

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ
INGENIERÍA ELÉCTRICA

INFORME FINAL DEL PROYECTO DE RESIDENCIA
PROFESIONAL

**“Diseño y Actualización de los Sistemas de Protección y Medición de
las Unidades de la C.H. Malpaso”**

DESARROLLADO POR
Eduardo Antonio Cabrera Morales

No DE CONTROL: 11270511

lalomaza@hotmail.com

ASESOR:

Externo: Ing. Edson Othón Benavidez Ovando

Interno: Ing. Luis Alberto Pérez Lozano

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Diciembre 2015

CONTENIDO

1. Introducción	3
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Estado del arte.....	4
1.3 Justificación.....	5
1.4 Objetivo	5
1.5 Metodología.....	5
2. Fundamento Teórico	7
2.1 Central Hidroeléctrica Malpaso.....	7
2.2 Transformadores de Instrumento.....	12
2.3 Relevadores de Protección.....	19
2.4 Relevadores de Auxiliares.....	24
2.5 Números ANSI/IEEE.....	26
2.6 Protección de Generadores	28
3. Desarrollo.....	39
3.1 Selección del Periodo de Estudio.....	39
3.2 Desarrollo del Proyecto en la Actualización de los Sistemas de Protección.....	41
3.3 Diseño de los Sistemas de Protección y Medición.....	46
3.4 Actualización de los Sistemas de Protección y Medición Mes de Agosto.....	62
3.5 Actualización de los Sistemas de Protección y Medición Mes de Septiembre	66
3.6 Actualización de los Sistemas de Protección y Medición Mes de Octubre	69
3.6 Actualización de los Sistemas de Protección y Medición Mes de Noviembre	72
4. Conclusión.....	75
5. Referencias Bibliográficas	76
6. Anexos	77
Anexo A.- Las Centrales Hidroeléctricas	77
Anexo B.- Conceptos Generales.....	79

1. Introducción

1.1 Antecedentes

Los generadores experimentan cortocircuitos y condiciones eléctricas anormales. En muchos casos, el daño al equipo producido por estos eventos puede reducirse o evitarse mediante la protección apropiada del generador. Los generadores, a diferencia de otros componentes de los sistemas de energía, requieren ser protegidos no solo contra los cortocircuitos, sino contra condiciones anormales de operación.

Las condiciones anormales que se presentan son: la sobreexcitación, el sobrevoltaje, la pérdida de campo, el generador puede sufrir daños o una falla completa en pocos segundos por lo que se requiere la detección y el disparo automático.

Los generadores representan el equipo más caro en un sistema eléctrico de potencia y se encuentra sometido, más que ningún otro equipo del sistema, a los más diversos tipos de condiciones anormales. La protección de los generadores es más importante que a la continuidad momentánea del servicio del sistema eléctrico al que están conectados.

En el proceso de generación es importante contar con equipos de mediciones establecidos por las normas, ya que con ellos obtendremos el comportamiento optimizado de generación y consumo de energía eléctrica de las unidades generadoras, mediante el diseño de los diagramas se realizarán las debidas inspecciones para evitar las condiciones anormales y las razones por las cuales las hay y mejorar la eficiencia energética.

Para la implementación de un nuevo equipo se utiliza la norma ANSI/IEEE el cual debe presentar características de objetividad, confiabilidad y oportunidad cumpliendo con la legislación y normatividad vigente, al igual que en otros tipos de sistemas, la confiabilidad del sistema eléctrico depende de la confiabilidad de sus componentes que se encuentran expuestos a múltiples eventos tanto de carácter estocástico como determinístico.

La ejecución e implantación de un diagrama contribuyen a atender oportunamente cualquier disturbio en el suministro de energía eléctrica y la seguridad de los sistemas que

integran el sistema interconectado nacional. Los Sistemas Eléctricos de Potencia tienen como función principal suministrar energía eléctrica a los consumidores con altos niveles de calidad, confiabilidad y seguridad.

Es muy importante seleccionar bien el esquema de protecciones del generador, de tal manera que sea completo con protecciones sensibles, confiables y redundantes y bien ajustadas, en el siguiente trabajo se elabora el diseño y actualización de los diagramas de protección y medición cuyo fin es el mejoramiento de protección durante la generación de energía eléctrica.

1.2 Estado del arte

Edson Othon Benavidez Ovando, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, desarrollo los primeros diagramas de protección y medición. [1]

Víctor Hugo García Kassab, Marcos Uriel Calixto Méndez y Miguel Escobar de la Cruz, egresados del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, desarrollaron la actualización y mejoras de los diagramas de protección de generador y el cableado correspondiente a los diagramas de control, protección y medición trifilares diseñados. [2]

Agrawal, B. L., and Farmer, R. G., “Aplicación de subsíncrono Oscilación del relé tipo SSO,” *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*. [3]

IEEE Std C37.90™-1989, IEEE standart for relays. [4]

IEEE Std C37.97™-1979, IEEE Guía para aplicaciones de protección de relé a sistemas de energía de buses. [5]

IEEE Std C37.102™-1987, IEEE Guía para AC Protección de Generador. [6]

IEEE Std C37.103™-1990, IEEE Guía para diferencial y polarización relé Prueba Circuito (ANSI). [7]

IEEE Power System Relaying Committee, “Relé de protección de generadores de corriente alterna,” *AIEE Transactions*. [8]

Sills, H. R., and McKeever, J. L., “Características de las corrientes de fase partida como fuente de Protección de Generador,” *AIEE Transactions*. [9]

1.3 Justificación

En el presente proyecto se desarrolla el diseño de los diagramas de protección y medición para el proceso de generación de energía eléctrica de la central hidroeléctrica malpaso, lo cual implica la utilización del software AutoCAD para el diseño de alambrado de las señales analógicas y digitales.

1.4 Objetivo

Diseño de un nuevo sistema de protección y medición implementando equipos con tecnología de vanguardia y sistemas actualizados con los diagramas eléctricos, para atender rápida y oportunamente cualquier disturbio.

1.5 Metodología

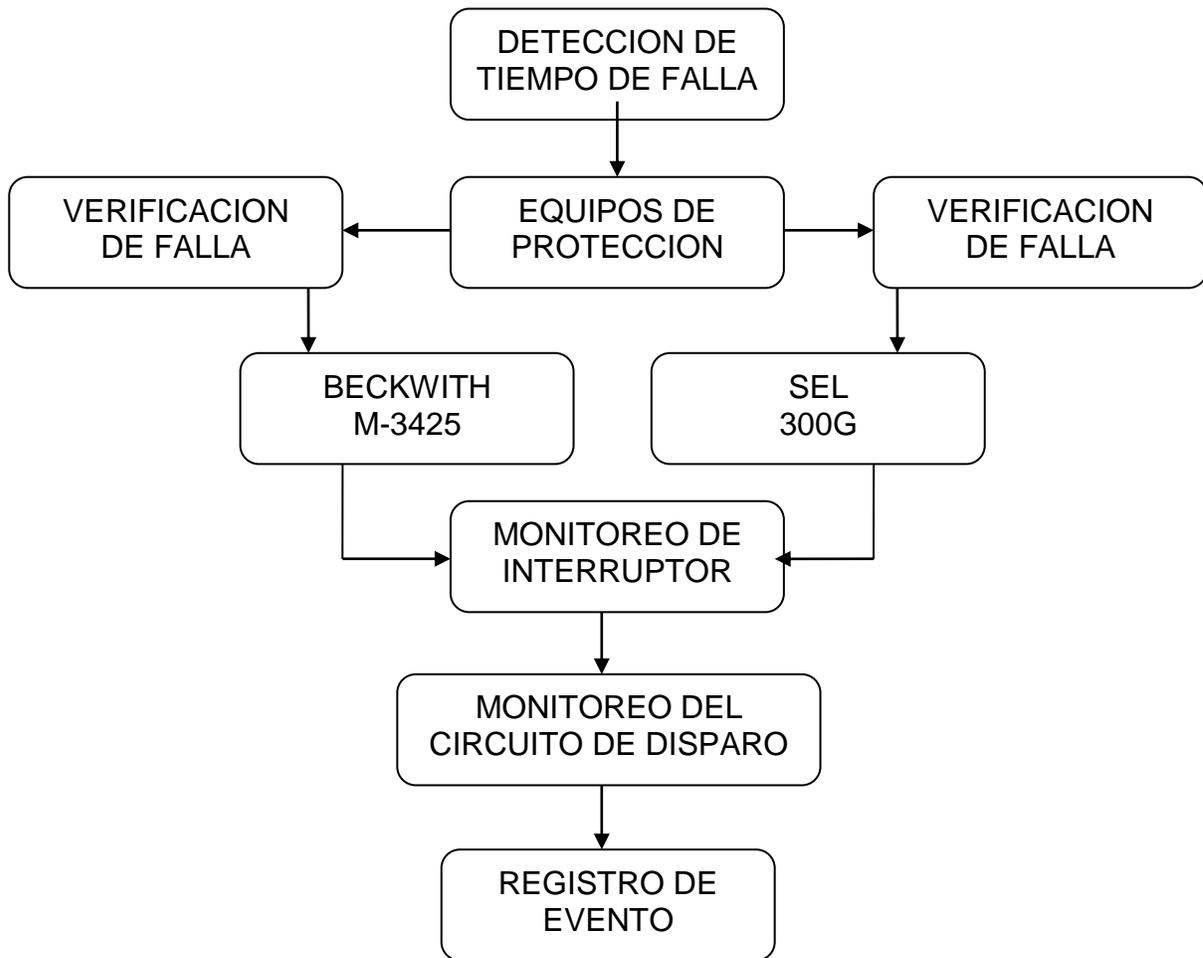


Figura. 1.1 Diagrama a bloques del hardware.

Detección de Falla: Esta es la sección donde se establecerá el tiempo en que se llevara a cabo las capturas de las fallas. Esto se hace en todas las unidades de generación eléctrica.

Equipos de Protección: Se evalúa el estado de los equipos de protección actuales. Actualmente las unidades 1, 2, 3,5 y 6 se cuentan con los mismos equipos de protección, se hace revisión si están en perfecto funcionamiento y cumplen con las funciones predeterminadas.

Verificación de Falla: En este apartado los equipos de protección mandan la alarma de falla que podemos observar en la sala de operación.

Monitoreo de Interruptor: consiste en monitorear y controlar un interruptor de circuito de donde se pueden enviar mandos al interruptor, así como observar el estado de sus parámetros en tiempo real

Monitoreo del Circuito de Disparo: consiste en monitorear y controlar el circuito de disparo donde en cualquier circunstancia este se active por falla, así como observar el estado de sus parámetros en tiempo real.

Registro de Evento: El registro de eventos guarda el estado de los elementos del relevador, I/O, valores medidos y valores calculados con estampa de tiempo de 1mseg de resolución en eventos definidos por el usuario.

2. Fundamento Teórico

2.1 Central Hidroeléctrica Malpaso

En el nombre de una de las plantas hidroeléctricas más importantes y de mayor capacidad de la república mexicana. La Central Hidroeléctrica Malpaso se ubica sobre la cuenca más importante de generación hidroeléctrica del país, el Rio Grijalva, a 125 Km. De la ciudad de Cárdenas Tabasco y a 80 Km de la Cd de Tuxtla Gutiérrez; Chiapas.

La cuenca de este rio se inicia en la vecina república de Guatemala y se interna en nuestro país en la región denominada “Alto Grijalva” en el estado de Chiapas. Desciende posteriormente hacia la planicie del Estado de Tabasco, ahora con el nombre de “Bajo Grijalva, hasta la zona de la Chontalpa, donde desemboca en el Golfo de México.

En 1960 se disponía de los planos estructurales definitivos para iniciar la construcción de la presa, en la cual la Comisión del Rio Grijalva coordino sus actividades con la Comisión Federal de Electricidad que planeo todo lo referente al aprovechamiento para la generación de energía eléctrica. El objetivo principal de la presa fue: control de avenidas, Generación de energía eléctrica, Defensa contra las inundaciones, riego – drenaje, agua potable y saneamiento, vías de comunicación y establecimiento de centros de población campesina.



Figura. 2.1 Vista aérea de la cortina de la C.H. Malpaso

El 27 de Junio de 1951 se creó la Comisión del Río Grijalva dependiente de la entonces Secretaria de Recursos Hidráulicos, para el estudio y desarrollo integral de la cuenca de dicho río. A partir de 1953 la Secretaria de Recursos Hidráulicos construyó los bordos de defensa marginales de los ríos; y en 1955 de acuerdo con los estudios Hidrológicos, Topográficos y Geológicos preliminares, la Comisión del Río Grijalva llegó a la conclusión de que la primera presa por construirse fuera la de Netzahualcóyotl, en la boquilla denominada “Raudales Malpaso”, sobre el Río Grijalva.

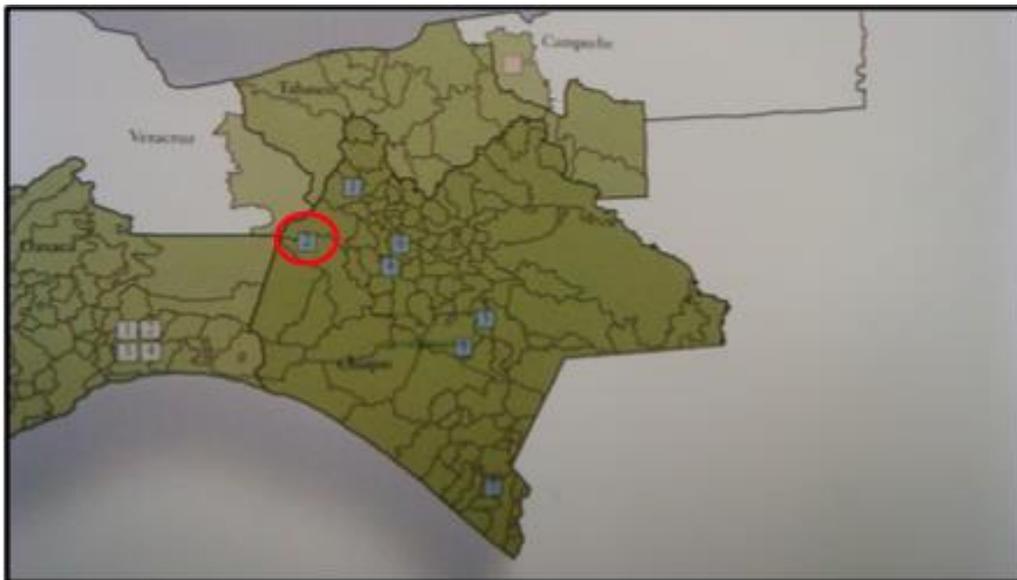


Figura. 2.2 Ubicación Geográfica de la C.H. Malpaso

UNIDADES	CAPACIDAD	FECHA DE PUESTA EN SERVICIO
Unidad N° 1	180 MW	26-ene-69
Unidad N° 2	180 MW	06-feb-69
Unidad N° 3	180 MW	07-abr-69
Unidad N° 4	180 MW	24-jun-69
Unidad N° 5	180 MW	01-feb-78
Unidad N° 6	180 MW	14-oct-77
TOTAL	1080 MW	

Tabla. 2.1 Características de las Unidades Generadoras

Sobre el Rio Grijalva, Tiene una capacidad de almacena de 13 mil millones de m³ hasta la elevación 188.00 m.s.n.m., que concierne al nivel de aguas máximas extraordinarias. Con un embalse máximo a 30 mil hectáreas. En la tabla (2.2) se describen las características generales de la C.H. Malpaso.

Tensión de generación	15,000 V
Tensión de elevación	400,000 V
Tensión de líneas de transmisión	400/230/115 KV
Área de embalse	30, 000 Ha
Volumen de embalse	12,960 x 10 ⁶ M ³
Volumen para generación de energía	7,300 x10 ⁶ M ³
Elevación máxima	188 M.S.N.M.
Elevación nivel máximo de operación	182.5 M.S.N.M.
Elevación nivel mínimo de operación	144 M.S.N.M.
Bóveda	104.50 M.S.N.M.
Piso de excitadores	89.50 M.S.N.M.
Piso de generadores	85.00 M.S.N.M.
Piso de turbinas	81.50 M.S.N.M.
Eje horizontal turbina	77.50 M.S.N.M
Piso de válvulas	71.50 M.S.N.M.
Piso tubo de aspiración	65.50 M.S.N.M.

Tabla 2.2 Características Generales

Cortina.- Tiene por objeto el control de avenidas máximas para reducir las aportaciones del Río a valores que no ocasionen perjuicios en las zonas agrícolas y poblados de la Chontalpa, así como la producción de 3200 GWH anuales de energía eléctrica. En la tabla (2.3) se detallan sus características.

Tipo	Enrocamiento con corazón impermeable de arcilla
Altura	137.50 m.
Longitud máxima	485.00 m.
Elevación de la corona	192.00 m.s.n.m.
Ancho de la corona	10.00 m.
Longitud de la corona	478.00 m.
Bordo libre	4.00 m
Volumen total de la cortina	5,077.280 m3

Tabla 2.3 Características de la Construcción de la Cortina

Marca	Sakailron
Unidades	6
Longitud	79.15 M.
Diámetros Principio	7.00 M.
Final	6.00 M.
Espesoras Principio	20.64 Mm.
Final	26.99 Mm

Tabla 2.4 Características de las Tuberías de Presión

Subestación Elevadora.- De tipo intemperie, se localiza en la elevación 192.00 m. Y aloja a los Transformadores de potencia monofásicos que elevan el voltaje de generación, de 15 a 400 kV, apartarrayos e interruptores. (Tabla 2.5)

Transformadores

Concepto	1ra Etapa	2da Etapa
Marca	Mitsubishi	Persons Peebles
Capacidad	45/60/75	45/60/75 MVA
Tipo	Acorazado	Acorazado
Modelo	SR/SUB	ATL 300
Relación	15/ 400	15/ 400 KV
Clase	OA/FOA/FOA	OA/FOA/FOA
Fases	1	1
Frecuencia	60 Ciclos/seg	60 Ciclos/seg
Impedancia	4.82%	8.23%
Peso Núcleo y Bobina	59.5 Ton	64.00 Ton
Peso Tanque y Acce	29.5 Ton	15.00 Ton
Aceite total	20500 Lt.	3000 Lt.
Peso aceite	18.500 Kg	26.000 Kg
Peso total transf.	107.000 Kg	120..000 Kg

Tabla 2.5 Características de la construcción de la Cortina

2.2 Transformadores de Instrumento

Los “transformadores de instrumento”, es una designación general para clasificar a los transformadores de corriente y voltaje, que son dispositivos para transformar con precisión. La transformación se hace por diferentes razones. Una de ellas es reducir en forma precisa, a través de la transformación, la magnitud de la corriente primaria o del voltaje del circuito a valores que sean más fáciles de manipular por razones de seguridad del personal.

Para los transformadores de corriente, el valor secundario de corriente es 5 A y para los transformadores de potencial los voltajes secundarios son 120 a 115 V. la segunda forma es aislar el equipo secundario (instrumentos de medición y/o protección) de los voltajes primarios que son peligrosos.

Y la última es para dar a los usuarios mayor flexibilidad en la utilización del equipo, en aplicaciones tales como: medición y protección. Para revidar la conveniencia y posibilidad de aplicar el mismo tipo de transformador de instrumento para aplicaciones simultaneas en medición y protección.

Las personas familiarizadas con el uso de transformadores de instrumento saben que se usan principalmente en aplicaciones de protección y medición, pero también en boquillas de: interruptores, transformadores de potencia y generadores. Desde luego, se usan también en: Subestaciones: Para protección y medición y Generadores: Para protección y medición.

Son dispositivos electromagnéticos cuya función principal es reducir a escala, las magnitudes de tensión y corriente que se utilizan para la protección y medición de los diferentes circuitos de una subestación, o sistema eléctrico en general. Los aparatos de medición y protección que se montan sobre los tableros de una subestación no están contruidos para soportan ni grandes tensiones, ni grandes corrientes.

Con el objeto de disminuir el costo y los peligros de las altas tensiones dentro de los tableros de control y protección, se dispone de los aparatos llamados transformadores de corriente y potencial que representan, a escalas muy reducidas, las grandes magnitudes de corriente o de tensión respectivamente. Normalmente estos transformadores se construyen con sus secundarios, para corriente de 5 amperes o tensiones de 120 volts.

Los transformadores de corriente se conectan en serie con la línea, mientras que los de potencial se conectan en paralelo, entre dos fases o entre fase y neutro. Esto en sí, representa un concepto de dualidad entre los transformadores de corriente y los de potencial que se puede generalizar en la siguiente tabla y que nos ayuda diferenciar las funciones de un transformador a otro. Las características pueden verse en la tabla (2.6).

Concepto	Transformador	
	Tensión	Corriente
Norma IEC / IRAM	60186 / 2271	60185 / 2344 - 1
Tensión	Constante	Variable
Corriente	Variable	Constante
La carga se determina por:	Corriente	Tensión
Causa del error:	Caída de tensión en serie	Corriente derivada en paralelo
La carga secundaria aumenta cuando:	Z_2 disminuye	Z_2 aumenta
Conexión del transformador a la línea:	En paralelo	En serie
Conexión de los aparatos al secundario:	En paralelo	En serie

Tabla. 2.6 Equivalencias de funciones de los transformadores de instrumento

Transformadores de corriente.- Son aparatos en que la corriente secundaria, dentro de las condiciones normales de operación, es prácticamente proporcional a la corriente primaria, aunque ligeramente desfasada. Desarrollan dos tipos de función: transformar la corriente y aislar los instrumentos de protección y medición conectados a los circuitos de alta tensión.

El primario del transformador se conecta en serie con el circuito por controlar y el secundario se conecta en serie con las bobinas de corriente de los aparatos de medición y de protección que requieran ser energizados. Un transformador de corriente puede tener uno o varios secundarios, embobinados a su vez sobre uno o varios circuitos magnéticos.

Si el aparato tiene varios circuitos magnéticos, se comportan como si fueran varios transformadores diferentes. Un circuito se puede utilizar para mediciones que requieren mayor precisión, y los demás se pueden utilizar para protección. Por otro lado, conviene que las protecciones diferenciales y de distancia se conecten a transformadores independientes.

Los transformadores de corriente se pueden fabricar para servicio interior o exterior. Los de servicio interior son más económicos y se fabrican para tensiones de servicio de hasta 25kV, y con aislamiento en resina sintética. Los de servicio exterior y para tensiones medias se fabrican con aislamiento de porcelana y aceite, aunque ya se utilizan aislamientos a base de resinas que soportan las condiciones climatológicas.

Para las altas tensiones se continúan utilizando aislamientos a base de papel y aceite dentro de un recipiente metálico, con boquillas de porcelana. La tensión del aislamiento de un transformador de corriente debe ser, cuando menos, igual a la tensión más elevada del sistema al que va estar conectado.

Para el caso de los transformadores utilizados en protecciones con relevadores estáticos se requieren núcleos que provoquen menores saturaciones que en el caso de los relevadores de tipo electromagnéticos, ya que las velocidades de respuesta de las protecciones electrónicas son mayores.

Los transformadores de corriente pueden ser de medición, de protección o mixtos.

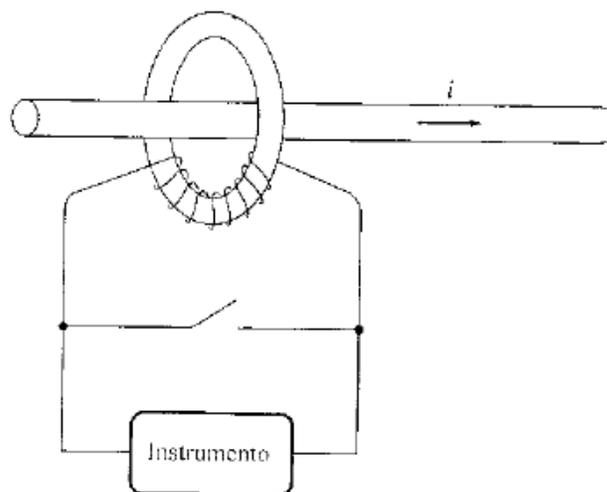


Figura. 2.3 Diagrama de un transformador de corriente.

Transformador de medición.- Los transformadores cuya función es medir, requieren reproducir fielmente la magnitud y el ángulo de fase de la corriente. Su precisión debe garantizarse desde una pequeña fracción de corriente nominal del orden del 10%, hasta un exceso de corriente del orden del 20%, sobre el valor nominal.

Transformadores de protección.- Los transformadores cuya función es proteger un circuito, requiere conservar su fidelidad hasta un valor de veinte veces la magnitud de la corriente nominal.

Transformadores mixtos.- En este caso, los transformadores se diseñan para una combinación de los dos casos anteriores, un circuito con el núcleo de alta precisión para los circuitos de medición y uno o dos circuitos más, con un núcleo adecuado, para los circuitos de protección.

Parámetros de los transformadores de corriente.

Corriente.- Las corrientes primarias y secundarias de un transformador de corriente deben estar normalizadas de acuerdo con cualquiera de las normas nacionales o internacionales en uso.

Corriente primaria.- Para esta magnitud se selecciona el valor normalizado inmediato superior de la corriente calculada para la instalación. Para subestaciones de potencia, los valores normalizados son: 300, 400, 600, 800, 1200, 1500, 2000 y 4000 amperes.

Carga secundaria.- Es el valor de la impedancia en ohms, reflejada en el secundario de los transformadores de corriente, y que está constituida por la suma de las impedancias del conjunto de todos los medidores, relevadores, cables y conexiones conectados en serie con el secundario y que corresponde a la llamada potencia de precisión a la corriente nominal secundaria.

La carga se puede expresar también, por los volt-amperes totales y su factor de potencia, obtenidos a un valor especificado de corriente y frecuencia. Las cargas normalizadas se designan con la letra *B* seguida del valor total de la impedancia. El valor del factor de potencia normalizado es de 0.9 para los circuitos de medición y de 0.5 para los de protección.

Todos los aparatos, ya sean de medición o de protección, traen en el catálogo respectivo la carga de acuerdo con su potencia de precisión. De los cables de control se puede obtener la carga según se indica en la figura (2.).

Límite térmico.- Un transformador debe poder soportar en forma permanente, hasta un 20% sobre el valor nominal de corriente, sin exceder el nivel de temperatura especificado. Para este límite las normas permiten una densidad de corriente de 2 A/mm², en forma continua.

Límite de cortocircuito.- Es la corriente de cortocircuito máxima que soporta un transformador durante un tiempo que varía entre 1 y 5 segundos. Esta corriente puede llegar a significar una fuerza del orden de varias toneladas. Para este límite las normas permiten una densidad de corriente de 143 A/mm² durante un segundo de duración del cortocircuito.

Tensión secundaria nominal.- Es la tensión que se levanta en las terminales secundarias del transformador al alimentar éste una carga de veinte veces la corriente secundaria nominal.

Potencia nominal.- Es la potencia aparente secundaria que a veces se expresa en volt-amperes (VA) y a veces en ohms, bajo una corriente nominal determinada y que se indica en la placa de características del aparato.

Para escoger la potencia nominal de un transformador, se suman las potencias de las bobinas de todos los aparatos conectados en serie con el devanado secundario, más las pérdidas por efecto joule que se producen en los cables de alimentación, y se selecciona el valor nominal inmediato superior a la cifra obtenida, como se indica en la tabla (2.7)

Cargas normales para transformadores de corriente según Normas ANSI C.57.13					
Designación de la carga	Características		Caract. para 60 Hz y corr. sec. de 5A		
	Resistencia (ohm)	Inductancia en milihenrys	Impedancia (ohm)	VA	Factor de potencia
B0.1	0.09	0.116	0.1	2.5	0.9
B0.2	0.18	0.232	0.2	5.0	0.9
B0.5	0.45	0.580	0.5	12.5	0.9
B1.0	0.50	2.3	1.0	25	0.5
B2.0	1.0	4.6	2.0	50	0.5
B4	2.0	9.2	4.0	100	0.5
B8	4.0	18.4	8.0	200	0.5

Tabla. 2.7 Cargas aceptadas en el transformador de corriente.

Para los secundarios de 5 amperes, no se deben utilizar conductores con calibres inferiores al No. 10 AWG, que tiene una resistencia de 1ohm por cada 333 metros de longitud. Este conductor sobredimensionado, reduce la carga (*burden*) y además proporciona alta resistencia mecánica, que disminuye la posibilidad de una ruptura accidental del circuito, con el desarrollo consiguiente de sobretensiones peligrosas.

Transformadores de potencial.- Son aparatos en que la tensión secundaria, dentro de las condiciones normales de operación, es prácticamente proporcional a la tensión primaria, aunque ligeramente desfasada. Desarrollan dos funciones: transformar la tensión y aislar los instrumentos de protección y medición conectados a los circuitos de alta tensión.

El primario se conecta en paralelo con el circuito por controlar y el secundario se conecta en paralelo con las bobinas de tensión de los diferentes aparatos de medición y de protección que requieren energizar. Estos transformadores se fabrican con aislamientos de resinas sintéticas para tensiones bajas o medias, mientras que para altas tensiones se utilizan aislamientos de papel, aceite y porcelana.

Parámetros de los transformadores de potencial

Tensiones.- Las tensiones primaria y secundaria de un transformador de potencial deben estar normalizadas de acuerdo con cualquiera de las normas nacionales o internacionales de uso.

Tensión primaria.- Se debe seleccionar el valor normalizado inmediato superior al valor calculado de la tensión nominal de la instalación.

Tensión secundaria.- Los valores normalizados, según la ANSI son de 120 volts para aparatos de hasta 25 kV y de 115 volts para aquellos con valores superiores a 34.5 kV. Los transformadores de potencial se construyen normalmente con un solo embobinado secundario.

Potencia nominal.- Es la potencia secundaria expresada en volt-ampers, que se desarrolla bajo la tensión nominal y que se indica en la placa de características del aparato. Para escoger la potencia nominal de un transformador, se suman las potencias que consumen las bobinas de todos los aparatos conectados en paralelo 30 con el devanado secundario, más las pérdidas por efecto de las caídas de tensión que se producen en los cables de alimentación.

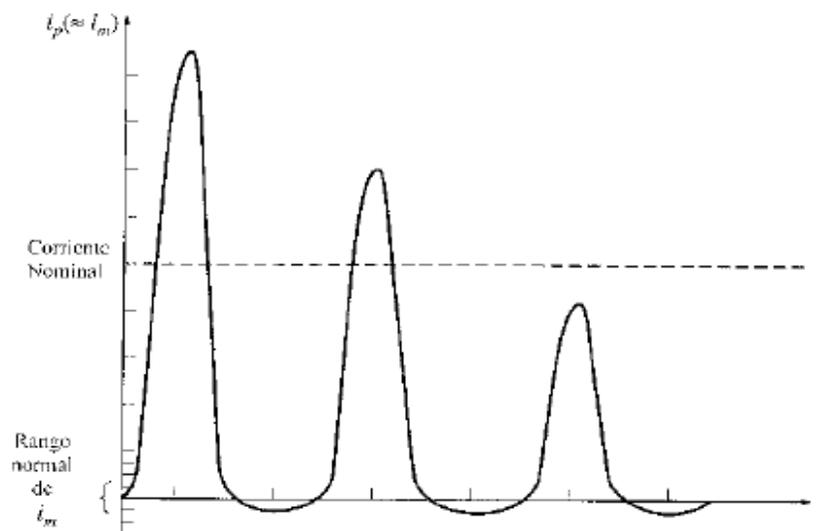


Figura. 2.4 Corriente de interrupción debida a la corriente de magnetización del transformador.

2.3 Relevadores de Protección

El relevador de protección es un dispositivo eléctrico diseñado para responder a señales de entrada previamente definidas y una vez cumplidas éstas, provocar un cambio abrupto en los circuitos eléctricos asociados. Estas señales de entrada usualmente son eléctricas, pero también pueden ser mecánicas o térmicas.

El objetivo principal de los Relevadores de Protección es la detección de fallas en el sistema para desconectar de la forma más rápida posible el elemento fallado con el propósito de reducir los efectos que produce una falla eléctrica. Las protecciones no pueden evitar las fallas ya que éstas últimas siempre están presentes, sin embargo si se pueden minimizar sus efectos. Deben de cumplir las siguientes características:

Confiabilidad: Que el relevador opere cuando sea requerido, (dependabilidad) y no opere cuando no sea requerido (seguridad).

Selectividad: Que el relevador identifique al equipo fallado y desconecte solo a éste.

Sensibilidad: Que el relevador opere con los mínimos valores de falla.

Rapidez: Que el relevador opere lo más rápido posible para evitar daños mayores ó pérdidas de estabilidad ó sincronismo.

Simplicidad: Que el relevador sea sencillo en su construcción y diseño y en la circuitería asociada para alcanzar los objetivos del sistema de protección.

Economía: Que se obtenga la máxima protección a



Figura. 2.5 *Gabinete de Protección y Medición*

Relevador Multifunción de Generador M-3425A

El sistema integrado de protección M-3425A provee protección, control, supervisión y funciones de interface con el usuario para protección de generador. Las banderas registradas y las oscilografías pueden ser sincronizadas con un puerto IRIG-B. Cuenta con puertos RS-232 duales y un puerto RS-485 que provee al usuario capacidades de comunicación con el usuario. El software M-3820dD IPScm está incluido para acceso serial directo o comunicaciones remotas. Los datos de forma de onda pueden ser descargados (Formato comtrade). Módulos opcionales incluyen el interface humana-máquina para operación desde el panel frontal, el modulo de banderas para indicar el estado de disparo de banderas así como fuente de poder redundante, cuenta también con un pulsador para borrar todas las banderas.

El sistema de protección multifuncional Beckwith M-3425, permite despejar fallas en el sistema tales como: sobrecorriente, del generador, máxima frecuencia, mínima frecuencia, máxima tensión y mínima tensión, potencia inversa y muchos más parámetros que serán activados para proteger al generador, medidas desde el lado del neutro, emitiendo una

señal a través de contactos hacia el interruptor principal del generador y el solenoide de la válvula principal de la turbina para proteger el equipo poniendo fuera de servicio. Permite la apertura del interruptor principal así como el cierre de la válvula.

El Beckwith M-3425 A, es además, medidor de parámetros eléctricos tales como corriente de fase, de secuencia negativa. Asimismo, permite determinar demandas máximas del mismo día, del día anterior y desde el último reset.

El interruptor de potencia, protege al generador contra sobrecargas, y además desconecta al generador ante una falla. La bobina de disparo de interruptor de potencia está conectada al contacto de disparo del Relé.



Figura. 2.6 Relevador Multifunción de Generador M-3425A

Relevador Multifunción de Generador SEL-300.

El relé cumple con las normas de protección de la IEEE, el SEL-300G tienen las funciones de protección contra fallas, de seguridad, de umbral, de sincronización, de regulación, un relé de generador que incluye varias características únicas diseñadas para protección, supervisión y control sin igual de generadores eléctricos. El SEL-300G es para satisfacer las necesidades de las plantas de empresas suministradoras de energía e industriales y fabricantes de generadores.

Numerosos elementos de corriente, voltaje, frecuencia, distancia y energía ofrece una protección total para generadores grandes, medianos y pequeños.

Cien por ciento de protección de falla de tierra del estator usando elementos de sobrevoltaje de frecuencia fundamental y diferenciales de voltaje de tercer armónico para proteger los generadores de alta impedancia conectados a tierra.

Elementos opcionales de diferencial de corriente para optimizar la protección de máquinas más grandes. Compensación de cambio de fase y diferencia de magnitud para aplicaciones de diferencial de corriente que incluyan transformadores step-up de generador.

La opción de diferencial de corriente incluye elementos de sobrecorriente de fase individual para aplicaciones de protección de diferencial de fase dividida. Ofrece una opción de esquema de difusor unitario o doble para detectar la pérdida de condición de sincronismo.

Los elementos de voltios por hertzios detectan condiciones de sobreexcitación tanto en el generador como en el transformador step-up. Elija entre elementos de múltiples curvas y tiempo definido para aplicaciones de alarma y disparo. Los elementos de energía sensible protegen contra la energía en reversa, las condiciones de sobrecarga o la energía baja hacia el frente.

Ayuda a agilizar las aplicaciones de relé permitiéndole desarrollar las configuraciones del relé fuera de línea, programar las ecuaciones de control SELogic y analizar los reportes de eventos post-falla.



Figura. 2.7 Relevador Multifunción de Generador SEL-300G

Relevador Diferencial de Transformador SEL-387GT

El relé SEL-387GT es una protección diferencial del transformador, es un dispositivo microprocesador de protección contra cortocircuitos internos del transformador que se conecta a los circuitos secundarios de los transformadores de corriente (TC's) situados en ambos lados del elemento a transformador y su principio se basa en comparar la magnitud y ángulo de fase de las corrientes que entran y salen del transformador de potencia por medios de sus TC's de alta y baja.

En condición normal de operación habrá igualdad de magnitudes de corrientes donde las corrientes que llegan al ajuste de operación del SEL-387GT se anulan dando cero corriente en su bobina de operación, es decir no habrá diferencia de corriente que haga operar a la protección diferencial.

Este relevador cuenta con elementos de sobrecorriente de fases y cortocircuitos internos y/o externos y también de neutro para ver fallas a tierra, cuenta con valores de ajuste de temperatura para sobrecargos, elementos de sobretensión y variaciones de frecuencia. Los ajustes del pick-up de los elementos de sobrecorriente y la característica de operación son independientes del ajuste del elemento diferencial. La mayoría de los elementos pueden ser controlados en el momento de operación.



Figura. 2.8 Relevador Multifunción de Generador SEL-387GT

2.4 Relevadores de Auxiliares

Relevador para diferencial de corriente SEL-587

El relé de diferencial de corriente y sobrecorriente SEL-587 proporciona protección a cualesquiera aparatos de dos entradas, como transformadores, motores, generadores y reactores. Aplíquelo para protección de diferencial y sobrecorriente y use los reportes de eventos para un rápido análisis post-evento.

Protección sensible de diferencial de corriente, con restricción programable de porcentaje de pendiente unitaria o dual, supervisada por una elección de bloqueo del segundo y quinto elemento armónico, para una protección diferencial segura en aparatos de dos devanados. Elija entre bloqueo o restricción armónica común o independiente.

Los elementos de diferencial no restringidos proporcionan una rápida operación para fallas internas de alta magnitud. Los cálculos automáticos de las configuraciones del relé simplifican la aplicación. Elementos de sobrecorriente de fase para devanado individual, residual y de secuencia negativa, incluyendo elementos instantáneos, de tiempo definido, y elementos de sobrecorriente de tiempo inverso para protección minuciosa de sobrecorriente.

Las ecuaciones de control SELOGIC® con las variables SELOGIC y los temporizadores facilitan los esquemas de protección tradicionales o avanzados. Los reportes de eventos oscilográficos (hasta diez reportes de quince ciclos) y las funciones de medición eliminan o reducen los requerimientos de grabación y medición externos.



Figura. 2.9 Relevador para diferencial de corriente SEL-587

Relevador de sobrecorriente SEL-551

El relé de sobrecorriente SEL-551 reemplaza los muchos relés, interruptores de control y cableado necesarios en los tableros tradicionales de protección y control para la protección de una subestación de distribución. Una protección de sobrecorriente de fase, de secuencia negativa, de tierra residual y neutral, elementos instantáneos, de tiempo definido y tiempo-sobrecorriente.

SELOGIC Las ecuaciones de control SELOGIC con las variables SELogic y los temporizadores facilitan los esquemas de protección tradicionales o avanzados. Los elementos de control local programables permiten el control con los botones en el tablero frontal. Las pantallas de texto programables proporcionan información mejorada para el operador local.

Medición instantánea, de pico y demanda. Los últimos 20 reportes de eventos de datos en el osciloscopio de 15 ciclos y los últimos 256 reportes del grabador De Eventos Secuenciales (SER) son almacenados en una memoria no volátil. Los protocolos ASCII, binario y Modbus® RTU mejoran las capacidades de integración.



Figura. 2.10 Relevador de sobrecorriente SEL-551

2.5 Números ANSI/IEEE

21- Relé de distancia: Es el que funciona cuando la admitancia, impedancia o reactancia del circuito disminuye o aumenta a unos límites preestablecidos.

24- Sobre excitación: Un relé que funciona cuando la relación V/Hz (tensión-frecuencia) excede un valor pre ajustado. El relé puede tener una característica temporizada o instantánea.

25- Dispositivo de sincronización o puesta en paralelo: Es el que funciona cuando dos circuitos de alterna están dentro de los límites deseados de tensión, frecuencia o ángulo de fase, lo cual permite o causa la puesta en paralelo de estos circuitos.

27- Relé de mínima tensión: Es el que funciona al descender la tensión de un valor predeterminado.

32- Relé direccional de potencia: Es el que funciona sobre un valor deseado de potencia en una dirección dada o sobre la inversión de potencia como por ejemplo, la resultante del retroceso del arco en los circuitos de ánodo o cátodo de un rectificador de potencia.

40- Relé de campo: Es el que funciona por un valor dado, anormalmente bajo, por fallo de la intensidad de campo de la máquina, o por un valor excesivo del valor del componente reactiva de la corriente de armadura en una máquina de c.a., que indica la excitación del campo anormalmente baja.

41- Interruptor de campo: Es un dispositivo que funciona para aplicar o quitar la excitación de campo de una máquina.

46-Relé de intensidad para equilibrio o inversión de fases: Es un relé que funciona cuando las intensidades polifásicas están en secuencia inversa o desequilibrada o contiene componentes de secuencia negativa.

50- Relé instantáneo de sobre intensidad o de velocidad de aumento de intensidad:

Es el que funciona instantáneamente con un valor excesivo a la velocidad de aumento de intensidad

51- Relé de sobre intensidad temporizada: Es un relé con una característica de tiempo inverso o de tiempo fijo que funciona cuando la intensidad de un circuito de c.a. sobrepasa el valor dado.

52- Interruptor de c.a.: Es el que se usa para cerrar o interrumpir un circuito de potencia de c.a. bajo condiciones normales, o para interrumpir este circuito bajo condiciones de falta de emergencia.

59- Relé de sobretensión: Es que funciona con un valor dado de sobretensión.

60- Relé de equilibrio de tensión: Es el que opera con una diferencia de tensión entre dos circuitos.

64 Relé de protección de falla a tierra del estator de generador: Es el que funciona con el fallo a tierra del aislamiento de una maquina, transformador u otros aparatos, o por contorneamiento del arco de tierra de una maquina c.c.

Nota: Esta función se aplica solo a un relé que detecta el paso de corriente desde el armazón de una maquina, caja protectora o estructura de una pieza de aparatos, a tierra o detecta una tierra en un bobinado o un circuito normalmente no puesto a tierra. No se aplica a un dispositivo conectado en el circuito secundario o en el neutro secundario de un transformador o transformadores de intensidad, conectados en el circuito de potencia de un sistema puesto normalmente a tierra.

64S- Relé de protección a tierra del estator por inyección de corriente sub-harmónica

64F- Relé de protección a tierra de campo

81- Relé de frecuencia: Es el que funciona con un valor dado de la frecuencia o por la velocidad de variación de la frecuencia.

86- Relé de enclavamiento (bloqueo sostenido): Es un relé accionado eléctricamente con reposición a mando o eléctrica, que funciona para parar y mantener un equipo fuera de servicio cuando ocurren condiciones anormales.

87- Relé de protección diferencial: Es el que funciona sobre un porcentaje o ángulo de fase u otra diferencia cuantitativa de dos intensidades o algunas otras cantidades eléctricas.

87G- Relé de protección diferencial del Generador:

87T- Relé de protección diferencial de Transformador

A1040- Interruptor

A1041 Cuchilla del Bus 1

A1042 Cuchilla del Bus 2

2.6 Protección de Generadores

Tipos de Protecciones.

Protección primaria (PP1): Es aquella que tiene la función de detectar y disparar en primera instancia, únicamente los interruptores que conectan al elemento fallado con el resto del sistema.

Protección redundante (PP2): Tiene la misma función que la protección primaria (PP1), pero trabaja con otras señales de TC's y TP's. le pega a bobina de disparo 2 del interruptor.

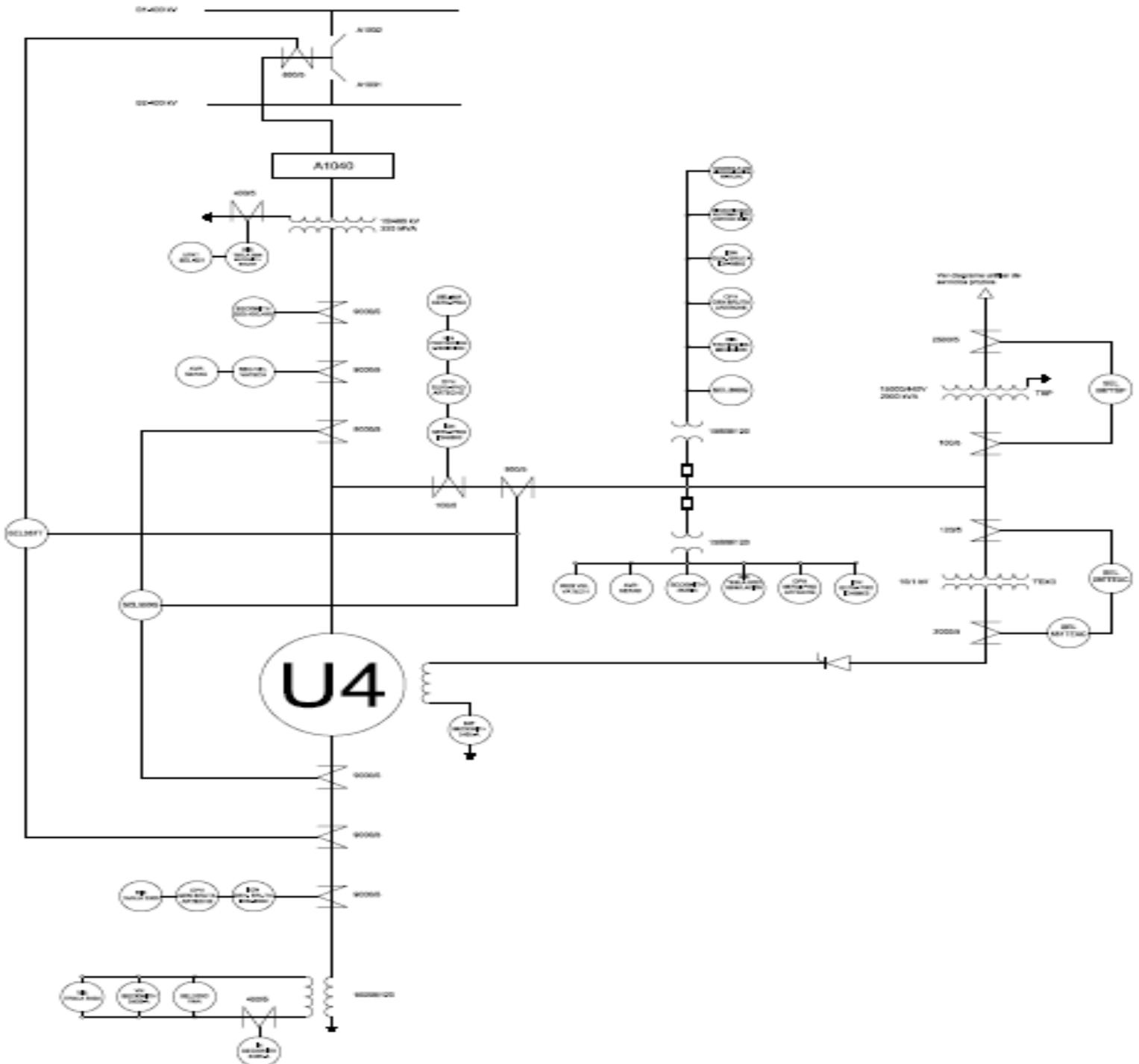


Figura. 2.11 Diagrama Unifilar

Protección 24G (Sobreexcitación)

La sobreexcitación de un generador o cualquier transformador conectado a las terminales del generador ocurrirá típicamente cuando la Relación Tensión-Frecuencia, expresada como Volts por Hertz (V/Hz) aplicada a las terminales del equipo exceda los límites de diseño.

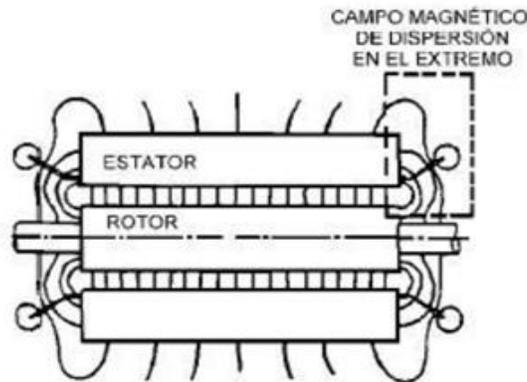


Figura. 2.12 Comportamiento de Sobreexcitación

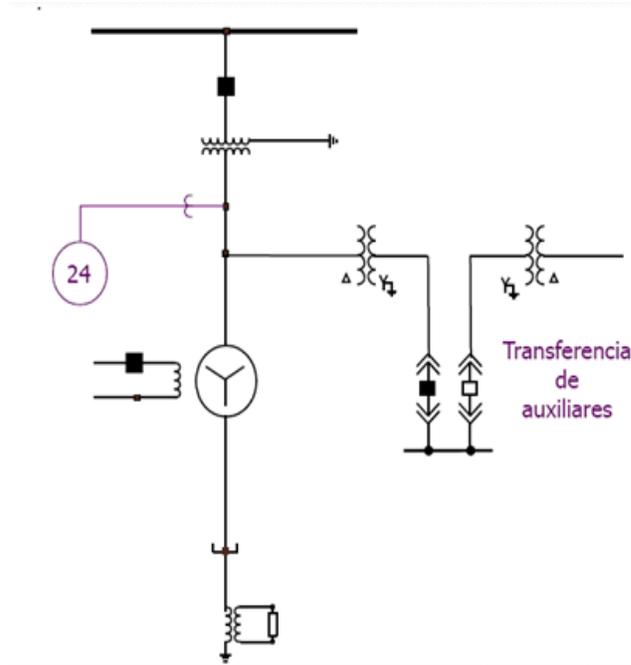


Figura. 2.13 Conexión de Sobreexcitación.

Protección 32G (Potencia Inversa)

La pérdida total de la turbina mientras el generador está conectado al sistema eléctrico y el campo excitado provocará que el sistema opere la unidad como un motor síncrono. El método de protección más utilizado es el que usa un relé diferencial de potencia inversa que opera cuando entra potencia real al generador.

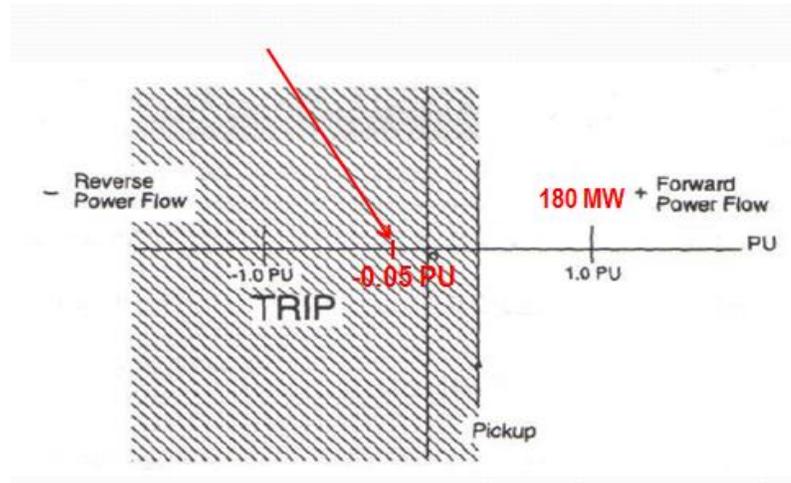


Figura. 2.14 Comportamiento de Potencia Inversa

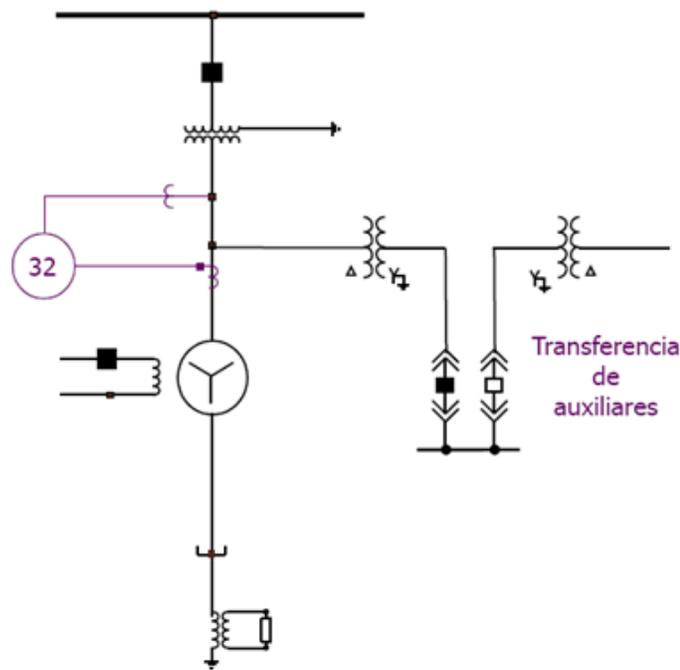


Figura. 2.14 Conexión de Potencia Inversa

Protección 40G (Perdida de Excitación)

La pérdida parcial o total de campo de un generador síncrono es perjudicial tanto al generador como al sistema de potencia al cual está conectado. El relé es conectado a las terminales de la máquina y alimentado con tensiones y corrientes en terminales. El relé mide la impedancia vista desde las terminales de la máquina y opera cuando la impedancia de la falla cae dentro de la característica circular.

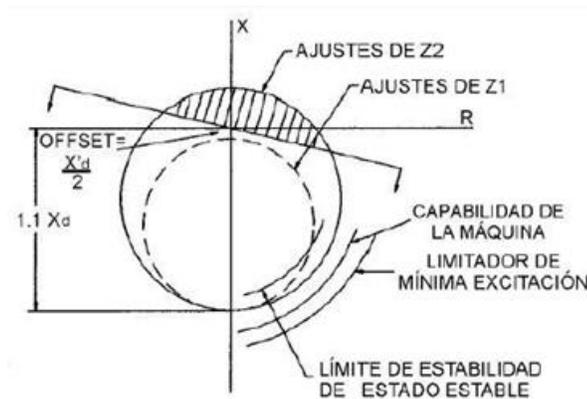


Figura. 2.15 Perdida de Excitación

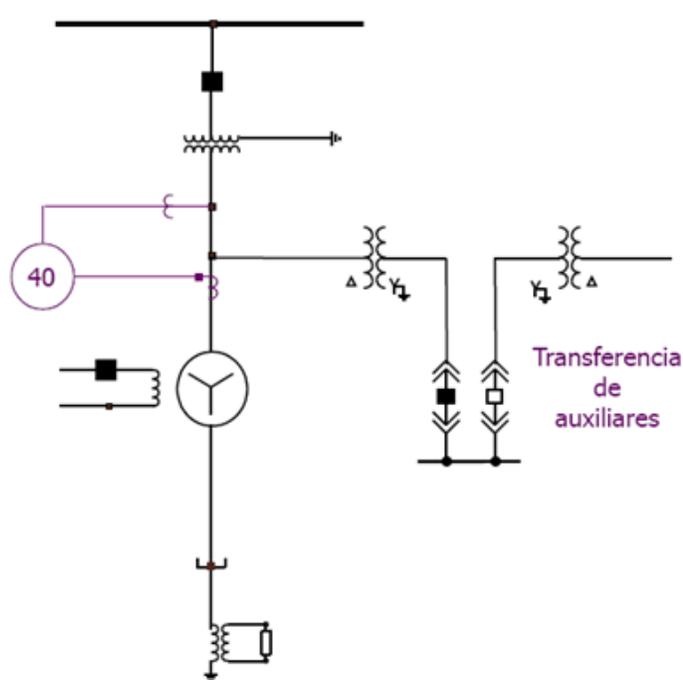


Figura. 2.16 Conexión de Pérdida de Excitación.

Protección 46G (Corriente de Secuencia Negativa)

El calentamiento por secuencia negativa más allá de los límites del rotor resulta en dos modos de falla. **Primero**, las ranuras son sobrecalentadas al punto donde ellas se recosen lo suficiente para romperse. **Segundo**, el calentamiento puede causar que los anillos de retención se expandan y floten libres del cuerpo del rotor lo que resulta en arqueos en los soportes.

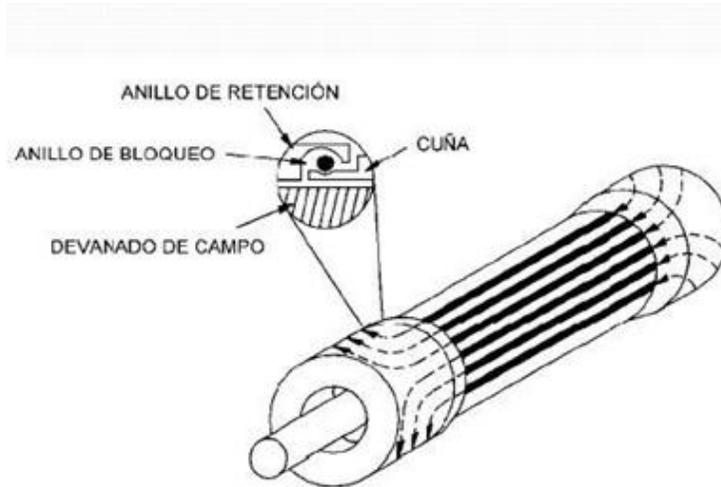


Figura. 2.17 Corriente de secuencia negativa

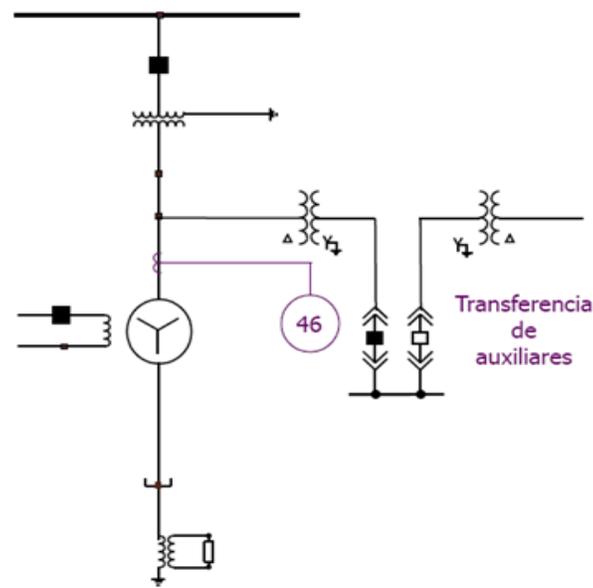


Figura. 2.18 Conexión de Secuencia Negativa

Protección 59 (Sobrevoltaje)

La sobretensión sin sobreexcitación (V/Hz) puede ocurrir cuando un generador tiene una sobrevelocidad debida a un rechazo de carga, aun a falla severa y repentina, o a alguna otra razón; en estos casos no ocurre una sobreexcitación porque la tensión y la frecuencia aumentan en la misma proporción; por tanto, la relación V/Hz permanece constante.

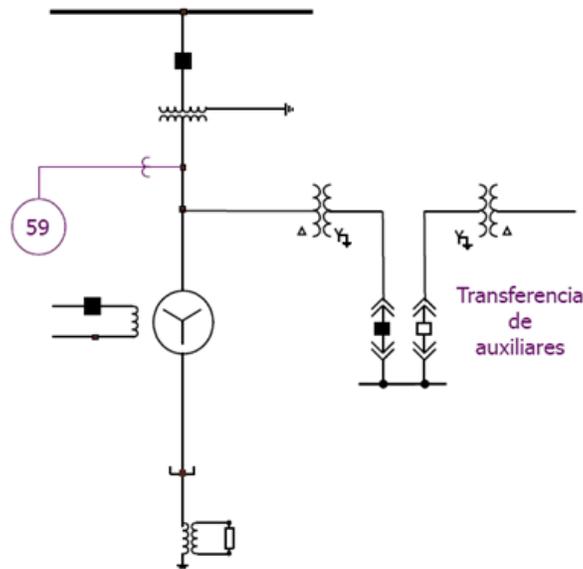


Figura. 2.19 Conexión de Sobrevoltaje

Protección 64G (Falla a Tierra del Estator)

Su filosofía de operación es muy sencilla y está basada en el nivel de tensión de tercera armónica existente en el neutro y terminales del generador.

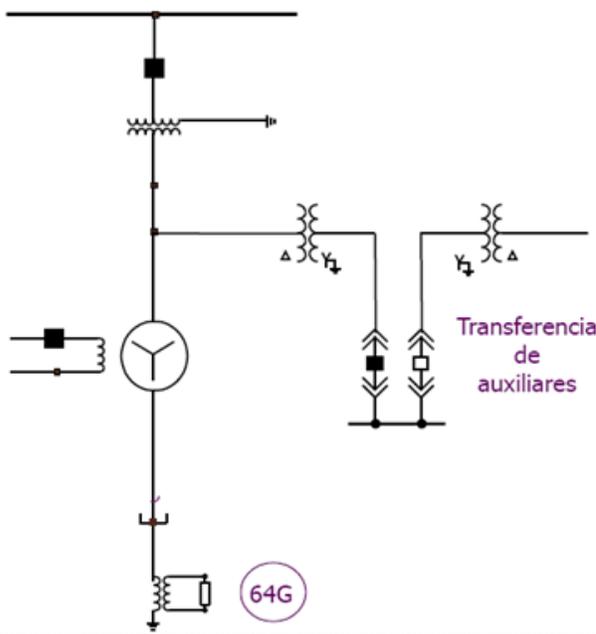


Figura. 2.20 Conexión Falla a Tierra del Estator

Protección 64F (Falla a Tierra del Campo)

El circuito de campo de un generador es un sistema de C.D. no puesto a tierra. Una sola falla a tierra generalmente no afectará la operación de un generador ni producirá efectos de daño inmediato.

Sin embargo, una segunda falla a tierra provoca que una parte del devanado de campo se cortocircuite, produciendo flujos desbalanceados en el entrehierro de la máquina.

Los flujos desbalanceados producen fuerzas magnéticas desbalanceadas las cuales dan como resultado vibración y daño de la máquina. Existen varios métodos de uso común para detectar tierras en el campo del rotor.

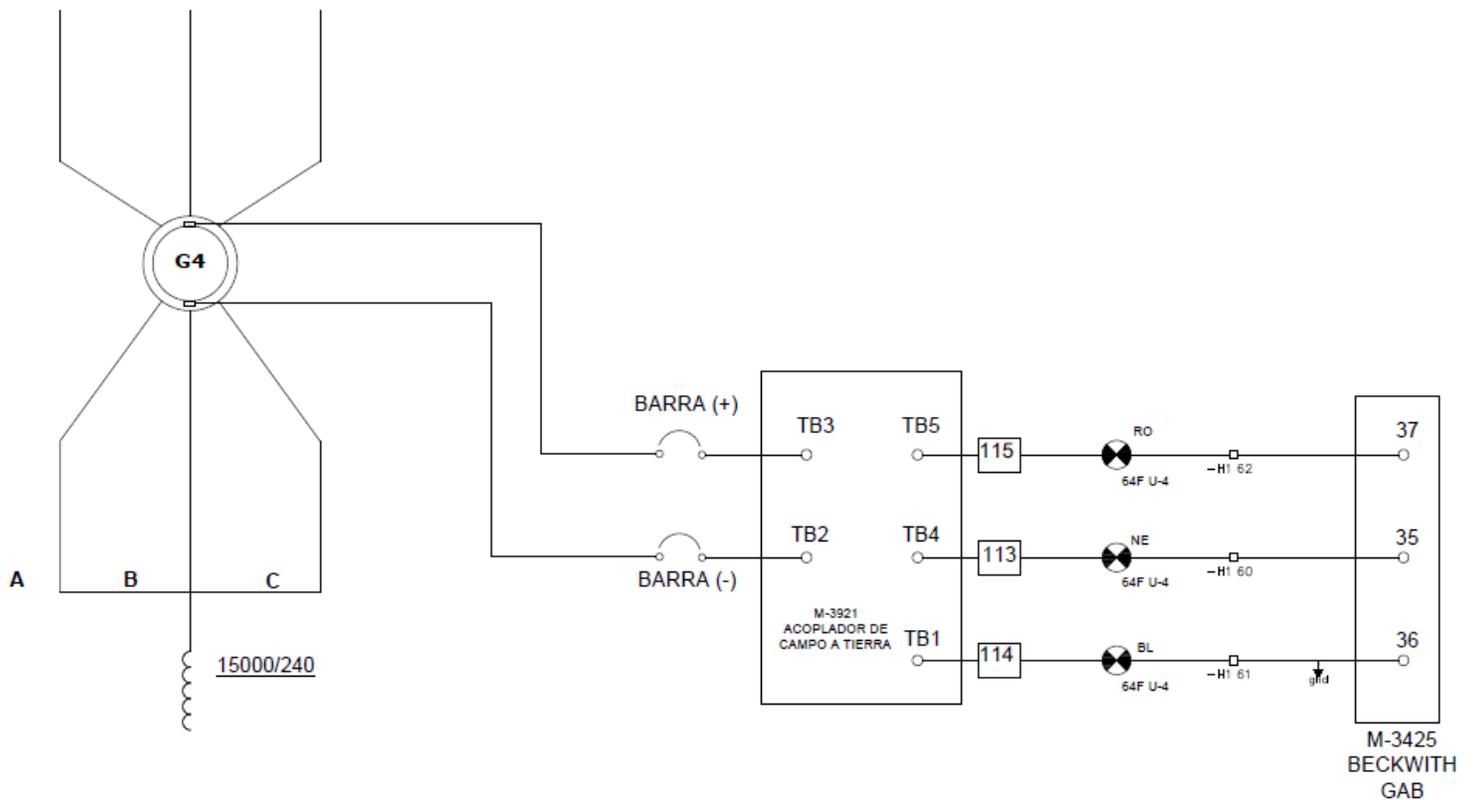


Figura... 2.21 Conexión de 64F Falla a Tierra de Campo.

Protección 87G (Diferencial de Generador)

Una falla de fase en el devanado del estator de generadores siempre considerada como seria debido a las altas corrientes encontradas y el daño potencial a los devanados de la máquina, así como a las flechas y el acoplamiento.

Su filosofía de operación se basa en la comparación de corrientes que entran y salen del generador y que son comparadas en la protección diferencial. La suma de éstas debe ser igual a cero. En caso contrario se energiza la bobina de operación y manda salida de disparo

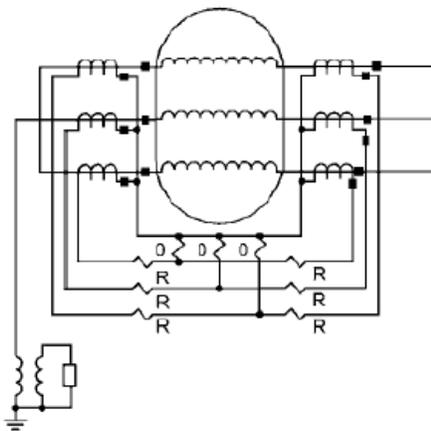


Figura. 2.22 Diferencial de Generador

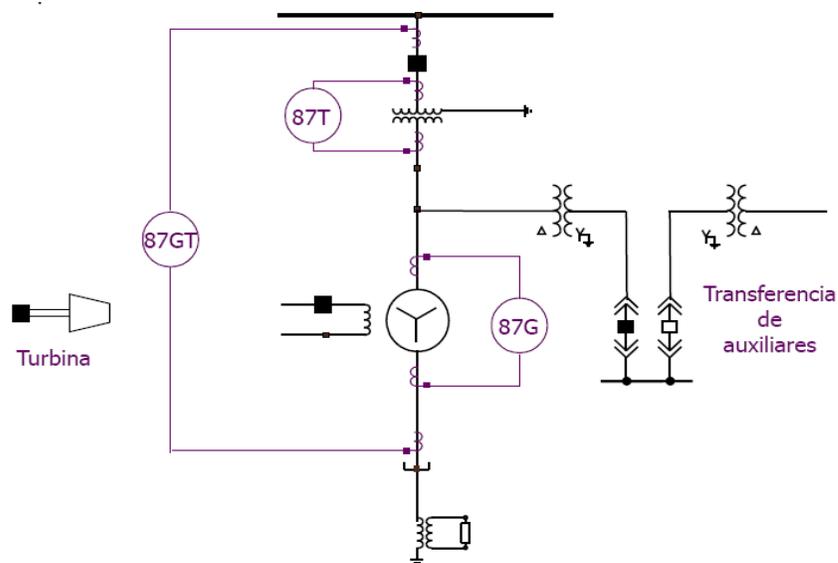


Figura. 2.23 Conexión del Relé Diferencial

Protección 87GT (Diferencial de Grupo)

Es el esquema redundante más común para respaldar fallas entre fases en el estator del generador que en primera instancia deben ser libradas por la 87G por lo que las corrientes de entrada son tomadas de un juego distinto de TC's.

Un relé diferencial de grupo protege tanto al generador como al transformador elevador dentro de una zona diferencial. Para esta aplicación se usa un relé diferencial de transformador con restricción de armónicas.

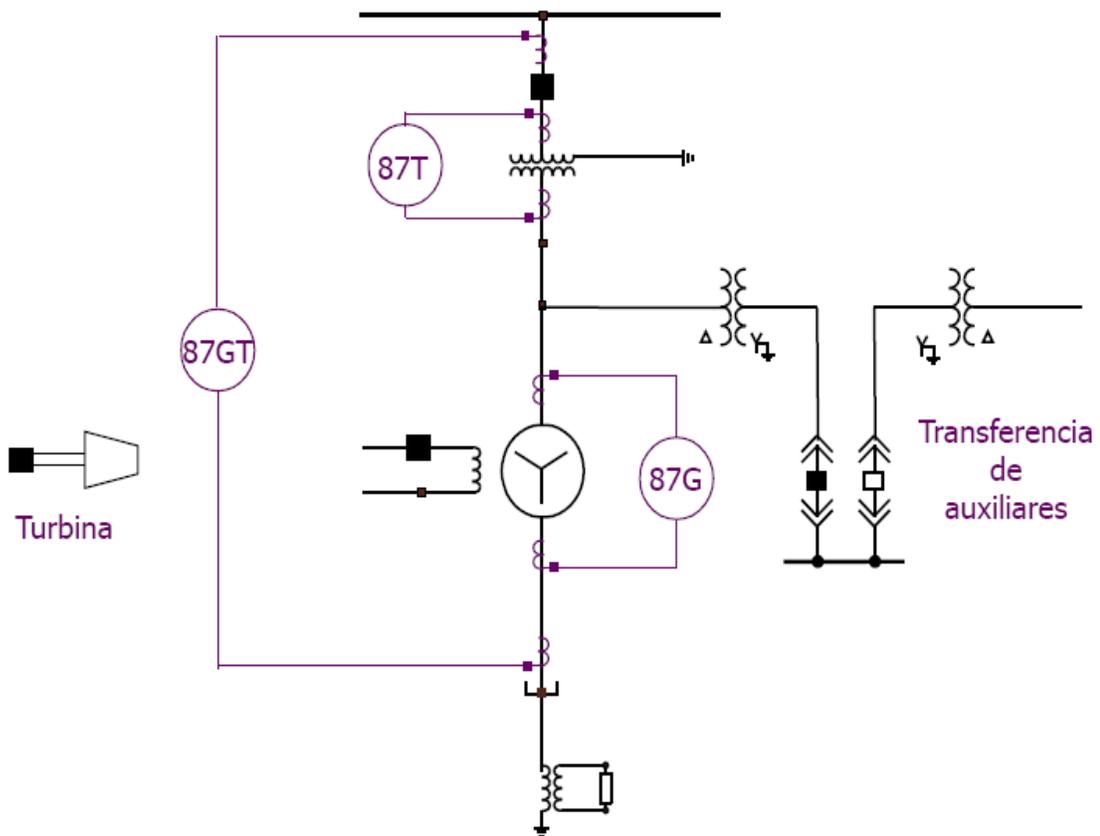


Figura. 2.24 Conexión de la Diferencial de Grupo

Protección 50/27 (Energización Inadvertida)

Cuando un Generador es energizado mientras está fuera de línea en vibrador, o parando por inercia, funciona como un motor de inducción y puede dañarse en pocos segundos.

Cuando la unidad esta fuera de línea, los interruptores de generador se devuelven generalmente a servicio como interruptores de bus para completar una fila en una estación de un interruptor y medio o completar un bus de anillo. Ello resulta en que el generador sea aislado del sistema usando únicamente un seccionador abierto de alto voltaje. Durante la Energización trifásica de un generador parado, se induce en el rotor un flujo rotativo a frecuencia sincrónica.

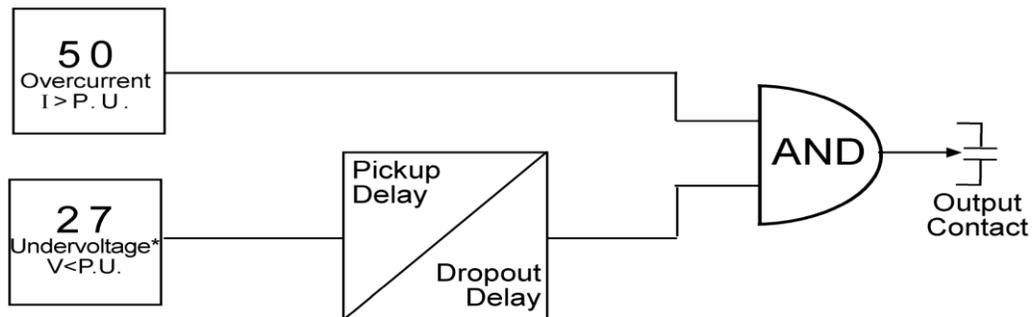
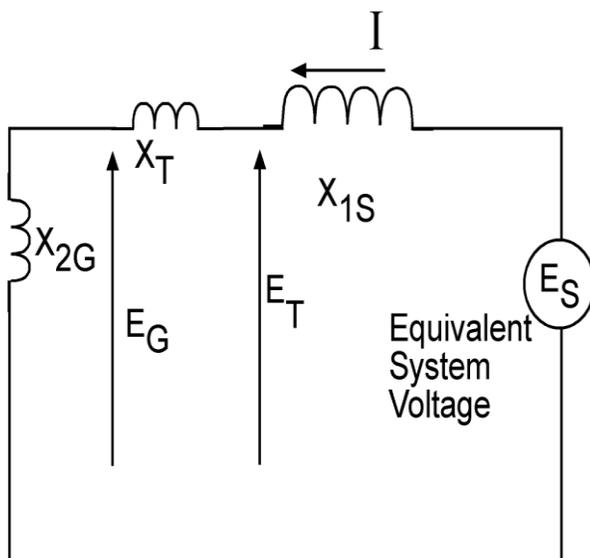


Figura. 2.25 Diagrama Lógico de la Función de Energización Inadvertida



I = Corriente de Energización inadvertida

X_{2G} = Reactancia de Secuencia Negativa del Generador

X_T = Reactancia del transformador GSU

X_S = Reactancia del Sistema

E_G = Voltaje Terminal del Generador

E_T = Voltaje de alta del GSU

Figura. 2.26 Circuito Equivalente de Energización Inadvertida

3. Desarrollo

3.1 Selección del Periodo de Estudio

La República Mexicana se conforma de una empresa que se encarga del suministro de energía y tiene diferentes funciones las cuales son generar, transmitir distribuir y comercializar energía eléctrica, dicha empresa es Comisión Federal de Electricidad. Esta empresa se divide por regiones y la Chiapas corresponde a la Región Sureste.

En el Estado de Chiapas se encuentra 7 de las Centrales Hidroeléctricas importantes en el abastecimiento energético del país. Las cuales son C.H. Chicoasén, C.H. Angostura, C.H. Malpaso, C.H. Peñitas, C.H. Schpoina, C.H. Bombaná y C.H. Angostura, C.H. José Cecilio del Valle. Las cuales se muestran en la figura (3.1).

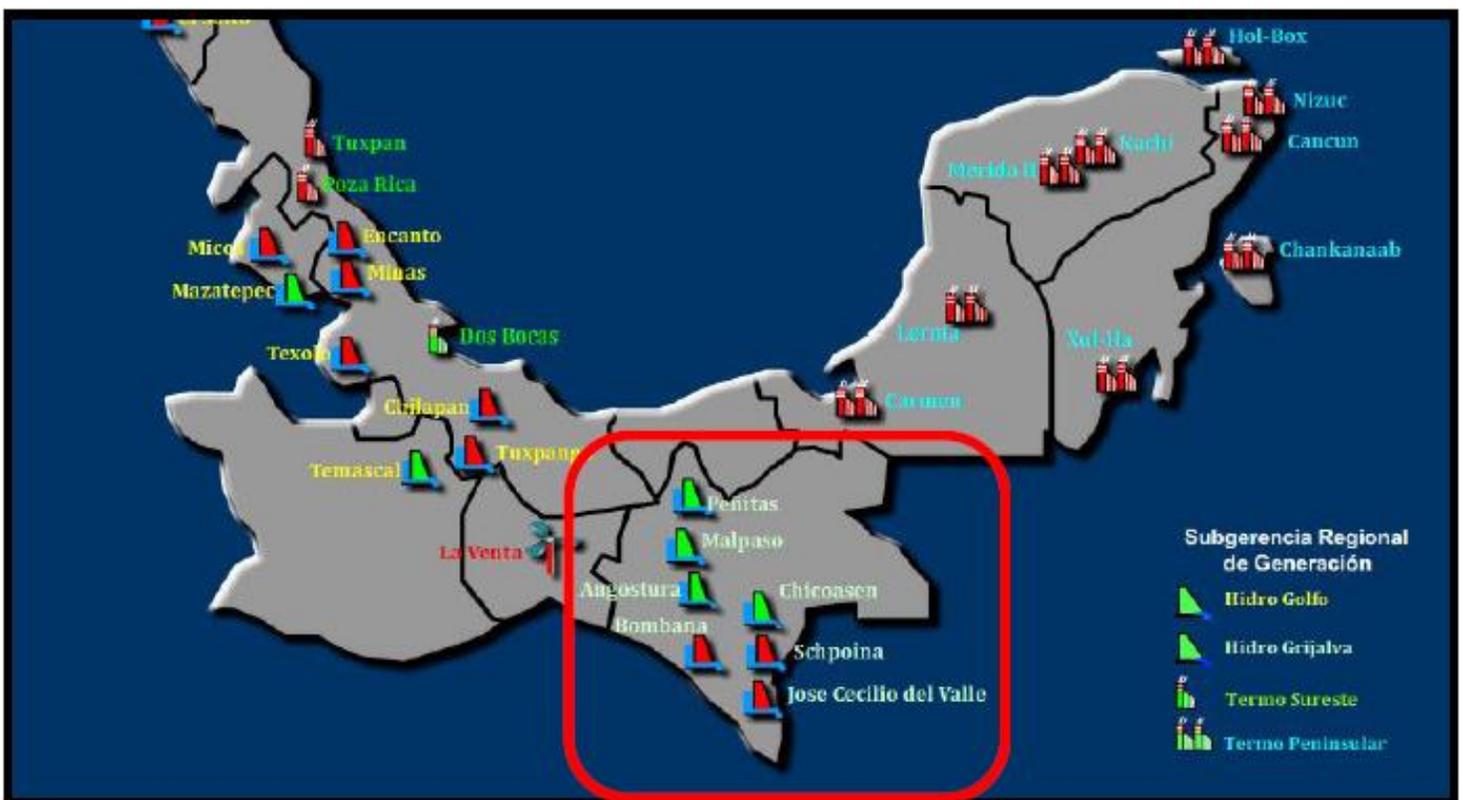


Figura. 3.1 Localización de las Centrales Hidroeléctricas en el Estado de Chiapas

El siguiente proyecto se realiza en la C.H. Malpaso en las seis unidades que la conforman. Se conocerá los componentes que conforman los equipos de Protección y Medición. Ya que en la etapa 1 y 2 son unidades iguales en el sistema de Protecciones y Mediciones, el diseño y actualización abarcará las 6 unidades de la Central Hidroeléctrica. Se observa la central hidroeléctrica en la fig. (3.2)



Figura. 3.2 Localización de las Central Hidroeléctrica Malpaso

El Diseño y Actualización de los Diagramas de Protección y Medición se realizara en un periodo de 4 meses los cuales comprenden de Agosto a Diciembre del 2015. Con dicho diseño y actualización de los diagramas se pretende obtener atención oportuna a cualquier disturbio optimizando tiempos de análisis y fallas de las cuales estén sujetas la disponibilidad del generador.

3.2 Desarrollo del Proyecto en la Actualización de los Sistemas de Protección

Se hace un recorrido por todas las instalaciones donde se encuentran los equipos de Protección y Medición, se ve el estado en que se encuentran las instalaciones, cableados y gabinetes esto puede verse en la figura (3.3, 3.4, 3.5).se identifican los diagramas de las seis unidades para la actualización.



Figura. 3.3 Instalaciones de las protecciones



Figura. 3.4 Gabinete de Protección y Medición.

Los diagramas que se utilizan para los distintas protecciones ya se para apertura y cierre de interruptores, disparos, lógica de protección de los relevadores, se encuentran conectados analíticamente para la operación de los relés y para verificación y atención a una falla oportuna.

Los tipos de fallas que podemos tener pueden ser Líneas de Transmisión y circuitos de distribución. Esto es debido a que esta parte del Sistema Eléctrico de Potencia se encuentra expuesto a las condiciones atmosféricas y al medio ambiente. Las fallas en buses son las que más afectan a un sistema eléctrico de potencia, esto es debido a que

para eliminar todas las aportaciones de corriente de falla al punto de falla es necesario abrir todos los interruptores asociados a bus fallado.

En la siguiente figura observamos cómo está dividido el gabinete de protecciones donde una parte es para las señales digitales y la otra para señales analógicas, cada unidad tiene su respectivo gabinete estos lados de los gabinetes tiene una nomenclatura a partir de la letra A y subsecuente.

En la unidad 1 se clasifica A-B, unidad 2 se clasifica C-D, unidad 3 E-F, unidad 4 G-H, unidad 5 I-J, unidad 6 K-L, en la siguiente figura se muestra el dibujo del gabinete en AutoCAD. Para poder actualizar los diagramas debemos conocer los símbolos que se dibujarán, en las siguientes figuras están representados los símbolos figura (3.7).

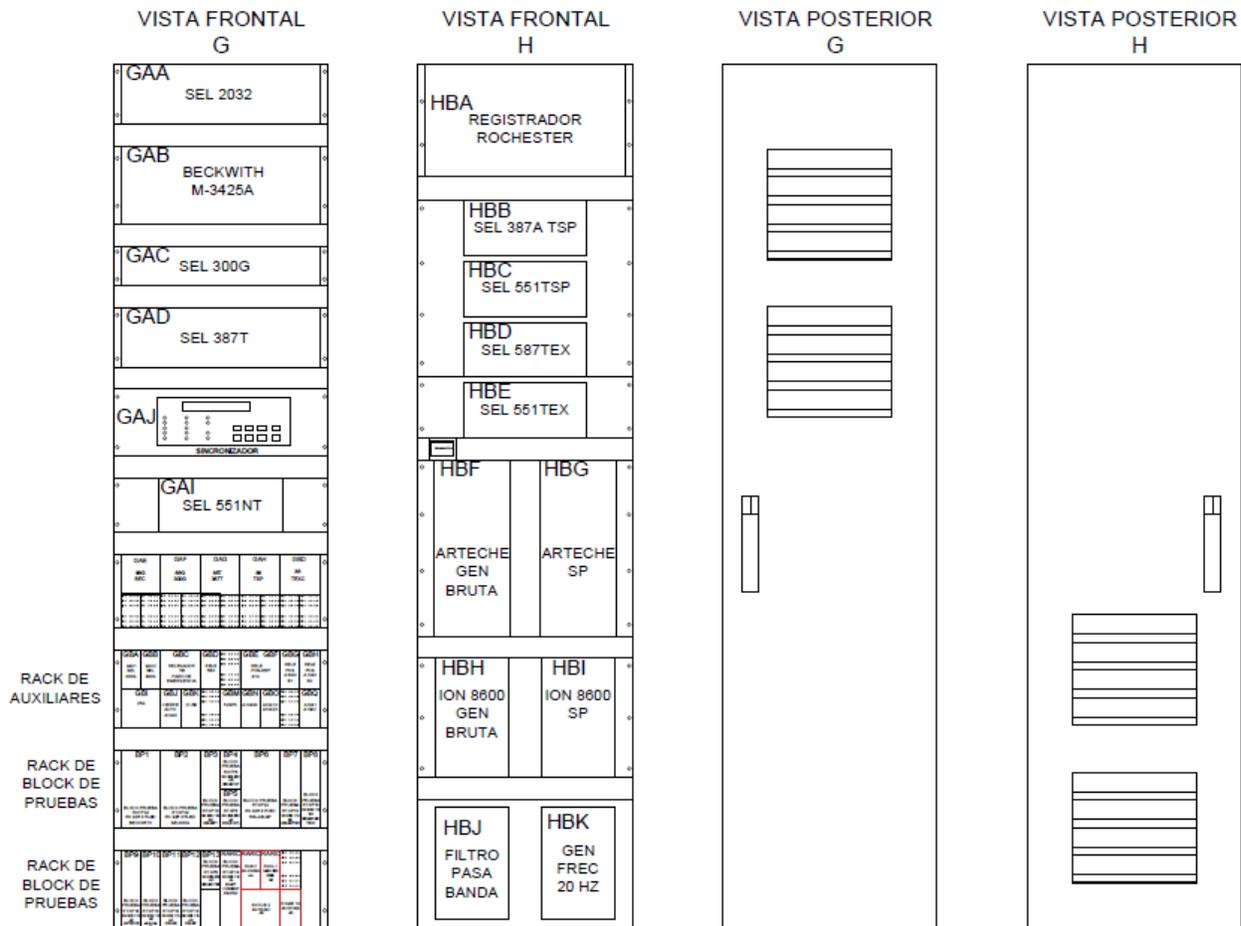


Figura. 3.5 Gabinete de Protección y Medición.

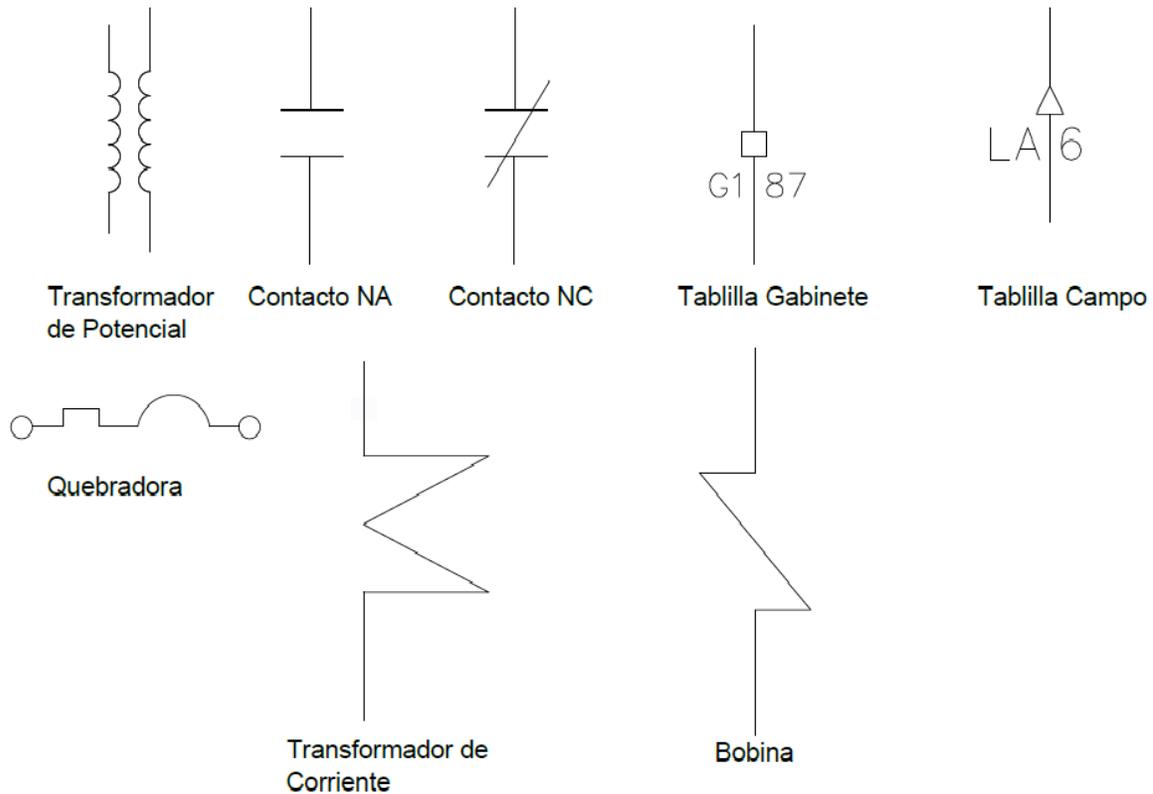
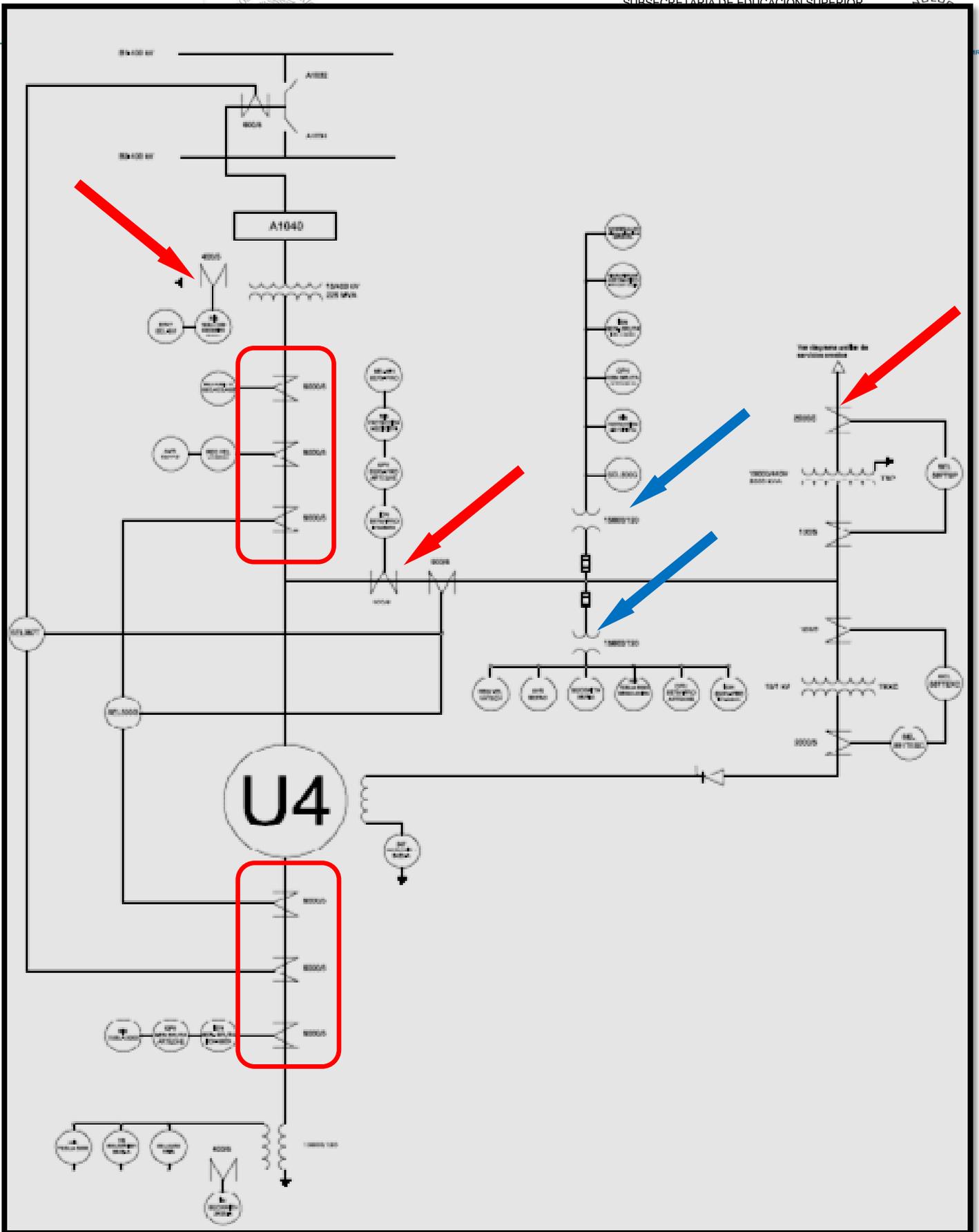


Figura. 3.6 Simbología Diagramas

La unidad generadora conlleva, aparte de un equipo de medición, un esquema de protecciones, que como su nombre lo dice que protege a los procesos que conforma el proceso de generación. Este esquema que se observa en la figura (3.7) se puede ver los diferentes equipos que se utilizan para la protección del generador, los cuales están conformados por transformadores de potencial (Tp's) y Transformadores de Corriente (Tc's).

Los instrumentos como se menciona en el capítulo anterior se clasifican dependiendo sus características de precisión que vienen mencionadas en su placa de datos. La relación de transformadores de potencial es de 15600/120 V y estos se encuentran en la GB, SP y GN, y que también los utilizan los equipos de protección como el SEL 300G, El Sincronizador Automático SYN 3000 y el AVR que se señala en la flecha azul de la figura (3.7)



. *Figura. 3.7* Diagrama Unifilar Esquema de Protecciones

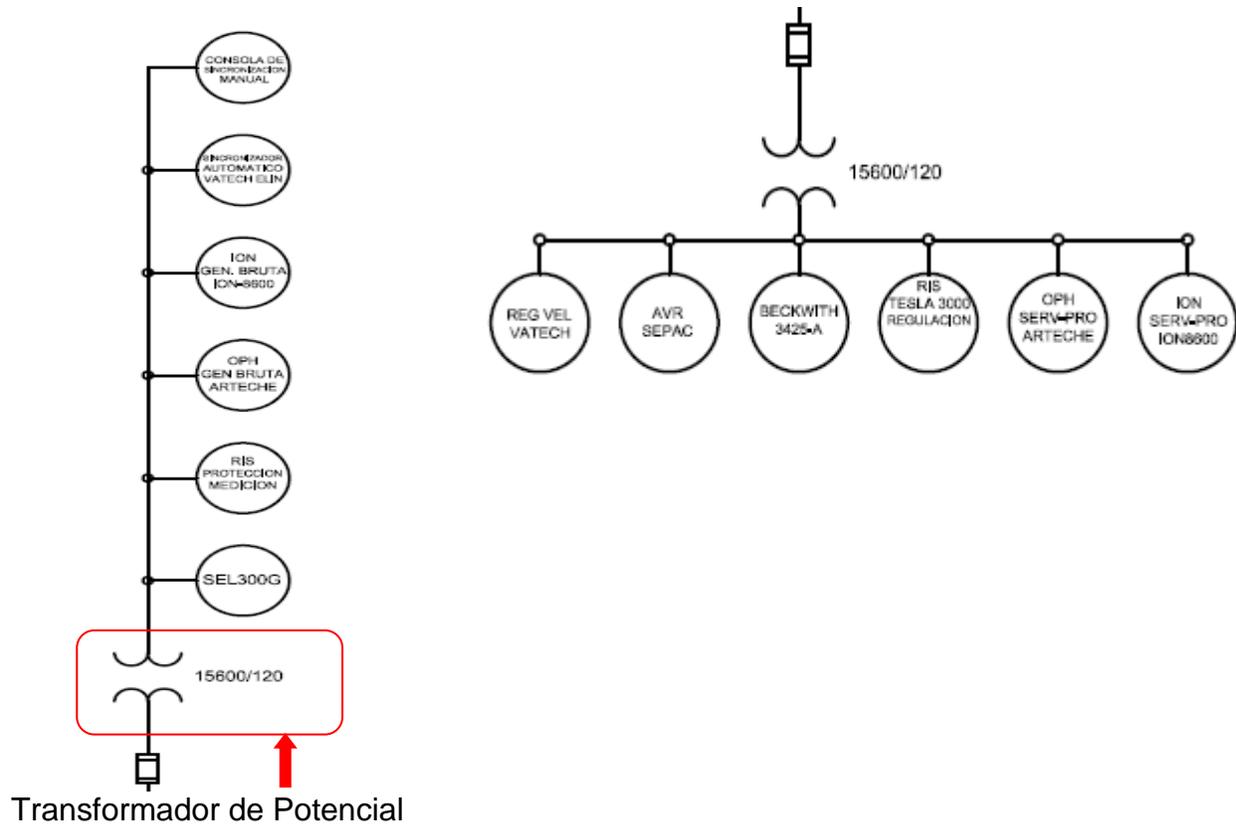


Figura. 3.8 Conexión del sincronizador en el diagrama unifilar

3.3 Diseño de los Sistemas de Protección y Medición

Los equipos de sincronización son necesarios en las centrales donde un generador debe ser acoplado a la red, o en subestaciones que necesitan conectar en paralelo dos líneas de transmisión ya sincrónicas.

Los interruptores de potencia pueden ser cerrados únicamente si las tensiones en ambos lados del interruptor abierto están en sincronismo. De lo contrario, se pueden producir perturbaciones en la red, disparo del interruptor, o, en casos extremos, daños en el generador y el transformador.

En este proyecto se desarrollo el diseño de un nuevo sistema para la sincronización, esta fue la aportación que se hizo para la C.H. Malpaso en los sistemas de protección y medición.

En la figura 3.9 podemos observar el diagrama antes de implementar el nuevo diseño de sincronización con el equipo ABB, vemos como es la configuración del sincronizador SYN 3000 donde cuenta con una fuente de 24VCD para su puesta en marcha el equipo tenía problemas para la sincronización

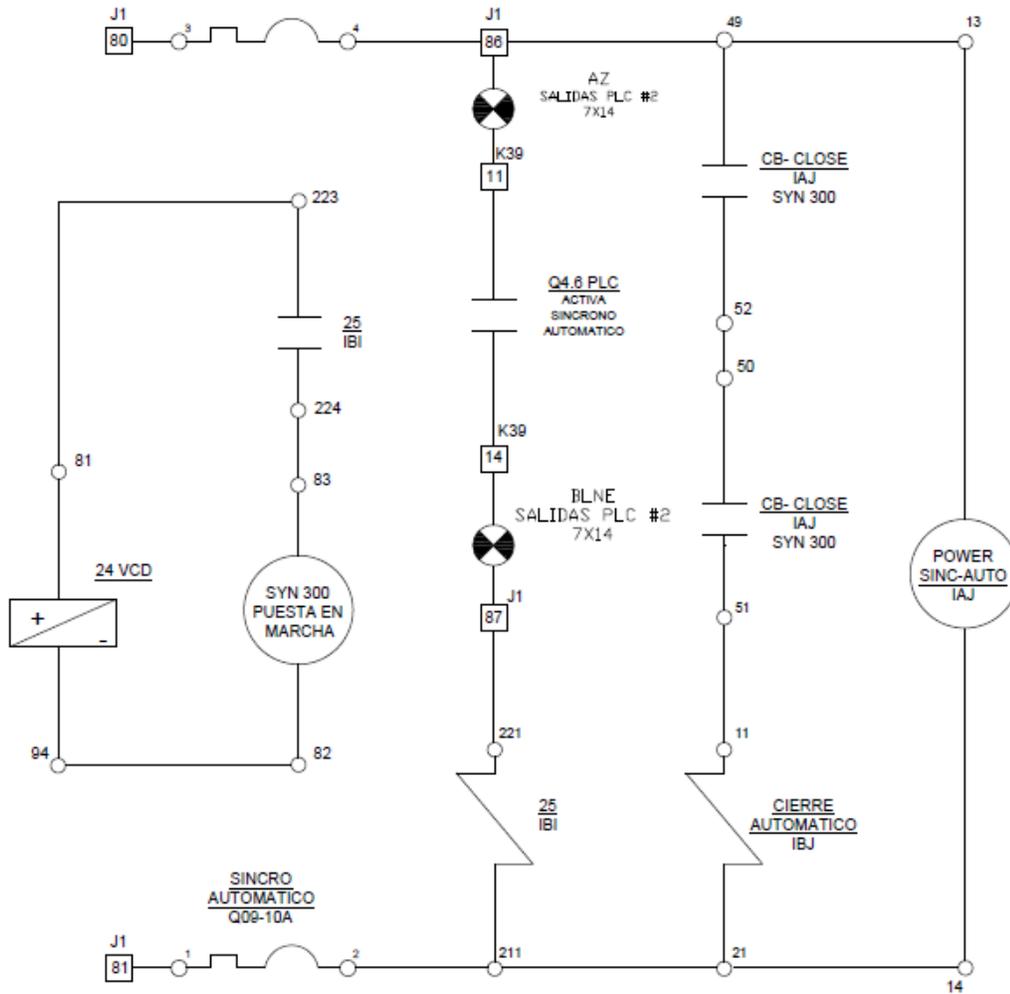


Figura. 3.9 Diagrama SYN 3000

En la figura 3.10 como se puede observar se le agrega un START y un STOP que están comunicados con el PIC, se le agrega un relé de cierre automático cuando se cumplan las tres condiciones para la sincronización esta manda al SYNCHRO TACT 5 al cierre.

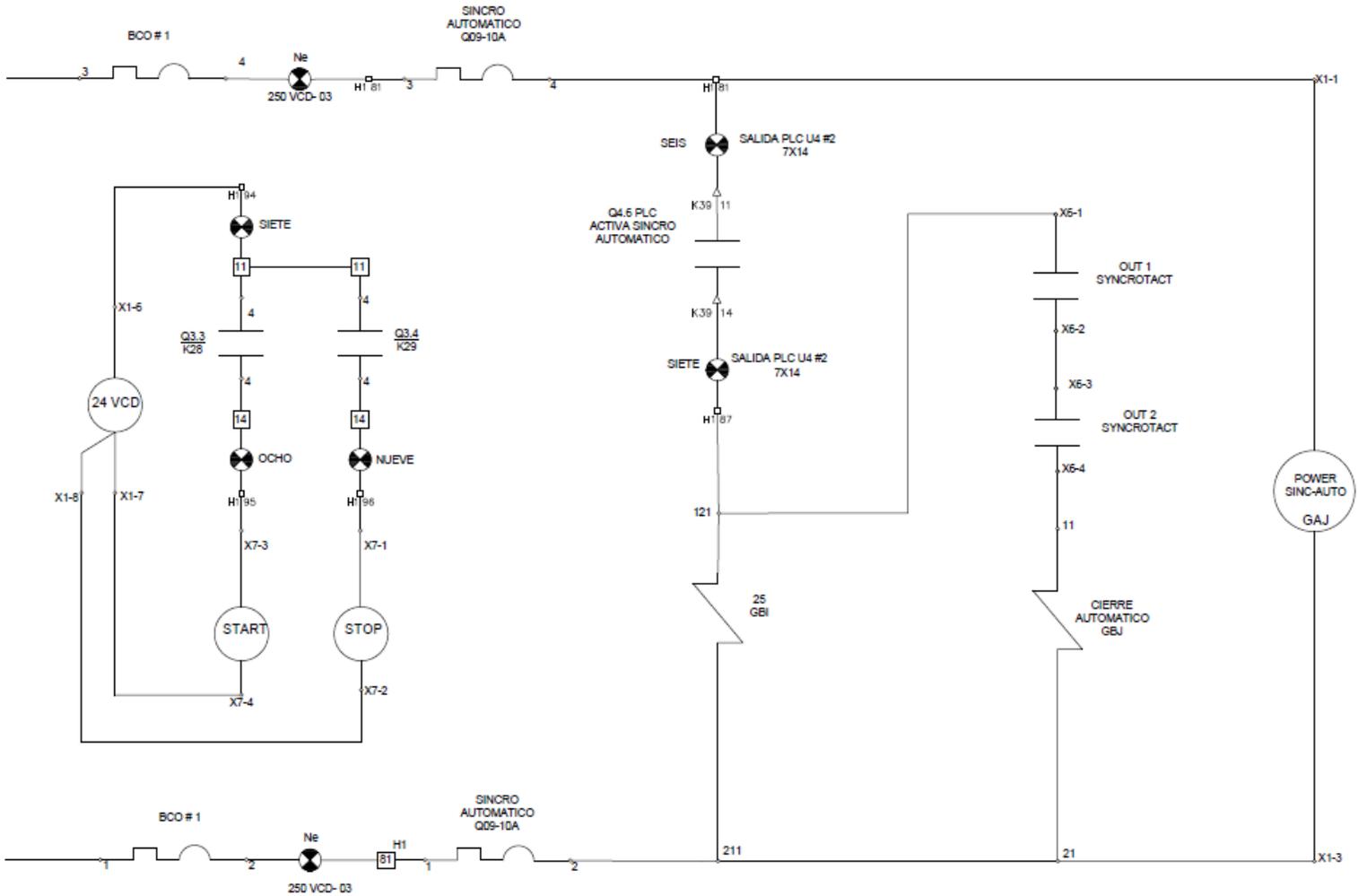


Figura. 3.10 Diagrama SYNCHRO TACT 5 ABB

Se diseña el diagrama de toda la funcionalidad del SYNCHROACT 5 como va conectado con el PLC a los TP de protección, a los buses ya sea el 1 y 2, el voltaje de máquina, el voltaje del neutro, se agrega en el dibujo el transductor de frecuencia VATECH (regulador de velocidad), los mandos de subir y bajar para la regulación del voltaje y frecuencia de la maquina.

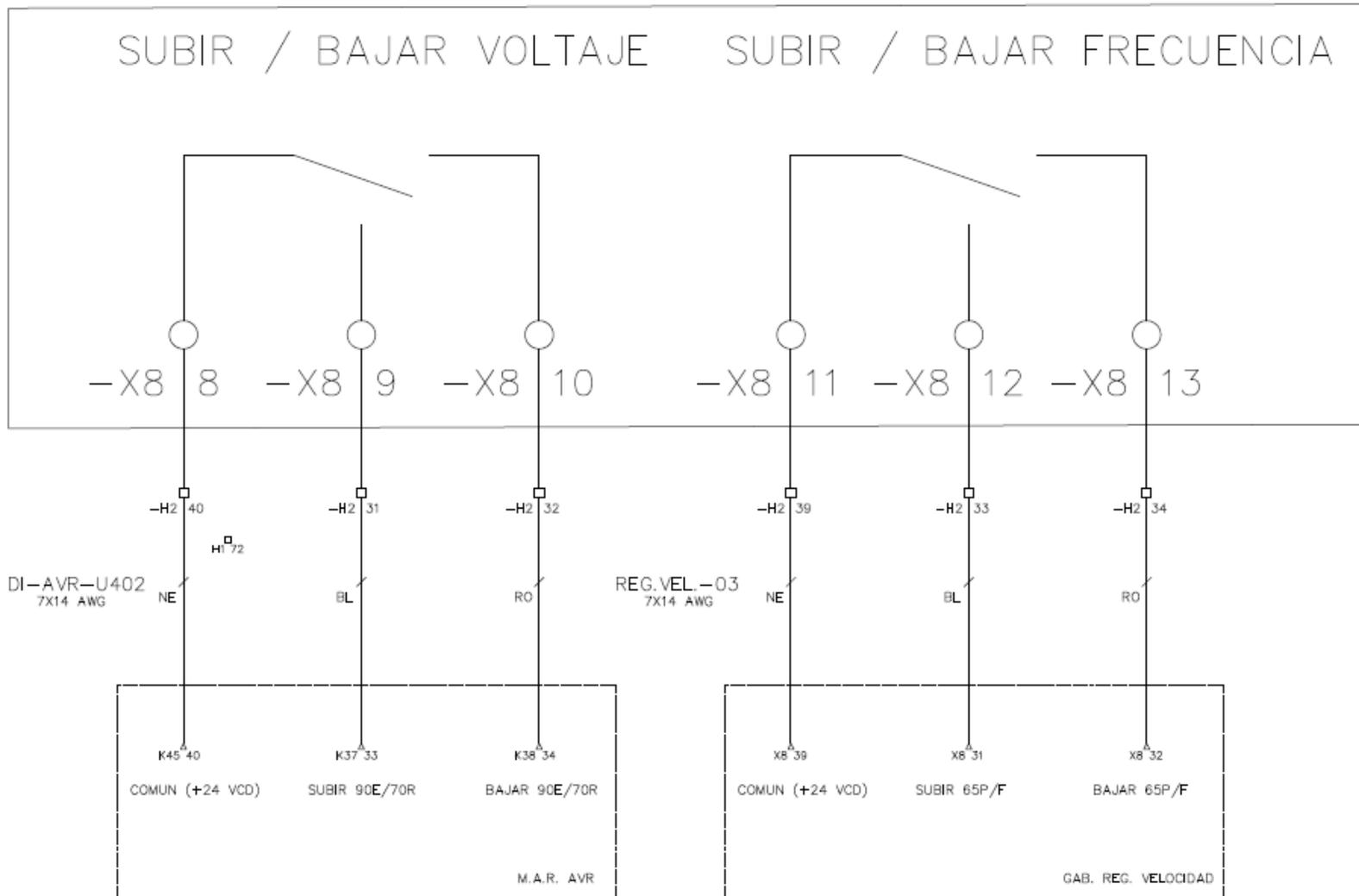


Figura. 3.11 Mandos Subir-Bajar Voltaje y Frecuencia

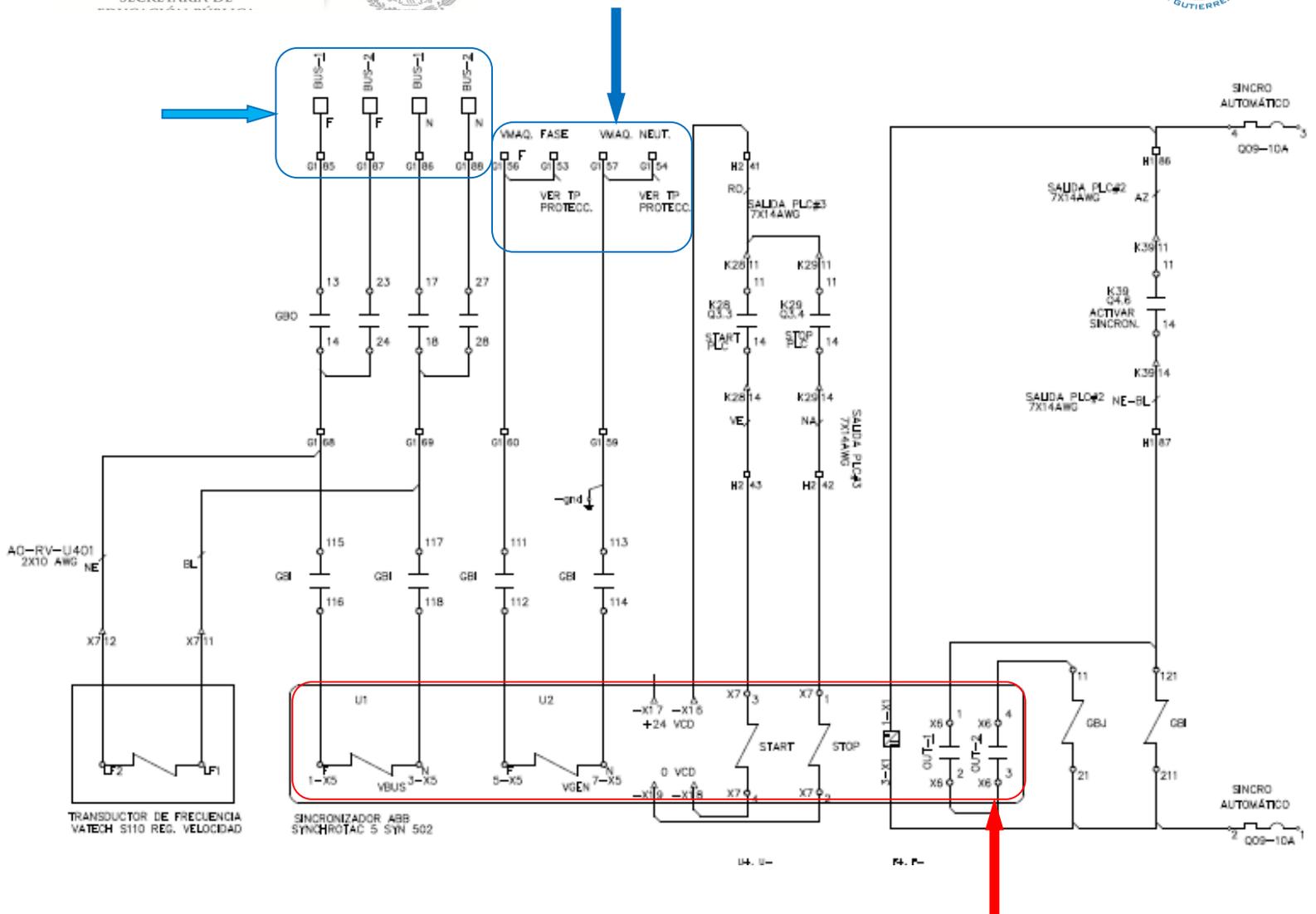


Figura. 3.12 Conexión del Sincronizador Automático ABB al sistema.

Lo encerrado representa al sincronizador automático ABB las flechas azules representan al bus 1 y 2 de igual manera a los Tp de Protección donde van conectados para obtener el voltaje de maquina del lado de Fases y de lado del Neutro.

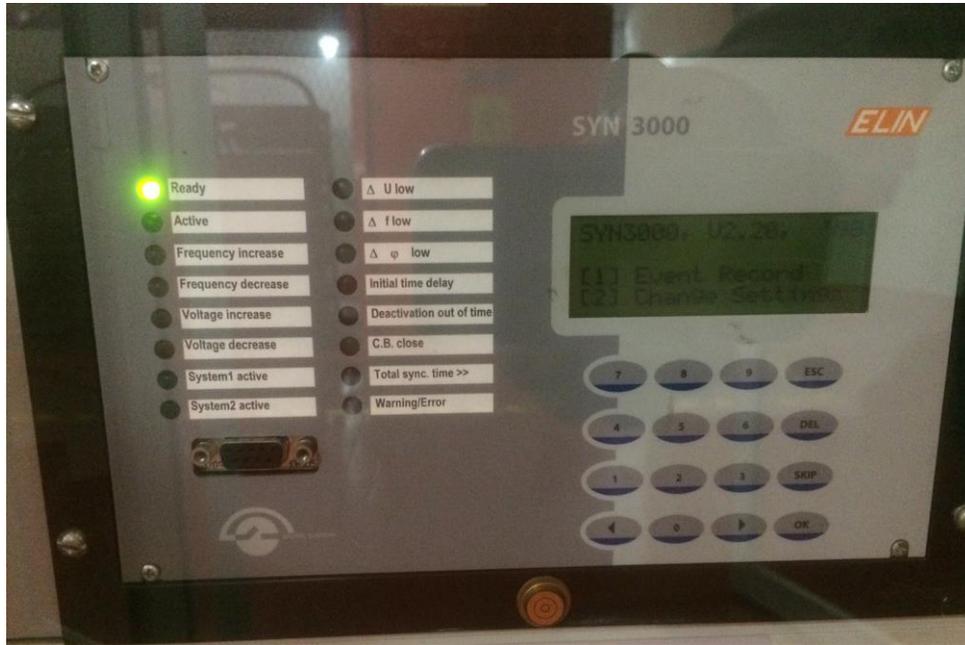


Figura. 3.13 Sincronizador SYN 3000 ELIN



Figura. 3.14 Sincronizador SYNCHROTACT 5 ABB

SYNCHROTACT 5 garantiza una sincronización segura y fiable tanto en su utilización como dispositivo de vigilancia para la puesta en paralelo manual, como también en su aplicación como sistema de sincronización independiente totalmente automática.



Figura. 3.15 SYNCHROTACT 5



Figura. 3.16 Las conexiones convencionales se hacen por medio de regletas de contactos

enchufable

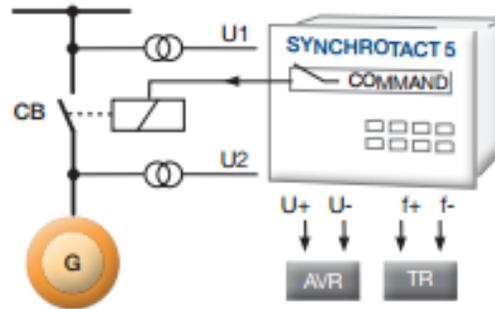


Figura. 3.17 Sincronización automática y acoplamiento en paralelo de generadores con la red

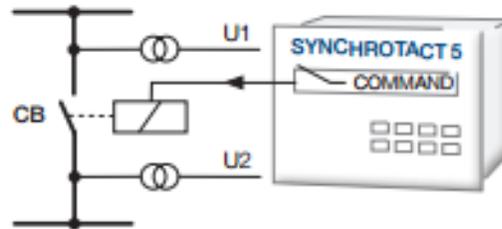


Figura. 3.18 Acoplamiento en paralelo automático de líneas sincrónicas y asíncronas y de barras conductoras de la corriente

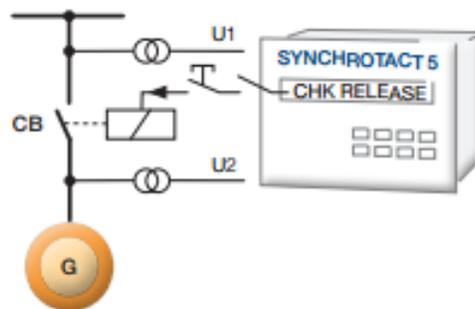


Figura. 3.19 Supervisión del acoplamiento en paralelo automático o manual de líneas ya sincrónicas (Synchrocheck) y conexión de generadores y líneas sin tensión o líneas muertas (Dead Bus)

Funciones de Paralelismo

1. Medición
2. Tensión y frecuencia coincidente
3. Monitoreo de las condiciones de paralelismo
4. Paralela a la generación de comandos

En la siguiente figura, el diagrama de bloques de las funciones básicas de paralelismo SYNCHROTACT se simplifica y se muestra una configuración de un solo canal.

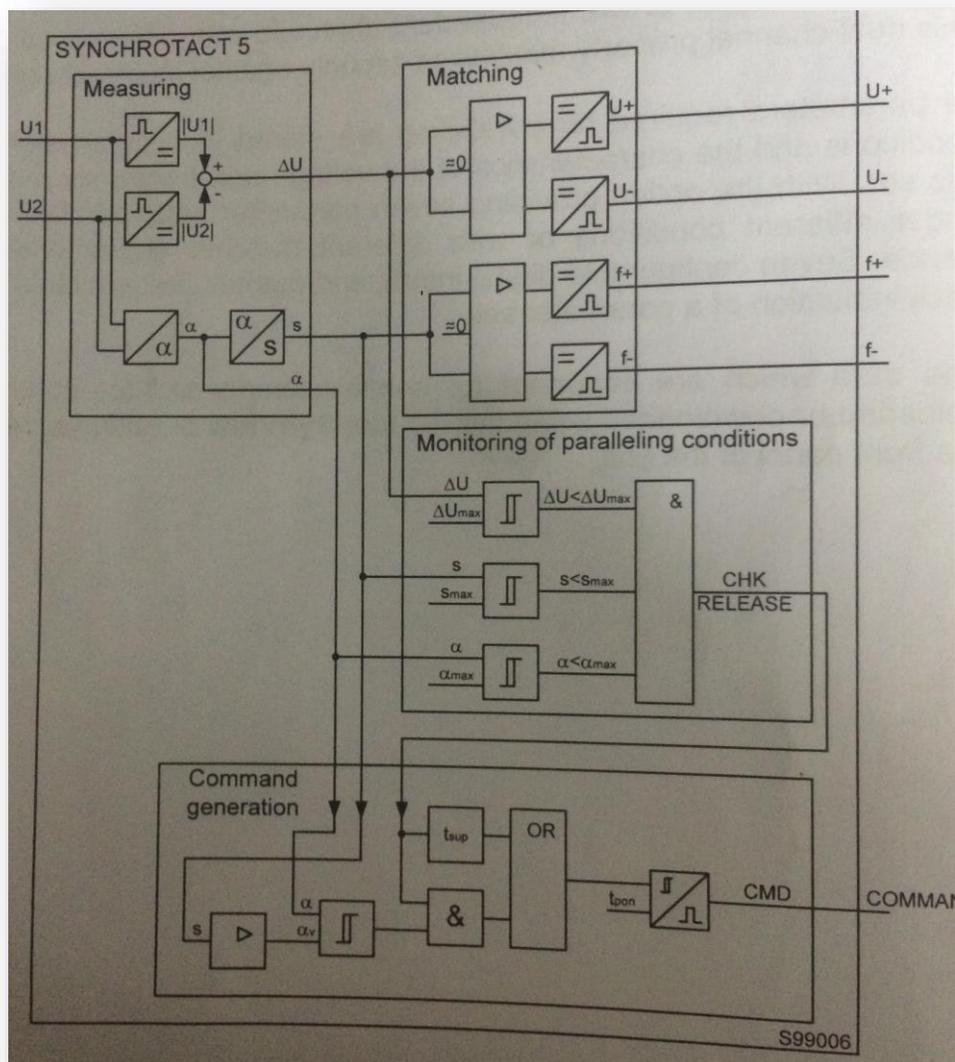


Figura. 3.20 Configuración de un solo canal

Medición

Las siguientes variables medidas se generan a partir de los dos voltajes de medición monofásicos:

Voltaje U1, U2

U1 es la tensión de referencia de línea

U2 es la tensión de referencia de generador

Frecuencia f1, f2

f1 es la frecuencia de referencia

f2 es la frecuencia ajustable

Voltaje diferencial ΔU

$$\Delta U = |U1| - |U2|$$

$\Delta U > 0$ voltaje ajustable es menor

$\Delta U < 0$ voltaje ajustable es mayor

Slip s (Desplazamiento)

$$S = \frac{f1 - f2}{f1} * 100\%$$

$S > 0$ frecuencia ajustable es menor (por ejemplo, generador sub síncrono)

$S < 0$ frecuencia ajustable es mayor (por ejemplo, generador sobre síncrono)

Diferencia de Angulo de Fase

$$\alpha = \varphi1 - \varphi2$$

$\alpha > 0$ frecuencia rezagada

$\alpha < 0$ frecuencia líder

Aceleración ds/dt (Derivada de desplazamiento)

$$ds/dt = 2^* = \sum_{X=1}^{X=56} \Delta S_x [\% / s]$$

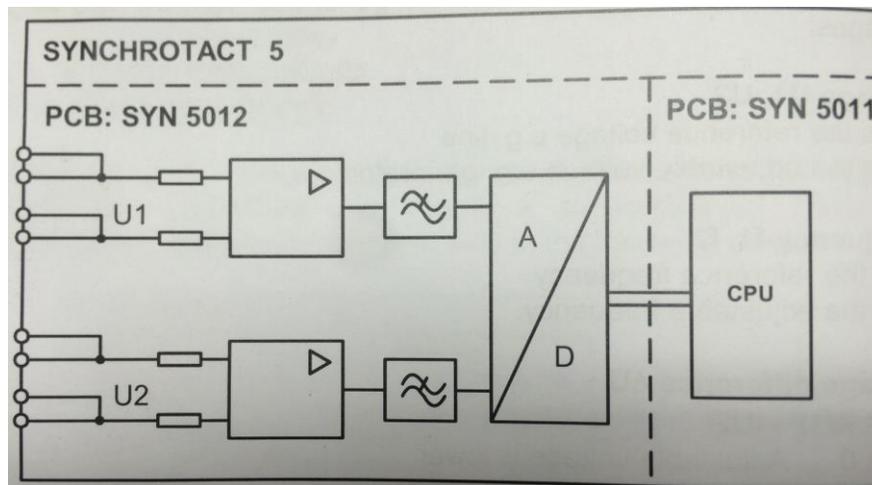
Cada 0.5s en promedio se forma a partir de 56 mediciones; período de muestreo por: 9ms

$ds/dt > 0$ frecuencia se reduce (por ejemplo, generador acelera)

$ds/dt < 0$ aumento de frecuencia (por ejemplo, generador es más lento)

Con SYN 5202 la medición se lleva a cabo por separado para cada canal. Es posible llevar a cabo tres mediciones de fase a fin de detectar fallos de conexión (campo giratorio, la polaridad) y las pérdidas de la fase.

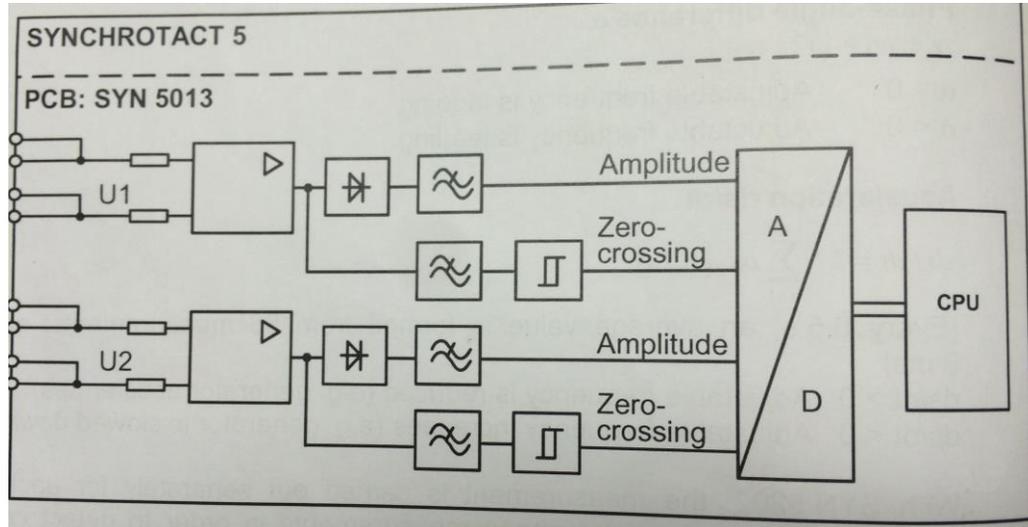
Los dos voltajes de entrada U1 y U2 se pasa al procesador a través de resistencias de alta impedancia de entrada, amplificadores diferenciales, filtros de paso bajo y convertidores A / D



Canal de medición de voltaje

Tensiones de los dos de entrada U1 y U2 pasan a través de entrada de alta impedancia resistencias un amplificadores diferenciales. La señal para el valor de amplitud se forma a partir de esto mediante la conversión y filtrado. Para la detección sin paso por cero, la

señal se filtra y se pasó a través de un comparador .Las señales de preparados de esta forma se pasan al procesador a través del convertidor A / D

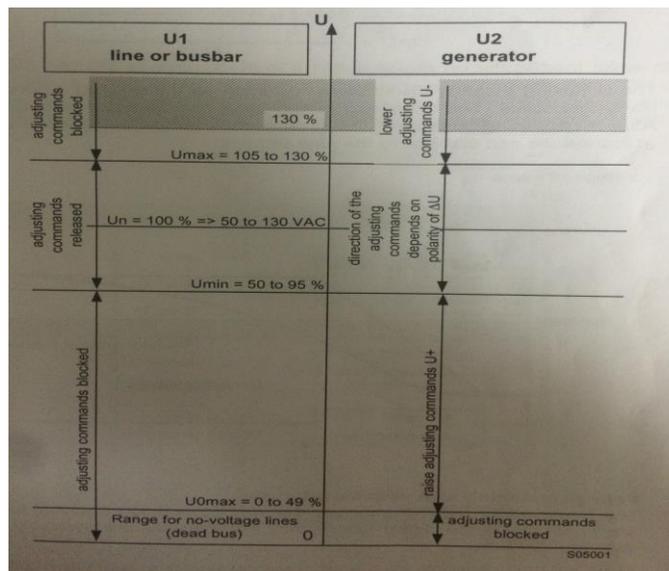


Tensión y frecuencia coincidente

Rango de trabajo de la tensión

Si la tensión U_1 está en el intervalo entre U_{min} y U_{max} y la tensión U_2 es mayor que U_{0max} los comandos de ajuste se liberan. La dirección de los comandos de ajuste depende de la polaridad de ΔU .

Como un condicional adicional, ambas frecuencias deben estar en el rango $f_{n\pm 5Hz}$



Sincronización.

Requisitos:

- Que las tensiones por fase de los generadores sean de igual magnitud y vectorialmente en fase.
- Que la frecuencia sea del mismo valor.
- Que la secuencia de fases sea la misma.

Sí se tienen diferentes magnitudes de tensión, es necesario incrementar o disminuir la corriente de excitación mediante el reóstato decampo.

Sí se llevara a efecto la conexión del generador al sistema cuando las tensiones por fase son de diferente magnitud, se originaría una corriente circulante que puede tener un valor peligroso.

Se dice que dos sistemas o generadores tienen igual frecuencia cuando la rotación de los vectores de las tensiones respectivas es a la misma velocidad angular. Sí estos tienen diferentes frecuencias, es necesario incrementar o disminuir la velocidad del grupo por sincronizar variando el control de admisión de vapor a la turbina.

Tipos de secuencia (positivo y negativo).

Se tienen dos tipos de secuencia de fases en los alternadores, dependiendo esto de cómo se tome el orden de las fases. Para lograr que las tensiones de los generadores por sincronizar estén en fase, debe adelantarse o retrasarse un turbogenerador.

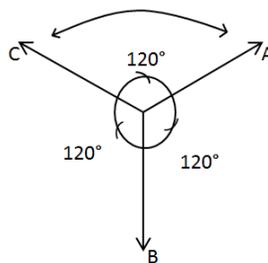


Figura. 3.21 Secuencia positiva A, B, C, un observador vería pasar los vectores en ese orden.

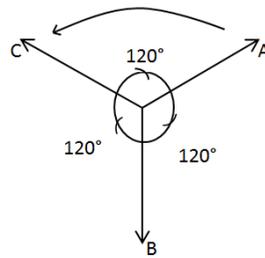


Figura. 3.22 Secuencia negativa A, C, B, un observador vería pasar los vectores en ese orden.

Par de sincronización y ángulo de carga:

En la operación de alternadores en paralelo se deben considerar dos aspectos importantes: uno cuando estos funcionan en vacío, y el otro cuando trabajan con carga.

Se analizara en el primer caso, con ayuda del diagrama equivalente siguiente:

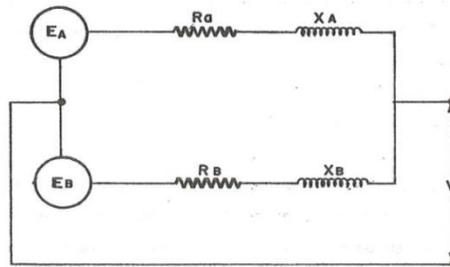


Figura. 3.23 Diagrama equivalente.

En vacío se cumple que:

$$E_A = V_a = V$$

$$E_b = V_B = V$$

Donde E_A y E_B se encuentran vectorialmente opuestos.

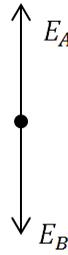


Figura. 3.24 Vectores opuestos

Si por alguna circunstancia el generador “A” se acelera instantáneamente, por la condición en paralelo.

$$V_A = V_B = V.$$

Entonces E_A , se desfasa en ángulo 2α con respecto a su posición antes del disturbio.

Como $\omega_A > \omega_B$, se establece una diferencia de tensión entre E_A y E_B tal que se origina una corriente circulante I_s que va de E_A hacia E_B .

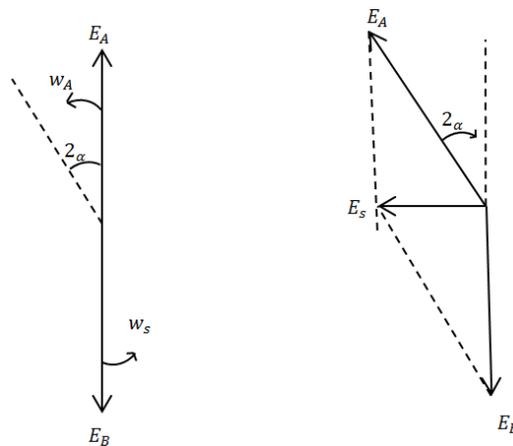


Figura. 3.25 Esquemas representativos.

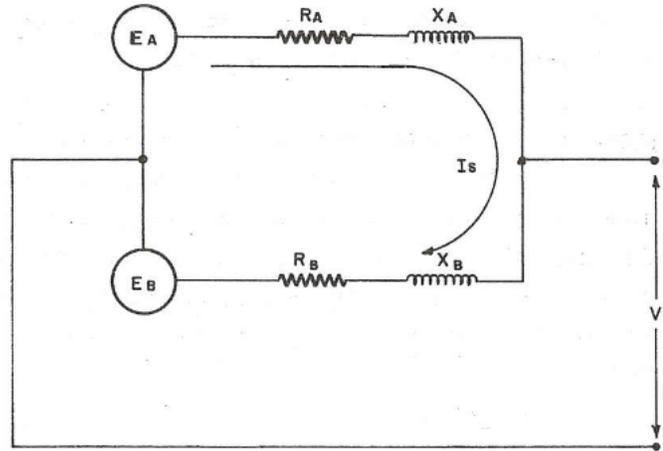


Figura. 3.26 Diagrama equivalente

En donde:

$$I_s = \frac{E_A - E_s}{Z_{SA} + Z_{SB}}$$

Al producto de E_A por I_s , se llama “potencia de sincronización” (PS), la cual produce un par de sincronización que tiende a frenar al generador “A” y acelerar al generador “B” para mantenerlos sincronizados.

Entonces esta potencia de sincronización es:

$$P_S = E_A \left(\frac{E_A - E_s}{Z_{SA} + Z_{SB}} \right)$$

3.4 Actualización de los Sistemas de Protección y Medición Mes de Agosto

Se comenzó en la actualización de los diagramas digitales y analógicos de la unidad 1 en el programa AutoCAD 2016, para la unidad 1 se rediseñaron los relevadores de protección con sus respectivos diagramas trifilares.

Para las señales digitales se dibujan los siguientes circuitos:

Alimentación y Cierre

Alimentación y Disparo

Salidas al PLC

Posición A1040

Para las señales analógicas se dibujan los siguientes circuitos:

Tc de Medición

Tc de Regulación

Tc neutro de transformador de potencia

Señales Digitales

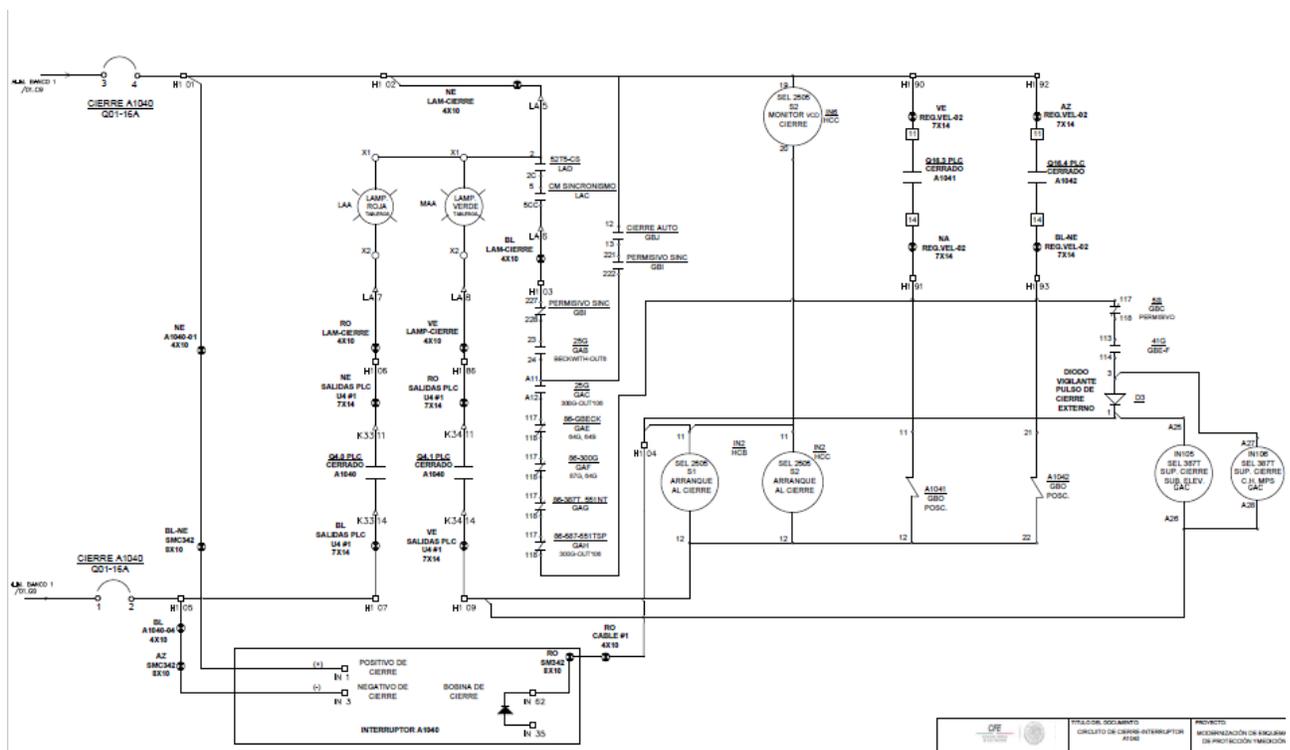


Figura. 3.27 Diagrama de Alimentación y Cierre

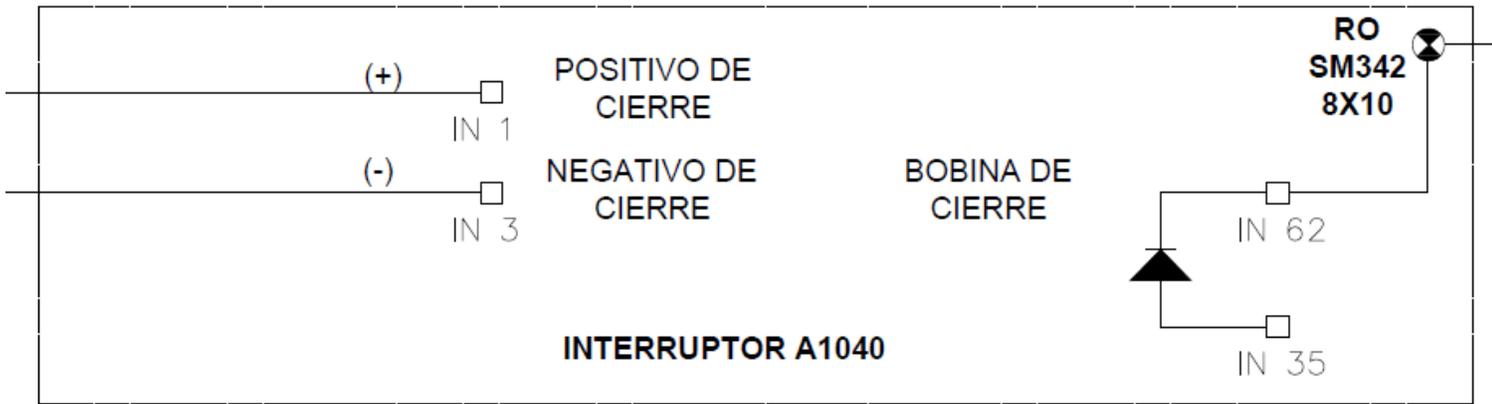


Figura. 3.28 Diagrama de Alimentación y Disparo

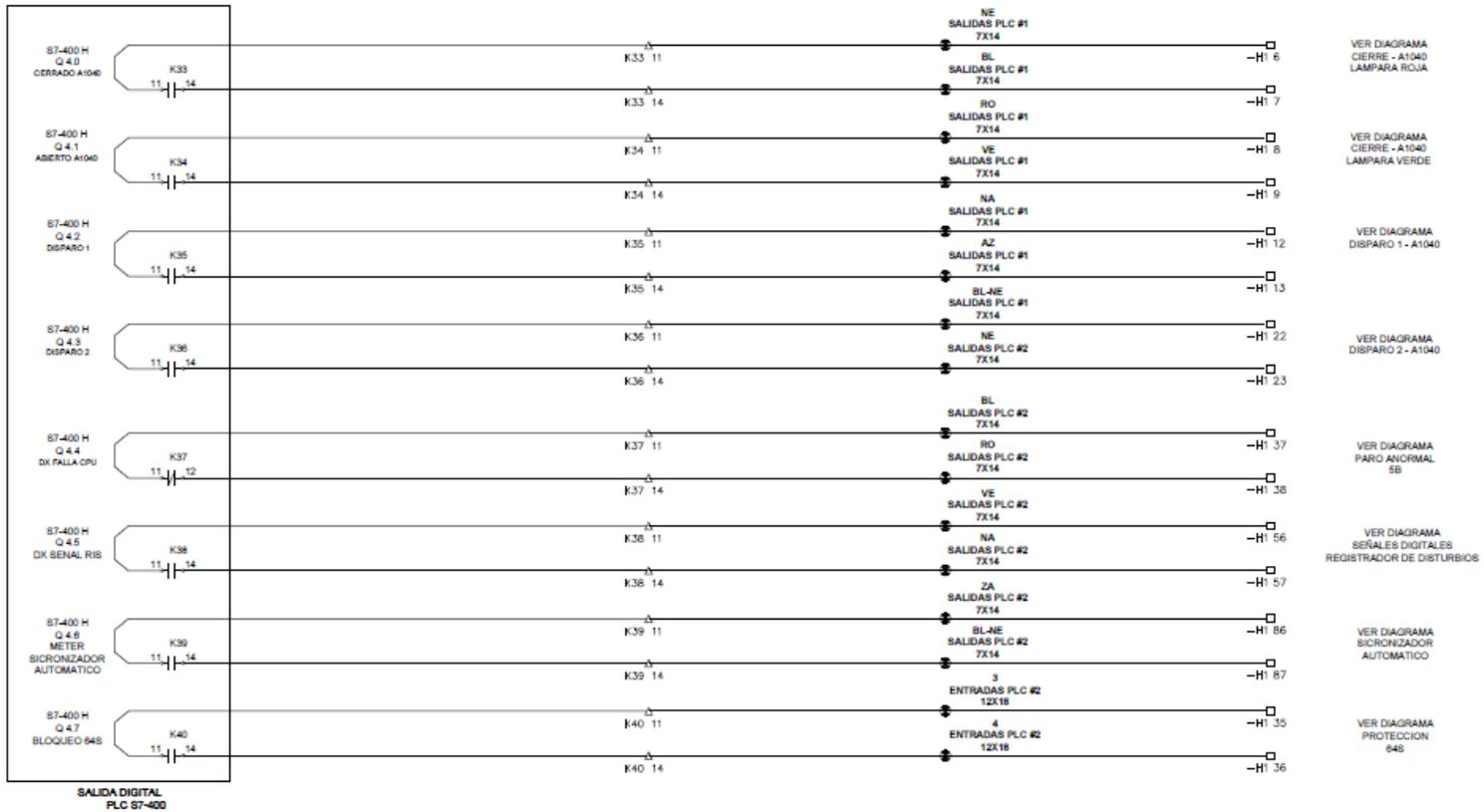


Figura. 3.29 Salidas al PLC

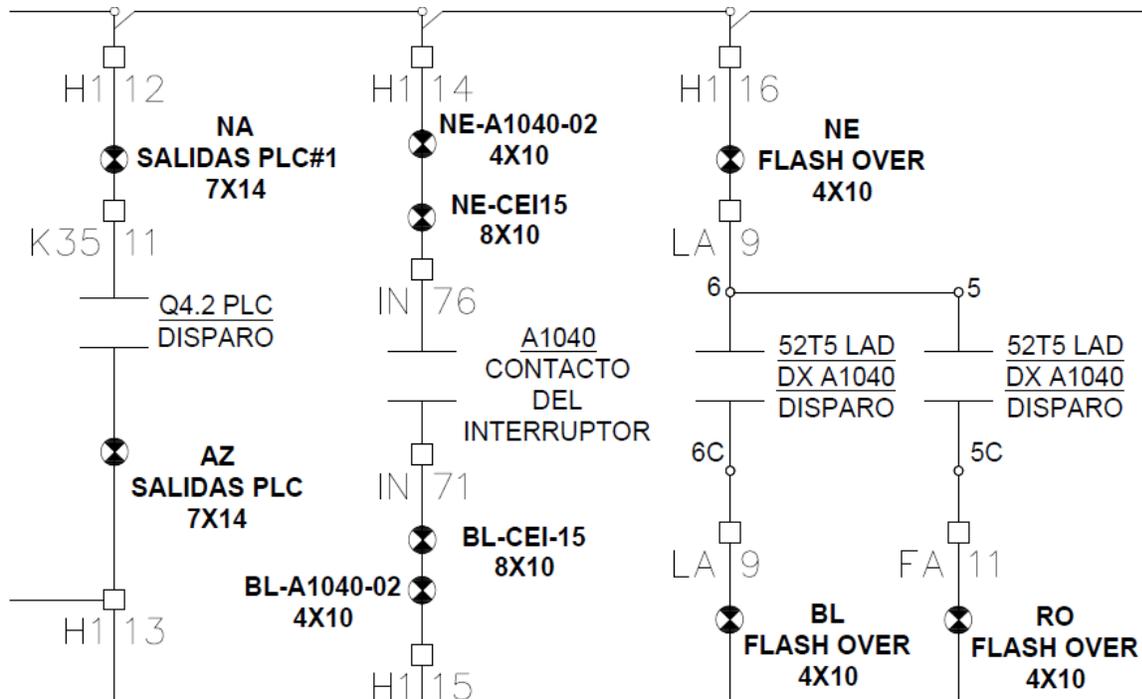


Figura. 3.30 Posición A1040

Señales Analógicas

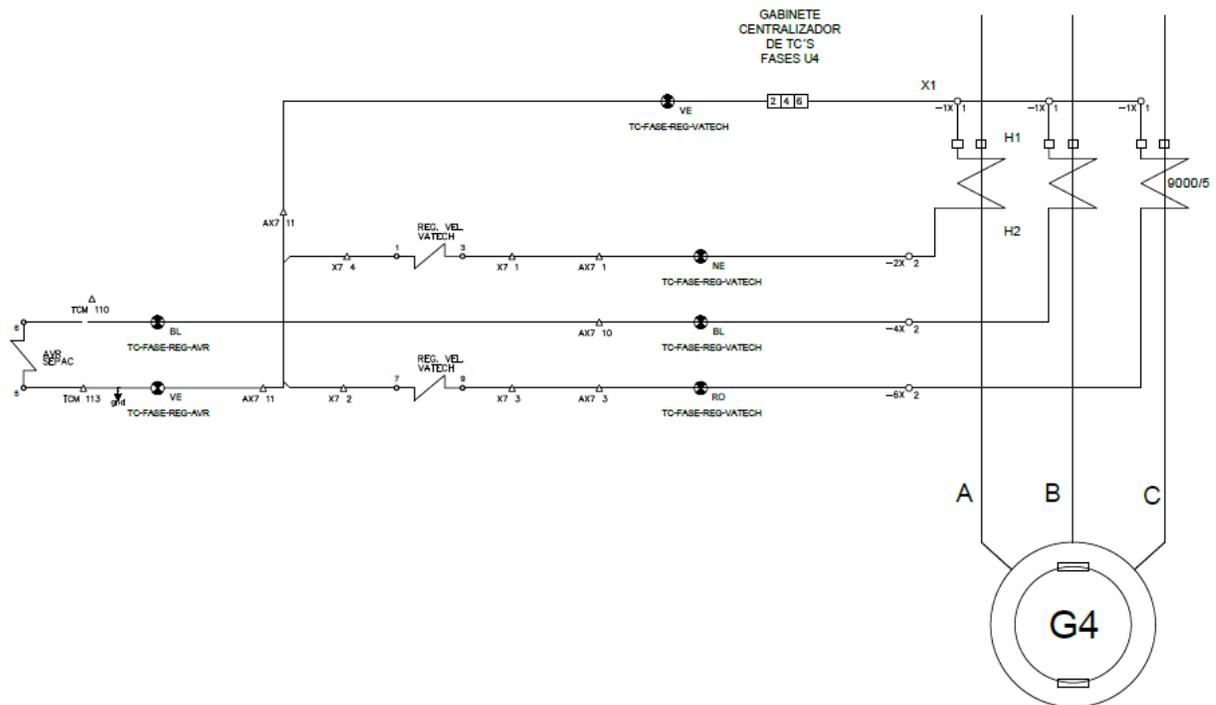


Figura. 3.31 Tc de Regulación

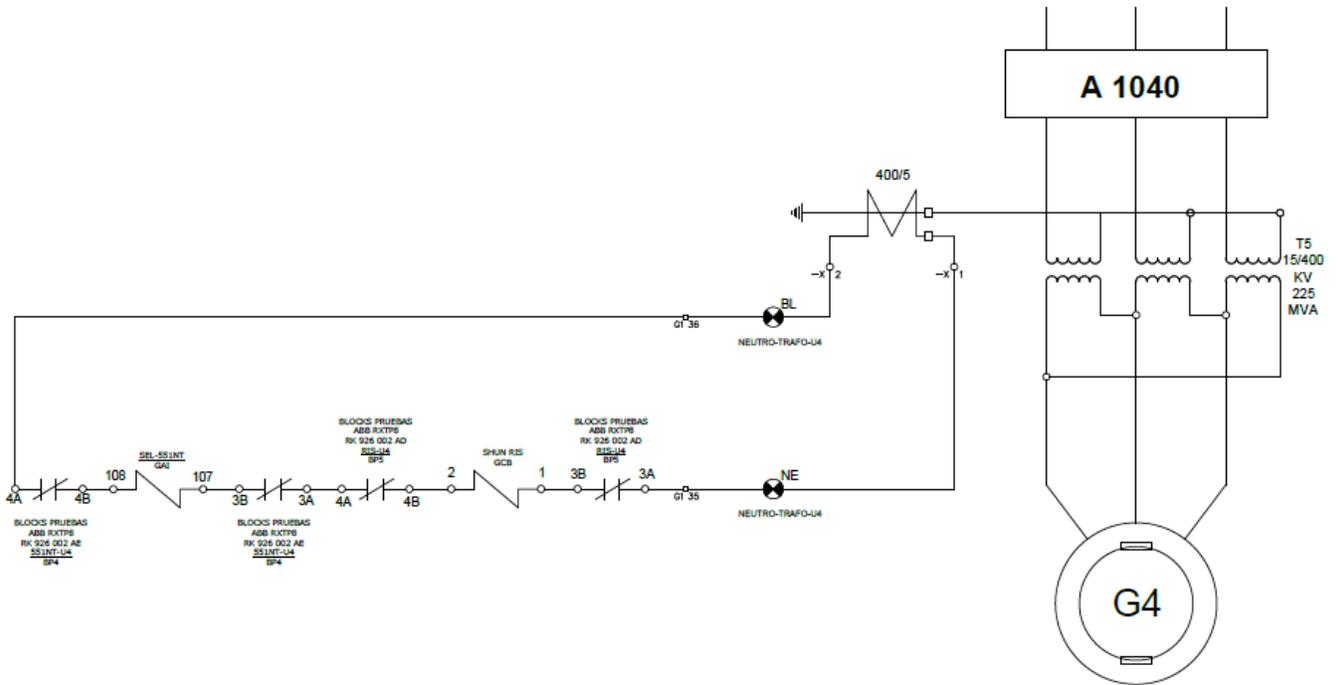


Figura. 3.32 Tc Neutro de Transformador de Potencia

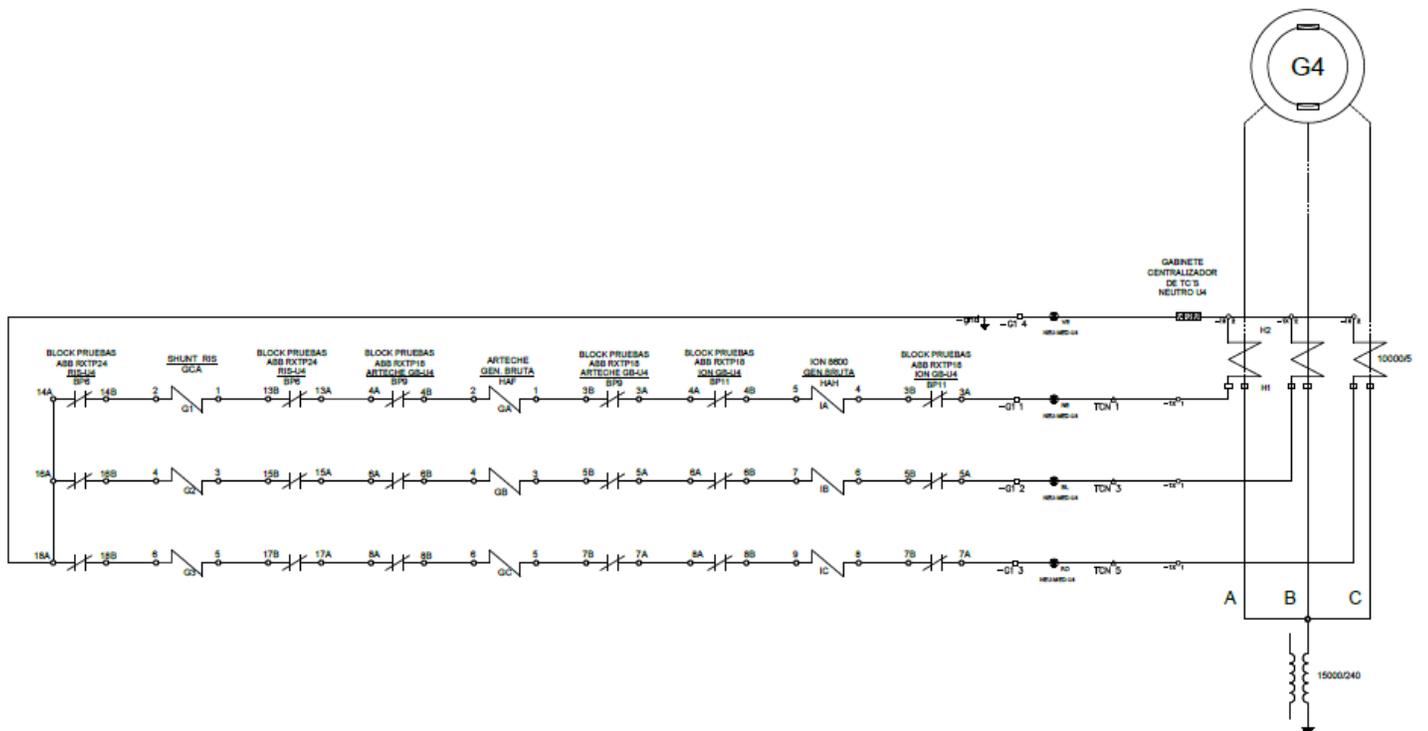


Figura. 3.33 Tc de Medición

3.5 Actualización de los Sistemas de Protección y Medición Mes de Septiembre

En el mes de septiembre trabajamos con la unidad 2 y unidad 3 en el cual se dibujo los diagramas del banco 1 y 2 de un voltaje de 250 Vcd así como también el banco de 125Vcd que son importantes para la alimentación del gabinete, al trabajar en la unidad 2 se encontró que faltaban planos de señales digitales como: Circuito de disparo 1 y 2, Lógica de Protección y Medición del M-3425A, Relevadores 387 y 551 de TSP.

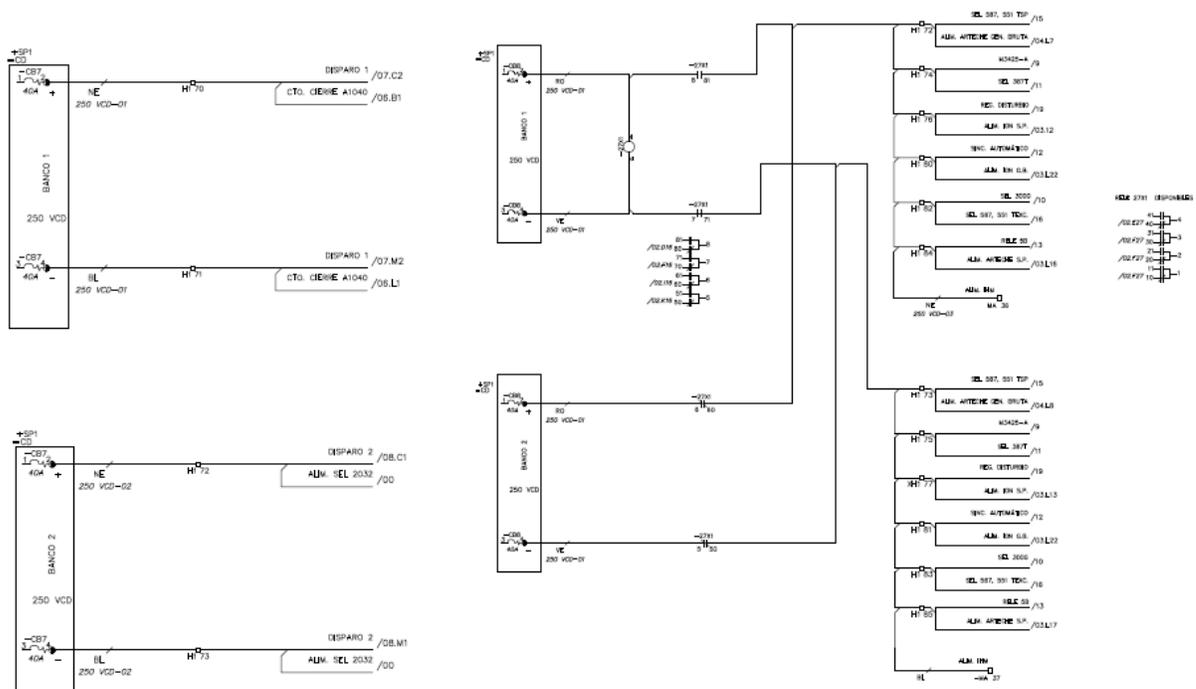


Figura. 3.34 Banco 1 y 2 250 VCD

**BANCO DE BATERIAS
DE 125 VCD**
AREA DE TRANSMISIÓN

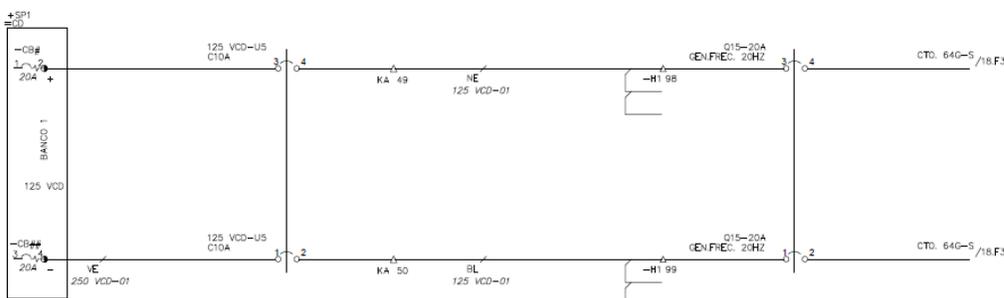


Figura. 3.35 Banco 125 VCD

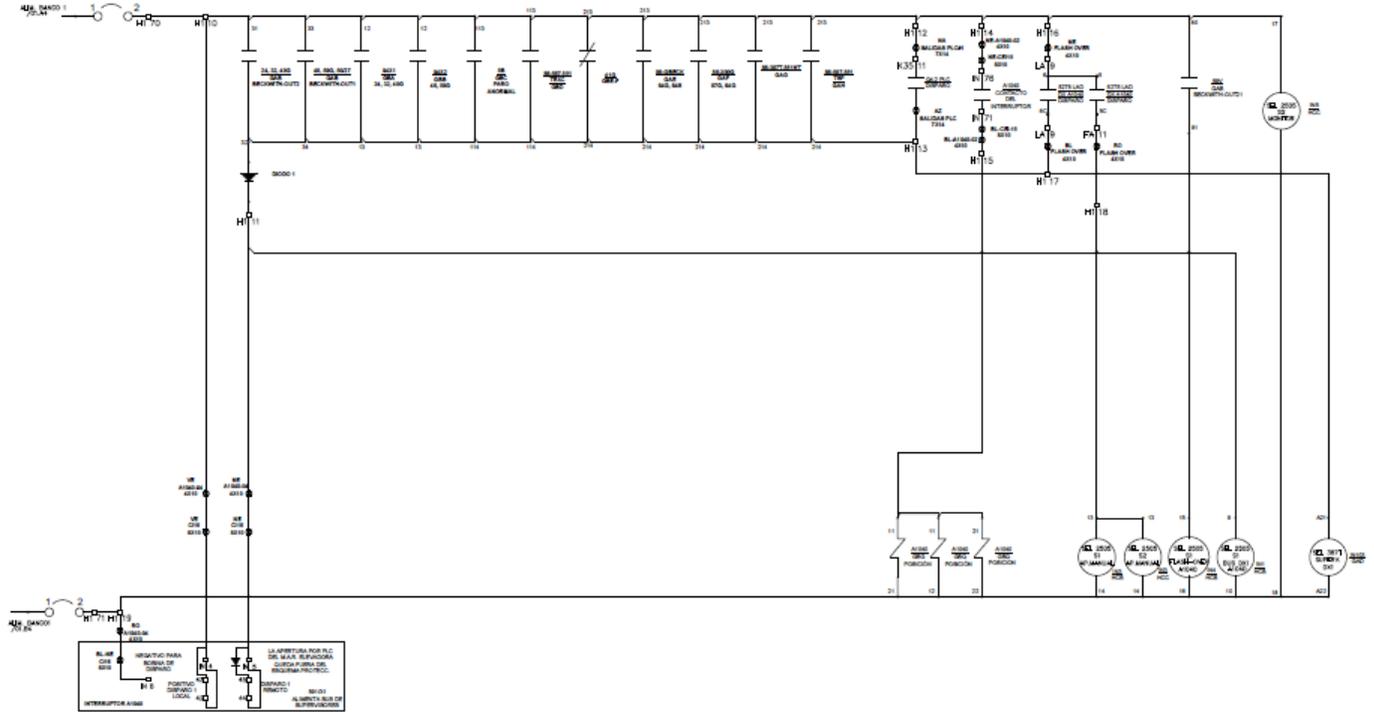


Figura. 3.36 Disparo 1

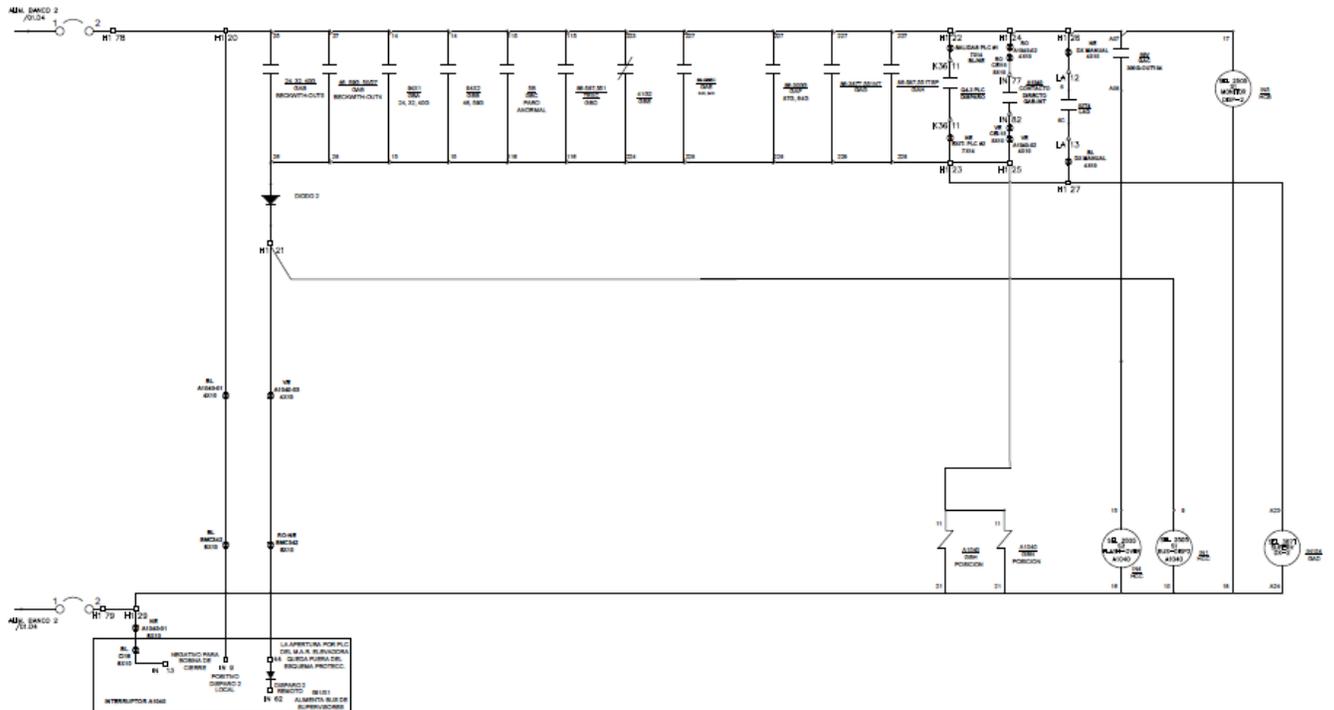


Figura. 3.37 Disparo 2

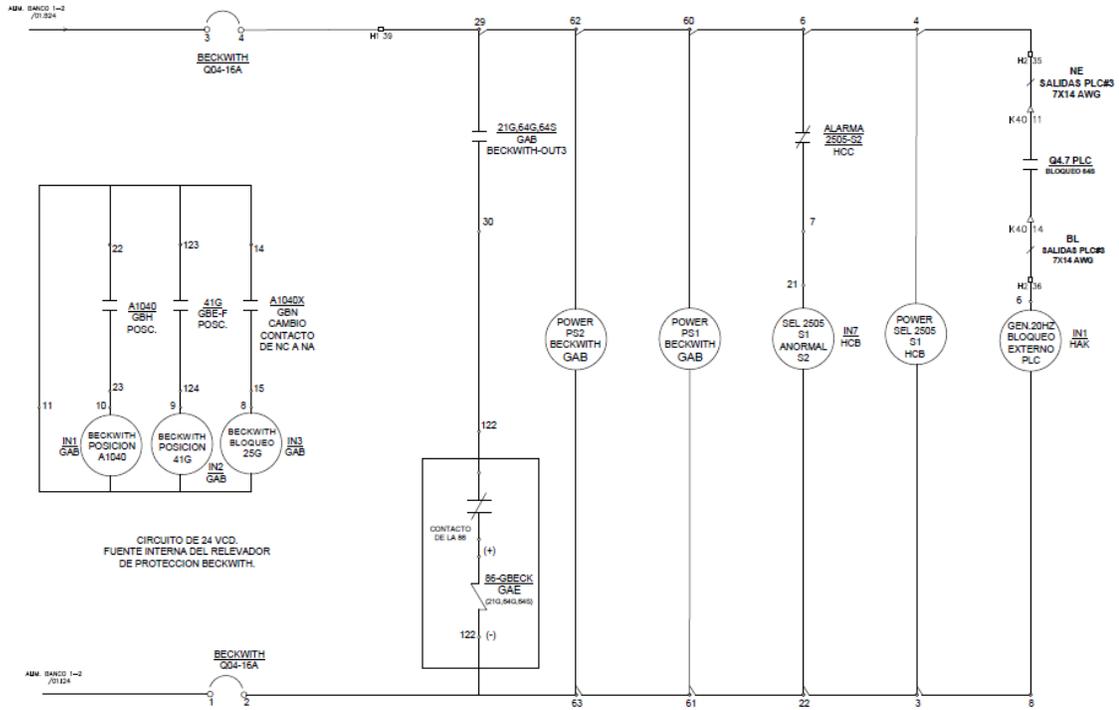


Figura. 3.38 Protección y Medición Beckwith M-3425A

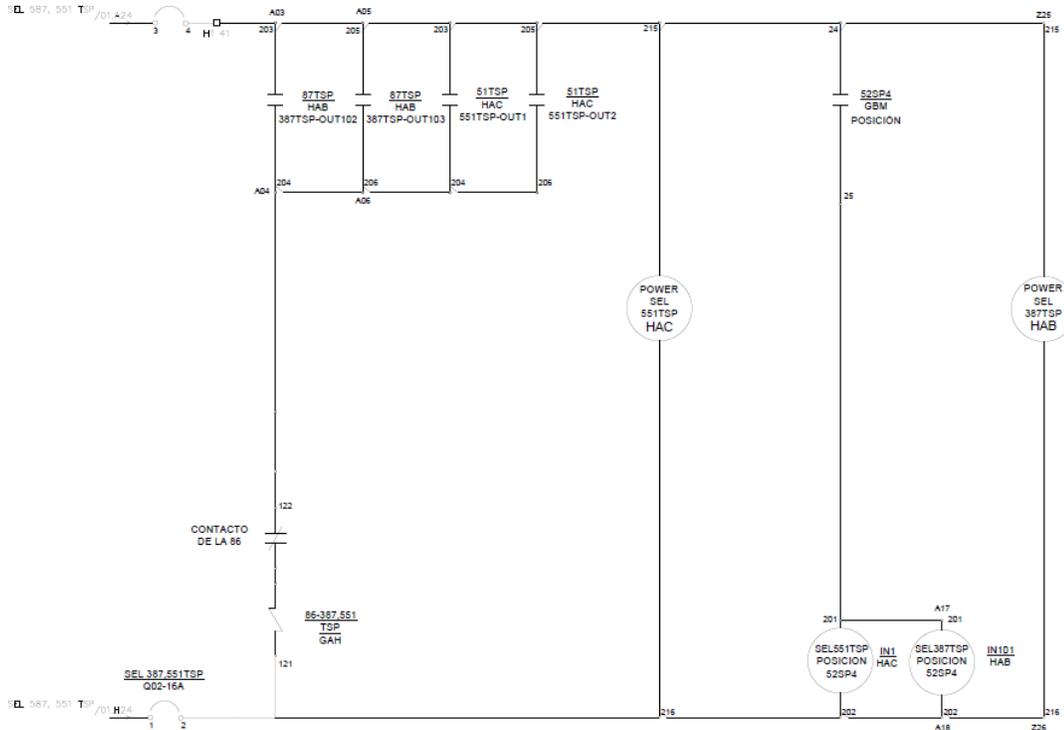


Figura. 3.39 Relevadores 387 y 551 TSP

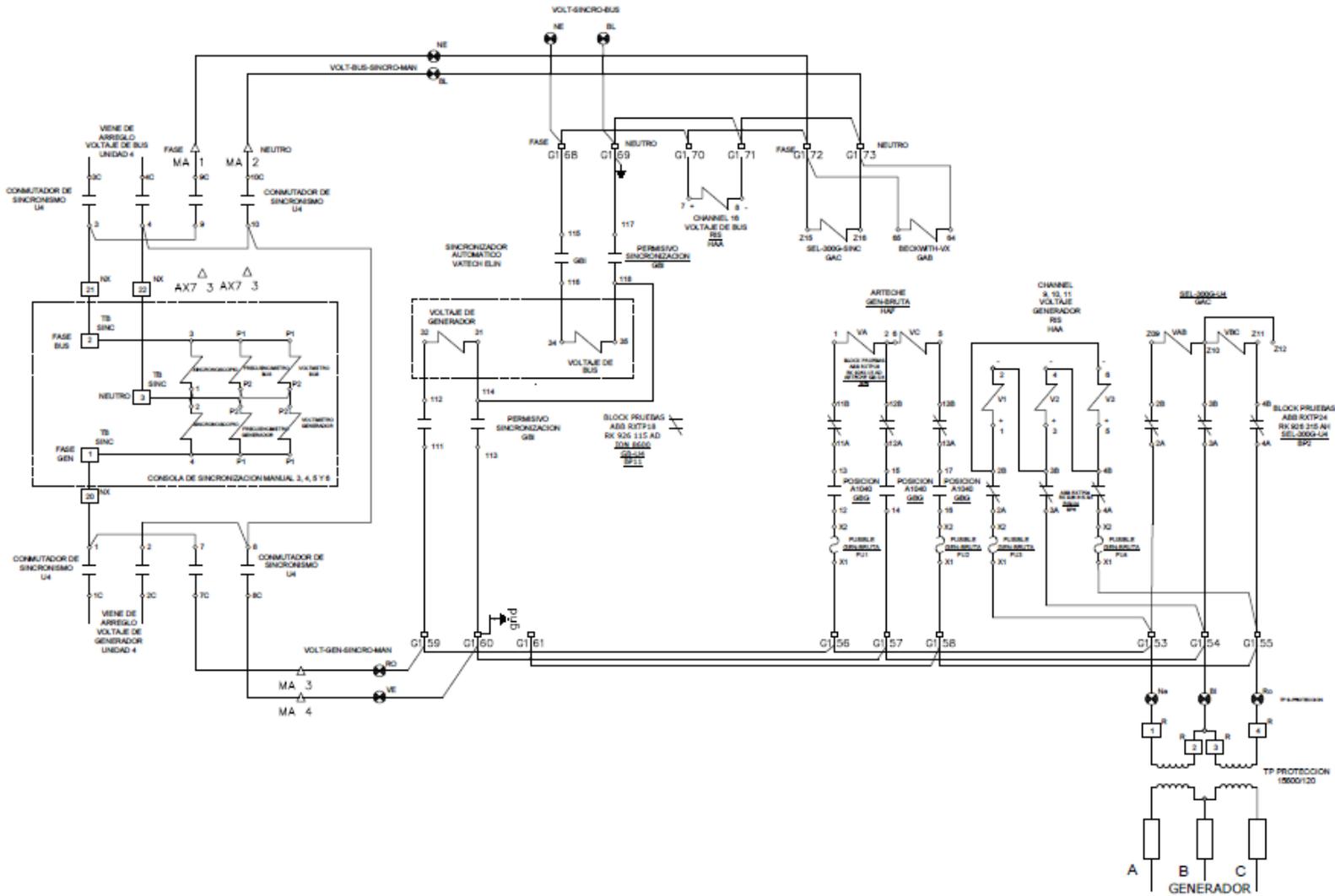


Figura. 3.41 Diagrama de Alambrado TP

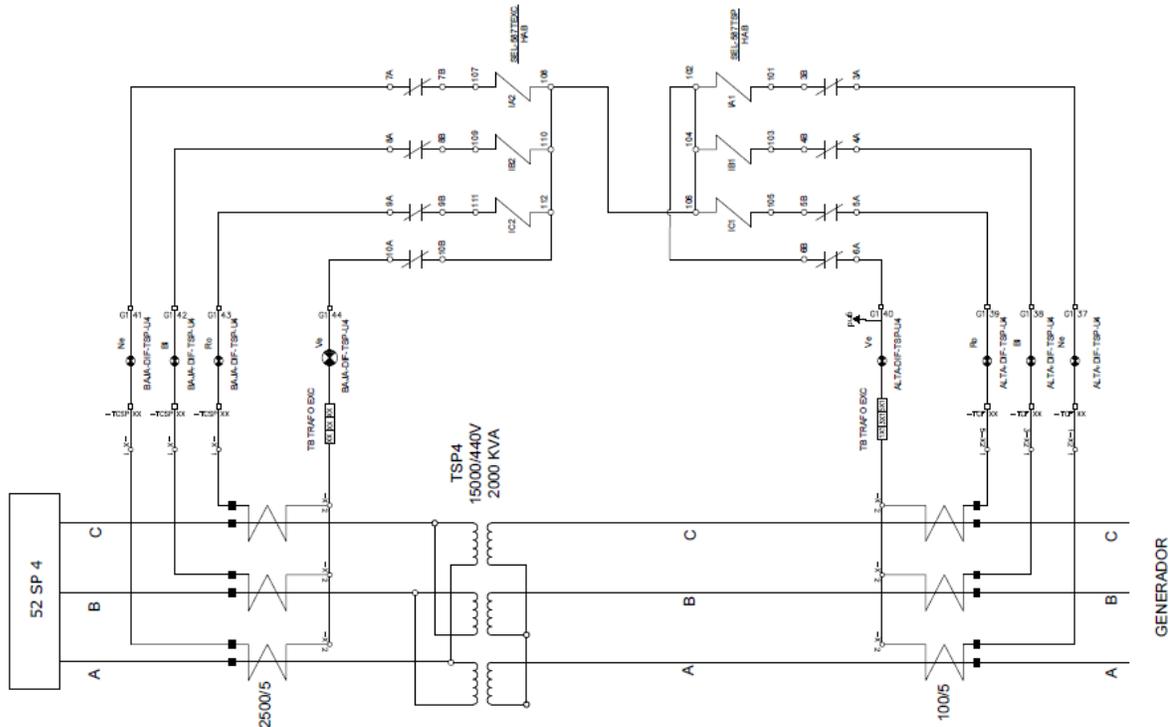


Figura. 3.42 TC's Transformador de Servicios Propios

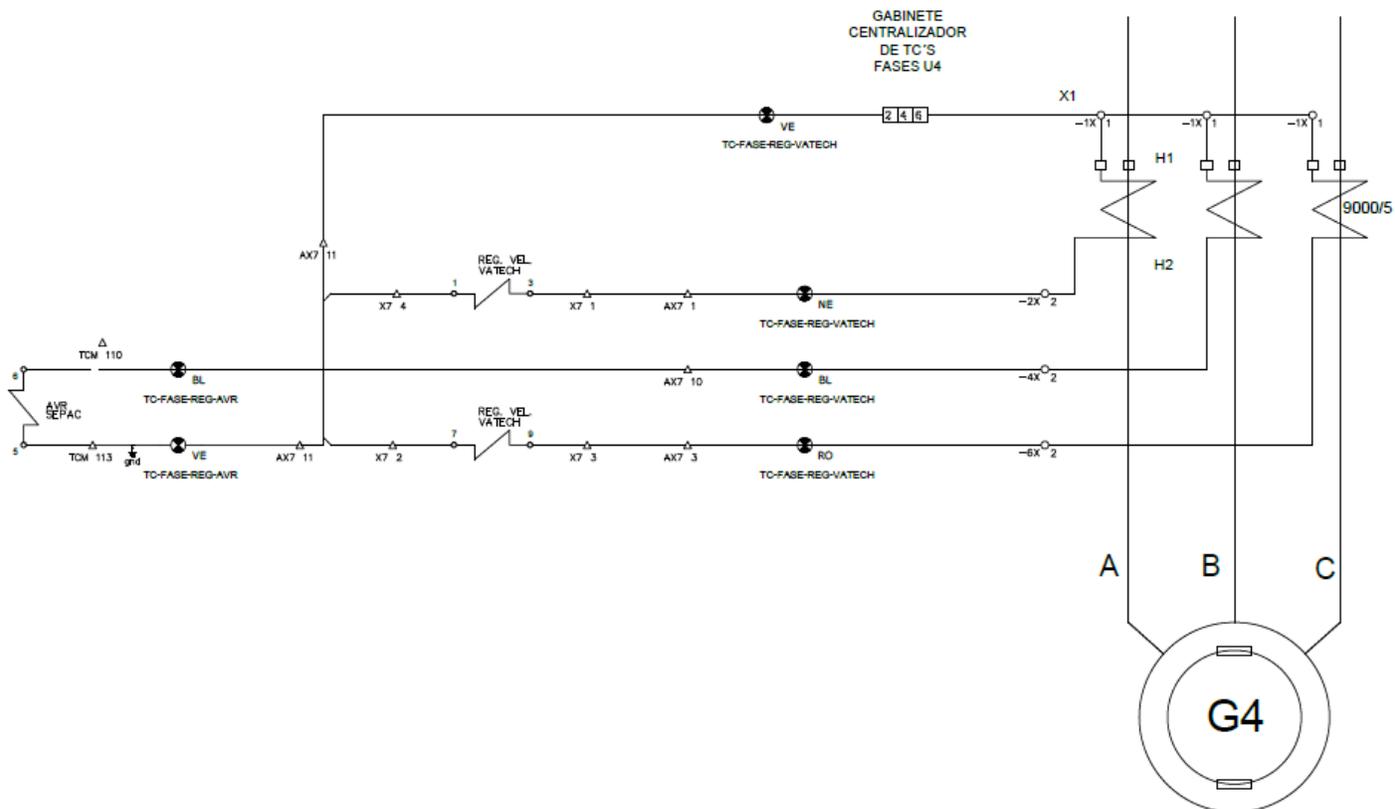


Figura. 3.43 TC's de Regulación

3.6 Actualización de los Sistemas de Protección y Medición Mes de Noviembre

Este mes se trabajo con las unidades 5 y 6 con los diagramas de control de las unidades generadores, así como los diagramas trifilares en donde se representan los equipos primarios como también la revisión de puntos de conexión en campo. Se actualizaron los diagramas del raric, los shuts, protección diferencial de generador 300G, TC de medición derivación de servicios propios, TC de protección diferencial de excitación.

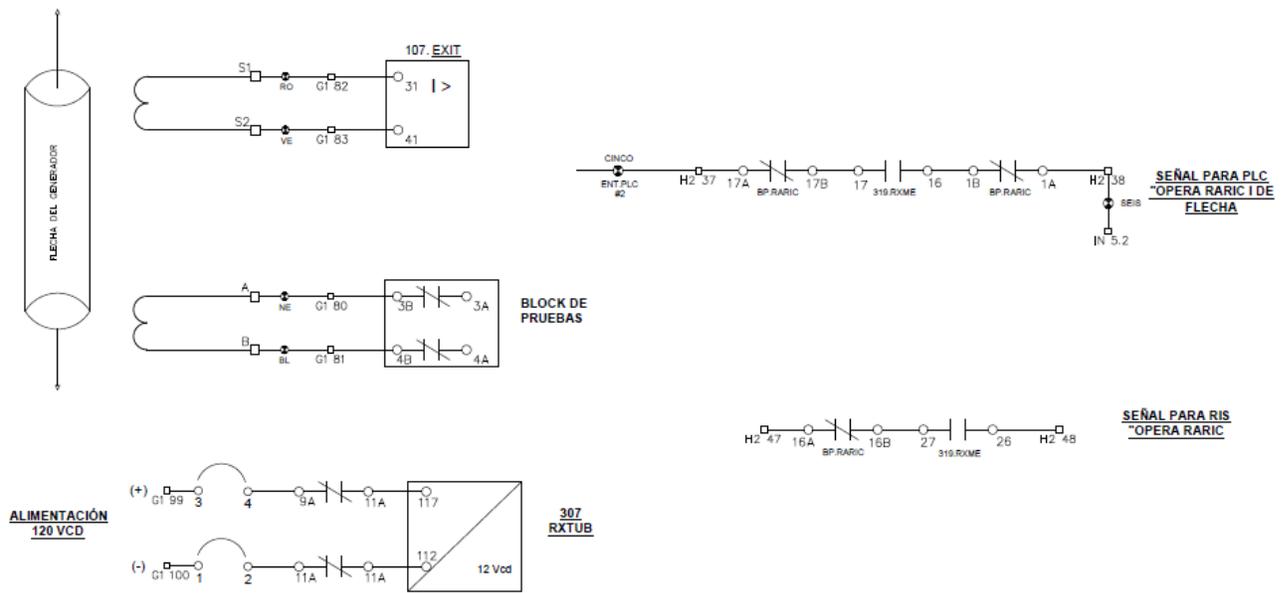


Figura. 3.44 Circuito de Alambrado Modulo RARIC

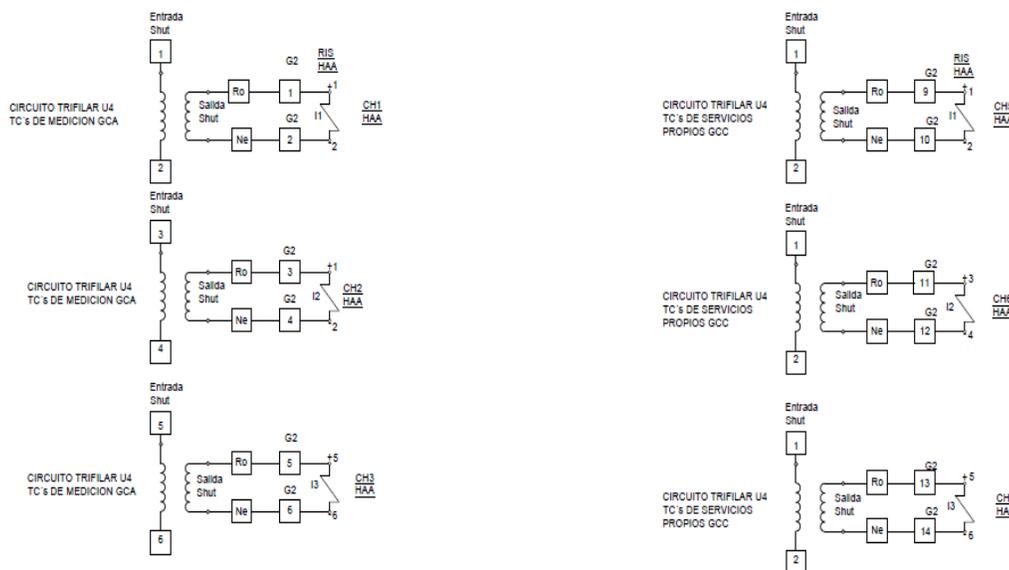


Figura. 3.45 SHUTS de Corrientes

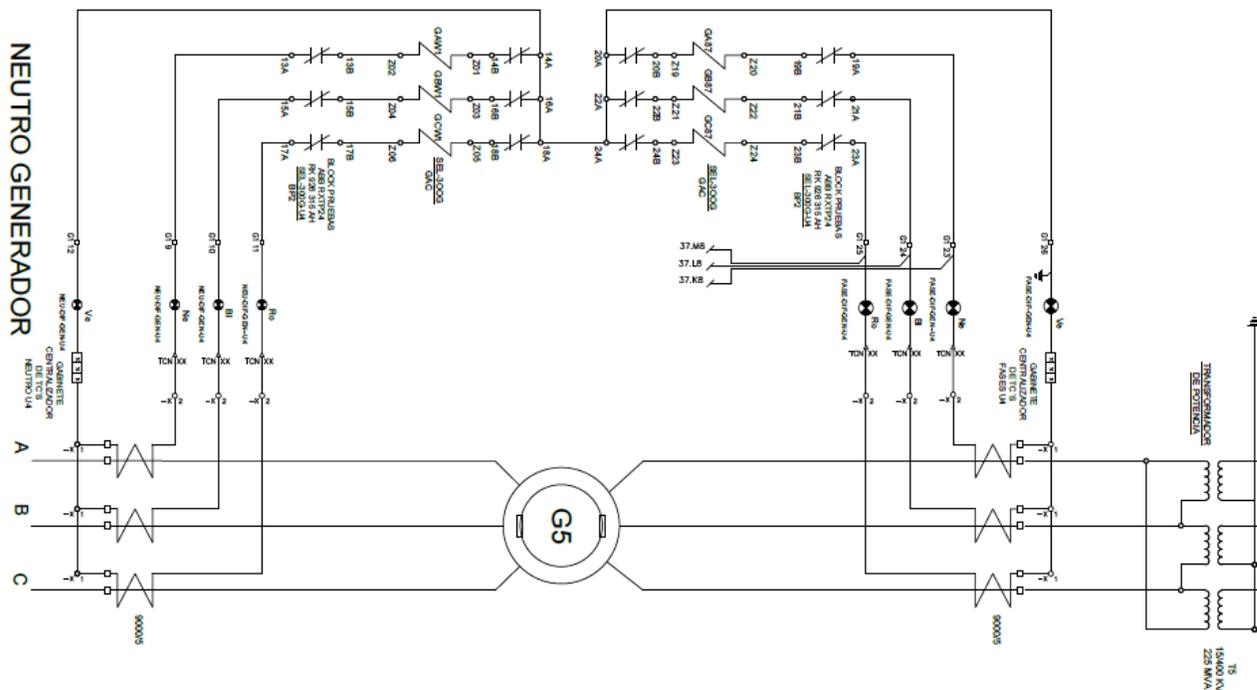


Figura. 3.46 Protección Diferencial de Generador 300G

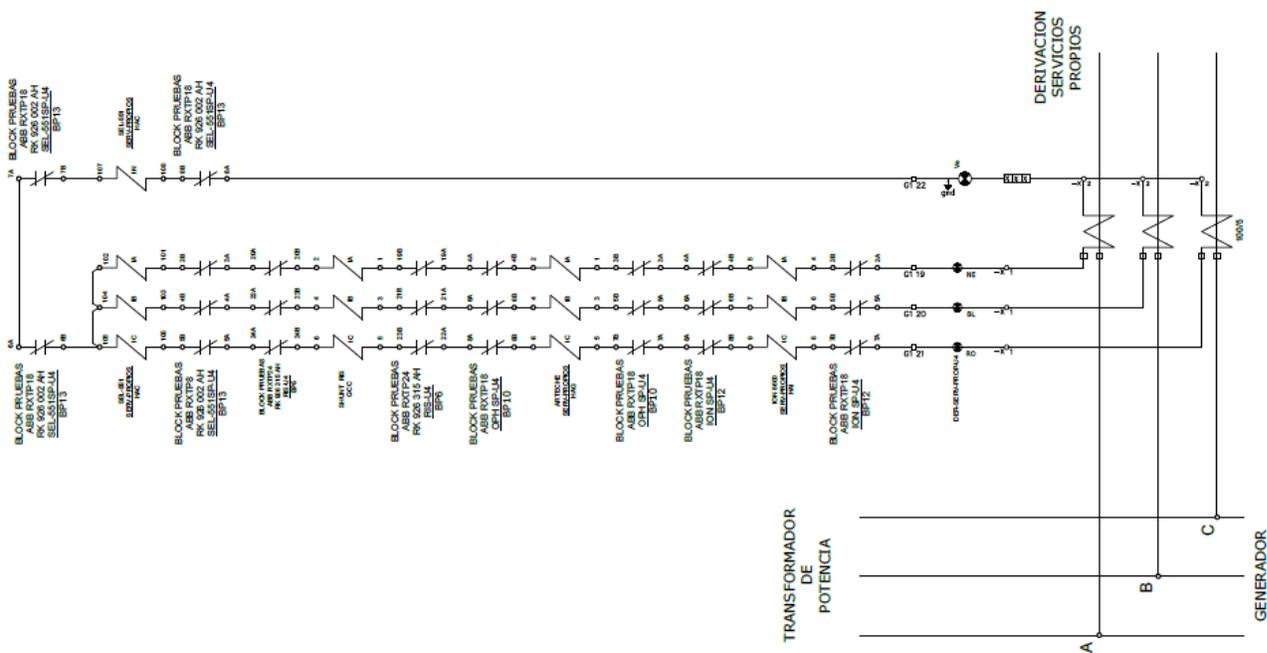


Figura. 3.47 TC de Medición Derivación de Servicios Propios

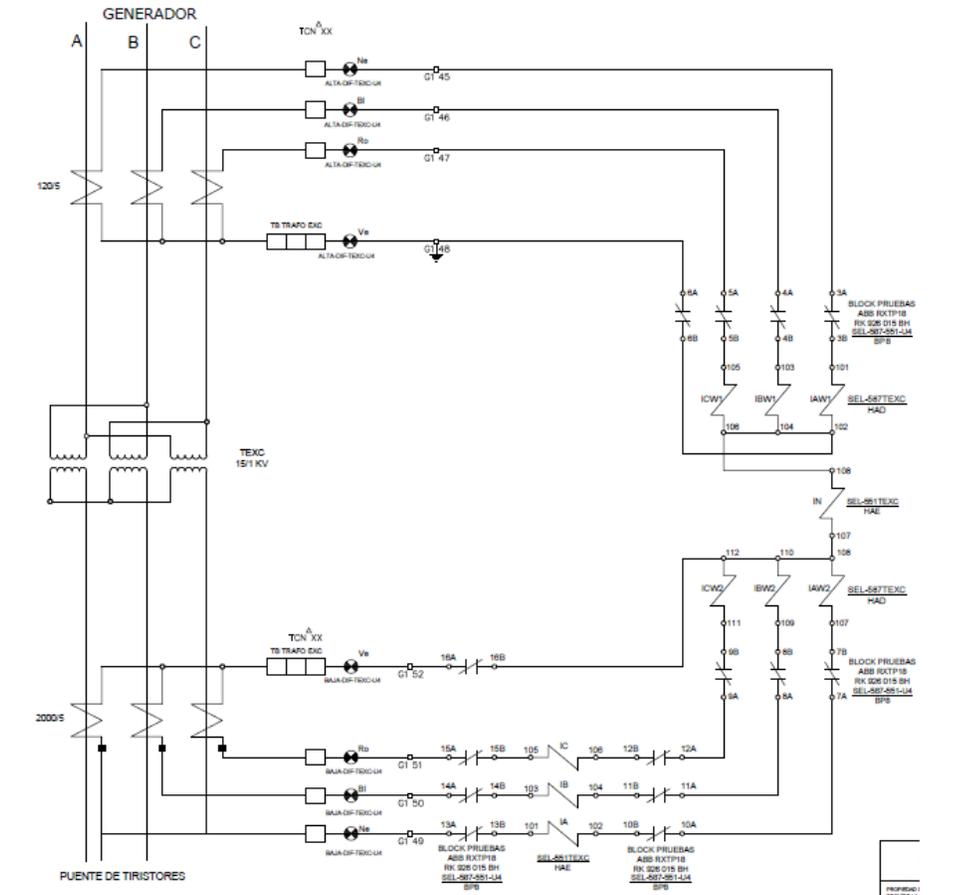


Figura. 3.48 TC de Protección Diferencial de Excitación

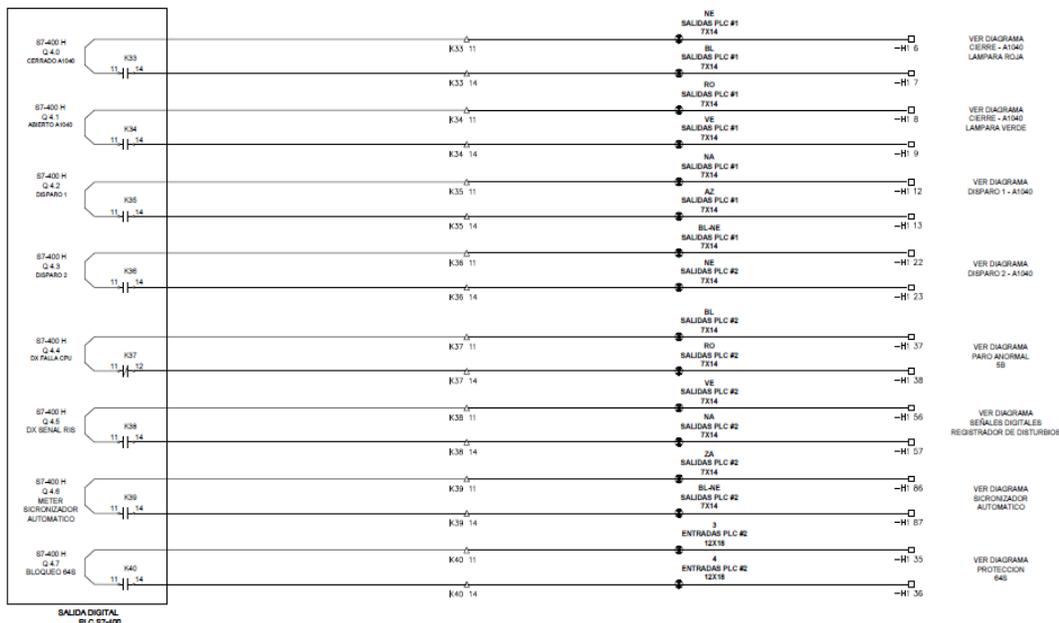


Figura. 3.49
Salidas Digitales
Protección y
Medición

4. Conclusión

El cambio de sincronizador del SYM 3000 al SYNCHROACT 5 ABB tuvo un impacto positivo lo cual se obtuvo como resultado una mejor sincronización con el Voltaje de Generador y el Voltaje de Bus, así como los mandos de Subir-Bajar Frecuencia. La actualización de los sistemas de protección y medición nos dejó una enseñanza plena de cómo interpretar el sistema y cuál es la función de cada uno de los componentes conectados.

El proyecto que realizamos ha contribuido de manera muy importante para identificar y resaltar los puntos que hay que cubrir y considerar para llevar a cabo una implementación exitosa de los sistemas de sincronización. Nos deja muchas cosas importantes que reflexionar y muchas otras las ha reforzado como puntos angulares para llevar a cabo una buena implementación.

Esta experiencia ha mostrado cómo es posible diseñar y aplicar un aprendizaje basado en competencias y organizado, aplicando el conocimiento adquirido durante el transcurso de la escuela.

Así mismo, es importante hacer mención que el Diseño de un nuevo sistema de protección y medición implementado en equipos con tecnología de vanguardia y sistemas actualizados con los diagramas eléctricos, nos brindan una mejor eficiencia para atender rápida y oportunamente cualquier disturbio.

En la introducción de este documento hablamos sobre cuál es el objetivo que se desea lograr con el proyecto, y mencionamos el implemento de un nuevo sistema de protección y medición con tecnología de vanguardia esta es una parte importante para la empresa de CFE ya que para ellos es brindar un servicio de calidad al cliente.

5. Referencias Bibliográficas

- [1].- Edson Othon Benavidez Ovando, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, desarrollo los primeros diagramas de protección y medición.
- [2].- Víctor Hugo García Kassab, Marcos Uriel Calixto Méndez y Miguel Escobar de la Cruz, egresados del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, desarrollaron la actualización y mejoras de los diagramas de protección de generador y el cableado correspondiente a los diagramas de control, protección y medición trifilares diseñados.
- [3].- Agrawal, B. L., and Farmer, R. G., “Aplicación de subsíncrono Oscilación del relé tipo SSO,” *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-100, No. 6, pp. 2442–2451, June 1981.
- [4].- IEEE Std C37.90™-1989, IEEE standart for relays.
- [5].- IEEE Std C37.97™-1979, IEEE Guía para aplicaciones de protección de relé a sistemas de energía de buses.
- [6].- IEEE Std C37.102™-1987, IEEE Guía para AC Protección de Generador.
- [7].- IEEE Std C37.103™-1990, IEEE Guía para diferencial y polarización relé Prueba Circuito (ANSI).
- [8].- IEEE Power System Relaying Committee, “Relé de protección de generadores de corriente alterna,” *AIEE Transactions*, Vol. 70, Pt. 1, pp. 275–281, 1951.
- [9].- Sills, H. R., and McKeever, J. L., “Características de las corrientes de fase partida como fuente de Protección de Generador,” *AIEE Transaction*, Vol. 72, Pt. III, pp. 1005–1013, 1953.
- [10].- Manual de operaciones SYNCROTACT 5, SYN 5201-5202
- [11].- Manual de operaciones de protección de generador BECKWITH M-3425A
- [12].- Manual de operaciones de protección de generador SEL 300G

6. Anexos

Anexo A.- Las Centrales Hidroeléctricas

Las Centrales Hidroeléctricas aportan un favorable porcentaje a la producción de energía en la República Mexicana. Sin embargo juegan un papel fundamental ya que, dada su flexibilidad y disponibilidad de operación, pueden adaptarse a las variaciones de demanda. Por lo tanto, la energía hidroeléctrica es clave para la estabilidad y la garantía del sistema eléctrico.

La industria eléctrica necesita un aporte masivo de agua, aunque estos caudales retornan íntegramente a las masas de agua tras su uso, si bien pueden producirse en un lugar a cierta distancia de aquel en que se produjo la detracción. Por lo tanto, el funcionamiento característico de las centrales hidroeléctricas supone una impresionante presión por las fuertes variaciones en los caudales circulantes en los causes.

Una central hidroeléctrica puede definirse como instalaciones mediante las que se consigue aprovechar la energía contenida en una masa de agua situada a cierta altura, transformándola en energía eléctrica. Esto se logra conduciendo el agua desde el nivel en el que se encuentra, hasta un nivel inferior en el que se sitúan una o varias turbinas hidráulicas que son accionadas por el agua y que a su vez hacen girar uno o varios generadores produciendo energía eléctrica. Esto se ve en las figuras (6.1) y (6.2).

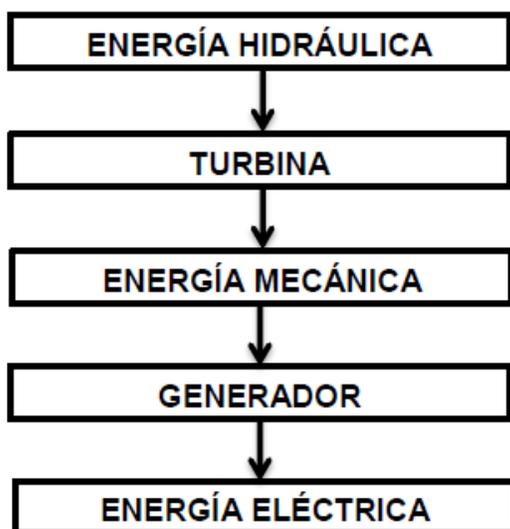


Figura. 6.1 Transformación de la energía hidráulica en una central hidroeléctrica.

En la central hidroeléctrica se puede distinguir dos unidades:

Unidad de Generación.- la unidad de generación está realmente compuesta de una tubería que transporta agua hacia la turbina, en el cual se produce la primera transformación de la energía potencial del agua en energía mecánica. El elemento básico de la turbina es el rotor, que cuenta con palas, hélices o cuchillas colocados alrededor de su circunferencia, de tal forma que el fluido en movimiento provoca una fuerza tangencial que impulsa la rueda y la hace girar.

La energía mecánica se transfiere a través de un eje para proporcionar el movimiento del rotor del generador que gira dentro de un estator fijo. El eje de la turbina en su parte superior, tiene instalado el rotor que gira en el interior del estator y con ello se efectúa una segunda transformación, de energía mecánica a energía eléctrica.

Unidad de Transformación.- la unidad de transformación son máquinas eléctricas estáticas, cuya función es la de cambiar los parámetros de la energía eléctrica, es decir, permite transmitir energía eléctrica desde un sistema con una tensión dada a otro sistema con una determinada tensión deseada.

Arrollamiento primario: es al que se le aplica la tensión que va a ser reducida o ampliada, dicho enrollamiento generará un campo magnético que inducirá una corriente eléctrica en el secundario.

Arrollamiento secundario: hace referencia al bobinado que se verá inducido por el campo magnético producido por el arrollamiento primario, pudiendo adoptar de esta forma una corriente eléctrica cuando se cierra el círculo a través de sus extremos.

Núcleo: es una armazón hecha de un metal ferroso y es donde circulan las líneas de flujo magnético que produce el bobinado primario.

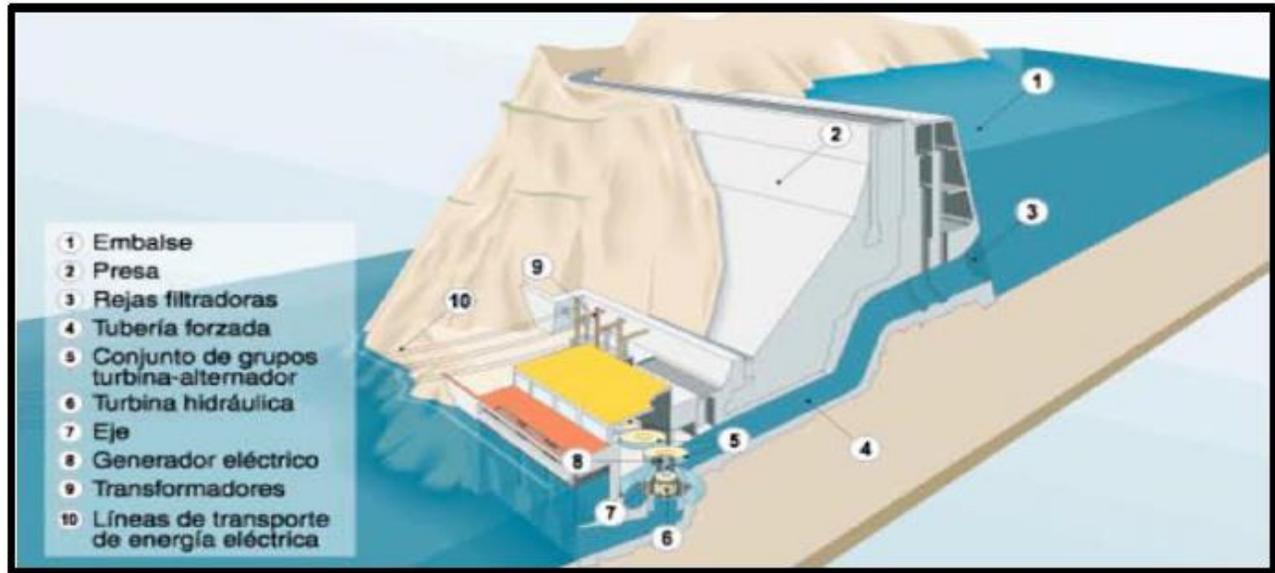


Figura. 6.2 Esquema de una central hidroeléctrica.

Anexo B.- Conceptos Generales

Análisis técnico eléctrico.- Es el estudio del comportamiento eléctrico, principalmente a través del uso de graficas, con el propósito de predecir futuras tendencias en las perdidas que existan en los procesos generación-transformación.

Voltaje.- Es la energía necesaria para poder en miento los electrones, su símbolo es V y su unidad de medida es volt.

Intensidad.- Es la cantidad de electrones que circula por un segundo en un circuito eléctrico, su símbolo es I y su unidad de medida es amperes.

Potencia Activa.- Trabajo que realizan los electrones en un circuito eléctrico, se simboliza con la letra P y su unidad de medida son los watts.

Energía.- Es la fuerza pérdida o ganada por un sistema, que mientras exija un mayor trabajo mayor potencia consumirá. En términos eléctricos la energía es la potencia que necesita una máquina para mover una carga pesada durante determinado tiempo. Se simboliza kWh y su unidad de medida es kilowatthora.

Transformador.- Es una maquina eléctrica que aprovecha los fenómenos electromagnéticos de las corrientes alternas y de los materiales ferromagnético para así

variar las características eléctricas que se aplican en su entrada obtener las deseadas en su salida.

Efecto Joule.- Es la transferencia de energía desde las cargas eléctricas que circulan por la resistencia hacia el medio ambiente. Esta transferencia se manifiesta con el calentamiento de la resistencia y de su medio ambiente.

Balance de energía.- es el equilibrio de los flujos de Energía Eléctrica que entran, salen, se consumen y se pierden en un sistema durante un periodo determinado.

MED7000.- Es el procedimiento para la elaboración del balance de energía tomando la medición y evaluación, los cuales tienen el propósito de consignar el comportamiento de los intercambios de energía entre los diferentes procesos del SEN (Sistema Eléctrico Nacional) durante periodos establecidos.

Autoabastecimiento.- suministro a cargas de proyectos autoabastecimiento localizadas en el mismo sitio de la central generadora, por lo que no utiliza la red de transmisión del servicio público. También es la utilización de la energía eléctrica propia destinada a la satisfacción de las necesidades internas de la instalación.

Generación Bruta.- Es la generación de energía hasta antes del transformador elevador. Se encuentra en la etapa de generación.

Generación Neta.- Es el tipo de generación que esta después del transformador elevador que se encuentra en la central.

Servicios Propios.- Es la retroalimentación de energía que se usa para poner en marcha una turbina eléctrica.

Medición de lado de alta.- La medición de lado de alta se realiza después del transformador elevador de 115kV/400kV que se encuentra en la subestación elevadora de la central.

Medición de lado de baja.- La medición de lado de baja se realiza antes del transformador elevador de 115kV/400kV que se encuentra en la subestación elevadora de la central.

Venta de Energía.- Es la energía facturada al usuario en función de las tarifas vigentes.

CENACE.- Centro Nacional de Control de Energía, la tarea primordial de este centro es el control de la energía eléctrica en su generación y distribución.

Protocolo de comunicación.- Se define como las reglas para la transmisión de información entre dos puntos. Un protocolo de redes de datos es un conjunto de reglas que gobierna el intercambio ordenado de datos dentro de la red.

Red de comunicación RS485.- Cuando se requiere mayores distancias y velocidades de transmisión, entonces debe emplearse las normas RS422 y RS485. Además, estas normas permiten la transmisión multipunto, es decir una computadora central conectada con varias UTR. Dado que la computadora central típicamente tiene como salida la interfaz RS232, se hace necesaria la conexión de un modulo convertidor RS232 a RS422/485, para implementar una red.

Red de comunicación RS232.- Esta norma fue diseñada para comunicación punto a punto, en donde se tiene una computadora que se encuentra transmitiendo hacia un equipo esclavo ubicado a distancias no mayores a 15 metros (aunque en la práctica alcanza distancias de hasta 50 metros) y a una velocidad máxima de 19,200 bps. Este tipo de transmisión se le conoce como “single ended” porque usan en el cable un solo retorno (GND).

Protocolo TCP/IP.- Se utiliza para establecer comunicaciones entre diferentes nodos en un entorno heterogéneo y definen los formatos y normas utilizados en la transmisión y recepción de información.

Medidor de energía eléctrica.- Es el conjunto de elementos electromecánicos o electrónicos que se utilizan para el registro del consumo de energía eléctrica, tanto activa como reactiva, y en algunos casos su demanda máxima.

ION 8600.- La manera con que se calcula y cuantifican las perdidas dependen de la cantidad de información con que se cuenta para el desarrollo del proyecto, teniendo en cuenta que se instala un equipo especial en las líneas de alta tensión, llamado ION-8600, es un medidor de calidad de la energía que registra los parámetros diarios del

comportamiento de la red para realizar un balance de energía y la determinación de las pérdidas reales y los estudios que requiere cada línea del generador.

Anexo C.- Transformadores de Instrumento

Las pruebas que se realizan a los transformadores o equipos de transformación de la energía, son de vital importancia ya que con ellas se determina el estado en que se encuentra. Existen diferentes tipos de pruebas que se les puede realizar y cada una determina diferentes estados en que el equipo se encuentra, entre las pruebas se encuentran:

- 1.- Resistencia de Aislamiento
- 2.- Factor de Potencia
- 3.- Relación de Transformación y Polaridad.
- 4.- Prueba de Saturación

Resistencia de Aislamiento.- Al probar un transformador de un instrumento se determina las condiciones del aislamiento entre los devanados primario y secundario contra tierra. Para la prueba del primario contra tierra, se utiliza el rango de mayor tensión del equipo de prueba, dependiendo de su tipo; y para una tensión aproximada a la tensión nominal del equipo a probar, de 500 V.

Existen dos tipos de Tc's pedestal y dona. La prueba de aislamiento que se realiza tiene diferentes consideraciones. Los Tc's tipo pedestal están por separado al equipo primario y se prueba el aislamiento formado por un pedestal de porcelana o resina y un medio aislante de aceite o un envoltente de gas SF (hexafloruro de azufre).

Los Tc's sin devanado primario conocidos como tipo dona (bushing) están integrados al equipo primario como transformadores e interruptores y se prueban las condiciones de su aislamiento exterior respecto a tierra del equipo asociado y la condición interna de su devanado. Los Tc's tipo dona solo se hacen las pruebas de secundario a tierra, utilizando 500 volts con el equipo de prueba.

En esta prueba es recomendable que los valores que se obtengan en los aislamientos tanto de alta tensión como de baja tensión. Deben ser superiores a $50,000\text{M}\Omega$. Para valores inferiores a lo dicho anteriormente y con el objetivo de analizar las condiciones del aislamiento se deberán completarse esta prueba con los valores de pérdidas dieléctricas que se obtienen con las pruebas de factor de potencia.

Los motivos por los cuales se deteriora el aislamiento de un equipo de estos, tiene diferentes motivos; uno de ellos es la humedad que existe en el medio ambiente y el calor que se genera en los TM, al haber estos dos fenómenos provoca que la pintura dieléctrica se cristalice, lo que conlleva a que la pintura valla desgastándose y la cinta de fibra de vidrio quede con protección. En las figuras (6.3), (6.4) y (6.5) se pueden ver los diagramas de conexión.

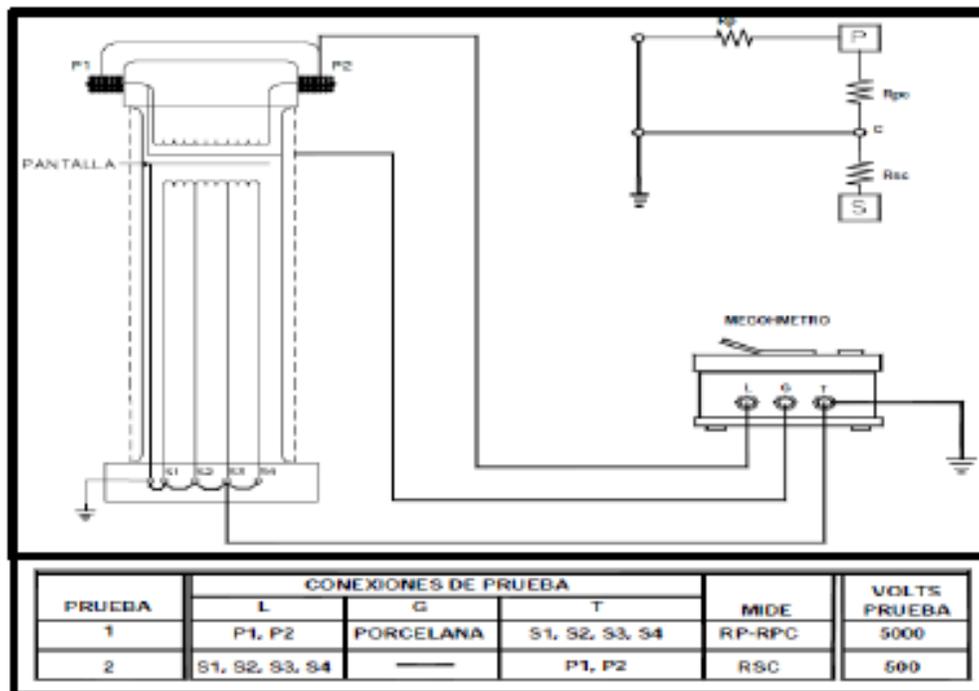


Figura. 6.3 Transformador de Corriente.

(Prueba de resistencia de aislamiento)

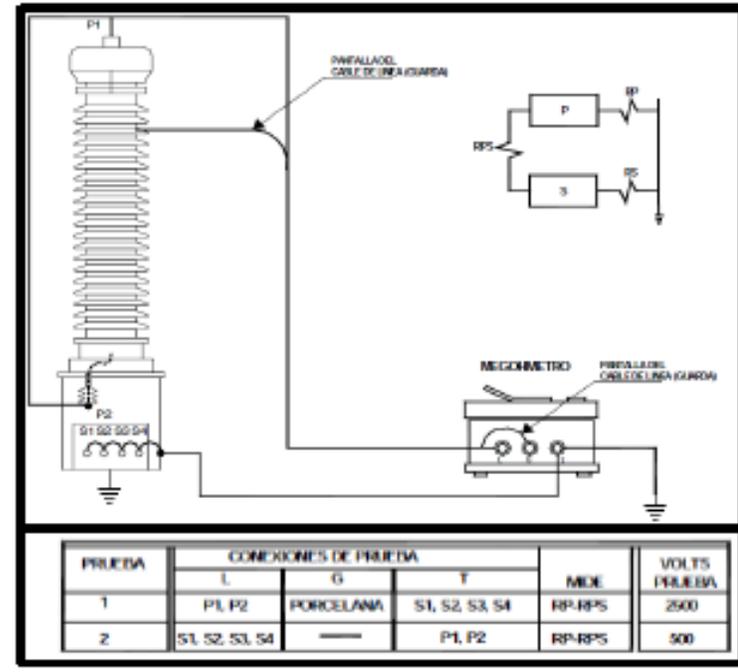


Figura. 6.4 Transformador de Potencial.

(Prueba de resistencia de aislamiento)

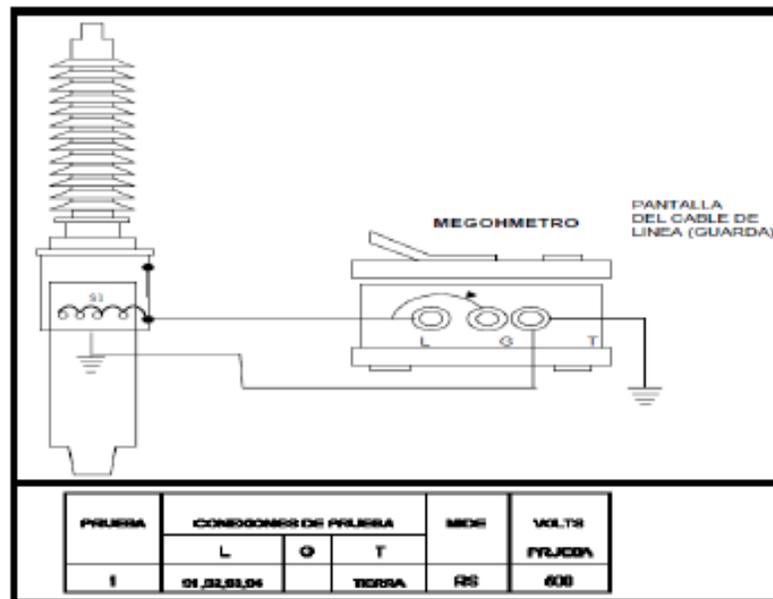


Figura. 6.5 Transformador de Corriente Tipo Dona

(Prueba de resistencia de aislamiento)

Factor de Potencia.- Con la prueba de factor de potencia se determina las pérdidas dieléctricas de los aislamientos de los devanados primarios y secundarios que integran a los transformadores de instrumento. En cuanto a los Tc's se refiere, estos tienen un devanado primario (de alta tensión), el cual puede estar formado de una o varias espiras. Para realizar la prueba, debe cortocircuitarse el primario, aterrizándose el devanado secundario (de baja tensión).

Para el devanado primario utilizar 2.5kV para no fatigar el aislamiento de la terminal P2, y para el devanado secundario aplicar un voltaje no mayor a 500 volts. La terminal P2 del devanado primario está conectada directamente a tierra. Al probar este tipo de Tp's es necesario desconectar la terminal P2 de tierra con objeto de efectuar la prueba del devanado primario a tierra.

En las figuras (6.6), (6.7) y (6.8) se ilustran los diagramas de conexión para circuito de prueba de factor de potencia a transformadores de instrumento.

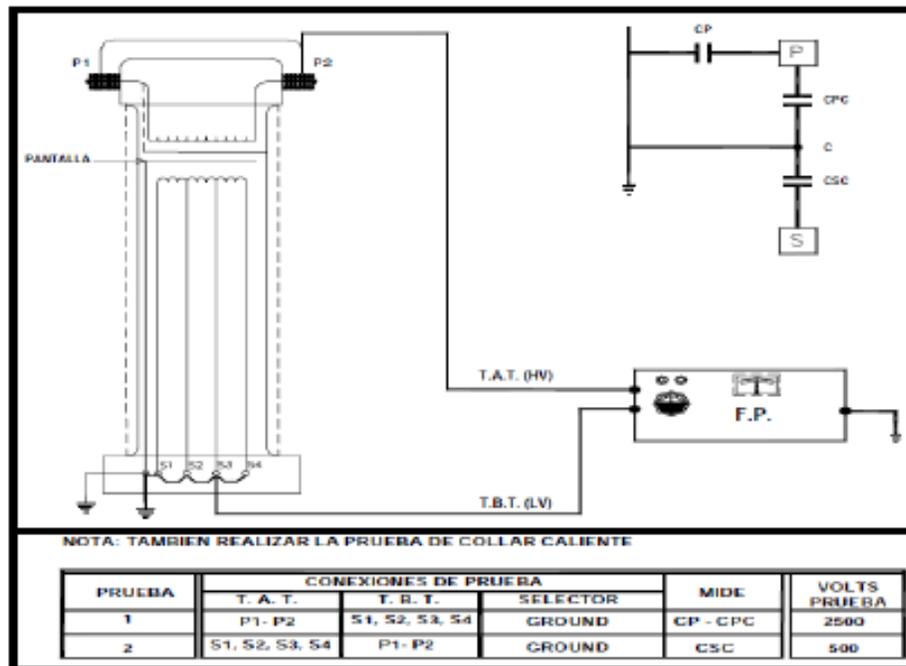


Figura. 6.6 Transformador de Corriente

(Prueba de factor de potencia del aislamiento)

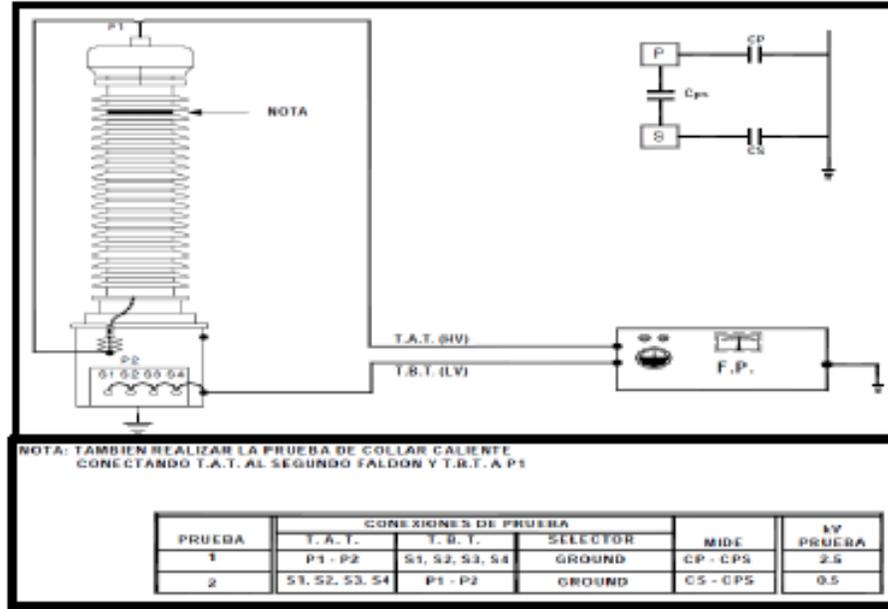


Figura. 6.7 Transformador de Potencial

(Prueba de factor de potencia del aislamiento)

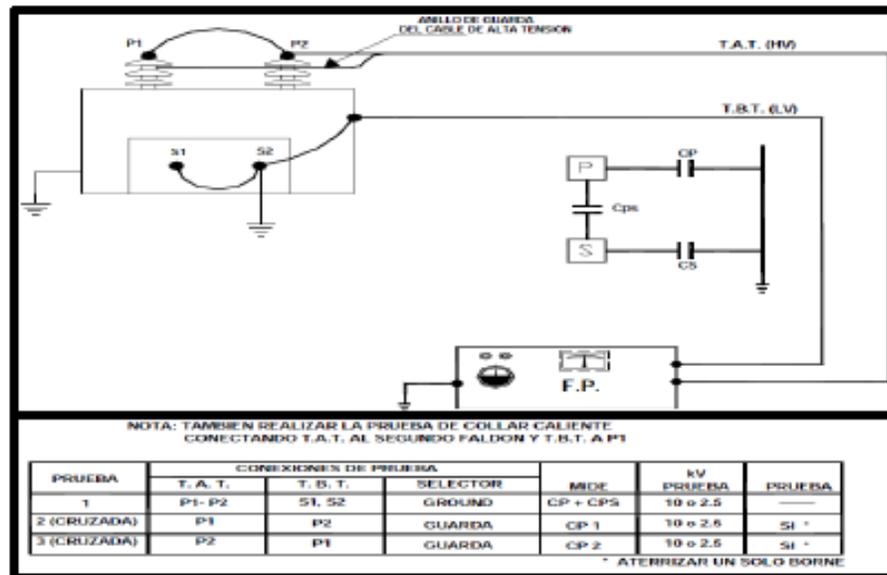


Figura. 6.8 Transformador de Corriente

(Prueba de factor de potencia del aislamiento para Tp's con 2 boquillas en AT)

Un valor de factor de potencia mayor de 2% y pérdidas dieléctricas en la prueba de collar caliente mayores a 6mW a 2.5kV o 0.1 watts a 10kV, será indicativo de que existe un deterioro en el aislamiento del transformador, pudiendo ser la causa el aceite aislante de aquellos que lo contengan, o micro fisuras en la resina del aislamiento tipo seco.

Relación de Transformación y Polaridad.- Con el medidor de relación de transformación convencional, se puede medir relaciones de transformación hasta 130, siendo esto útil para transformadores de corriente de relación hasta 600/5 A, y para transformadores de potencial con relación hasta 14400/120. Para relaciones mayores se debe utilizar el accesorio del medidor o acoplar un segundo TTR. Si se dispone del medidor trifásico no se tiene ningún problema ya que este puede medir relaciones de hasta 2700.

La prueba de relación de transformación a transformadores de corriente, también se realiza con un transformador de alta carga. Para efectuar es necesario puntar o cortocircuitar las terminales del devanado secundario de la relación a comprobar, aplicando al devanado primario diferentes valores de corriente preestablecidos y midiendo las correspondientes corrientes en el devanado secundario. Conforme a los datos de placa, debe efectuarse la comprobación en las relaciones de que disponga el transformador.

Para los Tc's tipo dona de los interruptores de potencia, este será el método que determina la relación de transformación y la conexión será considerando P1 y P2 como las boquillas del interruptor en posición de cerrado, Los Tc's tipo dona de los transformadores de potencia, en los cuales P1 y P2 no se tiene acceso directo se puede utilizar un método basado en la relación de transformación y la aplicación de voltaje en bajo rango

Calcular la relación de transformación con los valores de tensión secundario (V_s) y voltaje primario (V_p) con la siguiente ecuación y comparar con los datos de placa del Tc.

$$R_t = \frac{V_s}{V_p}$$

En las figuras (6.9) y (6.10) se muestran las conexiones para realizar esta prueba.

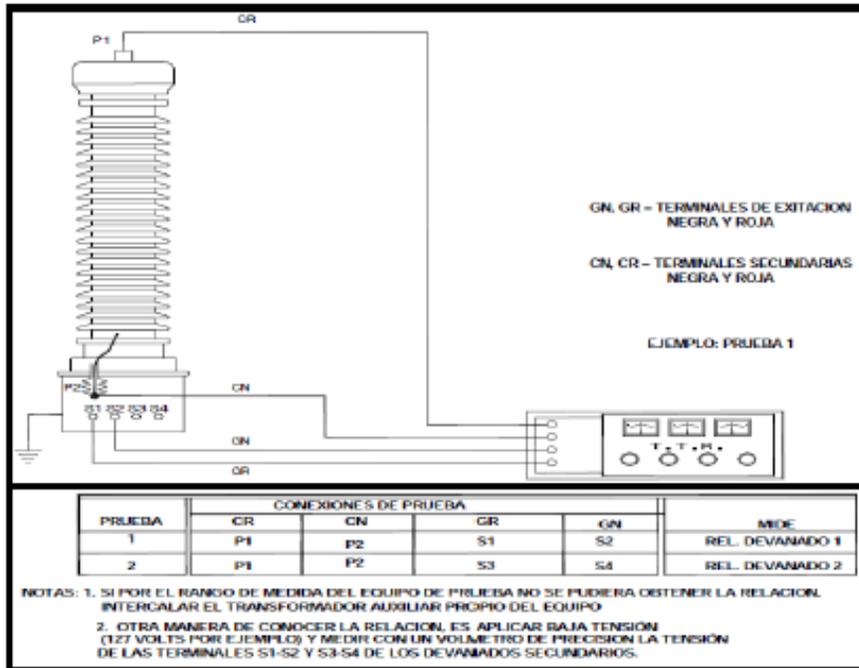


Figura. 6.9 Transformador de Potencial

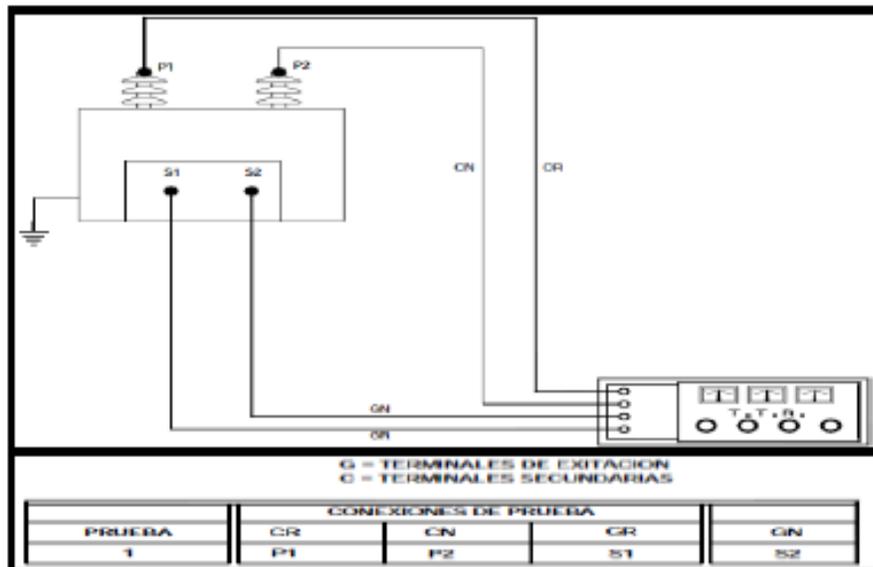


Figura. 6.10 Transformadores de Potencial

(Prueba de relación de transformación para Tp's con 2 boquillas en AT)

El porcentaje de diferencia en la relación de transformación medida con respecto a la teoría no debe ser mayor de 0.15%.

Prueba de Corriente de Excitación.- Esta prueba se realiza para comprobar las condiciones del devanado principal y el núcleo. La prueba se puede realizar con el medidor de factor de potencia, energizando el devanado primario y obteniéndose la corriente de excitación en mVA o mA de acuerdo al equipo que se utilice. Si al estar aplicando el voltaje, el interruptor del medidor se abre, es indicación de problemas en el devanado al tenerse una corriente de excitación alta. Los diagramas de conexiones se pueden ver en las figuras (6.11) y (6.12).

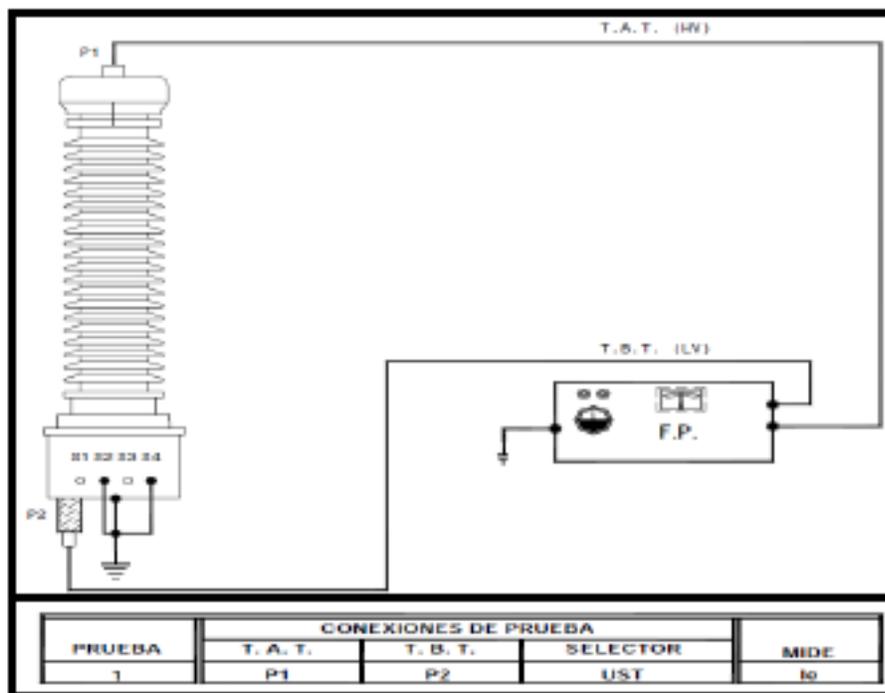


Figura. 6.11 Transformadores de Potencial

(Prueba de corriente de excitación)

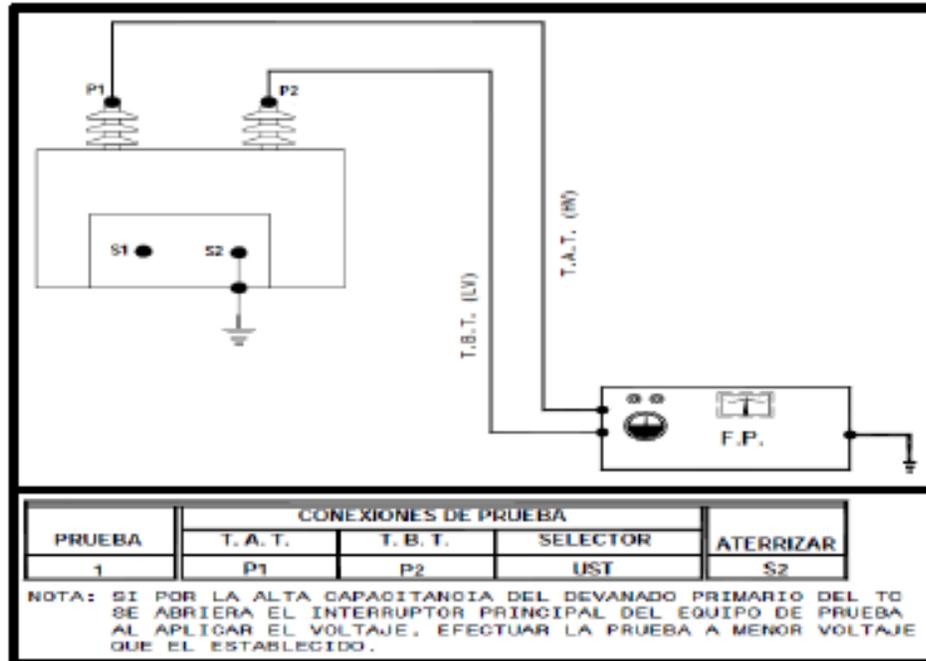


Figura. 6.13 Transformadores de Potencial

(Prueba de corriente de excitación)

Prueba de Saturación.- La prueba de saturación se realiza para determinar a qué voltaje se satura el núcleo del transformador. El efecto representado por la disminución de la impedancia se magnetiza del núcleo es conocido como saturación. Este fenómeno debe ser considerado especialmente, pues provoca en la mayoría de los casos un retraso en la operación de las protecciones de sobrecorriente, ya que debido a las características del sistema y del Tc, se presentara en el momento de la falla una respuesta similar a la existente en la energización brusca de un circuito inductivo.

Para obtener la curva de saturación de un Tc, se requiere contar con una fuente variable de voltaje superior a la clase de precisión del mismo, un amperímetro y un voltímetro, tal como se ve en la figura (6.13). Una vez efectuada las conexiones indicadas y con el primario abierto asegurándose que la fuente de voltaje este en 0 volts, se comienza a levantar el voltaje en pasos de 10 volts y se mide la corriente que toma para el voltaje asignado.

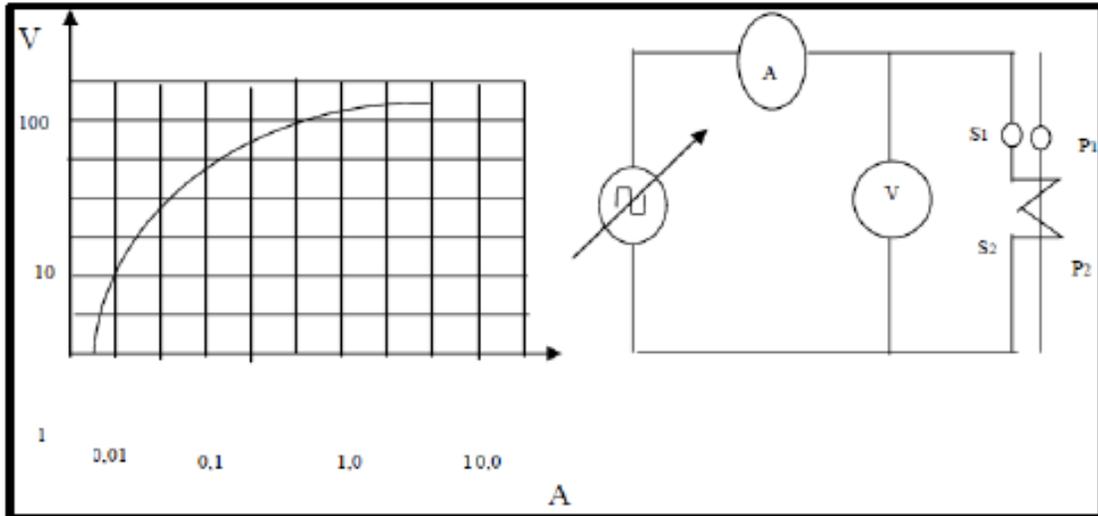


Figura. 6.13 Curva de Saturación del Tc

Diagrama de Conexión:

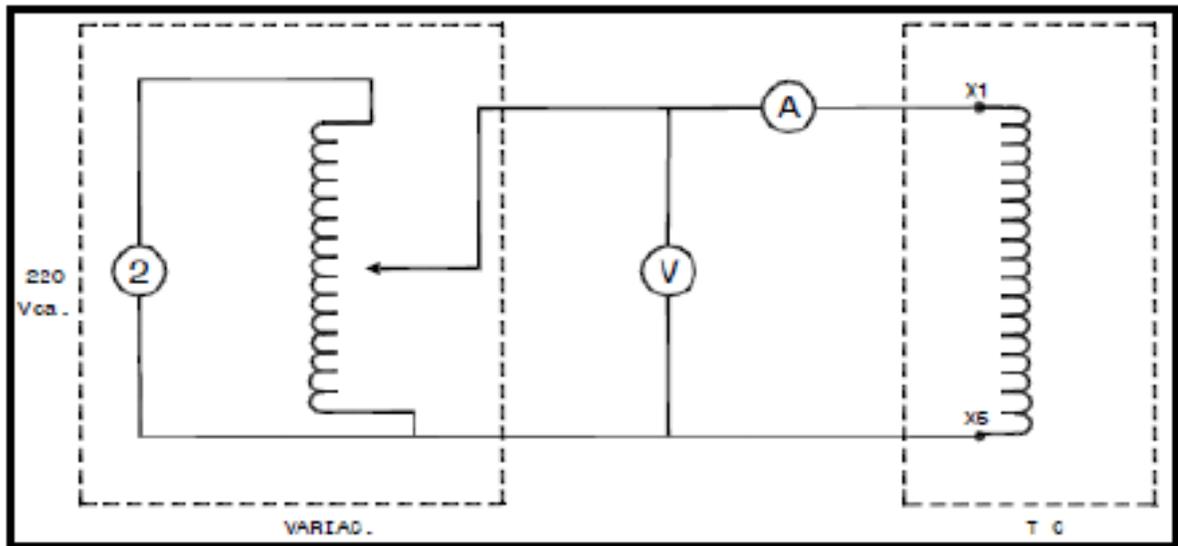


Figura. 6.13 Transformadores de Corriente

(Prueba de Saturación)

Viernes 4 de diciembre del 2015, puesta en servicio y análisis dinámico a diferentes valores de carga de 20 MW, 110 MW, 130 MW, y máxima.

1954 horas. Lic. De emergencia 20151204-351 Ing. Luis Felipe.

20:12 hrs.	Sincroniza U-4	25 MW
20:21 hrs.	Sincroniza U-4	120 MW
20:27 hrs.	Sincroniza U-4	140 MW
20:33 hrs.	Sincroniza U-4	158 MW
20:39 hrs.	Sincroniza U-4	140 MW
20:42 hrs.	Sincroniza U-4	120 MW
20:46 hrs.	Sincroniza U-4	20 MW
20:49 hrs.	Desconectado Gen 4.	
21:00	o.p. U-4	
21:03	Ret. 351 (vivo).	

Sábado 5 de diciembre del 2015.

13:08 horas. Abre compuerta U-4

13:30 horas. Rodo U-4

13:32 horas. Excitada U-4

13:34 horas. Sincroniza U-4 20 MW.

13:40 horas. Dispara U-4. Opera 86-300G (87G, 64G) y opera disparo 5B.

13:54 horas. Se devuelve la licencia 20151205-353

14:00 horas. Nivel 169.79 M.