



Ministerio de Educación Superior

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

Dr. Antonio Núñez Jiménez

Facultad Metalurgia-Electromecánica

Departamento de Eléctrica

*Trabajo de diploma en opción
al Título
de
Ingeniero Eléctrico*

Título: Ajuste de las protecciones eléctricas de la
subestación de La Pasa de 34.5KV a 13.8 KV

Autor: Michel Montero Martínez

Tutores: Ing. Adol Hernández Rojas

Ing. Reyder Fernández Pérez

Moa 2011

“Año 53 de la revolución.”



750 Feeder Management Relay



DECLARACIÓN DE AUTORIDAD.

El Diplomante: Michel Montero Martínez

Tutores: Ing: Adol Hernández Rojas

Ing: Reyder Fernández Pérez

Autor de este trabajo de diploma, titulado Ajustes de las protecciones de la subestación de La Pasa de 34.5kV a 13.8kV, certificó su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Dr. Antonio Núñez Jiménez, el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

Michel Montero Martínez

Tutores: Ing. Adol Hernández Rojas

Ing. Reyder Fernández Pérez

PENSAMIENTO:

“Felicitó a todos los que luchan, a los que no desisten jamás ante las dificultades; a los que creen en las capacidades humanas para crear, sembrar y cultivar valores e ideas; a los que apuestan por la humanidad; a todos los que comparten la hermosa convicción de que un mundo mejor es posible!”.

Fidel Castro Ruz

Michel Montero Martínez

Tutores: Ing. Adol Hernández Rojas

Ing. Reyder Fernández Pérez

DEDICATORIA

A mi familia, quien me ha apoyado a lo largo de toda mi vida. Muy especial a mis padres Julián Montero González y María Elena Martínez García a quienes siempre estaré agradecido por todo el apoyo y la confianza; por ser ellos la fuerza y la inspiración inagotable para la culminación de este trabajo y con ello el inicio de mi nuevo proyecto de vida como profesional al servicio de la Revolución.

A todas mis amistades por su gran apoyo para que este trabajo fuera realizado.

Michel Montero Martínez

Tutores: Ing. Adol Hernández Rojas

Ing. Reyder Fernández Pérez

AGRADECIMIENTOS

Cualquier profesional en su formación requiere de esfuerzo, dedicación y de la ayuda valiosa de profesores, familiares y amistades que con sus afectos, sus estímulos, sus ideas, sus conocimientos teóricos prácticos, y de sus enseñanzas nos brindan lo mejor de sí, mas me resulta imposible mencionarlos a todos en estos momentos, solo quiero tener un gesto de gratitud especial para los asesores de este trabajo Ing. Adol Hernández Rojas y el Ing. Reyder Fernández Pérez y a mis padres Julián Montero González y Maria Elena Martínez García por toda

su ayuda, sus conocimientos y por la confianza depositada en el éxito de este trabajo .

A todas aquellas personas que de una forma u otra contribuyeron a mi formación y a la realización de este trabajo, llegue a todos el testimonio de mi más sincera gratitud.

A todos Gracias

Michel Montero Martínez

Tutores: Ing.Adol Hernández Rojas

Ing. Reyder Fernández Pérez

RESUMEN

En vista a las necesidades que tiene la empresa del níquel comandante René Ramos Latour de Nicaro nos hemos propuesto realizar un reajuste de las protecciones eléctricas. Para esto fue necesario un estudio de los niveles de alta y baja generación en algunos puntos del circuito en general, que permitan llegar a una propuesta para solucionar el problema.

El mismo incluye cálculos de corrientes de cortocircuitos en diferentes puntos del monolinial y el cálculo de ajuste. Dichos estudios serán muy valiosos para dar solución a los problemas existentes.

❖ El contenido del trabajo se resumió en tres capítulos, definidos de las maneras siguientes:

Capítulo1: Incluye los fundamentos teóricos de la investigación: corrientes de cortocircuitos, generalidades de las protecciones eléctricas, coordinación de las protecciones, finalizando con una metodología adecuada de varios tipos de relés que incluye los utilizados en dicha industria.

Capítulo2: En este capítulo se realizó la descripción de la subestación La Pasa, se seleccionó el software para realizar los cálculos de las corrientes de cortocircuitos y se realizó el monolinial. Se llevaran a cabo las diferentes propuestas de ajustes.

Capítulo3: En el mismo se realizará una valoración técnica económica teniendo en cuenta todos los requisitos que tuvieron presente para realizar este estudio. Por último se expusieron conclusiones y recomendaciones como consecuencia del profundo estudio realizado a lo largo de la investigación.

SUMMARY

In view of the needs that the company commander of nickel René Ramos Latour Nicaro we intend to make an adjustment of electrical protection. This required a study of high and low levels of generation in some parts of the track in general, which leads to a proposal to solve the problem.

It includes calculations of short circuit currents in different parts of monolinial and the calculation of adjustment. These studies will be valuable to solve existing problems.

The content of the work is summarized in three chapters, as defined in the following ways:

Chapter 1: Includes the theoretical foundations of research: short-circuit currents, an overview of the electrical protection, protection coordination, finishing with an appropriate methodology for various types of relays including those used in the industry.

Chapter 2: In this case the description section of the substation's Pass was selected the software to perform calculations of short circuit currents and performed the monolinial. They carry out different proposals for adjustments.

Chapter 3: The same will be a technical-economic assessment taking into account all the requirements that were present for this study. Finally conclusions and recommendations were presented as a result of deep study over the investigation.

Contenido

INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO - METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	5
Introducción	5
1.1 Antecedentes de este trabajo	5
1.2 Generalidades de las protecciones eléctricas	6
1.3 Características de los Elementos de Protección.....	7
1.4 Teoría del cálculo de las corrientes de cortocircuito.....	7
1.5 Transformadores	9
1.5.1 Transformadores de potencial	9
1.5.2 Transformadores de corriente [TC].....	11
1.6 Regímenes Transitorios Permisibles.....	15
1.6.1 Sobrecargas Temporales.	15
1.6.2 Carga fría.....	15
1.7 Regímenes Temporales no Permisibles.	17
1.7.1 Fallas	17
1.7.2 Cortocircuitos.....	18
1.7.3 Consecuencia de los Cortocircuitos.....	21
1.7.4 Sobrecargas Permanentes	22
1.8 Teoría de las Protecciones.....	23
1.8.1 Sensibilidad.	24
1.8.2 Selectividad.	24

1.8.3 Rapidez.	25
1.8.4 Fiabilidad.	25
1.9 Coordinación de las protecciones	25
1.10 Relés.....	27
1.10.1 Relés de sobrecorriente de fase ¹	27
1.10.2 Relé de sobre y baja tensión	29
1.10.3 Relé direccional	29
1.10.4 Relé diferencial	30
1.11 Dispositivos de Protección.....	31
Conclusiones	33
Capítulo II. MATERIALES Y MÉTODOS A EMPLEAR	34
Introducción	34
2.1 Subestación Eléctrica	35
2.2 Características generales del software	37
2.3 Protecciones de sobrecorrientes.	39
2.3.1 Ajuste del Relé 750 o protecciones de sobrecorriente.....	40
2.4 Ajuste del Relé 745 o protecciones diferenciales a transformadores.....	59
Conclusiones	66
Capítulo III. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON SU VALORACIÓN ECONÓMICA.	67
Introducción.	67
3.1 Valoración técnico-económica del proyecto.....	68
3.2 Valoración económica.....	68
3.3 Ventajas del estudio realizado.....	69
Conclusiones.	70

Conclusiones generales.	71
Recomendaciones.....	72
Bibliografía.	73





INTRODUCCIÓN GENERAL.

Para el estudio de las protecciones eléctricas se requieren de muchos requisitos y un estudio profundo de su amplio campo de trabajo. Un sistema eléctrico debidamente bien protegido garantiza un servicio nivelado y seguro a todos los consumidores de energía. Las protecciones que se coloquen deben estar correctamente seleccionadas y a su vez correctamente regularizadas para evitar dañar algún equipo o personal de trabajo y así minimizar gastos en nuevos equipamientos. Los elementos del Sistema Eléctrico de Potencia son muchos, al igual que son variadas las protecciones en ellos utilizadas, pero al igual que en todas las ciencias, en esta también existe un núcleo teórico, una esencia en su estudio. En este caso lo principal es entender, que se deben proteger los elementos del sistema contra los defectos que comúnmente en ellos ocurren y siguiendo este concepto comenzar estudiando los elementos como tal, las causas de sus averías, etc. Para realizar un buen trabajo en el ajuste de las protecciones eléctricas se deben tener en cuenta las características de los circuitos, sus componentes principales y secundarios, así como los principales regímenes de funcionamiento. Es importante conocer cuál es el objeto del estudio, dominarlo a la perfección y comprender lo que es imprescindible para la obtención de un resultado.





Situación Problemática.

Debido al constante déficit de cogeneración y las variaciones de las cargas fundamentales de la empresa René Ramos Latour, el ajuste de las protecciones en la subestación de alimentación principal La Pasa no es óptima para todas las situaciones que presenta el sistema, por lo que se hace necesario un reajuste del sistema de protección de 13,8kV de dicha empresa con el fin de satisfacer las necesidades de la misma en su totalidad.

Problema.

Inexistencia de los valores de corriente de cortocircuito para diferentes niveles de cogeneración de forma tal que permita ajustar las protecciones para estas situaciones.

Hipótesis.

A través del cálculo de los parámetros de cortocircuitos en la subestación de alimentación principal, para los niveles de alta y baja generación de la empresa René Ramos Latour se podrá reajustar las protecciones eléctricas, para poder enfrentar las constantes variaciones de cargas existentes en la fábrica.

Tareas propuestas.

- Describir el monolinial de la subestación.
- Búsqueda bibliográfica sobre los trabajos procedentes en este campo.



- Calcular los parámetros de cortocircuitos en la subestación.
- Reajustar las protecciones en base a los cálculos de cortocircuitos.
- Análisis tecno económico de las protecciones.

Campo de acción.

Las protecciones eléctricas

Objeto de estudio.

La subestación de La Pasa

Objetivo General

Reajustar las protecciones en la subestación de alimentación principal de La Pasa de la empresa René Ramos Latour

Objetivos Específicos.

- Describir el esquema de protecciones actual de la subestación.
- Calcular los parámetros de cortocircuito para diferentes niveles de cogeneración.
- Realizar el reajuste de las protecciones para que sean capaces de responder con efectividad y rapidez ante cualquier tipo de avería en los diferentes estados de cogeneración.



Resultados Esperados.

- Actualizar el esquema monolineal de la subestación de La Pasa.
- Obtener valores reales de las corrientes de cortocircuitos para los diferentes estados de cogeneración de la empresa.
- Reajustar las protecciones instaladas en la subestación.
- Realizar un análisis técnico económico de la propuesta de protección del sistema.



CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO - METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

Introducción

Para que una instalación eléctrica garantice seguridad debe estar provista de una serie de protecciones que la hagan segura, tanto desde el punto de vista de los dispositivos eléctricos como de los conductores conectados, como de los bienes materiales y las personas que van a relacionarse con ella. Para ello debe tenerse en cuenta que las sobrecargas se producen por el crecimiento de cargas no convenidas, mientras que el daño a los equipos está dado por descargas atmosféricas, deterioro de aisladores e instalaciones o aplicaciones inadecuadas, por otra parte las fallas que normalmente ocurren en las líneas son producidas por contacto con árboles, la unión de conductores por el azote del viento, caída de conductores a la tierra, o por una descarga atmosférica. Para lograr una adecuada protección se utilizan dispositivos que deben de ser correctamente seleccionados en dependencia del tipo de falla a proteger los que incluyen recerradores, fusibles, relés y otros. Cada uno de estos dispositivos es seleccionado en dependencia de las características del sistema en el punto donde se desea operar. Dichas características son voltaje, corriente de carga, rango de la corriente de falla y parámetros del sistema. Un requisito muy importante a tener en cuenta para la selección de dispositivos de protección es la coordinación entre sí de dichos dispositivos dentro del sistema.

1.1 Antecedentes de este trabajo

Como antecedentes de este trabajo de diploma tenemos otros trabajos realizados anteriormente, como uno realizado por el Ingeniero Eléctrico Reyder Fernández Pérez del departamento eléctrico de dicha empresa René Ramos Latour. En este trabajo se mostraron los detalles de la construcción del modelo del sistema eléctrico de la empresa, mediante el software MATLAB. También se realizó el ajuste de las diferentes variantes de protección



para la barra de la empresa, estos cálculos han sido utilizados para estudios posteriores o como referencia bibliográfica para realizar estudios y ajustes de las protecciones en otros casos de estudios. Se seleccionaron protecciones a utilizar, estos se realizaron mediante el criterio de la estabilidad dinámica de los generadores eléctricos, con el auxilio del modelo del sistema eléctrico. Para el estudio del comportamiento del sistema se simulaban fallos trifásicos y bifásicos en diferentes secciones de barra, con los tiempos máximos de las protecciones a utilizar. Además tenemos otros trabajos precedentes como el que se está realizando en conjunto con el personal de la empresa eléctrica provincial, con el fin de lograr una coordinación de las protecciones instalada en nuestra empresa con las instaladas en los interruptores cabecera de la subestación de Santa Rita de 220kV a 110kV -33kV.

1.2 Generalidades de las protecciones eléctricas

Los sistemas eléctricos no están exentos de la ocurrencia de averías. Por mucho que se mejoren los aisladores y los materiales aislantes con que se fabriquen los elementos del sistema, el riesgo de la avería siempre está latente y por tanto las protecciones deben estar listas para la desconexión de la zona o parte del sistema averiada en cualquier momento. Lo expuesto anteriormente es lo que se ha mantenido, pero en la actualidad se está comenzando a madurar la idea de que las protecciones determinen de forma predictiva, cuando ocurrirá el fallo y por tanto, actuar antes que este ocurra. Evidentemente esto no está ni mucho menos difundido, pero con la inserción de las protecciones que utilizan microprocesadores, ya se está logrando que las protecciones calculen de manera aproximada el tiempo de vida útil de los equipos y por tanto así enfatizar en su cuidado. Siguiendo lo expuesto anteriormente cuando ocurre un cortocircuito, son conocidos los elevados niveles que alcanzan las corrientes durante su ocurrencia y por tanto, su permanencia, no solo sería fatal para el elemento averiado, sino también para otros elementos que no participan directamente en el fenómeno transitorio. Las altas corrientes generan grandes temperaturas en el punto de descarga o de cortocircuito y si estos no son desconectados con extrema rapidez, el elemento averiado quedaría destruido completamente y no podrá ser siquiera reparado.



1.3 Características de los Elementos de Protección

Las protecciones se caracterizan por ser primarias o secundarias. Se le llama protección a la unión de todos los elementos que participan en ella, desde el transformador de corriente hasta el interruptor que es el desconectivo. Entre estos elementos está el elemento de comparación, que accionará cuando el valor del o los parámetros medidos supere el nivel de ajuste o cuando estos parámetros estén por debajo del valor de ajuste. La acción de las protecciones nunca es instantánea aunque se han logrado tiempos muy pequeños, siempre hay un retraso entre la ocurrencia del fallo y la desconexión del mismo, en esto influyen los retardos de tiempo de cada uno de los elementos de la protección. Esta característica es tratada por algunos autores como elementos de tiempo definido y elementos de tiempo inverso, porque generalmente en los segundos, el tiempo tiene relación inversa al nivel del parámetro que mide. La localización de las protecciones es variable, pero por lo general está situada en el lugar donde enlaza con el elemento que le sirve de alimentación. Muchas veces la protección se instala a ambos lados, pero esos casos son los menores y se estudiarán durante el curso. Muchas protecciones son compactas, es decir, no están divididas en partes. El mismo equipo mide las corrientes, compara y acciona o desconecta al elemento averiado, en este caso tenemos a los fusibles, interruptores automáticos, algunos relés térmicos, etc. En ocasiones estos dispositivos son diseñados de tal forma que se comportan siguiendo una única característica, es decir, no puede ser cambiada su característica de operación, un ejemplo de esto se observa en los fusibles.

1.4 Teoría del cálculo de las corrientes de cortocircuito.

Para el cálculo de cortocircuito hay muchos imponderables y este en muchas ocasiones solamente se realiza tomando en consideración las condiciones más severas, que en realidad pueden no ocurrir nunca, pero contra las cuales se debe estar prevenido. Como ya se explicó en el capítulo anterior la determinación de la magnitud de la corriente de cortocircuito es tan importante como la determinación de las corrientes a plena carga, máxima demanda, factor de potencia y todos los parámetros básicos para el proyecto y



explotación de la unidad de producción o la unidad consumidora de energía eléctrica. Al conocer todo lo relacionado con las corrientes de cortocircuito se pueden seleccionar las capacidades necesarias de los interruptores y desconectivos de todo tipo, las protecciones a instalar, su calibración y las coordinaciones que deben existir entre ellas. Esto garantiza que en caso de ocurrir una falla, esta sea interrumpida con seguridad por el equipo adecuado en el tiempo previsto, de manera que se pueda aislar el circuito dañado y continuar abasteciendo de energía eléctrica los circuitos vecinos, sin afectar otra área de producción.

La corriente de cortocircuito y su desarrollo en el tiempo depende varios factores que son los siguientes.

- Distancia en que se encuentra la fuente de corriente que alimenta la falla.
- Ángulo que se inicia el fenómeno con respecto al voltaje.
- Magnitud de la resistencia de los conductores con respecto a su reactancia.
- Magnitud y números de los motores de todo tipo que están conectados a la línea en el momento de la falla.

Existen diferentes métodos para el cálculo de la corriente de cortocircuito entre los más difundidos se encuentran.

- Método de ohms.
- Método de corriente de cálculo por unidades relativas (por unidad).
- Método de los MVA.
- Método de la impedancia de barra.



El cálculo manual de la corriente de cortocircuito a través de los métodos antes mencionados, resulta una tarea bastante trabajosa cuando se desea conocer las corrientes de cortocircuito en fallas trifásicas o asimétricas. La resolución de estos métodos lleva implícito el conocimiento del método de las componentes simétricas para la conversión del sistema en los respectivos diagramas de reactancias equivalentes de secuencia positiva, secuencia negativa y secuencia cero.

1.5 Transformadores

Los transformadores son dispositivos basados en el fenómeno de la inducción electromagnética y están constituidos, en su forma más simple, por dos bobinas devanadas sobre un núcleo cerrado de hierro dulce o hierro silicio, estos convierten la energía eléctrica alterna de un cierto nivel de voltaje, en energía eléctrica alterna de otro nivel de voltaje, por medio de la acción de un campo magnético. Por lo general los sistemas mas importantes de generación y distribución de energía del mundo son hoy en día sistemas de corriente alterna trifásico. Esto se debe a la importancia que desempeñan los sistemas trifásicos en la vida moderna, por lo que es necesario entender la forma en que se usan los transformadores hoy en día.

Estos pueden ser utilizados en los circuitos de distribución de potencia realmente grandes, como los utilizados en las subestaciones y de otro de potencia más pequeños como los instalados en postes tanto en zonas urbanas como en rurales.

1.5.1 Transformadores de potencial

Este es un transformador devanado especialmente, con un primario de alto voltaje y un secundario de baja tensión. Tiene una potencia nominal muy baja y su único objetivo es suministrar una muestra de voltaje del sistema de potencia, para que se mida con instrumentos incorporados. Además, puesto que el objetivo principal es el muestreo de voltaje deberá ser particularmente preciso como para no distorsionar los valores verdaderos.



Fig. 1.1 Transformadores de potencial

Se pueden conseguir transformadores de potencial de varios niveles de precisión, dependiendo de que tan precisas deban ser sus lecturas, para cada aplicación especial. Existen varios tipos de transformadores de potencial, de un solo bushing que se usan en sistemas aterrados y dos bushing se usan para conectar tres líneas. Para mediciones se usan hierros de alta permeabilidad. En protecciones se usan hierros de baja permeabilidad, alta reluctancia y se requiere que para valores altos de corriente primaria se reproduzcan altas corrientes por el secundario. Esta se define en 2 errores, de fase y de amplitud. El error de fase indica el defasaje entre las magnitudes primarias y secundarias diferentes de 0 a 180 grados. Este error es provocado por la componente de excitación I_m de la corriente. En la práctica se admite que no introduce defasaje en el transformador de medición. El error de magnitud nos da la desviación de la relación de transformación real con respecto a la relación de transformación nominal.



$$\left\langle \frac{U_p}{K_v} - U_s \right\rangle \times \frac{K_v}{U_P} \times 100\%$$

Donde:

kV-Relación de transformación nominal.

Up-Voltaje por el primario

Us-Voltaje por el secundario

Los datos fundamentales del transformador de potencial son:

- Potencia.
- Relación de transformación.
- # De fases: 1Φ – 3Φ
- Frecuencia.
- Clase de precisión.

El transformador de potencial mantiene la clase de precisión con variaciones de

± 10 % del voltaje nominal $U_s = 110 \text{ V}$.

1.5.2 Transformadores de corriente [TC].

Estos dispositivos se utilizan para tomar muestras de corriente de la línea y reducirla a un nivel seguro y medible para las gamas normalizadas de instrumentos, aparatos de medida u otros dispositivos de medida y control.



Fig. 1.2 Transformadores de corriente

Los valores generales de los transformadores de corriente son:

Carga nominal: 2.5 a 200 VA, dependiendo de su función. Corriente nominal: 1 y 5A en su lado secundario se definen como relaciones de corriente primaria a corriente secundaria. Unas relaciones típicas de un transformador de corriente podrían ser: 100/5, 600/5, 800/5, 1000/5. Usualmente estos dispositivos vienen con un amperímetro adecuado con la razón de transformación de los transformadores de corriente, por ejemplo: un transformador de 100/5 está disponible con un amperímetro graduado de 0 -100A. Un elemento de gran importancia para el buen funcionamiento de las protecciones por relé es el transformador de corriente, ya que el mismo puede introducir errores que hagan que si está mal, opere. Un transformador de corriente transforma la corriente de línea de un circuito de potencia en valores adecuados para los relés de protección normalizados y además aísla a los mismos de los altos voltajes de línea. Los transformadores de corriente poseen dos devanados, primario y secundario. El devanado secundario entrega una corriente proporcional a la que circula por el primario, manteniendo una relación fija denominada relación de transformación (k_t) que depende de la relación entre el número de vueltas de los devanados secundario y primario.

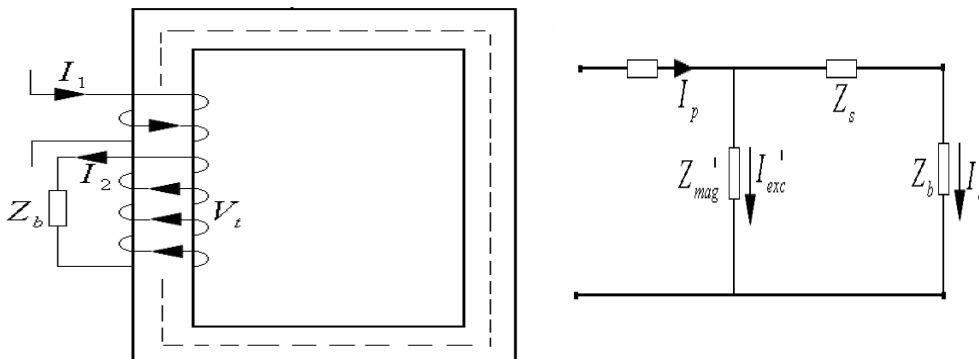


Fig.1.3 Representación esquemática del TC y su circuito equivalente referido al Secundario

En la mayoría de los casos los transformadores de corriente funcionan como una fuente de corriente: el valor de la corriente por el devanado secundario se determina por la corriente primaria que es la corriente de un elemento protegido y prácticamente no depende de la carga aplicada al transformador de corriente ni de las resistencias de su circuito equivalente (figura 1.3). El régimen de la fuente de corriente, es posible si la resistencia equivalente del transformador de corriente reducida al devanado primario, es despreciable en comparación con la resistencia de fases del sistema eléctrico (lo que tiene lugar). En la construcción de los transformadores de corriente se prevee la identificación por medio de las marcas de polaridad, de los sentidos entre las corrientes primaria y secundaria. Por el convenio se considera que cuando la corriente “entra” al Terminal marcado en el primario, la corriente “sale” del Terminal marcado en el secundario. En los transformadores de corriente se distinguen los errores de corriente, error angular y el error total que incluye a los anteriormente mencionados. Error de corriente f_i : Es la diferencia aritmética entre la corriente secundaria verdadera y la corriente primaria verdadera reducida al circuito secundario, expresada en tanto por ciento de la corriente primaria verdadera reducida al circuito secundario

$$F1 = \frac{I_s - \frac{I_p}{Kt}}{\frac{I_p}{Kt}} \times 100$$



Donde:

I_s : Corriente circulante por el devanado secundario.

I_p : Corriente circulante por el devanado primario.

F_i : Error de corriente.

Para f_i se admiten valores menores o iguales que el 10%.

Error angular: Se determina por un ángulo de desplazamiento entre la corriente primaria y la corriente secundaria. Este error es de gran importancia, se analiza cuando los transformadores de corriente se utilizan para alimentar relés de comparación de fases. Para un error total al 10%, el error angular no es superior a unos grados, es decir, aceptable. Con grandes errores en la corriente, cuando el núcleo del transformador de corriente quede saturado el error angular se determina como el ángulo entre los pasos por cero de I_p e I_s . Con la saturación del núcleo del transformador de corriente se incrementan los errores del mismo. La saturación ocurre cuando el flujo magnético requerido para producir la corriente necesaria en el secundario excede la densidad de flujo determinada por las dimensiones físicas del núcleo del TC.

La saturación de los TC puede ocurrir por los siguientes factores.

- Área del núcleo del TC.
- Cargas conectadas al TC. (Tipo, resistencia o inductancia).
- Presencia de un flujo remanente en el TC.
- Presencia de componentes de corriente directa en el TC.

Un método muy eficaz para la clasificación y selección de la exactitud de los TC se realiza basándose en el error total y en el voltaje en los terminales. Este método asume que los TC



pueden suministrar 20 veces su valor nominal de corriente en el secundario (100 A para TC con 5A de corriente normalizada en el secundario). Con este valor de corriente en el secundario se clasifican mediante el voltaje secundario que puede ser mantenido en los terminales mientras el error no exceda el 10% especificado. El número antes de la letra significa el valor del error total expresado en por ciento. La letra T significa que la exactitud del TC que puede ser obtenida mediante pruebas. La letra C significa que la exactitud puede ser determinada por cálculos a través de la característica de excitación o magnetización del TC. El número después de la letra específica el voltaje en los terminales que podrá ser mantenido cuando el error no exceda el 10% y la corriente por el secundario es de 1 a 20 veces de su valor nominal para cualquier burden (carga del TC) menor o igual al nominal.

1.6 Regímenes Transitorios Permisibles.

Los regímenes transitorios permisibles ocurren en los circuitos de distribución para los cuales no debe perderse el correcto funcionamiento. Estos son los regímenes para los cuales la carga no debe perder el suministro de energía. Es importante destacar que al ser transitorios solamente duran un período determinado de tiempo. Dentro de este tipo de régimen abordaremos sobre las sobrecargas temporales y la carga fría.

1.6.1 Sobrecargas Temporales.

Una sobrecarga es causada fundamentalmente por cargar en exceso al sistema eléctrico, como lo podemos ver al instalar demasiados equipos, tales como mucho consumidores en una misma línea. Los elementos de un sistema eléctrico son construidos para soportar un tiempo determinado de sobrecarga. Al ser llamados sobrecargas temporales el dispositivo de protección no debe operar antes su aparición.

1.6.2 Carga fría.

La carga fría es el resultado de la combinación de cargas conectadas en el circuito y que en el momento de energizar dicho circuito pueden intervenir. Experimentalmente muchos



especialistas han demostrado que las protecciones en los transformadores de subestaciones deben quedar por encima de varios puntos de tiempo contra corriente, los cuales se muestran en la tabla 1.1. Nótese como la corriente va decreciendo con el aumento del tiempo desde valores superiores a la corriente nominal hasta acercarse a ella.

Tabla 1.1 Puntos de la curva de carga fría

Valor de corriente	Tiempo (s)
6 In	1s
3 In	10 s
2 In	15 x 60 s

Los fusibles del primario de los transformadores de las subestaciones son sometidos a sobreintensidades de corriente de larga duración que ocurren debido a la pérdida de diversidad de la carga después de una interrupción extendida (30 minutos o más). Estas sobreintensidades de larga duración son las causantes de la carga fría. Las corrientes de carga fría suelen tener una duración de hasta 30 minutos después del re-avivamiento. Este fenómeno ocurre desde cargas eléctricas grandes tales como acondicionadores de aire, refrigeradores, y los calentadores eléctricos que se controlan por termostatos. Se debe evitar para este régimen una operación del fusible conectado al primario del transformador. Este debe ser capaz de soportar la corriente del transformador expuesto a la sobreintensidad de corriente transitoria provocada por la carga fría. Para transformadores regularmente grandes (hasta 1000 KVA) el perfil de la recolección de la carga fría no se diferencia mucho de los transformadores más pequeños. Siempre se debe tratar de que las protecciones de los transformadores queden por encima de los puntos mostrados en la tabla 1.1.



1.7 Regímenes Temporales no Permisibles.

Los regímenes transitorios no permisibles son aquellos que pueden causar daños en el equipamiento y en el circuito de distribución como tal. Su acción es indeseada, causando pérdida de la calidad de la energía. Por tales razones, deben ser desconectados en el menor tiempo posible, evitando la ruptura de dispositivos y el mal funcionamiento del sistema. Los dispositivos de protección en los sistemas de distribución deben desconectar los circuitos y equipos antes de que ocurran aumentos de temperatura dañinos. Aún moderados aumentos de temperatura pueden reducir considerablemente la vida de los equipos; por ejemplo, sobrecargas de tan solo el 15% en algunos consumidores reducen la vida de aislamiento en un 50%. Los elementos de protección seleccionados deben ser lo suficientemente capaces de detectar sin ejecutar operación alguna la conexión de grandes cargas y sobrecargas temporales. Sin embargo, si la sobrecarga continúa, las protecciones deben operar antes de que haya daños en el sistema o sus componentes

1.7.1 Fallas

El que ocurran fallas en sistemas de distribución es mucho más frecuente que en los sistemas de transmisión y generación debido a que en estas hay gran cantidad de equipos y circuitos instalados. El problema de las fallas no tendría importancia si la distribución de la energía eléctrica fuera mediante cables subterráneos, sin embargo desde ya hace más de 20 años se viene utilizando cada vez más las líneas aéreas, lo que origina un peligro latente de riesgo eléctrico a las personas ante la caída a tierra de un conductor.

Las fallas se podrían clasificar de acuerdo a su naturaleza en dos tipos:

- Temporales.
- Permanentes.



El 85 % de las fallas es de carácter transitorio, en la mayoría de las ocasiones provocadas por descargas atmosféricas y solamente un 15 % es de fallas permanentes.

1.7.2 Cortocircuitos

El conocimiento de la magnitud de las corrientes que circulan por los equipos y circuitos de los sistemas eléctricos de potencia, tanto en condiciones normales como en condiciones de falla, es la base fundamental para la selección y coordinación de los dispositivos de protección de sobrecorriente en serie. Normalmente las corrientes de cortocircuito son muy elevadas, entre 5 y 20 veces el valor máximo de la corriente de carga en el punto de falla. La condición normal de un sistema de potencia es sin falla, sin embargo es casi imposible evitar su presencia en el sistema, debido a muchas causas, las cuales están fuera del control humano. Debido a ello, los equipos o el sistema en general, en estas condiciones, pueden sufrir daños que en ocasiones son graves, por lo que es necesario al diseñar las instalaciones que estas contengan todos los elementos adecuados de protección, considerando los valores más altos de corriente de cortocircuito para poder llevar a cabo el ajuste de los dispositivos de protección (relés) y la capacidad de cortocircuito de los equipos. De igual manera, es importante conocer los valores mínimos de corriente de falla para poder calibrar las protecciones de tal manera que las puedan detectar y aislar.



Los cortocircuitos se pueden clasificar en simétricos (balanceados) y asimétricos (desbalanceados). figura 1.4

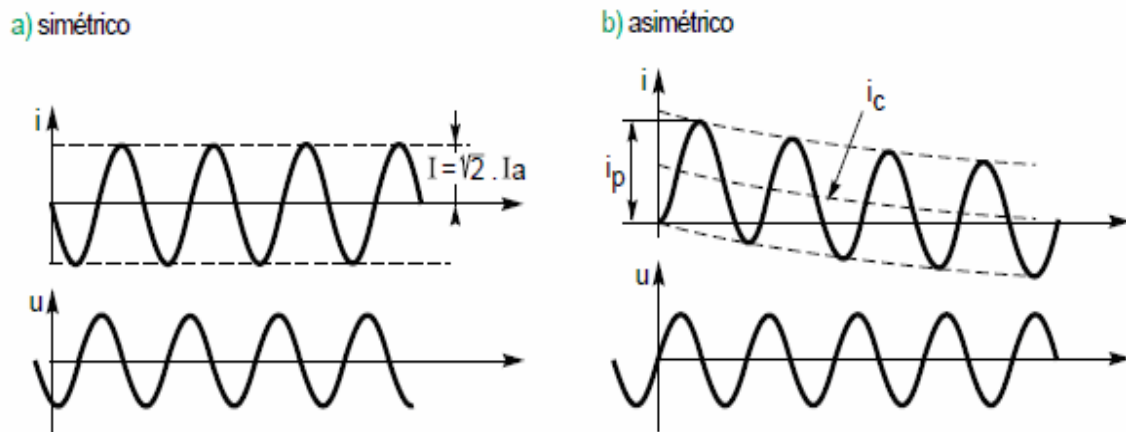


Figura 1.4 Presentación gráfica de una corriente de cortocircuito simétrica y asimétrica.

En los cortocircuitos simétricos las corrientes de las tres fases del sistema son iguales en el instante del cortocircuito. Entre ellas se tiene:

- Cortocircuito trifásico.
- Cortocircuito trifásico a tierra.

En los cortocircuitos asimétricos las corrientes en las tres fases del sistema no son iguales en el instante del cortocircuito. Entre ellas se pueden citar:

- Cortocircuito bifásico (fase a fase).
- Cortocircuito bifásico a tierra (dos fases a tierra).
- Cortocircuito monofásico (fase a tierra).



El que ocurran estos cortocircuitos es causado por una serie de un porcentaje relativo de factores tales como la configuración de los circuitos, condiciones atmosféricas, el método de puesta a tierra, etc.

Las principales características de los cortocircuitos son:

- Su duración: autoextinguible, transitorio, permanente.

Su origen:

- Originados por factores mecánicos (rotura de conductores, conexión eléctrica accidental entre dos conductores producida por un objeto conductor extraño, como herramientas o animales).
- Debidos a sobretensiones eléctricas de origen interno o atmosférico.

Causados por la degradación del aislamiento provocada por el calor, la humedad o un ambiente corrosivo.

Su localización: dentro o fuera de una máquina o un tablero eléctrico.

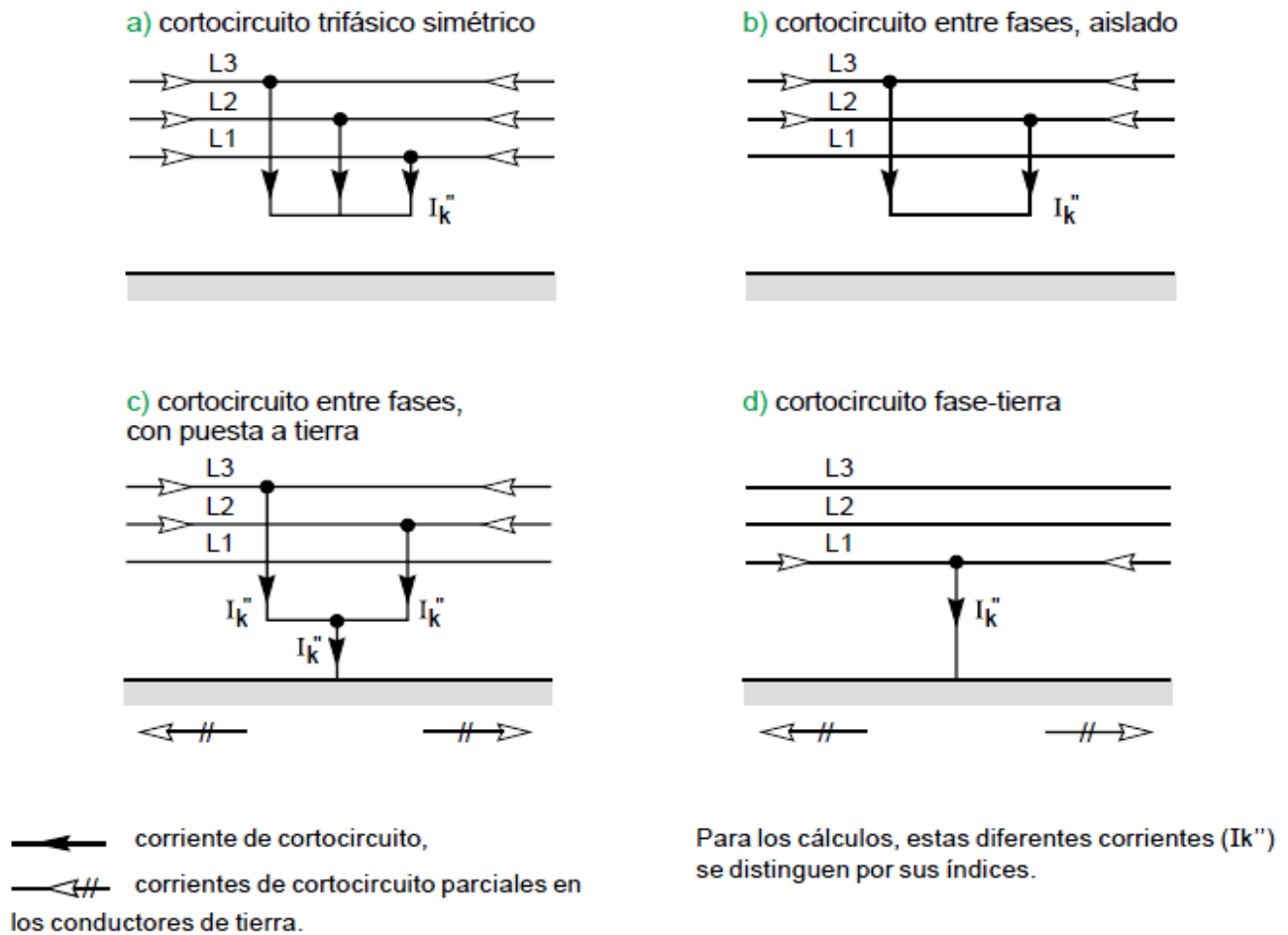


Figura 1.5 Los diferentes cortocircuitos y sus corrientes.

1.7.3 Consecuencia de los Cortocircuitos

Depende de la naturaleza y duración de los defectos, del punto de la instalación afectado y de la magnitud de la intensidad

Según el lugar del defecto, la presencia de un arco puede.

- Degradar los aislantes.
- Fundir los conductores.



- Provocar un incendio o representar un peligro para las persona

Según el circuito afectado, pueden presentarse.

- Sobreesfuerzos electrodinámicos con: deformación de los juegos de barras, arrancado o desprendimiento de los cables, sobrecalentamiento debido al aumento de pérdidas por efecto Joule, con riesgo de deterioro de los aislantes.

Para los otros circuitos eléctricos de la red afectada o de redes próximas:

- Bajadas de tensión durante el tiempo de la eliminación del defecto, de algunos milisegundos a varias centenas de milisegundos;
- Desconexión de una parte más o menos importante de la instalación, según el esquema y la selectividad de sus protecciones.
- Inestabilidad dinámica y/o pérdida de sincronismo de las máquinas;
- Perturbaciones en los circuitos de mando y control

1.7.4 Sobrecargas Permanentes

En el momento que una sobrecarga supera un tiempo determinado para el cual un elemento puede ser dañado, esta se convierte en una avería. Los dispositivos conectados en las líneas de distribución, tales como transformadores y otros elementos deben ser protegidos contra sobrecargas excesivas. En el caso de los transformadores se construyen con un margen de tiempo de sobrecarga para el cual no deben dañarse sus elementos de construcción. Muchos circuitos de distribución se construyen con múltiples posibilidades de enlace, evitando así las desconexiones por tiempos prolongados y las sobrecargas excesivas del transformador de alimentación. Las sobrecargas permanentes se caracterizan por provocar un incremento de temperatura en las partes conductoras de transformadores y otros.



Debido a esta acción, pueden perderse las propiedades de los conductores y perder gran parte de la vida útil del dispositivo en general.

1.8 Teoría de las Protecciones

Las protecciones tienen unos 70 años de antigüedad, a lo largo de los cuales se han realizado grandes evoluciones con la utilización de la tecnología. Los fenómenos de la red siguen siendo prácticamente las mismas y las faltas de las que proteger también, pero las posibilidades que ofrecen las nuevas tecnologías deben de hacernos modificar todos los fenómenos derivados de las perturbaciones en el sistema eléctrico, para hacer el mejor uso y aplicar nuevas técnicas en la selección y detección de las faltas. Se deben tener en cuenta tres principios básicos de las protecciones:

- Todas las fallas deben considerarse como transitorias.
- Si la falla es permanente, se debe desconectar (eliminar) la falla.
- Se debe desconectar la menor parte del circuito.

A todo relé o sistema de protección, se le exigen cuatro requisitos fundamentales para que realice su función correctamente. Estos requisitos son:

- Sensibilidad
- Selectividad
- Rapidez
- Fiabilidad



1.8.1 Sensibilidad.

Un relé o sistemas de protección debe ser lo suficientemente sensible como para operar en las condiciones de falla mínima que se puedan dar en la parte del sistema que tenga encomendada. En cualquier sistema eléctrico, en varias ocasiones en el día y durante las distintas estaciones del año, la carga puede variar entre límites muy amplios. Para cubrir estas exigencias cambiantes de la carga solicitada, es preciso poner diferentes combinaciones en la generación con el fin de atender la demanda de la forma más adecuada. La condición de mínima exigencia de generación es generalmente la que nos va a definir la sensibilidad de las protecciones. En estas condiciones, circulará por la protección la mínima corriente de falta al producirse un cortocircuito y este deberá ser lo suficientemente sensible para detectar esa falta.

1.8.2 Selectividad.

La selectividad de un relé de protección o de un sistema de protección determinada es la posibilidad de escoger adecuadamente dentro de que zona encomendada y después disparar los elementos necesarios para despejar la falta. Las protecciones deben diferenciar entre aquellas faltas para las que deben de operar por haberse producido en los propios equipos que protegen, de las faltas que se produzcan en otros equipos para las que no deben de operar. En ocasiones las protecciones no son seleccionadas con el cuidado debido y ello implica el que no se vean afectadas por las faltas que se produzcan fuera de los equipos o de las zonas que tienen bajo su responsabilidad. Otro tipo de protecciones, con actuación diferida en faltas fuera de su zona encomendada, son consideradas relativamente selectivas. En estas protecciones generalmente, la selectividad se obtiene a través de diferentes ajustes de los niveles de respuesta y de los tiempos de operación, en coordinación con los que se pretende sean selectivos.



1.8.3 Rapidez.

La rapidez es un aspecto esencial para el correcto uso de las protecciones eléctricas, puesto que estas garantizan una respuesta eficaz para casos de elementos dañados, por ende evita que se produzcan mayores desperfectos debidos a los efectos del cortocircuito y de esta manera, reducir los costos de reparación y el de su permanencia fuera de servicio. La rapidez de operación tiene además, repercusión directa en la estabilidad general del sistema eléctrico.

1.8.4 Fiabilidad.

Otro de los requisitos indispensables para un satisfactorio funcionamiento de las protecciones es que debe de ser fiable, lo que está en la medida del grado de confianza de que un sistema de protección va a actuar correctamente. Este término de fiabilidad trae incluido dentro de sí dos conceptos. Por un lado, la obediencia que es la cualidad de que una protección opere correctamente cuando es requerido para operar y por otro lado la seguridad que es la cualidad de no operar ante unas causas extrañas, evitando actuaciones incorrectas. La fiabilidad de un sistema de protecciones depende, en primer lugar, de la fiabilidad de los propios relés y en segundo lugar, de su aplicación, de su correcta instalación y de su mantenimiento preventivo.

1.9 Coordinación de las protecciones

La coordinación de dispositivos de protección contra sobrecorrientes es una llave esencial para mantener la confiabilidad e integridad de un sistema de distribución eléctrico. De acuerdo al NEC, éste define coordinación como: “La limitación apropiada a un área local de las condiciones de falla, para restringir los cortes de energía a los equipos afectados, realizada mediante la selección adecuada de dispositivos de protección contra fallas”. Por ende, si los dispositivos de protección están coordinados, solo el dispositivo de sobrecorriente más cercano a la falla abre y el resto del sistema no es afectado. En esta



operación se seleccionan los diferentes dispositivos para la protección, de forma tal que trabajen en cadena y así poder detectar la falla y solo sacar de servicio la zona afectada.

Para un estudio satisfactorio de coordinación de protecciones hay que tener en cuenta una serie de pasos generales los cuales son:

- Recopilar la información necesaria sobre el sistema eléctrico a proteger, indicando las características de los elementos del sistema en el diagrama unificar.
- Determinar los valores máximos de carga, de acuerdo a la capacidad nominal del circuito protegido.
- Calcular las corrientes de cortocircuito máximas y mínimas en los puntos del sistema que sean importantes para la coordinación.
- Recopilar y seleccionar información técnica sobre los equipos de protección existentes o que se instalarán en el sistema eléctrico, entre ellas las curvas características de tiempo-corriente de cada dispositivo de protección.
- Ubicar y seleccionar las características y rango de ajustes de los equipos de protección para que cumplan con las exigencias básicas del circuito a proteger y las normas existentes para tal fin.
- El proceso de coordinación debe realizarse desde la carga hacia la fuente, en los sistemas radiales.
- Realizar la coordinación, es decir, escoger las características de operación y ajuste de los dispositivos de protección de modo que exista sensibilidad.



1.10 Relés.

El relé es el elemento principal del circuito de la protección por relés. Los estudios muestran que el relé fue por vez primera diseñado y construido en los años 1830-1832 por el científico ruso P.L.Shillingg. Este relé era un importante elemento del aparato de llamada en el telégrafo ideado por dicho científico ruso. En la actualidad se denominan relés muchos aparatos automáticos que se emplean en la protección por relé, pero en esta técnica, por relé se entiende un aparato de acción automática que tiene como objeto, mediante una magnitud actuante que caracteriza ciertos fenómenos exteriores, provocar cambios ocasionales en los sistemas controlados. Estos surgieron en todas sus variantes con grandes posibilidades de ajustes y menor costo. Son muchas las variantes de relés que existen, pero lo normal es que constituye un dispositivo que se conecta al secundario de los transformadores de medición (corriente o tensión) y acciona directa o indirectamente al interruptor, que en este caso no será automático. Los relés pueden medir corriente o tensión y en muchos casos las dos al mismo tiempo, extraen la componente que desean, la comparan, esperan el tiempo determinado por el tipo de temporización que posean; ya sea tiempo inverso o definido y actúan cerrando sus contactos. Por lo general los contactos de un relé no tienen la suficiente potencia como para controlar las bobinas de los interruptores y, por tanto, se hace necesario utilizar otros elementos intermedios.

1.10.1 Relés de sobrecorriente de fase

Estos dispositivos son muy sencillos y su principio de acción está muy relacionado con el valor eficaz de la corriente. Este dispositivo mide el valor eficaz de la corriente que llega a sus bornes, y opera el valor medido supera un valor preestablecido con anterioridad (ajuste). La operación la hará en dependencia del tipo de temporización que posea: Tiempo inverso (51) o Tiempo definido (50).

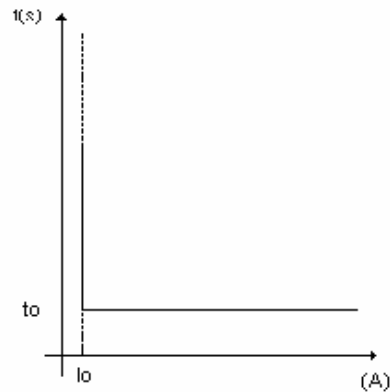


Fig.1.6. Característica hipotética de un 50

En la figura 1.6 se muestra la acción de tiempo definido. Para corrientes mayores que (I_0) el relé operará en un tiempo siempre igual a (t_0). Es decir, que sin importar la magnitud de la sobrecorriente el tiempo de operación siempre será el mismo. En la figura 1.7 se muestra la acción de tiempo inverso. Para corrientes mayores que (I_0) el tiempo dependerá del nivel de la sobrecorriente. Mayores sobrecorrientes menores tiempos. Estos dispositivos están caracterizados por tener un grado de inversión determinado y poseer una familia de curvas enumeradas entre las cuales es necesario seleccionar una. A esta numeración se le conoce como múltiplo o palanca de tiempo y constituye uno de los parámetros a ajustar.

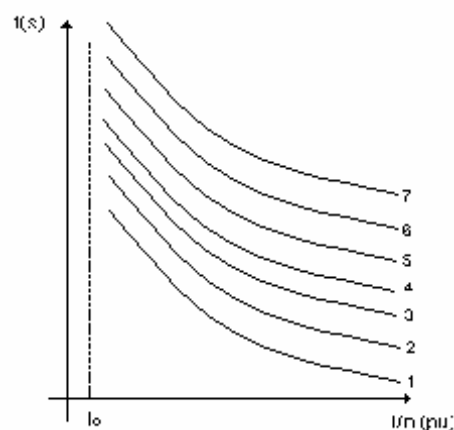


Fig.1.7. Característica hipotética de un Relé 51 de tiempo inverso



En la actualidad existen relés que extraen las componentes de secuencia cero de las corrientes de las fases y actúan de manera similar a los explicado anteriormente, pero con las corrientes de secuencia cero. Son conocidos en la norma ANSI como 50G y 51G. Estos últimos sólo actuarían para aquellos fenómenos con la tierra como los cortocircuitos monofásicos

1.10.2 Relé de sobre y baja tensión

En estos relés sucede de la misma forma a lo explicado en los relés de sobrecorriente pero con la tensión. Claro que se colocarían en el secundario de un transformador de potencial. Aunque son más comunes los de características de tiempo definido también aparecen los de tiempo inverso, pero su aplicación no está muy generalizada. Se conocen en la norma ANSI como 27 y 59. Se pueden encontrar variantes de estos dispositivos pero que operen con algunos de las componentes armónicas de la tensión, por ejemplo el tercer armónico y son muy comunes en la protección de generadores contra fallos a tierra.

1.10.3 Relé direccional

En muchas ocasiones y principalmente en redes multilaterales se hace necesario medir con efectividad que corriente, durante un fallo, proviene de una u otra fuente; es decir, se hace necesario medir la dirección de la corriente de cortocircuito. Estos Relés Direccionales aparecen por dos razones, la primera por la imposibilidad de coordinar los relés de sobrecorrientes en las redes multilaterales y la segunda por la detección de inversión no permitida de la potencia en un sistema. Su función es detectar la dirección de la corriente o de la potencia durante regímenes en los sistemas. También miden la tensión y corriente, y con ellos miden la dirección de la potencia. En algunos relés sólo interesa conocer la dirección de la potencia (67) y en otros, se necesitan conocer la cantidad de potencia invertida (32). De aquí se derivan dos variantes de relés: unos que reaccionan al desfase entre la tensión y la corriente, mientras que existen otros que reaccionan a la cantidad de potencia invertida.



1.10.4 Relé diferencial

En algunas redes, fundamentalmente las de Transmisión, son imprescindibles acciones rápidas de las protecciones para todos los fallos que se puedan presentar en la línea; es decir, una protección de acción instantánea que proteja el total de la línea sin dejar zonas muertas o de no operación. Entonces el problema radica en encontrar un método de protección que sea independiente de los cambios de la generación, como la protección de distancia, pero que a la vez no tenga zona muerta y en este sentido aparece la protección diferencial que es altamente sensible y absoluta.

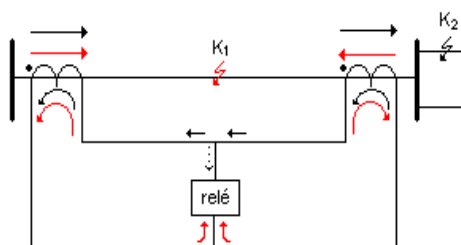


Fig. 1.8 Principio de acción de las protecciones diferenciales

A continuación se muestra el principio de operación en un diagrama monolineal de la protección diferencial. Esta consiste en un relé que operará para la diferencia que existe entre las corrientes en los extremos del elemento protegido. Para el caso del fallo externo (K_2) no pasará corriente por el relé, por tanto, este no debe operar. Para el fallo interno (K_1), la corriente que pasa por el relé es la corriente de cortocircuito referida al secundario de los transformadores de corriente y el relé debe operar rápidamente. Se puede utilizar un relé de sobrecorriente en la conexión diferencial y con esto, constituir una protección diferencial, pero se han encontrado bastantes problemas relacionados con la operación incorrecta de los mismos.

Un relé diferencial mide dos corrientes por cada paso, muchas veces no son solo dos, pero el principio de acción es el mismo. En este tipo de relés se ajusta una corriente y si el valor de la diferencia que el mide es superior al valor ajustado opera. Estos son conocidos como relés diferenciales instantáneos y su numeración ANSI es 87.



1.11 Dispositivos de Protección.

Las protecciones se caracterizan por ser Primarias o Secundarias. Es decir, si las señales se medirán directamente de la línea o a través de un elemento de medición (transformadores de corriente, de potencial, etc.). Muchas veces algunos autores las caracterizan como principales o auxiliares. La protección que actuará contra los defectos más graves que ocurran en el elemento que por tanto hará caso omiso a los fallos externos a este, son las llamadas principales. Se le llama protección a la unión de todos los elementos que participan en ella, desde el transformador de corriente hasta el interruptor que es el desconectivo. En este sentido se le denominan a las partes de una protección: Elementos de Protección. Entre estos elementos está el elemento de comparación, que accionará cuando el valor del o los parámetros medidos supere el nivel de ajuste (Elementos de máxima) o cuando estos parámetros estén por debajo del valor de ajuste (Elementos de mínima). Es muy fácil convertir un elemento de máxima en uno de mínima o viceversa. La acción de las protecciones nunca es instantánea. Aunque se han logrado tiempos muy pequeños, siempre hay un retraso entre la ocurrencia del fallo y la desconexión del mismo, en esto influyen los retardos de tiempo de cada uno de los elementos de la protección. En ocasiones, estos elementos presentan una demora de tiempo que no tiene relación alguna con el valor o nivel del fenómeno transitorio (Temporización Independiente) y en otros casos si (temporización dependiente). Esta característica es tratada por algunos autores como elementos de tiempo definido y elementos de tiempo inverso, porque generalmente en los segundos, el tiempo tiene relación inversa al nivel del parámetro que mide. La localización de las protecciones es variable, pero por lo general está situada en el lugar donde enlaza con el elemento que le sirve de alimentación. Muchas protecciones son compactas, es decir, no están divididas en partes. El mismo equipo mide las corrientes, compara y acciona o desconecta al elemento averiado, en este caso tenemos a los fusibles, interruptores automáticos, algunos relés térmicos, etc. En ocasiones estos dispositivos son diseñados de tal forma que se comportan siguiendo una única característica, es decir, no puede ser cambiada su característica de operación, un ejemplo de esto se observa en los fusibles. Esta



característica divide a las protecciones en ajustables o no ajustables. Las protecciones no ajustables únicamente hay que seleccionarlas adecuadamente. Un punto importante es el proceso de ajuste, este concepto un poco antiguo apareció con los elementos electromagnéticos y mixtos (electrónicos y electromagnéticos) y está relacionado con el mantenimiento del dispositivo. Cuando los dispositivos de protección llevan un tiempo de operación, hay que verificar si aún se está comportando correctamente, nótese que puede haber estado instalado y como no ocurrió ningún fallo, no ha actuado jamás. Para hacer estas verificaciones, el fabricante brinda algunas reglas que lo permiten y siguiendo adecuadamente estos procedimientos se podrá llevar al dispositivo a su estado inicial, es decir, a su funcionamiento óptimo.



Conclusiones

- Se abordaron algunos de los componentes fundamentales de un sistema de protección, dando una detallada explicación de su funcionamiento, componentes y sistema de trabajo.
- Se trataron profundamente los diferentes regímenes que pueden afectar los sistemas eléctricos.
- Se analizaron las características generales que deben cumplir las protecciones teniendo en cuenta los parámetros de seguridad tanto para las personas como para el sistema.
- Por último se investigó detalladamente acerca de los relés, con los que se van a trabajar.



Capítulo II. MATERIALES Y MÉTODOS A EMPLEAR

Introducción

Después del comienzo de un cortocircuito, son conocidos los elevados niveles que alcanzan las corrientes durante su ocurrencia y por tanto, su permanencia, no solo sería fatal para el elemento averiado, sino también para otros elementos que no participan directamente en el fenómeno transitorio. Las altas corrientes generan grandes temperaturas en el punto de descarga o de cortocircuito y si estos no son desconectados con extrema rapidez, el elemento averiado quedaría destruido completamente y no podrá ser siquiera reparado. Esto puede traer como consecuencia explosiones peligrosas para la seguridad del personal operario, estas son algunas de las consecuencias que traen consigo las averías, y para evitar estos desastres, se deben instalar protecciones y que su acción sea lo más rápida posible. Los niveles de las corrientes de cortocircuitos trifásicos pueden superar en 10 veces las corrientes nominales del equipo averiado y solo bastará que este permanezca unas centésimas de segundo y el equipo puede quedar inutilizable. Los tiempos de actuación casi siempre son, en caso de cortocircuitos, menores que 0.5 segundos; por tanto, los sistemas eléctricos necesitan elementos que actúen con gran velocidad. Evidentemente estos no pueden ser logrados con la acción física del hombre y se necesitan elementos autónomos para actuar contra los fallos en los sistemas eléctricos y estos son llamados Protecciones Eléctricas. Después de un tiempo de uso estos dispositivos utilizados para proteger las cargas deben de verificarse para su correcto funcionamiento y así mantener la seguridad en todas las instalaciones y como ya se había mencionado, en la del personal que está relacionado con dichas instalaciones.





2.1 Subestación Eléctrica

Una subestación eléctrica es una instalación destinada a modificar y establecer los niveles de tensión de una infraestructura eléctrica, constituido por maquinas, aparatos y circuitos que tienen la función de facilitar el transporte y distribución de la energía eléctrica, permitiendo esto modificar los parámetros de la potencia eléctrica, así como el flujo de la energía.



Fig. 1.9 Subestación eléctrica



Descripción de la subestación de La Pasa

La empresa René Ramos Latour de Nicaro cuenta con dos alimentadores de 34.5 KV proveniente de la subestación de Santa Rífta un expreso (6390) y un semiexpreso (4465). Ambas líneas llegan a la subestación La Pasa, teniendo como desconectivo inicial dos cuchillas succionadoras, la (6390) y (6899) que es la de el (4465), dando paso a los dos interruptores de entrada principales 6900 y 6910 interruptores de entrada de 34.5kV de la subestación de La Pasa, contando con un enlace de barra 6905. A través de los interruptores 6902 y 6903 se alimentan los dos transformadores de potencia de 16MVA T1 y T2, de 34.5kV a 13.8kV y mediante las acometidas H970 y H980, se alimenta la barra de 13.8kV, teniendo como enlace de barra el interruptor H975, a través de estas secciones de barras y de los alimentadores H973(A1) H977(A2) llega la alimentación a la planta de tratamiento de agua, B1 (H976) y B2 (H979) llega la alimentación a la planta de preparación de mineral, RN1 (H974) y RN2 (H978) son los alimentadores de enlace con la planta de generación propia termoeléctrica con SEN. En el caso de los alimentadores RN1 y RN2 existen dos interruptores del mismo nombre en la planta de termoeléctrica que son los interruptores de entradas de la misma de enlace del SEN. Los interruptores en general de la subestación son del tipo ABB SACE del tipo extraíble con aislamiento SFG (exafloruro de azufre). En el caso de los alimentadores utilizan el relé 750 de la serie SR 750 Multilín y como protección a los dos transformadores de potencia se utiliza el relé 745 de la serie SR 745 Multilín. Para el caso de los enlace como protección de sincronismo utilizan el relé de sincronismo MLJ 1000 encargado de sincronizar ambas barra del SEN.

Condiciones normales de operación:

Normalmente la Empresa opera alimentándose por la línea expreso 6390 manteniéndose cerrado el interruptor 6900, el interruptor de enlace 6905 los interruptor 6902 y 6903 de alimentación a los transformadores la acometida H970 y H980 y abiertos los interruptores de entrada 6910 de 34.5 kV y el interruptor de enlace H975 de la barra 13.8 kV.



Datos generales de los transformadores de la subestación de La Pasa.

- Potencia nominal: 16 MVA
- Conexión: Estrella aterrada por el primario y delta por el secundario
- Voltaje por alta : 34.5 kV
- Voltaje por bajo: 13.8 kV
- Cantidad: 2
- Enfriamiento: Por aceite
- Impedancia: 5.87Ω

2.2 Características generales del software

Para el cálculo de las corrientes de corto circuitos existen varios software de mucha importancia como es el caso del PSX, el Radial, el CYMDIST y el Easy Power por tan solo mencionar algunos. Los cuales son de mucha importancia y a su vez son muy utilizadas por su gran campo de acción en distintas ramas de las protecciones eléctricas. Estos se pueden encontrar en muchas investigaciones gracias a su forma sorprendente y amena de realizar el cálculo. En nuestro caso utilizaremos el software Easy Power, el cual está instalado de manera convencional en nuestra empresa Cdte. René Ramos Latour de Nicaro, permitiéndonos la posibilidad de acceso y utilización del mismo. Este software viene haciendo unos años demostrando su efectividad a la hora de la obtención de resultados. El Easy Power es una herramienta ingenieril computacional para el análisis de sistemas eléctricos ya sean industriales o comerciales. El Easy Power es uno de los pocos programas que integran completamente el cálculo de cortocircuito y el análisis del flujo de potencia. Este software es muy aceptado por su fácil manipulación ya que se controla interactiva y directamente desde el propio monolineal. Dicho software posee grandes ventajas sobre otros programas en



cuanto a tiempo de ejecución, capacidad de modelación, seguridad y confiabilidad en sus cálculos. El análisis de cortocircuito por Easy Power fue diseñado para fallos trifásicos y fallos asimétricos utilizando la norma ANSI estándar. Es muy importante destacar que para el propósito de determinar las características de los equipos de protección así como la protección misma, normalmente se efectúan estudios de cortocircuito para fallas de línea a tierra, por ser estas las más probables de ocurrir, y para fallas trifásicas porque, a pesar de ser estas las de menor probabilidad de que ocurran, son las que pueden someter a los equipos, las máquinas y/o dispositivos a los esfuerzos más severos y además desde el punto de vista analítico, resulta más fácil de estudiar y sus resultados son bastantes satisfactorios para distintas aplicaciones. Las mayores corrientes de cortocircuito se experimentan en las zonas cercanas a las fuentes de alimentación y a medida que se incrementa la distancia las corrientes tienden a disminuir por la aparición de reactancias en todo el trayecto. En los anexos les mostraremos las simulaciones realizadas con el software para poder determinar las corrientes de cortocircuitos y así poder realizar el ajuste a las protecciones instaladas. Existen muchas variantes de protecciones colectoras, pero como protecciones para este tipo de elementos se emplean fundamentalmente las protecciones de sobrecorriente, direccionales de corriente, protecciones a distancia y diferenciales de corriente. Por ser las más utilizadas y conocidas para estos fines, en este capítulo se analizará el ajuste de los relés de protecciones diferenciales a transformadores, y protecciones de sobrecorriente.

Para una aplicación apropiada de los equipos de protección se deben tener en cuenta una serie de factores de gran importancia entre los cuales tenemos:

- Distancia y calibre de conductores a lo largo del circuito que se desea proteger.
- Voltaje del sistema.
- Corrientes normales de carga en las ubicaciones del equipo de protección.
- Niveles de falla máxima y mínima en los puntos que se desean proteger.



- Valores mínimos de operación.
- Características operativas (curvas tiempo-corriente) y secuencia seleccionada en los equipos de protección.
- En el equipo de protección se deben considerar ciertos márgenes de capacidad, tales que cubran los futuros crecimientos de carga o probables modificaciones del sistema.
- Normalmente, a medida que las distancias desde la subestación aumentan, se utilizan equipos menos caros y menos sofisticados.

2.3 Protecciones de sobrecorrientes.

En el caso de los transformadores industriales o de mayor importancia, suelen utilizarse las protecciones de sobrecorrientes, muchas veces es necesario combinarlos con bloqueos de tensión para que cumplan los factores de sensibilidad.

Para ajustar una protección de sobrecorriente en la protección contra cortocircuitos internos, es fundamental que su utilización sea instantánea y, por tanto no deben ser sensibles a los cortocircuitos en la barra secundaria porque si no se adelantaría a la protecciones de totalizador, de los alimentadores. Es decir no puede ser sensible a los cortocircuitos a máxima generación trifásicos en 440kv y si ser muy sensible al fallo en mínima generación bifásico en la parte del transformador.



2.3.1 Ajuste del Relé 750 o protecciones de sobrecorriente.



Fig.1.10 relé SR-750

El relé 750 Feeder Management es una unidad basada en microprocesadores pretendidas para el manejo y la protección primaria de alimentadores de distribución, así como para el manejo y la protección de apoyo de barras, transformadores, y las líneas de transmisión. El relé 750 es particularmente adecuado para alimentadores aéreos, donde el recierre automático es normalmente aplicado. Cada relé provee protección, control y funciones de monitoreo con interfaces locales y las controladas remotas por humanos. También ostenta las condiciones presentes de disparo / alarma y la mayor parte de los más de 35 parámetros medidos del sistema. La grabación de anteriores disparos, alarma o



eventos de control, los niveles de demanda máxima y el consumo de energía son también realizados. Este relé contiene muchas características innovadoras. Para responsabilizarse por normas diversas de utilidad y los requisitos de la industria, estos rasgos tienen la flexibilidad para estar programados para utilizarse como el usuario específico necesite. Esta flexibilidad naturalmente hará de este equipo difícil. Para auxiliar a los usuarios nuevos a hacer funcionar la protección básica rápidamente, los puntos de referencia están configurados a valores predeterminados típicos y las características avanzadas están deshabilitadas. Estas configuraciones pueden ser reprogramado en cualquier momento. La programación puede ser realizada con el panel y el despliegue de la parte delantera. Debido a las numerosas configuraciones, este método manual puede ser algo difícil. Para simplificar la programación y proveer una interfase más intuitiva, los puntos de referencia pueden ser introducidos con una PC que ejecuta el software EnerVista 750 Setup, lo cual viene con el relé. Aún con el mínimo conocimiento de la computadora, este software accionado por menú provee acceso fácil para todas las funciones del panel delantero. Los valores reales y los de referencia pueden ser exhibidos, alterados, guardados, e impresos. Si las configuraciones son guardadas en un archivo de referencia, estas pueden ser descargadas en cualquier momento al puerto de programas del panel delantero del relé a través de un cable de la computadora que se conecta al puerto serie de cualquier otra computadora personal.

Ajuste de la protección de sobrecorriente de fase para tiempo definido (50) para el interruptor 6903.

$$(1.1) \quad Iop_{50PH} = K_{seg} * ICC_{extmáx} \quad \text{CT-300 } 3.89 \times \text{CT}$$

$$Iop_{50PH} = 1.2 * 9000 A$$

$$Iop_{50PH} = 10800 A$$



$$(1.2) K_s = \frac{I_{cc2\Phi_{\min}}}{I_{op_{50PH}}} > 2$$

$$K_s = \frac{555}{10800} = 0.053 > 2 \text{ No se cumple el ajuste}$$

Para lograr el ajuste se despeja

$$(1.3) 2 = \frac{I_{cc2\Phi_{\min}}}{I_{op_{50PH}}} \qquad I_{op_{50PH}} = \frac{I_{cc2\Phi_{\min}}}{2} = \frac{555}{2} = 277A$$

$$(1.4) T_{op_{50}} = (0)s \quad \text{Que actúa tan rápido como pueda (instantáneo)}$$

Donde:

Icc ext máx.: Corriente de cortacircuito externa a máxima generación. Puede calcularse la que existe en el extremo de la línea

Kseg: Coeficiente que toma en cuenta los posibles errores de los relés, transformadores de corrientes, etc. (1.2 -1.3).

Iop50: Corriente de ajuste de los relés que constituyen el primer escalón.

Top50: Es el tiempo adicional asignado a la protección.

Ks: Coeficiente de sensibilidad que garantiza el completo respaldo a las líneas adyacentes.



Ajuste de la protección de sobrecorriente de fase para tiempo inverso (51) en el interruptor 6903. CT-300 1.02xCT

$$(2.1) I_{op_{51PT}} = K_{seg} * I_{sermáx}$$

$$(2.2) S = \sqrt{3 * I * V}$$

$$I_{op_{51PT}} = 1.2 * 268A = 321A$$

$$I_{sm} = \frac{S}{\sqrt{3 * V}}$$

$$(2.3) K_s = \frac{I_{cc_{2\Phi mín}}}{I_{op_{51PT}}} > 1.2$$

$$I_{sm} = \frac{16MVA}{\sqrt{3 * 34.5}} = 268A$$

$$K_s = \frac{555}{510} = 1.08$$

No se cumple el ajuste

Para lograr el ajuste se despeja

$$(2.4) 2 = \frac{I_{cc_{2\Phi mín}}}{I_{op_{51PT}}}$$

$$I_{op_{51PT}} = \frac{I_{cc_{2\Phi mín}}}{2} = \frac{555}{2} = 277.5A$$

$$(2.5) T_{op_{51}} = 0(s) \quad \text{Que actúa tan rápido como pueda (instantáneo)}$$



Valores de ajuste del relé

$$Iop_{50PH} = 3.89 \times CT$$

$$Iop_{51PT} = 1.02 \times CT$$

Donde:

Kseg: Coeficiente de seguridad que toma en cuenta el error de medición del relé ($1.5 \div 2$).

Iser.máx: Máxima corriente permisible por la línea.

Top51(n): Tiempo de la protección que se está ajustando para la máxima corriente en la protección adyacente. Con estos valores de tiempo y corriente, se escoge el múltiplo o la palanca de tiempo en las curvas de (t vs. i) del dispositivo.

Ks: Coeficiente de sensibilidad que garantiza el completo respaldo a las líneas adyacentes.

Ajuste de la protección de sobrecorriente de fase para tiempo definido (50) en la barra 9A para el interruptor H980.

$$(3.1) Iop_{50PH} = Kseg * ICC_{extmáx} \quad CT-800 \ 3.89 \times CT$$

$$Iop_{50PH} = 1.2 * 9000A$$

$$Iop_{50PH} = 10800A$$



$$(3.2) K_s = \frac{I_{cc_{2\Phi_{\min}}}}{I_{op_{50PH}}} > 2$$

$$K_s = \frac{6200}{10800} = 0.57 > 2 \quad \text{No se cumple el ajuste}$$

Para lograr el ajuste se despeja

$$(3.3) 2 = \frac{I_{cc_{2\Phi_{\min}}}}{I_{op_{50PH}}}$$

$$I_{op_{50PH}} = \frac{I_{cc_{2\Phi_{\min}}}}{2} = \frac{6200}{2} = 3100A$$

$$(3.4) T_{op_{50}} = (0)s \quad \text{Que actúa tan rápido como pueda (instantáneo)}$$

En esta caso no se calcula sobrecarga o sea tiempo inverso (51) porque el interruptor lo único que ve es instantánea. Además se toman el valor de $I_{cc \text{ ext. máx.}}$ del interruptor acometida más grande, entre el H980 y el H970.

Valor de ajuste del relè 750:

$$I_{op_{50PH}} = 3.89 \times CT$$

Ajuste de la protección de sobrecorriente de fase para tiempo definido (50) en la barra 7A para el interruptor H970.

$$(4.1) I_{op_{50PH}} = K_{seg} * I_{cc_{extmáx}} \quad \text{CT-800 } 3.1 \times CT$$



$$Iop_{50PH} = 1.2 * 9000 A$$

$$Iop_{50PH} = 10800 A$$

$$(4.2) Ks = \frac{Icc_{2\Phi mín}}{Iop_{50PH}} > 2$$

$$Ks = \frac{4960}{10800} = 0.45 > 2 \quad \text{No se cumple el ajuste}$$

Para lograr el ajuste se despeja

$$(4.3) 2 = \frac{Icc_{2\Phi mín}}{Iop_{50PH}}$$

$$Iop_{50PH} = \frac{Icc_{2\Phi mín}}{2} = \frac{4960}{2} = 2480 A$$

$$(4.4) Top_{50PH} = (0)s \quad \text{Que actúa tan rápido como pueda (instantáneo)}$$

Valor de ajuste del relè 750:

$$Iop_{50PH} = 3.1xCT$$



Ajuste de la protección de sobrecorriente de fase para tiempo definido (50) en la barra A1 para el interruptor H973.

$$(5.1) I_{op}_{50PH} = K_{seg} * I_{cc}_{extm\acute{a}x} \quad \text{CT-300 8xCT}$$

$$I_{op}_{50PH} = 1.2 * 16780 \text{ A}$$

$$I_{op}_{50PH} = 20136 \text{ A}$$

$$(5.2) K_s = \frac{I_{cc}_{2\Phi m\grave{a}n}}{I_{op}_{50PH}} > 2$$

$$K_s = \frac{4800}{20136} = 0.23 > 2 \quad \text{No se cumple el ajuste}$$

Para lograr el ajuste se despeja

$$(5.3) 2 = \frac{I_{cc}_{2\Phi m\grave{a}n}}{I_{op}_{50PH}}$$

$$I_{op}_{50PH} = \frac{I_{cc}_{2\Phi m\grave{a}n}}{2} = \frac{4800}{2} = 2400 \text{ A}$$

$$(5.4) T_{op}_{50PT} = (0) \text{ s} \quad \text{Que actúa tan rápido como pueda (instantáneo)}$$



Ajuste de la protección de sobrecorriente de fase para tiempo inverso (51) en la barra A1 para el interruptor H973.

$$(6.1) I_{op}_{51PT} = K_{seg} * I_{serm\grave{a}x} \quad \text{CT-800 } 0.64 \times \text{CT}$$

$$I_{op}_{51PT} = 1.2 * 425 \text{ A} = 510 \text{ A}$$

$$(6.2) K_s = \frac{I_{cc_{2\Phi\text{mín}}}}{I_{op}_{51PT}} > 1.2$$

$$K_s = \frac{4800}{510} = 9.41 \quad \text{Se cumple}$$

$$(6.3) T_{op}_{51PT} = 0(s) \quad \text{Que actúa tan rápido como pueda (instantáneo)}$$

Valor de ajuste del relè 750:

$$I_{op}_{50PH} = 8 \times \text{CT}$$

$$I_{op}_{51PT} = 0.64 \times \text{CT}$$



Ajuste de la protección de sobrecorriente de fase para tiempo definido (50) en la barra A2 para el interruptor H977.

$$(7.1) I_{op}_{50PH} = K_{seg} * I_{cc}_{extm\acute{a}x} \quad \text{CT-300 9.92xCT}$$

$$I_{op}_{50PH} = 1.2 * 17060 \text{ A}$$

$$I_{op}_{50PH} = 20472 \text{ A}$$

$$K_s = \frac{I_{cc}_{2\Phi m\acute{i}n}}{I_{op}_{50PH}} > 2$$

$$K_s = \frac{5950}{20472} = 0.29 > 2 \quad \text{No se cumple el ajuste}$$

Para lograr el ajuste se despeja

$$(7.2) 2 = \frac{I_{cc}_{2\Phi m\acute{i}n}}{I_{op}_{50PH}}$$

$$I_{op}_{50PH} = \frac{I_{cc}_{2\Phi m\acute{i}n}}{2} = \frac{5950}{2} = 2975 \text{ A}$$

$$(7.3) T_{op}_{50PH} = (0) \text{ s} \quad \text{Que actúa tan rápido como pueda (instantáneo)}$$



Ajuste de la protección de sobrecorriente de fase para tiempo inverso (51) en la barra A2 para el interruptor H977

$$(8.1) I_{op}_{51PH} = K_{seg} * I_{sermàx} \quad \text{CT-300 } 1.7 \times \text{CT}$$

$$I_{op}_{51PT} = 1.2 * 425 A = 510 A$$

$$(8.2) K_s = \frac{I_{cc_{2\Phi mín}}}{I_{op}_{51PT}} > 1.2$$

$$K_s = \frac{5950}{510} = 11.6 \quad \text{Se cumple}$$

$$(8.3) T_{op}_{51PT} = (0)s \quad \text{Que actúa tan rápido como pueda (instantáneo)}$$

Valor de ajuste del relè 750:

$$I_{op}_{50PH} = 9.92 \times \text{CT}$$

$$I_{op}_{51Pt} = 1.7 \times \text{CT}$$



Ajuste de la protección de sobrecorriente de fase para tiempo definido (50) en la barra RN2 para el interruptor H978.

$$(9.1) I_{op}_{50PH} = K_{seg} * I_{cc}_{extm\acute{a}x} \quad \text{CT-800 } 3.7 \times \text{CT}$$

$$I_{op}_{50PH} = 1.2 * 4480 \text{ A}$$

$$I_{op}_{50PH} = 5808 \text{ A}$$

$$(9.2) K_s = \frac{I_{cc}_{2\Phi m\acute{i}n}}{I_{op}_{50PH}} > 2$$

$$K_s = \frac{5830}{5808} = 1.03 > 2 \quad \text{No se cumple el ajuste}$$

Para lograr el ajuste se despeja

$$(9.3) 2 = \frac{I_{cc}_{2\Phi m\acute{i}n}}{I_{op}_{50PH}}$$

$$I_{op}_{50PH} = \frac{I_{cc}_{2\Phi m\acute{i}n}}{2} = \frac{5830}{2} = 2915 \text{ A}$$

$$(9.4) T_{op}_{50PH} = (0) \text{ s} \quad \text{Que actúa tan rápido como pueda (instantáneo)}$$



Ajuste de la protección de sobrecorriente de fase para tiempo inverso (51) en la barra RN2 para el interruptor H978.

$$(10.1) I_{op}_{51PT} = K_{seg} * I_{serm\grave{a}x} \quad \text{CT-800 } 0.93 \times \text{CT}$$

$$I_{op}_{51PT} = 1.2 * 620 \text{ A} = 744 \text{ A}$$

$$(10.2) K_s = \frac{I_{cc_{2\Phi\text{mín}}}}{I_{op}_{51PT}} > 1.2$$

$$K_s = \frac{5830}{744} = 7.83 \text{ Se cumple}$$

$$(10.3) T_{op}_{51PT} = (0)s \quad \text{Que actúa tan rápido como pueda (instantáneo)}$$

Valor de ajuste del relè 750:

$$I_{op}_{50PH} = 3.7 \times \text{CT}$$

$$I_{op}_{51Pt} = 0.93 \times \text{CT}$$



Ajuste de la protección de sobrecorriente de fase para tiempo definido (50) en la barra1 Secadero para el interruptor H976.

$$(11.1) I_{op}_{50PH} = K_{seg} * I_{cc}_{extmáx} \quad \text{CT-400} \quad 5.9 \times \text{CT}$$

$$I_{op}_{50PH} = 1.2 * 16550 \text{ A}$$

$$I_{op}_{50PH} = 19860 \text{ A}$$

$$K_s = \frac{I_{cc}_{2\Phi mín}}{I_{op}_{50PH}} > 2$$

$$K_s = \frac{4750}{19860} = 0.23 > 2 \quad \text{No se cumple el ajuste}$$

Para lograr el ajuste se despeja

$$(11.2) 2 = \frac{I_{cc}_{2\Phi mín}}{I_{op}_{50PH}}$$

$$I_{op}_{50PH} = \frac{I_{cc}_{2\Phi mín}}{2} = \frac{4750}{2} = 2375 \text{ A}$$

$$(11.3) T_{op}_{50PH} = (0) \text{ s} \quad \text{Que actúa tan rápido como pueda (instantáneo)}$$



Ajuste de la protección de sobrecorriente de fase para tiempo inverso (51) en la barra1 Secadero para el interruptor H976

$$(12.1) I_{op}_{51PT} = K_{seg} * I_{serm\grave{a}x} \quad \text{CT-400} \quad 1.86 \times \text{CT}$$

$$I_{op}_{51PT} = 1.2 * 620 A = 744 A$$

$$(12.2) K_s = \frac{I_{cc_{2\Phi\text{mín}}}}{I_{op}_{51PT}} > 1.2$$

$$K_s = \frac{4750}{744} = 6.38 \quad \text{Se cumple}$$

$$(12.3) T_{op}_{51PT} = (0)s \quad \text{Que actúa tan rápido como pueda (instantáneo)}$$

Valor de ajuste del relè 750:

$$I_{op}_{50PH} = 5.9 \times \text{CT}$$

$$I_{op}_{51Pt} = 1,86 \times \text{CT}$$



Ajuste de la protección de sobrecorriente de fase para tiempo definido (50) en la barra 2 Secadero para el interruptor H979.

$$(13.1) I_{op}_{50PH} = K_{seg} * I_{cc}_{extm\acute{a}x} \quad \text{CT-400} \quad 7.3 \times \text{CT}$$

$$I_{op}_{50PH} = 1.2 * 16550 \text{ A}$$

$$I_{op}_{50PH} = 19860 \text{ A}$$

$$K_s = \frac{I_{cc}_{2\Phi m\acute{i}n}}{I_{op}_{50PH}} > 2$$

$$K_s = \frac{5870}{19860} = 0.29 > 2 \quad \text{No se cumple el ajuste}$$

Para lograr el ajuste se despeja

$$(13.2) 2 = \frac{I_{cc}_{2\Phi m\acute{i}n}}{I_{op}_{50PH}}$$

$$I_{op}_{50PH} = \frac{I_{cc}_{2\Phi m\acute{i}n}}{2} = \frac{5870}{2} = 2935 \text{ A}$$

$$(13.3) T_{op}_{50PH} = (0) \text{ s} \quad \text{Que actúa tan rápido como pueda (instantáneo)}$$



Ajuste de la protección de sobrecorriente de fase para tiempo inverso (51) en la barra2 Secadero para el interruptor H979

$$(14.1) I_{op}_{51PT} = K_{seg} * I_{serm\grave{a}x} \quad \text{CT-400} \quad 1.86 \times \text{CT}$$

$$I_{op}_{51PT} = 1.2 * 620 \text{ A} = 744 \text{ A}$$

$$(14.2) K_s = \frac{I_{cc_{2\Phi\acute{m}in}}}{I_{op}_{51PT}} > 1.2$$

$$K_s = \frac{5870}{744} = 7.88 \quad \text{Se cumple}$$

$$(14.3) T_{op}_{51PT} = (0)s \quad \text{Que actúa tan rápido como pueda (instantáneo)}$$

Valor de ajuste del relè 750:

$$I_{op}_{50PH} = 7.3 \times \text{CT}$$

$$I_{op}_{51Pt} = 1,86 \times \text{CT}$$



Ajuste de la protección de sobrecorriente de fase para tiempo definido (50) en horno para el interruptor H974.

$$(15.1) I_{op}_{50PH} = K_{seg} * I_{cc}_{extm\acute{a}x} \quad \text{CT-800 2.8xCT}$$

$$I_{op}_{50PH} = 1.2 * 16440 \text{ A}$$

$$I_{op}_{50PH} = 19728 \text{ A}$$

$$K_s = \frac{I_{cc}_{2\Phi m\acute{i}n}}{I_{op}_{50PH}} > 2$$

$$K_s = \frac{4570}{19728} = 0.23 > 2 \quad \text{No se cumple el ajuste}$$

Para lograr el ajuste se despeja

$$(15.2) 2 = \frac{I_{cc}_{2\Phi m\acute{i}n}}{I_{op}_{50PH}}$$

$$I_{op}_{50PH} = \frac{I_{cc}_{2\Phi m\acute{i}n}}{2} = \frac{4570}{2} = 2285 \text{ A}$$

$$(15.3) T_{op}_{50PH} = (0)s \quad \text{Que actúa tan rápido como pueda (instantáneo)}$$



Ajuste de la protección de sobrecorriente de fase para tiempo inverso (51) en horno para el interruptor H974

CT-800 0.93xCT

$$(16.1) Iop_{51PT} = Kseg * I_{sermàx}$$

$$Iop_{51PT} = 1.2 * 620 A = 744 A$$

$$(16.2) Ks = \frac{Icc_{2\Phi mín}}{Iop_{51PT}} > 1.2$$

$$Ks = \frac{4570}{744} = 6.14 \text{ Se cumple}$$

$$(16.3) Top_{51PT} = (0)s \quad \text{Que actúa tan rápido como pueda (instantáneo)}$$

Valor de ajuste del relè 750:

$$Iop_{50PH} = 2.8xCT$$

$$Iop_{51Pt} = 0.93xCT$$



2.4 Ajuste del Relé 745 o protecciones diferenciales a transformadores.

El sistema de protección 745 es un relé de alta velocidad, basado en multiprocesador, trifásico, dos o tres devanados, planeado para la protección primaria y la administración de los transformadores de energía, pequeños, medios y grandes El 745 combina diferenciales de porcentaje de sobrecorriente, frecuencia y sobre excitación junto con la monitorización de los armónicos individuales, y el THD en un paquete económico.

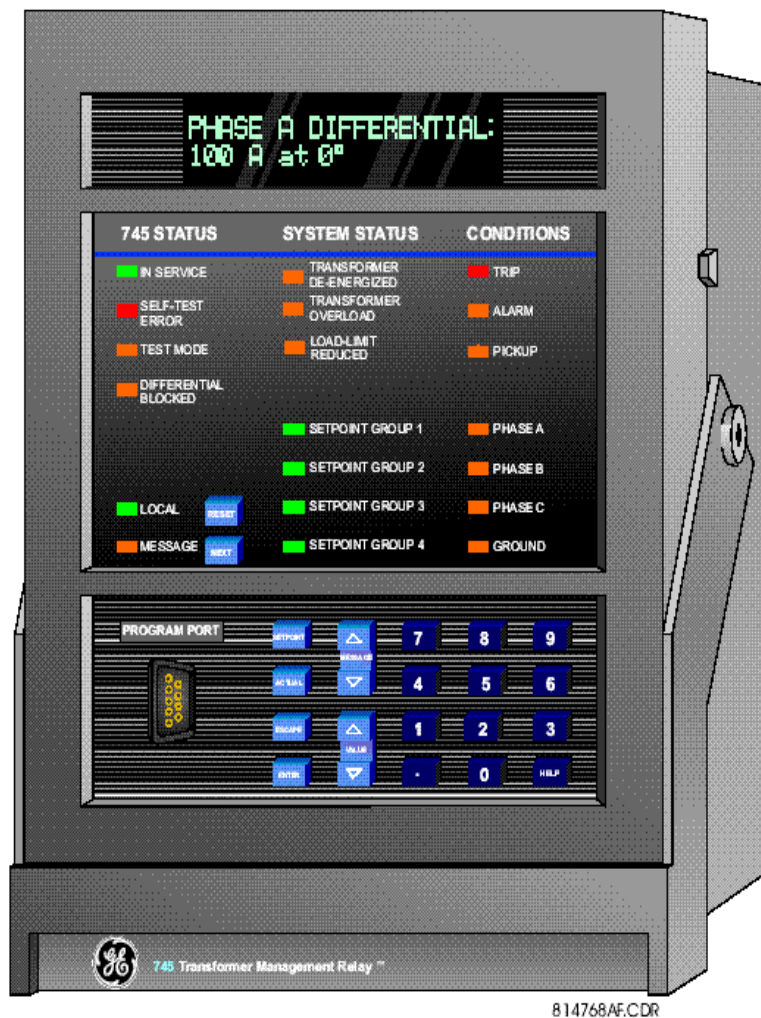


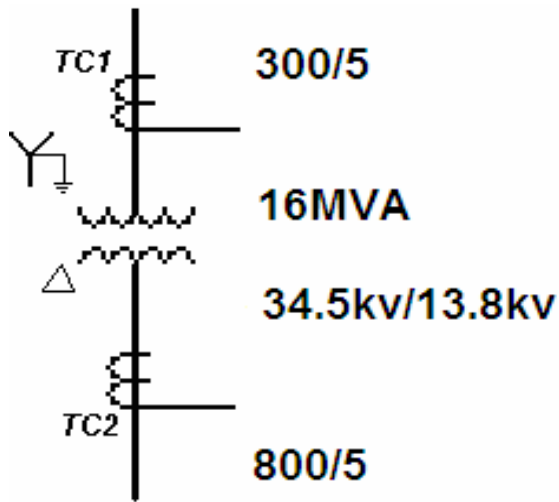
Fig.1.11



El relé proporciona una variedad de características adaptativas de relevación:

- Restricción adaptativa armónica que trata el problema de disparos falsos durante la irrupción.
- Los elementos adoptivos de sobrecorriente de tiempo que ajustarán su configuración de captación basados en la capacidad calculada del transformador cuando se suministran corrientes de carga con contenido armónico alto.
- Grupos múltiples de ajuste de puntos que le permiten al usuario entrar y seleccionar dinámicamente de entre más de cuatro grupos de ajustes de relé, para dirigir los requerimientos de protección de las diversas configuraciones del sistema de energía.
- La corrección del desajuste del Radio TC Dinámico, que monitoriza la posición de derivación de la carga y automáticamente corrige el desajuste del radio de TC (Transformador de Corriente)
- FlexLogic™ que permite ecuaciones de estilo PLC basado en las entradas lógicas y los elementos de protección que serán asignados a cualquiera de las 745 salidas.

El 745 también incluye una poderosa característica de simulación y prueba. Lo que le permite al ingeniero de pruebas, probar la operación del relé, basado en los datos en forma de onda capturados o generados por una computadora que pueden ser convertidos a un formato digital y descargados en la memoria “buffer” de Simu. El 745 también proporciona su propia función de captura en forma de onda que registra los datos en busca de condiciones de falla, de irrupción o de alarma. La función del auto configuración elimina la necesidad de cualquier conexión especial TC mediante la conexión en estrella de todos los CTs. Acción del 745 para su reproducción.



Ajuste a la protección diferencial a transformadores.

$$(1) I_{n_{alta}} = \frac{16\text{MVA}}{\sqrt{3} * 0.0345} = 267\text{A}$$

Por tanto el que se toma es TC1=300

TC Transformador de corriente

$$(2) I_{n_{baja}} = \frac{16\text{MVA}}{\sqrt{3} * 0.0138} = 670\text{A}$$

Por tanto el que se toma es TC2=800

$$(3) \text{ Margen de error (34.5)} = \frac{300}{267} = 1.12$$

$$(4) \text{ Margen de error (13.8)} = \frac{800}{670} = 1.19$$



(5) Para la realización de estos cálculos tomamos como referencia el TC1 o enrollado secundario de transformador

$$(6) \text{ Por tanto } M1 = \frac{1.12}{1.19} = 0.94$$

(7) Por tanto $M2 = 1$ (porque este enrollado fue tomado como referencia).

Esto es lo que normalmente denominamos como la compensación de magnitud que tiene el relé.

Por ejemplo si la carga real fuera de 258.4A por alta y de 647A por baja.

$$\frac{258.4}{60} * 0.94 = 4.04$$

$$\frac{647}{160} * 1 = 4.04$$

Por tanto la corriente diferencial $I_{Dif} = 4.04 - 4.04 = 0$

(8) Otro método que es el llamado por unidad (p.u).

$$I_{1sec} = \frac{258.4}{60} = 4.3$$

$$I_{2sec} = \frac{647}{160} = 4.04$$

(9) Corrientes compensadas.

$$I_{1comp} = \frac{258.4}{60} * 0.94 = 4.04 \text{ p.u}$$

$$I_{2comp} = \frac{647}{160} * 1 = 4.04 \text{ p.u}$$



Corriente diferencial: $I_{Dif} = 4.04 - 4.04 = 0 \text{ p.u}$

Corriente de restricción.

(10)

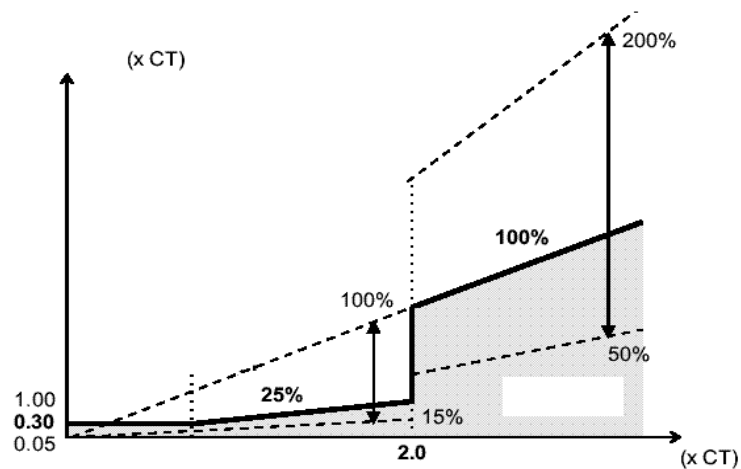


Fig.1.12 Curva del relé 745.

B1: Este ajuste corresponde al valor máximo de la operación lineal de los TCs.

(11) Error en los TCs: el error en los TCs es de $\pm 10\%$

+ 10% TC1= 27.2A, por tanto $272+27.2=299.2A$

- 10% TC2= 67A, por tanto $670 - 67=603.066A$

Referido a valores por unidad (p.u):

$$299.2 * \frac{0.94}{60} = 4.68 p.u$$



$$603 * \frac{1}{160} = 3.76 p.u$$

Por tanto la corriente diferencial = $4.68 - 3.76 = 0.92 p.u.$

(12) El cambio de tab. de los transformadores de fuerza pudiera adicionar otro 10% del error.

Por tanto el mínimo pick up = $0.92 + 0.1 = 1.02 p.u.$

(13) Slope1: S1

➤ $I_D = 0.92$

➤ Corriente de restricción $I_r = 4.68$

➤ Slope1: $\frac{I_d}{I_r} * 10\% = 18\%$

Se adiciona un 5% como margen de seguridad.

Por tanto $S1 = 18\% + 5\% = 23\%$

Un valor típico para la primera pendiente es de 25%.



(14)

Break point 1= B1

Es escogido como B1 el error en magnitud que introducen los TCs, en este caso es de 0.94 p.u. Un valor típico usado es 2.00 p.u.

Este ajuste debe ser lo suficientemente alto para contrarrestar la corriente diferencial causada por la saturación de los TCs.

Un valor típico es S2 = 100%

Valores calculados para los ajustes.

- Percent differential pick up = $0.9 * 800 = 720A$ corriente diferencial.
- Percent defferential kneepoint = $2 * 800 = 1600A$ corriente de restricción.
- Slope 1 = 25% (0.25).
- Slope 2 = 100% (1.00).



Conclusiones

- Se caracterizó la subestación eléctrica de La Pasa.
- Se seleccionó el software para realizar los cálculos de cortocircuito y se creó el monolineal.
- Se calcularon los valores de corriente de cortocircuito para los diferentes valores de cogeneración.
- Se realizó el ajuste de las protecciones para los nuevos cálculos realizados.





Capítulo III. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON SU VALORACIÓN ECONÓMICA.

Introducción.

Los cálculos ingenieriles aplicados en este trabajo se enfocaron principalmente en ajustar los parámetros de los dispositivos de protección ya existentes en la subestación de La Pasa, por lo que la valoración económica se enfoca preferentemente en el aporte social, al valorar la importancia de evitar la desconexión por tiempos extensos debido a fallas severas.



3.1 Valoración técnico-económica del proyecto.

Pertenecen a los índices técnicos: la confiabilidad, la comodidad de explotación, duración de la protección y el grado de automatización. Los índices económicos fundamentales son las inversiones capitales o de compra y los gastos por concepto de reparación.

Los índices de producción inicial en la mayoría de los casos son decisivos en los cálculos técnicos económicos. Como ya se describió en el inicio del trabajo la situación problemática, son los constantes déficit de cogeneración y las variaciones constantes de las cargas en la empresa del níquel René Ramos Latour de Nicaro.

3.2 Valoración económica

Por la parte económica debemos tener en cuenta que en una hora de paro por una desconexión realizada por los dispositivos puede traer como consecuencia la pérdida de 5 toneladas de mineral. Esto desde el punto de vista económico se puede clasificar como de muy perjudicial ya que una tonelada de mineral en estos momentos oscila alrededor de los 11880 dólares, por lo tanto las pérdidas en la producción después de un paro de una hora como mínimo serían de aproximadamente 59400 dólares.

Por este motivo, cada cierto tiempo como medida de prevención se debe llevar a cabo una revisión de los ajustes de las protecciones, así como su funcionamiento.



3.3 Ventajas del estudio realizado.

- La mayoría de las operaciones son realizadas por la PC, entre las que están el monitoreo y cálculo de todas las variables que se necesitara para el estudio que se realizó.
- Visualización instantánea de los resultados con un entorno gráfico confortable.
- Los resultados periódicos de las magnitudes se pueden obtener con intervalo de tiempo similar a otros programas.
- Para el trabajo con un software de grandes potencialidades como es el caso del EASY POWER con sus excelentes condiciones de opciones de modelación, sobre la base de la modelación de circuitos monolineales para el cálculo de un conjunto de variables.
- El costo de la aplicación si se compara con dispositivos más antiguos pueden ser menos fiable para un monitoreo seguro en la producción.



Conclusiones.

Las protecciones son muy útiles, pero a la vez pueden causar problemas al sistema eléctrico. Una protección mal ajustada, calibrada o seleccionada puede separar parte del sistema eléctrico de forma errónea, sin que haya ocurrido ningún fallo y a esto se le denomina Falsas Operaciones de las Protecciones. Muchas veces, debido al temor de la ocurrencia de falsas operaciones muchos elementos dejan de ser protegidos contra un determinado tipo de defecto que no es muy frecuente en ellos. El trabajo del especialista en protecciones es muy difícil, en primer lugar, una protección puede haber estado mal seleccionada o ajustada durante todo el tiempo, pero es que han pasado 20 años y nunca a operado, ni mal ni bien, esto son los momentos más difíciles y se necesita de mucho conocimiento de los regímenes de operación de los sistemas eléctricos para demostrar su posible mala operación. El objetivo de este capítulo como se puede observar fue cumplido ya que se ajustaron correctamente la protecciones.





Conclusiones generales.

- Se realizó un resumen de los principales fundamentos teóricos necesarios para realizar el trabajo.
- Se describió el esquema monolineal del circuito de protección de la subestación.
- Se calcularon los parámetros de cortocircuito para los diferentes niveles de cogeneración.
- Se reajustaron las protecciones ya incluidas dentro del circuito para los nuevos valores de carga.
- Se evaluó el aporte técnico económico del estudio para la entidad.



Recomendaciones.

Tomando en consideración la situación existente en dicha empresa se debe tener en cuenta que:

- Los dispositivos de protección deben cumplir con toda la metodología que se abordó a lo largo del capítulo 1.
- Se debe aplicar la metodología llevada a cabo para el cálculo de las corrientes de cortocircuito en un futuro aplicando el ya antes mencionado software Easy Power ya que el brinda una excelente aproximación de los valores reales.
- Las protecciones (Relés) deben ser ajustadas como se explica en el capítulo 2.
- Se lleve a cabo este estudio cada cierto tiempo en la empresa y ponerlo en práctica.



Bibliografía.

Asociación de Estudiantes de Tecnología 1962. Distribution System Protection and Apparatus Coordination.

BARRETO GARCÍA RAFAEL. Cálculo del Cortocircuito La Habana: Editorial Científicas Técnica, 1969.

BOSE B. K. CLIFS, NJ. Power Electronics and AC drives. Englewood, Prentice Hall, 1886.

Bussman ELECTRICAL PROTECTION HANDBOOK.

Colectivo de autores. Protecciones eléctricas en sistemas industriales.

Comisión Federal de Electricidad México. Procedimiento para coordinación de protecciones de sobrecorriente en sistemas de distribución.

DONALD BEEMAN... [et al]. Industrial Power Systems. Handbook La Habana: Instituto Del Libro, 1969.

Fedoseev. Protección por Relés de los Sistemas Eléctrico de Potencia.

Feodorov A., A. Rodríguez. Suministros Eléctricos de Potencia.

GE Consumer & Industrial Multilin. Canada. 750 Feeder Management Relay (Catálogo industrial).



GE Consumer & Industrial Multilin. Canada. Transformer Protection

System (Catálogo industrial).

LLAMO LABORI HECTOR SILVIO. Transmisión de la Energía Eléctrica mediante

la corriente alterna La Habana, ISPJAE. 1985.

Mason R. The Art and Science of Protective Relaying.

Mazorra J. Grionella J. Suministro Eléctrico Industrial.

Orlys Ernesto Torres Breffe. Conferencia de Protecciones Eléctricas.

PELÁEZ GONZÁLEZ ALBERTO. Fallas Asimétricas En Sistemas De Energía

Eléctrica La Habana: Pueblo y Educación, 1986.

STEVENSON WILLIAM. Análisis de los sistemas de potencia La Habana:

Edición Revolucionaria, 1986.

Yordilexis Díaz Aguirre. Leonardo Pelier Samón. Metodología para la selección y

coordinación de protecciones eléctricas.

[http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria eléctrica y electrónica/sistemadistrib](http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria%20el%C3%A9ctrica%20y%20electr%C3%B3nica/sistemadistribucionenergiaelectrica/)

[ucionenergiaelectrica/](http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria%20el%C3%A9ctrica%20y%20electr%C3%B3nica/sistemadistribucionenergiaelectrica/)

<http://es.wikipedia.org/wiki/>

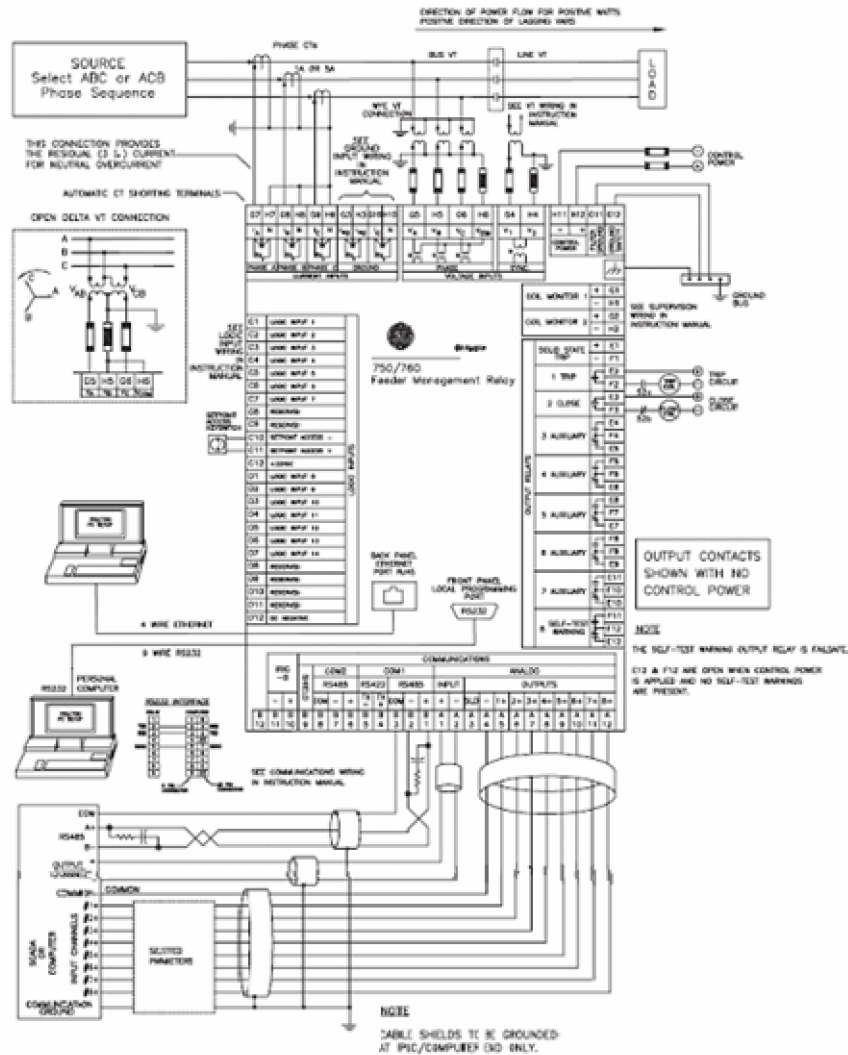


Anexos



Anexo # 1

Diagrama de la instalación eléctrica del SR-750





Anexo # 2

Interfase de conexión de estos relés.

Comunicaciones que usan el Puerto de RS232 Delantero





Anexo # 3

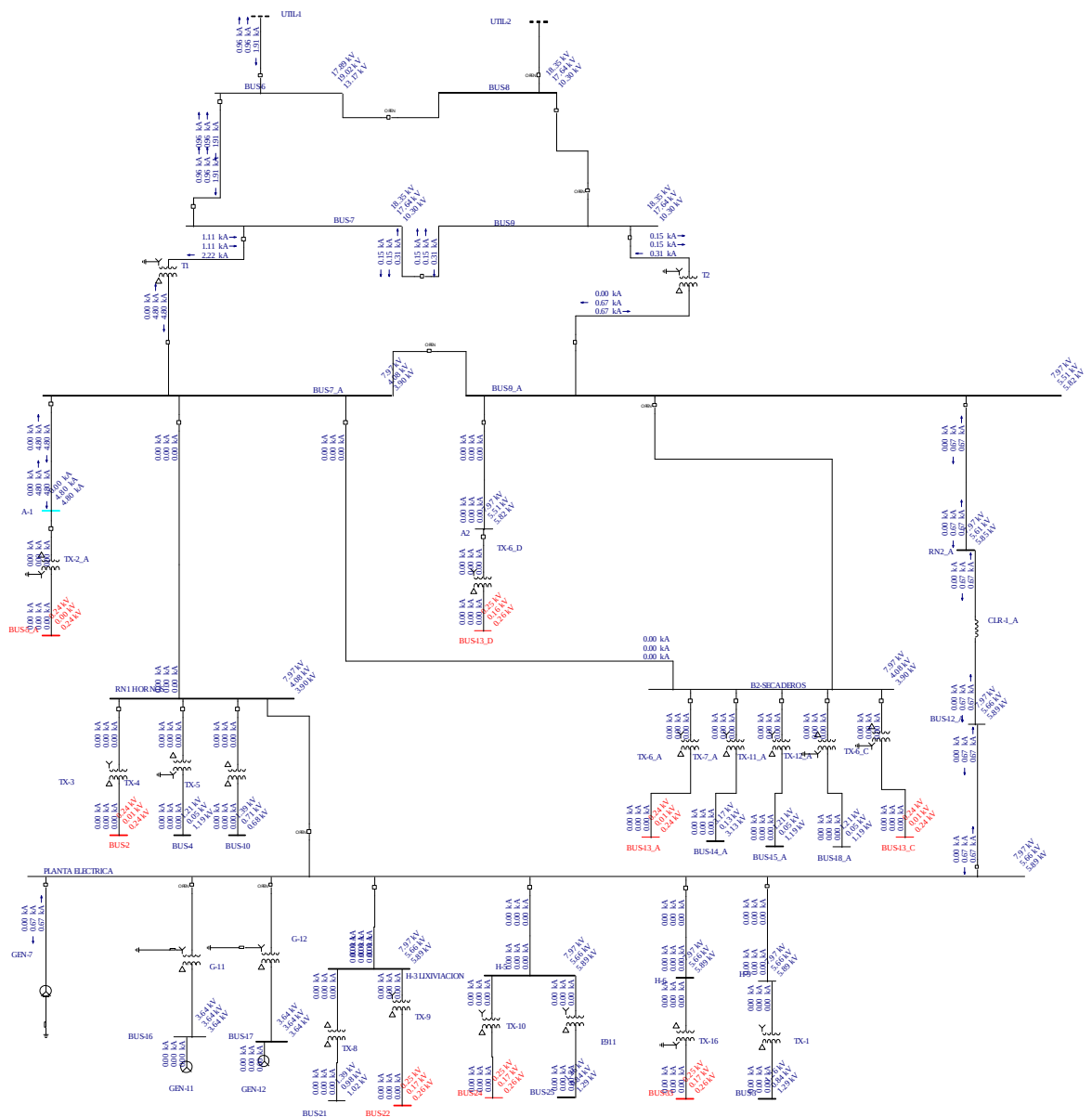
Conexión con el cable de red.





Anexo # 4

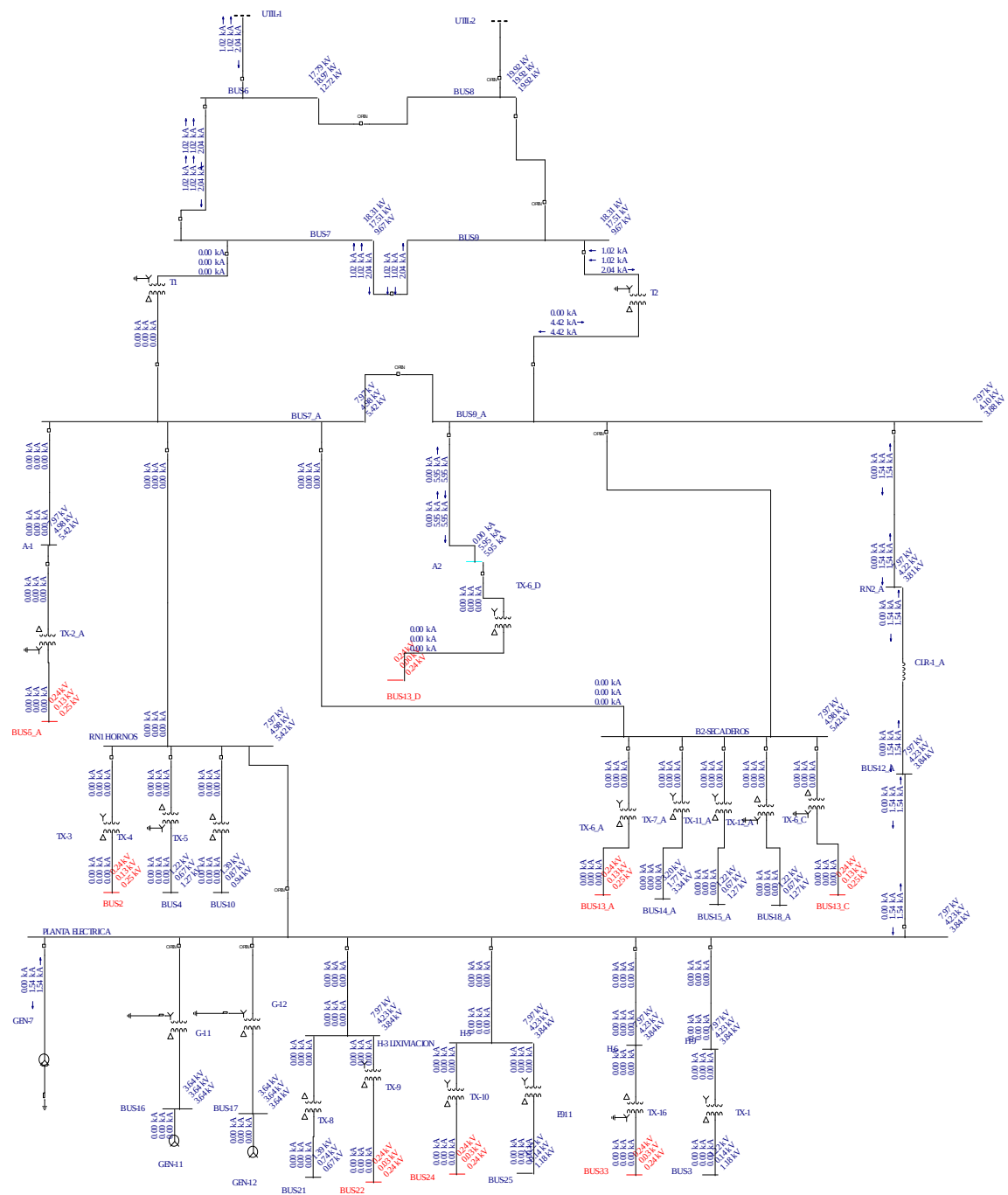
Diagramas monolineales bifásicos mínima con 1 generador en A1





Anexo # 5

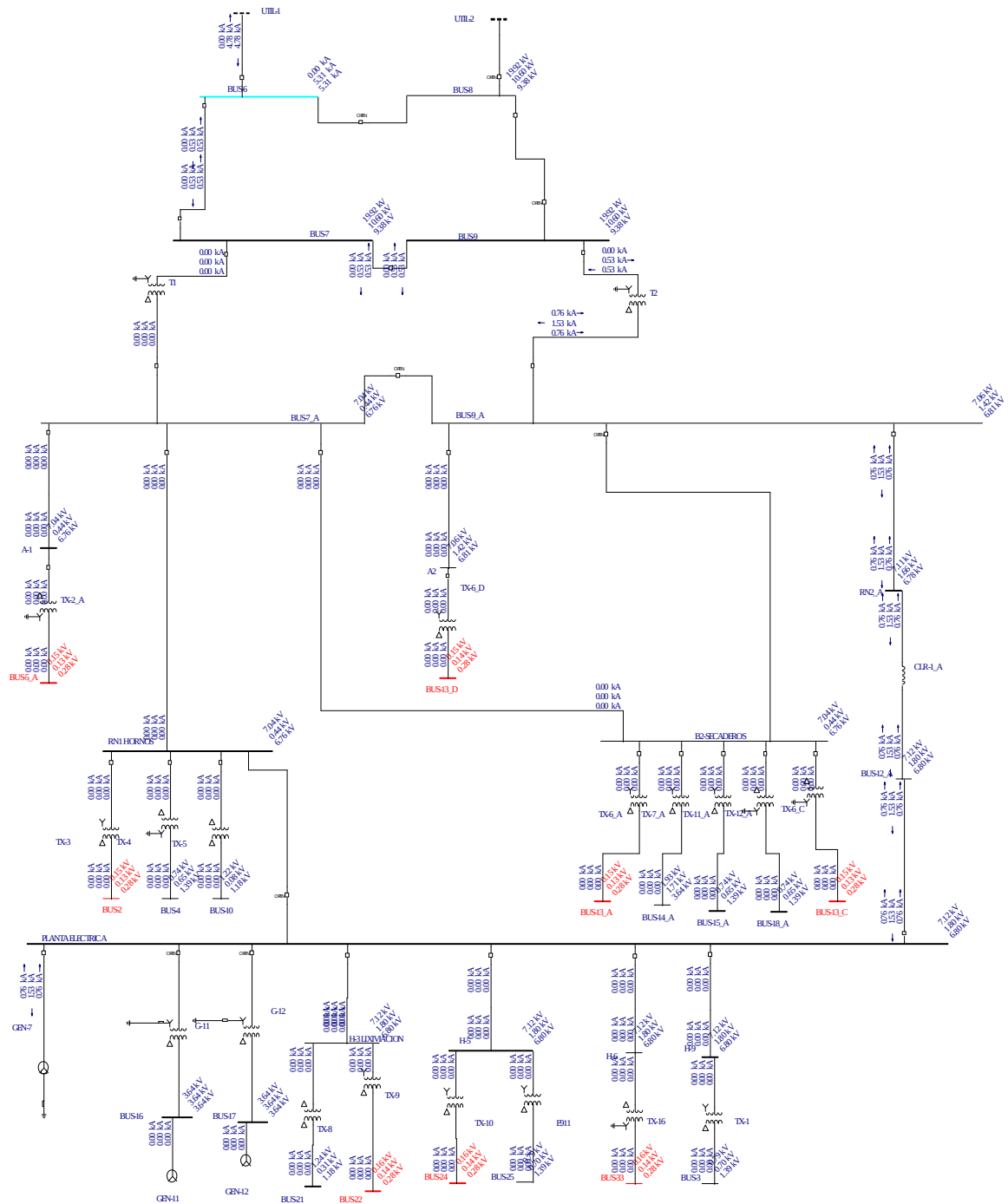
Diagramas monolineales bifásicos mínima con 1 generador en A2





Anexo # 6

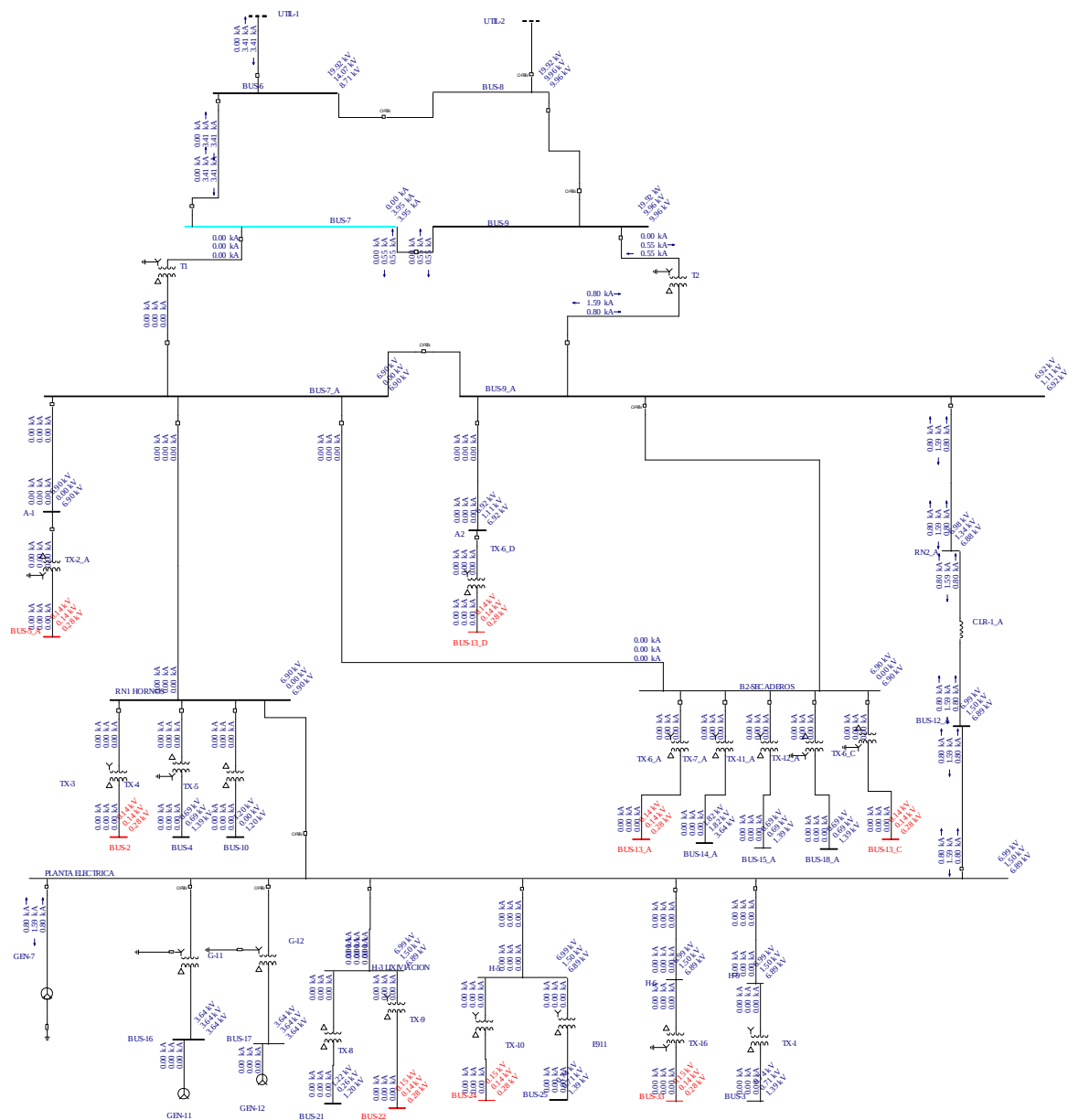
Diagramas monolineales bifásicos mínima con 1 generador en la barra 6.

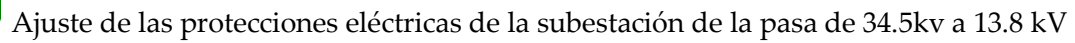




Anexo # 7

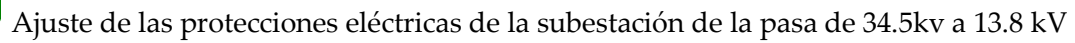
Diagramas monolineales bifásicos mínima con 1 generador en la barra 7.





Diagramas monolineales bifásicos mínima con 1 generador en la barra 7A.





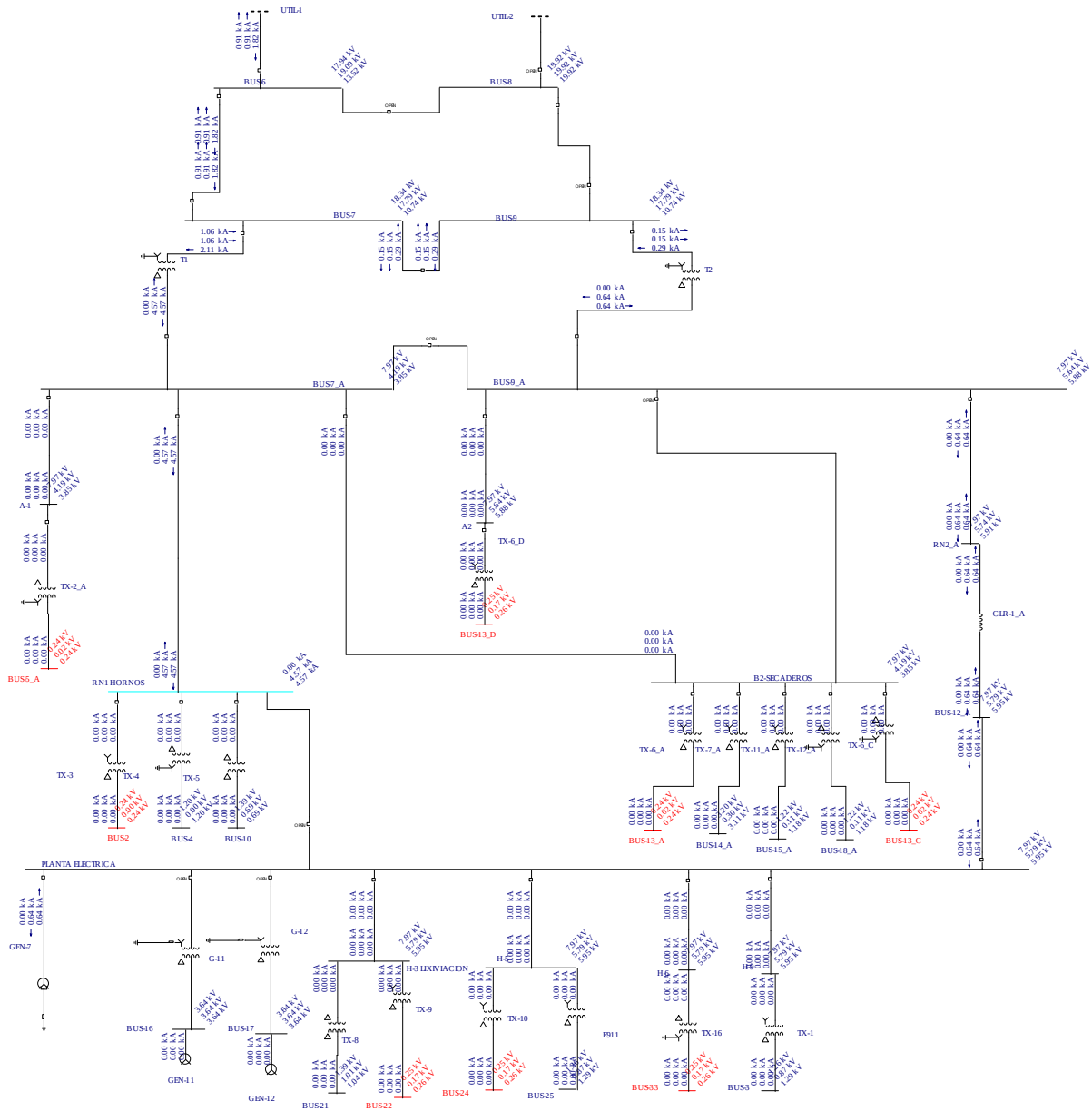
Diagramas monolineales bifásicos mínima con 1 generador en la barra 9A.





Anexo # 10

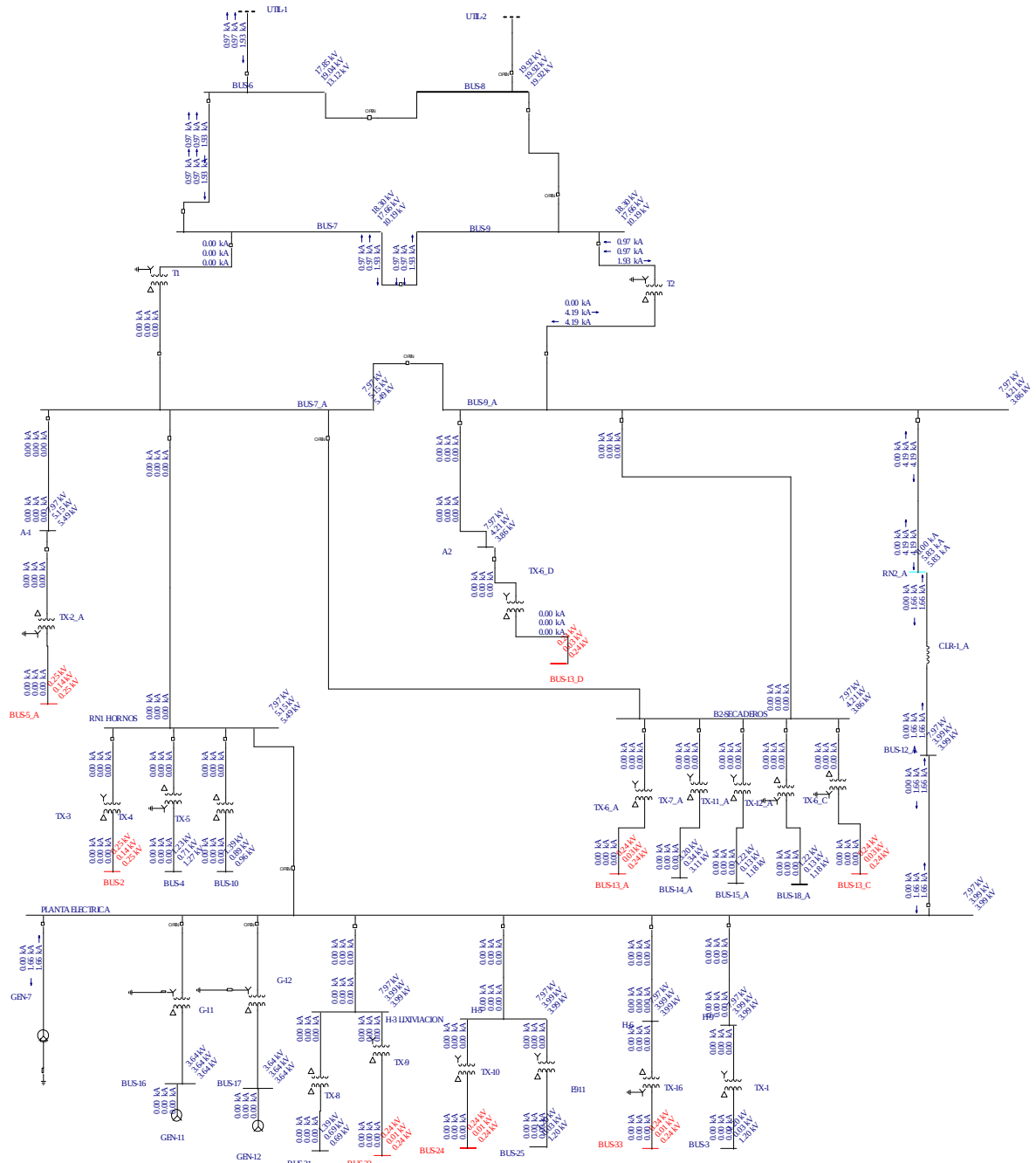
Diagramas monolineales bifásicos mínima con 1 generador en la barra de RN1 de horno.





Anexo # 11

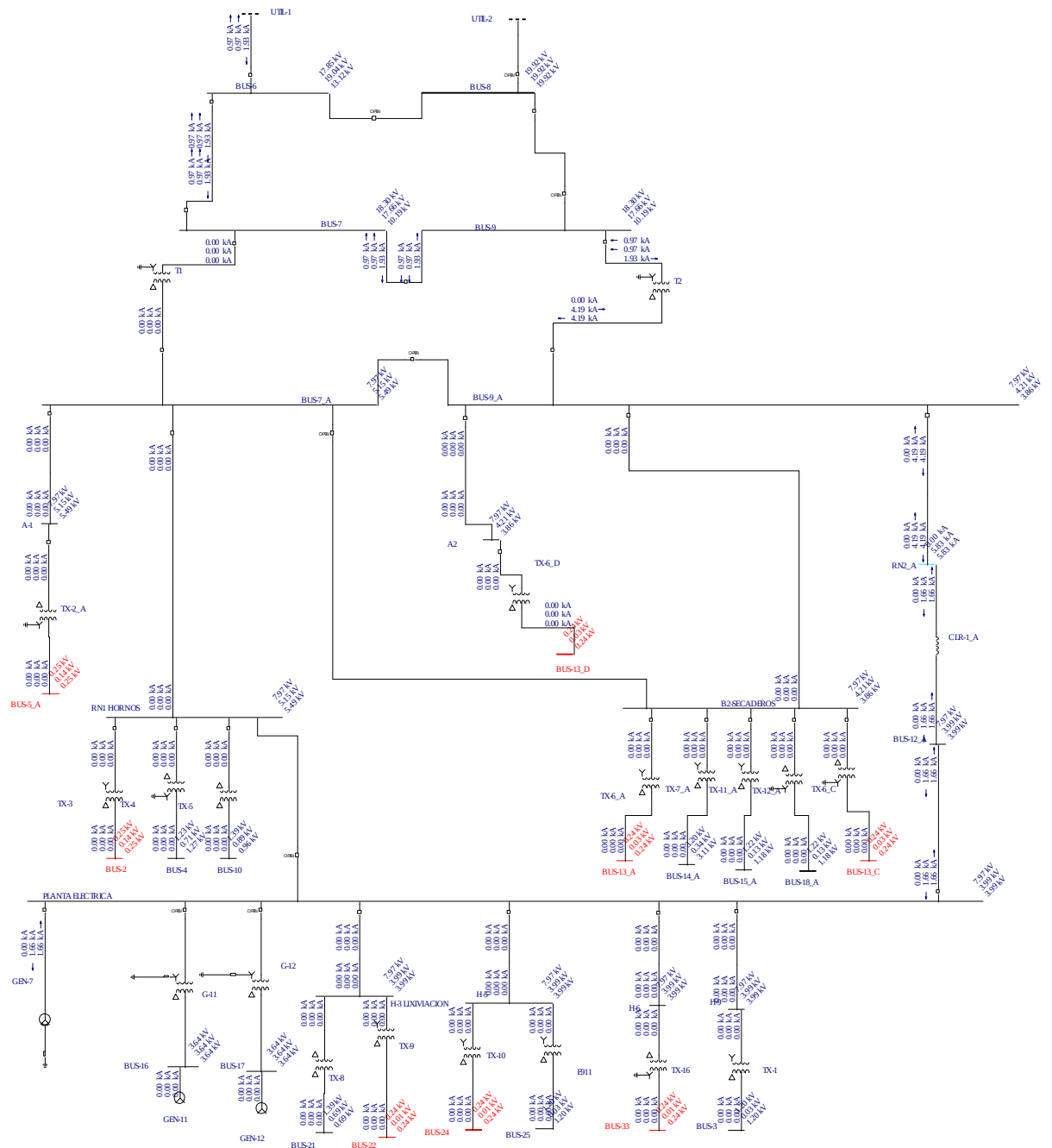
Diagramas monolineales bifásicos mínima con 1 generador en la barra de RN2.





Anexo # 12

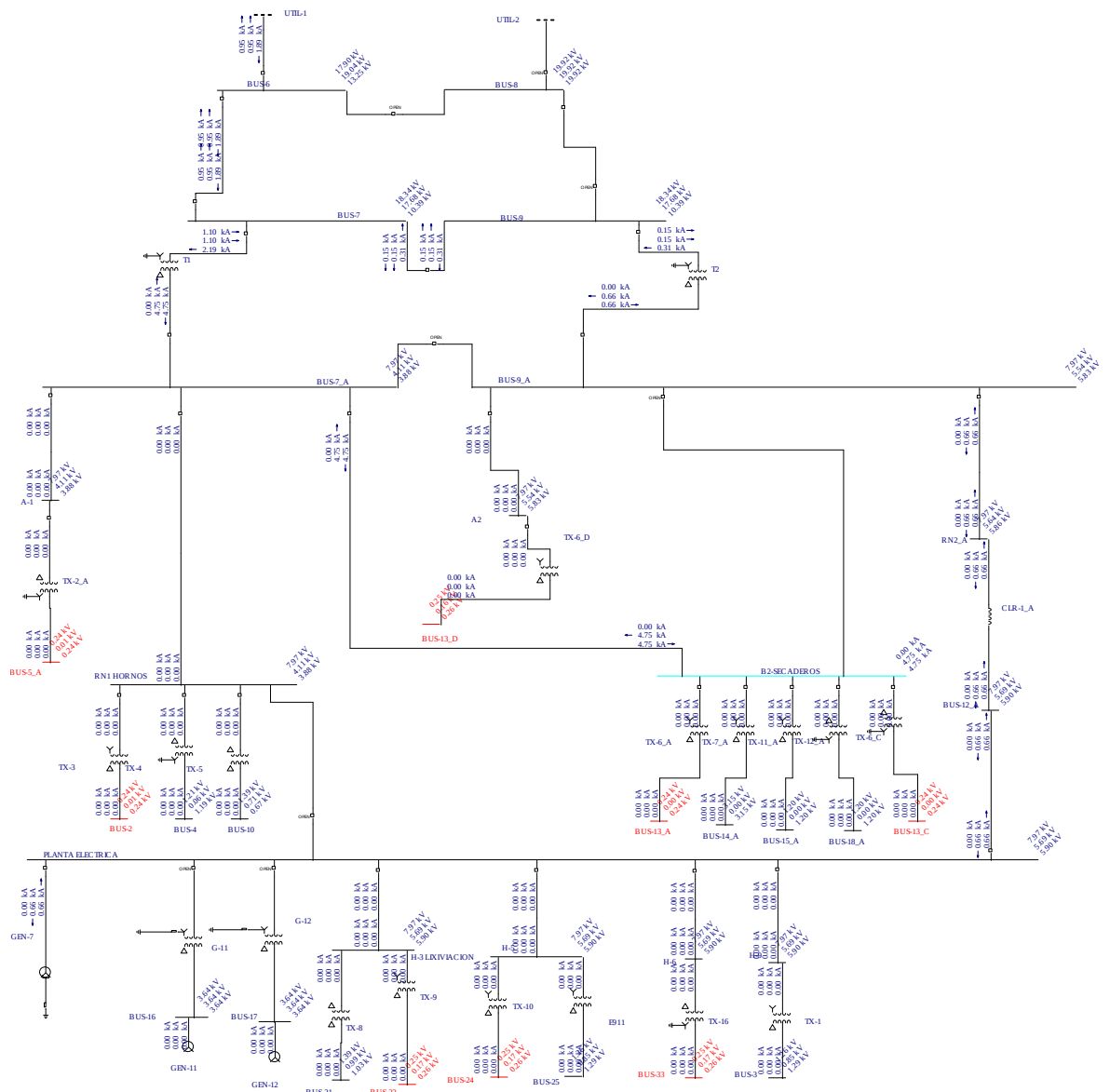
Diagramas monolineales bifásicos mínima con 1 generador en la barra de RN2

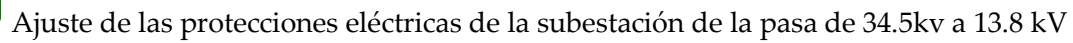




Anexo # 13

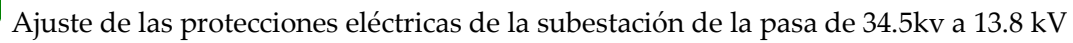
Diagramas monolineales bifásicos mínima con 1 generador en la barra de secadero





Diagramas monolineales bifásicos mínima con 1 generador en la barra de secadero barra 2





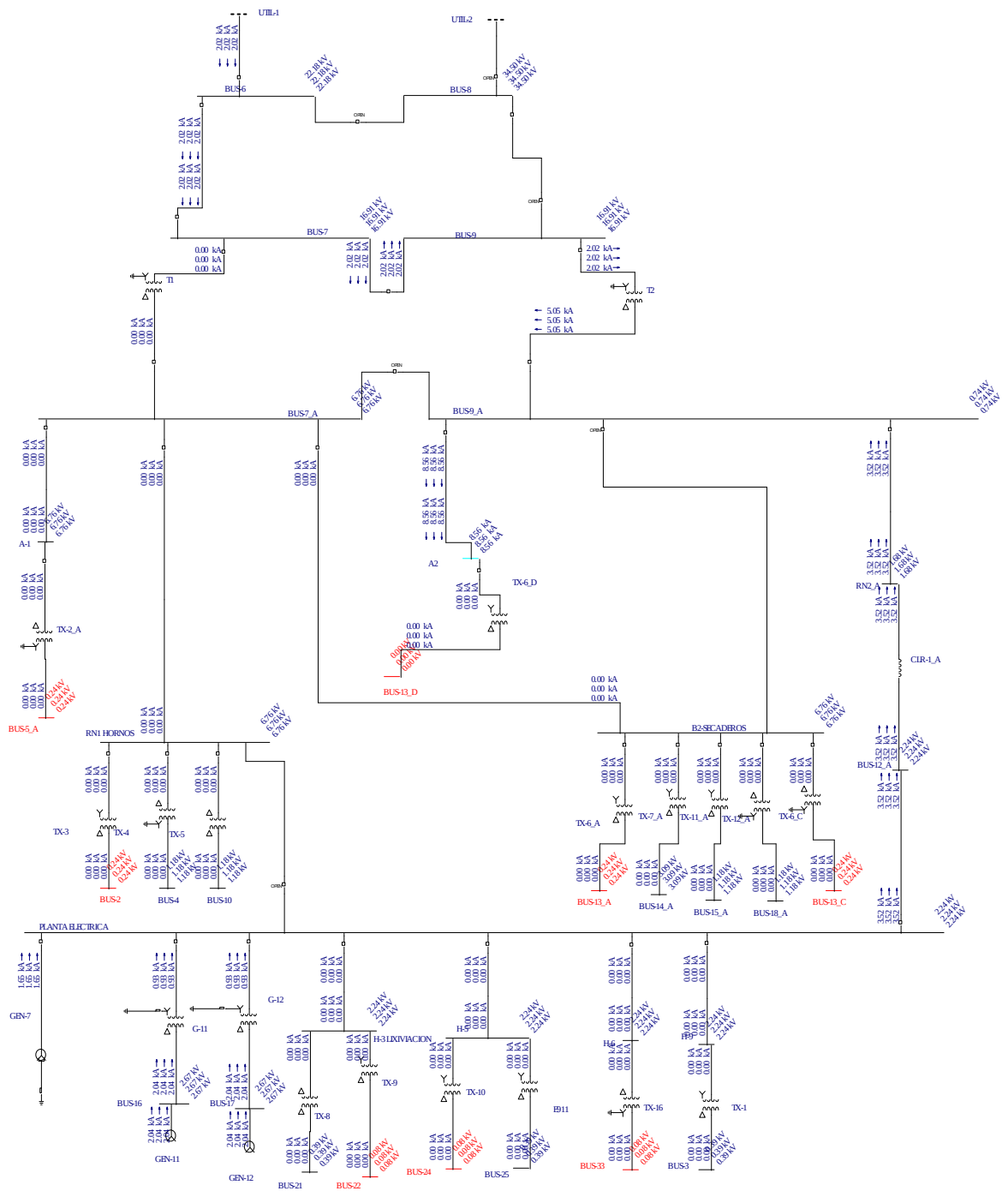
Diagramas monolineales trifásicos máximos con 3 generadores en la barra A1.





Anexo # 16

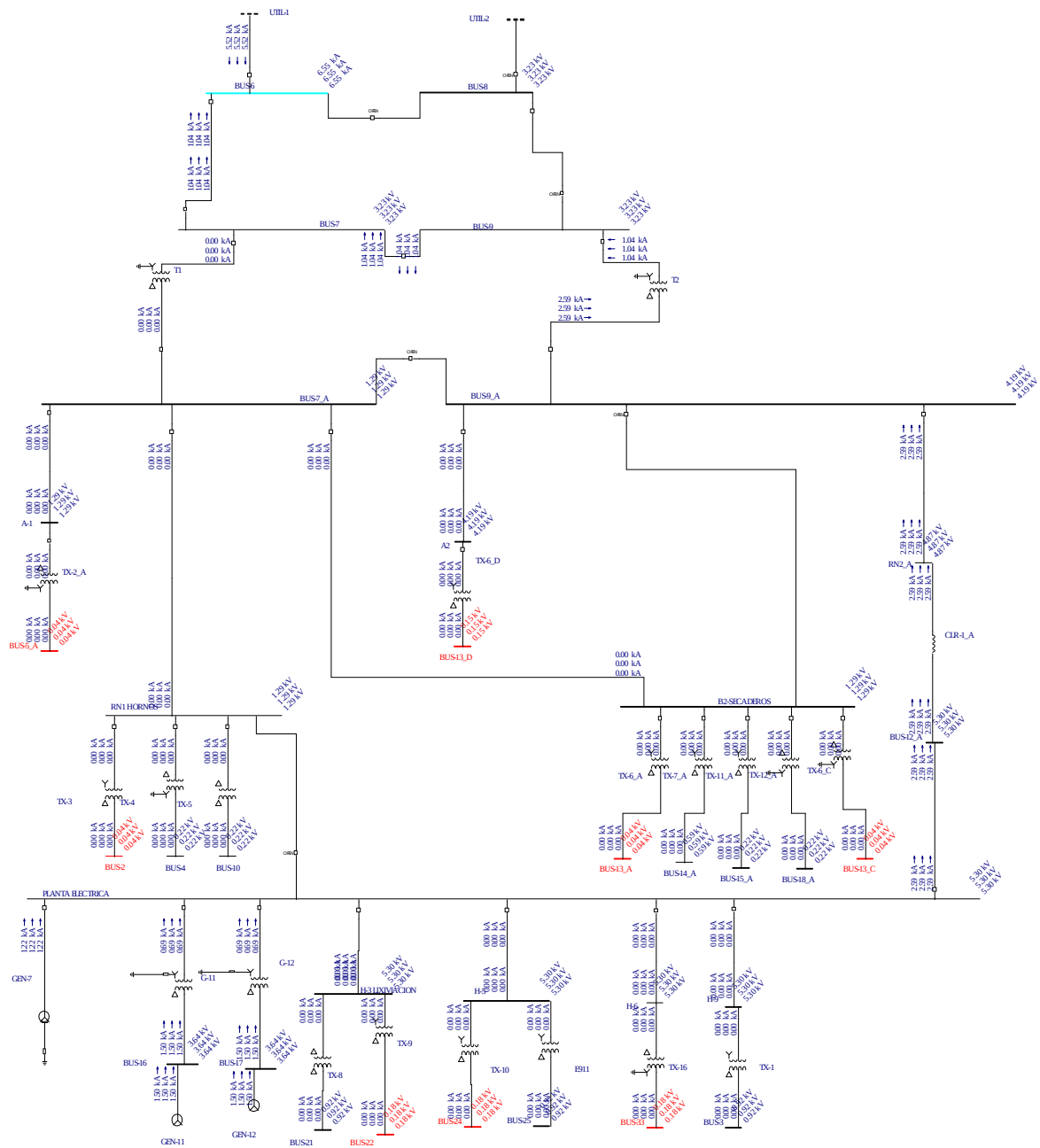
Diagramas monolineales trifásicos máximos con 3 generadores en la barra A2.





Anexo # 17

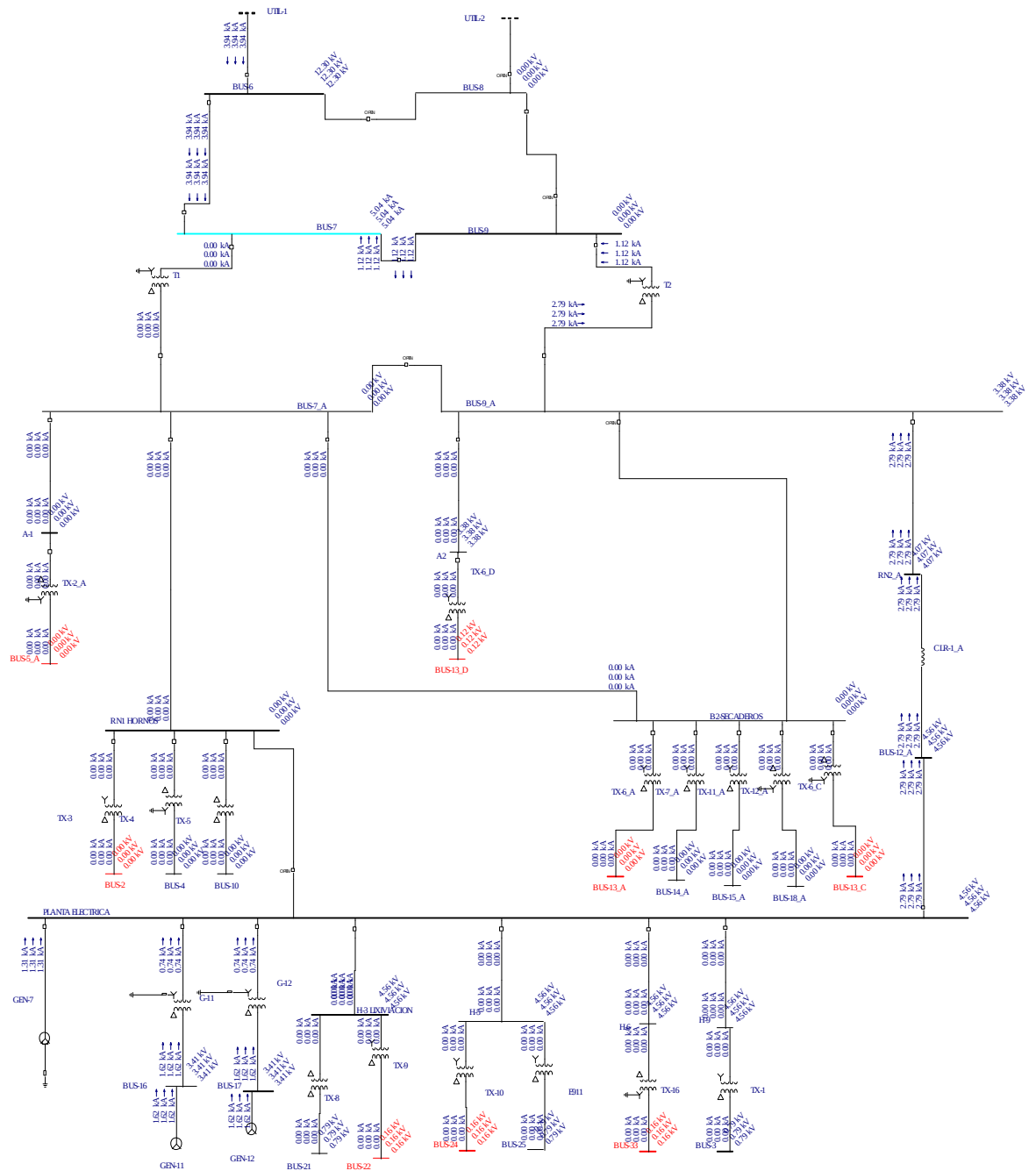
Diagramas monolineales trifásicos máximos con 3 generadores en la barra 6





Anexo # 18

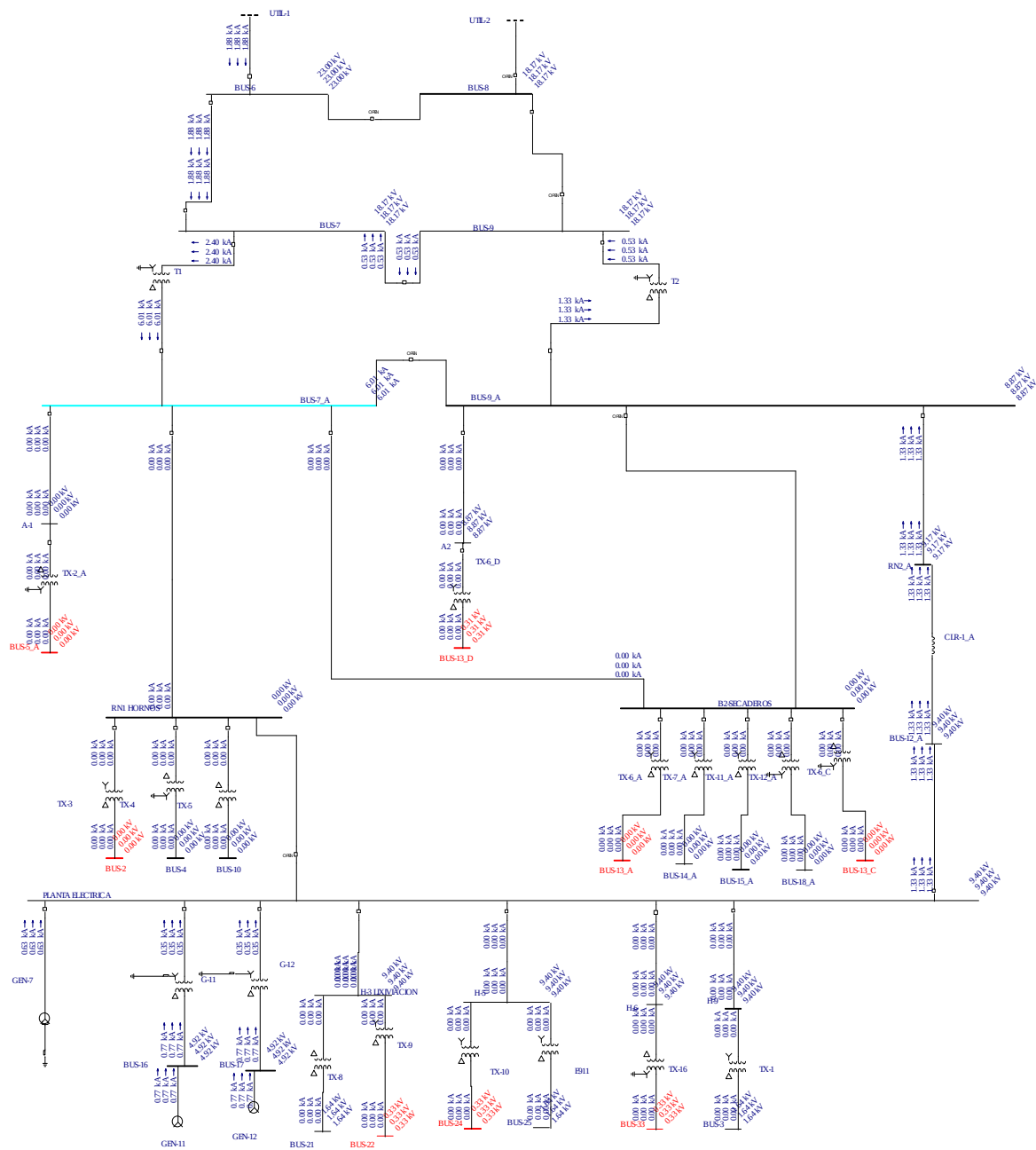
Diagramas monolineales trifásicos máximos con 3 generadores en la barra 7





Anexo # 19

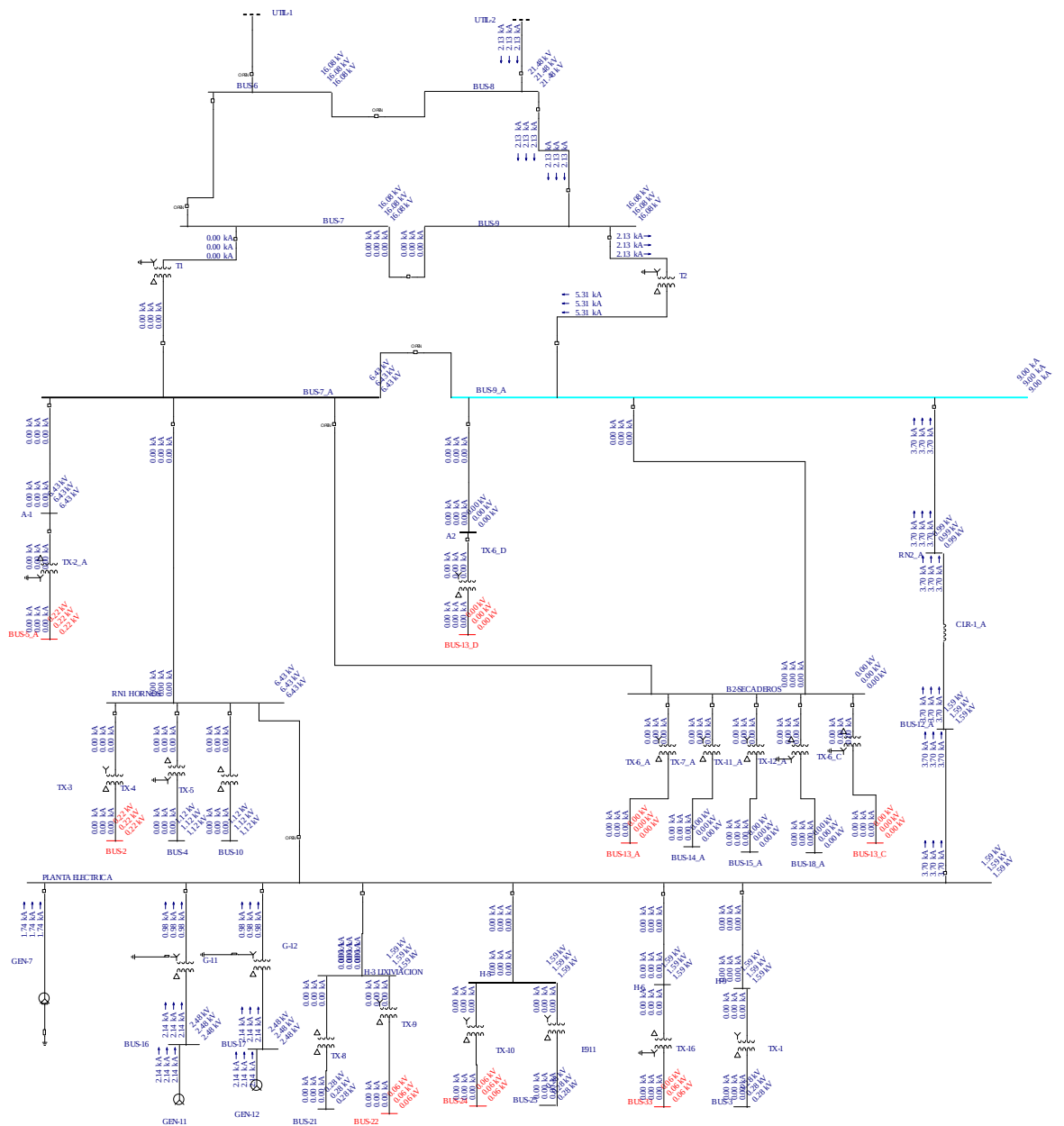
Diagramas monolineales trifásicos máximos con 3 generadores en la barra 7A.





Anexo # 20

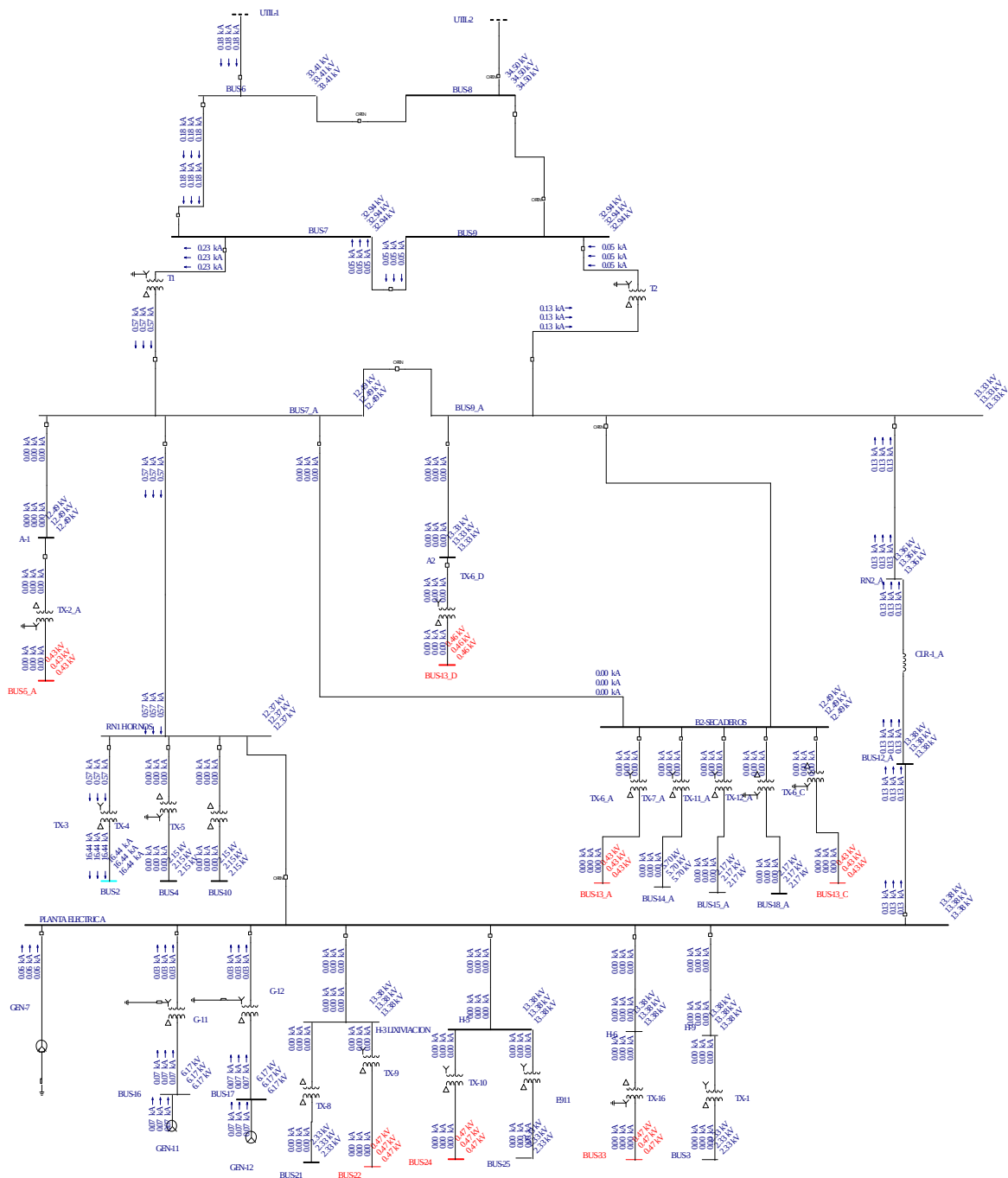
Diagramas monolineales trifásicos máximos con 3 generadores en la barra 9A.





Anexo # 21

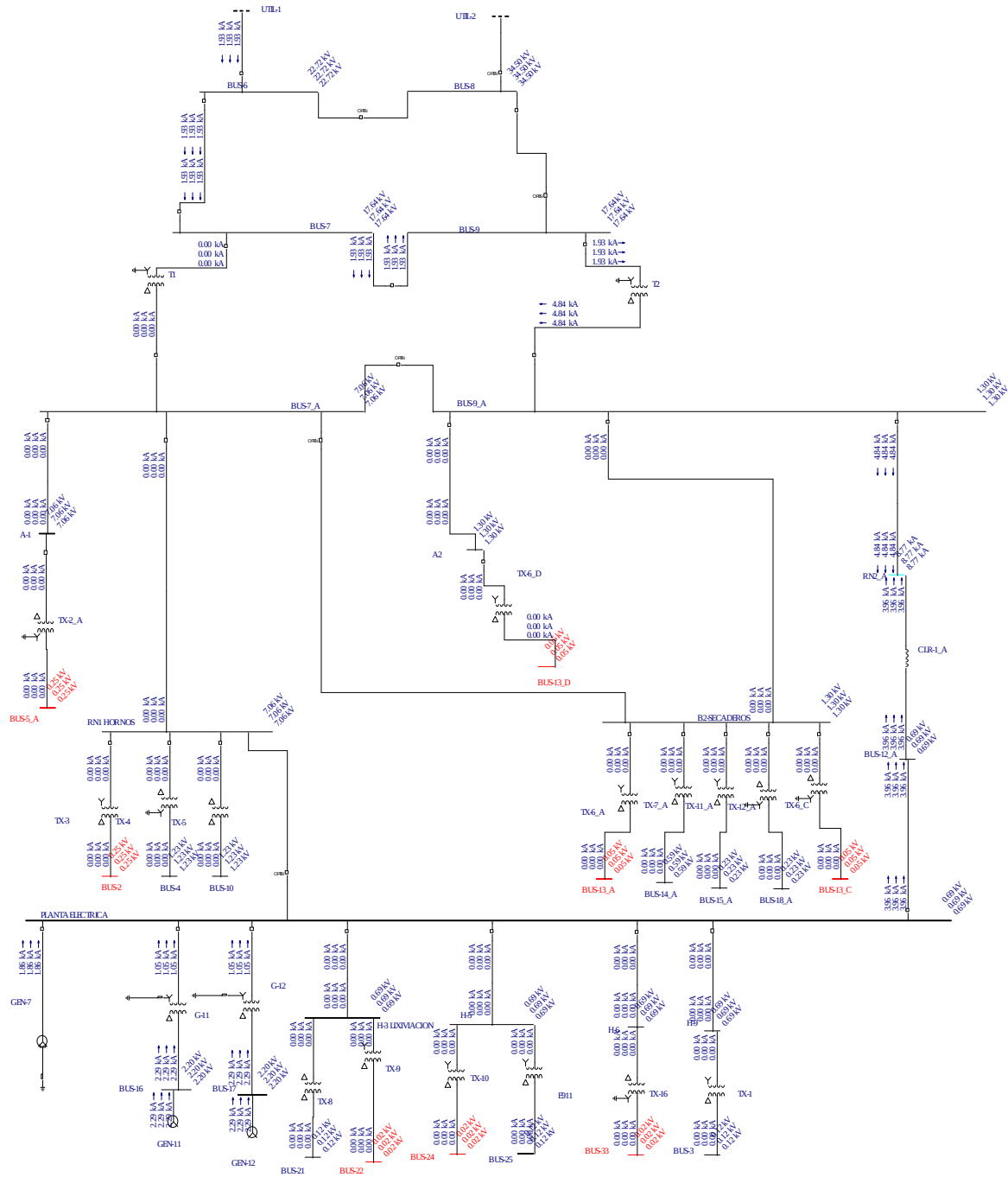
Diagramas monolineales trifásicos máximos con 3 generadores en la barra RN1 de horno.





Anexo # 22

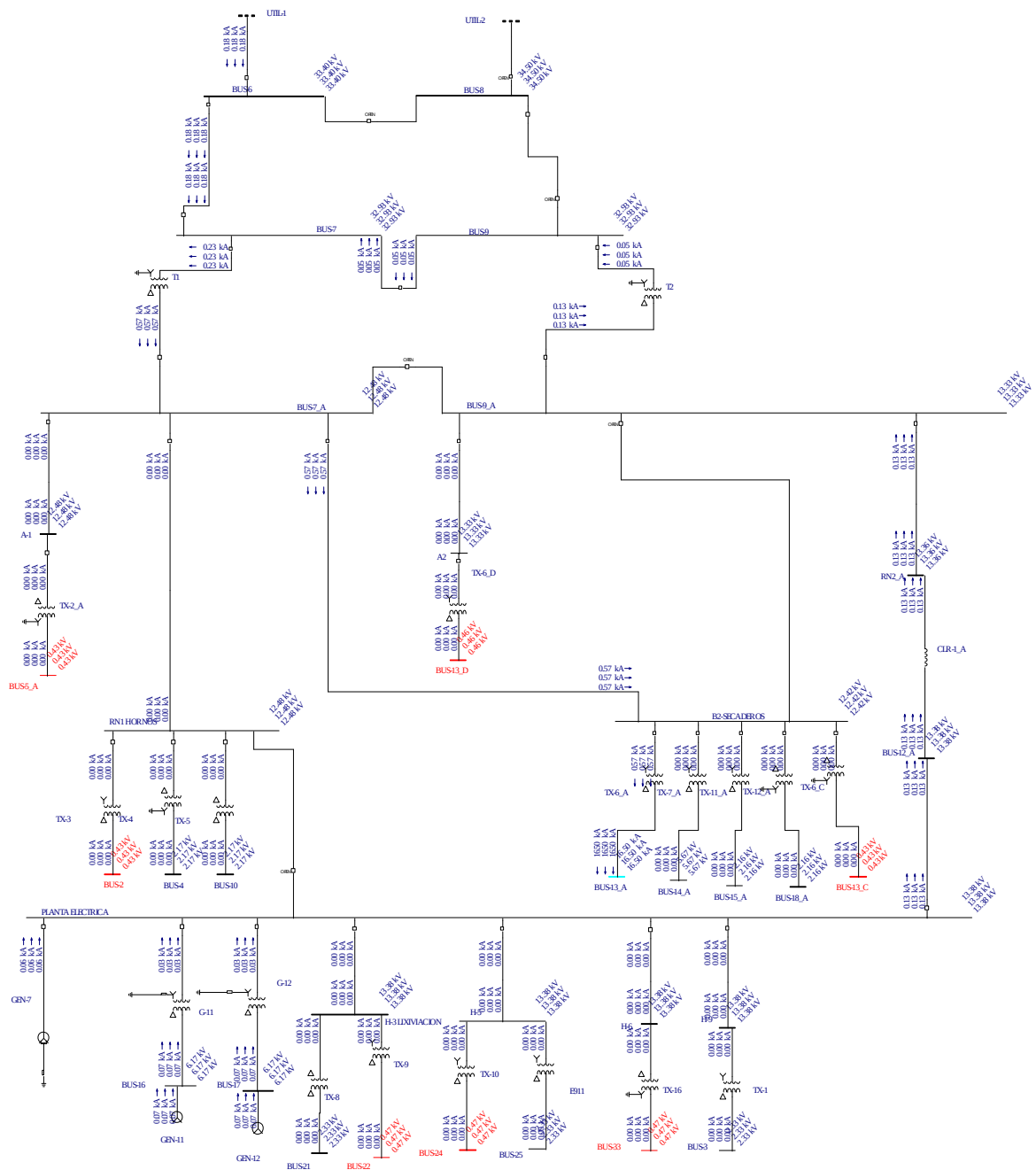
Diagramas monolineales trifásicos máximos con 3 generadores en la barra RN2.





Anexo # 23

Diagramas monolineales trifásicos máximos con 3 generadores en la barra de secadero.





Ajuste de las protecciones eléctricas de la subestación de la pasa de 34.5kv a 13.8 kV

Anexo # 24

Diagramas monolineales trifásicos máximos con 3 generadores en la barra de secadero 2.

