

CAPÍTULO 10

ANÁLISIS DE CONTINGENCIAS

10.1 Análisis de contingencias

Los análisis de contingencias forman parte de un estudio más general, de seguridad, de los sistemas de potencia. De este estudio puede hacer parte el sistema de generación y transmisión, y eventualmente el sistema de distribución.

Un sistema de potencia debe tener la habilidad de continuar operando bajo condiciones de falla. Esto sin embargo es difícil de lograr por los sobrecostos que conlleva. En lugar de esto, se considera que un sistema debe operar normalmente ante condiciones de contingencia simple, esto es, ante la aparición de un evento simple ($n-1$), o lo que es lo mismo, ante la salida de una línea, un transformador, un generador o una carga. Después de la salida de un elemento del sistema, este debe regresar a un estado de estabilidad en un nuevo punto de operación, dentro de los límites de voltaje y capacidad de los elementos permitidos.

Los análisis de contingencias estudian los efectos sobre el sistema y la respuesta de este ante uno de los siguientes problemas:

- a. Sobrecarga térmica
- b. Desviación de voltaje
- c. Pérdida de carga
- d. Estabilidad de voltaje
- e. Corriente de corto circuito excesiva y desviaciones de frecuencia

10.2 Definición de Contingencia

Antes de realizar un análisis de contingencia se debe definir el nivel y el tipo de contingencia que se considera aceptable para el sistema. Un criterio muy utilizado es considerar aceptable

que el sistema opere normalmente para contingencia simple (n-1) y que no sufra de grandes inestabilidades bajo una segunda condición de contingencia.

Para reducir el esfuerzo computacional requerido en estos estudios es necesario implementar una técnica que limite los casos que deben ser analizados, considerando sólo los que efectivamente pueden causar problemas. Esto puede lograrse con un adecuado ‘ranking de contingencias’, el cual se construye a partir del cálculo de un índice de contingencia para cada caso.

10.3 Ranking de Contingencia

La necesidad de cada caso puede ser medida a través de un índice de contingencia, el cual permite construir una lista ordenada que muestra el nivel de operación insegura que produce cada evento. las contingencias que tienen índices más grandes son denominadas “contingencias críticas” y aparecen en la parte superior de la lista. La lista ordena las contingencias desde la más severa (más importante) hasta la menos severa (menos importante).

El ‘ranking de contingencias’ puede ser de dos tipos:

- a. exacto
- b. aproximado

El exacto requiere la convergencia de flujos a,c para cada contingencia, el aproximado puede ser calculado usando flujo d,c o flujos a,c desacoplados. El método aproximado se prefiere porque la convergencia completa del flujo a,c vuelve económica y técnicamente inviable el análisis en sistemas de gran tamaño.

De otro lado, el ‘ranking de contingencias’ puede estar basado en uno de los siguientes criterios:

- a. Flujos de carga en líneas/trafos
- b. Voltajes nodales

Debido a que no existe correlación entre los dos criterios, se deben usar ambos, sin embargo, deben manejarse en listas de ranking separadas.

Para realizar el ‘ranking’ de contingencias se debe calcular un “índice de contingencia”, el cual es una función matemática que describe el estado (bueno o malo) del sistema a través de un valor continuo. Un índice adecuado debe satisfacer dos condiciones:

- a. Confiabilidad: un caso crítico no debe ser mal rankiado.
- b. Eficiencia: rápida evaluación de casos.

La calidad del índice de contingencias debe a su vez cumplir dos requisitos:

- Expresar de manera adecuada el impacto total de la contingencia (efecto global)
- Reconocer adecuadamente el grado de severidad relativa de las contingencias.

El índice de contingencia es una cantidad escalar que toma la siguiente forma general:

$$J = \sum_{i=1}^l \frac{W_i}{m} \left(\frac{f_i}{f_{i_{max}}} \right)^m$$

donde:

f_i es una función escalar que representa la variable del sistema evaluado: flujo de carga o voltaje nodal, con valor máximo $f_{i_{max}}$.

Ejemplo:

$$\frac{f_i}{f_{i_{max}}} = \frac{P_i}{P_{i_{max}}} \quad \text{ó} \quad \frac{f_i}{f_{i_{max}}} = \frac{\Delta V_i}{\Delta V_{i_{max}}}$$

- m es exponente de la relación $\frac{f_i}{f_{i_{max}}}$ el cual se sugiere, en la literatura especializada, en un valor de 2 o mayor, y entero. También se recomienda que sea par.
- W_i es el factor de peso que enfatiza la severidad de alguna contingencia sobre las demás. El peso está asociado a cada línea/trafo en flujos de potencia y cada nodo en voltajes nodales.

Una vez determinado el índice de contingencia para los n casos resultantes en un sistema de potencia donde se considera la salida de n elementos, uno a la vez, se ordenan de mayor a menor y se verifica que los primeros lugares aparezcan los casos más severos que corresponden a aquellos donde han ocurrido violaciones de límites de capacidad de transmisión o transformación y de límites superior e inferior de voltajes nodales. Si en los primeros lugares aparecen casos donde no hubo violaciones de límites y los casos donde hubo violaciones aparecen en lugares intermedios o bajos de la lista, deben ajustarse los factores de peso W_i correspondientes a los elementos o nodos donde hubo violación de límites, aumentando su valor, de tal forma que al recalcular los índices de contingencias para los n casos, estos eventos aparezcan en el tope de la lista y en orden de severidad.

Ejemplo: Usando el método de flujo de carga d.c determine los índices de contingencia de potencia activa para el sistema del ejercicio 9.2 del libro de Grainqer - Stevenson. Asuma $P_{max}=150\text{MW}$ para las líneas.

Condición inicial: Todos los elementos en operación.

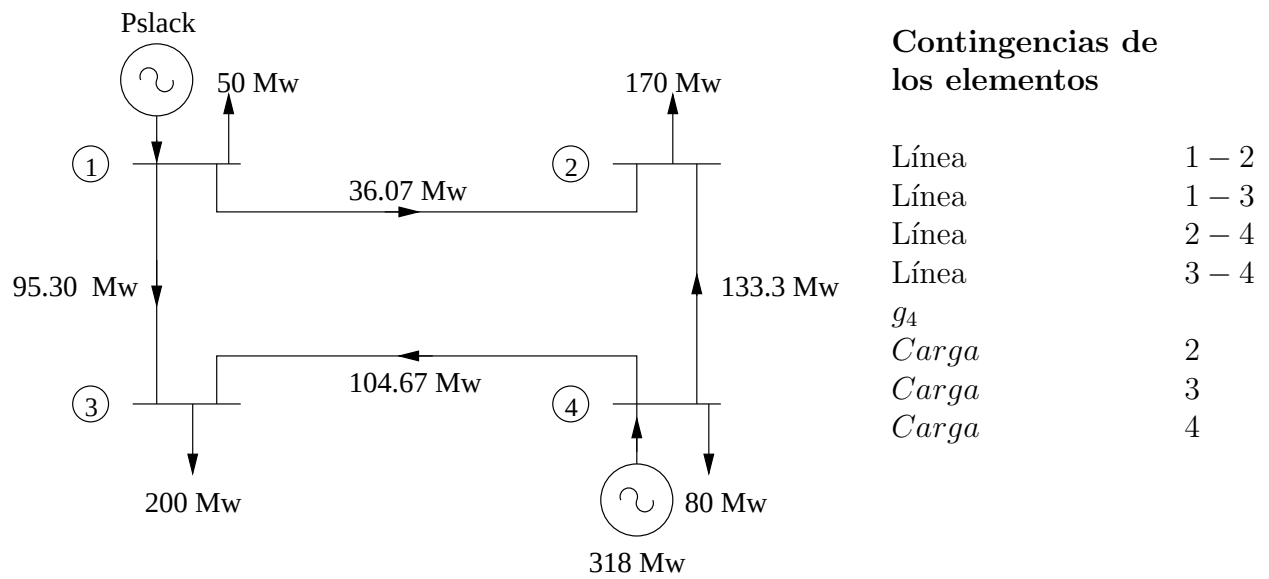


Figura 10.1: Operación normal del sistema

* no se considera nodo slack ni su carga para contingencias.

Caso 1: evento simple $\rightarrow$ salida de línea 1-2:

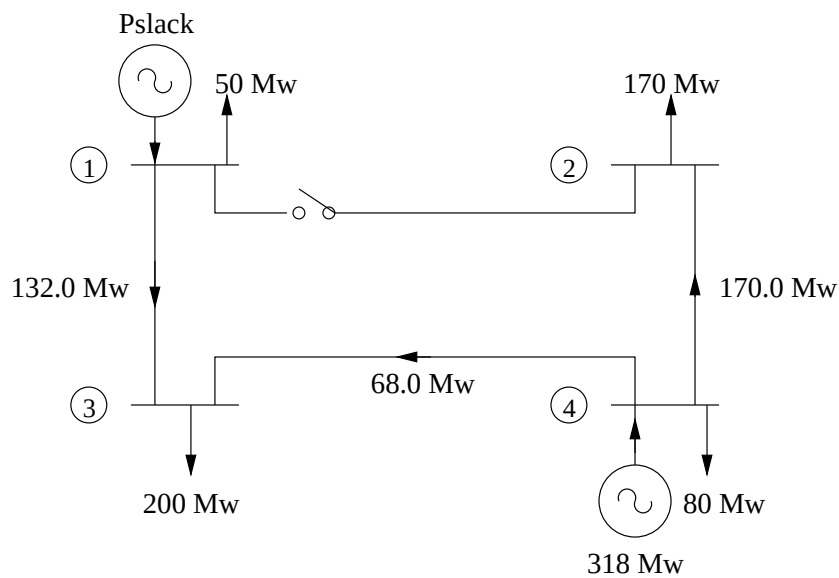


Figura 10.2: Salida de la línea 1-2

Se usará un factor $m=2$ y factores de peso $W_i=1$ para todas las líneas, por lo tanto, la formula general será:

$$J_p = \frac{W_{12}}{2} \left(\frac{P_{Linea\ 1-2}}{P_{Linea\ 1-2max}} \right)^2 + \frac{W_{13}}{2} \left(\frac{P_{Linea\ 1-3}}{P_{Linea\ 1-3max}} \right)^2 + \frac{W_{24}}{2} \left(\frac{P_{Linea\ 2-4}}{P_{Linea\ 2-4max}} \right)^2 + \frac{W_{34}}{2} \left(\frac{P_{Linea\ 3-4}}{P_{Linea\ 3-4max}} \right)^2$$

Con $W_{12} = W_{13} = W_{24} = W_{34} = 1$

De acuerdo con esto, para el primer caso se tiene:

$$J_{P_1} = \frac{1}{2} \left(\frac{0}{150} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{132}{150} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{170}{150} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{68}{150} \right)^2 = 1.13$$

Caso 2: evento simple $\rightarrow$ salida de línea 1-3:

$$J_{P_2} = \frac{1}{2} \left(\frac{132}{150} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{0}{150} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{38}{150} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{200}{150} \right)^2 = 1.308$$

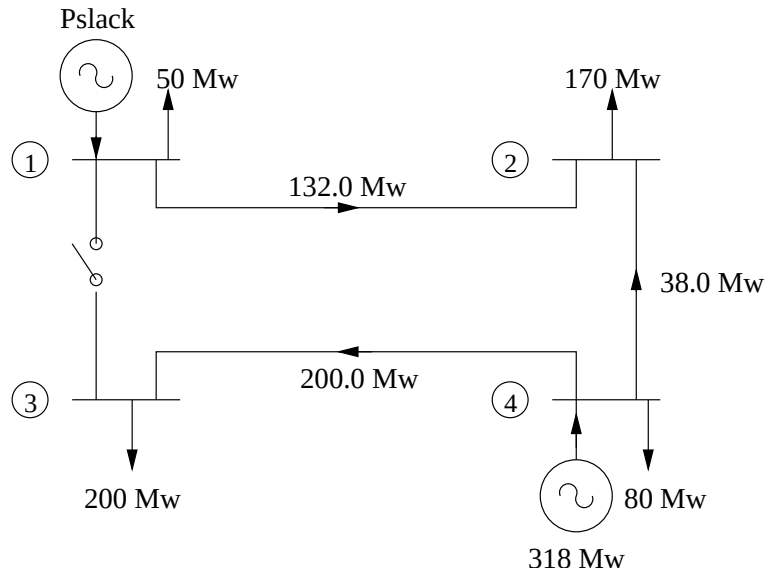


Figura 10.3: Salida de la línea 1-3

Caso 3: evento simple $\rightarrow$ salida de línea 2-4:

$$J_{P_3} = \frac{1}{2} \left(\frac{170}{150} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{38}{150} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{0}{150} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{238}{150} \right)^2 = 1.93$$

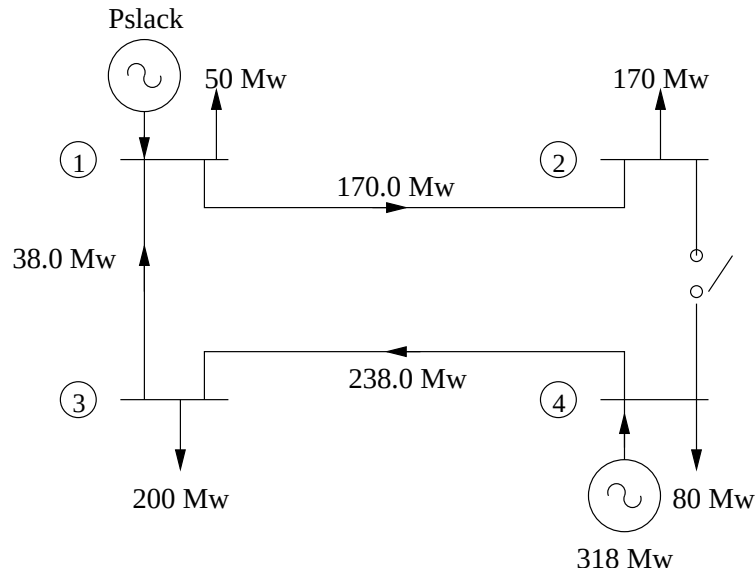


Figura 10.4: Salida de la línea 2-4

Caso 4: evento simple $\rightarrow$ salida de línea 3-4:

$$J_{P_4} = \frac{1}{2} \left(\frac{68}{150} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{200}{150} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{238}{150} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{0}{150} \right)^2 = 2.25$$

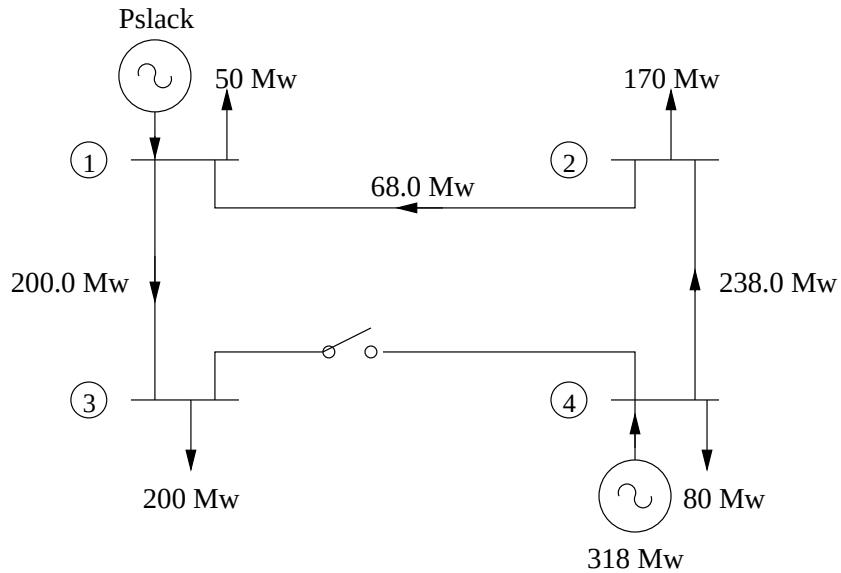


Figura 10.5: Salida de la línea 3-4

Caso 5: evento simple $\rightarrow$ salida generador g_4 :

$$J_{P_5} = \frac{1}{2} \left(\frac{206.35}{150} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{241.97}{150} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{37.63}{150} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{44.03}{150} \right)^2 = 2.32$$

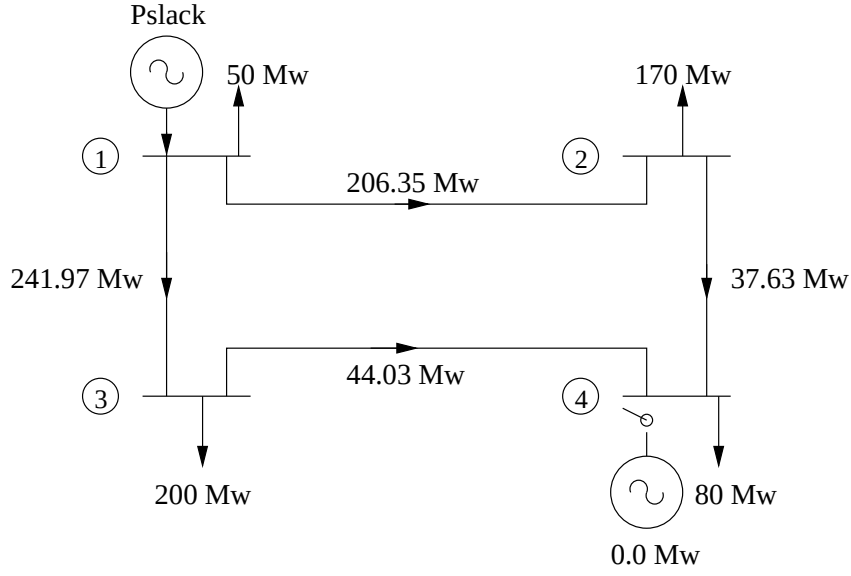


Figura 10.6: Salida del generador del nodo 4

Caso 6: evento simple $\rightarrow$ salida de carga en el nodo 3:

$$J_{P_6} = \frac{1}{2} \left(\frac{81.39}{150} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{39.84}{150} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{87.87}{150} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{150.16}{150} \right)^2 = 0.855$$

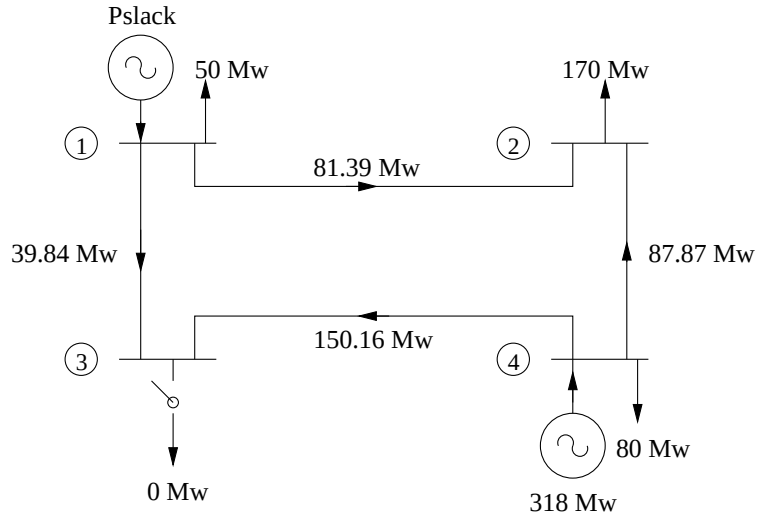


Figura 10.7: Salida de carga del nodo 3

De forma similar se calcula:

Caso 7: evento simple $\rightarrow$ salida de carga en el nodo 3: $\Rightarrow J_{P_7} = 0.8527$

Caso 8: evento simple $\rightarrow$ salida de carga en el nodo 4: $\Rightarrow J_{P_8} = 1.212$

Ranking de Contingencias:

1. $J_{P_5} = 2.32 \rightarrow$ salida g_4
2. $J_{P_4} = 2.25 \rightarrow$ salida línea 3 – 4
3. $J_{P_3} = 1.93 \rightarrow$ salida línea 2 – 4
4. $J_{P_2} = 1.30 \rightarrow$ salida línea 1 – 3
5. $J_{P_8} = 1.21 \rightarrow$ salida de carga P_{d4}
6. $J_{P_1} = 1.12 \rightarrow$ salida línea 1 – 3
7. $J_{P_7} = 0.0856 \rightarrow$ salida de carga P_{d3}
8. $J_{P_6} = 0.085 \rightarrow$ salida de carga P_{d2}

Si el ranking anterior refleja la severidad de las contingencias de mayor a menor, se resuelven los k primeros casos (el operador del sistema decide cuanto vale k). Si no es as, se ajustan los pesos y se recalculan los índices.