

Coordinación de Protecciones de los Alimentadores Primarios de la subestación Cotacachi, considerando la nueva filosofía de protecciones de EMELNORTE S.A.

Estévez M. Xavier, Pérez Y. Fabián

*Escuela Politécnica Nacional
Quito, Ecuador*

Abstract— En el presente trabajo se desarrolla el estudio de coordinación de protecciones de los alimentadores primarios de la subestación Cotacachi de propiedad de EMELNORTE S.A., fundamentado en los criterios técnicos que se han determinado en la nueva filosofía de protecciones de la empresa distribuida. El estudio se desarrolla con el uso de herramientas computacionales para el manejo de sistemas de distribución; tal es el caso, en CYMDIST se realizan los estudios de cortocircuito y flujos de carga, para los consecuentes análisis; en CYMTCC se plantean las curvas características de los equipos de protección y sus ajustes para garantizar coordinación; y, finalmente en ArcGIS se presentan las propuestas de recorrido de los alimentadores (topología coordinada) en donde se muestra el trazado del troncal principal, las derivaciones y los respectivos dispositivos de protección. El manejo de las herramientas antes mencionadas ha ido de la mano con la selección de dispositivos de protección, rangos de corriente de cortocircuito, y coordinación mediante el uso de tablas EEI-NEMA, tal como recomienda la filosofía de protecciones sobre la cual tiene base este estudio. El alimentador primario H4 tiene generación distribuida conectada a su troncal principal, se han incluido los modelos de las unidades de generación en CYMDIST, con el fin de analizar el impacto de la GD en la coordinación de protecciones, para finalmente presentar la alternativa de protección más adecuada a nivel de salida de la central de generación.

Palabras Clave—Coordinación de protecciones, alimentador primario, topología coordinada, generación distribuida.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los ejes estratégicos para la conducción del sector energético es el incremento de la calidad, continuidad, resiliencia, seguridad y cobertura del servicio público de energía eléctrica, las empresas distribuidoras como actores principales dentro del sector, trabajan constantemente en viabilizar su cumplimiento. En cuanto a continuidad y calidad se refiere, la atención a la situación de los sistemas de protecciones a nivel de distribución constituye un frente de acción, y es llevado a cabo mediante la ejecución de estudios y proyectos técnicos que permiten la toma de decisiones constructivas y operativas. Si bien la situación actual del sistema de protecciones de los alimentadores primarios de la Subestación Cotacachi no es crítica, hay situaciones que requieren especial atención, una de ellas obedece al elevado índice de interrupciones prolongadas de servicio que no responden a condiciones de falla como tal, sino a condiciones de operación normal del sistema como son las corrientes Inrush

y las corrientes de carga fría [1]. Con el presente estudio, se reducirá el tiempo de dichas interrupciones porque se garantizará la selectividad del sistema de protecciones.

Otro factor de atención es la indebida selección de los dispositivos de protección; es decir, se desconoce en gran parte las características de los equipos utilizados en cada alimentador, específicamente de los fusibles en cabecera de derivaciones. Dicho antecedente promueve la homologación de los equipos de protección a usarse en cada alimentador, garantizando confiabilidad y seguridad de cada dispositivo; y, con su instalación la operación adecuada del sistema [2]. Un caso particular y que se trata en el estudio de coordinación, es la modelación para el alimentador H4 de la generación distribuida, modelación con la que actualmente no se cuenta, partiendo de este punto se realizará el estudio de protecciones más adecuado para la correcta operación del alimentador para el caso de entrada y salida de las unidades de generación.

Se aborda el desarrollo del estudio en tres puntos fundamentales; en primera instancia se presentan las consideraciones de la filosofía de protecciones, en donde se detallan aspectos técnicos y metodológicos que fundamentan este estudio; posteriormente, se realiza la coordinación de protecciones del alimentador primario H1, como representación tipo de los alimentadores primarios adyacentes (H2 y H3); para finalmente, presentar la coordinación de protecciones del alimentador primario H4, y el impacto del ingreso de generación distribuida en el alimentador y consecuentemente en la coordinación.

II. CONSIDERACIONES DE LA FILOSOFÍA DE PROTECCIONES DE EMELNORTE

El desarrollo de este estudio está fundamentado en la nueva filosofía de protecciones de EMELNORTE, que, en base a criterios teóricos y técnicos, sumados a la experiencia en el manejo de sistemas de protección, han propuesto una metodología propia, que de manera resumida se presenta en este apartado [3].

A. Generalidades y Metodología

La filosofía a la cual se hace mención en este capítulo tiene como objetivo primordial, el correcto funcionamiento del sistema de protecciones a nivel de distribución de los alimentadores primarios de las subestaciones del área de concesión. Así como también, la homologación de los

dispositivos dispuestos a proteger el sistema de distribución; y, con ello lograr suplir las falencias que una inadecuada selección y operación demande. Se plantea una filosofía de coordinación de protecciones que brinde a la carga un margen de crecimiento dentro de un horizonte de mediano y largo plazo, para lo cual basa su fundamento técnico en las capacidades máximas de los equipos componentes de la red; una filosofía cuyo principio fundamental es el manejo radial o en cascada de las protecciones.

B. Equipos de protección propuestos para equipos del sistema de distribución

La metodología propuesta por EMELNORTE fija los parámetros de los equipos que conforman el sistema de protecciones para satisfacer los requerimientos de los equipos que constituyen el sistema de distribución. Este apartado hace referencia a la selección de cada equipo de protección pertinente a cada elemento del sistema según la filosofía en cuestión. La Fig. 1 presenta un esquema de los equipos de protección usados en un alimentador tipo de propiedad de EMELNORTE.

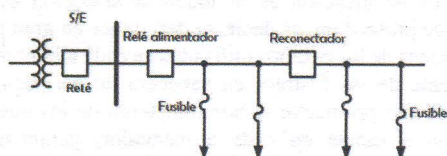


Fig. 1 Ejemplo de un esquema de protecciones para un alimentador primario de EMELNORTE

• **Protección de transformador de potencia**

Para la protección de los transformadores de potencia se emplean “totalizadores” que son equipos de protección dispuestos en el lado de bajo voltaje de los transformadores; para lo cual, se emplean únicamente relés de sobrecorriente (51F) con característica temporizada; y, cuyo seteo inicial está por encima de la capacidad nominal en corriente del transformador, estando en la etapa de enfriamiento forzado, adicionalmente el ajuste destinado para el dial del relé debe ubicar la curva característica por debajo de la curva de daño del transformador. El relé de sobrecorriente de neutro (51N) es ajustado en función de un factor del 30% de la corriente con la que se calibra el relé de fase.

• **Protección en cabecera de alimentadores**

El inicio del troncal principal conocido como cabecera del alimentador se protege mediante un relé de sobrecorriente (51F y 51N) con característica temporizada. Los ajustes del relé de sobrecorriente en cabecera del alimentador (fase/neutro) han sido dispuestos en estudios anteriores, pero se han basado en tres criterios que son detallados a continuación, cabe mencionar que muchos de los criterios de la filosofía de protecciones de EMELNORTE S.A manejan un método gráfico mediante la disposición de curvas características y su ajuste en función de los requerimientos: el tap del relé no superará la capacidad de corriente máxima que soporta el conductor de menor calibre dispuesto como troncal; el dial del relé no superará la curva del relé general del transformador de potencia de la subestación; y, las curvas características de los dispositivos de fase y neutro

tendrán un margen de seguridad y operación de 200 milisegundos (señal del relé y operación del interruptor).

• **Protección en recorrido de alimentadores**

La selección del reanclador como protección para el troncal principal en su recorrido va de la mano con garantizar la operatividad y la selectividad del alimentador ante la presencia de fallas permanentes y transitorias, así como también el criterio de eliminar la disposición de fusibles sobre el mismo. Básicamente se tienen dos consideraciones importantes; el tipo de curva para fase y tierra será la IEC Extremadamente Inversa en todos los casos de activación del reanclador; y, finalmente, la corriente de seteo del reanclador será el 80% de la corriente de arranque del relé de sobrecorriente de la cabecera.

• **Protección de derivaciones**

El objetivo primordial de la filosofía es procurar la homologación de los dispositivos de protección a usarse en derivaciones. Para que la coordinación de protecciones tenga el efecto deseado, se debe usar en el nodo de salida de las derivaciones: Seccionadores Fusibles de Expulsión tipo T.

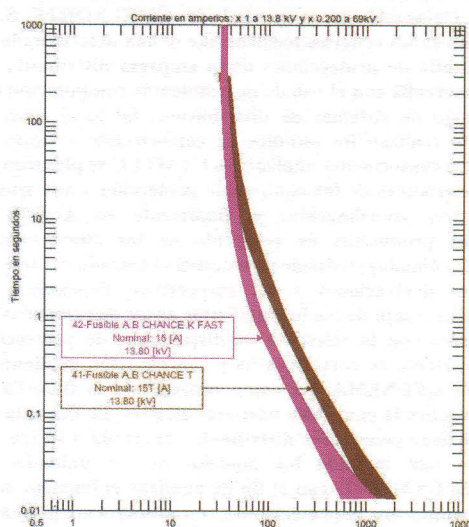


Fig. 2 Diferenciación de la característica operativa de un fusible tipo T (café) con un fusible tipo K (fucsia)

La Fig. 2 presenta la diferenciación entre dos tipos de fusibles usados comúnmente en sistemas de distribución para la protección de derivaciones, con el objetivo de diferenciar el hecho de que el fusible tipo T sea escogido por la filosofía de protecciones que fundamenta este estudio, sumado a que dicha curva de operación se adapta de mejor manera a l a coordinación gráfica que se propone.

• **Protección de transformadores de distribución**

Siguiendo la línea de homologación para los equipos de protección, para proteger a los transformadores de distribución se dispondrán fusibles tipo SF (SloFast) en el lado de alto voltaje de estos. Para garantizar la selectividad en la operación del fusible de protección del transformador bajo condiciones de falla, éste debe estar: en régimen anormal, la curva característica del fusible debe estar por debajo de la curva de daño del transformador, asegurando la operación ante cortocircuitos y sobrecargas sostenidas; y, en régimen normal, la curva característica del fusible debe estar por encima de la

curva de magnetización del transformador asegurando que, ante una condición de corriente elevada en la energización, éste no operará. La Fig. 3 muestra las condiciones de operación mencionadas anteriormente, para un fusible tipo SF usado en distribución.

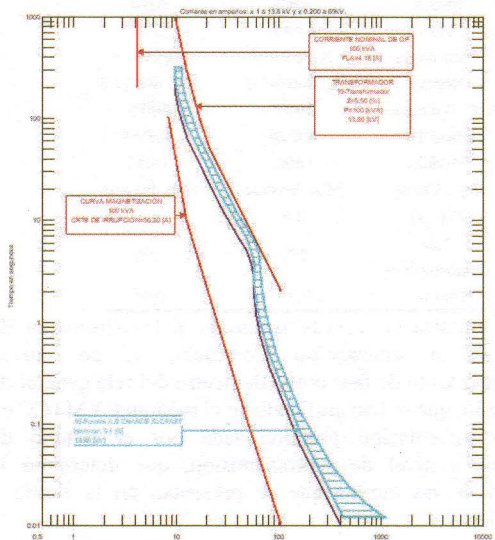


Fig. 3 Curvas características de un fusible tipo SF para ejemplificación de las condiciones de operación

C. Estudio de Cortocircuitos

La determinación de las corrientes de cortocircuito para el proceso de coordinación se realiza mediante el uso del software CYMDIST. Con el modelo de la red de distribución y las impedancias equivalentes de secuencia de la subestación en escenario de demanda máxima, se ejecutará el estudio de cortocircuito en base al método IEC 60909-0 [4]. Las corrientes de cortocircuito arrojadas por CYMDIST serán exportadas hacia Excel. La filosofía de protecciones se basa en la selección de la corriente de cortocircuito máxima. Las corrientes de cortocircuito máximas serán migradas al software ArcGIS para su posterior tratamiento.

D. Definición de rangos de corriente para coordinación de protecciones

La filosofía propone rangos de corriente arrojados por el análisis derivación – transformador y el análisis derivación – derivación, de la siguiente manera:

- 1) Comparación 1: Se compara el valor máximo de corriente proporcionado por las Tablas EEI-NEMA para coordinación entre fusible T de derivación primaria y el fusible T de derivación secundaria, con el valor máximo de corriente proporcionado para coordinación entre fusible T de derivación secundaria y fusible SF de transformadores de distribución; de esta comparación se escogerá el menor valor [3].
- 2) Comparación 2: Se compara el valor máximo de corriente proporcionado por las Tablas EEI-NEMA para coordinación entre fusible T de derivación secundaria y el fusible T de derivación terciaria, con el valor máximo de corriente proporcionado para

coordinación entre fusible T de derivación terciaria y fusible SF de transformadores de distribución; de esta comparación se escogerá el menor valor [3].

Una vez se hayan obtenido estos valores de corriente máxima de coordinación tras cada una de las comparaciones se debe escoger la menor corriente para establecer rangos [5]. El resumen de la metodología para la selección de los rangos de corriente para coordinación se presenta a continuación:

TABLA I
RANGOS DE CORRIENTES MÁXIMAS DE COORDINACIÓN PARA DERIVACIONES

Derivación	Corriente
	A
Primaria	Icc S/E – Icc máx Comprobación 1
Secundaria	Comprobación 1 – Comprobación 2
Terciaria	< Comprobación 2

E. Verificaciones a la filosofía

La presente filosofía de protecciones considera la realización de análisis posteriores a la definición de los ajustes de los dispositivos de protección instalados y por instalarse. Estos análisis pretenden comprobar la correcta coordinación de las protecciones ante condiciones normales y anormales de operación.

1) Por corrientes Inrush

Debido al comportamiento aleatorio de las corrientes de energización de transformadores de potencia y distribución, esta verificación no se la realiza de manera práctica [6].

2) Por picos de carga fría

Las corrientes elevadas de carga fría son caracterizadas y medidas por el sistema SCADA de la empresa distribuidora, en base a los datos históricos de corriente medidos en los puntos, tanto a la desconexión de los alimentadores primarios como a su reingreso tras una desconexión prolongada; se propone que, sacando la relación de corriente a la salida respecto a la corriente al reingreso de un alimentador, se considere asociar dicho factor multiplicativo a la corriente de operación normal medida en los nodos del sistema; pudiendo dicho factor incrementarse de acuerdo a los requerimientos que la experiencia en coordinación requiera [6].

3) Por calibre de conductor

Específicamente, el fusible de la derivación primaria debe proteger al conductor de mínimo calibre, la verificación debe consistir en que la corriente de fusión del fusible de derivación debe ser menor que la capacidad de conducción de corriente del conductor (Límite Térmico) [3].

4) Por corriente de falla mínima

La metodología de verificación considera un factor de relación 1:2 entre corrientes de cortocircuito en demanda mínima y demanda máxima; es decir, la corriente de falla mínima es la mitad de la corriente de falla máxima. Luego de determinar las corrientes de cortocircuito punto a punto, se debe tomar el nodo del sistema más remoto respecto a la subestación, pues éste representa el valor de corriente mínimo en el sistema.

III. COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DE LOS ALIMENTADORES PRIMARIOS DE LA SUBESTACIÓN COTACACHI

Debido a la extensión del estudio, dada por el número de circuitos de la subestación Cotacachi; se ha tomado como caso de aplicación, el Alimentador H1. Dicha consideración es posible dado que todos los alimentadores poseen la misma configuración y ajustes en sus relés de cabecera, dejando como diferencia el recorrido y trazado de cada alimentador. La subestación se encuentra localizada en la zona urbana de la ciudad de Cotacachi, cuenta en patio físico con una posición de alimentación que llega desde la S/E Bellavista mediante la línea de subtransmisión simple circuito Ibarra – Cotacachi a 69 kV con aproximadamente 13.2 km de recorrido; y con 6 posiciones de salida, de las cuales cuatro son de sus alimentadores primarios de distribución (H1, H2, H3 y H4), una posición para la salida de bajo voltaje del transformador de potencia y una para la compensación capacitiva. Cumple su función de adaptación de voltaje mediante un transformador de potencia reductor de voltaje de 69/13,8 kV, de 5MVA de potencia en clase de enfriamiento aceite natural y 6.25 MVA para enfriamiento por aire forzado, su grupo de conexión es Dy11 [7].

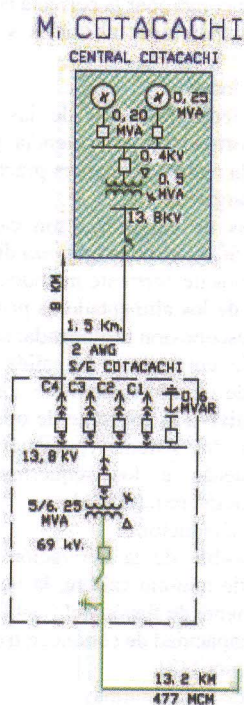


Fig. 4 Diagrama Unifilar de la subestación Cotacachi

A. Ajustes de las protecciones de la S/E Cotacachi

El punto de partida para la reestructuración y rediseño de la filosofía de EMELNORTE ha sido el estudio de coordinación de protecciones a nivel de subtransmisión presentado previamente [8], de dicho estudio se han tomado los ajustes para el relé general de la subestación Cotacachi.

TABLA II
AJUSTES DEL RELÉ DE SOBRECORRIENTE (GENERAL)

Parámetro	Totalizador	Totalizador
	Fase	Neutro
Voltaje [kV]	13,8	13,8
Relé	51F	51N
Marca	ABB	ABB
Tipo	SPAJ	SPAJ
Tecnología	Numérico	Numérico
Norma	IEC 60255-3	IEC 60255-3
RTC Protección	500/5	500/5
Clase TC	10P20	10P20
Modelo	140C	140C
Tipo Curva	Muy Inversa	Muy Inversa
Tap [s]	0,5	0,4
Tap		
(A primarios)	250	200
Dial [s]	0,35	0,45

La Fig. 5 muestra las curvas asociadas al transformador de potencia de la subestación Cotacachi; y, las curvas características tanto de fase como de neutro del relé general de la subestación, que se han graficado en el módulo CYMTCC en base a la información proporcionada por el estudio de protecciones a nivel de subtransmisión, que determinó la disposición de las curvas que se presentan en la figura a continuación.

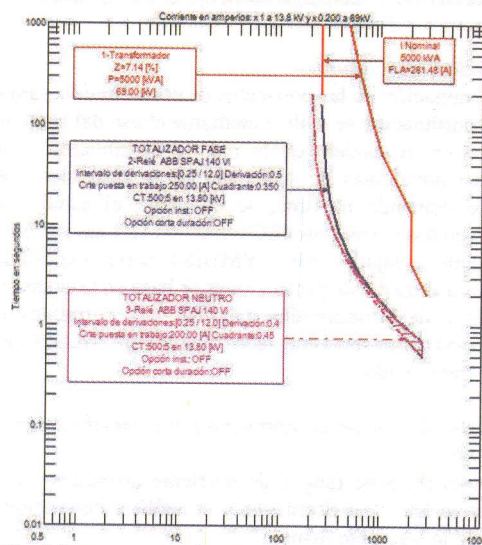


Fig. 5 Curvas características de coordinación del relé de cabecera del Alimentador H1

B. Ajustes de las protecciones en cabecera del Alimentador Primario H1

En la Tabla III, se presentan los ajustes determinados por el estudio a nivel de subtransmisión para la operación correcta de los relés de sobrecorriente de fase y neutro de cabecera de los alimentadores primarios de la S/E Cotacachi. En la Fig. 6 se presentan las curvas características de los dispositivos de protección dispuestos en la cabecera de los alimentadores primarios.

TABLA III
AJUSTES DEL RELÉ DE SOBRECORRIENTE 51F y 51N (H1)

Parámetro	Relé HI	Relé HI
Voltaje [kV]	13,8	13,8
Relé	51F	51N
Marca	ABB	ABB
Tipo	SPAA	SPAA
Tecnología	Numérico	Numérico
Norma	IEC 60255-3	IEC 60255-3
RTC	200/5	200/5
Protección	10P20	10P20
Clase TC	341C2	341C2
Modelo	Extremadamente Inversa	Extremadamente Inversa
Tipo Curva	0,9	0,65
Tap [s]	180	130
Tap (A prim.)	0,25	0,5
Dial [s]		

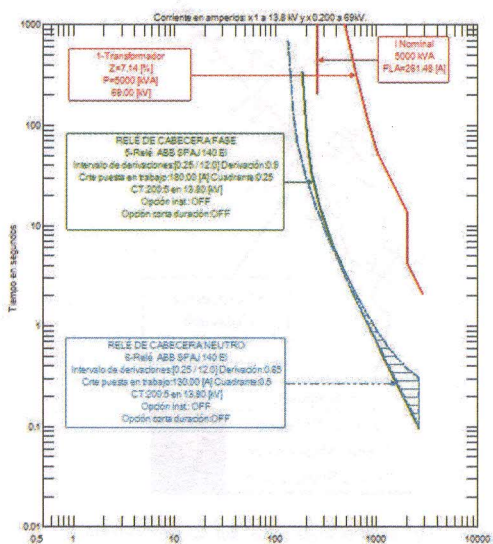


Fig. 6 Curvas características de protección de los relés de sobrecorriente de cabecera de fase y neutro

C. Determinación de equipos de protección para derivaciones

La selección de fusibles se realizará de manera gráfica en CYMTCC teniendo en cuenta el criterio de que la curva característica del fusible deberá emplazarse adecuadamente en la cercanía máxima de las curvas del relé de cabecera considerando un margen de seguridad del 75%. La Tabla IV muestra la selección de los fusibles a disponerse en los nodos de inicio de las derivaciones.

TABLA IV
FUSIBLES SELECCIONADOS PARA EL ALIMENTADOR HI

Derivación	Fusible Tipo T
Primaria	50 T
Secundaria	25 T
Terciaria	15 T

D. Características del Alimentador Primario HI

Constituye el alimentador de mayor extensión y abastece a un gran número de usuarios de la zona de servicio de la S/E

Cotacachi. Tiene trazado urbano y rural, con una longitud de aproximadamente 11 kilómetros (km) de líneas trifásicas y 70 kilómetros de líneas monofásicas. La Fig. 7, representa la situación actual del alimentador primario H1, donde se tiene el trazado, la ubicación de la subestación, la diferenciación de los tramos aéreos (trifásicos y monofásicos) y los tramos subterráneos, y el reconector.

Adicionalmente, se presentan las zonas de corriente de cortocircuito, en donde se tiene el valor máximo de la corriente de falla, nodo a nodo. Cada zona representa un rango de corrientes con las que se puede plantear y proponer los arranques y los recorridos de las derivaciones primarias, secundarias y terciarias.

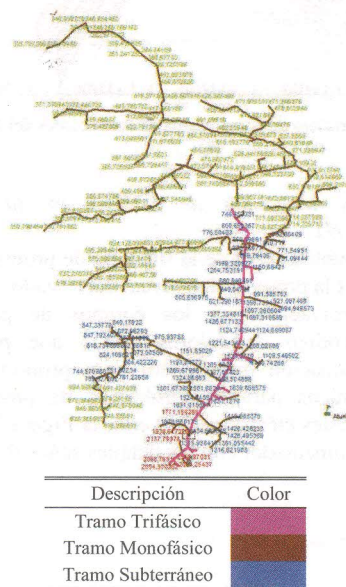


Fig. 7 Topología actual del alimentador con la representación de las zonas de corriente de cortocircuito para trazado de derivaciones y troncal principal

E. Curvas Características de protección seleccionadas

En la Fig. 8 se presentan las curvas características de protección de los equipos dispuestos en el alimentador, además se destaca que para cada equipo de protección se ha considerado pertinente presentar los márgenes de coordinación propuestos para fusibles, mientras que para el caso de los relés de sobrecorriente se presenta la activación de la característica de respuesta auxiliar de los dispositivos. Así, se puede evidenciar el hecho de que las curvas del relé de fase y neutro se encuentran a la izquierda y por debajo de la curva de daño del transformador de potencia de la subestación. También se aprecia el efecto cascada de los fusibles para derivaciones; demostrando de esta manera la actuación como protecciones principales y de respaldo según su ubicación.

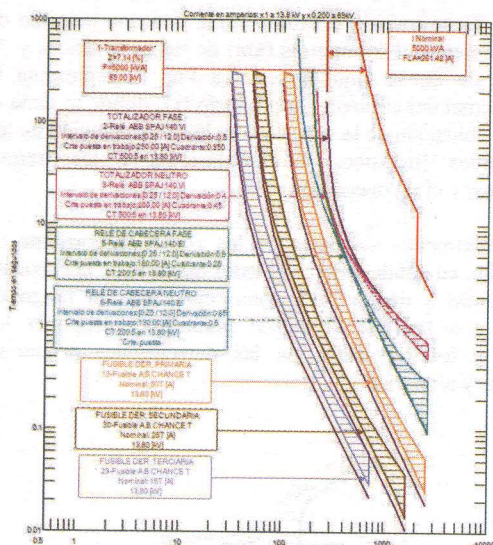


Fig. 8 Curvas características de coordinación de protecciones del Alimentador H1

F. Definición y ubicación de fusibles en la red del Alimentador H1

Uno de los puntos clave de la filosofía de protecciones de EMELNORTE, es la presentación visual del trazado del troncal principal, las derivaciones y los equipos de protección, manejando un código de colores propio que permita la diferenciación; situación que es útil para proporcionar los lineamientos técnicos para la aprobación de proyectos de construcción de redes eléctricas. Por ello, la Figura 9 presenta la topología del alimentador con los detalles señalados.

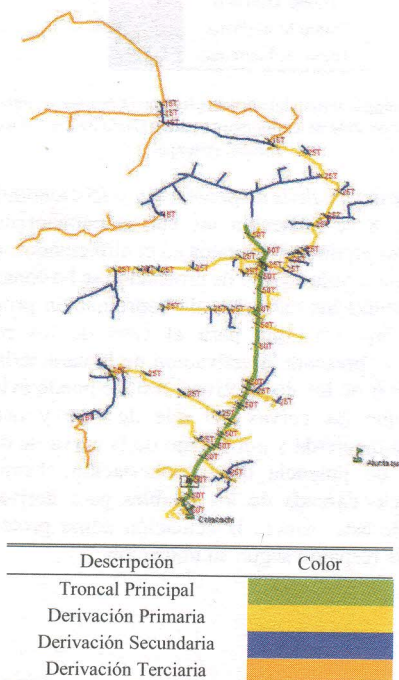


Fig. 9 Topología coordinada del Alimentador H1

IV. CONSIDERACIÓN DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR H4

El Alimentador H4 tiene conectado en su troncal principal la Microcentral Cotacachi, por lo que se detallan las consideraciones y los fundamentos técnicos que permiten establecer en función del análisis integral del sistema de distribución del alimentador, la alternativa más adecuada a nivel de interconexión de la Microcentral Cotacachi con el troncal principal. Se considera de extensión media y su recorrido es longitudinal, tiene trazado urbano y rural con una longitud de aproximadamente 10 kilómetros de líneas trifásicas y 7 kilómetros de líneas monofásicas. Los conductores utilizados para los tramos trifásicos van desde el 2AWG hasta el 2/0 AWG de tipo ACSR, mientras que para los ramales van desde el 4 AWG hasta el 2/0 AWG.

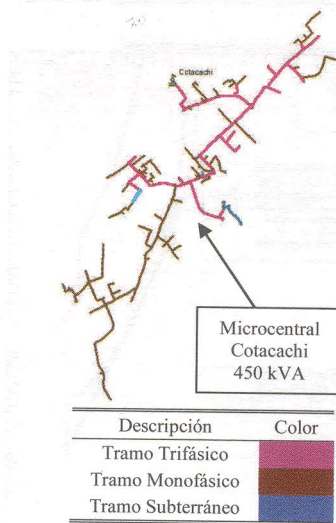


Fig. 10 Topología actual del Alimentador H4

Adicionalmente, en su troncal principal se conecta la generación distribuida asociada a la Microcentral Cotacachi de propiedad privada, mediante una línea trifásica en medio voltaje 13,8/7,6 kV de 50 metros de longitud. La topología actual del alimentador H4 se presenta en la Fig. 10.

A. Efecto de la Generación Distribuida en el estudio de coordinación de protecciones

Para lograr determinar el impacto en la coordinación de protecciones que conlleva el ingreso de la Microcentral Cotacachi se utilizaron las herramientas computacionales ArcGIS y CYMDIST.

• Estudio de Carga

Para lograr determinar y comprender el impacto que tiene la GD sobre la operación del alimentador primario, es importante conocer los niveles de voltaje que se tienen en los nodos importantes del sistema del alimentador, dichos nodos fueron seleccionados para sintetizar el estudio y el análisis del impacto de la GD. En las Fig. 11 y Fig. 12, se tienen los diagramas de barra para visualizar la influencia de la generación

distribuida en el flujo de carga, se tiene perfil de voltaje y perfil de potencia respectivamente.

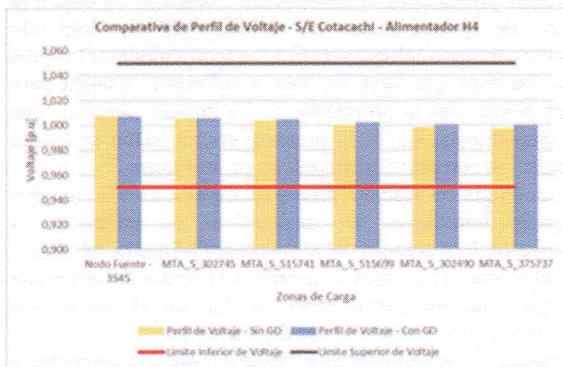


Fig. 11 Comparativa de Perfil de Voltaje

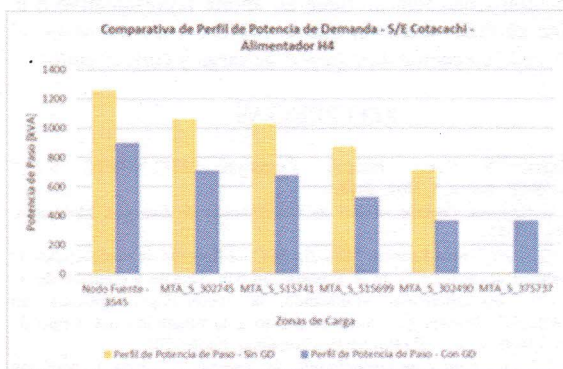


Fig. 12 Comparativa de Perfil de Potencia

Se evidencia la mejora de los niveles de voltaje, así como la disminución de la cargabilidad del sistema de distribución; situaciones que se dan por el alivio de carga que tiene la subestación Cotacachi cuando ingresa la GD.

• Estudio de Cortocircuitos

En la Tabla V se presentan los valores de corriente de cortocircuito con y sin generación distribuida. Es necesario mencionar que la corriente de cortocircuito de la que se hace referencia es la corriente máxima en el nodo de estudio para los cuatro tipos de falla existentes.

TABLA V
RESUMEN DE CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO EN LOS NODOS SELECCIONADOS

No.	Nombre nodo	SIN GENERACIÓN	CON GENERACIÓN
		Icc máx. A	Icc máx. A
1	NODOFUENTE-3545	2565	2712
2	MTA_S_302745	1980	2089,53
3	MTA_S_515741	1829	1929
4	MTA_S_515699	1603	1700,26
5	MTA_S_302490	1475	1578,74
6	CENTRAL - MTA_S_375737	1353	1466,53

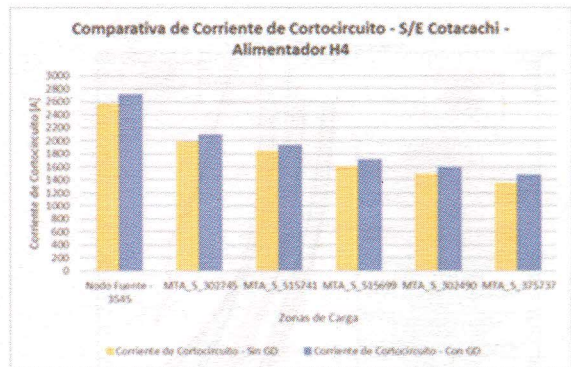


Fig. 13 Comparativa de Perfil de Corriente

De los resultados tabulados y graficados anteriormente, tras el estudio de carga y cortocircuitos, es posible determinar la incidencia de la generación distribuida en la coordinación de protecciones; y, básicamente ocurren dos fenómenos. El primero es el hecho que debido a la ubicación de la Microcentral Cotacachi (al final del troncal principal) no existe cambio en la direccionalidad de la corriente de falla en el sistema del alimentador. El segundo, se da debido a la baja capacidad de las dos unidades de generación; es decir, a menor potencia de generación, la corriente de cortocircuito que aportan las unidades será menor. En este caso en específico, el máximo aporte es aproximadamente 120 A., que en relación con la corriente de cortocircuito que fluye desde la subestación (2600 A.) puede ser despreciable; concluyendo así, que la GD no afecta a la coordinación de protecciones [9].

B. Coordinación de Protecciones del Alimentador Primario H4

A nivel de derivaciones se maneja la misma metodología con los otros alimentadores primarios de la S/E Cotacachi; sin embargo, a nivel de interconexión a la salida de la central de generación se han planteado dos escenarios de protección a fin de determinar la alternativa más adecuada, que garantice la operatividad del alimentador procurando mantener en lo posible el servicio de generación de energía. Por efecto de síntesis, se presenta a continuación la alternativa de protección escogida tras el análisis anterior. Se propone la instalación de un fusible tipo T (50T) en el nodo de inicio de la línea de interconexión de la central con el sistema del alimentador H4, como se muestra en la Figura 14.

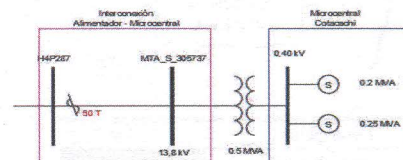


Fig. 14 Diagrama unifilar resumido del nodo de interconexión

De la figura anterior, por motivos de representación se ha esquematizado desde el nodo de interconexión, aguas arriba se encuentra todo el sistema alimentador. El proceso de coordinación resulta ser el mismo, puesto que se demostró que la GD no incide en la coordinación de protecciones. La Fig. 15, presenta las curvas características de protección seleccionadas.

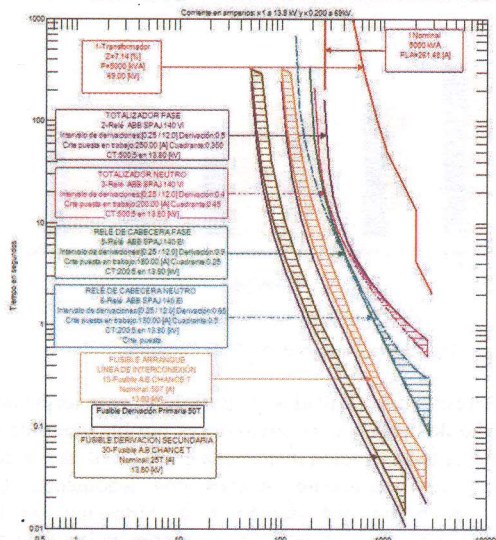


Fig. 15 Curvas características de protección del Alimentador H4

Se realizó el análisis de los tiempos de operación de las protecciones para el Alimentador H4, de esta manera, se verificó la correcta selección de la alternativa 2 de protección que especifica la disposición de un fusible 50 T en el nodo de inicio de la línea de interconexión de la Microcentral Cotacachi con el alimentador primario H4.

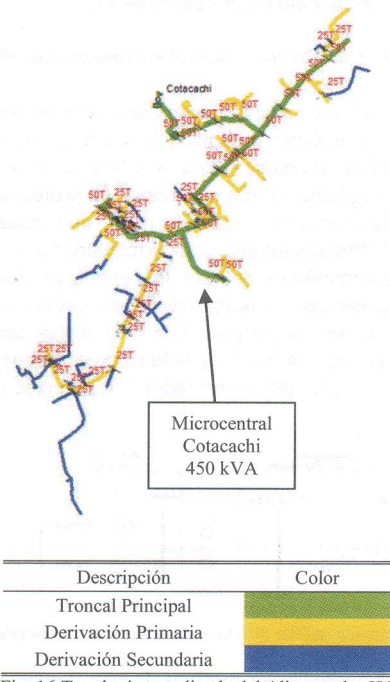


Fig. 16 Topología coordinada del Alimentador H4

Al igual que con los otros alimentadores primarios, en la Fig. 17 se presenta la ubicación de los fusibles en derivaciones primarias, secundarias y en la interconexión.

V. CONCLUSIONES

Se realizó la coordinación de protecciones para cada alimentador primario de la subestación Cotacachi en base a la filosofía de protecciones de EMELNORTE, logrando consolidar una metodología acorde a los requerimientos propios del sistema para que sirva de base y referencia técnica para estudios posteriores al propuesto. Se ha logrado verificar que con la implementación de la presente coordinación se tendrá una operación correcta del sistema de protecciones.

La topología coordinada propuesta en este estudio técnico ha logrado homologar los dispositivos de protección a disponerse en derivaciones del alimentador primario. Mediante las verificaciones realizadas se garantiza la operación adecuada de las protecciones, permitiendo concluir en el uso de los fusibles propuestos para todas las derivaciones.

El ingreso de generación distribuida debido a la ubicación y a la baja capacidad de generación de las unidades de la microcentral Cotacachi no tiene un aporte representativo a la corriente de falla; situación que se evidencia tras presentar el análisis de la ejecución de estudios de carga y cortocircuitos.

REFERENCIAS

- [1]EMELNORTE S.A., “Informe Ejecutivo EMELNORTE S.A.,” EMELNORTE, Ibarra, 1, Nov. 2018.
- [2]Samuel Ramírez Castaño, *Redes de Distribución de Energía*. Manizales, Colombia, 2004.
- [3]Roberth Darío Navas Lechón, “Estudio de Coordinación de Protecciones de los Alimentadores Primarios de la Subestación San Agustín y creación de un manual de procedimientos empleando la metodología aplicada en EMELNORTE,” Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2017.
- [4]CEI IEC, “Corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos de corriente alterna IEC 60909-0,” vol. 1, p. 65, 2001.
- [5]EMELNORTE S.A., “Tablas de coordinación de fusibles consideradas por EMELNORTE según recomendación EEI-NEMA.” 2018.
- [6]Dr. Orlays Ernesto Torres Breffé, “Regímenes Normales de los Sistemas de Distribución,” presented at the Protecciones de los Sistemas Eléctricos de Distribución, Guayaquil, Ecuador, 2012, vol. Conferencia 2, p. 18.
- [7]EMELNORTE S.A., “Diagrama Unifilar del Sistema de Distribución de EMELNORTE 2018.” 2018.
- [8]Omar Darío Chacón Herrera, “Coordinación de Protecciones del Sistema de Subtransmisión de EMELNORTE,” Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2014.
- [9]Cholota Víctor Hugo, “Impacto de la Generación Distribuida en Redes de Distribución, aplicación Central Hidroeléctrica Mira,” Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2014.

BIOGRAFÍAS

Xavier Alejandro Estévez Martínez, nació en Ibarra – Ecuador, el 25 de diciembre de 1992. Estudió en el Colegio Fisco - Misional “San Francisco”, obteniendo el título de Bachiller con la especialización en Físico – Matemático. En 2019 obtuvo el título de Ingeniero Eléctrico por la Escuela Politécnica Nacional, Quito – Ecuador. Actualmente se encuentra ejecutando proyectos de diseño y construcción en ingeniería eléctrica en la provincia de Imbabura. Sus áreas de interés son las subestaciones y las líneas de transmisión.

Fabián Ernesto Pérez Yauli, nació en Ambato-Ecuador. Obtuvo el título de Ingeniero Eléctrico en la Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador en 2004. En 2012 obtuvo el grado de Doctor en Ingeniería Eléctrica en la Universidad Nacional de San Juan, San Juan-Argentina, con una beca otorgada por el Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD). Actualmente es profesor titular a tiempo completo en la Escuela Politécnica Nacional. Su rama de investigación incluye protecciones de sistemas de potencia y procesamiento de señales.