

MODELACION MEDIANTE LA MATRIZ HIBRIDA DE UN SISTEMA ELECTRICO DE POTENCIA

Gastón Pesse, José Manuel Aller, Paloma de Arizón, Roberto Alves, Milagros Peña

Ingeniero Electricista

Universidad Simón Bolívar
Caracas, Venezuela

1. RESUMEN

El objetivo de esta publicación es presentar un nuevo algoritmo para resolver las ecuaciones de la red mediante la matriz híbrida de barras y mostrar brevemente la modelación del control de los enlaces de un sistema en corriente continua.

Se presentan también los resultados obtenidos de la simulación de algunas perturbaciones críticas aplicadas a un sistema bajo estudio, el cual está limitado por restricciones impuestas a los voltajes en estabilidad dinámica.

2. ABSTRACT

The present publication shows a new algorithm to solve the network equations using an Hybrid Matrix. It also briefly presents the modelation of the control system of an HVDC rectifier and converter station.

The results obtained for the simulation of some critical perturbations on an AC-DC system using this method are also shown.

3. INTRODUCCION

Los estudios de estabilidad transitoria y dinámica, de sistemas que incluyen enlaces HVDC, tienen una importancia fundamental tanto en la etapa de planificación como la del proyecto. Si los controles del enlace en corriente continua son ajustados correctamente, es posible incrementar sustancialmente los límites de transmisión del sistema.

En el caso del sistema venezolano, esta posibilidad es muy atractiva por lo cual es importante realizar estudios de estabilidad considerando los enlaces HVDC.

Este trabajo presenta un programa de estabilidad transitoria que incluye la modelación del enlace HVDC con un grado de detalle compatible con la representación que se hace de sistemas de excitación y controladores de turbinas.

Por tener estos modelos un gran número de variables de estado es conveniente reducir el sistema en estudio a las máquinas equivalentes, SVS y convertidores que sean relevantes en la oscilación del sistema. Este sistema permitirá por lo tanto comparar los comportamientos dinámicos de la red con solo enlaces AC, respecto al caso en corriente continua y para ello las perturbaciones simuladas tanto en el sistema AC como en el AC-DC son las mas desfavorables para la recuperación del sistema de modo de poder comparar los comportamientos en los casos límites.

4. MODELACION DE UN SISTEMA DE POTENCIA CON ENLACES CCAT UTILIZANDO UNA MATRIZ HIBRIDA

4.1 Modelación de los Convertidores y de equipos involucrados en un sistema CCAT.

Para realizar los estudios de estabilidad dinámica del sistema en la configuración de la red puramente AC, se utilizó un algoritmo modular que dispone de un buen grupo de modelos de generadores, reguladores de voltaje, estabilizadores, turbinas, gobernadores etc, cuyo diagrama de bloques se muestra en la figura 1. Para el estudio dinámico de la estabilidad del sistema híbrido AC-DC se utilizó el mismo algoritmo modular, agregándoseles los modelos de los convertidores, de la línea de corriente continua y los correspondientes controles, tanto locales como comunes, para el conjunto del enlace, como se observa en la figura 2.

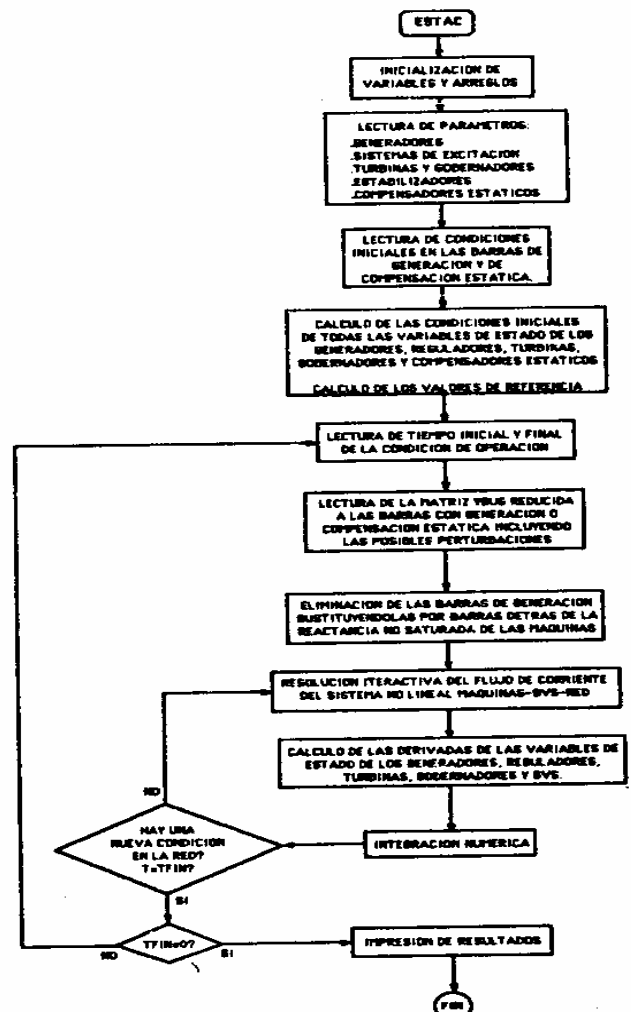


FIGURA 1: ALGORITMO MODULAR AC

En este modelo modular del sistema cada generador actúa como una unidad prácticamente independiente con sus controles particulares del sistema de excitación y los gobernadores de las turbinas. Los generadores sólo están interconectados entre ellos a través de la red eléctrica de corriente alterna que incluye las cargas, compensación reactiva, compensación serie etc.

El modelo del generador representado por cuatro ecuaciones de estado, tiene como entradas la fuerza electromotriz E_f del campo y la potencia mecánica del eje. Mediante un proceso iterativo interno se calculan las fem sin saturación, se evalúa el grado de saturación de la máquina, se corrigen los valores de las reactancias saturadas y se vuelve a calcular las fem hasta que se obtenga convergencia en los valores de las reactancias saturadas. Con el valor del coeficiente de saturación obtenido, se pueden corregir los valores de las constantes de tiempo de las máquinas.

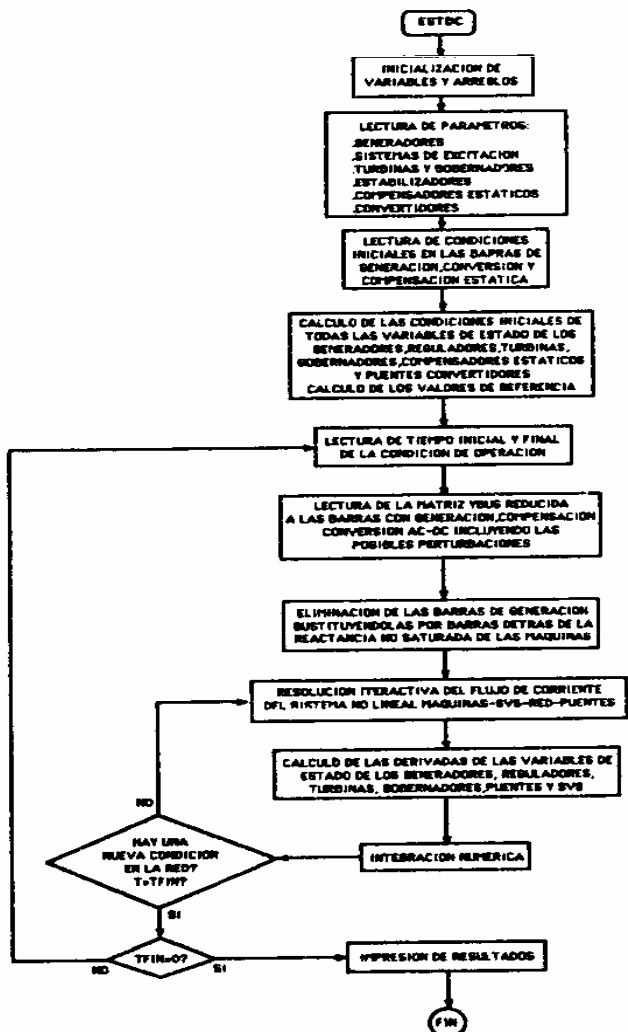


FIGURA 2: ALGORITMO MODULAR SISTEMA AC-DC

Con los parámetros de las máquinas calculados y utilizando las cuatro ecuaciones de estado del modelo del generador se obtienen la velocidad, el ángulo de cada una de las máquinas y las fuerzas electromotrices E_d y E_q . Con estas fuerzas electromotrices pueden ser calculados mediante un flujo de carga, los voltajes en terminales físicos. Con estos se pueden calcular las potencias activas y reactivas de entrada a la máquina así como las pérdidas en las resistencias de estas y mediante la transformación de Park se calculan I_d e I_q y se realimentan en el modelo dinámico de la máquina (Figura 3)

Las fuerzas electromotrices E_d y E_q , considerando saturación, se puede suponer que interactúan con las correspondientes de los otros generadores a través de una red lineal que representa la parte pasiva de la máquina y a través de la red estática representada por la matriz Y_B reducida en las barras de generación. La solución de este flujo de carga permite calcular las potencias eléctricas necesarias para integrar las ecuaciones de estado de los generadores. Los modelos de los sistemas de excitación y los de los gobernadores son aquellos que habitualmente se utilizan para este tipo de estudios, incorporando adicionalmente los modelos de los estabilizadores con que están dotados los gobernadores de las máquinas de Guri.

Otro equipo cuya modelación es de gran importancia es el compensador estático de potencia reactiva. Este fue representado mediante un modelo que incluye tres polos dos ceros y las limitaciones de las susceptancias. El diagrama se observa en la Figura 4.

La introducción de compensadores estáticos de potencia reactiva altera la fórmula de solución del flujo de corriente del sistema de potencia, ya que a medida que el sistema va siendo integrado en sus ecuaciones de estado se modifican los valores de susceptancia a tierra de las barras donde se encuentran conectados estos equipos.

Como se señaló anteriormente para este tipo de estudios es suficiente incorporar un modelo cuasiestático de los convertidores ya que fundamentalmente es representar su interacción e influencia sobre la dinámica del sistema. En esta modelación cuasiestática los convertidores no requieren de ecuaciones de estado para su representación, bastando las relaciones algebraicas que relacionan los voltajes y corrientes del lado continuo con los del lado alterno. Como variables de control de esta interacción actúan la razón de transformación de los transformadores del puente a_T y el ángulo de disparo de los tiristores α .

Las ecuaciones de equilibrio del convertidor son:

$$V_{dc} = K * a_T * V_a * \cos \alpha - R_c * I_{dc} \quad (1)$$

$$V_{dc} = K * a_T * V_a * \cos \gamma \quad (2)$$

Donde K es la constante del puente, V_a el módulo del voltaje alterno en la barra a la que está conectado el puente, R_c la resistencia equivalente de conmutación y γ el ángulo de desfase entre el voltaje de la barra y la corriente alterna que entra al convertidor.

El modelo del convertidor, representado por las ecuaciones (1) y (2) debe interactuar con el sistema alterno de manera similar a la interacción de los generadores. Los voltajes continuos se obtienen por la integración de las

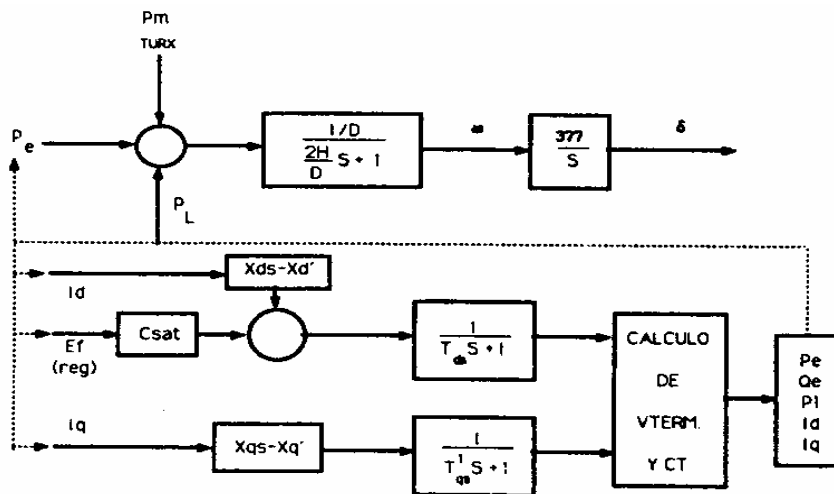


FIGURA 3 MODELO DE LOS GENERADORES

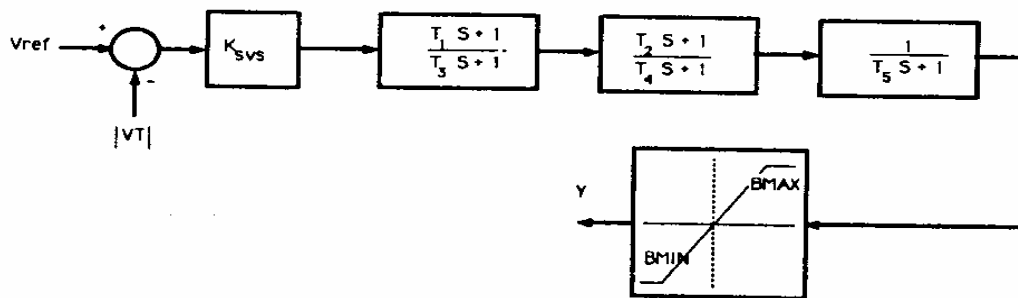


FIGURA 4 MODELO DEL COMPENSADOR ESTATICO DE REACTIVOS

ecuaciones de estado de la red de continua. La razón de transformación y el ángulo de disparo se obtienen como salida de las correspondientes ecuaciones de estado que modelan el control del puente.

Si se quiere utilizar para la incorporación de los convertidores en el sistema el mismo algoritmo usado para los generadores, es necesario calcular el voltaje alterno fasorial de la barra del sistema conectada al convertidor. V_T en función de las magnitudes continuas y del ángulo de encendido α . Como las ecuaciones (1) y (2) dan solo el módulo del voltaje, es necesario suponer un valor inicial al ángulo ψ de este fasor para arrancar el proceso iterativo. Con el voltaje V_T se entra a la malla y mediante I_B y los otros generadores se obtiene el fasor de la corriente inyectada al convertidor C_T . Con este valor se determina la corriente I_{dc} y el ángulo de desfase ψ para seguir el proceso iterativo de la malla. Esta secuencia de iteración se puede ver en la Fig. 5.

Si se utiliza este algoritmo de cálculo, existe una tendencia a la inestabilidad del método numérico de solución, debido a la gran

sensibilidad de las corrientes a las variaciones de la magnitud del voltaje alterno y de su fase.

Debido a que esta inestabilidad de la solución se debe a los grandes valores de los elementos de la matriz de admitancia en barra de los convertidores, se elaboró una nueva estrategia que utiliza los elementos de la matriz de impedancias de barra Z_{ij} en la interconexión de los convertidores, dejando admitancias de barras para los generadores.

En los estudios dinámicos en los que juega un papel importante los elementos definidos esencialmente en corriente, es más conveniente utilizar este tipo de fuente inyectada a los bornes y dejar los voltajes de barra como variables dependientes este es el caso de los puentes rectificadores e inversores en las transmisiones CCAT y también de los SVS donde las altas inductancias de filtro o de la susceptancia reactiva tienden a hacer variar lentamente las corrientes.

Estamos entonces ante sistemas que requieren simultáneamente los dos tipos de fuentes. Si separamos las barras definidas en voltaje V_v de aquellas con fuentes de corriente I_c en la expresión que utiliza Y_{bus}

$$\begin{bmatrix} I_v \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{vv} & Y_{vc} \\ Y_{cv} & Y_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_v \\ V_c \end{bmatrix}$$

podemos despejar las variables dependientes mediante algebra matricial

$$\begin{bmatrix} I_v \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{vv} - Y_{vc} Y_{cc}^{-1} Y_{cv} & Y_{vc} Y_{cc}^{-1} \\ -Y_{cc}^{-1} Y_{cv} & Y_{cc}^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_v \\ I_c \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I_v \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{vv} & H_{vc} \\ H_{cv} & H_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_v \\ I_c \end{bmatrix}$$

En esta expresion H_{vc} y H_{cd} son dimensionales. H_{vv} es una matriz de admitancia y H_{cc} es una matriz de impedancias.

Este tipo de formulación tiene la ventaja que la matriz de admitancia posee normalmente elementos en por unidad mucho mayores que los de la matriz de impedancia. Por lo tanto la sensibilidad de las variables a cambios en los voltajes es mucho mayor numericamente, que la sensibilidad a los cambios de las corrientes.

Como en los SVS y puentes convertidores los voltajes de ajuste varían más rápidamente que las corrientes, las soluciones logradas con una representación mediante la matriz híbrida y fuentes de corriente para estos elementos, es más estable numericamente que las soluciones a través de la matriz Y_{bus} .

La nueva estrategia de solución requiere solamente del valor del ángulo de fase de las corrientes para su arranque, ya que la amplitud viene directamente de las ecuaciones de estado. Con el fasor C_T se entra a la matriz híbrida y se obtiene el voltaje de barra V_T en el convertidor. Se calcula el voltaje V_{dc} y el desfase ψ con el cual se modifica y se prosigue el proceso iterativo. Este nuevo algoritmo dió muy buenos resultados de convergencia, aún en casos de gran perturbación en el sistema. La secuencia de cálculo puede verse en la Fig. 6.

4.2. Modelación de la red continua y de los controles de enlace.

La modelación de la red de corriente continua se ha realizado en forma modular de acuerdo a la estructura general del programa. Como la dinámica de la red de continua tiene modos naturales del mismo orden que los modelados en los controles de generadores y convertidores, se han considerado las inductancias de alisamiento de línea y la capacitancia de ésta.

El voltaje V_{dc} está impuesto por el convertidor y la corriente del puente es la corriente de la inductancia considerada como variable de estado. La interconexión entre convertidores se ha representado mediante una matriz de conductancia G con la cual se puede realizar fácilmente la interconexión de varios convertidores, simulando de esta manera sistemas con varios enlaces CCAT o con enlaces multiterminales con rectificadores e inversores.

Para el estudio de fallas en la red de continua se modela cada polo de los convertidores por separado. Fallas monopolares o bipolares se pueden considerar variando los elementos de la matriz G . La modelación de la red de continua se puede ver en la Figura 7.

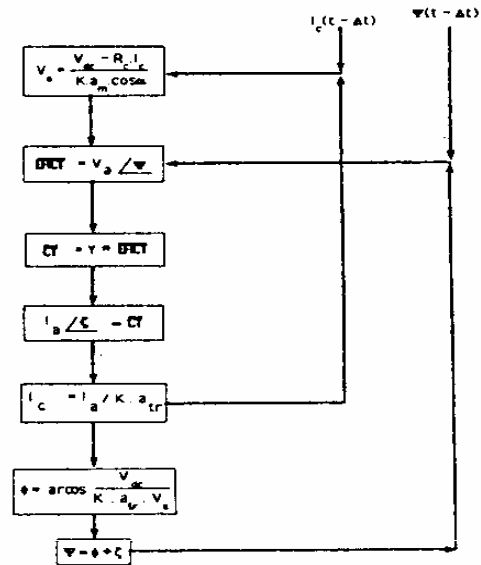


FIGURA 5 PROCEDIMIENTO ITERATIVO TRADICIONAL

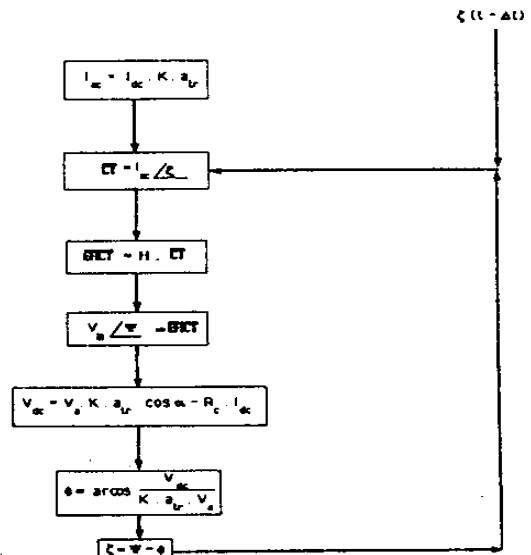


FIGURA 6 PROCEDIMIENTO ITERATIVO MATRIZ HIBRIDA

En la modelación del control del enlace se han mantenido una estructura modular jerarquizada es decir, con controles locales en cada convertidor que se encargan de supervisar las condiciones locales y realiza funciones de regulación locales. Estos controles reciben sus valores de referencia y mando de un controlador maestro del enlace que tiene funciones de definir consignas de potencia, niveles de voltaje y elaboran la señal de modulación de potencia o corriente.

En cada controlador se ha modelado la limitación de corriente en función del voltaje (V_{COL}) y en el inversor las limitaciones en el ángulo de extinción. El diagrama de bloques del enlace se puede ver en la Figura 8 y el del inversor en la Figura 9.

Para el modulador de potencia se utiliza la frecuencia como señal de entrada de la barra del inversor con una función de transferencia de segundo orden.

Se ha modelado el control de las señales de bypass y bloqueo que está permanentemente supervisando la amplitud de voltajes y corrientes y ángulos de disparo, de manera que una perturbación mayor contigua a los convertidores genere las señales correspondientes. Se ha modelado también la estrategia de recuperación del voltaje continuo y de la corriente, de manera de poder evaluar el impacto que tiene sobre la estabilidad del sistema.

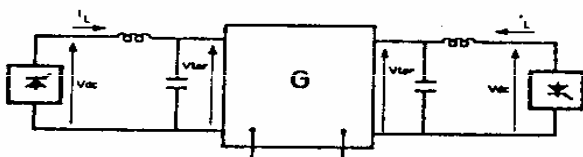


FIGURA 7 MODELO DE LA RED DE CONTINUA

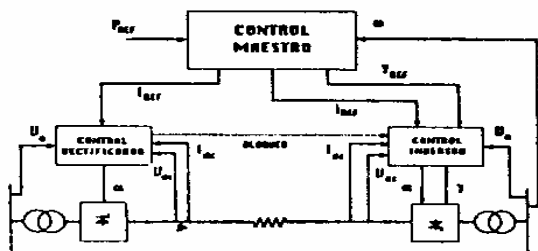


FIGURA 8 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL ENLACE

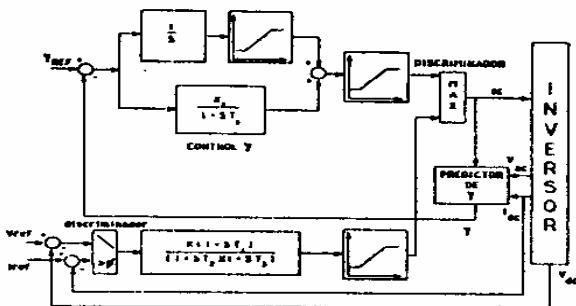


FIGURA 9 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL INVERSOR

5. APLICACION DE LA MODELACION CA-CC DEL SISTEMA INTERCONECTADO VENEZOLANO

Con el fin de evaluar las potencialidades del programa se realizaron estudios preliminares de estabilidad dinámica en dos sistemas, el primero Figura 10 representa una malla puramente alterna con cinco líneas a 765 Kv similar al previsto para el sistema interconectado venezolano en el año 2007, y el segundo Figura 11 el mismo sistema, donde dos de las líneas a 765 Kv fueron sustituidas por un doble enlace en corriente continua en ± 500 Kv, el cual se encuentra conectado a la red alterna de 400 Kv.

Las perturbaciones que se aplicaron a las configuraciones en los casos de solo transmisión a corriente alterna, fueron las fallas en el nivel de 765 Kv y 400 Kv que producen efectos mas desfavorables y que por lo tanto limitan la capacidad de transmisión del sistema troncal. Para el caso de transmisión mixta, con enlaces en CCAT, se aplicaron las fallas que se consideran mas severas, ya sea porque afectan muy seriamente las oscilaciones de potencia y por consiguiente las perturbaciones en el voltaje de las barras de transmisión.

El criterio utilizado para fijar el límite de transmisión contempla como probables fallas las monofásicas en 765 Kv y bifásicas en 400 Kv y los convertidores estarían conectados a este último voltaje, el estudio se realizó con la falla bifásica como la mas severa respecto al comportamiento de los convertidores. Una característica importante de esta solución es que la capacidad de transmisión está fijada por las restricciones de voltaje impuestos a la estabilidad dinámica del sistema. Para mejorar la regulación de voltaje del sistema se instalaron cinco estabilizadores de voltajes SVS en el sistema Ac y tres en el sistema mixto siendo cada uno de ellos aproximadamente de 300 MVA. La capacidad de transmisión se fija aumentando la generación hidráulica en Bajo Caroní hasta que para una falla monofásica en 765 Kv o bifásica en 400 Kv de 4.5 ciclos de duración el voltaje en una barra de 230 Kv es menor de 0.8 p.u. o de 0.9 p.u. durante 0.5 seg.

La solución de transmisión en corriente continua presenta la ventaja de poder llevar directamente potencia a la S/E El Tablazo a través de un bipolo, sin tener la necesidad de reforzar la red de 400 Kv desde la S/E Yaracuy hacia el occidente, que en la solución de transmisión en corriente alterna requiere de cuatro líneas de 380 Ka con un 40% de compensación serie.

Los dos bipolos serían independientes en su operación con una razón de cortocircuito para el extremo inversor de 3.1 para Yaracuy y de 2.8 para El Tablazo. El extremo rectificador de ambos bipolos estaría conectado a las barras de 400 Kv de la S/E Bajo Caroní, contigua a la generación de la central hidroeléctrica de Guri que con sus 10000 Mw es la principal del sistema. Esta interdependencia de ambos bipolos a través de esta barra común de interconexión requiere que se analice cuidadosamente las consecuencias de la pérdida total o parcial de uno de los bipolos.

Debido a la configuración del sistema, se puede ver que la zona débil desde el punto de vista de la estabilidad dinámica con criterios de voltaje mínimo, es la contigua a la S/E Yaracuy ya que si se pierde una línea de 765 Kv desde la S/E San Gerónimo la potencia desde el Bajo Caroní

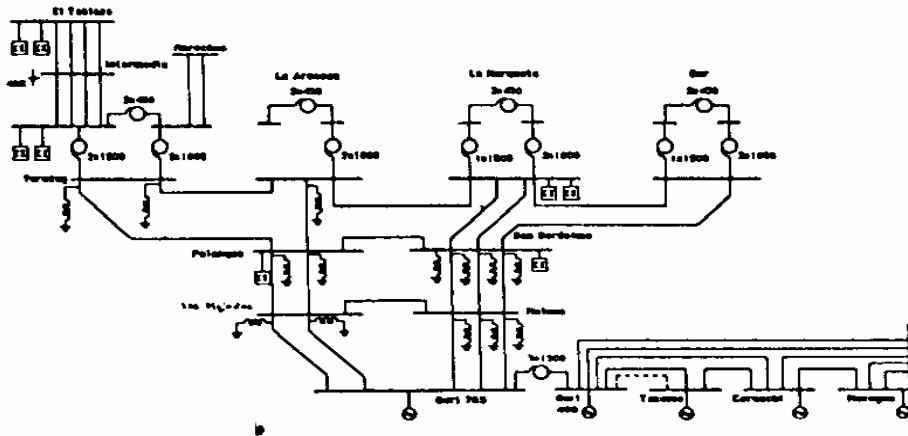


FIGURA 10 SISTEMA AC

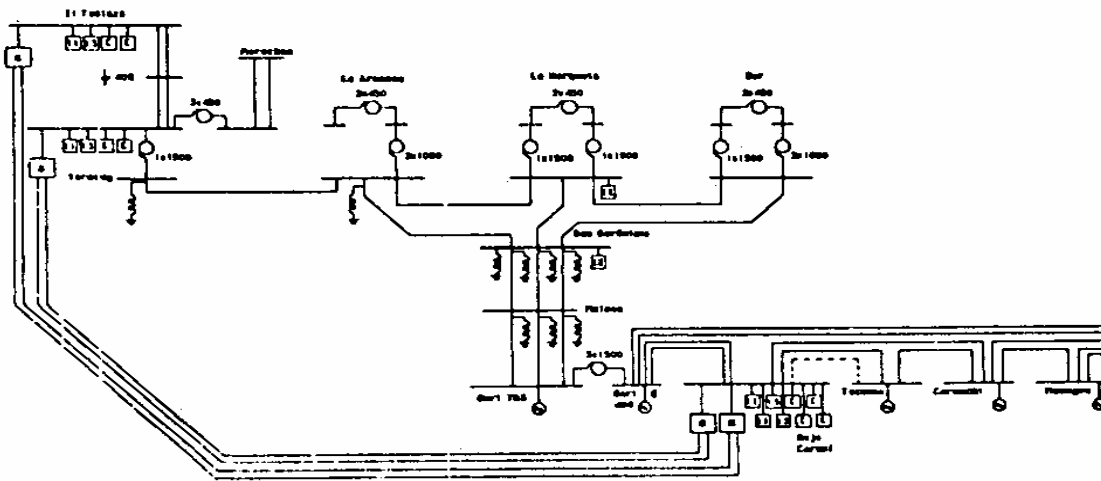


FIGURA 11 SISTEMA AC-DC

debe circular por las S/E Horqueta y Arenosa hacia la S/E Yaracuy y Occidente. El apoyo local desde la generación en Planta Centro y la acción de los SYS permite incrementar la transmisión solo hasta 7100 Mw.

La configuración del sistema con los dos bipolos de corriente continua cambia la ubicación de los puntos débiles, ya que el sistema de occidente recibe la mayor parte de la potencia importada a través de los bipolos por lo que la pérdida de líneas de interconexión con el resto del sistema no tiene gran efecto. La pérdida de un polo del enlace continuo significa una perturbación mayor que es en parte compensada por el efecto que tiene sobre los voltajes la menor generación de reactivos necesaria para la operación del inversor.

Por las consideraciones anteriores se puede apreciar que es necesario, aún en una primera etapa de comparación de alternativas una modelación del sistema y de sus controles que permita analizar los diferentes efectos que tienen las estrategias de control de los enlaces y las consecuencias de un bypass o un bloqueo de los puentes. Esta modelación debe tener el mismo grado de precisión y detalle que la realizada para simular el comportamiento de los generadores y sus controles del sistema de excitación y de control de velocidad.

En esta primera etapa de los estudios sobre la posible incorporación de enlaces CCAT al sistema venezolano se considera que es suficiente contar con un modelo cuasiestacionario (QSS) de los convertidores, que acepte los valores de control

y tenga incorporados las estrategias de limitación de corrientes y de recuperación de voltajes que se quieran ensayar. También debe tener incorporado el modelo del convertidor y una interacción con la red, la simulación del efecto de una falla de conmutación con el consiguiente bloqueo o bypass de los puentes.

Para cada simulación tanto en CA como en CC se realizó una supervisión de las magnitudes de los voltajes en todas las barras de 230 Kv de manera de controlar que se cumplan las restricciones señaladas anteriormente.

En las Figura 11, 12 y 13 pueden verse un ejemplo del comportamiento del enlace ante una falla bifásica en la S/E Yaracuy en 400 Kv, correspondiente al terminal inversor de un enlace CCAT. El inversor queda en bypass y en bloqueo durante la falla, y posteriormente comienza una estrategia de recuperación del enlace con una rampa de p.u./seg.

Como la falla que determina la capacidad de transmisión para el sistema de cinco líneas en corriente alterna, es la falla en San Gerónimo en 765 Kv con despeje de la línea San Gerónimo-Yaracuy, cuyos ángulos y voltajes se muestran en las Figura 14 y 15, y en la solución con enlaces CCAT esta línea no se contempla, se realizó una simulación de una falla en el sistema CA que se considera equivalente para esta alternativa. Esta falla fue un cortocircuito monofásico en 765 Kv en la S/E La Horqueta con despeje San Gerónimo-La Horqueta. Esta falla, aunque mas distante del terminal inversor tiene una fuerte repercusión sobre este y sobre el sistema alterno, en las Fig. 13 y 14 se muestran los mismos ángulos y voltajes bajo esta condición

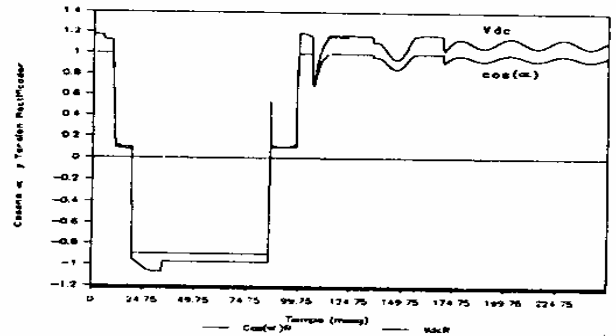


Fig. 14 Falla bifásica en Yaracuy 400 Kv (CC)

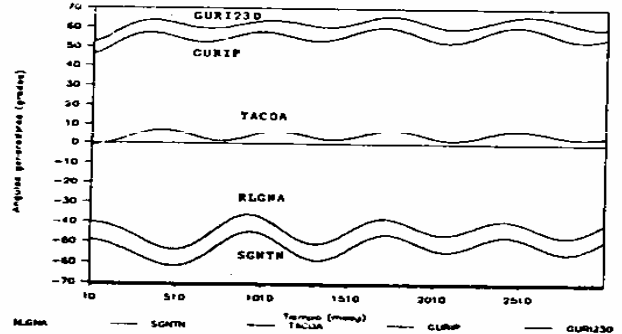


Fig. 15 Falla monofásica San Gerónimo 765 Kv (CA)

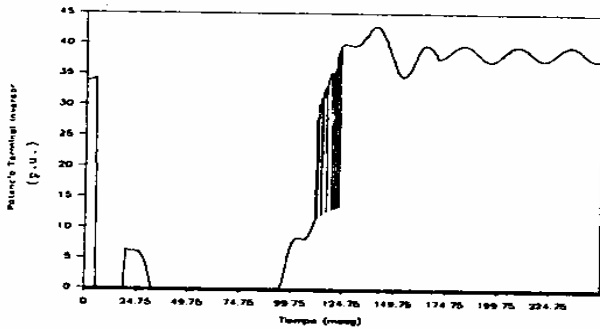


Fig. 12 Falla bifásica en Yaracuy 765 Kv (CC)

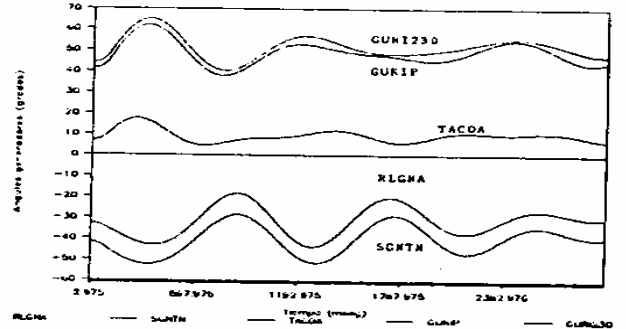


Fig. 16 Falla monofásica Horqueta 765 Kv (CC)

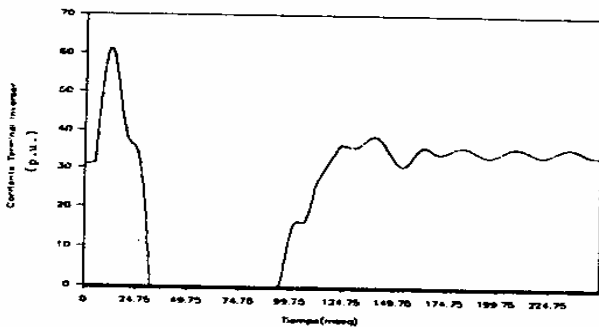


Fig. 13 Falla bifásica en Yaracuy (CC)

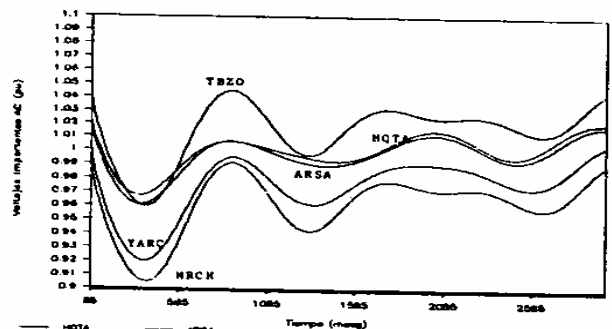


Fig. 17 Falla monofásica San Gerónimo 765 Kv (CA)

6. CONCLUSIONES

La solución de transmisión en CCAT para el sistema interconectado venezolano presenta ventajas comparativas que justifican el análisis más detallado del comportamiento del sistema desarrollado en base a la transmisión del grueso de la potencia futura mediante enlaces entre Bajo Caroní y el Centro-Occidente.

Los modelos y programas de computación desarrollados permiten simular el comportamiento dinámico del sistema con un grado de detalle equivalente en CC que el que se utiliza en los estudios actuales de estabilidad dinámica de la solución.

Si bien los ajustes de los controles del enlace no son los óptimos, los casos estudiados con las perturbaciones más severas, permiten predecir que el comportamiento en CC tiene ciertas ventajas frente al sistema desarrollado solo en AC. Esto se puede observar si comparamos las figuras 14 y 16 donde los ángulos en la alternativa en continua se amortiguan más rápidamente que en la alternativa en AC si bien es cierto que la oscilación inicial es mayor debido al bypass y bloqueo de los puentes. En cuanto a las tensiones se observa en las figuras 12 y 17 que los voltajes más bajos en la opción cc-ca son mayores que en la otra alternativa.

Se vislumbra por lo tanto que con un mejor ajuste de los controles y una adecuada operación del enlace, podría aumentarse el límite de transmisión del sistema venezolano utilizando la alternativa CA-CC.

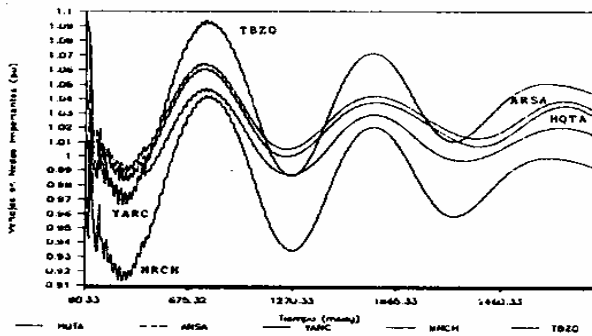


Fig. 18 Falla monofásica Horqueta 765 Kv (CC)

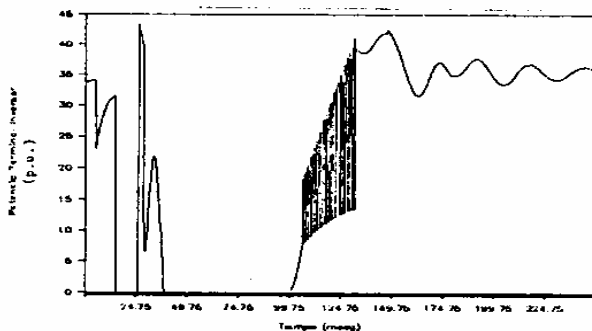


Fig. 19 Falla monofásica Horqueta 765 Kv (CC)

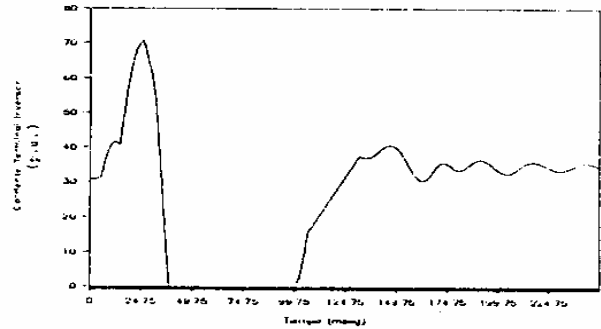


Fig. 20 Falla monofásica Horqueta 765 Kv (CC)

7. REFERENCIAS

- [1] MODELLING OF AN HVDC SYSTEM FOR DIGITAL SIMULATION OF AC/DC TRANSMISSION INTERACTIONS (CIGRE SYMPOSIUM 09-87 BOSTON 100-02)
- [2] ESTUDIOS DE ESTABILIDAD DINAMICA EN SISTEMAS DE TRANSMISION AC/DC (PROYECTO USB-EDELCA SESION XII 04-88 CARACAS)

8. BIOGRAFIA

GASTON PESSE VIDAL

Profesor Titular de la Universidad Simón Bolívar. Ingeniero Civil Electricista, Universidad de Chile 1973. Magister Scientiarum Universidad Central de Venezuela. Jefe de Laboratorio de Alta Tensión de la Universidad de Chile 1969-1966. Profesor de Conversión Electromecánica Energía, Electrónica de Potencia, Coordinador Técnico del Proyecto Metro de Caracas, Transmisión HVDC y de asesorías a la industria.

JOSE MANUEL ALLER

Profesor Agregado de la Universidad Simón Bolívar (USB). Ingeniero Electricista USB, 1960. Magister Scientiarum Universidad Central de Venezuela. Jefe de Laboratorio de Máquinas USB. Candidato a Doctor de la Universidad Politécnica de Madrid, España. Profesor de Conversión de Energía Electromecánica y Electrónica de Potencia. Participación en Proyectos de Transmisión HVDC, CADAFE-SUR y asesorías a la industria.

MARIA PALOMA DE ARIZON

Profesor Asistente de la Universidad Simón Bolívar (USB), Ingeniero Electricista USB, 1961. Magister Scientiarum University of British Columbia (Vancouver). Jefe de Laboratorio de Sistemas de Potencia. Profesora de Sistemas de Potencia. Participación en Proyectos de Transmisión HVDC, CADAFE-SUR y asesorías a la industria.

ROBERTO ALVES BARACIARTE

Profesor Instructor de la Universidad Simón Bolívar (USB) desde 1987, Ingeniero Electricista USB, 1965. Candidato a Magister con el Proyecto "Modelación Trifásica de Enlaces CCE para Análisis de Estabilidad de Sistemas de Potencia". Participación en Proyectos de Transmisión HVDC (USB-EDELCA), y CADAFE-SUR. Asesorías a la industria.

MILAGROS PEÑA TORTOSA

Profesor Instructor de la Universidad Simón Bolívar (USB) desde 1988, Ingeniero Electricista USB, 1967. Candidato a Magister con el Proyecto "Modelación de Transformadores de Potencia basado en el uso de Respuestas de Frecuencia". Participación en Proyectos de Transmisión HVDC (USB-EDELCA), y CADAFE-SUR. Asesorías a la industria.