



Perturbaciones que Ocasionaron el Colapso del Sistema Eléctrico Nacional Paraguayo 2009 – Análisis

Victor R. Paredes E.

Entidad Binacional Yacyretá

Paraguay

RESUMEN

En este trabajo se analizó la perturbación ocurrida en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional Brasileño (SINB) el 10 de noviembre de 2009, a las 20:13 p.m. (22:13 p.m. hora de Brasilia, DF.), causando la interrupción del 40% de su demanda, y como consecuencia afectando a gran parte del sistema eléctrico paraguayo. Después de unos minutos, en la Central Hidroeléctrica de Yacyretá (CHY) operando con las 20 Unidades Generadoras, ocurrió un desprendimiento de un conductor en una de las torres de la fase R apoyándose en la fase S de una de las dos Líneas de Transmisión (LT) de 220 kV que conectan al sistema sur del Sistema Eléctrico Interconectado Paraguayo (SINP), ocasionando un corto circuito bifásico a tierra.

Esta perturbación no afectó al Sistema Argentino de Interconexión (SADI) [1].

PALABRAS CLAVES

Colapso, SINP, SADI, SINB.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Una breve descripción ocurrida en el sistema eléctrico brasileño.

A continuación es mostrado un resumen del informe del ONS.

La perturbación hizo actuar al sistema de desconexión automática de la (LT) de 765 kV Itaberá - Ivaiporã de los circuitos N° 01 y N° 02 y N° 03, bajo severas condiciones climáticas. La pérdida de tres circuitos ocasionaron un rechazo de generación de 5564 MW en la Planta Hidroeléctrica de Itaipú 60 Hz; como también el disparo de los restantes Sistemas Interconectados del Sur y Sudeste 525 kV, 500 kV, 230 kV con un rechazo de 2950 MW de flujo de potencia en la región, como también del disparo del vínculo de HVDC (dos \pm 600 kV bipolos en paralelo con los tres circuitos de LT de 765 kV), el cual fue cargado con 5329 MW. A esto siguieron otras desconexiones provocando la interrupción total de 24.436 MW (40%) del SINB. Las condiciones operativas justo antes de la Perturbación del SINB están resumidas en la Figura 1. La perturbación empezó con una falla fase tierra de la fase B de la LT de 765 kV Itaberá – Ivaiporã N° 01 en la Subestación Itaberá (en tiempo 0). A los 13,5 ms con la primera falla todavía presente otra falla fase tierra ocurre envolviendo a la fase C de la LT de 765 kV Itaberá – Ivaiporã N° 02. En la secuencia de 17 ms

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

todavía con las dos fallas precedentes una tercera falla fase tierra en la fase A de la barra Itaberá 765 kV (Configuración de doble barra con interruptor y medio).

Por lo tanto, las fallas ocurrieron casi simultáneamente en las LT de 765 kV Itaberá – Ivaiporã N° 01 y N° 02 y en una sección de la barra A de la subestación de Itaberá de 765 kV, sometiendo al SINB a una falla trifásica por unos instantes en la Subestación Itaberá, hasta el despeje de uno de los cortocircuitos por uno de los componentes en falla. La falla en la LT Itaberá – Ivaiporã N° 01 fue despejada en ambos extremos por el sistema de protecciones principales y de respaldo, basadas en el principio de las ondas viajeras.

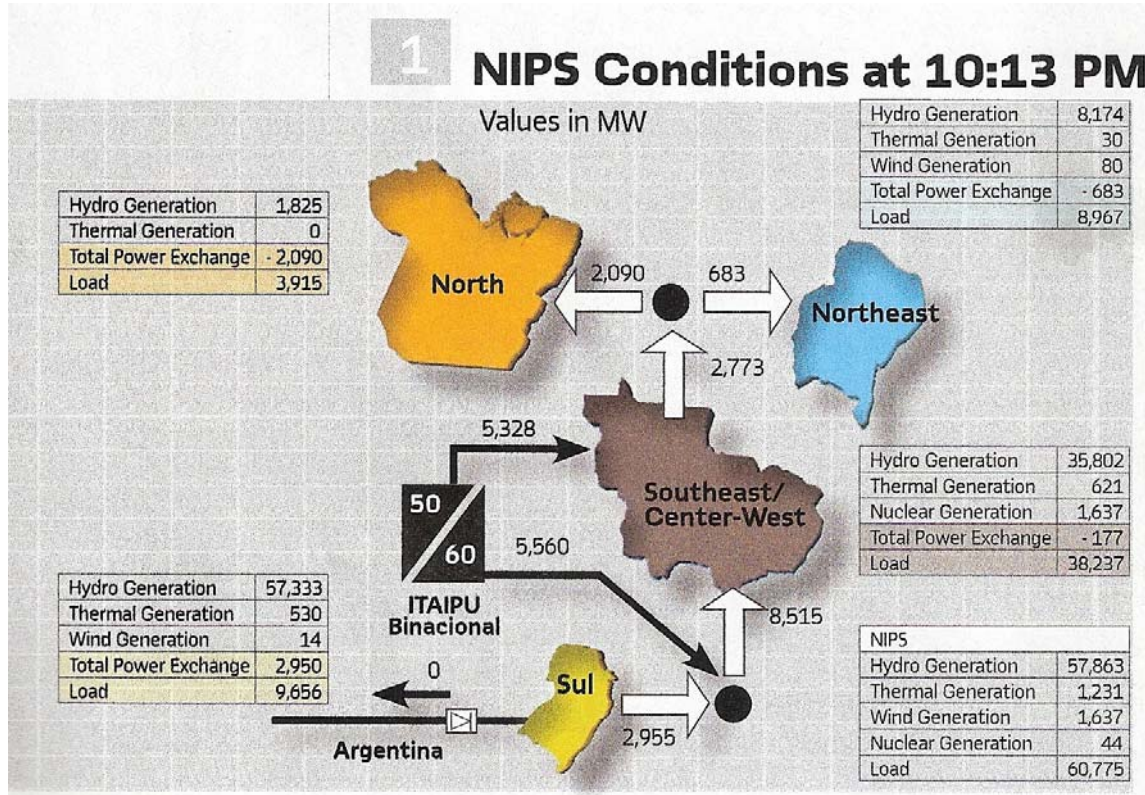


Figura 1 Sistema Eléctrico Nacional Brasileño

La falla en la LT Itaberá – Ivaiporã N° 02 fue despejada en ambos extremos por la protección de sobrecorriente direccional asociada a esquemas de teleprotección.

La falla en una sección de la barra A de la Subestación Itaberá 765 kV fue despejada por la protección diferencial de barras, poco después del despeje de la protección de sobrecorriente residual instantánea del reactor conectada directamente a la barra (Conectada a la barra a través de seccionadores) hacia la Terminal de 765 kV LT Itaberá – Ivaiporã N° 03 ocasionando la desconexión de esta LT; ocasionando la interrupción total entre las Subestaciones de Itaberá y Ivaiporã.

En la Planta Hidroeléctrica de Itaipú 60 Hz cinco de las nueve Unidades Generadoras dispararon (la Unidad Generadora N° 10 estaba fuera de servicio) rechazando 3100 MW de Generación por la salida de servicio del tramo principal de 765 kV por la actuación del Esquema de Protecciones (WAPS), debido a la triple contingencia entre las Subestaciones de Ivaiporã e Itaberá, provocando y aislando los Subsistemas del Sur en Islas. Como consecuencia la LT de 500 kV Bateias – Ibiúna N° 1 y N° 2 dispararon por sobrecarga y oscilación de potencia entre los Subsistemas Sur y Sudeste con la frecuencia incrementadas por encima de 63,5 Hz en el Subsistema Sur y la reducción de la frecuencia por debajo de los 58,3 Hz en el Sudeste.

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

Poco después de los eventos mencionados distantes de ahí, en Rio de Janeiro y el Estado de Espírito Santo ocurrieron disparos de las Unidades Generadoras y Líneas de Transmisión como consecuencias de la oscilación de potencia sufrida por el SINB. En la figura 2 muestra las principales desconexiones que condujeron al Sistema a un colapso parcial.

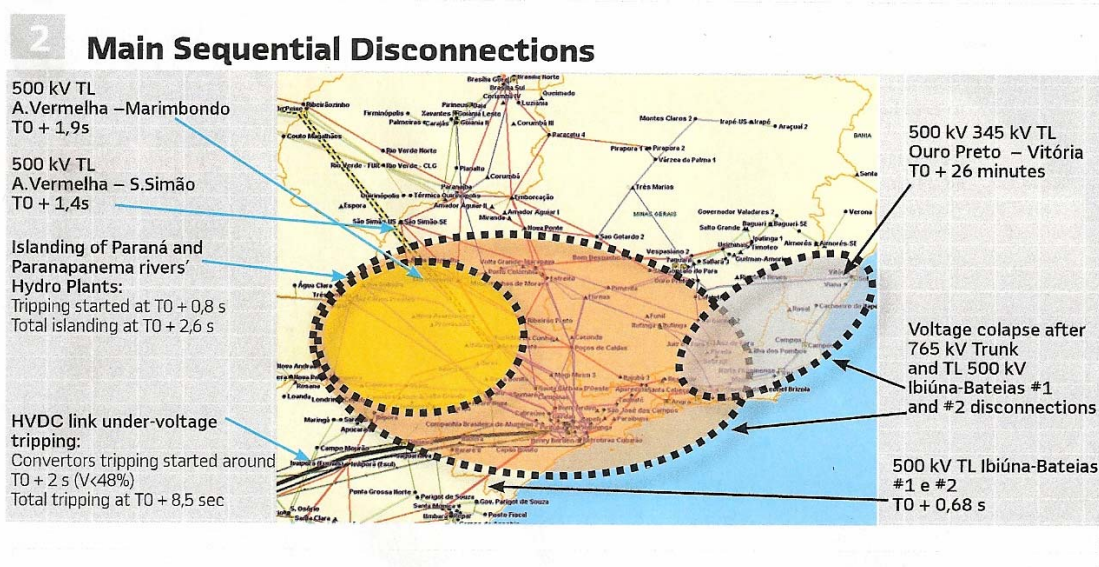


Figura 2 Principales Desconexiones en forma cronológica

Como consecuencia del aumento de la frecuencia en el Subsistema sur de 765 kV las LT's Foz do Iguaçu – Ivaiporã N° 01, N° 02 y N° 03 dispararon por orden del esquema de protección WAPS del tramo de 765 kV, aislando la Central hidroeléctrica de Itaipú 60 Hz, el cual hasta ese momento estaba conectado al Sistema Sudeste. Por la misma razón, aquí detalladas, las líneas de transmisión que interconectaban al sistema eléctrico del Estado de Mato Grosso con los subsistemas Sur y Sudeste fueron también desconectadas por actuación de las protecciones lo que llevó al suministro de energía al colapso.

Con las desconexiones mencionadas más arriba, se tuvo como consecuencia un Colapso de Tensión en el Subsistema Sudeste, especialmente en el Estado de São Paulo, desconectando el vínculo HVDC por la operación de la protección de Subtensión Continua interrumpiendo un flujo de 5.329 MW, aislando de esta manera la Central Hidroeléctrica de Itaipú 50 Hz del SINB, que estaba operando con nueve de las diez Unidades Generadoras. En caso de un total rechazo de carga existe un Esquema Especial de Protección (SPS) para preservar de la ocurrencia de una muy alta sobrefrecuencia al Sistema Interconectado Paraguayo (SINP) por medio de la separación de dos Unidades Generadoras.

Estas situaciones fueron evidenciadas, como es mencionado anteriormente, pero este Esquema de Protección no actuó y la separación de dos máquinas de Itaipú 50 Hz para el Sistema Interconectado Paraguayo no ocurrió.

Por lo tanto, el SINP quedó operando en paralelo con nueve Unidades Generadoras de Itaipú, que fue sometido a una sobrefrecuencia considerable y como consecuencia el disparo de la Interconexión de las Líneas de Transmisión de 220 kV.

La Perturbación causó colapso en los Estados de Rio de Janeiro, São Paulo, Espírito Santo y Mato Grosso del Sur obligando a la actuación de esquemas de cortes de cargas por subfrecuencia, afectando cargas en el Subsistema Noreste y Estados de Minas Gerais, Mato Grosso, Acre y Rondônia, estos dos últimos después de la desvinculación de los Subsistemas Sudeste, Centro y Oeste.

Es importante resaltar que esta perturbación fue una de las más severas que han ocasionado un Colapso al SINB; comparándola a las ocurridas en 1.999 y 2.002, no solo porque fue una falla trifásica a tierra sino además causó la desconexión del tramo troncal de transmisión de 765 kV; fue uno de los eventos menos severos para el sistema, como puede ser corroborada, por la preservación de una gran parte del sistema sudeste, preservando la carga en forma aislada la Capital, Brasilia (DF) y unas pocas pérdidas de cargas en los Estados de Minas Gerais, Goiás y Mato Grosso. En el Subsistema Nordeste las pérdidas de las cargas fueron restringidas por cortes de cargas y el promedio de normalización fue de 20 minutos. Es destacable que el Sistema fuera fundamentalmente beneficiado por el correcto desempeño de los esquemas en islas y del sistema Líneas de Transmisión, especialmente por aquellas que realizan la interconexión entre subsistemas.

El promedio del SINB en cuanto a los tiempos de restauración fue de 222 minutos. En algunos casos no fue posible la restauración de algunas interconexiones debido a arranques en negro sin éxito en centrales hidroeléctricas, como también de algunos problemas en las telecomunicaciones [2].

2 DESCRIPCIÓN DE LA GENERACIÓN HIDRÁULICA DEL SINP



Figura 3: Generación Hidráulica del SINP

El SINP está dividida en dos grandes áreas, el sistema metropolitano, centro, norte, y este operando en paralelo la central Acaray con Itaipu. El sistema sur y parte del sistema metropolitano operando con Yacyretá. Cabe mencionar que las dos centrales hidroeléctricas no operan en forma paralela, es decir, en forma separada.

El SINP cuenta con una generación hidráulica además de la Central hidroeléctrica de Acaray perteneciente a la Administración Nacional de Electricidad (ANDE), y las compartidas con sus socios brasileños a través de Itaipú y sus socios argentinos a través de Yacyretá que son mostradas en la figura 3.

- Acaray

Número de Unidades: 4 generadores, cada uno con una capacidad nominal de 50 MW (Acaray pertenece a la ANDE). Potencia Disponible: 200 MW. Estado Actual: en operación. Actualmente se llevan a cabo trabajos de restauración y modernización de los equipos principales [3].

- Itaipú

Con 20 unidades generadoras y 14.000 MW de capacidad instalada, suministra el 18,9% de la energía consumida en Brasil y alimenta el 77,0% del consumo paraguayo [4].

- Yacyretá

Con 20 generadores y 3200 MW de capacidad instalada cada uno con una capacidad máxima de 172,5 MVA, suministra el 86% al SADI y 14% al SINP. Actualmente se encuentra operando a cota reducida 100 MW cada una [5].

Además de la generación hidráulica mencionada, la ANDE cuenta con los siguientes grupos de generación térmica en San Carlos con 0,08 MW, Bahía Negra con 0,28 MW, La Patria con 0,28 MW, Mcal. Estigarribia con 1,36 MW, Pedro J. Caballero con 2,8 MW, Sajonia 33,7 MW.

3 DESCRIPCIÓN DE LA PERTURBACIÓN EN LA CHY

La CHY alimenta al sistema sur y parte del sistema metropolitano del SINP a través de dos LT's energizadas en 220 kV denominadas Línea Paraguay N° 01 (LP1), y Línea Paraguay N° 02 (LP2) mostradas en la figura 4:

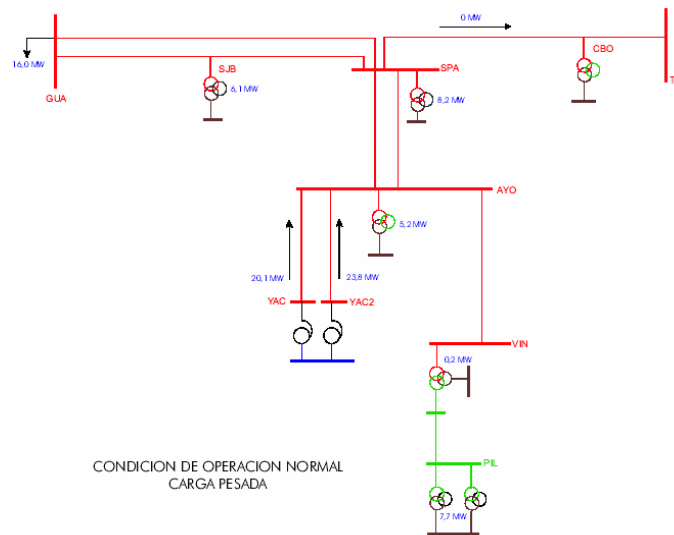


Figura 4 Descripción Operativa - Sistema Sur del Sistema Eléctrico Interconectado Paraguayo con la CHY

3.1 PROTECCIONES ACTUADAS

Tabla I: Protecciones Actuadas en las LP1 y LP2

LINEA	EQUIPO DE PROTECCIÓN	ZONA	TELEPROTECCIÓN	TDD
LP1/LP2	F21 PROTECCIÓN DE DISTANCIA SISTEMA 1	1°	SOBREALCANCE	Emisión y Recepción
LP1/LP2	F21 PROTECCIÓN DE DISTANCIA SISTEMA 2	1°	SOBREALCANCE	Emisión y Recepción
LP1/LP2	F51ND1 PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE DIRECCIONAL	Instantáneo	-	-

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

En la tabla 1 muestra un resumen de las protecciones actuadas en el momento en que se desprendió el conductor en una de las líneas de transmisión. Con esto se demuestra la actuación correcta de las protecciones ante la Perturbación, falla bifásica a tierra.

Las protecciones de distancia están calibradas para actuar en primera zona y una temporización instantánea en el tramo desde la barra de 220 kV de la CHY hasta la barra de la Subestación de Ayolas.

La protección de sobrecorriente homopolar direccional está como una protección principal para detectar fallas con contactos a tierra. Ambas protecciones para emitir un disparo tienen su confirmación del extremo opuesto, asegurando el desenganche de los interruptores en ambos extremos en la línea protegida.

3.2 Oscilografías de las LP1 y LP2

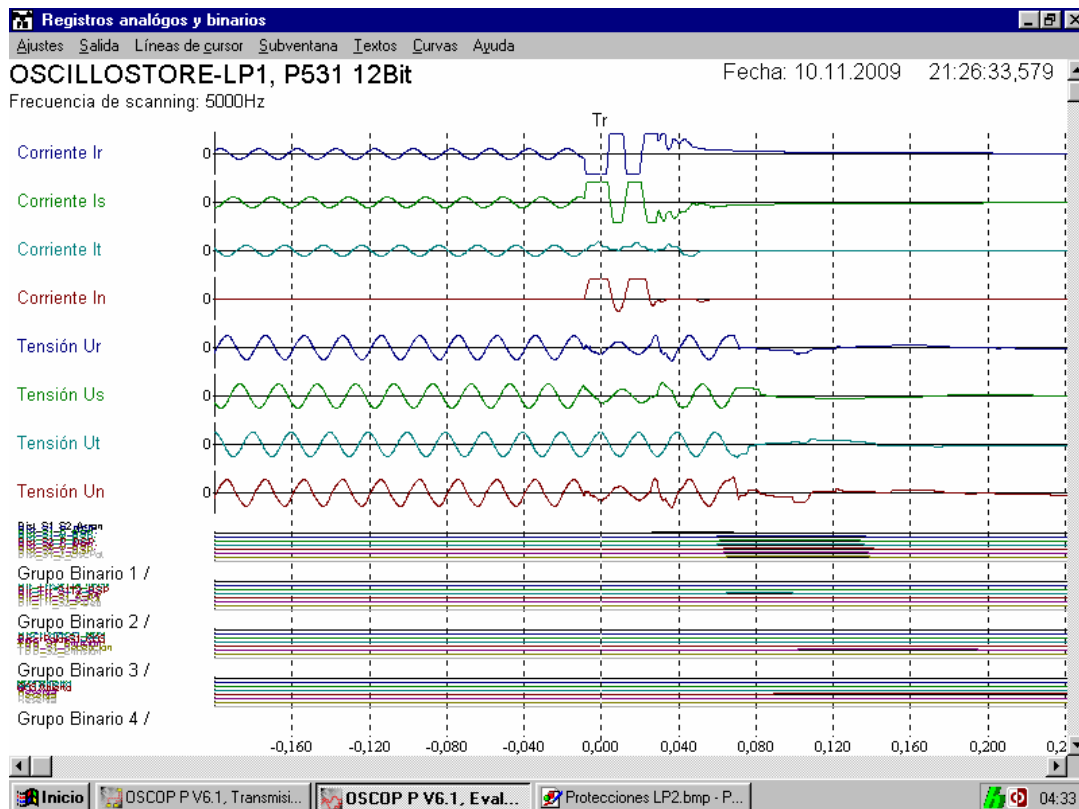


Figura 5 Oscilografía de la LP1

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

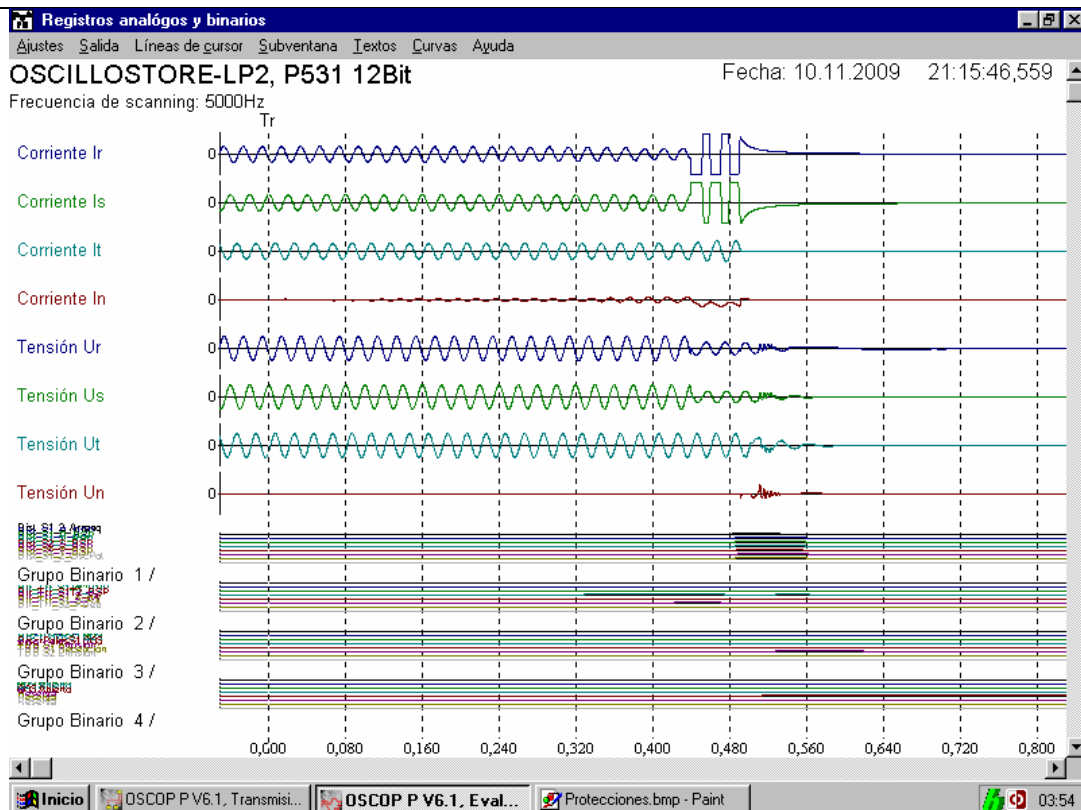


Figura 6 Oscilografía de la LP2

En las oscilografías presentadas muestran la falla bifásica a tierra con las actuaciones de las protecciones de línea en la LP1 primeramente que al abrir pasa a tomar toda la carga de la primera ocasionando la apertura de la LP2 por sobrecarga.

3.3 Tiempos de reposición

Al abrir ambas líneas, las instrucciones operativas de la CHY recomiendan revisar los equipos afectados antes de energizarlos. En esta parte no se tiene inconvenientes, y al realizar las maniobras de cierre de los interruptores de líneas se vuelve a tener nuevamente la apertura por protecciones, quedando fuera de servicio esta línea por no poder encontrar la falla en ese momento. Se realizó un recorrido por la línea encontrándose un conductor desprendido apoyándose la fase R en la Fase S y parte de la torre, haciendo contacto a tierra. En esa oportunidad no se contaba con equipos de protecciones con funciones de conductor roto que avise que hay conductores desprendidos. Debido a esto se tiene elevados tiempos de reposición del sistema eléctrico paraguayo [6].

4 ANÁLISIS DE LA PERTURBACIÓN

Teniendo en cuenta la perturbación ocurrida en el SINB y toda sus consecuencias para ese sistema y al no actuar el sistema de protecciones para la separación de dos máquinas de 50 Hz en la Central Hidroeléctrica de Itaipú, el SINP es sometido a sobrefrecuencias por periodos elevados de tiempo se tiene el disparo de las LT's que alimentan al Sistema Metropolitano (mayor carga del SINP) y al ocurrir el desenganche de las LT's que alimentan al Sistema Sur provenientes de la CHY, se tiene un colapso total del Sistema Eléctrico Nacional Paraguayo.



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

Cabe mencionar que ambas situaciones ocurridas fueron eventos separados y coincidentemente se dieron en un momento en que ambas centrales hidroeléctricas que alimentan al SINP tuvieron inconvenientes de origen técnico.

5 CONCLUSIONES

Ante estas situaciones de extrema exigencias a los sistemas eléctricos es conveniente resaltar que se debe buscar mecanismos a través de reuniones de trabajo en donde se consensúen mejorar el desempeño de la Interconexión CHY-ANDE, a través de la actualización de las instrucciones operativas entre la CHY y la ANDE, adquisición de registradores de fallas para dilucidar las perturbaciones, realizar los mantenimientos preventivos de equipos de maniobras que ante una solicitud actúen de acuerdo a lo previsto por su fabricante.

Actualmente, se han adquirido e instalado equipos de protecciones numéricas para las posiciones de líneas que además de la función principal también cuentan con la función de monitoreo de las tres fases y en caso de apertura de algunas de ellas dará una alarma y luego de una temporización enviará un disparo desconectando los interruptores de línea mostrando como señalización CONDUCTOR ROTO que por seguro ayudarán a reducir los tiempos de reposición de la Interconexión.



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

BIBLIOGRAFIA

[1] <http://www.cammesa.com/inicio.nsf>

[2] J. Ordacgi Filho reporte oficial de ONS-RE-3-252/2009 "Análise da Perturbação do dia 10/11/2009 às 22:13 Envolvendo o Desligamento dos Três Circuitos da LT 765 kV Itaberá – Ivaiporã preparado por el Operador Nacional del Sistema Eléctrico – ONS (ISO Brasileño).

[3] <http://www.ande.gov.py/>

[4] <http://www.itaipu.gov.py/index.php?q=es>

[5] <http://www.eby.gov.py/>

[6] Informe de Perturbación 10-11-2009 de la Central Hidroeléctrica de Yacyretá.