

Análisis de topología de red para reducir niveles de cortocircuito en un nodo de transmisión

Pablo Marelli

*Universidad Tecnológica Nacional,
Facultad Regional Santa Fe, Argentina
pamarelli@frsf.utn.edu.ar*

Resumen

En Argentina las inversiones en las redes de transporte presentan serios retrasos en contraposición con el crecimiento sostenido de la demanda. Como solución alternativa se busca inyectar potencia de generación en los nodos existentes. Surge el problema entonces de incrementos en las potencias de cortocircuito en aquellos nodos, donde se combinan elevada capacidad de transformación y aporte de potencia de generación local. En este trabajo, se modela la red de transmisión del nodo Santo Tomé y se evalúan todas las posibles alternativas de configuración de barras, seleccionando aquella que favorezca a la reducción de los niveles de cortocircuito.

Palabras clave: Cortocircuito; configuración; generación; carga.

Topology Analysis Network to Reduce Levels in a Short-Circuit Transmission Node

Abstract

In Argentina investment in transport networks have serious delays as opposed to sustained demand growth. As an alternative solution seeks to inject power generation in the existing nodes. The problem then arises of increases in short-circuit powers in the nodes where high processing

capacity and supply local power generation combined. In this paper, the transmission network node is modeled Santo Tomé and all possible alternatives are evaluated bar settings, selecting the one that favors the reduction of short-circuit levels.

Keywords: Short-circuit; configuration; generation; load.

INTRODUCCIÓN

La planificación, el diseño y la operación de los sistemas eléctricos de potencia, requiere de minuciosos estudios para evaluar su comportamiento, confiabilidad y seguridad. Entre los estudios típicos que se realizan se destaca el cálculo de cortocircuito, siendo esencial para proyectar muchos de los requerimientos técnicos que exige una red eléctrica.

Un estudio de cortocircuito tiene la finalidad de proporcionar información sobre corrientes y voltajes en un sistema eléctrico durante condiciones de falla. Las dimensiones de una instalación eléctrica y de los materiales que se instalan, así como la determinación de las protecciones de las personas y bienes, precisan el cálculo de las corrientes de cortocircuito en cualquier punto de la red. En general, un estudio de cortocircuito sirve para determinar el poder de ruptura de los interruptores, dimensionar las mallas de puesta a tierra, realizar estudios térmicos y dinámicos que consideren los efectos de las corrientes de cortocircuito en algunos elementos de las instalaciones tales como barras o cables y realizar la coordinación de los dispositivos de protección. Es de suma utilidad para sistemas de protección en redes de distribución, en la cual su performance depende del valor de la corriente de cortocircuito ya que es un condicionante para determinar la confiabilidad y selectividad de los dispositivos (Jin, *et al.*, 2011). También en menor número, estimar el grado de sollicitación que es producido en máquinas de gran preponderancia en el sistema, como puede ser el caso de los transformadores de potencia (Hyun, *et al.*, 2012).

En Argentina las inversiones en las redes de transporte de 500 [kV] presentan serios retrasos en contraposición con el crecimiento sostenido de la demanda, con tasas promedio del 4% interanual. Entonces, ante la ausencia de nueva infraestructura proyectada en estaciones transformadoras (ET) de 500/132 [kV] y líneas de 500 [kV], resulta necesario potenciar los nodos existentes e instalar centrales de generación de energía de mediana y gran potencia en cercanías de los centros más importantes

de consumo; de modo de evitar saturaciones y condiciones de inestabilidad en la red de Transporte.

Por otro lado, es una tendencia cada vez más habitual el uso de energías distribuidas. El aumento del consumo mundial de electricidad y la nueva legislación “Verde” exigen el suministro descentralizado con plantas como las de biogás, micro-turbinas hidroeléctricas o eólicas junto con un alto grado de interconexión e integración de la red principal de distribución de energía. Ambos enfoques contribuyen al aumento de la corriente de cortocircuito dentro de los sistemas de distribución y transmisión (Hartung y Schmidt, 2009).

Surge el problema entonces de incrementos importantes en las potencias de cortocircuito (Scc) establecidas en aquellos nodos de 132 [kV] de la red, donde se combinan elevada capacidad de transformación instalada y aporte importante de potencia proveniente de generación local. Tal es el caso que se presenta en la ET de “Santo Tomé” 500/132 [kV] (ET STO) con 900 [MVA] de potencia de transformación instalada y la ET “Brigadier López” de 132/33/13,2 [kV] (ET BL), ambas con configuración en 132 [kV] de doble barra con acople transversal. En el corto plazo, se prevé el ingreso en servicio de una central térmica (CT) de ciclo combinado y otra CT de gas que inyectarán una potencia total de 470 [MW] en barras de 132 [kV] de dicho nodo. Para esta situación, se estima que los niveles de cortocircuito en barras de 132 [kV] superarán la capacidad de admisible de cortocircuito del nodo (5000 MVA).

En este contexto, a partir de la utilización de un software específico de sistemas eléctricos de potencia, se estudian los niveles de fallas en barras de 132 [kV] con la nueva generación de la CT de ciclo combinado Brigadier López (CT BL), como también el impacto producido en barras de la ET STO y ET BL. A partir de los resultados obtenidos, se adoptan las configuraciones de barras y conexión de generación más beneficiosa que evite niveles de fallas superiores a los admisibles y que permitan solucionar la problemática sin mayores efectos adversos sobre la confiabilidad y calidad de suministro. Se simulan para cada alternativa, los flujos de carga en estado estacionario con el propósito de verificar que no se produzcan sobrecargas en líneas y equipamientos del sistema.

1. METODOLOGÍA

Se determinan los niveles de cortocircuitos y flujos de carga que se presentan con la generación actual del subsistema, más la generación proyectada de la generación distribuida de BL y TV BL. Este análisis se desarrolla para todas las configuraciones posibles de los esquemas de barras de 132 kV, tanto en la ET BL como en la ET STO.

Las simulaciones de flujos de carga tienen como finalidad verificar que no se produzcan sobrecargas en electroductos o tensiones fuera de las normales en barras del subsistema en estudio para cada esquema de configuración propuesto.

1.1. Descripción del Subsistema Eléctrico

El subsistema en estudio, se encuentra conformado en líneas generales por:

- CT BL con una TG de 280 [MW], vinculado a barras de 132 [kV] de la ET Pay Zumé (ET PAY) y ET STO.
- Central de generación distribuida (GD) “Vuelta de Obligado” (GD VO) con cuatro turbinas de gas de 25 [MW], que totalizan una potencia instalada de 100 [MW].
- CT “Renova” (CT REN) conectada a la barra de 132 [kV] de la ET “Río Coronda”, con una TV de 190 [MW].

Agua arriba, en el nivel de 500 [kV] de la ET STO, se ha reemplazado el resto del sistema por medio de un generador equivalente que auspicia de barra de referencia de tensión. Por otro lado, se ha tomado en consideración la generación futura que se prevé adicionar en el sector, más precisamente en el nodo de la CT BL, con el objeto de ampliar la capacidad de potencia instalada en dicho punto. En la Figura 1 se presenta el modelo del sistema de transmisión Río Coronda-Santo Tomé.

A partir del año 2015, se prevé cerrar el ciclo combinado, añadiendo a la salida de la TG una TV de una potencia nominal de 140 [MW]. La totalidad de esta generación, se conecta a la ET BL. Adicionalmente, lindante al predio de la CT BL, se ha planificado el emplazamiento de la GD Brigadier López de ENARSA (GD BL), conformada por dos TG de una potencia nominal de 25 [MW] cada una de ellas y conectadas en barras de 132 [kV] de la ET BL.

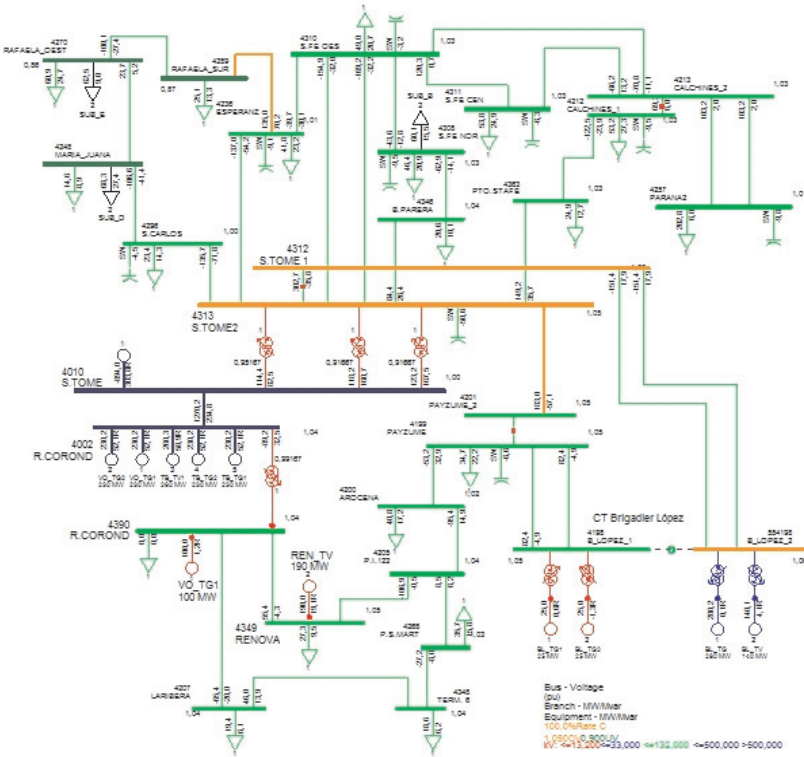


Figura 1. Modelado del Subsistema Santo Tomé-Río Coronda 500/132 kV

Consecuentemente, la potencia total prevista adicionar a la ET BL, alcanza los 470 [MW]. En la Figura 2 se muestra con mayor detalle, la generación actual y futura de la CT BL.

La ET BL posee una configuración de doble barra con interruptor de acoplamiento transversal. La evacuación de la potencia generada al sistema se realiza por intermedio de cuatro líneas de 132 [kV]. Dos de ellas conectadas entre una de sus barras “B_LOPEZ_1” y la ET Pay Zumé de 132/33/13,2 [kV] (ET PAY). La dos restantes conectadas entre la segunda barra “B_LOPEZ_2”, y la ET STO.

Otra de las configuraciones de red a estudiar corresponden a la ET STO, conformada por tres transformadores de 500/132 [kV] y configuración de barras similares a las de la ET BL, es decir, doble barra con interruptor de acoplamiento transversal (Figura 3).

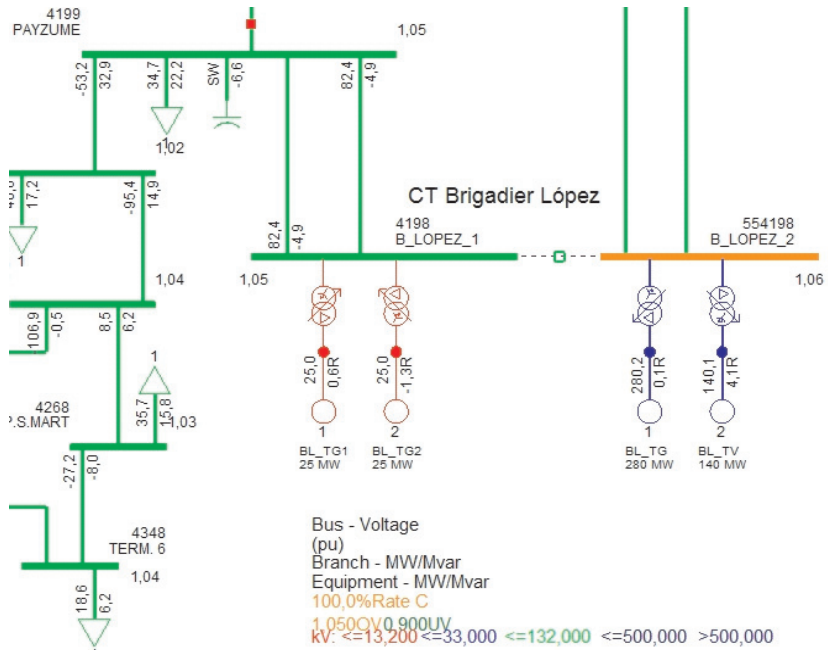


Figura 2. Detalle del Modelado de la CT BL y GD BL vinculadas a la ET BL.

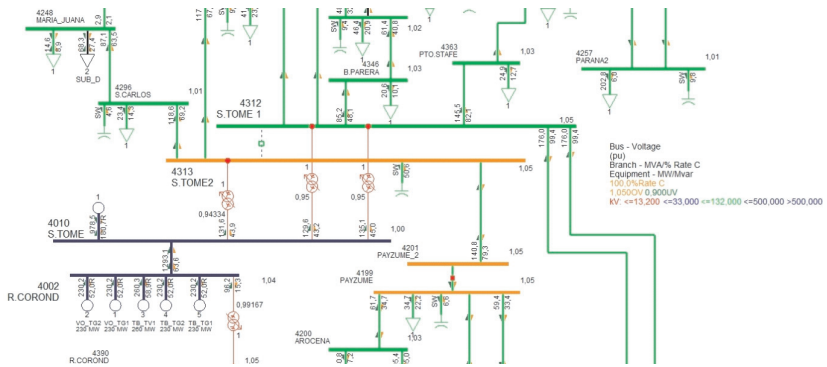


Figura 3. Detalle de la ET Santo Tomé.

1.2. Hipótesis Adoptadas para el Estudio

La distribución de cargas en cada una de las barras de 132 [kV] de la ET STO, se ha realizado adoptando como premisa la ausencia de sobrecargas y distribución de flujos de potencia lo más uniforme posible en electroductos y transformadores de potencia (Figura 4). Al mismo tiempo se prevé regular la tensión en corredores radiales de gran longitud, por lo que se intentan agrupar los enlaces de salida de este tipo de redes en una barra de la ET STO y en la barra restante, aquellas líneas de corta longitud que abastece generalmente la red urbana y suburbana correspondiente a la ciudad de Santa Fe y zonas aledañas.

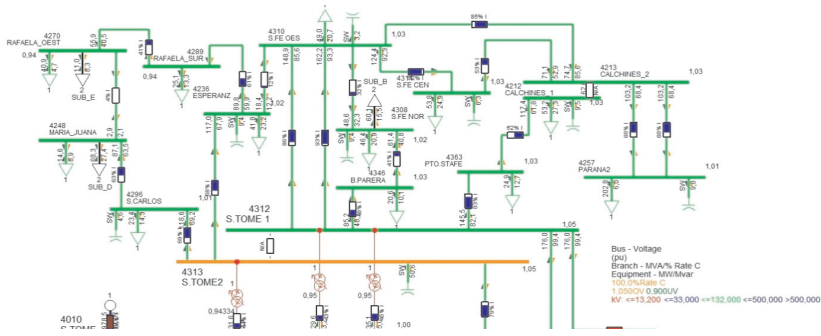


Figura 4. Distribución de Cargas ET STO. Flujo de Cargas en el Subsistema

El límite adoptado como máximo admisible de falla es de 5000 [MVA], el cual resulta ser el poder de corte último (Pcu) que soporta un interruptor estándar de 132 [kV]. Es comúnmente conocido, que en los sistemas de distribución de potencia el valor de la componente de corriente continua es prácticamente cero para los puntos de falla distantes de la subestación (redes de media tensión), por lo que el factor de asimetría de la corriente de falla puede despreciarse, ocurriendo todo lo contrario en los sistemas de transmisión o subtransmisión (Ramos *et al.*, 2012). Es por ello que para el análisis de las solicitaciones a las que son sometidos los equipamientos en caso de falla, se estima la corriente de cortocircuito inicial asimétrica.

El crecimiento de las redes en cuanto a generación de energía y aumento de redes en malla, hace que las corrientes de cortocircuito fase a tierra se incrementen en mayor medida respecto a las trifásicas (Liang *et al.*, 2011). Por esta razón, en este estudio se determinan las potencias de falla tanto trifásica como monofásica (S''_{K3} y S''_{K1}). Además se supone que el interruptor es sometido a la corriente total en el punto de falla, es decir, se tiene en cuenta la sumatoria de cada una de las contribuciones a esa falla, criterio que intenta inclinarse por el lado de la seguridad de la instalación.

Para el análisis de flujos de carga se verifica la premisa de que no se superen las potencias nominales de los equipamientos y que las tensiones se encuentren dentro de los márgenes operativos permitidos (+/-7 [%] de la tensión nominal, según anexo 27 de Cammesa). Las tensiones en barras de ET STO y CT BL se fijan en un valor de 1,05 [pu].

2. RESULTADOS

En primer lugar se realiza el estudio de la CT BL. El propósito es determinar, cuáles son los esquemas de operación factibles, que no provocan niveles de cortocircuito y flujos de cargas inadmisibles. Una vez estipulados los esquemas de configuración de barras operativos de la CT BL, se analizan las configuraciones en barras de la ET STO. En la Tabla 1 se resumen los resultados obtenidos para cada escenario de operación de la CT BL.

Tabla 1. Resultados de Magnitudes de Fallas y Flujos de Cargas en CT BL.

Caso	CT Brigadier López					Falla en Barra B_López_I [MVA]		Falla Barra B_López_II [MVA]		Flujo de Carga
	Barra Desac.	TG en BL I	TV en BL I	TGD1 en BL I	TGD2 en BL I	3F	1F	3F	1F	
1	No	Sí	Sí	Sí	Sí	5879,5	5204,7	N/A ¹	N/A ¹	Cumple
2	Sí	Sí	No	Sí	Sí	3821,1	2478,4	4323,4	2870,3	No Cumple
3	Sí	Sí	Sí	No	Sí	4236,7	4516,0	3907,7	3085,4	No Cumple
4	Sí	Sí	No	No	No	3613,1	1942,2	4522,1	3278,5	No Cumple
5	Sí	Sí	Sí	No	No	4131,8	3468,2	4006,7	3121,8	No Cumple
6	Sí	No	Sí	No	No	3232,6	3009,0	4862,0	4778,8	Cumple

Tabla 1 (Continuación)

Caso	CT Brigadier López					Falla en Barra B_López_I [MVA]		Falla Barra B_López_II [MVA]		Flujo de Carga
	Barra Desac.	TG en BL I	TV en BL I	TGD1 en BL I	TGD2 en BL I	3F	1F	3F	1F	
7	Sí	No	No	Sí	No	2785,6	2130,9	5214,2	4990,6	No Cumple
8	Sí	No	Sí	Sí	No	3340,4	3246,4	4770,1	4724,3	No Cumple
9	Sí	No	No	Sí	Si	2897,2	2456,0	5131,8	5341,4	No Cumple

Nota 1: No aplicable (N/A).

Se observa, que la única configuración permitida que cumple con los requisitos de cortocircuito y flujos de carga es la del caso 6 (Figura 5), que contempla la operación de la ET BL con barras desacopladas y con los siguientes circuitos de inyección de potencia:

- TG BL (280 MW): B_LOPEZ_1 – PAYZUME – S.TOME_2
- TV BL (140 MW) y GD TG (50 MW): B_LOPEZ_2 – S.TOME_1

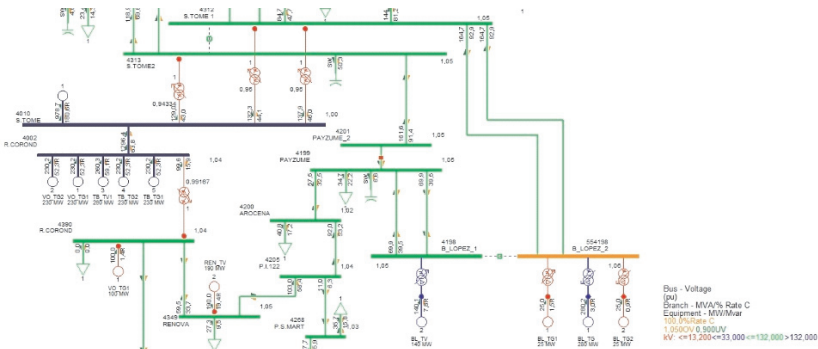


Figura 5. Esquema de operación normal de la CT BL.

A partir de este resultado, se procede a estudiar la ET STO. En este sentido, ya obtenida la configuración que va a ser implementada para la operación normal de la CT BL, se determinan las configuraciones que no provocan inconvenientes operativos en la ET STO.

Se realizan los estudios de cortocircuitos en barras de la ET STO, con la configuración obtenida para la CT BL. Para dicho escenario, se estudiaron los diferentes esquemas de configuraciones en barras de 132 [kV]. Se simulan las condiciones de operación, tanto con el interruptor de acoplamiento cerrado (barras acopladas) como abierto (barras desacopladas). En la Tabla 2, se resumen los resultados obtenidos para todas las combinaciones de configuraciones posibles.

Tabla 2. Resultados de Magnitudes de Cortocircuitos y Flujos de Cargas en ET BL

Caso	ET Santo Tomé			Falla Barra 4312 [MVA]		Falla Barra 4313 [MVA]		Flujo de Cargas	
	Barra Desac.	T1ST en 4312	T2ST en 4312	3F	1F	3F	1F		
1	No	No	Si	Si	6988,1	6937,6	6988,1	6937,6	Cumple
2	Si	No	Si	Si	5166,2	5030,2	3159,7	2924,0	Cumple
3	Si	Si	No	No	3596,6	3422,0	4746,6	4551,7	Cumple

Como se observa, de todos los esquemas de configuración de barras propuestos, el caso 3 es el único que arroja un resultado favorable. En la Figura 6, pueden observarse las configuraciones que se obtienen finalmente a partir de las simulaciones para las ET STO y CT BL.

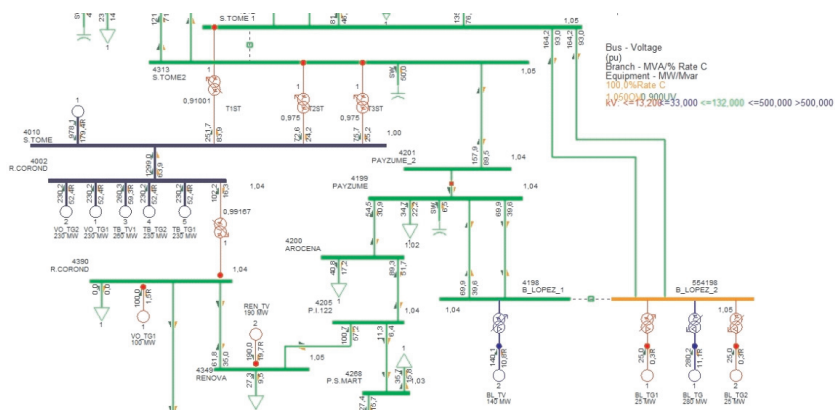


Figura 6. Esquemas finales de configuración en barras de ET BL y ET STO.

Si bien para esta configuración no se producen niveles de fallas excesivos ni sobrecargas en líneas, el transformador T1ST se encuentra con muy poco margen de reserva (Figura 7). Con el objeto de mitigar dicho inconveniente, puede optarse por vincular la ET PAY en la barra S.TOME1, lo que alivia la carga del T1ST (Figura 8).

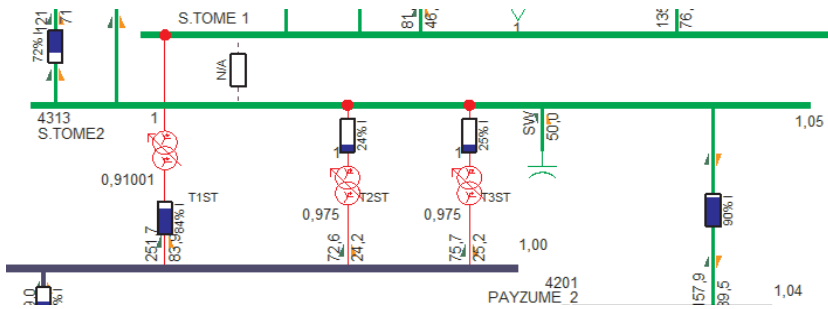


Figura 7. Cargas en Transformadores de la ET STO para configuración del caso 7.

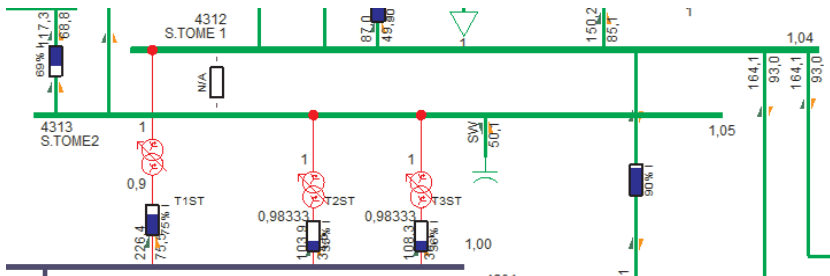


Figura 8. Reducción de carga en Transformador T1ST de la ET STO.

A su vez, se simulan las corrientes de cortocircuito para estas condiciones. Los resultados arrojados son los siguientes:

- Barra S. Tomé 1: $S''''_{K3}=4325,1$ [MVA] y $S''''_{K1}=4133,2$ [MVA].
- Barra S. Tomé 2: $S''''_{K3}=4022,6$ [MVA] y $S''''_{K1}=3843,6$ [MVA].

3. CONCLUSIONES

Se obtuvieron las configuraciones de barras y distribución de generación que más favorecen a la atenuación de los niveles de niveles de fallas transversales, como así también la distribución de cargas que contribuya a la disminución y reparto de cargas en líneas y equipamientos.

En la ET STO, la configuración finalmente obtenida es la de barras desacopladas con el T1ST conectado en la barra S.TOME1 y los transformadores T2ST y T3ST conectados en la barra S.TOME2.

En lo que respecta a la ET BL, se escoge la configuración de barras desacopladas como en el caso de la ET STO. En la barra BLOPEZ1 se conecta únicamente la nueva TV proyectada de 140 [MW]. En la otra barra BLOPEZ2 se conecta la nueva generación proyectada conformada por las dos TG de 25 [MW] cada una y la TG de existencia actual de 280 [MW], todas ellas propiedad de ENARSA.

Se ha modificado la distribución de cargas base en la ET STO, para mejorar sus condiciones operativas. En este sentido, se ha demostrado que conectando la ET PAY en la barra S.TOME1 se produce un mejoramiento de la distribución en las cargas de los tres transformadores de la ET STO, al mismo tiempo que se alivia la carga en el T1ST en un 9 [%] (de 84 [%] a 75 [%]). También se logra una disminución del nivel de falla en la barra S.TOME2, desde 4746,6 [MVA] a 4022 [MVA].

Referencias Bibliográficas

- HARTUNG, K.-H. 2009. "Limitation of short circuit current by an IS-limiter". In **Electrical Power Quality and Utilisation, EPQU 2009**. 10th International Conference on, pp. 1-4, 15-17.
- HYUN-MO, A. 2012. "Experimental Verification and FiniteElementAnalysis of Short-CircuitElectromagneticForceforDry-TypeTransformer". **Magnetics**, IEEE Transactionson (págs. 819-822). Boulder, IEEE. USA.
- JIN, Q. 2011. "A study on capacity of distributed generation and its effect on short circuit current at micro-grid operation mode". **Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT)**, 1 4th International Conference, pp. 1109-1112. Weihai, IEEE. Shandong.

- LIANG, J. 2011. "Effecton on Short-Circuit Current Limit of 500kV Auto-transformer Neutral Groundingvia Small Reactance". **Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)**, 2011 Asia-Pacific, pp. 25-28. IEEE. Wuhan.
- RAMOS, M. 2012. "Analysis of short-circuit asymmetrical currents in power distribution systems". **Universities Power Engineering Conference (UPEC)**, 2012 47th International, pp. 1, 6, 4-7. IEEE. London.