



## **Ensayos de Energización de Autotransformadores TR1 y TR2 (500/220 kV – 375 MVA) de la Estación Ayolas y Carga de la LP1.**

**Autor: Ing. Ronnie Javier Ayala**

**Entidad Binacional Yacyretá**

**Paraguay**

### **RESUMEN**

La presente Contribución Técnica aborda los escenarios de la primera energización de los Autotransformadores TR-2 y TR-1 (500/220 kV – 375 MVA) de la Estación Ayolas.

Los escenarios describen las secuencias de maniobras y resultados obtenidos durante la primera energización del Autotransformador TR-2 en fecha 30.11.14 y posteriormente para la primera energización del Autotransformador TR-1, pruebas con carga del Autotransformador TR-2 y LP1, en fecha 07.12.14.

Los estudios y análisis de los impactos transitorios electromagnéticos sobre los principales equipos de la Central Hidroeléctrica Yacyretá (CHY) debido a maniobras de energización de los nuevos Autotransformadores de la subestación Ayolas (2x375 MVA - 500/220 kV) a ser incorporados al SINP con interconexión al SADI a través de la CHY, se realizaron sobre contextos simulados y analizados por el CEED (Centro de Estudios de Energía para el Desarrollo) de la UNaM (Universidad Nacional de Misiones – Argentina), y que se circunscribieron a los siguientes escenarios:

- a. Primera Energización de LP1 y de los Autotransformadores TR-1 y TR-2, con LP2-220 kV fuera de servicio.
- b. Primera Energización de LP1 y de los Autotransformadores TR-1 y TR-2, con LP2-220 kV en servicio.

Estos escenarios derivaron en 12 y 9 Casos de estudio respectivamente. Se han elaborado simulaciones computacionales de todos los casos de estudio y realizado comparaciones de los valores pico de tensión, corriente y duraciones respectivas.

Los resultados obtenidos en la práctica fueron satisfactorios, no obstante los valores de tensiones día 30.11.14 y corrientes día 07.12.14, para las configuraciones elegidas fueron altos.

### **PALABRAS CLAVES**

TR-2(Autotransformador N° 2), TR-1(Autotransformador N° 1), LP1: Línea Paraguaya N° 1, 500 kV), LP2 (Línea Paraguaya N° 2, 220 kV), CHY (Central Hidroeléctrica Yacyretá), SADI (Sistema Argentino de Interconexión), SINP(Sistema Interconectado Nacional Paraguayo), NEA(Noreste Argentino), UNaM (Universidad Nacional de Misiones – Argentina), CEED (Centro de Estudios de Energía para el Desarrollo), COY (Centro de Operación de Yacyretá), CAMMESA(Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico SA).

## 1. PRIMERA ENERGIZACIÓN DEL AUTOTRANSFORMADOR TR-2 DE 375 MVA - 500/220 KV DE LA ESTACIÓN AYOLAS (DOMINGO 30.11.14).

La energización del Autotransformador TR-2 de 375 MVA en la Estación Ayolas, se previó considerando que la misma se podía realizar con una Unidad Generadora dedicada (según estudios realizados por el CEED). Para este caso se optó por la Unidad N° 17, energizando la Barra W13-W14 en forma separada del SADI, luego la LP1 con el interruptor Q15 y posteriormente el TR-2 en la Estación Ayolas, como se ilustra en la figura 1.

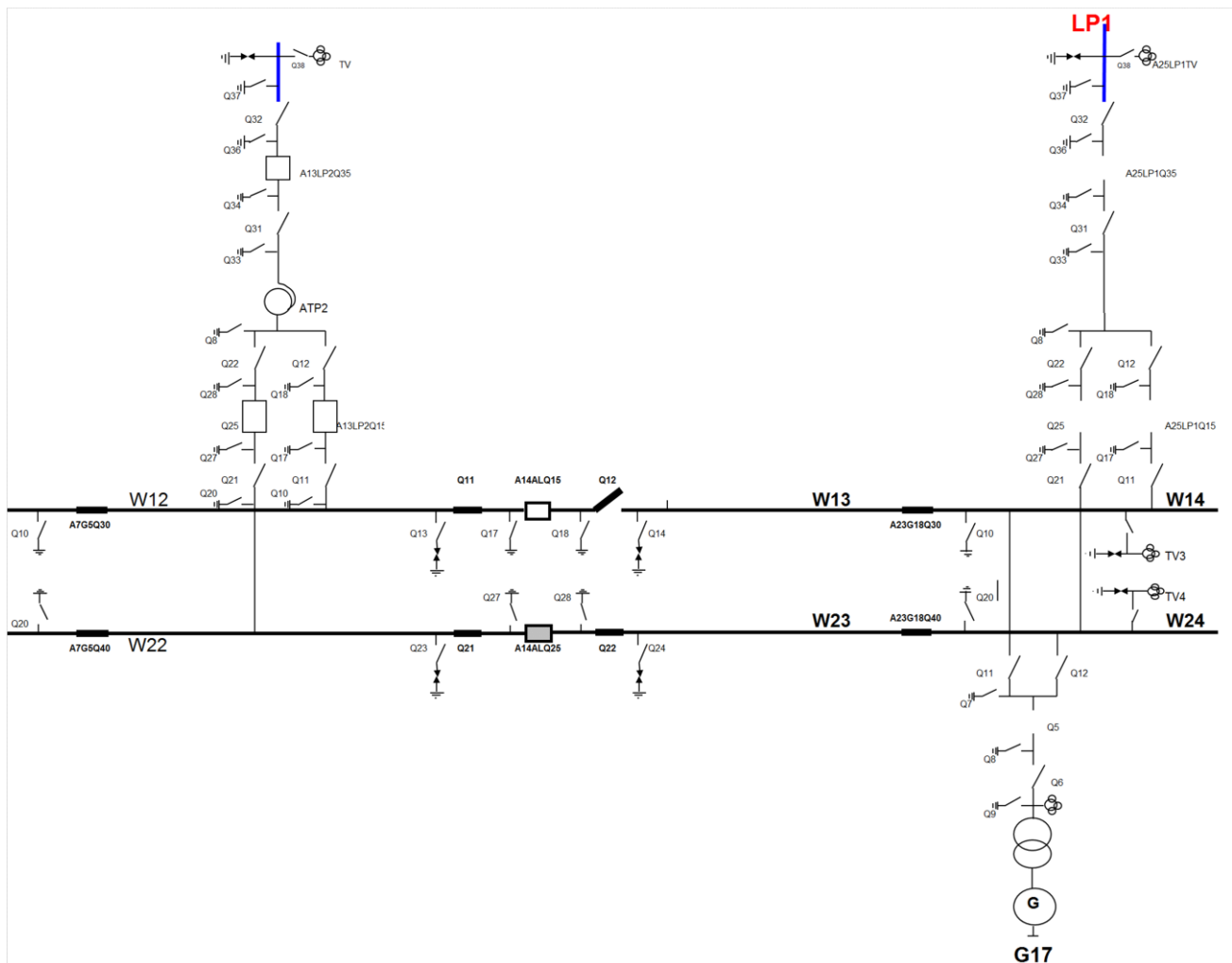


Figura 1: CHY – Diagrama Unifilar – Barras W13-W14 y W23-W24

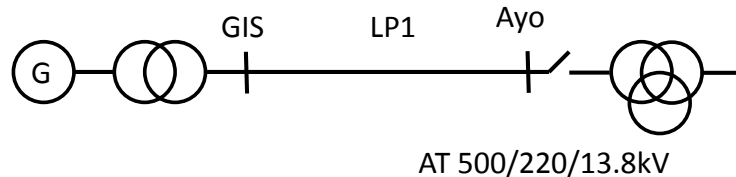
Las maniobras previas a la energización, consistieron en cambio de Barras de las Unidades Generadoras durante el horario de valle (mañana), con baja demanda del SINP y SADI.

Se conmutaron 3 unidades (U17, U18 y U20) sobre barra 2, en coordinación con CAMMESA en tiempo real.

## 2. ENERGIZACIÓN DE LÍNEA LP1 Y AUTOTRANSFORMADOR TR-2 – 30.11.14

Secuencia cronológica de Maniobras, utilizando la configuración de la Figura 2:

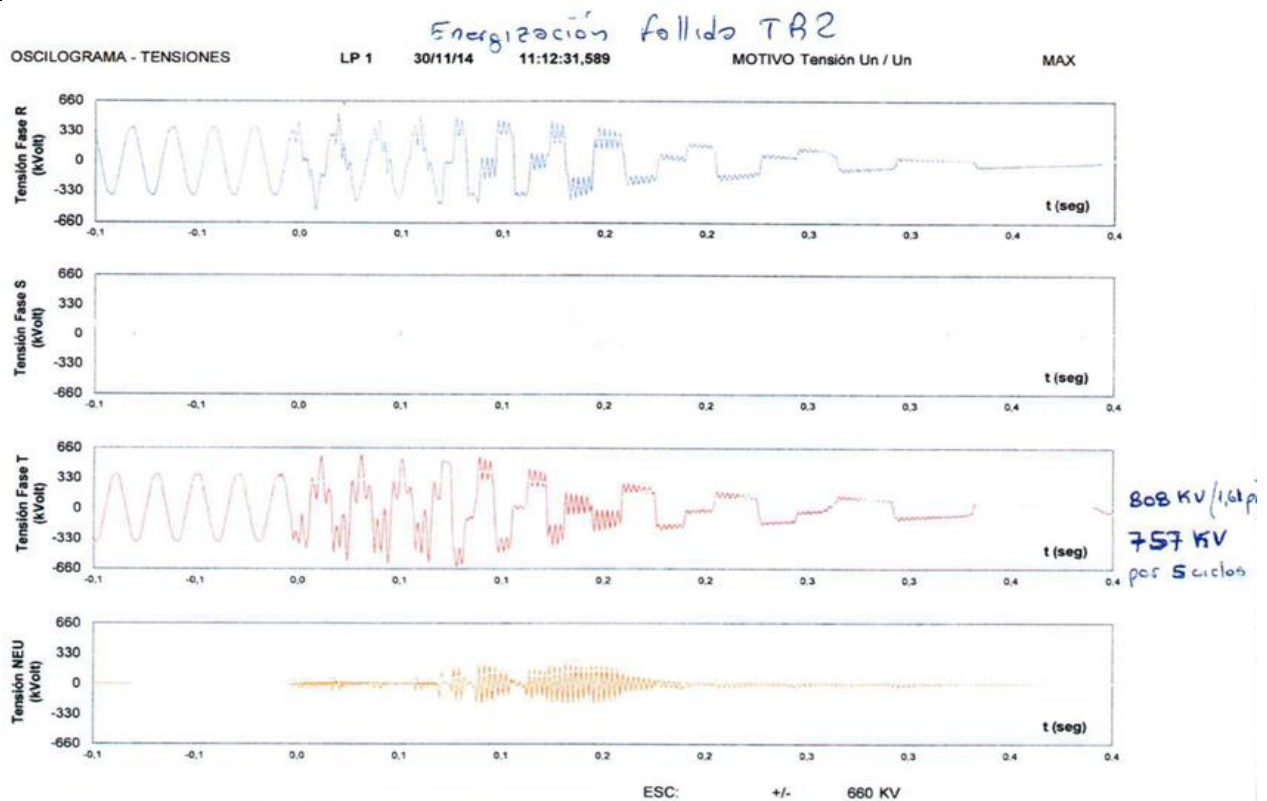
Energizar el Primer Autotransformador desde Ayolas como en el Caso 2, a una tensión pre-maniobra no mayor a 0,92 pu (460 kV).



**Figura 2**

- 08:01 LA3 Interruptor Q15 abierto. Inicio procedimiento para energización del TR-2, con semibarra W13-W14 500 kV y Unidad Generadora N°17 (U17), dedicada al SINP.
- 08:02 LA3 Seccionadores Q11 y Q12 abiertos.
- 08:03 Interruptor acoplador de Barras Q15 abierto, seccionador Q12 abierto. Semibarra W13-W14 desenergizada.
- 09:55 U17 Interruptor Q5 abierto, queda la unidad en marcha con excitación para energización de la semibarra W13-W14 como barra muerta.
- 09:57 U17 Seccionador Q12 abierto y seccionador Q11 cerrado, queda la unidad sobre semibarra W13-W14.
- 10:08 U17 Interruptor Q5 cerrado, semibarra W13-W14 energizada en modo barra muerta.
- 10:18 LP1 ET. Ayolas, seccionador a tierra 289-T11 abierto.
- 10:21 LP1 ET. Ayolas, seccionador de línea 289-49 cerrado.
- 10:25 LP1 Seccionadores Q11 y Q12 cerrados desde la Sala de Control de Yacyretá.
- 10:33 LP1 Interruptor Q15 cerrado, línea energizada.
- 10:34 Tensión en barra se lleva a 465 kV desde la Sala de Control Local de la Unidad U17.
- 10:43 ET. Ayolas, se intentó energizar barra 1 con interruptor 252-91, no se logró cierre desde la ET. Ayolas con 465 kV, se intervino sobre el sincroacoplador y se logró el cierre con ese nivel de tensión. Posteriormente se abrió nuevamente el 252-91 para probar mando remoto desde despacho de ANDE.
- 11:02 ET. Ayolas, barra 1 energizada con interruptor 252-91, interruptor cerrado desde despacho de ANDE con 500 kV de tensión. Se disminuye nuevamente la tensión a 465 kV para proceder a la energización del TR-2.
- 11:12 ET. Ayolas, se energiza el Autotransformador TR-2 cerrando el interruptor 252-90, al instante se produce el fuera de servicio de la U17.
- 11:12 U17 Interruptor Q5 abierto, parada parcial por protección de sobre-frecuencia, queda la unidad girando en marcha excitada. Se registró también la actuación de la protección de sobretensión del Transformador de unidad.

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



**Figura 3.**

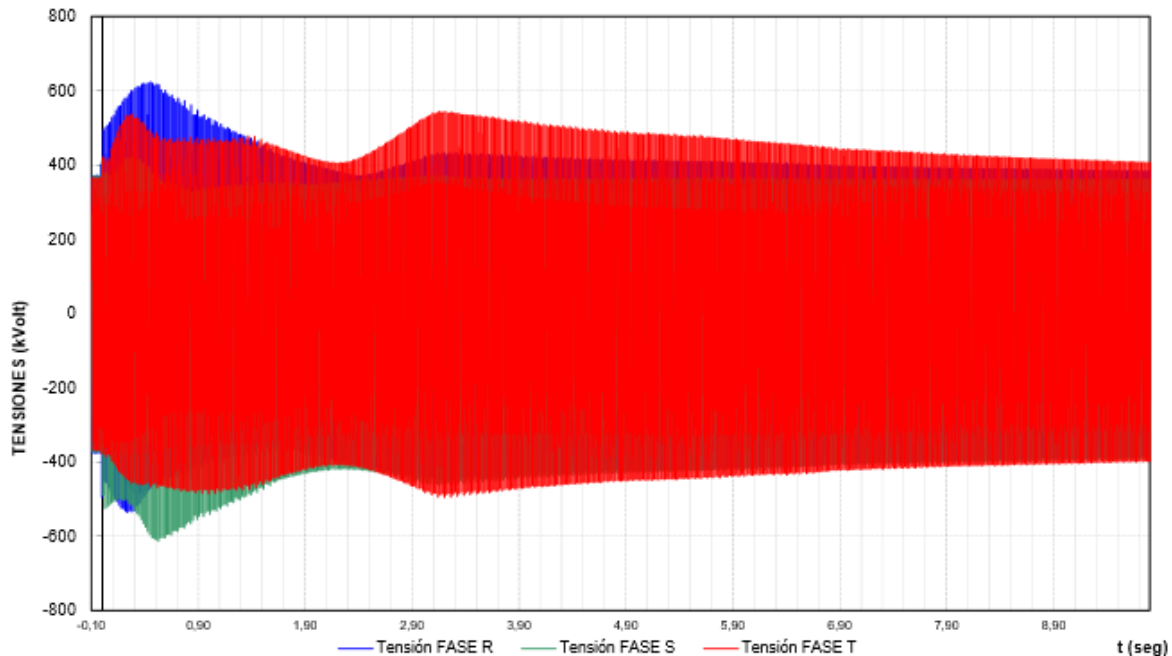
Energización fallida, como se puede apreciar, la tensión llegó a 1,6 pu en LP1 (808 kV) y no como lo establecía el estudio de 1,3 pu (caso 2 mencionado anteriormente).

- 11:17 LP1 Interruptor Q15 abierto para volver a realizar la energización con una unidad en modo barra muerta.
- Nota: Se decidió utilizar la U20 para continuar con los ensayos, debido a que la U17 presentó problemas para regular tensión luego de la apertura del interruptor por protecciones, la misma queda momentáneamente fuera de servicio para revisión del sistema de excitación.
- 11:40 U20 Interruptor Q5 abierto, queda en marcha con excitación para energizar barra W13-W14 en modo barra muerta, en reemplazo de la U17.
- 11:41 U20 Seccionador Q12 abierto, Q11 cerrado, cambio de barras.
- 11:56 U20 Interruptor Q5 cerrado, W13-W14 energizada en modo barra muerta, se inhibe relé de frecuencia de la U20 a fin de lograr mantener la misma en servicio regulando velocidad desde la Sala de Control Local de la Unidad Generadora.
- 12:09 LP1 Interruptor Q15 cerrado desde el COY. Línea energizada hasta ET. Ayolas
- 12:12 LP1 ET. Ayolas, barra 1 energizada por interruptor 252-91.
- 12:14 Semibarra W13-W14 tensión de 503 kV a 464 kV.
- 12:17 ET. Ayolas, interruptor 252-90 cerrado, primera energización del autotransformador TR-2 exitosa.

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

LP 1 30/11 12:18

Energización TR2 Exitosa.



Pico Superior	(kVolt)	pico L-T	p.u.(*)	Pico Inferior	(kVolt)	pico L-T	p.u.(*)	(*) BASE	500,0 kV ef L-L
Tensión R	624,00		1,53	Tensión R	-535,10		1,31		172,5 MVA
Tensión S	427,90		1,05	Tensión S	-613,20		1,50		199,2 A ef L
Tensión T	544,70		1,33	Tensión T	-495,00		1,21		1449,3 Ohm

Figura 4.

Como se puede observar, la tensión llegó a 1,53 pu en la LP1 (624 kV) y no como lo establecía el estudio de 1,3 pu (Caso 2).

- 12:27 Semibarra W13-W14, se sube tensión de 464 a 498 kV a pedido de ANDE con TR-2 energizado.
- 12:39 LA3 Seccionadores Q11 y Q12 cerrados.
- 12:43 LA3 Interruptor Q15 cerrado, acoplamiento realizado con sincronoscopio manual, regulando tensión y velocidad desde la Sala de Control Local de la U20, LP1 en paralelo con el SADI.
- 12:43 U20 En control de potencia, en local se toma carga hasta 70 MW.
- 12:44 U20 Se pasa a control a distancia, modo potencia.
- 12:49 Acoplador de barra, seccionador Q12 cerrado, interruptor Q15 cerrado.
- 12:52 LP1 Seccionadores Q21 y Q22 cerrados.
- 12:53 LP1 Interruptor Q25 cerrado, línea vinculada a ambas barras de CHY.
- 12:54 U20 Relé de frecuencia normalizado.
- 12:55 ET. Ayolas, interruptor 252-89 cerrado en remoto desde despacho de ANDE, barra 2 (500 kV) energizada.
- 12:59 U17 En servicio, normalizada la falla del sistema de excitación. Queda normalizada la configuración de la CHY.

### 3. ENERGIZACIÓN DEL AUTOTRANSFORMADOR TR-1 y TR-2 – 07.12.14

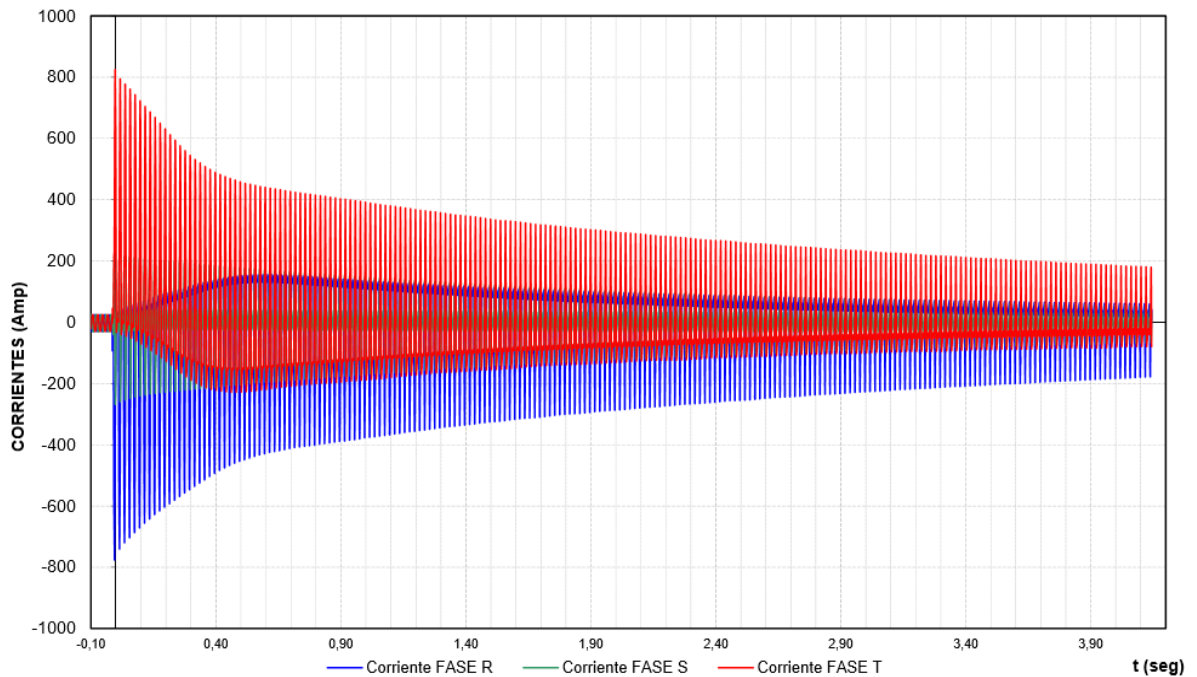
Por las altas tensiones registradas en la magnetización del TR-2 el día 30.11.14, se procedió a magnetizar el TR-1 de la ET. Ayolas y posteriormente el TR-2 con la CHY conectada al SADI.

Secuencia cronológica de Maniobras:

- 09:04 Tensión en barras de CHY 505 kV a 500 kV.
- 10:03 LP1 seccionador de línea 289-49 cerrado.
- 10:47 TR-1 Energizado.
- 11:14 TR-2 Energizado.

**LP 1 07/12 10:47**

**Energización TR1.**

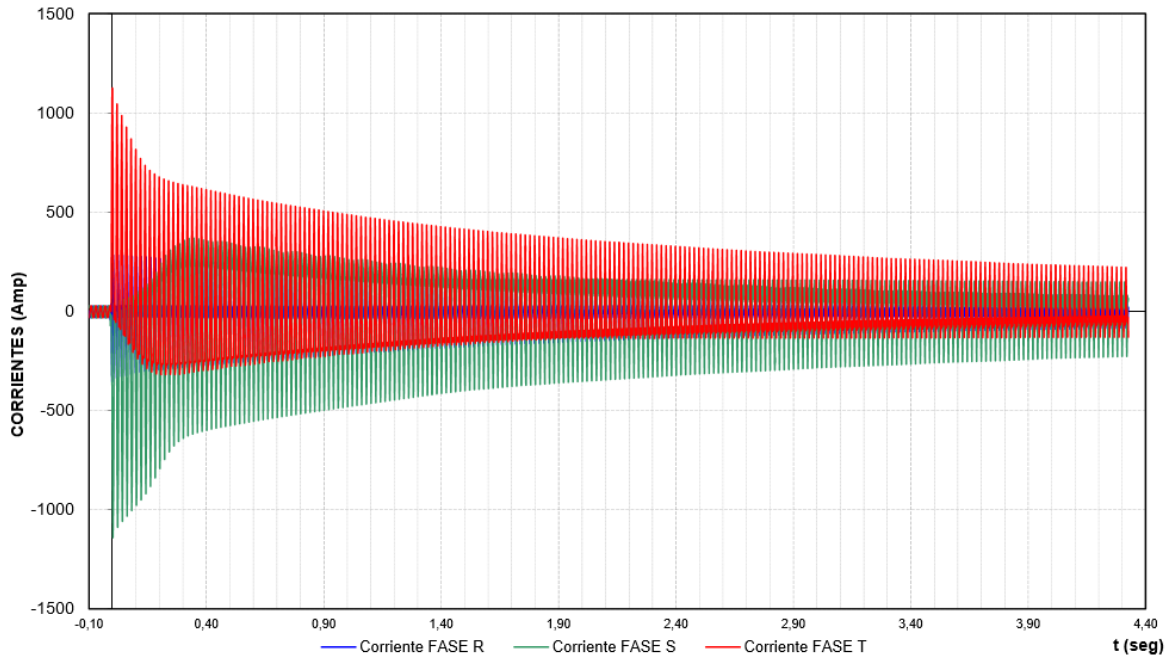


Pico Superior (Amp)	p.u.(*)	Pico Inferior (Amp)	p.u.(*)		
Corriente R	156,7	1,36	Corriente R	-776,3	6,74
Corriente S	216,8	1,88	Corriente S	-268,2	2,33
Corriente T	825,3	7,16	Corriente T	-228,6	1,98

**Figura 5: Energización TR-1, corrientes**

LP 1 07/12 11:14

Energización TR2.



Pico Superior (Amp)			Pico Inferior (Amp)		
Corriente	p.u.(*)		Corriente	p.u.(*)	
Corriente R	283,1	2,46	Corriente R	-355	3,08
Corriente S	368	3,19	Corriente S	-1140,7	9,90
Corriente T	1125,2	9,77	Corriente T	-319,7	2,78

**Figura 6: Energización TR-2, corrientes**

Como se puede apreciar en las figuras 5 y 6, sobre todo en el segundo caso, las corrientes en LP1 son muy elevadas.

Si esta condición se repite, para cuando se energice con una única Unidad Generadora, cuyo escenario se daría ante un Colapso del NEA-SADI, el esfuerzo para el trafo y generador dedicado será considerable y seguramente se tendrá que cambiar el ajuste de las protecciones.

Es importante solicitar nuevos estudios sobre la posibilidad de hacerlo con una Unidad Generadora dedicada al SINP, o no, y de no ser posible, determinar el mínimo número de Unidades para el efecto.

- 11:22 CHY de 500 a 507 kV.
- 12:04 ET. Ayolas, cierre de interruptor 352-81. Toma carga por primera vez el TR-1 y LP1 (100 MW – aproximadamente 66% de la carga preexistente). Línea LP2 queda con 53 MW.
- 14:36 LP2 Fuera de servicio mediante la apertura de los interruptores 352-73 y 352-79 en ET. Ayolas.



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

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

---

#### **4. CONCLUSIONES**

En los dos días de ensayos los valores de tensiones (día 30.11.14) y corrientes (día 07.12.14), para las configuraciones elegidas fueron altos.

Estos valores podrían comprometer a la unidad destinada para la magnetización de los autotransformadores ante un colapso del NEA-SADI, como está previsto.

Por lo mencionado se recomienda iniciar nuevos estudios de comportamiento de una Unidad Generadora ante estas exigencias, y de no poder hacerlo, se verifique el número mínimo de unidades para magnetizar los mencionados autotransformadores TR-1 y TR-2 de la ET. Ayolas.