



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**“ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES PARA LOS CINCO ALIMENTADORES PRIMARIOS DE LA SUBESTACIÓN SAN VICENTE, DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL NORTE (EMELNORTE)”.**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO**

**AUTOR: DARWIN ANDRES CUASAPAZ E.**

**DIRECTOR: ING. CLAUDIO OTERO**

**IBARRA – ECUADOR**

**2016**

**Lugar de investigación: Ibarra**

## Hoja de vida



**APELLIDOS:** CUASAPAZ ESCOBAR DARWIN ANDRES

**C. CIUDADANÍA:** 0401632534

**TELÉFONO CONVENCIONAL:** 062973204

**TELÉFONO CELULAR:** 0997273957

**CORREO ELECTRÓNICO:** ANDRES\_IMEUTN@HOTMAIL.COM

**DIRECCIÓN:** Von Humbolt y N80 San de Calderón-Quito

**FECHA DE DEFENSA DE TRABAJO DE GRADO:** 29 de noviembre de 2016

## RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo realizar el estudio de coordinación de protecciones para los cuatro alimentadores de la Subestación San Vicente, con lo que se pretende disminuir los elevados índices de desconexión, así como mitigar los efectos de las fallas en la red, considerando además la homologación de fusibles en las derivaciones. Los estudios muestran que las corrientes de cortocircuito tienen una relación directamente proporcional con la impedancia del sistema eléctrico de potencia y a su vez disminuyen dependiendo de la extensión del alimentador, por tanto, las fallas que ocurren en zonas muy distantes pueden ser no censadas por los reconectadores. De igual manera la inexistencia de un estudio previo para la coordinación de protecciones en el área de influencia de la subestación no augura la solución a mediano plazo del problema. De esto se deriva la importancia de generalizar la solución obtenida con el presente trabajo.

**Palabras clave:** Coordinación de protecciones, Subestación, Corrientes de falla

## INTRODUCCIÓN

La Subestación San Vicente cuenta con cinco posiciones para alimentadores de los cuales cuatro se encuentran operativos, la mala

coordinación de protecciones contribuye a mantener un elevado índice de desconexiones en el área de influencia de dicha subestación, por ende, ante una corriente de falla el número de abonados sin servicio eléctrico es alto.

En la coordinación de protecciones se tiene que tomar en consideración a los relés de protección en la cabecera de los alimentadores, fusibles en las derivaciones, fusibles en los transformadores, y de existir reconectadores y seccionalizadores en la red.

En la Subestación San Vicente se presentan problemas en la coordinación de protecciones provocando desconexiones innecesarias en el área de influencia.

Mediante este estudio de coordinación de protecciones y la implementación por parte de EMELNORTE, se logrará reducir la frecuencia de interrupción por fallas ocurridas en elementos del sistema, contribuyendo a mejorar los índices de calidad, de servicio eléctrico en dicha área.

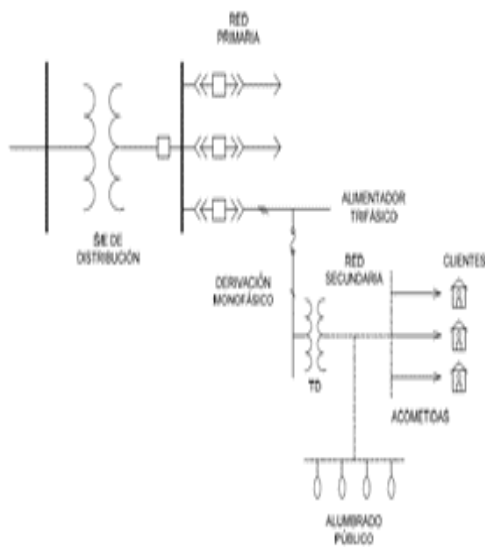
## Sistemas de distribución

La energía eléctrica es entregada a los usuarios luego de pasar tres etapas principales generación, transmisión y distribución.

En la etapa de distribución la empresa comercializadora se encarga de llevar la energía eléctrica hacia los abonados, mediante un conjunto de elementos

que lo constituyen como estructuras, redes, equipos de protección, transformadores de distribución etc. (GRAINGER J.J, 1996)

Una correcta coordinación de protecciones contribuye al cumplimiento de las regulaciones establecidas por ARCONEL.



**Figura 1:** Sistema radial

Nota: Tomada de LOPEZ, A (2008)

## CONCEPTOS

### Protecciones eléctricas

Las protecciones eléctricas son elementos de protección, cuya misión es la de vigilar y proteger de forma eficiente a los elementos de control y fuerza ubicados a lo largo del sistema eléctrico ante una eventual corriente de falla, evitando desconexiones innecesarias en el sistema, contribuyendo así a

mantener tanto la calidad como la continuidad del servicio eléctrico.

### Requerimientos de las protecciones eléctricas.

**Confiabilidad:** Debe actuar siempre que ocurra una falla, efectuando la acción requerida bajo condiciones anormales, en un periodo de tiempo requerido. Esta directamente ligada con la seguridad, la simplicidad y robustez del equipo de protección.

**Selectividad:** Cuando en un sistema se presenta una falla, debe operar la protección más cercana a la misma, sin afectar el suministro de la energía eléctrica en otras áreas del sistema de distribución, asegurando la continuidad del servicio donde la red se encuentra en un régimen normal.

**Sensibilidad:** Deberá detectar y responder sin problema a cualquier condición de falla sea de máxima o de mínima corriente y de acuerdo a un rango determinado para la operación, en el caso de los relés se encuentra en función de los ajustes mínimos del mismo.

**Rapidez:** Esta característica está en función de la magnitud de la falla y de la coordinación con otras protecciones. En los relés esta característica evita que el sistema salga de sincronismo, así como también daños en los elementos de protección y maniobra.

## METODOS Y RESULTADOS

En el área de influencia de la Sub estación "San Vicente" se presenta un alto índice de desconexiones

(Ver Tabla 1), debido a cortocircuitos, sobrecargas, descargas atmosféricas sobre todo por la extensión del alimentador tres, lo cual afecta a la continuidad del servicio de los abonados y el prestigio de la empresa distribuidora.

TABLA1: Indices de desconexiones

ALIMENTADOR	COD.	FMIK	LIMITE FMIK	TTIK
0401 (San Vicente Alimentador 1)	401	6,50	5	7,87
0402 (San Vicente Alimentador 2)	402	13,32	5	13,08
0403 (San Vicente Alimentador 3)	403	13,13	5	11,06
0404 (San Vicente Alimentador 4)	404	14,29	5	15,47

Fuente: Tomado de EMELNORTE SA.

En la tabla se observa como los límites correspondientes a la Frecuencia Media de Interrupción (FMIK) y Tiempo Medio de Interrupción (TTIK) son superados en todos los alimentadores.

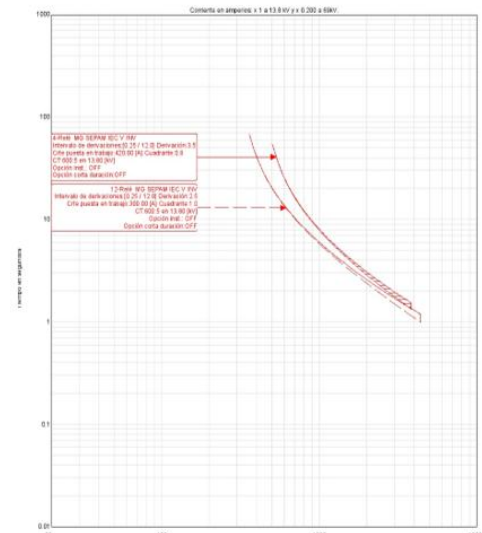
A continuación se describirá el procedimiento de coordinación de protecciones en el alimentador tres debido a su extensión y complejidad, para los alimentadores restantes el proceso es el mismo con las consideraciones propias de los mismos.

### Ajuste de relés.

Es importante mencionar que los ajustes tanto del relé general como de los relés en los alimentadores se establecieron mediante un estudio previo por parte de EMELNORTE S.A, dichos relés son de retardo marca Schneider tipo SEPAM, el ajuste del DIAL se encuentra bajo norma IEC es decir no mayor a 1.

TABLA 2: Ajustes para la configuración de los relés generales 51 y 51N

Protección	Voltaje(Kv)	RTC Protección	Línea	Tap	Dial	Corriente de cortocircuito máxima
GENERAL	13.8	800/5	Fase	3,6	0,8	3820
			Neutro	3	1	4380



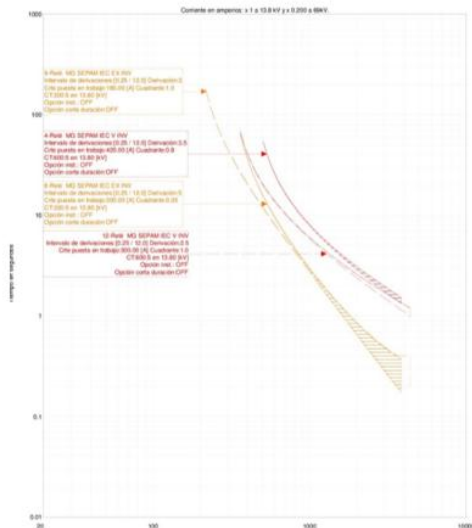
GRÁFICA 2: Curvas de los relés generales

### Ajustes de los relés de protección 51 y 51N

Los relés de los alimentadores utilizan curvas extremadamente inversas, dichas curvas no deben cruzarse con las curvas de los relés generales, para que exista una coordinación entre los mismos.

TABLA 3: Ajustes de los relés 51 y 51N en el alimentador 3

Voltaje(Kv)	RTC Protección	Línea	Tap	Dial	Corriente de cortocircuito máxima
13,8	300/5	Fase	5	0,8	3820
		Neutro	3	1	4380



GRÁFICA 3: Curva de los relés del alimentador 3

Debido a la extensión del alimentador tres, las curvas de los relés del mismo se encuentran en el límite permisible de distancia con respecto a las curvas de los relés generales, con la finalidad de aumentar el margen de coordinación tanto con reconectadores como con fusibles.

### Coordinación de protecciones.

Previo al proceso de coordinación se ingresaron al programa CYMDIST las impedancias equivalentes de la Subestación (Ver tabla 8) y la demanda de cada alimentador con lo cual, se obtuvieron los siguientes datos:

- Corrientes de cortocircuito en los transformadores, reconectadores y arranques de las derivaciones.
- Flujos de carga con lo cual se realizó la aproximación para el análisis de ICF (corriente de carga fría).

TABLA 4: Impedancias equivalentes de la Subestación San Vicente

Z	R	X
Z0	0	1,472
Z1	0,274	2,371
Z2	0,273	2,366

Tomada de EMELNORTE

TABLA 5: Demandas del alimentador 3

Ia (A)	Ib (A)	Ic (A)
126,9324	155,677	158,1387
Fp		
99,0256	98,4855	97,6383
Vab (p.u)	Vbc (p.u)	Vca (p.u)
0,931169	0,932265	0,947026

Posteriormente se identificaron las posibles derivaciones primarias, secundarias, terciarias y cuaternarias, tomando en cuenta la sensibilidad de los relés y reconectadores en las áreas más distantes.

### Coordinación entre relés, reconectadores.

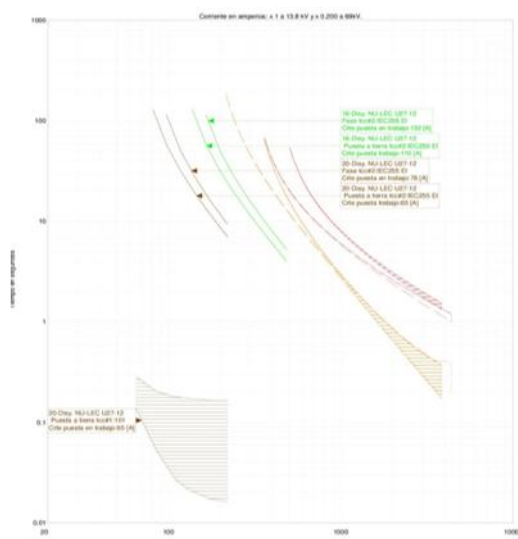
Para realizar la coordinación de reconectadores se ha tomado en cuenta las siguientes consideraciones:

- Las curvas de los reconectadores no deben interferir con las curvas de los relés aguas arriba.
- Debido a que el presente trabajo se ha realizado bajo normas IEC el límite de ajuste del dial es 0,05 hasta 1,00.
- El ajuste debe ser capaz de censar las corrientes de cortocircuito, en las áreas más alejadas correspondientes a su zona de protección.

- Únicamente se debe activar la curva rápida en el último reconectador, con el objetivo de que los reconectadores aguas arriba actúen como interruptores
- La curva rápida en el último reconectador debe dar la oportunidad a las fallas de ser transitorias y evitar que las fusibles aguas abajo actúen.
- Las curvas de los fusibles en el último reconectador, preferiblemente no deben entrar en el área de protección de la curva rápida.

TABLA 6: Ajustes en los reconectadores del alimentador tres

Nº de reconectador	Voltaje (Kv)	Corriente fase	Corriente tierra	Curva rápida activada	Corriente de cortocircuito máxima (A)	Dial
R1	13,8	132	110	NO	485	Fase:0,8 Tierra:0,9
R2	13,8	78	65	SI	220	Fase:0,8 Tierra:0,9

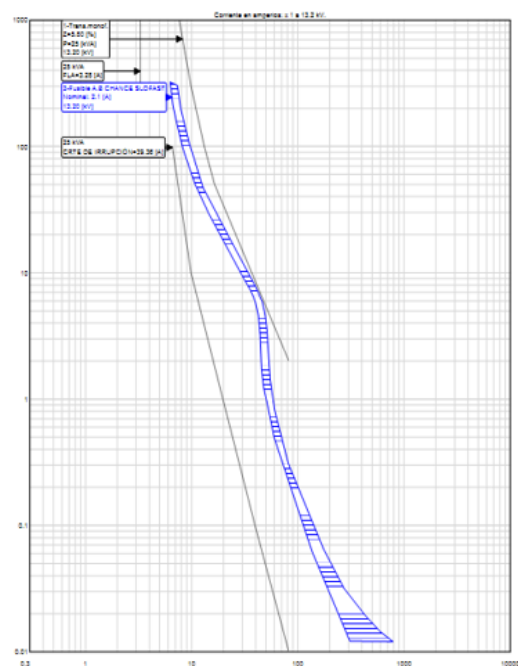


GRÁFICA 4: Coordinación entre reconectadores y relés

## Selección de fusibles en los transformadores.

Los transformadores de distribución serán protegidos con fusibles SF, debido a que las curvas de dicho fusible se ajustan de mejor manera entre la curva de magnetización como de daño del transformador, a su vez cumplimos con la homologación de fusibles.

Si las curvas del fusible están bajo la curva de magnetización del transformador, el fusible se fundirá ante fallas transitorias, a su vez si sobrepasan la curva de daño el transformador, el fusible no protegerá al transformador ante una falla y se quemará de igual manera se tomó en cuenta cumplir con  $ICF < IF$ .



GRÁFICA 5: Coordinación de un fusible SF con el transformador

## Coordinación entre el fusible tipo T y SF.

En función de la corriente de cortocircuito y el fusible SF en el

transformador, se seleccionará el fusible tipo T, mismo que será ubicado en el arranque de las derivaciones. Se debe considerar que las curvas del fusible tipo T deben estar sobre las curvas del fusible SF.

### **Coordinación entre fusibles tipo T.**

Se deben ubicar en cascada en función de su capacidad es decir de mayor a menor. Mantenemos el criterio de sobreposición mencionado anteriormente, es por ello que si los dos fusibles son de un mismo valor no existirá coordinación.

Los fusibles tipo T se encargan de proteger las derivaciones ya sean primarias secundarias terciarias o cuaternarias, han sido ubicados en el arranque de las mismas, cabe recalcar que la troncal debe estar libre de fusibles como también que todo el circuito debe ser homologado.

El análisis para la selección de los fusibles tipo T se realizó tomando en cuenta las corrientes de cortocircuito en las derivaciones y transformadores ubicados en las mismas, debido a que dichas corrientes aumentan en relación a la cercanía del alimentador.

### **Primer análisis**

El primer análisis se realizó hasta el primer reconectador, en la derivación primaria, se consideró la corriente de cortocircuito más elevada en el arranque con mayor proximidad a la subestación misma que es de 2941A, por tanto, se seleccionó el fusible 80T.

La elección del fusible para derivaciones secundarias, tomó en cuenta una corriente de cortocircuito de 2754A la cual se detectó mediante el programa CYMDIST en un transformador de 10KVA, monofásico protegido con un fusible SF 1.0 dicha corriente es la más elevada considerando el parámetro de mayor cercanía a la subestación, por tanto, se seleccionó el fusible 40T, ya que coordina con el SF 1.0 hasta 2765A y con el 80T hasta 3700A.

Para las derivaciones terciarias se siguió el mismo procedimiento antes descrito obteniendo una corriente de cortocircuito de 1237A en un transformador de 10kVA protegido con un fusible SF 0,7 se seleccionó un fusible de 20T ya que coordina con el fusible SF 0,7 hasta 1270A, y a su vez coordina con el fusible 40T hasta 2000A.

Para obtener una ICF más real se realizó un flujo de carga con los datos proporcionados en la tabla N<sup>o</sup> 9 en el arranque de las derivaciones con mayor carga, dicho valor se multiplico por cuatro, en las derivaciones donde no se registraron corrientes, se procedió a aplicar la siguiente formula:

$$ICF= 4 \times \sum IN$$

Donde:

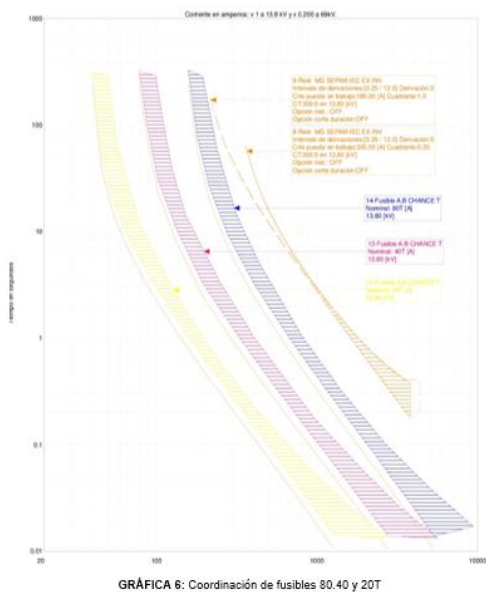
ICF= Corriente de carga fría

$\sum IN$ = Sumatoria de las corrientes nominales de los transformadores en la derivación.



TABLA 7: Fusibles propuestos

Derivación	Corriente de cortocircuito (A)	ICF(A)	IF(A)	Fusible seleccionado	ICF<IF
Primaria	2941	110	158.2	80T	SI
Secundaria	2754	21,2	78.2	40T	SI
Terciaria	1237	2,4	39,9	20T	SI



GRÁFICA 6: Coordinación de fusibles 80, 40 y 20T

### Segundo análisis

Parte desde el primer reconectador hasta el último reconectador, una vez realizados los ajustes (Ver tabla N°8) se procedió a realizar la coordinación bajo la curva lenta del mismo, se realiza el mismo proceso descrito en el primer análisis donde se deben considerar las corrientes de cortocircuito, así como la coordinación respectiva entre fusibles.

TABLA 8: Ajustes para el primer reconectador

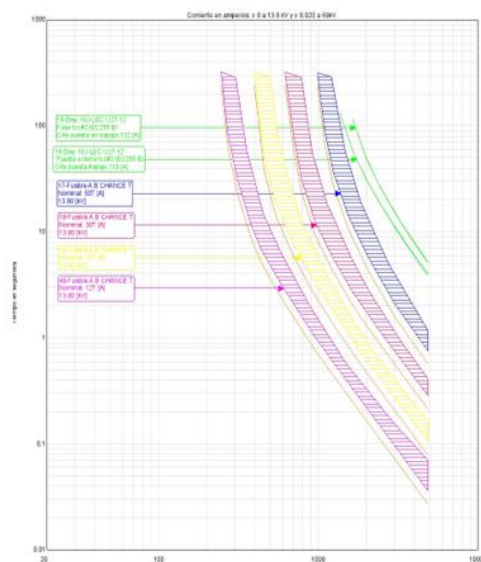
N° de reconectadores	Tipo	Voltaje(Kv)	Corriente fase	Corriente tierra	Curva rápida activada	Corriente d cortocircuito máxima (A)
R1	Electrónico	13,8	132	110	NO	485

Como se mencionó anteriormente dicho alimentador es demasiado

extenso y tomando en cuenta la sensibilidad del reconectador se plantea la posibilidad de tener derivaciones cuaternarias con la finalidad de aumentar selectividad.

TABLA 9: Fusibles propuestos

Derivación	Corriente de cortocircuito (A)	ICF	IF	Fusible seleccionado	ICF<IF
Primaria	323	14,8	125.4	65T	SI
Secundaria	295	11,2	78.2	40T	SI
Terciaria	121	2,89	49.7	25T	SI
Cuaternaria	120	2,89	4,4	12T	SI



GRÁFICA 7: Coordinación de fusibles 65, 40, 25 y 12T

### Tercer análisis

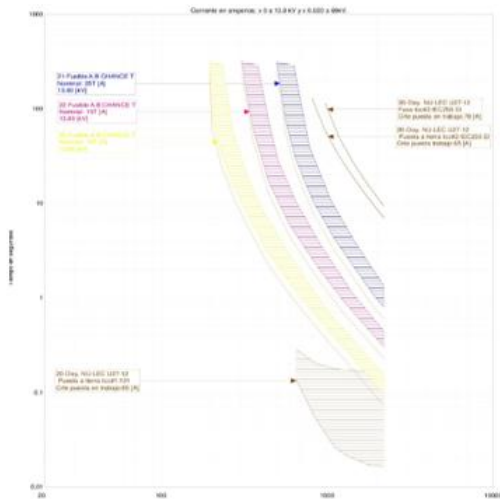
Corresponde al último reconectador hasta el punto más retirado del alimentador, para el análisis y selección de fusibles se mantienen los mismos parámetros y criterios previamente mencionados.

TABLA 10: Ajustes del segundo reconectador

N° de reconectadores	Tipo	Voltaje(Kv)	Corriente fase	Corriente tierra	Curva rápida activada	Corriente de cortocircuito máxima (A)	Dial
R2	Electrónico	13,8	78	65	SI	220	Fase:0,8 Tierra:0,6

**TABLA 11:** Fusibles propuestos

Derivación	Corriente de cortocircuito (A)	ICF(A)	IF(A)	Fusible seleccionado	ICF<IF
Primaria	152	11,2	49.7	25T	SI
Secundaria	149	7,6	30.48	15T	SI
Terciaria	146	0,8	19.63	10T	SI



**GRÁFICA 8:** Coordinación de fusibles 25.15 y 10T

## Conclusiones y recomendaciones

### Conclusiones

- Las corrientes de cortocircuito tienen una relación directamente proporcional con la impedancia del sistema eléctrico de potencia y a su vez disminuyen dependiendo de la extensión del alimentador.
- Las curvas de coordinación de los relés de la subestación están ajustadas de acuerdo a un estudio previo que establece la coordinación del sistema de subtransmisión hasta las barras de 69 kV de los puntos de conexión con el Sistema Nacional de Transmisión por lo que estas

sirven de referencia para poder coordinar los equipos de protección de los alimentadores de la subestación San Vicente.

- Cuando en una troncal se encuentra más de un reconectador, únicamente se debe activar la curva rápida del último reconectador aguas debajo de la subestación, para que el reconectador aguas arriba opere como un interruptor automático en el momento que se produce una falla entre estos dos reconectadores pues de lo contrario existirían operaciones indebidas entre estos dos equipos y no se estarían cumpliendo los criterios de coordinación.
- No existe problema alguno de coordinación en colocar transformadores convencionales o auto protegidos, ya que estos últimos tienen una protección magneto térmica para fallas internas y para fallas externas un fusible NH y en su lado secundario, el fusible SF se ubica en el primario.
- La fusión de un fusible depende tanto de la duración como de la magnitud de la corriente de falla que circula por el mismo.
- La curva del fusible SF, es la que mejor se ajusta entre la curva de daño y de magnetización en los transformadores de

distribución, lo cual garantiza una mayor protección ante corrientes de falla.

- Con la homologación de fusibles se disminuye el tiempo de respuesta por parte del personal de mantenimiento, ante una eventual falla.

#### *Recomendaciones*

- Previo a realizar el flujo de carga en CYMDIST se debe tener en cuenta las unidades en las que se encuentran dichos valores.
- El conductor 2AWG soporta una corriente máxima de 180A, con dicha corriente se realizan los ajustes de sensibilidad en los reconectores, sin embargo, debemos considerar que las corrientes decrecen a medida que se alejan de la subestación y que, al disminuir dicha corriente en función de la corriente de cortocircuito, podemos aumentar la sensibilidad de los reconectores en las zonas más alejadas.

3. TORRES BREFFE, Orlys Ernesto, (2007) Desarrollo de herramientas para la creación, modelación y comprobación de protecciones eléctricas, Edit. Edum, Santiago de Cuba, Cuba. p. 41
4. TORRES BREFFE, Orlys Ernesto, (2012) Procesos transitorios, Métodos de componentes simétricos para el análisis de fallas asimétricas, Material 2, Cenase, Ecuador. P. 21

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. ENRÍQUEZ HARPER, Gilberto (2006) Protecciones de sistemas eléctricos, Edit. Limusa, Bogotá, Colombia.
2. TORRES BREFFE, Orlys E. (Tutor). Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2001.