CIENCIA E INGENIERIA Vol.XIX,Nº2,pág.21 a 42(1987)

CONTROL DE TENSION EN EL SISTEMA ELECTRICO DE LA C.V.G. EDELCA

Abdenago ARRIETA, Walter DARTANAY
C.V.G. Electrificación del Caroní C.A. (EDELCA)

RESUMEN

Con la puesta en servicio del Sistema a 765 KV, se hace necesario un estudio relacionado con el control de tensión en el Sistema de Potencia de EDELCA. La presencia de nuevos elementos tales como: líneas de gran longitud, autotransformadores (hasta 1500 MVA), compensadores estáticos (S.V.S) y reactores de compensación, modifican los criterios operativos utilizados anteriormente (sin el sistema a 765 KV) en la Red Troncal de Transmisión para el control de tensión.

El objetivo del trabajo es determinar el rango de regulación que permite cada uno de los equipos en el sistema. Estos equipos lo constituyen los autotransformadores, reactores (300, 100 y 50 MVAR), unidades generadoras (185, 230, 360 y 700 MVA) y los compensadores estáticos (+300, 280 MVAR). Entre otras, la principal utilidad del trabajo es que permite agilizar la toma de decisiones del operador del sistema de potencia y el conocimiento de las limitaciones de estos equipos, debido a características propias o a condiciones del sistema.

El estudio se hace desde el punto de vista de régimen permanente, utilizando el programa digital del flujo de carga (PSS/2) implementado en el sistema de computación VAX de EDELCA.

ABSTRACT

The EDELCA power system tension control. Due to the new system, it has been necessary to study the EDELCA power system tension control. New elements such as very long lines, autotranformers (till 1500 MVA), static compensators (S.V.S.) and compensation reactors change the operative criteria used before (without the 765 KV system) on the tension control of the transmition troncal network.

It has been determined the regulation-range on each of the system equipment. These equipments are: autotransformers, reactors (300, 100 and 50 MVAR), generators (185, 230, 360 and 700 MVA) and static compensators (+300, 280 MVAR). The usefulness of this work allow to speed up the Power System operator decisions and it gives the knowledge about the equipment limitations, due to characteristics or conditions of the system.

The study has been done in steady state using the digital program PSS/2 existing at EDELCA VAX computation system.

INTRODUCCION

La principal fuente de generación eléctrica en Venezuela, lo constituye el complejo hidroeléctrico de Guri, ubicado al sureste del país, con una capacidad actual instalada de 6600 MW.

El gran potencial hidroeléctrico existente en Guri es utilizado para el funcionamiento de la industria pesada ubicada en la Región de Guayana, así como también, para la sustitución de otras fuentes energéticas (plantas termoeléctricas), instaladas en el resto del país. Con ésta última finalidad, la electrificación del Caroní C.A. (EDELCA) ha construido sistemas de transmisión de extra alta tensión a 400 KV y el más reciente a 765 KV entre Guri y la Región Central. Este nuevo sistema reforzará la interconexión en forma considerable y aumentará el consumo de hidroelectricidad en los sistemas de CADAFE y de la Electricidad de Caracas.

Estos sistemas de extra alta tensión en corriente alterna se caracterizan por la importancia que tiene la compensación de potencia reactiva para el control del voltaje. La finalidad del control de tensión en régimen permanente se resume en:

- Mejora en la estabilidad transitoria.
- Reducción de las pérdidas y la carga térmica de los equipos del sistema de potencia.
- Disminución de los esfuerzos dieléctricos en transformadores de tensión, corriente, potencia, interruptores etc.
- Mejora la calidad del servicio manteniendo tensiones adecuadas en las subestaciones de carga.

La potencia activa transmitida actualmente hacia el centro del país está muy por debajo de la capacidad máxima que permiten los sistemas a 400 y 765 KV, lo cual dificulta el control de tensión y hace más necesario la compensación de potencia reactiva. Por esta razón, particularmente el sistema a 765 KV está previsto de equipos de compensación reactiva tales como: reactores, compensadores estáticos, y unidades generadas con alta capacidad de subexcitación.

En el presente trabajo se determinará el efecto (desde el punto de vista de régimen permanente), que tienen estos equipos sobre el perfil de tensión en el sistema de transmisión Guri Centro y en el resto de la Red Troncal de Transmisión (R.T.T).

OBJETIVO

- Evaluar el rango de regulación de los equipos de control de potencia reactiva en el sistema de potencia de EDELCA.

. Influencia sobre las tensiones del sistema con la puesta en servicio o fuera de servicio de un reactor (50, 100 y 300 MVAR).

. Influencia sobre las tensiones del sistema de los compensadores estáticos (+300, -280 MVAR).

. Influencia sobre las tensiones del sistema mediante la excitatriz de las unidades generadoras de Guri.

. Influencia sobre las tensiones del sistema de los cambios en las posiciones de tomas (Taps) de los autotransformadores de la Red Troncal de Transmisión.

- Obtener una información debidamente documentada con los puntos anteriores, de fácil acceso a los operadores del sistema de potencia.

UTILIDAD Y ALCANCE

- Permitir agilizar la toma de decisiones de los operadores ante cualquier condición que se presente en el sistema de potencia.

- Dar a conocer las limitaciones de los diferentes equipos reguladores de tensión y su influencia sobre el sistema.

- Optimizar el uso de los equipos de compensación reactiva para el control de tensión.

- Mejorar la operación del sistema de potencia.

El estudio se limita al análisis en régimen permanente, considerando el sistema balanceado. Se utiliza el programa digital de flujo de carga (PSS/2) implementado en el sistema de computación VAX de EDELCA.

CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS EQUIPOS DE COMPENSACION Y SU UBICACION EN EL SISTEMA DE POTENCIA DE EDELCA

A BREVE DESCRIPCION DEL SISTEMA DE POTENCIA DE EDELCA

El sistema de potencia de EDELCA puede ser dividido en tres áreas definidas: Sistema Regional "A", Sistema Regional "B" y Red Troncal de Transmisión.

SISTEMA REGIONAL "A"

El Sistema Regional "A", opera en los niveles de voltajes 115, 34.5 y 13.8 KV. Las fuentes de alimentación de este sistema están constituídas por la Central Hidroeléctrica Macagua I con una capacidad instalada de 360 MW y Guri mediante dos líneas a 230 KV que llegan a la subestación Guayana "A".

Este sistema sirve a la carga residencial y comercial de Guayana y algunas indutrias.

SISTEMA REGIONAL "B"

Este sistema está constituído principalmente por la subestación Guayana "B", la cual es alimentada desde Guri mediante tres (3) líneas a 400 KV. La carga servida es básicamente industrial (aluminio y hierro) a un nivel de tensión de 115 KV.

La capacidad instalada de esta subestación es de 3500 MVA repartida entre 5 autotransformadores de relación 400/115 KV.

RED TRONCAL DE TRANSMISION (R.T.T)

La Red Troncal de transmisión está constituída por los sistemas a 765, 400 y 230 KV; permite llevar la energía hidroeléctrica desde Guri hasta el Oriente y Centro del país.

Los sistemas a 400 y 230 KV están constituídas por 4 líneas, que van desde el patio de distribución Guri, en el Estado Bolívar, hasta la subestación Santa Teresa, en el Estado Miranda; dos de dichas líneas operan a un nivel de tensión de 400 KV y las otras dos a 230 KV. Las líneas a 400 KV tienen una longitud de 560 Kms.

El sistema a 765 está constituído por 2 líneas que salen del patio de distribución Guri 765 y llegan a la subestación San Gerónimo 765, ubicada en Valle De La Pascua. En esta subestación se tienen 4 reactores (2 de líneas y 2 de barra) de 300 MVAR c/u, asímismo, se dispone de un compensador estático (+300, -280 MVAR). Entre la subestación San Gerónimo 765 y Guri se encuentra la subestación Malena 765, la cual cuenta con 2 reactores de líneas de 300 MVAR c/u.

En la subestación San Gerónimo 765 se interconectan los sistemas a 765 y 400 de EDELCA por medio de 2 autotransformadores de 1500 MVA c/u, y salen dos líneas que van a las subestaciones Horqueta 765 y Arenosa 765 ubicadas en los Estados Aragua y Carabobo respectivamente. En la subestación Horqueta 765 se dispone del segundo compensador estático (+300, -280 MVAR). La distancia entre Guri y la subestación a 765 KV más lejana es de aproximadamente 650 Kms.

También forman parte de la Red Troncal de Transmisión las unidades de generación de Guri, las cuales, se agrupan en 3 unidades de 185 MVA c/u (230 KV), 3 unidades de 230 MVA c/u (300 KV), 4 unidades de 360 MVA c/u (400 KV) y actualmente están 6 unidades disponibles de 700 MVA c/u (765 KV).

Los patios de 765 KV y 400 KV en Guri, están enlazados mediante dos autotransformadores de 1.500 MVA de capacidad cada uno. Asimismo, las subestaciones de intercambio con el Centro (Horqueta y Arenosa) cuentan con autotransformadores de 1000 y 1500 MVA.

La Figura N° 1 muestra el diagrama unifiliar del sistema de potencia EDELCA y la Red Troncal de Transmisión.

B. EQUIPOS DE COMPENSACION REACTIVA

Como se mencionó anteriormente, los distintos equipos que permiten el control de tensiones en la Red Troncal de Transmisión son: unidades de generación, reactores en derivación, compensadores estáticos y los cambios de tomas en los autotransformadores.

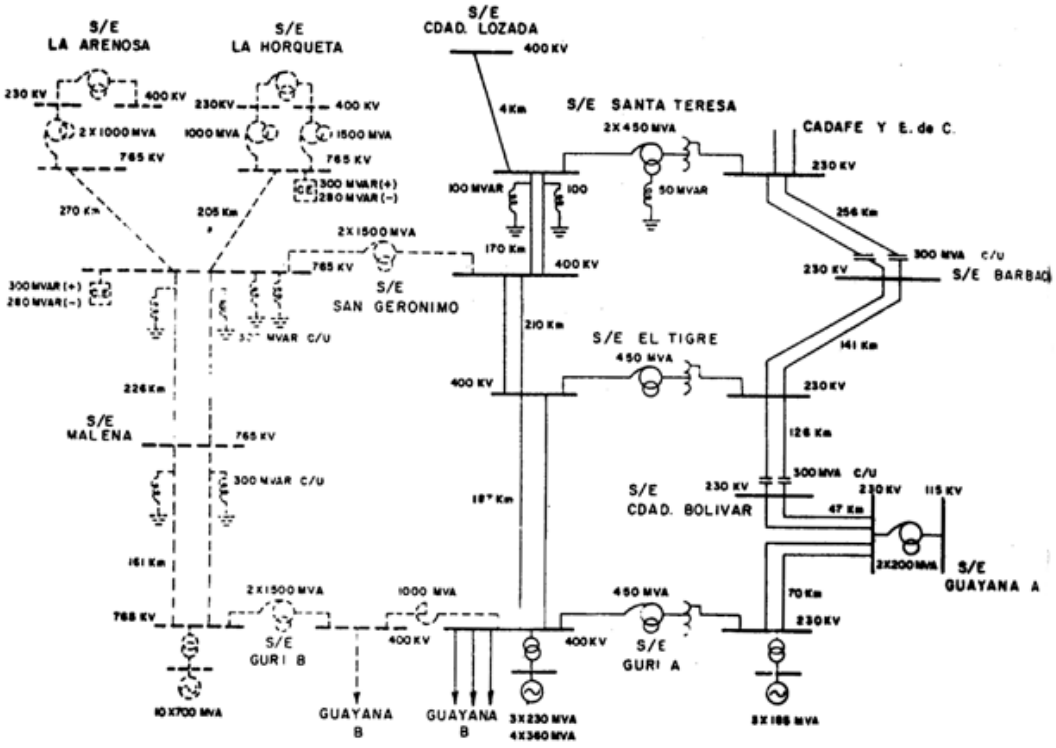

S/E
LA ARENOSA
S/E
LA HORQUETA
S/E
CDAD. LOZADA
400 KV
4 Km
S/E SANTA TERESA
2X450 MVA
CADAFE Y E. de C.
230 KV
230 KV
400 KV
2 X 1000 MVA
1000 MVA
1500 MVA
765 KV
765 KV
300 MVAR(+)
280 MVAR(-)
100 MVAR
100
50 MVAR
256 Km
270 Km
205 Km
2X1500 MVA
170 Km
400 KV
300 MVA C/U
230 KV
S/E BARBACOAS
765 KV
S/E
SAN GERONIMO
300 MVAR (+)
280 MVAR (-)
MVAR C/U
210 Km
S/E EL TIGRE
450 MVA
141 Km
400 KV
230 KV
226 Km
S/E
MALENA
765 KV
126 Km
300 MVAR C/U
300 MVA C/U
230 KV
115 KV
S/E
CDAD. BOLIVAR
47 Km
161 Km
2X200 MVA
S/E
GUAYANA A
2X1500 MVA
1000 MVA
450 MVA
70 Km
765 KV
400 KV
400 KV
230 KV
S/E
GURI B
S/E
GURI A
10 X700 MVA
GUAYANA
B
GUAYANA
B
3X230 MVA
4X360 MVA
3X185 MVA

Figura 1

UNIDADES GENERADORAS: Un generador aparte de producir potencia activa, produce potencia reactiva al operar sobrexitado y la absorbe al operar subexitado. La salida de potencia reactiva puede controlarse continuamente mediante la excitatríz.

En el caso de las unidades de generación de Guri (Casa de Máquinas N° 2), éstas están diseñadas para operar normalmente subexcitadas sin presentar temperaturas anormales en el estator. Las gráficas N° 2 y 3 muestran las curvas de capacidad de estas unidades.

REACTORES EN DERIVACION

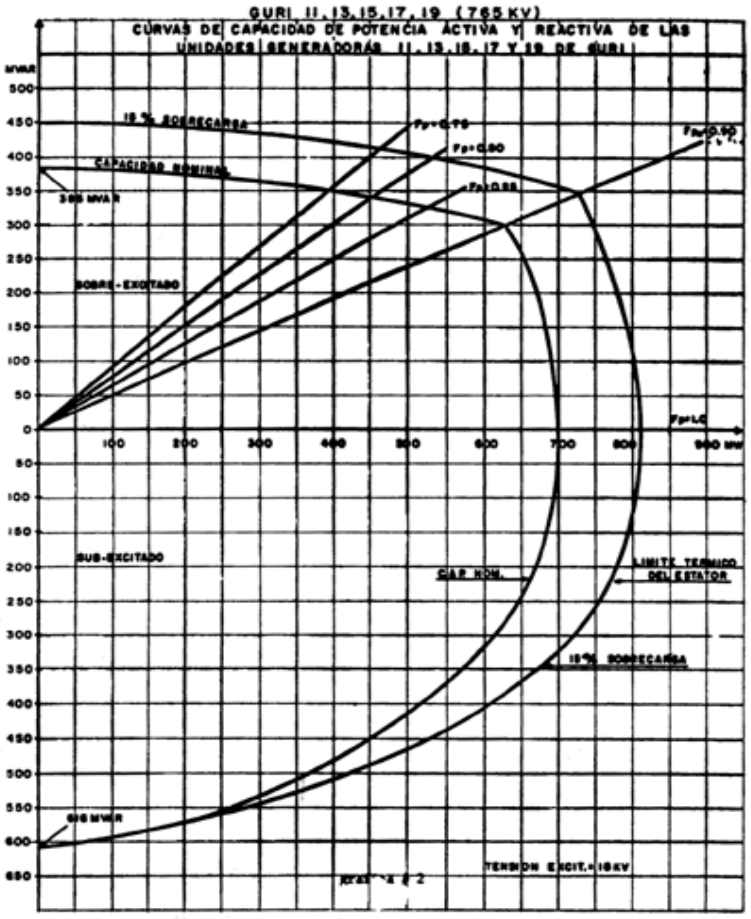
Se conectan en paralelo a un sistema eléctrico con el objetivo de absorver potencia reactiva. Las características de los reactores instalados en el sistema a 765 son las siguientes: monofásicos, su capacidad de absorción de reactivos a tensión nominal es de 300 MVAR y son del tipo fijo.

COMPENSADOR ESTATICO: Es un dispositivo reactivo estático en que las funciones de generación o absorción de potencia reactiva pueden variarse mediante conmutadores de tiristores. En estos equipos se emplean 2 tipos de elementos controlados por tiristores: el capacitor conmutado por tiristores (T.S.C) y el reactor controlado por tiristores (T.C.R).

Los compensadores estáticos presentan una respuesta rápida ante los requerimientos del sistema, asimismo, el flujo de potencia reactiva es controlable en forma independiente y contínua.

Las características de los compensadores estáticos de EDELCA son las siguientes: generan 300 MVAR o consumen 280 MVAR a tensión nominal, los grupos de capacitores (2) son del tipo fijo (150 MVAR c/u), tiene un grupo de reactores fijos (150 MVAR) y 1 grupo de reactores controlables (150 MVAR).

AUTOTRANSFORMADORES: Estos suministran un medio adicional para controlar las tensiones en un sistema de potencia ,mediante los cambios de tomas (Taps), ya que afectan el flujo de potencia reactiva.


GURI II, 13, 15, 17, 19 (765 KV)
CURVAS DE CAPACIDAD DE POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA DE LAS UNIDADES GENERADORAS II, 13, 15, 17 Y 19 DE GURI
MVAR
15 % SOBRECARGA
CAPACIDAD NOMINAL
385 MVAR
SOBRE-EXCITADO
SUB-EXCITADO
CAP NOM.
LIMITE TERMICO DEL ESTATOR
15% SOBRECARGA
615 MVAR
TENSION EXCIT. = 18 KV
MW

GURI 12,14,16,18,20 (765 KV)
CURVAS DE CAPACIDAD DE POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA DE LAS UNIDADES GENERADORAS 12,14,16,18 Y 20 DE GURI

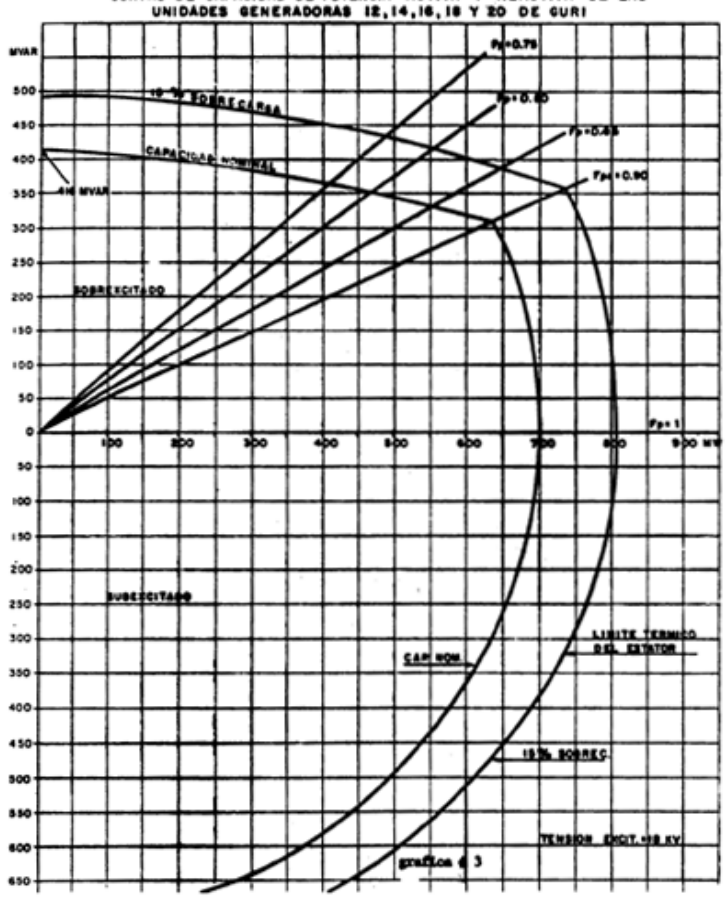


grafico 3

En el caso del sistema a 765 KV se tienen autotransformadores con cambios de tomas (Taps) sin carga y desenergizados, lo cual no permite un control contínuo de tensiones, requiriendo un ajuste de tomas adecuado para cualquier condición del sistema de potencia.

PROCEDIMIENTO UTILIZADO

El nivel de exportación de energía actual hacia el centro del país varía considerablemente entre la mínima y máxima demanda (800 MW y 1900 MW). Con la finalidad de obtener resultados válidos para todo el rango de exportación mencionado, se consideraron dos (2) casos básicos de flujo de carga.

A. CASO DE 1000 MW DE EXPORTACION. CONDICIONES GENERALES

En el caso de 1000 MW la generación se distribuye de la siguiente manera: 3 Unidades del grupo de 700 MVA (980 MW), 3 unidades del grupo de 360 MVA (590 MW), 3 unidades del grupo de 230 MVA (430 MW) y 2 Unidades de 185 MVA (340 MW).

El sistema a 765 KV está interconectado con las subestaciones de CADAFE (Centro): Arenosa 230, Horqueta 400 y Horqueta 230.

Los compensadores estáticos de San Gerónimo y Horqueta se consideran disponibles.

Los reactores que están en servicio son: 4 en la subestación San Gerónimo 765 (300 MVAR c/u), 2 en la subestación Malena 765 (300 MVAR c/u), 2 en la subestación Santa Teresa 400 (100 MVAR c/u y 1 en el terciario del autotransformador de Santa Teresa 400/230 (50 MVAR). El reactor serie de 1000 MVA que interconecta los Patios de Guri A y Guri B no está en servicio.

Todos los autotransformadores del sistema están en servicio.

B. CASO 2000 MW DE EXPORTACION. CONDICIONES GENERALES

En el caso de 2000 MW de exportación la generación se distribuye de la manera siguiente: 4 unidades de 700 MVA (2000 MW), 3 unidades de 360 MVA (700 MW), 3 unidades de 230 MVA (430 MW) y 2 unidades de 185 MVA (340 MW).

El sistema a 765 KV está interconectado con las subestaciones de CADAFE (centro): Arenosa 230, Horqueta 400 y Horqueta 230.

Los compensadores estáticos de San Gerónimo y Horqueta están disponibles.

Los reactores que están en servicio son: 3 en la subestación San Gerónimo 765 (300 MVAR c/u), 1 en la subestación Malena 765 (MVAR), 1 en la subestación Santa Teresa 400. El reactor seriue de 1000 MVA que interconecta el Patio Guri A con Guri B está en servicio.

Partiendo de los casos bases se procedió de la manera siguiente:

REACTORES

Se consideran dos condiciones de operación, evaluándose la entrada o salida de un reactor por vez en las subestaciones que poseen estos equipos de regulación (Malena 765, San Gerónimo 765 y Santa Teersa 400).

En la condición de 1000 MW de exportación solo se evalúa la salida de reactores, puesto que en condiciones normales (caso base) se necesitan todos los reactores del sistema en servicio para mantener un perfil de tensiones aceptable, con todo el sistema de transmisión completo, además los compensadores estáticos se consideran fuera de servicio.

Los resultados están anotados en el respectivo formato.

CAMBIADORES DE TOMAS DE LOS AUTOTHANSFORMADORES DE LA RED TRONCAL

Para cada autotransformador de la Red Troncal de Transmisión se realizan cambios de tomas (Taps) hasta $\pm$ 2 posiciones respecto al caso base. Los resultados serán anotados en el formato respectivo.

COMPENSADORES ESTATICOS DE LA SUBESTACION SAN GERONIMO Y SUBESTACION HORQUETA 765

En los casos bases la operación normal de los compensadores estáticos, se tiende a llevar cerca de cero MVAR, siempre y cuando se mantengan perfiles de tensión aceptables.

El procedimiento consiste en llevar hasta el límite de operación a estos equipos (-280, 300 MVAR) sin considerar al otro compensador. Los resultados de los efectos sobre las tensiones del sistema son anotados en los respectivos formatos.

VARIACIONES EN LA EXCITACION DE LA UNIDADES DE GENERACION DE GURI

Se varia la tensión de referencia hasta alcanzar el límite de sobrexcitación y subexcitación por grupo de máquinas, tal y como están simuladas en el flujo de carga.

RESULTADOS

Mediante la operación de reactores (poner en servicio o fuera de servicio), se logra un rango de variación de tensión en el sistema bastante notable. Por otra parte, se puede decir que uno de los medios más prácticos para regular la tensión es la operación de reactores.

Es necesario hacer notar que con los reactores en la subestación San Gerónimo 765 KV se obtiene el mayor rango de regulación en las subestaciones Horqueta, Arenosa y Santa Teresa debido a la capacidad de éstos, a su vez el efecto producido sobre la subestación Guayana B debido a la operación de reactores en el sistema es poco notable, siendo los de las subestaciones Malena y San Gerónimo los que producen mayor efecto en dicha subestación, con una variación de tensión de $\pm$ 0.9 KV aproximadamente en la barra de 115 KV.

Con la finalidad de ilustrar efectos más importantes debidos a la operación de reactores en el sistema, se detalla a continuación cada uno de estos efectos.

REACTOR FUERA DE SERVICIO (1000 MW EXPORTACION)

SUBESTACION MALENA 765 KV

Al poner fuera de servicio un reactor (300 MVAR) en la subestación Malena 765, se produce un leve incremento de tensión en el sistema a 765 KV, siendo las subestaciones más afectadas, Malena 765 KV con 1.8%, San Gerónimo 765 en 1.0% y la subestación

Guri con un 1%. En la subestación Santa Teresa 230 el incremento de tensión es de 0.3% aproximadamente.

SUBESTACION SAN GERONIMO 765 KV

El incremento de tensión por la puesta fuera de servicio de un reactor (300 MVAR) en la subestación San Gerónimo 765, se refleja en todo el sistema, con mayor efecto sobre las subestaciones San Gerónimo 765 donde la variación de tensión es de un 1.5%, la subestación Malena 1% y la subestación Arenosa 765 con un incremento de tensión de un 1%. En la subestación Santa Teresa 230 el incremento de tensión es de un 0.4% aproximadamente.

SUBESTACION SANTA TERESA 400 KV

La salida de un reactor (100 MVAR) en Santa Teresa 400 produce un efecto muy leve sobre el sistema. En la subestación Santa Teresa 400 el incremento es de un 1% aproximadamente y un 0.6% en Santa Teresa 230 KV.

REACTOR EN SERVICIO (2000 MW)

SUBESTACION MALENA 765 KV

Al poner en servicio un reactor (300 MVAR) en la subestación Malena, se produce una leve caída de tensión en el sistema 765 KV. La variación de tensión en la subestación Malena es de un 2.3%, en la subestación San Gerónimo 1.6%, en Arenosa 765 1.3%, en Guri 765 1.3% y un 0.6% en la subestación Santa Teresa 230 aproximadamente.

SUBESTACION SAN GERONIMO 765 KV

El efecto que produce sobre el sistema la puesta en servicio de un reactor (300 MVAR) en San Gerónimo 765 es notable. En la subestación San Gerónimo 765 se observa una depresión de tensión de un 2.7%, en Malena un 1.7%, en Santa Teresa un 1.3% y en la subestación Guri 765 la variación de la tensión es de 1% aproximadamente.

SUBESTACION SANTA TERESA 400 KV

La variación de tensión producida en el sistema al conectar un reactor (100 MVAR) en la subestación Santa Teresa 400, es poco notable, con la excepción de la subestación Santa Teresa 230 en la que se observa un 0.9% de variación aproximadamente.

REACTOR FUERA DE SERVICIO (2000 MW DE EXPORTACION)

SUBESTACION MALENA 765 KV

Al poner un reactor fuera de servicio en la subestación Malena 765, se produce un leve incremento de tensión en el sistema a 765 KV siendo más notable la variación en la subestación Malena con un 2.4%, la subestación San Gerónimo 765 manifiesta un incremento de tensión de un 1.7%. En las subestación Horqueta y Arenosa 765, la variación de tensión es de 1.4%. En Guri 765 1.3% y en la subestación Santa Teresa 230 el incremento de tensión es de un 0.8% aproximadamente.

SUBESTACION SAN GERONIMO 765 KV

El efecto sobre el sistema que produce la puesta fuera de servicio de un reactor (300 MVAR) en la subestación San Gerónimo 765 en notable. En la subestación San Gerónimo 765 se observa un incremento de tensión de 2.9%, en la subestación Malena la tensión aumenta un 1.9%, en Guri 1.1%, La Hoqueta y la Arenosa se manifiestan un 2.4% de variación y por último en la subestación Santa Teresa 230 se observa una variación de tensión de 1.6%.

SUBESTACION SANTA TERESA 400 KV

Al poner fuera de servicio un reactor en la subestación Santa Teresa 400 se manifiesta un leve incremento de tensión en el sistema, siendo la subestación Santa Teresa 230 la más efectada con una variación de tensión de un 1%.

INFLUENCIA DE LOS CAMBIOS DE TAPS DE LOS AUTOTRANSFORMADORES

Se ha observado que al variar la posición de toma de un autotransformador, las barras en las que se observa mayor variación de tensión son las que están asociadas a dicho equipo. Cuanto más alejada esté una barra del autotransformador al que se le está efectuando un cambio de toma, menor será el efecto que producirá éste sobre la barra.

Por otra parte, la variación de tensión producida por un cambio de toma sobre dos barras que estén físicamente a la misma distancia del punto de maniobra, dependerá de la importancia del vínculo entre dicho punto y la barra en cuestión; por esta razón este efecto no es necesariamente el mismo.

Para detallar un poco más lo anteriormente expuesto se puede decir lo siguiente:

GURI 765/400 KV

La variación de tomas en Guri 765/400 produce un efecto notable sobre las subestaciones Guri 765, Guri 400 y Guayana "B" 400 como una leve repercusión sobre las barras de carga (La Horqueta, La Arenosa y Santa Teresa).

GURI 400/230 KV

Las barras donde se observa mayor variación de tensión son Guri 400, Guri 230 y Guayana "A" 230, siendo muy leve el efecto sobre el resto del sistema.

EL TIGRE 400/230 KV

El efecto que produce sobre el sistema al cambio de tomas en El Tigre 400/230 es mínimo, observándose la mayor variación de tensión en la subestación El Tigre 230 KV.

SANTA TERESA 400/230 KV

El mayor porcentaje de variación de tensión que se obtiene en la subestación Santa Teresa 230 mediante el cambio de tomas delos autotransformadores es producido por la variación de toma en Santa Teresa 400/230. En el resto del sistema se observa que el efecto producido por esta maniobra es mínimo.

LA HORQUETA 765/400 KV

Este cambio de tomas repercute notablemente sobre las barras de carga, en orden decreciente las subestaciones más afectadas son: La Horqueta 400, La Horqueta 230, Arenosa 230 y Santa Teresa 230.

A nivel de 765 se observa una variación de tensión de 1% por cambio de tomas aproximadamente.

LA HORQUETA 765/230 KV

Al igual que el caso anterior esta variación de tomas produce un efecto notable sobre las barras de carga, siendo las más afectadas La Horqueta 230 y La Horqueta 400.

El efecto sobre la barra de 765 KV es casi el mismo caso de 765/400 y sobre el resto del sistema es poco considerable.

LA ARENOSA 765/230 KV

La mayor variación de tensión se observa en la subestación Arenosa 765 con 1% por cambio de toma, en la subestación Arenosa 230 el porcentaje de variación es de 0.5% y un 0.1% en la Horqueta 230. El efecto que produce sobre el resto del sistema el cambio de tomas en la arenosa 765/230 es poco considerable.

Según los resultados obtenidos se observó que salvo algunas excepciones los efectos producidos tanto con 1000 MW de exportación como con 2000 MW, son muy similares especialmente en las barras de intercambio o carga (La Horqueta, Arenosa, Santa Teresa).

INFLUENCIA DE LOS COMPENSADORES ESTATICOS

COMPENSADORES ESTATICOS DE LA SUBESTACION SAN GERONIMO 765 KV

Cuando se lleva el compensador estático de San Gerónimo 765 desde cero hasta 300 MVAR, la variación de tensión en las barras del sistema 765 KV está por el orden de 20 KV, en la subestación Santa Teresa 230 aumenta 3 KV y la subestación Guayana "B" no se ve afectada.

La operación normal de los compensadores estáticos será ligeramente inductiva. Cuando la tensión de referencia los obliga a suichear las dos ramas inductivas con el máximo consumo de reactivos, la tensión en el sistema a 765 KV disminuye alrededor de 12 KV y en la subestación Santa Teresa 230 decrece 1.5 KV.

Al estar al servicio el compensador estático de la Horqueta 765 (modo automático) disminuye la magnitud de los efectos que tiene el compensador de San Gerónimo 765 KV sobre el sistema. Cuando está generando 300 MVAR, la variación de tensión en las barras a 765 KV está por el orden de +10 KV y en la subestación Santa Teresa 230 alrededor de +1.1 KV.

La variación del perfil de tensiones en el sistema se reduce alrededor de un 50% al tener el compensador de Hoqueta 765 operando en modo automático.

COMPENSADOR DE LA SUBESTACION HOQUETA 765 KV

Cuando los dos bancos condensadores están suichados y generando la máxima cantidad de reactivos (300 MVAR), la variación de tensión en las barras Arenosa 765, San Gerónimo 765 está por el orden de 20 KV.

Por la distancia existente entre la subestación Horqueta 765 y Malena 765, en esta última la tensión solo se incrementa 10 KV. En las subestaciones de tensión es de 3.5 KV y 30 KV, respectivamente.

Al tener en servicio las dos ramas inductivas y consumiendo la máxima cantidad de potencia reactiva, el efecto sobre el sistema se reduce casi a la mitad respecto al caso anterior. Esto se debe a que inicialmente el compensador está en el rango inductivo y además solo podría observar como máximo 280 MVAR a tensión nominal.

Si está en servicio el compensador de San Gerónimo 765 (modo automático), los efectos del compensador de Horqueta 765 se ve limitada a las subestaciones de CADAFE (Centro), Arenosa 765 y Horqueta 765. Esto es debido a que el compensador de San Gerónimo 765 mantiene la tensión de referencia.

INFLUENCIA DE LAS VARIACIONES EN LA EXCITATRIZ DE LOS GENERADORES

GRUPO A 185 MVA (230 KV)

Cuando estas unidades se llevan al límite de sobreexcitación (90 MVAR) produce los siguientes efectos sobre el sistema:

La tensión varía alrededoe de 1 KV en las barras del sistema a 765 KV y en las subestaciones Arenosa 230 y Horqueta 400 alrededor de 0.5 KV.

La subestación Santa Teresa 230 prácticamente no se ve afectada (0.1 KV de variación).

Al llevarse las unidades al límite de subexcitación, las tensiones en el sistema a 765 KV disminuye alrededor de 2 KV y en las subestaciones Arenosa 230 y Horqueta 400 aproximadamente 1 KV.

En la subestación Santa Teresa 230 el decremento de tensión es de 1 KV y en la subestación Guayana "B" disminuye 1 KV.

La influencia del grupo de unidades a 230 KV se refleja fundamentalmente en las barras conectadas directamente a las máquinas de 230KV (Guayana "A" y Guri 400 KV).

GRUPO A 230 MVA (400 KV)

Cuando este grupo de unidades se llevan hacia el límite de sobrexcitación, la variación de tensión en el sistema a 765 KV está alrededor de 2 KV. En las subestaciones Horqueta 400 y arenosa 230 es muy pequeña la variación de tensión.

De ser llevado hacia el límite de subexcitación, la disminución de tensión en el sistema a 765 KV está por el orden de 5 KV. En las subestaciones Horqueta 400, Arenosa 230 y Santa Teresa 230 hay una disminución de 1 KV aproximadamente.

GRUPO DE 360 MVA (400 KV)

Al ser llevadas hacia el límite de sobrexcitación provocan variaciones de aproximadamente 4 KV en las subestaciones del sistema a 765 KV. En las subestaciones Horqueta 400, Arenosa 230 y Santa Teresa 230, el incremento de tensión es de 1 KV aproximadamente.

Cuando la tensión de referencia es tal, que las unidades tienden al límite de subexcitación, la disminución de tensión en el área de 765 KV está por el orden de 14 KV.

GRUPO A 700 MVA (765 KV)

Las unidades de Guri 765 están diseñadas para observar cantidades considerables de potencia reactiva. Al llevarlas hacia el límite de sobrexcitación se produce cambios mínimos de 15 KV y máximos de 40 KV en el sistema a 765 KV, manteniendo la tensión de operación en la subestación Guayana "B" dentro de los valores aceptables.

En las subestaciones Arenosa 230 y Horqueta 400 el incremento de tensión es del orden de 7 KV, mientras que en la subestación Santa Teresa 230 la variación es de 6 KV.

En el caso de llevar el grupo de 765 hacia el límite de subexcitación la depresión del perfil de tensión es tal que las demás del grupo de unidades no pueden mantener la tensión de sus respectivas barras y la tensión en la subestación Guayana "B" alcanza valores inoperables.

En el sistema a 765 KV el decremento de tensión está alrededor de 14 KV y en la subestación Santa Teresa 230 KV la disminución es de 5 KV aproximadamente.

Este grupo de unidades permite efectuar cambio de tensiones considerables en todo el sistema.

CONCLUSIONES GENERALES

Los estudios realizados permitieron determinar la conveniencia de utilizar los equipos de regulación (compensadores, autotransformadores, etc) disponible en el sistema para el control de las tensiones en el mismo. Se observó que es de gran importancia la magnitud de la variación requerida y el lugar.

El efecto de cambios de tomas en los autotransformadores es considerablemente mayor en las barras unidas a dicho equipo que sobre el resto del sistema, sin embargo, con respecto al resto de los equipos de regulación son los que producen cambios menores de tensión.

Las conclusiones mas resaltantes respecto a el cambio de tomas en los autotransformadores son las siguientes:

- El mayor efecto sobre la subestación Guayana "B" se logra con el autotransformador de Guri 765/400.
- En las subestaciones receptoras, la variación de tensión producida por el cambio de tomas en el autrotransformador de San Gerónimo 765/400 es bastante notable. (Ver Tabla 2).

Respecto a los compensadores estáticos se tiene lo siguiente:

-La variación de tensión en las barras del sistemas a 765 KV está por el orden de los 20 KV al llevar los compensadores estáticos hasta el límite de generación de reactivo (+300 MVAR).
- En las barras donde está ubicado el compensador se produce un cambio de tensión mayor que en el resto del sistema.
- En la subestación San Gerónimo 765 con todo el sistema en servicio la tensión varía de 25 KV y en la subestación Horqueta 765 alrededor de 30 KV, esta diferencia se debe al mayor nivel de cortocircuito de la barra de San Gerónimo (Ver Tabla 3).
- En la subestación Santa Teresa 230 la variación de tensión está por el orden de los 3 KV al llevarse los compensadores al límite de +300 MVAR (Ver Tabla 3).
- El efecto del compensador de Horqueta 765 es aproximadamente el doble del producido por el compensador de San Gerónimo 765 sobre las barras de Horqueta de 400 y Arenosa 230 KV.

Los reactores producen los siguientes efectos sobre el sistema:

- Partiendo de condiciones similares del sistema, la puesta en servicio o fuera de servicio de un reactor produce la misma variación de tensión.
- La operación de cualquier reactor a nivel de 765 KV provoca casi el mismo efecto sobre las subestaciones Horqueta y Arenosa (Ver Tabla 1).

VARIACION DE TENSION PRODUCIDA POR EL CAMBIO DE TOMA DE LOS AUTOTRANSFORMADORES SIN SVS EN SERVICIO
(KV)

S/E	GURI 765/400	GURI 400/230	ETG 400/230	SNG 765/400	STA 400/230	HQT 765/400	HQT 765/230	ARN 765/230
GURI 765	7,7	1,0	0,4	2,6	0,0	3,1	0,4	2,0
MAL 765	6,3	1,0	0,6	5,6	1,5	5,0	0,0	3,5
SNG 765	4,1	0,9	0,8	9,5	2,4	6,0	1,3	5,5
ARN 765				6,5		2,7	1,5	10,0
HQT 765				5,1		14,5	6,0	1,0
GURI 400	4,0	1,5	0,5	11,5				
ETG 400	1,1	0,6	2,1		0,8	2,7		
SNG 400				12			0,3	2,8
STA 400					4,8			
GYB 400	6,8	1,4						
HQT 400	1,4	0,8	0,6	2,0	1,0	2,7	2,4	0,3
GURI 230	1,3	3,1						
HQT 230			0,1	1,0	0,1		3,0	
STA 230	0,6	0,2	0,1	2,1	1,0	0,0	1,0	0,1
ARN 230	0,7	0,2	0,1	1,3	0,2	0,3	1,0	2,3

TABLA N° 2

VARIACION DE TENSION PRODUCIDA POR LA OPERACION DE REACTORES SIN SVS EN SERVICIO

(KV)

S/E	MALENA	SAN GERONIMO	SANTA TERESA
GURI 765	10	8	1
MAL 765	18	14	2
SNG 765	13	21	3
ARN 765	11	19	3
HQT 765	10	17	3
GURI 400	2	2	1
EL TIGRE 400	4	6	1
STA 400	4	6	6
STA 230	2	3	2
GYB 115	1	1	0

TABLA N° 1

- Los efectos producidos en la subestación Santa Teresa 230 por la operación de un reactor del sistema, cualquiera que sea su ubicación (Malena, San Gerónimo o Santa Teresa) son similares (Ver Tabla 1).

- La influencia de la operación de reactores en el sistema sobre la subestación Guayana "B" es poco notable.

Las Unidades Generadoras

El grupo de unidades a 230 KV tiene su mayor efecto en la tensión de la barra Guri "A" y Guayana "A".

La subestación Santa Teresa 230 no se ve influenciada e igualmente el sistema a 765 KV (Ver Tabla 3).

El grupo de unidades a 400 KV y las 765 KV prmiten variaciones de tensión considerables en el sistema de potencia limitadas fundamentalmente por la subestación Guayana "B" (Ver Tabla 3).

VARIACIONES DE TENSION EN EL SISTEMA (KV)

SUBESTACIONES	UNIDADES GENERADORAS								COMPENSADORES ESTATICOS			
	GENERADORES REACTIVOS				CONSUMIENDO REACTIVO				C.E DE SNG 765		C.E. DE HQT	
	GRUPO 185 MVA	GRUPO 250 MVA	GRUPO 360 MVA	GRUPO 700 MVA	GRUPO 185 MVA	GRUPO 250 MVA	GRUPO 360 MVA	GRUPO 700 MVA	AU +300MVAR	AU -600MVAR	AU +300MVAR	AU -300MVAR
	AU 90 MVAR	AU 100 MVAR	AU 200 MVAR	AU 800 MVAR	AU -150MVAR	AU -250MVAR	AU -450 MVAR	AU -500MVAR				
GURI 765	1	2	5	17	-3	-6	-20	-30	8	-5	6	-3
HQT 765	1	2	5	17	-2	-4	-12	-12	16	-11	30	-17
SNG 765	1	2	6	22	-3	-5	-16	-17	24	-14	18	-9
ARM 765	1	2	5	16	-2	-4	-12	-10	20	-12	20	-9
SNG 400	1	2	10	13	-2	-5	-10	- 9	12	- 6	9	-5
STA 230	0	0	0.5	6	0	-1	- 4	- 5	2	- 2	2	-2
HQT 400	0	0	1.5	8	-1	-2	- 6	- 7	8	- 4	20	-8
ARM 230	0	0	0.5	6	-0.5	-1	- 3	- 4	5	- 2	10	-4
GYB 115	1	1	2	10	-1	-2	- 8	- 8	2	1	1	0

- Condiciones Iniciales de las Máquinas: Grupo 185 MVA (2) con +31.MVAR, Grupo 250 MVA (3) con +40.MVAR Grupo 360 MVAR (3) +120 MVAR y Grupo 700 MVA (3) con +450 MVAR.
- Los C.E de SNG y HQT 765 consumen -80 y -70 MVAR, Inicialmente.

TABLA N° 3