



XVI ERIAC  
DECIMOSEXTO ENCUENTRO  
REGIONAL IBEROAMERICANO DE CIGRÉ

17 al 21 de mayo de 2015



### Comité de Estudio B3 - Subestaciones

## ESTUDIO DE SOLICITACIONES EN SECCIONADORES DE UNA ESTACION MIXTA AIRE-GIS ANTE LA TRANSFERENCIA DE CARGA ENTRE BARRAS

**R. E. BIANCHI LASTRA**  
IITREE-FI-UNLP  
Argentina

**L. J. CATALANO**  
IITREE-FI-UNLP  
Argentina

**M. D. DEL POZO**  
IITREE-FI-UNLP  
Argentina

**R. E. ÁLVAREZ**  
IITREE-FI-UNLP  
Argentina

**A. G. GIOSEFFI**  
EDESUR S.A  
Argentina

**L. F. DRUKER**  
EDESUR S.A  
Argentina

**Resumen** – En este trabajo se presenta un caso real de funcionamiento que demuestra las exigencias a las que se ven sometidos los seccionadores que realizan transferencia de carga entre barras en una estación mixta aire-GIS en 132 kV.

El objetivo del trabajo fue evaluar la hipótesis presentada por el fabricante, a fin de corroborar o desestimar las causales señaladas para la falla. Para ello, además del análisis de la respectiva normativa internacional, se realizaron simulaciones para determinar el nivel de solicitaciones que se originan, ante la operación de seccionadores en el paralelo de barras y traspaso de carga, para las condiciones de funcionamiento que posee la estación.

Se implementaron modelos circuitales y cálculos que explican los fenómenos que suceden ante estas maniobras.

En este caso se registran deterioros en los aparatos de seccionamiento que tienen su origen en un funcionamiento anómalo, atribuible a solicitaciones no contempladas en la estación donde estuvieron instalados.

**Palabras clave:** Seccionadores – Transferencia de carga – estaciones mixtas aire - GIS.

## 1 INTRODUCCIÓN

Por lo general las estaciones con dos o más juegos de barras poseen una gran versatilidad de operación al disponer tantos nodos eléctricos como barras. Dependiendo de condiciones particulares de la operación, originadas por requerimientos de la red (flujo de carga, niveles de cortocircuito, mantenimiento, indisponibilidad de equipamiento, etc.), resulta necesario cambiar las conexiones de campos (líneas, transformadores, generadores, etc.) y barras según sea conveniente. En redes modernas la continuidad de servicio es una premisa de cumplimiento obligatorio. Es decir que los cambios de configuración de la estación deben realizarse en servicio y bajo carga.

Para la transferencia de carga entre barras de una estación se utilizan interruptores de acoplamiento y seccionadores. Estos últimos deberán respetar requisitos especiales, para cumplir exitosamente esta tarea durante su vida.

### 1.1 Interrupción de corriente por medio de seccionadores

La norma 62271-1:2007 [1], define a un seccionador como:

*“Aparato mecánico de conexión que, por razones de seguridad, en posición abierto asegura una distancia de seccionamiento que satisface unos requisitos especificados.”*

*NOTA: Un seccionador es capaz de abrir y cerrar un circuito cuando es despreciable la corriente a interrumpir o establecer, o bien cuando no se produce un cambio apreciable en la tensión en los bornes de cada uno de los polos del seccionador. Es también capaz de soportar corriente en las condiciones normales del circuito, así como durante un tiempo especificado en condiciones anormales tales como las de cortocircuitos”.*

Durante el proceso de interrupción de la corriente, es sabido que si en el instante en que la corriente pasa por cero la tensión entre sus contactos es superior a un valor determinado, la corriente no se interrumpirá en ese instante, debiendo esperar hasta el siguiente paso por cero. Este fenómeno se ve acentuado si la velocidad de separación y el tiempo total de accionamiento no son los apropiados.

Consecuentemente, el proceso de interrupción se prolonga, y si los parámetros del arco, tensión y corriente, son superiores a los preestablecidos, se producirá una erosión no esperada de los contactos, con un daño acumulativo del dispositivo interruptor.

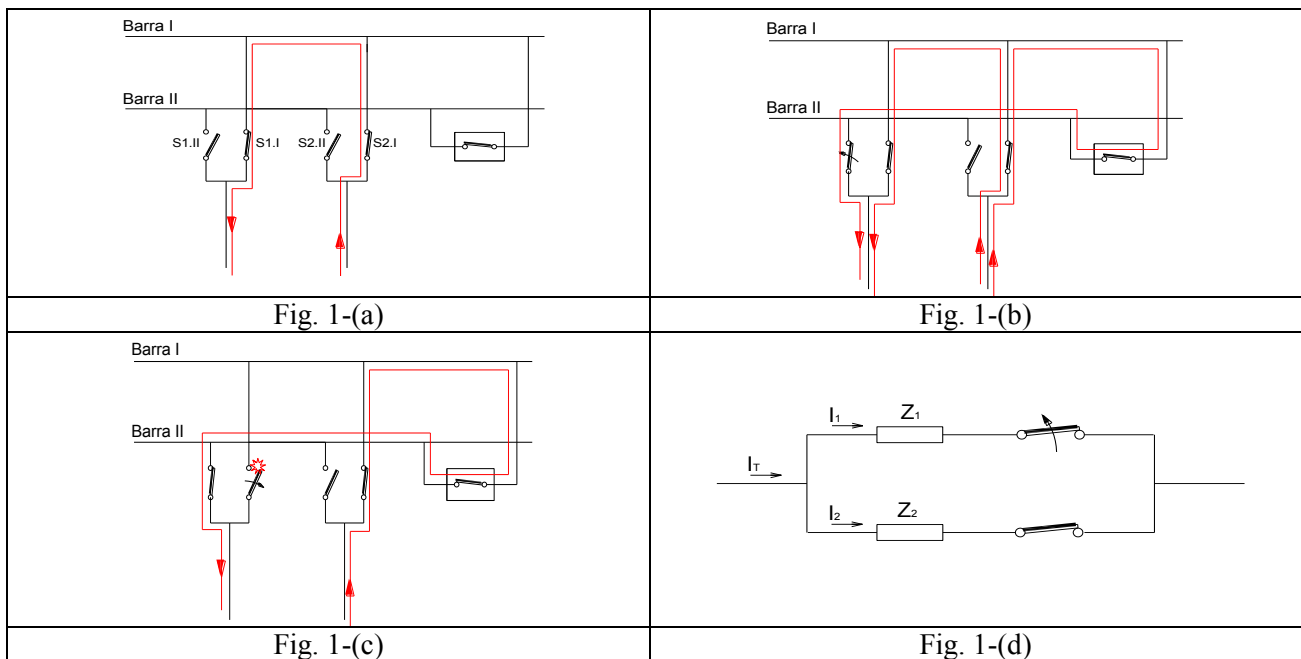
## 1.2 Transferencia de carga entre barras de una estación

Existen seccionadores especialmente diseñados para la maniobra de corrientes de transferencia de barras, en los cuales se especifica un valor asignado de la tensión entre contactos denominada de transferencia de barras o de establecimiento.

La tensión que aparece durante la transferencia de carga se debe a la caída de tensión producida por la corriente al pasar de un circuito a otro. Es un fenómeno estacionario de frecuencia industrial. En la Fig. 1 se muestra el diagrama de una estación con doble juego de barras donde se pretende transferir la carga de la Barra I a la Barra II.

En primer lugar la corriente circula por la Barra I y por los seccionadores S1.I y S2.I, Fig. 1-(a). Con el interruptor de acoplamiento cerrado se cierra el seccionador S1.II. En esa configuración la corriente tiene dos caminos, uno por la Barra I y el otro por la Barra II a través del interruptor de paralelo, Fig. 1-(b). Al abrirse el seccionador S1.I, Fig. 1-(c), la corriente circula completamente por la última alternativa. En el caso de estaciones eléctricas de potencia este camino puede incluir longitudes importantes de barras hasta el interruptor de paralelo, y puede presentar una impedancia tal que, multiplicada por la corriente que circula por él, imponga una tensión suficientemente grande para provocar arcos indeseables en el seccionador que abre.

En la Fig. 1-(d) se muestra el circuito equivalente que representa el fenómeno.



Esta tensión, como puede deducirse fácilmente, dependerá de la impedancia del lazo y de la corriente que circula. En el caso de la Fig. 1-(d) la tensión sobre el seccionador que abre será  $I_T Z_2$ , siendo  $Z_2$  la impedancia del lazo.

El efecto de esta tensión en los contactos dependerá del tipo de seccionador, de la velocidad de apertura, del medio de extinción de los arcos, etc. Comparando un seccionador GIS con uno en aire la velocidad de apertura para los de aire suele ser mayor pudiendo extinguir posibles arcos en tiempos más breves evitando así la degradación de los contactos. Por otro lado, en las instalaciones GIS, al ser más compactas, los lazos y por ende las inductancias son menores y las tensiones de transferencia de barra suelen ser pequeñas. Se presenta un problema cuando se construyen estaciones mixtas aire-GIS. En estos casos puede darse que aparezcan tensiones importantes debido a las grandes distancias de la instalación en aire, que sumado al mayor tiempo de apertura de los seccionadores de la GIS, producen una degradación importante de sus contactos.

### 1.3 Normativa

La norma IEC 62271-102:2003 [2] especifica corrientes y tensiones asignadas de transferencia de barras para estos seccionadores. La corriente de transferencia de barras asignada deberá ser el 80% de la corriente nominal asignada, pero no superará los 1.600 A. La tensión de transferencia de barras asignada dependerá de la tensión nominal y si es aislado en aire o en gas.

Además establece un ensayo de tipo para verificar el cumplimiento de esta propiedad. En resumidas palabras, propone la realización de 100 maniobras de cierre apertura. Estas maniobras deben realizarse imponiendo la corriente y la tensión asignada de transferencia de barras. Luego de estas 100 maniobras las funciones mecánicas y el aislamiento del seccionador deben mantenerse esencialmente en las mismas condiciones que antes del ensayo.

## 2 CASO ESTUDIADO

### 2.1 Estación eléctrica

Se presenta el estudio de la falla en un seccionador de la parte GIS de una estación mixta Aire-GIS. Esta estación vincula una Central Térmica con el sistema de distribución de 132 kV de la Ciudad de Buenos Aires. Además la misma estación es utilizada para la interconexión a otras subestaciones.

Está conformada por una parte antigua aislada en aire y otra más moderna aislada en gas hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>). La parte en aire posee 27 campos y una extensión aproximada de 250 metros, mientras que la parte en GIS posee 5 bahías en un edificio aledaño de 15 x 15 m.

El esquema es de triple barra con un interruptor por alimentador. Para realizar la transferencia de carga entre barras se dispone de un reactor que reduce el ángulo de desfasaje de ambas barras, completándose la transferencia a través de un interruptor de acoplamiento. La Fig. 2 muestra parte del diagrama unifilar de la estación donde se aprecia en el recuadro la parte GIS.

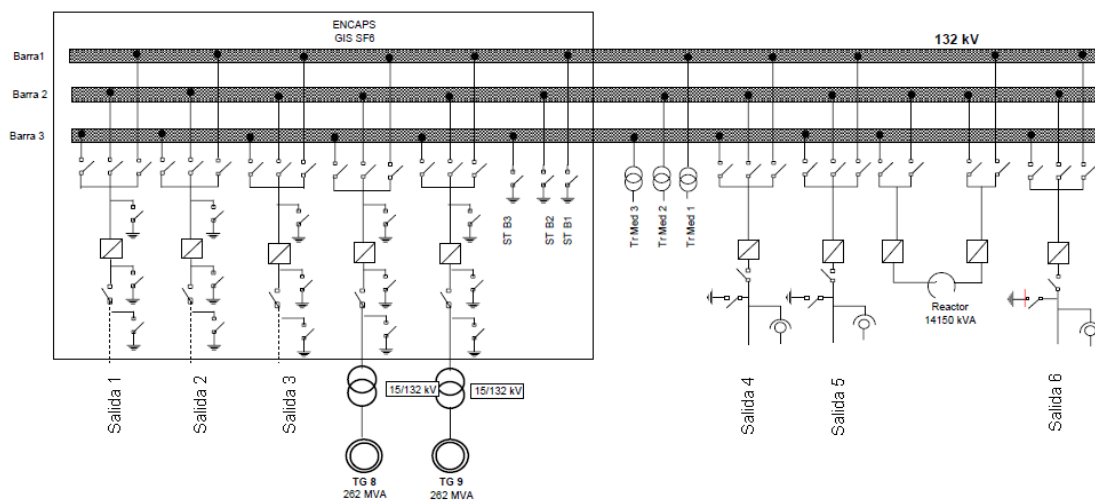


Fig. 2. Parte del diagrama unifilar de la estación

La sección GIS de la estación conecta con dos bahías a dos turbinas de gas del Ciclo Combinado de la Central Térmica y con otras tres bahías de salidas a través de cables se vincula al sistema de distribución de 132 kV de la Ciudad de Bs. As.

## 2.2 Descripción de la falla

Durante la maniobra de transferencia de carga entre las barras N°1 y N°3 de la estación, se produjo una explosión dentro del encapsulado de un seccionador de la parte GIS. El seccionador afectado vinculaba el cable alimentador de la Salida 1 con la Barra N°3. El evento provocó la salida de servicio de las tres barras de la estación.

En las inspecciones realizadas en el GIS por la empresa distribuidora se detectaron daños en el eje de accionamiento de la fase R del seccionador. Además pudo observarse erosión en los contactos de distintos seccionadores de las restantes bahías de la instalación GIS.

## 2.3 Hipótesis de falla

Una falla dieléctrica, seguida de un arco de potencia, se produjo por la rotura del eje aislante que acciona el contacto móvil de la fase R del seccionador de la Salida 1. La rotura se habría producido por la elevada fricción de los contactos, constatada por la alta erosión encontrada en la inspección. La Fig. 3 muestra el daño al seccionador mientras que en la Fig. 4 a) y b) se pueden ver los contactos luego de la inspección.



Fig. 3. Seccionador dañado



Fig. 4-(a). Contacto móvil fase R



Fig. 4-(b). Contacto fijo fase R

## 2.4 Comentarios

El fabricante del seccionador adujo que los seccionadores no estaban preparados para este tipo de maniobras. El mismo presentó un estudio de la falla en el documento “*Investigation report for Mitsubishi 132 kV GIS Failure at Costanera Substation*” [3].

En la especificación técnica del equipamiento queda implícita la transferencia de carga entre barras pero no se solicita explícitamente cumplimiento de dicha propiedad. Es oportuno recalcar la necesidad de especificar correctamente los seccionadores incluyendo, dentro de las características convencionales, si será usado para la transferencia de carga y el cumplimiento de normas internacionales como la IEC 62271-102 [2].

El usuario del equipamiento deberá establecer operaciones posibles, calculando la máxima tensión que aparecerá en bornes del seccionador para cada caso en el momento de la transferencia de carga, y entonces, evitar imponer condiciones en servicio no contempladas para el equipamiento. También se podría acordar con el proveedor características especiales para soportar condiciones más exigentes y determinar soluciones operativas para no superar los valores máximos que el proveedor establezca para el equipamiento.

## 3 SIMULACIONES REALIZADAS

Si bien la impedancia de las barras en aire y SF<sub>6</sub> pueden calcularse con aceptable precisión, la corriente en cada tramo depende fuertemente del estado de carga del esquema de barras y de la configuración de la estación, es decir, a que barra se conecta cada salida, y cada generador, para lo cual existen múltiples configuraciones posibles.

La tensión de establecimiento entre contactos del seccionador que abre, es la suma de los productos de la corriente por la impedancia de cada tramo de barra existente entre los campos de las subestación (en aire y SF<sub>6</sub>), en el trayecto en paralelo con los contactos abiertos del seccionador.

La tensión de transferencia de barras  $U$  se puede calcular en forma simplificada como:

$$U = \omega L \times I$$

Donde  $L$  es la inductancia del camino que recorre la corriente  $I$ .

Para calcular la inductancia de las barras de SF<sub>6</sub>, se asume la impedancia característica  $Z_c = 80 \Omega$  y la velocidad de propagación  $v = 266.700 \text{ km/s}$ , con lo cual resulta  $l_{\text{SF}_6} = 0,3 \mu\text{H/m}$ , mientras que para la inductancia de las barras en aire se asume  $Z_c = 300 \Omega$  y  $v = 300.000 \text{ km/s}$ , resultando  $l_{\text{aire}} = 1,0 \mu\text{H/m}$ .

En la Fig. 5 se muestran las distancias que son consideradas en el cálculo.

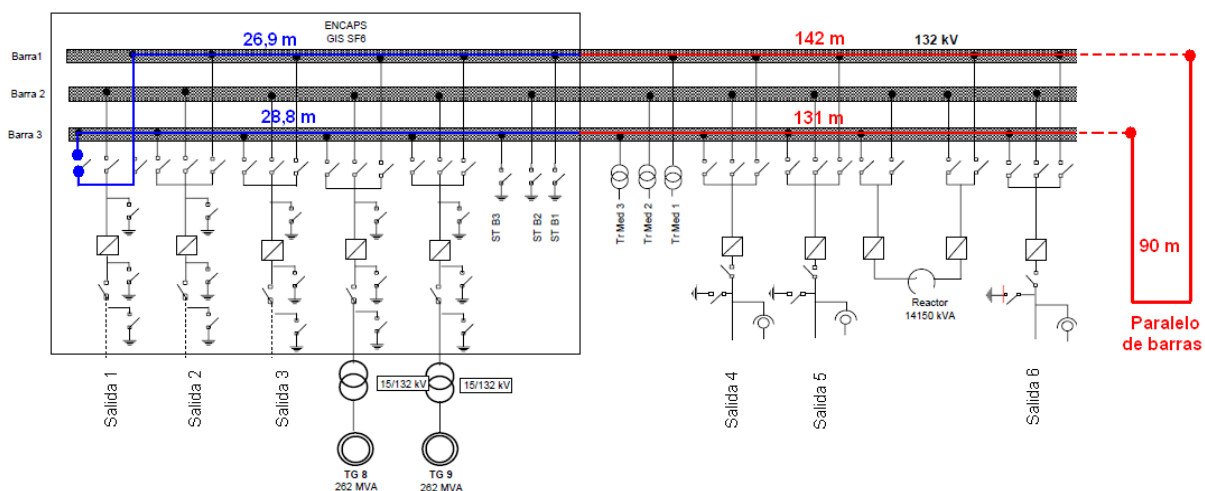


Fig. 5. Esquema de la estación y las distancias involucradas

Longitud del trayecto en SF<sub>6</sub> = Barra I + Barra III = 55,7 m

Longitud del trayecto en aire = Barra I + Barra III + paralelo = 364 m

Se considera una corriente de 1.000 A, coincidente con la corriente de transferencia de barras que asigna la norma [2] correspondiente al 80% del valor de la corriente nominal (1.250 A para el seccionador estudiado). Para la misma se obtiene:

Tensión de transferencia de barras en valor eficaz:

Debido al trayecto en SF<sub>6</sub> = 55,7 m × 0,3 μH/m × 2π × 50 Hz × 1.000 A = 5,25 Vef

Debido al trayecto en aire = 364 m × 1,0 μH/m × 2π × 50 Hz × 1.000 A = 114,35 Vef

TOTAL = 119,6 V eficaces

Esta tensión resulta muy por encima de los 10 V que el Anexo B de la Norma [2], especifica como tensión asignada de transferencia de carga entre barras para un seccionador GIS de 145 kV.

Se observa que prácticamente toda la tensión de establecimiento entre contactos se debe a la caída de tensión en la reactancia de barras del trayecto en aire del circuito, por lo que es importante considerar la longitud real de este trayecto.

Invirtiendo el orden del cálculo, y para este caso en particular, si se quiere que la tensión de transferencia de barras no supere los 10 V eficaces la corriente de referencia por las barras luego de la apertura del seccionador no debe superar los 83 A.

Dadas las características de la estación, es improbable encontrar una configuración en donde se logre este valor de corriente, y en caso de existir, seguramente significaría restringir severamente la operación de la estación.

#### 4 ANÁLISIS DE POSIBLES SOLUCIONES

Se ha visto que la mayor parte de la tensión de establecimiento entre contactos, se debe a la circulación de la corriente por el trayecto en aire de las barras.

Por ende resulta de vital importancia reducir tanto la corriente, como la longitud del trayecto en aire. Sin embargo no es posible actuar sobre la corriente dado que está en gran medida impuesta por la generación y las demandas abastecidas por la estación.

Una solución que se plantea entonces es reducir la longitud del trayecto, “acercando” el paralelo de barras a la estación aislada en SF<sub>6</sub>.

Las posibilidades son:

- a) Agregar una bahía de paralelo de barras en la estación de SF<sub>6</sub>. Esta solución es seguramente la más costosa.
- b) Reubicar el paralelo de barras, intercambiando su posición con la primera salida más cercana a la estación de SF<sub>6</sub>. Esto implica una obra de ingeniería que involucra costos e indisponibilidades en la estación. La longitud del trayecto correspondiente al paralelo de barras sería igual al actual, aproximadamente 91 m.
- c) En lugar de utilizar el paralelo de barras “normal”, se podría acortar el trayecto cerrando además los seccionadores de barra de la primera salida adyacente a la estación de SF<sub>6</sub>. Esto no implica la realización de una obra de ingeniería, sino en un cambio en los procedimientos de operación de la estación. La longitud del paralelo hecho con los seccionadores resulta de aproximadamente de 42 m (38 m de distancia entre Barra I y III, más 4 m aproximadamente de conexionado). Esta alternativa se muestra gráficamente en la Fig. 6.

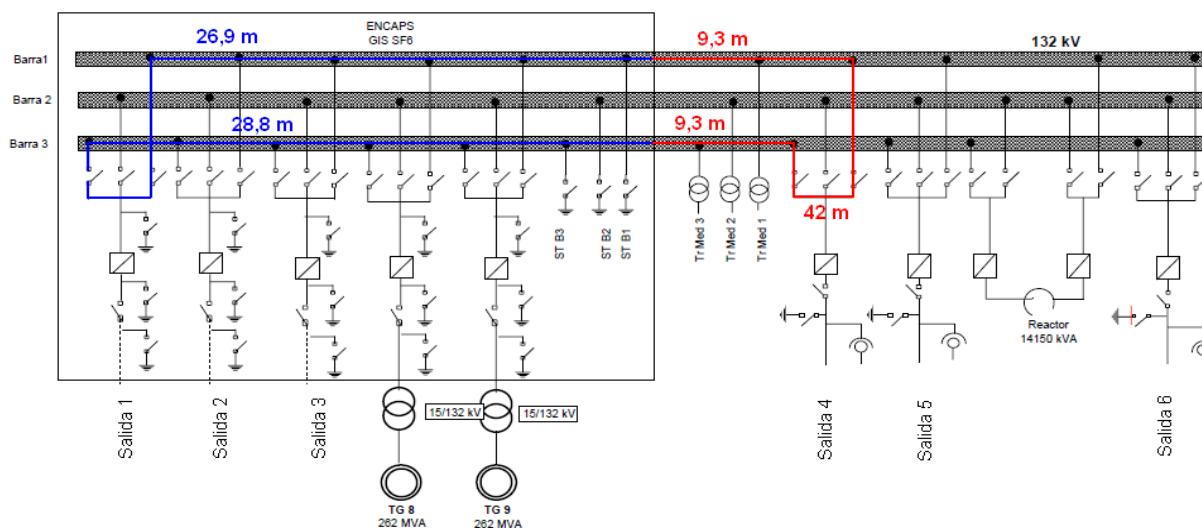


Fig. 6. Alternativa c) usar el seccionador más próximo a la parte GIS.

Adoptando la alternativa c), que es la de más rápida implementación y de menor costo, y recalculando la tensión de transferencia

Longitud del trayecto en SF<sub>6</sub> = Barra I + Barra III = 55,7m

Longitud del trayecto en aire = Barra I + Barra III + paralelo = 60,6m

Para una corriente de referencia de 1.000 A, se obtiene:

Tensión de transferencia de barras en valor eficaz:

Debido al trayecto en SF<sub>6</sub> =  $55,7\text{m} \times 0,3 \mu\text{H/m} \times 2\pi \times 50 \text{ Hz} \times 1.000 \text{ A} = 5,3 \text{ Vef}$

Debido al trayecto en aire =  $60,6\text{m} \times 1,0 \mu\text{H/m} \times 2\pi \times 50 \text{ Hz} \times 1.000 \text{ A} = 19,0 \text{ Vef}$

TOTAL = 24,3 V eficaces

De esta forma y haciendo los cálculos, para que la tensión de establecimiento no supere los 10 V, la corriente debe ser inferior a 412 A. Esto implica que, si sólo está conectado un cable en una de las barras y se lo desea transferir a otra barra, la demanda que abastece ese cable no debe ser superior a 94 MVA, para que la tensión entre contactos no supere los 10 V y se opere el seccionador de SF<sub>6</sub> dentro de los establecido por la norma IEC 62271-102 [2].

Esta condición puede cumplirse fuera de pico solo para la Salida 1 pero es improbable para el resto de las bahías en particular para las correspondientes a las turbinas de gas que operan normalmente a plena potencia. Por lo tanto, si bien con esta alternativa se reduce substancialmente el valor de la tensión de transferencia de barras, aún se estaría operando en condiciones no recomendadas en [2]. La misma conclusión puede aplicarse a la alternativa b). Queda la posibilidad que los seccionadores a instalar sean garantizados con otros valores de tensión y corriente distintos a los normalizados, según un acuerdo entre usuario y fabricante, lo cual está previsto en [2]. Si por el contrario se pretende cumplir con los valores indicados en la norma, la solución es agregar una bahía de paralelo de barras en la estación GIS.

## 5 CONCLUSIONES

Quedan evidenciados en la falla investigada los requerimientos especiales que tiene los seccionadores utilizados en maniobras de transferencia de carga entre barras. Más aún se manifiesta esta exigencia cuando la estación posee partes en aire y partes GIS. Por lo general, esta combinación de tecnología se da por la falta de espacio ante una ampliación de la estación. En cuyo caso se deberá analizar con detalle las tensiones que pudieran aparecer cuando se realizan estas maniobras.

Las simulaciones realizadas para este caso establecieron que en bornes de los seccionadores GIS al momento de transferir carga aparecían tensiones del orden de los centenares de voltios. Estas tensiones resultan mucho más elevadas que la tensión propuesta en [2] como tensión de transferencia de barras asignada para un seccionador GIS de 145 kV.

## **6 REFERENCIAS**

- [1] IEC “Aparata de alta tensión. Parte 1: Especificaciones comunes” Publicación 62271-1:2001.
- [2] IEC “Aparata de alta tensión. Parte 102: Seccionadores y seccionadores de puesta a tierra de corriente alterna”. Publicación 62271-102:2003.
- [3] “Investigation report for Mitsubishi 132 kV GIS Failure at Costanera Substation”. Mitsubishi Electric Corporation. Transmission and Distribution System Center. Feb 2009. HBN-E6348-A