



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ**

**INGENIERIA ELECTRICA**

**REPORTE DE RESIDENCIA**

**DISEÑO DE LA RED DE LOS SERVICIOS PROPIOS DE LA C.H. MALPASO  
POR MEDIO DEL SOFTWARE EASYPower**

**ASESOR INTERNO**

**M.C. KARLOS VELAZQUEZ MORENO**

**ASESOR EXTERNO**

**ING. VICTOR HUGO GARCÍA KASSAB**

**ALUMNOS**

**GEOVANNI EUGENIO MOLINA LÓPEZ**

**RODRIGO SÁNCHEZ CRUZ**

**TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS, AGOSTO 2016**

<b>Índice</b>	<b>Pág.</b>
1. Introducción.....	4
1.1 Antecedentes .....	4
1.2 Estado del Arte.....	5
1.3 Justificación .....	5
1.4 Objetivo .....	6
1.5 Metodología .....	6
2. Fundamento Teórico .....	7
2.1 Central Hidroeléctrica Malpaso .....	7
2.2 Partes Principales de una Central Hidroeléctrica.....	10
2.3 Fallas en un Sistema Eléctrico .....	11
2.4 Protecciones Eléctricas.....	13
2.5 Fusibles.....	16
2.5.1. Clasificación de los fusibles .....	18
2.6 Relevadores de Protección.....	26
2.6.1 Protección Principal y de Respaldo .....	29
2.7 Interruptores Termo-magnéticos y Electromagnéticos.....	30
2.8 Transformadores de Instrumentos .....	32
2.8.1 Transformadores de Corriente .....	32
2.8.2 Transformadores de Tensión.....	35
2.9 EasyPower.....	38
2.10 Coordinación de Protecciones .....	41
2.10.1 Coordinación Fusible-Relevador.....	41
2.10.2 Coordinación Relevador-Fusible.....	43
2.10.3 Coordinación Fusible-Fusible .....	44
2.10.4 Coordinación Fusible-Interruptor.....	44
2.10.5 Coordinación Relevador-Relevador .....	45
3. Desarrollo .....	45
3.1 Levantamiento en campo de la base de datos (Equipo eléctrico primario, equipo de protecciones y ajustes actuales) .....	45

3.2 Carga en EasyPower de la base de datos (Equipo eléctrico primario, equipo de protecciones y ajustes actuales) .....	49
4. Resultados y conclusiones .....	65
4.1 Resultados .....	65
4.2 Conclusiones.....	83
5 Referencias .....	83
Anexo A.....	84

# 1. Introducción

## 1.1 Antecedentes

El objetivo principal y primordial de todos los sistemas de potencia es mantener en un alto nivel el suministro eléctrico a la red y cuando ocurren condiciones intolerables, reducir los cortes del suministro. Las fallas en los sistemas eléctricos de potencia son inevitables, estas fallas pueden ocurrir por diferentes factores como el desgaste natural del aislamiento del equipo, errores humanos de instalación.

Un corto circuito puede no solo destruir el elemento donde ocurrió la falla sino producir la pérdida de estabilidad del sistema e incluso la destrucción de otros elementos del sistema, de ahí surge la necesidad de un sistema que trabaje junto con el sistema eléctrico y que desconecte rápidamente el elemento donde ocurrió la falla. Este sistema es conocido como protecciones eléctricas y debe accionarse solo cuando ocurre una falla y no debe influir con la operación normal del sistema eléctrico.

La prevención de una lesión o pérdida humana es el objetivo más importante de un sistema de protección, la seguridad del trabajador tiene prioridad aun por encima del equipo o maquinaria, por lo que es muy importante seleccionar un equipo de protección con una capacidad de interrupción adecuada para no exponer al personal a descargas eléctricas, arcos, fuego, explosiones, etc. que puedan lesionar o peor aún producir la muerte en un trabajador.

Un dispositivo de protección también debe tener la capacidad de actuar con rapidez y efectividad ante una falla, asimismo debe ser capaz de minimizar los daños al equipo y aislar la parte afectada por la falla, para impedir que la falla se propague por todo el sistema eléctrico, y de esta manera evitar que los daños sean de grandes magnitudes.

Existen una gran variedad de dispositivos de protecciones para un sistema eléctrico. Estos dispositivos tienen una misma finalidad el cual es proteger los equipos que integran una red eléctrica. Para evitar una condición de operación anormal del sistema se emplea la coordinación de protecciones, cuya característica principal es hacer más seguro y eficiente el sistema de protección, mediante el arreglo y combinación de diferentes dispositivos de protección para detectar y liberar una falla en el menor tiempo posible.

La coordinación de protecciones consiste en ajustar los dispositivos de protección para que sean selectivos, es decir que solo debe operar el dispositivo de protección que se encuentre más cerca a la falla, si por alguna razón el primer dispositivo no opera, entonces debe operar el siguiente. Para lograr una operación selectiva, se debe elegir adecuadamente los dispositivos, con las características interruptivas apropiadas para evitar daños al equipo y al sistema eléctrico.

El proyecto se llevó a cabo en la red de servicios propios del a C.H. Malpaso el cual está conectado a una tensión de 13.8 KV con un transformador de 2000 KVA.

Los ajustes se realizaron con base a la norma IEC-60909. Se verificaron los parámetros necesarios para obtener un buen desempeño de los dispositivos de protección. Se utilizó el software EasyPower versión 9.5 especializado el diseño, cálculos de corto circuito y simulación de coordinación de dispositivos de protecciones.

## **1.2 Estado del Arte**

El primer sistema eléctrico de potencia fue construido por la compañía norte americana General Electric en 1878 y desde esa época se reportan los primeros dispositivos de protección (fusibles). Hacia el año 1880, cuando el señor Thomas Alva Edison invento y patentó el primer fusible, con el fin de proteger contra corrientes altas a circuitos de alumbrados.

En su laboratorio Edison noto que la corriente de corto circuito siempre cortaba los conductores en la parte más débil o delgada con ese principio surge la idea del fusible que consta de un filamento conductor delgado que al producirse una corriente de corto circuito la alta temperatura fundía el conductor del fusible dejando fuera del sistema al equipo.

Cuando surge la corriente alterna, un gran número de motores y transformadores se agregaron a la demanda eléctrica. Estos equipos proporcionaban una carga inductiva, estas cargas producían una elevación de corriente momentánea al sistema las cuales no se consideraban de corto circuito más sin embargo producían la operación del fusible dejando fuera le motor al momento del arranque. Esto provoco que surgieran fusibles con retardos de tiempo que eran capaces de soportar por determinado tiempo los incrementos momentáneos de corriente.

## **1.3 Justificación**

Cuando ocurre un corto circuito los elevados niveles que alcanzan las corrientes durante ocurre la falla es fatal para el equipo donde se produce el corto circuito también puede llegar a afectar a otros dispositivos que estén cercanos o conectados a la red provocando grandes daños al sistema.

Las altas corrientes generan grandes temperaturas en el punto donde ocurre la falla y si estos equipos no son desconectados con extrema rapidez. El elemento averiado quedaría destruido completamente y no podrá ser siquiera reparado. La carcasa de la maquina se funden en conjunto con sus devanado, explosiones peligrosas que pueden poner en riesgo la seguridad del personal operario.

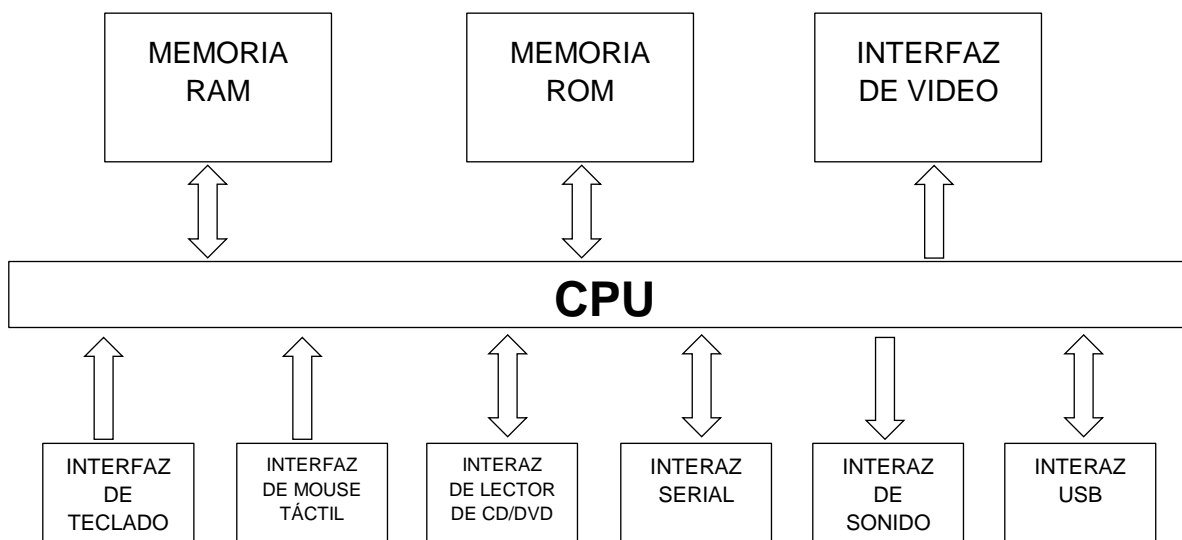
Los niveles de las corrientes de falla pueden superar varias veces las corrientes nominales del equipo, solo bastara que esta corriente permanezca unos cuantos segundos para que el equipo quede inutilizable. Los tiempos de actuación de los elementos de protección son casi siempre menores a 0.5 segundos esa efectividad de ejecución puede lograr que el equipo pueda ser reparado y volver a funcionar adecuadamente.

Con el uso de una buena coordinación entre protecciones podemos maximizar la efectividad de protección al equipo, en caso de que un primer elemento de protección falle por causas de mal operación podemos liberar esa falla con otro dispositivo asegurando que el equipo afectado quede aislado lo más rápido posible del sistema evitando que la falla se propague a otros equipos causando un daño mayor.

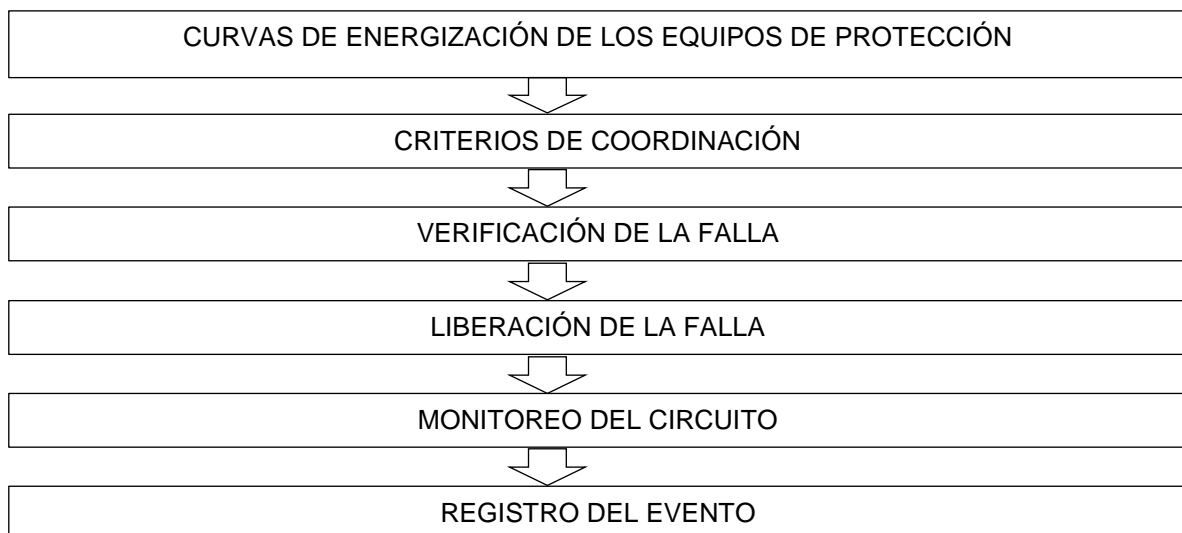
#### 1.4 Objetivo

Diseñar y construir la red de los servicios propios para calcular y coordinar las protecciones eléctricas en los diferentes circuitos con el uso del software EasyPower.

#### 1.5 Metodología



**Figura 1.1** Diagrama a bloques de hardware.



**Figura 1.2** Diagrama a bloques de software

## 2. Fundamento Teórico

### 2.1 Central Hidroeléctrica Malpaso

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



*Figura 2.1 Ubicación geográfica de la C.H. Malpaso.*

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



*Figura 2.2 vista aérea de la C.H. Malpaso.*

En 1960 se disponía de los planos estructurales definitivos para iniciar la construcción de la presa, en la cual la Comisión del Rio Grijalva coordino sus

actividades con la Comisión Federal de Electricidad que planeo todo lo referente al aprovechamiento para la generación de energía eléctrica. El objetivo principal de la presa fue: control de avenidas, Generación de energía eléctrica, Defensa contra las inundaciones, riego, drenaje, agua potable y saneamiento, vías de comunicación y establecimiento de centros de población campesina.

El 27 de junio de 1951 se creó la Comisión del Rio Grijalva dependiente de la entonces Secretaria de Recursos Hidráulicos, para el estudio y desarrollo integral de la cuenca de dicho rio. A partir de 1953 la Secretaria de Recursos Hidráulicos construyo los bordos de defensa marginales de los ríos; y en 1955 de acuerdo con los estudios Hidrológicos, Topográficos y Geológicos preliminares, la Comisión del Rio Grijalva llegó a la conclusión de que la primera presa por construirse fuera la de Netzahualcóyotl, en la boquilla denominada “Raudales Malpaso”, sobre el Rio Grijalva. La tabla 2.1 muestra las características de las unidades generadoras con las que cuenta la central.

Unidad Generadora	Capacidad	Fecha de puesta en servicio
Unidad N° 1	180 MW	26 Enero 1969
Unidad N° 2	180 MW	06 Febrero 1969
Unidad N° 3	180 MW	07 Abril 1969
Unidad N° 4	180 MW	24 Junio 1969
Unidad N° 5	180 MW	01 Febrero 1978
Unidad N° 6	180 MW	14 Octubre 1977
<b>Total</b>	<b>1080 MW</b>	

**Tabla 2.1** Características de las unidades generadoras de la C. H. Malpaso.

La C.H. Malpaso Tiene una capacidad de almacena de 13 mil millones de m<sup>3</sup> hasta la elevación 188.00 m.s.n.m., que concierne al nivel de aguas máximas extraordinarias. Con un embalse máximo a 30 mil hectáreas. En la tabla (2.2) se describen las características generales de la C.H. Malpaso. La tabla 2.2 muestra las características generales.

Tensión de generación	15 kV
Tensión de elevación	400 kV
Tensión de líneas de transmisión	400/230/115 kV
Área de embalse	30,000 Ha
Volumen de embalse	12,960 x 10 <sup>6</sup> M <sup>3</sup>
Volumen para generación de energía	7,300 x 10 <sup>6</sup> M <sup>3</sup>
Elevación máxima	188.00 M.S.N.M.
Elevación nivel máximo de operación	182.50 M.S.N.M.
Elevación nivel mínimo de operación	144 M.S.N.M.
Bóveda	104.50 M.S.N.M.
Piso de excitadores	89.50 M.S.N.M.



<b>Piso de generadores</b>	85.00 M.S.N.M.
<b>Piso de turbinas</b>	81.50 M.S.N.M.
<b>Eje horizontal turbina</b>	77.50 M.S.N.M.
<b>Piso de válvulas</b>	71.50 M.S.N.M.
<b>Piso tubo de aspiración</b>	65.50 M.S.N.M.

**Tabla 2.2** Características Generales de la C.H. Malpaso.

La cortina de la C.H. Malpaso tiene una potencia eléctrica de 3200 GWH anuales de energía eléctrica. En la tabla 2.3 se detallan sus características y la tabla 2.4 muestra las características de la tubería de presión.

<b>Tipo</b>	Enrocamiento con corazón impermeable
<b>Altura</b>	137.5 Metros
<b>Longitud máxima</b>	485.00 Metros
<b>Elevación de la corona</b>	192.00 M.S.N.M.
<b>Ancho de la corona</b>	10.00 Metros
<b>Longitud de la corona</b>	478.00 Metros
<b>Bordo libre</b>	4.00 Metros
<b>Volumen total de la cortina</b>	5,077.280 M <sup>3</sup>

**Tabla 2.3** características de la cortina de la C.H. Malpaso.

<b>Marca</b>	Sakailron
<b>Unidades</b>	6
<b>Longitud</b>	79.15 Metros
<b>Diámetro principio</b>	7.00 Metros
<b>Diámetro final</b>	6.00 Metros
<b>Aspersores principio</b>	20.64 Metros
<b>Aspersores final</b>	26.99 Metros

**Tabla 2.4** características de las tuberías de presión de la C.H. Malpaso.

La C.H. Malpaso cuenta con una subestación elevadora de tipo intemperie, se localiza a una elevación 192.00 m.s.n.m. Y aloja a los 18 Transformadores de potencia monofásicos que elevan el voltaje de generación, de 15 a 400 KV, aparta rayos e interruptores (Tabla 2.5).

Concepto	Primera Etapa	Segunda Etapa
Marca	Mitsubishi	Persons Peebles
Unidades	12	6
Capacidad	45/60/75 MVA	45/60/75 MVA
Tipo	Acorazado	Acorazado
Modelo	SR/SUB	ATL 300
Relación	15/400 kV	15/400 kV
Clase	OA/FOA/FOA	OA/FOA/FOA
Fases	1	1
Frecuencia	60 Ciclos/ Segundo	60 Ciclos/ Segundo
Impedancia	4.82%	8.23%
Peso núcleo y bobina	59.5 Toneladas	64.00 Toneladas
Peso tanque y acce	29.5 Toneladas	15.00 Toneladas
Aceite total	10,500 Litros	30,000 Litros
Peso aceite	18,500 Kilogramos	26,000 Kilogramos
Peso total de transformador	107,000 Kilogramos	120,000 Kilogramos

*Tabla 2.5 características generales de los transformadores de potencia de la C.H. Malpaso.*

## 2.2 Partes Principales de una Central Hidroeléctrica.

Una planta hidroeléctrica es definida como un organismo destinado a utilizar en forma eléctrica parte de la energía que existe, potencialmente, en cualquier masa de agua que se encuentre a una altitud mayor que la del mar. Existen diferentes tipos de plantas hidroeléctricas, pero en general, los componentes principales de un complejo hidroeléctrico son los siguientes.

**Obra de toma:** Consiste en un dique transversal o diagonal, con un vertedor de exceso, que represa el agua y aumenta ligeramente su nivel obligándola a entrar al canal de derivación, esta entrada se protege con rejillas para evitar la entrada de troncos, ramas, objetos, etc. También se pone una compuerta para dejar el canal seco en determinadas ocasiones.

**Tanque de reposo:** Es un depósito de dimensiones adecuadas para producir la decantación de arena y otros elementos extraños que puedan ser arrastrados por el agua del canal, además de servir de unión entre la tubería a presión y el canal.

**Tubería a presión:** Consiste en uno o más tubos de acero, generalmente, apoyados en silletas y anclados en machones, colocados sobre la superficie, o en túneles, algunos casos enterrados. Pintados por dentro y por fuera con una pintura especial para protegerlos contra la oxidación a menos de que sean de acero inoxidable. En grandes instalaciones, los conductos conducen el agua del sitio de la presa a la planta de generación. Pueden ser canales abiertos o túneles cavados en la roca. Los conductos alimentan una o más tuberías de presión, las cuales llevan el agua a las turbinas individuales. Enormes válvulas, en ocasiones de varios metros de diámetro, permiten interrumpir el abasto de agua en los conductos.

**Turbinas y accesorios:** Son los elementos encargados de transformar la energía del agua en energía mecánica, en condiciones adecuadas para su aprovechamiento por los generadores. Existen diferentes tipos de turbinas para centrales hidroeléctricas, de las cuales se pueden mencionar las pelton que son turbinas de alta velocidad para caídas de agua mayores a 300 m, los desarrollos de caída mediana de entre 30 m y 300 m y se utilizan turbinas Francis de mediana velocidad y las centrales que tienen caídas de menos de 30 m y se utilizan turbinas Kaplan o Francis de baja velocidad.

**Central eléctrica:** La central eléctrica contiene los generadores síncronos, transformadores, cortacircuitos, etc., y aparatos de control asociados. Los instrumentos, relevadores y medidores están en un cuarto central desde donde toda la planta puede ser monitoreada y controlada. Finalmente, muchos otros dispositivos (demasiado numerosos para mencionarlos aquí) conforman la planta hidroeléctrica completa.

**Elementos de control y protección:** Son aparatos y dispositivos muy diversos cuya función es dar a la energía eléctrica las características necesarias para su buen aprovechamiento y prevenir ante accidentes de operación y fenómenos atmosféricos naturales.

### **2.3 Fallas en un Sistema Eléctrico**

En condiciones ideales un sistema de generación, transmisión y distribución solo experimenta cambios eléctricos normales como la desconexión y conexión de cargas, según las necesidades del momento, y el aumento o disminución de la potencia disponible en el sistema propio. Para estos fines solo bastaría el empleo de interruptores que cumplan con el objetivo de abrir y cerrar un circuito. Sin embargo un sistema eléctrico está expuesto a condiciones de falla de diversas índoles por un tiempo indefinido que representa una situación insostenible que obliga a la desconexión inmediata del sistema del elemento dañado.

Si se toma como base el origen y naturaleza de las fallas, estas pueden ser clasificadas en tres categorías:

#### 1) DE AISLAMIENTO.

Una falla de aislamiento se presenta cuando una parte del material aislante o aire, que normalmente separa dos conductores distintos o dos puntos del mismo conductor a potenciales diferentes, cede a la presión eléctrica y deja pasar volúmenes de corriente que no sigue la trayectoria normal señalada por la carga o por los elementos del circuito original, estas fallas pueden presentarse por:

- a) conductores aéreos y tierra, causada por desprendimiento del conductor del amarre que lo sostenía en el aislador, y contacto con la cruceta en postes o torres de acero, ruptura del aislador por causas mecánicas, contactos por accidente entre conductores y cables de teléfono o telégrafos, contacto entre ramas húmedas de los árboles, etc.
- b) Entre cables subterráneos y tierra, causada por golpe de herramienta al hacer una excavación, por cortes del forro y destrucción por capas aislantes en conductores que tienen contacto con conductos de metal, por entrada de humedad al material aislante, etc.
- c) Entre equipos de barras y tierra causadas por fractura o perforación de aisladores o boquillas de barra.

#### 2) DE CONDUCCIÓN.

Cuando una falla por conducción ocurre, los elementos conductores del sistema eléctrico desaparecen, o reducen su conductancia longitudinal considerablemente, causando la interrupción indebida de una corriente o una caída de tensión exagerada. Los cuales se pueden dar por:

- a) falta de soldadura y presión en las terminales y uniones de cables
- b) mala conexión de las tablillas, mal contacto entre zapatas y terminales
- c) desgaste o desajuste bajo la acción del oxígeno, humedad y compuestos nitrosos formados por coronas, altas temperaturas y que la falta de una revisión o mantenimiento pueden prevenir su evolución natural.

#### 3) DE OPERACIÓN.

Las fallas de operación se presentan cuando ocurren modificaciones anormales del funcionamiento de los elementos de un sistema eléctrico, los cuales pueden ser:

- a) En equipos mal ajustados, saturación o desperfectos de los relés de control y protección que dan origen a cambios indebidos.
- b) Sobrecarga y temperaturas elevadas y otros factores que favorecen a la corona y aumentan las pérdidas de energía.
- c) Mala instalación de los equipos por errores humanos que provoquen una mala operación.

## 2.4 Protecciones Eléctricas

La palabra proteger, es usada de dos modos diferentes, el primero es esquivar, alejar o atenuar el peligro de que encierre sobre cualquier sistema eléctrico por causas naturales o de operación, el segundo es separar, con la mayor rapidez posible el elemento dañado del sistema eléctrico para evitar su destrucción completa e impedir que la estabilidad del sistema desaparezca y tengan con secuencias mayores.

Los dispositivos de protección controlan permanentemente el estado eléctrico de los elementos que componen un sistema eléctrico ya sea en alta, media o baja tensión, y provoca la operación de un dispositivo de apertura cuando se detecta una falla.

Las protecciones eléctricas son utilizadas con un doble efecto, es decir, protegen el elemento contra el peligro del sistema y al sistema del elemento pero la mayor parte protege al sistema del elemento. Por ejemplo, cuando se ponen fusibles entre una fuente y una carga, se protege la fuente contra una carga excesiva y al sistema contra los resultados de una falla en la línea.

Con el desarrollo de los sistemas y su frecuente interconexión las condiciones han cambiado radicalmente y la técnica de la protección ha evolucionado, considerándose ahora en primer lugar medidas que puedan mantener la estabilidad del sistema por la eliminación rápida y efectiva del elemento que este fallando.

Una gran parte de las fallas que suceden en un sistema eléctrico es provocada por fenómenos de origen atmosféricos a consecuencias de situaciones fortuitas, estas fallas se distinguen por el aumento del potencial. En consecuencia las primeras medidas de protección en el orden lógico para conservar la vida del equipo son las referentes a sobretensiones.

La elección de un dispositivo de protección no puede ser fruto de una reflexión aislada, sino que debe ser una de las etapas previas en la concepción de toda una red eléctrica. Existen diferentes métodos de protección para un sistema eléctrico normalizada por la norma estándar ANSI C.37.2 la cual propone diferentes números para funciones de protecciones en un sistema eléctrico. De estas funciones solo mencionaremos las que se utilizan en un sistema eléctrico de una central hidroeléctrica.

**FUNCIONES DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCION PARA SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA SEGÚN LA NORMA ESTANDAR ANSI C.37.2.**

**1 Elemento principal:** es el dispositivo de iniciación, tal como el interruptor de control, relé de tensión, interruptor de flotador, etc., que sirve para poner el aparato en operación o fuera de servicio, bien directamente o a través de dispositivos, tales como relés de protección retardados

**15 Dispositivo regulador de velocidad o frecuencia** es el que funciona para mantener la velocidad o frecuencia de una máquina o sistema a un cierto valor, o bien entre ciertos límites.

**21 Relés de distancia** La función de Distancia de Fase, está diseñada para protección de respaldo por fallas entre fases del sistema y es implementada con tres zonas de característica mho. Se usan tres elementos de distancia separados para detectar tipos de fallas AB, BC, y CA.

**23 Dispositivo regulador de temperatura** es el que funciona para mantener la temperatura de la máquina u otros aparatos dentro de ciertos límites.

**24 Sobreexcitación Volts-por-Hertz.** La función Volts-por-Hertz (24) proporciona protección contra sobre-excitación para el generador y los transformadores conectados en unidad. Esta función incorpora dos elementos de tiempo definido los cuales pueden ser usados para realizar la protección de sobre-excitación tradicional de dos pasos.

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

**27 Bajo Voltaje RMS, Trifásico** La función de bajo voltaje (27) puede ser usado para detectar cualquier condición que cause un bajo voltaje de termino largo o corto. Esta es una función trifásica verdadera en la que cada fase tiene un elemento de tiempo independiente.

**27TN Bajo Voltaje de Tercera Armónica, Circuito del Neutro.** Para fallas a tierra cerca del neutro del generador, la función (27TN) de bajo voltaje de neutro de tercera armónica (180/150 Hz) proporciona una protección de falla a tierra del estator para aplicaciones de generador aterrizado a través de alta impedancia.

**32 Direccional de Potencia, Trifásico.** La función de potencia direccional puede proporcionar protección contra la motorización y sobrecarga del generador. Proporciona tres puntos de ajustes de potencia, cada uno con un ajuste de magnitud y un retardo de tiempo. La dirección de Potencia hacia Adelante (flujo de potencia hacia el sistema) es seleccionada automáticamente cuando el ajuste del nivel de operación (pickup) es positivo y la dirección de Potencia Inversa (flujo de potencia hacia el generador) es automáticamente seleccionado cuando el ajuste del pickup es negativo.

**40 Perdida de Campo** La función de Perdida de Campo proporciona protección para una pérdida de campo total o parcial. La función de perdida de campo es implementada con dos elementos mho, un elemento de bajo voltaje y un elemento direccional. Los ajustes para cada elemento mho, diámetros, desplazamiento (offset), y retardo de tiempo, son realizados individualmente.

**41 Interruptor de campo** es un dispositivo que funciona para aplicar o quitar la excitación de campo de la máquina.

**46 Sobre-corriente de Secuencia Negativa.** La función de sobre-corriente de secuencia negativa proporciona protección contra posible sobrecalentamiento del rotor y daño debido a fallas desbalanceadas u otras condiciones del sistema que puedan causar corrientes desbalanceadas en el generador.

**49 Protección de Sobrecarga del Estator.** La función de Sobrecarga Térmica del Estator proporciona protección contra posibles daños durante las condiciones de sobrecarga. Las curvas características están basadas sobre el estándar IEC-255-8, y representan las curvas fría y caliente. La función usa la constante de tiempo térmico del generador y la corriente de sobrecarga continua permisible máxima del estator ( $I_{max}$ ) en la implementación de la característica de tiempo inverso.

**50 Sobre-corriente instantánea.** Es el que funciona instantáneamente con un valor excesivo de la intensidad o con un valor excesivo de velocidad de aumento de la intensidad, indicando avería en el aparato o circuito que protege.

**50/27 Energización Inadvertida.** La función de protección de energización inadvertida (50/27) del relevador es una función de sobre-corriente supervisada por el voltaje de bus en terminales del generador. La energización accidental o inadvertida de generadores fuera de línea ha ocurrido lo bastante frecuente para garantizar el uso de una lógica de protección dedicada para detectar esta condición. Los errores de operación, arcos de interruptor, mal funcionamiento de los circuitos de control o una combinación de estas causas han resultado en que algunos generadores hayan sido energizados en forma accidental mientras estaban fuera de línea.

**51N Sobre-corriente de Neutro de Tiempo Inverso.** La función de sobre-corriente de neutro de tiempo inverso (51N) proporciona protección contra fallas a tierra. Puesto que ninguna corriente de secuencia cero o de tierra esta normalmente presente durante la operación normal, esta función puede ser ajustada con mayor sensibilidad que la protección de sobre-corriente de fase.

**59N Sobre-voltaje RMS, Circuito Neutro o Secuencia Cero.** La función de sobre-voltaje de neutro (59N) proporciona protección contra fallas a tierra en el estator para generadores aterrizados a través de alta impedancia. La función 59N puede proporcionar protección contra fallas a tierra para el 90–95% del devanado del estator.

**59 Sobre-voltaje Trifásico.** La función de sobre-voltaje RMS puede ser usada para proporcionar protección contra sobre-voltaje para el generador. El relevador tiene las funciones de protección de sobre-voltaje con dos puntos de ajustes de los niveles de voltaje y de tiempo definido, los cuales pueden ser programados para disparar la unidad o enviar una alarma.

**64F función de tierra en el campo.** La función de Tierra en el campo proporciona la detección de falla de aislamiento entre el devanado de campo de la excitación y tierra. Existen dos ajustes de pickup y retardo de tiempo, y un ajuste de la frecuencia de inyección ajustable para la función 64F.

**64S función de tierra en el estator.** El método usado de puesta a tierra del estator en una instalación de generador determina el comportamiento del generador durante condiciones de falla a tierra.

**78 Fuera de Paso.** La función Fuera de Paso (78) es usada para proteger al generador de condiciones de fuera de paso o deslizamiento de polos.

**81 Frecuencia.** La función de frecuencia (81) proporciona protección contra sobre frecuencia o baja frecuencia del generador.

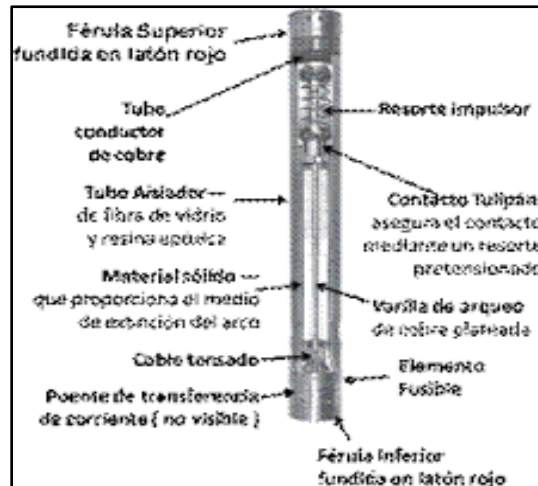
**86 Relé de enclavamiento** es un relé accionado eléctricamente con reposición a mano o eléctrica, que funciona para parar y mantener un equipo fuera de servicio cuando concurren condiciones anormales.

**87 Diferencial de Fase.** La función diferencial de fase (87) es una diferencial de porcentaje con una pendiente ajustable de 1–100%. Aunque esta protección es usada para proteger la máquina de todas las fallas internas en su devanado, fallas de una fase a tierra con aterrizamiento de alta impedancia podrían tener corrientes menores que la sensibilidad del relevador diferencial (típicamente entre 3 y 30 A primarios).

## **2.5 Fusibles**

Un fusible es un dispositivo empleado para proteger un circuito eléctrico mediante la fusión de uno o varios elementos dentro de su interior, interrumpiendo el flujo de la corriente eléctrica cuando esta sobrepasa el valor de la corriente de fusión a la que está diseñado el fusible dentro de un tiempo determinado; pero tienen tres desventajas: a) solo funcionan para abrir un circuito, no para cerrarlo; b) solo opera una vez y cuando esto sucede hay que cambiar algunas de sus partes; c) solamente operan por sobre intensidad. Los elementos que conforman un fusible se muestran en la figura 2.3.





**Figura 2.3** Estructura de un fusible.

La parte que sirve como elemento de protección para la desconexión es el elemento fusible, el cual se construye de una sección transversal determinada hecha de una aleación metálica la cual se funde cuando hay un paso de corriente mayor a la que fue diseñado. Para fusibles de un solo elemento es común utilizar aleaciones de estaño, cobre o plata. Algunos fabricantes establecen que el elemento de temperatura de baja fusión previene el daño al tubo protector que rodea al elemento y al mismo portafusible en sobrecargas.

Los fusibles de un solo elemento pueden subdividirse en dos clases, aquellos que tienen una temperatura de fusión baja, tal como los de estaño los cuales se funden a una temperatura de 232°C; y los que tienen una temperatura de fusión alta los cuales están hechos de plata o cobre que se funden a 960°C y 1080°C respectivamente. Con curvas idénticas tiempo-corriente un elemento fusible de estaño puede llevar mayor cantidad de corriente continuamente dentro de la elevación de temperatura permisible que los elemento de plata o cobre.

Las características físicas, mecánicas y constructivas de los fusibles, están determinadas de acuerdo a la norma ANSI C37 100-1972. La cual toma como referencia los siguientes parámetros eléctricos.

- Frecuencia
- Tensión eléctrica nominal
- Corriente eléctrica nominal
- Nivel básico de impulso
- Servicio (interior o intemperie)
- Repuesta de operación (curva tiempo-corriente)
- Capacidad interruptiva (simétrica y asimétrica)
- Velocidad de repuesta (en el tipo de expulsión)

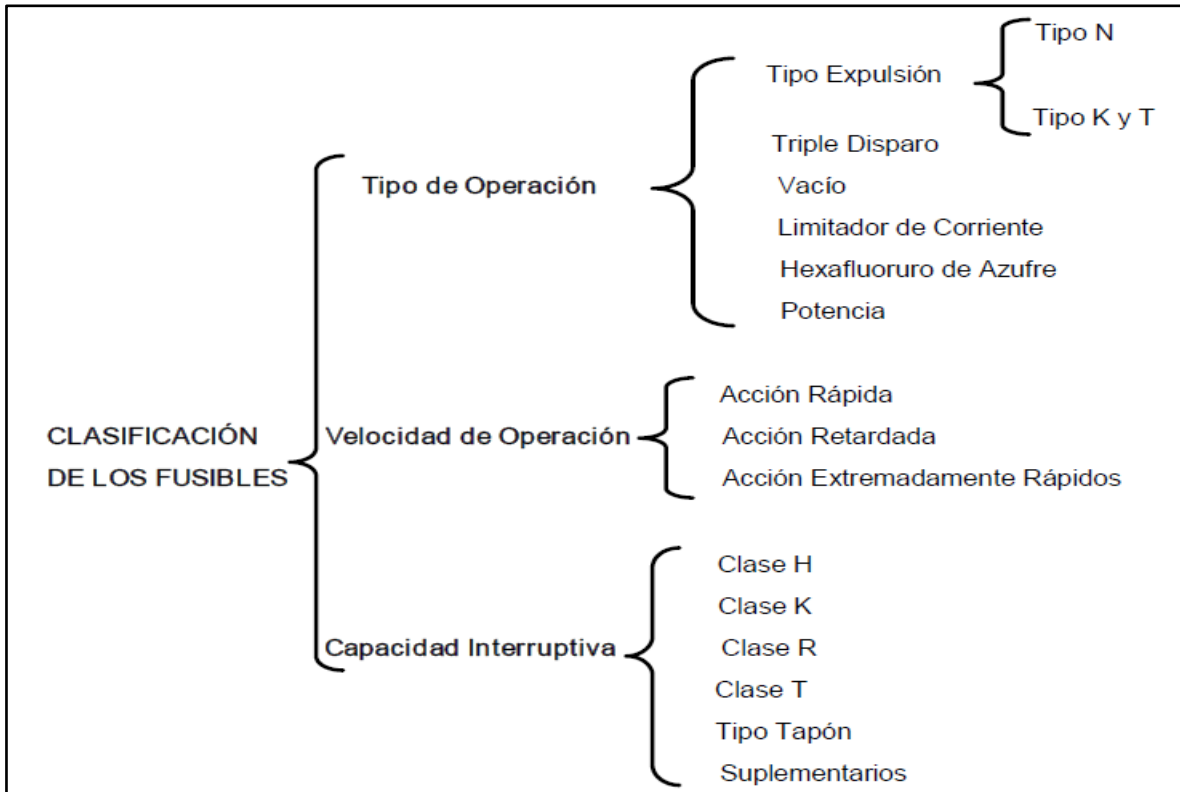
Factores que definen la aplicación de un fusible.

- Corriente de corto circuito
- Relación X/R de la impedancia equivalente ( $Z_e$ )

- Curva de daño de los elementos a proteger
- Curva de energización del transformador
- Costo

### 2.5.1. Clasificación de los fusibles

En la figura 2.4 se muestra la clasificación de los fusibles por tipo de operación, velocidad de operación y capacidad interruptiva.



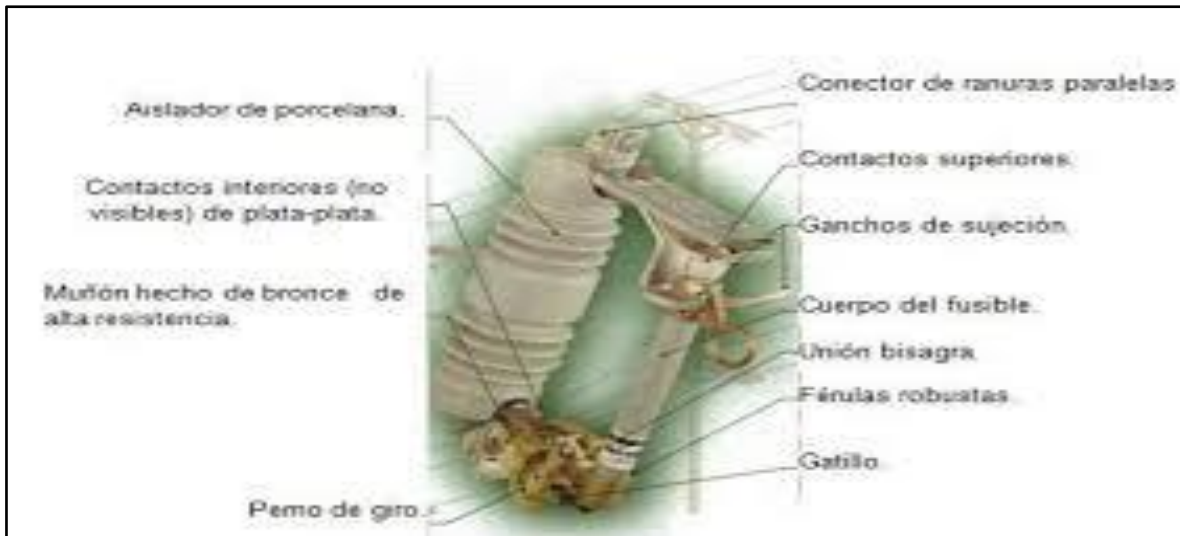
**Figura 2.4** Clasificación de los fusibles.

#### Clasificación por tipo de operación.

En la actualidad existe una gran variedad de fusibles, estos varían dependiendo de la necesidad del elemento a proteger. A continuación se describen algunos de estos tipos, considerando sus características de operación.

##### Tipo expulsión.

Un cortocircuito fusible de tipo expulsión está diseñado principalmente para proteger transformadores de distribución o puntos de entronque a tensiones de 13.8 KV, su capacidad interruptiva está diseñado a 100 A o 200 A nominales. Para tensiones de 25 KV generalmente la corriente nominal es de 5 A continuos para transformadores de 75 KVA. En la figura 2.5 podemos ver los elementos de este tipo de fusible.



**Figura 2.5** Fusible de tipo expulsión.

TIPO N: para este tipo de fusibles la norma establecía que deberían llevar el 100% de la corriente nominal continuamente y debería fundirse a no menos que del 230% de su capacidad nominal en un tiempo de 5 minutos.

TIPO K y T: estos fusibles operan a tres tiempos diferentes 0.1 s, 10 s y 300 s capaces de soportar el 150% de su capacidad nominal continuamente para los fusibles de estaño y 100% para los de plata.

**Doble o triple disparo:** Los fusibles de doble o triple disparo constan de dos o tres cortacircuitos fusibles por fase, los cuales se conectan a la línea mediante una barra común y la salida se conecta al primer cortacircuito fusible. Al momento en que se presenta una corriente mayor a la mínima de operación, se funde el primer elemento abriendo el primer portafusible y cerrando el segundo para mantener la alimentación sin necesidad de que este sea remplazado. La figura 2.6 muestra un ejemplo de un cortacircuito fusible de triple disparo.



**Figura 2.6** Cortacircuito fusible de triple disparo.

**Fusible en vacío:** El fusible de vacío está encerrado en una cámara al vacío, cuenta con una cámara de arqueo, un escudo o pantalla y un aislamiento cerámico. Para corrientes bajas de falla estos fusibles necesitan algunos ciclos para lograr abrir el circuito. Para corrientes altas de falla el elemento se funde instantáneamente de vaporiza provocando un arco eléctrico mantenido por el plasma, la diferencia de presión comparada con el vacío acelera la vaporización del metal y la extinción del arco. La figura 2.7 muestra un fusible al vacío.



*Figura 2.7 Fusible en vacío.*

**Fusibles limitadores de corriente;** Este tipo de fusible son básicamente de no expulsión, limitan la energía disponible cuando ocurre un cortocircuito, esto permite que se reduzca considerablemente los daños en el equipo protegido. Existen tres diferentes tipos: de respaldo o intervalo parcial, el cual debe ser usado en conjunto con uno de expulsión u otro tipo de protección, solamente es capaz de interrumpir corrientes superiores a 500 A, de propósito general, el cual está diseñado para liberar todas las corrientes de falla el cual para corrientes de bajo valor funciona con un retardo de operación. De intervalo completo, el cual interrumpe cualquier corriente que en forma continua se presente arriba de la corriente nominal.

Su principio de operación se basa en que cuando circula una sobre-corriente capaz de fundir el elemento metálico, este se empieza a fundir en módulos que provocan un valor grande de tensión de arco, el calor generado por el arco vaporiza el metal a una presión muy elevada, condición bajo la cual se presenta una resistencia eléctrica muy alta. Una vez que el vapor metálico se condensa ocurre una descarga en el canal de arco y se tiene un reinicio hasta que la corriente pasa por su valor de cero que es cuando se completa la interrupción del arco. La figura 2.8 muestra un fusible limitador de corriente.



**Figura 2.8** Fusible limitador de corriente.

**Fusible en SF<sub>6</sub> (Hexafluoruro de azufre):** El SF<sub>6</sub> ha sido ampliamente usado en la industria eléctrica, ya que tiene como operación principal extinguir el arco eléctrico generado por un cortocircuito. Para que el SF<sub>6</sub> sea un medio eficaz en la extinción del arco se requiere que este a una presión mayor que la atmosférica, es decir que sus propiedades dieléctricas y extintoras del arco varía en razón directamente proporcional a la presión a la que se encuentre en el contenedor.

Los fusibles de SF<sub>6</sub> son empleados en las redes de distribución subterráneas, dado que son para usos en interiores y de tipo limitador de corriente, actualmente se fabrican para tensiones de 15, 27 y 38 KV y con capacidades de 200 A y 600 A nominales y con un intervalo de capacidad interruptiva de 20 KA.

**Fusibles de potencia:** Este tipo de fusibles son diseñados para instalaciones de subestaciones eléctricas, líneas de transmisión y distribución, en donde los requerimientos de capacidad interruptiva son altos. Existen portafusibles que pueden reutilizarse después de fundirse el elemento fusible cambiándose el elemento de relleno que contiene el fusible.

Los fusibles de potencia por su construcción son de tipo expulsión y de ácido bórico. El fusible de potencia de tipo expulsión fue el primero que se diseñó con la necesidad de contar con un fusible de mejores características. La figura 2.9 muestra un fusible de potencia.



**Figura 2.9** Fusibles de potencia.

### **Clasificación por velocidad de operación**

Los fusibles de acción rápida no tienen retraso en su operación. El tiempo de apertura típica de estos fusibles es del 500% el valor de operación normal de corriente en un periodo de tiempo entre 0.005 s y 2 s. los fusibles de acción rápida son de aplicación en cargas nominales inductivas, tales como la iluminación incandescente y alimentadores de uso general en cargas resistivas o en circuitos principales con pequeñas cargas inductivas.

Los fusibles de clase CC, GF, H, J, RK5 y RK1, pueden ser fusibles de acción retardada, los fusibles de acción retardada normalizados cumplen con los requerimientos exigidos en la protección de sobrecargas. Para valores altos de corriente, los fusibles de acción retardada ofrecen una excelente limitación de corriente, abriendo el circuito en un periodo de tiempo no menor a medio ciclo. Los fusibles con retardo de tiempo pueden ser seleccionados con valores mucho más cerca de la corriente de operación normal de los circuitos.

El uso de los fusibles extremadamente rápidos es en la protección de elementos electrónicos de estado-sólido, tales como los semiconductores. Su característica principal, es operar de forma rápida cuando una sobrecarga ocurre, con baja energía de fusión, corriente de pico y transigencias de tensión eléctrica, proveen protección a los componentes que no pueden aislar la línea, este tipo de fusibles son usados para valores bajos de sobrecarga y cortocircuito.

## **Clasificación por capacidad interruptiva.**

La capacidad de interrupción de un fusible es la intensidad de corriente máxima que puede soportar adecuadamente el fusible para proteger en forma segura los componentes de un sistema eléctrico tal como lo exige la NEC (Norma Especifica de Circulación) en su artículo 240.6 “un fusible debe interrumpir todas las sobrecorrientes que se presentan el sistema eléctrico”

Los fusibles están diseñados para operar en los siguientes valores de tensión: 10 KA, 50 KA, 100 KA, 200 KA, 300 KA y 400 KA. Los equipos proyectados para interrumpir la corriente en caso de falla, deben tener la intensidad de interrupción suficiente. Para la tensión nominal que se produzca en las terminales de la línea del equipo.

La siguiente tabla muestra la capacidad interruptiva de algunos fusibles según su tipo.

## **Curvas características de los fusibles.**

Las curvas de los fusibles son representaciones graficas del tiempo promedio de fusión del elemento fusible. Cuando se realiza un estudio de coordinación de protecciones se debe de tomar en cuenta las gráficas de las curvas características de los fusibles. Estas curvas son presentadas por los fabricantes las cuales pueden ser:

1. Curva tiempo-corriente
2. Curva de corriente pico permisible
3. Curva de energía de fusión  $I^2t$

## **Curva tiempo-corriente**

Las curvas de fusión tiempo-corriente muestra el tiempo promedio requerido para fundir el elemento fusible, las características de fusión del elemento fusible se determinan principalmente por.

- La correcta aleación de los materiales
- La pureza de un metal, como la plata o el cobre
- El espesor del elemento fusible
- El ancho del elemento fusible

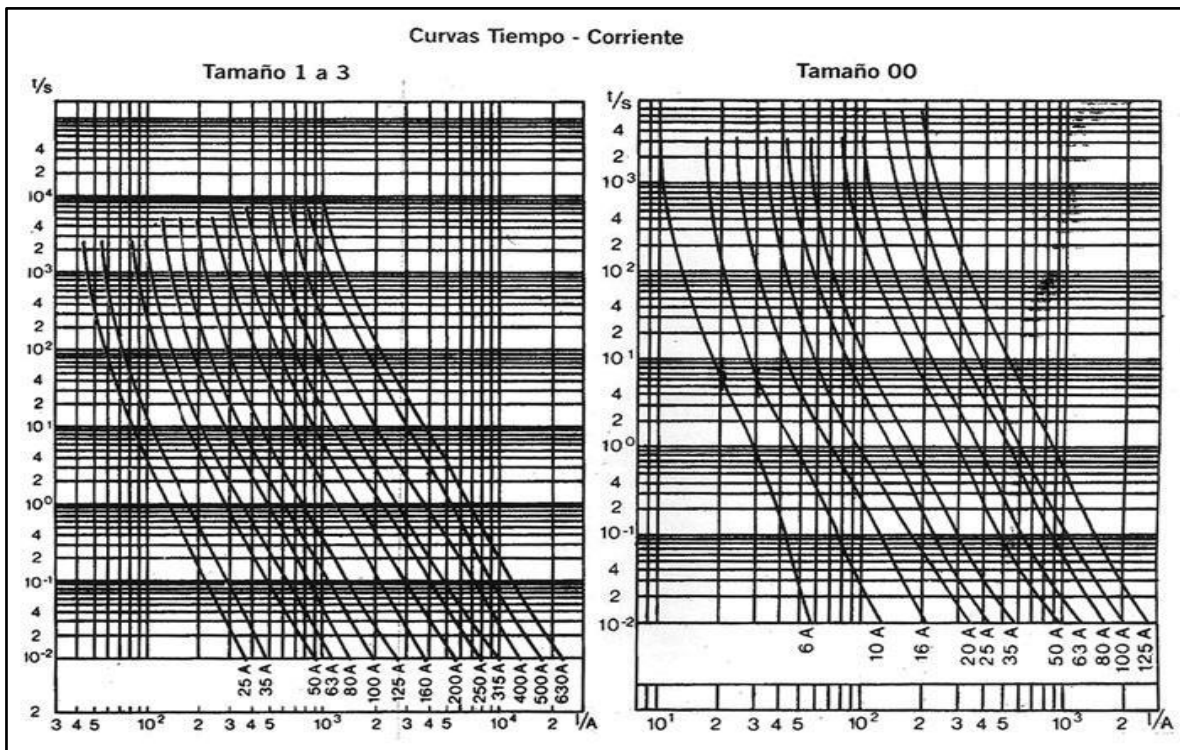
Lo anterior permite tener un mejor control en el tiempo de fusión de los fusibles para cumplir con las curvas de tiempo corriente, las cuales se grafican bajo las condiciones siguientes:

- Los fusibles no deben ser sometidos a condiciones de sobrecarga, es decir, no deben haber conducido corrientes antes de probarse.
- La temperatura ambiente en la cual se efectuó la prueba sea de 25°C.

Para propósitos de coordinación la corriente de fusión tiene una variación de  $\pm 10\%$ , así en lugar de una línea mostrando el tiempo de fusión de un fusible, se deberá considerar una banda. Las curvas de tiempo-corriente de apertura total muestran el tiempo máximo requerido para cumplir esta función a tensión nominal. Para fundir el elemento fusible y abrir el circuito se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Una corriente que pase a través del elemento fusible debe calentarlo y cambiarlo de un estado sólido a líquido.
- En el instante en que el elemento cambia su estado el eslabón comienza a abrir en un punto cualquiera y se genera un arco entre las terminales solidas del elemento, actualmente el tiempo de arco varía de 0.5 a 2 ciclos.

La siguiente figura 2.10 muestra un ejemplo de una gráfica de la curva tiempo corriente de un fusible:



**Figura 2.10** Curva tiempo-corriente del fusible tipo NH.

### Curvas de corriente pico permisible.

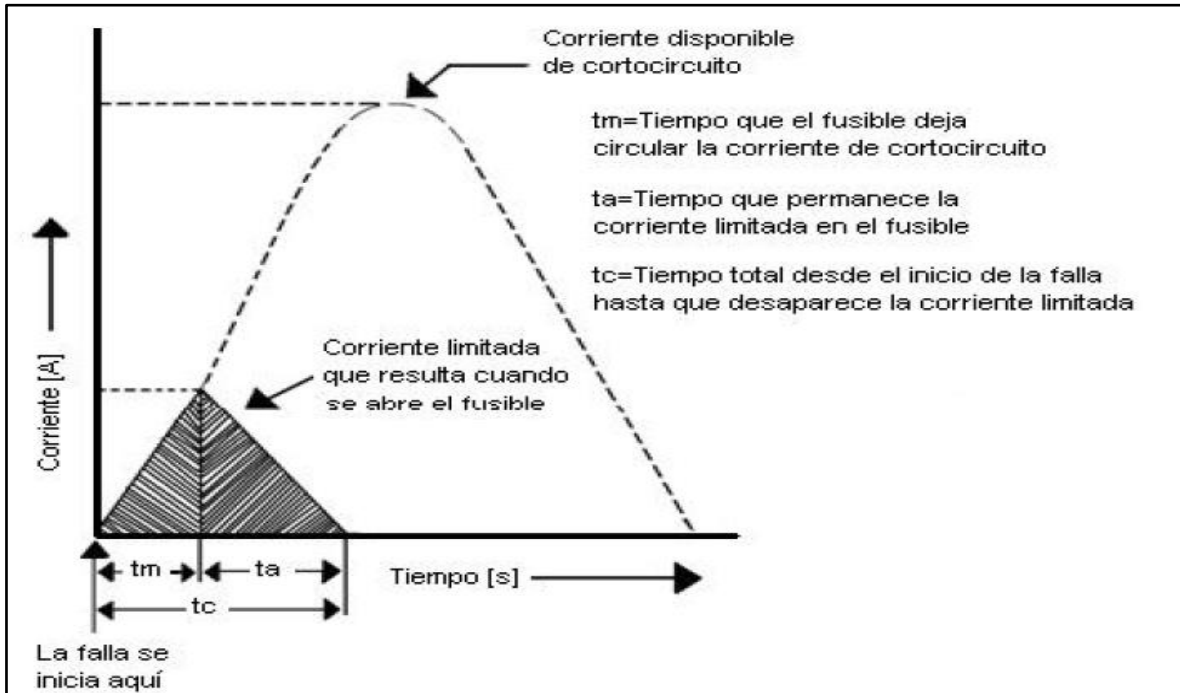
El grado de limitación de corriente de los fusibles generalmente se presenta en forma de curvas de corriente pico permisible. Estas curvas se utilizan para definir el grado de protección contra un cortocircuito que proporciona un fusible. Estas curvas muestran el pico instantáneo de corriente permisible como una función de corriente simétrica rms disponible.

La mayor parte de los sistemas eléctricos de distribución actuales son capaces de entregar corrientes de cortocircuito elevadas a sus componentes. Si los



componentes no son capaces de liberar estas corrientes altas pueden ser dañados o destruidos fácilmente.

Debido a la velocidad de respuesta de las corrientes de falla, los fusibles tienen la habilidad de recortar la corriente antes de que esta alcance proporciones peligrosas para el equipo. La figura 2.11 muestra el efecto limitador de corriente de los fusibles con dichas características.



**Figura 2.11** Efecto limitador de corriente del fusible.

### Curvas de energía de fusión $I^2t$

Durante la operación de un fusible cuando se produce una falla es necesaria cierta cantidad de energía para fundir el elemento fusible y otra cantidad de energía para extinguir el arco eléctrico después de que el elemento comienza a fundirse.

Los datos de energía permisible  $I^2t$  para cada clase de fusibles se presentan en forma de tablas, donde se aprecia el tipo y la capacidad del fusible así como su energía permisible  $I^2t$  de los mismos.

Clase	Capacidad (A)	$I_p$ (A)	$I^2t$ (A <sup>2</sup> /s)
J	30	7 500	$7 \times 10^3$
	60	10 000	$30 \times 10^3$
	100	14 000	$80 \times 10^3$

	200	20 000	$300 \times 10^3$
	400	30 000	$1\ 100 \times 10^3$
	600	45 000	$2\ 500 \times 10^3$
K1	30	10 000	$10 \times 10^3$
	60	12 000	$40 \times 10^3$
	100	16 000	$100 \times 10^3$
	200	22 000	$400 \times 10^3$
	400	35 000	$1\ 200 \times 10^3$
	600	50 000	$3\ 000 \times 10^3$
K5	30	11 000	$50 \times 10^3$
	60	21 000	$200 \times 10^3$
	100	25 000	$500 \times 10^3$
	200	40 000	$1\ 600 \times 10^3$
	400	60 000	$5\ 000 \times 10^3$
	600	80 000	$10\ 000 \times 10^3$

**Tabla 2.5** Energía permisible.

## 2.6 Relevadores de Protección.

El relevador es un dispositivo electrónico que detecta una falla o condición anormal de un equipo eléctrico y lo separa del sistema eléctrico de forma automática, tomando en cuenta que el relevador se puede alimentar por una señal de voltaje, una señal de corriente o ambas. El relevador de protección es un equipo de medición que compara una señal de entrada con una señal de ajuste de la misma naturaleza que la señal de entrada, teniendo en cuenta que su operación se ejecuta cuando la señal de entrada es diferente a la señal de ajuste considerando también una tolerancia de la señal de entrada sobre la señal de ajuste. Cuando esto sucede se dice que el relevador opera y se manifiesta físicamente abriendo o cerrando los interruptores asociados al circuito donde ocurrió la falla.

Los relevadores de protección proporcionan una señal de operación mediante señalizaciones luminosas o banderas esto depende de los fabricantes. Los relevadores auxiliares se utilizan para disparar o bloquear el cierre de algunos

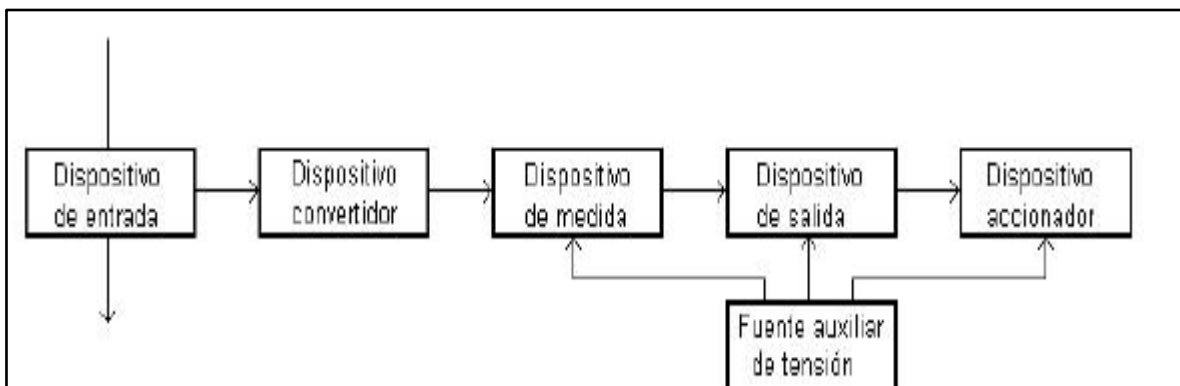
interruptores y otras funciones de control y alarmas, algunos relevadores más avanzados presenta diagramas o graficas del momento en que se generó una falla, este reporte contiene graficas visuales de los tiempos y valores que alcanza la tensión, corriente, frecuencia, potencia, etc.

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

En los relevadores generalmente, las señales de entradas que manejan para control son mucho más grades que las que puede tolerar, por tal motivo es necesario de otros dispositivos que bajen estas señales proporcionalmente, a estos dispositivos se les conoce como transformadores de instrumentos de los cuales hablaremos más adelante.

Estos dispositivo realizan una doble función, adaptar las señales procedentes del sistema eléctrico a valores tolerables para los relevadores de protección y a la vez sirven de separación eléctrica de las partes de alta tensión y baja tensión.

El esquema básico de un relevador de protección se presenta en la figura 2.12.



**Figura 2.12** Esquema básico de un relevador de protección.

El dispositivo de entrada (TC o TP) se encarga de transformar las señales de entrada, el elemento de conversión transforma las señales de entrada a señales que puedan ser procesadas por el elemento de medida este elemento compara las señales de entrada con los valore de ajustes, la función del dispositivo d salida es amplificar las señales procedentes del dispositivo de medida para ejecutar los elementos donde actúa la protección. El dispositivo de accionamiento consiste en la bobina de mando del disyuntor, cuando esta bobina es accionada produce la desconexión del disyuntor correspondiente. La fuente auxiliar se encarga de alimentar al relevador la cual puede ser un banco de baterías, transformadores de tensión o el propio sistema eléctrico.

La lógica de un sistema de protección divide al sistema eléctrico en varias zonas, cada una de estas zonas requiere de un sistema de protección para minimizar los daños. En todos los casos existen métodos para la selección de un esquema de protección para que este sistema se eficiente, a continuación se describen estas características.

### **Rapidez**

El desarrollo de dispositivos de protección más rápidos siempre debe ser evaluado en comparación al incremento en la probabilidad de un mayor número de operaciones no deseadas o inexplicables. El tiempo es un excelente criterio para descartar entre un problema real y uno transitorio. Aplicando esta característica en particular a un dispositivo de protección, a la velocidad que indica, el tiempo usual de operación no excede los 50 ms (3 ciclos)

### **Confiabilidad**

La confiabilidad del sistema de protección es la habilidad para no tener operaciones incorrectas es función de la dependabilidad y la seguridad. Dependabilidad es la certeza para la operación correcta de la protección correcta de la protección en respuesta a un problema del sistema (probabilidad de no tener una falla de operación cuando se le requiere), es decir, que corresponde a la correcta operación de una protección para todas las fallas que ocurran dentro de la zona de protección en particular. La seguridad es la habilidad del sistema para evitar la correcta operación con o sin fallas.

Un sistema de protección debe comportarse correctamente bajo cualquier condición tanto del sistema eléctrico como del entorno. La dependabilidad puede ser verificada en un laboratorio o mediante pruebas de simulación en la instalación. Para el caso de los relevadores de protección un sistema seguro es usualmente el resultado de una buena experiencia en el diseño, combinada con un programa extensivo de pruebas de simulación de fallas de un sistema eléctrico.

### **Economía**

Un dispositivo de protección que tiene una zona de influencia perfectamente definida, provee una mejor selectividad pero generalmente su costo es mayor. Los dispositivos de protección de velocidades de respuesta altas ofrecen una mayor continuidad del servicio al reducir los daños provocados por una falla y los riesgos la personal, por lo tanto tiene un costo mayor. El más alto desempeño y costo no puede ser siempre justificado. Consecuentemente los dispositivos de protección de baja y alta velocidad son usados para proteger un sistema eléctrico, ambos equipos pueden proporcionar un alta confiabilidad.

### **Simplicidad**

La simplicidad en un sistema de protección es resultado de un buen diseño, sin embargo un sistema de protección más simple muchas veces son muy caros. En

otra palabra la simplicidad se refiere a Que el relevador sea sencillo en su construcción y diseño y en la circuitería asociada para alcanzar los objetivos del sistema de protección.

## **Selectividad**

Un sistema de protección es diseñado por zonas, las cuales deben cubrir completamente al sistema eléctrico sin dejar zonas desprotegidas. Cuando la falla ocurre se requiere que la protección sea capaz de seleccionar y disparar unidamente los dispositivos de protección adyacentes a la falla.

### **2.6.1 Protección Principal y de Respaldo**

La confiabilidad del sistema de protección incluye el uso de más de un sistema de protección operando en paralelo. En el evento de una falla o no disponibilidad de la protección principal, se debe asegurar que la falla sea aislada por otros medios. Estos sistemas secundarios son conocidos como protección de respaldo.

La protección de respaldo se puede considerar como local o remota. La protección de respaldo local se logra con protecciones que detecten una falla en el sistema que no es despejada por la protección principal, la cual luego dispara su propio interruptor, por ejemplo, protecciones de sobre-corriente de tiempo coordinado. La protección de respaldo remota se consigue por protecciones que detecten una falla en el sistema que no es despejada por la protección principal en una ubicación remota y luego ejecuta un disparo local, por ejemplo la segunda o tercera zona de una protección de distancia. En ambos casos, la protección principal y la de respaldo detectan la falla simultáneamente, pero la operación de la protección de respaldo es retardada para asegurar que la protección principal despeje la falla si es posible.

Los sistemas de protección de respaldo, idealmente deben estar completamente separados del sistema de protección principal. Para lograr una completa separación, se deben duplicar los transformadores de corriente, los transformadores de voltaje, las bobinas de disparo, y los suministros de corriente directa. Este ideal raramente se consigue en la práctica. Los siguientes compromisos son típicos:

- Transformadores de corriente separados (núcleos y devanados secundarios solamente). Esto involucra un costo extra pequeño comparado con el uso de transformadores de corriente comunes que tendrían que ser de mayor capacidad debido a la carga de los equipos de protección. Con los relés numéricos o digitales no hay problemas con la carga de los mismos, así que en estos casos se prefiere tener un transformador de corriente común.
- Los transformadores de voltaje no se duplican debido a consideraciones de costo y espacio. Cada relé de protección es protegido separadamente con fusibles o mini circuit-breakers y está continuamente supervisado, proporcionando alarmas cuando haya

fallas en el suministro y, cuando se requiera, prevenir una operación no deseada de la protección.

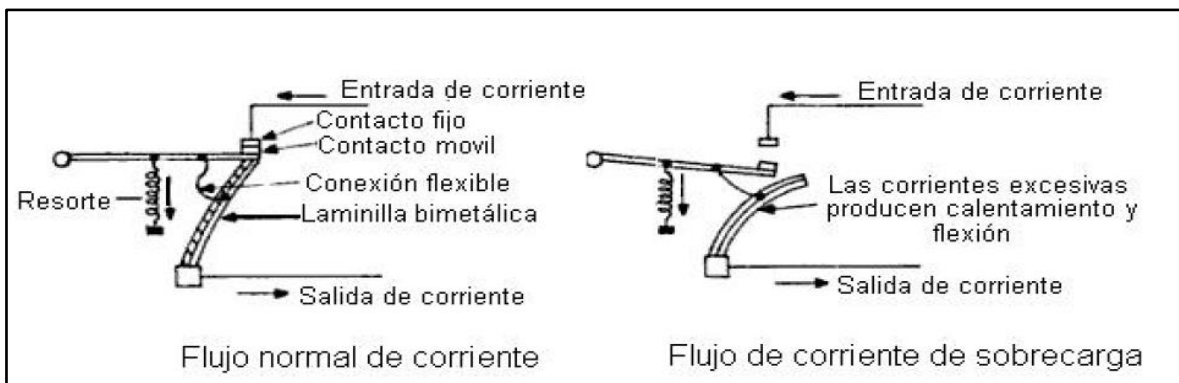
- Las alimentaciones de los circuitos de disparo deben estar separadas y protegidas con fusibles o mini circuit-breakers. Se debe proporcionar bobinas de disparo duplicadas. Los circuitos de disparo deben supervisarse continuamente.

Los relés digitales y numéricos pueden incorporar funciones de protección de respaldo, por ejemplo un relé de distancia puede tener funciones de sobrecorriente. Se obtiene una reducción en los equipos requeridos para proveer protecciones de respaldo, pero se tiene el riesgo de que una falla en un elemento común del relé, por ejemplo la fuente de alimentación, resulte en una pérdida simultánea de la protección principal y de la de respaldo.

## 2.7 Interruptores Termo-magnéticos y Electromagnéticos

Los interruptores termo-magnéticos también conocidos como interruptores de caja moldeada protegen los circuitos eléctricos contra sobrecargas y cortocircuitos. Se usan frecuentemente para la protección de alimentadores secundarios y circuitos derivados. Por lo general tienen una capacidad interruptiva alta con elementos de restablecimiento para permitir operaciones repetitivas. Estos interruptores tienen tres componentes principales: los elementos de disparo, el mecanismo de operación y los extinguidores de arco.

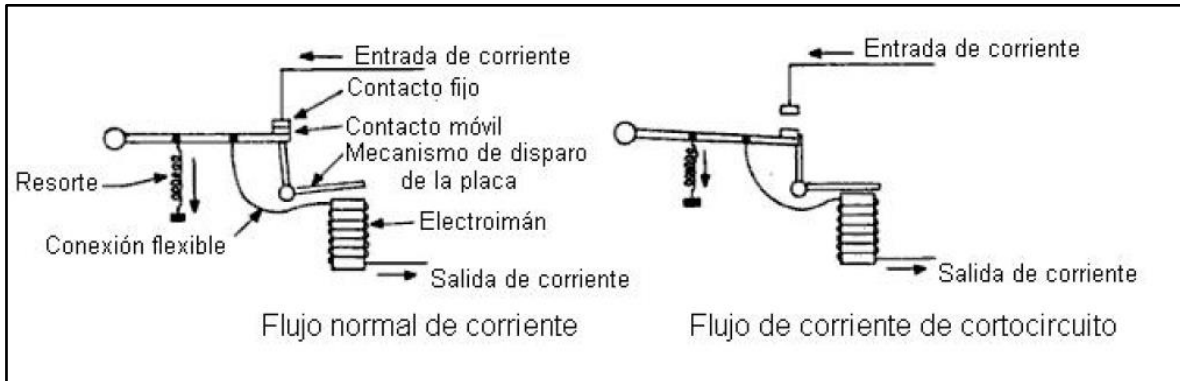
El principio de operación del interruptor termo-magnético se basa en el disparo térmico y disparo magnético, el disparo térmico se presenta cuando hay una circulación de corriente a través de una tira bimetalica, la resistencia de la tira bimetalica genera calor el cual hace que el bimetálico se incline hasta que su movimiento sea lo suficiente para activar el mecanismo y permitir que el interruptor opere. La figura 2.13 muestra cómo actúa el disparo térmico cuando se presenta una corriente de sobrecarga.



**Figura 2.13** Acción del interruptor con disparo térmico.

El disparo magnético se realiza cuando existen corrientes de falla grandes donde un solenoide magnético es el camino de la corriente a través del interruptor, con el cual atrae a una armadura magnética para provocar el disparo del interruptor. La

figura 2.14 muestra cómo actúa un interruptor magnético cuando se presenta una corriente de cortocircuito.



**Figura 2.14** muestra cómo actúa un interruptor magnético.

Un interruptor termomagnético manual permite abrir y cerrar un circuito, tomando en cuenta que este tipo de interruptor se puede abrir de forma automática cuando el valor de la corriente que circula por ellos excede un valor previamente fijado por el fabricante, después de que estos interruptores se abren se pueden restablecer de forma manual y continúan operando de forma normal. La forma en que operan los interruptores termomagnéticos es cuando una acción térmica provee una respuesta de tiempo inverso, esto es una pequeña sobrecarga, un tiempo mayor y cuando se incrementa la corriente el tiempo se reduce. En el caso de un cortocircuito, las corrientes mayores que se generan ponen en un alto riesgo la integridad de todo el sistema, estas altas corrientes son interrumpidas casi de forma inmediata por la acción magnética.

La curva de disparo de los interruptores termomagnéticos son proporcionadas por el fabricante, esta curva es la combinación de las funciones de disparo térmica y magnética se denomina normalmente curvas de disparo y son establecidas de acuerdo a la norma IEC 60898.

La principal aplicación de los interruptores termomagnéticos es la protección secundaria de los transformadores, para proteger centros de carga y centros de control de motores (CCM), cada interruptor tiene distintas características y puede ser de distinto tipo esto depende del fabricante, dependiendo de esto se puede ajustar las unidades de disparos disponibles, las cuales son: de tiempo diferido largo (L), de tiempo diferido corto (S), instantáneo (I) y de protección contra fallas (G).

El ajuste de tiempo diferido largo se usa para proteger el transformador contra sobrecargas, y protección contra cortocircuito. El ajuste de tiempo corto e instantáneo se usan para protección de un centro de carga o un CCM, el ajuste se hace considerando la capacidad del motor de mayor potencia y la suma de todas las cargas de ese circuito. Para ajustar el instantáneo se debe conocer el valor la corriente de cortocircuito momentánea en la barra, y a partir de ese valor se determina el ajuste.

## 2.8 Transformadores de Instrumentos

Los aparatos de medida y los relés de protección no pueden soportar, por lo general, ni elevadas tensiones ni elevadas corrientes, ya que de lo contrario se encarecería sobremanera su construcción. Por otra parte es conveniente evitar la presencia de elevadas tensiones en aquellos dispositivos que van a estar al alcance de las personas.

Son éstas las principales razones para la utilización de los transformadores de medida y protección, a través de los cuales se pueden llevar señales de tensión y corriente, de un valor proporcional muy inferior al valor nominal, a los dispositivos de medida y protección. Se consigue además una separación galvánica, (entre las magnitudes de alta y baja tensión), de los elementos pertenecientes a los cuadros de mando, medida y protección con las consiguientes ventajas en cuanto a seguridad de las personas y del equipamiento.

Como las mediciones y el accionamiento de las protecciones se hallan referidas, en última instancia, a la apreciación de tensión y corriente, se dispone de dos tipos fundamentales de transformadores de medida y protección:

- Transformadores de corriente (TC'S).
- Transformadores de tensión (TP'S).

Normalmente estos transformadores se construyen con sus secundarios, para corrientes de 5 o 1 A y tensiones de 100, 110, 100/ 3, 110/ 3 V.

Los transformadores de corriente se conectan en serie con la línea, mientras que los de tensión se conectan en paralelo, entre dos fases o entre fase y neutro. Esto en sí, representa un concepto de dualidad entre los transformadores de corriente y los de tensión que se puede generalizar en la siguiente tabla y que nos ayuda para pasar de las funciones de un tipo de transformador al otro:

### 2.8.1 Transformadores de Corriente

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

El primario del transformador, que consta de muy pocas espiras, se conecta en serie con el circuito cuya intensidad se desea medir y el secundario se conecta en serie con las bobinas de corriente de los aparatos de medición y de protección que requieran ser energizados.

Las espiras del arrollamiento primario suelen ser una o varias, las cuales se pueden a su vez dividir en dos partes iguales y conectarse en serie o paralelo para cambiar la relación, y atraviesan el núcleo magnético, cuya forma suele ser



cerrada tipo toroidal o puede tener un cierto entrehierro, sobre el cual se arrollan las espiras del secundario de una forma uniforme, consiguiendo así reducir al mínimo el flujo de dispersión. Este arrollamiento es el que se encarga de alimentar los circuitos de intensidad de uno o varios aparatos de medida conectados en serie.

Se puede dar también la existencia de varios arrollamientos secundarios en un mismo transformador, cada uno sobre su circuito magnético, uno para medida y otro para protección. De esta forma no existe influencia de un secundario sobre otro.

Si el aparato tiene varios circuitos magnéticos, se comporta como si fueran varios transformadores diferentes. Un circuito se puede utilizar para mediciones que requieren mayor precisión, y los demás se pueden utilizar para protección. Por otro lado, conviene que las protecciones diferenciales de cables o transformadores de potencia y de distancia se conecten a transformadores de corriente independientes. **FIGDE TC'S**

Los transformadores de corriente se pueden fabricar para servicio interior o exterior. Los de servicio interior son más económicos y se fabrican para tensiones de servicio de hasta 36 kV, y con aislamiento en resina sintética. Los de servicio exterior y para tensiones medias se fabrican con aislamiento de porcelana y aceite, o con aislamientos a base de resinas que soportan las condiciones climatológicas. Para altas tensiones se continúan utilizando aislamientos a base de papel y aceite dentro de un recipiente metálico, con aisladores tapas de porcelana. Actualmente se utilizan resinas dentro de un aislador de porcelana, o gas SF6 y cubierta de porcelana.

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

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

**Transformadores de protección.** Los transformadores cuya función es proteger un circuito, requieren conservar su fidelidad hasta un valor de veinte veces la magnitud de la corriente nominal, cuando se trata de grandes redes con altas corrientes pueden ser necesario requerir treinta veces la corriente nominal.

En el caso de los relés de sobre-corrientes, sólo importa la relación de transformación, pero en otro tipo de relés, como pueden ser los de impedancia, se requiere además de la relación de transformación, mantener el error del ángulo de fase dentro de valores predeterminados.

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

**Transformadores combinados.** Son aparatos que bajo una misma cubierta albergan un transformador de corriente y otro de tensión. Se utilizan en estaciones de intemperie fundamentalmente para reducir espacios.

### **Características de los transformadores de corriente**

**Aislamiento externo:** el aislamiento externo consta de una envolvente cerámica con una línea de fuga lo suficientemente larga como para que ningún arco pueda contornear bajo condiciones de contaminación, como lluvia, niebla, polvo, etc.

**Aislamiento interno:** puede variar según sus características constructivas. Un caso es aquél en que las partes activas se moldean en resina de epoxy que las fija, las separa y las aísla, existiendo una cámara de aire entre el aislamiento externo de porcelana y el cuerpo de resina. Esta cámara se sella herméticamente con juntas de caucho nitrílico y se la rellena con aceite aislante o gas SF<sub>6</sub>.

Existe otro tipo constructivo, indicado para potencias de precisión elevadas y grandes intensidades de cortocircuito, en que el aislamiento interno suele ser cartón prespán impregnado en aceite para el conjunto de los núcleos, arrollamientos secundarios y la bajante de los conductores que unen los arrollamientos secundarios con sus cajas de bornes. Esta bajante lleva incorporada en el interior de su aislamiento una serie de pantallas metálicas de forma cilíndrica, estando todo ello envuelto por un tubo metálico en forma decreciente, de forma cónica. Este conjunto constituye un capacitor que permite un reparto uniforme de tensión a lo largo de toda la aislación interna. El aceite que se utiliza para impregnar el cartón es desgasificado y filtrado, y cuando se rellena el transformador se hace bajo condiciones de vacío. Los transformadores con aislamiento de cartón impregnado en aceite suelen disponer de un depósito de expansión (donde va a parar el aceite sobrante cuando éste se calienta) en su extremo superior. Conviene indicar que la parte superior del transformador, donde se halla el conjunto del núcleo y arrollamiento secundario, está moldeada en resina epoxy, formando una cabeza donde da cabida también al depósito de expansión de aceite. Este tipo constructivo de transformador se utiliza para tensiones desde 36 hasta 765 kV.

**Núcleo:** los transformadores de intensidad, tanto de medida como de protección, se construyen con núcleos de chapa magnética de gran permeabilidad. Cabe diferenciar que cuando un núcleo va destinado para un transformador de medida se utiliza una chapa de rápida saturación, mientras que si va destinado para protección, la chapa a utilizar será de saturación débil o lenta. Veamos las siguientes curvas de imantación: graficas de chapa magnética.

1.- Chapa con alto porcentaje de silicio.

2.- Chapa de aleación ferromagnética a base de níquel (30% al 70%) de gran permeabilidad magnética y débil poder de saturación.

3.- Ídem anterior pero con gran poder de saturación.

Con esta distinción de núcleos se garantiza, cuando se utiliza una chapa de gran permeabilidad y de rápida saturación en los transformadores para medida, una buena precisión para corrientes primarias no superiores al 120 % de la corriente primaria nominal, mientras que las sobreintensidades y cortocircuitos no se transfieren al secundario gracias a la rápida saturación de la chapa.

Por otra parte, cuando se elige una chapa de gran permeabilidad y saturación débil para transformadores de protección, se garantiza el mantenimiento de la relación de transformación para valores de intensidad primaria varias veces superior a la nominal, con lo que en el secundario se pueden obtener valores proporcionales a las corrientes de sobrecarga y cortocircuito aptos para poder accionar los dispositivos de protección.

Con estos razonamientos en la elección del tipo de chapa para los núcleos se puede comprender que se instalen núcleos separados cuando se desea tener en un mismo transformador un devanado secundario para medida y otro para protección.

**Arrollamiento primario:** es de pletina de cobre electrolítico puro, en barra pasante o formando varias espiras distribuidas por igual alrededor del núcleo. Existe la posibilidad de construir el arrollamiento partido con acceso a los extremos de cada parte para que a base de realizar conexiones en serie o paralelo de las partes del arrollamiento, se puedan obtener diferentes relaciones de transformación.

**Arrollamiento secundario:** es de hilo de cobre electrolítico puro, esmaltado, uniformemente distribuido alrededor del núcleo. Existe la posibilidad de cambio de relación de transformación por toma secundaria. Es el arrollamiento que alimenta los circuitos de intensidad de los instrumentos de medida, contadores, y relés.

**Bornes terminales primarios:** pueden ser de latón, bronce o aluminio, están ampliamente dimensionados y son de forma cilíndrica, planos o con tornillos.

**Bornes terminales secundarios:** son de latón y se hallan alojados en una caja de bornes de baja tensión estanca.

## 2.8.2 Transformadores de Tensión

Un transformador de tensión es un dispositivo destinado a la alimentación de aparatos de medición y /o protección con tensiones proporcionales a las de la red en el punto en el cual está conectado. El primario se conecta en paralelo con el circuito por controlar y el secundario se conecta en paralelo con las bobinas de tensión de los diferentes aparatos de medición y de protección que se requiere

energizar. Cada transformador de tensión tendrá, por lo tanto, terminales primarios que se conectarán a un par de fases o a una fase y tierra, y terminales secundarios a los cuales se conectarán aquellos aparatos.

En estos aparatos la tensión secundaria, dentro de las condiciones normales de operación, es prácticamente proporcional a la tensión primaria, aunque ligeramente desfasada. Los TP'S desarrollan dos funciones: transformar la tensión y aislar los instrumentos de protección y medición conectados a los circuitos de alta tensión.

Los transformadores de tensión consisten en dos arrollamientos realizados sobre un núcleo magnético y los transformadores de tensión que contienen un divisor capacitivo. A los primeros los llamaremos en adelante "Transformadores de Tensión Inductivos" y a los segundos "Transformadores de Tensión Capacitivos".

Es de hacer notar que estas denominaciones no son de uso universal, pero consideramos que son las que mejor se adaptan a la Norma IRAM 2271, que incluye a los dispositivos con divisor capacitivo.

Estos transformadores se fabrican para servicio interior o exterior, y al igual que los de corriente, se fabrican con aislamientos de resinas sintéticas (epoxy) para tensiones bajas o medias de hasta 33 kV, mientras que para altas tensiones se utilizan aislamientos de papel, aceite, porcelana o con gas SF6.

Un Transformador de Tensión inductivo (TP'S) consiste en un arrollamiento primario y un arrollamiento secundario dispuestos sobre un núcleo magnético común.

Como dijimos las terminales del arrollamiento primario se conectan a un par de fases de la red, o a una fase y a tierra o neutro. Las terminales del arrollamiento secundario se conectan a los aparatos de medición y/o protección que constituyen la carga.

En realidad la idea expuesta corresponde a un TP monofásico, que es el modelo más usado en todas las tensiones y para tensiones superiores a 33 kV. La tensión primaria de un TP es elegida de acuerdo a la tensión de la red a la cual está destinado. Si se trata de medir la tensión entre fases, la tensión nominal primaria estará en correspondencia con la tensión compuesta, pero si se trata de medir tensión entre fase y tierra la tensión nominal primaria será  $1/\sqrt{3}$  veces la tensión del sistema eléctrico.

El tamaño de los TP'S está fundamentalmente determinado por la tensión del sistema eléctrico y el tipo de aislamiento del arrollamiento primario a menudo excede en volumen al arrollamiento mismo. Un TP debe estar aislado para soportar sobretensiones, incluyendo tensiones de impulso. Si se debe lograr eso con un diseño compacto, la tensión debe estar distribuida uniformemente a través del arrollamiento, lo cual requiere una distribución uniforme de la capacidad del arrollamiento o la aplicación de apantallado electrostático.

Un TP convencional tiene, en la mayoría de los casos, un solo arrollamiento primario, cuya aislación presenta grandes problemas para tensiones superiores a 132 kV. Esos problemas son solucionados con los TP en cascada repartiendo la tensión primaria en varias etapas separadas.

Un arreglo interno de un TP en cascada, está constituido por varios transformadores individuales cuyos arrollamientos primarios están conectados en serie. Cada núcleo magnético tiene el arrollamiento primario (P) repartido en dos lados opuestos, mientras que el arrollamiento secundario (S) consiste en un solo bobinado colocado únicamente en la última etapa.

Los arrollamientos de acoplamiento (C), conectados entre etapas proveen los circuitos para la transferencia de Amper - vueltas entre ellas y aseguran que la tensión se distribuya igualmente en los distintos arrollamientos primarios.

El potencial de los núcleos y de los arrollamientos de acoplamiento es fijado a valores predeterminados conectándolos a puntos seleccionados del primario. De ese modo, la aislación de cada arrollamiento sólo debe ser suficiente para la tensión desarrollada en aquel arrollamiento

La aislación entre etapas se consigue mediante el soporte del conjunto de los transformadores individuales, el cual debe también ser capaz de soportar la plena tensión primaria.

Los Transformadores de Tensión Capacitivos fueron desarrollados debido al alto costo de los Transformadores de Tensión Inductivos, principalmente para tensiones por encima de los 100 kV. Sin embargo la respuesta transitoria de aquellos es menos satisfactoria que la de estos últimos.

Los transformadores de instrumentos deben llevar una placa de características, indeleble, en la que deben figurar, las siguientes indicaciones según norma IEC 60185 para TC's y la norma IEC 60186 para TP's.

TP's.

- Nombre del constructor o cualquier otra marca que permita su fácil indicación.
- Número de serie y designación del tipo.
- Tensiones nominales primaria y secundaria en voltios.
- Frecuencia nominal en Hz.
- Potencia de precisión y clase de precisión correspondiente.
- Tensión más elevada de la red.
- Nivel de aislamiento nominal

TC's

- Nombre del constructor o cualquier otra marca que permita su fácil identificación.
- Número de serie y designación del tipo.

- Corrientes nominales primaria y secundaria en amperes.
- Frecuencia nominal en Hz.
- Potencia de precisión y clase de precisión correspondiente a cada núcleo.
- Tensión más elevada de la red.
- Nivel de aislamiento nominal.

## 2.9 EasyPower

EasyPower es una herramienta de ingeniería asistida por computadora para el análisis y diseño de sistemas eléctricos de potencia industriales, servicios eléctricos y comerciales. EasyPower es único, ya que se integra completamente las funciones de cortocircuito, flujo de potencia, coordinación de dispositivos de protección y base de datos bajo el control interactivo gráfico del diagrama unifilar. EasyPower le permite trabajar como lo hace normalmente, directamente desde el diagrama unifilar. EasyPower tiene una interfaz interactiva y fácil de usar diseñada para el análisis eficiente y preciso de sistemas de potencia.

EasyPower utiliza las últimas técnicas de análisis de redes desarrolladas por los líderes mundiales en algoritmos de soluciones dispersas y técnicas informáticas innovadoras. Nuestra empresa se enorgullece de su ingenio de desarrollo de software que ofrece una amplia variedad de algoritmos que no están disponibles en otros programas. Esto da EasyPower una tremenda ventaja sobre otros programas en el tiempo de ejecución, las capacidades de modelado y precisión.

Además del programa completo de EasyPower, hay varios programas más pequeños que incluyen un subconjunto de características específicas para usos específicos. Estos incluyen OneLine Designer™, EasySolv™ y SafetyTracker™. EL Diseñador OneLine™ incluye las potentes funciones de creación de un diagrama unifilar de EasyPower, pero sin las capacidades de análisis completas. Se utiliza para crear diagramas unifilares e escribir los datos acerca de su equipo. SafetyTracker™ incluye la capacidad de ver diagramas unifilares creados en EasyPower y EasySolv™. SafetyTracker™ genera automáticamente y realiza un seguimiento de la documentación requerida para la comodidad y seguridad del personal de la planta. EasySolv incluye muchas de las potentes funciones básicas de EasyPower. Se utiliza para crear detallados diagramas unifilares rápidamente y fácilmente, realizar cálculos de peligro de arco eléctrico y mantener la documentación del sistema y la seguridad todo en un solo lugar.

El software EasyPower cuenta con herramientas de análisis de sistemas eléctricos las cuales son:

1. Editar base de datos (Database Edit)
2. Cortocircuito (Short Circuit)
3. Flujo de potencia (Power Flow)
4. Armónicos (Harmonics)
5. Coordinación de dispositivos de protección (Protective Device Coordination)
6. Estabilidad dinámica (Dynamic Stability)

Puede editar la base de datos, cambiando los nombres de identificación, datos del equipo, impedancias, y otra información pertinente. También puede cambiar las posiciones de los equipos de un diagrama unifilar y las líneas que los conectan. Resultados del análisis no se muestran en el diagrama unifilar en el enfoque Editar la base de datos (Database Edit).

Cada modo de análisis proporciona las herramientas necesarias para ese tipo de estudio. En un modo de análisis, se puede cambiar el diagrama unifilar (por ejemplo, las posiciones de los equipos), pero no los datos de los equipos. Algunos modos de análisis permiten cambios temporales de datos de los equipos para realizar análisis de ¿qué pasaría si? Los diferentes tipos de análisis incluyen Cortocircuito, Flujo de potencia, Armónicos, Coordinación y Estabilidad dinámica.

EasyPower proporciona una implementación completa de la norma ANSI C37.010-1979, C37.5-1979, C37.13-1981. Un circuito equivalente "R" (resistencia) separado se forma para el análisis del circuito de impedancia de interrupción de alta tensión. La relación X/R que utiliza para el cálculo de los multiplicadores de corriente máxima disponible de interrupción se encuentra por medio de la relación Z/R. Las relaciones NACD (Sin decaimiento de CA) se calculan con la consideración de las contribuciones de generadora Local y Remota como se indica en la norma ANSI Estándar. C37.010-1979 y la Referencia. Los multiplicadores de alta tensión de corriente disponible de interrupción también se derivan de la referencia.

EasyPower calcula corrientes disponibles trifásicas y desequilibradas de fallas utilizando una red de admitancia nodal y soluciones vectoriales esparcidas. El sistema se modela en la forma dada abajo.

$$[I] = [V] [Y]$$

Dónde:

V = matriz de tensión

I = matriz de corriente

Y = Vector de admitancia nodal (G +j B)

A partir de la matriz de admitancias nodales, se calcula el punto de falla de admitancia equivalente Thevenin. Corrientes de falla se encuentran desde la relación  $I=V*Y$  para todos los ramales del sistema. Una tensión del punto de falla del sistema de 1,0 por unidad se asume a menos que indique lo contrario en la pestaña Control del cuadro de diálogo Opciones de cortocircuito (Short Circuit Options). Se ignora la corriente de carga antes de la falla.

Para fallas de corriente disponible momentánea (1/2 ciclo), la impedancia de secuencia positiva se asume igual a la impedancia de secuencia negativa. Relaciones X/R se derivan de la red compleja.

Fallas de interrupción de corriente máxima disponible se modelan utilizando multiplicadores para modificar impedancias rotativas subtransitorias de máquinas (secuencia positiva) como se indica en la norma ANSI C37.010-1979 y C37.5-1979. Impedancias de secuencia negativa se modelan usando las impedancias rotativas subtransitorias de máquinas sin multiplicadores. Una red separada "R" (resistencia) se forma para el cálculo de la relación X/R del punto de falla. La relación X/R que se utiliza para el cálculo de los multiplicadores de corriente disponible de interrupción se encuentra de la relación Z/R. Este método cumple totalmente con la norma ANSI y tiene la ventaja de corrientes y tensiones exactas, velocidad aumentada, y una mayor precisión sobre la técnica de solución *X separado R separado* (*Separate X Separate R*).

Para fallas de 30 ciclos, todas las contribuciones de motor han decaído a cero, y se utiliza un generador de impedancia modificada de  $1,5 \times "dv$ . Esto proporciona resultados conservadores que suelen ser más altos que la mayoría de los estudios dinámicos indican.

Muchos programas en el mercado calculan las corrientes de cortocircuito que son teóricamente correcto para las fuentes de origen infinitas. Por desgracia, estos programas no consideran adecuadamente las características de decremento de CA y CC de motores y generadores como se indica en las normas ANSI C37.010-1979, C37.5-1979 y C37.13-1981.

Para considerar adecuadamente esta disminución y sus multiplicadores asociados, debe realizar reducciones separadas de  $X$  y  $R$  o  $Z$  y  $R$  de la impedancia de interrupción equivalente de alta tensión. Esto es necesario para obtener la relación X/R adecuada que cuenta correctamente las tasas de decaimiento reales de CA y CC actuales para un sistema con múltiples términos de decaimiento exponencial.

Es importante entender que lo que es teóricamente un modelo correcto para un sistema de fuente infinita, puede variar enormemente de lo que hace el sistema bajo condiciones de cortocircuito reales. No hay manera completamente exacta para combinar circuitos paralelos con diferentes valores de X/R en un circuito con un único valor de X/R. Las corrientes de los diferentes circuitos serán la suma de varios términos de forma exponencial en decaimiento, mientras que el modelo teórico del circuito contendrá sólo un término.

Las investigaciones han demostrado que mediante el cálculo de la relación X/R usando reducciones separadas, una mejor correlación con la relación X/R real del sistema se obtiene que cualquier otro procedimiento razonablemente simple (incluyendo la representación por fasores). El error resultante de este procedimiento está en el lado conservador.

Debida a que los multiplicadores de corriente disponible de interrupción se calculan a partir de la relación X/R, es imperativo que se utiliza la proporción correcta y conservadora. Los errores con un rango desde 10-20 por ciento de la actual corriente disponible de interrupción son posibles cuando se utiliza la



representación por fasores (sin una reducción R por separado) para calcular la relación X/R.

Técnicas de solución que sólo calculan una corriente momentánea y utilizan una tasa de decaimiento transitoria para una solución asimétrica ignoran por completo las normas de ANSI. Por lo tanto, no deben ser utilizadas para aplicar corrientes disponibles de interrupción de alta tensión a los interruptores automáticos estándares de ANSI. Las ramificaciones legales (responsabilidad) de este deben ser consideradas.

Lo que esto significa en términos prácticos es que es muy difícil comparar interruptores automáticos del estándar ANSI utilizando cálculos de otros métodos. Es evidente que los resultados de otros métodos pueden variar ampliamente de los resultados estándares de ANSI en función del tipo de sistema.

## **2.10 Coordinación de Protecciones**

Existen diversos equipos de protección, la importancia no es seleccionar los más costosos, sin aquellos que sean capaces de liberar una falla rápidamente y evitar que se propague ya que podría ocasionar grandes gastos y pérdidas de equipos en un sistema eléctrico.

Cada elemento encargado de la protección puede tener un criterio diferente al proteger un sistema eléctrico, como puede ser el costo, la eficiencia, la rapidez o la simplicidad. Dichos criterios son producto del análisis de las características particulares de operación de cada uno de los dispositivos y de cómo deben interactuar esas características entre dos o más dispositivos adyacentes.

Los criterios establecen las reglas para definir la coordinación adecuada entre los elementos de protección. Es importante puntualizar que los criterios señalados establecen y recomiendan rangos o márgenes de aplicación que de no respetarse se pueden obtener resultados no deseados, uno de los márgenes de aplicación son el tiempo y la corriente que puede soportar el equipo, cada equipo de protección cuenta con un intervalo mínimo y máximo de operación con otro dispositivo de protección.

Para coordinar el sistema debe ser selectivo, es decir que opere solo el dispositivo de protección que se encuentre más cercano a la falla, si por alguna razón este dispositivo falla, entonces debe operar la siguiente.

### **2.10.1 Coordinación Fusible-Relevador**

La aplicación de este tipo de arreglo se da fundamentalmente entre dispositivos ubicados en una misma subestación (protección de banco en alta tensión-protección de banco en baja tensión). Estos sistemas generalmente son de tipo rural o suburbano donde los transformadores pueden tener una capacidad de 10 MVA, para los cuales los fusibles deben ser de potencia.

El criterio establece que debe existir un margen en tiempo de coordinación del 25% entre la curva TMF (Tiempo Mínimo de Fusión) del fusible, y la curva característica tiempo-corriente del relevador cuando esta presenta la máxima corriente de cortocircuito. Con este margen se pretende que el fusible no opere, sino que el calentamiento transitorio a que se ve sometido el equipo no provoque alguna modificación de tipo irreversible en sus características físicas. De tal forma que su comportamiento para otras fallas ya no sea el esperado. En otras palabras, si se define a  $t_2$  como el tiempo mínimo de fusión del fusible de potencia para una falla de referencia y a  $t_1$  como el tiempo de operación del relevador para la misma falla, el criterio puede ser definido como.

$$t_1 \leq 0.75 t_2$$

Una recomendación que facilita un estudio de coordinación cuando se aplica este criterio, es seleccionar la característica tiempo-corriente del dispositivo primario con una inversidad similar a la del dispositivo de respaldo, lográndose mantener con esto una separación uniforme entre ambas curvas.

Un estudio de coordinación se verá comprometido, si la característica de tiempo-corriente del dispositivo primario es seleccionada con una inversidad menor que la del dispositivo de respaldo, en razón del acercamiento de curvas para valores de falla altos. Al respecto, los relevadores de nueva tecnología ofrecen una amplia variedad para la selección de diferentes características de tiempo-corriente.

Para el caso de los fusibles de potencia, la mayoría de los fabricantes disponen de algunas alternativas en cuanto a la velocidad de operación. La mayoría de los fabricantes de relevadores ofrecen tres tipos de curvas características las cuales pueden ser: inversa, muy inversa y extremadamente inversa.

Por otra parte, si se requiere asegurar al máximo la no operación en falso del fusible por fallas después del interruptor de banco, se recomienda que la aplicación del criterio se haga sobre una curva TMF del fusible de potencia, modificada por los factores de corrección por temperatura ambiente y por corriente de pre-falla. La finalidad de estos factores, es desplazar verticalmente sobre el eje coordenado del tiempo a la curva TMF del fusible, adicionando de esta forma un margen extra de coordinación.

Dicho desplazamiento puede ser hacia abajo cuando el entorno del fusible representa mayor severidad de operación para el fusible (temperatura ambiente alta y/o cierto nivel de sobre carga en el transformador de potencia); o hacia arriba cuando el entorno del fusible ayuda a mantener sus características debajo de las condiciones normalizadas de diseño.

La metodología para la aplicación de este criterio de coordinación es la siguiente.

1. Se selecciona la capacidad mínima del fusible en función de la capacidad del transformador, considerando tanto condiciones normales de operación, como se sobrecarga por emergencia.

2. Se define la velocidad más apropiada para características de operación del fusible, tomando en cuenta para la componente TIT (tiempo de interrupción total) los tiempos requeridos de operación tanto para falla en alta tensión como para falla en baja tensión. Dicha característica debe verificarse además en su componente TMF (tiempo mínimo de fusión), para las condiciones de inrush y de carga fría.
3. Si las condiciones del entorno así lo requieren, se modifica la curva TMF mediante la aplicación de los factores de corrección respectivos.
4. Se define la característica de operación tiempo-corriente del relevador, en función de los requerimientos de coordinación del sistema.
5. Finalmente, se selecciona los ajustes del relevador para cumplir con el margen de coordinación establecido por el criterio para este arreglo.

Es importante señalar que dada la conexión delta-estrella de los transformadores de potencia empleados en subestaciones, la aplicación del criterio se limita a la comparación de las características tiempo-corriente del fusible con la de los relevadores de fase para fallas trifásicas en la barra de baja tensión. Si se requiere un análisis con respecto a la falla monofásica, se recomienda desplazar las curvas del fusible en función del factor de conexión para un arreglo delta-estrella.

Cabe mencionar que al estar los dos dispositivos de protección instalados en niveles de tensión diferentes, es necesario definir una tensión base para realizar el estudio de coordinación de protecciones respectivo. Por tal razón, las características tiempo-corriente de uno de los equipos (generalmente el fusible de potencia) deben ser referidas a dicha tensión base, con el objeto de efectuar el análisis comparativo correspondiente.

### **2.10.2 Coordinación Relevador-Fusible.**

La aplicación de este tipo de arreglo se da frecuentemente entre dispositivos ubicados en diferentes zonas; el relevador en una subestación como protección de un circuito de distribución y el fusible le cómo protección de un ramal sobre la línea del sistema eléctrico. El criterio establece que debe existir un margen mínimo en tiempo de coordinación de cuando menos 0.3 segundos entre la curva de TIT del fusible y la curva característica del relevador para la máxima corriente de cortocircuito. Con la operación selectiva de la unidad instantánea del relevador de sobre-corriente, para cualquier falla en el ramal, el primer disparo lo efectúa el propio relevador, reenergizando el circuito a través del relevador de recierre o de la función de recierre.

Posteriormente al cerrar el interruptor mediante un arreglo en el circuito de control del esquema o por programación, es inhabilitada o bloqueada la acción de la unidad instantánea del relevador, de tal forma que si la falla persiste se fundirá el fusible

debido al margen de coordinación de 0,3 segundos manteniendo entre su curva característica TIT y la curva característica del relevador.

### **2.10.3 Coordinación Fusible-Fusible**

La aplicación de este tipo de arreglo se da entre dispositivos ubicados en una línea o red de distribución, siendo el fusible de respaldo la protección de un ramal o subramal o bien de un transformador de distribución. El criterio establece que debe existir un margen mínimo en tiempo de coordinación del 25% del tiempo de la curva característica TIT del fusible de respaldo; entre esta y la curva característica TIT del fusible primario, para la máxima corriente de cortocircuito común a ambos dispositivos.

Este margen es para evitar posibles modificaciones en las características físicas del fusible debido al calentamiento excesivo. Se define a  $t_2$  como el tiempo mínimo de fusión del fusible de respaldo para la falla de referencia y a  $t_1$  como el tiempo máximo de apertura del fusible primario para la misma falla, el criterio se puede definir como:

$$t_1 \leq 0.75t_2$$

Es decir que la curva TIT del fusible lado carga no debe exceder el 75% en el tiempo a la curva TIT del fusible lado fuente para la máxima corriente de cortocircuito. Por otra parte cabe señalar que en un estudio de coordinación de protecciones en donde se involucran fusibles, debe contarse dentro de la información requerida con las características de operación de las curvas tiempo-corriente proporcionadas por el fabricante.

Cada estudio de coordinación de protecciones identifica a uno o varios tipos específicos de elementos fusibles, cada uno de estos se encuentra asociado al régimen de corriente que debe utilizarse para asegurar una coordinación adecuada. Los elementos fusibles requieren de su reemplazo después de operar por una falla, por lo que es necesario reemplazar el elemento fundido, por otro del mismo tipo y régimen de corriente, siendo recomendable que también sea del mismo fabricante. Una acción que simplifica y facilita tal labor de reemplazo, es tratar de tener un reemplazo de todas las capacidades de todos los fusibles primarios que se encuentran coordinados con un dispositivo de respaldo.

Esto puede lograrse desde el estudio de coordinación de protecciones, seleccionando la capacidad del fusible más crítico en cuanto a condiciones de carga y cortocircuito se refiere, y aplicar esa misma capacidad al resto de los elementos, generalmente si existe coordinación con el elemento crítico, la misma se mantiene con los elementos menos críticos.

### **2.10.4 Coordinación Fusible-Interruptor**

La selectividad entre un interruptor y un fusible que se conecta en serie, se da cuando la curva característica del fusible no toca la curva característica de disparo

del interruptor, en el intervalo de las sobrecargas y hasta aproximarse a la zona de disparo. La coordinación se da cuando el tiempo máximo de respuesta entre ellos es entre 0.2 y 0.4 segundos para la falla máxima.

### **2.10.5 Coordinación Relevador-Relevador**

Cuando se usan relevadores de sobre-corriente en serie, se establece un margen de tiempo entre 0.2 y 0.4 segundos al valor máximo de falla que se presente, este tiempo incluye el tiempo de operación del interruptor que es aproximadamente de 0.12 segundos y el tiempo del relevador que es de aproximadamente de 0.10 segundos dependiendo del fabricante.

## **3. Desarrollo**

### **3.1 Levantamiento en campo de la base de datos (Equipo eléctrico primario, equipo de protecciones y ajustes actuales)**

Los equipos primarios de la red de servicios propios constituyen la parte más importante ya que de ellos depende que el sistema eléctrico se mantenga estable y sea de calidad. Cada uno de los equipos elabora un papel muy importante dentro de la red de Servicios Propios, desde los transformadores de servicios propios de cada una de las unidades, transformadores de instrumento, interruptores y relevadores que forman parte esencial para la protección de la red antes mencionada.

Por otro lado se toma como equipo de protección a un conjunto de equipos de protección (relés, fusibles, cuchillas, etc.) para cumplir los requerimientos de protección con rapidez óptima para los diferentes tipos de configuraciones, condiciones de operación y características de construcción de un sistema eléctrico.

Se inició el levantamiento de datos de placa de los equipos eléctricos primarios y de protecciones que componen la red de Servicios Propios de la C.H. Malpaso como estableciendo una secuencia de trabajo, se ubicaron los datos de placa de las Unidades Generadoras 1 y 2, sus componentes derivados como son transformadores de excitación, transformador de servicios propios, interruptores, datos de buses (13.8 kV, 115 kV, 400 kV) y cuchillas. La siguiente etapa del levantamiento se enfocó sobre las Unidades Generadoras 3 y 4 realizando recorrido similar al de las Unidades Generadoras 1 y 2, se recopilaron la información de datos de placa de los equipos que conforman la red de Servicios Propios de dichas Unidades.

La última etapa del recorrido fue destinada a las Unidades Generadoras 5 y 6 con lo cual se concluyó el levantamiento de datos de placa de equipo primario que conforman la red de Servicios Propios de la C.H. Malpaso.

Al término del recorrido se realizó un estudio de los interruptores, relevadores y cuchillas que componen el diagrama unifilar de la red de Servicios Propios, así

también se conoció el tablero en donde están las palancas de dichos interruptores. Esto se hizo con la finalidad de conocer cómo funciona este sistema que es sobre lo que se va a trabajar.

Con la información de datos de placa se realizó una memoria de equipo eléctrico primario y de protección con el que está constituida la red de Servicios Propios de la C. H. Malpaso.

Como parte importante de para la alimentación de la red de Servicios Propios se encuentra integrada a él una planta de emergencia, la cual en caso de alguna falla que termine en el corte de la alimentación de la red, que cuenta con las características necesarias como cumplir con el suministro de energía eléctrica de dicha red, que dentro de sus características cuenta con una potencia entregada de 350 kW, 480 VCA, 3F y trabaja a una frecuencia de 60 Hz., cabe señalar que dicha planta de emergencia se encuentra ubicada en la sub-estación elevadora de la C. H. Malpaso.

Otro aspecto interesante a resaltar dentro de las actividades de levantamiento de la base de datos en campo son los datos de placa de cada generador de la central hidroeléctrica Malpaso, dicha central consta de seis generadores.

A continuación se presenta una tabla donde se muestra parte de los equipos con la información de datos de placa correspondientes:

<b>Generadores</b>				
	Potencia (MVA)	Voltaje (kV)	F. P.	Velocidad (RPM)
<b>Unidad 1</b>	218	15	0.95	128.57
<b>Unidad 2</b>	218	15	0.95	128.57
<b>Unidad 3</b>	218	15	0.95	128.57
<b>Unidad 4</b>	218	15	0.95	128.57
<b>Unidad 5</b>	218	15	0.95	128.57
<b>Unidad 6</b>	218	15	0.95	128.57

**Tabla 3.1** Datos de Placa de Generadores de la C. H. Malpaso.

<b>Transformadores</b>						
	Capacidad (kVA)	Clase Tipo	H (kV)	L (kV)	Temp. °C	Conexión
<b>Transformador Servicios Propios Unidad 1</b>	2000	AN Seco	15	0.44	150	Δ – Y
<b>Transformador Excitación Unidad 1</b>	2800	AA Seco	15	1	150	Δ – Y
<b>Transformador de Potencia Unidad 1</b>	75	ONAN/ONAF/OFAF Aceite	400	15	55	Δ – Y

<b>Transformador Serv. Propios Unidad 2</b>	2000	AN Aceite	15	0.44	150	$\Delta - Y$
<b>Transformador Excitación Unidad 2</b>	2800	AA Seco	15	1	150	$\Delta - Y$
<b>Transformador de Potencia Unidad 2</b>	75	ONAN/ONAF/OFAF Aceite	400	15	55	$\Delta - Y$
<b>Transformador Serv. Propios Unidad 3</b>	2000	AN Aceite	15	0.44	150	$\Delta - Y$
<b>Transformador Excitación Unidad 3</b>	2800	AA Seco	15	1	150	$\Delta - Y$
<b>Transformador de Potencia Unidad 3</b>	75	ONAN/ONAF/OFAF Aceite	400	15	55	$\Delta - Y$
<b>Transformador Serv. Propios Unidad 4</b>	2000	AN Seco	15	0.44	115	$\Delta - Y$
<b>Transformador Excitación Unidad 4</b>	2800	AA Seco	15	1	150	$\Delta - Y$
<b>Transformador de Potencia Unidad 4</b>	75	ONAN/ONAF/OFAF Aceite	400	15	55	$\Delta - Y$
<b>Transformador Serv. Propios Unidad 5</b>	2000	AA Seco	15	0.44	115	$\Delta - Y$
<b>Transformador Excitación Unidad 5</b>	2800	AA Seco	15	1	170	$\Delta - Y$
<b>Transformador de Potencia Unidad 5</b>	75	ONAN/ONAF/OFAF Aceite	400	15	55	$\Delta - Y$
<b>Transformador Serv. Propios Unidad 6</b>	2000	AA Seco	15	0.44	115	$\Delta - Y$

<b>Transformador Excitación Unidad 6</b>	2800	AA Seco	15	1	170	$\Delta - Y$
<b>Transformador de Potencia Unidad 6</b>	75	ONAN/ONAF/OFAF Aceite	400	15	55	$\Delta - Y$
<b>T9</b>	75	-	115	13.8	-	$\Delta - Y$
<b>T10</b>	62.5	-	115	13.8	-	$\Delta - Y$
<b>TSL1</b>	2000	ONAN/ONAF/OFAF Aceite	13.8	0.44	65	$\Delta - Y$
<b>TSL5</b>	2000	ONAN/ONAF/OFAF Aceite	13.8	0.44	65	$\Delta - Y$

**Tabla 3.2** Datos de Placa de Transformadores que forman para de la red de Servicios Propios de la C. H. Malpaso.

<b>Interruptores</b>	
<b>ID</b>	<b>Voltaje (kV)</b>
42100	13.8
42090	13.8
4010	13.8
4020	13.8
4030	13.8
4040	13.8

**Tabla 3.3** Datos de Placa de Interruptores que forman parte del circuito de servicios exteriores para de la red de Servicios Propios de la C. H. Malpaso.

<b>Cuchillas</b>	
<b>ID</b>	<b>Voltaje (kV)</b>
42109	13.8
42099	13.8
42101	13.8
42091	13.8
42098	13.8
4011	13.8
4021	13.8
4031	13.8



4041	13.8
4019	13.8
4029	13.8
4039	13.8
4049	13.8
4018	13.8
4028	13.8
4038	13.8
4048	13.8

**Tabla 3.4** Datos de Placa de Cuchillas que forman parte del circuito de servicios exteriores para de la red de Servicios Propios de la C. H. Malpaso.

Toda la información recabada en este proceso es de utilidad para poder crear el diagrama unifilar de la red en el software EasyPower, dicha información anteriormente citada nos llevará poder realizar las prueba de cortocircuito, a continuación se explica a detalle la forma de utilizar los datos de placa en el software de EasyPower.

### **3.2 Carga en EasyPower de la base de datos (Equipo eléctrico primario, equipo de protecciones y ajustes actuales)**

EasyPower es una herramienta de ingeniería asistida por computadora para el análisis y diseño de sistemas eléctricos de potencia industriales, servicios eléctricos y comerciales. EasyPower es único, ya que se integra completamente las funciones de cortocircuito, flujo de potencia, coordinación de dispositivos de protección y base de datos bajo el control interactivo gráfico del diagrama unifilar. EasyPower le permite trabajar como lo hace normalmente, directamente desde el diagrama unifilar. EasyPower tiene una interfaz interactiva y fácil de utilizar diseñada para el análisis eficiente y preciso de sistemas de potencia.

Los datos de placa de los equipos que integran la red de Servicios Propios son importantes para el diseño y desarrollo del diagrama unifilar y prueba de cortocircuito, ya que con estas referencias nos arroja resultados con buena exactitud.

Para la carga de datos, después de haber recopilado la información y tener las tablas con los datos de placa, se tomó como referencia para construir el diagrama unifilar en el Software EasyPower el diagrama unifilar de la red de Servicios Exteriores que se muestra en las figuras 3.1 y 3.2, a partir de esa referencia en conjunto con el diagrama de grupo de generadores se fueron integrando las ramificaciones que forman parte de la red de Servicios propios de la C. H. Malpaso.

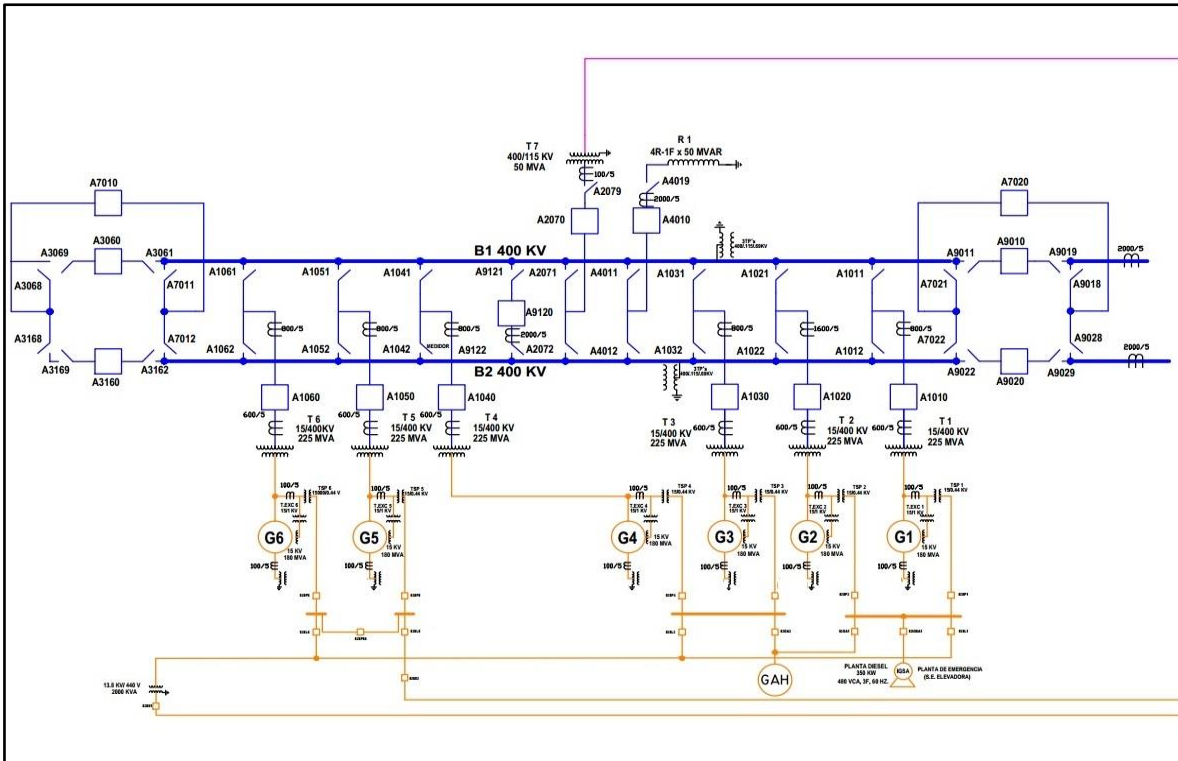


Figura 3.1 Diagrama Unifilar de la red.

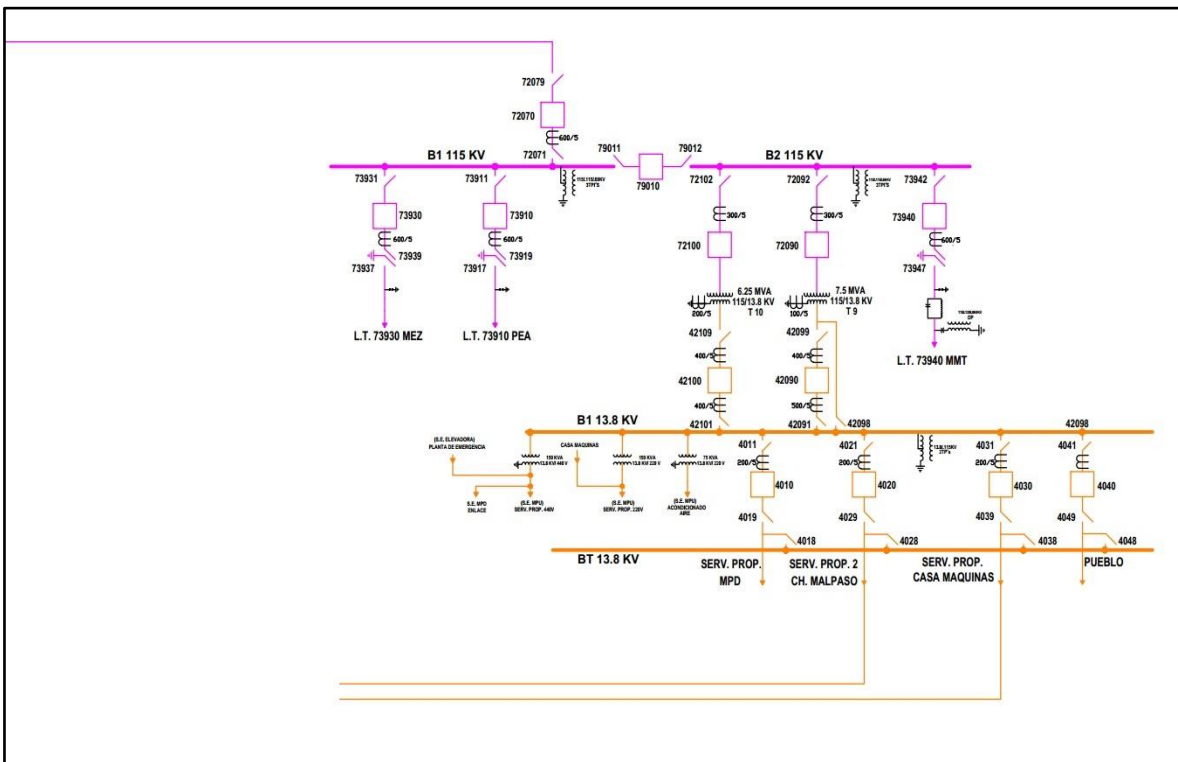
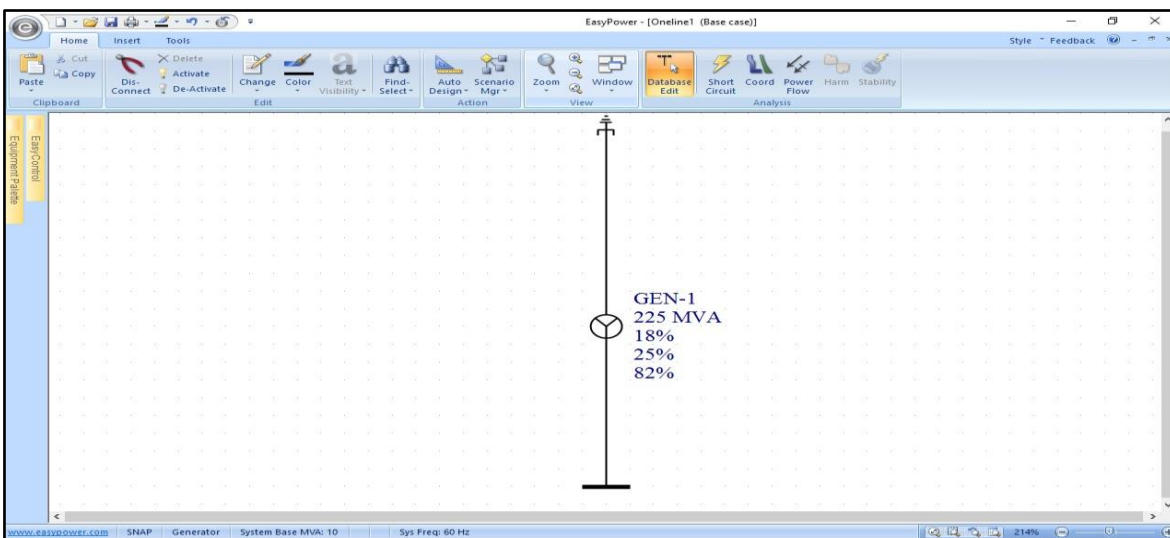


Figura 3.2 Diagrama Unifilar de la red parte 2.

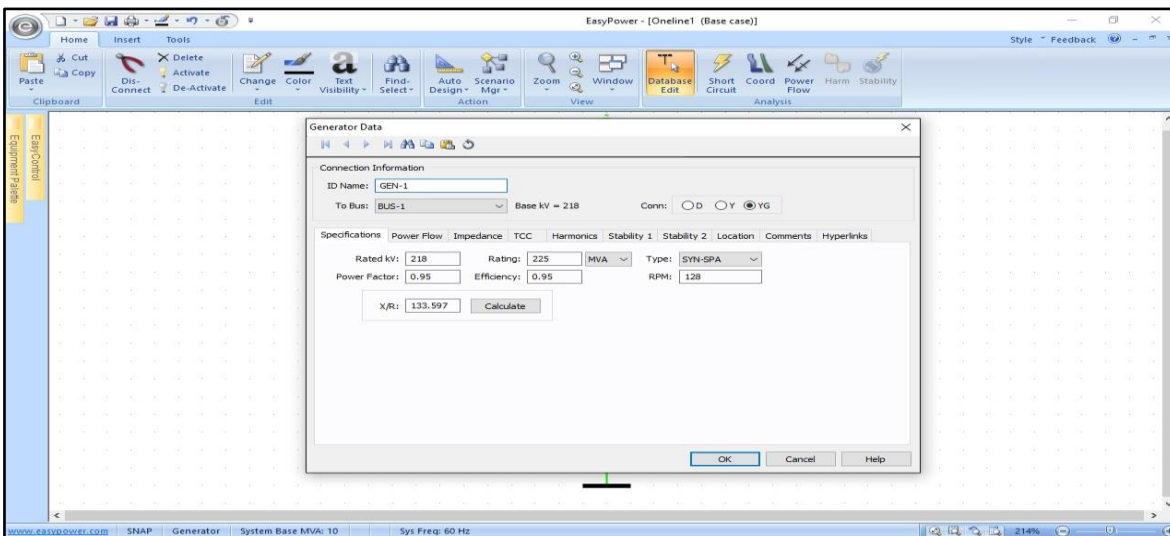
Para la carga de datos en el software EasyPower de cada uno de los elementos de la red es necesario ingresar los datos requeridos para que el software pueda realizar las simulaciones de corto circuito.

En este caso, se diseñó la red de servicios propios y adicionalmente los circuitos de 400 kV y 115 kV, generando un sistema similar a como se muestra en las figuras anteriores.

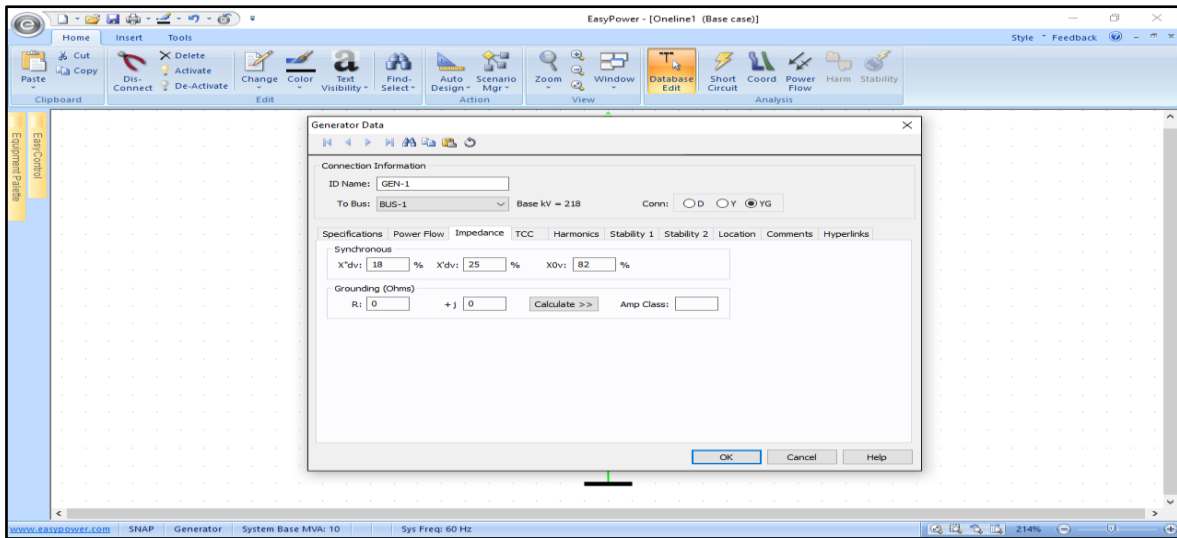
La parte elemental de este diagrama son los generadores siendo estos los primeros en el diseño e ingreso de datos de placa, EasyPower es específico con los datos a ingresar, a continuación se muestran imágenes con el símbolo, la ventana para ingreso de datos requeridos por el software y una tabla con los datos ingresados.



**Figura 3.3** Símbolo para generador en EasyPower.



**Figura 3.4** Ventana para ingreso de datos de placa de generador en EasyPower.



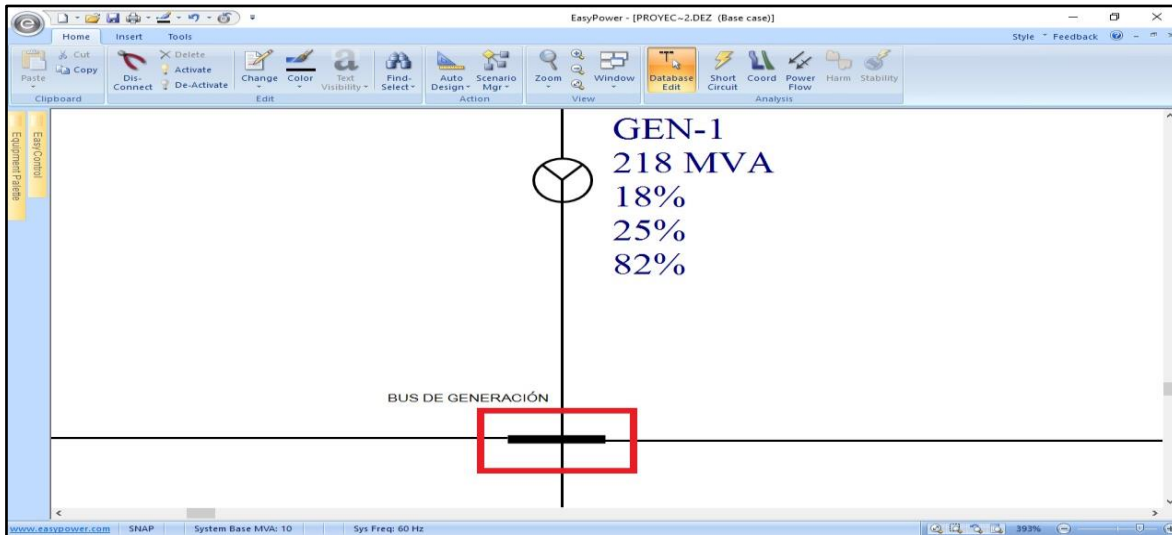
**Figura 3.5** Ventana para ingreso de datos de impedancias de generador en EasyPower.

ID	Voltaje Nom. kV	Conexión	Pot.	UNIDAD	TIPO	F.P.	RPM	X/R	X" dv	X' dv	X0
GEN-1	15	YG	218	MVA	SYN-SPA	0.95	128	133.597	18	25	82
GEN-2	15	YG	218	MVA	SYN-SPA	0.95	128	133.597	18	25	82
GEN-3	15	YG	218	MVA	SYN-SPA	0.95	128	133.597	18	25	82
GEN-4	15	YG	218	MVA	SYN-SPA	0.95	128	133.597	18	25	82
GEN-5	15	YG	218	MVA	SYN-SPA	0.95	128	131.561	17	25	75
GEN-6	16	YG	218	MVA	SYN-SPA	0.95	128	131.561	17	25	75

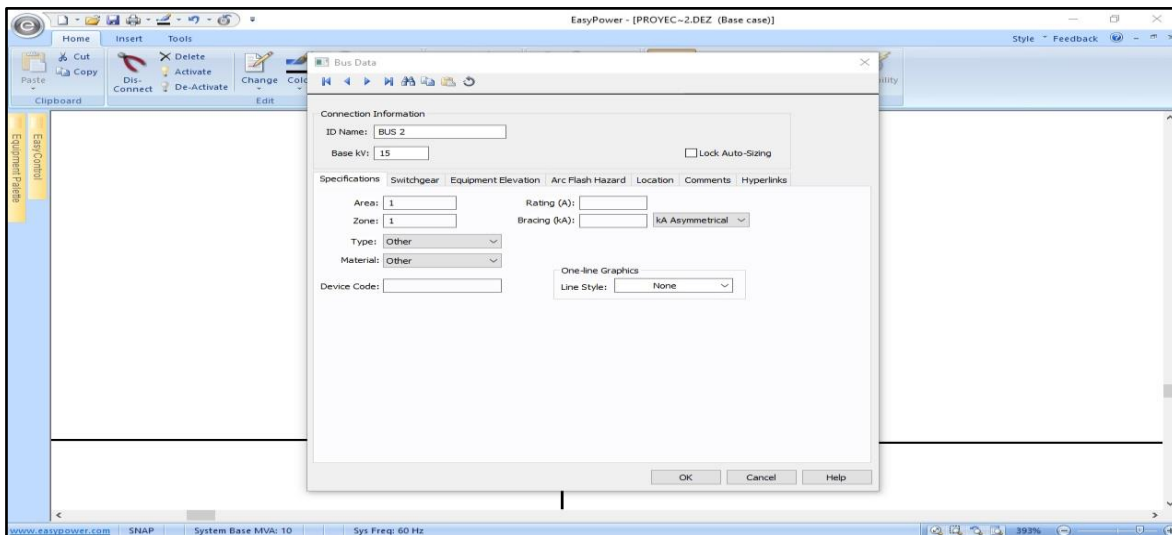
**Tabla 3.5** Datos ingresados en las ventanas de datos para EasyPower.

Es importante resaltar que la Central Hidroeléctrica Malpaso cuenta con seis Hidro-generadores, como se muestra en la tabla 3.1, todas cuentan con los mismos valores de potencia, voltaje, factor de potencia y RPM a las que trabajan. Para el software EasyPower adicionales a los datos antes mencionados requiere también datos de impedancia de generador como se observa en la imagen 3.5, en este caso para la C.H. Malpaso al contar con dos etapas para los generadores 1 a 4 se tienen los mismos valores de impedancias y caso distinto para los generadores 5 y 6, en la tabla 3.5 se muestra una tabla con los valores de impedancia requeridos por el software.

Se inició el diagrama colocando cada generador con sus respectivos datos de placa como antes se mencionó en total fueron colocados seis generadores, partiendo de esto el siguiente paso fue colocar el bus de generación, para este elemento del diagrama también cuenta con cuadros de dialogo para el ingreso de las especificaciones del elemento. El bus de generación para las seis máquinas, siempre y cuando se encuentren operando, mantendrá una tensión de 15 kV. A continuación se muestra el símbolo y la ventana de datos del elemento.



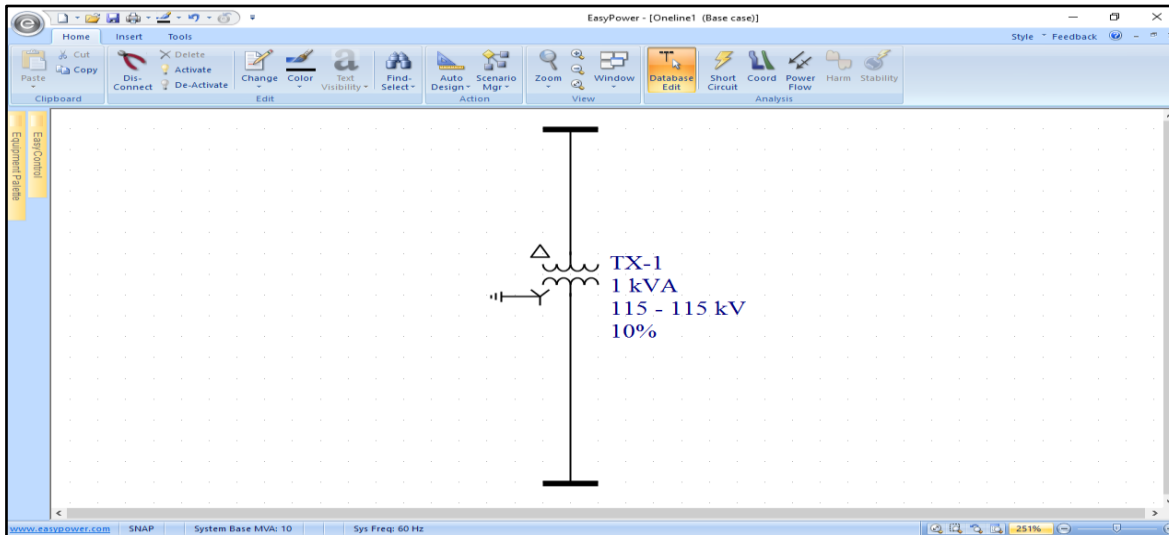
**Figura 3.6** Símbolo de bus de generación en EasyPower.



**Figura 3.7** Ventana para ingreso de datos de bus de generación en EasyPower.

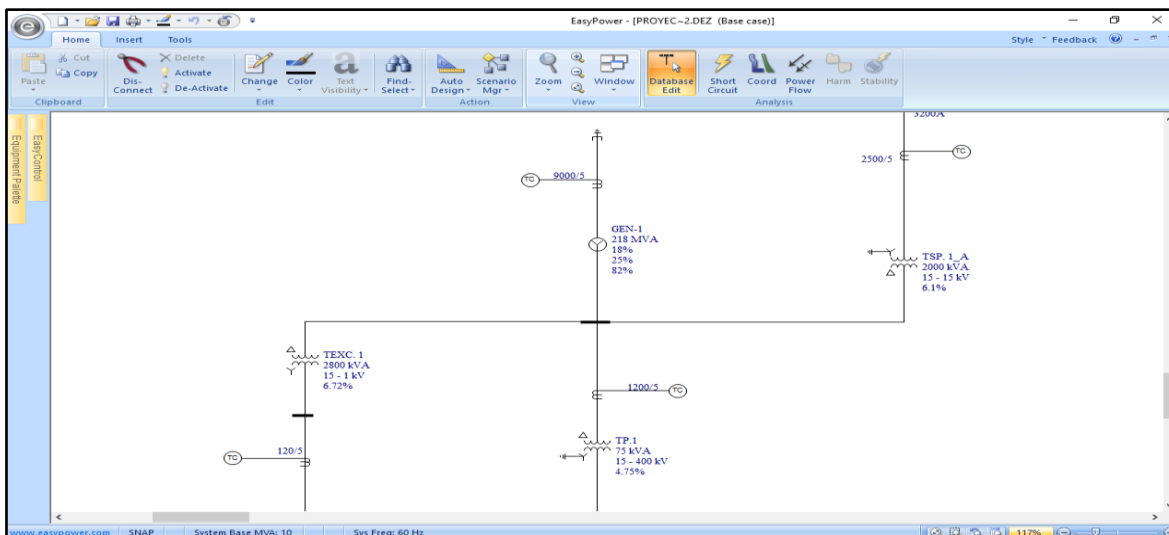
Del bus de generación dependen tres transformadores, los cuales dos se utilizan como alimentación y el tercero se utiliza para la excitación del generador. Dichos transformadores son: transformador de servicios propios, transformador de potencia y transformador de excitación, para todos los transformadores que se integren al diagrama el software EasyPower le genera por defecto el mismo símbolo, sin embargo, se procura que la distinción de cada uno de los

transformadores que se incluyen será la forma en que son nombrados dentro del proyecto.



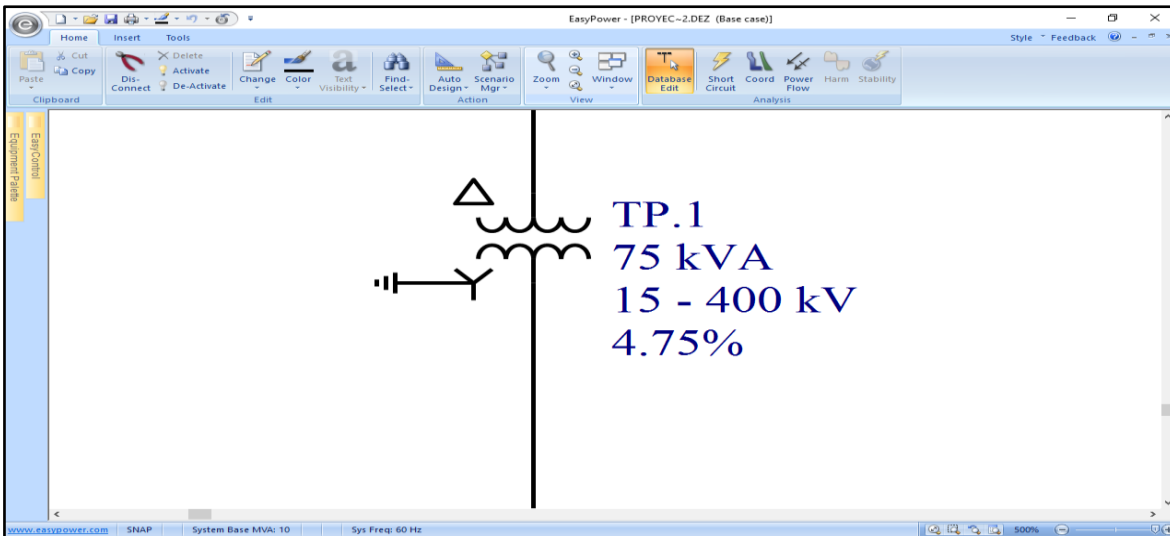
**Figura 3.8** Símbolo para transformadores en EasyPower.

Pasando al caso particular de los transformadores ligados directamente al bus de generación, su estructuración dentro del diagrama se observa en la figura 3.9.

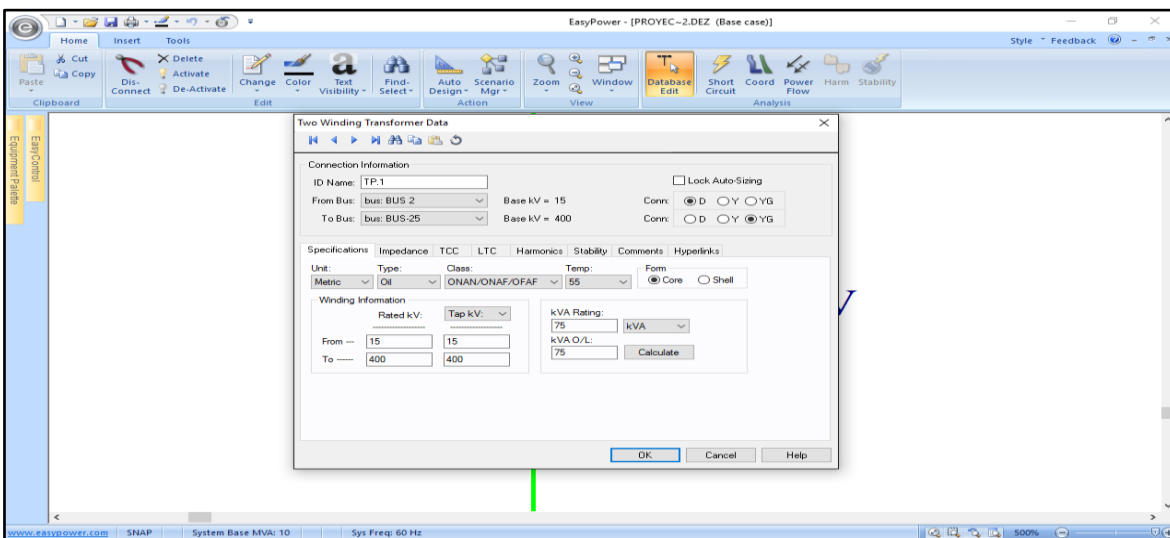


**Figura 3.9** Conexión entre bus de generación y transformadores de potencia, servicios propios y de excitación.

El transformador de potencia para las seis unidades cuenta con las mismas especificaciones que son: elevar el voltaje de generación en el caso de la C. H. Malpaso es de 15 kV a una tensión de 400 kV, una conexión tipo delta del lado de alta y estrella del lado de baja; a cada transformador se le asignó la nomenclatura "TP." anteponiéndose a el número de cada generador, es decir, del número 1 hasta el número 6, se puede observar en tabla de datos 3.2 la forma para asignarle nombre a estos elementos.



**Figura 3.10** Símbolo para transformadores de potencia.



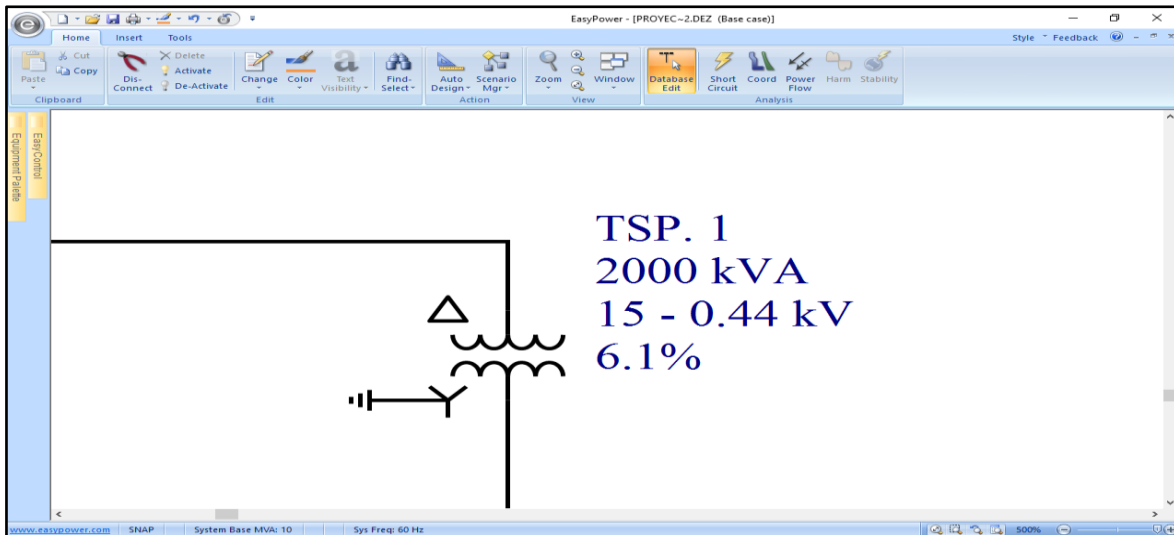
**Figura 3.11** Ventana para ingreso de datos de transformador de potencia en EasyPower.

El siguiente transformador que se anexo fue el de los servicios propios, que toma el voltaje de generación (15 kV) para reducirlo a una tensión de 440 volts el cual es utilizado para alimentar la red de servicios generales de la C. H. Malpaso.

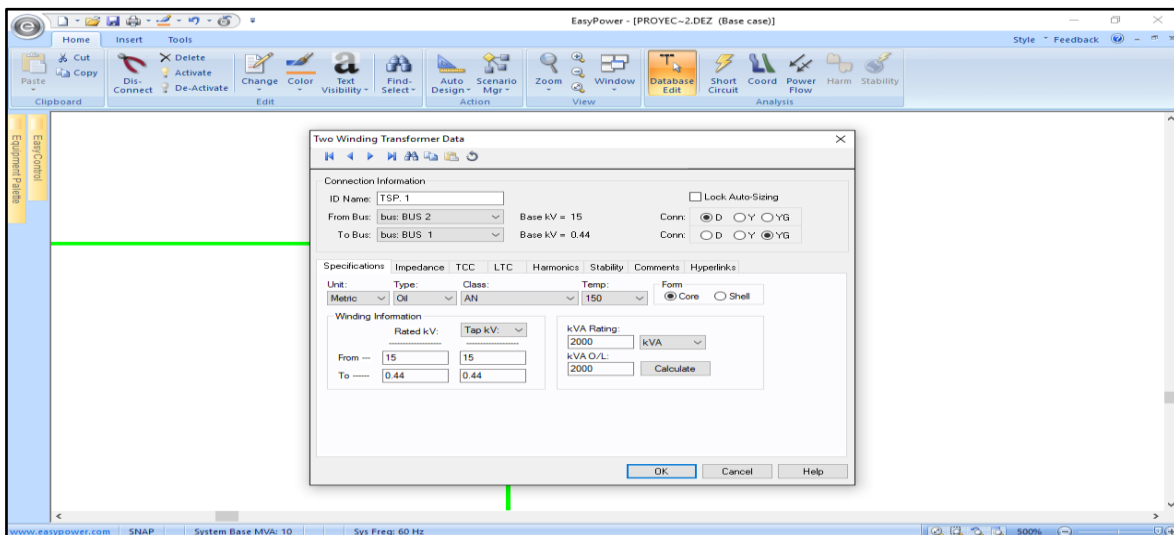
La reducción de voltaje de 440 volts se conecta a un bus de alimentación del que dependen: resistencias calefactoras, ventiladores de los puentes de tiristores, extractores de aire de transformador de excitación, extractores de polvo de balatas, bombas de regulación, compresores del sistema de regulación, motores de enfriamiento del bus de fase aislada, bombas de izaje, extractores vapor de aceite, extractores de CO<sub>2</sub>; para cada una unidad se considera un conjunto de elementos.

Cada generador cuenta con su propio bus que está integrado por los equipos antes mencionados, al igual que los generadores a estos buses se les asigna el número de cada generador, existe también una conexión entre buses que son:

conexión entre bus 1 y 2, bus 3 y 4, bus 5 y 6, esta interconexión entre buses da lugar a que no se pierda la alimentación de los servicios propios de las máquinas cuando una u otra no se encuentre trabajando.



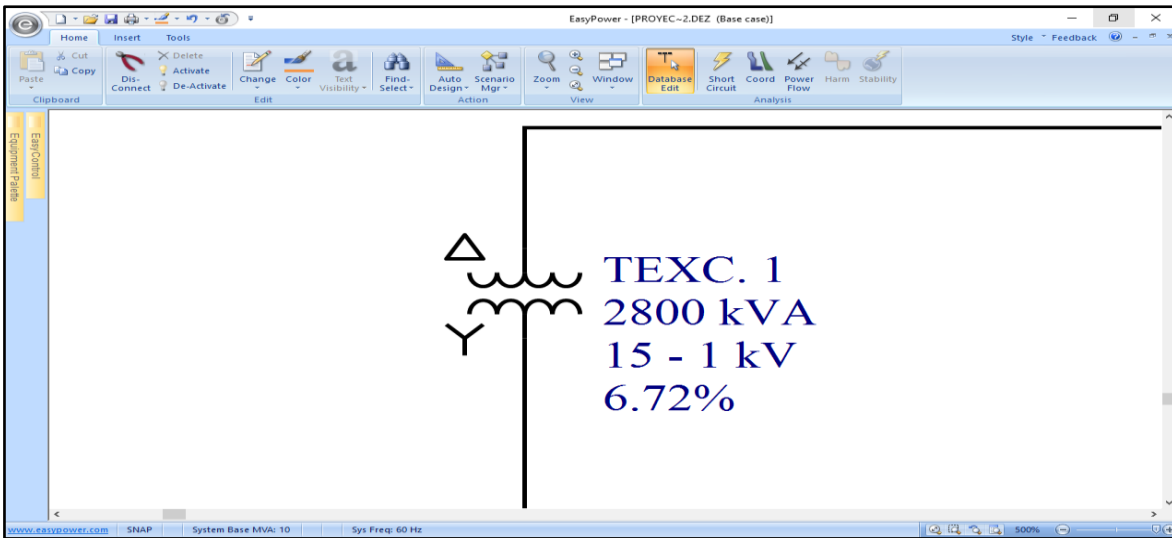
**Figura 3.12** Símbolo para transformadores de Servicios Propios.



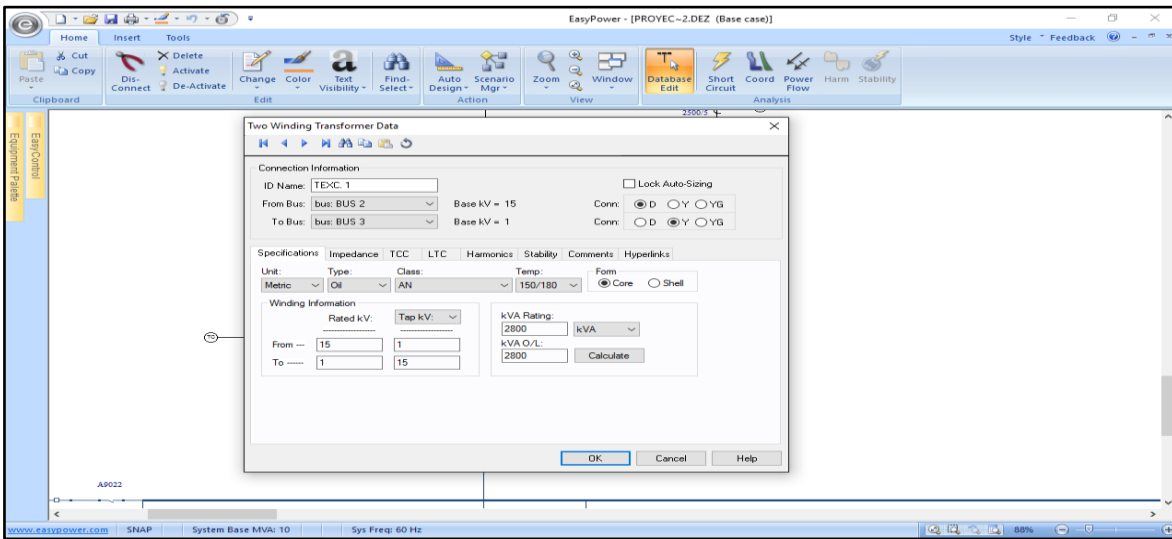
**Figura 3.13** Ventana para ingreso de datos de transformador de Servicios Propios en EasyPower.

Por último se integró al diagrama de generador el transformador de excitación al cual se le colocaron las siguientes características: transforma el voltaje de 15 kV a una tensión de 1 kV, cuenta con una conexión delta – estrella, siendo de tipo seco y su clase AA. En la figura 3.15 podemos observar la ventana de datos de EasyPower para este elemento.



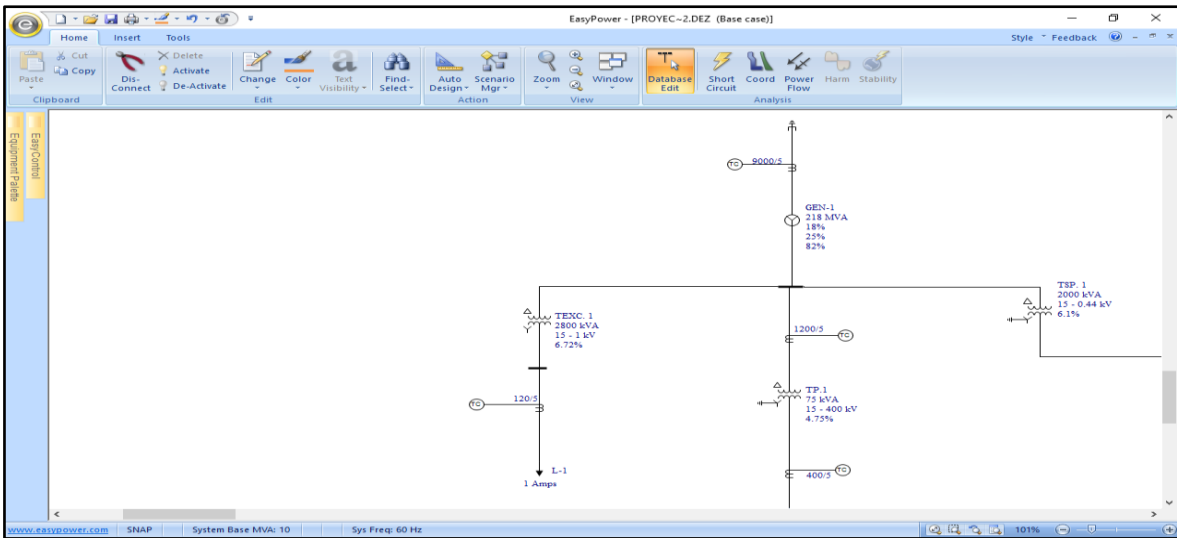


**Figura 3.14** Símbolo para transformadores de excitación.



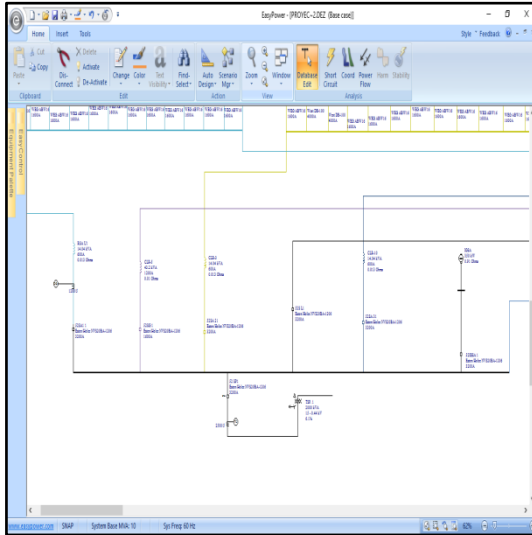
**Figura 3.15** Ventana para ingreso de datos de transformador de excitación en EasyPower.

La información recabada de los tres transformadores fue necesaria para poder diseñar el esquema generador - transformadores que es donde da inicio el diagrama unifilar de los servicios propios. En la figura 3.16 muestra el esquema generador – transformadores (potencia, excitación y servicios propios).

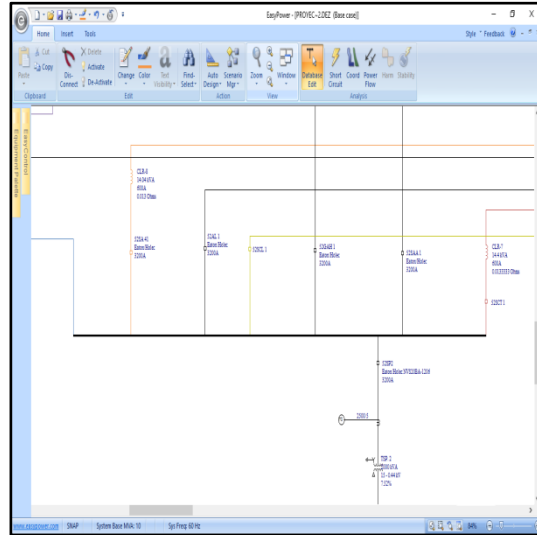


**Figura 3.16** Esquema de conexión: generador – transformadores (Excitación, Potencia y Servicios Propios).

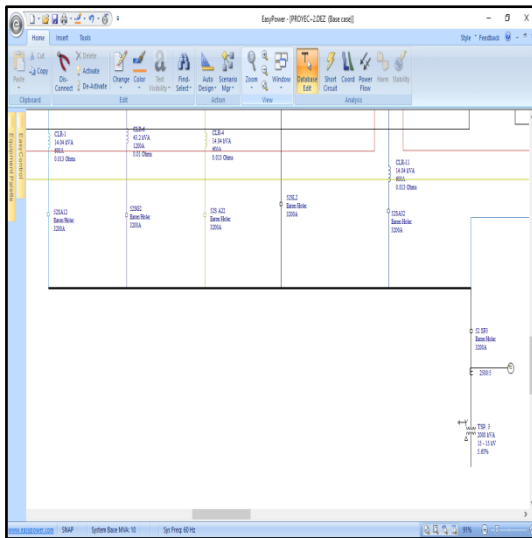
Cada transformador de servicios propios cuenta con su propio bus para alimentar servicios auxiliares, servicios generales, servicios locales, alumbrado o aire acondicionado; para cada circuito al que se alimente consta de un interruptor, el esquema es el mismo para las seis unidades en cuanto a diseño para este bus.



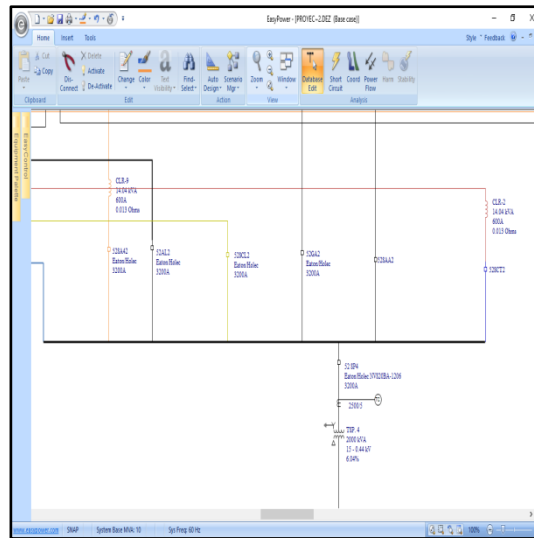
**Figura 3.17 a)** Bus 1 de servicios propios de la C. H. Malpaso.



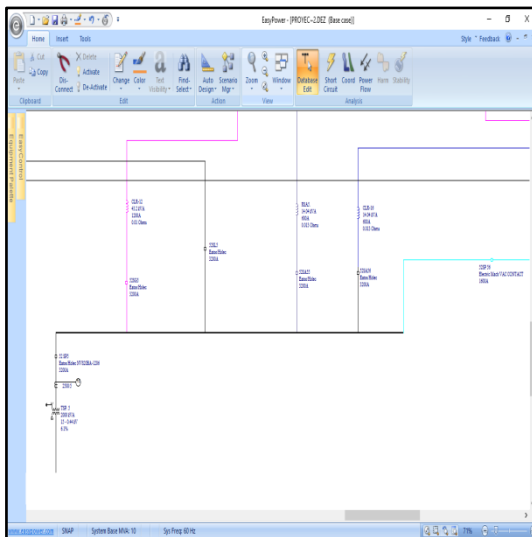
**Figura 3.17 b)** Bus 2 de servicios propios de la C. H. Malpaso.



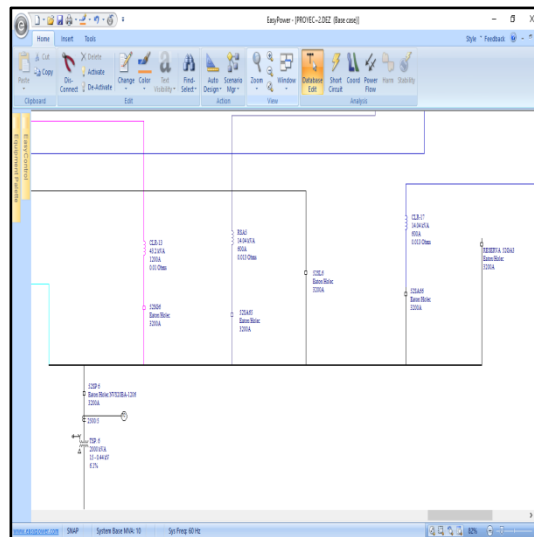
**Figura 3.17 c)** Bus 3 de servicios propios de la C. H. Malpaso.



**Figura 3.17 d)** Bus 4 de servicios propios de la C. H. Malpaso.



**Figura 3.17 e)** Bus 5 de servicios propios de la C. H. Malpaso.



**Figura 3.17 f)** Bus 6 de servicios propios de la C. H. Malpaso.

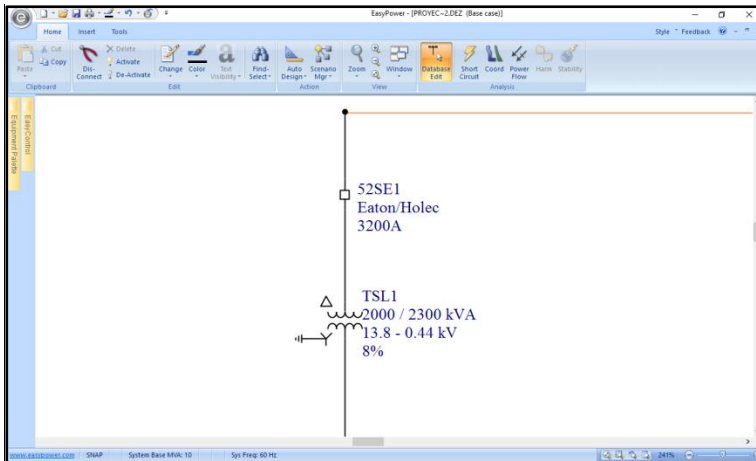
- **Figura 3.17 a.-** Bus 1 de servicios propios lo integran los circuitos: servicios auxiliares 11 (Interruptor 52A11), servicios generales 1 (Interruptor 52SG1), servicios auxiliares 21 (Interruptor 52SA21), servicios locales 1 (Interruptor 52SL1), servicios auxiliares 31 (Interruptor 52SA31) y conectada a este bus la planta de emergencia IGSA.
- **Figura 3.17 b.-** Bus 2 de servicios propios lo integran los circuitos: servicios auxiliares 41 (Interruptor 52SA41), alumbrado 1 (Interruptor 52AL1), interruptor de puente entre bus 2 y bus 4 (Interruptor 52SCL1), generador auxiliar hidráulico (Interruptor 52GAH1), aire acondicionado 1 (Interruptor 52SAA1), alimentación para ventiladores de transformadores subestación

elevadora, grúa de obra de toma y motores de obra de toma (Interruptor 52SCT1).

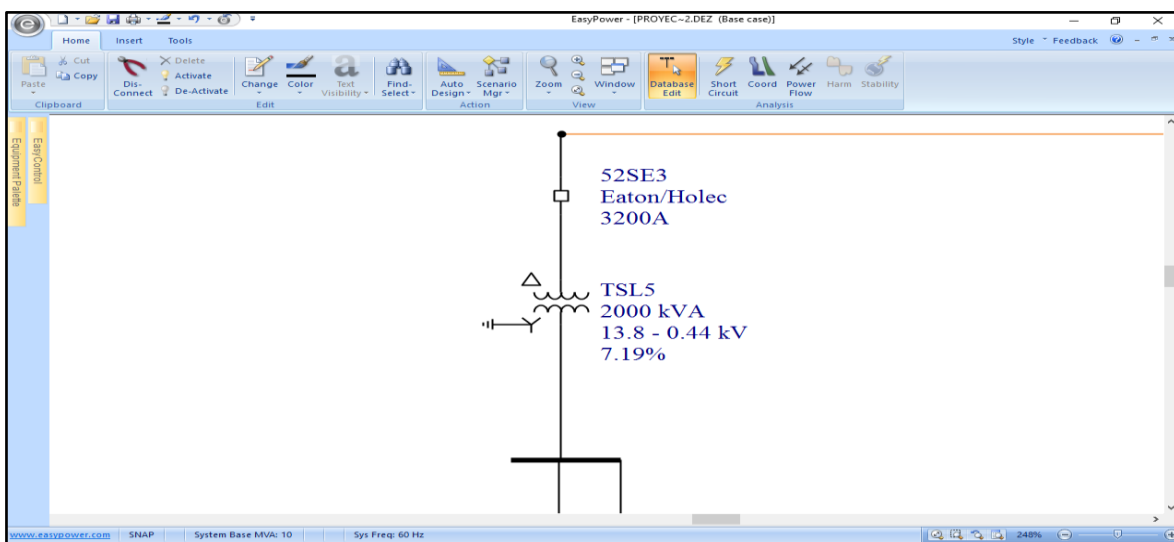
- **Figura 3.17 c.-** Bus 3 de servicios propios lo integran los circuitos: servicios auxiliares 12 (Interruptor 52SA12, corresponde al bus de Servicios Auxiliares 11), servicios generales 2 (Interruptor 52SG2, corresponde al bus de Servicios Generales Primera Etapa), servicios auxiliares 22 (Interruptor 52SA22, corresponde al bus de Servicios Auxiliares 21), servicios locales 2 (Interruptor 52SL2), servicios auxiliares 32 (Interruptor 52SA32, corresponde al bus de Servicios Auxiliares 31).
- **Figura 3.17 d.-** Bus 4 de servicios propios lo integran los circuitos: servicios auxiliares 42 (Interruptor 52SA42, corresponde al bus de Servicios Auxiliares 41), alumbrado 2 (Interruptor 52AL2), interruptor de puente entre bus 4 y bus 2 (Interruptor 52SCL2), generador auxiliar hidráulico (Interruptor 52GAH2), servicios aire acondicionado 2 (Interruptor 52SAA2), alimentación para ventiladores de transformadores subestación elevadora, grúa de obra de toma y motores de obra de toma 2 (Interruptor 52SCT2).
- **Figura 3.17 e.-** Bus 5 de servicios propios lo integran los circuitos: servicios generales 5 (Interruptor 52SG5), servicios locales (Interruptor 52SL5), servicios auxiliares 55 (Interruptor 52SA55), servicios auxiliares 56 (Interruptor 56, corresponde al bus de Servicios Auxiliares 66), Interruptor 52SP56 puente entre bus 5 y bus 6.
- **Figura 3.17 f.-** Bus 6 de servicios propios lo integran los circuitos: servicios generales 6 (Interruptor 52SG6, corresponde al bus de Servicios Generales Segunda etapa), servicios auxiliares 65 (Interruptor 52SA65, corresponde al bus de Servicios Auxiliares 55), servicios locales 6 (Interruptor 52SL6), servicios auxiliares 66 (Interruptor 52SA66), Interruptor 52GA3 se tiene como reserva.

En el anexo A se muestran los componentes de los circuitos que se encuentran bajo el dominio de los interruptores citados anteriormente.

Los interruptores de servicios locales tienen la función de interconectar al bus de servicios exteriores con el bus de servicios propios, el circuito de servicios exteriores trabaja a un voltaje de 13.8 kV, para que este circuito pueda acoplarse al circuito de servicios propios cuenta con dos transformadores encargados de reducir el voltaje de 13.8 kV a un voltaje de 440 V, dichos transformadores son TSL1 y TSL5 que a su vez están antecidos por los interruptores 52SE1 y 52SE3 respectivamente como se muestra en la figura 3.18 a y 3.18 b.

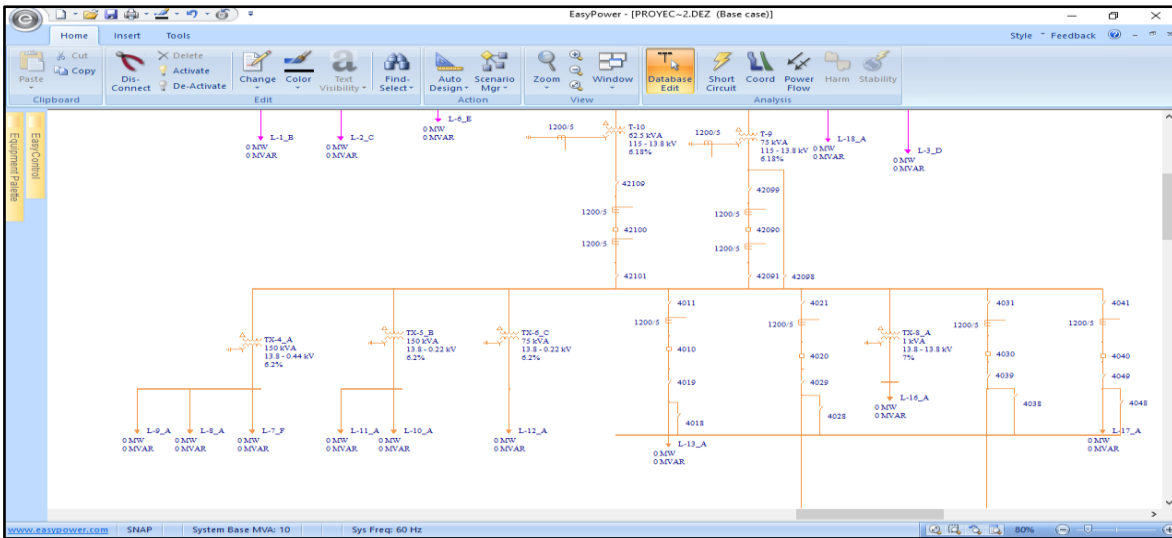


**Figura 3.18 a)** Interruptor 52SE1 y transformador TSL1.



**Figura 3.18 b)** Interruptor 52SE3 y transformador TSL5.

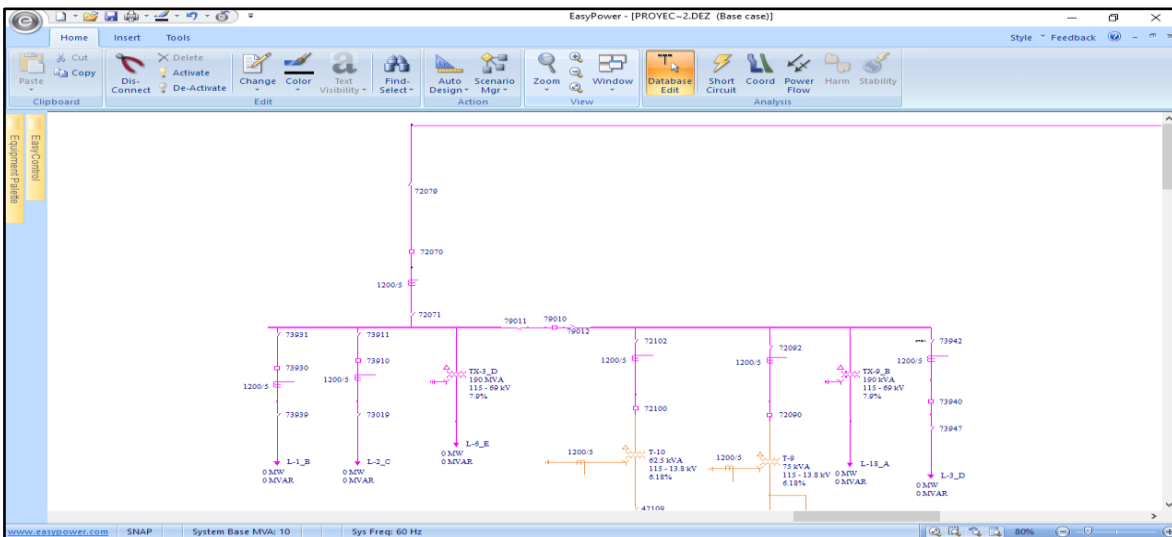
Se anexaron los datos de placa de interruptores y cuchillas como se muestra en la figura 3.19 de acuerdo a las tablas 3.3 y 3.4 y se realizó su respectivo diseño además de la conexión mediante el arreglo interruptor – transformador con el circuito de servicios propios.



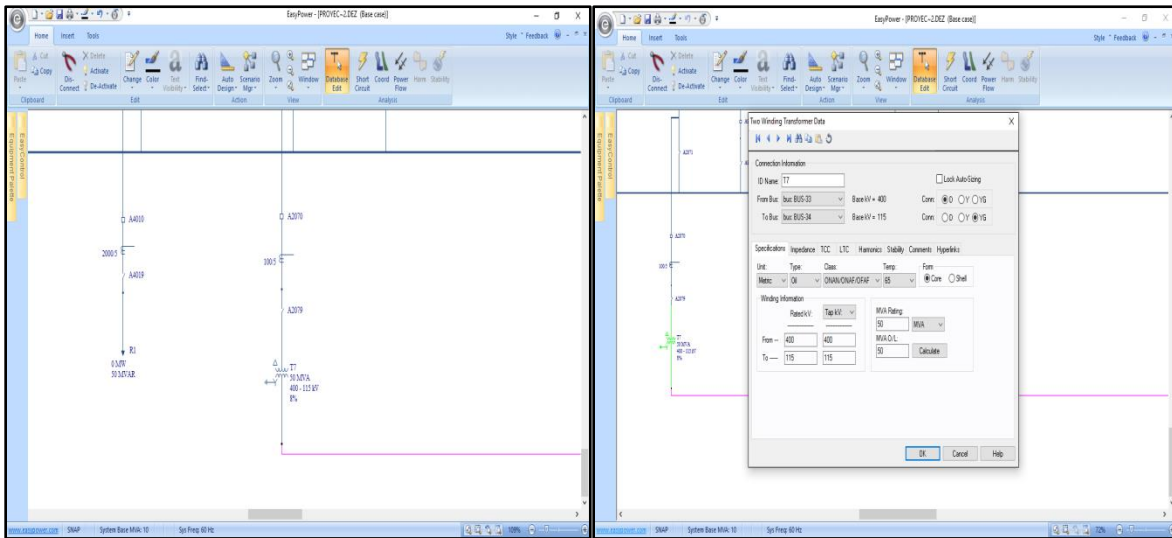
**Figura 3.19** Diseño del circuito de servicios exteriores en EasyPower.

A su vez el circuito de servicios exteriores se encuentra interconectado con el circuito de 115 kV, este enlace se logra con la reducción del voltaje por medio de los transformadores T-9 y T-10 que toman el voltaje de 115 kV y lo reducen a un voltaje de 13.8 kV para la red de servicios exteriores.

Dicha red de 115 kV cuenta con su respectivo juego de interruptores y cuchillas como se observa en la imagen 3.20 a continuación. La alimentación de este circuito viene dada mediante el transformador T7 que reduce el voltaje de 400 kV a una tensión de 115 kV para la alimentación de dicho circuito.

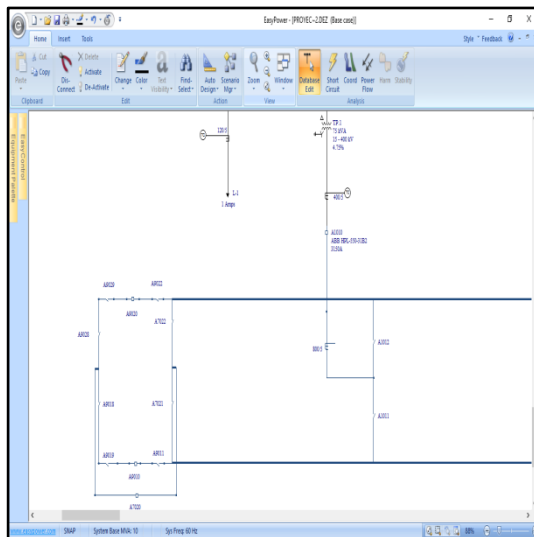


**Figura 3.20** Diseño del circuito de 115 kV.

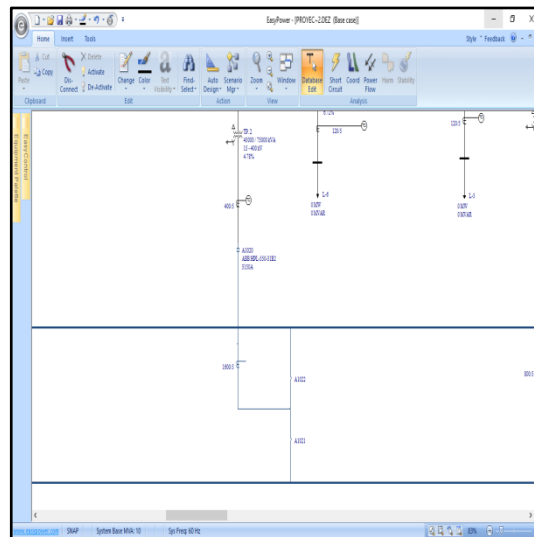


**Figura 3.21** Transformador T7 y Ventana para ingreso de datos en EasyPower.

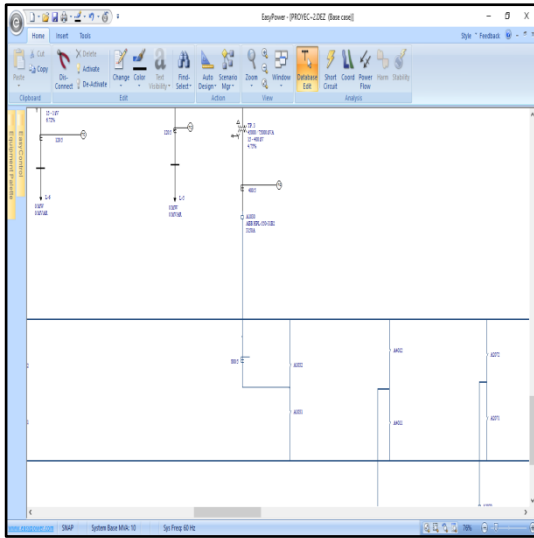
Finalmente se construye el circuito de 400 kV que nace a partir de la elevación del voltaje de generación por medio de los transformadores de potencia conectados al bus de generación antes mencionado. En las siguientes figuras se observa su diseño en EasyPower.



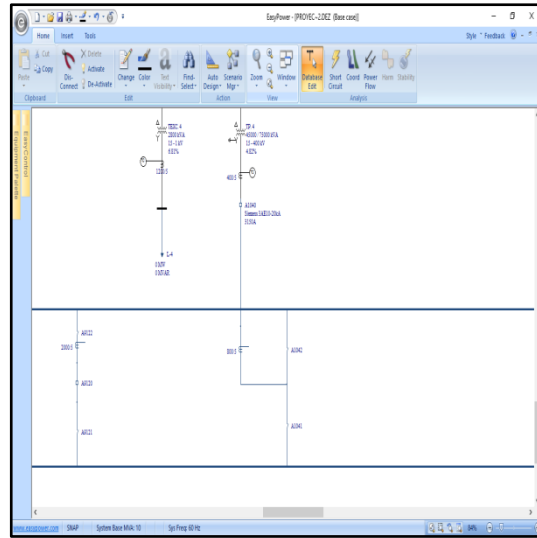
**Figura 3.22 a)** Circuito de 400 kV y transformador de potencia unidad 1.



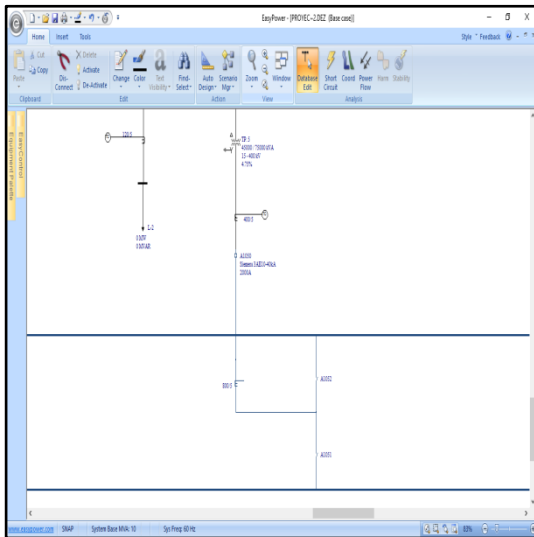
**Figura 3.22 b)** Circuito de 400 kV y transformador de potencia unidad 2.



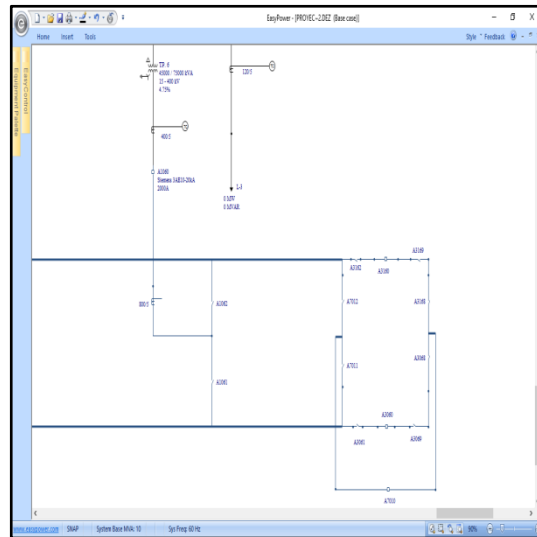
**Figura 3.22 c)** Circuito de 400 kV y transformador de potencia unidad 3.



**Figura 3.22 d)** Circuito de 400 kV y transformador de potencia unidad 4.



**Figura 3.22 e)** Circuito de 400 kV y transformador de potencia unidad 5.



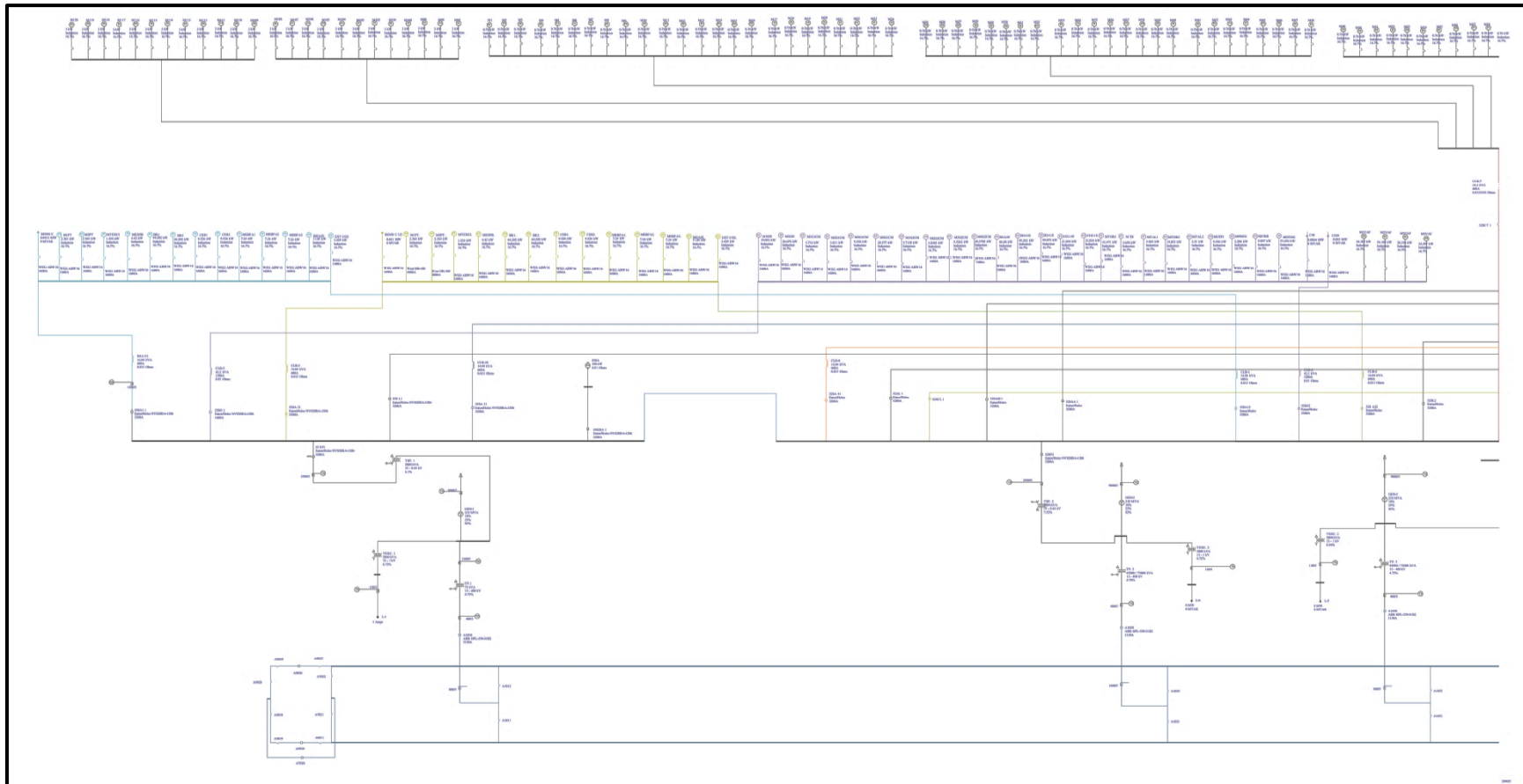
**Figura 3.22 f)** Circuito de 400 kV y transformador de potencia unidad 6.



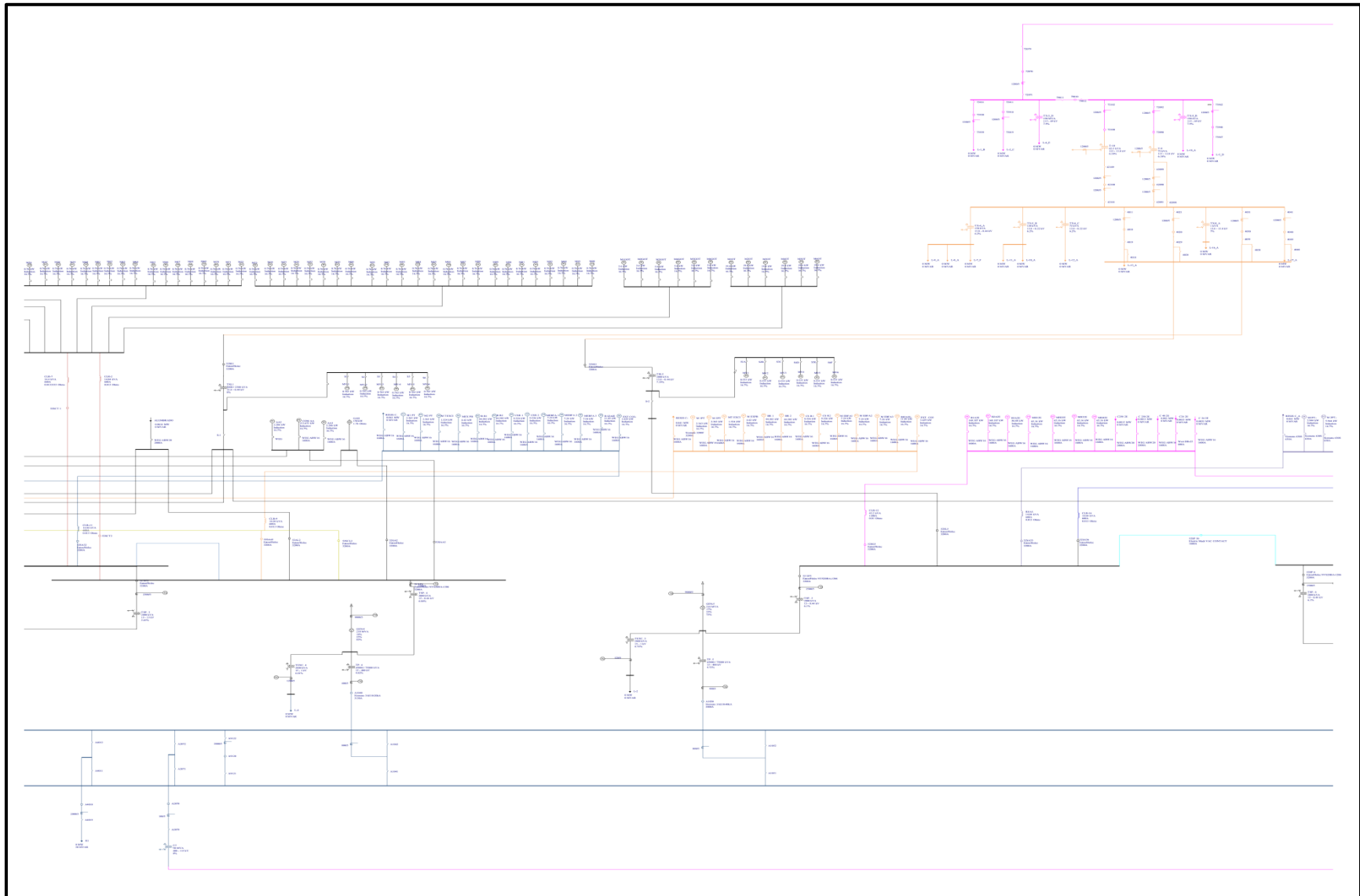
## 4. Resultados y conclusiones

### 4.1 Resultados

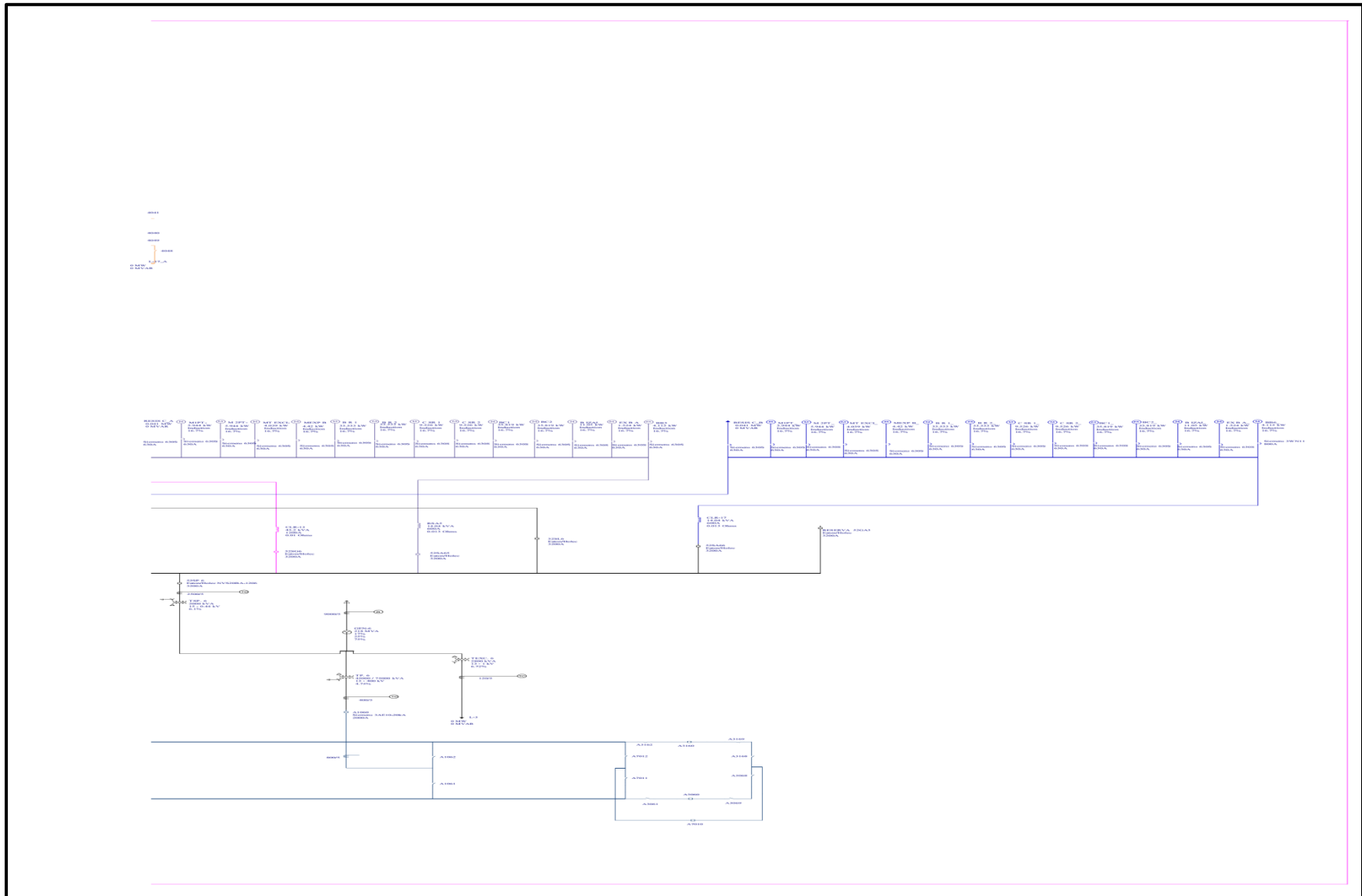
Al finalizar la carga y estructuración del diagrama unifilar de los Servicios Propios de la C. H. Malpaso se obtuvo el siguiente diagrama para realizar las pruebas de corto circuito.



**Figura 4.1 a)** Diagrama unifilar de los Servicios Propios de la C. H. Malpaso en EasyPower parte 1.



**Figura 4.1 b)** Diagrama unifilar de los Servicios Propios de la C. H. Malpaso en EasyPower parte 2.



**Figura 4.1 c) Diagrama unifilar de los Servicios Propios de la C. H. Malpaso en EasyPower parte 3.**

El diagrama unifilar con todos los datos de placa de los equipos cargados dio paso para poder realizar las pruebas de corto circuito en todos los buses que conforman la red de servicios propios.

Las pruebas de corto circuito en los buses se dividieron en dos partes: pruebas en equipo de alto voltaje y pruebas en equipo de bajo voltaje.

Para los equipos de alto voltaje se obtuvieron los resultados de la tabla 4.1. En la que se observa: en la primer columna el nombre (ID) de cada uno de los buses, en la segunda columna el voltaje al que se encuentran sometidos; el software EasyPower al realizar las pruebas de cortocircuito nos entrega dos evaluaciones posibles del bus al que se le aplica la prueba, los cuales están reflejados en las columnas 3 y 4 que son: corrientes de falla simétrica y corrientes de falla asimétrica, se hace hincapié con las corrientes de falla asimétrica son las más peligrosas al momento de una falla por lo que se debe realizar un estudio detallado para prevenir éste tipo de fallas; de las columnas 5 a 8 la tabla hace referencia de las aportaciones que los generadores hacen hacia los buses en el momento que la falla o en su caso un cortocircuito se produce.

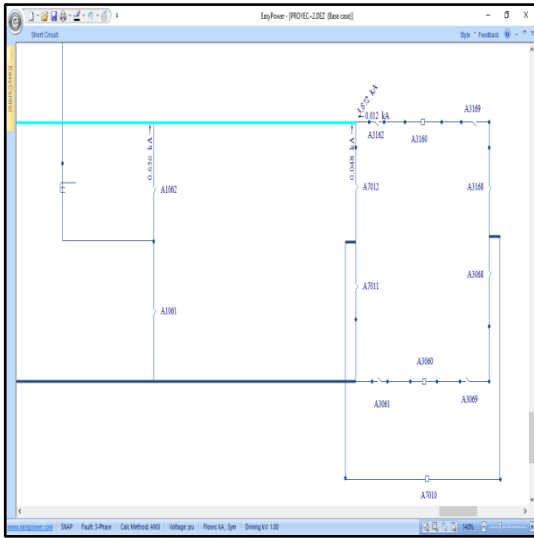
Falla 3 fases		Corriente total de falla		Contribuciones de Generador			
BUS ID	kV	Corriente simétrica Amperes	Corriente asimétrica Amperes	ID Generador	Corriente simétrica Amperes	Remoto Vpu Mag	Remoto Vpu Deg
BUS (1) 400 KV	400	3872.3	6283.7	GEN-1	60.7	0.998	-30
				GEN-2	20398	0.564	-33
				GEN-3	20429	0.561	-30.6
				GEN-4	20265.8	0.565	-30.6
				GEN-5	20948.1	0.575	-30.6
				GEN-6	20948.1	0.575	-30.6
				GAH	56.3	0.605	-0.7
				IGSA	108.6	0.611	-0.6
BUS (2) 400 KV	400	3872.3	6283.7	GEN-1	60.7	0.998	-30
				GEN-2	20398	0.564	-33
				GEN-3	20429	0.561	-30.6
				GEN-4	20265.8	0.565	-30.6
				GEN-5	20948.1	0.575	-30.6
				GEN-6	20948.1	0.575	-30.6
				GAH	56.3	0.605	-0.7
				IGSA	108.6	0.611	-0.6
BUS (1) 115 KV	115	2544.8	4131.6	GEN-1	11.5	0.999	-60
				GEN-2	3853.9	0.917	-60.3
				GEN-3	3859.8	0.917	-60.1
				GEN-4	3828.9	0.917	-60.1
				GEN-5	3957.9	0.919	-60.1

				GEN-6	3957.9	0.919	-60.1
				GAH	10.6	0.9255	-30.1
				IGSA	20.5	0.9265	-30.1
<b>BUS (2) 115KV</b>	115	10.5	17	GEN-1	0	1	30
				GEN-2	11.4	0.9998	30
				GEN-3	12.8	0.9997	30
				GEN-4	12.2	0.9997	30
				GEN-5	18.5	0.9996	30
				GEN-6	18.5	0.9996	30
				GAH	1.3	0.9912	60
				IGSA	2.9	0.9896	60.1
<b>BUS GEN. U1</b>	15	46675.1	79615.1	GEN-1	46614.4	0	0
				GEN-2	12	0.9997	0
				GEN-3	12	0.9997	0
				GEN-4	11.9	0.9997	0
				GEN-5	12.3	0.9998	0
				GEN-6	12.3	0.9998	0
				GAH	0	0.9998	30
				IGSA	0.1	0.9998	30
<b>BUS GEN. U2</b>	15	72371.8	116053.8	GEN-1	18.6	0.9996	0
				GEN-2	46614.4	0	0
				GEN-3	6378.6	0.8638	-0.8
				GEN-4	6326.7	0.8649	-0.8
				GEN-5	6470.8	0.8695	-0.8
				GEN-6	6470.8	0.8695	-0.8
				GAH	45.2	0.6834	30.3
				IGSA	91.8	0.6714	31
<b>BUS GEN. U3</b>	15	72657.4	121273	GEN-1	18.7	0.9996	0
				GEN-2	6403.8	0.863	-0.6
				GEN-3	46614.4	0	0
				GEN-4	6422	0.8623	-0.2
				GEN-5	6517.9	0.868	-0.1
				GEN-6	6517.9	0.868	-0.1
				GAH	49	0.6566	30.2
				IGSA	89.1	0.6807	30.2
<b>BUS GEN. U4</b>	15	72388.7	120854	GEN-1	18.5	0.9996	0
				GEN-2	6328.2	0.8646	-0.6
				GEN-3	6398.2	0.8628	-0.1
				GEN-4	46614.4	0	0
				GEN-5	6437.1	0.8696	-0.1

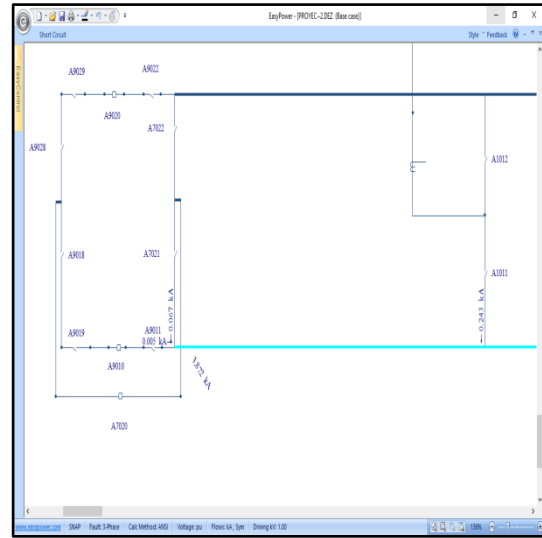
				GEN-6	6437.1	0.8696	-0.1
				GAH	48.7	0.6586	30.6
				IGSA	86.4	0.6906	30.2
<b>BUS GEN. U5</b>	15	75271.2	125758.6	GEN-1	18.8	0.9996	0
				GEN-2	6356.1	0.864	-0.6
				GEN-3	6377.2	0.8632	-0.1
				GEN-4	6321.6	0.8644	-0.1
				GEN-5	49356.4	0	0
				GEN-6	6687	0.8645	-0.1
				GAH	28.5	0.8009	29.2
				IGSA	59.2	0.7881	29.2
<b>BUS GEN. U6</b>	15	75271.2	125758.6	GEN-1	18.8	0.9996	0
				GEN-2	6356.1	0.864	-0.6
				GEN-3	6377.2	0.8632	-0.1
				GEN-4	6321.6	0.8644	-0.1
				GEN-5	6687	0.8645	-0.1
				GEN-6	49356.4	0	0
				GAH	28.5	0.8009	29.2
				IGSA	59.2	0.7881	29.2
<b>BUS (1) Servicios Exteriores</b>	13.8	1512.9	1989.1	GEN-1	0.3	1	0
				GEN-2	196.2	0.9959	0
				GEN-3	221	0.9953	0
				GEN-4	210.2	0.9956	0
				GEN-5	318.3	0.9936	0
				GEN-6	318.3	0.9936	0
				GAH	21.8	0.8474	29.4
				IGSA	50.5	0.8194	29.4
<b>BUS (2) Servicios Exteriores</b>	13.8	1512.9	1989.1	GEN-1	0.3	1	0
				GEN-2	196.3	0.9959	0
				GEN-3	221	0.9953	0
				GEN-4	210.2	0.9956	0
				GEN-5	318.3	0.9936	0
				GEN-6	318.3	0.9936	0
				GAH	21.8	0.8474	29.4
				IGSA	50.5	0.8193	29.4

**Tabla 4.1** Resultados de pruebas de cortocircuito en buses de alto voltaje.

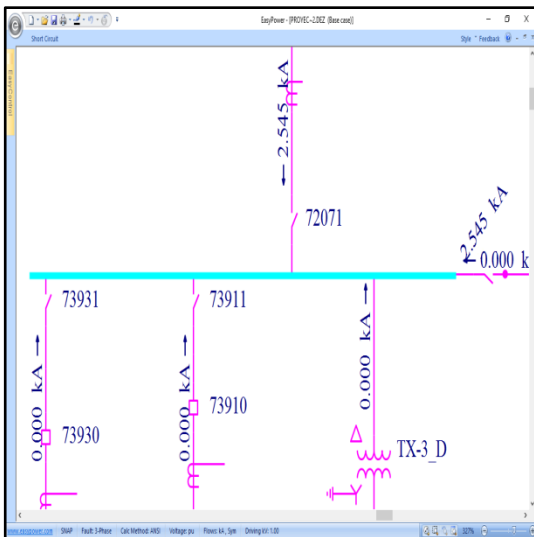
A continuación se muestra la representación de los buses en falla dentro del software EasyPower.



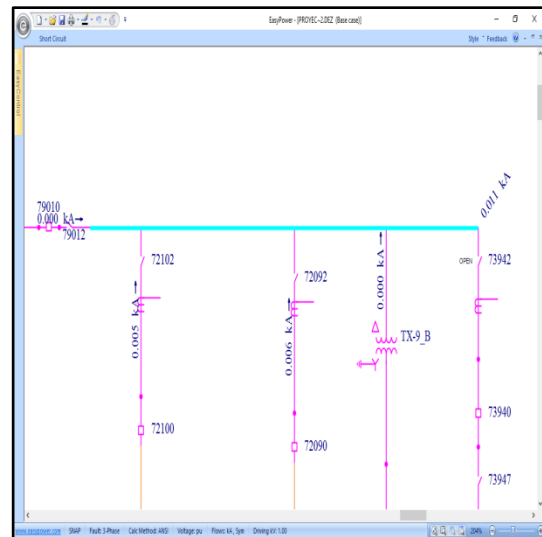
**Figura 4.1** Falla en bus (1) 400 kV.



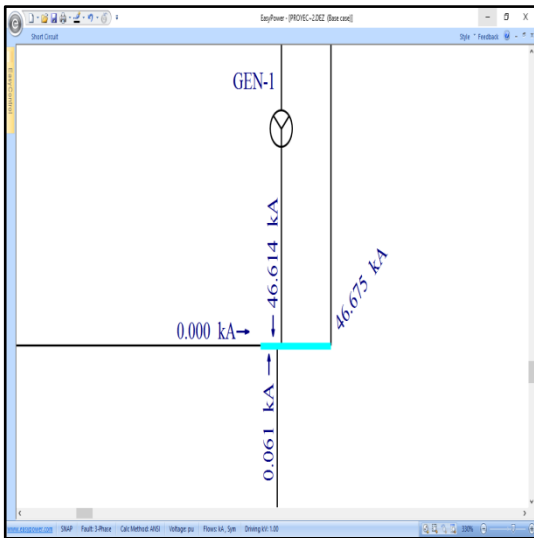
**Figura 4.2** Falla en bus (2) 400 kV.



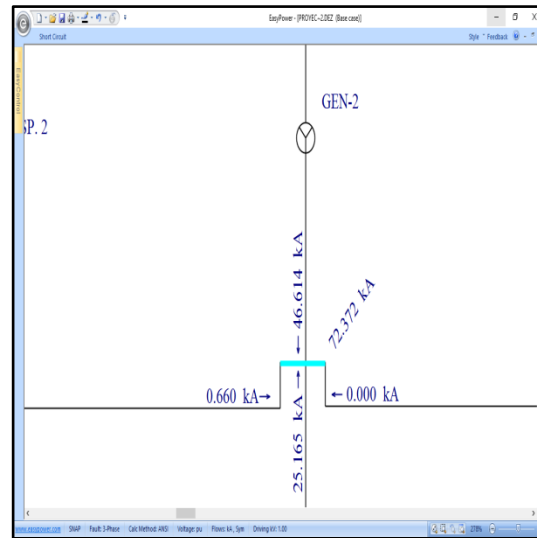
**Figura 4.3** Falla en bus (1) 115 kV.



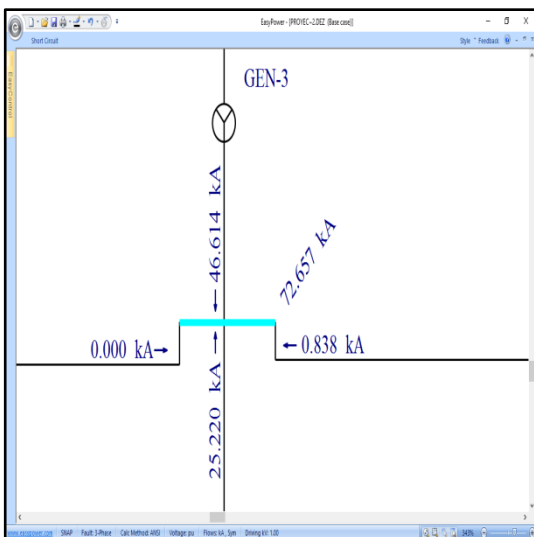
**Figura 4.4** Falla en bus (2) 115 kV.



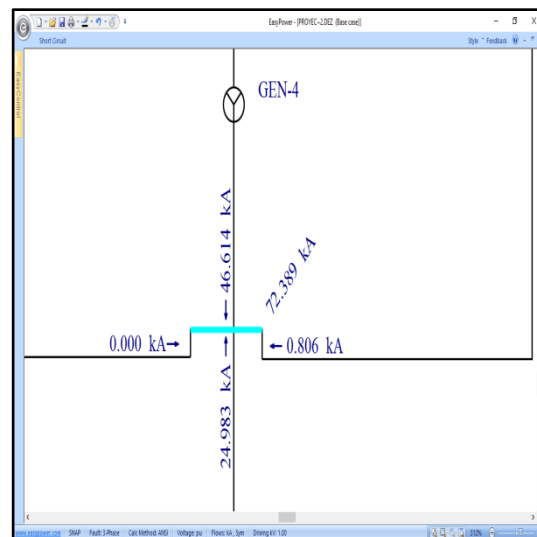
**Figura 4.5** Falla en bus de generación unidad 1.



**Figura 4.6** Falla en bus de generación unidad 2.

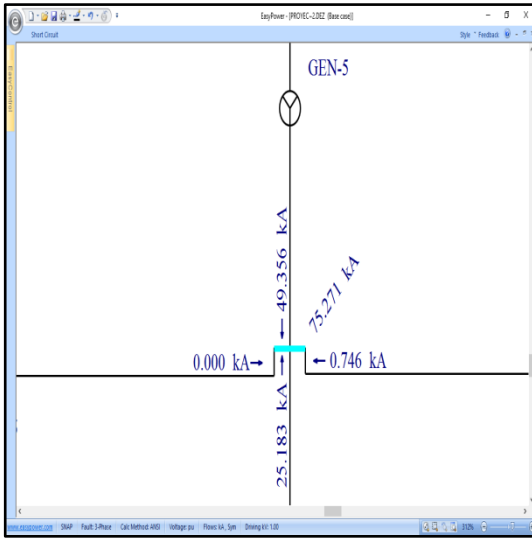


**Figura 4.7** Falla en bus de generación unidad 3.

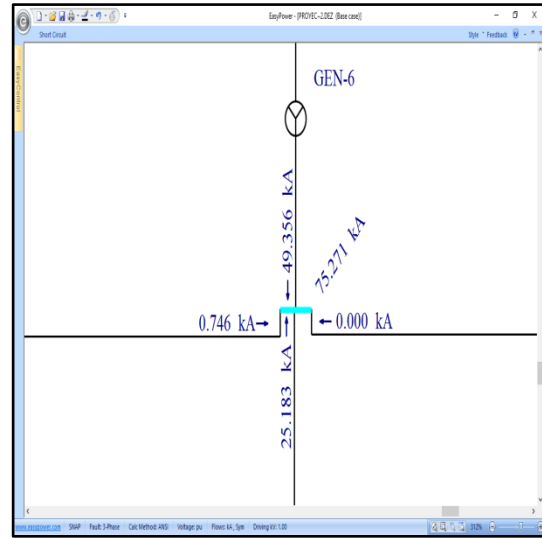


**Figura 4.8** Falla en bus de generación unidad 4.

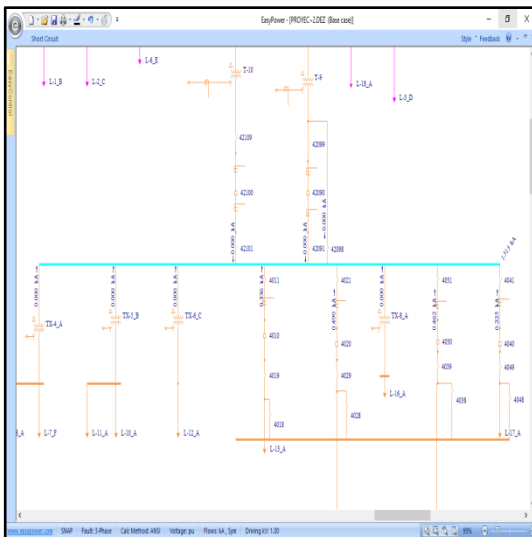




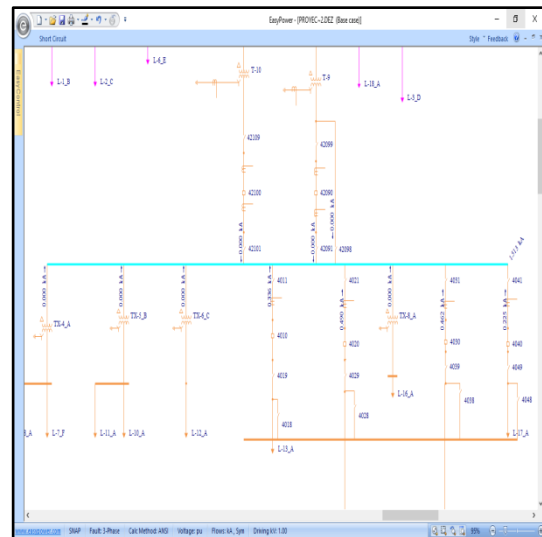
**Figura 4.9** Falla en bus de generación unidad 5.



**Figura 4.10** Falla en bus de generación unidad 6.



**Figura 4.11** Falla en bus (1) de servicios exteriores.



**Figura 4.12** Falla en bus (2) de servicios exteriores.

Para los equipos de bajo voltaje se obtuvieron los resultados de la tabla 4.2. En la que se observa: en la primer columna el nombre (ID) de cada uno de los buses, en la segunda columna el voltaje al que se encuentran sometidos; el software EasyPower al realizar las pruebas de cortocircuito al igual que con los elementos de alto voltaje nos entrega dos evaluaciones posibles del bus al que se le aplica la prueba, los cuales están reflejados en las columnas 3 y 4 que son: corrientes de falla simétrica y corrientes de falla asimétrica, de las columnas 5 a 8 la tabla hace referencia de las aportaciones que los generadores hacen hacia los buses en el momento que la falla o en su caso un cortocircuito se produce.

Falla 3 fases		Corriente total de falla		Contribuciones de Generador			
Bus ID	kV	Corriente simétrica Amperes	Corriente asimétrica Amperes	ID Generador	Corriente simétrica Amperes	Remoto Vpu Mag	Remoto Vpu Deg
AIRE A.	0.44	74919.1	86507.8	GEN-1	0.5	1	-30
				GEN-2	442.4	0.9908	-30.1
				GEN-3	477.9	0.9902	-30.2
				GEN-4	476.9	0.9901	-30.2
				GEN-5	283.7	0.9946	-30.1
				GEN-6	283.7	0.9946	-30.1
				GAH	66	0.5437	-5.8
				IGSA	125.5	0.5551	-4.9
ALUMBRADO	0.44	57148.4	57149.1	GEN-1	0.4	1	-30
				GEN-2	342	0.9967	-30.4
				GEN-3	369.4	0.9966	-30.4
				GEN-4	368.7	0.9965	-30.4
				GEN-5	219.3	0.9983	-30.2
				GEN-6	219.3	0.9983	-30.2
				GAH	51	0.8464	-20.2
				IGSA	97	0.8449	-19.5
BUS S E (Servicios Exteriores)	0.44	108949.6	129032.1	GEN-1	0.7	1	-30
				GEN-2	526.8	0.9891	-30.2
				GEN-3	605.3	0.9874	-30.2
				GEN-4	571.8	0.9882	-30.2
				GEN-5	594.1	0.9883	-30.2
				GEN-6	594.1	0.9883	-30.2
				GAH	68.6	0.5266	-6.6
				IGSA	158.8	0.4391	-8.2
BUS SP. U1 (Servicios Propios Unidad 1)	0.44	113639.5	141861	GEN-1	0.8	1	-30
				GEN-2	706.6	0.985	-30.1
				GEN-3	683.3	0.9856	-30.2
				GEN-4	664.6	0.986	-30.2
				GEN-5	464.2	0.9909	-30.1
				GEN-6	464.2	0.9909	-30.1
				GAH	98.7	0.309	-1.8
				IGSA	279	0.0038	80.6
BUS SP. U2 (Servicios Propios)	0.44	126819.1	156446.1	GEN-1	0.9	1	-30
				GEN-2	852	0.9819	-30.2
				GEN-3	765.6	0.984	-30.2
				GEN-4	755.3	0.9842	-30.2
				GEN-5	492.1	0.9904	-30.1

				GEN-6	492.1	0.9904	-30.1
				GAH	118.8	0.1694	-7.9
				IGSA	249.1	0.1076	1.4
<b>BUS SP. U3 (Servicios Propios)</b>	0.44	150794.3	191021.4	GEN-1	1	1	-30
				GEN-2	773.7	0.9837	-30.2
				GEN-3	1093	0.9768	-30.2
				GEN-4	996.5	0.9789	-30.2
				GEN-5	579.5	0.9886	-30.2
				GEN-6	579.5	0.9886	-30.2
				GAH	120.4	0.1596	-10.5
				IGSA	211.8	0.2432	-6.1
<b>BUS SP. U4 (Servicios Propios)</b>	0.44	150649	190187.2	GEN-1	1	1	-30
				GEN-2	791.7	0.9833	-30.2
				GEN-3	1038.5	0.978	-30.2
				GEN-4	1047	0.9778	-30.2
				GEN-5	571.6	0.9888	-30.2
				GEN-6	571.6	0.9888	-30.2
				GAH	127.8	0.1065	-10.1
				IGSA	215.7	0.2294	-6.9
<b>BUS SP. U5 (Servicios Propios)</b>	0.44	128165.8	163711.7	GEN-1	0.9	1	-30
				GEN-2	447.6	0.9907	-30.1
				GEN-3	490.9	0.9897	-30.1
				GEN-4	470.7	0.9902	-30.1
				GEN-5	1008.8	0.9798	-30.2
				GEN-6	1008.8	0.9798	-30.2
				GAH	39	0.7316	-3.4
				IGSA	90.1	0.6822	-3.9
<b>BUS SP. U6 (Servicios Propios)</b>	0.44	128165.8	163711.7	GEN-1	0.9	1	-30
				GEN-2	447.6	0.9907	-30.1
				GEN-3	490.9	0.9897	-30.1
				GEN-4	470.7	0.9902	-30.1
				GEN-5	1008.8	0.9798	-30.2
				GEN-6	1008.8	0.9798	-30.2
				GAH	39	0.7316	-3.4
				IGSA	90.1	0.6822	-3.9
<b>BUS- SA5 (Servicios Auxiliares)</b>	0.44	31122	43626.5	GEN-1	0.2	1	-30
				GEN-2	105.4	0.9978	-30
				GEN-3	115.6	0.9975	-30
				GEN-4	110.9	0.9976	-30
				GEN-5	237.6	0.9952	-30

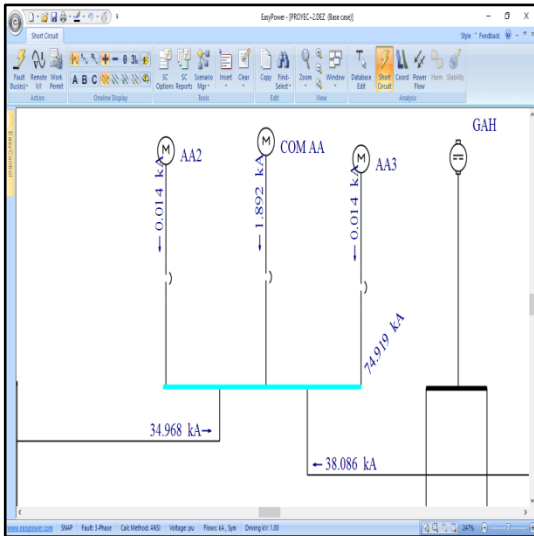
				GEN-6	237.6	0.9952	-30
				GAH	9.2	0.9359	-0.3
				IGSA	21.2	0.9242	-0.3
<b>BUS- SA6 (Servicios Auxiliares)</b>	0.44	31122	43626.5	GEN-1	0.2	1	-30
				GEN-2	105.4	0.9978	-30
				GEN-3	115.6	0.9975	-30
				GEN-4	110.9	0.9976	-30
				GEN-5	237.6	0.9952	-30
				GEN-6	237.6	0.9952	-30
				GAH	9.2	0.9359	-0.3
				IGSA	21.2	0.9242	-0.3
<b>BUS- SA11 (Servicios Auxiliares)</b>	0.44	32438.3	45773.7	GEN-1	0.2	1	-30
				GEN-2	178.7	0.9962	-30
				GEN-3	208.8	0.9955	-30
				GEN-4	196.2	0.9958	-30
				GEN-5	124.8	0.9975	-30
				GEN-6	124.8	0.9975	-30
				GAH	26.2	0.8167	0.9
				IGSA	60.8	0.7834	1.4
<b>BUS- SA21 (Servicios Auxiliares)</b>	0.44	32436.2	45772.7	GEN-1	0.2	1	-30
				GEN-2	178.7	0.9962	-30
				GEN-3	208.8	0.9955	-30
				GEN-4	196.2	0.9958	-30
				GEN-5	124.8	0.9975	-30
				GEN-6	124.8	0.9975	-30
				GAH	26.2	0.8167	0.9
				IGSA	60.8	0.7834	1.4
<b>BUS- SA31 (Servicios Auxiliares)</b>	0.44	32438.3	45773.7	GEN-1	0.2	1	-30
				GEN-2	178.7	0.9962	-30
				GEN-3	208.8	0.9955	-30
				GEN-4	196.2	0.9958	-30
				GEN-5	124.8	0.9975	-30
				GEN-6	124.8	0.9975	-30
				GAH	26.2	0.8167	0.9
				IGSA	60.8	0.7834	1.4
<b>BUS- SA41 (Servicios Auxiliares)</b>	0.44	32555.7	45958.2	GEN-1	0.2	1	-30
				GEN-2	189.2	0.9959	-30
				GEN-3	204.4	0.9956	-30
				GEN-4	203.9	0.9956	-30
				GEN-5	121.3	0.9976	-30

				GEN-6	121.3	0.9976	-30
				GAH	28.2	0.8031	1.1
				IGSA	53.7	0.8088	1.3
<b>SE1 (Servicios Exteriores 1)</b>	0.44	108949.5	129031.9	GEN-1	0.7	1	-30
				GEN-2	526.8	0.9891	-30.2
				GEN-3	605.3	0.9874	-30.2
				GEN-4	571.8	0.9882	-30.2
				GEN-5	594.1	0.9883	-30.2
				GEN-6	594.1	0.9883	-30.2
				GAH	68.6	0.5266	-6.6
				IGSA	158.8	0.4391	-8.2
<b>SE2 (Servicios Exteriores 2)</b>	0.44	116892.7	147284.7	GEN-1	0.8	1	-30
				GEN-2	410.4	0.9915	-30.1
				GEN-3	450.6	0.9906	-30.1
				GEN-4	431.9	0.991	-30.1
				GEN-5	916	0.9817	-30.2
				GEN-6	916	0.9817	-30.2
				GAH	36.1	0.7518	-3.2
				IGSA	83.3	0.7061	-3.6
<b>SG1E (Servicios Generales Primera Etapa)</b>	0.44	43417.6	62498.8	GEN-1	0.3	1	-30
				GEN-2	223.2	0.9952	-30
				GEN-3	260.9	0.9944	-30
				GEN-4	245.1	0.9948	-30
				GEN-5	156	0.9969	-30
				GEN-6	156	0.9969	-30
				GAH	32.8	0.7716	1.6
				IGSA	75.9	0.7302	2.3
<b>SG2E (Servicios Generales Segunda Etapa)</b>	0.44	42027.5	60845.3	GEN-1	0.3	1	-30
				GEN-2	131.2	0.9972	-30
				GEN-3	143.9	0.9969	-30
				GEN-4	138	0.9971	-30
				GEN-5	295.8	0.994	-30
				GEN-6	295.8	0.994	-30
				GAH	11.4	0.9201	-0.3
				IGSA	26.4	0.9055	-0.3
<b>VT y OT (Ventiladores de Transformadores de Potencia y Obra de Toma)</b>	0.44	32738.8	45282.3	GEN-1	0.2	1	-30
				GEN-2	187.5	0.996	-30
				GEN-3	203	0.9957	-30
				GEN-4	202.7	0.9957	-30
				GEN-5	120.4	0.9976	-30

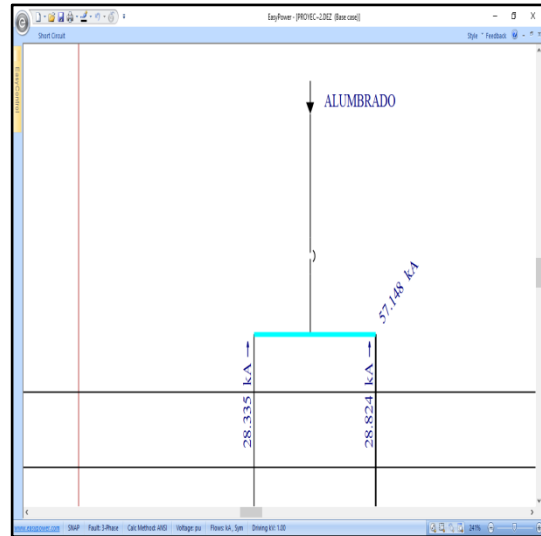
	GEN-6	120.4	0.9976	-30
	GAH	28	0.8046	1.1
	IGSA	53.2	0.8105	1.2

**Tabla 4.1** Resultados de pruebas de cortocircuito en buses de bajo voltaje.

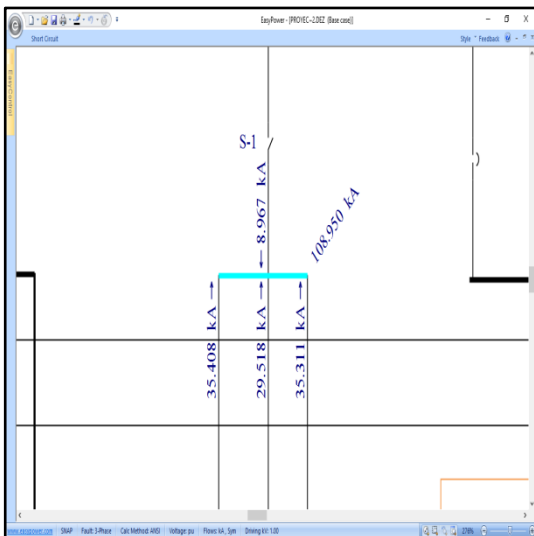
A continuación se muestra la representación de los buses en falla dentro del software EasyPower.



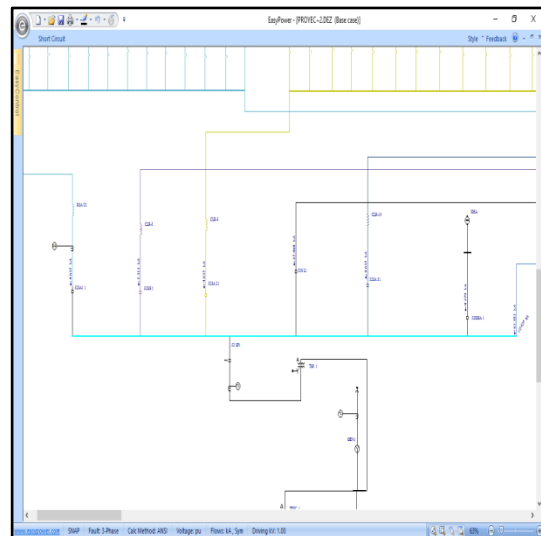
**Figura 4.13** Falla en bus de Aire Acondicionado.



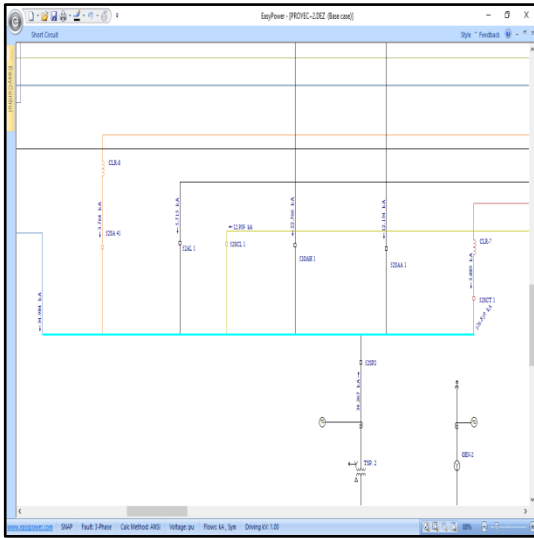
**Figura 4.14** Falla en bus de Alumbrado.



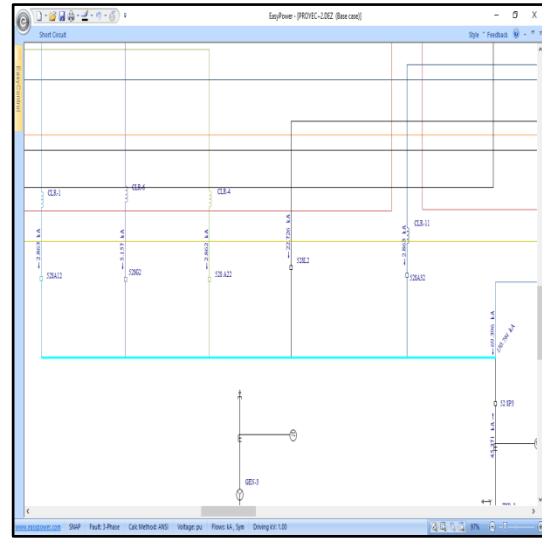
**Figura 4.15** Falla en bus de Servicios Exteriores.



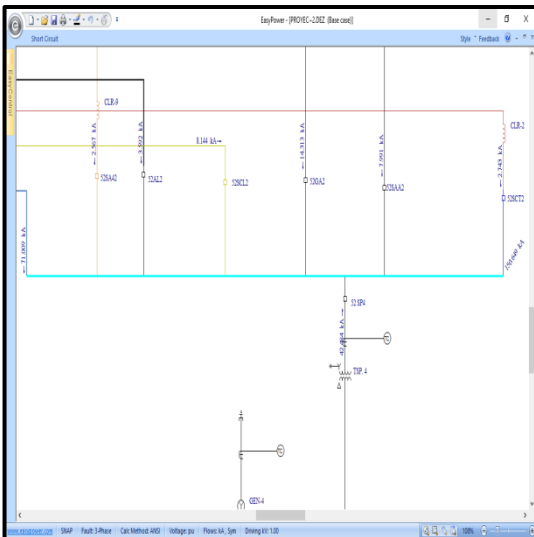
**Figura 4.16** Falla en bus de Servicios Propios Unidad 1.



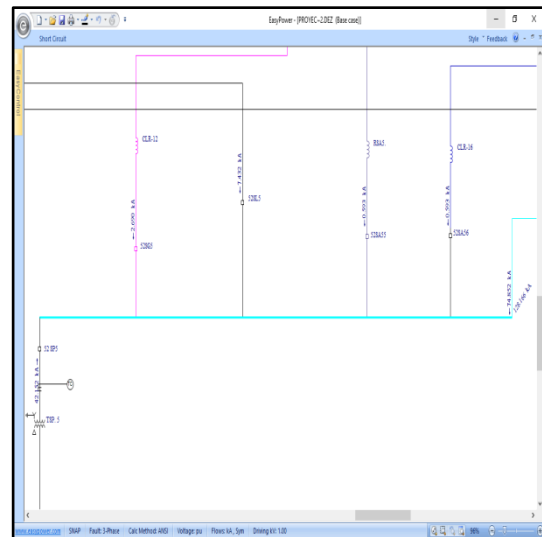
**Figura 4.17** Falla en bus de Servicios Propios Unidad 2.



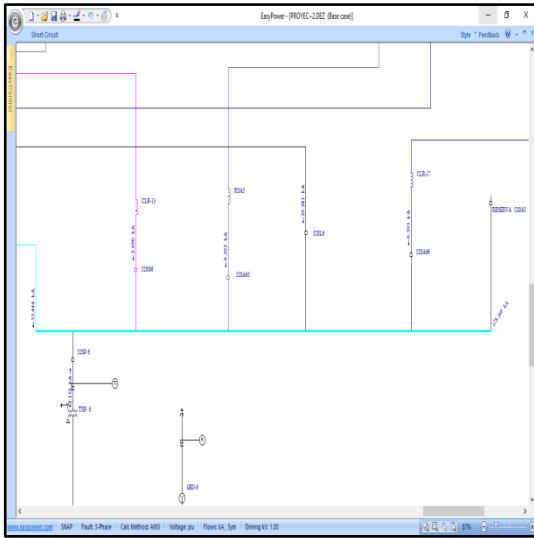
**Figura 4.18** Falla en bus de Servicios Propios Unidad 3.



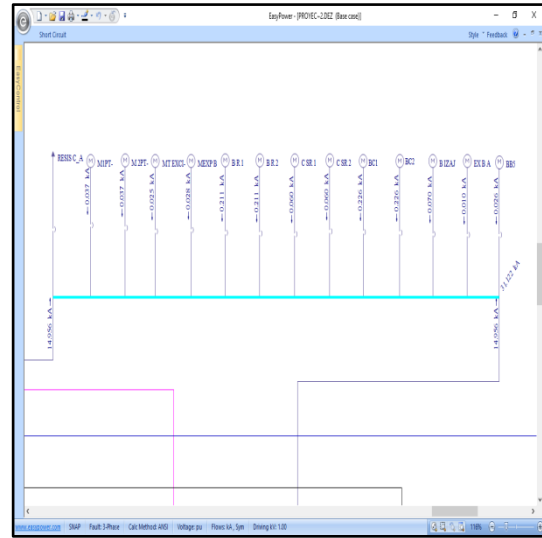
**Figura 4.19** Falla en bus de Servicios Propios Unidad 4.



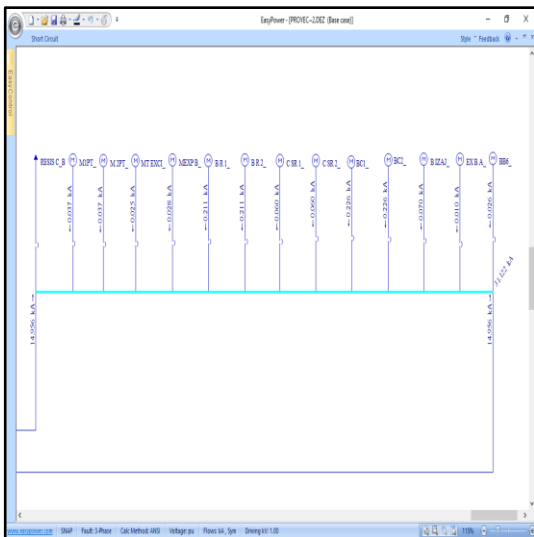
**Figura 4.20** Falla en bus de Servicios Propios Unidad 5.



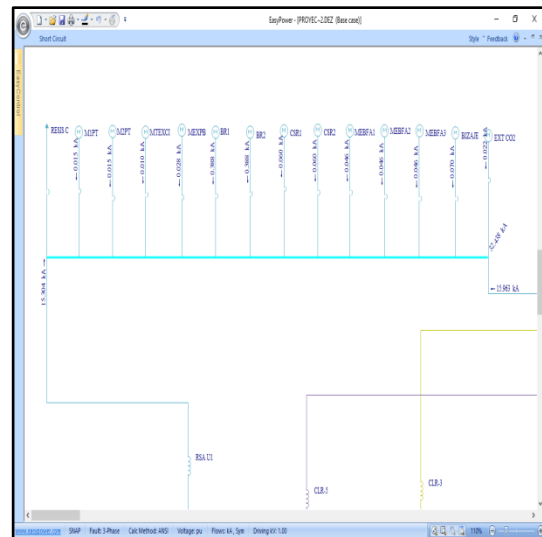
**Figura 4.21** Falla en bus de Servicios Propios Unidad 6.



**Figura 4.22** Falla en bus de Servicios Auxiliares 5.

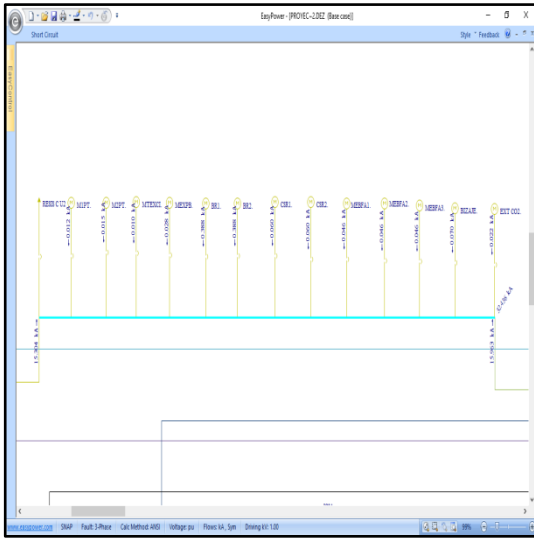


**Figura 4.23** Falla en bus de Servicios Auxiliares 6.

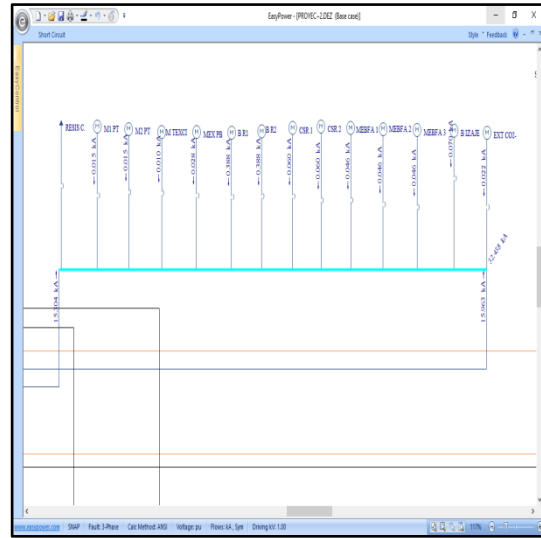


**Figura 4.24** Falla en bus de Servicios Auxiliares 11.

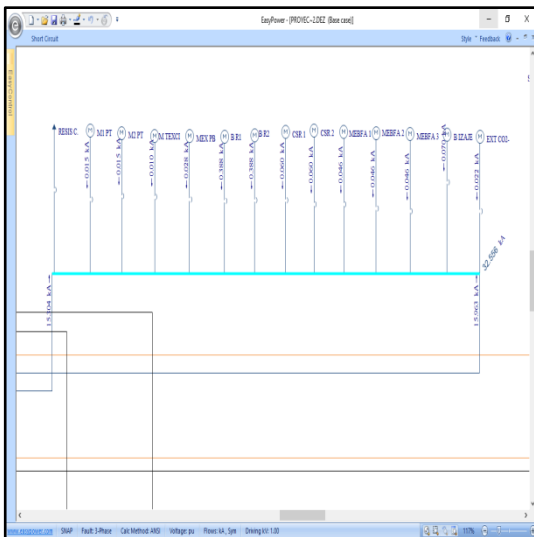




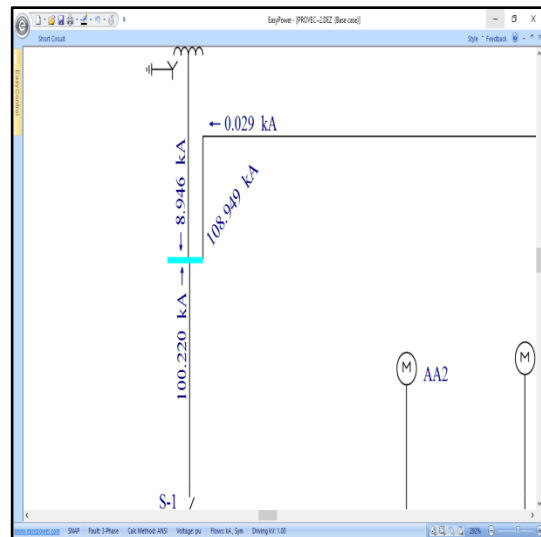
**Figura 4.25** Falla en bus de Servicios Auxiliares 21.



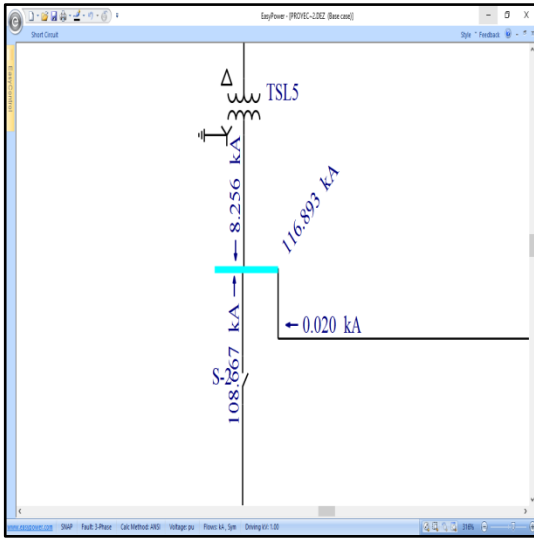
**Figura 4.26** Falla en bus de Servicios Auxiliares 31.



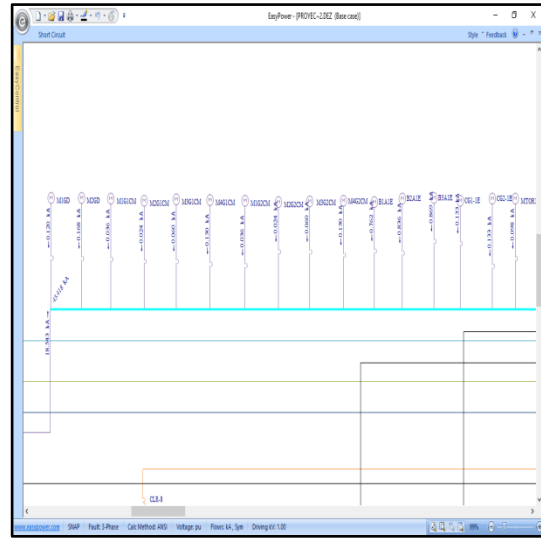
**Figura 4.27** Falla en bus de Servicios Auxiliares 41.



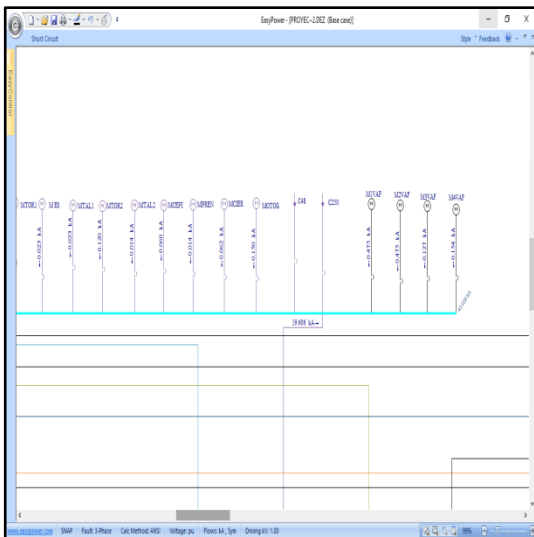
**Figura 4.28** Falla en bus de Servicios Exteriores 1.



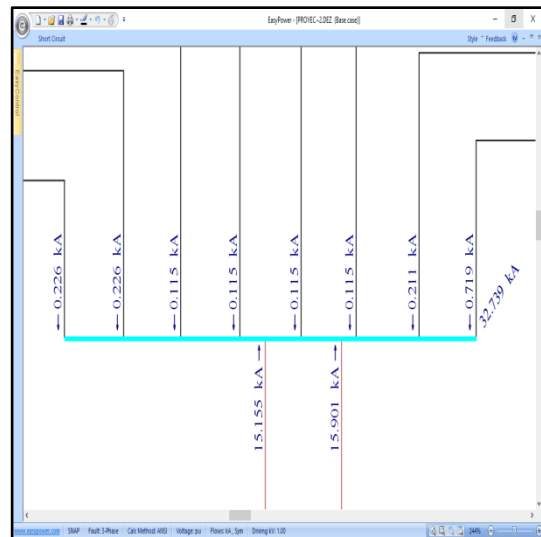
**Figura 4.28** Falla en bus de Servicios Exteriores 2.



**Figura 4.28** Falla en bus de Servicios Generales Primera Etapa.



**Figura 4.29** Falla en bus de Servicios Generales Segunda Etapa.



**Figura 4.29** Falla en bus VT y OT de Alimentación para ventiladores de transformadores S.E., Grúa de Obra de Toma y motores de Obra de Toma.

En la tabla de pruebas de corto circuito de los buses de bajo voltaje sólo se muestran los buses con mayor importancia dentro de la red de Servicios Propios, en ellos se muestra la corriente total aportada por las distintas ramificaciones que componen a ciertos buses, estos casos son: bus de Generador Auxiliar que se encuentra conectado a los buses de Servicios Propios de las unidades 2 y 4 a los cuales les aporta corriente al momento de una falla, en lo buses de Servicios

Exteriores uno y dos (SE1 y SE2) se derivan un bus para cada uno con 6 motores por cada bus, además de estos motores a él se conecta el transformador de servicios locales, para el bus VT y OT cuenta con las ramificaciones de alimentación para ventiladores de transformadores de potencia ubicados en la Subestación Elevador, Grúa de Obra de Toma y Motores que componen a la misma, como se observa en las imágenes del anexo A.

## **4.2 Conclusiones**

EasyPower es una herramienta útil dentro de la industria de generación de energía eléctrica, en este caso, tiene como objetivo evaluar y evitar riesgos dentro de la red de Servicios Propios de la C. H. Malpaso. Con el diseño y la ejecución de la simulación se obtuvieron resultados cercanos a los reales que son de ayuda para poder aplicar las protecciones adecuadas.

Es importante destacar que una red se encuentra sujeta a fallas o en algunos casos condiciones anormales de operación que pueden poner en riesgo la integridad de los diferente equipos eléctricos que la componen. Con el desarrollo del circuito de la red de Servicios Propios se cubren las condiciones que pueden preverse basándose en referencias documentales, en este caso datos de placa de los equipos cargados en el software EasyPower, para poder aplicar protecciones para las situaciones previsibles.

El estudio de una falla por cortocircuito debe ser cuidadoso ya que son fallas impredecibles, por ello los resultados que se obtuvieron en los buses corresponden a las corrientes máximas producidas por esta falla, incluyen las aportaciones de las diferentes ramificaciones que un bus pueda contener, así también se incluyen dos tipos de falla en las tablas de resultado que son las fallas tipo simétricas y tipo asimétricas.

La importancia de EasyPower es relevante dentro de cual cualquier central generadora puesto que ayuda a tener una referencia de resultados similares a los reales al momento de una falla, el manejo del software EasyPower fue de ayuda y de aportación de experiencia en el ramo del diseño de circuitos eléctricos de potencia, protecciones eléctricas, transformadores, interruptores y generadores que fueron elementos de importancia para la creación y desarrollo del proyecto.

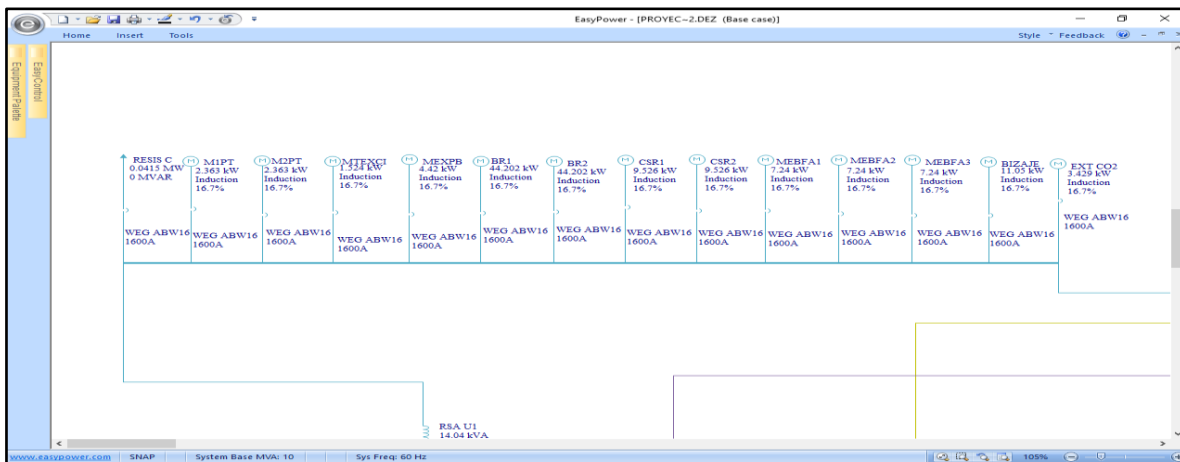
## **5 Referencias**

- [1].- Agrawal, B. L., and Farmer, R. G., "Aplicación de subsíncrono Oscilación del relé tipo SSO," IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No. 6, pp. 2442–2451, June 1981.
- [2].- IEEE Std C37.90™-1989, IEEE standart for relays.
- [3].- IEEE Std C37.97™-1979, IEEE Guía para aplicaciones de protección de relé a sistemas de energía de buses.

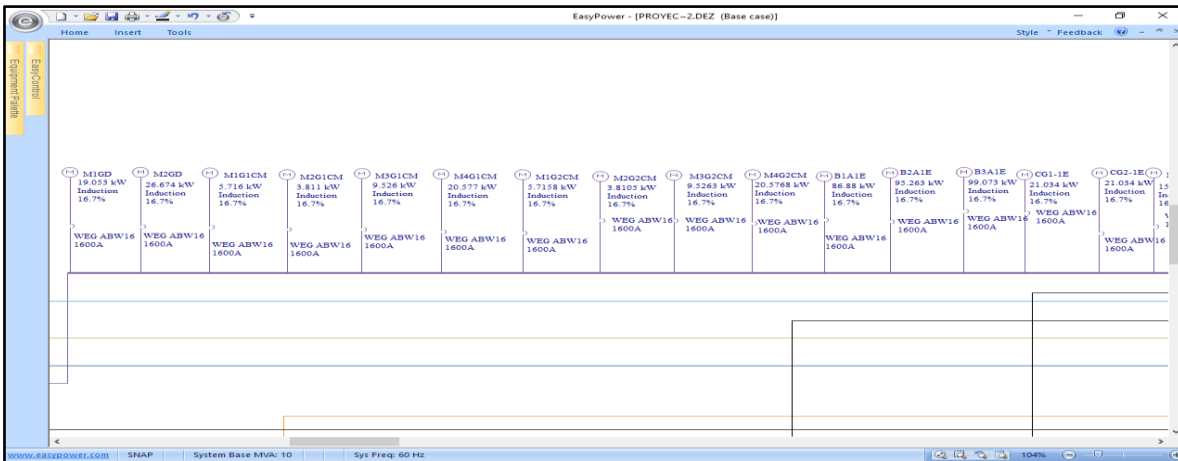
- [4].- IEEE Std C37.102™-1987, IEEE Guía para AC Protección de Generador.
- [5].- IEEE Std C37.103™-1990, IEEE Guía para diferencial y polarización relé Prueba Circuito (ANSI).
- [6].- IEEE Power System Relaying Committee, “Relé de protección de generadores de corriente alterna,” *AIEE Transactions*, Vol. 70, Pt. 1, pp. 275–281, 1951.
- [7].- Sills, H. R., and McKeever, J. L., “Características de las corrientes de fase partida como fuente de Protección de Generador,” *AIEE Transaction*, Vol. 72, Pt. III, pp. 1005–1013, 1953.
- [8].- Manual de operaciones SYNCROTACT 5, SYN 5201-5202.
- [9].- Manual de operaciones de protección de generador BECKWITH M-3425A.
- [10].- Ayuda EasyPower. [http://help.easypower.com/ezp\\_sp/9.7/Default.htm](http://help.easypower.com/ezp_sp/9.7/Default.htm).

## Anexo A

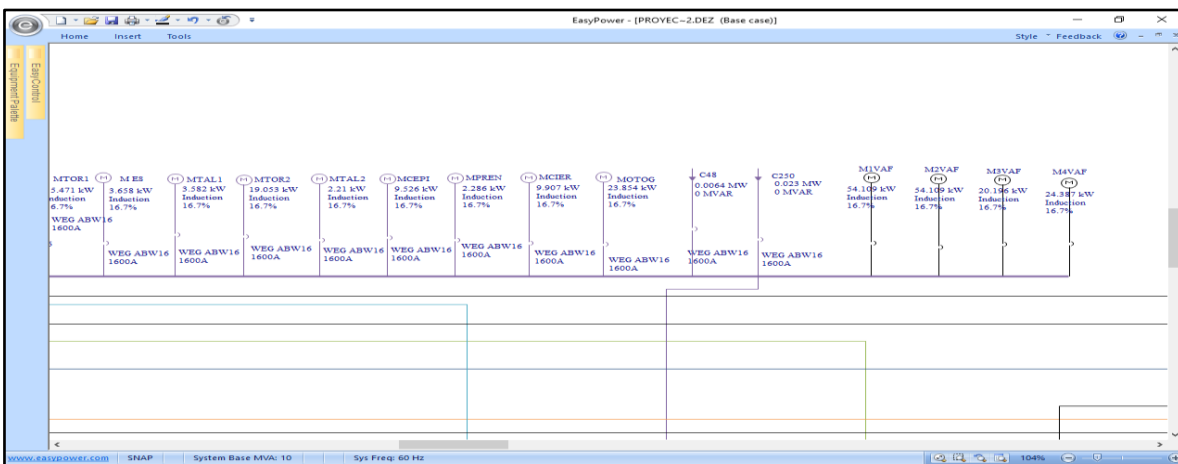
### Elementos que integran a bus 1 de Servicios Propios



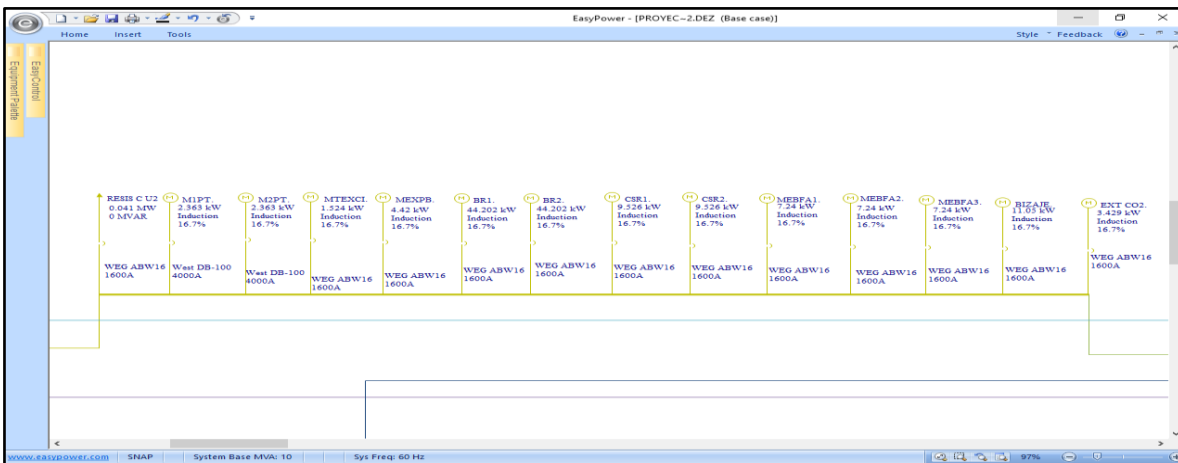
**Figura Anexo A.1 Bus Servicios Auxiliares 11.**



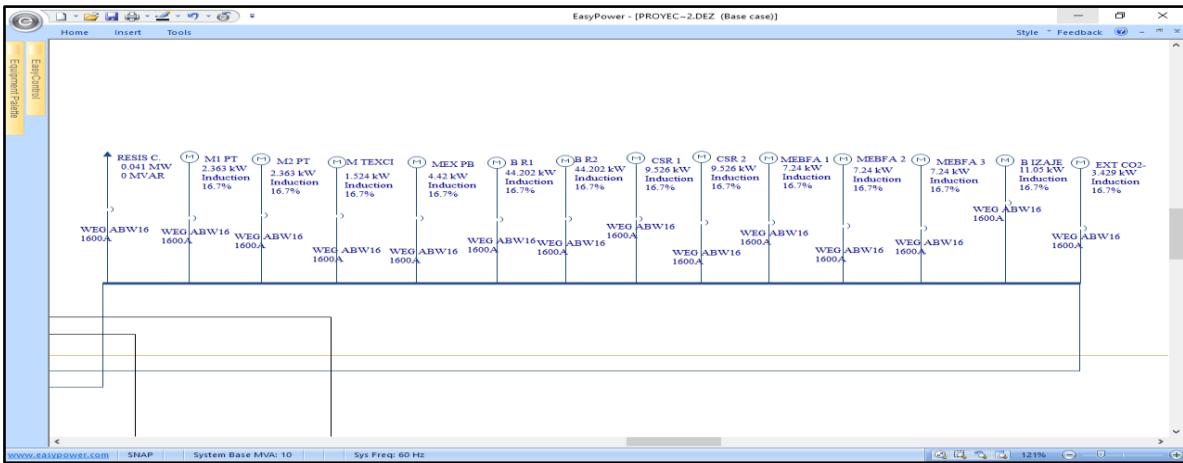
**Figura Anexo A.2.a Servicios Generales Primera Etapa (Parte uno).**



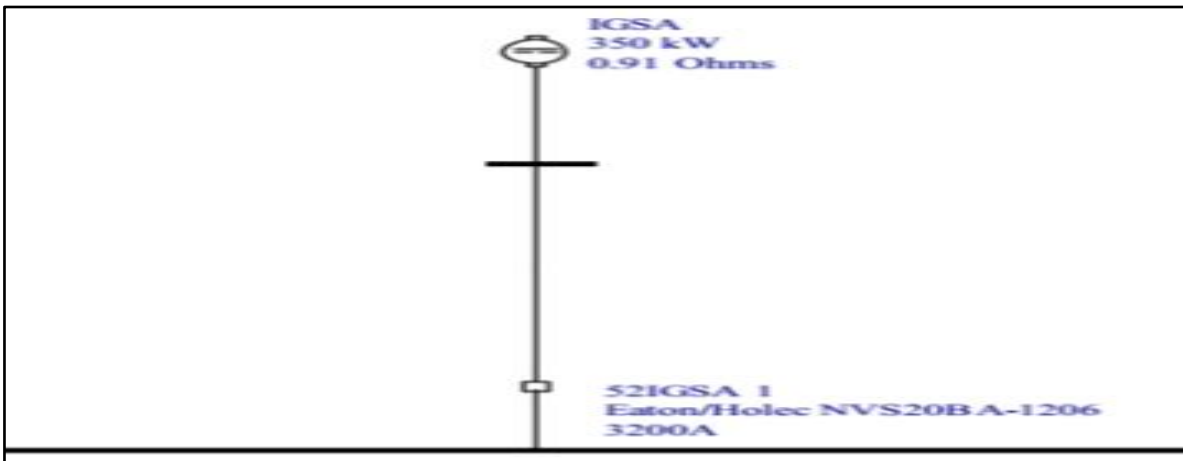
**Figura Anexo A.2.b Servicios Generales Primera Etapa (Parte dos).**



**Figura Anexo A.3 Servicios Auxiliares 21.**

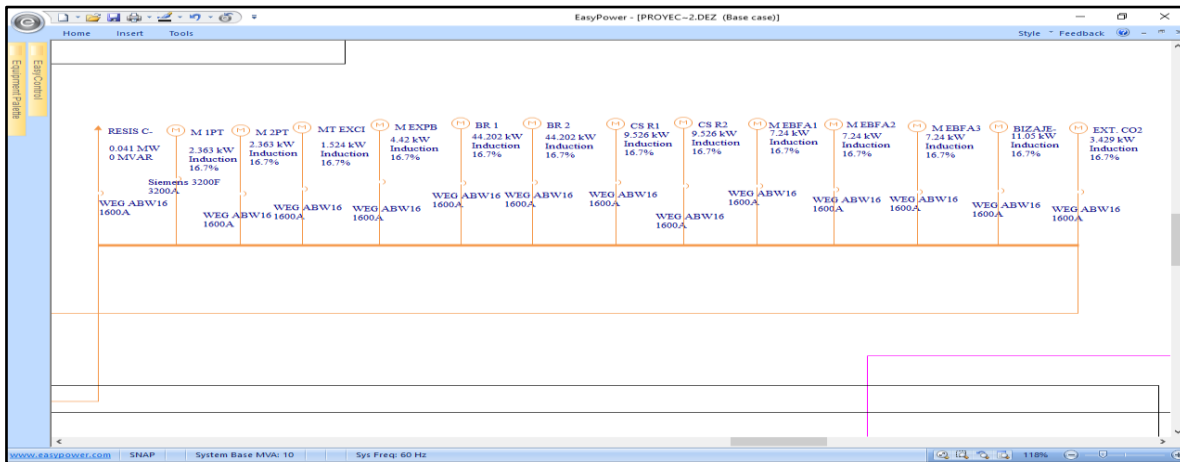


**Figura Anexo A.4 Servicios Auxiliares 31.**

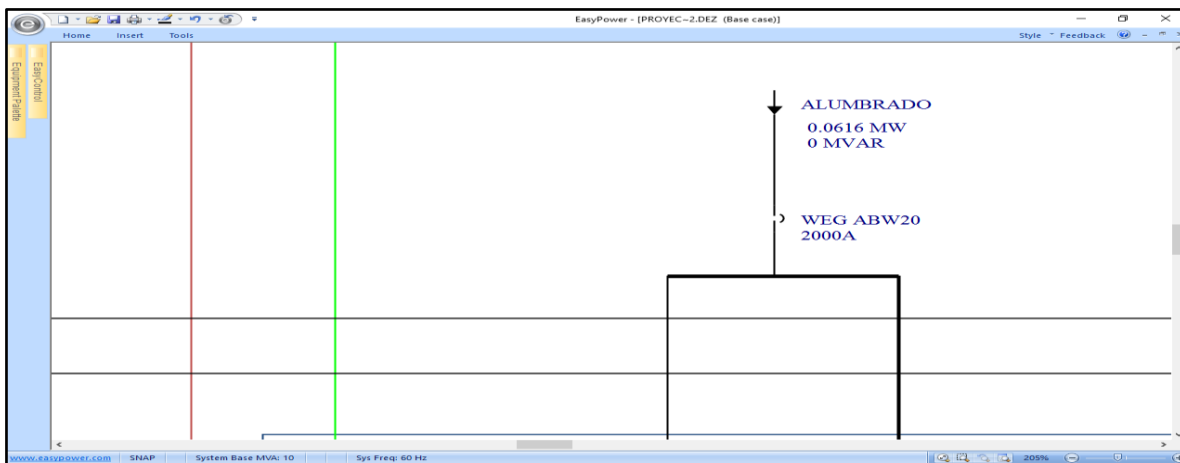


**Figura Anexo A.5 Planta de emergencia IGSA.**

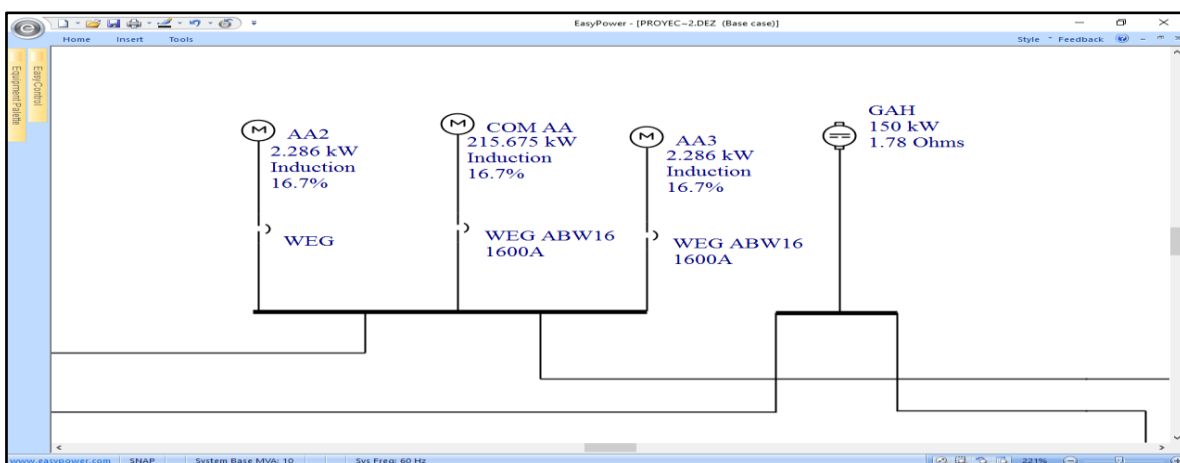
## Elementos que integran a bus 2 de Servicios Propios



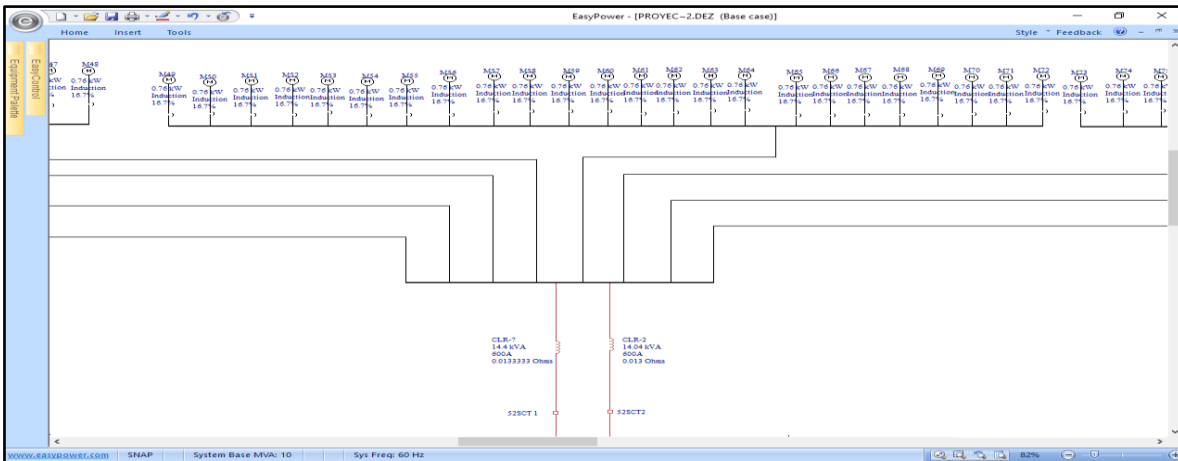
**Figura Anexo A.6 Servicios Auxiliares 41.**



**Figura Anexo A.7 Alumbrado.**

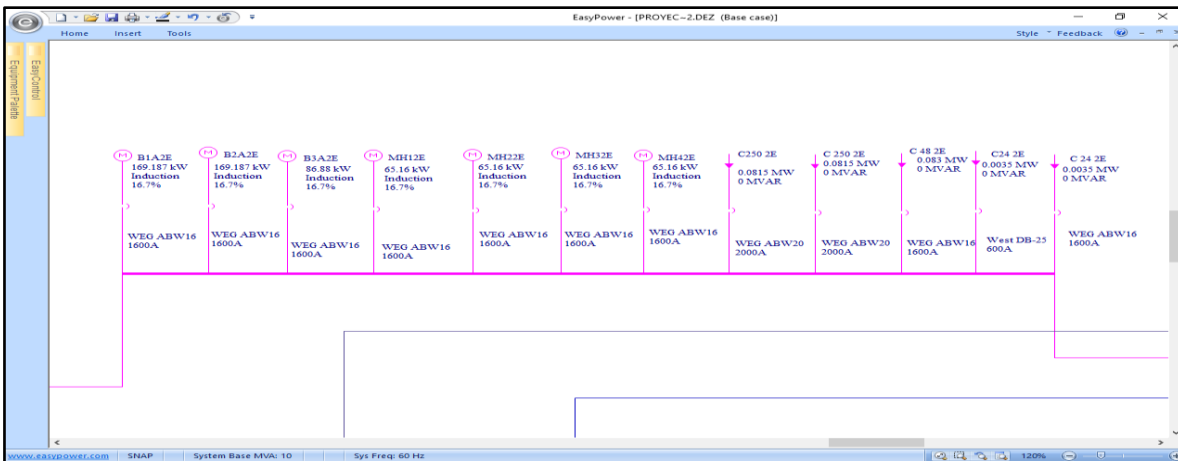


**Figura Anexo A.8 Generador Auxiliar Hidráulico y Aire Acondicionado.**

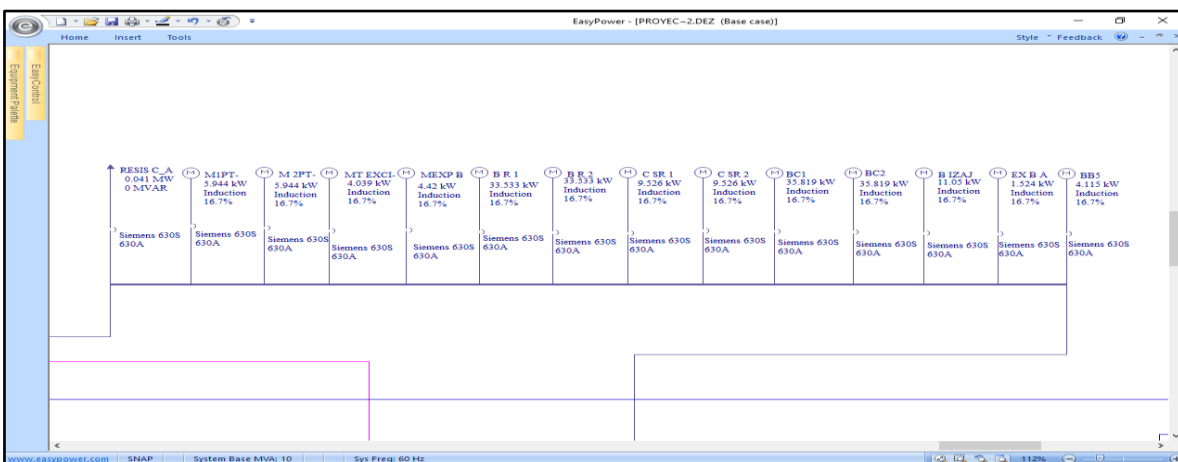


**Figura Anexo A.9** Alimentación para ventiladores de transformadores subestación elevadora, grúa y motores de obra de toma.

**Elementos que integran a bus 5 de Servicios Propios**



**Figura Anexo A.10** Servicios Generales Segunda Etapa.



**Figura Anexo A.11** Servicios Auxiliares 55.



## Elementos que integran a bus 6 de Servicios Propios

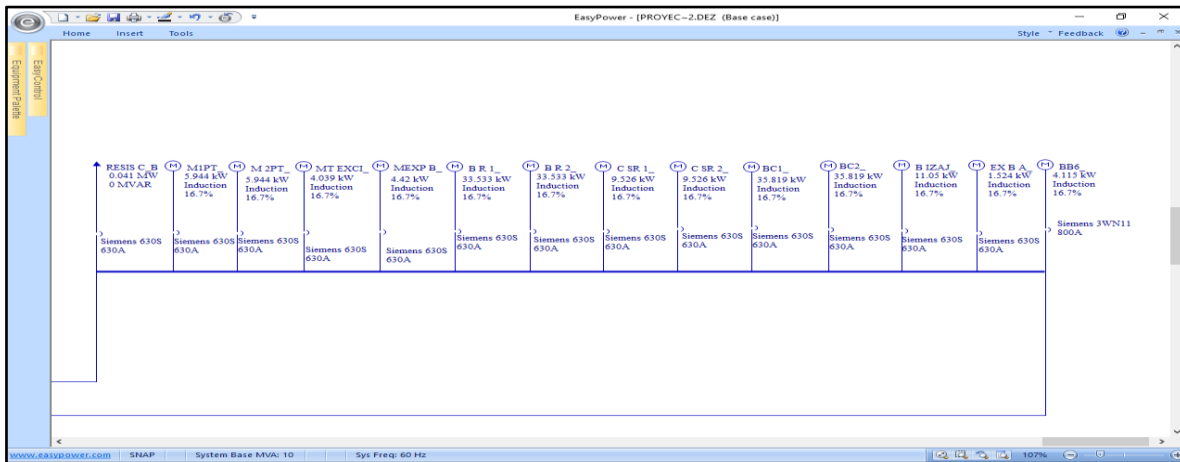


Figura Anexo A.12 Servicios Auxiliares 66.

## Elementos que integran a bus de alimentación para ventiladores de transformadores subestación elevadora, grúa y motores de obra de toma.

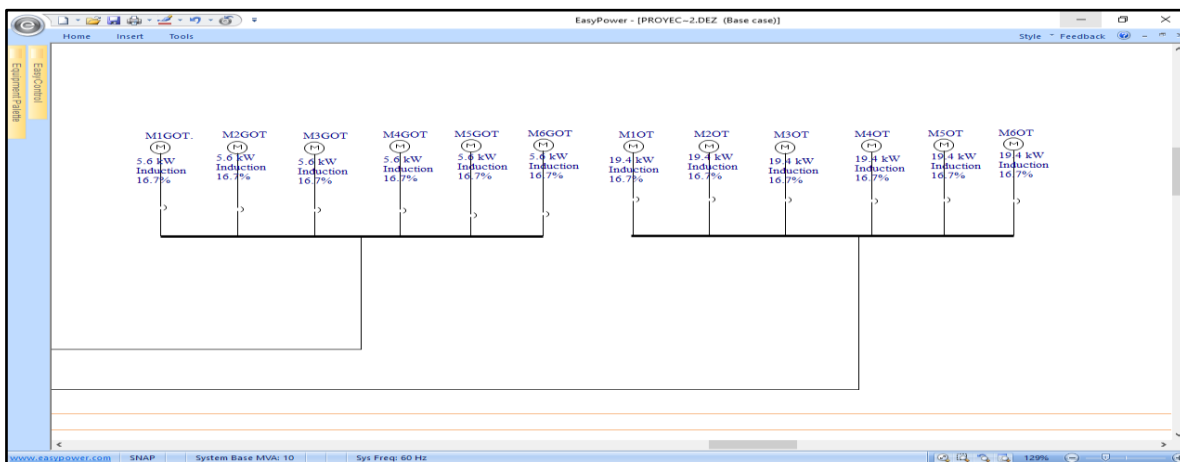
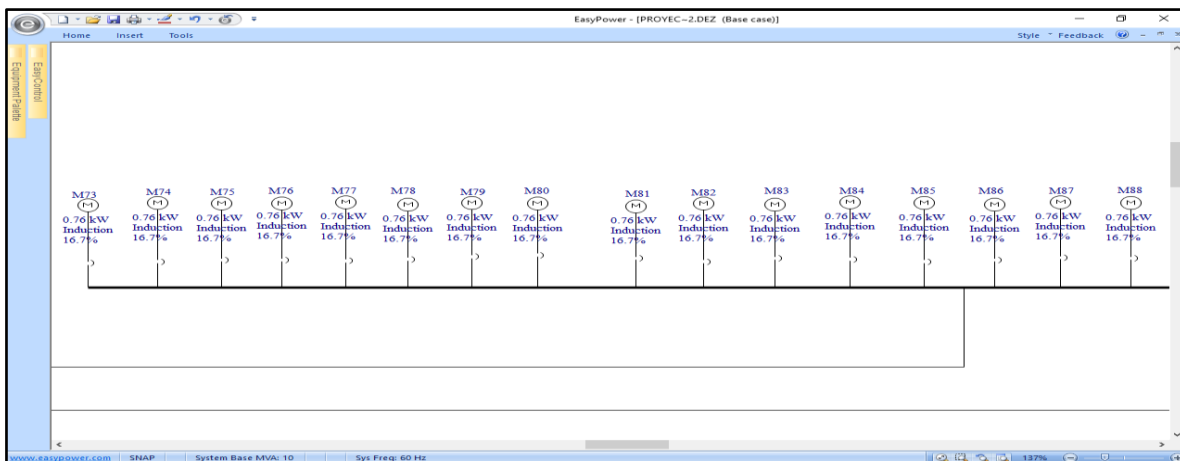
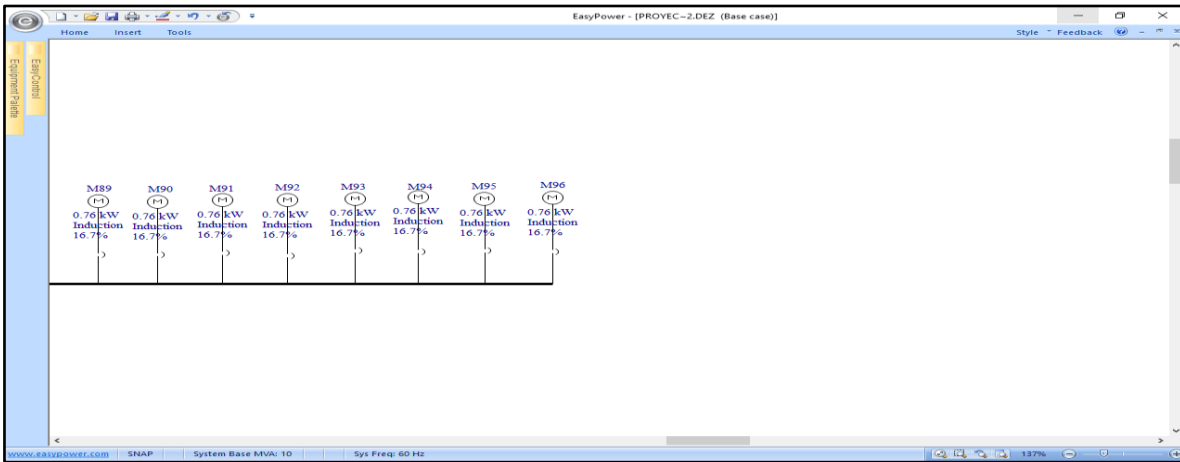


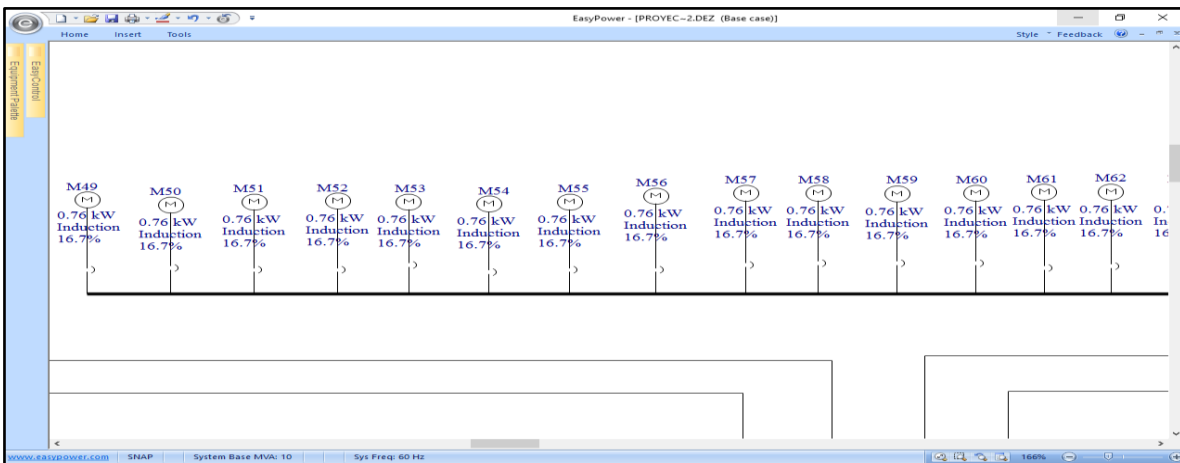
Figura Anexo A.13 Motores Obra de Toma.



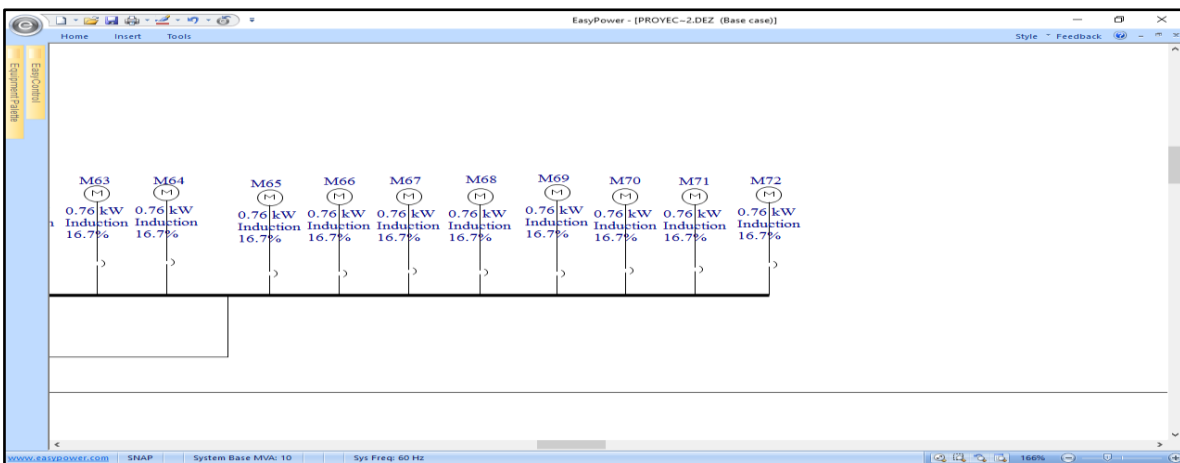
**Figura Anexo A.14.a Motores Transformador Unidad 1 (Parte uno).**



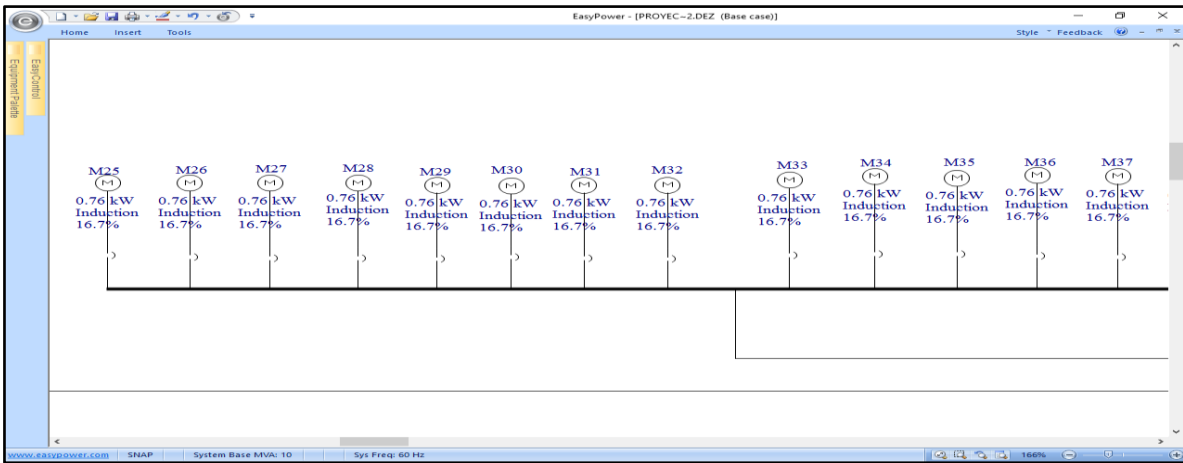
**Figura Anexo A.14.b Motores Transformador Unidad 1 (Parte dos).**



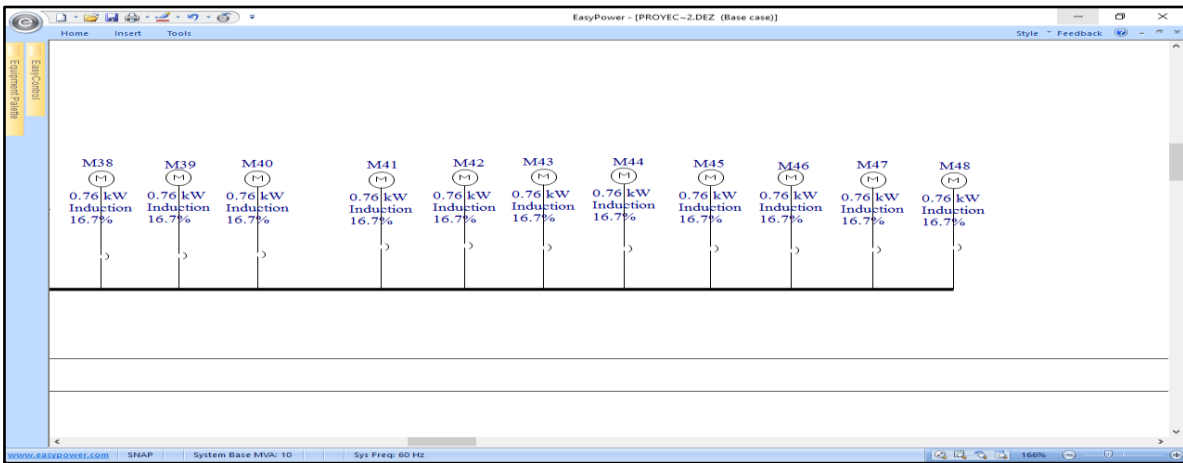
**Figura Anexo A.15.a Motores Transformador Unidad 2 (Parte uno).**



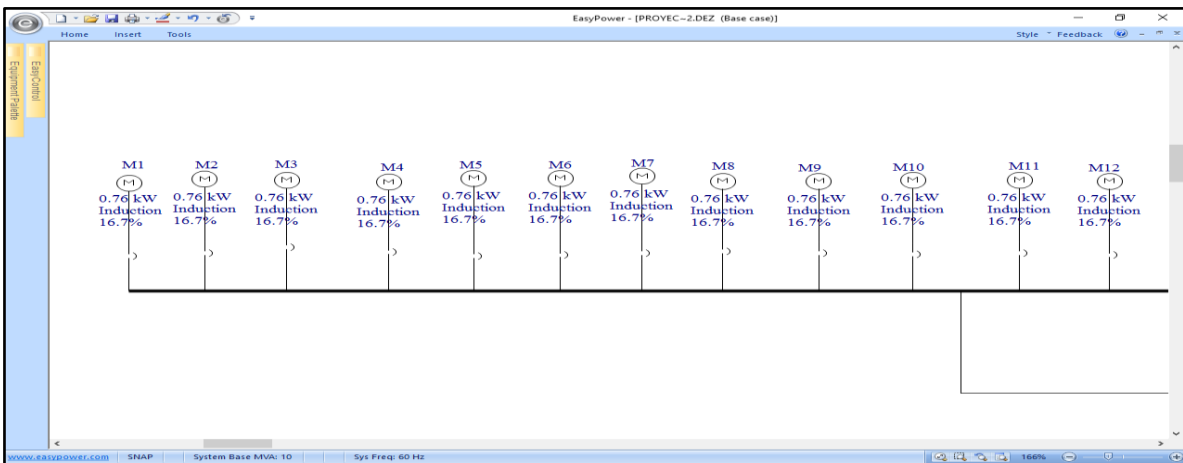
**Figura Anexo A.15.b Motores Transformador Unidad 2 (Parte dos).**



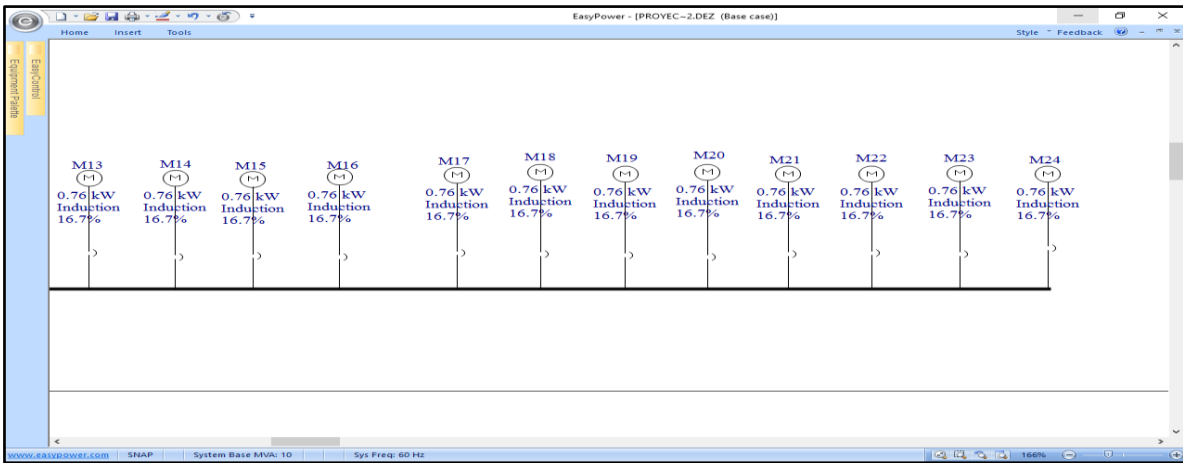
**Figura Anexo A.16.a** Motores Transformador Unidad 3 (Parte uno).



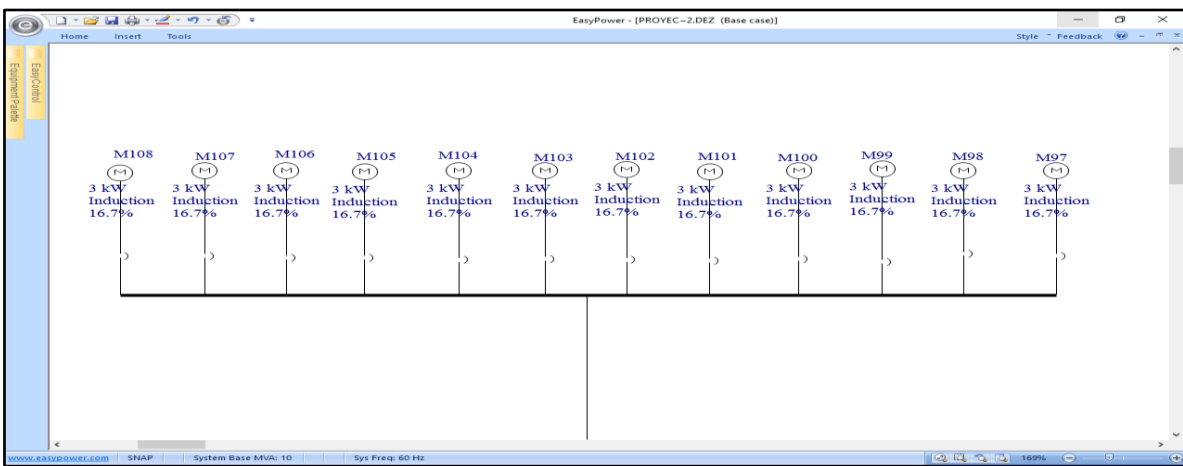
**Figura Anexo A.16.b** Motores Transformador Unidad 3 (Parte dos).



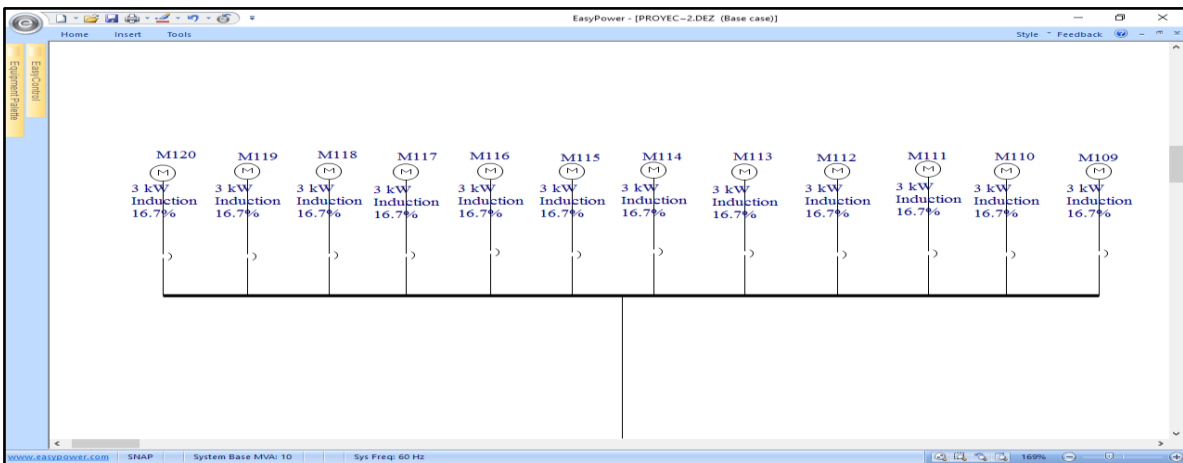
**Figura Anexo A.17.a** Motores Transformador Unidad 4 (Parte uno).



**Figura Anexo A.17.b** Motores Transformador Unidad 4 (Parte dos).

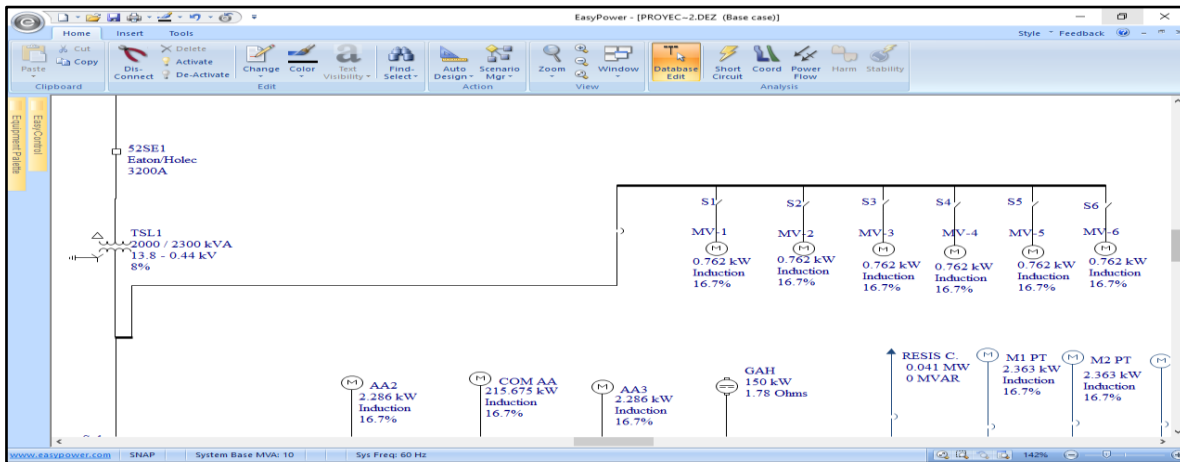


**Figura Anexo A.18** Motores Transformador Unidad 5.

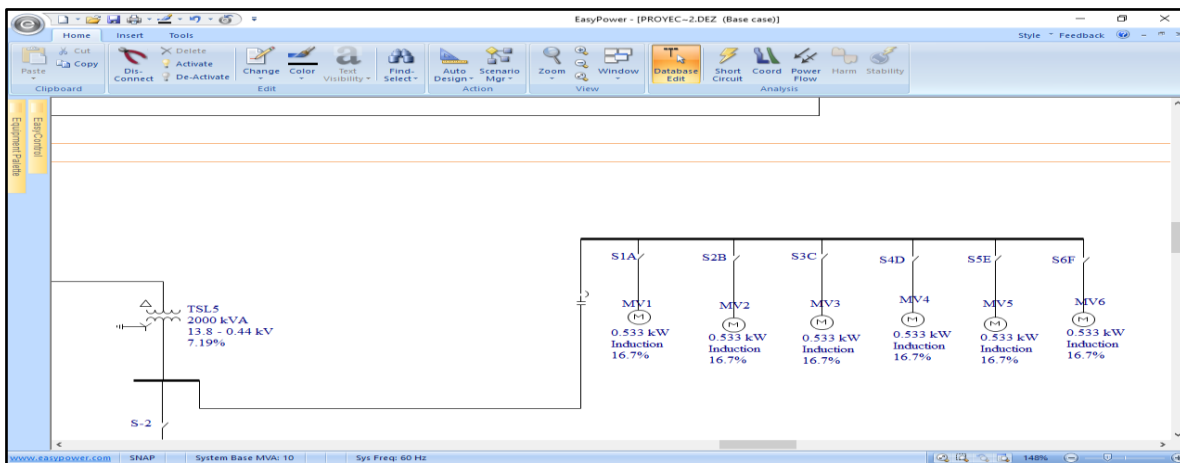


**Figura Anexo A.19** Motores Transformador Unidad 6.

## Elementos que integran a buses de Servicios Exteriores uno y dos.



**Figura Anexo A.20 Motores Bus Servicios Exteriores uno.**



**Figura Anexo A.21 Motores Bus Servicios Exteriores dos.**