

CAPÍTULO V

COMPARACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA ENTRE STATCOM Y SVC.

5.1 Introducción.

En los capítulos 3 y 4 donde se analizaron las características de los dispositivos SVC y STATCOM respectivamente, se especificaron sus principios de operación, su influencia dentro de los SEP's y se mostraron algunos ejemplos de aplicación utilizados en algunos sistemas de potencia a nivel mundial.

Primeramente, éste capítulo entra en materia de comparación técnica, resumiendo las características operacionales y de desempeño, así como los correspondientes beneficios de su aplicación. Posteriormente con la ayuda del software comercial NEPLAN[®], se realizarán simulaciones de un sistema con condiciones iguales para cada compensador con el objetivo de contraponerlos y explicar su comportamiento ante un disturbio emergente del sistema (falla, sobre-voltaje, etc.).

Finalmente se presenta un breve análisis económico contemplando no solo el costo neto del equipo sino que, en general, también todos los requerimientos que hay que tomar en cuenta para su instalación; cabe mencionar que el análisis propuesto es presentado con un propósito meramente comparativo.

El rango de operación lineal de la característica $V-I$ y de la capacidad de compensación funcional del STATCOM y del SVC son similares. Los principios de operación básicos del STATCOM, el cual puede ser visto como un generador de VAR's a base de un convertidor, funciona como una fuente de voltaje sincrónica conectada en paralelo, lo cual difiere con los fundamentos del SVC, que con reactores y capacitores conmutados por tiristores, funcionan como una admitancia conectada en paralelo y proporciona control reactivo al bus donde se conecta. Las diferencias básicas de control reactivo ya sea con una admitancia reactiva y una fuente de voltaje son analizadas en las siguientes secciones.

5.2. Comparación de las Curvas Características $V-I$ y $V-Q$.

El STATCOM es esencialmente una fuente de voltaje detrás de una reactancia acoplada que suministra voltaje a la red donde se conecta para suministrar la

potencia reactiva que el sistema requiera siempre y cuando se encuentre dentro de los límites del compensador, tal y como lo muestran las curvas $V-I$ y $V-Q$ en las Figuras 5.1 (a) y 5.2 (a) respectivamente. En el STATCOM, la corriente transitoria máxima de salida, dentro del rango capacitivo, está determinada por la capacidad de apagado de corriente máxima de los semiconductores de potencia, en cambio, en la región de operación inductiva, el comportamiento es naturalmente conmutado a la frecuencia fundamental. Lo que significa que el rango de valores de corriente transitoria del STATCOM está, teóricamente, limitado solamente por las temperaturas de juntura de los semiconductores. Cualquiera que fuese el caso, esto quiere decir que, dicha corriente máxima, puede ser mantenida independientemente del voltaje del sistema de AC, y la generación de VAR máxima o absorción cambia linealmente con el voltaje de sistema AC.[4]

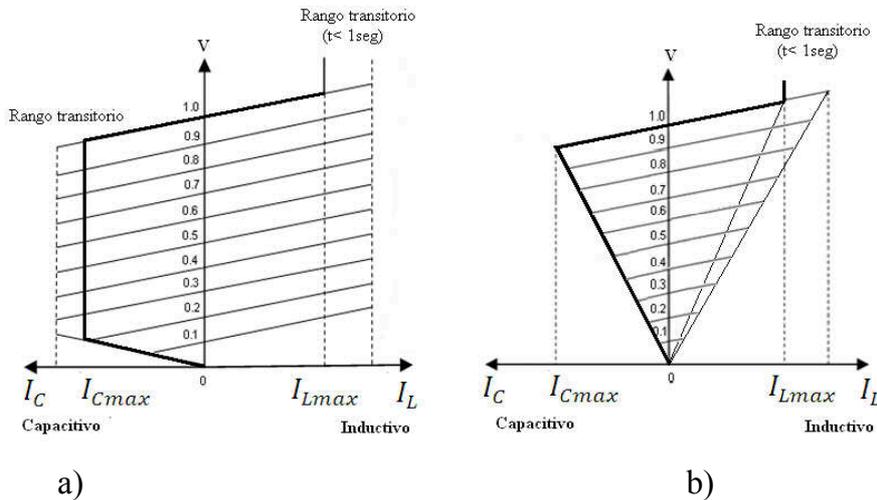


Figura 5.1 Curvas características $V-I$ del a) STATCOM y b) SVC.

En contraste, la compensación de corriente máxima que alcanza el SVC decrece linealmente con el voltaje del sistema AC, y la máxima salida de potencia reactiva disminuye con el cuadrado de este voltaje, tal como se muestra en las Figuras 5.1 b) y 5.2b) respectivamente.

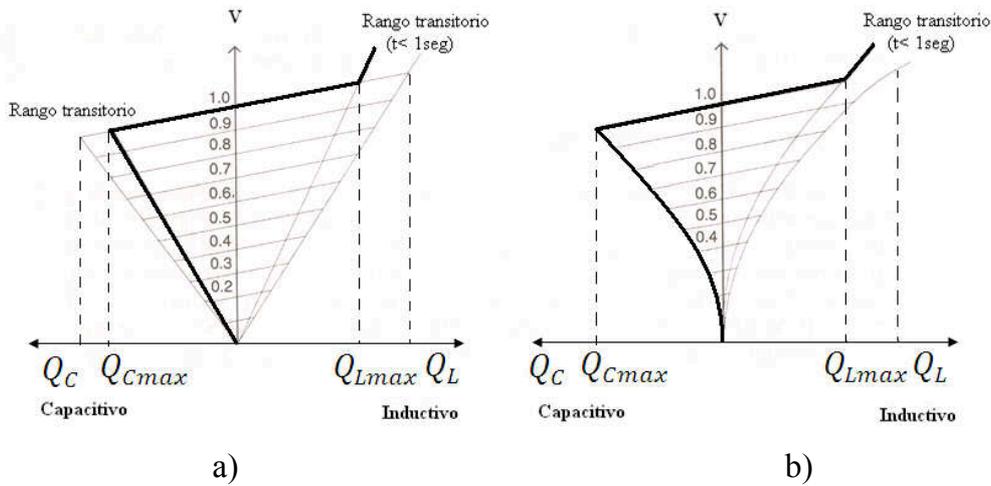


Figura 5.2 Curvas características $V-Q$ del a) STATCOM y b) SVC.

5.3 Análisis en Estado Estable.

Siguiendo la discusión de las características de operación del STATCOM en el capítulo 4, es razonable esperar que para el propósito de estudios de estado estable (flujos de potencia) el STATCOM sea representado por una fuente de voltaje síncrono con límites máximo y mínimo para la magnitud del voltaje. El voltaje síncrono de la fuente representa la frecuencia fundamental de la forma de onda en las terminales del STATCOM. [4, 13, 27]

El bus al que se conecta el STATCOM es representado como un nodo de voltaje controlado (PV), el cual puede cambiar a un nodo de carga (PQ), si los límites son rebasados. A diferencia del SVC, el STATCOM es representado como una fuente de voltaje para todo su rango de operación, lo que permite un mecanismo de soporte de voltaje más robusto. El circuito equivalente del STATCOM mostrado en la Figura 5.3 es usado para obtener el modelo matemático del compensador para estudios de estado estable.

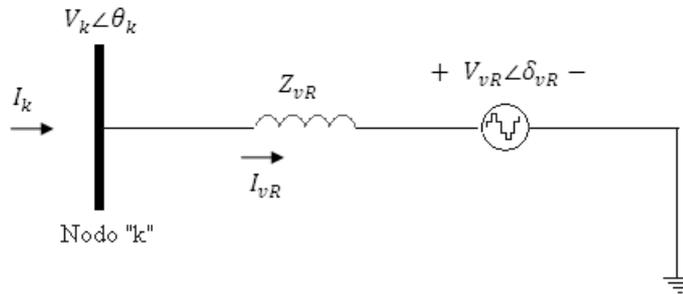


Figura 5.3 Circuito equivalente del STATCOM.

Las ecuaciones de flujos de potencia del STATCOM se derivan de los principios básicos y asumiendo la siguiente representación de la fuente de voltaje.

Basado en la conexión “shunt” mostrada en la Figura 5.3, la siguiente ecuación puede ser escrita como:

Después de realizar algunas operaciones, la siguiente ecuación de potencia reactiva es obtenida para el convertidor y el nodo K respectivamente.

Por otro lado el SVC que es visto como una reactancia ajustable cuyo circuito equivalente es mostrado en la Figura 5.4;

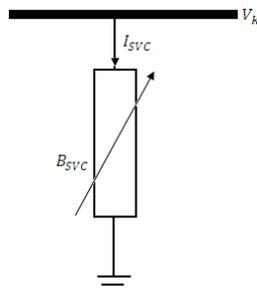


Figura 5.4 SVC visto como una reactancia variable en paralelo.

de donde se obtiene la ecuación de corriente del SVC y la ecuación de potencia reactiva para el compensador y para el nodo 'k' aplicando de igual forma los criterios anteriores.

$$I_{SVC} = jB_{SVC}V_k \quad (5.5)$$

$$Q_{SVC} = Q_k = -V_k^2 B_{SVC} \quad (5.6)$$

Como se puede observar en la Figura 5.5, el STATCOM, ofrece una ventaja con respecto al SVC por su capacidad de proporcionar una compensación de corriente y potencia máxima a voltajes del sistema reducidos. Por otro lado, el SVC no tiene manera de incrementar transitoriamente la generación de VAR's dado que la corriente capacitiva máxima que consume está estrictamente determinada por el tamaño del banco de capacitores y la magnitud de voltaje del sistema.

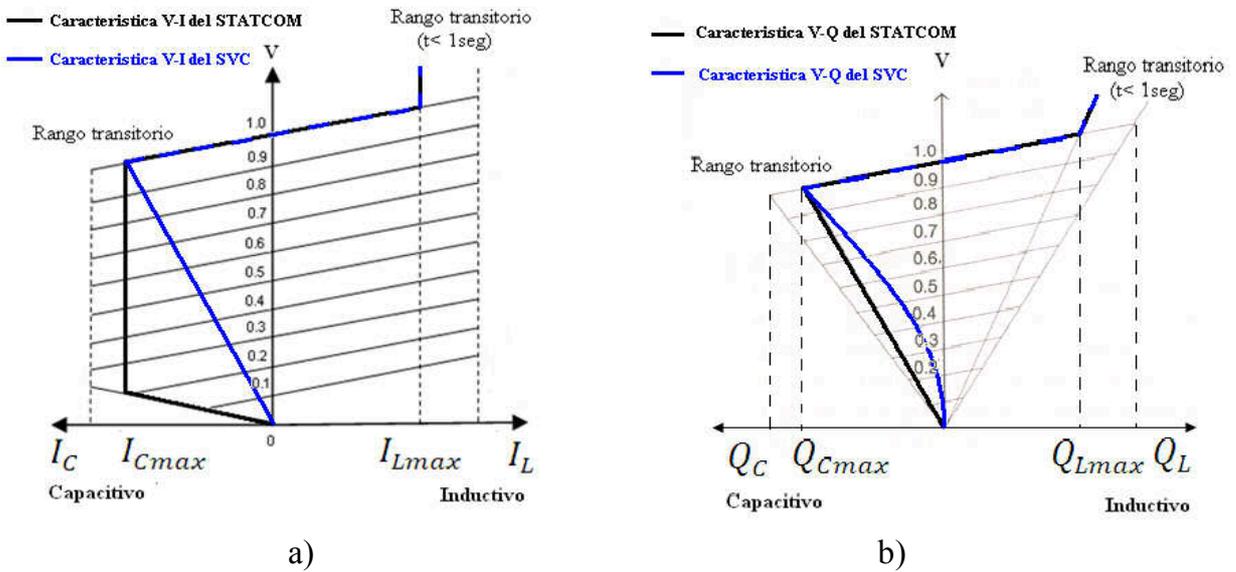


Figura 5.5 Comparación de la curva característica a) $V-I$ y b) $V-Q$ entre el SVC y STATCOM.

5.4 Estabilidad Transitoria.

La habilidad del STATCOM para mantener una corriente de salida capacitiva total ante la presencia de bajos voltajes lo hace más efectivo que el SVC durante fenómenos de estabilidad transitoria. La efectividad del STATCOM en incrementar la potencia a transmitir se ilustra en la Figura 5.6a), donde la potencia P transmitida se muestra contra el ángulo de transmisión δ para el modelo usual de dos máquinas en varios rangos de valores capacitivos definidos por la corriente de salida

capacitiva máxima I_{Cmax} . Para comparar el comportamiento, un equivalente de la relación P contra δ se muestra para un SVC en la figura 5.6b).

Se puede observar que el STATCOM, tal como el SVC, se comporta como un compensador en paralelo en un punto medio ideal como una relación P contra δ como lo define: $P = \frac{2V^2}{X} \text{sen}(\delta/2)$ hasta que se alcanza la corriente de salida máxima capacitiva I_{Cmax} . Desde este punto, el STATCOM continúa inyectando esta corriente de salida máxima capacitiva independientemente de los consecuentes incrementos del ángulo δ y la consecuente variación del voltaje en el punto medio; a diferencia del SVC, el cual presentaría una admitancia capacitiva fija. Como resultado, se evita la intensa disminución de la potencia P transmitida en la región $\pi/2 < \delta < \pi$ que caracteriza la transmisión de potencia del sistema de soporte SVC y se incrementa significativamente el área obtenible $\int P d\delta$ que representa una mejoría en el margen de estabilidad.

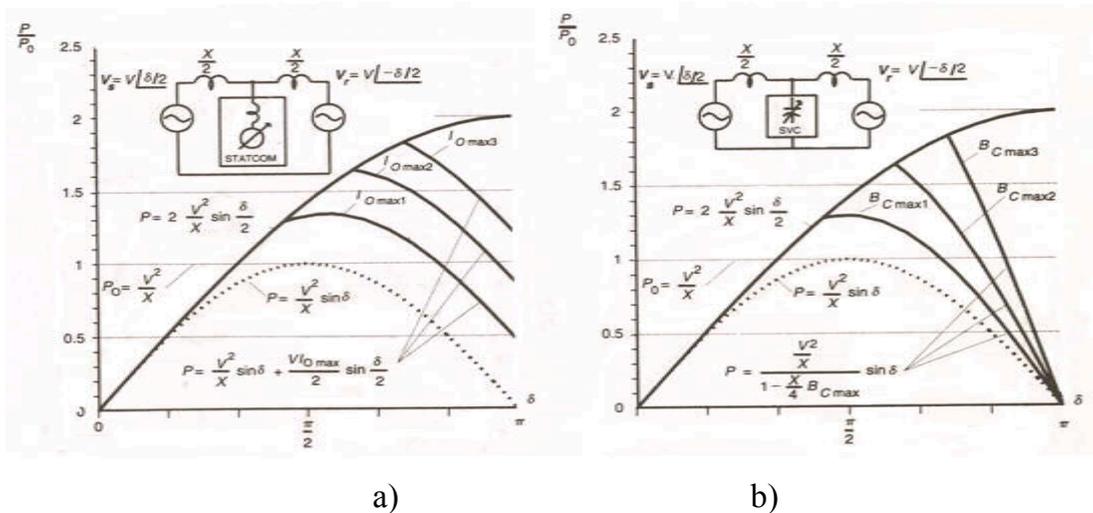


Figura 5.6 Potencia transmitida contra el ángulo de transmisión de un sistema de dos máquinas con: a) un STATCOM en un punto medio y con b) un SVC en un punto medio, para diferentes capacidades de VAR's.

El incremento en el margen de estabilidad que se obtiene con el STATCOM sobre un SVC convencional controlado por tiristores, lo explicaremos con la ayuda del criterio de áreas iguales mediante un sistema simple de dos máquinas compensado en el punto medio por el STATCOM y el SVC del mismo valor de VAR's mostrado en las Figuras 5.7a) y 5.7b) respectivamente.

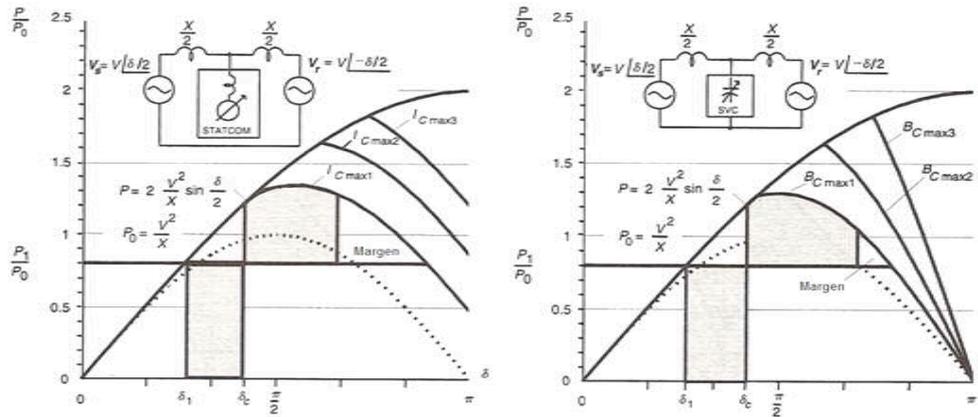


Figura 5.7 Mejoramiento de estabilidad transitoria logrado con un STATCOM en punto medio a), y SVC en punto medio b) de un valor de VAR's dado.

Sólo para términos de claridad, se supone que el sistema que trasmite potencia eléctrica en estado estable P_1 , con un ángulo δ y está sujeto a una falla por un periodo de tiempo durante el cual P_1 se vuelve cero.

Durante la falla, la máquina del extremo final acelera (debido a la constante entrada de potencia mecánica), absorbiendo la energía cinética representada por el área sombreada debajo de la línea constante P_1 , e incrementando δ_1 a δ_c ($\delta_c > \delta_1$). Por tanto, cuando el sistema original es restaurado después de que se quita la falla, la potencia transmitida se vuelve mucho mayor que P_1 debido a que hay un mayor ángulo de transmisión δ_c . Como resultado, la máquina del extremo de envío comienza a desacelerar, pero δ se incrementa aún más hasta que la máquina pierde toda la energía cinética que ganó durante la falla. La energía cinética recuperada está representada por el área sombreada entre la curva P contra δ y la línea de potencia constante P_1 .

El área restante sin sombrear debajo de la curva P contra δ y por arriba de la línea de potencia constante P_1 indica el margen de estabilidad transitoria. Como puede observarse, el margen de estabilidad transitoria obtenido con el STATCOM, debido a un mejor soporte de voltaje del punto medio, es significativamente mayor que el alcanzable con el SVC de idéntica capacidad de VAR. Esto por supuesto significa que la potencia a transmitir puede ser incrementada si la compensación en paralelo es realizada por el STATCOM en vez de por el SVC o, por el mismo margen de estabilidad, la capacidad del STATCOM puede disminuir por debajo del SVC.

5.5 Tiempo de Respuesta.

El tiempo de respuesta alcanzable y la regulación de voltaje del STATCOM son también significativamente mejores que aquellos del SVC.

Considerando que la rápida variación del ángulo contra la característica de frecuencia, para el STATCOM el orden de magnitud es menor que para el SVC, esto es, para el STATCOM es típicamente desde menos de 200 μ s a 350 μ s y entre 2.5 y 5 ms para el SVC., haciéndolo proporcionar una operación estable con una respuesta más rápida por sobre de una gran variación de la impedancia de transmisión de la red en comparación con un SVC.

5.6 Capacidad de Intercambio de Potencia Activa.

Para aplicaciones que requieren una mayor compensación de potencia activa, está claro que el STATCOM, en contraste al SVC, puede hacer una interfase con el almacenamiento de energía apropiado para poder intercambiar potencia activa con el sistema CA. Esto es, el STATCOM es capaz de inyectar potencia activa controlada desde una fuente de energía (un capacitor grande, baterías, celda de combustible, almacenamiento magnético superconductor, etc.) a su terminal CD y llevarla como potencia CA al sistema. También puede controlar la absorción de energía desde el sistema CD para mantener el aparato de almacenamiento cargado. Esta capacidad proporciona una nueva herramienta para aumentar la compensación dinámica, mejorar la eficiencia del sistema de potencia y, potencialmente, prevenir apagones de energía eléctrica.

El intercambio de potencia activa y reactiva entre el STATCOM y el sistema CA puede ser controlado independientemente y se puede alcanzar cualquier combinación de generación y absorción de potencia activa con generación y absorción de potencia reactiva. Por tanto, al equipar el STATCOM con un aparato de almacenamiento de energía de capacidad apropiada, se puede ejecutar una estrategia de control extremadamente efectiva para la modulación de la salida de potencia activa y reactiva para el mejoramiento de la estabilidad transitoria y el amortiguamiento de las oscilaciones de potencia. Debe notarse que para perturbaciones dinámicas de corto plazo, un aparato que consume energía (p.e. un resistor con conmutación) puede ser usado eficazmente en lugar de un almacenamiento de energía más caro para absorber potencia del sistema CA vía

STATCOM. Con este esquema simple, el STATCOM transferiría energía desde el sistema CA a las terminales CD donde se disiparía por un aparato consumidor de energía que se encendería cada vez que se detectara un incremento de energía en las terminales de voltaje de CD.

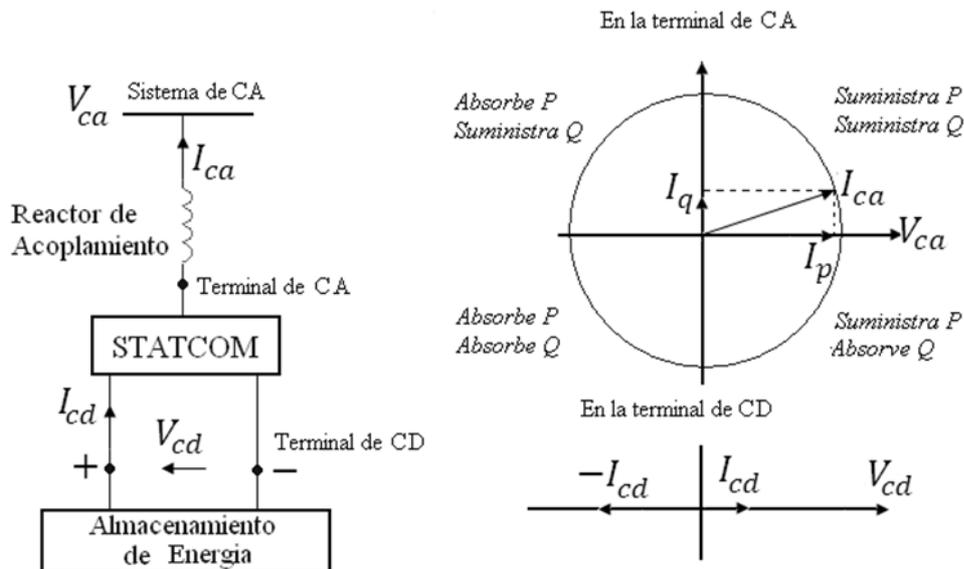


Figura 5.8 Intercambio de potencia activa y reactiva entre el STATCOM con fuente de Almacenamiento de Energía y el Sistema de CA.

5.7 Tamaño Físico e Instalación.

Desde el punto de vista de instalación física, dado de que el STATCOM no solamente controla sino que también genera internamente potencia de salida reactiva (capacitiva e inductiva), no se necesitan ni el banco de capacitores grande ni el banco reactor con su maquinaria asociada de conmutación y protección, que se usan en SVC's convencionales, controlados por tiristor. Esto resulta el tener una reducción significativa del tamaño global (de 30 a 40%), así como en instalación y costos. El tamaño físicamente pequeño del STATCOM lo hace eminentemente apropiado para instalaciones en áreas donde el costo del suelo es mayoritario, y para aplicaciones donde cambios del sistema anticipados pueden requerir la relocalización de la instalación.

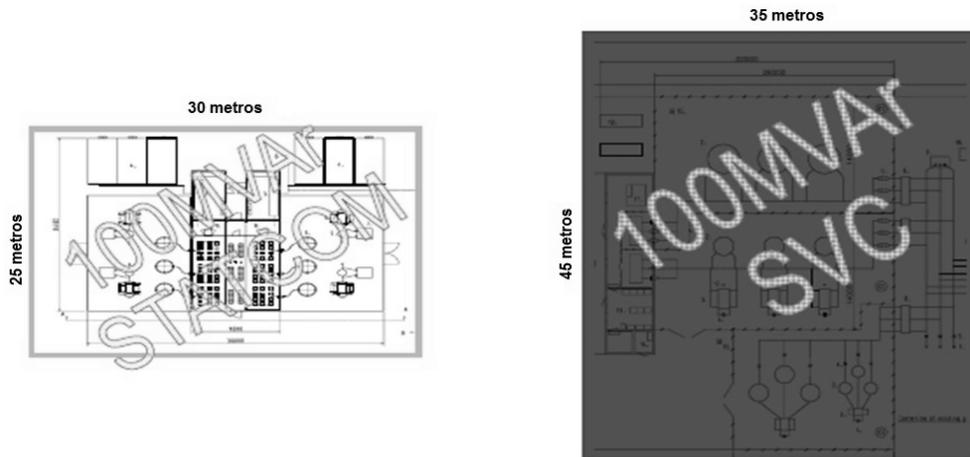


Figura 5.9 Comparación de instalación física para a) SVC y b) STATCOM.

5.8 Simulaciones.

En el siguiente apartado se presentan un conjunto de simulaciones con la finalidad de analizar y comparar el comportamiento y operación en estado estable y transitorio del SVC y del STATCOM para dos casos en particular: de contingencias y perturbaciones, destacando las ventajas y beneficios que brindan cada uno de estos compensadores dentro de un sistema eléctrico de potencia.

Para llevar a cabo dichas simulaciones se ha utilizado el programa de cómputo NEPLAN[®], el cual es un software de planeamiento e información para redes, desarrollado por “Busarello + Cott + Partner Inc.” de Suiza en colaboración con el *Swiss Federal Institute of Technology* y *Asea Brown Boveri CalorEmag Schaltanlagen AG*.

NEPLAN[®] es una herramienta que permite realizar el análisis de sistemas eléctricos de potencia, redes de gas y agua facilitándonos una completa documentación gráfica de la red, independiente de su tamaño. Los módulos de cálculo permiten analizar y planear grandes redes en cualquier nivel de tensión y/o cualquier otra variable.

Empleando el software antes descrito, se analizó el comportamiento de una pequeña red de prueba tomada del libro “FACTS, *Modelling and Simulation in Power Networks*”, pp. 118 [27], la cual consta de cinco nodos interconectados por medio de siete líneas de transmisión, dos generadores y cuatro cargas conectadas en cuatro de

Capítulo V Comparación técnico-económica entre STATCOM y SVC

los nodos tal y como se muestra en la Figura 5.10. La red opera a una frecuencia de 60 ciclos por segundo.

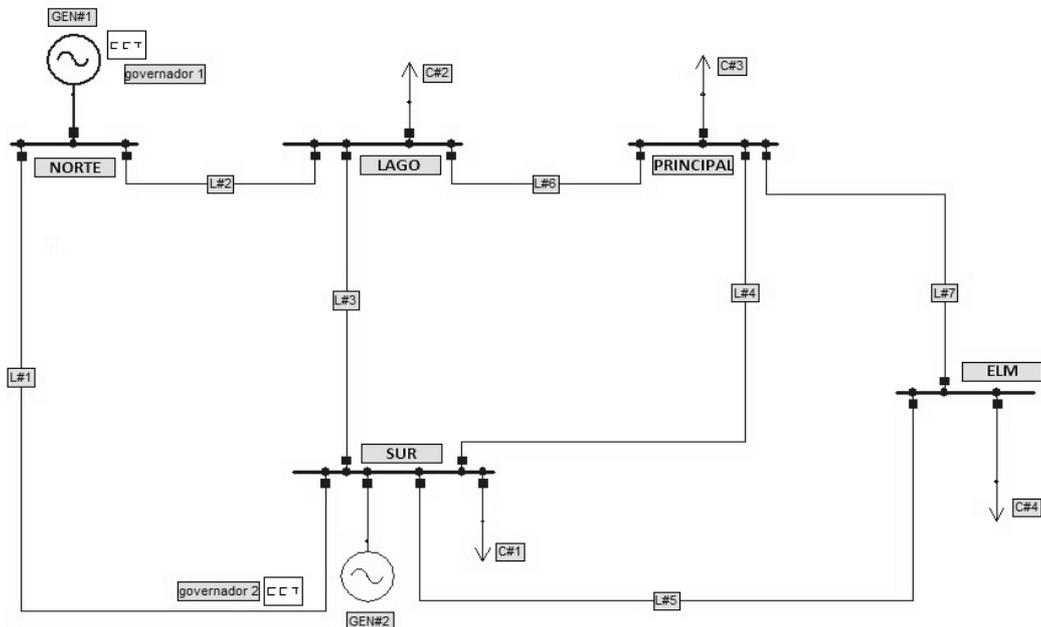


Figura 5.10 Red principal de cinco nodos.

Los parámetros principales de los elementos que conforman la red se muestran en la Tabla 5.1, Tabla 5.2, Tabla 5.3 y Tabla 5.4, cabe señalar que se ha tomado un valor de voltaje de 400kV y un valor de potencia de 100MVA como bases del sistema para realizar los cálculos necesarios:

Tabla 5.1 Características principales de los generadores.

Generador	Conectado a bus	Potencia activa programada MW	Potencia reactiva programada MVAR	Límite máximo de potencia reactiva MVAR	Límite mínimo de potencia reactiva MVAR	Voltaje Operacional %
GEN#1	Norte	0	0	500	-500	106
GEN#2	Sur	40	0	300	-300	104.75

Tabla 5.2 Características principales de los nodos.

Nodo	Tipo	Voltaje kV	Operación pu
NORTE	Slack	400	1.06
SUR	PV	400	1.0475
LAGO	PQ	400	*
PRINCIPAL	PQ	400	*
ELM	PQ	400	*

Tabla 5.3 Características principales de las líneas.

Línea	Interconexión	Resistencia Ω	Reactancia Ω
L#1	NORTE-SUR	32	96
L#2	NORTE-LAGO	128	384
L#3	SUR-LAGO	96	288
L#4	SUR-PRINCIPAL	96	288
L#5	SUR-ELM	64	192
L#6	LAGO-PRINCIPAL	16	48
L#7	PRINCIPAL-ELM	128	384

Tabla 5.4 Características principales de las cargas.

Carga	Conexión en nodo:	Potencia activa MW	Potencia reactiva MVAR
C#1	SUR	20	10
C#2	LAGO	45	15
C#3	PRINCIPAL	40	5
C#4	ELM	60	10

- **Flujos de Potencia, Análisis de Estado Estable.**

El flujo de potencia es la denominación que se da a la solución de estado estacionario de un SEP bajo ciertas condiciones preestablecidas de generación, carga y la configuración de la red, más concretamente, dados los consumos en cada nodo, y la potencia entregada por los generadores, se trata de encontrar los voltajes en los nodos y los flujos de potencia a través de las líneas. [28]. Por medio de NEPLAN[®] y con los valores descritos anteriormente se realizó la simulación para observar el comportamiento de la red bajo el concepto de flujos de potencia de modo que se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la Figura 5.11.

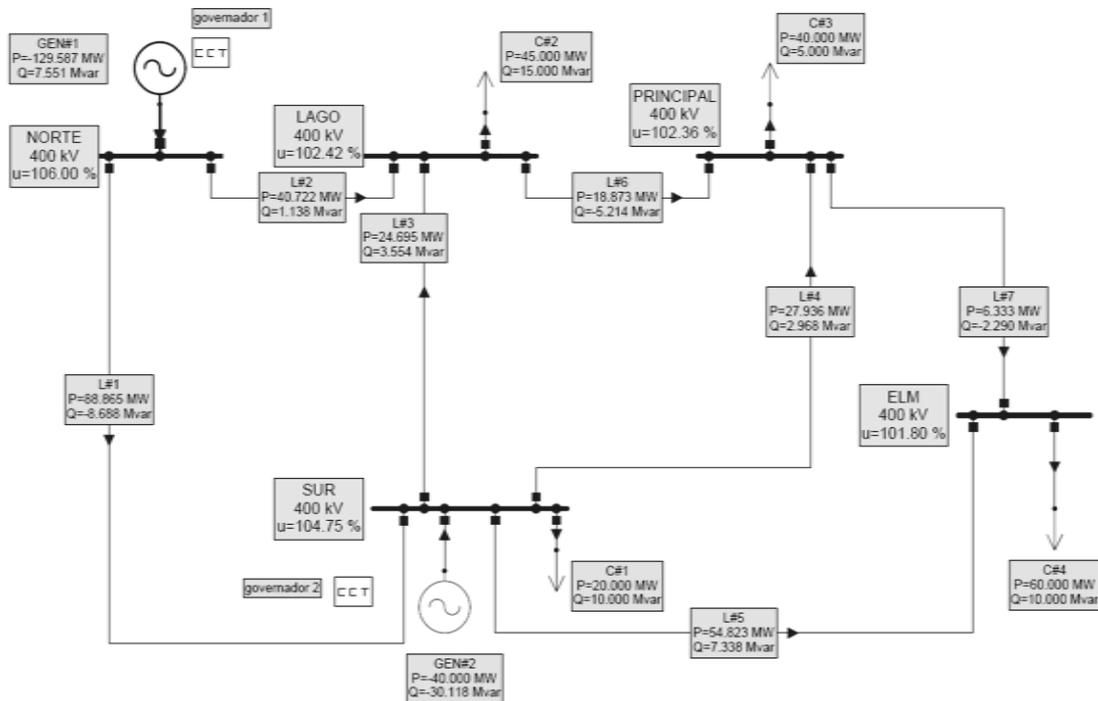


Figura 5.11 Flujos de potencia, red simple.

A continuación, se presenta el resultado para el cálculo de flujos de potencia considerando la red de la Figura 5.11 con la única diferencia de que en este caso ha sido conectado en el nodo LAGO un compensador de potencia reactiva. Se han realizado las simulaciones correspondientes para dos casos distintos, un SVC y un STATCOM, con una capacidad de 200 MVAR's respectivamente.

En primer lugar el SVC es colocado en el nodo LAGO tal como se observa en la Figura 5.12, obteniendo los resultados ahí mostrados para flujos de potencia.

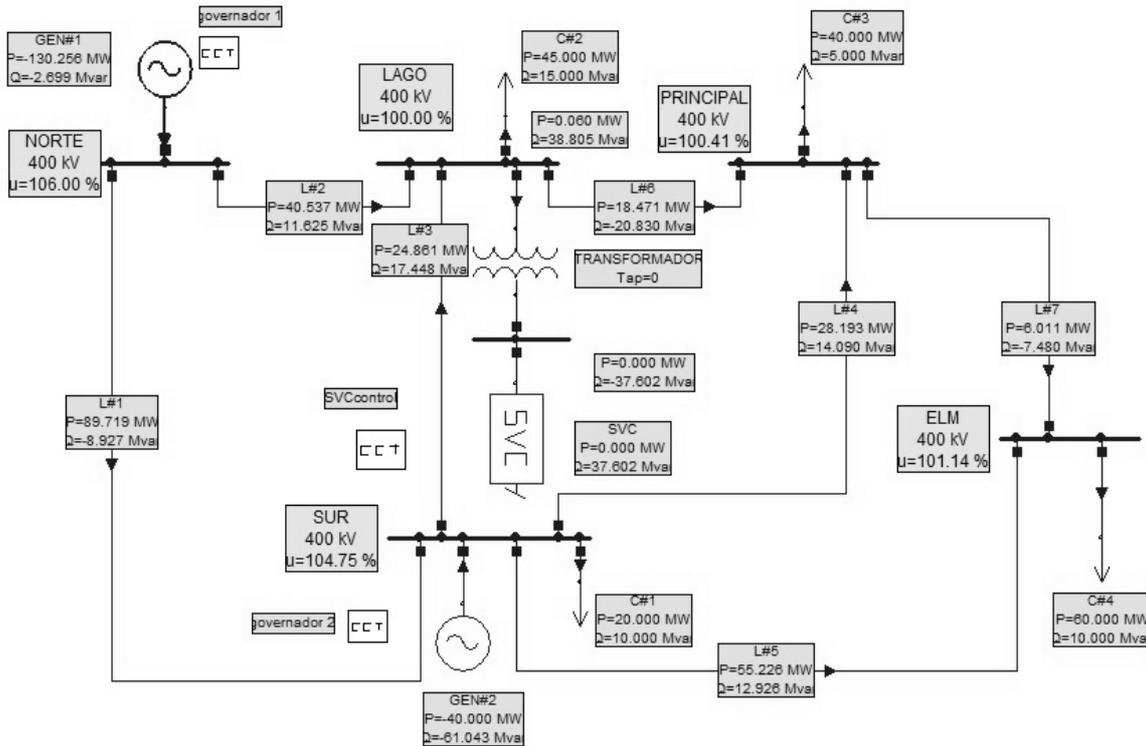


Figura 5.12 Flujos de potencia instalando un compensador SVC en la red.

Como puede notarse, el SVC inyecta 38.805MVAR's en el nodo LAGO manteniendo la magnitud de voltaje en 400 kV, es decir en 1 pu. EL SVC genera potencia reactiva para cubrir la demanda a fin de mantener el voltaje nodal deseado. En comparación con la red sin compensación se tiene un incremento del flujo de potencia reactiva de casi cuatro veces hacia el nodo PRINCIPAL vía L#6. También se puede observar que se presenta un incremento en el flujo de potencia reactiva entre LAGO y el nodo SUR a través de L#3, la gran cantidad de potencia reactiva disponible en el bus es absorbida por el generador síncrono GEN#2, teniendo un valor de 61.043MVAR's con el SVC instalado y de 30.118MVAR's para el caso de la red simple.

En segundo lugar se ha colocado un STATCOM en el nodo LAGO tal como se ilustra en la Figura 5.13 obteniendo los resultados para flujos de potencia que ahí se muestran.

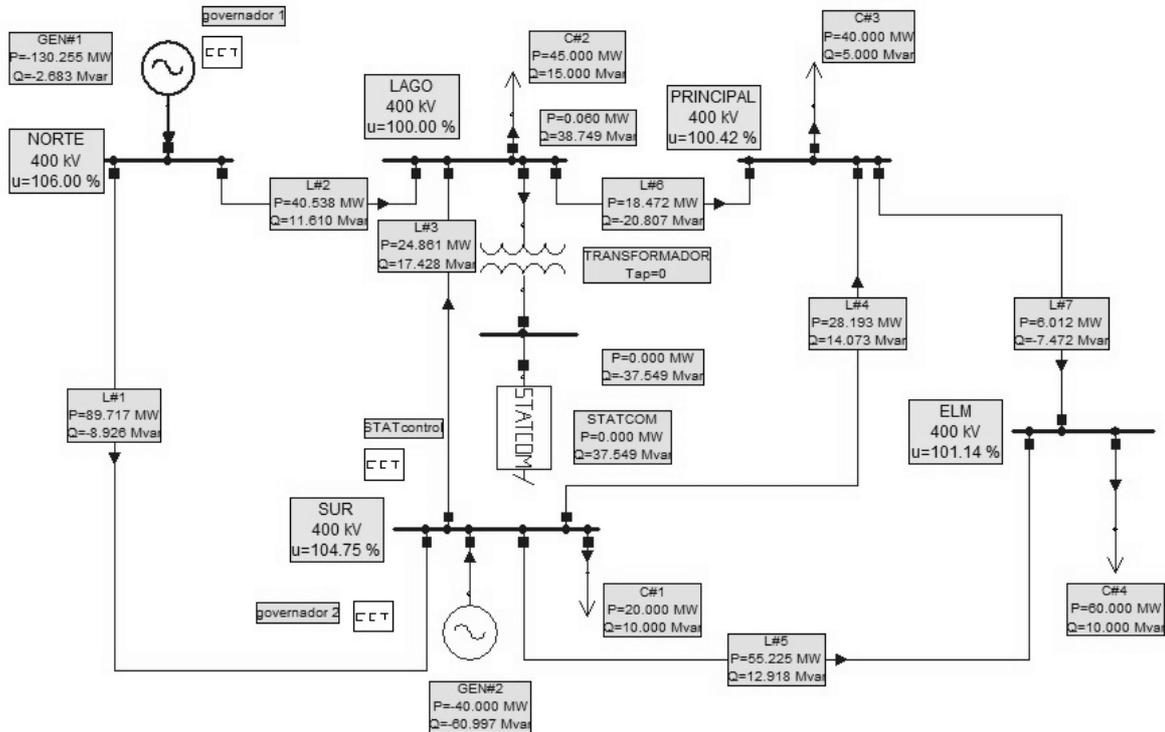


Figura 5.13 Flujos de potencia instalando un compensador STATCOM en la red.

En éste segundo caso, de igual forma se implementa el controlador con la finalidad de mantener la magnitud de voltaje en el nodo en un valor de 1 pu. De los valores entregados por el software NEPLAN[®] se puede apreciar que el STATCOM inyecta 38.749 MVAR's un valor muy similar al suministrado en el caso del SVC.

La presencia del compensador estático y del SVC mejoran el perfil de voltaje en la mayoría de los nodos en comparación con la red simple de la Figura 5.11, excepto en el nodo ELM, el cual se encuentra muy alejado del compensador para ser beneficiado por el FACTS.

En esencia, en estado estable, ambos compensadores presentan mejoras similares. Se puede observar que una fuente de potencia reactiva permite que los generadores la dejen de generar y las líneas la tengan que transportar a donde se requiere. En este caso GEN#1 reduce de manera significativa la generación de potencia reactiva ya que pasa a un valor de 2.683 MVAR's comparado con los 7.551MVAR's del caso base, por otro lado el flujo de potencia reactiva entre el nodo NORTE y LAGO presenta un incremento de aproximadamente de 10 MVAR's en la línea L#2(con respecto al caso sin compensación), el cual, también es absorbido por la máquina GEN#2.

- **Análisis en Estado Transitorio.**

Conocer el comportamiento de un Sistema Eléctrico de Potencia que es sometido a una o distintas contingencias y/o alteraciones es de vital importancia en la planeación y operación del mismo. En la vida real las redes son sometidas a un sin fin de alteraciones no deseadas provocadas por distintos factores, es por ello que la realización de los estudios de estado transitorio pueden prever el comportamiento del sistema bajo distintas situaciones. Con ayuda del software NEPLAN[®] y utilizando la red precisamente descrita y mostrada en la Figura 5.10 se presenta una serie de casos de estudio. Primeramente se simulará una falla trifásica en el nodo SUR como lo muestra la Figura 5.14.

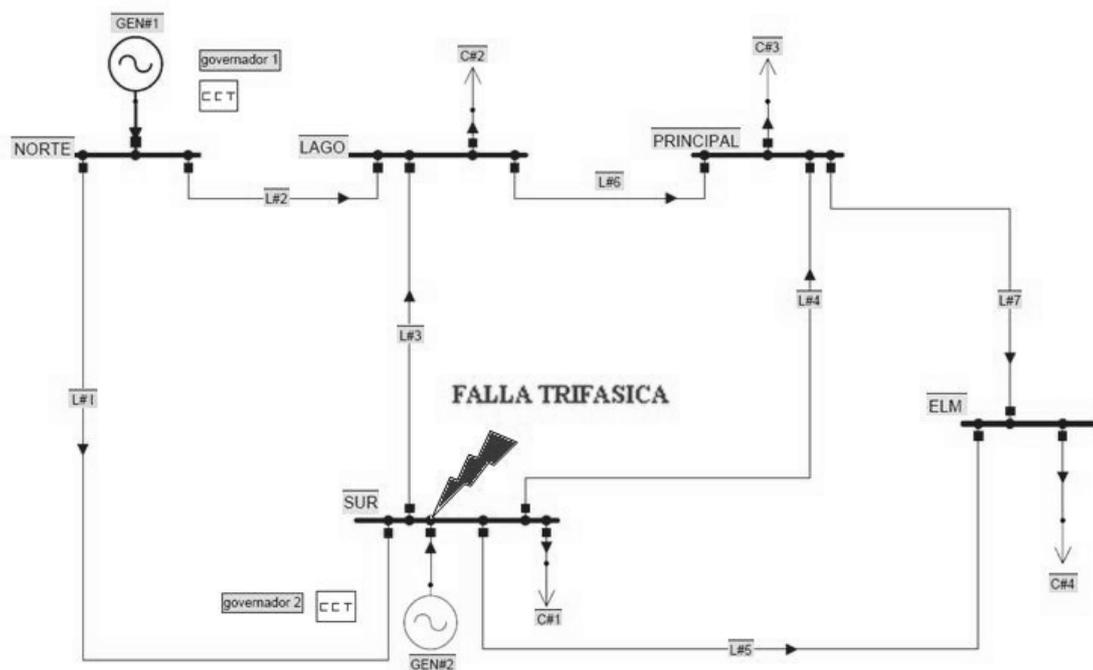


Figura 5.14 Falla trifásica en el nodo SUR.

Obteniendo de forma gráfica el comportamiento del sistema bajo régimen transitorio en tres situaciones distintas:

- a) La red sin compensación durante la falla.
- b) La red compensada con un SVC instalado en el nodo LAGO durante la falla.
- c) La red compensada con un STATCOM instalado en el nodo LAGO durante la falla.

En los tres casos se asume que la falla acontece en el segundo 1.1 con una duración de 0.2 segundos, el tiempo de simulación es de 15 segundos.

- a) En esta primera parte se simula la falla dentro de la red sin compensación en el nodo SUR y se muestra el comportamiento del sistema.

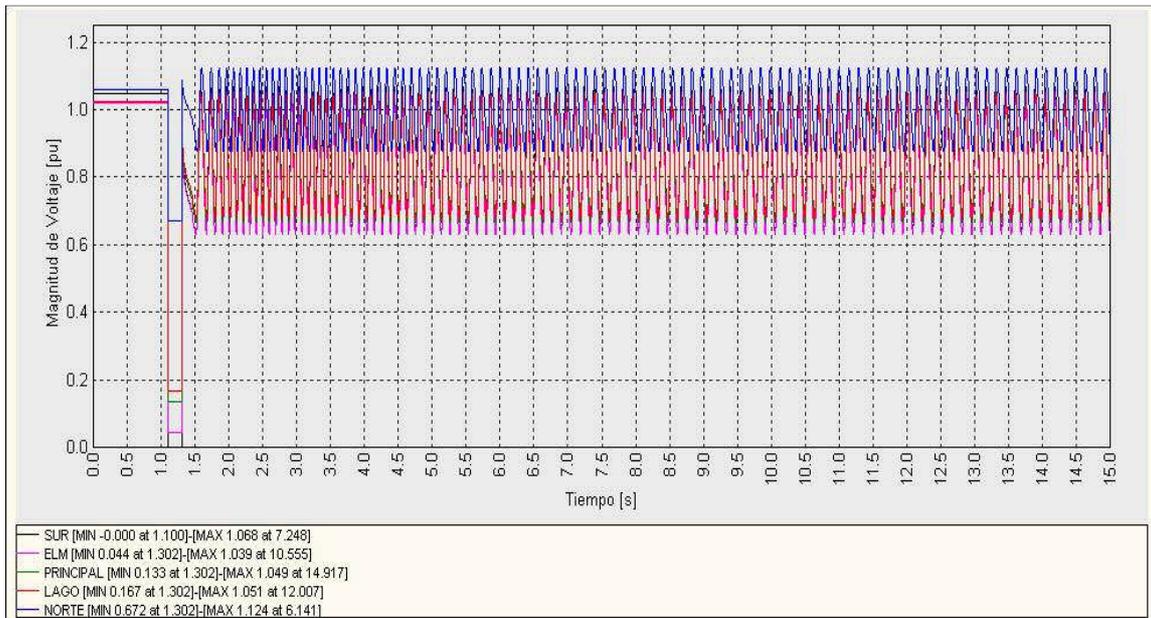


Figura 5.15 Magnitud de voltaje en los nodos para la falla trifásica.

En la gráfica de la Figura 5.15 se observa que la magnitud de voltaje en los nodos dentro de la red permanece constante hasta el valor de 1.1 segundos que es justo el instante cuando se presenta la falla trifásica.

La presencia de un corto circuito implica una caída de voltaje en el nodo fallado, la cual tiende a cero y un incremento drástico en el valor de la corriente que circula en la red, es por ello que la magnitud de los voltajes cae drásticamente en el intervalo de 1.1 a 1.3 segundos, que es el lapso de tiempo que dura la contingencia. Como podemos observar en la Figura 5.15 el único bus que alcanza el valor de cero, es el nodo SUR, que es donde la falla tiene mayor efecto, el efecto de la falla también se ve reflejado en los demás buses con las caídas de voltaje. Una vez que la falla es liberada, el sistema intenta restablecer sus condiciones iniciales, pero en este caso la falla fue tan considerable que el sistema queda perturbado, presentando oscilaciones y alteraciones que no permiten su restablecimiento, tal como lo muestra la Figura 5.15.

Hay que aclarar que los resultados arrojados por NEPLAN[®] son meramente demostrativos puesto, que para el comportamiento real de la red durante y/o después

de la contingencia un adecuado sistema de protecciones eléctricas debe operar para evitar daños en los equipos.

A consecuencia de la falla trifásica en la red, las máquinas conectadas en los nodos NORTE y SUR también se ven afectadas en su desempeño y comportamiento tal y como se aprecia en la Figura 5.16 la cual muestra la velocidad del rotor de ambos generadores. Por un lado podemos ver que el GEN#2, conectado en SUR, a diferencia del GEN#1 presenta un incremento brusco en su velocidad debido a que en dicho bus es donde se presenta la falla, en cambio el GEN#1 se frena bajando su velocidad. Después de la contingencia es evidente que las máquinas no regresan a su operación normal, el rotor de la máquina conectada en el nodo NORTE mantendrá una velocidad baja, mientras que el GEN#2 continuara con una velocidad oscilatoria elevada.

La gráfica de la Figura 5.17 nos permite observar como el ángulo del rotor de carga de ambas máquinas también sufre alteraciones importantes al instante de la falla.

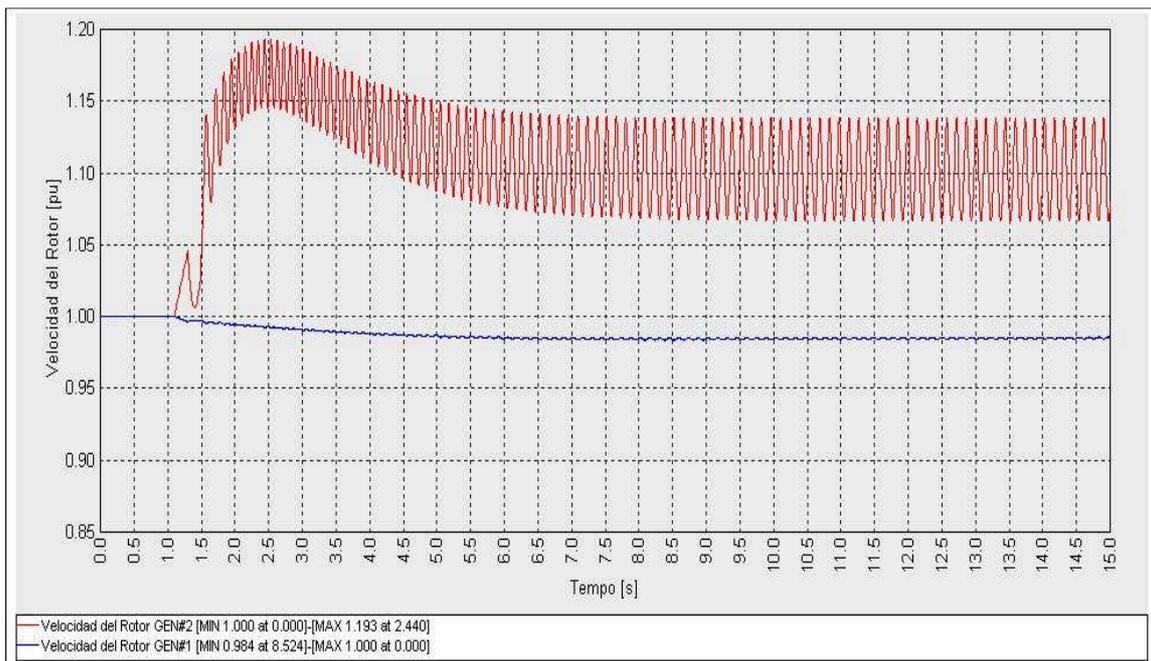


Figura 5.16 Velocidad del rotor de las máquinas para la falla trifásica.

De esta figura es evidente el desplazamiento angular que sufre el voltaje de la máquina GEN#2, lo que corrobora la inestabilidad del sistema para este disturbio.

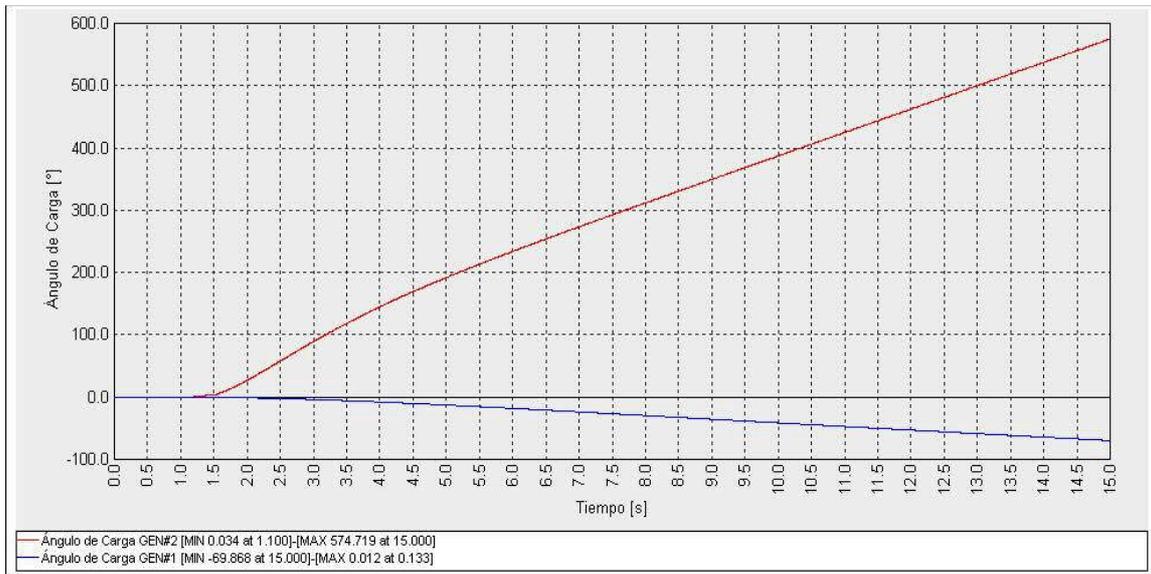


Figura 5.17 Ángulo de carga de las máquinas para la falla trifásica.

- b) Como segundo caso se presenta la misma falla en el nodo SUR pero ahora ha de ser considerada la instalación de un compensador estático de VAR's en el nodo LAGO, con la finalidad de analizar el comportamiento de la red, las ventajas y mejoras que el SVC es capaz de aportar al sistema.

La Figura 5.18 corresponde a la grafica de magnitud de voltaje en cada una de las barras de la red, de igual forma se observa que una vez que se presenta la falla en el instante 1.1 segundos, la magnitud de voltaje cae repentinamente en todos los nodos.

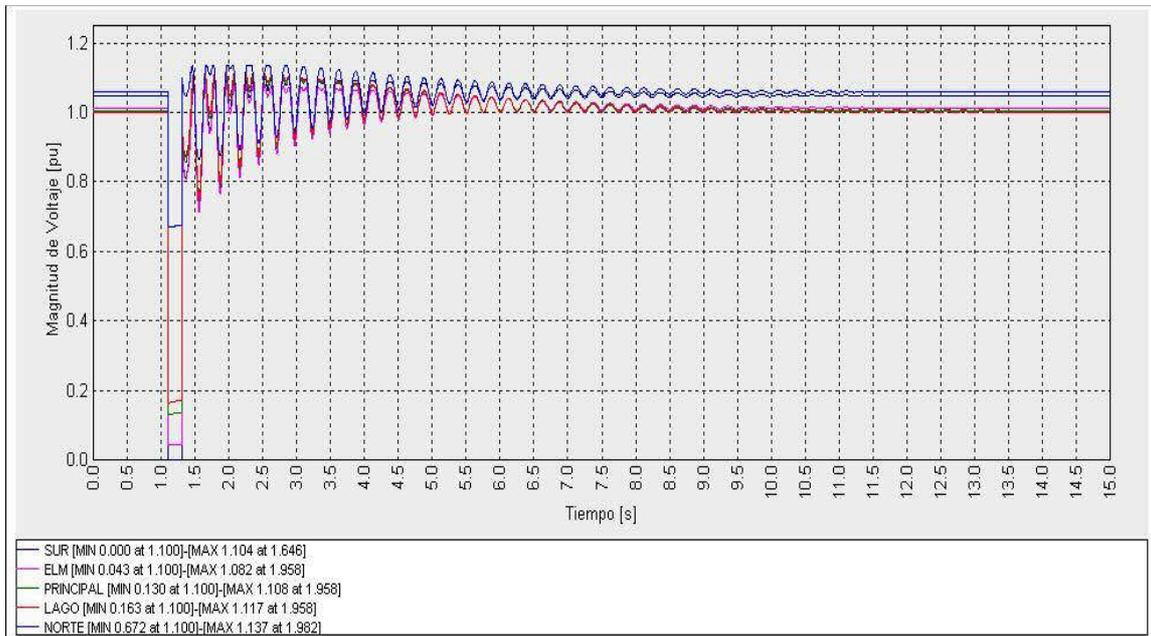


Figura 5.18 Magnitud de voltaje en los nodos para la falla trifásica con SVC instalado.

Durante los 0.2 segundos que dura la falla, se puede observar que la caída de voltaje en el nodo SUR permanece constante, es decir cae hasta un valor de cero debido a lo mencionado anteriormente, la falla ocurre en dicho bus, a pesar de la presencia del compensador no se observa ningún cambio y/o mejoría en la magnitud de voltaje para el nodo SUR; en cambio en las barras NORTE, LAGO y PRINCIPAL se puede apreciar claramente el efecto del SVC instalado, en el intervalo de tiempo en que se mantiene la falla el compensador inyecta potencia reactiva a la red e intenta levantar la magnitud de voltaje en dichos nodos, en comparación con la Figura 5.15, en la Figura 5.18 se puede apreciar una pendiente positiva en la magnitud de voltaje de las barras, excepto en el bus ELM, el cual se encuentra muy alejado del compensador para ser beneficiado por la operación del SVC.

Las máquinas síncronas GEN#1 y GEN#2 también son beneficiadas por el efecto del controlador FACTS, mientras que con las Figuras 5.16 y 5.17 se muestra la alteración para la velocidad y el ángulo de carga respectivamente para la red sin compensador, en las Figuras 5.19 y 5.20 se aprecian las mismas curvas cuando el SVC está instalado.

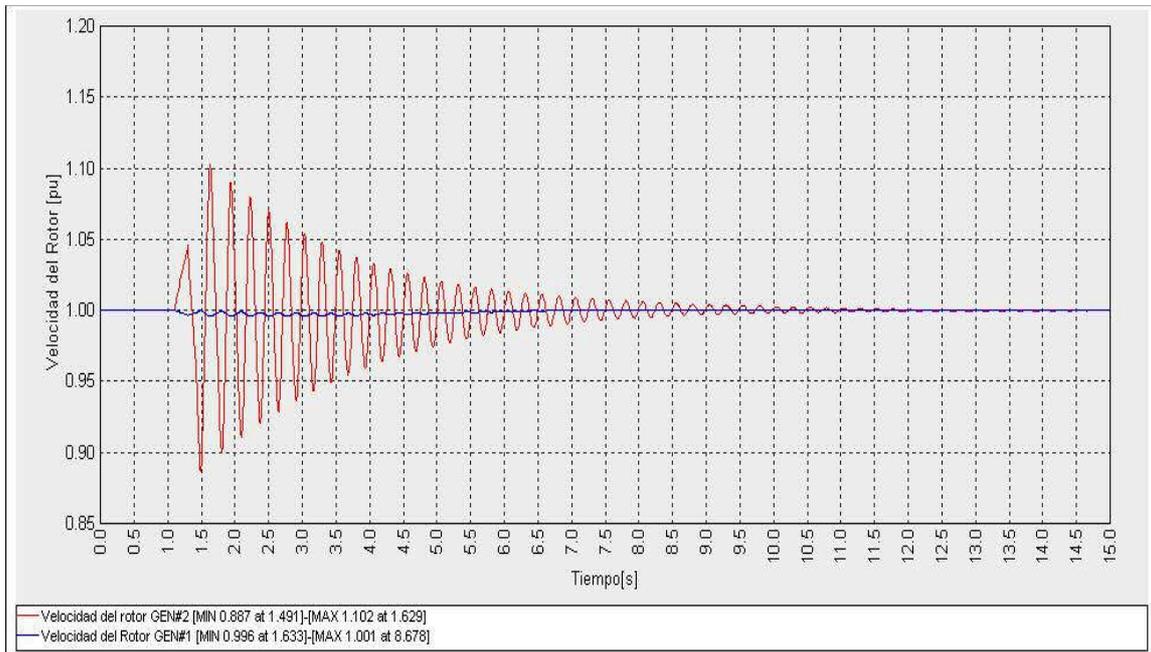


Figura 5.19 Velocidad del rotor de las máquinas para la falla trifásica con SVC instalado

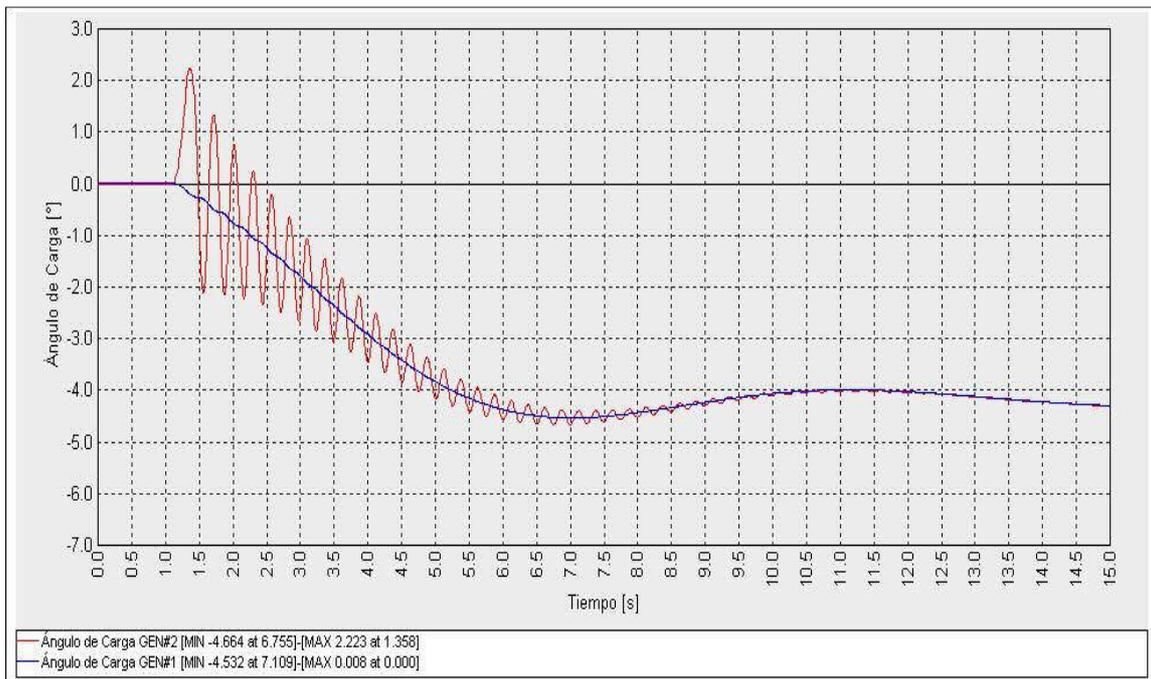


Figura 5.20 Ángulo de carga de las máquinas para la falla trifásica con SVC.

El generador conectado a SUR es el que ve más alterado su comportamiento, una vez ocurrida la contingencia su velocidad incrementa considerablemente y a diferencia de lo que ocurrió en el primer caso, es decir sin el compensador, ver

Figura 5.16, el rotor de la máquina es capaz de estabilizar su velocidad y regresar a una operación estable.

El comportamiento del compensador estático de VAR's se encuentra plasmado en la Figura 5.21, antes de la falla el SVC entrega 37.602MVAR's a la red y en el momento en que ocurre la perturbación el SVC casi de manera inmediata para de suministrar potencia reactiva y cambia a un estado en donde absorbe una considerable cantidad de MVAR's (77.5MVAR's aproximadamente), mientras las máquinas recuperan su estabilidad, el compensador continua absorbiendo reactivos aproximadamente por cuatro segundos y después comienza a inyectar una vez más potencia reactiva hasta alcanzar su valor inicial, permitiendo que el voltaje en los nodos y los generadores regresen a una operación estable.

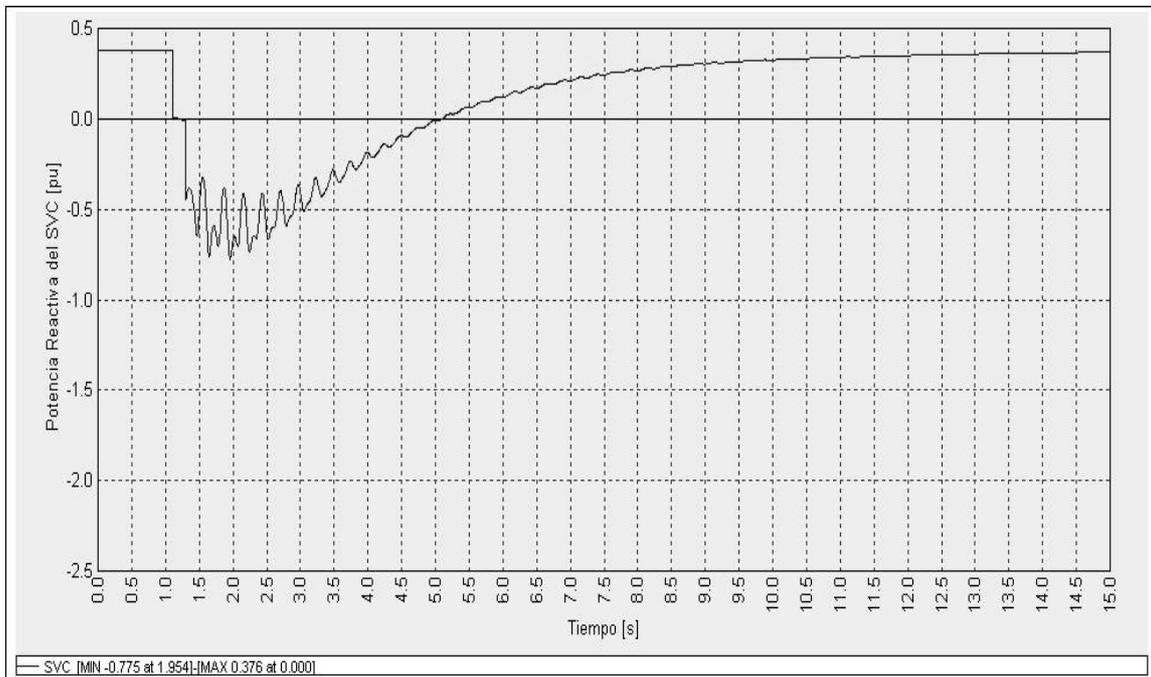


Figura 5.21 Operación de SVC durante la falla trifásica.

Como se puede apreciar de las graficas, el compensador tiene un efecto muy significativo, como se puede observar una vez que la falla ha sido liberada el sistema es capaz de recobrar su estabilidad pasado un determinado tiempo. Lo anterior debido a la acción del SVC durante y después de la contingencia de aportar potencia reactiva al sistema.

- c) Por último se presenta la misma falla en el nodo SUR pero en este caso se considera la instalación de un compensador estático síncrono de igual forma en

el nodo LAGO, con la finalidad de analizar el comportamiento de la red, las ventajas y mejoras que el STATCOM es capaz de aportar al sistema y analizar las diferencias respecto al SVC.

En la Figura 5.22 se muestran las gráficas de magnitud de voltaje en cada una de los nodos de la red, como en el caso del SVC, también se observa que una vez que se presenta la contingencia la magnitud de voltaje cae repentinamente en todos los buses.

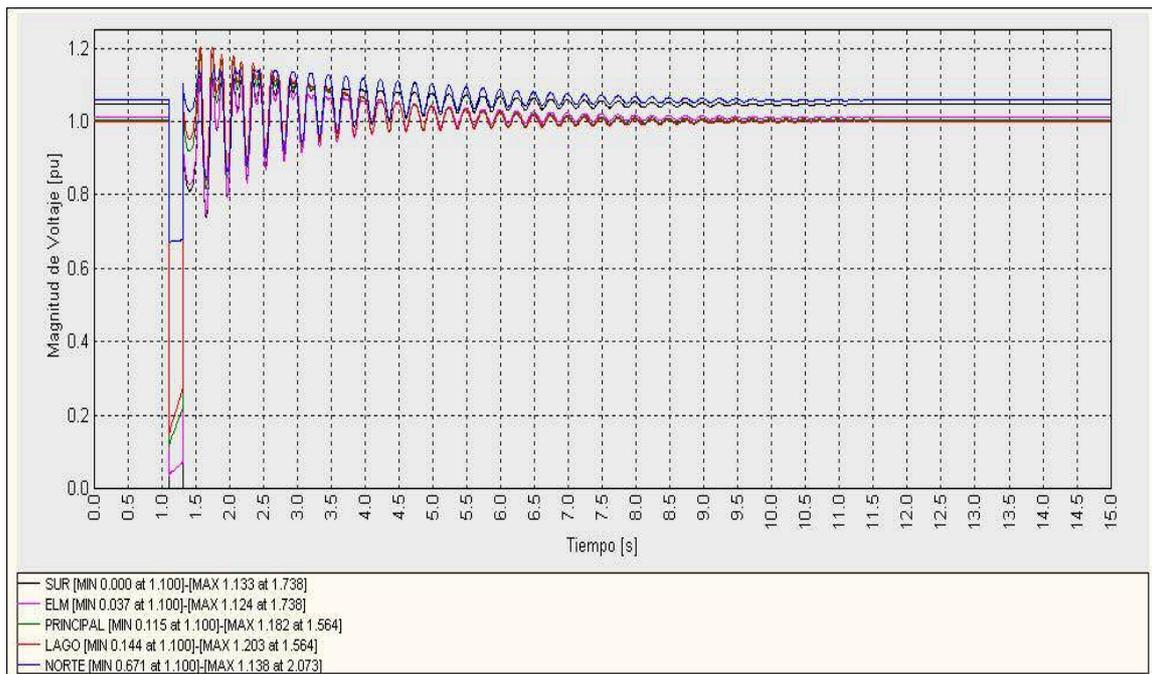


Figura 5.22 Magnitud de voltaje en los nodos para la falla trifásica con STATCOM instalado.

Durante la falla se observa de igual forma que en el caso del SVC, que la caída de voltaje en el nodo SUR desciende hasta un valor de cero debido a que en dicho bus ocurre la falla. En el caso del STATCOM las barras NORTE, LAGO, PRINCIPAL y SUR son beneficiadas por el efecto del compensador estático síncrono instalado, cuando ocurre la falla el compensador inyecta y absorbe potencia reactiva en la red con la finalidad levantar la magnitud de voltaje en dichos nodos, a diferencia de la Figura 5.18, en la Figura 5.22 se pueden apreciar pendientes con una mayor inclinación durante el transcurso de la perturbación en la magnitud de voltaje de las barras, es decir, el STATCOM tiene una mayor capacidad de respuesta ya que consigue elevar la magnitud de voltaje a un nivel superior que el SVC en el mismo tiempo de operación, inclusive el bus ELM, el cual se encuentra muy alejado del

compensador, ahora es beneficiado por la operación del STATCOM lo cual no ocurre en el caso del SVC.

Los generadores también son afectados de manera positiva por el efecto del compensador estático síncrono, las Figuras 5.23 y 5.24 muestran el comportamiento de la velocidad y el ángulo de carga respectivamente para el caso del STATCOM, en las cuales se aprecian las características muy similares a las del SVC.

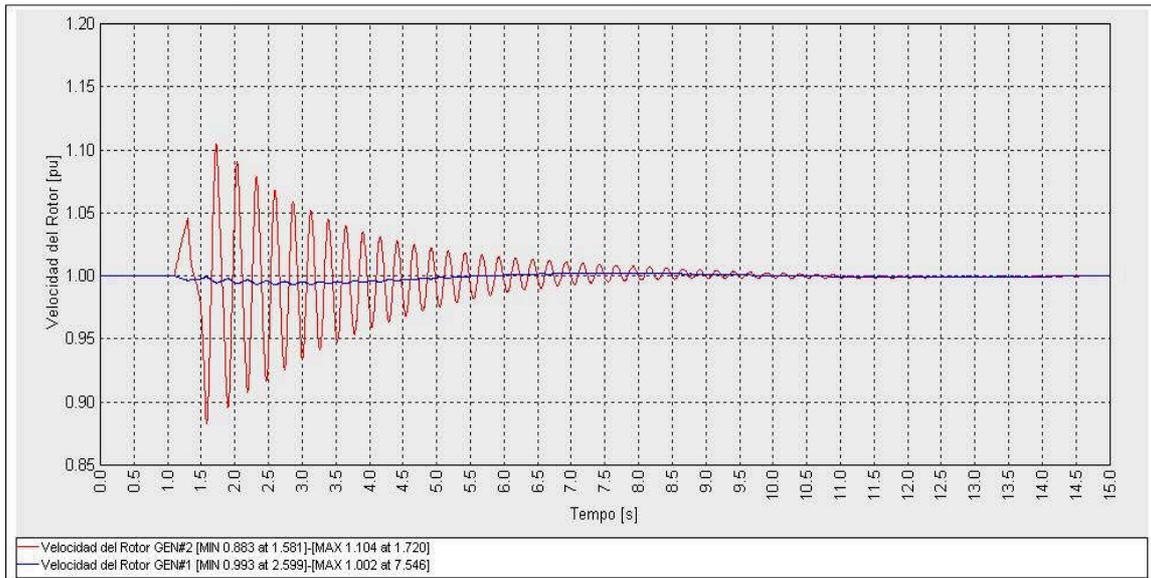


Figura 5.23 Velocidad del rotor de las máquinas para la falla trifásica con STATCOM instalado.

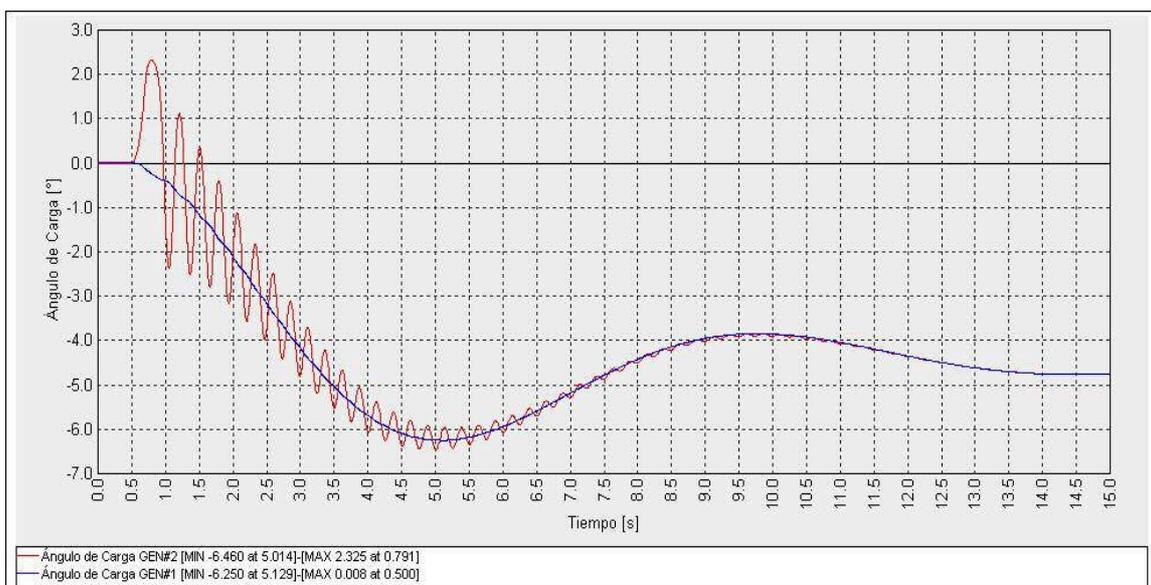


Figura 5.24 Ángulo de carga de las máquinas para la falla trifásica con STATCOM instalado.

Semejante al caso del SVC la máquina colocada en el nodo SUR es la que presenta mayores alteraciones en su comportamiento, una vez ocurrida la falla, la velocidad incrementa considerablemente y gracias al efecto del STATCOM el rotor de la máquina es capaz de estabilizar su velocidad y regresar a una operación normal en un menor tiempo con respecto al caso del SVC, en la Figura.5.23 se aprecia que el rotor alcanza su estabilidad aproximadamente en 10.5 segundos mientras que en el caso del SVC se observa que transcurridos 12.5 segundos los rotores de las máquinas se han estabilizado, razón por la cual el STATCOM resulta ser más efectivo ya que tiene una mayor velocidad de respuesta y es capaz de normalizar el sistema en un lapso de tiempo menor.

Al igual que con el compensador estático de VAR's, la presencia del STATCOM permite, como se puede apreciar, una vez que la falla ha sido liberada, que el sistema sea capaz de recobrar su estabilidad, pasado un determinado tiempo, debido a la acción del compensador durante y después de la contingencia.

El comportamiento del STATCOM es mostrado en la Figura 5.25, previo a la falla el compensador entrega 37.549MVAR's al sistema y en el momento en que ocurre la perturbación el compensador casi de manera inmediata detiene la inyección de potencia reactiva y cambia a un estado en donde absorbe MVAR's al igual que en el caso del SVC, mientras las máquinas recuperan su estabilidad, el compensador absorbe reactivos aproximadamente por tres segundos y después comienza a inyectar una vez más potencia reactiva hasta recuperar su valor inicial, permitiendo que el voltaje en los nodos y los generadores regresen a una operación normal, cabe señalar que el STATCOM recupera su operación normal en un lapso de tiempo mucho menor al del SVC, tal y como lo muestra la gráfica de la Figura 5.25 en comparación con la Figura 5.21 correspondiente al compensador estático de VAR's.

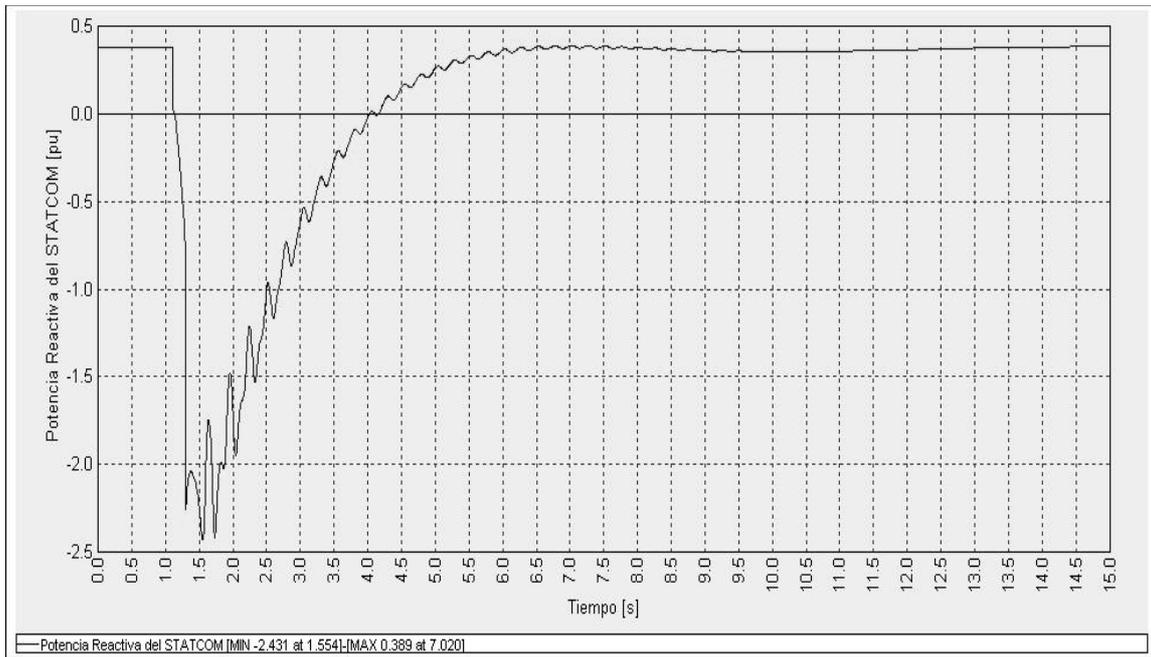


Figura 5.25 Operación del STATCOM durante la falla trifásica.

- **Perturbaciones Dentro de una Red.**

El siguiente caso de estudio utiliza la misma red de prueba mostrada en la Figura 5.10 con la diferencia de que se han considerado como bases del sistema los siguientes valores; un voltaje de 250kV, un valor de potencia de 80MVA y una frecuencia de 50 Hz. Las características principales de cada uno de los elementos que conforman dicha red se muestran en las Tablas 5.5, 5.6, 5.7 y 5.8.

Tabla 5.5 Características principales de los generadores.

Generador	Límite máximo de potencia reactiva MVAR	Límite mínimo de potencia reactiva MVAR	Voltaje Operacional %
GEN#1	500	-500	106
GEN#2	300	-300	104.75

Tabla 5.6 Características principales de los nodos.

Nodo	Tipo	Voltaje kV	Operación pu
NORTE	Slack	250	1.06
SUR	PV	250	1.0475
LAGO	PQ	250	*
PRINCIPAL	PQ	250	*
ELM	PQ	250	*

Tabla 5.7 Características principales de las líneas.

Línea	Interconexión	Resistencia Ω	Reactancia Ω
L#1	NORTE-SUR	12.5	37.5
L#2	NORTE-LAGO	50	150
L#3	SUR-LAGO	37.5	112.5
L#4	SUR-PRINCIPAL	37.5	112.5
L#5	SUR-ELM	25	75
L#6	LAGO-PRINCIPAL	6.25	18.75
L#7	PRINCIPAL-ELM	50	150

Tabla 5.8 Características principales de las cargas.

Carga	Conexión en nodo:	Potencia activa MW	Potencia reactiva MVAR
C#1	SUR	20	10
C#2	LAGO	45	15
C#3	PRINCIPAL	40	5
C#4	ELM	60	10

En este caso, la red será sometida a una serie de diferentes perturbaciones. La Tabla 5.9 describe la serie de eventos a la que la red es sometida y a continuación de manera gráfica se verán reflejados todos los efectos causados por los eventos que se describen en la tabla antes mencionada. Considerando un tiempo máximo de simulación de 18 segundos.

Tabla 5.9 Perturbaciones a la red.

EVENTO No.	PERTURBACIÓN	TIEMPO s
1	Sale línea L#4	0.5
2	Sale línea L#5	1
3	Sale carga C#4	2.2
4	Sale carga C#3	3
5	Regresa línea L#4	4.5
6	Regresa línea L#5	6

Tres casos de estudio son realizados usando la red y la siguiente secuencia de eventos:

- La red sin compensación durante las perturbaciones.
- La red compensada con un SVC instalado en el nodo LAGO durante las perturbaciones.
- La red compensada con un STATCOM instalado en el nodo LAGO durante las perturbaciones.

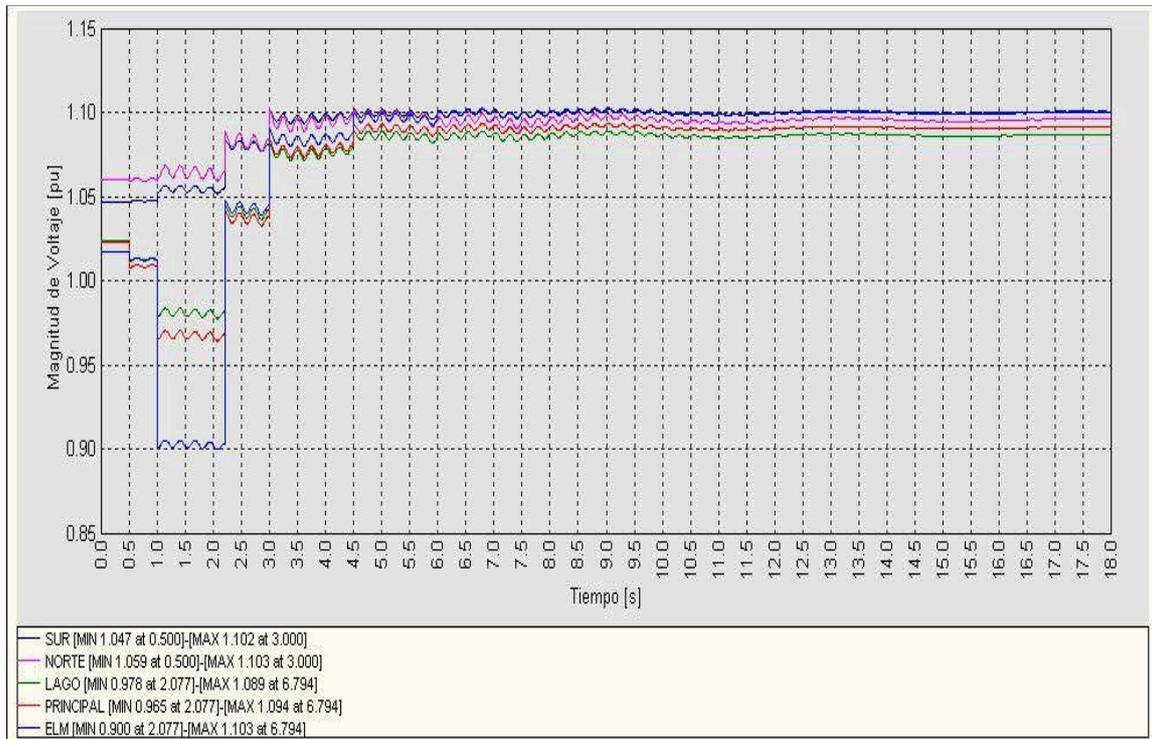


Figura 5.26 Voltajes de los nodos durante las perturbaciones.

a) Red sin compensación.

Como se puede apreciar en la grafica de la Figura 5.26, el efecto de las perturbaciones es instantáneo en la magnitud de voltaje de los cinco nodos, todos por igual se desestabilizan pero sin lugar a dudas el nodo con mayor caída de voltaje es ELM debido a que la línea L#5 es la línea principal que suministra a dicho nodo es desconectada (evento 2) y reconectada (evento 6). Si además el nodo ELM es el más alejado electrónicamente de las maquinas síncronas, razón por la cual su magnitud de voltaje refleja una caída más significativa.

En el instante en que las cargas C#3 y C#4 salen de la red, se aprecia en la Figura 5.26 como la magnitud de voltaje en todos los nodos incrementa considerablemente (debido al efecto capacitivo de las líneas) y una vez que son reconectadas L#4 y L#5 se puede apreciar una mejora en el perfil de voltaje pero la magnitud de voltaje en los cinco no es capaz de alcanzar un estado estable.

En la Figura 5.27 se muestra la diferencia angular de los voltajes nodales, que se presenta durante las perturbaciones, el nodo NORTE es tomado como referencia, frente a los demás nodos, debido a que es considerado un nodo tipo “slack”.

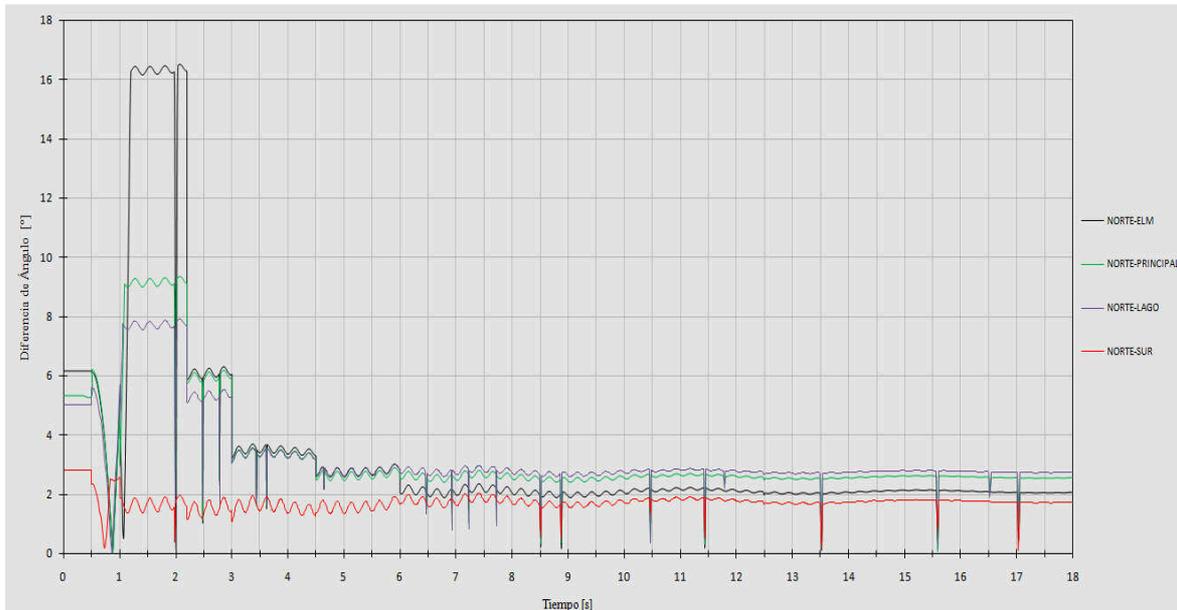


Figura 5.27 Diferencia de ángulos nodales durante las perturbaciones.

Se puede observar que las mayores alteraciones se presentan durante los primeros segundos cuando las perturbaciones más significativas, que son la salida de las líneas, se hacen presentes y ambas transportan 81.193 MW aproximadamente. La diferencia de ángulos nodales más grande está presente entre NORTE y ELM, debido a que este último es el nodo más alejado electrónicamente de los generadores. Por otro lado se observa una diferencia menor de los demás ángulos durante el resto de las perturbaciones, pues involucran menores potencias en juego.

Una vez que las líneas regresan, aunque aun las cargas permanecen desconectadas de la red, el sistema intenta recobrar una estabilidad, lo cual se puede apreciar a partir del valor de 6 segundos. Sin embargo continua la presencia de una mínima diferencia entre los ángulos nodales.

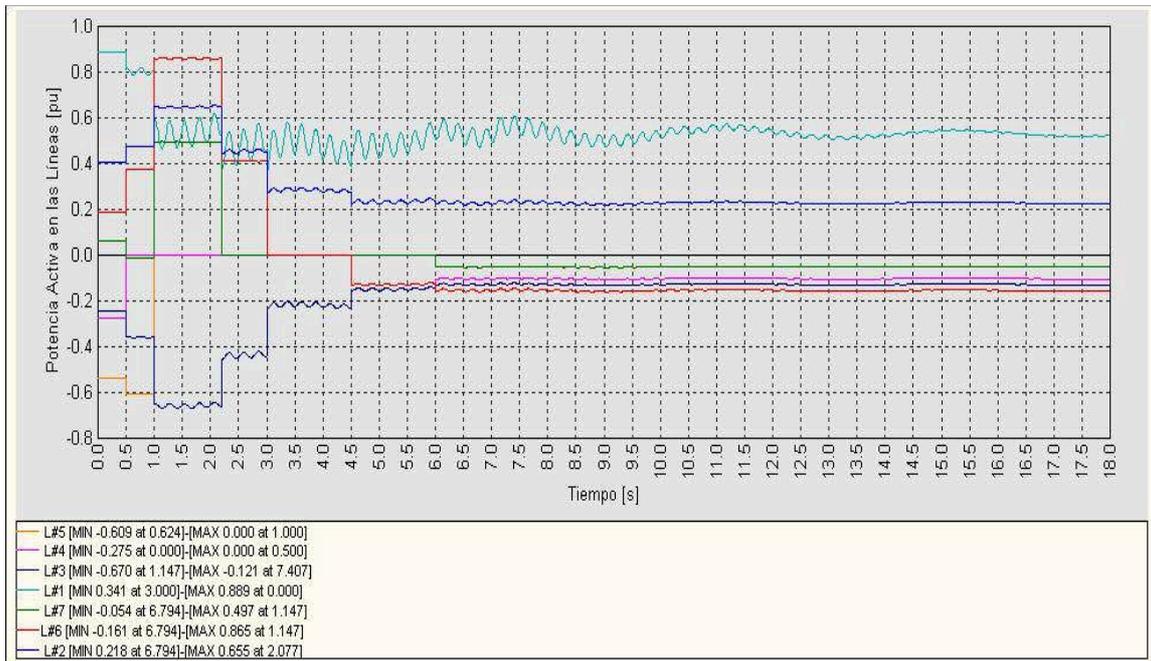


Figura 5.28 Potencia activa durante las perturbaciones en las siete líneas.

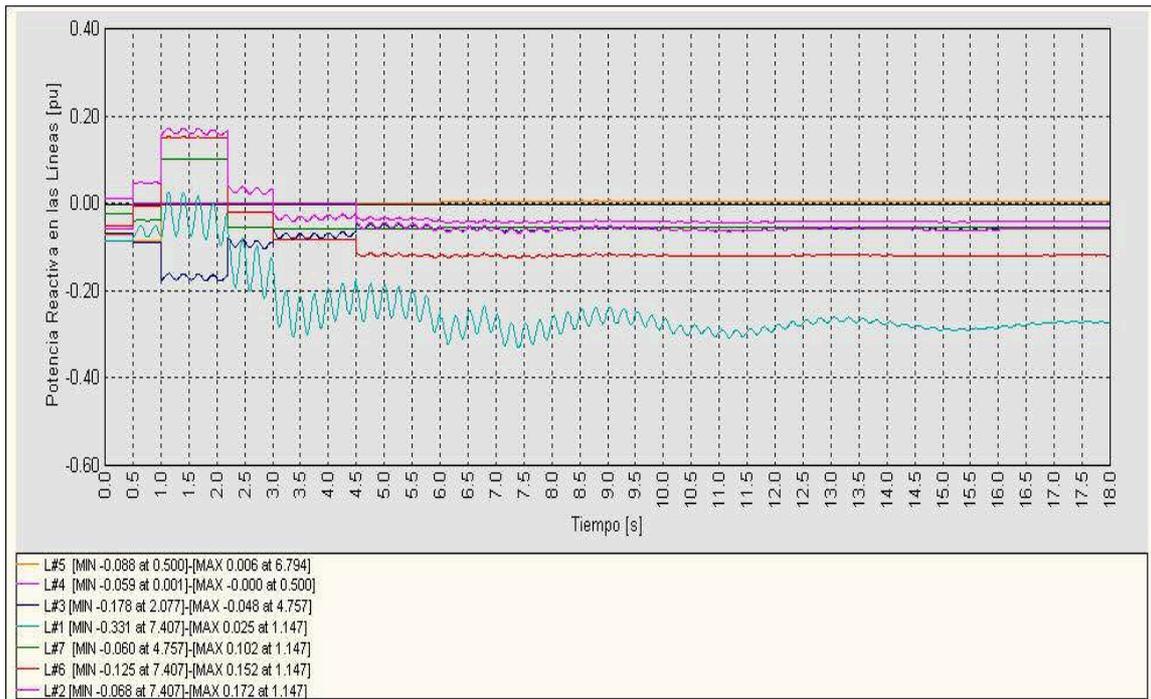


Figura 5.29 Potencia reactiva durante las perturbaciones en las siete líneas.

Como se puede observar en las figuras previas, es evidente que bajo la influencia de varias perturbaciones en el sistema, el flujo de potencia sufre alteraciones al igual

que los voltajes de generación, magnitudes y ángulos de voltaje de los nodos. En el caso particular de las Figura 5.28 y 5.29 respectivamente, se puede apreciar que las siete líneas permanecen con un valor de potencia constante hasta los 0.5 segundos, tiempo en el cual inician los eventos descritos en la Tabla 5.9. Como se puede observar el flujo de potencia sobre las líneas línea L#2 y sobre todo la línea L#6 se incrementa debido a que son el único respaldo hacia la salida de las líneas L#4 y L#5 y de las cargas C#3 y C#4. Posteriormente se puede ver que a partir de los 6 segundos el flujo de potencia intenta tomar un valor estable sin lograrlo ya que el valor del flujo de potencia presenta mínimas oscilaciones.

Como siguiente paso, se implementarán los compensadores en estudio a dicha red de cinco nodos para ver el efecto que tienen sobre el sistema llevadas a cabo las perturbaciones de la Tabla 5.9.

b) Red compensada con un SVC instalado en el nodo LAGO.

En primer lugar se presentarán los resultados obtenidos cuando se conecta el SVC al nodo LAGO.

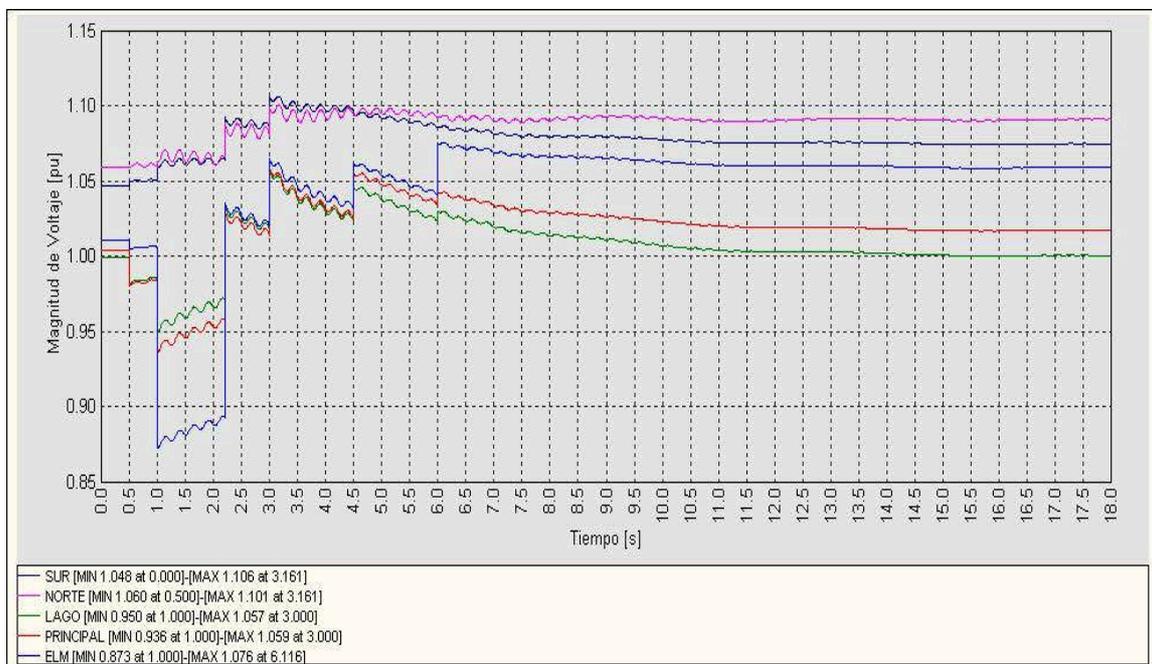


Figura 5.30 Magnitud de voltajes de los nodos durante las perturbaciones conectando el SVC.

En general, si comparamos los resultados obtenidos de la Figura 5.30 con la Figura 5.26 se observa claramente como la magnitud de voltaje en todos los nodos intenta recuperarse durante las perturbaciones para mantenerse después de un determinado tiempo estable. Solo por describir en breve algunos de esos comportamientos bajo la acción del SVC, se aprecia que de 1 a 2.2 segundos los nodos LAGO, PRINCIPAL y ELM aumentan su valor debido al suministro de MVAR's del SVC, hasta que se presenta la salida de C#4 y así sucesivamente conforme lo indicado en la Tabla 5.9, a diferencia del caso sin compensador, que se aprecia que la magnitud de voltaje en los nodos es capaz de recobrar un valor estable debido a la acción del compensador, el cual busca llevar el voltaje controlado (en el nodo LAGO) a su valor establecido, 1 pu.

En la Figura 5.31 se puede observar el beneficio de la implementación del compensador estático de VAR's, se aprecia claramente que durante las perturbaciones, la alteración del valor de las diferencias de ángulos nodales se mantienen presentes, pero en contraste al caso sin compensador de la Figura 5.27, se puede observar que la diferencia de dicho valor alcanza una estabilidad una vez terminadas las perturbaciones pues a partir aproximadamente de los 10 segundos, la diferencia de ángulos nodales se mantiene constante.

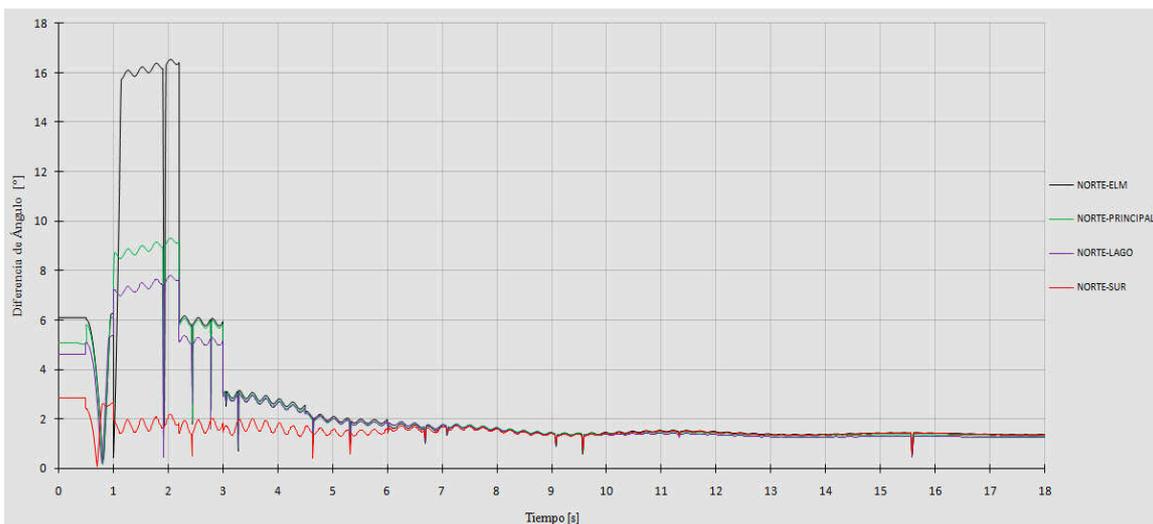


Figura 5.31 Diferencia de ángulos nodales durante las perturbaciones conectando el SVC.

En comparación con la Figuras 5.28, se observa que el flujo de potencia activa en la Figura 5.32, correspondiente al sistema compensado es muy similar, con la única

diferencia de que una vez terminadas las alteraciones, todos los valores tienden a alcanzar un valor constante y no permanecen con oscilaciones, y las oscilaciones presentes en la línea L#1 son atenuadas ante la presencia del SVC.

Por otro lado la potencia reactiva en las líneas de transmisión presenta diferencias ante la presencia de una fuente variable de potencia reactiva variable, la red compensada (Figura 5.33) se amortigua más rápido que aquella sin compensación (Figura 5.29).

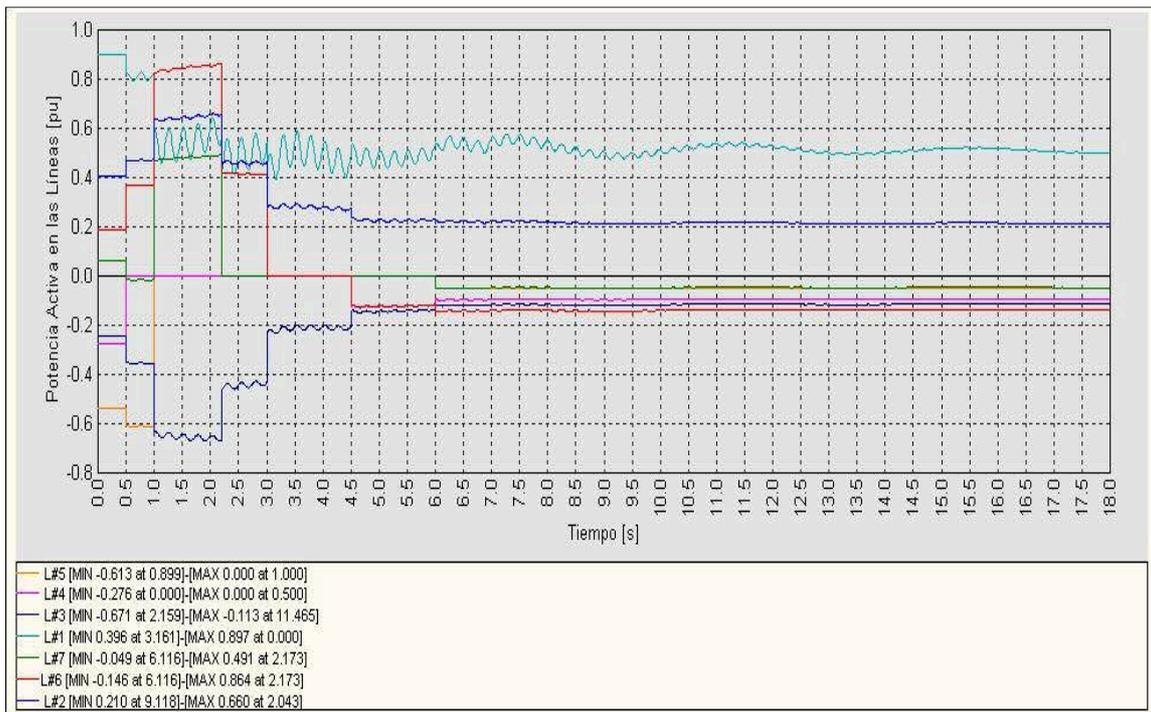


Figura 5.32 Potencia activa durante las perturbaciones en las siete líneas con la presencia del SVC.

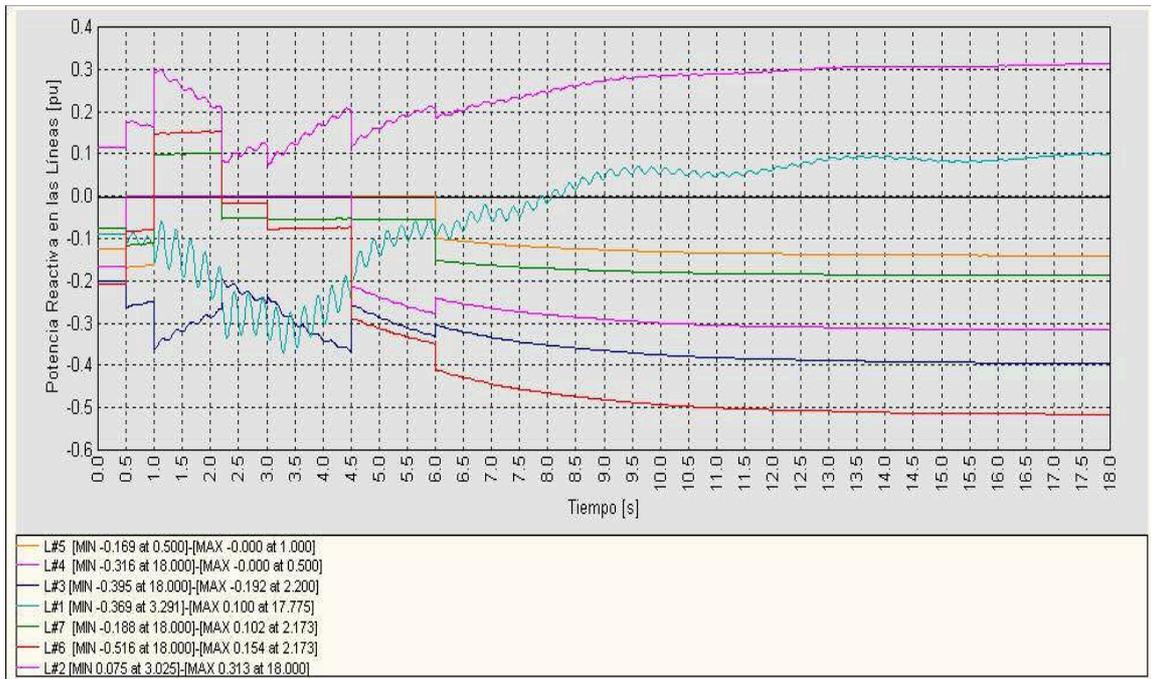


Figura 5.33 Potencia reactiva durante las perturbaciones en las siete líneas con la presencia del SVC.

El comportamiento del SVC es analizado a continuación

La Figura 5.34 representa la magnitud de voltaje en el SVC, se puede observar que antes de que ocurra la primera perturbación, el SVC mantiene un valor constante de aproximadamente 0.97 pu. Cuando la línea L#4 y L#5 son desconectadas de la red, la magnitud de voltaje en el SVC cae repentinamente, hecho ante el cual el compensador responde absorbiendo reactivos para intentar mantener la magnitud de voltaje, esto se puede apreciar en la gráfica entre los intervalos de 0.5 a 1 segundos y en el intervalo de 1 a 2.2 segundos.

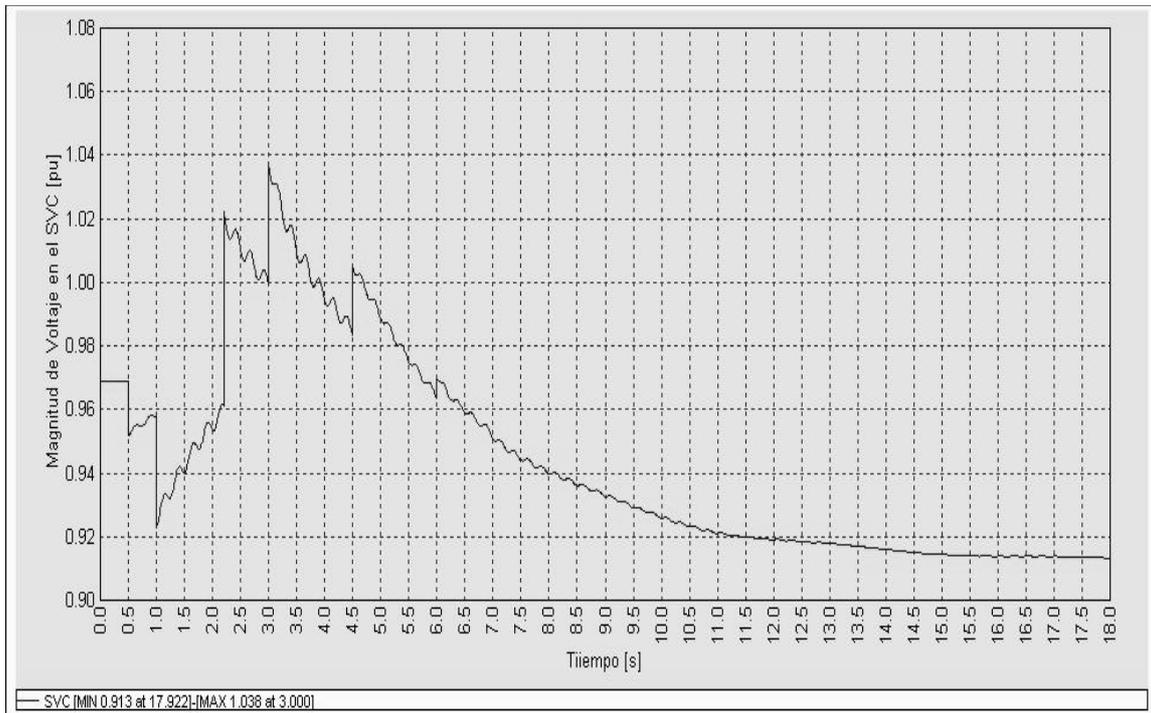


Figura 5.34 Magnitud de voltaje en el nodo SVC.

En la Figura 5.35 se observa que la respuesta que tiene el SVC en el sistema en cuanto a aportación o absorción de potencia reactiva se refiere, desciende a un mínimo de 0.128 pu en un tiempo de 2.2 segundos y a partir de ese momento el dispositivo comienza poco a poco a suministrar reactivos logrando llegar a 1pu a los 18 segundos.

La absorción de potencia reactiva por medio del SVC finaliza una vez que las cargas han sido desconectadas del sistema. El compensador en este momento comienza a inyectar VAR's, logrando estabilizarse en un valor cercano a 0.91 pu después de algunos segundos. Se puede notar que al final se presenta una caída en la magnitud de voltaje respecto al valor inicial, lo cual se debe a que después de la salida de ambas cargas el sistema presenta una menor demanda de potencia reactiva

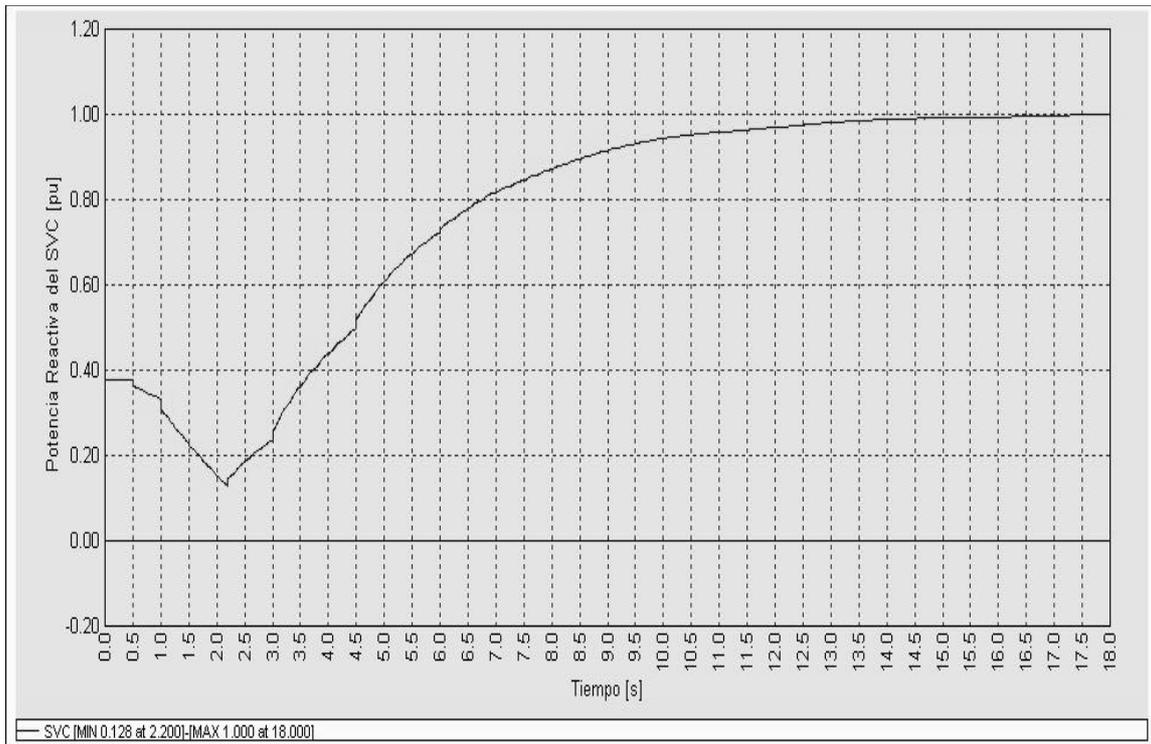


Figura 5.35 Potencia reactiva suministrada por el SVC.

c) Red compensada con un STATCOM instalado en el nodo LAGO.

A continuación, se presentarán los resultados obtenidos instalando el STATCOM a la red de 250 kV con las perturbaciones ya descritas de igual manera en la Tabla 5.9 y en conjunto se describirán las comparaciones pertinentes con el SVC.

La Figura 5.36 muestra el efecto que tiene el STATCOM sobre la magnitud de voltaje en los nodos y que comparándolos con la Figura 5.30, se observa en primer lugar que con el STATCOM el voltaje cae muy ligeramente respecto al SVC, pero por otro lado se obtiene una mejor respuesta en cada uno de los nodos, solo por mencionar alguno de ellos, el nodo NORTE alcanza una magnitud de 1.101pu con el SVC mientras que con el STATCOM se llega a 1.103pu.

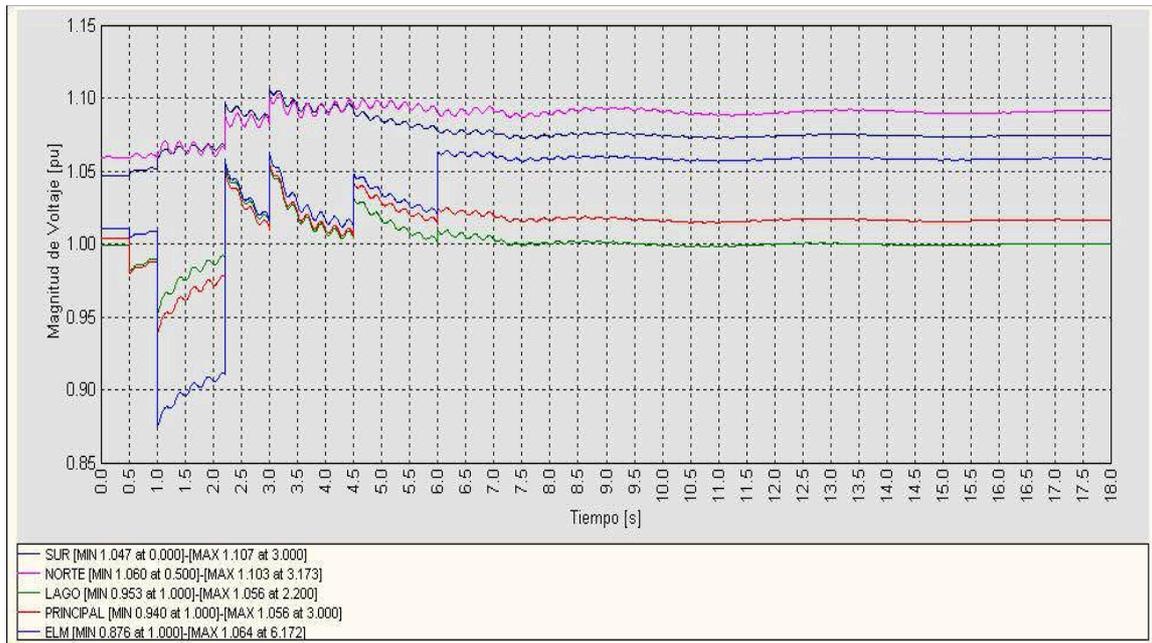


Figura 5.36 Magnitud de voltajes de los nodos durante las perturbaciones conectando el STATCOM.

Con la Figura 5.37, como era de esperarse, se observa que los datos obtenidos muestran un comportamiento muy similar, al del SVC, con la única diferencia que el STATCOM logra minimizar la diferencia de los ángulos nodales en un menor tiempo.

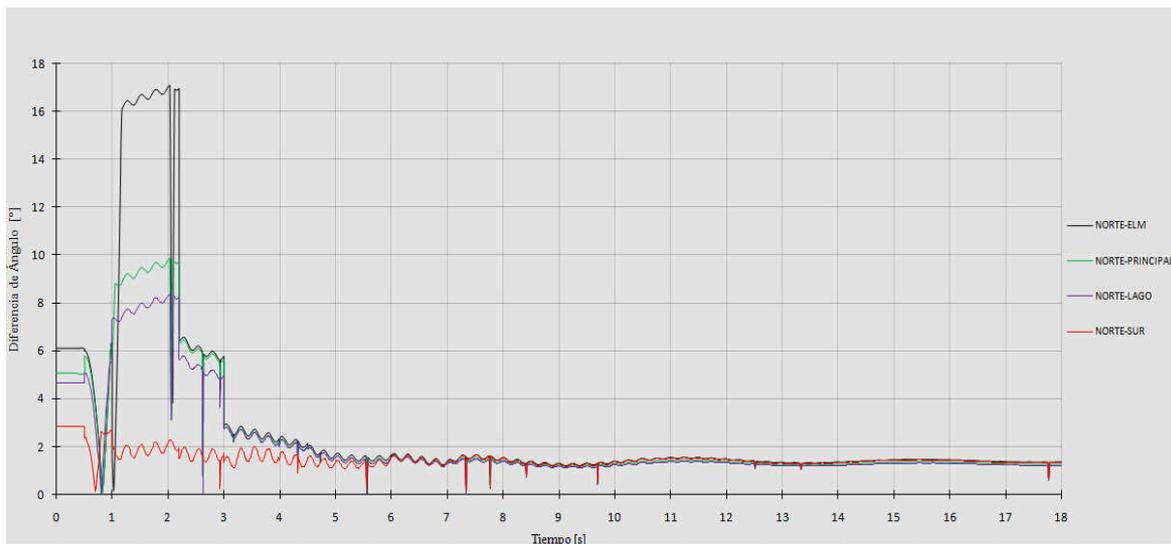


Figura 5.37 Diferencia de ángulos nodales durante las perturbaciones conectando el STATCOM.

En la Figura 5.38 se destaca el comportamiento de potencia activa de las siguientes líneas respecto al SVC; la línea L#3 presenta una magnitud de potencia activa mínima menor con el SVC de -0.671pu mientras que con el STATCOM es de -0.700pu , por otro lado, la diferencia más notable en este caso es que con el STATCOM se obtiene una magnitud de potencia activa máxima de -0.108pu con un tiempo considerablemente menor de 7.518segundos frente a lo mostrado por el SVC que presenta una magnitud máxima de -0.113 pu en un tiempo de 11.465segundos .

La línea L#1 presenta una magnitud de potencia activa mínima menor para el caso del STATCOM cuyo valor es de 0.338 pu comparado con lo mostrado por el SVC que es de 0.396 pu .

Para la línea L#7 la magnitud de potencia activa máxima que se alcanza con el STATCOM es de 0.511 pu mientras que con el SVC se llega a 0.491 pu haciendo notar que ambos valores son registrados en el mismo tiempo el cual es de 2.173 segundos .

Mismo comportamiento ocurre en el siguiente caso, para un mismo valor de tiempo de 2.173 segundos , con el STATCOM la línea L#6 alcanza una magnitud máxima de 0.900pu mientras que con el SVC se obtiene 0.864 pu .

Finalmente, para la línea L#2 se tiene un valor mínimo de potencia activa de 0.205 pu y un valor máximo de 0.683 pu para el STATCOM, que comparado con el SVC es ligeramente superior habiendo tenido un valor magnitud mínima y máxima de 0.210 pu y 0.660 pu respectivamente.

En resumen, ante una respuesta más rápida del STATCOM por mantener el voltaje deseado, los flujos de potencia en ambos dispositivos son diferentes aún y cuando no exista potencia activa adicional en juego.

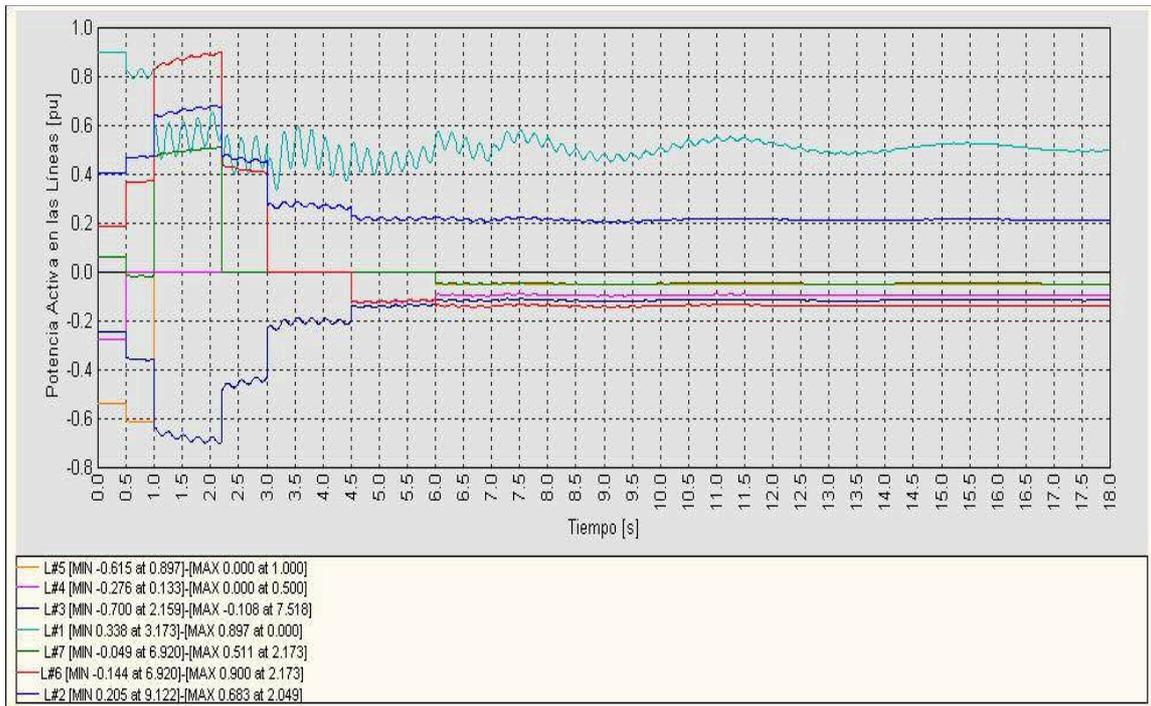


Figura 5.38 Potencia activa durante las perturbaciones en las siete líneas con la presencia del STATCOM.

Para comparar el comportamiento de la potencia reactiva en las líneas en los casos con STATCOM y con el SVC se describe en particular el caso siguiente; la Figura 5.39 muestra que en las líneas L#1 y L#2 la potencia reactiva tiene un valor mínimo de -0.390 pu y -0.016 respectivamente, mientras que con el SVC para la línea L#1 se obtiene un valor de -0.369pu y para la línea L#2 0.075 pu.

Pero lo más importante a destacar para los comportamientos citados es que la respuesta de potencia reactiva máxima con el STATCOM en L#1 es de 0.138 pu en 9.122 segundos y para L#2 se llega a 0.324 pu en 9.373 segundos y comparándolo con el SVC los valores son superiores ya que para L#1 se tiene 0.100 pu hasta los 17.775 segundos y para L#2 se alcanza 0.313pu a los 18 segundos.

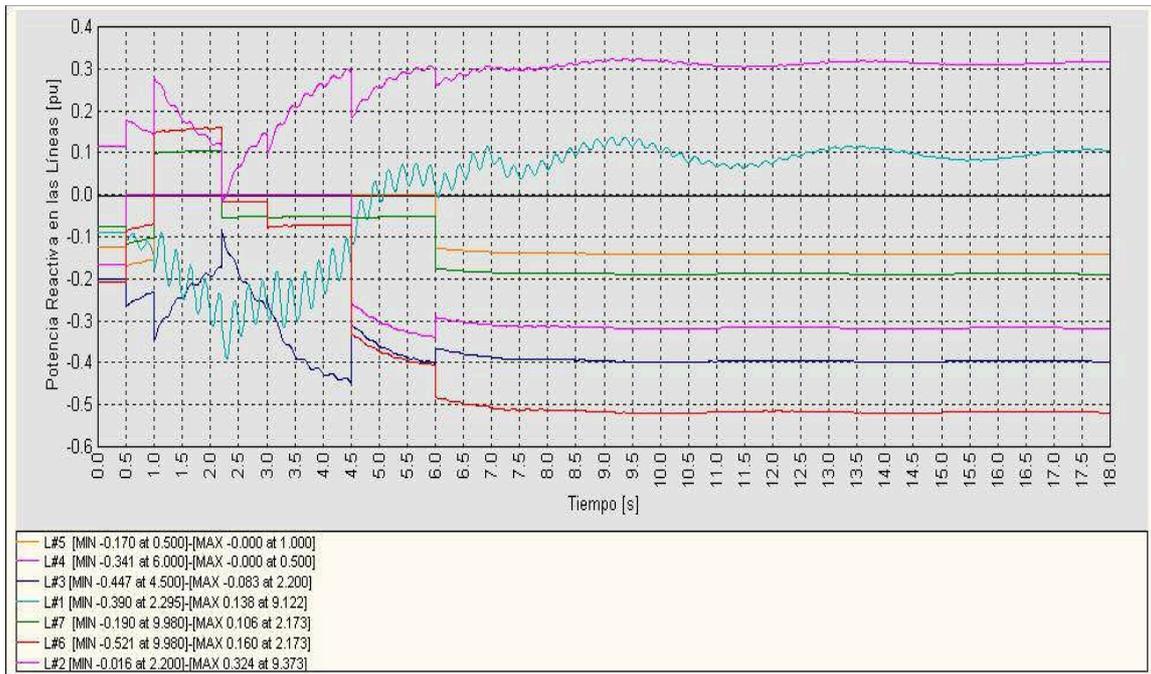


Figura 5.39 Potencia reactiva durante las perturbaciones en las siete líneas con la presencia del STATCOM.

Finalmente se presenta el comportamiento de la potencia reactiva que tiene el STATCOM, puede apreciarse que durante las perturbaciones la inyección de reactivos comienza a descender hasta el punto en el que cruza el cero lo cual significa que el compensador pasa de un estado de inyección de reactivos a una absorción de VAR's, y posteriormente comenzar a aportar reactivos al sistema llegando a 1pu aproximadamente a los 8.5 segundos. Comparando este comportamiento con la Figura 5.35 se puede observar la superioridad de respuesta del STATCOM sobre el SVC ya que con este último se llega al mismo valor de potencia reactiva de 1pu hasta aproximadamente los 18 segundos mientras que con el STATCOM se cumple el mismo cometido en menos de la mitad de tiempo.

El STATCOM permite mantener una inyección de potencia reactiva aún con la presencia de variaciones del voltaje nodal, es decir, genera su propia potencia reactiva.

Como se observar en la Figura 5.40, el STATCOM reacciona después de 0.5 segundos al igual que el SVC, con la diferencia de que logra una magnitud máxima de aproximadamente 1.062 pu en un tiempo menor de 2.2 segundos que es cuando C#4 sale del sistema y posteriormente comienza a estabilizarse.

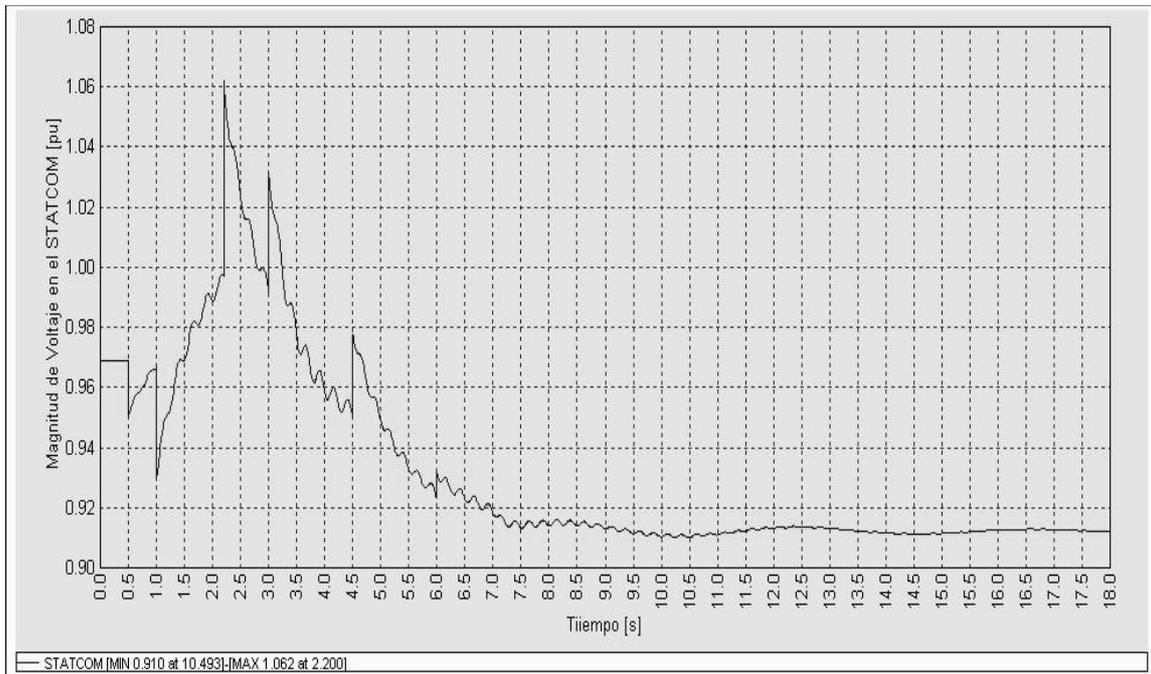


Figura 5.40 Magnitud de voltaje en el nodo STATCOM.

Finalmente, con la Figura 5.41, se muestra como el STATCOM inyecta y/o absorbe potencia reactiva de manera más rápida y alcanza valores más altos que el SVC. En este caso el STATCOM alcanza una zona de absorción en la serie de eventos. Oestudiados.

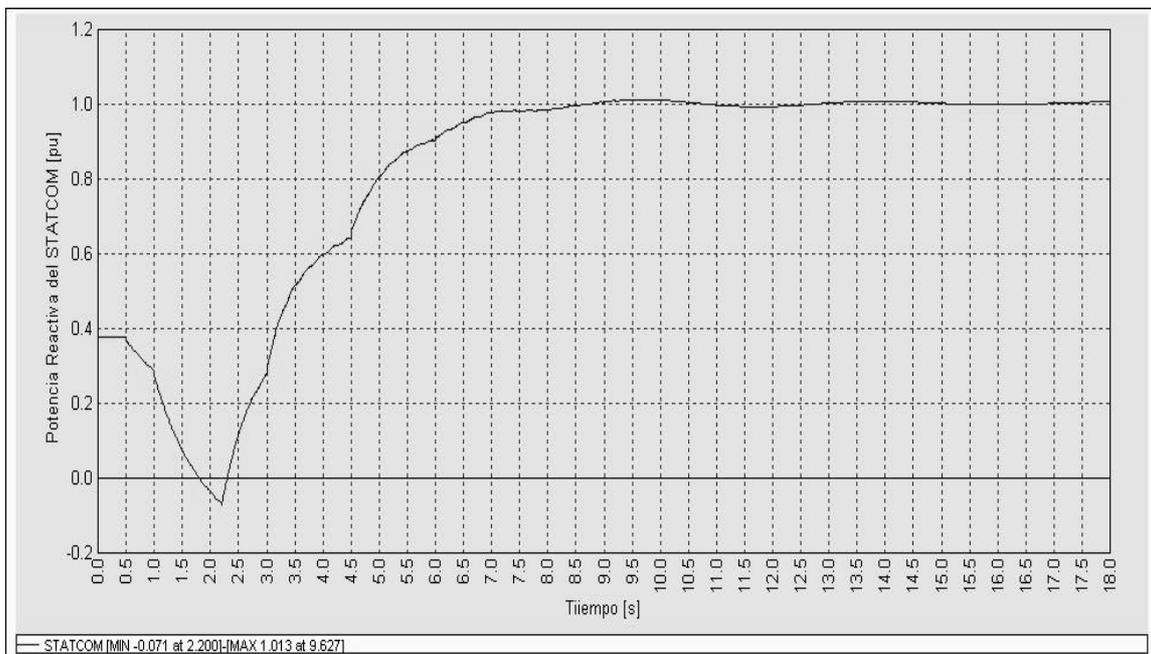


Figura 5.41 Potencia reactiva suministrada por el STATCOM.

5.9.- Análisis Económico

Todo proyecto de transmisión debe ser analizado y evaluado desde el punto de vista técnico y económico para determinar su factibilidad, valor agregado y recuperación de la inversión.

Una vez realizado lo anterior, se define el presupuesto y se compara contra otros proyectos de controladores FACTS o soluciones convencionales, analizando estándares técnicos/económicos. Así mismo, el costo instalado del nuevo equipo más el costo relacionado con alteraciones futuras de la red y de mantenimiento del sistema, forman parte del “ciclo de vida” del costo del estudio del proyecto.

En general, los costos de capital pueden variar significativamente dependiendo del tipo de equipo, requerimientos de reproducción, clasificación, voltajes del sistema de transmisión, requerimientos de tierra y costo, tiempo de construcción, método financiero y una gran variedad de otros factores específicos en sitio. Los costos de capital directo e indirecto pueden incluir: [9]

- Costos del estado real de la obra, trabajadores y de derecho de paso.
- Costos de equipo de otra subestación.
- Manejo en la facilidad de construcción e inspección.
- Acceso, carreteras y servicio.
- Modificaciones en la línea de transmisión.
- Permisos y licencias.
- Costos de planeación y desarrollo.
- Financiamiento.
- Costos de operación y mantenimiento (O&M).
- Partes de repuesto.

Para el STATCOM, los costos totales están principalmente determinados por:

- Los principales componentes convencionales empleados, tal como son el transformador y el capacitor de DC.
- El número de válvulas de tiristores en serio y/o en paralelo que son combinadas con el convertidor.

Capítulo V Comparación técnico-económica entre STATCOM y SVC

A diferencia del SVC, el costo del STATCOM no es influenciado por el costo de los elementos pasivos tal como son los inductores y capacitores que son empleados dentro de los TCR y TSC si no que la compensación de potencia reactiva que es llevada a cabo por la conmutación de los equipos de electrónica de potencia define el costo en base a la capacidad de corriente de los elementos semiconductores, también se han de considerar los circuitos de control para los disparos de los tiristores, la red “snubber” que protege los elementos semiconductores lo cual incrementa el costo efectivo del convertidor.

En la actualidad al considerar las válvulas de tiristores tipo GTO comercialmente disponibles, se puede destacar que el costo del STATCOM está en un nivel competitivo con el del SVC, esta diferencia puede ser justificada por lo siguiente:

- Aplicaciones potenciales más robustas del STATCOM.
- Amplias aplicaciones de las fuentes conmutadas de voltaje dentro del sistema.
- El STATCOM aumenta la confianza en el rendimiento y fiabilidad de las aplicaciones en el sistema.

A continuación, con un propósito meramente comparativo y con el fin de ver todos los requerimientos para la instalación, así como la diferencia económica que existe entre ambos compensadores, se presentan dos tablas que toman como base la misma capacidad de potencia reactiva, tanto para un SVC como para un STATCOM del orden de $\pm 300\text{MVAR}$'s para una línea de transmisión de 400kV y su correlación de costos para cada uno de ellos.

La Tabla 5.9.1 presenta cada concepto necesario y el precio de venta para la instalación de un SVC y la Tabla 5.9.2 hace lo propio para un STATCOM. Cabe señalar que los precios indicados han sido consultados en el mercado y son precios de referencia y el precio total aquí mostrado es precio de venta contemplando los costos directos, indirectos, gastos de administración y ventas, gastos financieros y utilidad.

Capítulo V Comparación técnico-económica entre STATCOM y SVC

Tabla 5.9.1 Desglose de precios de un SVC en 400 kV de ± 300 MVAR's.

CÁLCULO DE UN SVC EN 400 kV DE ± 300 MVAR's	UNIDADES	TOTAL	PRECIO	PRECIO	PRECIO
			NACIONAL	EXTRANJERO	TOTAL USD
DESCRIPCIÓN					
INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA					
DIAGRAMA UNIFILAR DE PCYM	LOTE	1	1,617.06	150,000.00	151,617.06
ARREGLO GENERAL	LOTE	1	3,773.15	120,000.00	123,773.15
DISPOSICIÓN DE EQUIPO	LOTE	1	3,773.15	50,000.00	53,773.15
FLECHAS Y TENSIONES	LOTE	1	5,390.21	20,000.00	25,390.21
ISOMÉTRICO CON CARGAS	LOTE	1	3,773.15	20,000.00	23,773.15
TRAYECTORIA DE TRINCHERAS Y DUCTOS	LOTE	1	3,234.13	22,000.00	25,234.13
RED DE TIERRAS	LOTE	1	4,312.17	20,000.00	24,312.17
ALUMBRADO EXTERIOR	LOTE	1	1,078.04	7,636.62	8,714.66
COND, AISL, HERR Y CONECTORES	LOTE	1	5,390.21	15,000.00	20,390.21
ARREGLO GENERAL CASETA DEL SVC	LOTE	1		10,000.00	10,000.00
SERVICIOS PROPIOS DE CA Y CD	LOTE	1	8,085.32	15,000.00	23,085.32
LISTA DE CABLES DE PCYM Y FZA	LOTE	1		12,000.00	12,000.00
PROYECTO DE PCYM Y FZA	LOTE	1	2,695.11	12,000.00	14,695.11
LISTA DE CABLES DE CONT SUP	LOTE	1		12,000.00	12,000.00
PROYECTO DE CONTROL SUPERVISORIO	LOTE	1	2,695.11	40,000.00	42,695.11
SISTEMA CONTRA INCENDIO	LOTE	1	1,078.04	11,000.00	12,078.04
SISTEMA DE SEGURIDAD FÍSICA	LOTE	1	1,078.04	3,718.86	4,796.90
MEMORIAS DE CÁLCULO	LOTE	1	5,929.23	15,000.00	20,929.23
ESTUDIO DE ARMONICAS	LOTE	1	31,988.24	250,000.00	281,988.24
INGENIERÍA CIVIL					
PISOS TERMINADOS	LOTE	1	18,574.60		18,574.60
CAMINOS INTERIORES	LOTE	1	5,463.12		5,463.12
CIMENTACIONES MAYORES	LOTE	1	16,389.35		16,389.35
CIMENTACIONES MENORES	LOTE	1	13,111.48		13,111.48
ESTRUCTURAS MAYORES	LOTE	1	10,926.23		10,926.23
ESTRUCTURAS MENORES	LOTE	1	8,740.99		8,740.99
DRENAJES	LOTE	1	5,463.12		5,463.12
TRINCHERAS Y DUCTOS	LOTE	1	5,463.12		5,463.12

Capítulo V Comparación técnico-económica entre STATCOM y SVC

CASETA DE SVC	LOTE	1	10,926.23		10,926.23
SISTEMA CONTRA INCENDIO	LOTE	1	3,277.87		3,277.87
SISTEMA DE SEGURIDAD FÍSICA	LOTE	1	3,277.87		3,277.87
INSTALACIONES HIDROSANITARIAS	LOTE	1	2,185.25		2,185.25
MEMORIAS DE CÁLCULO	LOTE	1	5,463.12		5,463.12
CAPACITACIÓN					
CAPACITACIÓN: DE EQUIPOS DEL SVC	LOTE	1		105,805.11	105,805.11
OBRA CIVIL					
CAMINOS INTERIORES	LOTE	1	205,519.90		205,519.90
PISOS TERMINADOS	LOTE	1	456,710.89		456,710.89
CIMENTACIONES MAYORES	LOTE	1	411,039.80		411,039.80
CIMENTACIONES MENORES	LOTE	1	411,039.80		411,039.80
CASETA DEL SVC	LOTE	1	319,697.63		319,697.63
TRINCHERAS Y DUCTOS PARA CABLES	LOTE	1	182,684.36		182,684.36
SISTEMA DE DRENAJE	LOTE	1	148,431.04		148,431.04
SISTEMA CONTRA INCENDIO	LOTE	1	45,671.09		45,671.09
SISTEMA DE SEGURIDAD FISICA	LOTE	1	68,506.63		68,506.63
INSTALACIONES HIDROSANITARIAS	LOTE	1	22,835.54		22,835.54
ANUNCIOS ESPECTACULARES	LOTE	1	11,417.77		11,417.77
OBRA ELECTROMECÁNICA					
MONTAJE DE ESTRUCTURAS MAYORES Y MENORES	LOTE	1	74,954.78		74,954.78
INSTALACIÓN DE ALUMBRADO EXTERIOR	LOTE	1	7,495.48		7,495.48
MONTAJE, TENDIDO Y CONECTADO DE CONDUCTORES, AISLADORES HERRAJES Y CONECTORES	LOTE	1	59,963.82		59,963.82
MONTAJE DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA	UNIDADES	4	74,954.78		74,954.78
MONTAJE DE INTERRUPTORES DE POTENCIA DE 400 kV	PIEZAS	11	7,495.48		7,495.48

Capítulo V Comparación técnico-económica entre STATCOM y SVC

MONTAJE DE CUCHILLAS DESCONECTADORAS (DALCCPT + DALSCPT)	PIEZAS	25	7,495.48		7,495.48
MONTAJE DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE	PIEZAS	54	7,495.48		7,495.48
MONTAJE DE TRANSFORMADORES DE POTENCIAL INDUCTIVOS	PIEZAS	9	7,495.48		7,495.48
MONTAJE DE TRANSFORMADORES DE POTENCIAL CAPACITIVOS	PIEZAS	12	7,495.48		7,495.48
MONTAJE DE APARTARRAYOS 400 kV	PIEZAS	23	7,495.48		7,495.48
MONTAJE DE AISLADORES SOPORTE	LOTE	1	7,495.48		7,495.48
COLOCACIÓN DE SISTEMA DE TIERRAS	LOTE	1	37,477.39		37,477.39
MONTAJE DE CHAROLAS	LOTE	1	22,486.43		22,486.43
MONTAJE DE EQUIPO DE SERVICIOS PROPIOS	LOTE	1	37,477.39		37,477.39
MONTAJE DE TABLEROS DE PROTECCIÓN, CONTROL Y MEDICIÓN	LOTE	1	29,981.91		29,981.91
MONTAJE DE EQUIPO DE CONTROL SUPERVISORIO	LOTE	1	22,486.43		22,486.43
MONTAJE DE EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO	LOTE	1	7,495.48		7,495.48
INSTALACIÓN DE ALUMBRADO INTERIOR	LOTE	1	7,495.48		7,495.48
TENDIDO Y CONECTADO DE CABLES DE PROTECCIÓN, CONTROL, MEDICIÓN Y FUERZA	LOTE	1	74,954.78		74,954.78
TENDIDO Y CONECTADO DE CABLES DE CONTROL SUPERVISORIO	LOTE	1	14,990.96		14,990.96
MONTAJE DE SISTEMA CONTRA INCENDIO	LOTE	1	7,495.48		7,495.48
SISTEMA DE SEGURIDAD FÍSICA	LOTE	1	7,495.48		7,495.48
MONTAJE DE EQUIPOS Y COMPONENTES DEL SVC	LOTE	1	209,873.39		209,873.39
PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO					
PRUEBAS PREOPERATIVAS DE LOS ALIMENTADORES EN 400 KV Y LOS BANCOS DE REACTORES.	LOTE	1	60,434.18		60,434.18
PRUEBAS EN FABRICA Y DE CAMPO DEL SVC	LOTE	1	241,736.71		241,736.71
PUESTA EN SERVICIO DEL SVC EN 400 kV.	LOTE	1	302,170.88		302,170.88

Capítulo V Comparación técnico-económica entre STATCOM y SVC

SUMINISTRO DE EQUIPO PRINCIPAL					
TF, 1F, 400 kV, 2 DEVANADOS	UNIDADES	4	6,941,000.00		6,941,000.00
REACTORES DE POTENCIA CON NUCLEO DE AIRE	GRUPOS	2		1,951,000.00	1,951,000.00
VALVULA DE TIRISTORES (TCR)	JUEGOS	2		677,000.00	677,000.00
BANCO DE CAPACITORES	BANCOS	2		1,250,000.00	1,250,000.00
VALVULA DE TIRISTORES (TSC)	JUEGOS	3		1,200,000.00	1,200,000.00
REACTORES DE AMORTIGUAMIENTO	GRUPOS	2		350,000.00	350,000.00
FILTRO PARA 5ª. Y 7ª ARMÓNICA	SISTEMA	1		365,000.00	365,000.00
TABLEROS DE PCM Y MANDOS	LOTE	1		247,000.00	247,000.00
EQUIPO DE ENFRIAMIENTO	LOTE	1		850,000.00	850,000.00
AIRE ACONDICIONADO	LOTE	1	115,667.68		115,667.68
TABLEROS DE DIST DE CA Y CD	LOTE	1	57,367.70		57,367.70
BANCOS DE BATERIAS Y CARGADORES	LOTE	1	82,381.16		82,381.16
REFACCIONES DE CFE	LOTE	1		1,499,679.81	1,499,679.81
EQUIPOS Y MAT PROPUESTOS	LOTE	1		1,124,765.11	1,124,765.11
INT, SF6, 3F, 420kV, 2000A, 1425BIL	PIEZAS	2		443,900.52	443,900.52
DES, DAL, MH, 420kV, 2000A, S/CPT, M1P	PIEZAS	21	238,221.68		238,221.68
TC, 420 kV, 1000-2000/5-5-5-5	PIEZAS	54		482,387.31	482,387.31
TP, 420 kV, 2100-3500/1	PIEZAS	9	128,951.35		128,951.35
APART, S400 kV, D360 kV	PIEZAS	23		50,598.62	50,598.62
TF DIST, 3F, XXX kVA, 34.5/22 kV	UNIDADES	1	30,058.59		30,058.59
CORTA CIRC FUS, 34.5 kV, 100 A	JUEGOS TRIPOLARES	1	13,747.38		13,747.38
APART, S 34.5 kV, D 30 kV	PIEZAS	3		3,094.27	3,094.27
TF DIST, 3F, XXX kVA, 13.8/22 kV	UNIDADES	1	26,374.94		26,374.94
CORTA CIRC FUS, 15.5 kV, 200 A	JUEGOS TRIPOLARES	1	10,049.00		10,049.00
APART, S 13.2 kV, D 12 kV	PIEZAS	3		2,210.19	2,210.19
ALUMBRADO EXT E INT	LOTE	1	75,709.75		75,709.75
SISTEMA DE TIERRAS	LOTE	1	92,313.76	141,346.59	233,660.35
ESTRUCTURAS MAYORES Y MENORES	LOTE	1	45,575.60	503,826.02	549,401.62

Capítulo V Comparación técnico-económica entre STATCOM y SVC

CONDUCTORES	LOTE	1	22,076.85	225,762.16	247,839.02
AISLADORES	LOTE	1		298,194.87	298,194.87
HERRAJES Y CONECTORES	LOTE	1	61,478.65	187,494.00	248,972.65
CABLE DE CONTROL Y FUERZA	LOTE	1	525,000.00		525,000.00
CHAROLAS	LOTE	1	19,162.30		19,162.30
SISTEMA CONTRA INCENDIO	LOTE	1	60,982.52		60,982.52
TABLEROS PCyM y CONTROL					
ESTACIÓN DE OPERACIÓN No. 1 DEL SVC	PIEZAS	1		391,129.14	391,129.14
EQUIPO DE PRUEBA (SIMULADOR)	PIEZAS	1		86,917.59	86,917.59
ESTACIÓN DE OPERACIÓN No. 2 DEL SVC	PIEZAS	1	7,186.07	391,129.14	398,315.20
			12,385,901.73	13,633,595.93	26,019,497.65

Tabla 5.9.2 Desglose de precios de un STATCOM en 400 kV de ± 300 MVAR's.

CALCULO DE UN STATCOM EN 400 kV DE ± 300 MVAR's	UNIDADES	TOTAL	PRECIO	PRECIO	PRECIO TOTAL
			NACIONAL	EXTRANJERO	USD
DESCRIPCIÓN					
INGENIERÍA ELECTROMECHANICA					
DIAGRAMA UNIFILAR DE PCYM	LOTE	1	2183.035951	202500	204683.036
ARREGLO GENERAL	LOTE	1	5093.750553	162000	167093.7506
DISPOSICIÓN DE EQUIPO	LOTE	1	5093.750553	67500	72593.75055
FLECHAS Y TENSIONES	LOTE	1	7276.786505	27000	34276.7865
ISOMÉTRICO CON CARGAS	LOTE	1	5093.750553	27000	32093.75055
TRAYECTORIA DE TRINCHERAS Y DUCTOS	LOTE	1	4366.071903	29700	34066.0719
RED DE TIERRAS	LOTE	1	5821.429204	27000	32821.4292
ALUMBRADO EXTERIOR	LOTE	1	1455.357301	10309.44001	11764.79731
COND, AISL, HERR Y CONECTORES	LOTE	1	7276.786505	20250	27526.7865
ARREGLO GENERAL CASETA DEL STATCOM	LOTE	1	0	13500	13500
SERVICIOS PROPIOS DE CA Y CD	LOTE	1	10915.17976	20250	31165.17976
LISTA DE CABLES DE PCYM Y FZA	LOTE	1	0	16200	16200
PROYECTO DE PCYM Y FZA	LOTE	1	3638.393252	16200	19838.39325
LISTA DE CABLES DE CONT SUP	LOTE	1	0	16200	16200
PROYECTO DE CONTROL SUPERVISORIO	LOTE	1	3638.393252	54000	57638.39325

Capítulo V Comparación técnico-económica entre STATCOM y SVC

SISTEMA CONTRA INCENDIO	LOTE	1	1455.357301	14850	16305.3573
SISTEMA DE SEGURIDAD FÍSICA	LOTE	1	1455.357301	5020.461189	6475.81849
MEMORIAS DE CÁLCULO	LOTE	1	8004.465155	20250	28254.46515
ESTUDIO DE ARMONICAS	LOTE	1	43184.11731	337500	380684.1173
INGENIERÍA CIVIL					
PISOS TERMINADOS	LOTE	1	25,075.71		25,075.71
CAMINOS INTERIORES	LOTE	1	7,375.21		7,375.21
CIMENTACIONES MAYORES	LOTE	1	22,125.62		22,125.62
CIMENTACIONES MENORES	LOTE	1	17,700.50		17,700.50
ESTRUCTURAS MAYORES	LOTE	1	14,750.42		14,750.42
ESTRUCTURAS MENORES	LOTE	1	11,800.33		11,800.33
DRENAJES	LOTE	1	7,375.21		7,375.21
TRINCHERAS Y DUCTOS	LOTE	1	7,375.21		7,375.21
CASETA DE STATCOM	LOTE	1	14,750.42		14,750.42
SISTEMA CONTRA INCENDIO	LOTE	1	4,425.12		4,425.12
SISTEMA DE SEGURIDAD FÍSICA	LOTE	1	4,425.12		4,425.12
INSTALACIONES HIDROSANITARIAS	LOTE	1	2,950.08		2,950.08
MEMORIAS DE CÁLCULO	LOTE	1	7,375.21		7,375.21
CAPACITACIÓN					
CAPACITACIÓN: DE EQUIPOS DEL STATCOM	LOTE	1		142836.8978	142836.8978
OBRA CIVIL					
CAMINOS INTERIORES	LOTE	1	164,415.92		164415.9216
PISOS TERMINADOS	LOTE	1	365,368.71		365368.7147
CIMENTACIONES MAYORES	LOTE	1	328,831.84		328831.8432
CIMENTACIONES MENORES	LOTE	1	328,831.84		328831.8432
CASETA DEL STATCOM	LOTE	1	255,758.10		255758.1003
TRINCHERAS Y DUCTOS PARA CABLES	LOTE	1	146,147.49		146147.4859
SISTEMA DE DRENAJE	LOTE	1	118,744.83		118744.8323
SISTEMA CONTRA INCENDIO	LOTE	1	36,536.87		36536.87147
SISTEMA DE SEGURIDAD FÍSICA	LOTE	1	54,805.31		54805.3072
INSTALACIONES HIDROSANITARIAS	LOTE	1	18,268.44		18268.43573
ANUNCIOS ESPECTACULARES	LOTE	1	9,134.22		9134.217866
OBRA ELECTROMECÁNICA					
MONTAJE DE ESTRUCTURAS MAYORES Y MENORES	LOTE	1	59,963.82		59963.82498
INSTALACIÓN DE ALUMBRADO EXTERIOR	LOTE	1	5,996.38		5996.382498

Capítulo V Comparación técnico-económica entre STATCOM y SVC

MONTAJE, TENDIDO Y CONECTADO DE CONDUCTORES, AISLADORES HERRAJES Y CONECTORES	LOTE	1	47,971.06		47971.05999
MONTAJE DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA	UNIDADES	4	59,963.82		59963.82498
MONTAJE DE INTERRUPTORES DE POTENCIA DE 400 KV	PIEZAS	11	5,996.38		5996.382498
MONTAJE DE CUCHILLAS DESCONECTORAS (DALCCPT + DALSCPT)	PIEZAS	25	5,996.38		5996.382498
MONTAJE DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE	PIEZAS	54	5,996.38		5996.382498
MONTAJE DE TRANSFORMADORES DE POTENCIAL INDUCTIVOS	PIEZAS	9	5,996.38		5996.382498
MONTAJE DE TRANSFORMADORES DE POTENCIAL CAPACITIVOS	PIEZAS	12	5,996.38		5996.382498
MONTAJE DE APARTARRAYOS 400 kV	PIEZAS	23	5,996.38		5996.382498
MONTAJE DE AISLADORES SOPORTE	LOTE	1	5,996.38		5996.382498
COLOCACIÓN DE SISTEMA DE TIERRAS	LOTE	1	29,981.91		29981.91249
MONTAJE DE CHAROLAS	LOTE	1	17,989.15		17989.1475
MONTAJE DE EQUIPO DE SERVICIOS PROPIOS	LOTE	1	29,981.91		29981.91249
MONTAJE DE TABLEROS DE PROTECCIÓN, CONTROL Y MEDICIÓN	LOTE	1	23,985.53		23985.52999
MONTAJE DE EQUIPO DE CONTROL SUPERVISORIO	LOTE	1	17,989.15		17989.1475
MONTAJE DE EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO	LOTE	1	5,996.38		5996.382498
INSTALACIÓN DE ALUMBRADO INTERIOR	LOTE	1	5,996.38		5996.382498
TENDIDO Y CONECTADO DE CABLES DE PROTECCIÓN, CONTROL, MEDICIÓN Y FUERZA	LOTE	1	59,963.82		59963.82498
TENDIDO Y CONECTADO DE CABLES DE CONTROL SUPERVISORIO	LOTE	1	11,992.76		11992.765
MONTAJE DE SISTEMA CONTRA INCENDIO	LOTE	1	5,996.38		5996.382498
SISTEMA DE SEGURIDAD FISICA	LOTE	1	5,996.38		5996.382498
MONTAJE DE EQUIPOS Y COMPONENTES DEL STATCOM	LOTE	1	167,898.71		167898.71

Capítulo V Comparación técnico-económica entre STATCOM y SVC

PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO					
PRUEBAS PREOPERATIVAS DE LOS ALIMENTADORES EN 400 kV Y LOS BANCOS DE REACTORES.	LOTE	1	81,586.14		81586.13886
PRUEBAS EN FABRICA Y DE CAMPO DEL STATCOM	LOTE	1	326,344.56		326344.555
PUESTA EN SERVICIO DEL STATCOM EN 400 kV.	LOTE	1	407,930.69		407930.6943
SUMINISTRO DE EQUIPO PRINCIPAL					
TF, 1F, 400 kV, 2 DEVANADOS	UNIDADES	4	6,941,000.00		6,941,000.00
CONVERTIDOR DE \pm 300 MVAR's	GRUPOS	1		8,500,000.00	8,500,000.00
CAPACITOR DC	JUEGOS	1		4,500,000.00	4,500,000.00
TABLEROS DE PCM Y MANDOS	LOTE	1		247,000.00	247,000.00
EQUIPO DE ENFRIAMIENTO	LOTE	1		850,000.00	850,000.00
AIRE ACONDICIONADO	LOTE	1	115,667.68		115,667.68
TABLEROS DE DIST DE CA Y CD	LOTE	1	57,367.70		57,367.70
BANCOS DE BATERIAS Y CARGADORES	LOTE	1	82,381.16		82,381.16
REFACCIONES DE CFE	LOTE	1		1,949,583.76	1,949,583.76
EQUIPOS Y MAT PROPUESTOS	LOTE	1		1,124,765.11	1,124,765.11
INT, SF6, 3F, 420kV, 2000A, 1425BIL	PIEZAS	2		443,900.52	443,900.52
DES, DAL, MH, 420kV, 2000A, S/CPT, MIP	PIEZAS	21	238,221.68		238,221.68
TC, 420 KV, 1000-2000/5-5-5-5	PIEZAS	54		482,387.31	482,387.31
TP, 420 KV, 2100-3500/1	PIEZAS	9	128,951.35		128,951.35
APART, S400 kV, D360 kV	PIEZAS	23		50,598.62	50,598.62
TF DIST, 3F, XXX kVA, 34.5/.22 KV	UNIDADES	1	30,058.59		30,058.59
CORTA CIRC FUS, 34.5 kV, 100 A	JUEGOS TRIPOLARES	1	13,747.38		13,747.38
APART, S 34.5 kV, D 30 kV	PIEZAS	3		3,094.27	3,094.27
TF DIST, 3F, XXX kVA, 13.8/.22 kV	UNIDADES	1	26,374.94		26,374.94
CORTA CIRC FUS, 15.5 kV, 200 A	JUEGOS TRIPOLARES	1	10,049.00		10,049.00
APART, S 13.2 kV, D 12 KV	PIEZAS	3		2,210.19	2,210.19
ALUMBRADO EXT E INT	LOTE	1	75,709.75		75,709.75
SISTEMA DE TIERRAS	LOTE	1	92,313.76	141,346.59	233,660.35
ESTRUCTURAS MAYORES Y MENORES	LOTE	1	45,575.60	503,826.02	549,401.62
CONDUCTORES	LOTE	1	22,076.85	225,762.16	247,839.02
AISLADORES	LOTE	1		298,194.87	298,194.87
HERRAJES Y CONECTORES	LOTE	1	61,478.65	187,494.00	248,972.65
CABLE DE CONTROL Y FUERZA	LOTE	1	525,000.00		525,000.00

Capítulo V Comparación técnico-económica entre STATCOM y SVC

CHAROLAS	LOTE	1	19,162.30		19,162.30
SISTEMA CONTRA INCENDIO	LOTE	1	60,982.52		60,982.52
TABLEROS PCyM y CONTROL					
ESTACIÓN DE OPERACIÓN NO. 1 DEL STATCOM	PIEZAS	1		528,024.33	528,024.33
EQUIPO DE PRUEBA (SIMULADOR)	PIEZAS	1		117,338.74	117,338.74
ESTACIÓN DE OPERACIÓN NO. 2 DEL STATCOM	PIEZAS	1	9,701.19	528,024.33	537,725.52
			12,061,619.46	21,913,617.62	33,975,237.09

De una manera más breve y sencilla, a continuación se presentan las siguientes dos tablas que muestran el resumen de precios para los controladores antes mencionados con el fin de observar y comparar claramente el costo total de cada dispositivo, la Tabla 5.9.3 corresponde al SVC y la tabla 5.9.4 corresponde al STATCOM.

Tabla 5.9.3 Resumen de precios para un SVC EN 400 kV DE \pm 300 MVAR's.

RESUMEN DE PRECIOS	PRECIO	PRECIO	PRECIO TOTAL
	NACIONAL	EXTRANJERO	USD
Ingeniería Electromecánica	85,890.36	805,355.48	891,245.84
Ingeniería Civil	109,262.34	0.00	109,262.34
Obra Civil a Precio Alzado	2,283,554.47	0.00	2,283,554.47
Obra Electromecánica a Precio Alzado	749,547.81	0.00	749,547.81
Puesta En Servicio	604,341.77	0.00	604,341.77
Equipo Principal Nacional	8,546,118.92	1,356,623.64	9,902,742.56
Equipo Principal Extranjero	0.00	10,496,635.84	10,496,635.84
Tableros PCyM y Control	7,186.07	869,175.86	876,361.92
Capacitación		105,805.11	105,805.11
GRAN TOTAL	12,385,901.73	13,633,595.93	26,019,497.65

Capítulo V Comparación técnico-económica entre STATCOM y SVC

Tabla 5.9.4 Resumen de precios para un STATCOM EN 400 kV DE ± 300 MVAR's.

RESUMEN DE PRECIOS	PRECIO	PRECIO	PRECIO TOTAL
	NACIONAL	EXTRANJERO	USD
Ingeniería Electromecánica	115,951.98	1,087,229.90	1,203,181.88
Ingeniería Civil	147,504.16	0.00	147,504.16
Obra Civil a Precio Alzado	1,826,843.57	0.00	1,826,843.57
Obra Electromecánica a Precio Alzado	599,638.25	0.00	599,638.25
Puesta En Servicio	815,861.39	0.00	815,861.39
Equipo Principal Nacional	8,546,118.92		8,546,118.92
Equipo Principal Extranjero		19,510,163.42	19,510,163.42
Tableros PCyM y Control	9,701.19	1,173,387.40	1,183,088.59
Capacitación		142836.8978	142836.8978
GRAN TOTAL	12,061,619.46	21,913,617.62	33,975,237.09

Como puede observarse, es notable que existe aproximadamente un 30% de diferencia entre ambos controladores aún siendo de la misma capacidad y encomendados para la misma función, siendo el STATCOM el de mayor costo. Pero sin lugar a dudas por lo mostrado en la sección 5.8 de simulaciones, la capacidad de respuesta para el STATCOM frente a una perturbación es muy superior que lo que puede alcanzar el SVC justificando con ello claramente mayor costo.

5.10 Conclusiones.

Las diferencias básicas de operación ya sea basadas con una fuente de voltaje o con una admitancia reactiva explican la superioridad de las características funcionales del STATCOM, así como el mejor desempeño y la mayor flexibilidad de aplicación que lo que se alcanza con el SVC. [4] Asimismo las simulaciones dinámicas bajo el contexto transitorio dan un panorama más amplio para justificar la premisa anterior tanto para una falla con duración de 0.2 segundos como para una determinada serie de eventos.

Por otro lado, se observa que el costo en sí del STATCOM como el de su instalación es también más elevado al del SVC debido a lo práctico que puede llegar a ser su incorporación a un SEP pero que los beneficios de inversión a futuro se sustentan en base a todas las características de operación y respuesta aquí mencionadas así como su versatilidad que significa su tamaño.

Capítulo V Comparación técnico-económica entre STATCOM y SVC

Estas diferencias básicas de operación ya sea con una fuente de voltaje o con una admitancia reactiva explican la superioridad de las características funcionales del STATCOM, así como el mejor desempeño y la mayor flexibilidad de aplicación que lo que se alcanza con el SVC. [4]

Tabla 5.10 Resumen técnico-comparativo entre SVC y STATCOM, CIGRE.

CARACTERISTICA	SVC	STATCOM
Principio básico de operación	Impedancia en paralelo controlada o conmutada.	Fuente controlada de voltaje o corriente con acoplamiento magnético.
Comportamiento en alto o bajo voltaje.	Impedancia o Suceptancia se mantienen constantes. Voltaje mínimo para el encendido o apagado de los tiristores.	Corriente constante.
Regulación de potencia reactiva.	Dentro del rango de control.	Dentro del rango de control.
Requerimientos de espacio.	Ocupa una gran área debido a los bancos de reactores y capacitores.	Más pequeño que el SVC.
Pérdidas.	1.0% – 1.5 %	1.0% – 1.5 %
Variación de la frecuencia del sistema.	Se comporta como una constante C o L	Se comporta como una fuente de corriente constante.
Contribución al nivel de falla.	Ninguno.	Máxima corriente permitida.
Control de voltaje y respuesta.	La respuesta depende de la capacidad del sistema y puede requerir el control de una variable de ganancia.	La respuesta depende de la capacidad del sistema, pero es más rápida y más robusta que en el SVC.
Transferencia de potencia, estabilidad, amortiguamiento de las oscilaciones.	Depende del lugar donde sea colocado.	Depende del lugar donde sea colocado pero significativamente mejor que en el SVC.
Energización inicial.	Directamente de un sistema de alto voltaje (HV).	Energización rápida desde un almacenamiento de energía para su operación.
Capacidad de respuesta ante contingencias.	Pequeño retraso en la recuperación de los tiristores a menos que estos se mantengan encendidos.	Sin retraso en los tiristores, manteniendo fijo el voltaje de CD del capacitor.
Comportamiento bajo o después de condiciones de corto circuito, caídas de voltaje e interrupciones de corto tiempo.	Comportamiento pasivo dependiendo del control. No posee capacidad adicional de corto periodo.	Como fuente de corriente hasta que se descarga la fuente de almacenamiento. Capacidad de corto periodo la cual depende de las condiciones térmicas del tiristor.
Suministro instantáneo de potencia real.	No.	Depende de la fuente de almacenamiento empleada.
Balance de carga o fase.	Si.	Si.
Compensación del flicker (parpadeo).	Si.	Mejor que el SVC.
Generación de armónicos	El TCR actúa como una fuente de armónicos de corriente de bajo orden.	Es una fuente generadora de armónicos de voltaje de bajo orden debido a la conmutación.
Sistema y resonancia	Si existen efectos de la resonancia	Los efectos no son significativos.

Capítulo V Comparación técnico-económica entre STATCOM y SVC

armónica.	armónica.	
Filtros de armónicos.	Usualmente requiere un filtro pasivo.	Usualmente no requiere el filtro para equipo de pulsos de mayor orden, pero si es necesario para equipo de bajo orden de pulsos.
Capacidad de mejora el voltaje o la potencia.	Algunas limitaciones de respuesta.	Significativamente mejor que el SVC.
Características de operación en estado estable	Ver Figura 5.12	Ver Figura 5.13