4.2.3 Falta Doble sobre Líneas diferentes

Esquema General:

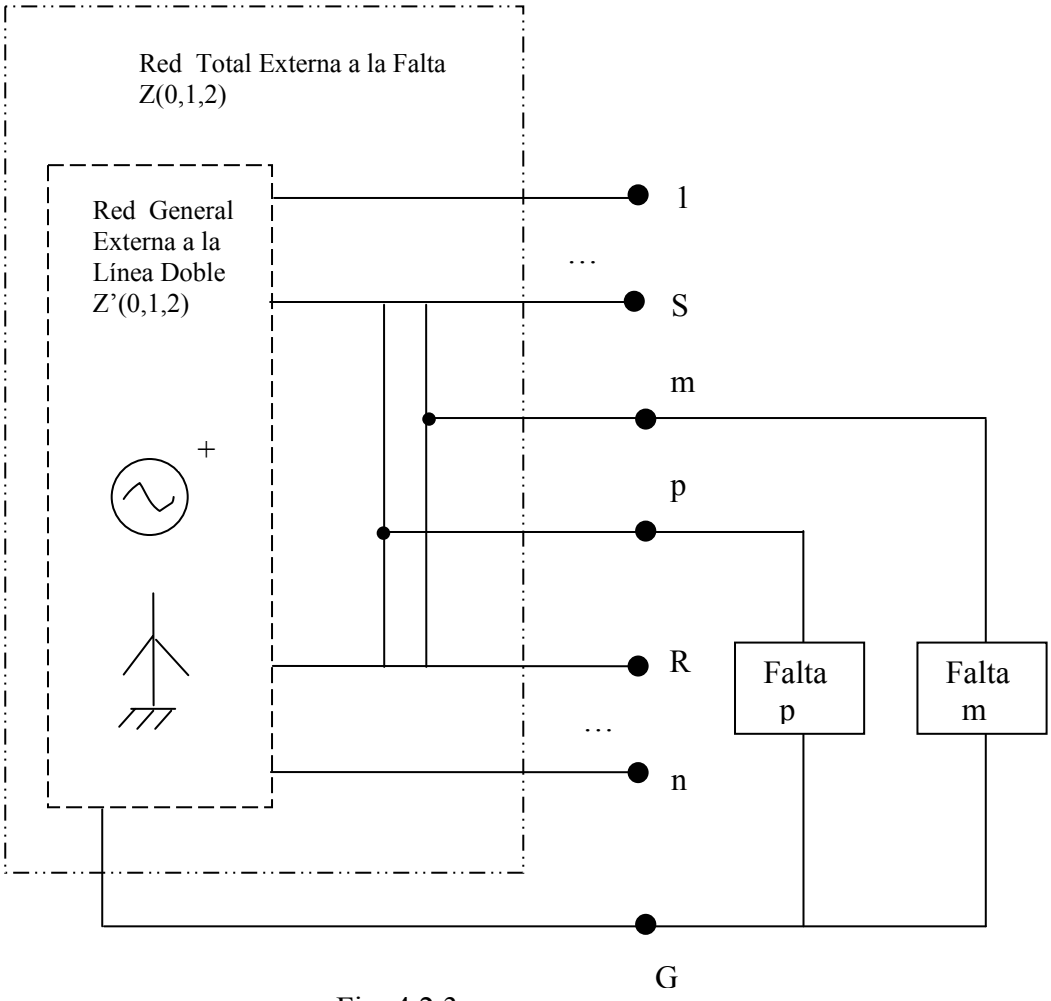

Fig. 4.2.3.a

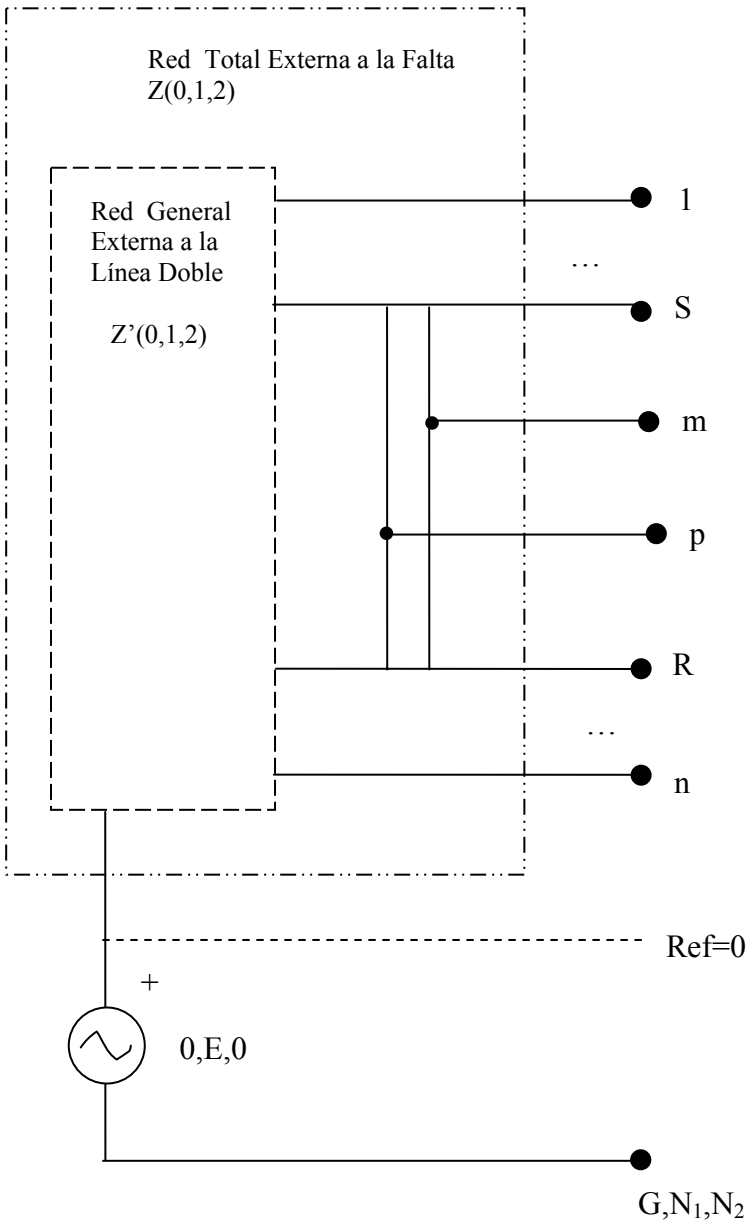

Fig. 4.2.3.b

En lo que sigue se desarrollan los fundamentos de los programas:
PC124 (Opción Falta Doble)
PG124c, PG124ic
PG124n, PG124ni
PG124iTf
PG124co
La nomenclatura de estas denominaciones se explica en el Aptdo. 4.1 de esta Memoria.

Sustituyendo la Red General Externa a la Línea Doble por su Equivalente de Impedancias Fuente- Transferencia:

Caso 1: Impedancia de Transferencia Finita

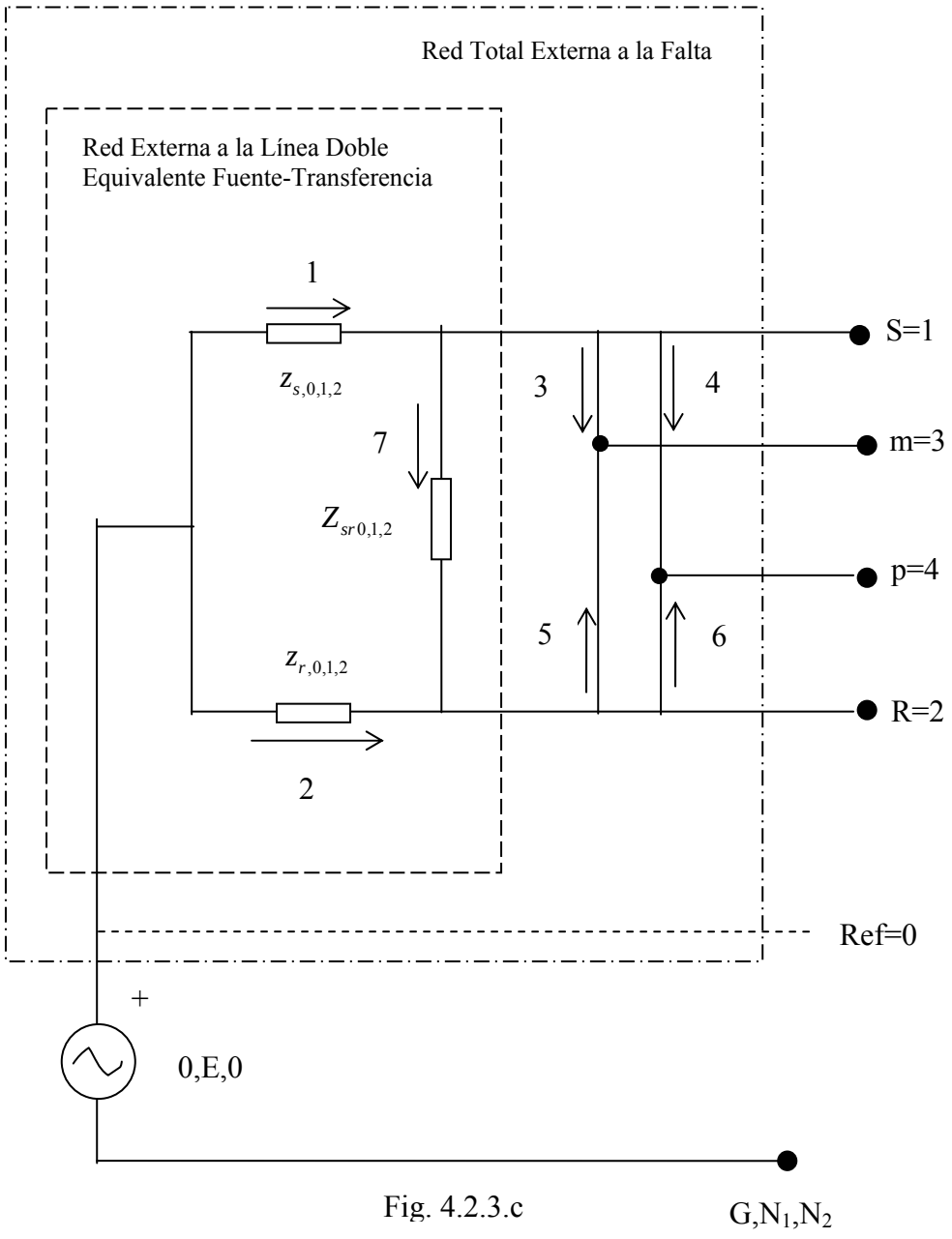

Fig. 4.2.3.c

Red Total Externa a la Falta:

- Numerar las Barras
  Barra 1= S
  Barra 2 = R
  Barra 3 = Punto de la Falta m
  Barra 4 = Punto de la Falta p

- Numerar y Orientar los Elementos
  Elemento 1 = Ref-1
  Elemento 2 = Ref-2
  Elemento 3 = 1-3
  Elemento 4 = 1-4
  Elemento 5 = 2-3
  Elemento 6 = 2-4
  Elemento 7 = 1-2

Matriz de Incidencia Elemento-Barra de la Red Total Externa a la Falta (Sec. 0,1,2):

$$M_{inc} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Secuencia 0:

Z_0 = Matriz de Impedancia de Barras de la Red Total Externa a la Falta (Sec. 0)

Determinación de Z_0:

Conocidos:

- z_{s0}, z_{sr0}, z_{r0}
- Datos de la Línea Doble a la Secuencia 0
- Posición de la Falta (m,p)

z_{e0} = Matriz Primitiva de Impedancia de la Red Total Externa a la Falta (Sec. 0)
(Elemento-Elemento)
Incluye las Impedancias Propias y Mutuas de los distintos Elementos.

Se consideran dos casos: $m \leq p$, $m>p$

Caso m ≤ p :

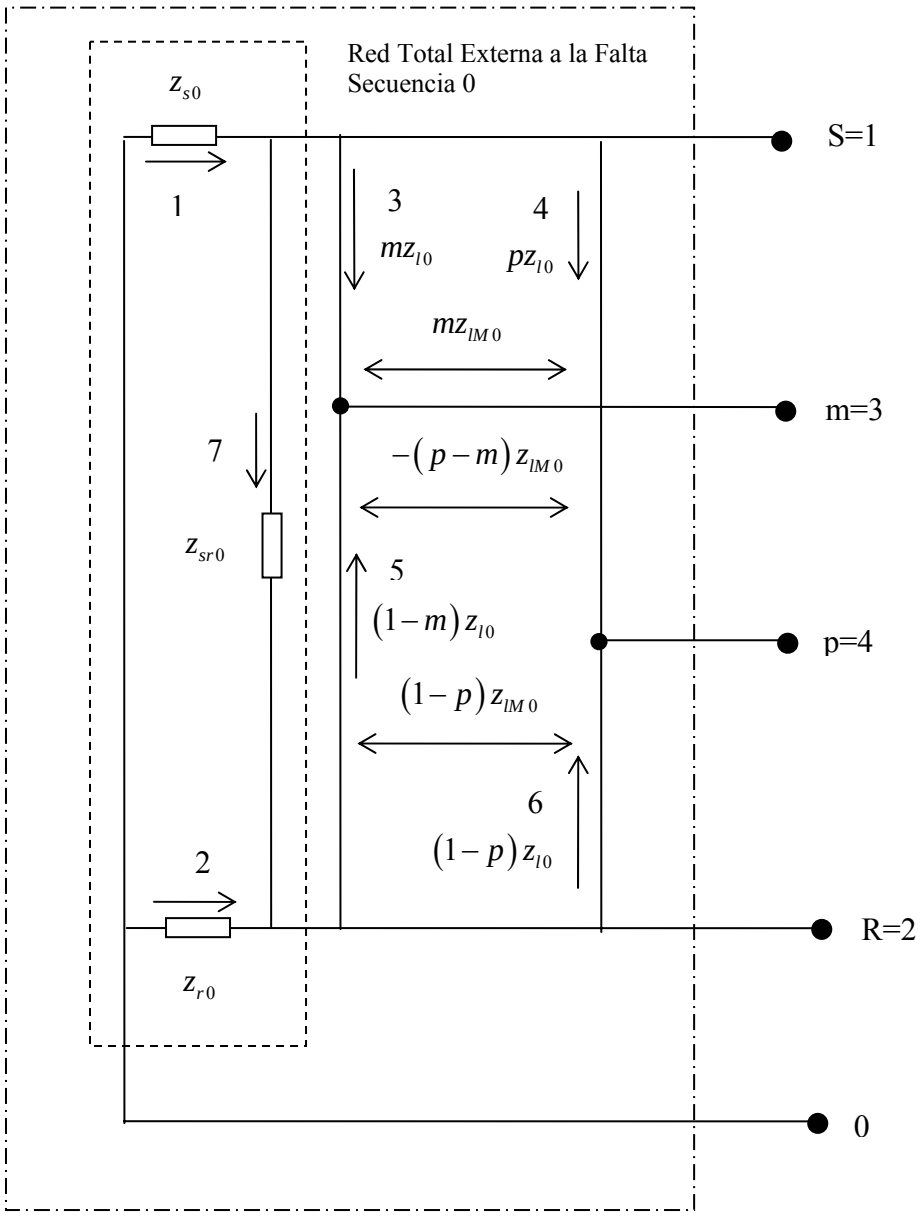

Fig. 4.2.3.d

$$z_{e0} = \begin{bmatrix} z_{s0} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & z_{r0} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & mz_{l0} & mz_{lM0} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & mz_{lM0} & pz_{l0} & -(p-m)z_{lM0} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -(p-m)z_{lM0} & (1-m)z_{l0} & (1-p)z_{lM0} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (1-p)z_{lM0} & (1-p)z_{l0} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & z_{sr0} \end{bmatrix}$$

Caso m > p

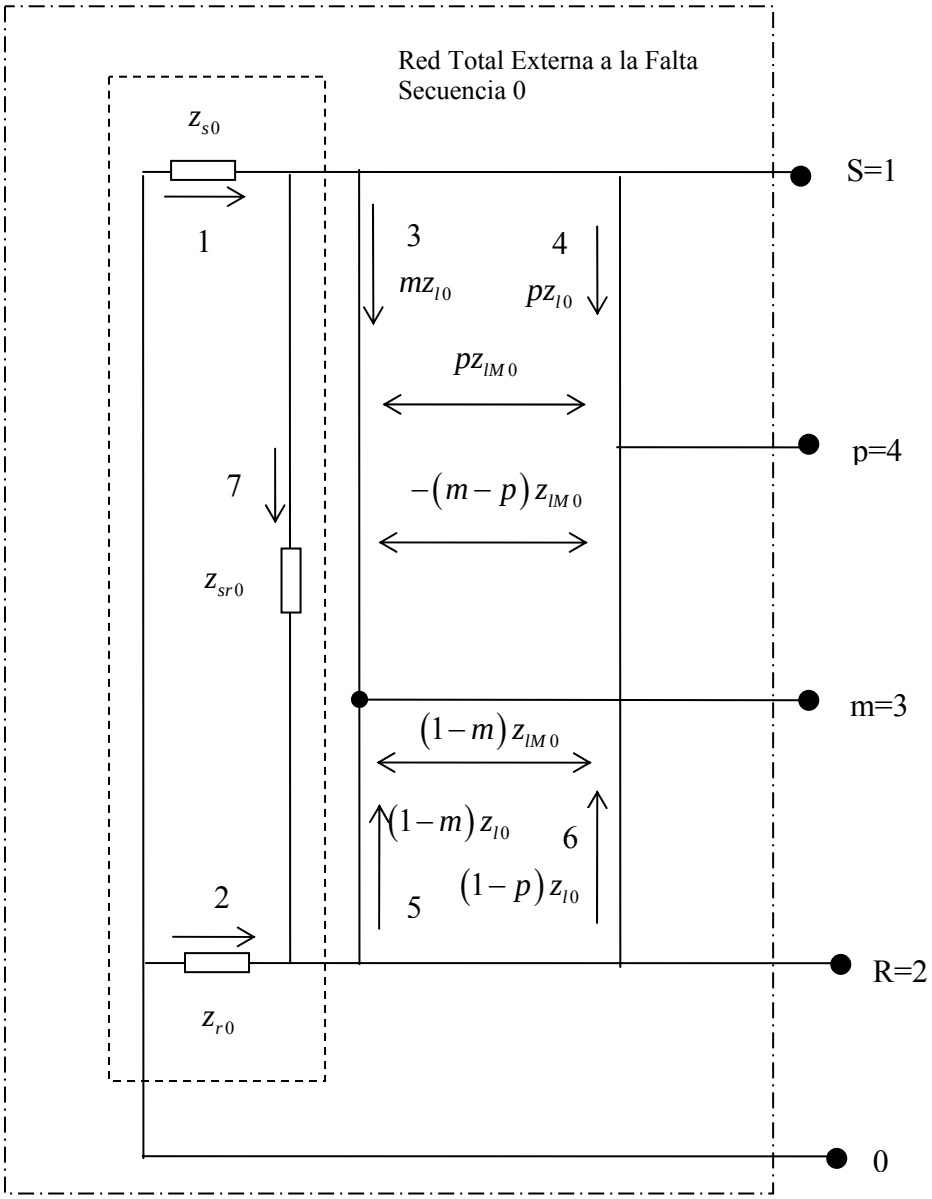

Fig. 4.2.3.e

$$z_{e0} = \begin{bmatrix} z_{s0} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & z_{r0} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & mz_{l0} & pz_{lM0} & 0 & -(m-p)z_{lM0} & 0 \\ 0 & 0 & pz_{lM0} & pz_{l0} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (1-m)z_{l0} & (1-m)z_{lM0} & 0 \\ 0 & 0 & -(m-p)z_{lM0} & 0 & (1-m)z_{lM0} & (1-p)z_{l0} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & z_{sr0} \end{bmatrix}$$

En uno y otro caso, independientemente de los valores de m,p: $Z_0 = \left(M_{inc}^t z_{e0}^{-1} M_{inc}\right)^{-1}$

Secuencia 1:

Z_1 = Matriz de Impedancia de Barras de la Red Total Externa a la Falta (Sec. 1)

Determinación de Z_1:

Conocidos:

- z_{s1}, z_{sr1}, z_{r1}
- Datos de la Línea Doble a la Secuencia 1
- Posición de la Falta (m,p)

z_{e1} = Matriz Primitiva de Impedancia de la Red Total Externa a la Falta (Sec. 1)
(Elemento-Elemento)
Incluye las Impedancias Propias de los distintos Elementos.

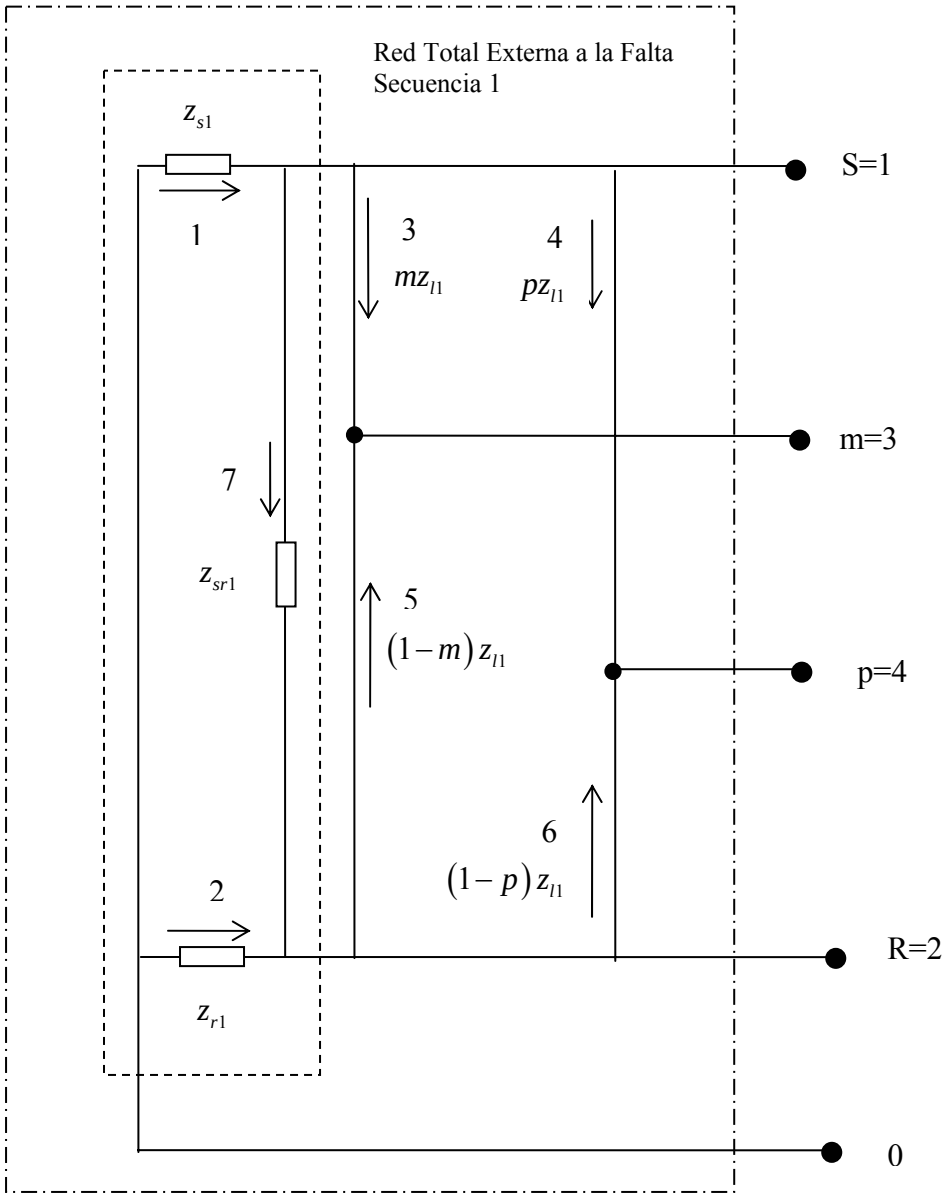

Fig. 4.2.3.f

$$z_{e1} = \begin{bmatrix} z_{s1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & z_{r1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & mz_{l1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & pz_{l1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (1-m)z_{l1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (1-p)z_{l1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & z_{sr1} \end{bmatrix}$$

$$Z_1 = \left(M_{inc}^{t} z_{e1}^{-1} M_{inc} \right)^{-1}$$

Secuencia 2:

Z_2 = Matriz de Impedancia de Barras de la Red Total Externa a la Falta (Sec. 2)

Determinación de Z_2:

Conocidos:

- z_{s2}, z_{sr2}, z_{r2}
- Datos de la Línea Doble a la Secuencia 2
- Posición de la Falta (m,p)

z_{e2} = Matriz Primitiva de Impedancia de la Red Total Externa a la Falta (Sec. 2)
(Elemento-Elemento)
Incluye las Impedancias Propias de los distintos Elementos.

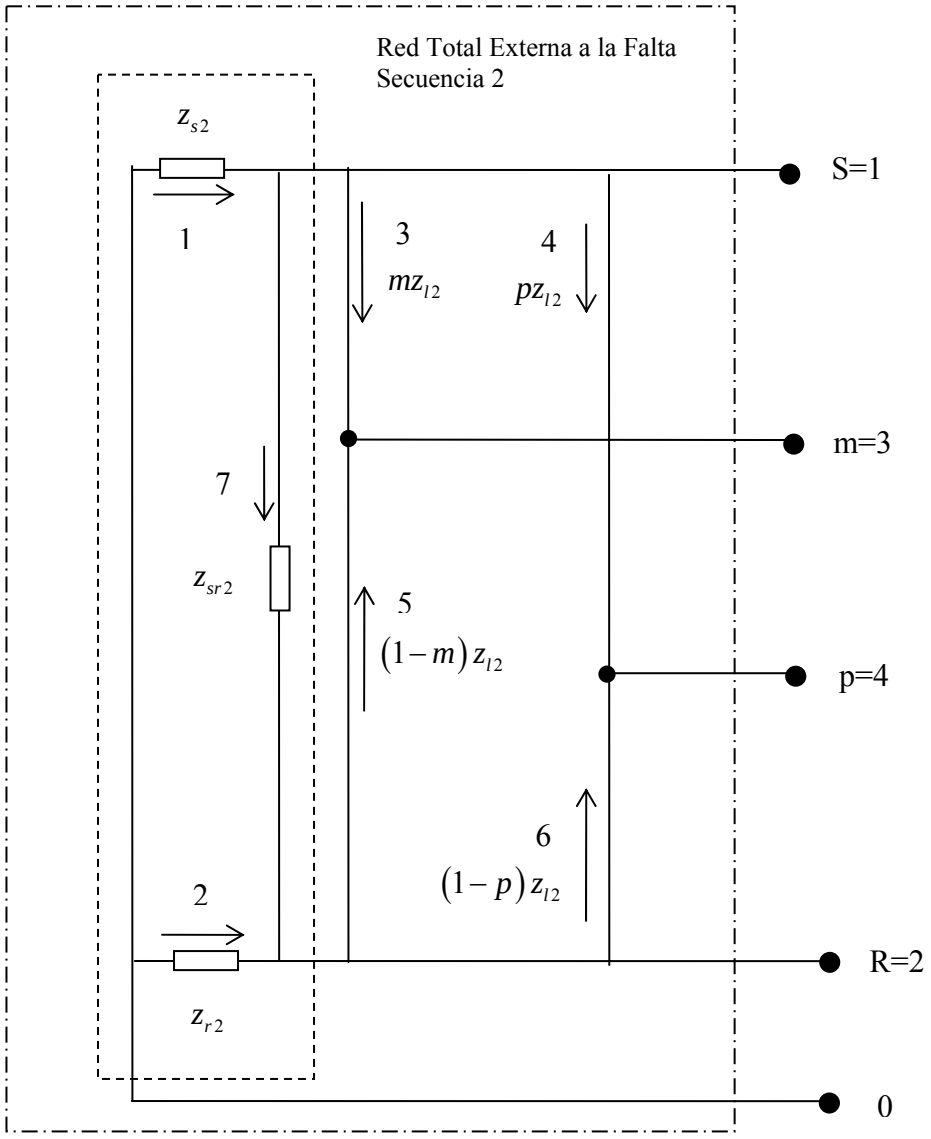

Fig. 4.2.3.g

$$z_{e2} = \begin{bmatrix} z_{s2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & z_{r2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & mz_{l2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & pz_{l2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (1-m)z_{l2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (1-p)z_{l2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & z_{sr2} \end{bmatrix}$$

$$Z_2 = \left(M_{inc}^{t} z_{e2}^{-1} M_{inc} \right)^{-1}$$

Caso 2: Impedancia de Transferencia Infinita

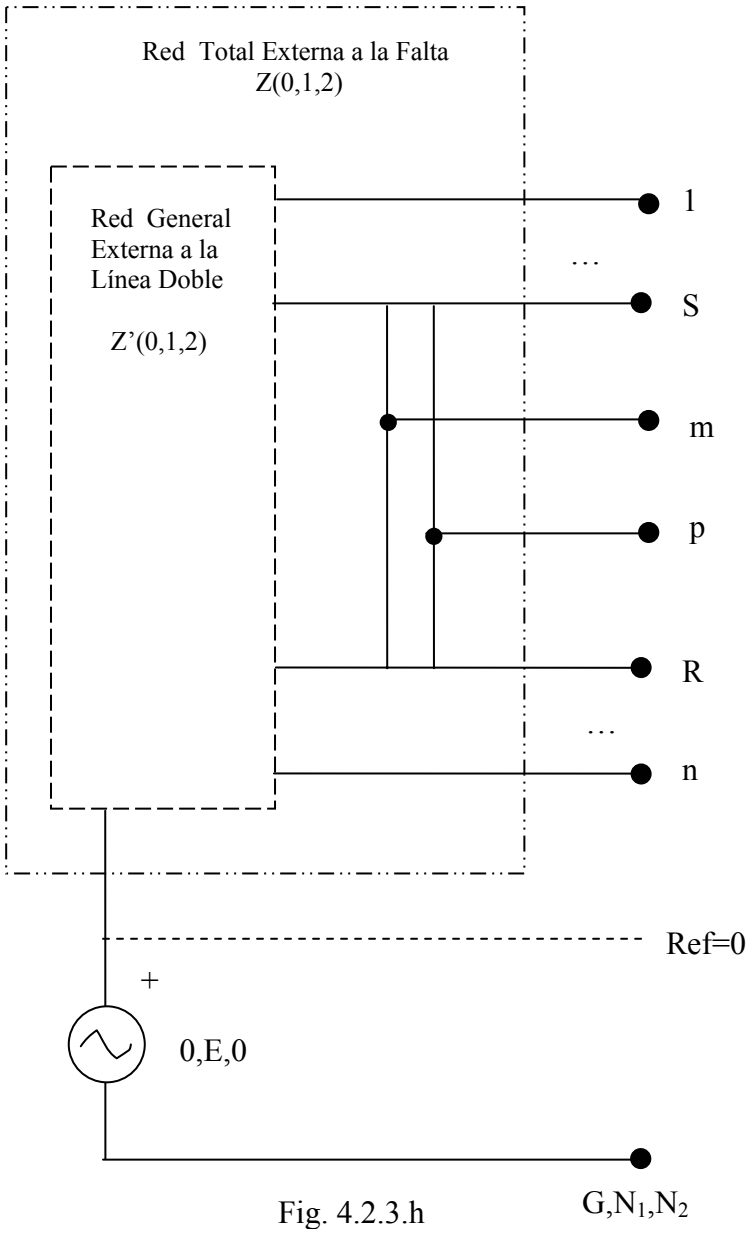

Fig. 4.2.3.h

Sustituyendo la Red General Externa a la Línea Doble por su Equivalente de Fuentes Independientes S,R con Impedancia de Transferencia Infinita :

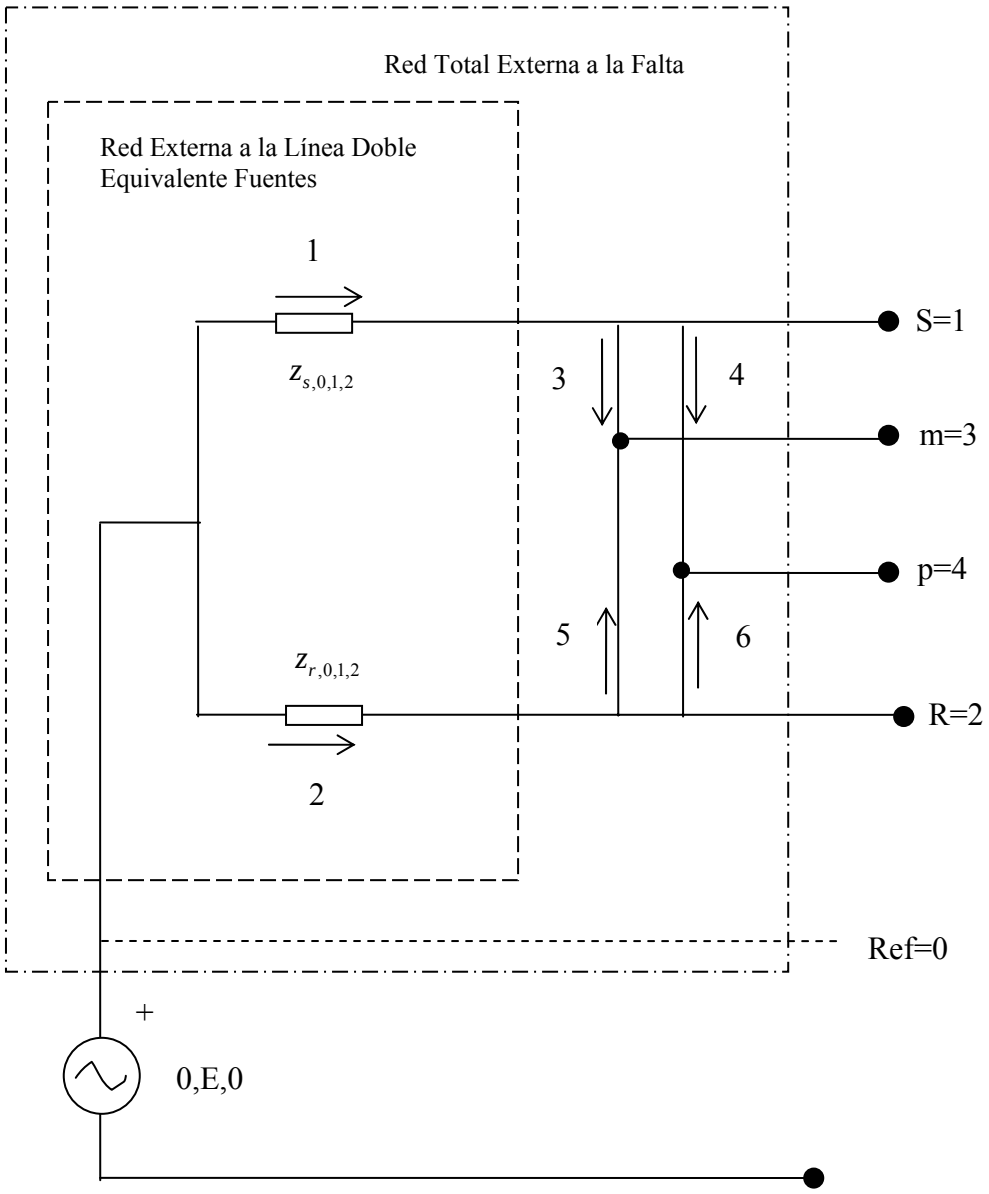

Fig. 4.2.3.i G,N_1N_2

Red Total Externa a la Falta (Secuencias 0,1,2):

- Numerar las Barras
  Barra 1= S
  Barra 2 = R
  Barra 3 = Punto de la Falta m
  Barra 4 = Punto de la Falta p

- Numerar y Orientar los Elementos

Elemento 1 = Ref-1
Elemento 2 = Ref-2
Elemento 3 = 1-3
Elemento 4 = 1-4
Elemento 5 = 2-3
Elemento 6 = 2-4

Matriz de Incidencia Elemento-Barra de la Red Total Externa a la Falta (Sec. 0,1,2)

$$M_{inc} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

Secuencia 0:

Z_0 = Matriz de Impedancia de Barras de la Red Total Externa a la Falta (Sec. 0)

Determinación de Z_0 :

Conocidos:

- z_{s0}, z_{r0}
- Datos de la Línea Doble a la Secuencia 0
- Posición de la Falta (m,p)

z_{e0} = Matriz Primitiva de Impedancia (Sec. 0)

Se consideran dos casos: $m \leq p$, $m > p$

Caso m ≤ p :

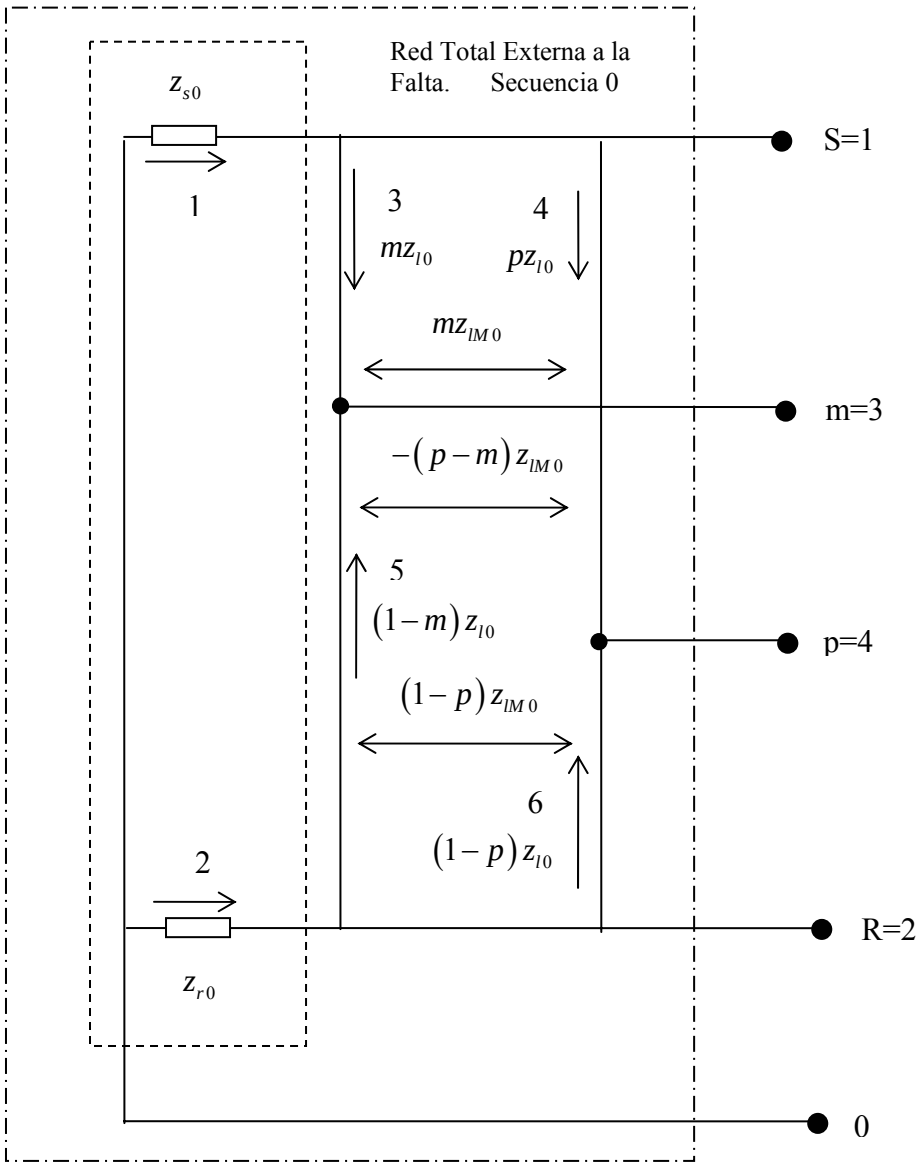

Fig. 4.2.3.j

$$z_{e0} = \begin{bmatrix} z_{s0} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & z_{r0} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & mz_{l0} & mz_{lM0} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & mz_{lM0} & pz_{l0} & -(p-m)z_{lM0} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -(p-m)z_{lM0} & (1-m)z_{l0} & (1-p)z_{lM0} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (1-p)z_{lM0} & (1-p)z_{l0} \end{bmatrix}$$

Caso m > p

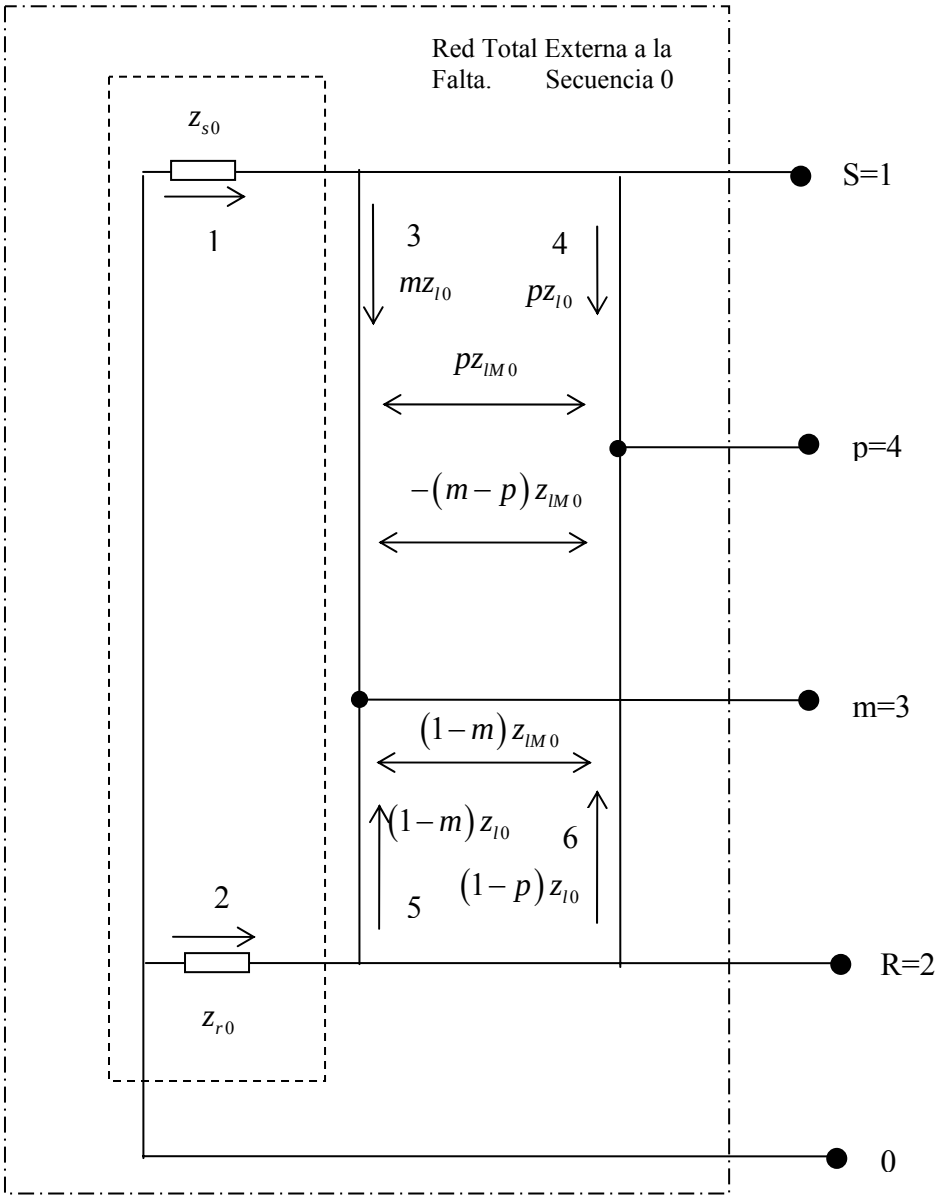

Fig. 4.2.3.k

$$z_{e0} = \begin{bmatrix} z_{s0} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & z_{r0} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & mz_{l0} & pz_{lM0} & 0 & -(m-p)z_{lM0} \\ 0 & 0 & pz_{lM0} & pz_{l0} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (1-m)z_{l0} & (1-m)z_{lM0} \\ 0 & 0 & -(m-p)z_{lM0} & 0 & (1-m)z_{lM0} & (1-p)z_{l0} \end{bmatrix}$$

En uno y otro caso, independientemente de los valores de m,p: $Z_0 = \left(M_{inc}^t z_{e0}^{-1} M_{inc}\right)^{-1}$

Secuencia 1:

Z_1 = Matriz de Impedancia de Barras de la Red Total Externa a la Falta (Sec. 1)

Determinación de Z_1 :

Conocidos:

- z_{s1}, z_{r1}
- Datos de la Línea Doble a la Secuencia 1
- Posición de la Falta (m,p)

z_{e1} = Matriz Primitiva de Impedancia (Sec. 1)

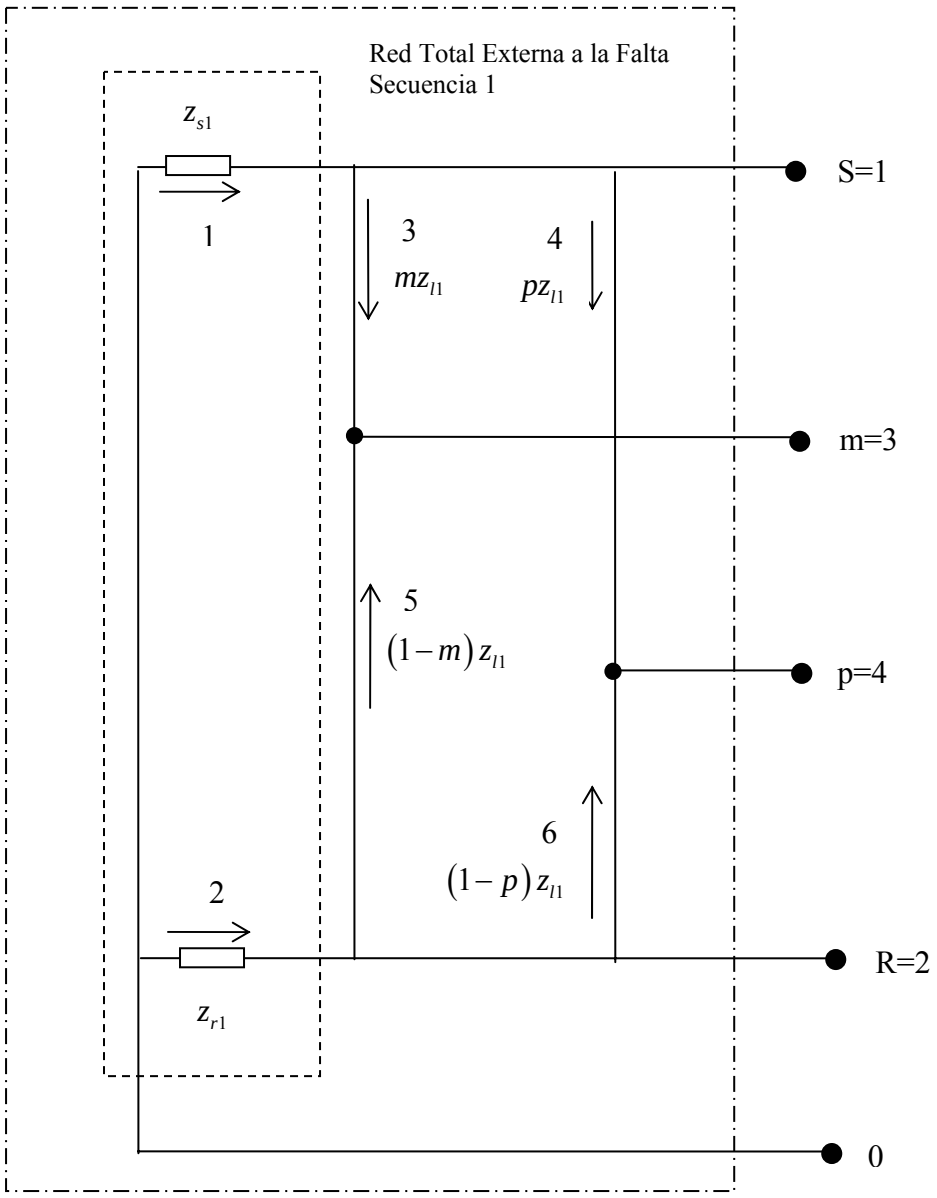

Fig 4.2.3.1

$$z_{e1} = \begin{bmatrix} z_{s1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & z_{r1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & mz_{l1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & pz_{l1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (1-m)z_{l1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (1-p)z_{l1} \end{bmatrix}$$

$$Z_1 = \left(M_{inc}^{t} z_{e1}^{-1} M_{inc} \right)^{-1}$$

Secuencia 2:

Z_2 = Matriz de Impedancia de Barras de la Red Total Externa a la Falta (Sec. 2)

Determinación de Z_2 :

Conocidos:

- z_{s2}, z_{r2}
- Datos de la Línea Doble a la Secuencia 2
- Posición de la Falta (m,p)

z_{e2} = Matriz Primitiva de Impedancia (Sec. 2)

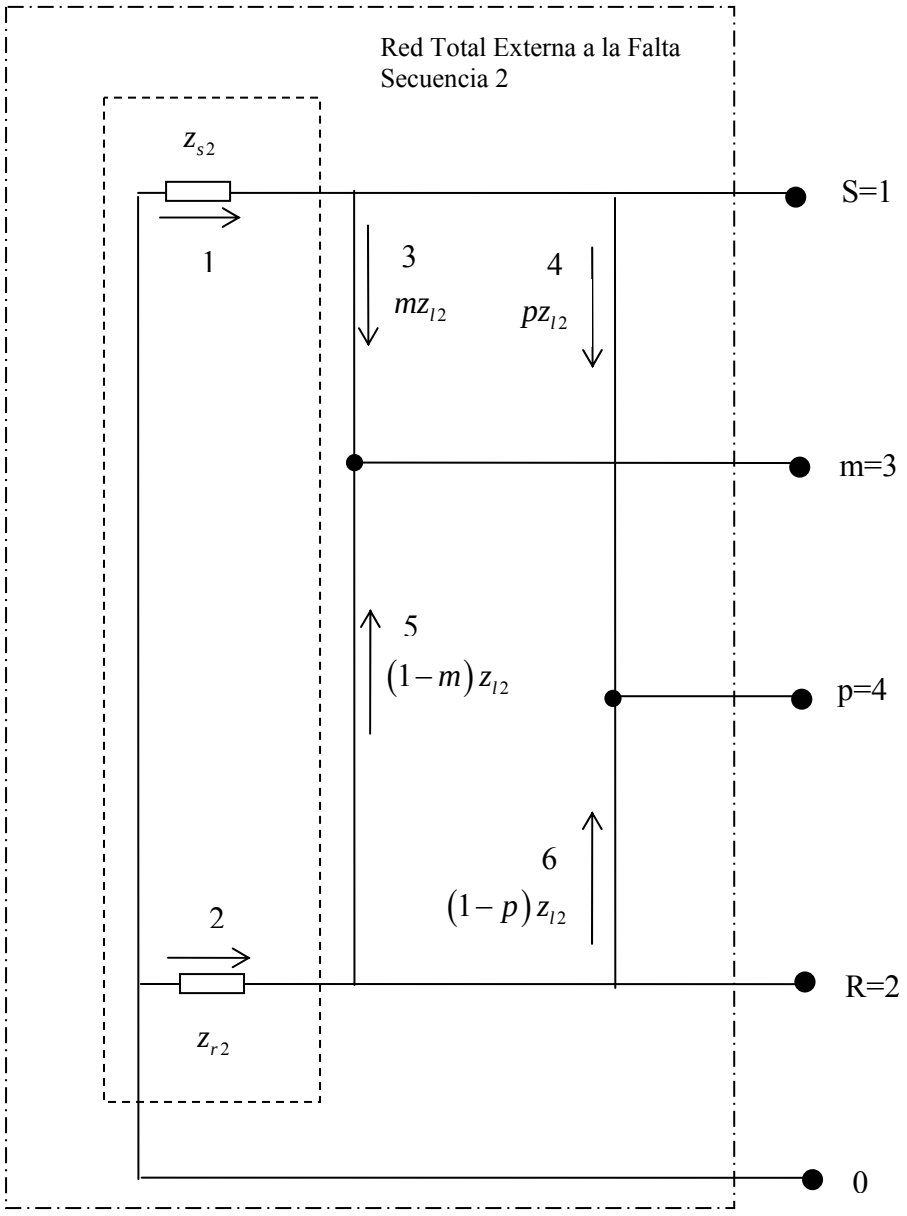

Fig. 4.2.3.m

$$z_{e2} = \begin{bmatrix} z_{s2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & z_{r2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & mz_{l2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & pz_{l2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (1-m)z_{l2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (1-p)z_{l2} \end{bmatrix}$$

$$Z_2 = \left(M_{inc}^{t} z_{e2}^{-1} M_{inc} \right)^{-1}$$

Apertura de S hacia la Falta en m (equivalente a suponer abierta la Línea Sm):
En lo que sigue se desarrolla el fundamento de esta opción en el programa de cálculo con salida numérica PC124. La nomenclatura de esta denominación se explica en el Aptdo. 4.1 de esta Memoria.
Una vez aparecida la Falta en m se supone que se produce en primer lugar la apertura del Interruptor del Extremo S. La Falta seguiría alimentada desde R. La Protección en R vendría afectada por unas condiciones nuevas, que interesa calcular.
A efectos de cálculo la situación es similar a suponer abierta la Línea Sm y considerar la actuación de la Protección en R.
Nos referiremos a continuación, por su mayor generalidad, exclusivamente al caso de Impedancia de Transferencia finita.

Caso m ≤ p:

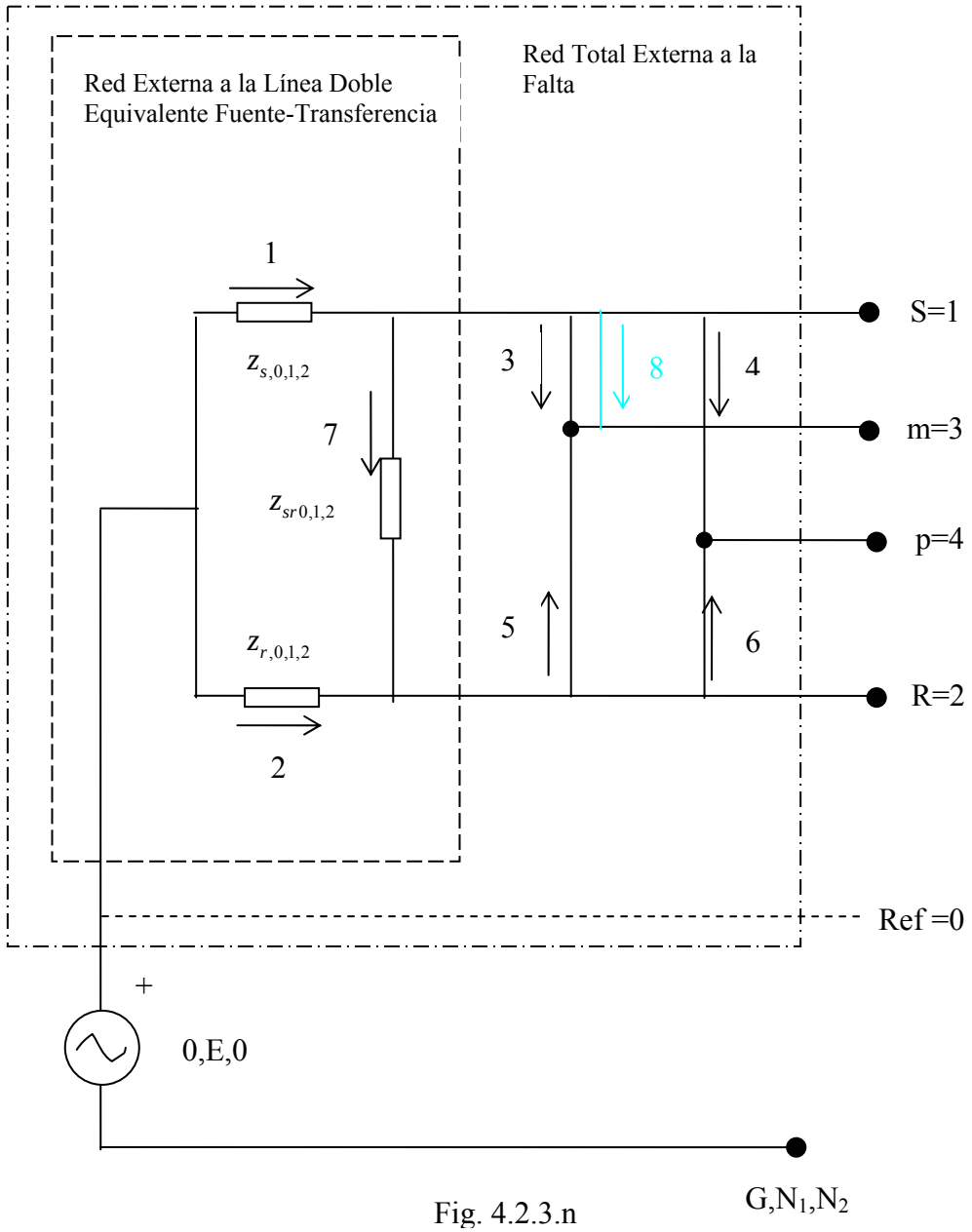

Fig. 4.2.3.n

La Apertura de Sm se simula por el siguiente procedimiento:
Añadir el Elemento 8 en paralelo con Sm (Elemento 3), tal que su Impedancia sea igual a la de Sm con signo contrario y tenga mutuas iguales a las de Sm.

Las Matrices de Incidencia e Impedancia Primitiva (0,1,2), tras añadir el Elemento 8 serían:

Matriz de Incidencia (igual para Secuencias 0,1,2):

$$M_{inc} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Secuencia 0:

z_{e0} = Matriz Primitiva de Impedancia de la Red Total Externa a la Falta (Sec. 0)

$$z_{e0} = \begin{bmatrix} z_{s0} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & z_{r0} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & mz_{l0} & mz_{lM0} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & mz_{lM0} & pz_{l0} & -(p-m)z_{lM0} & 0 & 0 & mz_{lM0} \\ 0 & 0 & 0 & -(p-m)z_{lM0} & (1-m)z_{l0} & (1-p)z_{lM0} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (1-p)z_{lM0} & (1-p)z_{l0} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & z_{sr0} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & mz_{lM0} & 0 & 0 & 0 & -mz_{l0} \end{bmatrix}$$

Z_0 = Matriz de Impedancia de Barras de la Red Total Externa a la Falta (Sec. 0)

$$Z_0 = \left(M_{inc}^t z_{e0}^{-1} M_{inc} \right)^{-1}$$

Secuencia 1:

z_{e1} = Matriz Primitiva de Impedancia de la Red Total Externa a la Falta (Sec. 1)

$$z_{e1} = \begin{bmatrix} z_{s1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & z_{r1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & mz_{l1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & pz_{l1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (1-m)z_{l1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (1-p)z_{l1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & z_{sr1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -mz_{l1} \end{bmatrix}$$

Z_1 = Matriz de Impedancia de Barras de la Red Total Externa a la Falta (Sec. 1)

$$Z_1 = \left(M_{inc}^t z_{e1}^{-1} M_{inc} \right)^{-1}$$

Secuencia 2:

z_{e2} = Matriz Primitiva de Impedancia de la Red Total Externa a la Falta (Sec. 2)

$$z_{e2} = \begin{bmatrix} z_{s2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & z_{r2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & mz_{l2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & pz_{l2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (1-m)z_{l2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (1-p)z_{l2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & z_{sr2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -mz_{l2} \end{bmatrix}$$

Z_2 = Matriz de Impedancia de Barras de la Red Total Externa a la Falta (Sec. 2)

$$Z_2 = \left(M_{inc}^t z_{e2}^{-1} M_{inc} \right)^{-1}$$

Caso m > p:

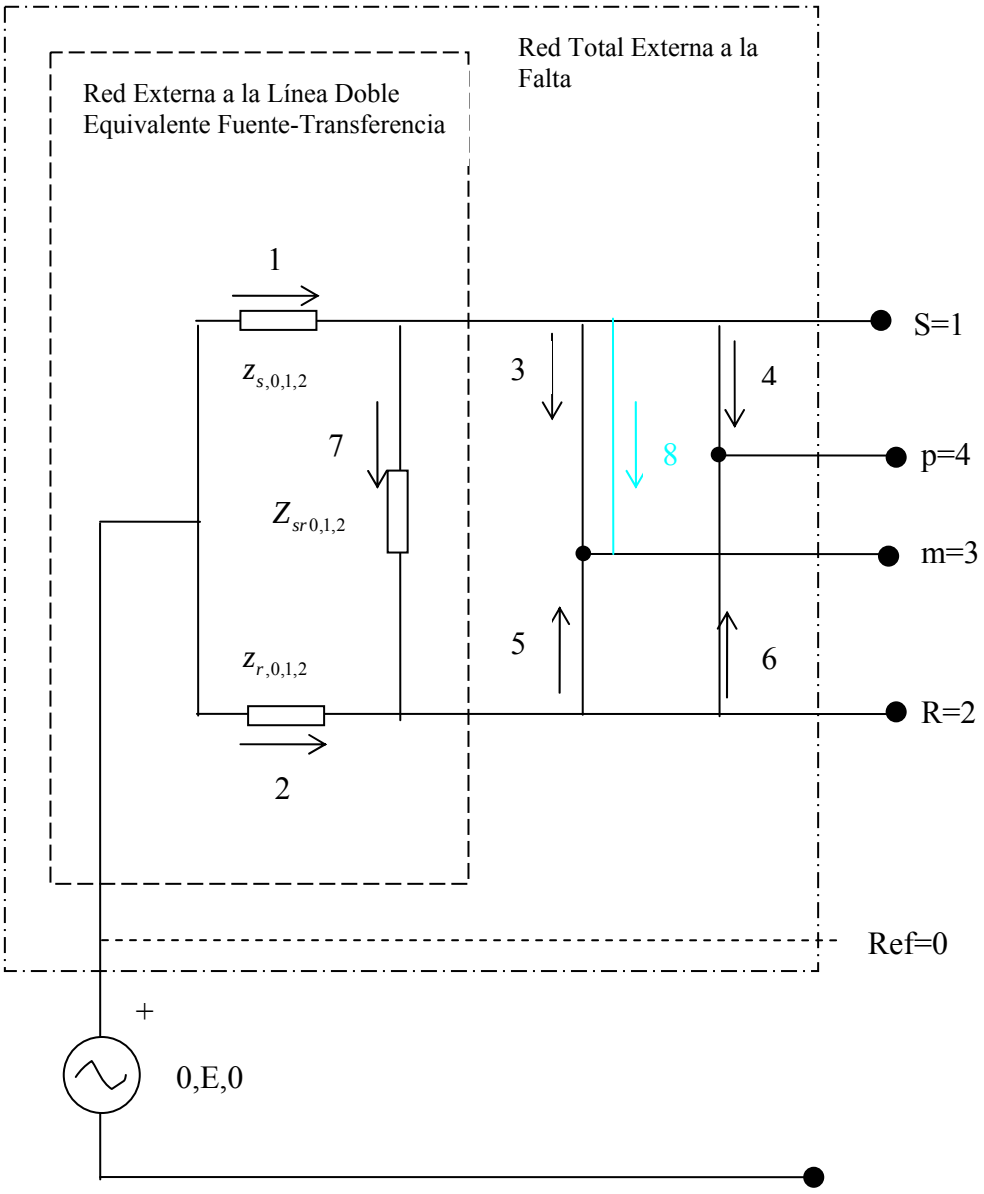

Fig. 4.2.3.o

La Apertura de Sm se simula por el siguiente procedimiento:
Añadir el Elemento 8 en paralelo con Sm (Elemento 3), tal que su Impedancia sea igual a la de Sm con signo contrario y tenga mutuas iguales a las de Sm.

Las Matrices de Incidencia e Impedancia Primitiva (0,1,2), tras añadir el Elemento 8 serían:

Matriz de Incidencia (igual para Secuencias 0,1,2):

$$M_{inc} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Secuencia 0:

z_{e0} = Matriz Primitiva de Impedancia de la Red Total Externa a la Falta (Sec. 0)

$$z_{e0} = \begin{bmatrix} z_{s0} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & z_{r0} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & mz_{l0} & pz_{lM0} & 0 & -(m-p)z_{lM0} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & pz_{lM0} & pz_{l0} & 0 & 0 & 0 & pz_{lM0} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (1-m)z_{l0} & (1-m)z_{lM0} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -(m-p)z_{lM0} & 0 & (1-m)z_{lM0} & (1-p)z_{l0} & 0 & -(m-p)z_{lM0} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & z_{sr0} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & pz_{lM0} & 0 & -(m-p)z_{lM0} & 0 & -mz_{l0} \end{bmatrix}$$

Z_0 = Matriz de Impedancia de Barras de la Red Total Externa a la Falta (Sec. 0)

$$Z_0 = \left(M_{inc}^t z_{e0}^{-1} M_{inc} \right)^{-1}$$

Secuencia 1:

z_{e1} = Matriz Primitiva de Impedancia de la Red Total Externa a la Falta (Sec. 1)

$$z_{e1} = \begin{bmatrix} z_{s1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & z_{r1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & mz_{l1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & pz_{l1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (1-m)z_{l1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (1-p)z_{l1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & z_{sr1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -mz_{l1} \end{bmatrix}$$

Z_1 = Matriz de Impedancia de Barras de la Red Total Externa a la Falta (Sec. 1)

$$Z_1 = \left(M_{inc}^t z_{e1}^{-1} M_{inc} \right)^{-1}$$

Secuencia 2:

z_{e2} = Matriz Primitiva de Impedancia de la Red Total Externa a la Falta (Sec. 2)

$$z_{e2} = \begin{bmatrix} z_{s2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & z_{r2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & mz_{l2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & pz_{l2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (1-m)z_{l2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (1-p)z_{l2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & z_{sr2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -mz_{l2} \end{bmatrix}$$

Z_2 = Matriz de Impedancia de Barras de la Red Total Externa a la Falta (Sec. 2)

$$Z_2 = \left(M_{inc}^t z_{e2}^{-1} M_{inc} \right)^{-1}$$

Análogamente se procedería si abriera el Interruptor R antes que el S, que sería similar a la Apertura de la Línea Rm.