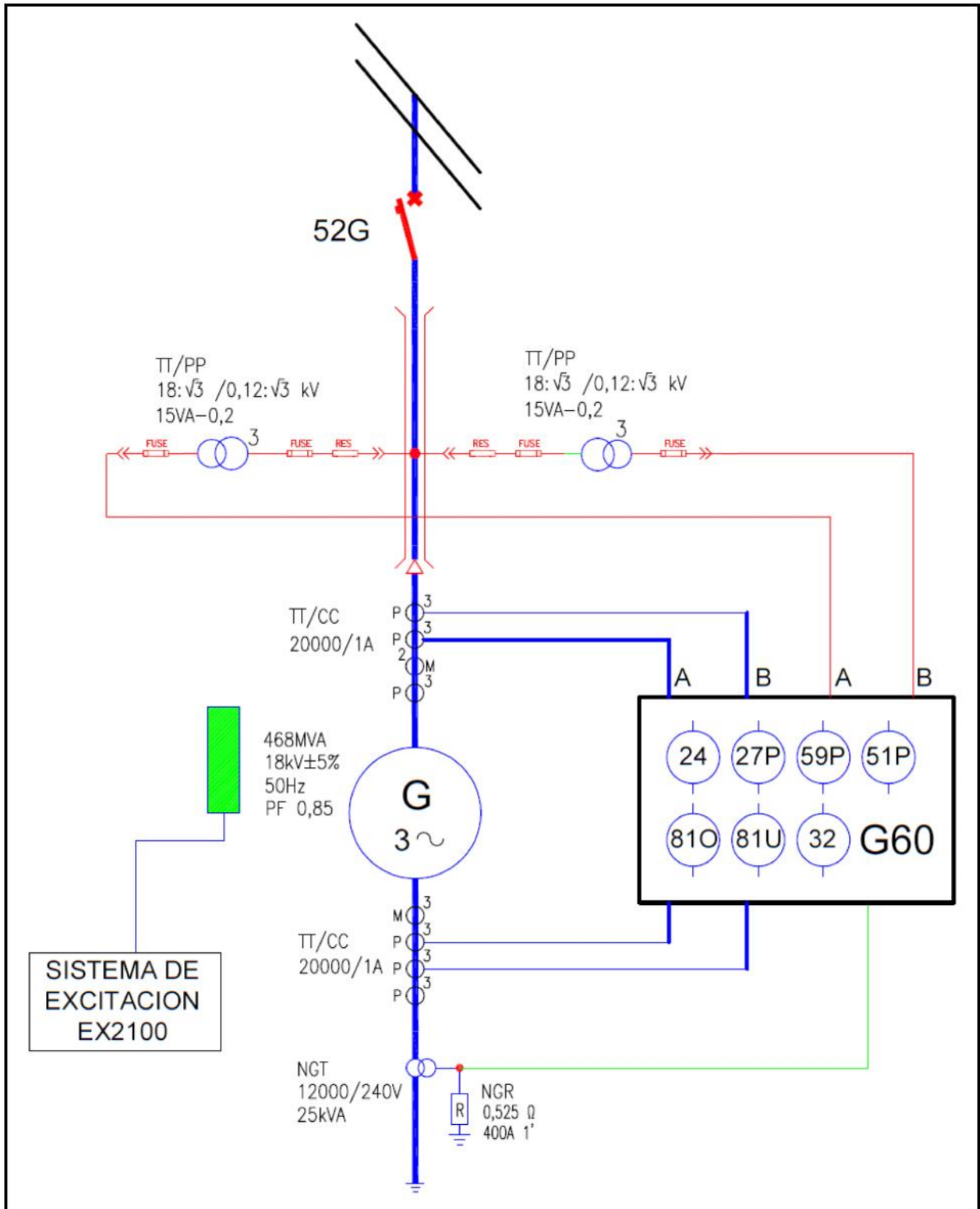


Figura 3.12: Relé UR-G60, funciones de protección en estudio

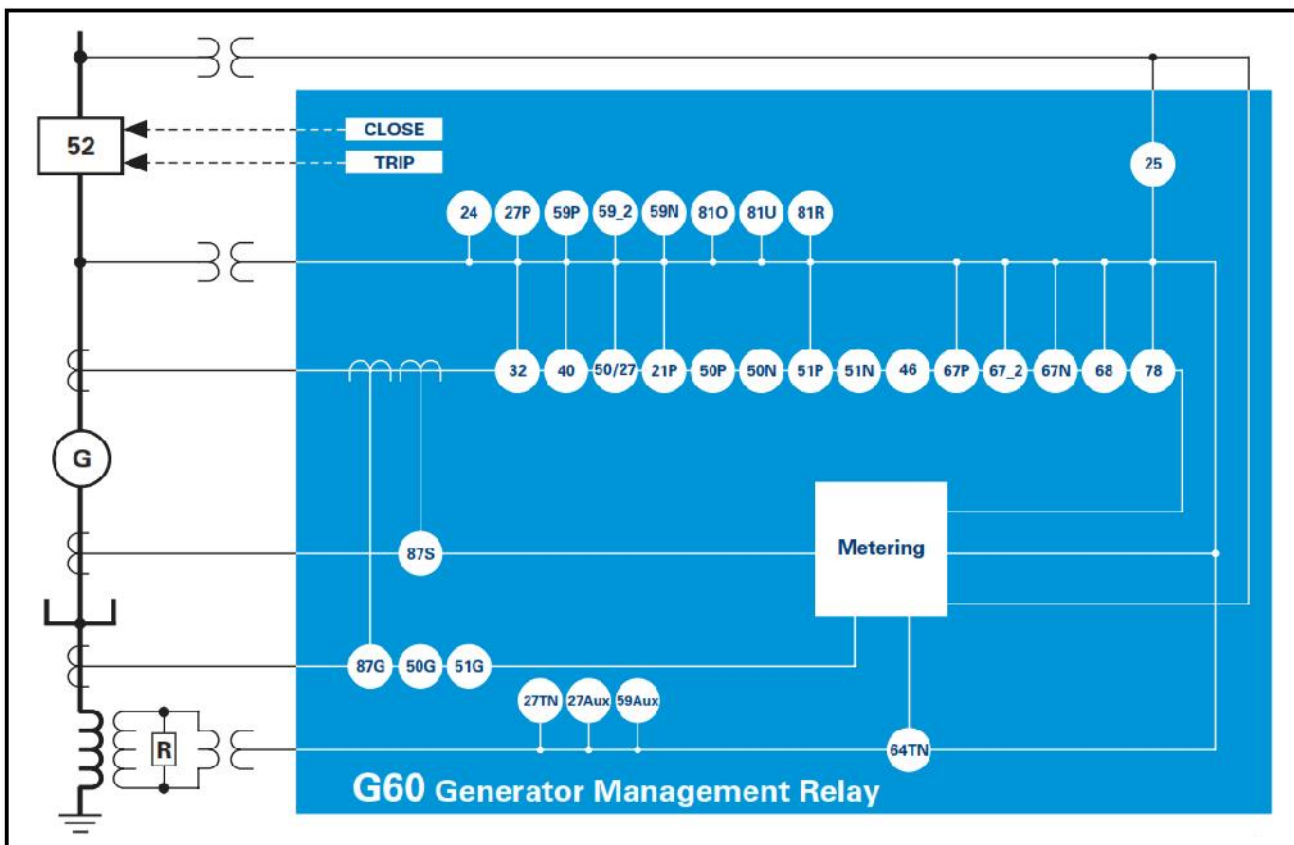


Figura 3.13: Diagrama funcional del relé UR-G60

3.3.1 FUNCIONES ACTIVAS DEL RELÉ UR-G60 DEL GENERADOR PRINCIPAL

Como se ha descrito en el apartado 3.3, el relé G60, dentro de sus potencialidades, posee una gran cantidad de funciones de protección que el programador tiene a su disposición para usarlos según la aplicación existente y los requerimientos del fabricante. Es por esto, que una vez extraídos los datos de programación, se ha realizado un estudio de las funciones de protección “activas” programadas en este relé de tal forma de conocer sus ajustes para su posterior análisis.

Las funciones activas utilizadas para la protección del generador principal se detallan en Anexo “D”.

En la figura 3.14, aparecen representadas las funciones activas del relé G60, vistas desde el programa Ener Vista en el menú "Protection Summary".

GROUPED ELEMENTS	TB1	TB2	TB3	TB4	TB5	TB6	GROUP	GROUP	GROUP	GROUP	GROUP
Phase Distance Z 1											
Phase Distance Z 2											
Power Swing											
Stator Differential											
Phase TOC 1											
Phase IOC 1											
Phase IOC 2											
Generator Unbalance											
Phase UV 1											
Phase UV 2											
Phase OV 1											
Aux OV 1											
Volts Per Hertz 1											
Volts Per Hertz 2											
Loss Of Excitation											
Accidental Energization											
Stator Ground											
Sensitive Directional Power 1											
Sensitive Directional Power 2											
CONTROL ELEMENTS	TB1	TB2	TB3	TB4	TB5	TB6	STATUS				
Underfrequency 1											
Underfrequency 2											
Underfrequency 3											
Overfrequency 1											
Overfrequency 2											
Overfrequency 3											
Digital Element 1											
Digital Element 2											
VT Fuse Failure 2											

Figura 3.14: Funciones activas del relé UR-G60

Otra herramienta que poseen los relés UR, es el editor Flex Logic, el cual permite la programación de las lógicas de operación del equipo. Es una herramienta que muestra de forma gráfica la lógica implementada en el relé y permite ver las funciones de protección activas en la programación. Para esto se detalla en Anexo “E”, el diagrama Flex Logic activo en el relé G60.

3.3.2 ANÁLISIS DE LAS FUNCIONES DE PROTECCIÓN RELÉ UR-G60

General Electric ha realizado un estudio de las protecciones tanto para el generador como para el transformador principal, en este estudio se detallan los ajustes sugeridos como fabricante para cada una de las funciones de protección del relé G60.

Debido a la cantidad de funciones que posee este relé se han seleccionado las funciones más relevantes desde el punto de vista eléctrico, para ser analizadas en esta parte del capítulo.

3.3.2.1 FUNCIÓN 24, "VOLTS PER HERTZ", SOBREEXCITACIÓN

La relación tensión/frecuencia en los bobinados de una máquina son un indicador del flujo magnético. Las máquinas rotativas deben operar con un valor de veces sobre su valor nominal (1.05-1-10). Por tanto, por encima de estos valores se puede producir un incremento del flujo magnético, el cual puede llegar a sufrir una saturación del núcleo magnético. En la figura 3.15 se presenta la carta de operación de la protección, en donde se verifica que la capacidad de sobreflujo del transformador y el límite de excitación del generador se ven protegidos por la función de sobreexcitación bajo las recomendaciones de GE.

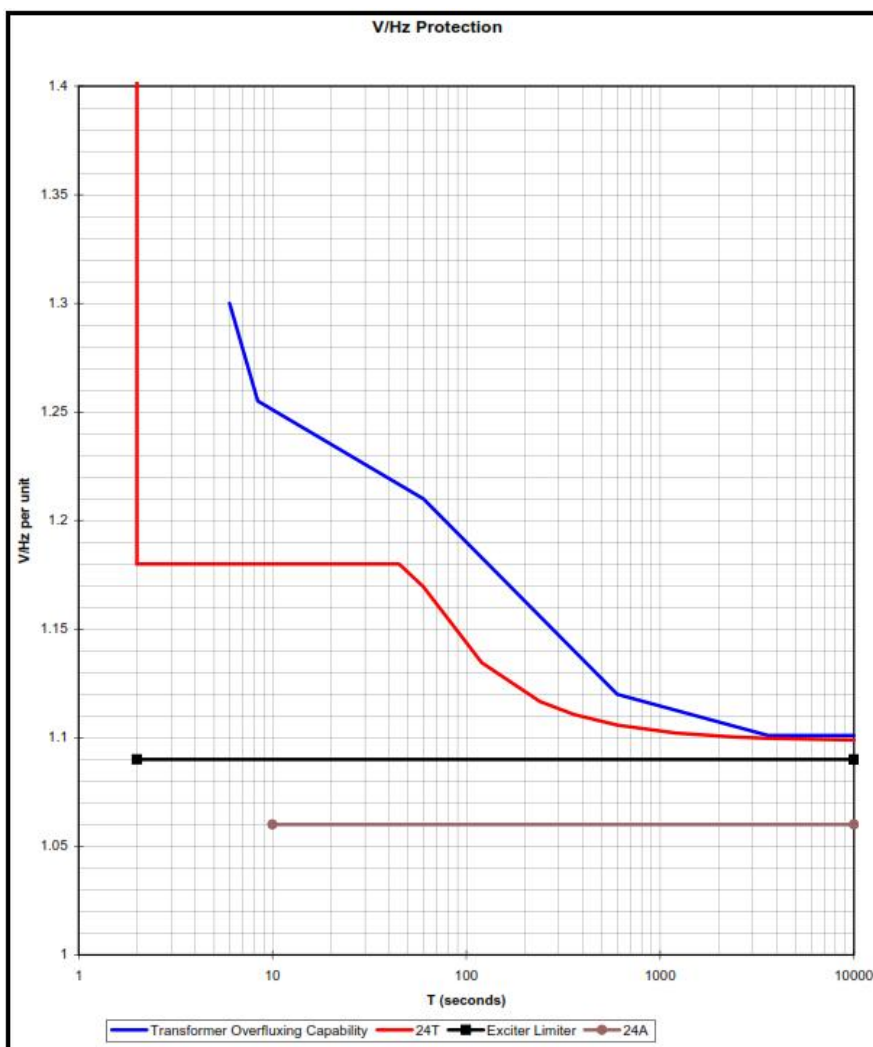


Figura 3.15: Carta de operación de la protección (24) de sobreexcitación

La protección de sobreexcitación mide la relación Volts/Hertz y se puede ajustar con dos niveles de operación: alarma y disparo. En tal sentido, la Tabla 3.5 se presentan los ajustes habilitados.

Tabla 3.5: Ajustes habilitados protección de sobreexcitación, vía Ener Vista

PARAMETER	VOLTS PER HERTZ 1	VOLTS PER HERTZ 2
Function	Enabled	Enabled
Source	LINE (SRC 2)	LINE (SRC 2)
Pickup	1.10 pu	1.18 pu
Curves	Inverse A	Definite Time
TD Multiplier	8.00	2.00
T Reset	600.0 s	600.0 s
Block	SRC2 VT FUSE FAIL OP	SRC2 VT FUSE FAIL OP
Target	Latched	Latched
Events	Enabled	Enabled

Con referencia a los ajustes descritos en la tabla 3.5, según especificaciones de General Electric, el generador es capaz de trabajar con una sobreexcitación de 1.05 veces Volts/Hertz, operando la protección por sobre este valor. La protección posee un ajuste de 1.1 veces Volts/Hertz en 8 segundos para la característica de tiempo inverso, y un ajuste de 1.18 veces Volts/Hertz en 2 segundos para tiempo definido. Por otro lado, la alarma se encuentra seteada en un tanto más arriba (1,06 pu) luego del máximo permitido por General Electric.

3.3.2.2 FUNCIÓN 27P, "PHASE UNDERVOLTAGE-PHASE UV" SUBTENSIÓN

La protección de bajo voltaje (función 27), mide permanentemente la tensión de cada fase con la finalidad de detectar las tensiones que son menores que las del rango normal de operación. En este caso el tiempo de actuación seleccionado es de "tiempo definido" y se activa cuando se supera un umbral previamente calibrado y su operación puede ser instantánea o temporizada. En tal sentido en la Tabla 3.6 se presentan los ajustes habilitados.

Tabla 3.6: Ajustes habilitados protección de subestación, vía Ener Vista

PARAMETER	PHASE UV1	PHASE UV2
Function	Enabled	Enabled
Signal Source	LINE (SRC 2)	LINE (SRC 2)
Mode	Phase to Phase	Phase to Phase
Pickup	0.800 pu	0.750 pu
Curve	Definite Time	Definite Time
Delay	5.00 s	1.50 s
Minimum Voltage	0.100 pu	0.100 pu
Block	BLOCK On (VO5)	BLOCK On (VO5)
Target	Latched	Latched
Events	Enabled	Enabled

Con referencia a los ajustes descritos en la Tabla 3.6, según especificaciones de General Electric, para el generador se ha recomendado un ajuste del 80% de la tensión nominal en los bornes de salida del generador en un tiempo de retardo de 5 segundos. Esta protección se bloqueará en la

puesta en marcha de la central. Así, considerando una relación de T/P de 18000/120 V la tensión nominal a la cual operará la subestación será:

$$V_{pickup\ relé} = 0,8 * 120 = 96\ V$$

$$V_{pickup\ prim} = 96 * \frac{18000}{120} = 14.400\ V$$

3.3.2.3 FUNCIÓN 59P, "PHASE OVERVOLTAGE-PHASE OV", SOBRETENSIÓN

La protección de sobretensión (función 59) mide permanentemente la tensión de cada fase con la finalidad de detectar las tensiones que son mayores que las del rango normal de operación. En este caso el tiempo de actuación seleccionado es de “tiempo definido” y se activa cuando se supera un umbral previamente calibrado y su operación puede ser instantánea o temporizada. En tal sentido, en la Tabla 3.7 se presentan los ajustes habilitados.

Tabla 3.7: Ajustes habilitados protección sobretensión, vía Ener Vista

PARAMETER	PHASE OV1
Function	Enabled
Source	LINE (SRC 2)
Pickup	1.200 pu
Delay	3.00 s
Reset Delay	0.00 s
Block	BLOCK On (VO5)
Target	Latched
Events	Enabled

Con referencia a los ajustes descritos en la Tabla 3.7, según especificaciones de General Electric, se acepta una tensión no superior a 1,2 veces la tensión nominal en bornes del generador.

Por otro lado, la alarma se encuentra seteada antes que opere la protección, a 1,1 veces la tensión en bornes. Así, considerando la relación del T/P, la tensión a la cual operará la sobretensión será:

$$V_{pickup\ relé} = 1,2 * 120 = 144\ V$$

$$V_{pickup\ prim} = 144 * \frac{18000}{120} = 21.600\ V$$

Es así, que en la figura 3.16 se presenta la carta de operación de la protección, donde se verifica, la correcta coordinación entre la función de sobretensión del generador (59G) y la función de sobreexcitación del transformador (24T).

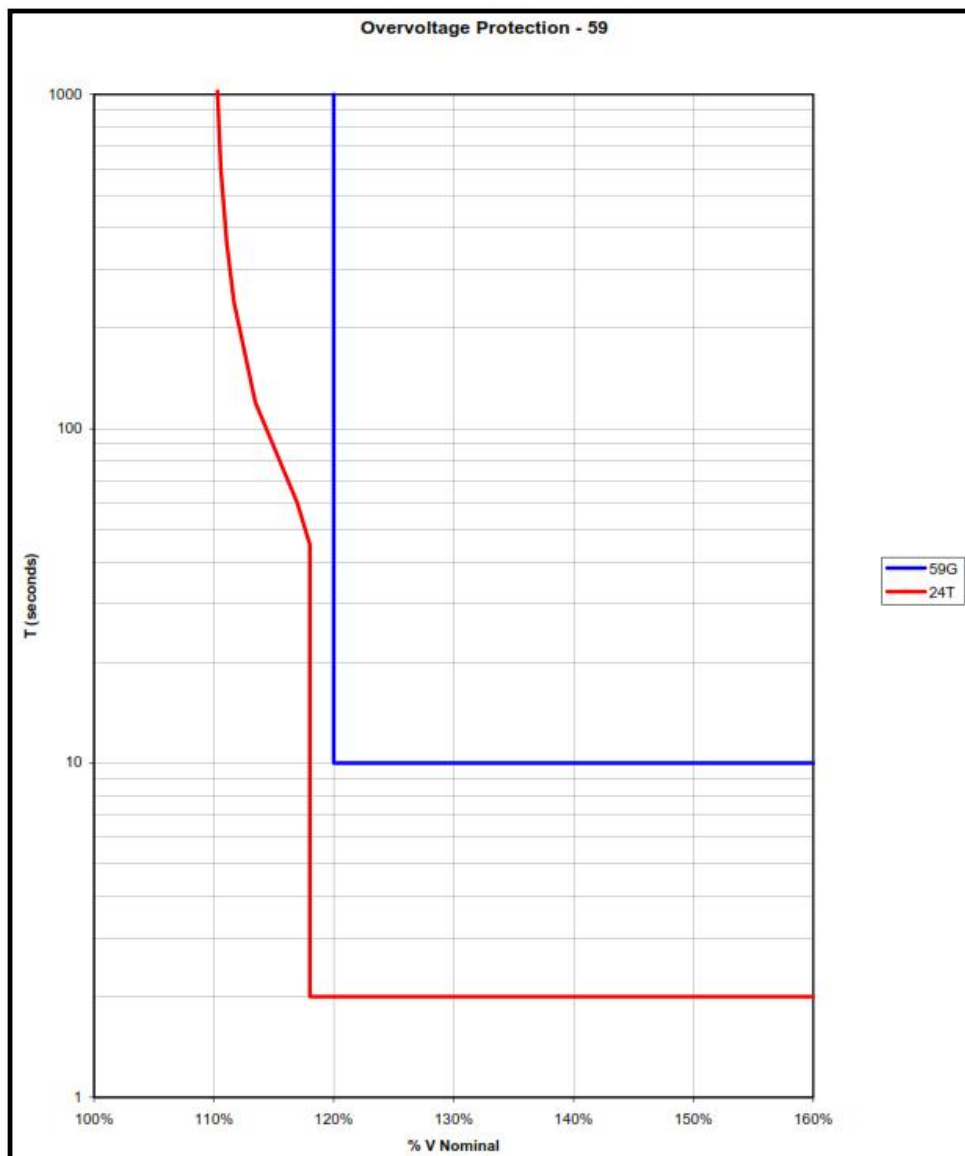


Figura 3.16: Carta de operación de la protección (59) de sobrevoltaje

3.3.2.4 FUNCIÓN 51P, "PHASE TIME OVERCURRENT (PHASE TOC)"

La protección de corriente mide permanentemente la corriente de cada fase con la finalidad de detectar las sobrecorrientes que se puedan producir durante una falla. En tal sentido, en la Tabla 3.8 se presentan los ajustes habilitados.

Con referencia a los ajustes descritos en la Tabla 3.8, según especificaciones de General Electric, esta protección está seteada en un 115% de la corriente nominal para una falla en bornes del generador. Este ajuste proporcionará una selectividad basada en el estado de la capacidad del sistema de excitación para mantener el voltaje en terminales durante condición de falla.

En la siguiente figura 3.17, se presenta la carta de operación de la protección, en la cual se verifica el correcto ajuste de la protección de sobrecarga del estator en relación a la curva característica del límite térmico de los bobinados del estator.

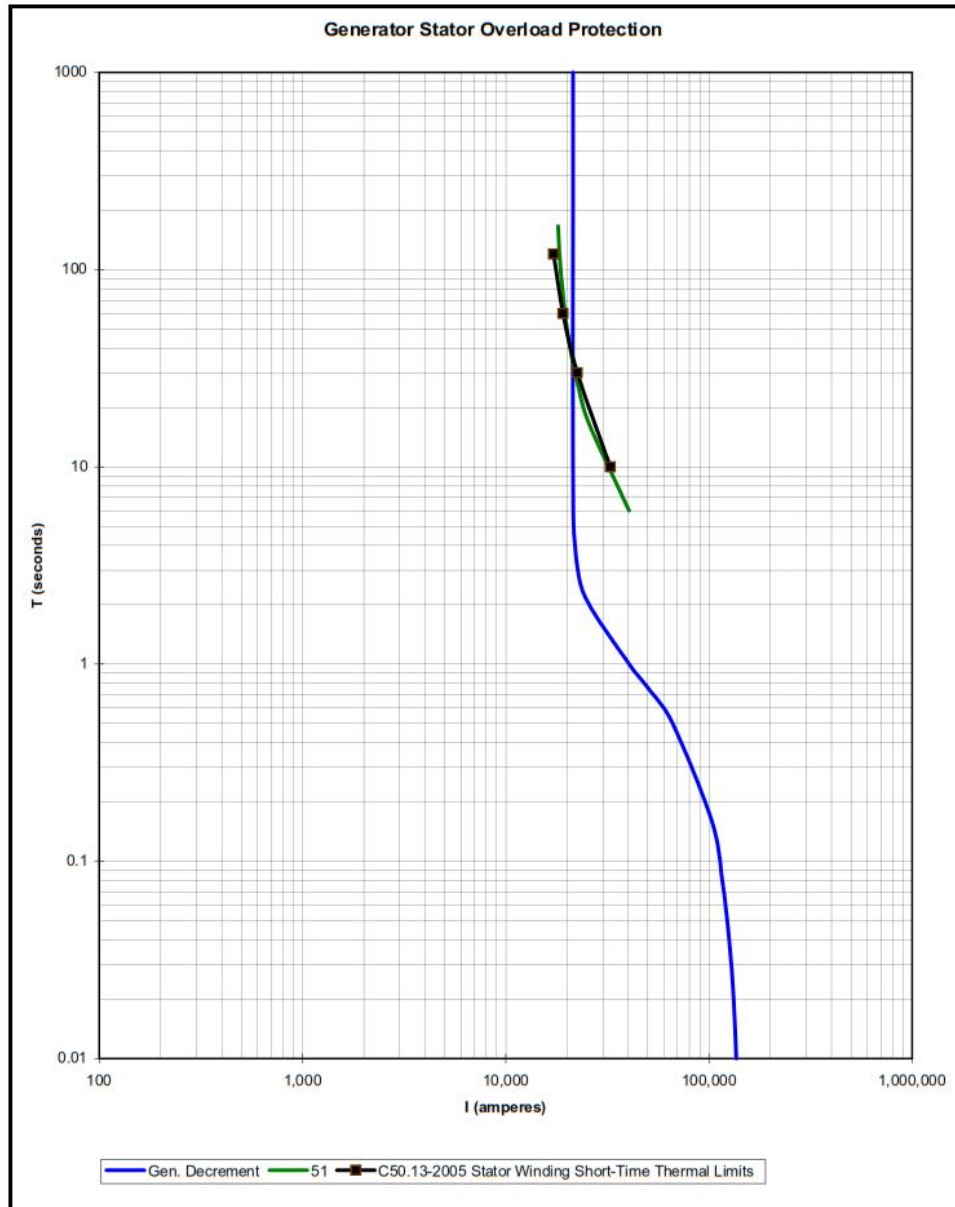


Figura 3.17: Carta de operación de la protección (51P) de sobrecorriente temporizada de fase

Tabla 3.8: Ajustes habilitados protección sobrecorriente temporizada de fase, vía Ener Vista

PARAMETER	PHASE TOC1
Function	Enabled
Signal Source	LINE (SRC 2)
Input	Phasor
Pickup	0.863 pu
Curve	IEC Curve B
TD Multiplier	0.60
Reset	Instantaneous
Voltage Restraint	Disabled
Block A	52G/b On(H7a)
Block B	52G/b On(H7a)
Block C	52G/b On(H7a)
Target	Latched
Events	Enabled

Así, considerando la relación 20000/1 del T/C de fase y la corriente nominal de 15011 A, el ajuste de pickup resulta ser:

$$I_{pickup\text{relé}} = \frac{1,15 \times 15011}{20.000} = 0,863 \text{ A} \quad \text{Corriente en el secundario del TT/CC.}$$

3.3.2.5 FUNCIÓN 81-U/O, "UNDER/OVERFREQUENCY"

Para un generador conectado al sistema de energía, el funcionamiento de frecuencia anormal es el resultado de una falla grave en el sistema. Una unidad aislada o desconectada puede funcionar a baja o alta frecuencia debido al ajuste de control de velocidad inadecuado o al mal funcionamiento del control de velocidad.

Hay dos efectos a considerar. El generador puede tolerar el funcionamiento con una subfrecuencia por largos periodos de tiempo, si la carga y la tensión se reducen lo suficiente. El generador también puede tolerar el funcionamiento a sobrefrecuencia, si la tensión está dentro del rango aceptado.

No se requiere de protección específica para un funcionamiento de frecuencia anormal del generador, sin embargo, la turbina es muy sensible a frecuencias anormales, por lo que deben estudiarse y seguirse cuidadosamente las recomendaciones dadas. En tal sentido, en las Tablas 3.9 y 3.10, se presentan los ajustes habilitados para las protecciones 81U y 81O respectivamente.

Tabla 3.9: Ajustes habilitados protección baja frecuencia, vía Ener Vista

PARAMETER	UNDERFREQUENCY 1	UNDERFREQUENCY 2	UNDERFREQUENCY 3
Function	Enabled	Enabled	Enabled
Block	BLOCK On (VO5)	BLOCK On (VO5)	BLOCK On (VO5)
Source	LINE (SRC 2)	LINE (SRC 2)	LINE (SRC 2)
Min Volt/Amp	0.85 pu	0.85 pu	0.85 pu
Pickup	47.00 Hz	46.50 Hz	46.00 Hz
Pickup Delay	60.000 s	8.000 s	1.000 s
Reset Delay	0.000 s	0.000 s	0.000 s
Target	Latched	Latched	Latched
Events	Enabled	Enabled	Enabled

Tabla 3.10: Ajustes habilitados protección sobre frecuencia, vía Ener Vista

PARAMETER	OVERFREQUENCY 1	OVERFREQUENCY 2	OVERFREQUENCY 3
Function	Enabled	Enabled	Enabled
Block	BLOCK On (VO5)	BLOCK On (VO5)	BLOCK On (VO5)
Source	LINE (SRC 2)	LINE (SRC 2)	LINE (SRC 2)
Pickup	52.50 Hz	53.00 Hz	53.50 Hz
Pickup Delay	60.000 s	8.000 s	1.000 s
Reset Delay	0.000 s	0.000 s	0.000 s
Target	Latched	Latched	Latched
Events	Enabled	Enabled	Enabled

Con referencia a los ajustes descritos en las Tablas 3.9 y 3.10, según especificaciones de General Electric, la configuración de los pickups de la frecuencia se ajusta de acuerdo a los límites de la turbina de vapor, de acuerdo a las recomendaciones descritas en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11: Rangos de frecuencias aceptables, según tipo de exposición

TIEMPO	FRECUENCIA
Ilimitado	47,0 – 52,5 Hz
90 minutos	46,5 – 47,0 / 52,5 – 53,0 Hz
12 minutos	46,0 – 46,5 / 53,0 – 53,5 Hz
1 minuto	45,0 – 46,0 / 53,5 – 55,0 Hz

3.3.2.6 FUNCIÓN 32, "SENSITIVE DIRECTIONAL POWER", PROTECCIÓN DIRECCIONAL DE POTENCIA (POTENCIA INVERSA)

La potencia inversa o motorización de un generador ocurrirá cuando la potencia de la turbina se reduzca a un grado tal, que desarrolle menos pérdidas que aquellas sin carga, mientras el generador sigue en línea. Asumiendo que la excitación es suficiente, el generador funcionará como un motor síncrono que acciona la turbina. El generador no se dañará por la motorización síncrona pero la turbina a vapor puede dañarse debido al sobrecalentamiento.

Se utiliza esta función para sacar la máquina de la línea dando orden de apertura al interruptor de sincronización 52G y en condiciones de trip, para asegurar una potencia mínima al desconectar la

máquina. En tal sentido, en la Tabla 3.12 se presentan los ajustes habilitados para la protección direccional de potencia “32-1” y “32-2” respectivamente.

Tabla 3.12: Ajustes habilitados protección direccional de potencia, vía Ener Vista

PARAMETER	SENS DIR POWER1	SENS DIR POWER2
Function	Enabled	Enabled
Signal Source	LINE (SRC 2)	LINE (SRC 2)
Sensitive Directional Power RCA	180 deg	180 deg
Sensitive Directional Power Calibration	0.00 deg	0.00 deg
Stage 1 SMIN	0.002 pu	0.002 pu
Stage 1 Delay	3.00 s	30.00 s
Stage 2 SMIN	0.002 pu	0.002 pu
Stage 2 Delay	3.00 s	30.00 s
Block	32-1 BLOCK On (VO8)	BLOCK On (VO5)
Target	Latched	Latched
Events	Enabled	Enabled

Con referencia a los ajustes descritos en la Tabla 3.12, según especificaciones de General Electric, el ajuste de pickup para la protección 32-1 y 32-2 deberá ser de un 0,4% de la potencia nominal del generador.

- La función 32-1 será supervisado por el relé “33STX” (relé indicador de posición válvulas turbina) y es utilizado para una parada secuencial de máquina una vez estando sincronizada. Esta función operará abriendo el interruptor 52G, si la potencia llega a un valor de 1,3923MW (0,35%*397,8MW), que en por unidad será 0,002 pu (1,3923MW/623,5MW), durante un tiempo de 3 segundos.
- La función 32-2 actuará como la protección anti-motoreo de la turbina. Ante un motoreo real de la turbina si se mantiene una potencia de 1,3923MW durante 30 segundos, opera la protección 32-2 abriendo el interruptor 52G.
- Tanto las funciones 32-1 y 32-2 están desactivadas durante el proceso de sincronización lo cual posibilita la estabilización de las corrientes y las tensiones sin producir disparos intempestivos.

3.4 PROTECCIÓN DE FALLA INERNA DEL INTERRUPTOR DELGENERADOR UR-C60

El interruptor del generador o Circuit Breaker de la central Santa María I, posee dos protecciones del tipo Multilin, de la serie UR de General Electric G.E. El relé UR C60, es un relé destinado a la protección de Interruptores de generadores y puede ser configurado con un máximo de cuatro entradas trifásicas de corriente y cuatro entradas de corriente de tierra, y pueden satisfacer

aplicaciones con devanados de los transformadores conectados entre dos interruptores u otras configuraciones. Las funciones de protección seleccionadas se describen en la figura 3.18.

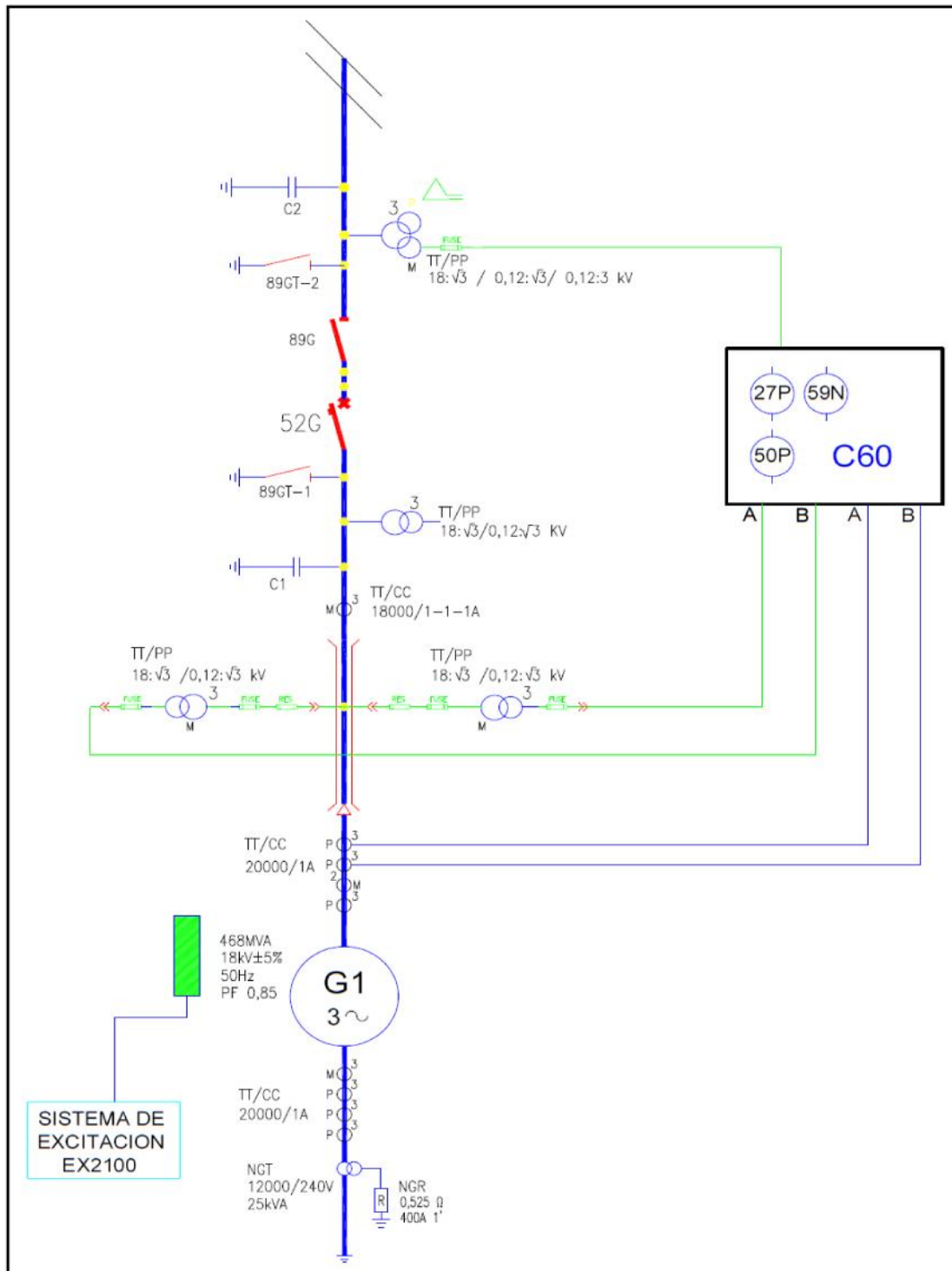


Figura 3.18: Relé UR-C60, funciones de protección en estudio

El elemento de sobrecorriente instantánea de fase es el dispositivo de protección principal en el C60, incluyendo además, protección por sobre tensión en el neutro, bajo voltaje, secuencia negativa. La función de sobre corriente de fase ofrece varias formas de curvas Flex Curves para una óptima coordinación de las protecciones. También proporciona reconexión automática, chequeo de sincronización, y representa un localizador de fallas de línea.

Las características de diagnóstico incluyen un registrador de eventos los que se pueden programar (a través de ecuaciones Flex Logic) para activar la captura de datos de oscilograma y puede ser configurado para grabar los parámetros medidos antes y después del evento.

En la figura 3.19, se presenta el diagrama de línea de la protección C60, en el que se muestran las funciones de protección que abarca el relé, cuya nomenclatura se basa en los números ANSI, que se detallan en Anexo “D”.

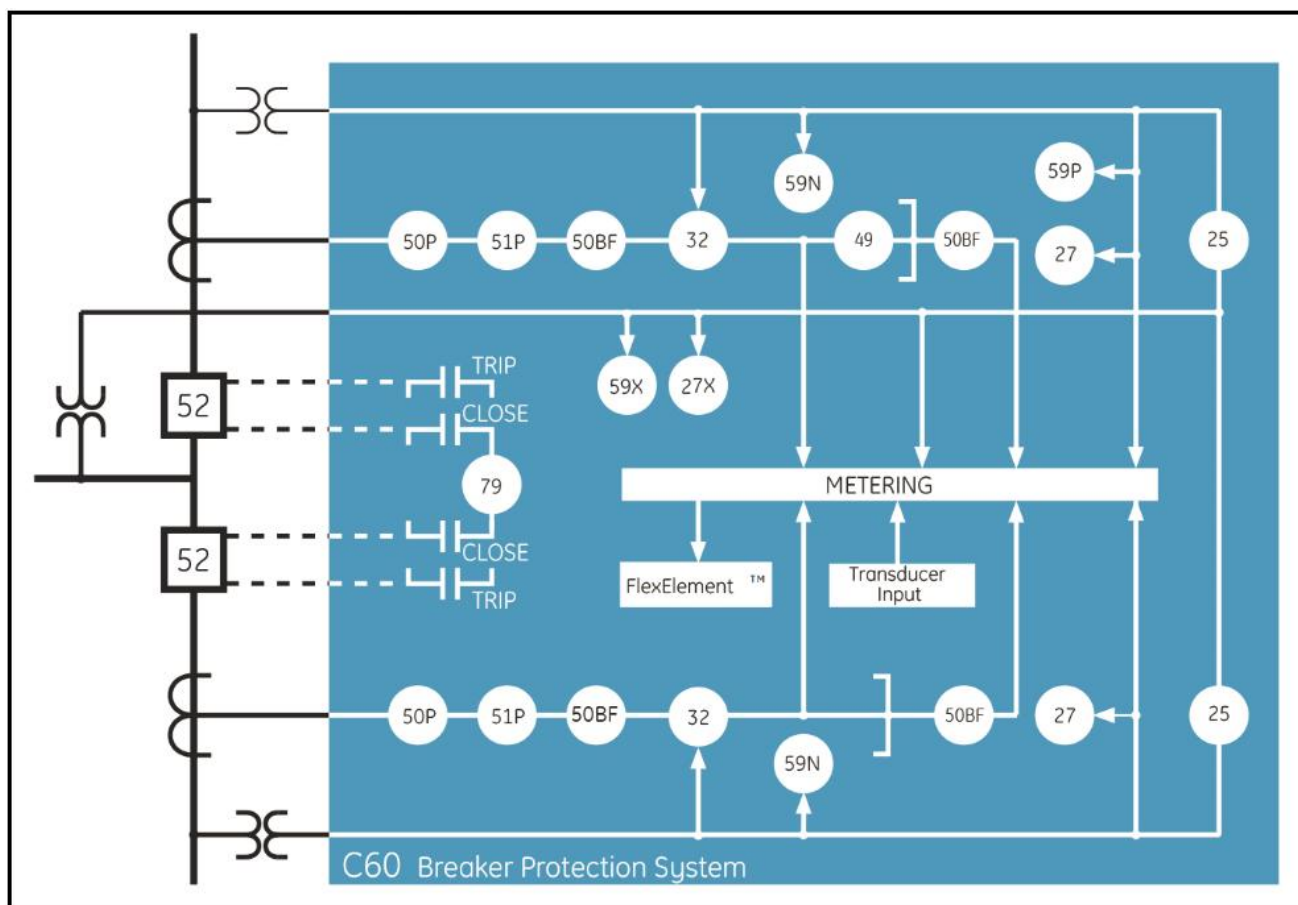


Figura 3.19: Diagrama funcional del Relé UR-C60

3.4.1 FUNCIONES ACTIVAS DEL RELÉ UR-C60 INTERRUPTOR PRINCIPAL

Como se ha descrito en el apartado 3.4, el relé C60, dentro de sus potencialidades, posee una gran cantidad de funciones de protección que el programador tiene a su disposición para usarlos según la aplicación existente y los requerimientos del fabricante. Es por esto que, una vez extraídos los datos de programación, se ha realizado un estudio de las funciones de protección “activas” programadas en este relé de tal forma de conocer sus ajustes para su posterior análisis.

Las funciones activas utilizadas para la protección del interruptor principal se detallan en Anexo “D”.

En la figura 3.20, aparecen representadas las funciones activas del relé C60, vistas desde el programa Ener Vista en el menú "Protection Summary".

GROUPED ELEMENTS	TB1	TB2	TB3	TB4	TB5	TB6	GROUP	GROUP	GROUP	GROUP	GROUP
Phase IOC 1											
Phase IOC 2											
Phase UV 1											
Neutral OV 1											
Neutral OV 2											
CONTROL ELEMENTS	TB1	TB2	TB3	TB4	TB5	TB6	STATUS				

Figura 3.20: Funciones activas del relé UR-C60

Otra herramienta que poseen los relés UR es el editor Flex Logic, el cual permite la programación de las lógicas de operación del equipo. Es una herramienta que muestra de forma gráfica la lógica implementada en el relé y permite ver las funciones de protección activas en la programación. Para esto se detalla en Anexo “F”, el diagrama Flex Logic activo en el relé C60.

3.4.2 ANÁLISIS DE LAS FUNCIONES DE PROTECCIÓN RELÉ UR-C60 INTERRUPTOR PRINCIPAL

En este estudio se detallan los ajustes sugeridos como fabricante para cada una de las funciones de protección del relé C60. Debido a la cantidad de funciones que posee este relé se han seleccionado las funciones más relevantes desde el punto de vista eléctrico, para ser analizadas en esta parte del capítulo.

3.4.2.1 FUNCIÓN 50P "PHASE IOC"

La protección de corriente mide permanentemente la corriente de cada fase con la finalidad de detectar sobrecorrientes que se puedan producir durante una falla. En tal sentido, en la Tabla 3.13 se presenta el ajuste habilitado para las protección 50.

Tabla 3.13: Ajustes habilitados protección 50 sobrecorriente instantánea de fase, vía Ener Vista

PARAMETER	PHASE IOC1	PHASE IOC2
Function	Enabled	Enabled
Source	GEN (SRC 1)	GEN (SRC 1)
Pickup	0.150 pu	0.200 pu
Delay	0.00 s	0.00 s
Reset Delay	0.00 s	0.00 s
Block A	IBF Off(H7c)	52G/a On(H7a)
Block B	IBF Off(H7c)	52G/a On(H7a)
Block C	IBF Off(H7c)	52G/a On(H7a)
Target	Disabled	Disabled
Events	Enabled	Enabled

Con referencia a los ajustes descritos en la Tabla 3.13 el ajuste se ha realizado de acuerdo a las especificaciones de General Electric.

3.4.2.2 FUNCIÓN 27P, "PHASE UNDERVOLTAGE-PHASE UV"

La protección de bajo voltaje, mide permanentemente la tensión de cada fase con la finalidad de detectar las tensiones que son menores que las del rango normal de operación. En éste caso el tiempo de actuación seleccionado es de "tiempo definido" y se activa cuando se supera un umbral previamente calibrado y su operación puede ser instantánea o temporizada. En tal sentido en la Tabla 3.14 se presentan los ajustes habilitados.

Tabla 3.14: Ajustes habilitados protección de subestación, vía Ener Vista

PARAMETER	PHASE UV1
Function	Enabled
Signal Source	GEN (SRC 1)
Mode	Phase to Ground
Pickup	0.500 pu
Curve	Definite Time
Delay	0.00 s
Minimum Voltage	0.000 pu
Block	SRC1 VT FUSE FAIL OP
Target	Disabled
Events	Disabled

Con referencia a los ajustes descritos en la Tabla 3.14, según especificaciones de General Electric, para el generador se ha recomendado un ajuste del 50% de la tensión nominal en los

bornes de salida del generador en un tiempo de retardo de 0 segundos. Esta protección se bloqueará en la puesta en marcha de la central. Así, considerando una relación del T/P de 18000/120 V, la tensión nominal a la cual operará la subestación será:

$$V_{pickup\ relé} = 0,5 * 120 = 60\ V$$

$$V_{pickup\ prim} = 60 * \frac{18000}{120} = 9.000\ V$$

3.4.2.3 FUNCIÓN 59N, "NEUTRAL OVERVOLTAGE – NEUTRAL OV", SOBRETENSIÓN

La protección de sobretensión (función 59) mide permanentemente la tensión del neutro con la finalidad de detectar si la tensión es mayor a la del rango normal de operación. En éste caso el tiempo de actuación seleccionado es de “tiempo definido” y se activa cuando se supera un umbral previamente calibrado y su operación puede ser instantánea o temporizada. En tal sentido, en la Tabla 3.15 se presentan los ajustes habilitados.

Tabla 3.15: Ajustes habilitados protección sobretensión, vía Ener Vista

PARAMETER	NEUTRAL OV 1	NEUTRAL OV 2
Function	Enabled	Enabled
Source	BUS (SRC 2)	BUS (SRC 2)
Pickup	0.072 pu	0.072 pu
Curve	Definite Time	Definite Time
Pickup Delay	0.00 s	6.00 s
Reset Delay	0.00 s	1.00 s
Block	OFF	OFF
Target	Disabled	Latched
Events	Enabled	Disabled

Con referencia a los ajustes descritos en la Tabla 3.15, según especificaciones de General Electric, se acepta una tensión menor que 0,072 veces la tensión nominal en bornes del generador. Así, la tensión a la cual operará la sobretensión será:

$$V_{pickup\ relé} = 0,072 * 120 = 2,064\ V$$

$$V_{pickup\ prim} = 2,064 * \frac{18000}{120} = 309,6\ V$$

3.5 COMUNICACIÓN Y EXTRACCIÓN DE DATA RELÉ UR-G60/T60/C60

Para lograr la comunicación con los relés en terreno y extraer la "Data" de los ajustes de programación actualizados, es necesario utilizar el software "Ener Vista Launch Pad".

Al comunicarse con el relé es posible extraer la información de programación y sus ajustes. La forma de comunicación utilizada es a través del puerto RS232 del panel frontal o posterior del relé según sea su versión. En la figura 3.21 se presenta una comunicación vía puerto frontal. Para comunicarse vía el puerto RS232, se necesita un cable RS232/USB.



Figura 3.21: Comunicación del relé, vía puerto RS232

Para ver el procedimiento de extracción de la "Data" del relé UR-G60 y T60, visitar Anexo "G", al final de este documento.

CAPÍTULO IV: ESTUDIO DE PROTECCIONES

4.1 FUNDAMENTOS

Los dispositivos de protección son elementos destinados a detectar condiciones anómalas de funcionamiento en las redes eléctricas, para disminuir las consecuencias que éstos tengan, tanto para las personas, como para la red eléctrica.

En la actualidad los dispositivos de protección tienen la obligación de ser especialmente selectivos y rápidos en la detección de condiciones anómalas de funcionamiento, por lo tanto el desarrollo de estos elementos de protección se ha concentrado en desarrollar dispositivos capaces de detectar más de un parámetro a la vez.

Para obtener una buena coordinación de las protecciones es necesario cumplir con el requisito de selectividad. La selectividad se consigue por medio de dispositivos de protección automáticos debidamente ajustados, en donde, al ocurrir una condición de falla en cualquier punto de la instalación, ésta es eliminada por el dispositivo de protección situado inmediatamente aguas arriba de la falla, de forma que no se vean afectados todos los demás dispositivos de protección.

Para verificar la coordinación de las protecciones UR-G60, T60 y C60, se utiliza el software ETAP, que es una herramienta de análisis y control para el diseño, simulación y operación de sistemas de potencia eléctricos de generación, distribución y escenarios industriales.

Con el propósito de verificar la operación de la protección, para las funciones de sobrecorriente de fase y residual, se ingresan los ajustes recomendados por General Electric e indicados en el capítulo III de este documento.

Con referencia al diagrama unilineal simplificado de la figura 2.26, en la figura 4.1 se presenta el diagrama unilineal equivalente empleando el software ETAP.

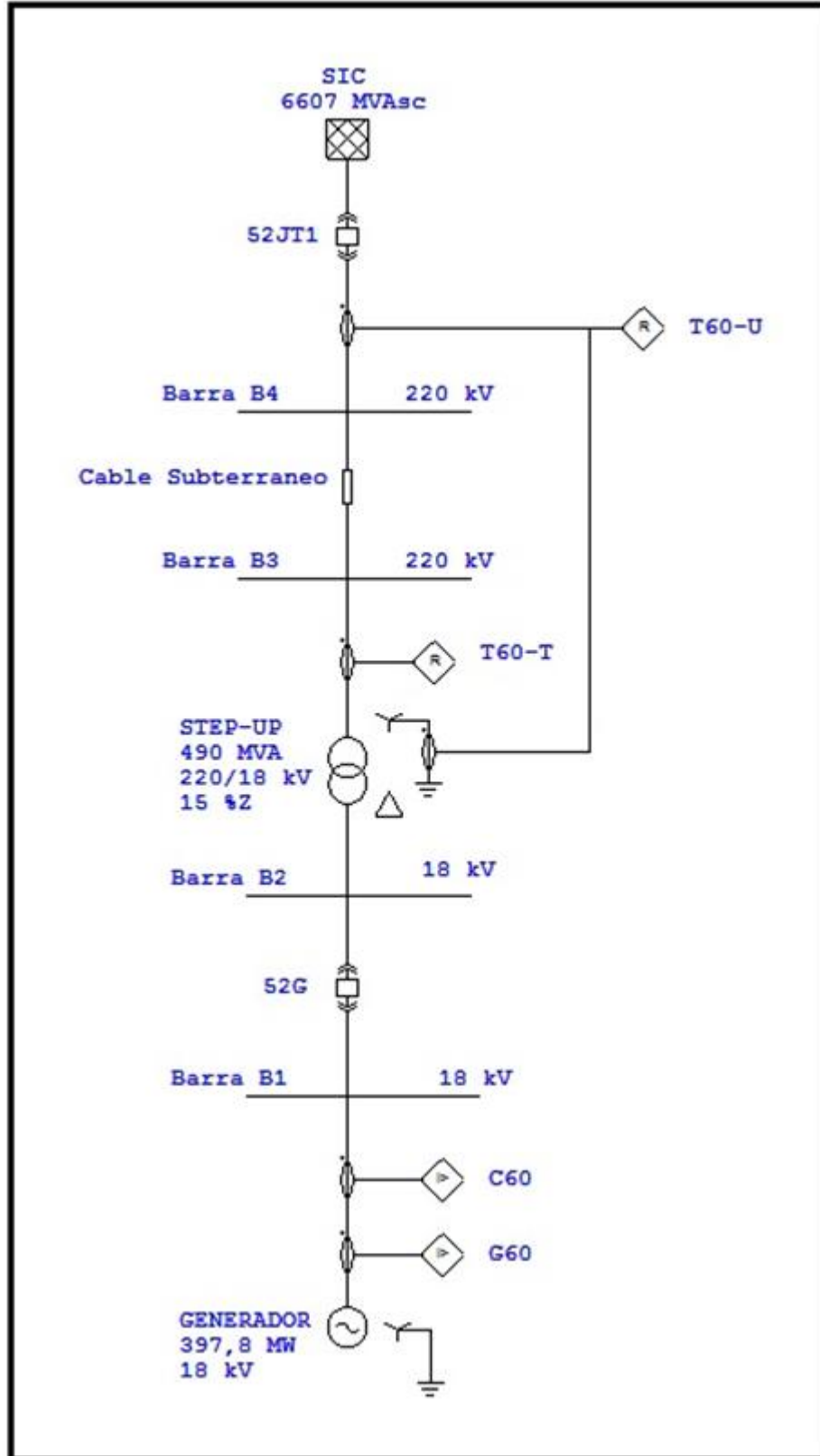


Figura 4.1: Diagrama unilineal equivalente en ETAP

4.2 CÁLCULO DE CORTOCIRCUITO TRIFÁSICO SEGÚN NORMA IEC

Dos son los estándares comúnmente utilizados en el cálculo de cortocircuito en sistemas eléctricos, ANSI/IEEE e IEC, esta última es utilizada, en la medida en que arroja valores más aproximados a la realidad, es por esta razón que se realiza el estudio de cortocircuito ante falla trifásica en las 4 barras del esquema eléctrico de la central térmica Santa María.

Para el desarrollo del cálculo se emplea una potencia base de 100 MVA, y el esquema eléctrico se divide en 2 zonas de acuerdo a la tensión a la cual se encuentre sometida.

Así, en la figura 4.2 se presenta un diagrama unilineal de impedancia donde se indican las zonas a estudio.

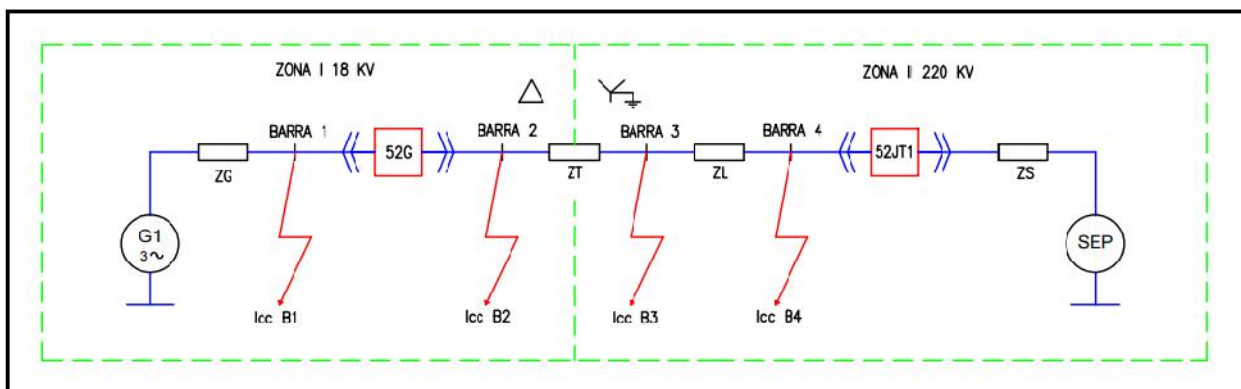


Figura 4.2: Diagrama unilineal de impedancia y zonas de estudio.

Para los estudios de cortocircuito en sistemas eléctricos de potencia, es importante conocer el efecto que producen las máquinas eléctricas de poder, para ello la norma IEC utiliza un factor de corrección denominado factor “C”, el cual a la hora de calcular la corriente de cortocircuito se logra que los valores calculados sean muchos más precisos, ya que incorpora parámetros que se aproximan a un valor real.

Se introduce un factor “C” para tener en cuenta las variaciones de tensión, además de los cambios eventuales en las conexiones de los transformadores y el comportamiento subtransitorio de los generadores y motores.

Esto aplicado a la fuente de voltaje equivalente del circuito, el cual considera lo siguiente:

- Se pueden ignorar las cargas estáticas.

- Los taps de los transformadores se encuentran en la posición nominal.
- La excitación de los generadores es un dato que se puede ignorar.
- Todas las máquinas sincrónicas o asincrónicas se representan por sus impedancias internas.
- Todas las capacitancias de la línea y las cargas estáticas se desprecian, excepto para aquellas que intervienen en el sistema de secuencia cero.

Así en la Tabla 4.1, se presenta el valor del factor de voltaje “C” para los cálculos de corriente de cortocircuito para fallas máximas y mínimas según la norma IEC 60909.

Tabla 4.1: Factor de voltaje “C” para cálculos de corriente de cortocircuito máximas y mínimas.

VOLTAJE NOMINAL U_n	FACTOR DE VOLTAJE C	
	Para el cálculo de la máxima corriente de cortocircuito C_{max}	Para el cálculo de la mínima corriente de cortocircuito C_{min}
Bajos voltajes: 100 a 1000 V 230 / 400 V	1.00	0.95
Otros Voltajes	1.05	1.00
Voltaje Medio: > 1 a 35 kV	1.10	1.00
Alto Voltaje: > 35 a 230 kV	1.10	1.00

Los aportes de corriente del SEP ante un cortocircuito en las barras B4 y B3, no se ven afectadas por ninguna máquina de poder (transformador y generador, que son las máquinas que existen en el sistema eléctrico en estudio), es por esto que el factor “C” no se aplica a los aportes de corrientes del SEP ante un cortocircuito en las barras mencionadas. En cambio los aportes de corriente que van desde el generador ante un cortocircuito en las barras B4 y B3, si se ven afectadas por máquinas de poder y es por ello que se aplica el factor “C”.

Por otro lado, el factor “C”, es utilizado en los aportes de corriente del SEP y generador ante un cortocircuito en las barras B2 y B1, debido a que estas corrientes son afectadas por máquinas de poder.

4.2.1 CÁLCULOS DE IMPEDANCIAS Y CORRIENTES BASE POR ZONA

Considerando los valores de tensión de cada zona, en la zona I en 18 kV, los valores de impedancia y corriente base son:

$$Z_{Base1} = \frac{(V_{Base1})^2}{S_{Base}} = \frac{(18 * 10^3)^2}{100 * 10^6} = 3,24 (\Omega)$$

$$I_{Base1} = \frac{S_{Base}}{\sqrt{3} * V_{Base1}} = \frac{100 * 10^6}{\sqrt{3} * 18 * 10^3} = 3207,50 (A)$$

Para la zona II en 220 kV, los valores de impedancia y corriente base son:

$$Z_{Base2} = \frac{(V_{Base2})^2}{S_{Base}} = \frac{(220 * 10^3)^2}{100 * 10^6} = 484 (\Omega)$$

$$I_{Base2} = \frac{S_{Base}}{\sqrt{3} * V_{Base2}} = \frac{100 * 10^6}{\sqrt{3} * 220 * 10^3} = 262,43 (A)$$

4.2.2 CÁLCULOS DE IMPEDANCIAS EN POR UNIDAD

4.2.2.1 IMPEDANCIA DEL GENERADOR

Utilizando los parámetros del fabricante y la siguiente expresión.

$$Z_{G \text{ Base propia}} = R_G + jx_d'' (\text{pu})$$

Dónde:

R_G = Resistencia del generador en por unidad.

jx_d'' = Reactancia subtransitoria del generador en por unidad

El valor de resistencia del generador en base propia es:

$$R_{G \text{ Base propia}} = 0,05 * x_d'' = 0,05 * 0,195 = 0,00975 (\text{pu})$$

Finalmente el valor de impedancia del generador en base propia es:

$$Z_{G \text{ Base propia}} = 0,00975 + j0,195 = 0,195 \angle 87,13^\circ (\text{pu})$$

Considerando la potencia base definida para el sistema, el nuevo valor de impedancia para el generador queda determinado por:

$$Z_{GBasenueva} = Z_{GBasepropia} * \left(\frac{S_{Basenuevo}}{S_{Baseantiguo}} \right) * \left(\frac{V_{Antiguo}}{V_{Nuevo}} \right)^2 \text{ (pu)}$$

$$Z_{GBasenueva} = 0,195 * \left(\frac{100 * 10^6}{468 * 10^6} \right) * \left(\frac{18 * 10^3}{18 * 10^3} \right)^2 = 0,00208 + j0,04161 \text{ (pu)}$$

$$Z_{GBasenueva} = 0,04166 \angle 87,137^\circ \text{ (pu)}$$

4.2.2.2 IMPEDANCIA DEL TRANSFORMADOR

Utilizando los parámetros del fabricante y la siguiente expresión:

$$Z_{T \text{ Base propia}} = \frac{Z_T \%}{100} \text{ (pu)}$$

Dónde:

$Z_T \%$ = Impedancia porcentual del transformador

El valor de la impedancia del transformador en base propia es:

$$Z_{T \text{ Base propia}} = \frac{15}{100} = 0,15 \text{ (pu)}$$

Considerando la potencia base definida para el sistema, el nuevo valor de impedancia para el transformador queda determinada por:

$$Z_{T \text{ Base nueva}} = Z_{T \text{ Base propia}} * \left(\frac{S_{Base nuevo}}{S_{Base antiguo}} \right) * \left(\frac{V_{Antiguo}}{V_{Nuevo}} \right)^2 \text{ (pu)}$$

$$Z_{T \text{ Basenueva}} = 0,15 * \left(\frac{100 * 10^6}{490 * 10^6} \right) * \left(\frac{18 * 10^3}{18 * 10^3} \right)^2 = 0,03061 \text{ (pu)}$$

$$\phi = \arctang \frac{X}{R} = \arctang (74,993) = 89,236^\circ$$

$$Z_{T \text{ Base nueva}} = 0,03061 \angle 89,236^\circ \text{ (pu)}$$

4.2.2.3 IMPEDANCIA DE LA LÍNEA

Utilizando los parámetros del fabricante (data sheet del fabricante) y la distancia del conductor, es posible obtener la impedancia de la línea.

$$Z_L = 0,011 + j0,217 (\Omega/\text{Km})$$

Considerando una longitud de 50 mts, la impedancia del conductor será:

$$Z_L = (0,011 + j0,217) * 0,05 = 0,0005 + j0,01085 (\Omega)$$

Considerando la potencia base definida para el sistema, el nuevo valor de impedancia para la línea queda determinada por.

$$Z_{L \text{ Base nueva}} = \frac{Z_L}{Z_{Base2}} = \frac{0,0005 + j0,01085}{484} = 0,0000011 + j0,00002241 (\text{pu})$$

$$Z_{L \text{ Base nueva}} = 0,00002 \angle 87,098^\circ (\text{pu})$$

4.2.2.4 IMPEDANCIA DEL SEP

Utilizando los parámetros de potencia de cortocircuito y relación X/R del SEP, es posible obtener la impedancia del sistema en relación a la potencia base asignada para el estudio mediante la expresión.

$$Z_{S \text{ Base nueva}} = \frac{S_{Base}}{MVA_{ICC3\phi}} = \frac{100 * 10^6}{6607 * 10^6} (\text{pu})$$

$$Z_{S \text{ Base nueva}} (\text{pu}) = 0,00072 + j0,01512 = 0,015135 \angle 87,27^\circ (\text{pu})$$

4.2.3 CÁLCULO DE CORTOCIRCUITO TRIFÁSICO EN BARRAS

4.2.3.1 CORTOCIRCUITO TRIFÁSICO EN BARRA B4

Según el diagrama de impedancias de la figura 4.2, el cortocircuito trifásico en la barra B4 corresponde al punto de unión del cable subterráneo de alta tensión y el SEP. Así, la corriente de cortocircuito trifásica aportada por el SEP en la barra B4:

$$I_{CCSEP B4} = \frac{1}{Z_S} * I_{Base2} (A)$$

$$I_{CCSEP B4} = \frac{1}{0,015135} * 262,43 = 17,339 \angle -87,27^\circ (KA)$$

La corriente de cortocircuito trifásica aportada por el generador en la barra B4:

$$I_{CCGEN B4} = \frac{1}{(Z_G + Z_T + Z_L)} * C * I_{Base2} (A)$$

$$I_{CCGENB4} = \frac{1}{(0,0416666 \angle 87,137^\circ + 0,03061 \angle 89,236^\circ + 0,00002446 \angle 87,098^\circ)} * 1,1 * 262,43 (A)$$

$$I_{CCGENB4} = 3,993 \angle -88,02^\circ (KA)$$

4.2.3.2 CORTOCIRCUITO TRIFÁSICO EN BARRA B3

Según el diagrama de impedancias de la figura 4.2, el cortocircuito trifásico en la barra B3 corresponde al punto de unión del transformador Step- Up y cable subterráneo de alta tensión. Así, la corriente de cortocircuito trifásica aportada por el SEP en la barra B3:

$$I_{CCSEPB3} = \frac{1}{(Z_L + Z_S)} * I_{Base2} (A)$$

$$I_{CCSEPB3} = \frac{1}{(0,00002446 \angle 87,098^\circ + 0,015135 \angle 87,27^\circ)} * 262,43 (A)$$

$$I_{CCSEPB3} = 17,314 \angle -87,27^\circ (KA)$$

La corriente de cortocircuito trifásica aportada por el generador en la barra B3:

$$I_{CCGENB3} = \frac{1}{(Z_G + Z_T)} * C * I_{Base2} (A)$$

$$I_{CCGENB3} = \frac{1}{(0,0416666 \angle 87,137^\circ + 0,03061 \angle 89,236^\circ)} * 1,1 * 262,43 (A)$$

$$I_{CCGENB3} = 3,973 \angle -88,02^\circ (KA)$$

4.2.3.3 CORTOCIRCUITO TRIFÁSICO EN BARRAS B1 Y B2

Según el diagrama de impedancias de la figura 4.2, los cortocircuitos trifásicos en las barras B1 y B2 corresponden a los puntos de unión del generador, interruptor del generador “52G” y transformador Step- Up respectivamente.

Según el diagrama de impedancias de la figura 4.2, el cortocircuito trifásico en las barras B1 y B2 es considerado del mismo valor de corriente ya que no se incorpora una impedancia entre ambos puntos.

$$I_{CCB1-B2} = \frac{1}{Z_G // (Z_T + Z_L + Z_S)} * C * I_{Base1} (A)$$

$$I_{CCB3} = \frac{1}{0,0416666 \angle 87,137^\circ // (0,03061 \angle 89,236^\circ + 0,00002446 \angle 87,098^\circ + 0,015135 \angle 87,27^\circ)} * 1,1 * 3207,501 (A)$$

$$I_{CC\ B1-B2} = 161,775L - 87,82^\circ (KA)$$

Por otro lado los aportes desde el SEP y generador serán $77,101L - 87,14^\circ(kA)$ y $84,679L - 88,58^\circ (kA)$ respectivamente.

4.3 VERIFICACIÓN DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES

Con el fin de verificar la coordinación de protección, se utiliza el software ETAP, en el cual se construye el diagrama unilineal con cada uno de los componentes del SEP y sus características constructivas y ajustes.

Una vez creado el unilineal en ETAP, el paso siguiente es evaluar el comportamiento de las protecciones ante una falla en las diferentes barras del SEP. A continuación, se presenta el comportamiento de las protecciones ante las fallas definidas, con el fin de visualizar el orden de apertura del circuito por parte de los elementos de protección.

Cabe destacar que para los propósitos del estudio, sólo se analizan la operación y coordinación de las protecciones para falla trifásica y monofásica a tierra. Dado que el interruptor principal del transformador T1 recibe señales de trip de dos relés distintos (relé T60-T y relé T60-U), para identificar el relé que da orden de apertura, se representan y analizan las protecciones considerando en forma ficticia la presencia de dos interruptores independientes, igual situación se aplica al interruptor del generador.

Para el análisis de las protecciones frente a una falla monofásica a tierra, se utilizan los datos de secuencia cero propuestos por ETAP para transformador y generador. Por otro lado la impedancia de secuencia cero del empalme, se estima en base a datos proporcionados por la empresa.

4.3.1 COORDINACIÓN DE PROTECCIONES ANTE FALLA TRIFÁSICA

4.3.1.1 ANÁLISIS DE COORDINACIÓN EN BARRA B4

Frente a una falla trifásica en la barra B4, en la figura 4.3 se presentan los aportes de corrientes asociados.

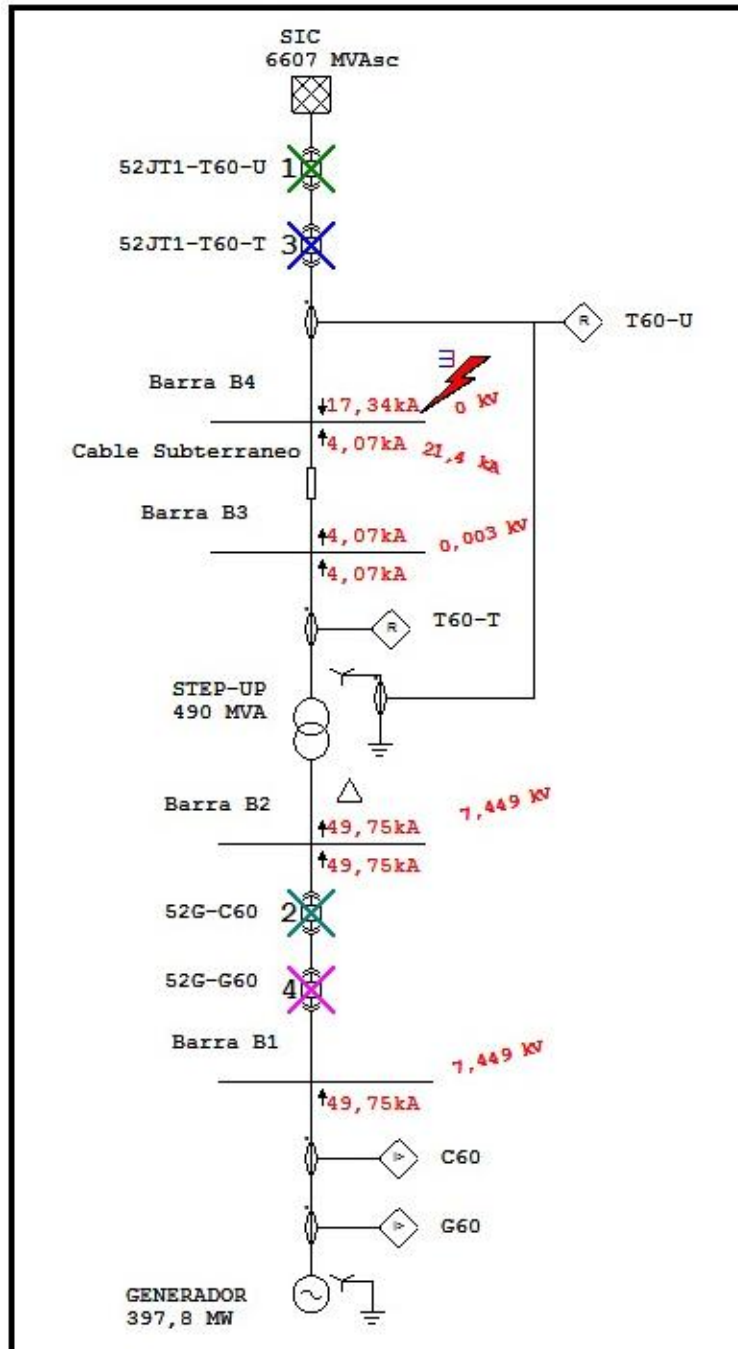


Figura 4.3: Comportamiento de las protecciones ante falla trifásica en la barra B4

Con la figura 4.3 se puede corroborar que los valores calculados en forma teórica considerando los aportes del SEP y generador, son similares a los valores que arroja el software ETAP.

Es así, que en la Tabla 4.2 se presenta el informe de secuencia de operación de los dispositivos involucrados y sus respectivos tiempos de operación, entregados por el software ETAP.

Tabla 4.2: Secuencia de operación ante falla trifásica en barra B4

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
0,0	C60	49,751	0,0		Phase - OC1 - 50
0,0	T60-U	17,339	0,0		Phase - OC1 - 50
22,0	52JT1-T60-U		22,0		Tripped by T60-U Phase - OC1 - 50
67,0	52G-C60		67,0		Tripped by C60 Phase - OC1 - 50
2201	T60-T	4,071	2201		Phase - OC1 - 51
2223	52JT1-T60-T		22,0		Tripped by T60-T Phase - OC1 - 51
4303	G60	49,751	4303		Phase - OC1 - 51
4370	52G-G60		67,0		Tripped by G60 Phase - OC1 - 51

Con referencia a la información descrita en la Tabla 4.2, se verifica la secuencia de operación de apertura del circuito, siendo en primer lugar el interruptor 52JT1, mediante el relé T60-U y la función 50 “Phase IOC”, y en segundo lugar el interruptor 52G, mediante el relé C60 y la función 50 “Phase IOC”. No obstante lo anterior, además se verifican tiempos de respaldo especialmente altos, situación que se recomienda sea revisada por la central.

A modo de visualizar la situación anterior, en la figura 4.4 se presenta la curva tiempo – corriente de los elementos de protección existentes en el sistema eléctrico.

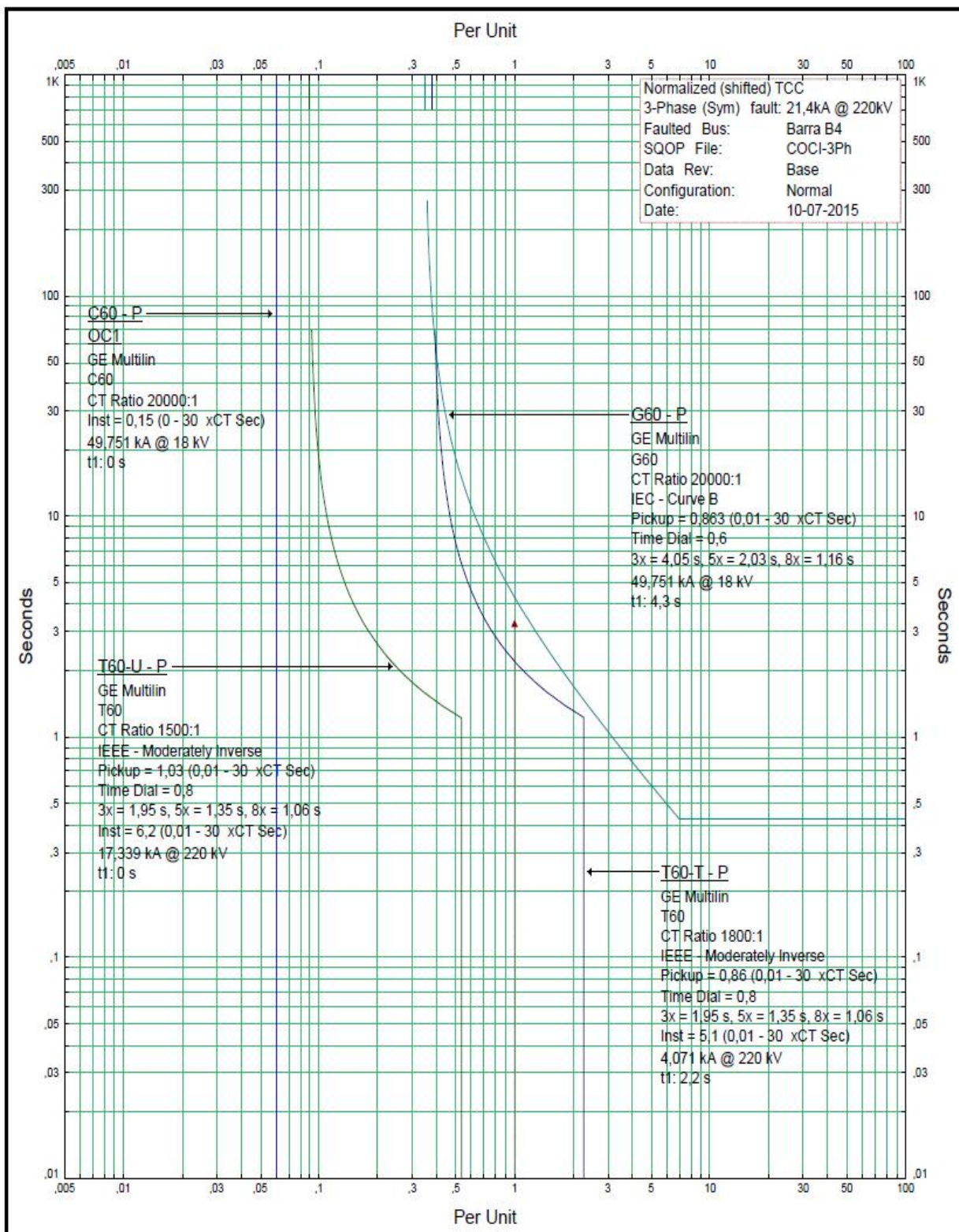


Figura 4.4: Curva tiempo – corriente ante falla trifásica en barra B4

4.3.1.2 ANÁLISIS DE COORDINACIÓN EN BARRA B3

Frente a una falla trifásica en la barra B3, en la figura 4.5 se presentan los aportes de corrientes asociados.

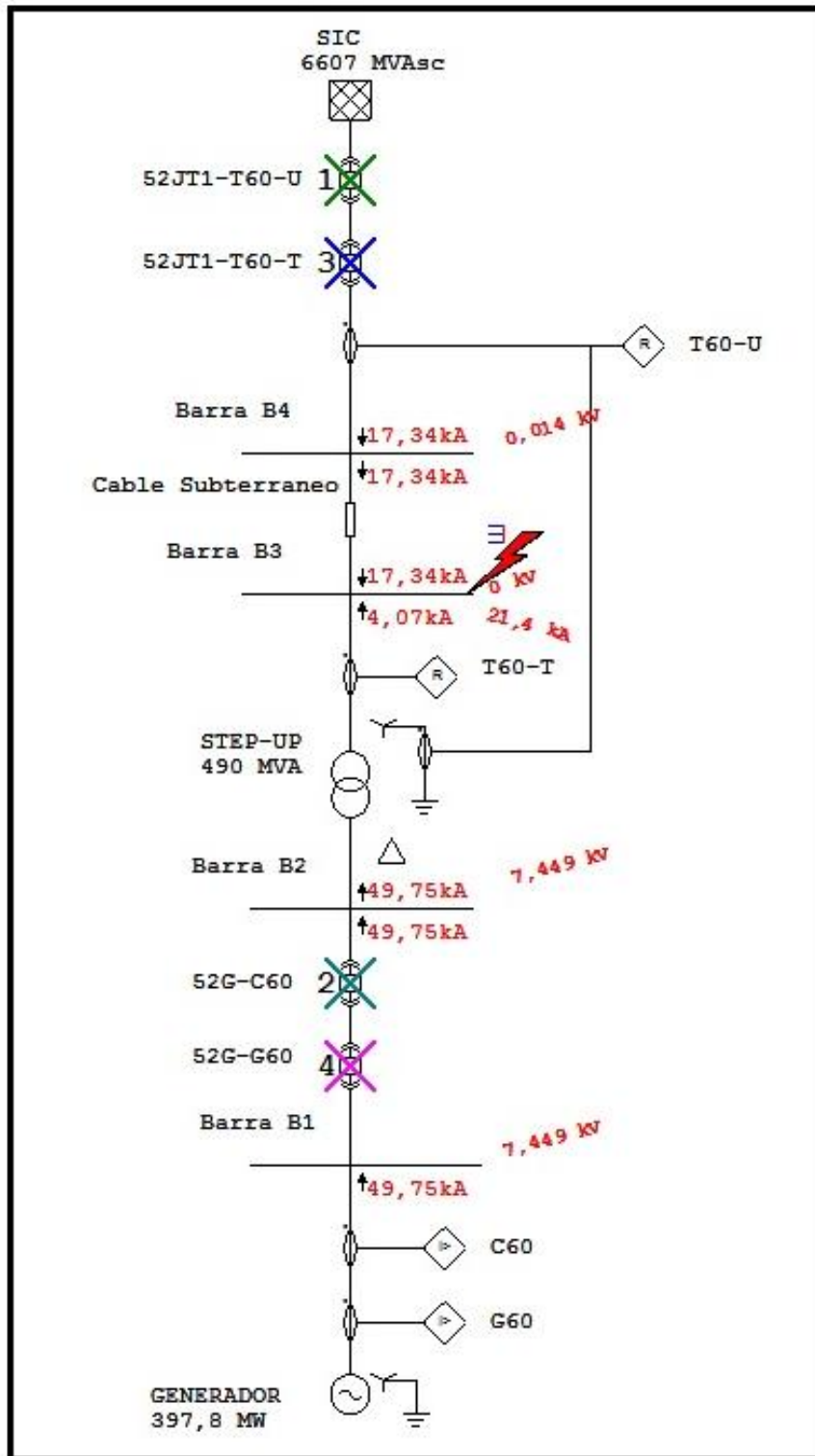


Figura 4.5: Comportamiento de las protecciones ante falla trifásica en la barra B3

Con la figura 4.5 se puede corroborar que los valores calculados en forma teórica considerando los aportes del SEP y generador, son similares a los valores que arroja el software ETAP.

Es así, que en la Tabla 4.3 se presenta el informe de secuencia de operación de los dispositivos involucrados y sus respectivos tiempos de operación, entregados por el software ETAP.

Tabla 4.3: Secuencia de operación ante falla trifásica en barra B3

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
0,0	C60	49,752	0,0		Phase - OC1 - 50
0,0	T60-U	17,338	0,0		Phase - OC1 - 50
22,0	52JT1-T60-U		22,0		Tripped by T60-U Phase - OC1 - 50
67,0	52G-C60		67,0		Tripped by C60 Phase - OC1 - 50
2201	T60-T	4,071	2201		Phase - OC1 - 51
2223	52JT1-T60-T		22,0		Tripped by T60-T Phase - OC1 - 51
4303	G60	49,752	4303		Phase - OC1 - 51
4370	52G-G60		67,0		Tripped by G60 Phase - OC1 - 51

Con referencia a la información descrita en la Tabla 4.3, se verifica la secuencia de operación de apertura del circuito, siendo en primer lugar el interruptor 52JT1, mediante el relé T60-U y la función 50 “Phase IOC”, y en segundo lugar el interruptor 52G, mediante el relé C60 y la función 50 “PhaseIOC”. No obstante lo anterior, además se verifican tiempos de respaldo especialmente altos, situación que se recomienda sea revisada por la central.

A modo de visualizar la situación anterior, en la figura 4.6 se presenta la curva tiempo – corriente de los elementos de protección existentes en el sistema eléctrico.

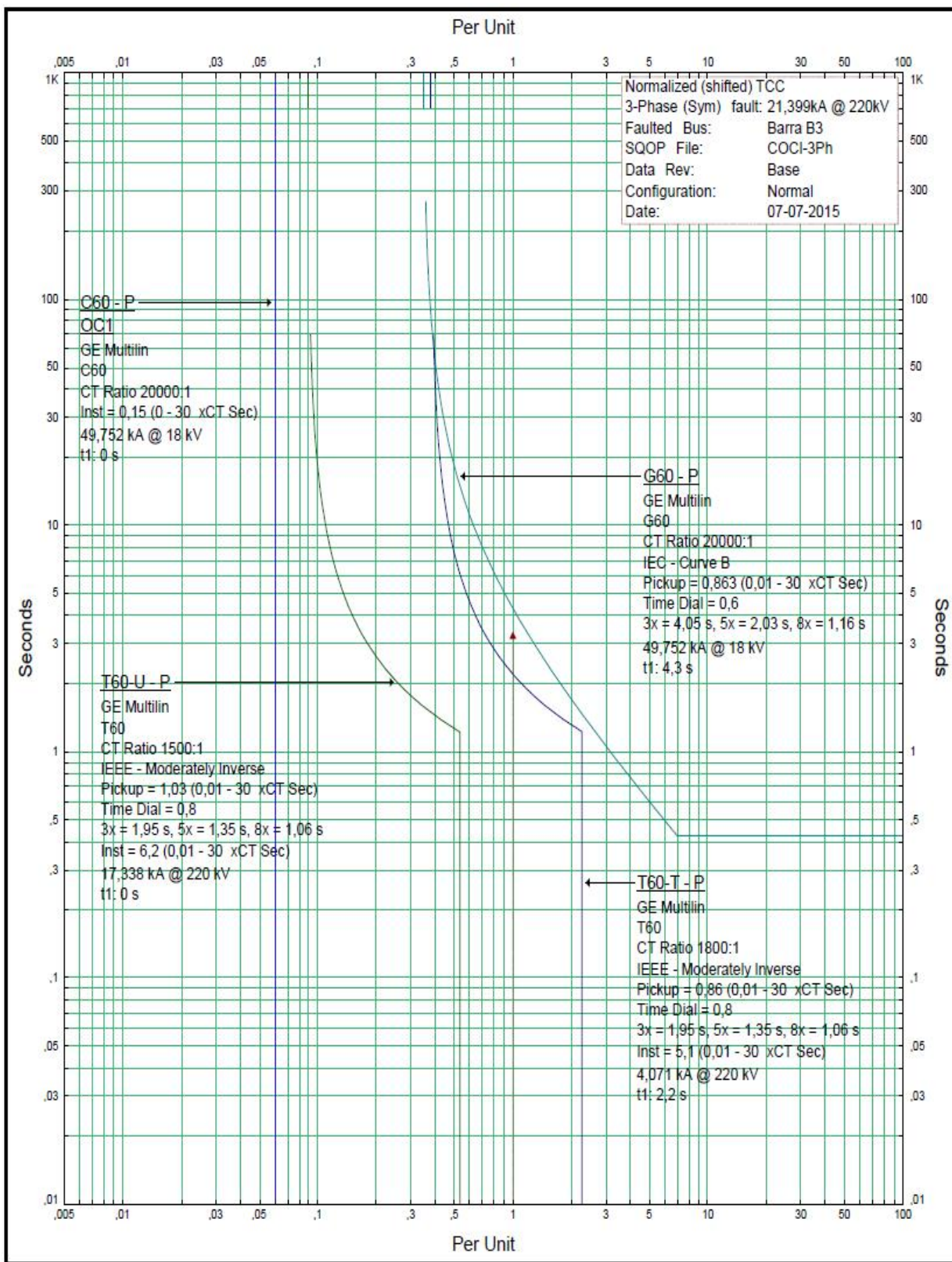


Figura 4.6: Curva tiempo – corriente ante falla trifásica en barra B3

4.3.1.3 ANÁLISIS DE COORDINACIÓN EN BARRA B2

Frente a una falla trifásica en la barra B2, en la figura 4.7 se presentan los aportes de corrientes asociados.

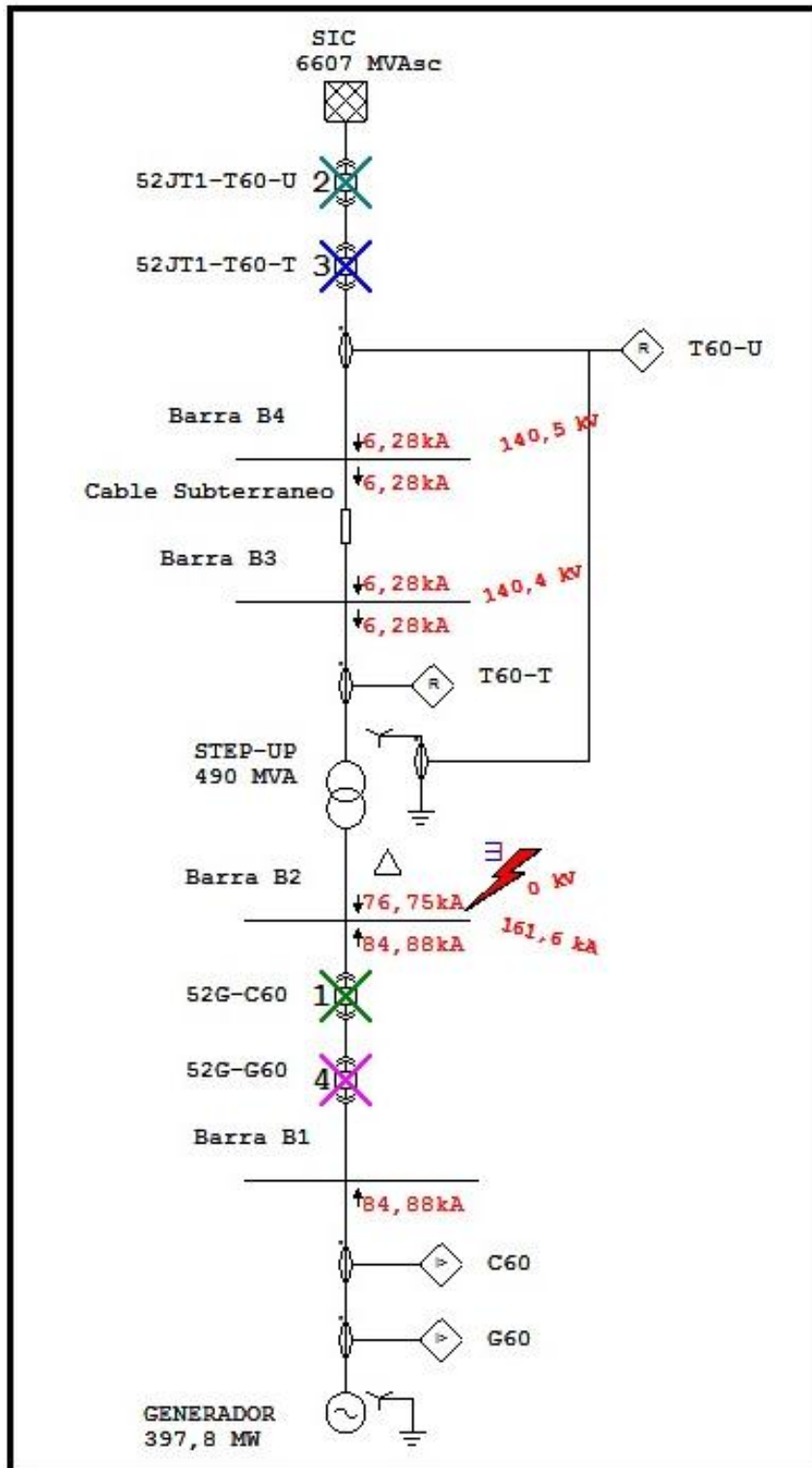
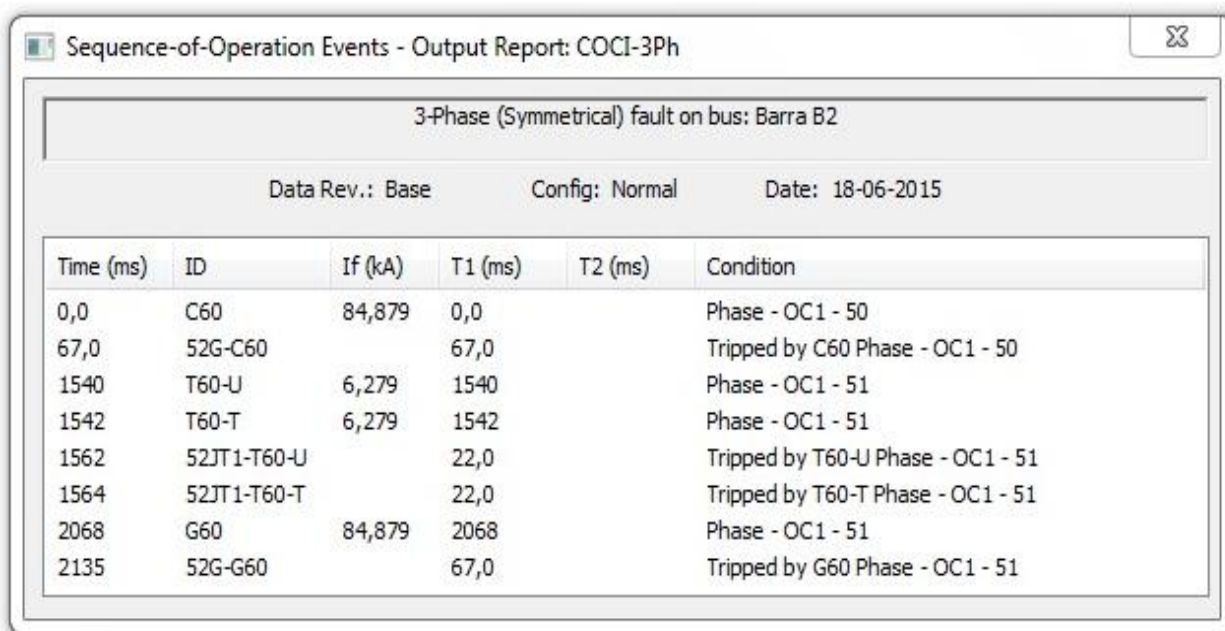


Figura 4.7: Comportamiento de las protecciones ante falla trifásica en la barra B2

Con la figura 4.7 se puede corroborar que los valores calculados en forma teórica considerando los aportes del SEP y generador, son similares a los valores que arroja el software ETAP.

Es así, que en la Tabla 4.4 se presenta el informe de secuencia de operación de los dispositivos involucrados y sus respectivos tiempos de operación, entregados por el software ETAP.

Tabla 4.4: Secuencia de operación ante falla trifásica en barra B2



Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
0,0	C60	84,879	0,0		Phase - OC1 - 50
67,0	52G-C60		67,0		Tripped by C60 Phase - OC1 - 50
1540	T60-U	6,279	1540		Phase - OC1 - 51
1542	T60-T	6,279	1542		Phase - OC1 - 51
1562	52JT1-T60-U		22,0		Tripped by T60-U Phase - OC1 - 51
1564	52JT1-T60-T		22,0		Tripped by T60-T Phase - OC1 - 51
2068	G60	84,879	2068		Phase - OC1 - 51
2135	52G-G60		67,0		Tripped by G60 Phase - OC1 - 51

Con referencia a la información descrita en la Tabla 4.4, se verifica la secuencia de operación de apertura del circuito, siendo en primer lugar el interruptor 52G, mediante el relé C60 y la función 50 “Phase IOC”, y en segundo lugar el interruptor 52JT1 mediante el relé T60-U y la función 51 “Phase TOC”. No obstante lo anterior, además se verifican tiempos de respaldo especialmente altos, situación que se recomienda ser revisada por la central.

A modo de visualizar la situación anterior, en la figura 4.8 se presenta la curva tiempo – corriente de los elementos de protección existentes en el sistema eléctrico.

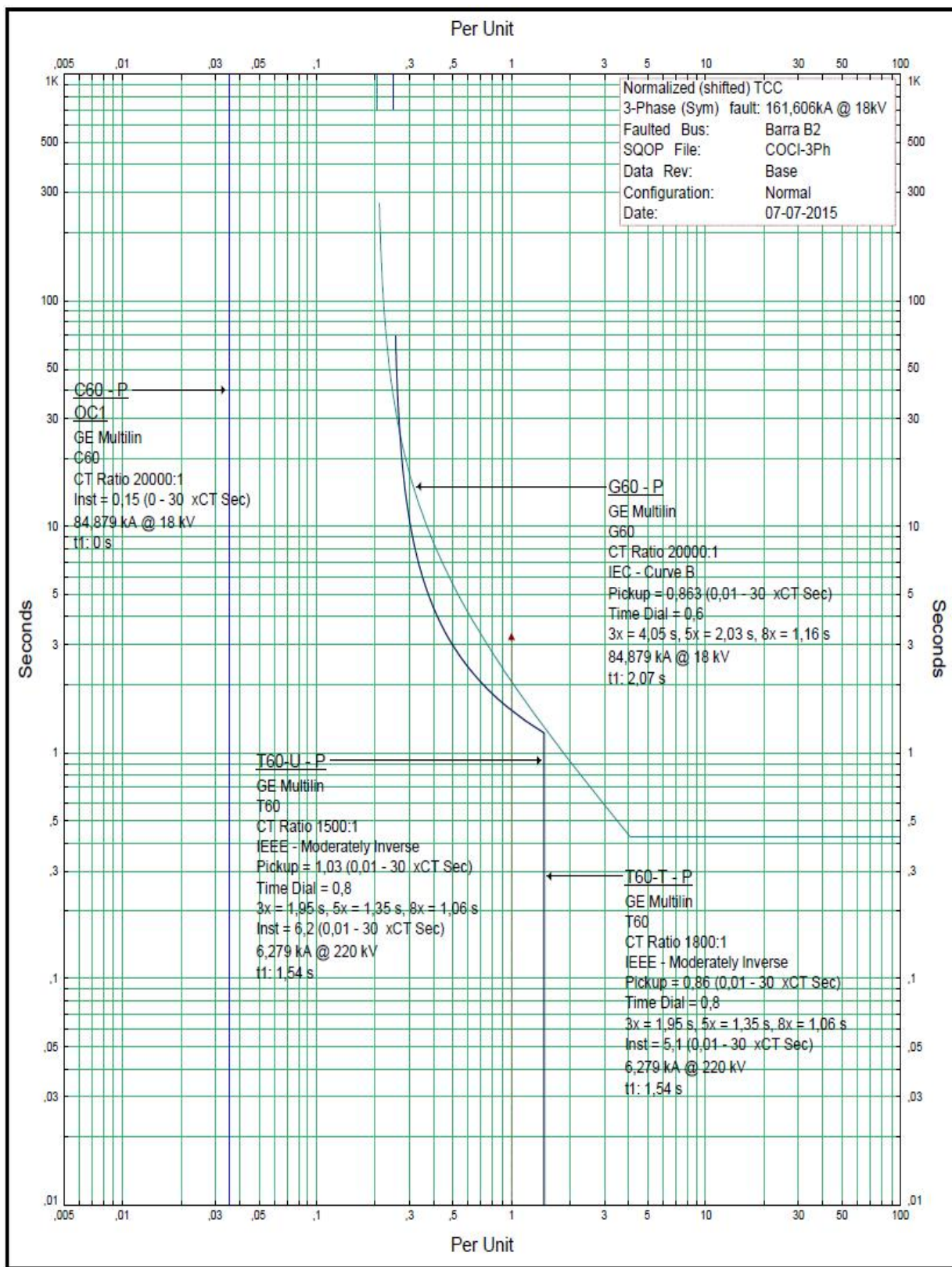


Figura 4.8: Curva tiempo – corriente ante falla trifásica en barra B2

4.3.1.4 ANÁLISIS DE COORDINACIÓN EN BARRA B1

Frente a una falla trifásica en la barra B1, en la figura 4.9 se presentan los aportes de corrientes asociados.

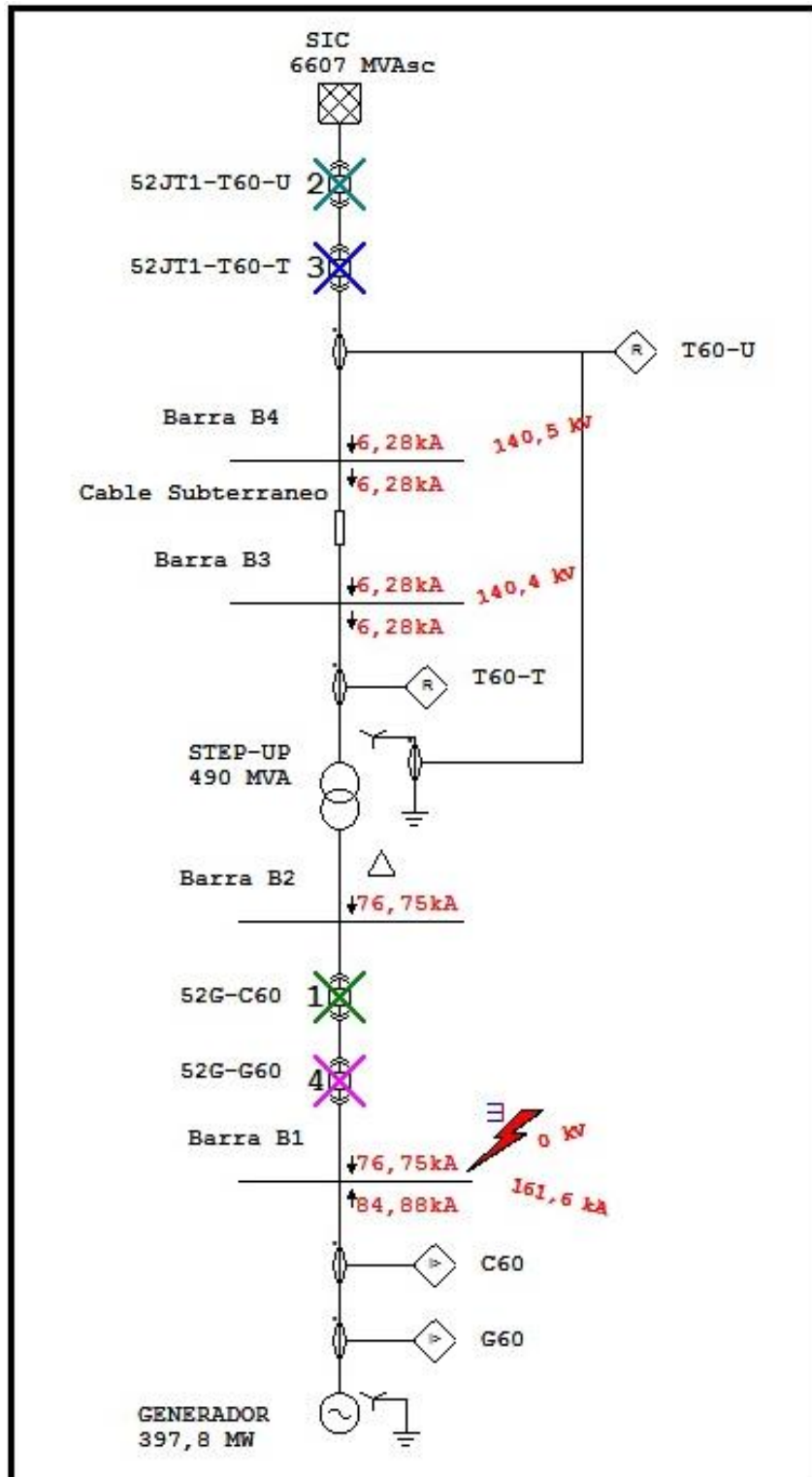


Figura 4.9: Comportamiento de las protecciones ante falla trifásica en la barra B1

Con la figura 4.9 se puede corroborar que los valores calculados en forma teórica considerando los aportes del SEP y generador, son similares a los valores que arroja el software ETAP.

Es así, que en la Tabla 4.5 se presenta el informe de secuencia de operación de los dispositivos involucrados y sus respectivos tiempos de operación, entregados por el software ETAP.

Tabla 4.5: Secuencia de operación ante falla trifásica en barra B1

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
0,0	C60	84,879	0,0		Phase - OC1 - 50
67,0	52G-C60		67,0		Tripped by C60 Phase - OC1 - 50
1540	T60-U	6,279	1540		Phase - OC1 - 51
1542	T60-T	6,279	1542		Phase - OC1 - 51
1562	52JT1-T60-U		22,0		Tripped by T60-U Phase - OC1 - 51
1564	52JT1-T60-T		22,0		Tripped by T60-T Phase - OC1 - 51
2068	G60	84,879	2068		Phase - OC1 - 51
2135	52G-G60		67,0		Tripped by G60 Phase - OC1 - 51

Con referencia a la información descrita en la Tabla 4.5, se verifica la secuencia de operación de apertura del circuito, siendo en primer lugar el interruptor 52G, mediante el relé C60 y la función 50 “Phase IOC”. No obstante lo anterior, además se verifican tiempos de respaldo especialmente altos, situación que se recomienda ser revisada por la central.

A modo de visualizar la situación anterior, en la figura 4.10 se presenta la curva tiempo – corriente de los elementos de protección existentes en el sistema eléctrico.

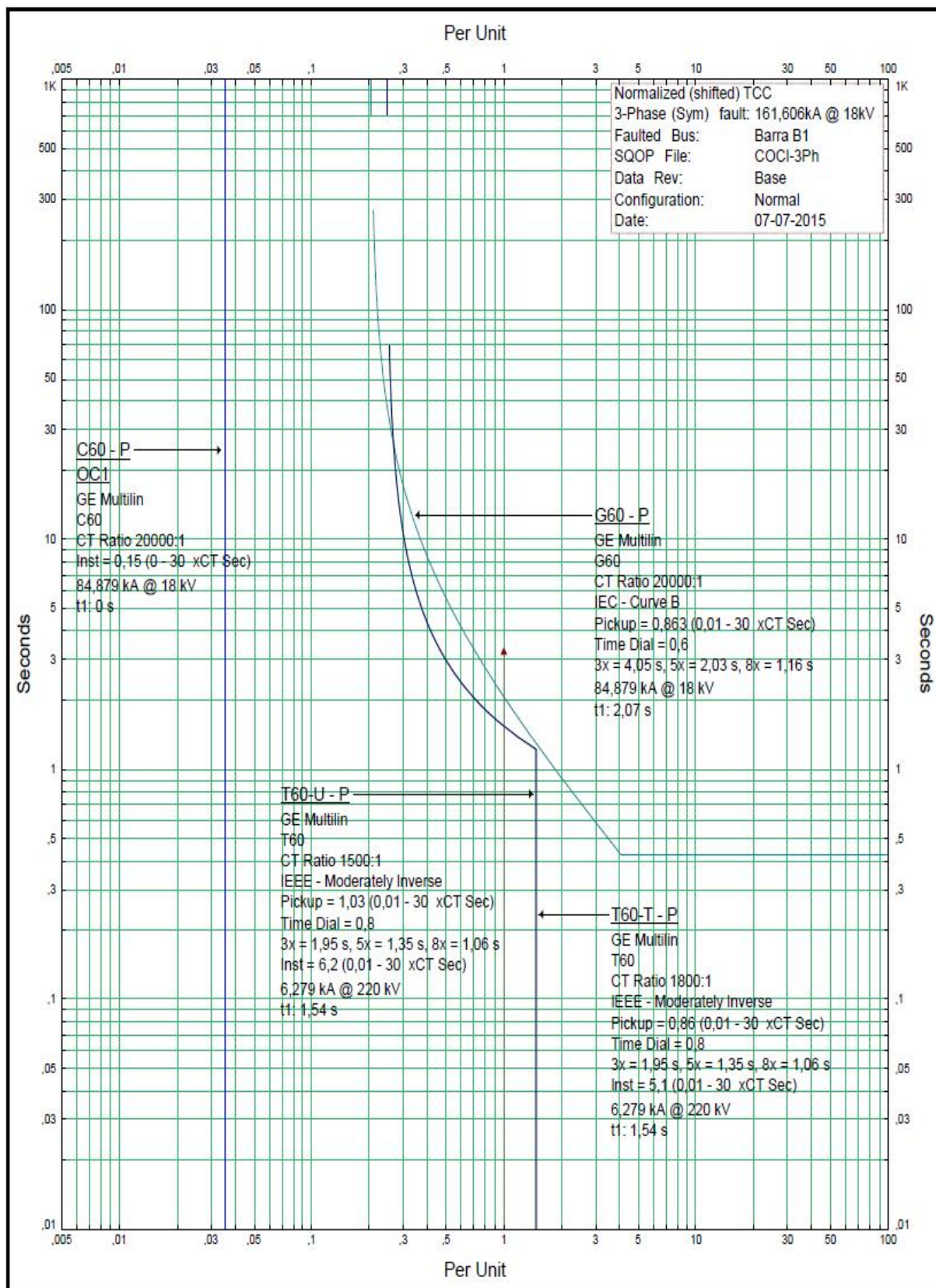


Figura 4.10: Curva tiempo – corriente ante falla trifásica en barra B1

4.3.2 COORDINACIÓN DE PROTECCIONES ANTE FALLA MONOFÁSICA A TIERRA

4.3.2.1 ANÁLISIS DE COORDINACIÓN EN BARRA B4

Frente a una falla monofásica a tierra en la barra B4, en la figura 4.11 se presentan los aportes de corrientes asociados.

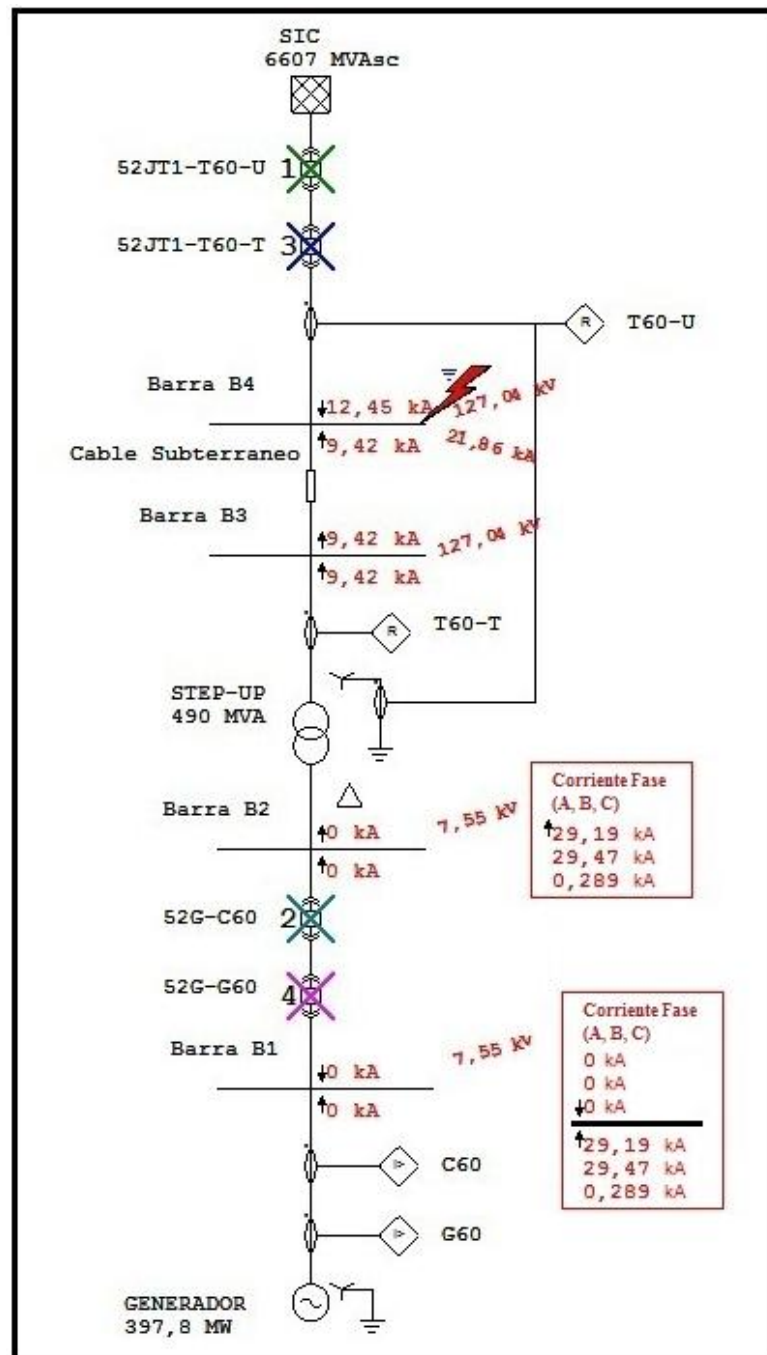


Figura 4.11: Comportamiento de las protecciones ante falla monofásica a tierra en la barra B4

Es así, que en la Tabla 4.6 se presenta el informe de secuencia de operación de los dispositivos involucrados y sus respectivos tiempos de operación, entregados por el software ETAP.

Tabla 4.6: Secuencia de operación ante falla monofásica a tierra en barra B4

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
0,0	C60	29,475	0,0		Phase - OC1 - 50
0,0	T60-U	15,956	0,0		Phase - OC1 - 50
22,0	52JT1-T60-U		22,0		Tripped by T60-U Phase - OC1 - 50
65,0	52G-C60		65,0		Tripped by C60 Phase - OC1 - 50
499	T60-U	12,447	499		Ground - OC1 - 51
1608	T60-T	5,91	1608		Phase - OC1 - 51
1630	52JT1-T60-T		22,0		Tripped by T60-T Phase - OC1 - 51
11446	G60	29,475	11446		Phase - OC1 - 51
11511	52G-G60		65,0		Tripped by G60 Phase - OC1 - 51

Con referencia a la información descrita en la tabla 4.6, se verifica la secuencia de operación de apertura del circuito, siendo en primer lugar el interruptor 52JT1, mediante el relé T60-U y la función 50 “Phase IOC”, y en segundo lugar el interruptor 52G, mediante el relé C60 y la función 50 “Phase IOC”. No obstante lo anterior, además se verifican tiempos de respaldo especialmente altos, situación que se recomienda ser revisada por la central.

A modo de visualizar la situación anterior, en las figuras 4.12 y 4.13 se presentan las curvas tiempo – corriente de los elementos de protección existentes en el sistema eléctrico.

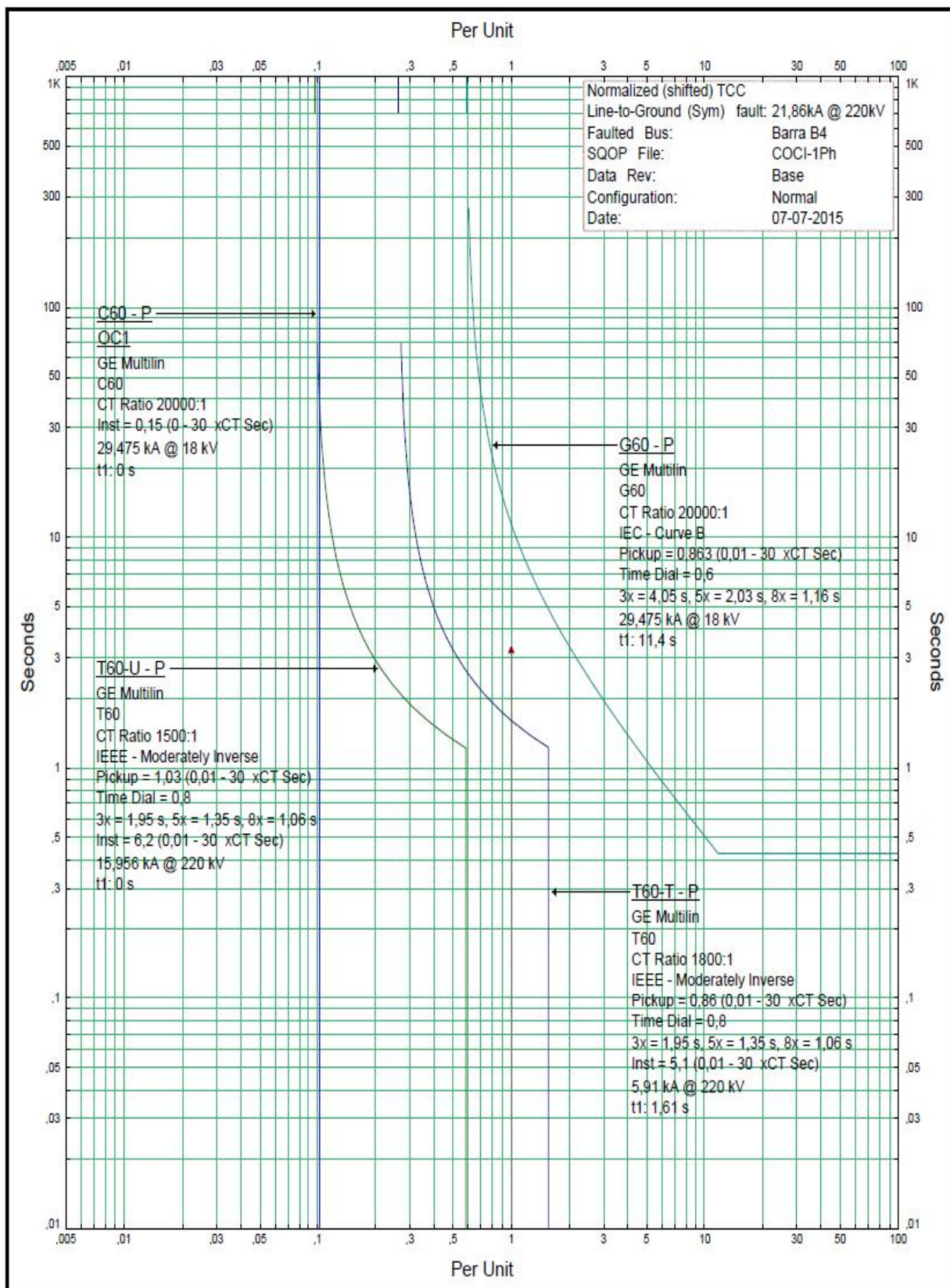


Figura 4.12: Curva tiempo – corriente ante falla monofásica a tierra en barra B4

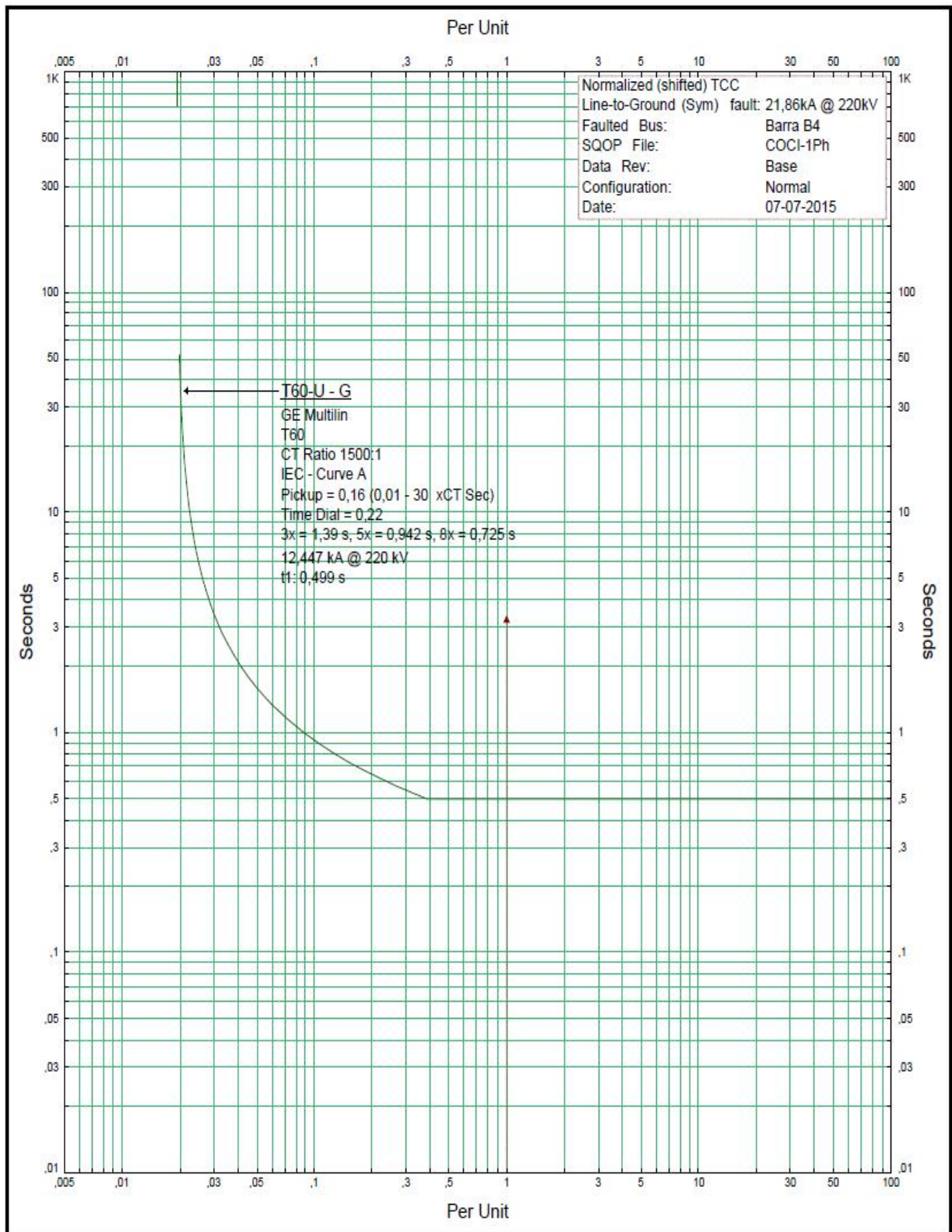


Figura 4.13: Curva tiempo – corriente ante falla monofásica a tierra en barra B4 (protección 51G)

4.3.2.2 ANÁLISIS DE COORDINACIÓN EN BARRA B3

Frente a una falla monofásica a tierra en la barra B3, en la figura 4.14 se presentan los aportes de corrientes asociados.

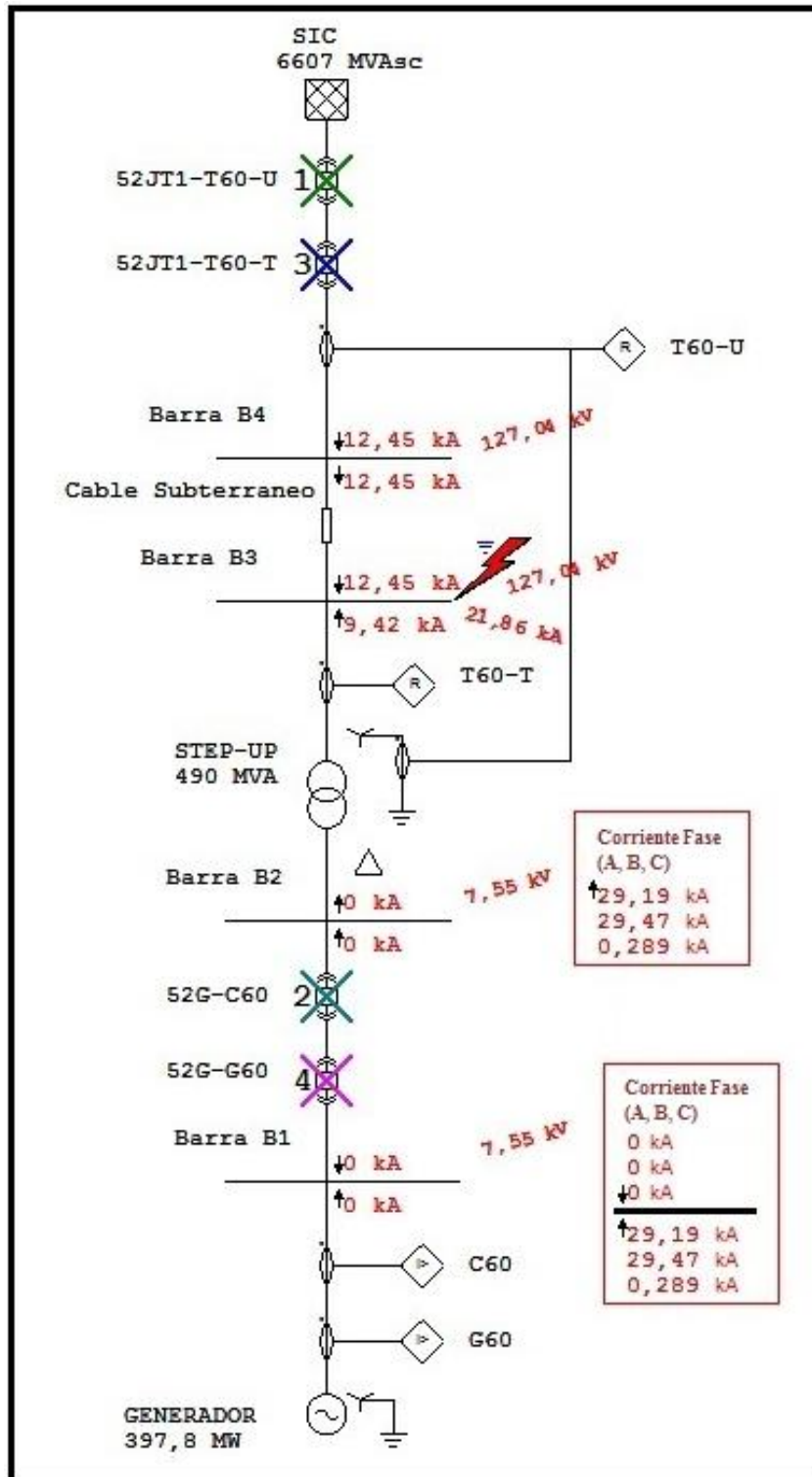


Figura 4.14: Comportamiento de las protecciones ante falla monofásica a tierra en la barra B3

Es así, que en la Tabla 4.7 se presenta el informe de secuencia de operación de los dispositivos involucrados y sus respectivos tiempos de operación, entregados por el software ETAP.

Tabla 4.7: Secuencia de operación ante falla monofásica a tierra en barra B3

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
0,0	C60	29,475	0,0		Phase - OC1 - 50
0,0	T60-U	15,955	0,0		Phase - OC1 - 50
22,0	52JT1-T60-U		22,0		Tripped by T60-U Phase - OC1 - 50
65,0	52G-C60		65,0		Tripped by C60 Phase - OC1 - 50
499	T60-U	12,446	499		Ground - OC1 - 51
1608	T60-T	5,91	1608		Phase - OC1 - 51
1630	52JT1-T60-T		22,0		Tripped by T60-T Phase - OC1 - 51
11445	G60	29,475	11445		Phase - OC1 - 51
11510	52G-G60		65,0		Tripped by G60 Phase - OC1 - 51

Con referencia a la información descrita en la Tabla 4.7, se verifica la secuencia de operación de apertura del circuito, siendo en primer lugar el interruptor 52JT1, mediante el relé T60-U y la función 50 “Phase IOC”, y en segundo lugar el interruptor 52G, mediante el relé C60 y la función 50 “Phase IOC”. No obstante lo anterior, además se verifican tiempos de respaldo especialmente altos, situación que se recomienda ser revisada por la central.

A modo de visualizar la situación anterior, en la figura 4.15 y 4.16 se presentan las curvas tiempo – corriente de los elementos de protección existentes en el sistema eléctrico.

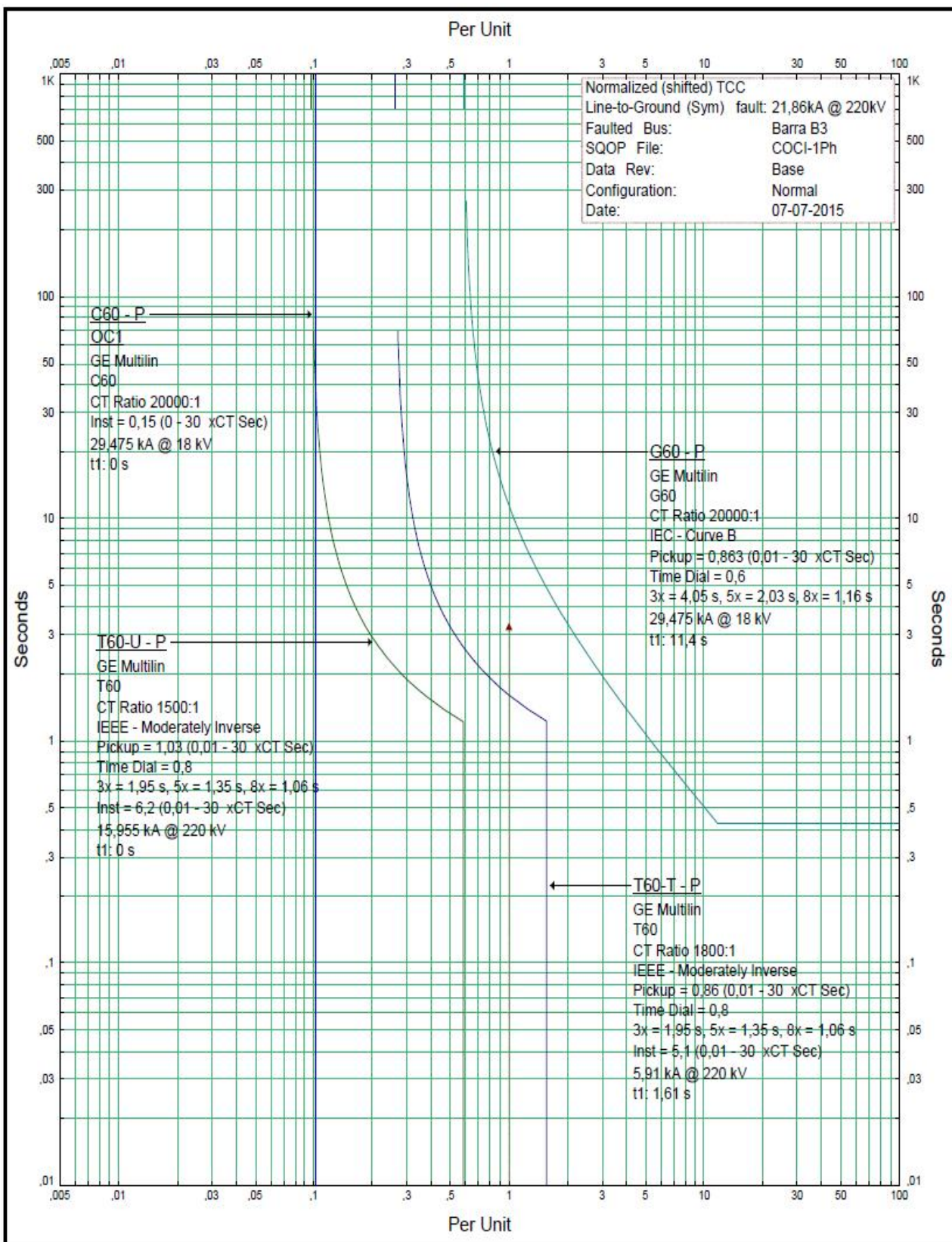


Figura 4.15: Curva tiempo – corriente ante falla monofásica a tierra en barra B3

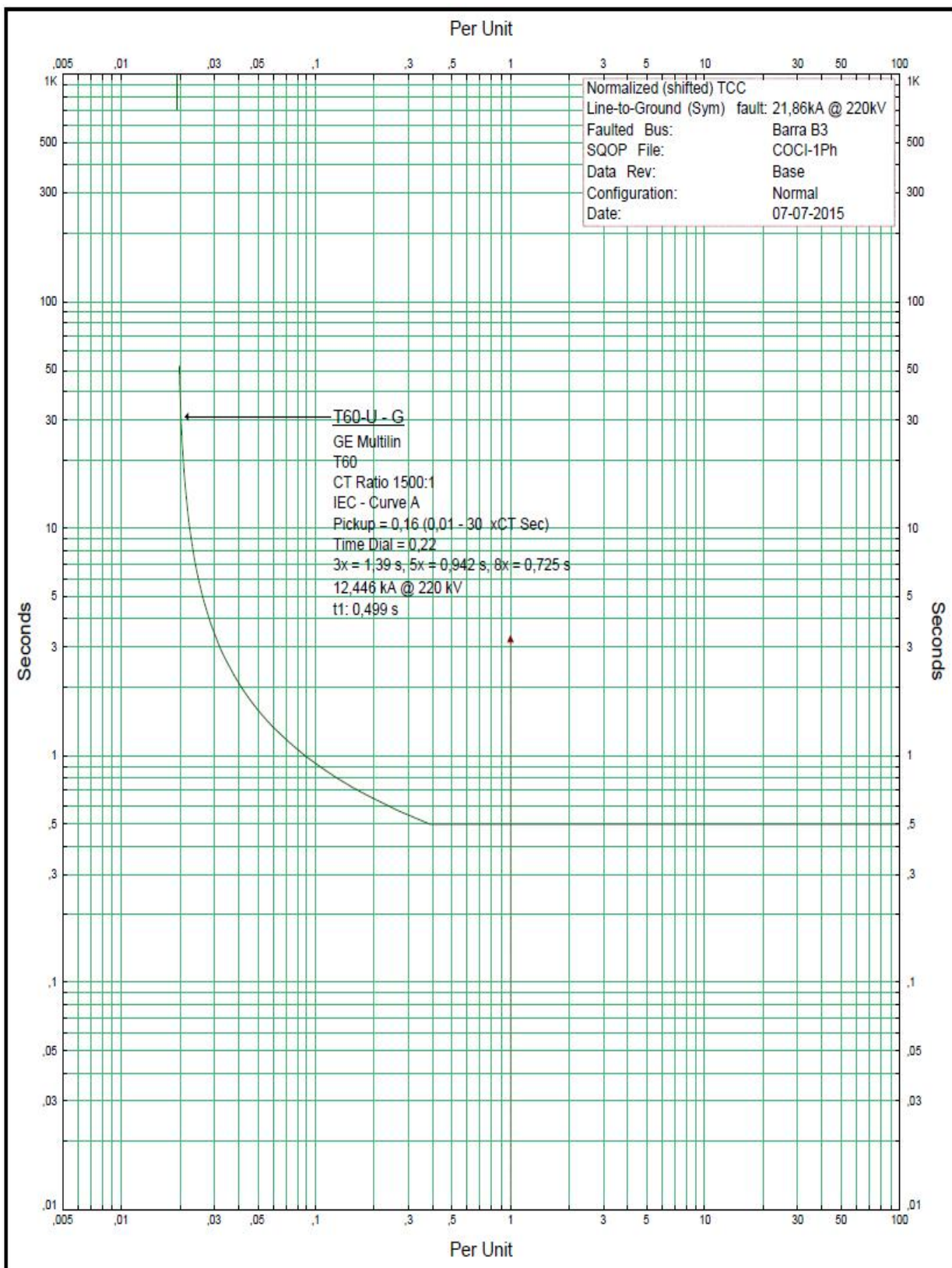


Figura 4.16: Curva tiempo – corriente ante falla monofásica a tierra en barra B3

4.3.2.3 ANÁLISIS DE COORDINACIÓN EN BARRA B2

Frente a una falla monofásica a tierra en la barra B2, en la figura 4.17 se presentan los aportes de corrientes asociados.

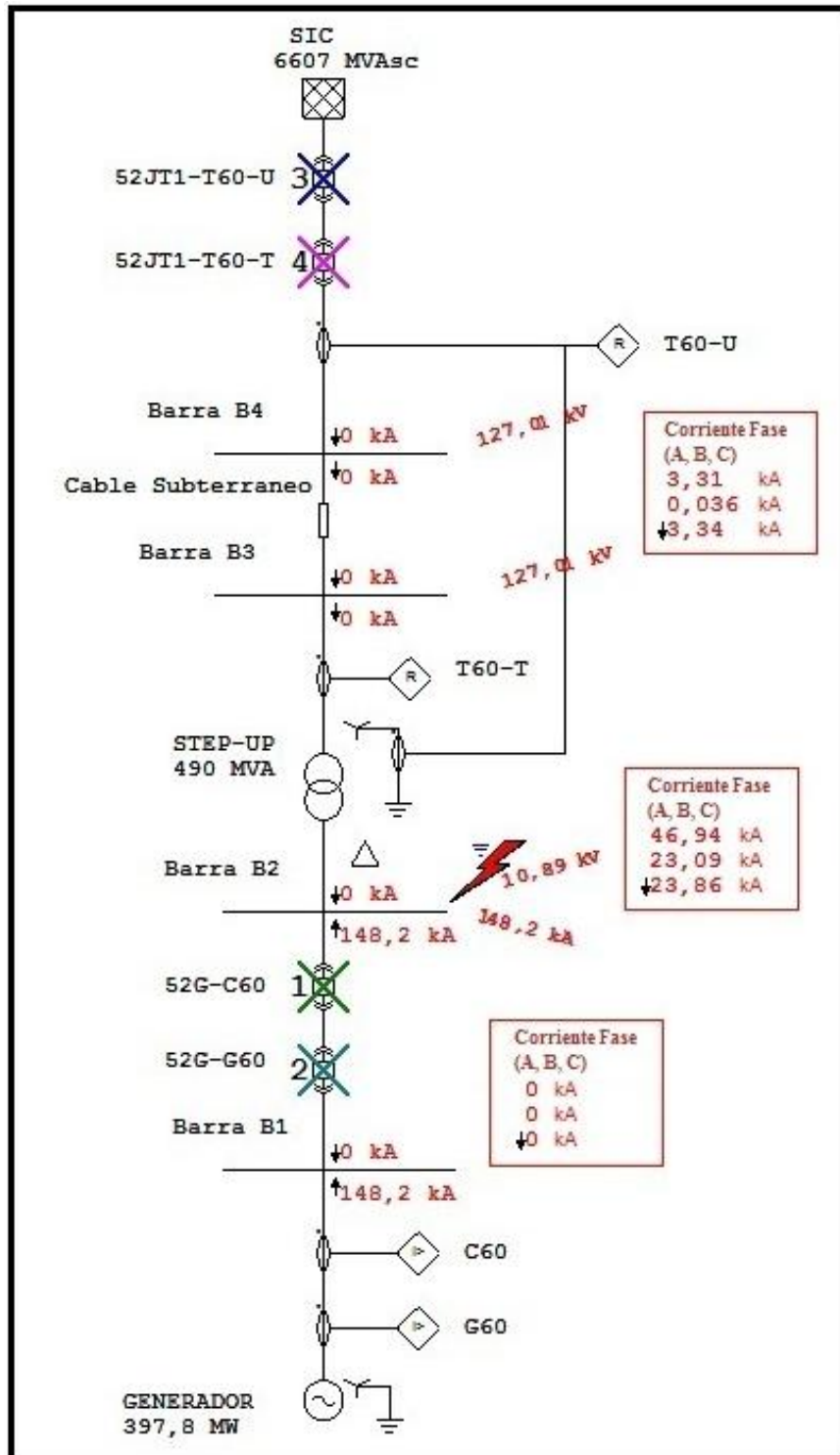


Figura 4.17: Comportamiento de las protecciones ante falla monofásica a tierra en la barra B2

Es así, que en la Tabla 4.8 se presenta el informe de secuencia de operación de los dispositivos involucrados y sus respectivos tiempos de operación, entregados por el software ETAP.

Tabla 4.8: Secuencia de operación ante falla monofásica a tierra en barra B2

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
0,0	C60	101,3	0,0		Phase - OC1 - 50
65,0	52G-C60		65,0		Tripped by C60 Phase - OC1 - 50
1663	G60	101,3	1663		Phase - OC1 - 51
1728	52G-G60		65,0		Tripped by G60 Phase - OC1 - 51
2738	T60-U	3,344	2738		Phase - OC1 - 51
2745	T60-T	3,344	2745		Phase - OC1 - 51
2760	52JT1-T60-U		22,0		Tripped by T60-U Phase - OC1 - 51
2767	52JT1-T60-T		22,0		Tripped by T60-T Phase - OC1 - 51

Con referencia a la información descrita en la Tabla 4.8, se verifica la secuencia de operación de apertura del circuito, siendo en primer lugar el interruptor 52G, mediante el relé C60 y la función 50 “Phase IOC”, luego procede la apertura del interruptor 52JT1, mediante el relé T60-U y la función 51 “Phase IOC”. No obstante lo anterior, el tiempo apertura del interruptor 52JT1 es especialmente alto al igual que la verificación de los tiempos de respaldo, situación que se recomienda ser revisada por la central.

A modo de visualizar la situación anterior, en la figura 4.18 se presenta la curva tiempo – corriente de los elementos de protección existentes en el sistema eléctrico.

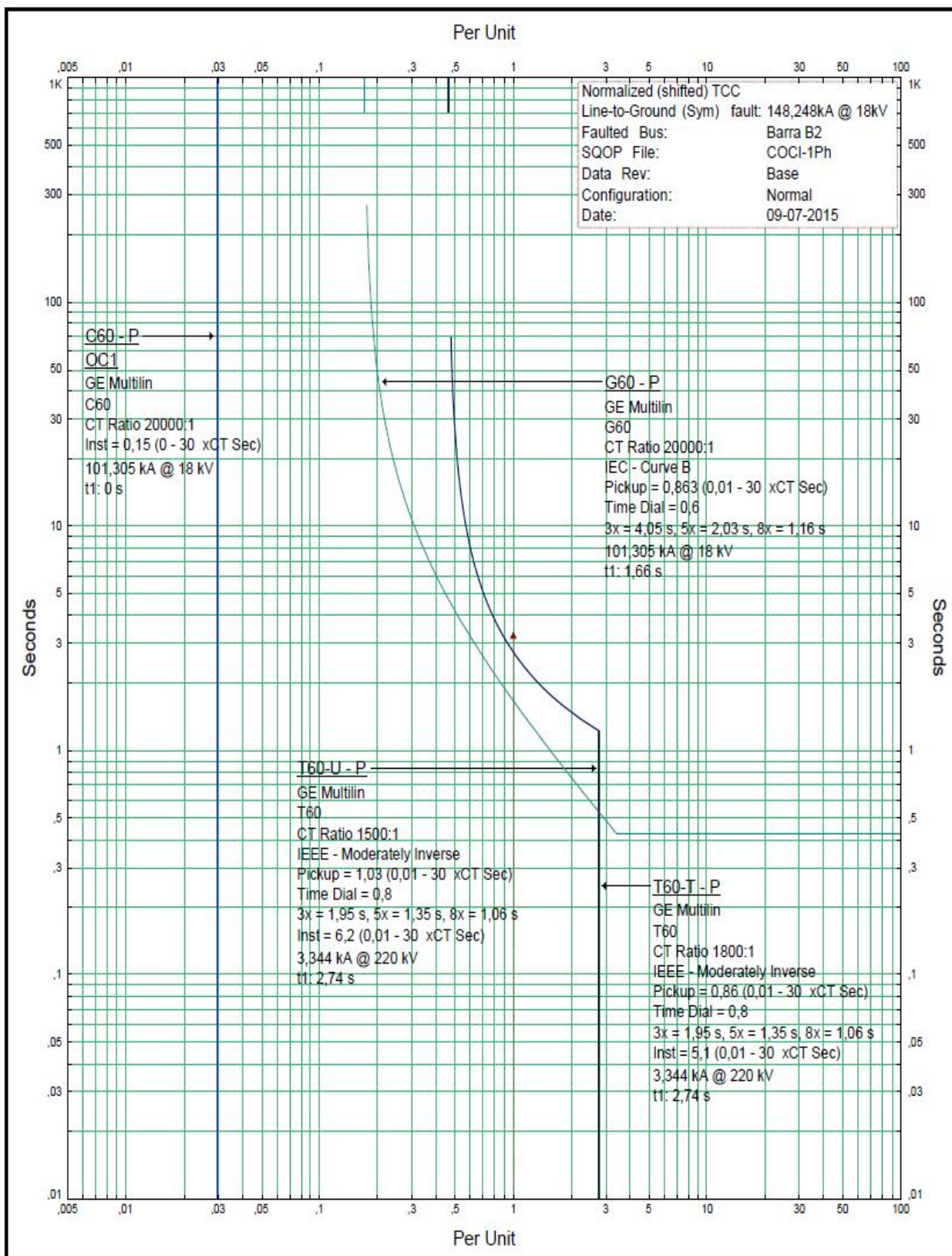


Figura 4.18: Curva tiempo – corriente ante falla monofásica a tierra en barra B2

4.3.2.4 ANÁLISIS DE COORDINACIÓN EN BARRA B1

Frente a una falla monofásica tierra en la barra B1, en la figura 4.19 se presentan los aportes de corrientes asociados.

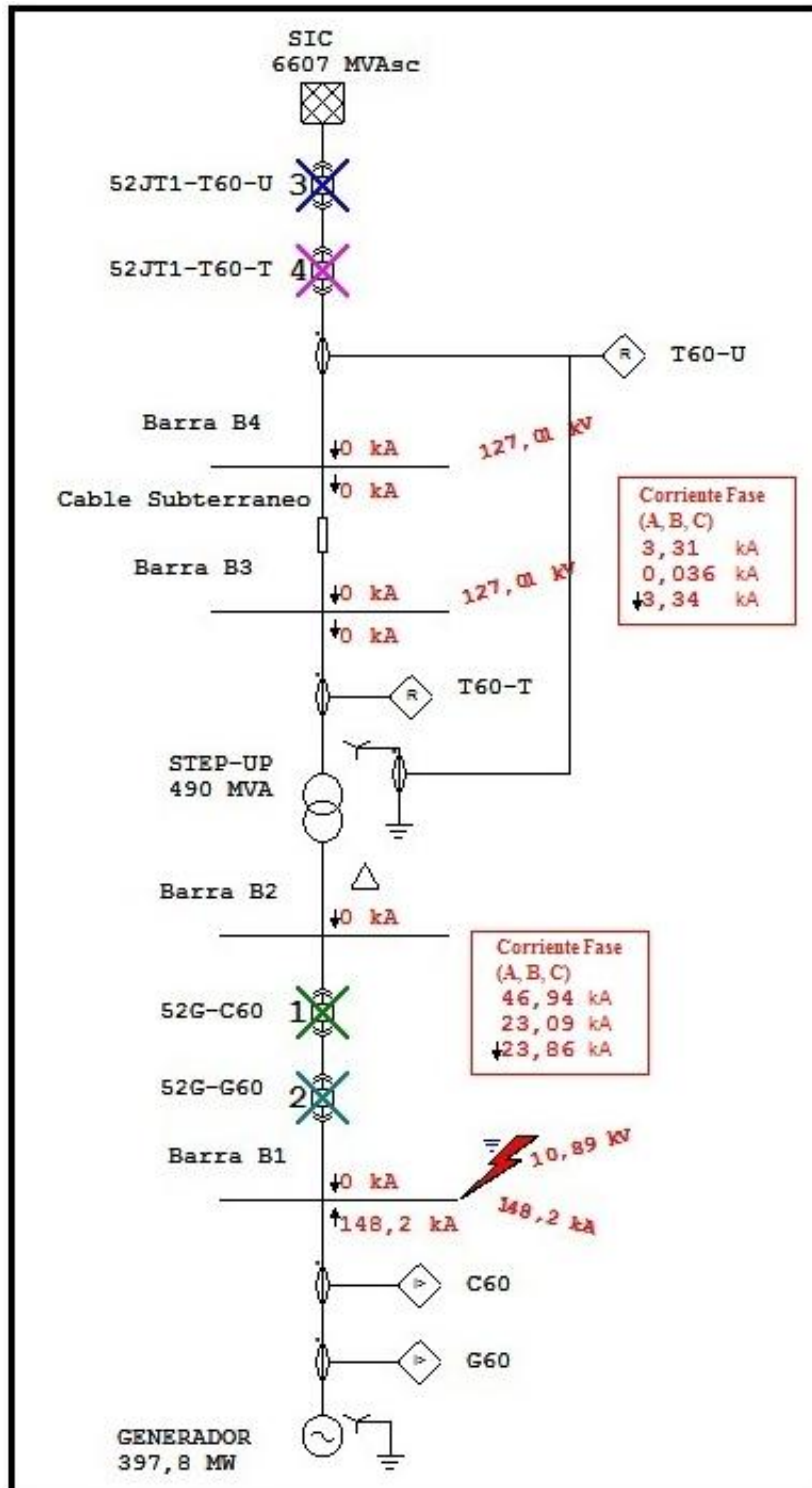


Figura 4.19: Comportamiento de las protecciones ante falla monofásica a tierra en la barra B1

Es así, que en la Tabla 4.9 se presenta el informe de secuencia de operación de los dispositivos involucrados y sus respectivos tiempos de operación, entregado por el software ETAP.

Tabla 4.9: Secuencia de operación ante falla monofásica a tierra en barra B1

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
0,0	C60	101,3	0,0		Phase - OC1 - 50
65,0	52G-C60		65,0		Tripped by C60 Phase - OC1 - 50
1663	G60	101,3	1663		Phase - OC1 - 51
1728	52G-G60		65,0		Tripped by G60 Phase - OC1 - 51
2738	T60-U	3,344	2738		Phase - OC1 - 51
2745	T60-T	3,344	2745		Phase - OC1 - 51
2760	52JT1-T60-U		22,0		Tripped by T60-U Phase - OC1 - 51
2767	52JT1-T60-T		22,0		Tripped by T60-T Phase - OC1 - 51

Con referencia a la información descrita en la Tabla 4.9, se verifica la secuencia de operación de apertura del circuito, siendo en primer lugar el interruptor 52G, mediante el relé C60 y la función 50 “Phase IOC”. No obstante, lo anterior, además se verifican tiempos de respaldo especialmente altos, situación que se recomienda ser revisada por la central.

A modo de visualizar la situación anterior, en la figura 4.20 se presenta la curva tiempo – corriente de los elementos de protección existentes en el sistema eléctrico.

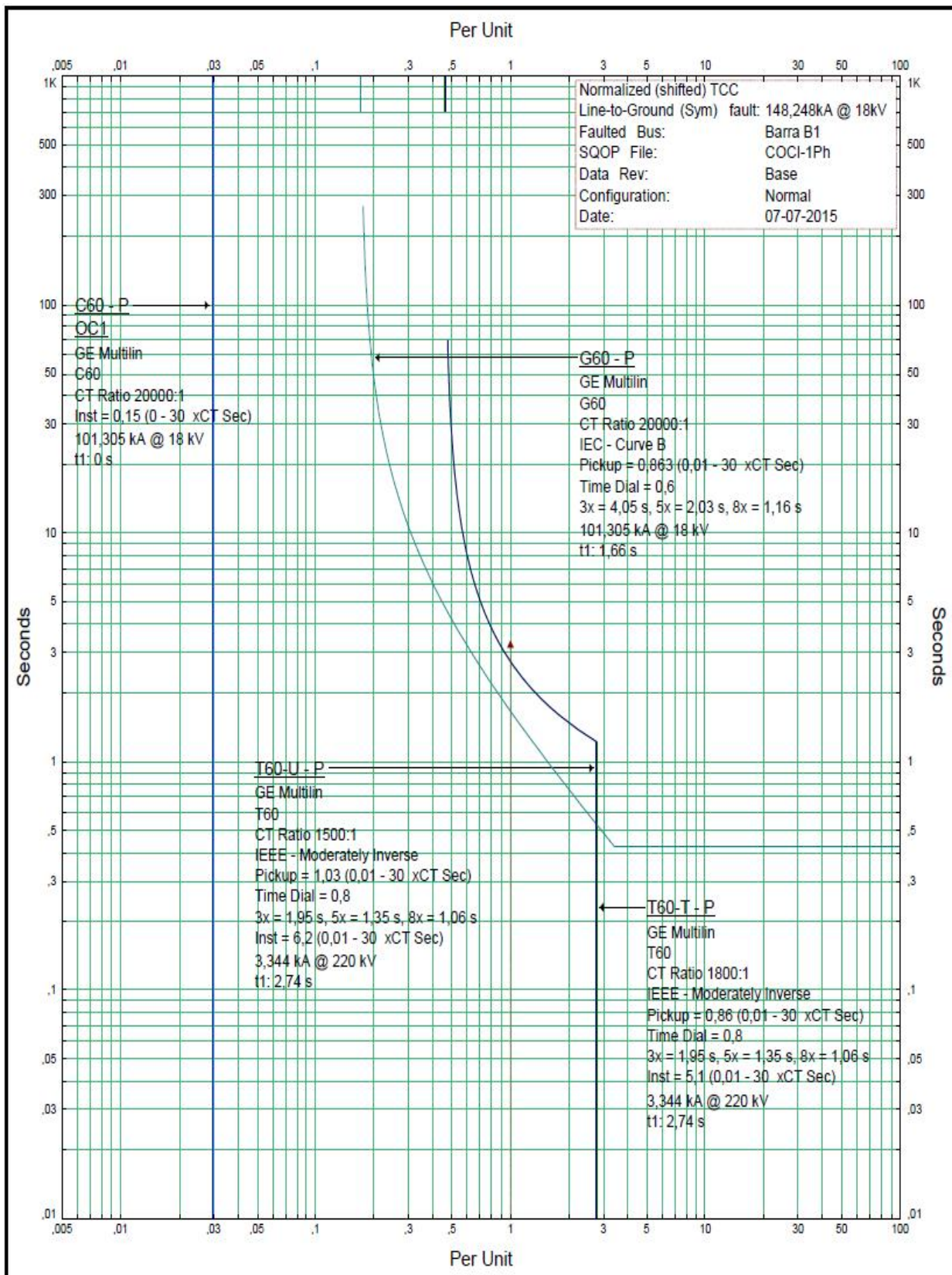


Figura 4.20: Curva tiempo – corriente ante falla monofásica a tierra en barra B1

CAPÍTULO V: COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

En el presente trabajo, se realiza un estudio de las protecciones eléctricas asociadas al generador principal, al transformador elevador y falla interna del interruptor del generador de central Santa María I. Además se presenta al lector, una visión detallada del proceso de generación de una central térmica convencional a base de carbón, como también la configuración del sistema eléctrico.

Dentro de este estudio se ejecuta una revisión de los ajustes recomendados por General Electric para sus equipos, del cual se puede concluir lo siguiente:

- Los relés G60, T60 y C60 de General Electric, constituyen un aporte importante para la protección de generadores, transformadores e interruptores de máquina, quienes requieren de un especial cuidado y un sistema de protecciones que cumpla con los requisitos solicitados por el fabricante. Al proporcionar protección, supervisión, control y registro de fallas, estos relés facilitan el análisis ante una falla o variaciones de los parámetros del sistema.
- Los ajustes del relé UR-G60 (Generador), relé UR-T60 (transformador elevador) y relé UR-C60 (interruptor del generador), cumplen con la normativa vigente.
- La coordinación analizada mediante ETAP, demuestra que los ajustes de sobrecorriente instantánea y temporizada de los relés G60, T60 y C60, se encuentran con tiempos de respaldo especialmente altos, situación que se recomienda sea revisada por la central.
- La comparación entre los cálculos de cortocircuito trifásico, hechos de forma teórica y de los valores de cortocircuito trifásico entregados por el software ETAP en las distintas barras en estudio, se puede decir que arrojan valores iguales. Debido a que los valores teóricos y los valores entregados por el software ETAP son idénticos. En cuanto al cortocircuito monofásico, sólo se trabajó con el software ETAP.

Adicionalmente se adjunta un procedimiento utilizado para la extracción de los ajustes cargados en los relés de la serie UR de General Electric, que es transversal para los diferentes modelos de la misma.

Finalmente, cabe destacar que el presente trabajo debe ser visto como un estudio preliminar del sistema de protecciones eléctricas, ya que sólo se ha evaluado el sistema frente a fallas trifásicas y monofásicas para las funciones 50 y 51.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] GE Energy. (2010). *Manual de Capacitación: Operación y Mantenimiento de la Turbina de Vapor y del Generador*. Chile.
- [2] GEEnergy. (2010). *Estudio de protecciones eléctricas: C184 ProtectiveRelayingSettingReportEAA001_F8_CH_000_GE0001_00*. Chile.
- [3] BHT. (2009). *Manual de Instrucciones L781: subestación blindada 245 kV - tipo B105-3*. Francia.
- [4] GE Multilin. (2006). *Manual de instrucciones UR: G60 Generator Protection System*. Ontario Canadá.
- [5] GE Multilin. (2006). *Manual de instrucciones UR: T60 Transformer Protection System*. Ontario Canadá.
- [6] GE Multilin. (2006). *Manual de instrucciones UR: C60 BreakerProtectionSystem*. Ontario Canadá.
- [7] GE Digital Energy. *Manual User: Enervista Launch Pad- View point*. Recuperado de <https://www.gedigitalenergy.com/products/brochures/enervista.pdf>
- [8] Kasikci, I. (2002). *Norma IEC 60909-0: Short-circuit currents in three-phase a.c. system*. Germany: Wiley-VCH

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPTO. INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

ANEXOS

SEMINARIO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO DE EJECUCIÓN EN ELECTRICIDAD

CONCEPCIÓN – CHILE

2015

ANEXO A

Sistema eléctrico en Alta y Media Tensión, Central Térmica Santa María I, Plano, High and Medium Voltage Single Line Diagram.

REFERENCE DOCUMENTS:	
DESCRIPTION	NUMBER
LOW VOLTAGE SINGLE LINE DIAGRAM	EAA001/F2(A**)000-34B002
GENERAL SINGLE LINE DIAGRAM	EAA001/F2(VV)000-34B001
GENERAL LAY-OUT	EAA001/F3(VV)000-33M002
ELECTRICAL LOAD LIST	EAA001/F7(VV)000-34B001

LEGEND	
SYMBOL	DESCRIPTION
	A.C. MOTOR
	GENERATOR
	TRANSFORMER
	RECTIFIER
	AUTOMATIC CIRCUIT BREAKER
	MOTORIZED CIRCUIT BREAKER
	CONTACTOR
	THERMAL RELAY
	WITHDRAWABLE EQUIPMENT
	FUSE
	VOLTAGE TRANSFORMER
	CURRENT TRANSFORMER
	SURGE ARRESTER
	BUS DUCT
	AUTOMATIC TRANSFER SWITCH
	CONVERTER AC/AC
	EARTHING RESISTOR
	EARTHING BLADE
	ON LOAD ISOLATOR
	NO LOAD ISOLATOR
	SMOOTHING CHOKE
	INVERTER
	PARTIAL DISCHARGE ANALYZER/COUPLER
	CABLE

REV.	DESCRIPTION	DATE
09		
08		
07		
06		
05		
04		
03		
02	GENERAL REVISION	FC 24/11/08
01	FOR CONSTRUCTION	FC 17/07/08
00	FIRST ISSUE	FR 15/02/08

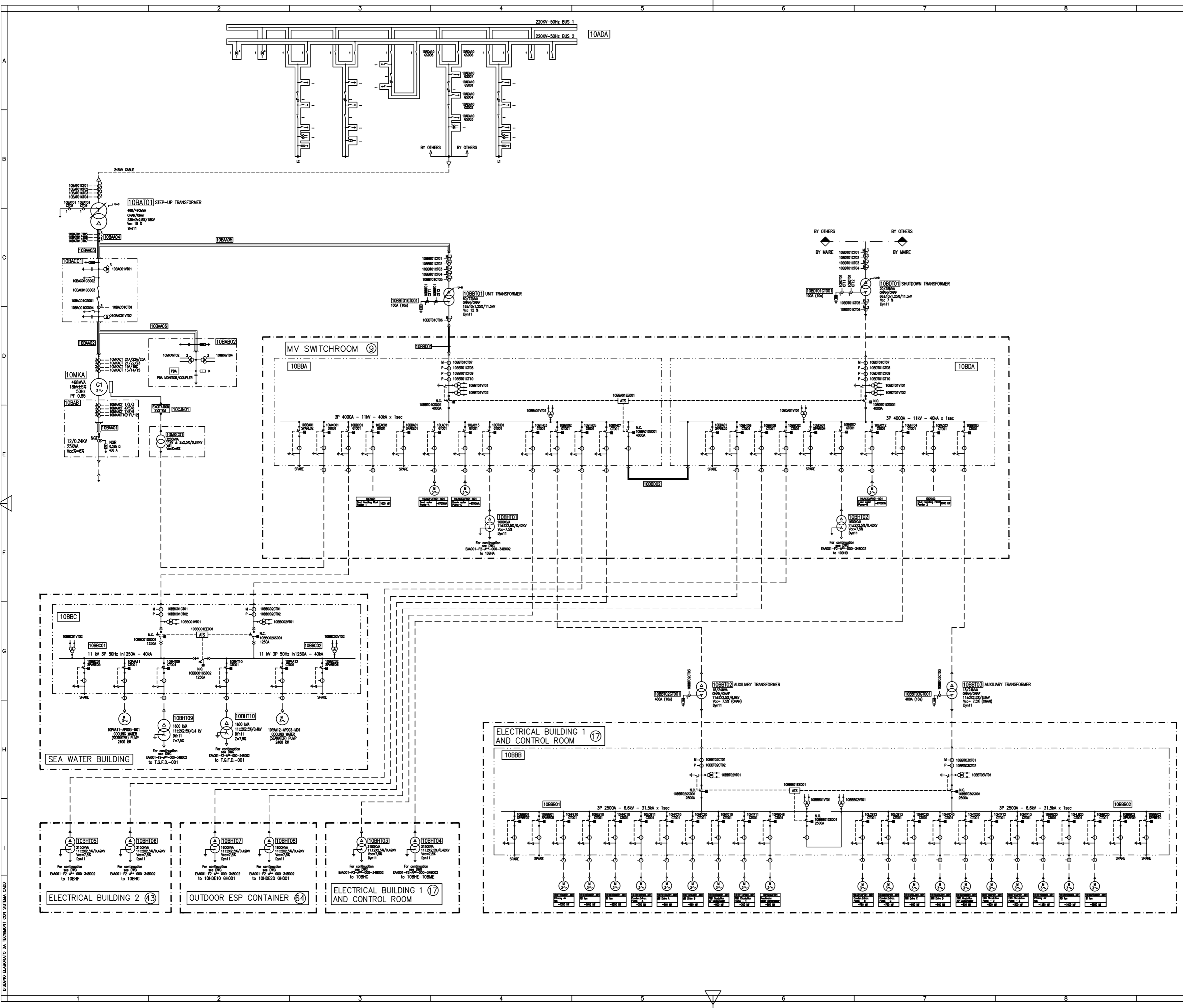
PREPARED	DATE	UNIT	INITIAL/NAME	SIGNATURE
CHECKED	24/11/08	MEL341	ME	
AUTHORIZED	24/11/08	PE	BRT/Barbelle	
			PTF/Polaco	

REPLACES DOCUMENT:	MEASURE UNIT	SCALE	PLOT SCALE
	mm		

CONTRATO CTCB-011 "CENTRAL TÉRMICA SANTA MARÍA"			
Documentation degree:	Department:	Number of AL:	Representation:
Work title:			
Specification object title:		Job No.:	
Operating group title:			
This technical documentation is in accordance with article 17 of the Act No. 17.331 of the Chilean Constitution and article 17 of the Act No. 17.331 of the Chilean Constitution and article 17 of the Act No. 17.331 of the Chilean Constitution.	Owner's file No.:		Revision:

COLBÚN DIAGRAM			
HIGH AND MEDIUM VOLTAGE SINGLE LINE DIAGRAM			
Colbún	Tecnomat	Tecnimoz Chile Ltda	seu ismatec

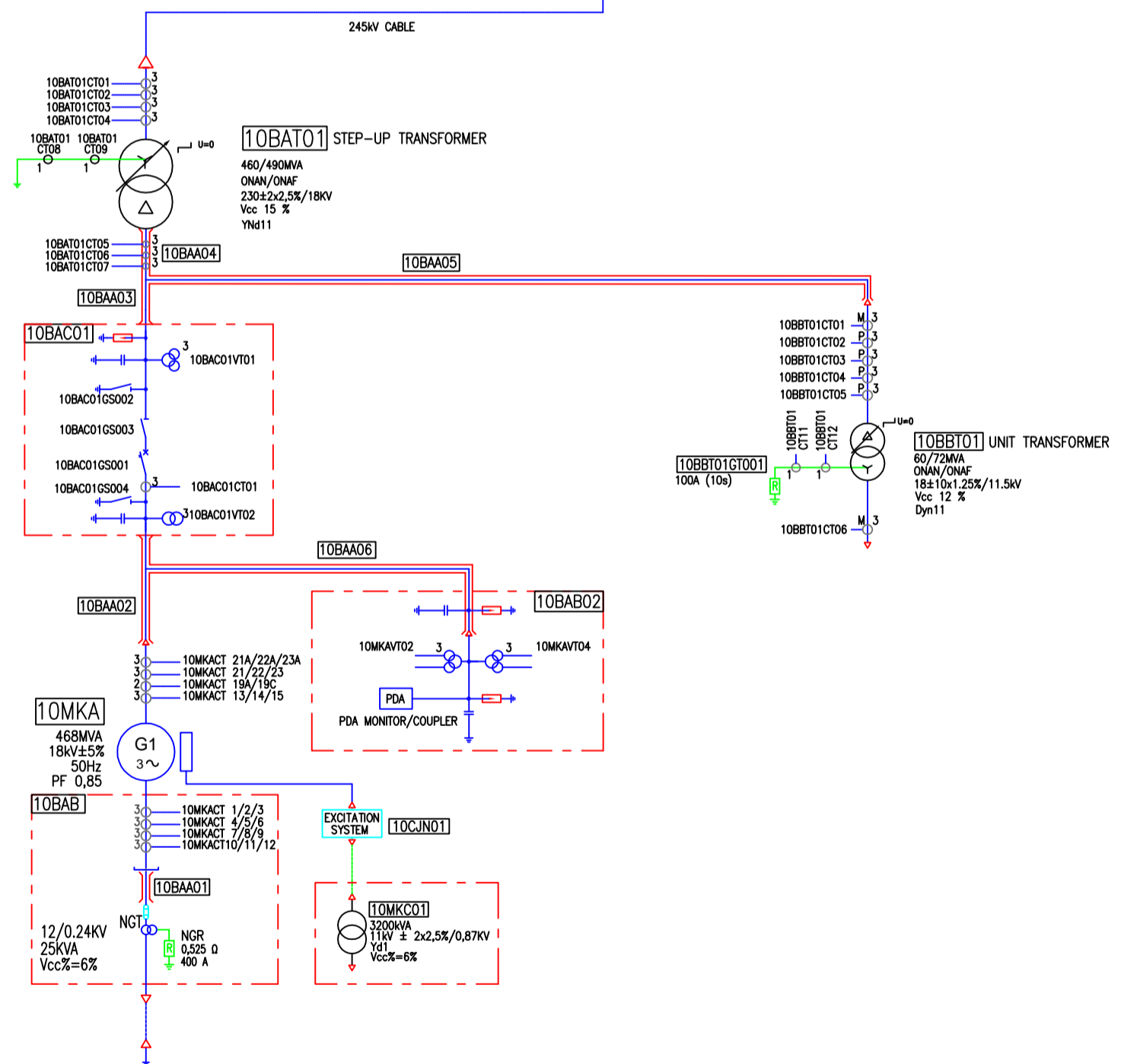
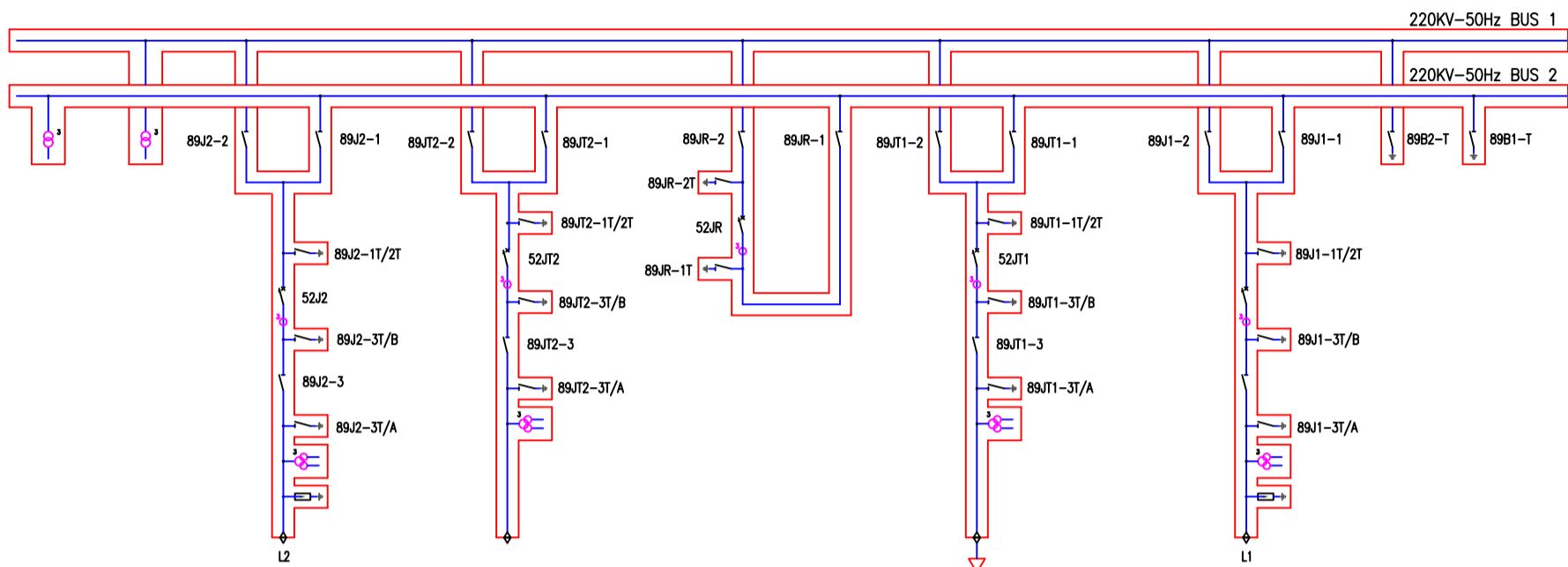
WORK NUMBER	SERIES	KEYS NUMBER	KEY PLAN	PROGRESSIVE NUMBER	REV.	SHEET	OF
EAA001/F2 (A**) 000-34B001/02					1	1	



DESIGN ELABORATED BY TECNOMAT CON SISTEMAS CAD

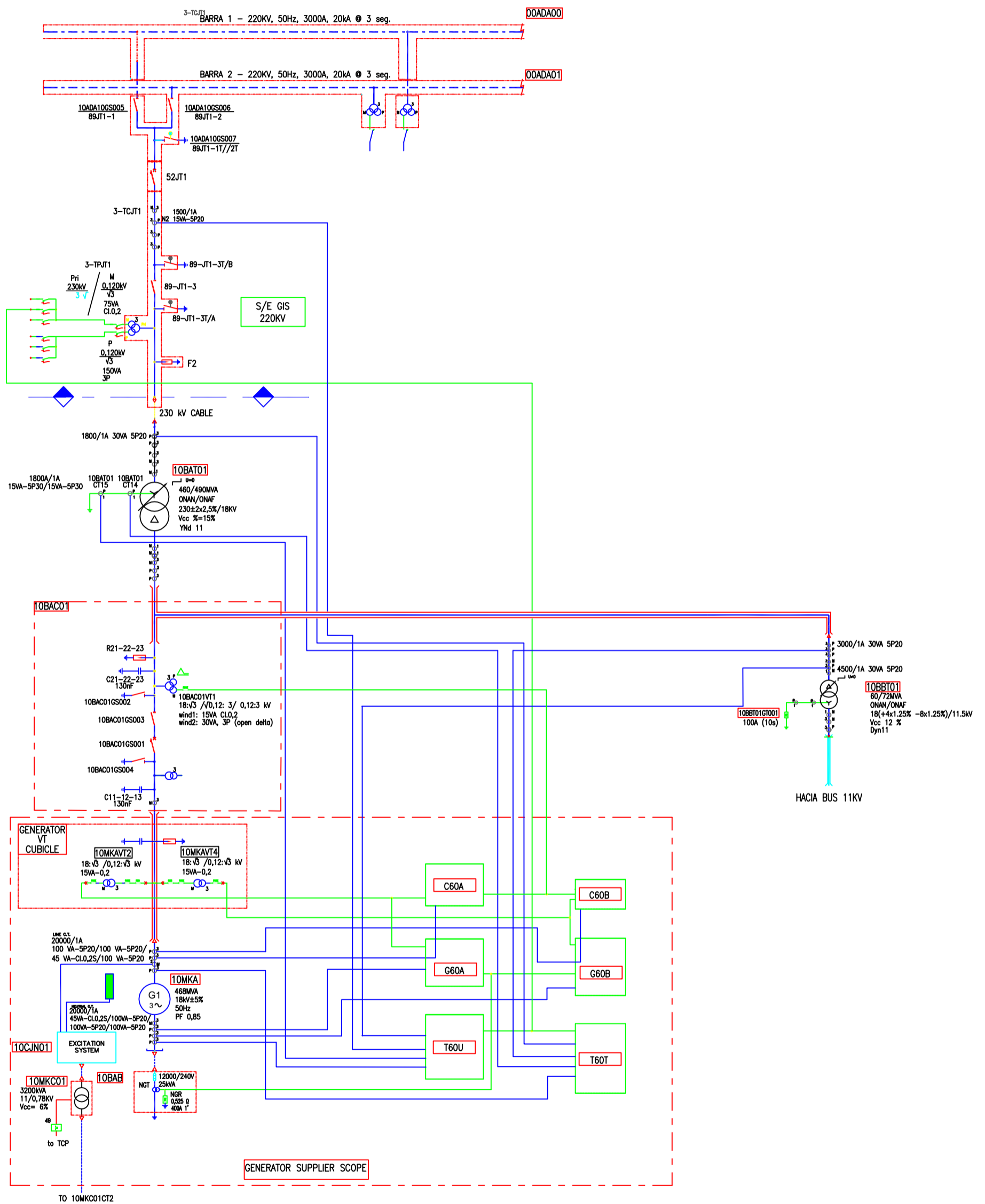
ANEXO B

Diagrama Unilineal Subestación Eléctrica GIS, Transformador y Generador Principal Central Térmica Santa María I.



ANEXO C

Diagrama Unilineal del Sistema de protecciones del Generador y Transformador principal.



ANEXO D

NÚMEROS ANSI DE FUNCIONES RELÉS UR

ANEXO D: TABLA NÚMEROS ANSI DE FUNCIONES RELES UR.

NÚMERO ANSI	ABREVIATURA G.E.	FUNCIÓN	FUNCIÓN DISPONIBLE EN RELÉ	FUNCIÓN HABILITADA EN RELÉ
21P	Phase distance backup	Protección de distancia de fase	G60	G60-A / G60-B
24	Volt per Hertz	Protección por sobre excitación	T60 / G60	T60-T / T60-U / G60-A / G60-B
25	Synchrocheck	Dispositivo de chequeo de sincronización	T60 / G60 / C60	
27P	Phase undervoltage	Protección por baja tensión de fase	G60 / C60	G60-A / G60-B / C60-A /C60-B
27TN	Third harmonic neutral undervoltage	Protección por baja tensión de tercer armónico de neutro	G60	
27X	Auxiliary undervoltage	Protección por baja tensión auxiliar	T60 / G60 / C60	
32	Sensitive directional power	Protección direccional de potencia (potencia inversa)	G60 / C60	G60-A / G60-B
40	Loss of excitation	Protección por baja excitación	G60	G60-A / G60-B
46	Generator unbalance	Protección por secuencia negativa	G60	G60-A / G60-B
50G	Ground instantaneous overcurrent	Protección de sobrecorriente instantánea de tierra	T60 / G60 / C60	
50N	Neutral instantaneous overcurrent	Protección de sobrecorriente instantánea de neutro	T60 / G60 / C60	
51P	Phase time overcurrent	Protección de sobre corriente temporizada de fase	T60 / G60 / C60	T60-T / T60-U / G60-A / G60-B
59N	Neutral overvoltage	Protección por sobretensión de neutro	T60 / G60 / C60	C60-A /C60-B
59P	Phase overvoltage	Protección por sobretensión de fase	T60 / G60 / C60	G60-A / G60-B

ANEXO D: TABLA NÚMEROS ANSI DE FUNCIONES RELES UR. (CONTINUACIÓN).

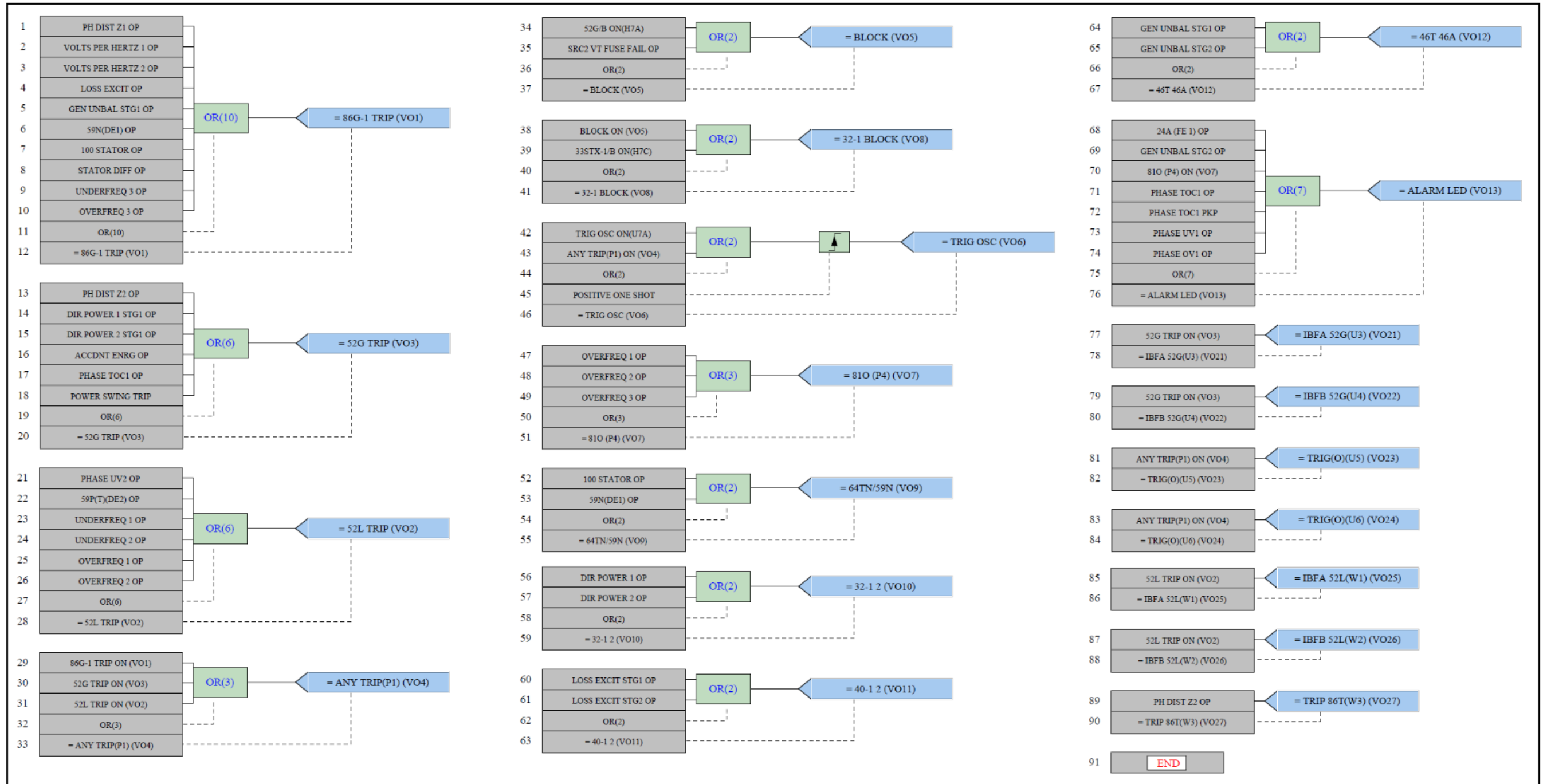
NÚMERO ANSI	ABREVIATURA G.E.	FUNCIÓN	FUNCIÓN DISPONIBLE EN RELÉ	FUNCIÓN HABILITADA EN RELÉ
59X	Auxiliary overvoltage	Protección por sobretensión auxiliar	T60 / G60 / C60	G60-A / G60-B
59_2	Negative sequence overvoltage	Sobretensión de secuencia negativa	G60	
64TN	100% Stator Ground	Estator generador 100% a tierra	G60	G60-A / G60-B
67_2	Negative sequence directional overcurrent	Protección sobrecorriente direccional de secuencia negativa	G60	
67N	Neutral directional overcurrent	Protección sobrecorriente direccional de neutro	T60 / G60	
67P	Phase directional overcurrent	Protección direccional de fase	T60 / G60	
68/78	Power swing detection	Protección por oscilación de potencia	G60	G60-A / G60-B
81O	Overfrequency	Protección por sobre frecuencia	T60 / G60	G60-A / G60-B
50P	Phase instantaneous overcurrent	Protección de sobrecorriente instantánea de fase	T60 / G60 / C60	T60-T / T60-U / C60-A / C60-B
50SP	Split phase protection	Protección contra fase dividida	G60	
50/27	Accidental energization	Protección por energización accidental	G60	G60-A / G60-B
51G	Ground overcurrent time	Protección sobrecorriente temporizada de tierra	T60 / G60 / C60	T60-U
50/87	Instantaneous differential overcurrent	Protección de sobrecorriente instantánea diferencial	T60	T60-T / T60-U
51N	Neutral overcurrent time	Protección de sobrecorriente temporizada de neutro	T60 / C60	

ANEXO D: TABLA NÚMEROS ANSI DE FUNCIONES RELES UR. (CONTINUACIÓN).

NÚMERO ANSI	ABREVIATURA G.E.	FUNCIÓN	FUNCIÓN DISPONIBLE EN RELÉ	FUNCIÓN HABILITADA EN RELÉ
79	Autoreclose	Recierre	C60	
50NBF	Neutral instantaneous breaker failure	Falla interruptor instantánea del neutro	C60	
81U	Underfrequency	Protección por baja frecuencia	T60 / G60	G60-A / G60-B
81R	Rate of change of frequency	Protección por velocidad de cambio a la frecuencia	G60	
87G	Restricted ground fault	Falla a tierra restringida	T60 / G60	
87S	Stator differential	Diferencial del estator	G60	G60-A / G60-B
87T	Transformer differential	Diferencial del transformador	T60	T60-T / T60-U
49	Thermal Overload	Protección de sobrecarga térmica	C60	
50BF	Breaker Failure	Falla interruptor	C60	

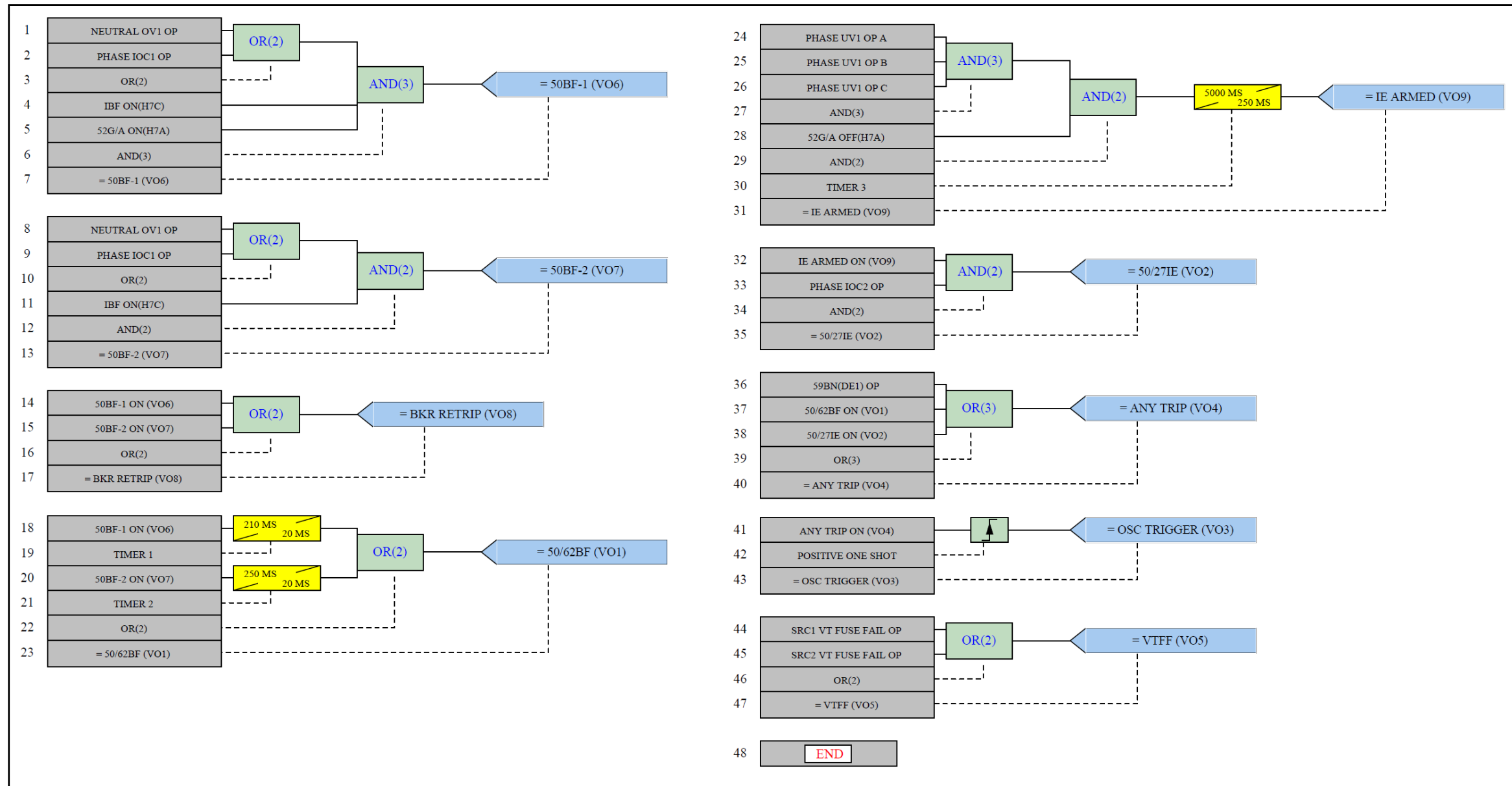
ANEXO E

DIAGRAMA FLEXLOGIC PROTECCIÓN G60



ANEXO F

DIAGRAMA FLEXLOGIC PROTECCIÓN C60



ANEXO G

PROCEDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE DATA RELÉ UR-G60/T60/C60

ANEXO G: PROCEDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE DATA RELE UR-G60/T60/C60

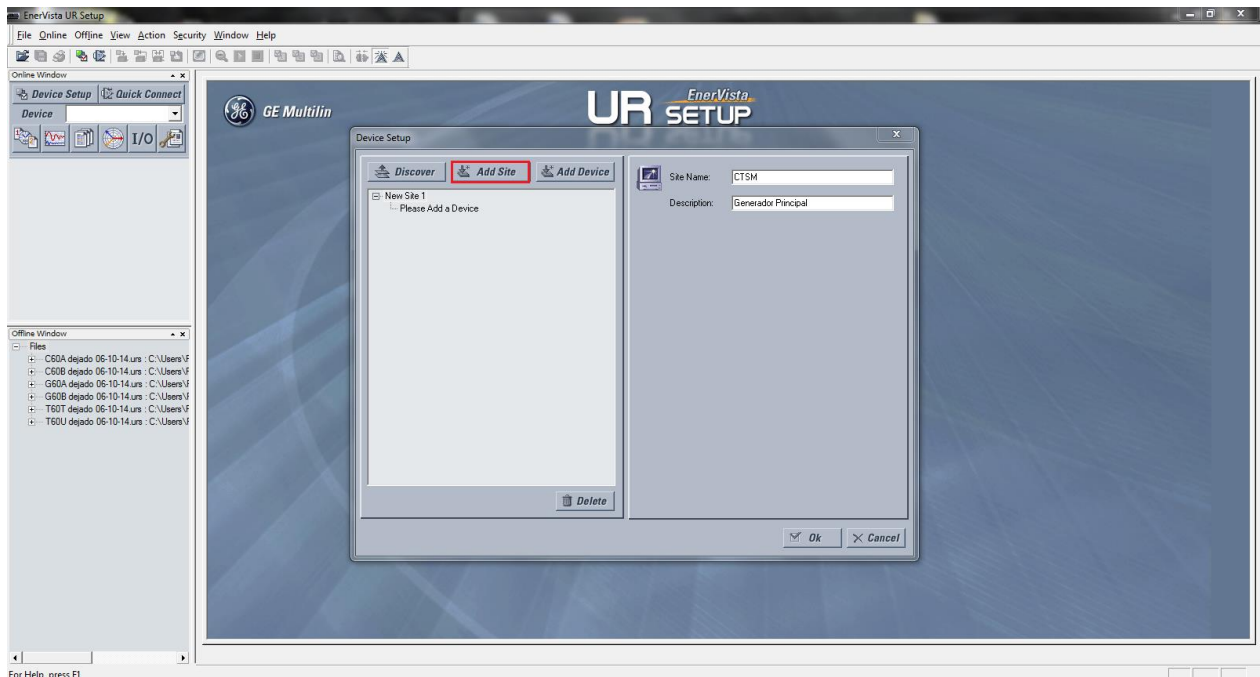
1. Conectar cable Ethernet en “Switch” de comunicación protecciones UR



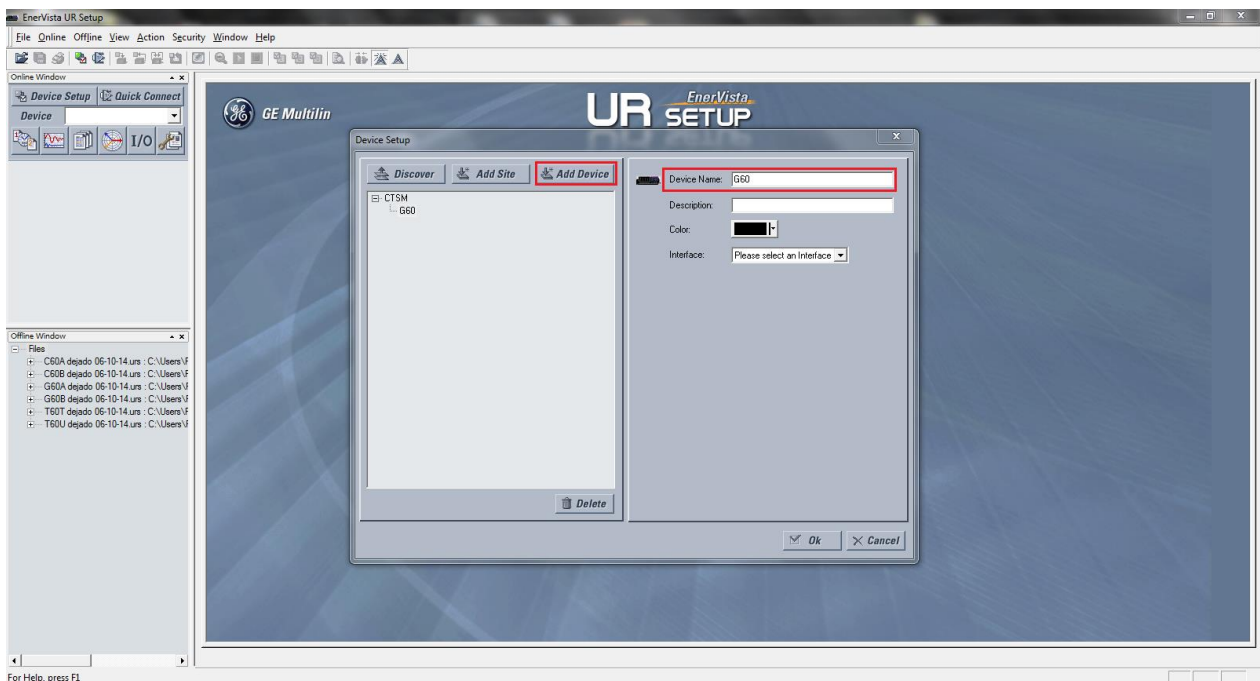
2. Ejecutar el programa “Energista Launch Pad”, proporcionado en la página web de G.E., cargando la aplicación UR –SETUP



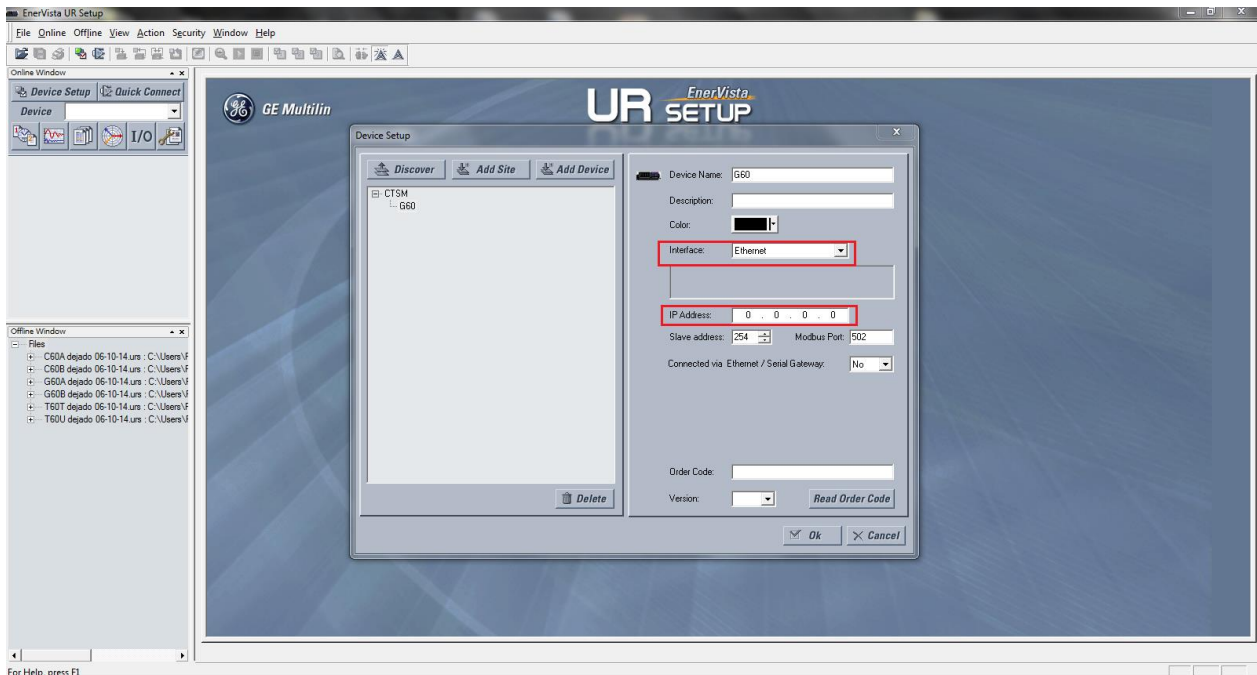
3. Crear un nuevo sitio en “Device setup + Add site” y asignar un nombre



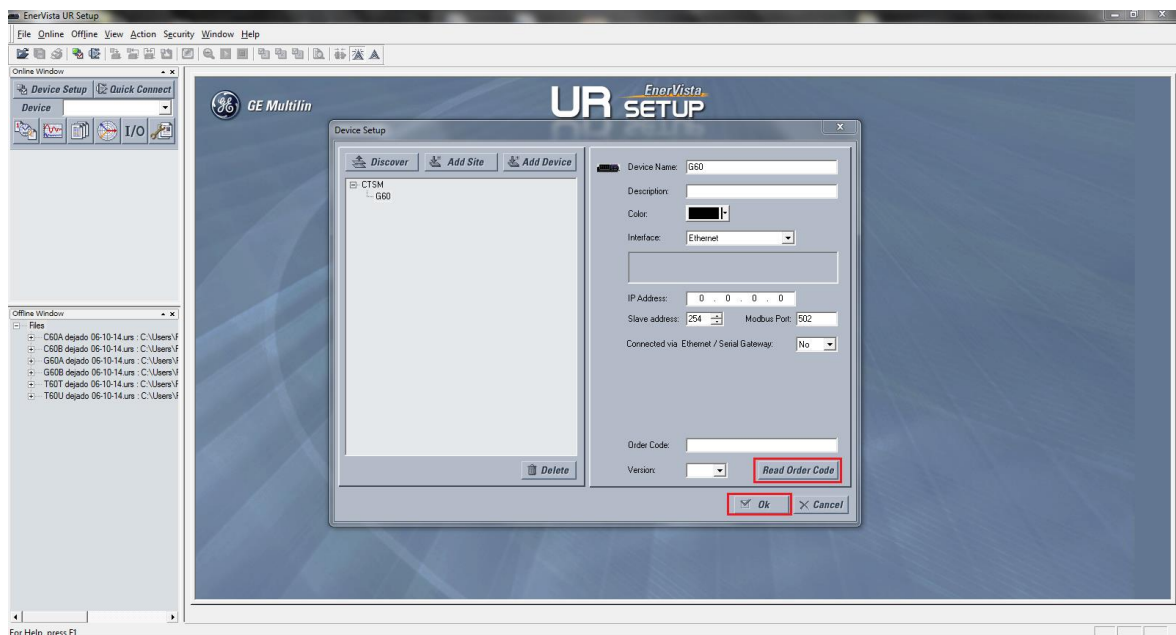
4. Crear un nuevo dispositivo en “Device setup + Add device” y asignar un nombre



5. Seleccionar el tipo de interface, en modo “Ethernet” e ingresar la “IP” del relé.



6. Presionar “Rear Order Code”, para leer el código del equipo, para finalizar presionar “OK”.



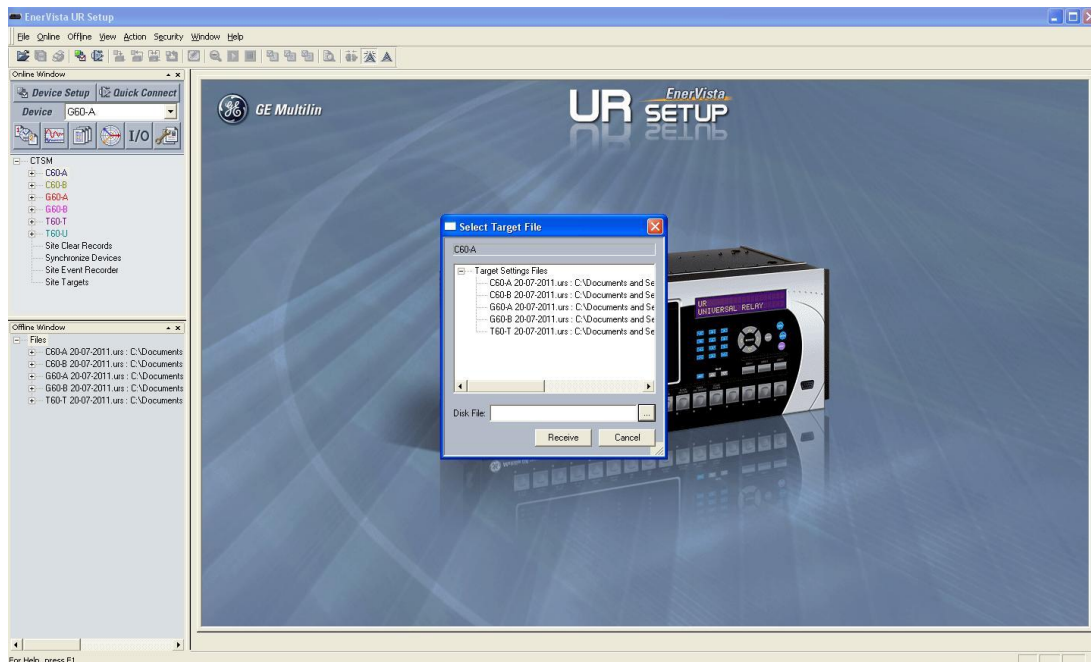
7. Con esto se logra conectar el pc con el relé en modo “Online”



8. Luego, presionar click derecho del mouse sobre el nombre del dispositivo online y hacer click sobre “Read device Settings” para respaldar los ajustes del relé.



9. Al hacer click sobre “Read device Settings”, se despliega esta pantalla, asignar un nombre y presionar “Receive” para comenzar la descarga de los ajustes del relé.



10. Con esto comienza la descarga de los ajustes del relé al modo “offline”, quedando guardados en el programa, tiempo estimado de descarga (de 1 a 2 minutos).



ANEXO H

ELECTRICAL DATA GENERATOR

SIZE A	DWG NO 237A5654	SH 2	REV A
-----------	--------------------	---------	----------

ESTIMATED GENERATOR DATA

Customer: MAIRE ENGINEERING SPA
Station/Project: CORONEL 350 MW
Generator Number: 290T771
Generator Type: 450H

GENERATOR RATING

Data for Proposal No/Electrical Design: G368T01 Jul 26 2007

**ATB 2 468000 kVA 3000 RPM 18000 Volts 0.85 PF 60 psig 50 °C Gas 397800 kW 15011 Amps
 750 Field Volts 27 Ft Alt 0.5 SCR 50 Hz 3 Phase WYE Connection**

Exciter Rating

Type Static

1945 kW 750 Volts 2593 D.C.Amps Field Amps @ Generator rated Load 2443

<u>Total temperatures are guaranteed not to exceed:</u>	<u>Insulation Class</u>	<u>Temperature Rise</u>
Stator coils: 103 °C by embedded detector	Armature F	B
Field coils 120 °C by Resistance	Field class F	B
Collector Gas Rise 20 °C by RTD		


Cooling water Requirements @ Generator Rating (C901 - Data)

(Data not applicable for Open Ventilated Units. Air cooled OV units, values will be shown as -99999)

Generator Output:	468000	Kva
Loss to Coolers:	3535	Kw
Inlet Water Temperature:	40	°C
Outlet Cold Gas Temperature	50	°C
Coolant	100%	Fresh Water
Maximum Fouling Factor:	0.001	1/(btu / (hours*footsquared*F))
Total Water Flow Required:	2500	GPM (total for all coolers)
Coolant temperature Max	40	°C
Head Loss Per Cooler:	17.9	Feet of Water
Maximum Operating Pressure:	125	psig
	8.6184	bar

Dielectric tests (Between coils and ground, 50/60 hertz AC for 1 min)

Stator 37000V
 Rotor 5161V

 GE POWER GENERATION GENERAL ELECTRIC COMPANY SCHENECTADY, NY	SIZE A	CAGE CODE	DWG NO 237A5654
	DRAWN: Thameem Ismail		
ISSUED: Tom Bonacci	SCALE		SHEET 2

SIZE A	DWG NO 237A5654	SH 3	REV A
-----------	--------------------	---------	----------

REACTANCES (Per Unit):	Direct Axis	Quadrature Axis
Saturated Synchronous	X_{dv} 2.03	X_{qv} 1.95
Unsaturated Synchronous	X_{di} 2.03	X_{qi} 1.95
Saturated Transient	X'_{dv} 0.265	
Unsaturated Transient	X'_{di} 0.3	X'_{q} 0.485
Saturated Sub transient	X''_{dv} 0.195	X''_{qv} 0.195
Unsaturated Sub transient	X''_{di} 0.24	X''_{qi} 0.24
Saturated Negative Sequence	X_{2v} 0.195	
Unsaturated Negative Sequence	X_{2i} 0.24	
Saturated Zero Sequence	X_{0v} 0.13	
Unsaturated Zero Sequence	X_{0i} 0.13	
Saturated Leakage Reactance	X_{lv} 0.165	
Unsaturated Leakage Reactance	X_{li} 0.185	

FIELD TIME CONSTANTS (Seconds @ 125 °C)

Open Circuit	T'_{d0} 6.8	T'_{q0} 0.6
Three Phase Short Circuit Transient	T'_{d3} 0.8	T'_{q} 0.15
Line To Line Short Circuit Transient	T'_{d2} 1.4	
Line To Neutral Short Circuit Transient	T'_{d1} 1.7	
Short Circuit Sub transient	T''_{d} 0.031	T''_{q} 0.031
Open Circuit Sub transient	T''_{d0} 0.042	T''_{q0} 0.077

ARMATURE DC COMPONENT TIME CONSTANTS (Seconds @ 100 °C)

Three Phase Short Circuit	T_{a3} 0.58
Line To Line Short Circuit	T_{a2} 0.58
Line To Neutral Short Circuit	T_{a1} 0.44

ARMATURE WINDING SEQUENCE RESISTANCES (Per Unit)

Positive	R_1 0.0028
Negative	R_2 0.0098
Zero	R_0 0.0045


Reactance, Resistance and Time Constant data may be interpreted per IEEE 115, section VII.

The base reactance ("UNIT") is calculated by the armature kV squared / MVA.

$$\text{Base reactance} = 0.6923 \quad \text{Ohms}$$

Rotor Short-Time Thermal Capacity, $(I_2)^2t$	7.3564 s
Turbine-Generator Combined Inertia Constant, H	4.5049 kW-s/kVA
Three Phase Armature Winding Capacitance	1.7319 μF
Armature Winding DC Resistance (Per Phase)	0.0009 Ω (100 °C)
Field Winding DC Resistance	0.2377 Ω (125 °C)
Field Current At Rated Kva, Armature Voltage, & PF	2443 A
Field Current At Rated Kva, Armature Voltage, 0 PF Lagging	2893 A

(For Systems Study Only - Not Allowable Operating Point)

 GE POWER GENERATION SCHENECTADY, NY		GENERAL ELECTRIC COMPANY SIZE A	CAGE CODE	DWG NO 237A5654
DRAWN: Thameem Ismail		SCALE		SHEET 3
ISSUED: Tom Bonacci				

SIZE A	DWG NO 237A5654	SH 4	REV A
-----------	--------------------	---------	----------

MACHINE SATURATION DATA

S/1.0 = 0.0287

Machine saturation may be calculated from the data of curves A and B of

S/1.2 = 0.135


“ESTIMATED SATURATION AND SYNCHRONOUS IMPEDANCE CURVES”.

“S/1.0” is the field amp difference from B to A divided by the field amp of A at 1.0 pu voltage.

X/R RATIO

X/R = 156

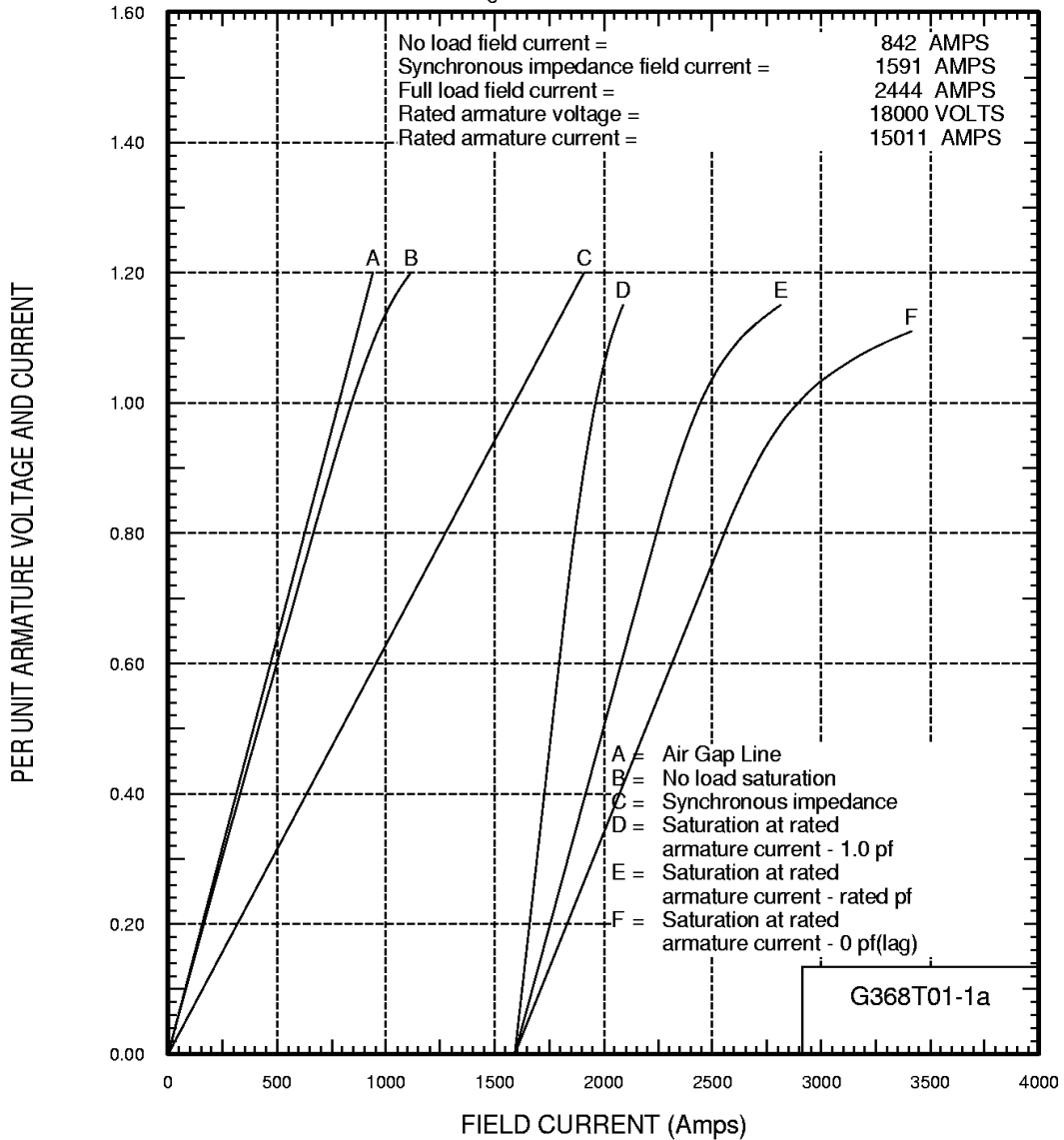
X/R ratio equals “XPP/DV” * base reactance / armature DC resistance at 100 C

 GE POWER GENERATION GENERAL ELECTRIC COMPANY SCHENECTADY, NY	SIZE A	CAGE CODE	DWG NO 237A5654
	DRAWN: Thameem Ismail		
ISSUED: Tom Bonacci	SCALE		SHEET 4

SIZE A	DWG NO 237A5654	SH 5	REV A
------------------	--------------------	---------	----------

ESTIMATED SATURATION AND SYNCHRONOUS IMPEDANCE CURVES

2 Pole 3000 RPM 468000 kVA 18000 Volts 0.850 PF
 0.500 SCR 60.00 PSIG H2 Pressure 750 Volts Excitation
 50 Deg. C Cold Gas 27 Ft. Altitude

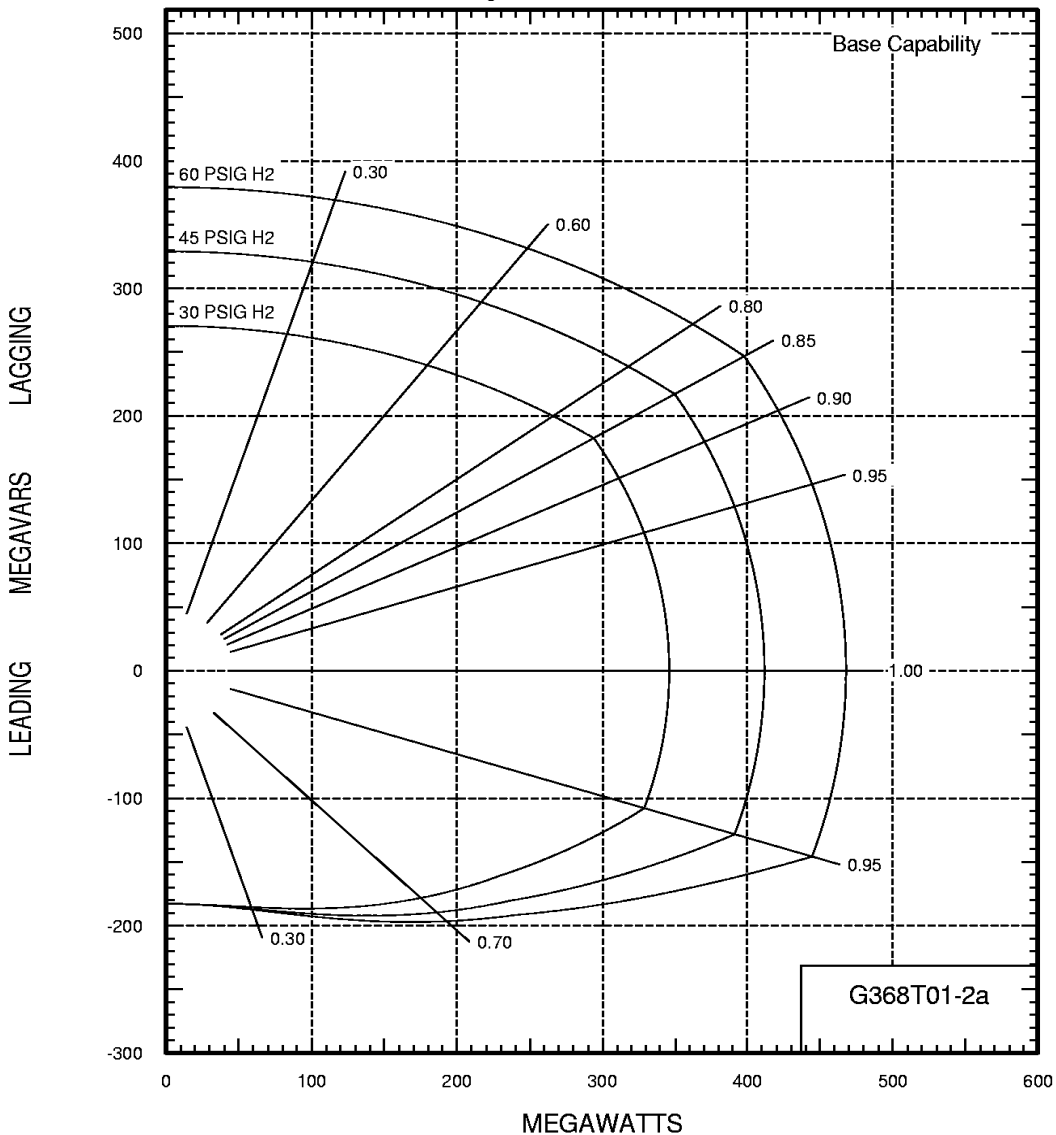



GE POWER GENERATION SCHENECTADY, NY	GENERAL ELECTRIC COMPANY	SIZE A	CAGE CODE	DWG NO 237A5654
	DRAWN: Thameem Ismail	SCALE		SHEET 5
ISSUED: Tom Bonacci				

SIZE A	DWG NO 237A5654	SH 6	REV A
------------------	--------------------	---------	----------

ESTIMATED REACTIVE CAPABILITY CURVES

2 Pole 3000 RPM 468000 kVA 18000 Volts 0.850 PF
 0.500 SCR 60.00 PSIG H2 Pressure 750 Volts Excitation
 50 Deg. C Cold Gas 27 Ft. Altitude

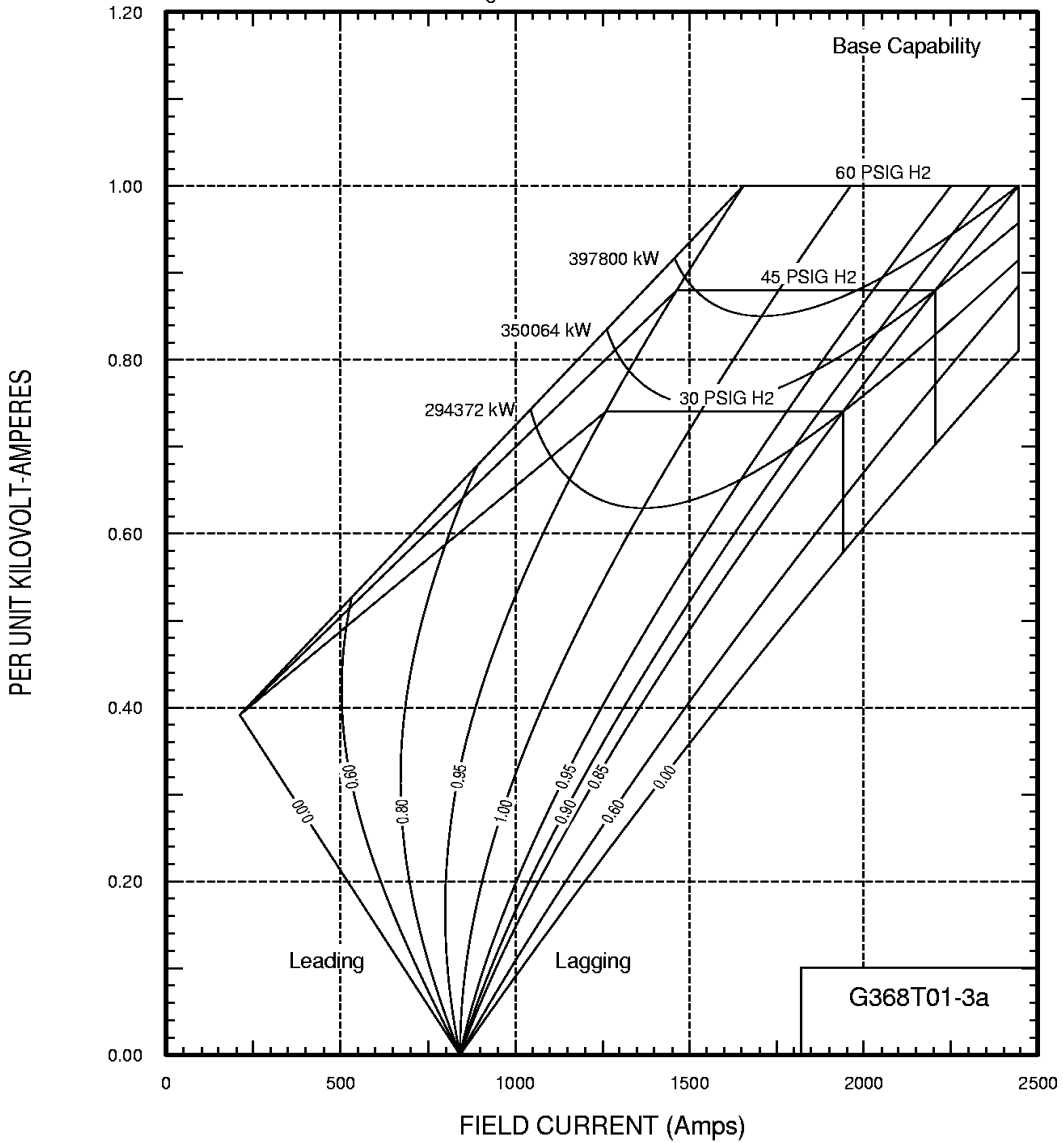



 GE POWER GENERATION SCHENECTADY, NY	GENERAL ELECTRIC COMPANY	SIZE A	CAGE CODE	DWG NO 237A5654
	DRAWN: Thameem Ismail	SCALE	SHEET 6	
ISSUED: Tom Bonacci				

SIZE A	DWG NO 237A5654	SH 7	REV A
------------------	--------------------	---------	----------

ESTIMATED VEE CURVES

2 Pole 3000 RPM 468000 kVA 18000 Volts 0.850 PF
 0.500 SCR 60.00 PSIG H2 Pressure 750 Volts Excitation
 50 Deg. C Cold Gas 27 Ft. Altitude

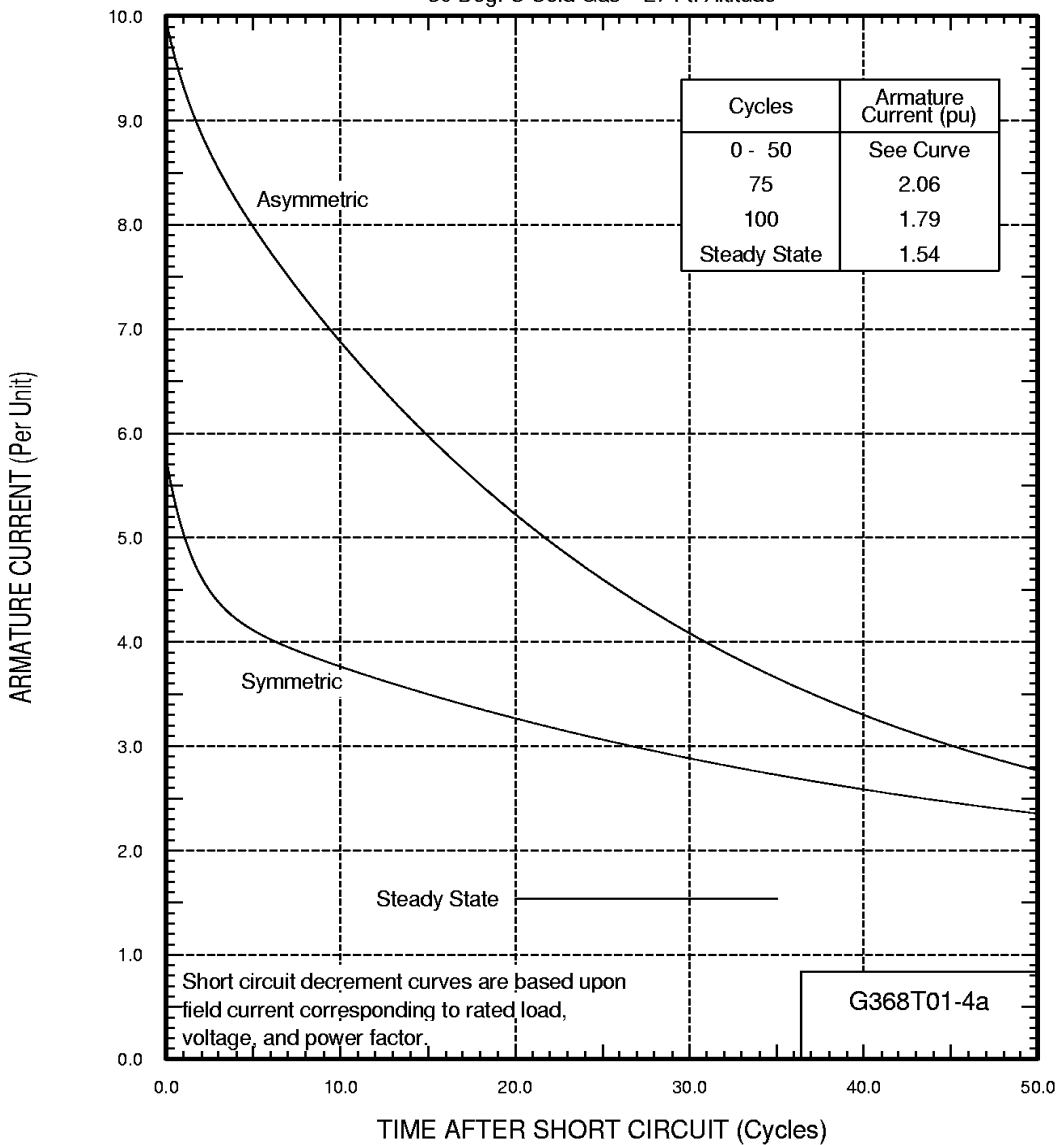



 GE POWER GENERATION SCHENECTADY, NY	GENERAL ELECTRIC COMPANY	SIZE A	CAGE CODE	DWG NO 237A5654
	DRAWN: Thameem Ismail			
ISSUED: Tom Bonacci		SCALE		SHEET 7

SIZE A	DWG NO 237A5654	SH 8	REV A
------------------	--------------------	---------	----------

ESTIMATED THREE-PHASE SHORT CIRCUIT DECREMENT CURVE

2 Pole 3000 RPM 468000 kVA 18000 Volts 0.850 PF
 0.500 SCR 60.00 PSIG H2 Pressure 750 Volts Excitation
 50 Deg. C Cold Gas 27 Ft. Altitude

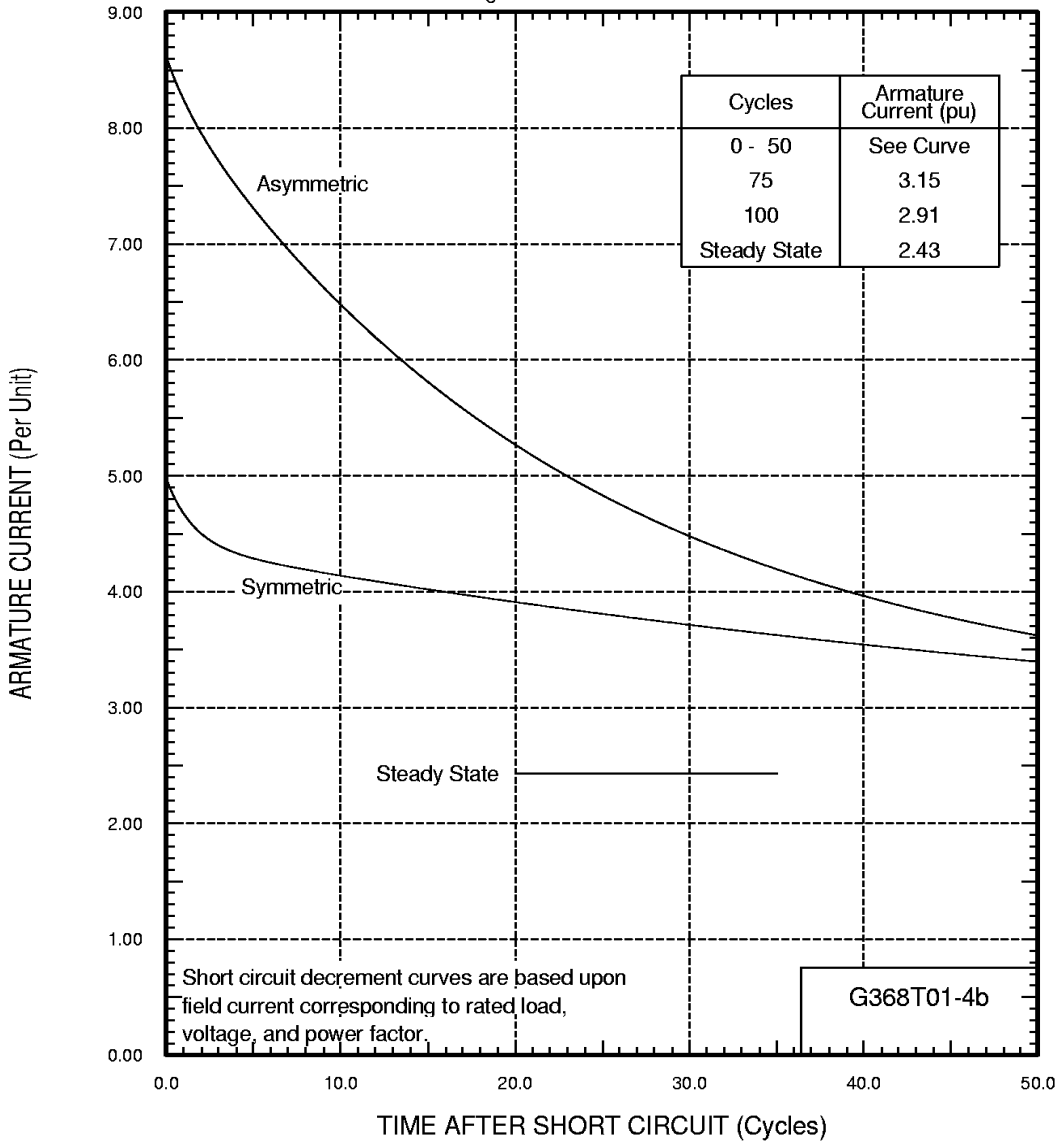



 GE POWER GENERATION SCHENECTADY, NY	GENERAL ELECTRIC COMPANY	SIZE A	CAGE CODE	DWG NO 237A5654
	DRAWN: Thameem Ismail	ISSUED: Tom Bonacci	SCALE	SHEET 8

SIZE A	DWG NO 237A5654	SH 9	REV A
------------------	--------------------	---------	----------

ESTIMATED LINE-LINE SHORT CIRCUIT DECREMENT CURVE

2 Pole 3000 RPM 468000 kVA 18000 Volts 0.850 PF
 0.500 SCR 60.00 PSIG H2 Pressure 750 Volts Excitation
 50 Deg. C Cold Gas 27 Ft. Altitude

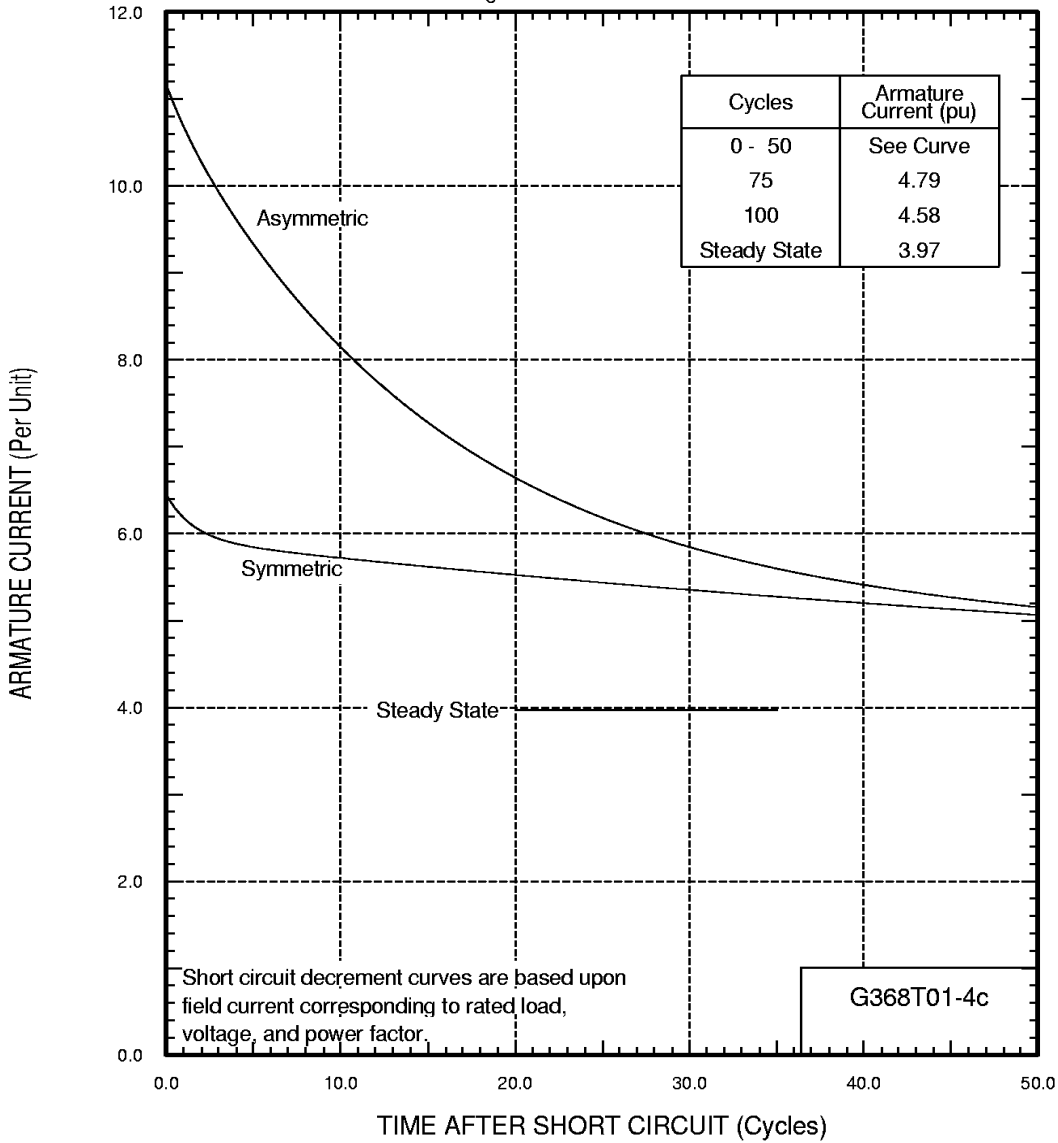



 GE POWER GENERATION SCHENECTADY, NY	GENERAL ELECTRIC COMPANY	SIZE A	CAGE CODE	DWG NO 237A5654
	DRAWN: Thameem Ismail			
ISSUED: Tom Bonacci		SCALE		SHEET 9

SIZE A	DWG NO 237A5654	SH 10	REV A
------------------	--------------------	----------	----------

ESTIMATED LINE-NEUTRAL SHORT CIRCUIT DECREMENT CURVE

2 Pole 3000 RPM 468000 kVA 18000 Volts 0.850 PF
 0.500 SCR 60.00 PSIG H2 Pressure 750 Volts Excitation
 50 Deg. C Cold Gas 27 Ft. Altitude

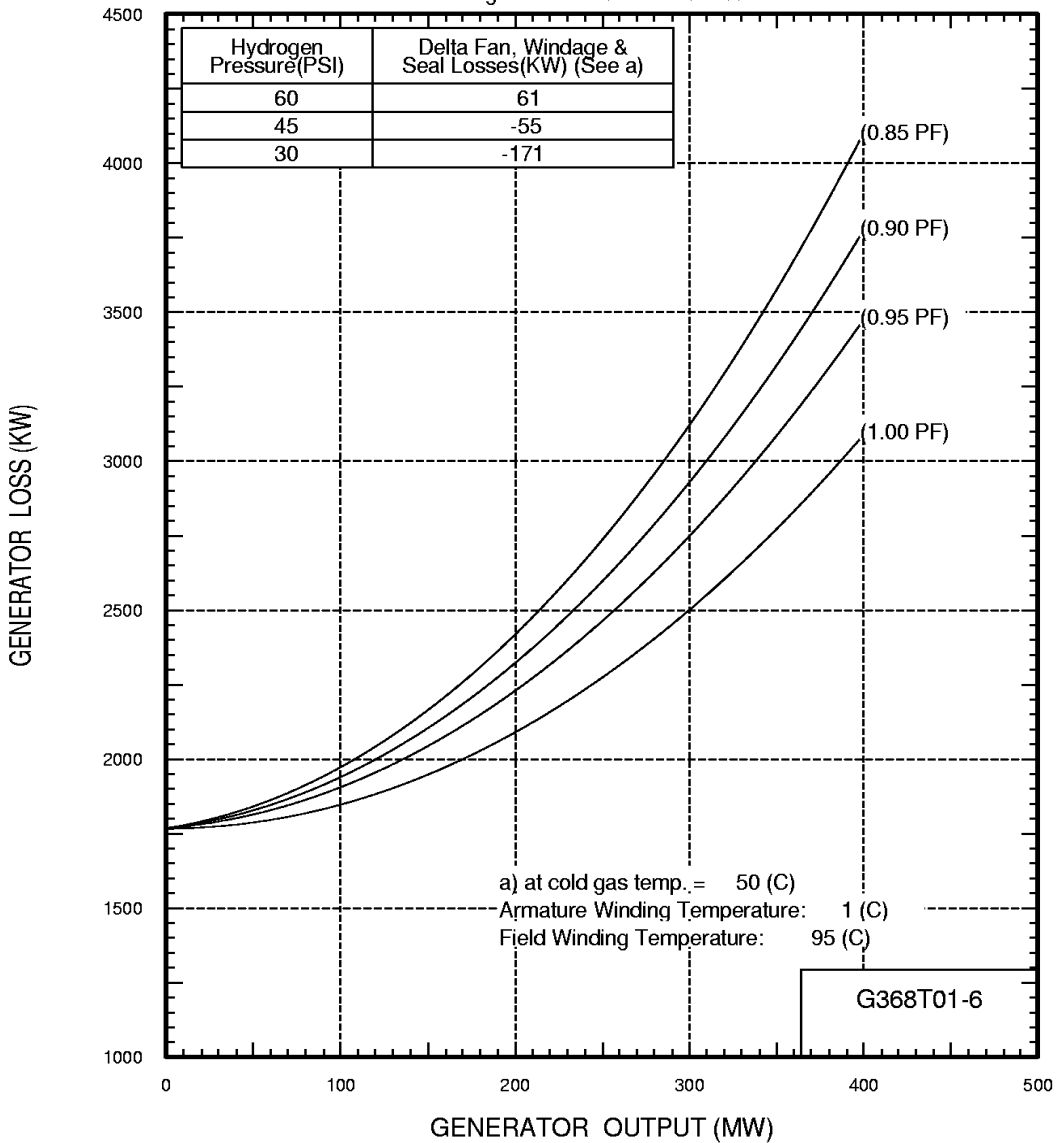



 GE POWER GENERATION SCHENECTADY, NY	GENERAL ELECTRIC COMPANY	SIZE A	CAGE CODE	DWG NO 237A5654
	DRAWN: Thameem Ismail			
ISSUED: Tom Bonacci		SCALE		SHEET 10

SIZE A	DWG NO 237A5654	SH 11	REV A
------------------	--------------------	----------	----------

GENERATOR LOSS CURVE

2 Pole 3000 RPM 468000 kVA 18000 Volts 0.850 PF
 0.500 SCR 60.00 PSIG H2 Pressure 750 Volts Excitation
 50 Deg. C Cold Gas 27 Ft. Altitude

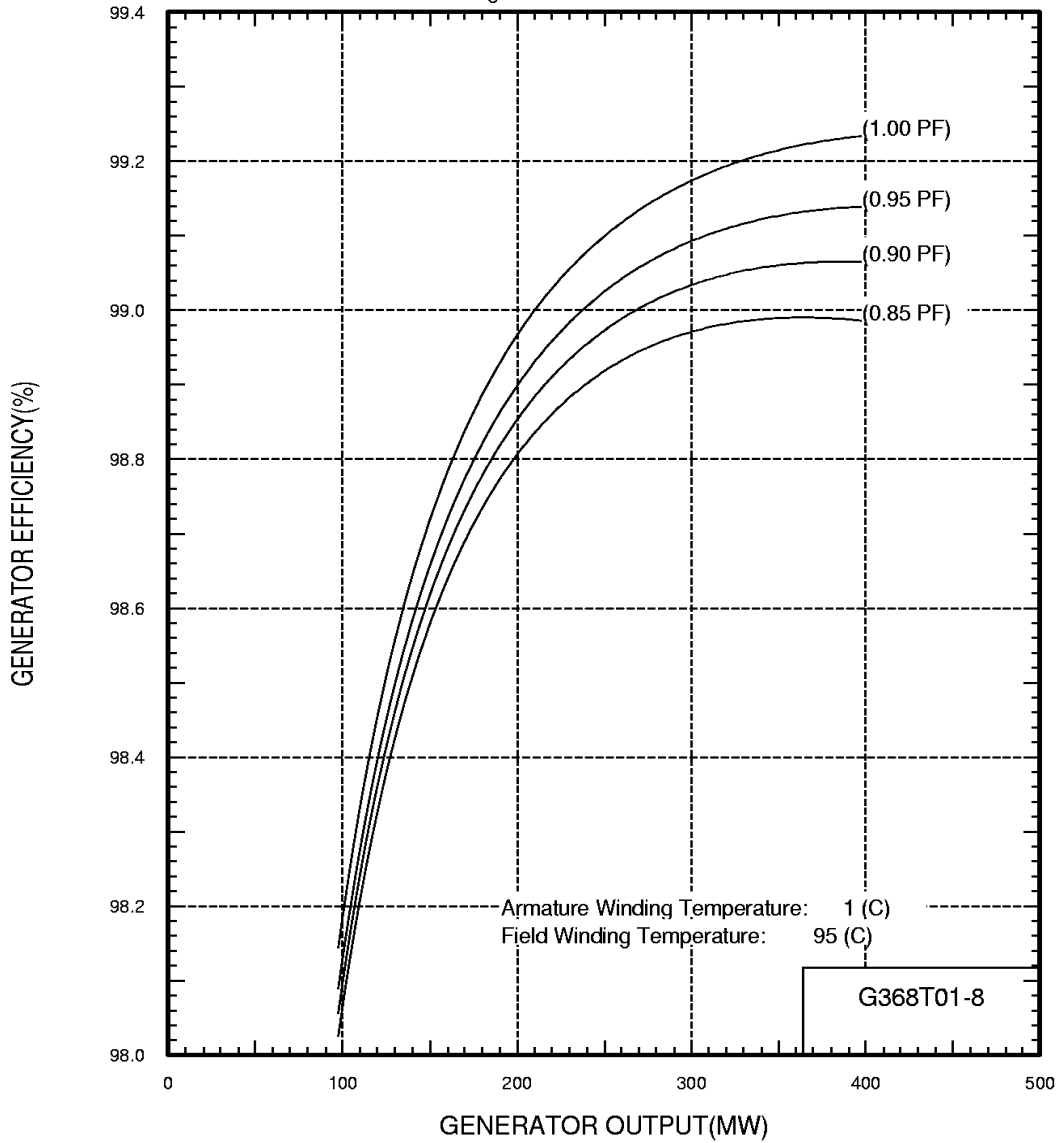



 GE POWER GENERATION SCHENECTADY, NY	GENERAL ELECTRIC COMPANY	SIZE A	CAGE CODE	DWG NO 237A5654
	DRAWN: Thameem Ismail	ISSUED: Tom Bonacci	SCALE	SHEET 11

SIZE A	DWG NO 237A5654	SH 12	REV A
------------------	--------------------	----------	----------

GENERATOR EFFICIENCY CURVE

2 Pole 3000 RPM 468000 kVA 18000 Volts 0.850 PF
 0.500 SCR 60.00 PSIG H2 Pressure 750 Volts Excitation
 50 Deg. C Cold Gas 27 Ft. Altitude



 GE POWER GENERATION SCHENECTADY, NY	GENERAL ELECTRIC COMPANY	SIZE A	CAGE CODE	DWG NO 237A5654
	DRAWN: Thameem Ismail	ISSUED: Tom Bonacci	SCALE	SHEET 12