

Coordination Study of Protections of the Subtransmission System of CNEL EP Sucumbíos due to the New Connection Point to the Interconnected National System (SNI)

Estudio de Coordinación de Protecciones del Sistema de Subtransmisión de CNEL EP Unidad de Negocios Sucumbíos ante un Nuevo Punto de Conexión al Sistema Nacional Interconectado (SNI)

J.C. Guamán¹ F.E. Pérez¹ J.E. Estrada²

¹Escuela Politécnica Nacional, EPN

juan.guaman@epn.edu.ec; fabian.perez@epn.edu.ec

²Cooperación Nacional de Electricidad CNEL EP, Unidad de Negocio Sucumbíos

jorge.estrada@cnel.gob.ec

Abstract

Currently, Ecuador is experiencing changes in the energy matrix, which involves big projects in electricity area mainly in generation, transmission, subtransmission and distribution, particularly the entry into operation of the Coca Codo Sinclair generation plant and the creation of new supply points to the distribution companies.

In this context, the Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP has built the substation named Jivino of TRANSELECTRIC, which constitutes for the electricity distribution company CNEL EP Sucumbíos, a new point of connection to the National Interconnected System (SNI).

This work carries out a study of protective device coordination in the CNEL EP Sucumbíos subtransmission system, due to the operation of the mentioned new connection point to the SNI, in order to determine the appropriate protection system and settings for the distribution company CNEL EP Sucumbíos. An analysis of the behavior of the two teleprotection schemes, which are PUTT (Permissive Under-reach Transfer Trip) and POTT (Permissive Over-reach Transfer Trip), for the protection of distance and its operation to direct faults and high impedance faults. Finally, the coordination of protections is verified by establishing different types of short-circuits.

Index terms— Protective device coordination, teleprotection schemes, POTT, PUTT.

Resumen

En la actualidad Ecuador experimenta cambios en la matriz energética, lo cual ha involucrado la construcción de grandes proyectos dentro del sector eléctrico ya sea en generación, transmisión, subtransmisión y distribución, y en particular ha permitido la entrada en operación de la central de generación Coca Codo Sinclair y la creación de nuevos puntos de entrega a las empresas distribuidoras.

En este contexto, la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP ha construido la subestación Jivino de TRANSELECTRIC, la cual constituye para la empresa de distribución CNEL EP Unidad de Negocios Sucumbíos un nuevo punto de conexión al Sistema Nacional Interconectado (SNI).

Este trabajo realiza un estudio de coordinación de las protecciones del sistema de subtransmisión de CNEL EP Sucumbíos, debido al ingreso operación del mencionado nuevo punto de conexión al SNI. Esto con la finalidad de determinar los sistemas de protección y los ajustes más adecuados para dicha empresa de distribución. Además, se realiza un análisis del comportamiento de los dos esquemas de teleprotección PUTT (disparo transferido por subalcance permisivo) y POTT (disparo transferido por sobrealcance permisivo) para la protección de distancia y su funcionamiento ante fallas francas y fallas de alta impedancia. Finalmente se verifica la coordinación de protecciones estableciendo diferentes tipos de fallas.

Palabras clave— Coordinación de protecciones, esquemas de teleprotección, POTT, PUTT.

Recibido: 31-07-2017, Aprobado tras revisión: 17-11-2017

Forma sugerida de citación: Guamán, J.; Pérez, F.; Estrada, J. (2018). "Estudio de coordinación de protecciones del sistema de subtransmisión de CNEL EP Unidad de Negocios Sucumbíos ante un nuevo punto de conexión al Sistema Nacional Interconectado (SNI)". Revista Técnica "energía". No. 14, Pp.44-53

ISSN 1390-5074.

1. INTRODUCCIÓN

En el Sistema Nacional Interconectado (SNI) del Ecuador, la construcción de la central de generación Coca Codo Sinclair, que se conecta con la subestación (S/E) San Rafael y que a su vez se conectará a 230 kV con la nueva S/E Jivino de TRANSELECTRIC (empresa de transmisión), permite a la empresa CNEL EP Unidad Negocios Sucumbíos tener un nuevo punto de conexión al SNI. Esta empresa de distribución tiene planificado para el 2017 seccionar la línea de subtransmisión Lago Agrio-Jivino de CNEL de 69 kV, y utilizar dos bahías de la nueva subestación de propiedad del transmisor.

Para que la Unidad de Negocios Sucumbíos se pueda conectar a este nuevo nodo eléctrico, se implementarán dos tableros de protección diferencial de línea en la S/E Lago Agrio y S/E Jivino de CNEL para protección principal y como protección de respaldo relés de sobrecorriente direccional y relés de distancia.

De esta manera, considerando los nuevos sistemas de protecciones que se requieren implementar, así como el cambio en el sentido de los flujos de potencia y niveles en las corrientes de cortocircuito que se presentarán en el sistema de CNEL EP Sucumbíos, se hace necesario la realización de un estudio de coordinación de protecciones, que permita obtener los ajustes que aseguren una operación adecuada de los mismos.

2. MODELACIÓN DEL SISTEMA DE SUBTRANSMISIÓN DE CNEL EP UNIDAD DE NEGOCIOS SUCUMBÍOS

2.1. Descripción del Sistema de Subtransmisión

En esta empresa distribuidora se caracteriza por tener una gran extensión territorial. Su sistema de subtransmisión es a nivel de 69 kV y de distribución a nivel 13.8 kV con un solo punto de conexión al SNI que en la actualidad es la S/E Francisco de Orellana.

La generación local se conecta a nivel de subtransmisión, sin embargo, la mayor parte de energía eléctrica es suministrada por el punto de conexión al SNI con la particularidad que puede llegar a operar en isla (sistema aislado) mediante el uso de generación local.

La demanda máxima del sistema de subtransmisión CNEL EP Sucumbíos, llega a los 55 MW en hora pico, además el sistema se encuentra con una potencia instalada en transformadores de subtransmisión de 112.5 MW, es decir que posee una reserva del 60%. Está conformada por once subestaciones de subtransmisión y su sistema actual posee una topología radial.

Para modelar el sistema de subtransmisión de CNEL EP Sucumbíos, se establecen las siguientes condiciones:

- El nuevo punto de conexión (S/E Jivino de TRANSELECTRIC) será el único punto de conexión al SNI, mientras que el actual punto de conexión que es la S/E Francisco de Orellana quedará abierto, manteniendo la línea de transmisión correspondiente para compensación capacitiva con el fin de mejorar los voltajes de las barras de las subestaciones Payamino y Jivino de CNEL.
- Una vez que se haya realizado el cambio del punto de conexión, las centrales de generación de CNEL EP Unidad de Negocios Sucumbíos, funcionarían bajo condiciones operativas actuales (demanda máxima) [1,2].

2.2. Modelación del Sistema de Subtransmisión con el Nuevo Punto de Conexión al SNI

A partir del segundo semestre del año 2017, el sistema de subtransmisión de CNEL EP Sucumbíos en 69 kV se abastecerá mediante un nuevo punto de conexión a través de una doble línea de doble circuito a 230 kV “San Rafael - Jivino de TRANSELECTRIC”, construida con un conductor ACAR 2X750 MCM. Además, la nueva subestación Jivino tendrá un transformador de potencia de 167 MVA a 230/69 kV.

Con la información mencionada, se procedió a modelar el sistema de subtransmisión de CNEL EP Sucumbíos en el programa computacional PowerFactory como se observa en la Fig. 1, para el posterior estudio de cortocircuitos y la coordinación de protección respectiva bajo las condiciones operativas futuras [3, 4, 5].

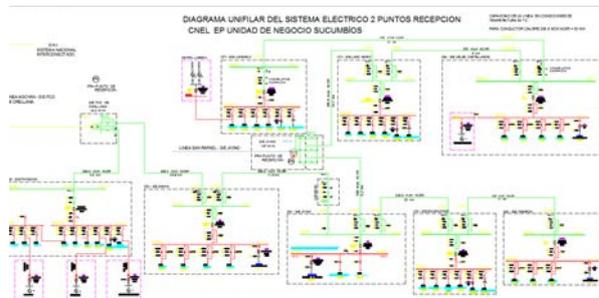


Figura 1: Sistema de Subtransmisión CNEL EP Sucumbíos con el Nuevo Punto de Conexión al SNI

3. CORTOCIRCUITOS EN EL SISTEMA DE SUBTRANSMISIÓN DE CNEL EP UNIDAD DE NEGOCIOS SUCUMBÍOS

Para obtener las corrientes máximas y mínimas de cortocircuito en los diferentes puntos del sistema eléctrico de subtransmisión de CNEL EP Sucumbíos, se utilizó la norma IEC 60909. Estos valores de cortocircuito tanto en barras de subtransmisión a nivel de 69 kV como en los diferentes puntos del sistema, sirvieron para la coordinación de protecciones (relés) y verificación de la capacidad de equipos de corte.

A continuación, se muestran las corrientes de cortocircuito máximas y mínimas en barras a nivel de 69 kV en estado actual y futuro.

3.1. Escenario Actual

En las Tablas 1 y 2 se resumen los niveles de cortocircuitos trifásicos y monofásicos para máximas y mínimas corrientes de cortocircuito en barra.

Tabla 1: Corriente de Cortocircuito Pico [I_p] en Condición Operativa Actual

BARRA 69 kV	Máximas corrientes de C.C.		Mínimas corrientes de C.C.	
	3∅ [kA]	1∅ [kA]	3∅ [kA]	1∅ [kA]
Jivino de CNEL	6.172	7.492	5.519	6.704
Sacha	5.489	5.845	4.840	5.15
Francisco de Orellana	4.733	4.99	4.095	4.327
Payamino	4.677	4.894	4.045	4.234
Shushufindi	3.404	3.036	2.938	2.616
Tarapoa	7.792	1.335	1.515	1.127
Lago Agrio	2.758	2.275	2.362	1.973
Celso Castellano	2.539	2.042	2.169	1.739
Lumbaquí	1.412	0.995	1.190	0.837

Tabla 2: Corriente de Cortocircuito en Estado Estable [I_{kss}] en Condición Operativa Actual

BARRA 69 kV	Máximas corrientes de C.C.		Mínimas corrientes de C.C.	
	3∅ [kA]	1∅ [kA]	3∅ [kA]	1∅ [kA]
Jivino de CNEL	2.5	3.034	2.254	2.737
Sacha	2.335	2.486	2.105	2.24
Francisco de Orellana	2.138	2.259	1.923	2.032
Payamino	2.117	2.215	1.903	1.992
Shushufindi	1.968	1.399	1.405	1.250
Tarapoa	0.891	0.664	0.791	0.589
Lago Agrio	1.311	1.082	1.171	0.963
Celso Castellano	1.219	0.98	1.088	0.872
Lumbaquí	0.713	0.502	0.632	0.445

3.2. Escenario Futuro

En las Tablas 3 y 4 se resumen los niveles de cortocircuitos trifásicos y monofásicos para máximas y mínimas corrientes de cortocircuito en barra con el nuevo punto de conexión al SNI.

El ingreso de la nueva subestación Jivino de TRANSELECTRIC provoca un aporte adicional de corrientes hacia los cortocircuitos en la red tal como se observa (resultado en azul) de los resultados indicados en las Tablas 3 y 4.

El incremento más significativo se da en la zona de influencia eléctrica (S/E Lago Agrio y S/E Jivino de CNEL).

Tabla 3: Corriente de Cortocircuito Pico [I_p] en Condición Operativa Futura

BARRA 69 kV	Máximas corrientes de C.C.		Mínimas corrientes de C.C.	
	3∅ [kA]	1∅ [kA]	3∅ [kA]	1∅ [kA]
Jivino de CNEL	17.454	15.167	15.355	13.332
Sacha	7.737	5.885	6.559	5.005
Francisco de Orellana	3.509	3.251	2.93	2.745
Payamino	3.48	3.201	2.906	2.703

Tabla 3: Corriente de Cortocircuito Pico [I_p] en Condición Operativa Futura

Shushufindi	5.259	3.44	4.424	2.903
Tarapoa	2.197	1.329	1.829	1.115
Jivino de TRANSELECTRIC	23.037	29.358	20.590	26.265
Lago Agrio	4.448	2.954	3.729	2.487
Celso Castellano	3.899	2.537	3.263	2.134
Lumbaquí	1.72	1.030	1.432	0.865

Tabla 4: Corriente de Cortocircuito en Estado Estable [I_{kss}] en Condición Operativa

BARRA 69 kV	Máximas corrientes de C.C.		Mínimas corrientes de C.C.	
	3∅ [kA]	1∅ [kA]	3∅ [kA]	1∅ [kA]
Jivino de CNEL	7.165	6.226	6.355	5.604
Sacha	3.705	2.818	3.295	2.515
Francisco de Orellana	1.767	1.637	1.549	1.452
Payamino	1.753	1.612	1.537	1.429
Shushufindi	2.633	1.722	2.336	1.533
Tarapoa	1.152	0.697	1.015	0.619
Jivino de TRANSELECTRIC	8.737	11.135	7.889	10.063
Lago Agrio	2.259	1.50	2.011	1.334
Celso Castellano	1.995	1.298	1.765	1.154
Lumbaquí 69	0.906	0.543	0.797	0.482

4. SELECCIÓN DEL ESQUEMA DE TELEPROTECCIÓN

Para elegir el esquema de teleprotección adecuado para el sistema de subtransmisión de CNEL EP Sucumbíos se realiza un análisis del comportamiento de los dos esquemas de teleprotección utilizados en el Ecuador, que son los esquemas PUTT (Disparo transferido por subalcance permisivo) y POTT (Disparo transferido por sobrealcance permisivo) ante fallas francas y fallas de alta impedancia. Los siguientes ejemplos se elaboraron en base a [6].

4.1. Comportamiento del Esquema PUTT ante Fallas Francas

Para este análisis se tiene dos subestaciones como se observa en la Fig. 2, cuando la falla ocurre al 90 % de la subestación A, el relé de distancia de la subestación B opera en Zona 1, envía señal de disparo al extremo remoto y dispara su interruptor de manera instantánea, mientras que en el extremo remoto que es la subestación A, arranca en Zona 2, recibe señal de disparo del extremo remoto y opera acelerado Zona 2.

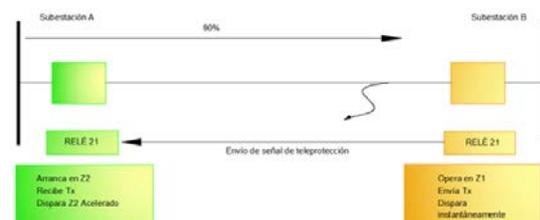


Figura 2: Respuesta del Esquema PUTT ante una Falla al 90% con Respecto a la Subestación A

El funcionamiento del esquema PUTT es similar si la falla ocurriese al 90% de la subestación B.

Cuando la falla ocurre al 50% de la línea como se observa en la Fig. 3, ambos relés de distancia de las subestaciones A y B opera en Zona 1, envían señal de teleprotección y disparan sus interruptores instantáneamente, no se necesita confirmación de señal del extremo remoto.

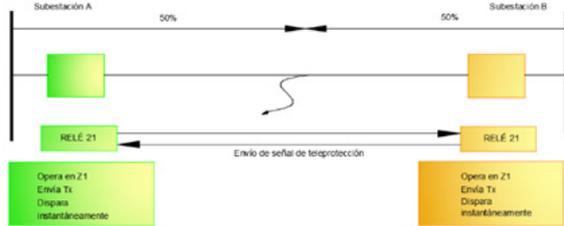


Figura 3: Respuesta del Esquema PUTT ante una Falla al 50% de la Línea entre la Subestación A y B

Para fallas francas el esquema PUTT responde de manera eficiente, acelerando el disparo en Zona 2 del extremo lejano a la falla.

4.2. Comportamiento del Esquema POTT ante Fallas Francas

De igual forma se tiene dos subestaciones como se observa en la Fig. 4, cuando la falla ocurre al 90% de la subestación A, el relé de distancia de la subestación B opera en Zona 1, abre su interruptor de manera instantánea y a través de un contacto de Zona 2 envía señal de disparo al extremo remoto; adicionalmente, recibe señal de disparo del extremo remoto. Mientras tanto en la subestación A, la protección de distancia arranca en Zona 2, envía señal de disparo al extremo remoto, pero al recibir la señal de disparo del extremo remoto dispara de forma acelerada en Zona 2.

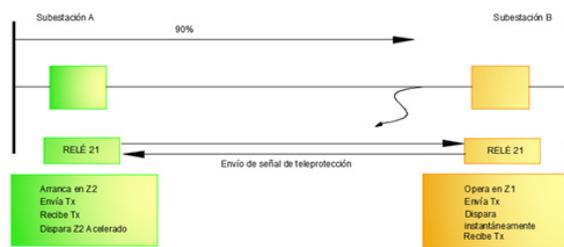


Figura 4: Respuesta del Esquema POTT ante una Falla al 90% con Respecto a la Subestación A

Cuando la falla ocurre al 50% de la línea como se observa en la Fig. 5, ambos relés de distancia de las subestaciones A y B opera en Zona 1, envían señal de disparo y disparan sus interruptores instantáneamente, no se necesita confirmación de señal del extremo remoto.

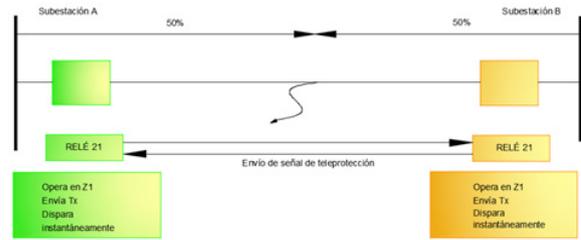


Figura 5: Respuesta del Esquema POTT ante una Falla al 50% de la Línea entre la Subestación A y B

Para fallas francas el esquema POTT responde de manera eficiente, acelerando el disparo en Zona 2 del extremo lejano a la falla.

4.3. Comportamiento del Esquema PUTT ante Fallas de Alta Impedancia

Para este análisis se tiene dos subestaciones como se observa en la Fig. 8, cuando la falla ocurre al 50 % de la subestación A entonces se tiene que:

Impedancia de la línea

$$Z_{línea} = 0.2 + j 2 [\Omega]; R_f = 7 [\Omega]$$

Impedancia que mide el relé 21 ubicado en la subestación A.

$$Z_{reléA} = \frac{V_A}{I_A} = Z_{AF} + R_f + \frac{I_B}{I_A} R_f \quad (1)$$

Y las fuentes son equivalentes, por lo cual $I_A = I_B$, entonces se tiene:

$$Z_{reléA} = 14.10 + j 1 [\Omega]$$

La impedancia que calcula el relé 21 ubicado en la subestación A en el diagrama R-X se puede observar en la Fig. 6.

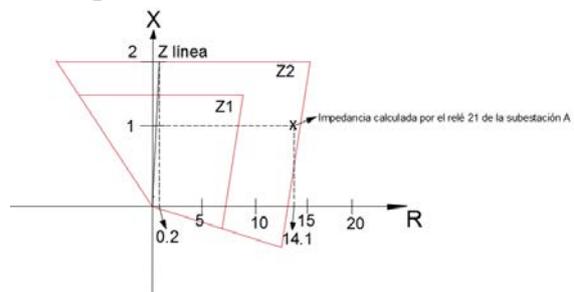


Figura 6: Impedancia Calculada por el Relé 21 de la Subestación A ante una Falla de Alta Impedancia

La impedancia que calcula el relé 21 ubicado en la subestación B en el diagrama R-X se puede observar en la Fig. 7.

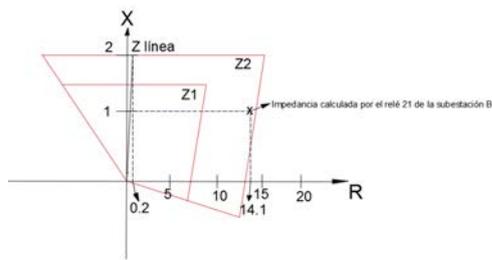


Figura 7: Impedancia Calculada por el Relé 21 de la Subestación B ante una Falla de Alta Impedancia

Puede darse el caso que exista una falla de alta impedancia que provoque que los relés de distancia de las dos subestaciones vean la falla en Zona 2 como se ilustra en la Fig. 8, lo que provoca que en el esquema PUTT no se envíe la señal de disparo al extremo remoto y por lo tanto sus protecciones operen en tiempos de Zona 2 (entre 0.3s y 0.6s [5]), por lo cual no se despeja la falla de manera instantánea.

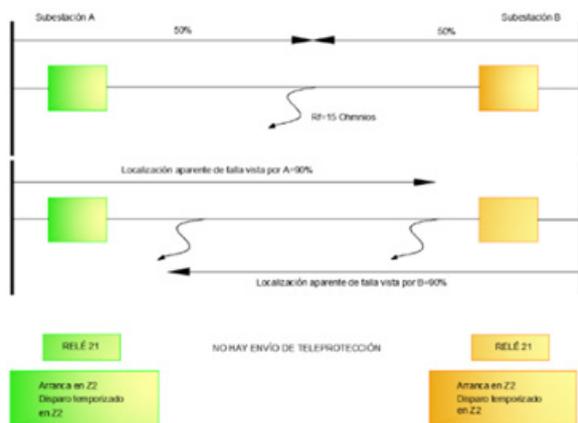


Figura 8: Respuesta del Esquema PUTT ante una Falla de Alta Impedancia.

4.4. Comportamiento del Esquema POTT ante Fallas de Alta Impedancia

De igual forma si existe una falla de alta impedancia que provoque que los relés de distancia de las dos subestaciones vean la falla en Zona 2 (ver ejemplo del esquema PUTT para falla de alta impedancia), en el esquema POTT los relés 21 de la subestación A y B envían señal de disparo, reciben señal de disparo y operan en Zona 2 acelerado como se puede observar en la Fig. 9.

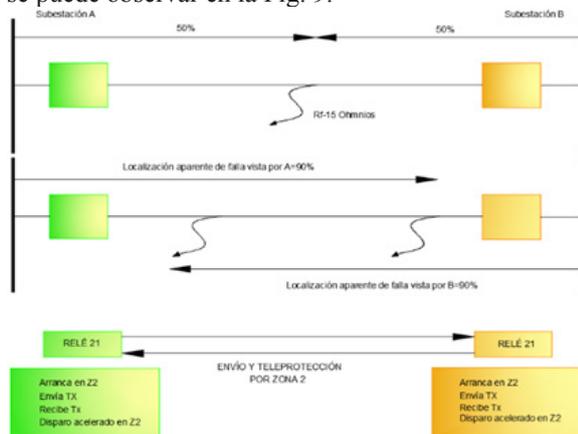


Figura 9: Respuesta del Esquema POTT ante una Falla de Alta Impedancia

4.5. Análisis del Comportamiento de los Esquemas PUTT y POTT ante Fallas Francas y de Alta Impedancia

Los dos esquemas operan de manera eficiente entre fallas francas, acelerando el disparo en Zona 2 del extremo lejano a la falla. Para el caso de fallas de alta impedancia puede darse el caso de que los esquemas de teleprotección PUTT y POTT no se comporten de manera adecuada (envío de teleprotección o señal de disparo).

Ante fallas de alta impedancia y si la línea es muy corta, el relé de distancia puede ver la falla en Zona 2, lo que provocaría que en el esquema de teleprotección PUTT nunca se envíe la señal de disparo para que opere en Zona 2 acelerado, por lo que el relé de distancia operaría de manera temporizada. Por ello se puede concluir que el esquema POTT es mucho más confiable que el esquema PUTT para fallas de alta impedancia.

En el caso del sistema de subtransmisión de CNEL EP Sucumbíos, debido a que las líneas donde se van a implementar los relés de distancia con esquema de teleprotección son relativamente cortas, se recomienda utilizar el esquema POTT para detección de fallas de alta impedancia, contando además como respaldo con una protección de sobrecorriente direccional de neutro.

En la Tabla 5 resume los ejemplos expuestos anteriormente y la Tabla 6 muestra la comparativa entre los dos esquemas de teleprotección.

Tabla 5: Actuación de los Esquemas de Teleprotección para Distintos Tipos de Fallas

TIPOS DE FALLAS	Esquema POTT	Esquema PUTT
Fallas francas	OPERA (Z2 acelerado)	OPERA (Z2 acelerado)
Fallas de alta impedancia	OPERA (Z2 acelerado)	NO OPERA (Z2 temporizado)

Tabla 6: Comparativa de los Esquemas de Teleprotección POTT y PUTT

	Esquema POTT	Esquema PUTT
VENTAJAS	Buena cobertura para fallas de alta impedancia dentro de la línea. En especial para líneas cortas.	En el área de traslape (Z1) se tiene disparo incondicional (no requiere permiso de otra protección). Ideal para línea de tres terminales.
DESVENTAJA	Requiere doble canal de comunicación y puede llegar a operar por fallas externas al elemento protegido cuando se tiene extremo débil y se encuentra habilitada la función Eco por Weak Infeed.	Mala cobertura para fallas de alta impedancia (Arranque temporizado por Z2). Requiere un solo canal de comunicación con alta seguridad y el ruido o transitorios pueden generar disparos incorrectos.

En el caso del sistema de subtransmisión de CNEL EP Sucumbíos, debido a que las líneas donde se van

a implementar los relés de distancia con esquema de teleprotección son relativamente cortas se recomienda utilizar el esquema POTT para la detección de fallas de alta impedancia con respaldo de 67 N para tener una mayor sensibilidad a este tipo de fallas.

5. COORDINACIÓN DE PROTECCIONES

Antes de realizar el análisis correspondiente, es necesario aclarar cómo se establece la coordinación, debido a que el sistema de subtransmisión posee ciertos tramos radiales y mallados.

Para tramos radiales se plantea de la siguiente manera:

- Protección principal: 50/51 de fase y neutro, para todos los eventos de falla que ocurran dentro de la zona protegida.
- Protección de respaldo: 50/51 de fase y neutro del elemento aguas arriba para todos los eventos de falla en caso de que la protección principal no opere en los casos que corresponda.

Para tramos mallados o anillos se plantea de la siguiente manera:

- Protección principal: 87L, para todos los eventos de falla que ocurran dentro de la zona protegida.
- Protección principal: 21 (F/N) para todos los eventos de falla que ocurran dentro de la zona protegida con canales de comunicación.
- Protección de respaldo: 21F, 67 (F/N), para todos los eventos de falla en caso de que la protección principal no opere en los casos que corresponda.

Es necesario aclarar que no se sugiere los relés 21N en las subestaciones Lago Agrio, Jivino de CNEL y Jivino de TRANSELECTRIC, debido a que las líneas a proteger son relativamente cortas y para fallas con contacto a tierra mediante una alta impedancia de falla, estos relés no operan debido al subalcance presentado.

Esto se debe a que la resistencia de falla al ser la suma de la resistencia de arco más la resistencia con contacto a tierra puede llegar a ser muy elevada (experiencia del operador del sistema de subtransmisión de Sucumbíos, máxima de 8 Ω , por ser zona selvática y con elevados índices de incidencia de falla en ciertos tramos) provocando una variación muy significativa de la resistencia (en especial para líneas cortas) y el cambio del ángulo de fase, lo cual provocaría que el relé no opere por subalcance, las pruebas realizadas mediante simulaciones con impedancia de falla desde los 10 Ω a 15 Ω confirman que los relés 21N no detectan la falla, comprobando lo que la literatura técnica indica [8] y recomienda para este tipo de líneas, establecer como protección de respaldo un 67N para una mayor sensibilidad con fallas de alta impedancia que puede darse el caso.

- Para la coordinación, se considera que existe pérdida de los canales de comunicación para el relé de distancia debido a que en la práctica operaría de manera instantánea por el esquema de teleprotección propuesto (POTT), por ello actúa como protección de respaldo y para ciertos eventos de falla que se describe a continuación actúa en diferentes zonas de protección, esto tiene por objetivo verificar la correcta coordinación de las protecciones de respaldo.
- Se sugiere la instalación de relés de bajo voltaje en terminales de carga de una línea. Estos relés de bajo voltaje no se coordinan con las demás protecciones, pues su objetivo no es la detección y despeje de falla, sino la desconexión completa de la línea en condiciones de post-falla.

La presencia de relés de bajo voltaje (27), se debe a que por ser un sistema radial, hay extremo fuerte y débil en algunos puntos de la red. Se implementa el relé de bajo voltaje en el extremo débil debido a que para cualquier tipo de falla la corriente de cortocircuito en el extremo débil es cero (menor a la corriente nominal) y cualquier otro tipo de relé operaría de manera errónea en este extremo. Para poder aislar el elemento en falla el relé de bajo voltaje operaría luego de un tiempo prudencial en que la falla ha sido despejada desde el extremo fuerte. El relé 27 opera mediante la detección de la caída de voltaje en el extremo débil (el punto donde éste se instala) como se observa en la Fig. 21.

En base a los criterios mencionados anteriormente y luego de realizar los estudios requeridos mediante PowerFactory se proponen los siguientes ajustes para los relés de bajo voltaje (27) instalados en el sistema de subtransmisión de CNEL EP Sucumbíos como se puede observar en la Tabla 7.

Tabla 7: Relés de Bajo Voltaje para el Sistema de Subtransmisión de CNEL EP Sucumbíos

PROTECCIÓN DE BAJO VOLTAJE			
Línea	S/E	Voltaje (pu)	Tiempo (s)
Coca-Sacha	Francisco de Orellana	0.85	3
Sacha-Jivino	Sacha	0.85	3
Tarapoa-Shushufindi	Tarapoa	0.85	3
Shshufindi-Jivino	Shushufindi	0.85	3
Lago Agrio-Jivino	Lago Agrio	0.85	3
Celso Castellano-Lago Ario	Celso Castellanos	0.85	3
Lumbaquí-Celso Castellanos	Lumbaquí	0.85	3

5.1. Análisis de la Respuesta de las Protecciones ante Evento de Falla

La Fig. 10 muestra la simulación de un cortocircuito trifásico con una impedancia de falla de 10Ω entre fases en el tramo Jivino de TRANSELECTRIC-Jivino de CNEL 69 kV.

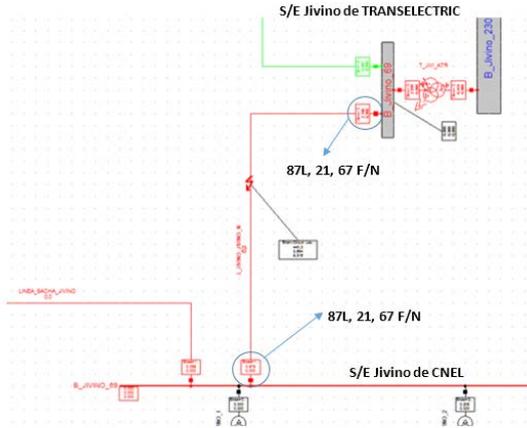


Figura 10: Cortocircuito Trifásico al 50 % del Tramo Jivino de TRANSELECTRIC-Jivino de CNEL

1.1.1 Respuesta de los relés ubicados en la subestación Jivino de TRANSELECTRIC

Como se puede observar en la Fig. 11, el relé diferencial de línea (87L, protección principal) funciona correctamente, opera de manera instantánea debido a que es una falla interna, dentro de la zona protegida. La característica de operación es la misma para cada fase.

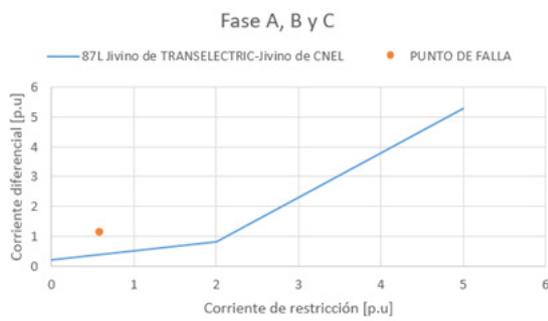


Figura 11: Respuesta de Protección 87L

La respuesta del relé de distancia ubicado en la S/E Jivino de TRANSELECTRIC se puede observar en la Fig. 12. Este relé que se considera está operando como protección de respaldo (bajo el supuesto que el esquema POTT está fuera de servicio) opera en Zona 1, es decir, de manera instantánea (podría ser visto como protección redundante con la 87L), debido a que la falla ocurre a una distancia menor del 80% de la línea, porcentaje hasta el cual la Zona 1 fue ajustada para que brinde protección de la línea.

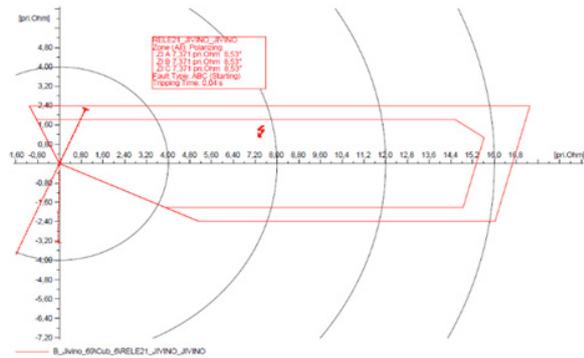


Figura 12: Respuesta de la Protección de Distancia de Fase Ubicado en la S/E Jivino de TRANSELECTRIC

La Fig. 13 ilustra la respuesta del relé de sobrecorriente direccional de fase ubicado en la nueva S/E Jivino de TRANSELECTRIC, que opera de manera temporizada, lo cual es correcto debido a que la falla ocurre en la dirección en la que el relé está supervisando, en un tiempo mayor a Zona 2.

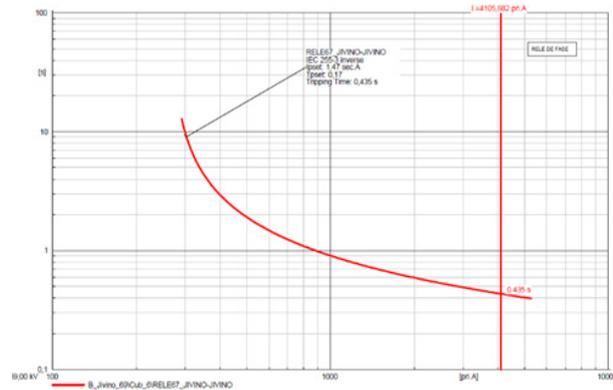


Figura 13: Respuesta del Relé 67F Ubicado en la Subestación Jivino de TRANSELECTRIC

En la Fig. 14, el relé de sobrecorriente direccional de neutro (67N, protección de respaldo) no opera, lo cual es correcto debido a que la falla se produce entre fases y no existe un contacto a tierra (esta protección opera con las corrientes de desbalance $3I_0$).

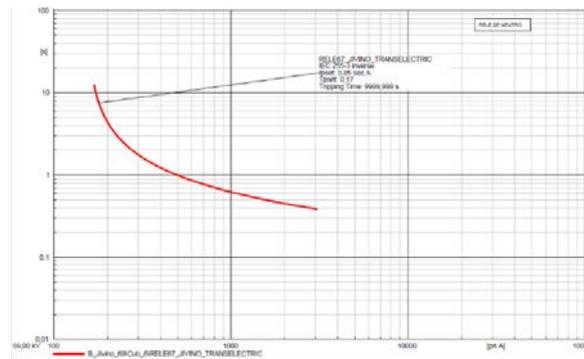


Figura 14: Respuesta del Relé 67N Ubicado en la Subestación Jivino de TRANSELECTRIC ante un Evento de Falla Trifásico

5.1.2 Respuesta de los relés ubicados en la subestación Jivino de CNEL

La protección diferencial se ubica en las dos subestaciones y opera exactamente igual en los dos extremos de la línea (ver Fig. 11).

En cuanto al relé de distancia de fase, este opera de manera correcta, como se puede observar en la Fig. 15. El relé 21 que opera como protección de respaldo (bajo el supuesto que el esquema POTT está fuera de servicio) opera en Zona 1, es decir, de manera instantánea (redundante con la 87L), debido a que la falla ocurre a una distancia menor del 80% de la línea.

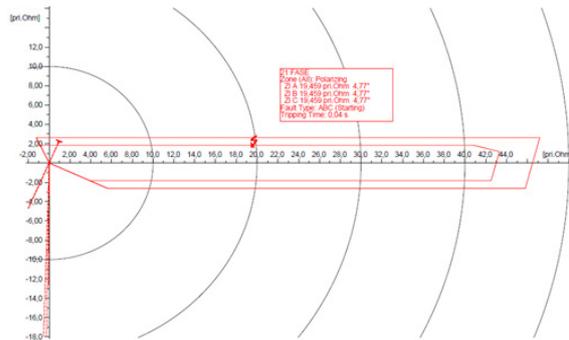


Figura 15: Respuesta de la Protección de Distancia de Fase (21) Ubicado en la S/E Jivino de CNEL ante un Evento de Falla Trifásico

Como se puede observar en la Fig. 16, el relé de sobrecorriente direccional de fase (67, protección de respaldo) opera de manera temporizada, lo cual es correcto debido a que la falla ocurre en la dirección en la que el relé está supervisando, en un tiempo mayor Zona 2.

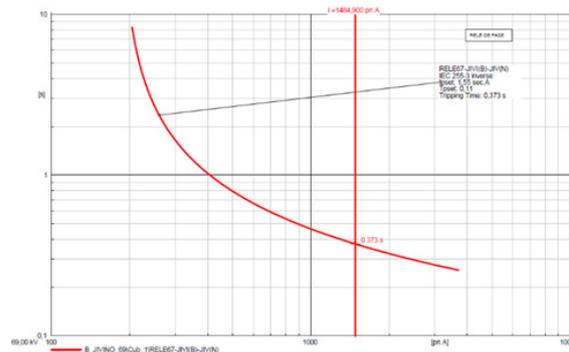


Figura 16: Respuesta de la Protección de Sobrecorriente Direccional de Fase (67) Ubicado en el S/E Jivino de CNEL ante un Evento de Falla Trifásico

En la Fig. 17, el relé de sobrecorriente direccional de neutro (67N, protección de respaldo) no opera, lo cual es correcto debido a que la falla se produce entre fases y no existe una corriente de desbalance.

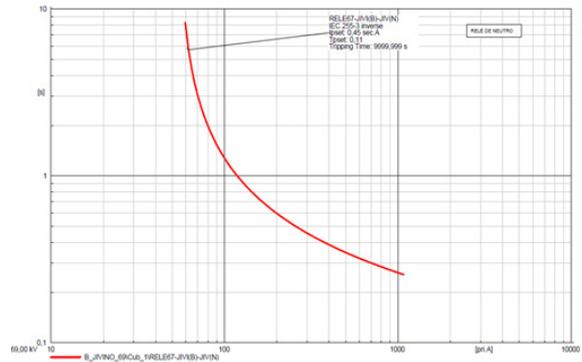


Figura 17: Respuesta de la Protección de Sobrecorriente Direccional de Neutro (67N) Ubicado en el S/E Jivino de CNEL ante un Evento de Falla Trifásico

La Tabla 8 muestra un resumen del comportamiento de las protecciones tanto las principales como sus respaldos, para diferentes fallas, resumen en el que se puede verificar su correcta operación y coordinación.

Tabla 8: Operación de las Protecciones ante Eventos de Falla al 50% de la Línea Jivino de TRANSELECTRIC-Jivino de CNEL

				PROTECCIÓN			
Falla al 50% desde la S/E Jivino de TRANSELECTRIC							
S/E	BAHÍA	TIPO DE FALLA	Resistencia de falla [Ω]	87L	21'	67'	67N'
Jivino de TRANS ELECTRIC	Jivino de CNEL 69 kV	3F	0	SI	SI	SI	NO
		2F	5	SI	SI	SI	NO
		1F	10	SI	NO	SI	SI
		2F-T	10	SI	NO	SI	SI
Falla al 50% desde la S/E Jivino de CNEL							
Jivino de CNEL	Jivino de TRANS ELECTRIC 69 kV	3F	0	SI	SI	SI	NO
		2F	5	SI	SI	SI	NO
		1F	10	SI	NO	SI	SI
		2F-T	20	SI	NO	SI	SI
Nota: "SI" Estas protecciones operan como respaldo.							

La Fig. 18 muestra la actuación de las protecciones tanto las principales como sus respaldos en un diagrama distancia vs tiempo.

Realizando un análisis en el dominio del tiempo se considera el ejemplo anterior de la línea Jivino de CNEL-Jivino de TRANSELECTRIC (por la importancia en el sistema de subtransmisión), para lo cual se simula una falla interna y externa a la línea para ver el correcto funcionamiento de la protección diferencial de la misma y la actuación de los relés más cercanos a la falla.

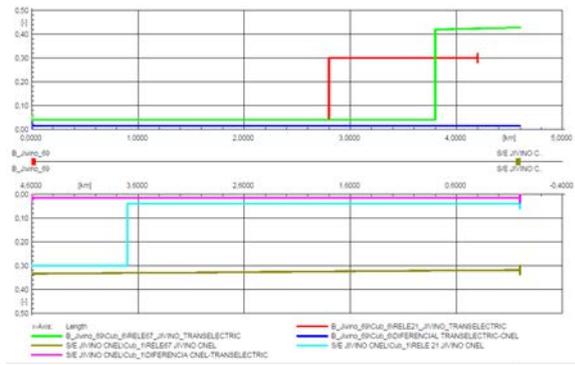


Figura 18: Actuación de las Protecciones ante un Evento de Falla en el Tramo Jivino de CNEL-Jivino de TRANSELECTRIC

Cuando la falla se da en la zona de protección (50% de la línea Jivino de CNEL - Jivino de TRANSELECTRIC) como se observa en la Fig. 19, operan los relés cercanos a la falla (87L) como se observa en la Fig. 20, en donde al darse el evento de falla (200 ms) la corriente de cortocircuito en estado estable (I_{kss}) dura 40 ms antes de ser despejada por la actuación de los relés diferenciales de línea (87L).

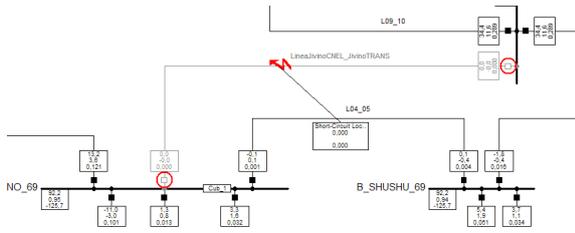


Figura 19: Falla Interna a la Zona Protegida

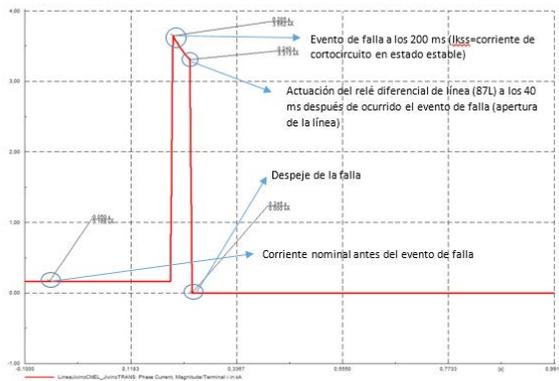


Figura 20: Corriente de la línea Jivino de CNEL-Jivino de TRANSELECTRIC

Por otro lado, cuando la falla se da por ejemplo al 50% de la Línea Celso Castellanos-Lumbaquí, operan los relés cercanos a la falla (51 y 27) como se observa en la Fig. 21. En esta figura se observa que opera el disyuntor ubicado en la subestación Celso Castellanos por el relé de sobrecorriente (51), a los 280 ms después de haberse producido la falla. El disyuntor ubicado en la subestación Lumbaquí opera por el relé de bajo voltaje (27) a los 3 segundos después de haberse despejado la falla por el relé 51

del otro extremo. De esta manera, la línea bajo falla es desconectada en los dos extremos. El relé de bajo voltaje actúa en post-falla, debido a que no es una protección diseñada para detección y despeje de falla.

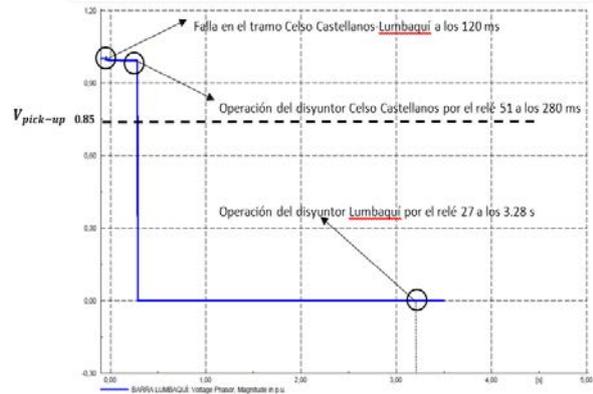


Figura 21: Actuación del Relé 51 y 27 ante un Evento de Falla en el Tramo Celso Castellanos-Lumbaquí

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La importancia de un estudio de coordinación de protecciones en el sistema de subtransmisión de CNEL EP Sucumbíos, se genera debido a la creación de un nuevo punto de conexión al Sistema Nacional Interconectado (S/E Jivino de TRANSELECTRIC), como consecuencia se genera inversión de flujo y cambio de potencia de cortocircuito.

Con el nuevo punto de conexión al SNI, existe una inversión de flujo y el esquema se vuelve radial en gran parte del sistema, lo que ocasiona que aparezcan extremos fuertes (en un punto generación) y débiles (extremo carga), por ello es necesario la implementación al extremo débil de la línea de relés de bajo voltaje (27) para poder desconectar completamente al elemento.

La protección de bajo voltaje (27) no se emplea para la detección y despeje de fallas, es para post-falla, debido a que esta protección debe actuar una vez que la protección principal o de respaldo haya operado.

Para el esquema de teleprotección a implementarse en la subestación Jivino de TRANSELECTRIC, se determinó que por las características de las líneas (líneas cortas) se debe implementar el esquema POTT y con respaldo de 67N para fallas de alta impedancia y de esta forma dar mayor confiabilidad al sistema.

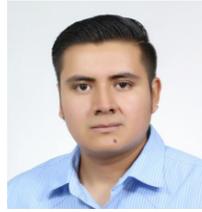
Para algunos eventos de falla con contacto a tierra, la protección de sobrecorriente direccional de fase (67) opera, lo cual origina redundancia con la protección 67N, beneficiando la coordinación.

Con el nuevo punto de conexión al SNI del sistema eléctrico de CNEL EP Sucumbíos, las corrientes de cortocircuito pico (i_p) y de estado estable (I_{kss}), tanto en barras como en líneas en la zona de influencia eléctrica, se ven afectadas a las condiciones actuales pero no exceden la capacidad de los equipos de corte (disyuntores) instalados actualmente y por lo tanto no

es necesario considerar el rediseño y sustitución de los mismos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Departamento de planificación técnica de CNEL EP UN Sucumbíos, “Plan de expansión a 10 años del sistema eléctrico de CNEL EP Sucumbíos, en base a estudios técnicos y económicos”, 2015.
- [2] Departamento de planificación técnica de CNEL EP UN Sucumbíos, “Simulación del Sistema Eléctrico de generación de la central Jivino, cálculo de corrientes de cortocircuito, coordinación de protecciones”, 2012.
- [3] Alvarado Acosta Montoya, “Análisis de Sistemas de Potencia”, Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ingeniería Eléctrica, pp. 53-55.
- [4] Renzo T. Armando, “Protecciones Eléctricas”, 2da edición, Bogotá, Colombia, 2007.
- [5] Corporación CENACE, “OPERACIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA”, [En línea], Disponible en: <http://biblioteca.cenace.org.ec/jspui/bitstream/123456789/826/62/PROTEC-TEMA5.pdf>.
- [6] Saúl Cosme, “Proyecto de modernización de un tablero de protección de una línea de transmisión de 115 kV en la S/E Veracruz Dos”, Tesis de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Veracruzana, México, 2014.
- [7] Alberto Jacinto, “Software aplicado al análisis de selectividad en los estudios de coordinación de protecciones de sobre corriente EDDSEL”, Tesis de Ingeniería Eléctrica, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 2007.
- [8] Renzo T, Amando, “Protecciones Eléctricas”, 2da Edición, Bogotá, Colombia 2007.



Juan Guamán.- Nació en Latacunga Ecuador. Recibió el título de Ingeniero Eléctrico de la Escuela Politécnica Nacional en 2017. Trabaja en la empresa eléctrica de Riobamba en el departamento de Planificación. Sus áreas de interés son

protecciones e instalaciones eléctricas.



Fabián Pérez Yauli.- Nació en Ambato Ecuador. Recibió el título de Ingeniero Eléctrico de la Escuela Politécnica Nacional en 2004, y el de doctor en Ingeniería Eléctrica en la Universidad Nacional de San Juan Argentina en 2013. Actualmente se desempeña

como docente titular a tiempo completo en la Escuela Politécnica Nacional. Sus áreas de interés son protecciones y procesamiento de señales.



Jorge Estrada Centeno.- Nació en Quito Ecuador. Recibió el título de Ingeniero Eléctrico de la Escuela Politécnica Nacional en 2001. Trabaja en la Corporación Nacional de Electricidad CNEL EP - Unidad de Negocio Sucumbíos. Sus áreas de interés son operación, diseño, construcción y fiscalización

de proyectos eléctricos de distribución y subtransmisión.