



Desempeño Operativo de la LI 500kV MD-VHA 1 – Periodo 2013-2016

Patricia Verdún Zárate, Alfredo Javier Mezger Szostak

Itaipu Binacional

Paraguay

RESUMEN

La línea de transmisión de 500 kV Margen Derecha-Villa Hayes (LI 500 kV MD-VHA 1) fue energizada en vacío el 3 de octubre de 2013, a las 7h13min para realización de mediciones y ensayos de los sistemas de protección y control, siendo desconectada a las 7h42min del mismo día.

A las 09:34 del día 6 de octubre de 2013 volvió a ser energizada en vacío, y a partir de las 10:04 del mismo día fue puesta en carga (190 MW – 22% del intercambio Itaipu/ANDE) entrando en operación, con el inicio del periodo de confiabilidad de 30 días.

La línea cuenta con 758 estructuras, 677 en circuito simple y 81 en circuito duplo, totalizando una longitud de 347,7 kilómetros, y una capacidad nominal de transporte de 2.215 MVA. El principal objetivo de la línea es aumentar el suministro de energía eléctrica desde la Central Hidroeléctrica de Itaipu, al principal centro de carga del sistema eléctrico paraguayo (sistema metropolitano), a través de la Estación Villa Hayes (ES-VHA), que actualmente cuenta con dos conjuntos autotransformadores de 600 MVA, y cuatro líneas de transmisión a 220 kV.

Es objetivo de este trabajo evaluar el desempeño operativo de la LI 500 kV MD-VHA 1, a través de los indicadores de desempeño (tasa de falla, factor de disponibilidad operacional, factor de indisponibilidad programada y factor de indisponibilidad forzada) del período 2013-2016. Asimismo, se analizan los aspectos relevantes de los principales eventos y perturbaciones que involucraron a esta línea de transmisión.

PALABRAS CLAVES

Energía suministrada, disponibilidad, desconexiones forzadas, perturbaciones, línea de transmisión.

1 INTRODUCCIÓN

El sector de 50Hz de la Central Hidroeléctrica ITAIPU (CHI-50Hz) provee energía eléctrica al Sistema Interconectado Nacional de Paraguay (SIN-PY) a partir de la Subestación Margen Derecha (SE-MD). El suministro de Itaipu al SIN-PY se sitúa en torno a 75% del consumo total de energía eléctrica del Paraguay.

Hasta el año 2013 el suministro a la ANDE era realizado a nivel de 220 kV, a través de cuatro líneas de interconexión. El 6 de octubre de 2013 entró en operación la LI 500 kV MD-VHA 1, de aproximadamente 347,7 km, interconectando la SE-MD con la ES-VHA, en las inmediaciones del sistema metropolitano, donde se concentra la mayor parte de la carga del sistema paraguayo. La Estación Villa Hayes cuenta actualmente con dos conjuntos autotransformadores de 600 MVA, y cuatro líneas de 220 kV a través de las cuales se realiza la conexión con las Estaciones Limpio y Puerto Botánico.

En la Tabla I se muestra la capacidad de los equipos de la interconexión Itaipu/ANDE. Puede observarse que la línea de 500 kV corresponde al 44% de la capacidad total de interconexión y a casi el 50% si se considera una operación con cinco transformadores (condición normal).

Tabla I: Capacidad de equipos de la interconexión Itaipu/ANDE

| Equipo | Capacidad (MVA) |
|--|-----------------|
| T01/R01, T02/R02, T03/R03, T05/R05, T0X/R0X | 470 |
| T04/R04 | 450 |
| LI 500kV MD-VHA 1 | 2.215 |
| Interconexión Itaipu/ANDE | 5.015 |

En la Figura 1 puede observarse el suministro de energía de Itaipu a la ANDE, notándose que, del valor del suministro total, el sistema de transmisión de 500 kV es responsable de más del 32%.

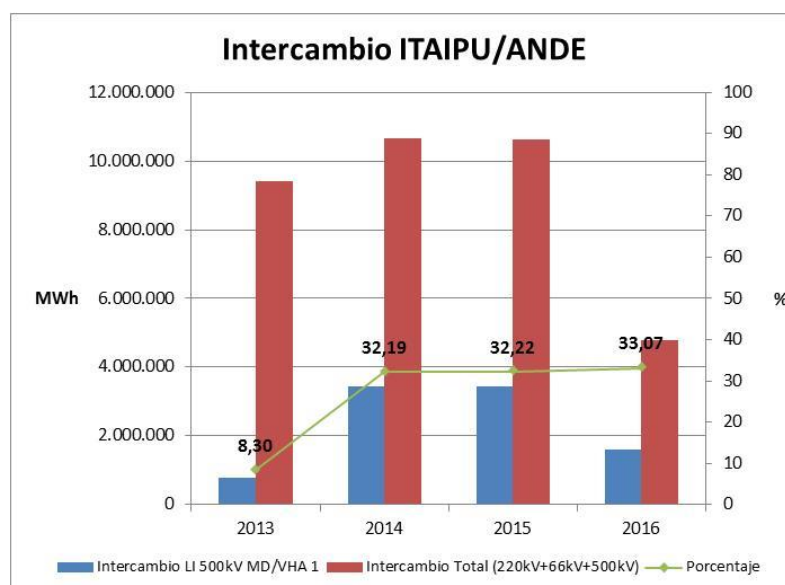


Figura 1 – Suministro de energía de Itaipu a la ANDE

La LI 500 kV MD-VHA 1 posee un sistema de protección con dos IED en cada subestación, siendo la función principal la diferencial de línea (87L). También están implantadas las funciones de distancia (21), sobrecorriente direccional de secuencia cero (67N), recierre (79) y falla de interruptor (50BF). El sistema de comunicación entre los IED es realizado a través de un sistema de fibra óptica OPGW, existiendo respaldo a través de un sistema de carrier.

Como el sistema eléctrico paraguayo es eminentemente radial, la línea de 500 kV posee recierre automático para los casos de falla monofásica. El objetivo de este esquema es mitigar el impacto de la desconexión de la línea ante fallas fugaces.

Considerando las peculiaridades del sistema de transmisión de 500 kV (nivel de tensión, extensión, sistema de protección utilizado, importancia para el SIN-PY), es relevante evaluar su desempeño a través de los indicadores adecuados.

2 ÍNDICES DE DESEMPEÑO

Los índices utilizados para determinar el desempeño de la LI 500kV MD-VHA 1 son los calculados según [1] y [2]:

Indisponibilidad Forzada

Representa el porcentaje de tiempo, en relación al período de observación, en el cual la línea permanece fuera de servicio debido a las desconexiones forzadas (fallas).

$$FIF(\%) = \frac{HIF}{HP} \times 100 \quad (1)$$

donde:

HIF → número de horas indisponibles forzadas

HP → número de horas del periodo de observación

Indisponibilidad Programada

Porcentaje del tiempo, con relación al período de observación, en el cual la línea permanece fuera de servicio para mantenimiento programado.

$$FIP(\%) = \frac{HIP}{HP} \times 100 \quad (2)$$

Siendo:

HIP → número de horas indisponibles programadas

HP → número de horas del periodo de observación

Disponibilidad Operacional

Representa el porcentaje de tiempo, con relación al período estadístico de observación, en el cual la línea permaneció en servicio, o apta para entrar en operación. Indica la garantía de que, en un determinado momento, el equipo esté operando o apto para operar.

$$FDO(\%) = 100 - FIF(\%) - FIP(\%) \quad (3)$$

Tasa de desconexión forzada

Es la medida del número medio esperado de desconexiones forzadas de la línea, en el periodo de 12 meses, estando la misma en operación.

$$\lambda = 8760 \times \frac{D_f}{H_s} \quad (4)$$

Donde: λ corresponde al índice de tasa de desconexión forzada fallas/año

D_f número total de desconexiones forzadas

H_s número de horas en servicio

En la Figura 2 se presentan los índices de desempeño operacional de la LI 500kV MD-VHA 1. Durante el primer mes de operación de la línea ocurrieron cuatro perturbaciones, haciendo que el Factor de Indisponibilidad Forzada sea elevado en comparación a los demás meses, lo cual resultó en una Disponibilidad Operacional de 97,6% para el año 2013, como puede observarse en la Tabla 2. A partir del año 2014 este índice superó el 99,9%.

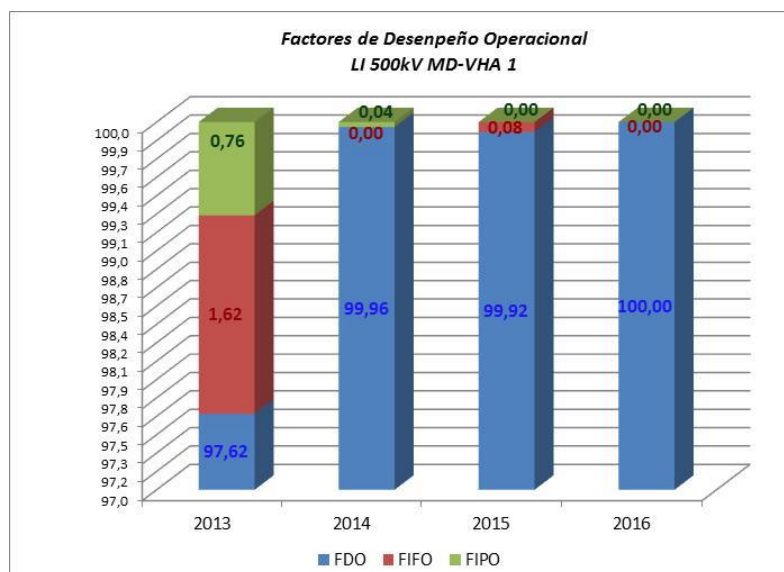


Figura 2 – Factores de desempeño operacional

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
25 y 26 de Agosto de 2016

Tabla II: Índices Mensuales (oct/2013 - may/2016)

| meses | Índices 2013 (%) | | | Índices 2014 (%) | | | Índices 2015 (%) | | | Índices 2016 (%) | | |
|-------|------------------|------|------|------------------|------|------|------------------|------|------|------------------|------|------|
| | FDO | FIF | FIP | FDO | FIF | FIP | FDO | FIF | FIP | FDO | FIF | FIP |
| ene | | | | 100 | 0,00 | 0,00 | 100 | 0,00 | 0,00 | 100 | 0,00 | 0,00 |
| feb | | | | 100 | 0,00 | 0,00 | 100 | 0,00 | 0,00 | 100 | 0,00 | 0,00 |
| mar | | | | 100 | 0,00 | 0,00 | 100 | 0,00 | 0,00 | 100 | 0,00 | 0,00 |
| abr | | | | 100 | 0,00 | 0,00 | 100 | 0,00 | 0,00 | 100 | 0,00 | 0,00 |
| may | | | | 99,50 | 0,00 | 0,50 | 100 | 0,00 | 0,00 | 100 | 0,00 | 0,00 |
| jun | | | | 99,99 | 0,01 | 0,00 | 100 | 0,00 | 0,00 | | | |
| jul | | | | 100 | 0,00 | 0,00 | 100 | 0,00 | 0,00 | | | |
| ago | | | | 100 | 0,00 | 0,00 | 100 | 0,00 | 0,00 | | | |
| set | | | | 100 | 0,00 | 0,00 | 100 | 0,00 | 0,00 | | | |
| oct | 94,10 | 5,49 | 0,41 | 100 | 0,00 | 0,00 | 100 | 0,00 | 0,00 | | | |
| nov | 99,19 | 0,00 | 0,81 | 100 | 0,00 | 0,00 | 100 | 0,00 | 0,00 | | | |
| dic | 99,00 | 0,00 | 1,00 | 100 | 0,00 | 0,00 | 98,99 | 1,01 | 0,00 | | | |
| Acum. | 97,62 | 1,62 | 0,76 | 99,96 | 0,00 | 0,04 | 99,92 | 0,08 | 0,00 | 100 | 0,00 | 0,00 |

En la Figura 3 se observa la tasa de desconexión forzada de la línea de 500kV. El valor mensual presentado considera las fallas verificadas en los 12 meses anteriores. Puede notarse que el valor correspondiente al primer período se situó en torno a 6 fallas por año, estabilizándose a valores entre una a dos fallas por año en los períodos posteriores.

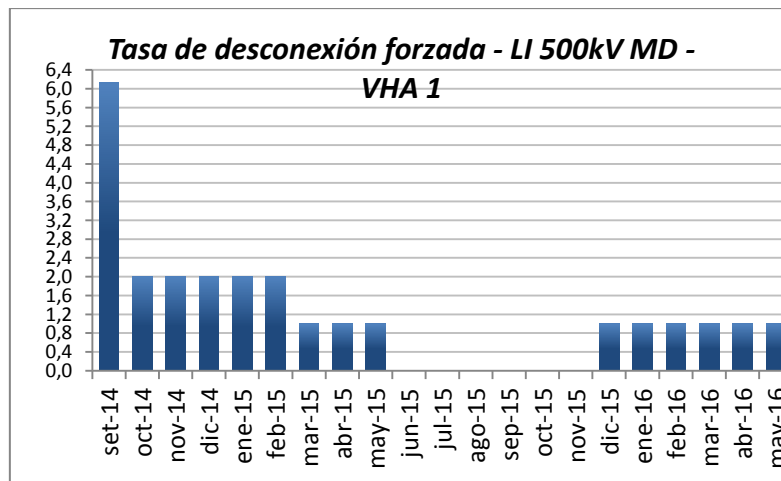


Figura 3 – Tasa de desconexión forzada

3 ANÁLISIS DE LAS DESCONEXIONES FORZADAS

Desde su entrada en operación y hasta el mes de mayo de 2016, la LI 500 kV MD-VHA 1 sufrió siete desconexiones forzadas (perturbaciones), conforme puede ser observado en la Tabla III [3]. Seis desconexiones fueron debido a fenómenos naturales (condiciones atmosféricas adversas), y una debido a un conductor suelto (cable de guardia entre el descargador y la seccionadora de llegada de la línea en la ES-VHA)

Tabla III: Desconexiones forzadas de la LI 500 kV MD-VHA 1

| Fecha y hora | MOTIVO | Protección actuada | Recierre automático |
|------------------|--|---------------------------------|--|
| 21/10/2013 10:08 | Corto monofásico - Fenómenos naturales | Diferencial de línea 87L y SOFT | Sobre falla |
| 21/10/2013 12:14 | Corto monofásico - Fenómenos naturales | Diferencial de línea 87L | Sin intento de recierre (deshabilitado en VHA) |
| 21/10/2013 12:49 | Corto monofásico - Fenómenos naturales | Diferencial de línea 87L | Sin intento de recierre (deshabilitado en VHA) |
| 24/10/2013 08:18 | Corto monofásico - Fenómenos naturales | Diferencial de línea 87L y SOFT | Con éxito, pero hubo un segundo evento 20s después |
| 18/03/2014 09:31 | Corto monofásico - Fenómenos naturales | Diferencial de línea 87L | Con éxito en la SE-MD |
| 13/06/2014 08:09 | Corto monofásico - Fenómenos naturales | Diferencial de línea 87L | Sin intento de recierre |
| 09/12/2015 17:58 | Corto monofásico - Conductor suelto | Diferencial de línea 87L | Sin intento de recierre |

En todas las perturbaciones, la protección actuó de forma correcta, a través de la función diferencial de línea (función principal) y con tiempo de eliminación de la falla de unos 80 ms.

En las perturbaciones de octubre de 2013 se pudo constatar la existencia de ocho cortocircuitos, algunos de ellos por recierre automático sobre falla, por intentos de recierre manual y por cortocircuito luego del recierre automático exitoso. Posteriormente, fue constatado que los cortocircuitos eran ocasionados por ramas de árboles que se encontraban próximos a los conductores de la línea.

Los eventos del año 2014 están relacionados a condiciones atmosféricas adversas (probables descargas atmosféricas), y el evento del 2015 fue originado por el desprendimiento de un conductor del cable de guardia en un día de tormentas con fuertes ráfagas de viento.

En cuanto al desempeño del recierre automático, hasta el momento solamente en la perturbación del día 24/10/13 hubo recierre exitoso en ambos terminales. No obstante, en esa situación no hubo completa normalización del sistema debido a la configuración de la ES-VHA de ese momento (todavía se operaba con un autotransformador) y a que no estaba seleccionado el interruptor del medio para el recierre. También, a los 20 segundos hubo un segundo cortocircuito desconectando nuevamente la línea. Como observado en la Figura 4, el intervalo de tiempo entre el cierre de interruptores de la SE-MD y la ES-VHA fue superior a los 400 milisegundos, lo cual parece ser un tiempo elevado. De forma a resolver estos problemas, se realizaron ensayos en un IED reserva, y se han propuesto nuevos ajustes a los parámetros que tienen influencia en el recierre.

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
25 y 26 de Agosto de 2016

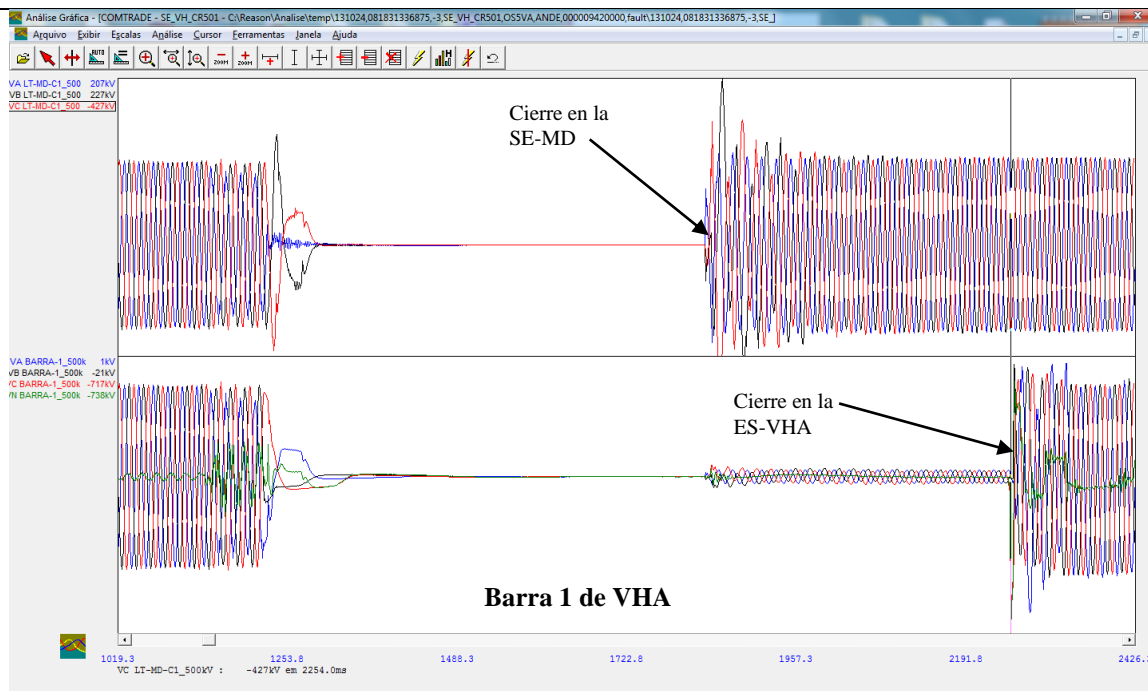


Figura 4 – Tensiones en el terminal de llegada y en la Barra B1 de la ES-VHA

4 CONCLUSIONES

- La LI 500kV MD-VHA 1 constituye un importante refuerzo en la interconexión Itaipu/ANDE, aumentando la capacidad de transmisión en 44%, y siendo responsable por el 32% del suministro de energía de Itaipu a la ANDE.
- Exceptuando el primer mes de operación, los factores de desempeño operacional calculados indican una disponibilidad superior al 99,9%, mostrando la alta confiabilidad del sistema de transmisión 500kV.
- El análisis de las desconexiones forzadas indican un desempeño adecuado de las protecciones de la línea de 500kV. En los eventos analizados, no hubo buen desempeño del sistema de recierre automático. Han sido propuestos nuevos ajustes para los parámetros relacionados al recierre.



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
25 y 26 de Agosto de 2016

BIBLIOGRAFIA

- [1] Manual de Metodologia da Área da Estatística - OPSP.DT Itaipu Binacional, Marzo 2007.
- [2] Manual de Transmissão SEECT - Sistema de Estatística CIER, Junio 1989.
- [3] Informes de Análisis de Perturbación (RAP 23/2013, 24/2013, 25/2013, 26/2013, 01/2014, 08/2014, 27/2015) - OPSE.DT Itaipu Binacional, 2013 a 2015.