

Estudio de un sistema de transferencia automática de carga a través de reconectores en el sistema de distribución de Emelnorte.

Ruiz Proaño Jeraldin Maricela

Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
 Universidad Técnica del Norte, Ciudadela Universitaria, Av. 17 de Julio 5-21 y General José María
 Córdova Ibarra, Imbabura
 jmruizp@utn.edu.ec

Resumen – El presente trabajo de grado tiene como objetivo principal la realización de un estudio eléctrico para la transferencia automática de carga, mediante reconectores en todo el sistema de distribución de Emelnorte.

En el primer capítulo se presenta los antecedentes, en donde se describen los problemas existentes, y se plantea la justificación para la realización de este trabajo de grado. En el segundo capítulo se analizan los conceptos de sistemas eléctricos de potencia, sistema de distribución, elementos que lo conforman y su clasificación según la topología; se describen los tipos de fallas que se pueden producir en las redes de distribución y las consecuencias que pueden traer las mismas, por lo que también se analiza la calidad del servicio eléctrico y la regulación No. CONELEC 004/01, que deben cumplir las empresas distribuidoras de energía

En el capítulo tres se mencionan las metodologías de investigación aplicadas en este trabajo de tesis. En el cuarto capítulo se presenta el desarrollo de la propuesta técnica en donde se da a conocer el sistema de distribución de Emelnorte y el procedimiento que se ha realizado para determinar los alimentadores en donde se ubicaran de los reconectores para realizar las transferencias automáticas de cargas.

I. INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica ha pasado a formar parte de la materia prima esencial para mover el desarrollo económico y social de los países. Es indiscutible imaginar la falta de este suministro, ya que mueve el comercio, hace posible el funcionamiento de la producción a nivel industrial y lo más importante mejora confortablemente la vida cotidiana del ser humano.

En un sistema de distribución con alta calidad es primordial la utilización de reconectores para transferencia automática de carga, mismos que se ubican en zonas estratégicas del sistema, con la finalidad de reponer el servicio eléctrico en el menor tiempo posible y disminuir la cantidad de abonados sin suministro de energía en caso de fallas en la red.

Un sistema automático de transferencia de energía es un conjunto de elementos que da la posibilidad de alimentar la carga desde dos o más fuentes diferentes. Los sistemas de transferencia brindan mayor confiabilidad a los sistemas de alimentación de energía eléctrica, debido a que si existiese una falla en cualquiera de ellos no causaría la pérdida total de potencia en la carga.

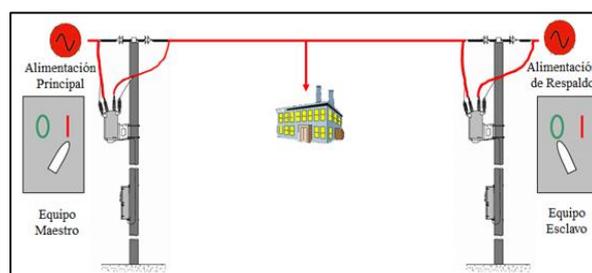


Figura 1. Principio de operación para una transferencia automática de carga

Fuente: Tomada de Schneider Electric.

Para que una transferencia de carga cumpla con el objetivo, que es el de mantener con servicio a un mayor número de usuarios en caso de ocurrir una falla en una de las fuentes de alimentación, debe cumplir con ciertas condiciones, para transferir la carga de una manera segura y confiable tanto para la empresa distribuidora como para el usuario.

Los criterios a considerar son:

- Los alimentadores deben tener un mismo nivel de voltaje y las subestaciones una misma secuencia de fases.
- Alimentadores que tengan un punto de interconexión entre ellos, preferiblemente de una red trifásica.
- Los alimentadores pueden ser de diferentes subestaciones, ya que de esta manera se aseguraría la disponibilidad del servicio en caso de ocurrir una falla en una de las fuentes.
- Por lo menos uno de los alimentadores debe cumplir con los niveles de voltaje de un $\pm 10\%$, establecidos en la regulación CONELEC 004/01.

PUBLICACIÓN 001-001

Emelnorte, es una empresa líder en distribución y comercialización de energía eléctrica en la zona norte del país. La empresa en la actualidad cuenta con 16 subestaciones y 66 alimentadores de distribución, los mismos que tienen un nivel de voltaje de 6,3 kV en el alimentador C3 de la subestación Ajaví y con 13,8 kV en el resto de los alimentadores, el sistema de distribución con el que cuenta es netamente radial, lo que implica mayor afectación del sistema en caso de fallas.



Figura 2. Sistema de Distribución de Emelnorte.
Fuente: Tomado de Emelnorte.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Métodos

Para este tipo de investigación, se puede afirmar que se utilizaron los siguientes métodos:

1) Recopilación de información

Se realiza la recolección de información a través de los planos y de mediciones de cada uno de los alimentadores, los cuales permitan conocer el sistema de distribución de Emelnorte

2) Método analítico-sintético

A través del análisis de la información recolectada en cada proceso para la transferencia automática de carga y por medio de una sistematización de la información se obtuvo los alimentadores en los que si es factible la ubicación de reconectores.

3) Método inductivo-deductivo

Mediante los conocimientos previos adquiridos y el desarrollo de este trabajo de grado se planteó las diferentes soluciones técnicas, las cuales se encuentran sustentadas por cada resultado obtenido y que fueron analizados en cada etapa o sección de este trabajo.

B. Técnicas e instrumentos

1) Modificación de planos

Se realiza modificaciones de planos en los alimentadores de Alpacacha, Ajaví, San Agustín, El Retorno, Cayambe, Cotacachi, San Vicente y Otavalo; mismos que cumplen con las condiciones para poder realizar las transferencias de carga entre ellos, se determina la ubicación de los reconectores.

2) Mediciones

En base a la información de la base de datos que mantiene Emelnorte, se toma en cuenta las mediciones de la demanda (kW), el voltaje en por unidad, la corriente (A) y el factor de potencia de las tres fases, además los tiempos en los que actuaran los reconectores, estos datos se ingresaran en los softwares utilizados en este estudio.

3) Simulación

Mediante la simulación en el software CYMDIST de CIME International T&D Inc. se pudo probar el funcionamiento ideal en los que operaran los reconectores.

III. DESARROLLO DE LA PROPUESTA TECNICA

Tomando en cuenta los criterios anteriormente descritos se procede a realizar el desarrollo de la propuesta para la transferencia de carga en el sistema de distribución

A. Determinación de alimentadores para la transferencia automática de carga

Se describieron los criterios para seleccionar los alimentadores en los cuales se realizará la transferencia automática de carga, mediante la utilización de reconectores, es así que se afirma que el sistema de distribución de Emelnorte en sus 65 alimentadores cuentan con un nivel de voltaje de 13,8 kV, y los transformadores de las subestaciones tienen con una conexión Dyn11.

B. Alimentadores interconectados

Otro de los criterios considerados es que los alimentadores considerados para el estudio deben tener un punto que los interconecte, pero a la vez deben ser de diferentes subestaciones, para de esta manera garantizar la continuidad del servicio en caso de ocurrir una falla en el sistema eléctrico.

Para poder cumplir con esta condición se realiza una inspección visual, mediante la ayuda de planos en el programa ArcGIS. En la figura 3 se muestra un ejemplo de como los alimentadores de diferentes subestaciones pueden interconectarse.

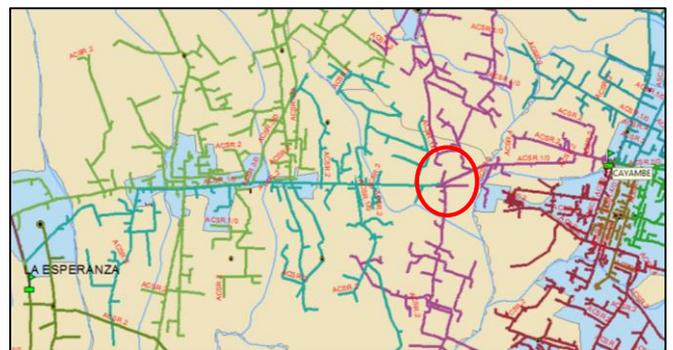


Figura 3. Interconexión de alimentadores
Fuente: Tomado de Emelnorte.

Se determinó que 36 alimentadores de todo el sistema de distribución de Emelnorte tienen un punto de interconexión. En la siguiente tabla se describen las subestaciones y los alimentadores con los que tienen interconexión para una transferencia de carga, en caso de falla en el sistema.

TABLA I
LISTADO DE ALIMENTADORES INTERCONECTADOS

Subestación	Alimentador	Alimentador	Subestación
1	1	2	2
La Esperanza	C1	C3	Cayambe
	C3	C3	
	C4	C2	
Cayambe	C5	C2	El Retorno
Otavalo	C2	C1	San Vicente
	C2	C4	
	C4	C3	
San Vicente	C2	C3	Atuntaqui
	C3	C3	Cotacachi
Atuntaqui	C1	C2	Alpachaca
	C1	C4	Cotacachi
El Retorno	C1	C2	Alpachaca
	C1	C5	San Agustín
	C4	C1	Ajaví
	C4	C2	San Agustín
	C5	C1	
San Agustín	C2	C1	Ajaví
	C3	C2	
	C4	C2	
	C4	C4	
	C5	C4	
La Carolina	C1	C1	Chota
	C4	C4	Tulcán
El Chota	C1	C3	El Ángel
	C1	C2	
Ajaví	C2	C4	San Agustín
	C2	C3	
	C4	C1	Alpachaca
	C4	C2	
	C4	C5	San Agustín
	C5	C1	Alpachaca
	C5	C6	
Alpachaca	C2	C1	Atuntaqui
	C2	C1	El Retorno
El Ángel	C1	C5	San Gabriel
San Gabriel	C1	C3	Tulcán

C. Niveles de voltaje

Con la información de la base de datos que mantiene Emelnorte se obtuvieron los datos de cada alimentador como son: la demanda (kW), el voltaje en por unidad, la corriente (A) y el factor de potencia en las tres fases. Es necesario adquirir estos datos, ya que con ellos se realizará el flujo de carga de cada alimentador para verificar su

estado actual de operación y poder determinar los alimentadores en los que se podrá realizar la transferencia de carga.

Mediante el software CYMDIST de CIME Internacional T&D Inc., se realiza la distribución de cargas para determinar las condiciones de los alimentadores, los cuales deben cumplir con un $\pm 10\%$ de caída de tensión según la regulación CONELEC 004/01.

Luego de haber realizado los flujos de carga de los 36 alimentadores preseleccionados anteriormente, estos se simplifican a 9 casos, en los cuales al menos uno de los alimentadores cumple con el $\pm 10\%$ de caídas de voltaje.

TABLA II
DISTRIBUCION DE CARGA

Subestación 1	Alimentador 1	V menor 1	Subestación 2	Alimentador 2	V menor 2
Cayambe	C5	79,90 %	El Retorno	C2	90,43 %
Otavalo	C2	79,90 %	San Vicente	C1	93,69 %
San Vicente	C3	66,05 %	Cotacachi	C3	96,45 %
El Retorno	C5	88,99 %	San Agustín	C1	94,67 %
San Agustín	C3	91,89 %	Ajaví	C2	82,93 %
	C4	90,27 %	Ajaví	C2	82,93 %
La Carolina	C4	84,47 %	Tulcán	C4	90,73 %
Ajaví	C4	77,52 %	Alpachaca	C1	96,20 %
	C5	56,07 %	Alpachaca	C6	90,89 %

D. Transferencia previa para adecuar al sistema de distribución.

Se realiza esta transferencia para equilibrar la carga entre los 9 alimentadores interconectados, en los que se determina, mediante la simulación, que cantidad de carga es posible transferir automáticamente, verificando que no haya caídas de tensión ni sobre corrientes.

Para esto se debe conocer la demanda actual de los alimentadores, como la carga, la corriente y la capacidad de cada transformador.

Para comenzar con este proceso se realiza un análisis entre los alimentadores, por lo que se determinó que el transformador de la subestación El Retorno es de una capacidad de 10 MVA, pero por el momento se encuentra sobrecargado con un valor de 10,91MVA, lo que conlleva a realizar un análisis retrospectivo de los demás alimentadores como se muestra en la tabla, para así lograr que la descarga de El Retorno sea considerable.

Al adecuar los alimentadores para poder realizar las transferencias automáticas de carga se modifica el punto de unión, en donde se ubicará el reconector denominado *Tie*, mismo que al entrar en operación permitirá transferir la cantidad de carga determinada en este estudio.

TABLE III
ANÁLISIS RETROSPECTIVO DE LOS ALIMENTADORES

Subestación	Cayambe	El Retorno	San Agustín	Ajaví	Alpachaca
Demanda actual (kVA)	13557,71	10908,54	7298,67	7959,41	7140,26

A continuación, se detalla a modo de ejemplo un alimentador antes y después de realizar la transferencia de carga.

• *El Retorno C5- San Agustín C1*

Actualmente en la tabla, se evidencia los valores con los que el transformador de la subestación El Retorno esta sobrecargado con más de 900 kVA, pudiendo generar problemas ya que no son transformadores en buen estado, mientras que la carga del alimentador San Agustín C1 es muy pequeña, por lo que el objetivo es transferir carga hacia este alimentador.

TABLE IV
ALIMENTADORES EL RETORNO C5-SAN AGUSTIN C1

Subestación	Alimentador	Carga (kW)	Corriente (A)	Trafo (kVA)
El Retorno	C5	3237,27	147,39	10908,55
San Agustín	C1	288,35	16,07	6238,98

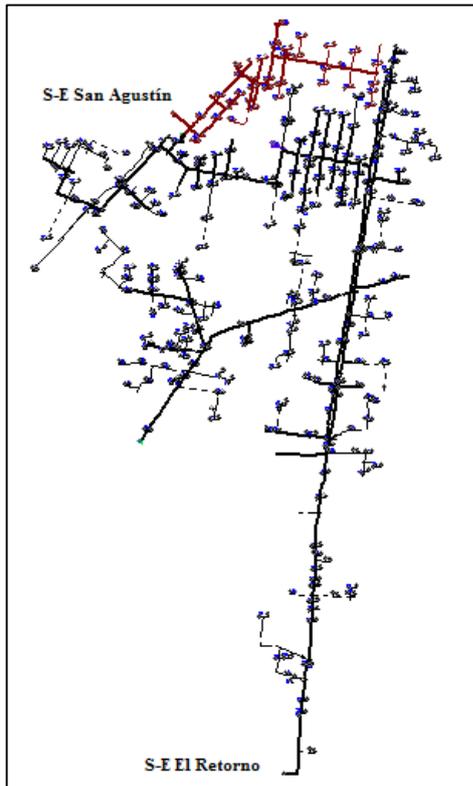


Figura 4. Alimentadores El Retorno C5 - San Agustín C1
Fuente: Tomado de Emelnorte.

La transferencia se realiza del alimentador El Retorno C5 hacia el alimentador San Agustín C1, obteniendo de esta manera una descarga considerable de 2221 kVA del alimentador de El Retorno C5, como se describe en la tabla.

TABLE V
TRANSFERENCIA DE LOS ALIMENTADORES EL RETORNO C5-SAN AGUSTIN C1

Subestación	Transferencia (kVA)	Carga (kW)	Corriente (A)	Trafo (kVA)	Reserva
El Retorno C5	2221,65	1015,61	67,61	8686,89	1313,11
San Agustín C1	2221,65	2510	93,21	8460,63	1539,37

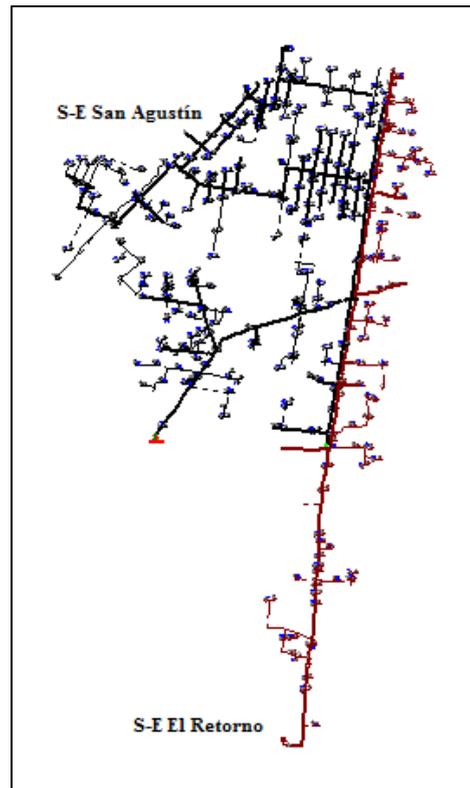


Figura 5. Alimentadores El Retorno C5 - San Agustín C1
Fuente: Tomado de Emelnorte.

E. *Ubicación de reconectores para transferencia automática de carga.*

Después de haber realizado la transferencia previa, en donde ya se determinó la ubicación del primer dispositivo TIE, se procede a ubicar los *mid-points*, los cuales según su ubicación se determina la cantidad de carga que se transferiría. Para lo cual se definen casos, en los cuales se determinará las diferentes posibilidades de ubicación de los reconectores y la cantidad de carga que se transferirá en caso de ocurrir una falla.

Se describieron tres maneras de configurar los reconectores, el *Feeder Recloser*, es el reconector que se coloca más cerca de la subestación, el cual para este estudio realizado no se utiliza ya que el sistema eléctrico de Emelnorte no cuenta con interruptores de recierres automáticos en las cabeceras de las subestaciones.

PUBLICACIÓN 001-001

Una de las ventajas de configurar estos dispositivos es que la lógica asociada a cada reconectador opera en este esquema sin necesidad de comunicaciones o intervención del operador, usando la detección de tensión integrada de los reconectadores Nu-Lec y según los tiempos programados, por ejemplo, como se muestra en la figura 5.

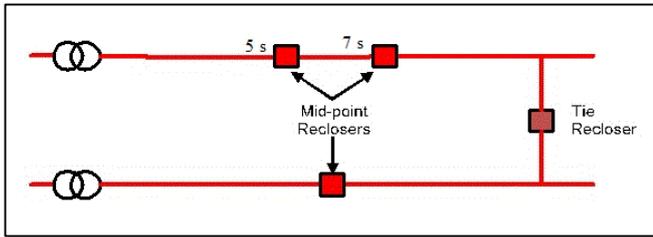


Figura 6. Configuración de los dispositivos.
Fuente: Tomada de Schneider Electric.

- El Retorno C5- San Agustín C1

a) CASO 1:

TABLA VI
CASO1- ALIMNETADORES EL RETORNO C5-SAN AGUSTIN C1

Caso I	Transferencia			
	Reconectador	Carga (kW)	Corriente (A)	Carga (kVA)
Mid-point El Retorno 1		748	65,21	781
Tie				
Mid-point San Agustín 1		1832,39	72,31	1873

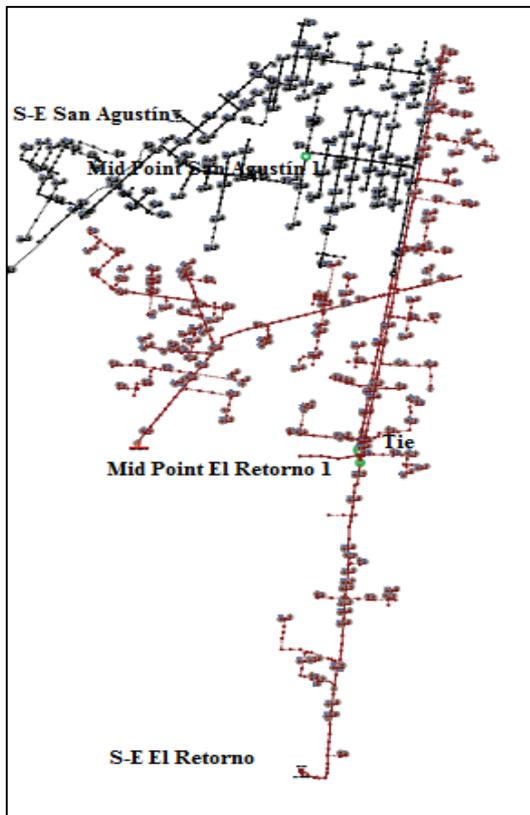


Figura 7. Caso 1 alimentadores El Retorno C5- San Agustín C1
Fuente: Tomado de Emelnorte.

- *Mid-point* El Retorno1: se transfiere una carga de 781 kVA, siendo considerable desde el alimentador El Retorno-C5 hacia

San Agustín-C1, los transformadores quedan con cargas adecuadas, por lo que se considera que es factible.

- *Mid-point* san Agustín 1: al transferir carga desde el alimentador San Agustín C1 hacia El Retorno C5, el transformador de la subestación El Retorno se sobrecarga con más de 1 MVA, por lo tanto, no es factible la transferencia.

b) CASO 2:

TABLA VII
CASO 2 - ALIMNETADORES EL RETORNO C5-SAN AGUSTIN C1

Caso 2	Transferencia			
	Reconectador	Carga (kW)	Carga (kVA)	Trafo (kVA)
Mid-point El Retorno 2	22	23	8286,25	
Tie				
Mid-point San Agustín 2	3254	3353	11616,25	

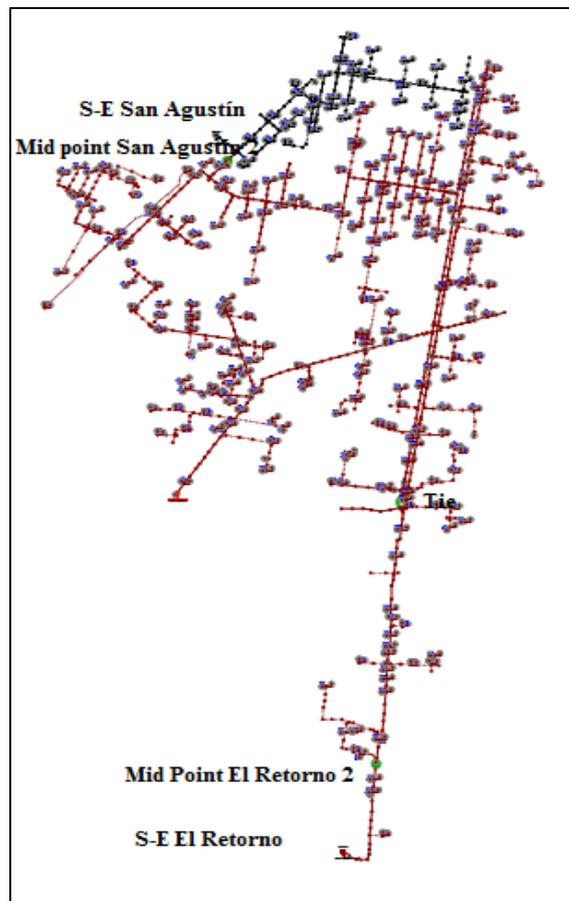


Figura 8. Caso 2 alimentadores El Retorno C5- San Agustín C1
Fuente: Tomado de Emelnorte.

- *Mid-point* El Retorno 2, se transfiere una carga de 1036 kVA, la mayor parte desde el alimentador El Retorno-C5 hacia San Agustín-C1, por lo que no es recomendable, ya que es poco probable que se produzca una falla en ese tramo del alimentador, es innecesario la ubicación de un reconectador en ese punto.

- *Mid-point* San Agustín 2: Al transferir una carga de 2294 kVA desde el alimentador San Agustín-C1 hacia el alimentador El Retorno-C5, el transformador de la subestación El Retorno se sobrecarga con más de 1 MVA, la carga transferida sobrepasa la capacidad del transformador, por lo cual se descarta esta opción.

c) CASO 3:

TABLA VII

CASO 3 - ALIMNETADORES EL RETORNO C5-SAN AGUSTIN C1

Caso 3		Transferencia	
Reconectador	Carga (kW)	Corriente (A)	Carga (kVA)
Mid-point El Retorno 1	748	65,41	781
Tie			
Mid-point San Agustín 3	1086	27,61	1100

- Ajaví C2- San Agustín C3 con el Caso 3
- El Retorno C5- San Agustín C1 con el Caso 3
- El Retorno C2- Cayambe C5 con el Caso 1.

Transferencias unidireccionales:

- Ajaví C2- San Agustín C4 con el *Mid-point* Ajaví 1,
- Cotacachi C3- San Vicente C3 con el *Mid-point* San Vicente 1
- Otavalo C2- San Vicente C1 con el *Mid-point* Otavalo 1

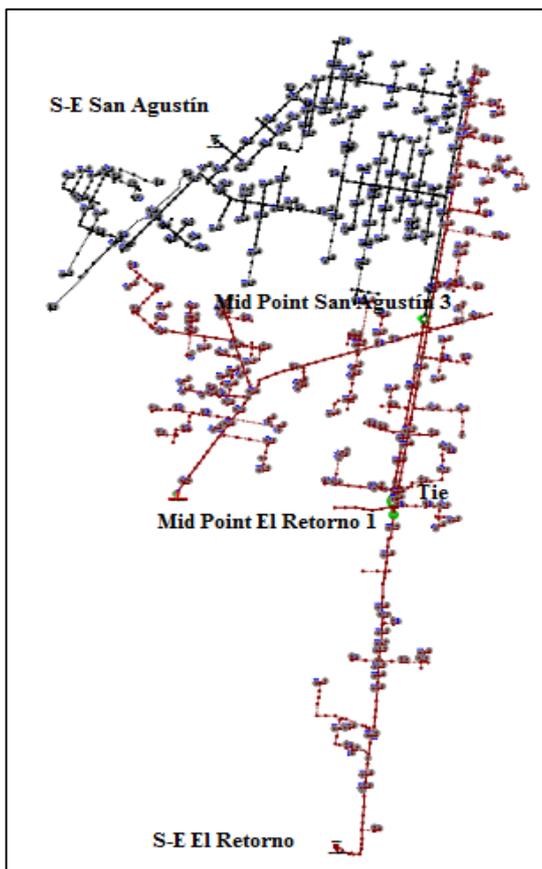


Figura 9. Caso 3 alimentadores El Retorno C5- San Agustín C1
Fuente: Tomado de Emelnorte.

- *Mid-point* El Retorno 1: Como se analiza ya en el primer caso la ubicación del *mid point* El Retorno 1, es el más factible, ya que en caso de ocurrir una falla se puede transferir una carga considerable de 781 kVA, tomando en cuenta que el alimentador de San Agustín C1 operara sin ningún inconveniente.
- *Mid-point* San Agustín 3: Para la transferencia del alimentador San Agustín-C1 hacia El Retorno-C5 se toma en cuenta la carga transferida, siendo esta más de 1 MVA, por lo que sí es considerable a pesar que el transformador de El Retorno sigue sobrecargado, si puede soportar esa sobrecarga ya que es solo en caso de que ocurra una falla. Por lo tanto, este caso si se lo aplica.

En resumen, se lista a continuación las transferencias que se pueden ejecutar en el estudio realizado:

Transferencias bidireccionales:

- Alpachaca C6- Ajaví C5 con el Caso 1
- Alpachaca C1- Ajaví C4 con el Caso 2

IV. CONCLUSIONES

Con el presente estudio, se concluyó que el reconectador además de operar como dispositivo de protección, actúa también como un elemento que permite realizar transferencias automáticas de carga, permitiendo de esta manera mantener con servicio a un mayor número de usuarios, en caso de ocurrir una falla en el sistema de distribución.

Se determinó que, de los 66 alimentadores que conforman el sistema de distribución de Emelnorte, es posible proceder con la realización de transferencia automática de carga a través de reconectores Schneider Nu-Lec, en 8 alimentadores los cuales cuentan con las condiciones técnicas necesarias para la selección.

Mediante la utilización del simulador CYMDIST, se determinó que fue necesario realizar una transferencia previa para mejorar la cargabilidad de los alimentadores, y así contar con óptimas condiciones para proceder a la ubicación de los reconectores denominados *mid-points*, mismos que según su ubicación se determina la cantidad de carga a transferir.

Con la ubicación estratégica de los reconectores, se logró determinar la carga a transferir, tomando en cuenta la capacidad de los transformadores de las subestaciones y se logró mantener en servicio alrededor de la mitad de la carga, en caso de ocurrir una falla en el sistema eléctrico.

Se concluyó que Emelnorte cuentan con tramos del sistema de distribución de red monofásica, por lo que impide poder realizar la transferencia automática de carga, ya que el estudio se aplica solo para redes trifásicas.

V. REFERENCIAS

Alexis Zhungur Procel, E. C. (2014). *Diseño de esquemas de control integrado de tensión y potencia reactiva del sistema de distribución de la empresa eléctrica regional CENTRO SUR C.A.* Cuenca.

Allen Wood, B. W. (1996). *Power generation, Operation and Control.*

Chumbi, R., & Verdugo, T. (2013). *Integración con CYMDIST de las redes de media tensión y subtransmisión del sistema de CENTROSUR.* Cuenca.

D. Miraglia, J. M. (2015). Aplicación de Loop Automation en una red de distribución aérea de media tensión. *INGE@UAN*, 17.

PUBLICACIÓN 001-001

- Escobar Corona, R. (2004). *Metodología para la solución del problema de flujos de potencia convencional mediante el método desacoplado rápido incluyendo el compensador avanzado serie para el control del flujo de potencia*. Morelia.
- Ganoa, J. L. (2009). *Aspectos para la planeación de redes de distribución*. Mexico D.F.
- Juárez, J. (2006). *Sistemas de distribución de energía eléctrica*. Mexico D.F: Sans Serif Editores.
- Rivas, C. (2013). *Manual de operación, programación y pruebas eléctricas del reconector automático trifásico*. Camurí Grande.
- Schneider Electric. (2002). *Reconector Trifásico automático*.
- Schneider Electric. (2009). *Automatización de redes*.
- Schneider Electric. (2010). *Recloser Solution- Descripción Técnica General*.
- Schneider Electric. (2014). *Descripción Técnica General*.
- Schneider Electric. (2014). *Distribución Aérea y Automatización de Redes*.
- Schneider Electric. (2015). *Loop Automation*.
- Soto, R. (2002). *Power System Protection and Switchgear*. Sao Paulo, Brazil: Limusa.
- Torres, O. (2012). *Protecciones de los sistemas eléctricos de distribución*.
- CELEC S.A. (14 DE FEBRERO DE 2011). *SISTEMA ELÉCTRICO ECUATORIANO*. OBTENIDO DE [HTTPS://WWW.CELEC.GOB.EC/TRANSELECTRIC/IMAGES/STORIES/BANNERS_HOME/LEY/TERMINOLOGIA.PDF](https://www.celec.gob.ec/transelectric/images/stories/banners_home/ley/terminologia.pdf)
- CONELEC. (23 de Mayo de 2001). *Calidad de servicio eléctrico de distribución*. Obtenido de <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2015/12/CONELEC-CalidadDeServicio.pdf>
- Constructor Eléctrico. (12 de Enero de 2016). *Sistemas de Transferencia*. Obtenido de <https://constructorelectrico.com/sistemas-de-transferencia/>
- EATON Powering Business Worldwide. (Noviembre de 2014). *CYME International T&D*. Obtenido de <http://www.cyme.com/es/>
- Gonzalez, F. (2007). *Anormalidades en sistemas de potencia*. Obtenido de http://fglongatt.org/OLD/Archivos/Archivos/SP_I/Capitulo4,SP1-2007.pdf
- Ordoñez, J. (02 de 2010). *Mantenimiento de sistemas eléctricos de distribución*. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2119/15/U PS-GT000156.pdf>
- Ptolomeo. (2008). *Sistemas de Distribución*. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/ha ndle/132.248.52.100/784/A4%20SISTEMAS%20DE%20DISTRIBUCION.pdf?sequence=4>
- Sistemamid. (23 de Septiembre de 2014). *Sistema de distribución de energía eléctrica*. Obtenido de http://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-09-23_12-57-35110593.pdf
- Vásquez, P. (Abril de 2013). *Parametrización, control, determinación y reducción de pérdidas de energía en base a la optimización en el montaje de estaciones de transformación en la provincia de Morona Santiago*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/423/1/Tesis.pdf>

VI. BIOGRAFÍA

Jeraldin Maricela Ruiz Proaño



Primaria: Colegio Particular “Las Lomas”, Cotacachi– Ecuador.

Secundaria: Instituto Tecnológico Superior “República del Ecuador”, Otavalo – Ecuador.

Estudios Superiores: Egresada de la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico de la Universidad Técnica del Norte, Ibarra – Ecuador.