



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

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

MODIFICACIÓN DE LA LÓGICA DE CONMUTACIÓN DE VÁLVULAS DEL CER DE LIMPIO, PARA EXTENSIÓN DE SU CONFIABILIDAD OPERATIVA

Ing. Gustavo Adolfo Aguayo Rojas
gus.aguayo@ieee.org

Administración Nacional de Electricidad

Paraguay

RESUMEN

Durante el verano del año 2010, el Sistema Interconectado Nacional (SIN) de la ANDE ha debido operar al límite de su capacidad, debido al retraso en la implementación de obras de transmisión y distribución, situación que se ha visto exacerbada a causa de las sumamente elevadas temperaturas ambientes registradas, principalmente en el mes de febrero, lo cual desatara el uso intensivo de acondicionadores de aire y equipos afines.

En coincidencia con los récords de temperatura ambiente registrados en dicha época, el CER de Limpio también contribuyó en profundizar aún más la ya de por sí delicada situación del SIN, al disparar en repetidas ocasiones en momentos de alta demanda, a raíz de limitaciones en el diseño de sus sistemas de enfriamiento de válvulas.

El presente trabajo pretende analizar brevemente las implicancias sobre el SIN de las desconexiones del CER de febrero del 2010, a la vez de explicar los orígenes de los disparos de sus sistemas de enfriamiento. Se describen las posibles alternativas de solución del problema barajadas en su momento, y se explica detalladamente la solución implementada en campo, la cual consistió en la modificación de la lógica de conmutación de válvulas original, llevada a cabo por medio de la incorporación de un controlador digital auxiliar. Finalmente se dan a conocer algunos de los resultados de campo obtenidos sobre el sistema modificado.

PALABRAS CLAVES

CER – Sistemas de Enfriamiento de Válvulas – Sobretemperatura – Sobrecarga – Picos de Temperatura Ambiente – Acondicionadores de Aire – Inestabilidad Transitoria de Tensión – Cortes de Carga – Pestañeos – Controlador Digital Auxiliar – Lógica de Conmutación de Válvulas – Aumento de Confiabilidad Operativa



1 INTRODUCCIÓN

A raíz del déficit de inversión en infraestructuras de transmisión y distribución, el SIN se ha visto forzado últimamente a operar al límite de su capacidad durante condiciones de elevada demanda, registradas típicamente en épocas de verano, dando lugar a frecuentes interrupciones y pestaños (*sags*) en el servicio.

La mencionada crisis eléctrica ha alcanzado su punto más alto durante los primeros meses del año 2010, cuando picos históricos de calor acarrearón el uso intensivo de acondicionadores de aire y demás aparatos de enfriamiento, elevando la demanda de energía a valores también históricos, provocando la sobrecarga de los sistemas de transmisión y distribución.

El Compensador Estático de Reactivos (CER) de Limpio, -uno de los equipos estratégicos a nivel de transmisión encargado de regular la tensión en 220 kV-, también se vio afectado de forma indirecta por los récords de temperatura ambiente registrados en los primeros días del mes de febrero del 2010, llegando a disparar en varias ocasiones por sobrecarga térmica en sus plantas de enfriamiento, lo que sumado al prácticamente nulo margen de seguridad operativa del SIN, a raíz de la sobrecarga de las líneas de transmisión, acabó provocando varios principios de colapsos de tensión, los cuales fueron responsables por la aparición de pestaños y/o por la desconexión masiva de Puestos de Distribución (PDs) del área Metropolitana en más de una oportunidad.

Los disparos intempestivos del CER de Limpio en tales ocasiones se debieron a causa del agotamiento de la capacidad de disipación térmica de las plantas de enfriamiento de válvulas, al operar el CER por cierto tiempo en determinados puntos operativos en momentos de excesiva temperatura ambiente (picos de 45 °C), condición no prevista originalmente dentro de las especificaciones técnicas que dieran lugar a su diseño.

El presente trabajo tiene por objeto analizar sucintamente los efectos sobre el SIN de los disparos por sobretemperatura del CER de Limpio, así como describir acabadamente los orígenes de tales disparos y las alternativas de solución del problema, para finalmente detallar la solución implementada en campo, la cual ha consistido en el diseño y puesta en servicio de un controlador digital auxiliar, cuya finalidad es la de optimizar la utilización de las dos plantas de enfriamiento a través de la modificación de la lógica de conmutación de válvulas original, extendiendo con ello la confiabilidad operativa del CER durante condiciones de muy elevada temperatura ambiente.

Este artículo se halla dividido en seis partes: tras la introducción, en la segunda sección se presenta una descripción básica del CER de Limpio, mientras que en la tercera se efectúa un abordaje del problema suscitado. En el cuarto apartado se presentan las distintas alternativas de solución planteadas en su momento y se delimitan las bases de la solución adoptada. En el quinto capítulo se explican los principales detalles del controlador definitivo implementado y se muestran algunos de los principales resultados de campo producto de la modificación de la lógica de conmutación de válvulas original. La sexta sección enumera las principales conclusiones del trabajo.

2 DESCRIPCIÓN BÁSICA DEL CER DE LIMPIO

El CER de Limpio tiene por finalidad principal la regulación de tensión del área metropolitana tanto durante condiciones normales como ante contingencias en el SIN. Adicionalmente, el CER permite incrementar la transferencia de potencia desde los centros de generación, distantes unos 300 kilómetros de Asunción. El equipo posee una capacidad reactiva continuamente variable de +250/-150 MVAR, y está acoplado a la barra de 220 kV de la subestación Limpio a través de un transformador reductor de 220/11.8 kV – 250 MVA.

Para la generación de potencia reactiva (reactivos en adelanto) el CER dispone de dos TSCs (*Thyristor Switched Capacitors*) y tres filtros capacitivos, mientras que para la absorción de potencia reactiva (reactivos en atraso) el CER cuenta con dos TCRs (*Thyristor Controlled Reactors*). Tanto los TSCs como los TCRs están conformados por válvulas de tiristores disparados directamente por haces luminosos (rayos láser). Para la cancelación de las corrientes armónicas generadas por los TCRs el CER posee 3 filtros en derivación sintonizados a la 5^a, 7^a, y 11^a (filtro amortiguado) armónicas. Tales filtros están permanentemente conectados a la barra de 11.8 kV, y a más de su función primordial generan 50 MVAR de potencia reactiva capacitiva a la frecuencia fundamental.

El control del CER es efectuado por medio de dos sistemas de control basados en controladores Simadyn D, los cuales se hallan íntimamente acoplados entre sí: el Controlador de Lazo Abierto u OLC (*Open Loop Control*), y el Controlador de Lazo Cerrado o CLC (*Closed Loop Control*). El OLC tiene por función básica la colecta de información de todos los principales subsistemas del CER (estado de los equipos, alarmas, disparos), a la vez de servir como interfaz hombre-máquina (MMI) entre el operador y el equipo. Ya el CLC es el encargado de efectuar la regulación en lazo cerrado de la grandeza a ser controlada, la cual en el caso de la Ande es por lo general la tensión del sistema a nivel de 220 kV.

Las cuatro válvulas de tiristores son refrigeradas por dos sistemas de enfriamiento idénticos que operan independientemente el uno del otro; así, los TCR1/TSC1 son refrigerados por el Enfriamiento 1, y los TCR2/TSC2 son enfriados por el Enfriamiento 2. El proceso de refrigeración es llevado a cabo por medio de la circulación de agua pura (desionizada) dentro de un circuito cerrado de cañerías de acero inoxidable, por el cual se extrae continuamente el exceso de calor de los tiristores por medio de intercambiadores de calor dispuestos en el exterior de la sala de válvulas. Tanto las bombas, como los intercambiadores de calor, así como el comando de los filtros purificadores (para el control de la conductividad) son controlados por un PLC (Controlador Lógico Programable) Simatic S7-300.

En la Fig. 1-a se muestra el diagrama unifilar del CER de Limpio, y en la Fig. 1-b se exhibe el diagrama esquemático de las plantas de enfriamiento de válvulas.

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

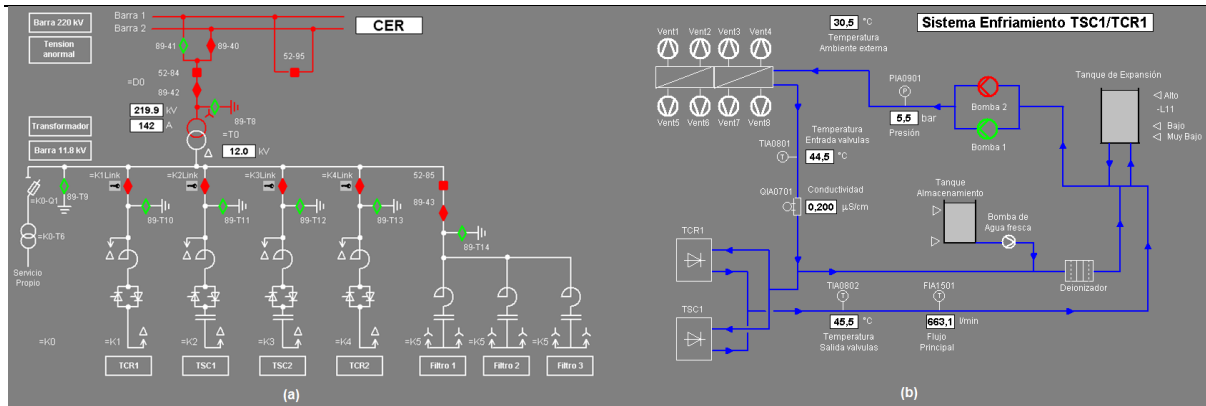


Figura 1: (a) Diagrama Unifilar del CER; (b) Esquema del Sistema de Enfriamiento 1

3 ABORDAJE DEL PROBLEMA

A partir del 02/02/2010 y por espacio de casi una semana el CER de Limpio disparó en seis ocasiones a razón de prácticamente una vez por día, por problemas en sus sistemas de enfriamiento, en momentos de máxima temperatura ambiente (43 a 45 °C), los cuales se daban por lo general a la siesta.

3.1 Implicancias de los Disparos del CER sobre el SIN

Los picos de calor registrados en el verano del 2010 propiciaron el uso intensivo de acondicionadores de aire -cuyos motores de inducción representan cargas altamente dinámicas-, y al hallarse el sistema de transmisión operando al límite, casi sin margen de seguridad adicional -por la falta de líneas-, tras la pérdida del CER, y al no contarse con ningún Esquema de Alivio de Carga [1-2-3] para este tipo de eventos, el déficit inicial de reactivos provocaba una disminución de la tensión, lo cual resultaba en una mayor absorción de reactivos por parte de los compresores de los acondicionadores de aire, lo cual por su vez disminuía aún más la tensión del sistema, ingresando el SIN raudamente dentro de un típico escenario de inestabilidad transitoria de tensión [3-4-5], caracterizada por una rápida y profunda caída de tensión que sólo era interrumpida por lo general tras la pérdida masiva de carga, producto en muchos casos de la actuación de fusibles y llaves de baja (380 V) y de media tensión (23 kV) de Puestos de Distribución (PDs), esparcidos a lo largo de vastas zonas geográficas del área Metropolitana.

La actuación masiva de los fusibles y llaves de media y baja tensión ocurría presumiblemente debido a los atascamientos (*stalling*) de los acondicionadores de aire registrados ante las pronunciadas caídas de tensión [7-8]. Como se describe en la literatura, la mayoría de los motores de los acondicionadores de aire tiende a atascarse ante caídas de tensión mayores a 20 o 30 %, momento a partir del cual pueden llegar a demandar corrientes de entre 4 a 6 veces la nominal [6]. Este significativo aumento de corriente registrado tras la pérdida del CER era pues, presumiblemente, el principal responsable de la desconexión masiva de PDs del Metropolitano, e indirectamente, de la salvación del SIN del colapso total, puesto que estas interrupciones actuaban como Alivio “Espontáneo” de Carga.

Aparte de la importante pérdida de carga registrada a nivel de distribución, los disparos del CER también podían traer aparejados otros disturbios en el sistema, como ser: pronunciados “pestaños” (*sags*) de tensión; disparo de los TCRs del CER de San Lorenzo, por causa del disparo por subtensión de las bombas de la planta de enfriamiento. También por el mismo motivo, en un par de ocasiones se produjo la parada total de la planta de tratamiento de agua de la ESSAP, en Viñas Cué. Asimismo, en una oportunidad se verificó la pérdida de carga en subestaciones del sistema Norte (Horqueta, P. J. Caballero), esta vez a nivel de transmisión.

3.2 Causales de los Disparos del CER

Los disparos del CER de febrero de 2010 se daban por lo general por “Sobretensión en Entrada de Válvulas – TIA0801” de la planta de enfriamiento 1, cuyo disparo se halla ajustado en 52 °C. Dichas desconexiones tenían lugar típicamente cuando:

- El CER se hallaba inyectando una potencia reactiva cercana a los 142 MVAR, habiendo estado operando en torno a dicho punto operativo por cierto tiempo (generalmente 15 a 20 minutos) en momentos en que,
- La temperatura ambiente externa era mayor o igual que unos 43 °C.

En la Fig. 2-a se muestra un gráfico ejemplificando el punto operativo en el que generalmente se daban los disparos, y que como puede observarse, correspondía al punto en que las corrientes del TCR1 eran máximas (cercas a los 2800 A) y prácticamente iguales a las del TSC1 (*overlapping zone*); y dado que los TCR1/TSC1 se hallan refrigerados por la misma planta de enfriamiento 1, en torno a dicho punto operativo se tenía entonces la máxima solicitud térmica sobre tal planta de enfriamiento. En la Fig. 2-b se muestran los principales parámetros de la planta de enfriamiento 1, en donde se puede observar la elevada temperatura ambiente (curva de color celeste) a la cual ocurrían los disparos (44 °C en este caso puntual).

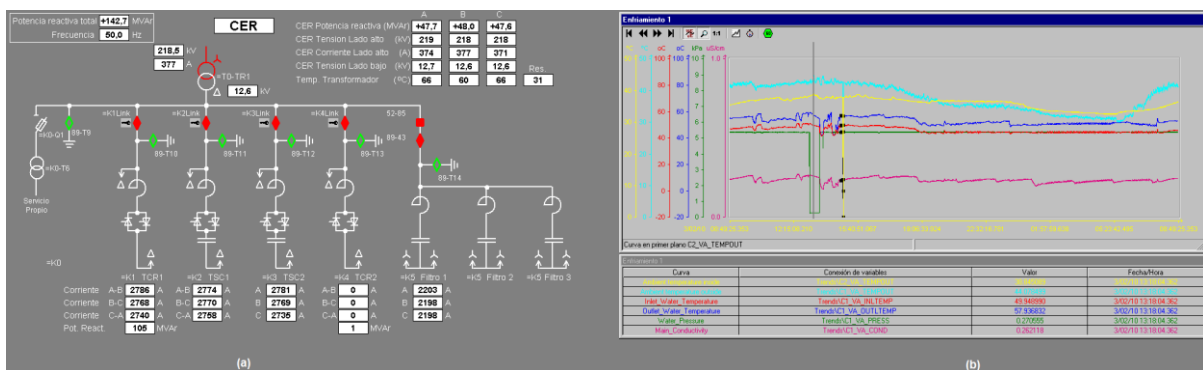


Figura 2: (a) CER inyectando +142 MVAR: $I_{TCR1} \cong I_{TSC1} = 2800$ A; (b) Curvas de Enfriamiento 1 durante disparo del 03/02/10 – 13:18 hs: Temperatura Ambiente = 44 °C

La razón principal por la que los sistemas de enfriamiento se veían rebasados en su capacidad de disipación térmica al operar el CER por cierto tiempo en la región de máxima solicitud térmica arriba descrita, durante condiciones de temperaturas ambientes extremas, obedecía en definitivas a limitaciones impuestas en las propias Especificaciones Técnicas (cuyas bases



fueron elaboradas por una consultora internacional en 1998), que dieran lugar al diseño del Compensador.

En efecto, de acuerdo a dichas Especificaciones la máxima temperatura ambiente en Limpio no excedería los 40 °C, mientras que como se ha mencionado antes, en la práctica se alcanzaron valores de hasta 45 °C durante las tórridas jornadas de febrero del 2010. A este factor limitante tal vez haya que agregar la cierta inexperiencia del subcontratista fabricante de los sistemas de enfriamiento, al haber previsto un margen de seguridad relativamente bajo (no más del 10 %) sobre el máximo valor de temperatura ambiente de operación especificado.

4 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Una vez identificado el causal del problema, se barajaron una serie de alternativas para su solución definitiva o cuanto menos transitoria.

4.1 Expansión de los Sistemas de Enfriamiento

La propuesta del fabricante del CER así como del subcontratista de los sistemas de enfriamiento era expandir la capacidad individual de enfriamiento por medio de la incorporación de intercambiadores de calor adicionales a los ocho ya existentes. Ello demandaría, como mínimo, una modificación del sistema de cañerías así como del sistema de control de las plantas, lo cual requeriría de bastante tiempo para su implementación.

4.2 Dispersión Forzada de Agua

Otra alternativa manejada en su momento fue el uso de dispersores de agua que escurrieran el líquido por encima de los radiadores y las cañerías de la planta de enfriamiento, coadyuvando en la refrigeración del agua desionizada. Esta alternativa tuvo que ser descartada de plano ya que en esa época no existía agua disponible en la subestación Limpio. (Por la sequía, el agua provista del exterior por la SENACSA se hallaba cortada, y el pozo propio de la subestación no disponía de bomba de extracción.)

4.3 Instalación de Parasoles

Se conjeturó que la instalación de parasoles de fibrocemento (Eternit), a una altura adecuada por encima de los intercambiadores de calor y de los radiadores, quizás podría contribuir con la disminución de la temperatura de las plantas de enfriamiento; al menos en un par de grados centígrados. Sin embargo, debido a la incertidumbre en el grado de efectividad de esta alternativa, la misma no llegó a ser intentada.

4.4 Alteración del Punto de Operación

Como fuera detallado en la sección 3.2, los disparos del CER no solo dependían de la temperatura ambiente reinante, sino también de las corrientes circulantes en los TCR1/TSC1. Por ello, para disminuir la sollicitación térmica sobre el Enfriamiento 1 una de las medidas paliativas encontradas era evitar la operación del CER en régimen permanente en torno al punto crítico de 142 MVAR, en momentos de muy elevada temperatura ambiente. Para la consecución de tal estrategia, bastaba con incrementar de un 3 a 5 % la tensión de referencia

del CER de tal manera a disminuir las corrientes en el TCR1, y con ello las referidas solicitaciones térmicas sobre la planta 1. Esta táctica fue ejecutada con éxito durante varios días, hasta la implementación de la solución definitiva descrita más abajo.

4.5 Modificación de la Lógica de Conmutación de Válvulas

En la Fig. 3 se muestra el diagrama de conmutación de válvulas del CER de Limpio [9], en el cual se puede observar que el máximo número de válvulas que pueden llegar a operar al mismo tiempo es tres, correspondiente al rango eminentemente capacitivo (130 MVar para arriba, pasando por el punto crítico de 142 MVar). Dado que existen dos sistemas de enfriamiento para atender las cuatro válvulas, y puesto que de entre éstas solo tres operan simultáneamente en el peor de los casos, es evidente entonces que debe existir suficiente capacidad de disipación instalada entre las dos plantas de enfriamiento, solo que tal capacidad no se halla óptimamente aprovechada al operar las dos plantas de forma aislada, sin ninguna conexión física entre ambas.

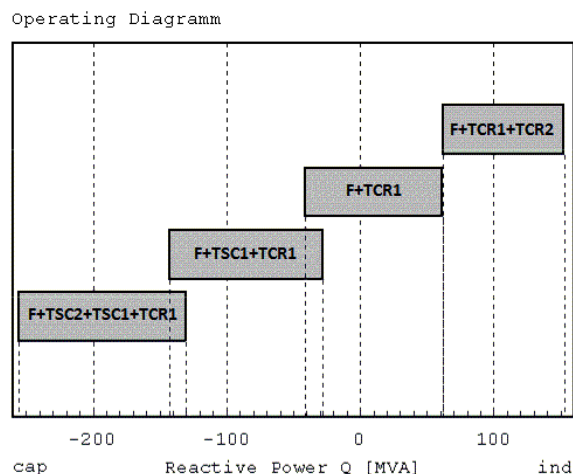


Figura 3: Diagrama de Conmutación de Válvulas del CER de Limpio (modo Degradado 1)

Otra cuestión relevante que se observa en la Fig. 3 es que en la zona de control lineal el CER siempre debe contar con al menos un TCR en operación. Desafortunadamente, en caso de que los dos TCRs se hallen disponibles, debido al diseño del sistema de control, éste siempre prioriza la utilización del TCR1 sobre el TCR2, llegando este último a operar solamente en la zona fuertemente inductiva (62 a 150 MVar). Esto quiere decir que, de acuerdo a la lógica de conmutación original, en caso de que las cuatro válvulas se encuentren disponibles, en el extremo superior del rango capacitivo siempre se tiene el mismo trío de válvulas en operación: **TCR1-TSC1-TSC2**, lo cual, como ha sido explicado antes puede provocar una sobrecarga térmica sobre la **planta de enfriamiento 1**, especialmente al operar el CER en torno al punto crítico de los 142 MVar en momentos de temperatura ambiente extrema.

De todo lo expuesto antes resulta evidente que, si en los momentos de máxima solicitud térmica se pudiera deshabilitar el TCR1 y al mismo tiempo habilitar el TCR2 estando el CER en servicio, éste podría continuar operando ininterrumpidamente, ya que en la zona capacitiva

no se requiere del concurso de ambos TCRs al mismo tiempo. Entonces, con la simple conmutación del TCR1 sobre el TCR2 ya se estarían disminuyendo ostensiblemente las sollicitaciones sobre la planta de enfriamiento 1.

Es importante remarcar sin embargo, que si la conmutación sobre el TCR2 fuera permanente, el problema de sobrecarga térmica podría con el tiempo llegar a transferirse sobre la **planta de enfriamiento 2**, ya que en ese caso se tendría el siguiente trío de válvulas en servicio: TCR2-TSC1-TSC2. Sin embargo, para salvar este eventual inconveniente bastaría con implementar una lógica de conmutación periódica entre los TCR1 y TCR2, incorporando un retraso de tiempo entre las conmutaciones, con el objeto de permitir la normalización de las temperaturas en los sistemas de enfriamiento. De las curvas de operación de las plantas de enfriamiento se determinó que una temporización de 10 minutos entre la conmutación de los dos TCRs sería más que adecuada para este propósito. En la Fig. 4 se muestra el esquema elemental del conmutador concebido.

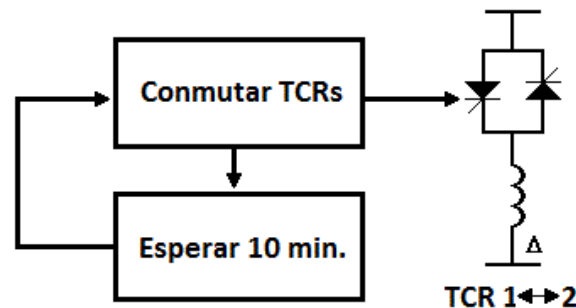


Figura 4: Esquema básico del Conmutador de Válvulas propuesto

Para la ejecución del esquema elemental de conmutación de TCRs se contactó a título personal con un especialista del fabricante del CER, quien proveyó valiosa información sobre los puntos de entrada/salida en el CLC que permitieran llevar a cabo tal conmutación, por hardware. (Puesto que no se disponía del código fuente de ninguno de los programas de control, al ser estos de propiedad intelectual del fabricante, era inviable intentar la implementación de tales modificaciones alterando el software del CLC y/o del OLC.)

En la práctica, la implementación del conmutador básico de TCRs, basado en torno a un microcontrolador PIC, a pesar de su concepción aparentemente trivial, no estuvo exenta de dificultades sin embargo; puesto que si bien desde el inicio mismo se evidenciaron los beneficios en cuanto a la optimización del factor de utilización de las dos plantas de enfriamiento, también comenzaron a surgir comportamientos aparentemente erráticos en algunos subsistemas del sistema de control, los cuales llegaron a producir dos disparos espurios del CER inclusive. (Los últimos dos del total de seis disparos registrados en febrero pasado se debieron a estos motivos.)

En efecto, en la fase experimental de pruebas del conmutador de válvulas se tuvo primeramente un disparo relacionado con un transductor de la componente DC de TCRs, el cual teóricamente se encontraba deshabilitado, y el segundo disparo estuvo ligado con un aparente error en el propio *firmware* del sistema de control del CLC. Tras un intercambio de

consultas con el contacto del fabricante del CER así como con el fabricante del transductor con problemas, se efectuaron una serie de ajustes y cambios tanto en el CLC como en el conmutador bajo prueba; tras lo cual, finalmente ya no se presentaron nuevos disparos espurios, llegando el conmutador a permanecer activado en forma continuada por más de 10 días en el mes de febrero, sin ningún inconveniente.

5 PUESTA EN SERVICIO

Una vez superados los problemas iniciales relacionados con la conmutación de TCRs se procedió al diseño e implementación del controlador definitivo, el cual es básicamente similar al conmutador original con la diferencia de que su activación es comandada de forma automática, a partir de las señales de temperatura de entrada de válvulas, o de forma manual, por medio de llaves de mando local y remoto. En la Fig. 5 se muestra el diagrama en bloques del controlador definitivo así como una foto del Conmutador de TCRs ya montado en el panel del CLC del CER.

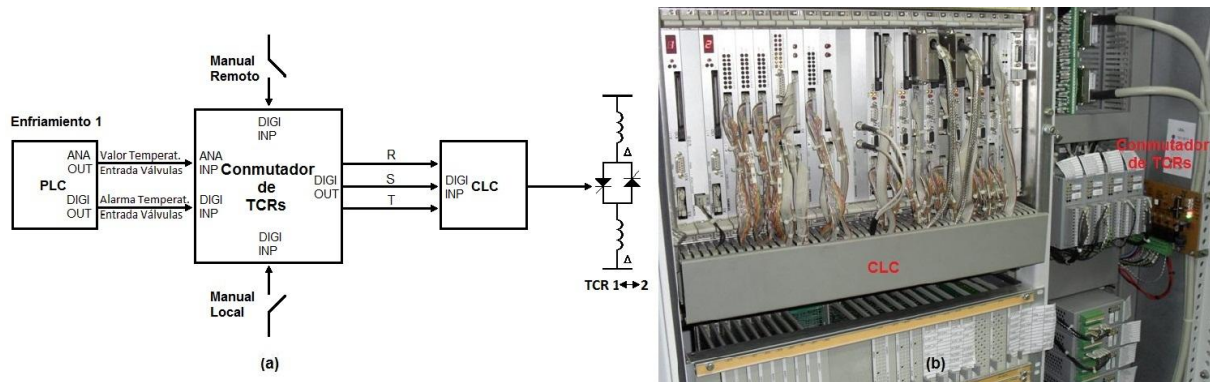


Figura 5: a) Diagrama de bloques del Controlador definitivo; b) Foto del Conmutador de TCRs dentro del panel del CLC

La activación del proceso de conmutación forzada puede ser iniciada de cuatro formas:

- **Operación Manual:** por medio de llaves a nivel “Local” (en el CER) y “Remoto” (en la subestación Limpio), un operador puede iniciar la secuencia de conmutación básica antes descrita, la cual estará activa por todo el tiempo en que la llave permanezca incluida (en la posición “ON”).
- **Operación Automática:** independientemente de las llaves de operación manual, el controlador monitorea permanentemente el canal de salida analógica del PLC de la planta de enfriamiento 1 correspondiente a la temperatura de entrada de válvulas de los TCR1/TSC1, y en caso de constatar que la misma se sitúa por encima de los 50 °C por más de 30 segundos, comanda la activación del esquema de conmutación de TCRs por espacio de 30 minutos, (con el objeto de “escapar” del stress térmico por el cual el sistema estaría probablemente atravesando en esos instantes). Asimismo, como medida de respaldo en caso de fallas en la medición analógica de la temperatura de entrada, el controlador supervisa el canal de salida digital correspondiente a la alarma de “Alta Temperatura de Agua en Entrada de Válvulas – TIA 0801” (activada en 51°C), comandada por el PLC de la planta de enfriamiento 1, y en caso de detectar

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

su activación, ejecuta automáticamente la rutina de conmutación periódica de TCRs por un espacio de tiempo de 3 horas.

En la Fig. 6-a se muestran las curvas de corriente y potencia rms del TCR1 durante una secuencia de conmutación. Como se percibe, antes de las 08:30 hs el TCR1 se encontraba en conducción continua (condición *default*), momento a partir del cual se observa el proceso de apagado (huecos) y encendido secuencial de la válvula, a intervalos de 10 minutos. (Las curvas del TCR2, que sustituyen a las del TCR1 durante el bloqueo de éste no se muestran en este gráfico). La Fig. 6-b muestra las formas de onda durante la transición de TCRs, la cual no conlleva ningún tipo de stress sobre las válvulas ni sobre el sistema de control, ni tampoco la aparición de bruscos transitorios en el sistema de potencia, siendo el proceso totalmente transparente desde el punto de vista operativo.

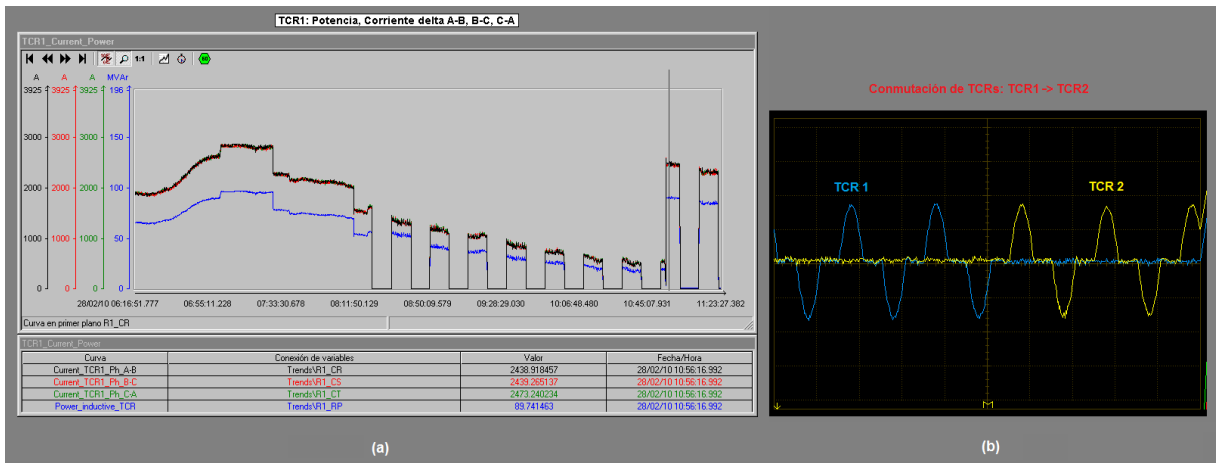


Figura 6: a) Corrientes y Potencias rms del TCR1 durante proceso de conmutación; b) Formas de Onda de Corrientes de los TCRs durante una transición de conmutación

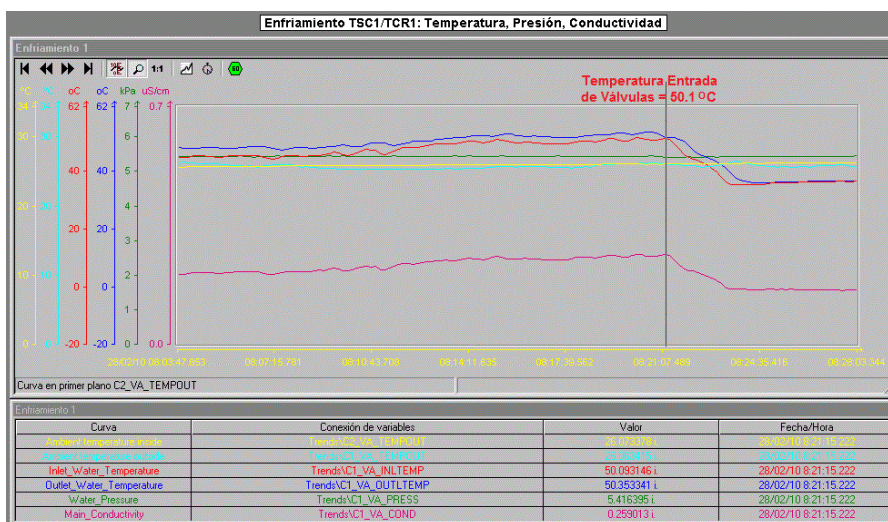


Figura 7: Curvas del Enfriamiento 1 durante prueba de la modalidad Automática

En la Fig. 7 se despliegan las curvas de los principales parámetros de la planta de enfriamiento 1 durante una prueba de la modalidad automática del controlador. Como se observa en el gráfico, inicialmente la temperatura del enfriamiento 1 a la entrada de válvulas va aumentando gradualmente (curva de color rojo), hasta que al alcanzar los 50 °C el controlador activa la conmutación de TCRs, encendiendo el TCR2 y apagando el TCR1, con lo que las temperaturas del enfriamiento 1 comienzan a declinar, hasta normalizarse del todo en unos cuantos minutos.

6 CONCLUSIONES

- Los disparos de los sistemas de enfriamiento del CER de Limpio de febrero del 2010 se debieron a causa de limitaciones en el propio diseño de los mismos.
- El diseño y la implementación de un controlador digital auxiliar de TCRs ha permitido contornar dichas limitaciones, aumentando con ello la confiabilidad operativa del CER durante temperaturas ambientes extremas, con lo cual no se esperan nuevos disparos del mismo por cuestiones de sobretemperatura.
- Sin embargo, sería recomendable analizar la necesidad de implementar algún Esquema de Alivio de Carga que se active de forma automática ante la eventual pérdida del CER en el futuro.

BIBLIOGRAFÍA

1. Taylor C.; “Concepts of Undervoltage Load Shedding for Voltage Stability”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 7, No. 2, April 1992
2. IEEE Power System Relaying Committee; “Voltage Collapse Mitigation”, December 1996
3. NERC; “Summary of the Voltage Collapse Phenomenon”, August 1991
4. Yasuji S., Hiroshi O.; “Cascaded Voltage Collapse”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 5, No. 1, February 1990
5. Hammad A. E.; “Prevention of Transient Voltage Instabilities due to Induction Motor Loads by Static Var Compensators”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 4, No. 3, August 1989
6. ORNL; “Local Dynamic Reactive Power for Correction of System Voltage Problems”, Oak Ridge National Laboratories, September 30, 2008
7. Shaffer J. W.; “Air Conditioner Response to Transmission Faults”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 12, No. 2, May 1997
8. NERC; “Philadelphia Electric Company System Voltage Depression with Subsequent Load Loss”, Review of Selected System Disturbances in North America, 1992
9. Heinz T.; “SVC Limpio Final Design Report”, Siemens PTD, February 8, 2002