

METODOLOGIAS PARA EL ANALISIS DE CONTINGENCIAS  
EN LA OPERACION Y PLANIFICACION DE SISTEMAS DE POTENCIA

Victor M. DONA  
Ricardo NOZICA  
Jorge F. RIVERA

Instituto de Energía Eléctrica  
Universidad Nacional de San Juan  
San Juan - Argentina

RESUMEN

En este trabajo se presentan dos metodologías computacionales diferentes para simular contingencias en forma rápida en componentes eléctricos (líneas, transformadores y generadores). Una de estas técnicas trabaja con una modelación matemática que se basa en técnicas de flujos desacoplados rápidos y en un método de ajuste de la matriz Jacobiana inversa que permite no recalcularla en cada contingencia de rama. La otra trabaja con una modelación matemática que se basa en la utilización de la matriz de sensibilidad del caso base (caso-prefalla) y en el cálculo de inyecciones ficticias de potencia activa y reactiva en las barras extremas del componente fallado. En este caso las contingencias de ramas se simulan sin cambiar la configuración de la red.

ABSTRACT

In this work two computational methodologies different are presented to fastly simulate outages in electrical components (lines, transformers and generators). One of these technics works with a mathematical modelling based on fast decoupled load flow techniques and an adjustement method of inverse Jacobian matrix which permit no to recompute it in each branch outage. The other one works with a mathematical modelling based in the use of the sensitivity matrix of the basic case (pre-outage case) and in the computation of reactive and active power ficticious injections on the end nodes of the faulted component. In this case the branch outages are simulated without changing the network's topology.

## 1. INTRODUCCION

Un sistema de suministro de Energía Eléctrica (SSEE) continuamente está sometido a modificaciones en sus variables de operación y sujeto a posibles fallas en sus componentes. Luego, uno de los objetivos que persiguen los ingenieros que realizan tareas de operación y planificación en los SSEE es tener un sistema seguro capaz de operar con la mayor eficiencia. Por esto, los efectos que producen estas variaciones y/o fallas sobre el sistema deben investigarse tanto en la operación en tiempo real, como en la programación de la operación y en la planificación de la expansión del sistema en estudios fuera de línea.

El estudio de simulación de contingencias (fallas no programadas en componentes eléctricos del sistema) es una importante tarea para desarrollar esta investigación. Mediante esta simulación se determina los efectos que causa la falla de un determinado equipamiento sobre el resto del sistema. Es de interés considerar entre las fallas posibles de ocurrir las siguientes: a) La pérdida repentina de módulos importantes de carga y/o generación que no modifica de la configuración del SSEE. b) La pérdida repentina de ramas que si modifican la configuración de la red. En general una falla provoca fenómenos transitorios tanto en el sistema eléctrico como electromecánico. Sin embargo los principales estudios de contingencias que se efectúan es para determinar los efectos de régimen permanente de una falla.

El requerimiento principal que debe cumplir una empresa de energía es satisfacer la demanda impuesta por los usuarios manteniendo un adecuado nivel de calidad. Esto debe cumplirse con el requisito adicional que eventuales contingencias producidas en el sistema no provoquen sobrecargas y/o sobretensiones en los componentes del mismo, es decir las restricciones técnicas de operación deben encontrarse siempre dentro de sus límites admisibles. Es por ello que se necesita y justifica una gran sofisticación para diseñar y operar un sistema eléctrico en forma eficiente.

Generalmente un ingeniero con experiencia en SSEE podría por una lado conjeturar cuales serían los componentes cruciales que al ser removidos evitarían problemas en la red tales como sobrecargas y sobretensiones perjudiciales en determinados elementos de la misma, y por otro cuales serían las variables que el podría controlar para evitar tales problemas sin remover ningún componente de la red. Pero cuando se trata de sistemas complicados de envergadura, él necesita disponer adicionalmente de herramientas de cálculo para hallar los consecuentes estados del sistema y verificar su conjetura. Es decir necesita simular una serie de contingencias previamente definidas como críticas para poder evaluar en cada caso los estados de operación que ellas provocan.

El problema de simulación de contingencias de régimen permanente es en principio un problema simple. Para estudiar el efecto de una falla es solo necesario ejecutar un cálculo de flujo de carga tomando en cuenta la falla. Sin embargo, es necesario desarrollar aproximaciones rápidas y suficientemente precisas para determinar las tensiones nodales y los flujos de potencia ante contingencias en forma rápida para poder ejecutar un gran número de casos en un período breve de tiempo.

Resumiendo, los estudios de análisis de contingencias presentan especial interés como: A) Herramienta de cálculo para la evaluación de seguridad de operación de redes en tiempo real extendido como tarea del mando de la operación y B) Herramienta de cálculo para efectuar estudios de programación de la operación y planificación de la expansión de redes en aplicaciones fuera de línea.

La tarea de evaluación de seguridad se efectúa a partir del estado de funcionamiento normal actual, simulando un conjunto de contingencias. El resultado de la misma permite calcular las medidas de control adecuadas para evitar que el sistema pase a un estado de emergencia o para reducir al mínimo posible el tiempo de permanencia en él, a fin de evitar los daños sobre algunos componentes del sistema o la no satisfacción adecuada de la demanda. En la práctica la seguridad del sistema se refiere a un conjunto de contingencias probables de ocurrir en el futuro inmediato para el estado de funcionamiento actual. Tal conjunto se lo define como conjunto crítico de contingencias (formado generalmente por el siete al diez por ciento del total de componentes).

Los estudios de programación de la operación tienen por finalidad definir los criterios de optimización del parque de generación en operación, los valores de generación de cada unidad y la configuración de la red para satisfacer la demanda en períodos futuros teniendo en cuenta las restricciones técnicas y requerimientos de confiabilidad de suministro. De allí surge como tarea importante el análisis de la red contemplando también contingencias. De manera similar al planificar la expansión de la red eléctrica de transmisión y/o subtransmisión en la etapa de compatibilización de variantes formuladas o generadas por métodos de optimización como también en la de estudios de variantes correspondientes al plan de expansión propuesto se requiere analizar exhaustivamente el comportamiento respectivo con contingencias presentes.

Para resolver el problema planteado debe disponerse de algoritmos de cálculo que permitan simular las contingencias requeridas teniendo en cuenta tiempos de cálculo pequeños y precisión en los resultados.

## 2. ELECCION DE UN ADECUADO ALGORITMO PARA LA SIMULACION DE CONTINGENCIAS

Entre los requisitos que debe cumplir un adecuado algoritmo para simular contingencias se tienen:

- 1)-> VELOCIDAD DE CALCULO : Este requisito es muy importante, sobretodo cuando se trata de aplicaciones en tiempo real extendido.
- 2)-> REQUERIMIENTO DE MEMORIA : Para poder cumplir el requisito anterior es imprescindible trabajar con el algoritmo de cálculo y con los datos disponibles en la memoria central de la computadora, ya que el uso de memoria auxiliar periférica incrementaría notablemente los tiempos.
- 3)-> SOLUCION PRECISA: Este requisito también es importante, ya que se pretende utilizar los resultados de cada estado de operación de la red hallado en cada una de las contingencias simuladas para efectuar comparaciones entre magnitudes eléctricas de interés con respecto a sus valores límites.

El algoritmo elegido debe compatibilizar en forma muy razonable los tres requerimientos mencionados. Esto permite utilizar formas simplificadas de algoritmos para cálculo de flujos de carga o emplear otras técnicas diferentes.

Una de las herramientas básicas más utilizadas para la simulación de contingencias es el cálculo de flujos de carga. El método de Newton-Raphson es quizás la propuesta más difundida para resolver problemas de flujos de carga debido a sus buenas características de convergencia, pudiendo simular con él el estado de operación exacto ante contingencias ([1]). Para estudiar el efecto real que produciría un conjunto determinado de fallas debería realizarse para cada una un estudio de flujo de cargas exacto, pero esto implica elevados tiempos de cálculo. Por ello en la práctica se utilizan métodos aproximados y rápidos en vez de modelos exactos.

Analizando las características principales de varias propuestas para simular contingencias y teniendo en cuenta los requerimientos señalados anteriormente resulta evidente que muchas de ellas no son satisfactorias para resolver el problema que se plantea en este trabajo. Sin embargo existen dos metodologías que presentan buenas características de convergencia y brindan resultados satisfactorios para la aplicación pretendida. A continuación se detalla brevemente el surgimiento de cada una de ellas, las que son motivo del presente trabajo: Por un lado, basándose en el método de Newton-Raphson se desarrolló ([2],[3]) primero una versión desacoplada del mismo para cálculo de flujo de carga haciendo el proceso más eficiente y luego se extendió la misma realizando otras simplificaciones adicionales para formar una propuesta desacoplada y rápida. A partir de esta última se implementó un metodología para simular contingencias usando un método de ajuste de la matriz inversa en cada simulación, evitando así su recálculo ([7]).

Por otro lado, se analizó el uso de relaciones de sensibilidad en los sistemas de potencia ([4]) y algunos métodos que permiten simular fallas basándose en ellas ([5],[6]). Estos métodos encuentran, para cada contingencia simulada, el nuevo estado de operación considerando que la red permanece intacta e igual a la del caso base (pre-falla), en cuanto a su configuración. Basándose en la propuesta [6] se desarrolló un algoritmo que simula contingencias de ramas modificando las inyecciones de potencia en las barras extremas del elemento fallado. Para ello se introducen potencias de inyección ficticias en tales barras las cuales se calculan teniendo en cuenta las variaciones provocadas en los flujos del resto de las ramas conectadas a tales barras extremas y las relaciones de sensibilidad correspondientes al estado básico del sistema (pre-falla). El resultado final es, en cada barra extrema del elemento fallado, una potencia de inyección ficticia igual a la que fluye desde dicha barra por la rama cuya falla se simula ([8]).

La elección de un adecuado mecanismo para la simulación de contingencias deberá hacerse dependiendo, además, del tipo de componentes que se quiera simular ya que el cálculo para simular fallas de líneas y transformadores es más sencillo que el necesario para simular fallas de generadores.

### 3. FLUJOS DE CARGA Y RELACIONES DE SENSIBILIDAD : TEORIA BASICA

Se resume en primer lugar las ecuaciones generales que describen el problema completo de flujo de potencia y su interacción con las relaciones de sensibilidad. Las inyecciones de potencia activa y reactiva en una barra  $i$  del sistema son iguales al flujo neto activo y reactivo respectivamente de los  $p$  elementos conectados a esta barra, así un sistema de  $N$  barras es representado a través del siguiente conjunto de  $2N$  ecuaciones no lineales:

$$\begin{aligned}
 P_{ii} &= P_{gi} - P_{di} = \sum_{j \in A_i} P_{ij} \\
 &= V_i^2 \cdot G_{ii} + \sum_{\substack{j \in A_i \\ j \neq i}} V_i \cdot V_j [G_{ij} \cdot \cos(\theta_i - \theta_j) + B_{ij} \cdot \sin(\theta_i - \theta_j)] \\
 Q_{ii} &= Q_{gi} - Q_{di} = \sum_{j \in A_i} Q_{ij} \\
 &= -V_i^2 \cdot B_{ii} + \sum_{\substack{j \in A_i \\ j \neq i}} V_i \cdot V_j [G_{ij} \cdot \sin(\theta_i - \theta_j) - B_{ij} \cdot \cos(\theta_i - \theta_j)]
 \end{aligned} \tag{1}$$

Para  $i=1, \dots, N$

Y donde  $A_i =$  Conjunto de barras conectadas a la barra  $i$

Como resultado de ellas se pretende encontrar el estado del sistema, definido a través de las tensiones complejas en todas las barras ( $V$  y  $\theta$ ), que en forma polar se representan por  $|V|=V$  y  $\theta$ . Según se anticipó, uno de

los procedimientos más usuales para resolver el sistema de ecuaciones (1) es emplear el método de Newton-Raphson. Este resuelve tal sistema de ecuaciones no lineales, primero linealizándolas y luego utilizando un proceso iterativo de cálculo. El sistema matricial que representa las ecuaciones linealizadas a resolver en una determinada iteración resulta:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V/V \end{bmatrix} \quad (2)$$

Donde :  $\Delta P$  y  $\Delta Q$  : Errores en las potencias de inyección nodales.

$J = \begin{bmatrix} H & N \\ J & L \end{bmatrix}$  : Matriz jacobiana (derivadas de potencias de inyección respecto de variables de estado)

$\Delta \theta$  y  $\Delta V$  : Correcciones de las variables de estado.

La matriz jacobiana [J] presenta en principio la misma estructura que la matriz nodal de admitancia de la red. A cada elemento de la matriz de admitancia le corresponden cuatro elementos en la matriz Jacobiana: H, N, J y L.

Para resolver el sistema de ecuaciones lineales y simultáneas (2) se puede emplear un método de inversión de matrices o cualquier método de eliminación. Una metodología usual es factorizar la matriz [J], es decir transformarla en dos submatrices una triangular superior [U] y otra inferior [L] tal que cumplan (3), y resolver el sistema de ecuaciones (2) por sustitución directa e inversa.

$$[L] \cdot [U] = [J] \quad (3)$$

Por otro lado se puede, según (2), expresar el vector de correcciones de las variables de estado, a través del sistema matricial siguiente:

$$\begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V/V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S \\ -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \quad (4)$$

Donde :  $[S] = [J]$  (5)

$[S]$  = Matriz de sensibilidad.

Los coeficientes de la matriz [S] que están representados por derivadas de las variables de estado respecto de las potencias de inyección nodales se denominan relaciones de sensibilidad. Un sentido más general de estas relaciones es que ellas representan la sensibilidad entre las variaciones producidas en las variables de estado como consecuencia de las variaciones producidas en determinadas variables de control.

#### 4. METODOLOGIA PARA SIMULAR CONTINGENCIAS BASADA EN RELACIONES DE SENSIBILIDAD Y POTENCIAS DE INYECCION NODALES

La simulación de fallas de ramas: líneas o transformadores y de generadores requieren un tratamiento diferente por lo que se estudian los procesos en forma separada.

#### 4.1. FALLAS DE RAMAS (LINEAS O TRANSFORMADORES)

La deducción y modelación matemática desarrollada en este punto es válida para la simulación de contingencias simples tanto de líneas como de transformadores. La formulación se realiza para una línea.

El estado de operación que provocaría la falla de una línea se simula usando la matriz de sensibilidad [S] y potencias de inyección ficticias que se calculan en las barras extremas de la línea fallada del SSEE. La matriz de sensibilidad es disponible (correspondiente al caso base), por lo que se debe calcular entonces las potencias de inyección ficticias. Este método encuentra tales potencias basándose en las variaciones de los flujos que circulan por las ramas que se vinculan a las barras extremas de la línea simulada.

##### 4.1.1. Formulación del modelo y del algoritmo

La figura 1 describe la simulación de una falla en una línea  $i-j$  que conecta las barras de carga tipo PQ  $i$  con  $j$ . La figura 1(a) muestra el estado inicial o estado base para la red intacta (pre-falla) de una parte del sistema, en el cual aparece conectada la línea  $i-j$  cuya contingencia se simulará. Se designa como barras  $m$  al conjunto de barras directamente vinculadas a la barra  $i$ , excepto la  $j$ ; y barras  $n$  al conjunto de barras directamente vinculadas a la barra  $j$ , excepto la barra  $i$ . Se especifican también las potencias demandadas por los usuarios en ambas barras  $i$  y  $j$   $P_{di}+jQ_{di}$  y  $P_{dj}+jQ_{dj}$ , los flujos de potencia que fluyen en ambos sentidos en la línea cuya contingencia se simulará  $P_{ij}+jQ_{ij}$  y  $P_{ji}+jQ_{ji}$ , y los flujos de potencia desde la barra  $i$  a las barras  $m$  y desde la barra  $j$  a las barras  $n$   $P_{im}+jQ_{im}$  y  $P_{jn}+jQ_{jn}$  respectivamente. Para el estado de la figura plantea el siguiente balance de potencia por barra:

$$\begin{aligned} \text{Barra } i &: -(P_{di} + j Q_{di}) = (P_{im} + P_{ij}) + j (Q_{im} + Q_{ij}) \quad (6) \\ \text{Barra } j &: -(P_{dj} + j Q_{dj}) = (P_{jn} + P_{ji}) + j (Q_{jn} + Q_{ji}) \end{aligned}$$

La figura 1(b) muestra el estado final donde la línea  $ij$  se encuentra fuera de servicio. En este estado se produce un cambio de los flujos que concurren a los nodos  $i$  y  $j$  dando como resultado  $P'_{im}+jQ'_{im}$  y  $P'_{jn}+jQ'_{jn}$ . De esta manera según la figura 1(b) se formula:

$$\begin{aligned} \text{Barra } i &: -(P_{di} + j Q_{di}) = (P'_{im} + j Q'_{im}) \quad (7) \\ \text{Barra } j &: -(P_{dj} + j Q_{dj}) = (P'_{jn} + j Q'_{jn}) \end{aligned}$$

Se deduce que el estado del sistema representado en la figura 1(b) no varía si se conecta nuevamente la línea fallada y simultáneamente se inyectan en sus barras extremas (barras  $i$  y  $j$ ) potencias ficticias iguales a las

que fluirán por la línea  $ij$  ; estas potencias son  $P'_{ij}+jQ'_{ij}$  y  $P'_{ji}+jQ'_{ji}$  respectivamente. En la figura 1(c) se representa esta situación, donde se observa que excepto las potencias de inyección ficticias en las barras  $i$  y  $j$  y los flujos de potencia por la línea simulada  $ij$ , los estados de operación que corresponden a las figuras 1(b) y 1(c) son similares. El estado representado por la figura 1(c) se lo llama estado final simulado y se plantean para éste las siguientes ecuaciones de balance de potencia:

$$\begin{aligned} \text{Barra } i: (P_{ii} + j Q_{ii}) &= (-P_{di} + P'_{ij}) + j (-Q_{di} + Q'_{ij}) = \\ &= (P'_{im} + P'_{ij}) + j (Q'_{im} + Q'_{ij}) \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{Barra } j: (P_{jj} + j Q_{jj}) &= (-P_{dj} + P'_{ji}) + j (-Q_{dj} + Q'_{ji}) = \\ &= (P'_{jn} + P'_{ji}) + j (Q'_{jn} + Q'_{ji}) \end{aligned}$$

La modelación adoptada en la figura 1(c) muestra que la configuración de la red en el caso post-falla es la misma que en el caso pre-falla, ya que el elemento en el que se produce la falla no se separa del sistema. La situación del estado final simulado de la figura 1(c) se puede determinar a partir del estado inicial de la figura 1(a), cambiando convenientemente las inyecciones de potencia en las barras terminales  $i$  y  $j$  del elemento fallado y usando la matriz de sensibilidad  $[S]$  del estado inicial. Las correcciones de los módulos y de los ángulos de fase de las tensiones se calculan a través de la siguiente relación:

$$\begin{bmatrix} \Delta\theta_1 \\ \Delta V_1/V_1 \\ \vdots \\ \Delta\theta_N \\ \Delta V_N/V_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ \Delta P_i \\ \Delta Q_i \\ 0 \\ \Delta P_j \\ \Delta Q_j \end{bmatrix} \quad (9)$$

Finalmente el nuevo estado se calcula por :

$$\begin{aligned} \theta_i \text{ nuevo estado} &= \theta_i \text{ estado base} + \Delta\theta_i \\ V_i \text{ nuevo estado} &= V_i \text{ estado base} \cdot (1 + \Delta V_i/V_i \text{ estado base}) \\ &\text{para } i=1, \dots, N \end{aligned} \quad (10)$$

Así planteado, el problema consiste en la determinación de las potencias de inyección  $\Delta P_i, \Delta Q_i, \Delta P_j$  y  $\Delta Q_j$ . Los errores en la solución dependen de la precisión con la que éstas se hallen.

#### 4.1.1.1. Determinación de las potencias de inyección $\Delta P_i, \Delta Q_i, \Delta P_j, \Delta Q_j$

Las variaciones en los flujos de potencia netos en las ramas  $im$  y  $jn$  entre el estado inicial y el estado final simulado se definen teniendo en cuenta (6) y (7) como:

$$\begin{aligned} \text{Barra } i \quad \Delta P_{im} &= P'_{im} - P_{im} = -P_{di} - P_{im} = P_{ij} \\ \Delta Q_{im} &= Q'_{im} - Q_{im} = -Q_{di} - Q_{im} = Q_{ij} \end{aligned} \quad (11)$$



$$\begin{aligned} \text{Barra } j \quad \Delta P_{jn} &= P'_{jn} - P_{jn} = -P_{dj} - P_{jn} = P_{ji} \\ \Delta Q_{jn} &= Q'_{jn} - Q_{jn} = -Q_{dj} - Q_{jn} = Q_{ji} \end{aligned}$$

Además las variaciones en las potencias de inyección en las barras extremas del componente fallado entre los estados inicial y final simulado se expresan como:

$$\begin{aligned} \text{Barra } i \quad \Delta P_i &= (-P_{di} + P'_{ij}) - (-P_{di}) = P'_{ij} \\ \Delta Q_i &= (-Q_{di} + Q'_{ij}) - (-Q_{di}) = Q'_{ij} \\ \text{Barra } j \quad \Delta P_j &= (-P_{dj} + P'_{ji}) - (-P_{dj}) = P'_{ji} \\ \Delta Q_j &= (-Q_{dj} + Q'_{ji}) - (-Q_{dj}) = Q'_{ji} \end{aligned} \quad (12)$$

Se observa que en definitiva el problema consiste en encontrar las potencias  $P'_{ij} + jQ'_{ij}$  y  $P'_{ji} + jQ'_{ji}$ . Las variaciones en los flujos y en las potencias de inyección, expresadas a través de (11) y (12), pueden relacionarse por el siguiente sistema matricial:

$$\begin{bmatrix} \Delta P_{im} \\ \Delta Q_{im} \\ \Delta P_{jn} \\ \Delta Q_{jn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{im}}{\partial P_i} & \frac{\partial P_{im}}{\partial Q_i} & \frac{\partial P_{im}}{\partial P_j} & \frac{\partial P_{im}}{\partial Q_j} \\ \frac{\partial Q_{im}}{\partial P_i} & \frac{\partial Q_{im}}{\partial Q_i} & \frac{\partial Q_{im}}{\partial P_j} & \frac{\partial Q_{im}}{\partial Q_j} \\ \frac{\partial P_{jn}}{\partial P_i} & \frac{\partial P_{jn}}{\partial Q_i} & \frac{\partial P_{jn}}{\partial P_j} & \frac{\partial P_{jn}}{\partial Q_j} \\ \frac{\partial Q_{jn}}{\partial P_i} & \frac{\partial Q_{jn}}{\partial Q_i} & \frac{\partial Q_{jn}}{\partial P_j} & \frac{\partial Q_{jn}}{\partial Q_j} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta Q_i \\ \Delta P_j \\ \Delta Q_j \end{bmatrix} \quad (13)$$

Y en forma reducida :  $[DEPQIJ] = [H] * [DELPQ]$  (14)  
Descomponiendo la matriz [H] en dos matrices se expresa el sistema (13) como:

$$\begin{bmatrix} \Delta P_{im} \\ \Delta Q_{im} \\ \Delta P_{jn} \\ \Delta Q_{jn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{im}}{\partial \theta} & V \cdot \frac{\partial P_{im}}{\partial V} \\ \frac{\partial Q_{im}}{\partial \theta} & V \cdot \frac{\partial Q_{im}}{\partial V} \\ \frac{\partial P_{jn}}{\partial \theta} & V \cdot \frac{\partial P_{jn}}{\partial V} \\ \frac{\partial Q_{jn}}{\partial \theta} & V \cdot \frac{\partial Q_{jn}}{\partial V} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial \theta}{\partial P_i} & \frac{\partial \theta}{\partial Q_i} & \frac{\partial \theta}{\partial P_j} & \frac{\partial \theta}{\partial Q_j} \\ \frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial P_i} & \frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial Q_i} & \frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial P_j} & \frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial Q_j} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta Q_i \\ \Delta P_j \\ \Delta Q_j \end{bmatrix} \quad (15)$$

Y en forma reducida :  $[DEPQIJ] = [D] * [S1] * [DELPQ]$  (16)  
Donde :

- [ D ] : Matriz que se calcula de una manera semejante a la matriz jacobiana [J].
- [ S1 ] : Matriz de sensibilidad reducida formada a partir de la matriz de sensibilidad [S].

En base a esta modelación se calculan en primer lugar los elementos de las matrices [D] y [S1] y luego se calcula la matriz [H] mediante:

$$[ H ] = [ D ] * [ S1 ] \quad (17)$$

Finalmente se encuentra el vector [DELPQ] de las potencias de inyección aplicando un método de eliminación a (14).

#### 4.1.1.2. Determinación de los elementos de la matriz [D]

Los elementos de la matriz [D] se determinan usando la formulación que calcula los elementos de la matriz jacobiana [J], pero en este caso se trata solo de las derivadas de los flujos activos y reactivos de las ramas que se vinculan a las barras i y j, respecto de las variables de estado que entran en juego. Por ésto la matriz [D] es una matriz altamente rara. La potencia compleja que transporta una rama desde i a m, y su diferencial total se formulan matemáticamente dependiendo del tipo de rama que se trate (línea o transformador). Para el caso de una línea que vincula la barra i con una barra mk del conjunto m se tiene:

$$\bar{S}_{im} = \bar{V}_i \cdot \bar{I}_{im} = \bar{V}_i \cdot (\bar{Y}_{Qim} - \bar{Y}_{im}) + \bar{V}_i \cdot e^{j\theta_i} \cdot \bar{Y}_{im} \cdot V_m \cdot e^{-j\theta_m} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \Delta \bar{S}_{im} &= \bar{V}_i \cdot \frac{\partial \bar{S}_{im}}{\partial \bar{V}_i} \frac{\Delta \bar{V}_i}{\bar{V}_i} + \frac{\partial \bar{S}_{im}}{\partial \theta_i} \Delta \theta_i + V_m \cdot \frac{\partial \bar{S}_{im}}{\partial V_m} \frac{\Delta V_m}{V_m} + \frac{\partial \bar{S}_{im}}{\partial \theta_m} \Delta \theta_m = \\ &= \Delta P_{im} + j \Delta Q_{im} \end{aligned} \quad (19)$$

Los elementos de la matriz [D] buscados son los coeficientes de la ecuación linealizada (19) y se calculan derivando la ecuación (18) respecto de las variables de estado de las barras i y mk.

La formulación para transformadores es similar pero se tiene en cuenta en ellas la relación de transformación t.

#### 4.1.1.3. Determinación de los elementos de la matriz [S1]

Teniendo en cuenta (2), (4) y (5) se expresa:

$$[ J ] [ S ] = [ I ] \quad (20)$$

Donde : [ I ] : Matriz identidad.

El hecho de que nunca se necesitan simular contingencias en todas las ramas permite deducir que no es conveniente realizar una inversión completa de la matriz jacobiana [J], ya que la inversión de la misma para un sistema de tamaño real involucra un esfuerzo computacional considerable. Se aplica entonces un método que permite primero factorizar la matriz jacobiana [J] y luego encontrar la matriz [S] mediante una metodología que permite calcularla columna por columna resolviendo tantos sistemas de ecuaciones como columnas posea tal matriz. Ahora bien, la simulación de la falla de una rama necesita solo los elementos de a lo sumo cuatro columnas de la matriz de sensibilidad [S]. Esta parte de la matriz [S]

que se la designa matriz reducida [S1], se calcula eligiendo convenientemente cuales columnas de la matriz [I] participan, es decir utilizando una matriz reducida [I1]. Esta se forma identificando las barras extremas i y j. En estas condiciones se plantea el siguiente sistema:

$$[L] \cdot [U] \cdot [S1] = [I1] \quad (21)$$

Para resolverlo se toma una columna de la matriz [I1] como término independiente y por sustitución directa primero e inversa después se halla la columna correspondiente de [S1].

#### 4.1.1.4. Determinación del estado final del sistema

Conociendo las variaciones en las potencias de inyección activa y reactiva en las barras i y j las correcciones en los ángulos de fase y en los módulos de tensión de las barras se pueden determinar a partir de la ecuación (9), expresada en forma simplificada como:

$$\begin{bmatrix} \Delta \theta_1 \\ \Delta V_1/V_1 \\ \vdots \\ \Delta \theta_N \\ \Delta V_N/V_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \\ \\ S1 \\ \\ \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta Q_i \\ \Delta P_j \\ \Delta Q_j \end{bmatrix} \quad (22)$$

Luego según (10), se determina el valor de las variables de estado buscadas.

#### 4.1.2. Potencias de inyección necesarias en cada simulación

Los cambios de potencia activa y reactiva de inyección en las barras del sistema no siempre son variables independientes, ya que existen barras tipo PV donde la variable independiente es V y no Q, y existe la barra slack Vθ donde las variables independientes son V y θ en vez de Q y P. Esto implica que dependiendo del tipo de nodos extremos i y j de la rama en la que se simula la contingencia se deduce la cantidad de potencias de inyección que deberán calcularse. Así, para la simulación de la falla en una rama se necesitan calcular de una a cuatro potencias de inyección.

#### 4.2. FALLAS DE GENERADORES : (PÉRDIDA PARCIAL O TOTAL DE UN GENERADOR)

La desconexión de generadores es de relevancia dentro de las fallas posibles a presentarse en un sistema eléctrico, siendo tanto más importante cuando mayor sea la capacidad de generación del generador fallado. La salida de servicio de un generador produce un déficit tanto de potencia activa como de potencia reactiva en la red. Este déficit de potencias debe ser cubierto por el resto de los generadores que aún se encuentra en servicio, en forma

instantánea una vez producida la falla. Es decir que en el sistema eléctrico debe existir suficiente potencia de reserva que contemple esta eventualidad.

Los procesos de compensación y regulación que acontecen al salir de servicio un generador se desarrollan en cuatro etapas. Las dos primeras tienen una duración de algunos segundos y corresponden a la repartición electromagnética y electromecánica del golpe de potencia entre los generadores. Después tiene lugar la etapa de regulación primaria, mediante la cual la potencia que sale de servicio es repartida entre los generadores que continúan alimentando a la red.

Para tratar el problema en forma más sencilla se consideran en forma independiente la pérdida de potencia activa respecto de la reactiva.

#### 4.2.1. Pérdida de generación de potencia activa

Producida la falla, el déficit de potencia activa de generación será suministrado en un primer momento y si es posible por el resto de los generadores que quedan en servicio. Esta redistribución de potencia activa se realiza mediante el mecanismo automático de regulación primaria de cada generador, alcanzando un primer estado estacionario luego del transitorio provocado por la redistribución. Se pretende hallar el estado de operación estacionario alcanzado en estas condiciones en forma instantánea y automática después de ocurrida la falla. (primeros segundos)

Esta repartición de potencia se realiza en forma proporcional a la relación existente entre el coeficiente de potencia de cada generador y el coeficiente de potencia de la red. La medida que cuantifica el déficit de potencia ante la salida de servicio de un generador es la disminución de frecuencia. El comportamiento proporcional de la regulación de la turbina está caracterizado a través del estatismo  $S$  del generador.

#### 4.2.2. Pérdida de generación de potencia reactiva

Producida la salida de servicio de un generador la potencia reactiva de déficit también debe ser suministrada por el resto de los generadores que continúan en servicio y donde el reactivo es una variable dependiente (barras tipo PV), ya que las barras tipo PQ generador poseen el reactivo fijado en un determinado valor. Si la barra cuyo generador sale de servicio es tipo PQ generador, la variable  $Q$  es fijada en cero y si la barra es tipo PV no es correcto para continuar el cálculo mantener en el nodo el mismo valor de tensión que se había especificado antes de la contingencia, sino que corresponde modificarlo llevándolo a un valor acorde con la generación de potencia reactiva que toma el valor cero.

#### 4.2.3. Síntesis del esquema de cálculo

El esquema de cálculo implementado para realizar contingencias de generadores según esta metodología se muestra en la figura 4. Básicamente consiste en encontrar las correcciones a efectuar en las variables de estado resolviendo el sistema (9), pero considerando en este caso una matriz de sensibilidad reducida [S2] y un vector incógnita [DELPQ] distintos a los utilizados para contingencias de ramas. La matriz [S2] y el vector [DELPQ] se arman en función del tipo de barra generadora que sale de servicio y del número de unidades generadoras con regulación automática de carga que continúan en servicio. Las variaciones producidas en las generaciones activas se calculan según lo detallado en 4.2.1, mientras que la variación producida en la generación reactiva se tiene en cuenta de diferente forma dependiendo del tipo de barra generadora fallada. Si esta es tipo PQ generador se considera la variación de reactivo directamente en el vector [DELPQ] y si ésta es tipo PV se considera en el vector [DELPQ] una variación de tensión en la barra fallada encontrada en función de la variación de reactivo producida. Para llegar a la solución final se emplea un proceso iterativo de cálculo.

#### 4.3. DESCRIPCIÓN DEL ALGORITMO DE CÁLCULO DESARROLLADO

En las figuras 2, 3 y 4 se muestra en forma discreta las distintas etapas de cálculo del algoritmo desarrollado para simulación de contingencias de ramas y generadores, según la metodología basada en sensibilidades y potencias de inyección. La figura 1 es un diagrama de bloques del algoritmo completo. Este se ha realizado de tal manera que luego de una detección de los tipos de contingencias a simular y de hallar una matriz de sensibilidad [S1]' única que contiene todas las columnas de las matrices [S1] y [S2] que serán necesarias en cada simulación, permite simular una contingencia de rama o de generador utilizando diferentes módulos del programa. Así el bloque A representa el módulo para simular una contingencia definida de ramas y el bloque B representa el módulo para simular una contingencia definida de generadores. El proceso termina cuando se han evaluado todas las contingencias elegidas para la simulación. En las figuras 3 y 4 se muestran los bloques A y B desarrollados. Los mismos corresponden a la simulación de contingencias de ramas y de generadores respectivamente.

El tiempo de armado de la matriz [S1] o de la matriz [S2], según corresponda, a partir de la matriz [S1]' es mucho menor que el que llevaría calcularlas en cada simulación, ya que ésta es una tarea que requiere elevado tiempo de cálculo.

Finalmente se aclara que estos algoritmos permiten simular contingencias en todas las líneas, transformadores y generadores que se deseen, excepto las ramas que son cola

de línea para sistemas radiales y excepto el generador considerado como slack.

## 5. METODOLOGIA PARA SIMULAR CONTINGENCIAS BASADA EN EL METODO DE FLUJO DESACOPLADO RAPIDO

Para este algoritmo también la simulación de fallas de ramas (líneas y transformadores) y de generadores requieren un tratamiento diferente.

### 5.1. FALLAS DE RAMAS (LINEAS O TRANSFORMADORES)

#### 5.1.1. Formulación del modelo y del algoritmo

Para la deducción de este algoritmo se toma como punto de partida la versión polar del método de Newton, cuya expresión matricial es dada en (2). El primer paso se basa en el principio de descomposición P-θ/Q-V. Esto es despreñar las submatrices de acoplamiento [N] y [J] obteniéndose las siguientes ecuaciones matriciales separadas:

$$[\Delta P] = [H] * [\Delta \theta] \quad (23)$$

$$[\Delta Q] = [L] * [\Delta V/V] \quad (24)$$

Los elementos de las matrices jacobianas [H] y [L] se determinan derivando las ecuaciones (1), así:

$$\begin{aligned} H_{ij} &= L_{ij} = V_i \cdot V_j \cdot (G_{ij} \cdot \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}), \text{ para } i \neq j \\ H_{ii} &= -B_{ii} \cdot V_i^2 + Q_i \quad \text{y} \quad L_{ii} = -B_{ii} \cdot V_i^2 + Q_i, \text{ para } i=j \end{aligned} \quad (25)$$

Las ecuaciones (23) y (24) pueden resolverse alternativamente como un Newton desacoplado, reevaluando y retringularizando [H] y [L] en cada iteración. Si en ellas se considera adicionalmente que:

$$\cos \theta_{ij} = 1 \quad ; \quad G_{ij} \cdot \sin \theta_{ij} \ll B_{ij} \quad \text{y} \quad Q_i \ll B_{ii} \cdot V_i \quad (26)$$

las citadas ecuaciones quedan reducidas a :

$$[\Delta P] = [V \cdot B' \cdot V] * [\Delta \theta] \quad (27)$$

$$[\Delta Q] = [V \cdot B'' \cdot V] * [\Delta V/V] \quad (28)$$

Donde B' y B'' son elementos de la matriz admitancia [-B]. El proceso de descomposición y las formas algorítmicas finales se completan con:

- a) Omitiendo en [B''] los efectos de los transformadores transversales.
- b) Pasando al primer miembro, de las ecuaciones (27) y (28), los términos V que están adelante de B' y B'' en el segundo miembro.
- c) Eliminando la influencia del flujo reactivo en [Δθ] haciendo iguales a 1 p.u. los términos que están detrás de B' en el segundo miembro de la ecuación (27).

Con las simplificaciones y modificaciones antes mencionadas las ecuaciones finales del método quedan:

$$[\Delta P/V] = [B'] * [\Delta \theta] \quad (29)$$

$$[\Delta Q/V] = [B''] * [\Delta V] \quad (30)$$

Estas ecuaciones representan los modelos matemáticos de potencia activa y reactiva respectivamente del algoritmo. Las matrices [B'] y [B''] tienen las siguientes características: Sus elementos son reales, se conservan constantes para todo el ciclo iterativo de solución, son simétricas y ralas. Esto permite también utilizar para la resolución de las ecuaciones (29) y (30) métodos de factorización que son especialmente aptos para estos casos.

### 5.1.2. Planteo de salidas de ramas

La salida de una rama ij provoca en general cuatro cambios en la matrices de coeficientes de los modelos de potencia activa y reactiva, que son:

$$\begin{aligned} \Delta b'_{ii} = \Delta b'_{jj} &= -\Delta b'_{ij} = -\Delta b'_{ji} \\ \Delta b''_{ii} = \Delta b''_{jj} &= -\Delta b''_{ij} = -\Delta b''_{ji} \end{aligned} \quad (31)$$

El cambio en [B'] se puede expresar en forma matricial de la siguiente forma:

$$[B']_f = [B'] + \Delta b'_{ij} \cdot [MB'] \cdot [MB']^T \quad (32)$$

Donde:

- N : Número de barras del sistema.
- [MB'] : Vector columna de orden N. Todos sus elementos son nulos excepto el i=1 y el j=-1.
- [MB']<sup>T</sup> : Vector traspuesto de [MB'].
- [B']<sub>f</sub> : Matriz final, resultante de la modificación producida al simular la falla de una rama.

Por lo tanto el segundo sumando del segundo miembro representa una matriz cuadrada de orden N (igual orden que [B']) que posee todos sus elementos nulos excepto los ii y ij que son iguales a  $\Delta b'_{ij}$  y los ij y ji que son iguales a  $-\Delta b'_{ij}$ . Esta matriz constituye por consiguiente la matriz de modificaciones.

Para la salida de una rama la ecuación (29) se expresa por:

$$[B']_f \cdot [\Delta \theta]_f = [\Delta P/V] + ([B'] + \Delta b'_{ij} \cdot [MB'] \cdot [MB']^T) \cdot ([\Delta \theta] + [\Delta' \theta]) = [\Delta P/V] \quad (33)$$

Donde [ $\Delta' \theta$ ] es un vector de corrección de las variaciones de los ángulos de fase que tiene en cuenta la salida de la rama ij. A partir de (33) se expresa:

$$([\Delta \theta] + [\Delta' \theta]) = ([B'] + \Delta b'_{ij} \cdot [MB'] \cdot [MB']^T)^{-1} \cdot [\Delta P/V] \quad (34)$$

Expresando [B']f a través de la fórmula de Woodbury se puede escribir (34) como:

$$\begin{aligned} & [ \Delta\theta ] + [ \Delta'\theta ] = \\ & = \{ [B']^{-1} - (1/\Delta b'_{ij} + [MB']^T [B']^{-1} [MB']) \} \cdot [B']^{-1} [MB']^T [CB'] \\ & \cdot [ \Delta P/V ] \end{aligned} \quad (35)$$

A partir de esta ecuación y teniendo en cuenta (29) se despeja [Δ'θ], el que se puede expresar como:

$$[ \Delta'\theta ] = - (1/\Delta b'_{ij} + [MB']^T [B']^{-1} [MB']) \cdot [B']^{-1} [MB']^T [ \Delta\theta ] \quad (36)$$

simplificando (36) se tiene:

$$[ \Delta'\theta ] = - (1/\Delta b'_{ij} + ZB'_{i-1} - ZB'_{j-1}) \cdot (\Delta\theta_i - \Delta\theta_j) \cdot [ZB'] \quad (37)$$

$$\text{Donde: } [ZB'] = [B']^{-1} \cdot [MB'] \quad (38)$$

y ZB'<sub>i</sub> y ZB'<sub>j</sub> : son elementos escalares del vector [ZB'].

De la misma forma se obtiene para el modelo reactivo:

$$[ \Delta'V ] = - (1/\Delta b''_{ij} + ZB''_{i-1} - ZB''_{j-1}) \cdot (\Delta V_i - \Delta V_j) \cdot [ZB''] \quad (39)$$

$$\text{Donde: } [ZB''] = [B'']^{-1} \cdot [MB''] \quad (40)$$

y ZB''<sub>i</sub> y ZB''<sub>j</sub> son elementos del vector [ZB''].

Se destaca que Δθ<sub>i</sub> y Δθ<sub>j</sub> son elementos de [Δθ] y ΔV<sub>i</sub> y ΔV<sub>j</sub> son elementos de [ΔV]. Los vectores [Δθ] y [ΔV] corresponden a la solución de las ecuaciones (29) y (30) para el caso base (prefalla). Las matrices [B'] y [B''] permanecen constantes durante todo el ciclo iterativo y para todas las simulaciones efectuadas. Las ecuaciones (37) y (39) son las formas finales que adoptan las ecuaciones para el cálculo de las correcciones [Δ'θ] y [Δ'V]. Estas correcciones se calculan en forma simple y directa ya que las matrices [B'] y [B''] se arman y factorizan una única vez al principio del proceso de solución. Debido a las hipótesis simplificativas realizadas al deducir los modelos de potencia activa y reactiva dichas correcciones permiten lograr una primera aproximación del valor final y será necesario establecer un esquema iterativo adecuado para alcanzar la solución final.

Finalmente el estado de operación simulado se encuentra actualizando en cada caso el estado de operación básico mediante estas correcciones.

## 5.2. FALLAS DE GENERADORES : (PERDIDA PARCIAL O TOTAL DE UN GENERADOR)

La simulación de contingencias de generadores según esta metodología también se basa en considerar en forma independiente la pérdida de potencia activa respecto de la



de reactiva. Para la pérdida de potencia activa se realizan las mismas consideraciones que en 4.2.1. y para considerar la pérdida de potencia reactiva se modifica la tensión en la barra fallada a través de un coeficiente aproximado  $S_k$  de sensibilidad entre generación de potencia reactiva y módulo de tensión, calculado en el estado de operación base.

### 5.3. DESCRIPCION DEL ALGORITMO DE CALCULO DESARROLLADO

En este algoritmo se ensayaron varios esquemas iterativos con el objeto de establecer cual es el más adecuado desde el punto de vista de la relación tiempo de cálculo-precisión. De todos ellos el que mejor cumple con la misma es el que se describe en el diagrama de bloques de la figura 5.

Luego de efectuada la lectura de datos se procede al armado de las matrices  $[Y]$ ,  $[B']$  y  $[B'']$ . Luego se realiza un ordenamiento óptimo de las filas o columnas de las matrices  $[B']$  y  $[B'']$  con el objeto de reducir a un mínimo la creación de nuevos elementos durante el proceso de factorización. A continuación se realiza la factorización propiamente dicha. En este punto las matrices están en condiciones de ser utilizadas para resolver los sistemas de ecuaciones (29) y (30) a través de un simple proceso de sustitución directa e inversa. Posteriormente se identifica que tipo de contingencia se va a simular (rama o generador) y comienza un esquema iterativo de cálculo a fin de encontrar la solución. A continuación se forman los vectores  $[MB']$  y  $[MB'']$  y se resuelven las ecuaciones (38) y (40). La solución de estas ecuaciones se mantiene inalterable durante todo el proceso iterativo en cada salida a simular. Luego se inicializan  $[\theta_h]$  y  $[V_h]$  con los valores del estado básico del sistema poniendo en cero el contador de iteraciones  $h$ . En el bloque siguiente se arma el vector  $[\Delta P/V]$  de la ecuación (29) y se resuelve ésta con el objeto de obtener los valores actualizados de  $\Delta \theta_i$  y  $\Delta \theta_j$  a ser utilizados en la ecuación de corrección (37). A continuación se calcula la corrección  $[\Delta \theta_h]$  según la ecuación (37) lo que permitirá actualizar  $[\theta_h]$ . Se realiza luego el control de convergencia y si es satisfecho se pone en cero la variable de control LP que indica tal situación, finalizando allí el proceso iterativo para el modelo de potencia activa. Un cálculo similar se realiza para encontrar la corrección y actualización de los módulos de tensión  $[V_h]$ . También se verifica la convergencia y si se ha satisfecho se pone en cero la variable LQ que indica tal situación. Como se puede observar en el esquema iterativo se van actualizando en forma alternada  $[\theta]$  y  $[V]$  usando en cada caso los valores actualizados del otro. Ello se realiza hasta alcanzar la convergencia en uno de ellos y luego se itera sólo sobre el restante hasta lograrla también en él. Cuando ella se ha alcanzado se pasa a calcular finalmente los flujos por las líneas y transformadores. Luego se analiza el caso siguiente o si no existen más casos para analizar se da por terminado el proceso.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] TINNEY, W.F. ; HART, C.E.  
Power flow solution by Newton's method  
IEEE TRANS ON PAS, Vol. 86, Nov. 1967, pp.  
1449-1460
- [2] STOTT, B.  
Decoupled Newton load flows  
IEEE TRANS ON PAS, Vol. 91, Sep-Oct. 1972, pp.  
1955-1957
- [3] STOTT, B. ; ALSAC, O.  
Fast decoupled load flow  
IEEE PES Summer Meeting, Vancouver, Canada, July 1973,  
pp. 859-869
- [4] PESCHON et. al.  
Sensitivity in power systems  
IEEE TRANS ON PAS, Vol. 87, 1968, pp. 1687-1696
- [5] SACHDEV, M.S.; IBRAHIM, S.A.  
A Fast Approximate Technique for Outage Studies in  
Power System Planning and Operation  
IEEE PES Summer Meeting, Vancouver, Canada, July 1973,  
pp.1133-1142
- [6] MAMANDUR K.R.C.; BERG G.J.  
Efficient simulation of line and transformer outages  
in power systems.  
IEEE-TRANS ON PAS, Vol. 101, Nro. 10, Oct. 1982,  
pp. 3733-3741
- [7] RIVERA, J.; MUCHING, I.; PERALTA, W.; NOZICA, R.;  
SERRANO, B.  
Análisis de contingencias en líneas y generadores como  
herramienta fundamental para el cálculo de seguridad  
en redes de alta tensión.  
Xº Congreso Panamericano de Ingeniería Mecánica,  
Eléctrica y Ramas Afines (Xº COPIMERA), 1-5/10/1984,  
Bs. As., Argentina
- [8] DOÑA, V.; ANDREONI, A.; RIVERA, J.  
Simulación de fallas en líneas y transformadores  
aplicada al control preventivo de sistemas de  
potencia.  
2da. Reunión Nacional de Sistemas Eléctricos (2da.  
RENASE), 9-13/11/1987, Bs. As., Argentina

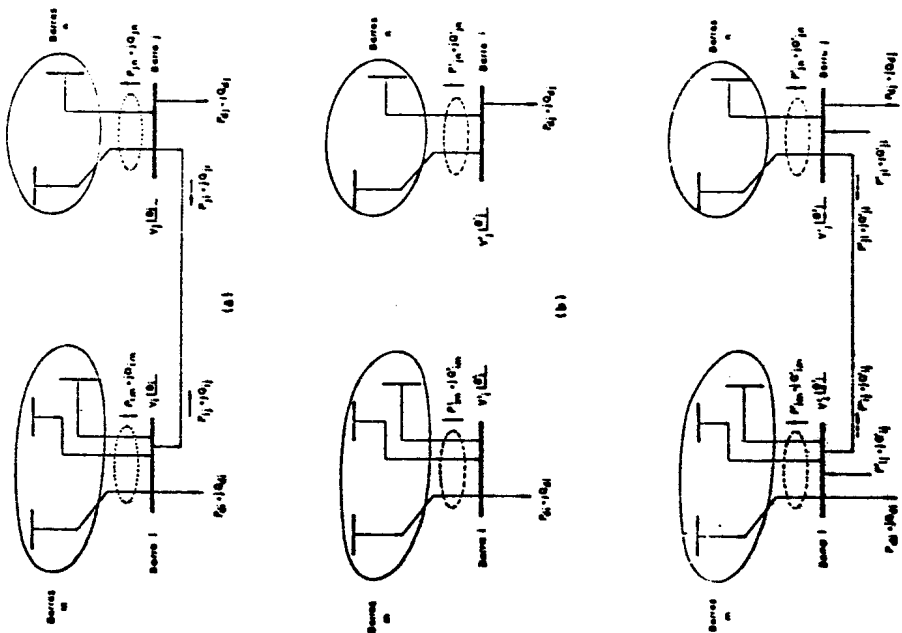


Figura 1 : Simulación de la falla de una rama  
 (a) Estado inicial del sistema (pre-falla)  
 (b) Estado final del sistema (post-falla)  
 (c) Estado final simulado del sistema (post-falla)

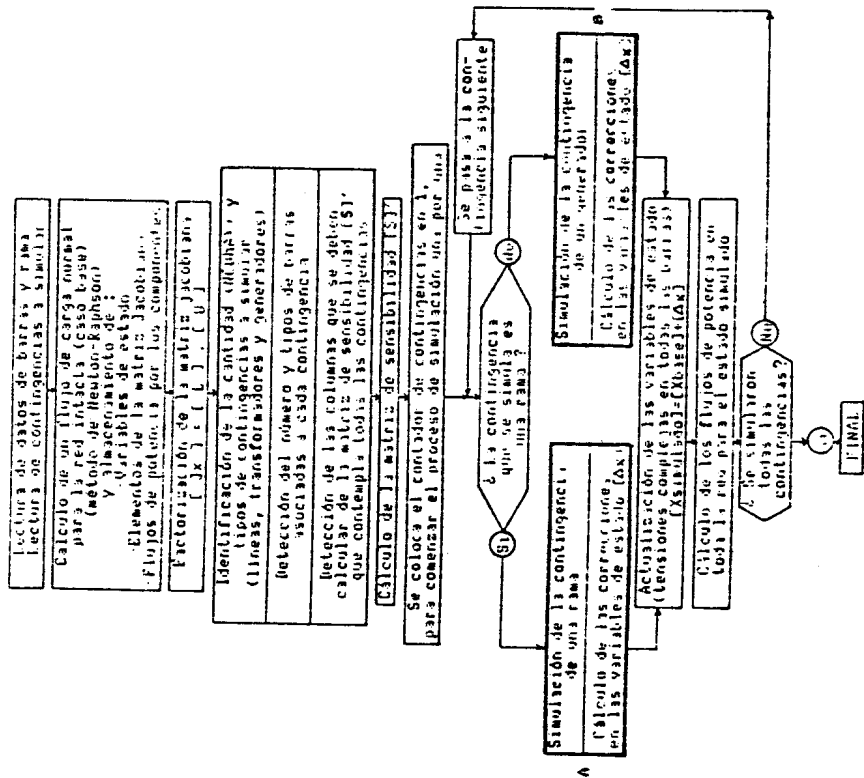


Figura 2 : Diagrama en bloques del algoritmo completo de simulación de contingencias tanto para rama como para generadores. (M.A.)

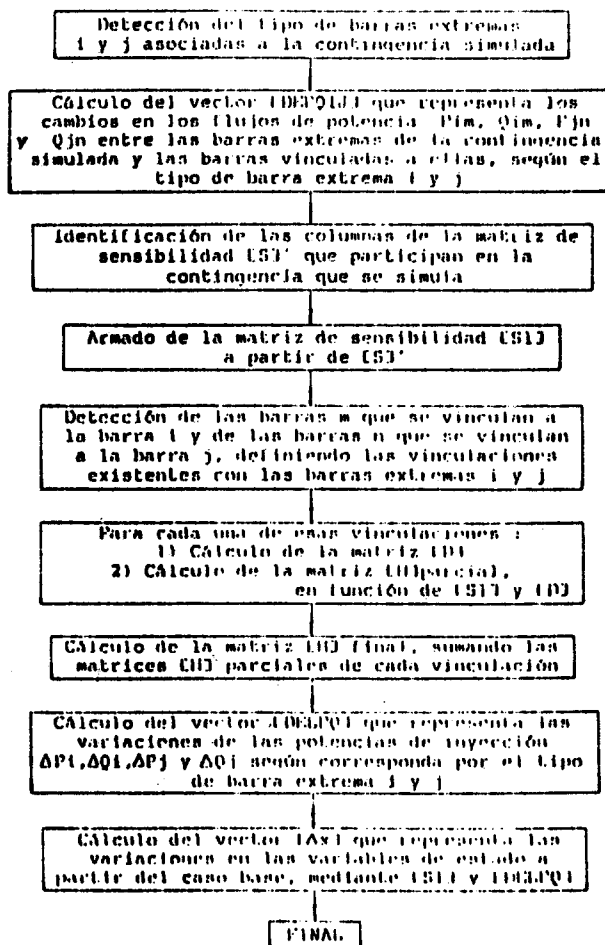


Figura 3 : Diagrama en bloques desarrollado que representa el bloque A para simulación de contingencias de cargas.

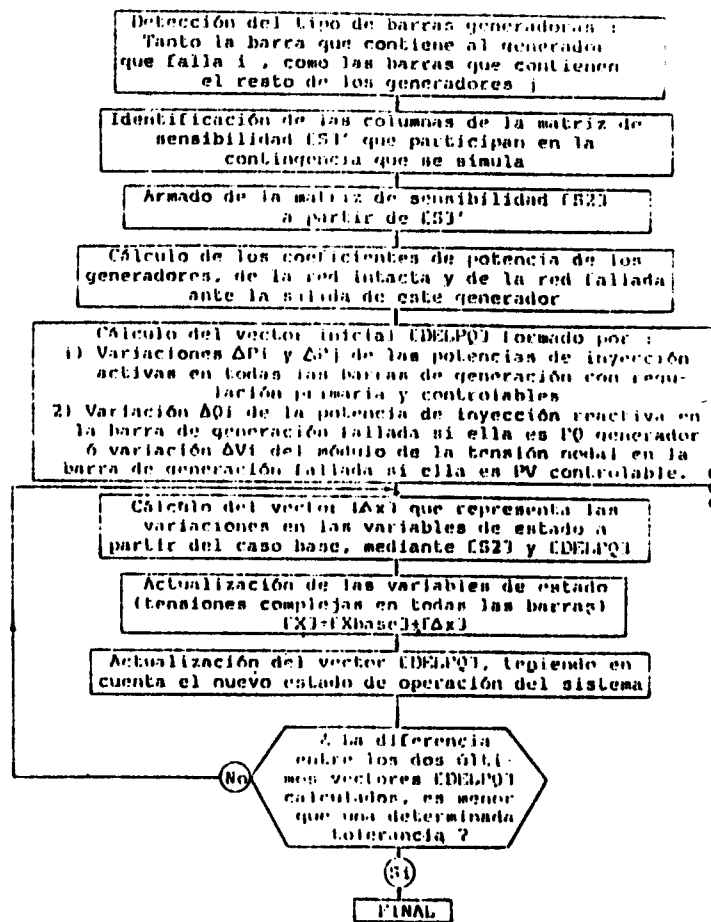


Figura 4 : Diagrama en bloques desarrollado que representa el bloque B para simulación de contingencias de generadores.

