



WEBINAR

PROTECCIÓN DE SECUENCIA NEGATIVA



Oscar Pablo
Saavedra Niño

Ingeniero
Mecánico-Eléctrico

Peruana



Educación

Ingeniero Mecánico – Eléctrico

Universidad de Piura.

Egresado de Maestría en Ciencias de la Ingeniería Mecánica-Eléctrica con Mención en Energía.

Escuela de Postgrado de Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

Experiencia



Especialista de Protecciones

HIDRANDINA S.A. – Grupo DISTRILUZ

Supervisor de Estudios, Supervisor de Obras de Transmisión y Protecciones Eléctricas

MANPOWER PROFESSIONAL SERVICES S.A. (Empresa contratista de ELECTRONOROESTE S.A. – Área de Administración de Proyectos)

Supervisor de Estudios de Transmisión

PAE INGENIERÍA DE SERVICIOS S.A.C. (Empresa contratista de ELECTRONOROESTE S.A. – Área de Administración de Proyectos)

$I >$	Protección de máximo de corriente (50 / 51)
$I \leftarrow$	Protección direccional de corriente (67)
$I_o >$	Protección de máximo de corriente homopolar (50N / 51N)
$I_o \leftarrow$	Protección direccional de tierra (67N)
I_i	Protección de máximo de componente inversa / desequilibrio (46)
I	Protección de imagen térmica (49)
ΔI	Protección diferencial (87)
$\Delta I_o >$	Protección diferencial de tierra (87G)

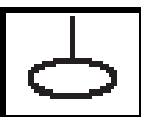
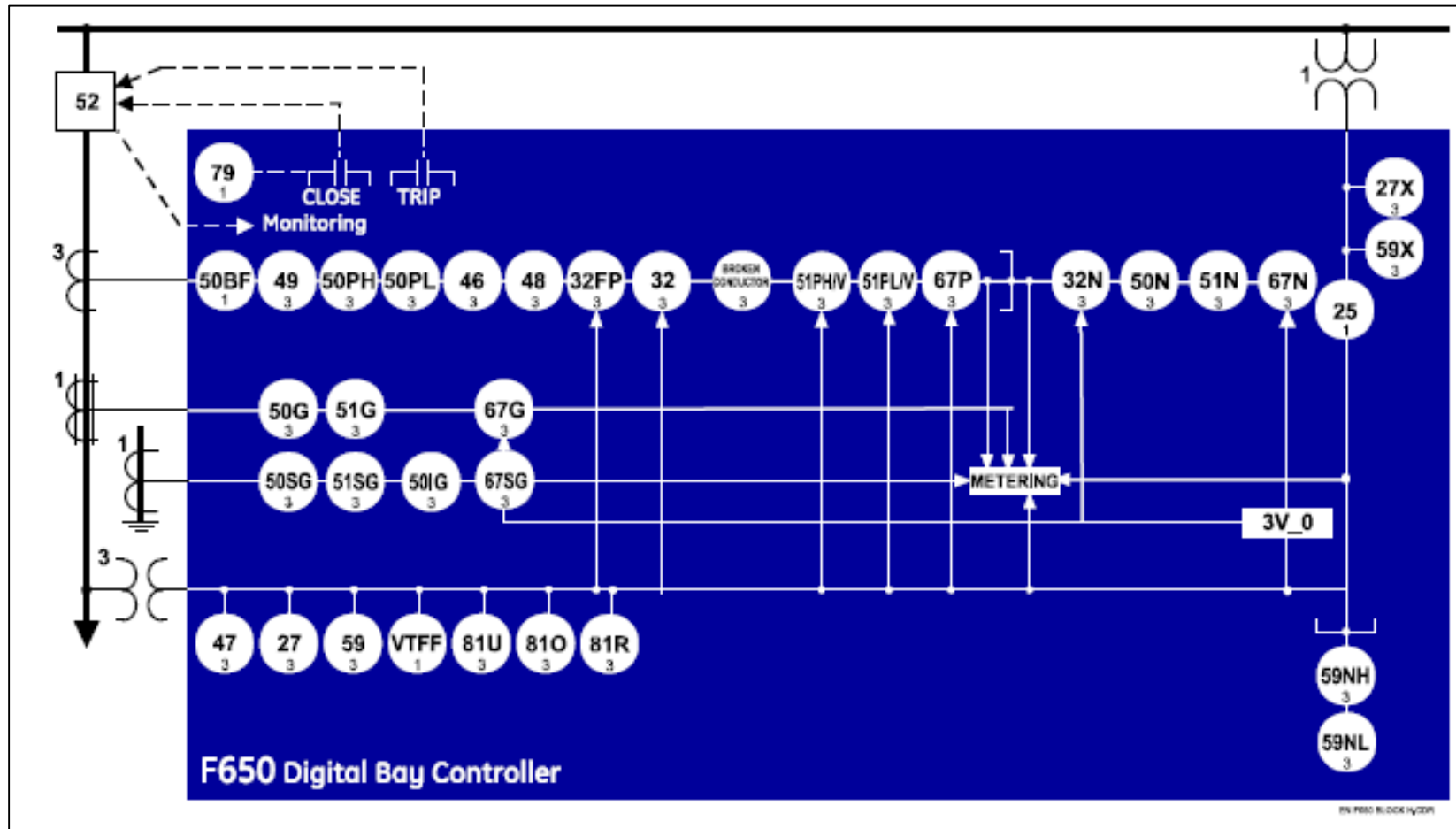
	Protección de mínimo de tensión (27)
	Protección de máxima y mínima frecuencia (81)
	Protección de máxima tensión (59)
	Protección contra retorno de potencia activa (32P)
	Protección contra retorno de potencia reactiva o desexcitación (32Q / 40)
	Protección de máxima tensión homopolar (59N)
	Relé Buchholz (63/71)
	

DIAGRAMA FUNCIONAL DE UN RELÉ

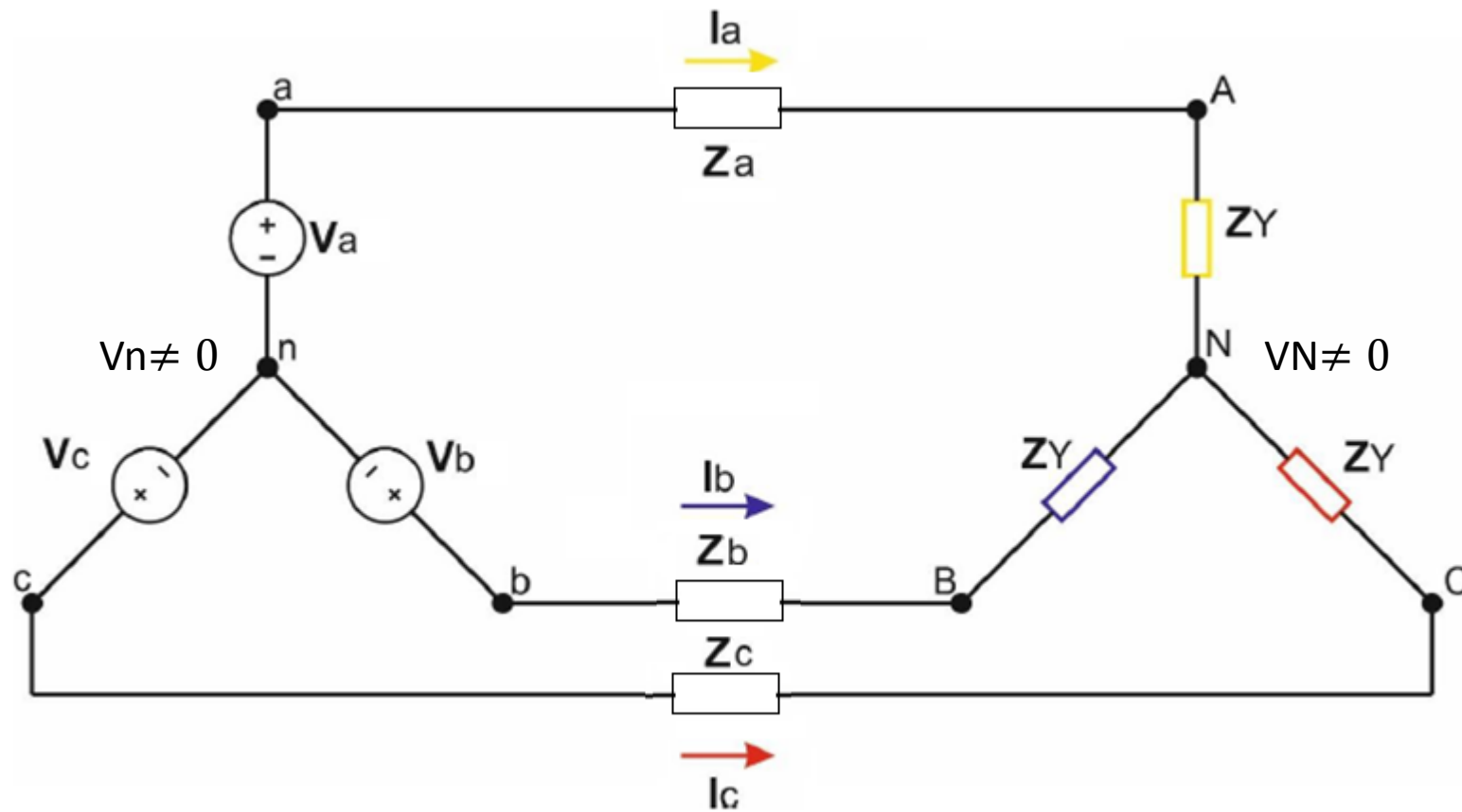


Referencia: Manual del Relé F650 de General Electric

El concepto de las componentes simétricas fue desarrollado por Charles Fortescue en el año 1918. Donde Fortescue prueba que un sistema desbalanceado de N fasores relacionados, se puede resolver con N sistemas de fasores balanceados llamados componentes simétricas de los fasores originales

La componentes simétricos nos ayuda a tratar los circuitos polifásicos desbalanceados; que se fundamenta en un método particular de transformación lineal que consiste básicamente en descomponer un conjunto de fasores desbalanceadas en otro conjunto de fasores balanceados que permitan un análisis sencillo del problema original.

COMPONENTES SIMÉTRICAS



En el caso de las tensiones y corrientes trifásicas desbalanceadas, el método de componente simétrica los transforman en tres sistemas de fasores balanceados; las cuales son:

a) Secuencia Positiva o Secuencia directa.

Consiste en tres fasores de igual magnitud desplazados uno de otros por una fase de 120° y tiene la misma secuencia que los fasores originales.

b) Secuencia Negativa o Secuencia Inversa.

Consiste en tres fasores de igual magnitud desplazados uno de otros por una fase de 120° y tiene una secuencia opuesta a los fasores originales

c) Secuencia Cero.

Consiste en tres fasores iguales en magnitud y con un desplazamiento de fase cero uno de otro.

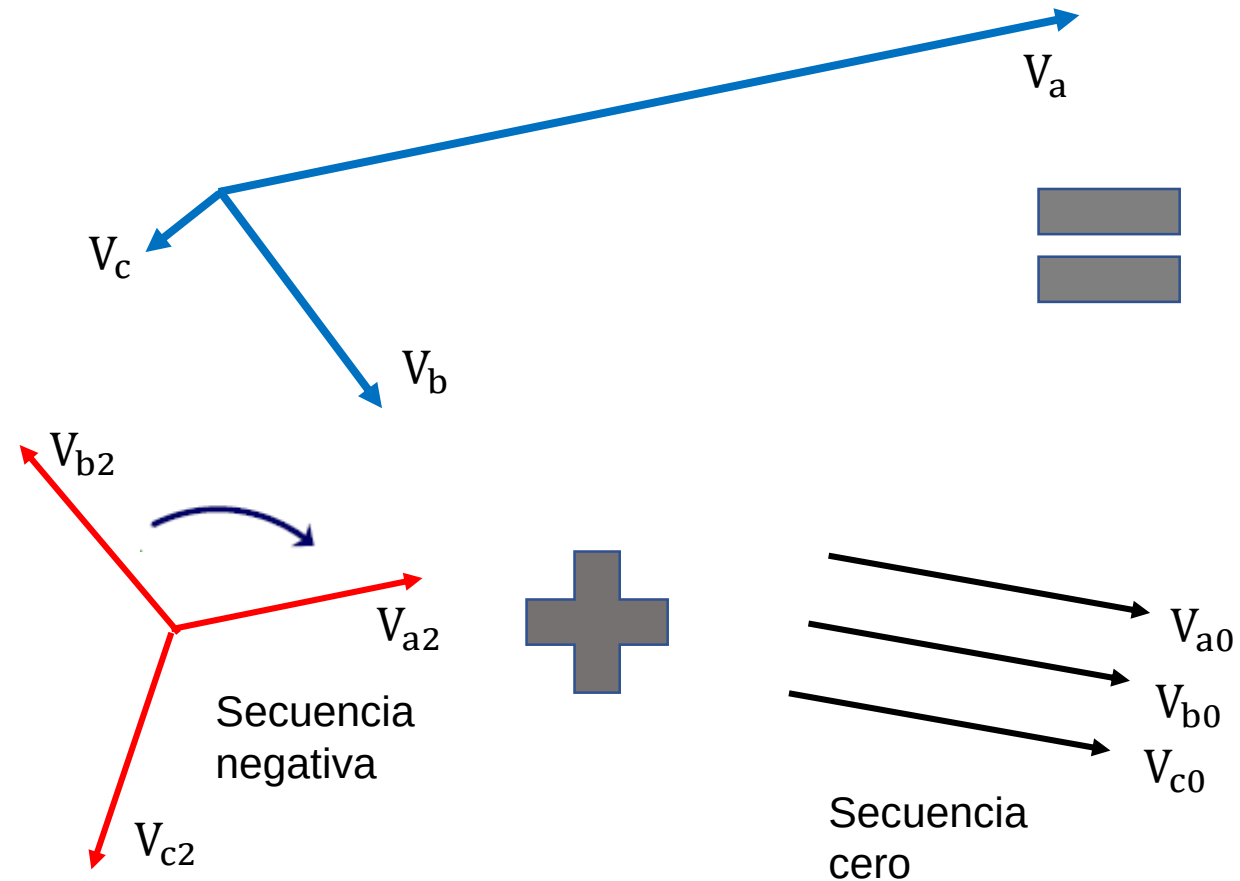
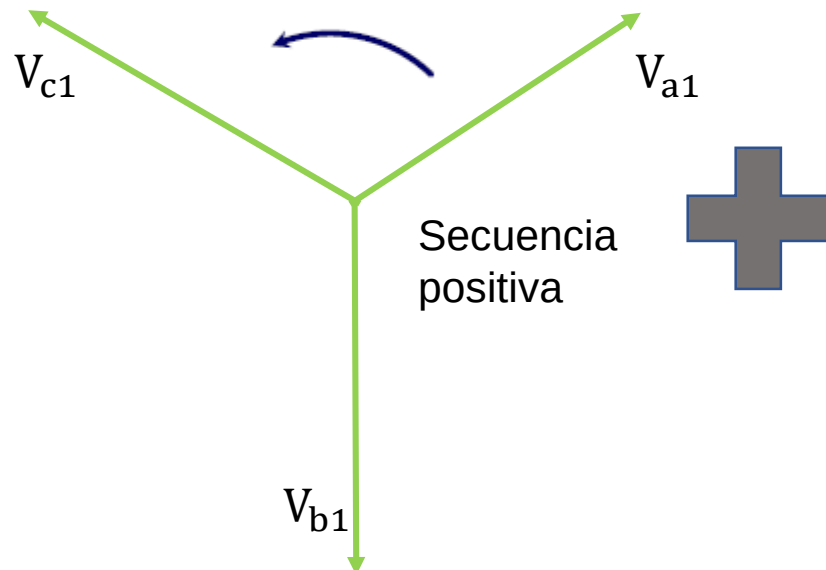
COMPONENTES SIMÉTRICAS

Las tensiones desbalanceadas:

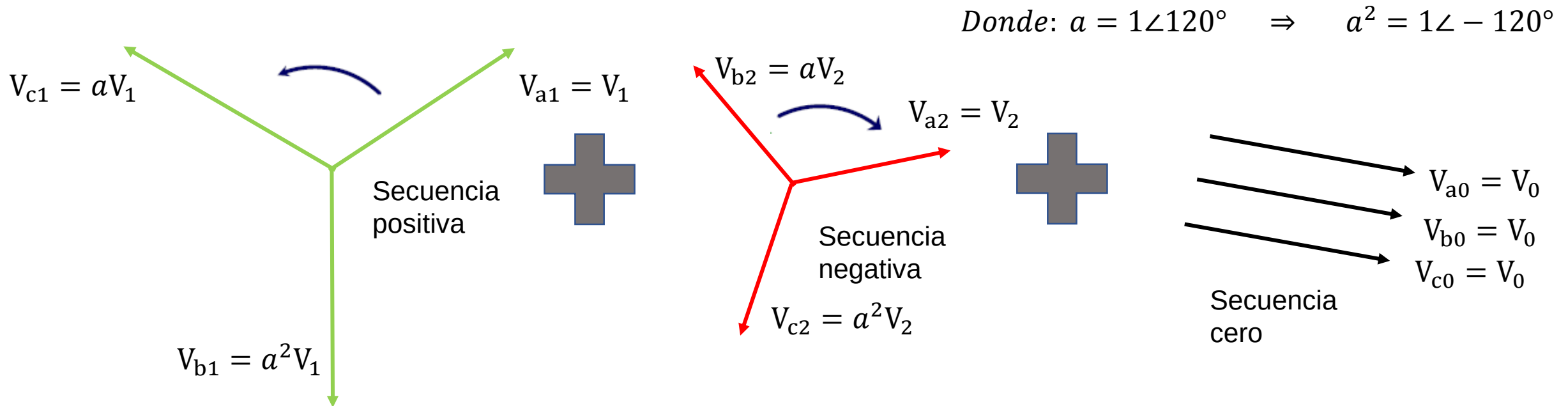
$$V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2}$$

$$V_b = V_{b0} + V_{b1} + V_{b2}$$

$$V_c = V_{c0} + V_{c1} + V_{c2}$$



COMPONENTES SIMÉTRICAS



$$V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} = V_0 + V_1 + V_2 \quad \dots(1)$$

$$V_b = V_{b0} + V_{b1} + V_{b2} = V_0 + a^2V_1 + aV_2 \quad \dots(2)$$

$$V_c = V_{c0} + V_{c1} + V_{c2} = V_0 + aV_1 + a^2V_2 \quad \dots(3)$$

Se procede a calcular la matriz inversa:

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = [A^{-1}] \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad [A^{-1}] = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}$$

$$3V_0 = V_a + V_b + V_c$$

$$3V_1 = V_a + aV_b + a^2V_c$$

$$3V_2 = V_a + a^2V_b + aV_c$$

Con las corrientes se obtiene la siguiente ecuación:

$$3I_0 = I_a + I_b + I_c$$

COMO SE MIDE LA SECUENCIA NEGATIVA?

La secuencia negativa se obtiene matemáticamente a partir de las mediciones de las corrientes I_a , I_b e I_c

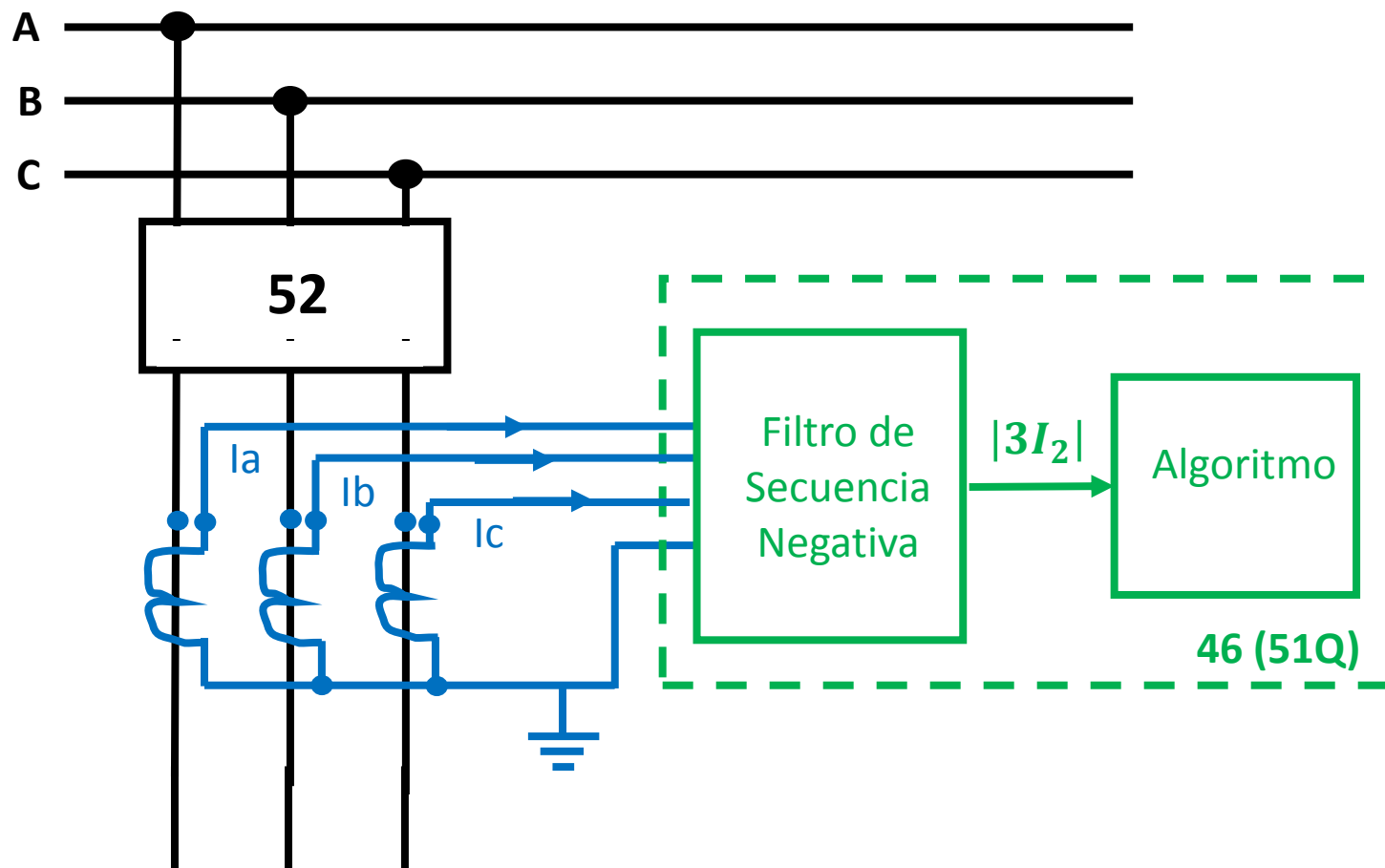
$$I_2 = \frac{1}{3} \cdot (I_a + a^2 \cdot I_b + a \cdot I_c)$$

$$3 \cdot I_2 = (I_a + a^2 \cdot I_b + a \cdot I_c)$$

Los relés pueden medir y operar con $|3I_2|$ o $|I_2|$.

Anteriormente, era difícil obtener la secuencia negativa en un sistema eléctrico debido a las variables a y a^2 .

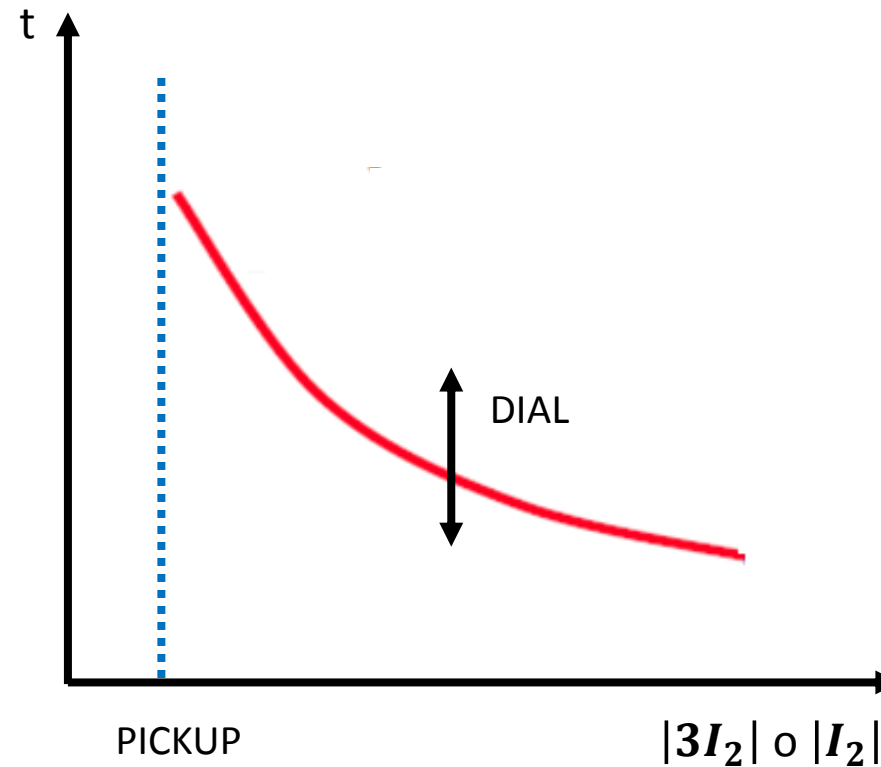
Actualmente, se obtiene matemáticamente con los relés numéricos.



FUNCIÓN DE SECUENCIA NEGATIVA

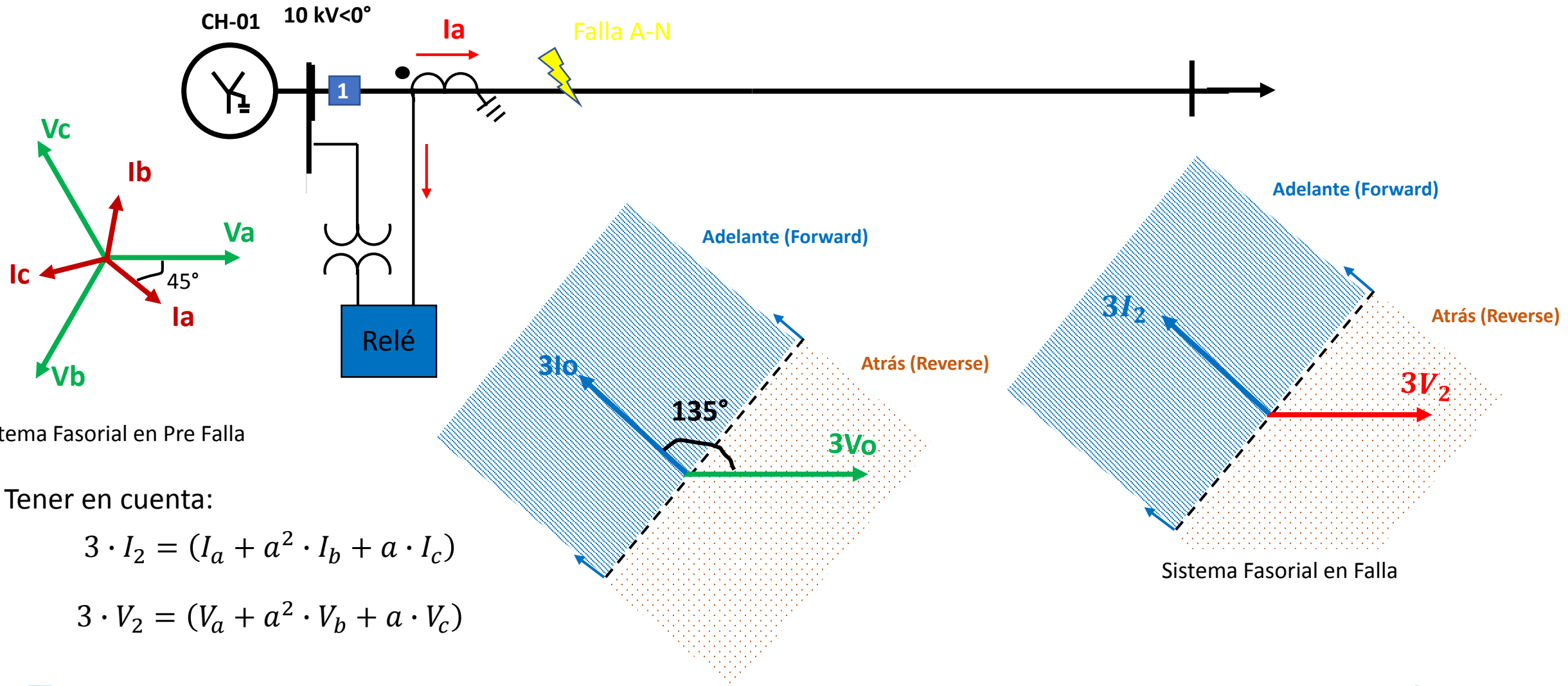
Funciones de secuencia negativa: 51Q

Función de secuencia negativa se usa como respaldo a los sistemas de protecciones de sobrecorriente



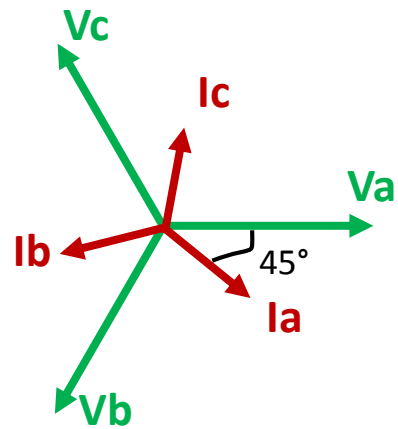
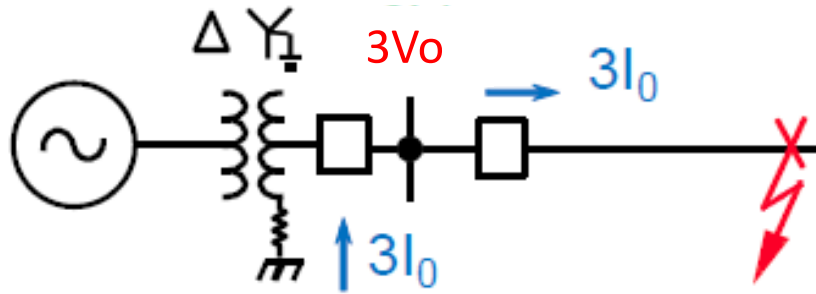
Es usado en la protección de barras y alimentadores.

PROTECCIÓN DE SECUENCIA NEGATIVA

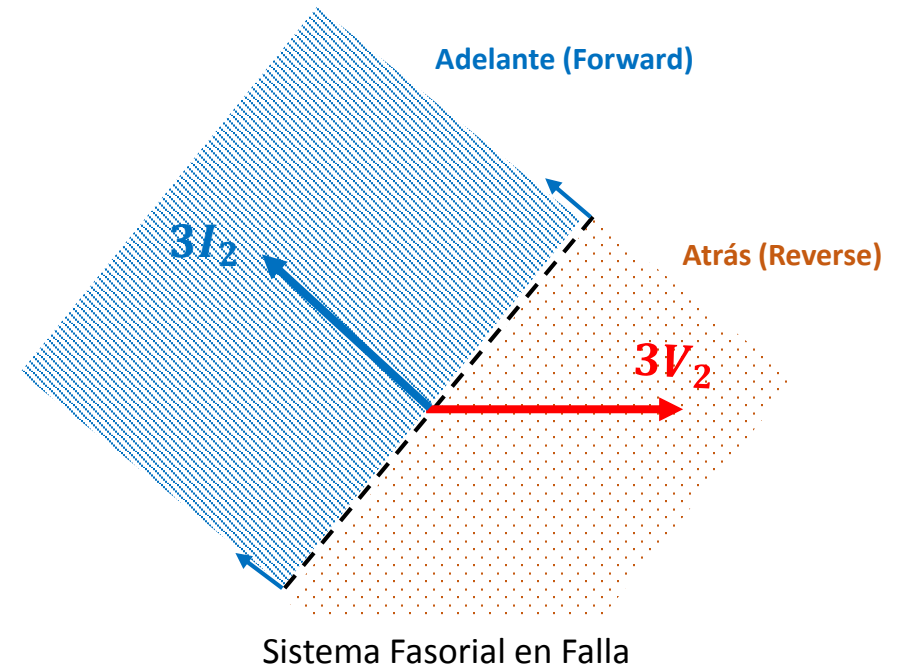
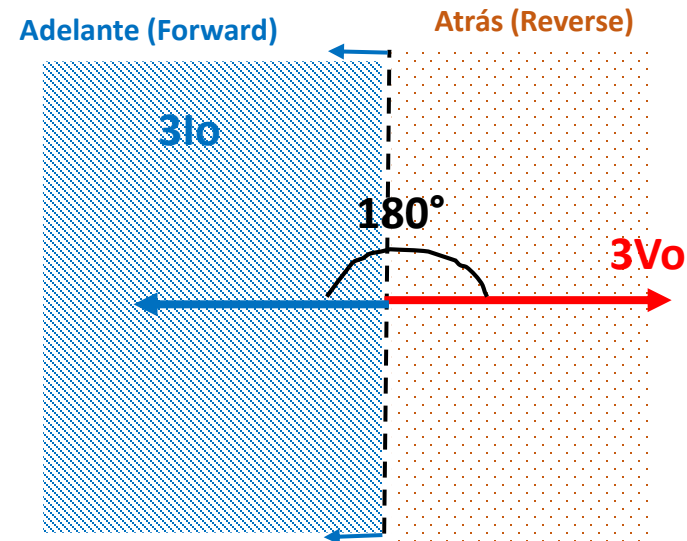


PROTECCIÓN DE SECUENCIA NEGATIVA

SISTEMAS ATERRADOS A TRAVÉS DE UNA RESISTENCIA



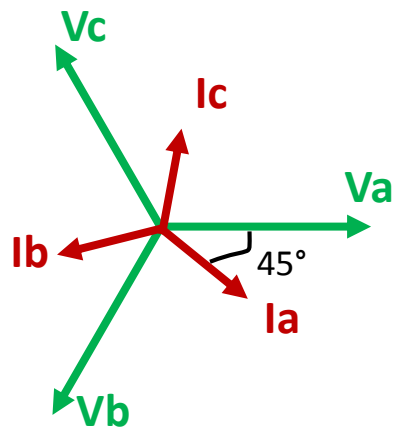
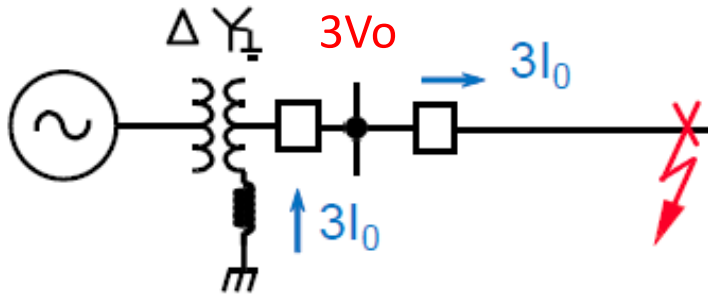
Sistema Fasorial en Pre Falla



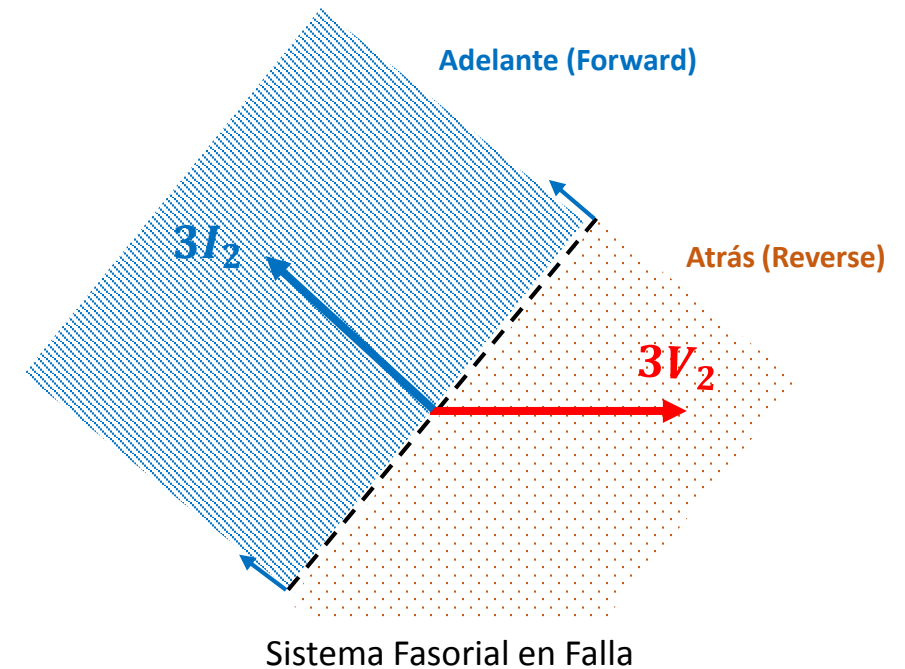
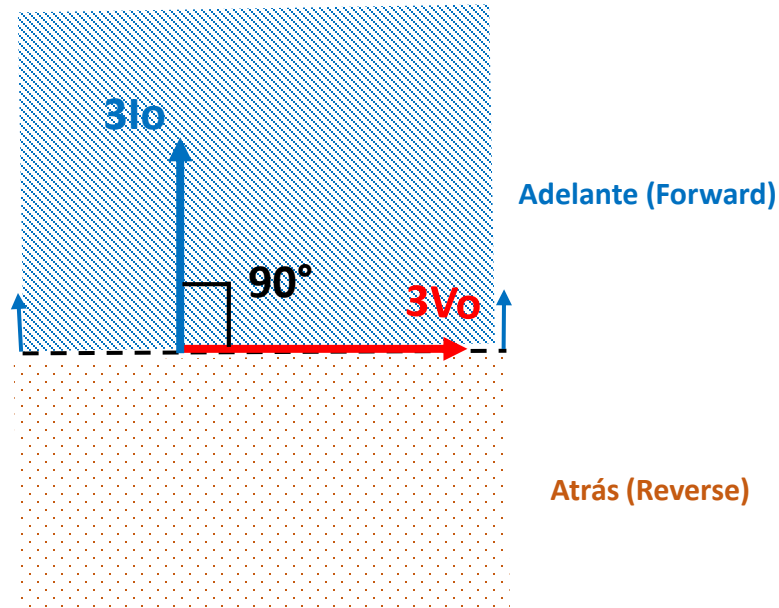
Sistema Fasorial en Falla

PROTECCIÓN DE SECUENCIA NEGATIVA

SISTEMAS ATERRADOS A TRAVÉS DE UNA INDUCTANCIA



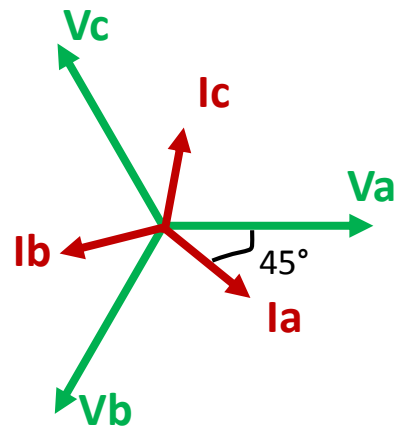
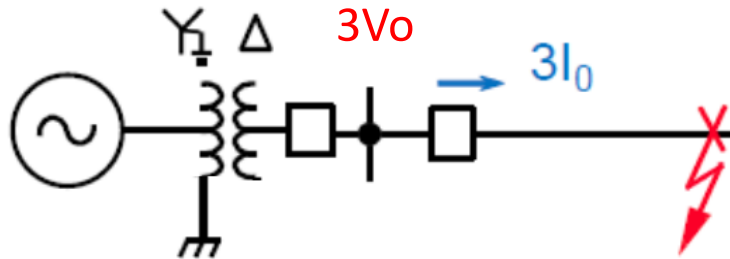
Sistema Fasorial en Pre Falla



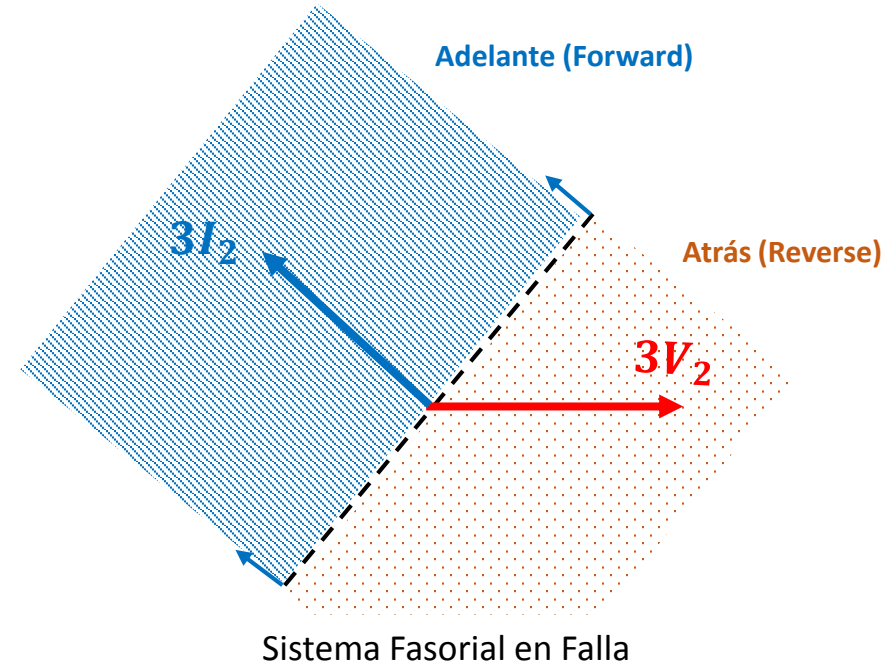
Sistema Fasorial en Falla

PROTECCIÓN DE SECUENCIA NEGATIVA

SISTEMAS NO ATERRADOS - SISTEMA DELTA



Sistema Fasorial en Pre Falla

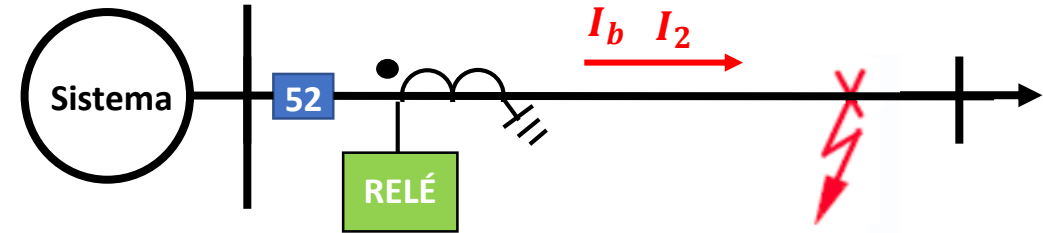
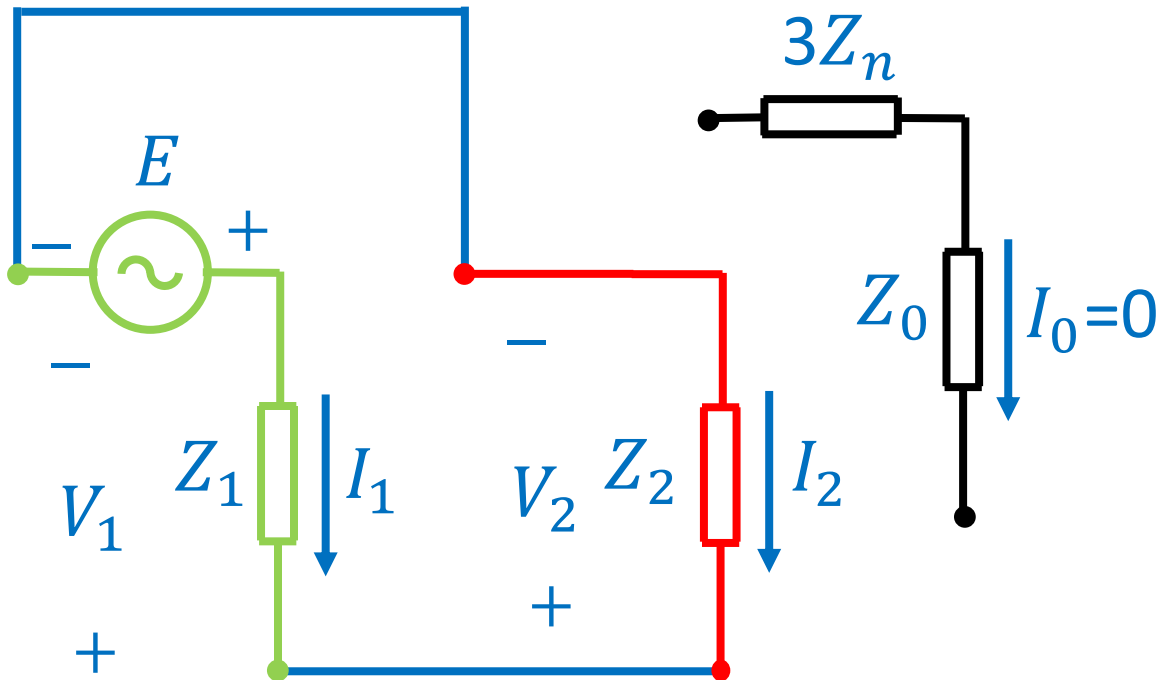


Sistema Fasorial en Falla

La secuencia negativa detectar fallas bifásica, monofásica y bifásica a tierra y opera como respaldo de las funciones de sobrecorrientes 51/50 y 51N/50N

Fallas Bifásicas

Bifásica b-c



$$E = Z_1 \cdot I_1 - Z_2 \cdot I_2$$

$$\text{En una línea: } Z_1 = Z_2$$

$$E = Z_1 \cdot I_1 - Z_1 \cdot I_2$$

$$E = Z_1 \cdot (I_1 - I_2)$$

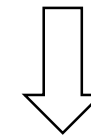
$$\text{Del circuito Equivalente: } I_1 = -I_2$$

$$I_1 = -I_2 = \frac{E}{2 \cdot Z_1}$$

$$I_b = a^2 I_1 + a I_2$$

$$I_b = (a - a^2) \cdot I_2$$

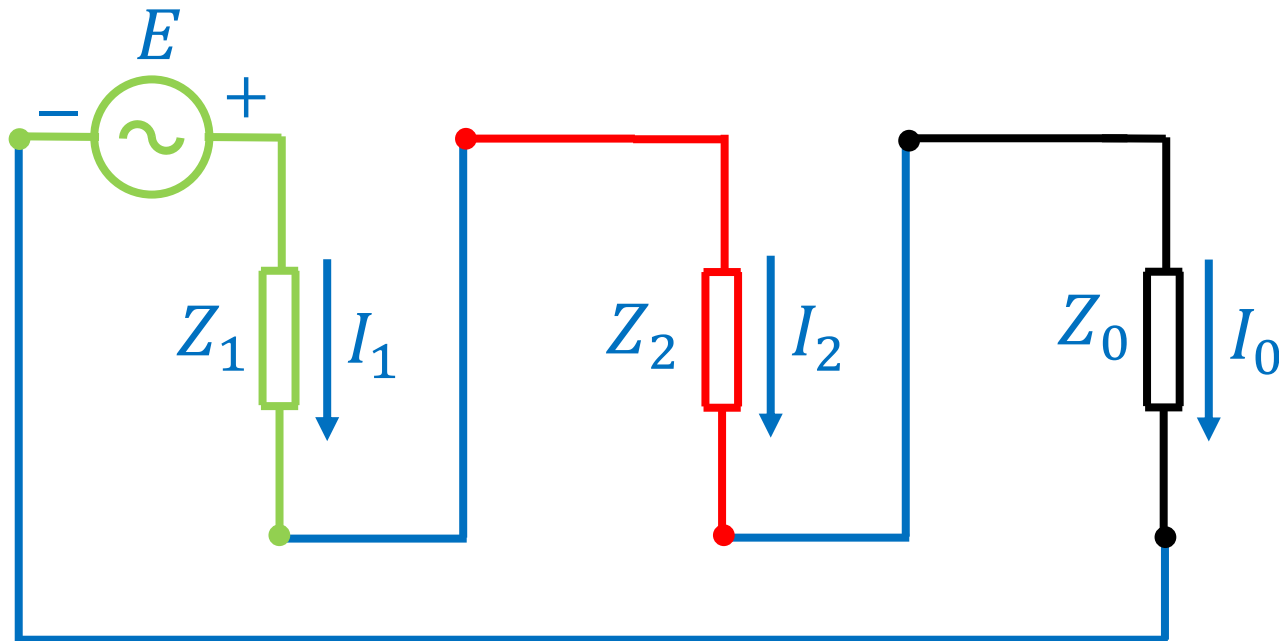
$$I_b = j\sqrt{3} \cdot I_2$$



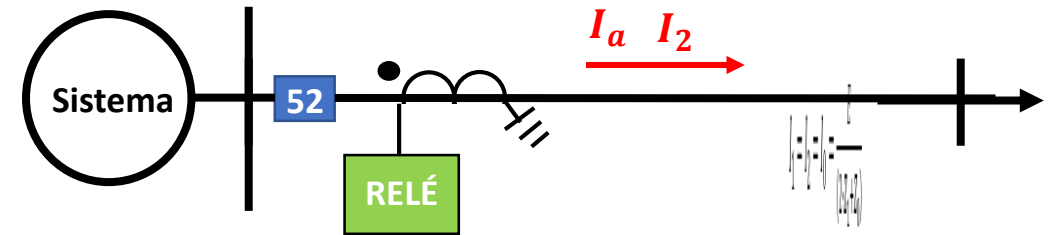
$$|3I_2| = \sqrt{3}|I_b|$$

Fallas Monofásica

Monofásica en Fase a



Las Fallas Monofásicas se detecta con Secuencia Cero y con Secuencia Negativa.



$$I_a = I_0 + I_1 + I_2$$

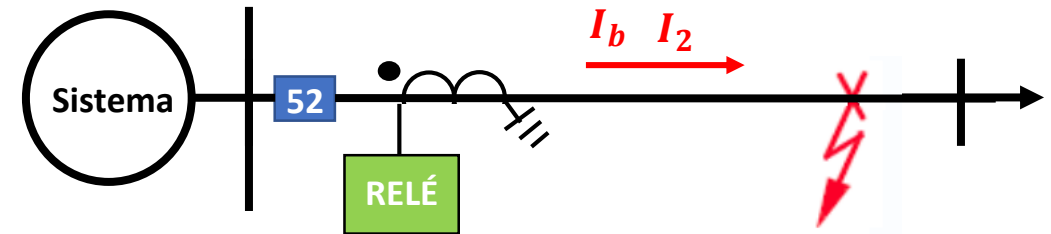
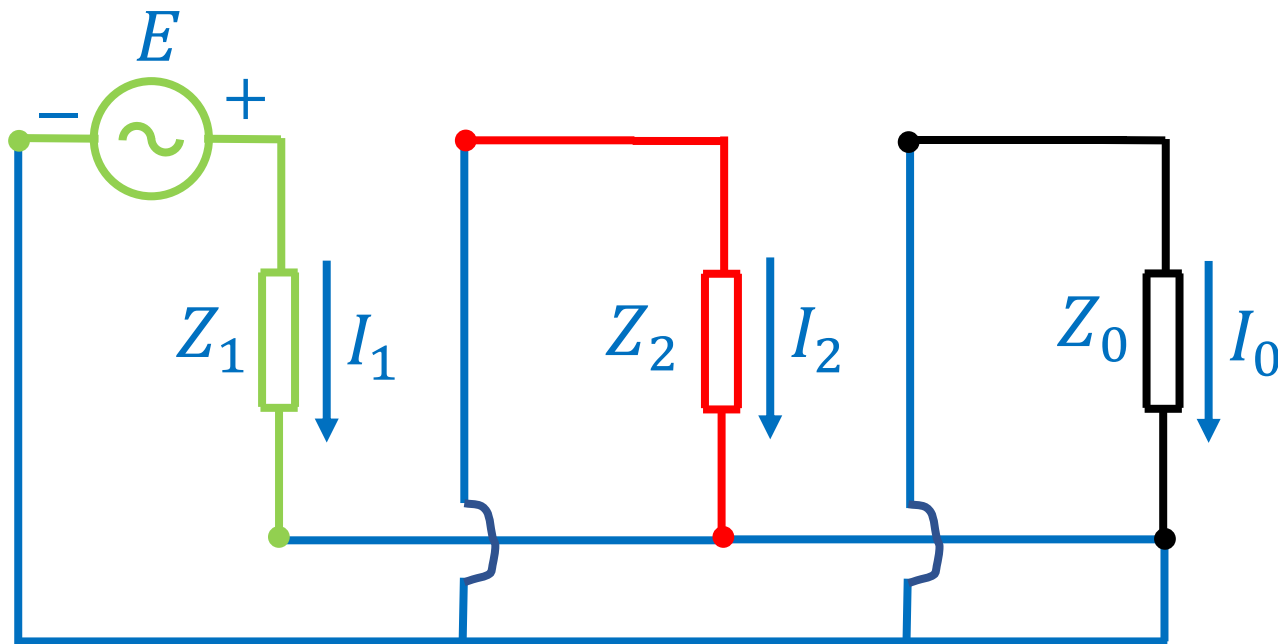
Del circuito equivalente: $I_1 = I_2 = I_0$

$$I_a = 3 \cdot I_2 \quad \Longrightarrow \quad |3I_2| = |I_a|$$

$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{E}{(2 \cdot Z_1 + Z_0)}$$

Fallas Bifásica a Tierra

Bifásica a Tierra b-c



$$V_a = V_0 + V_1 + V_2$$

$$\text{Del circuito equivalente: } V_0 = V_1 = V_2 \rightarrow V_a = 3 \cdot V_2$$

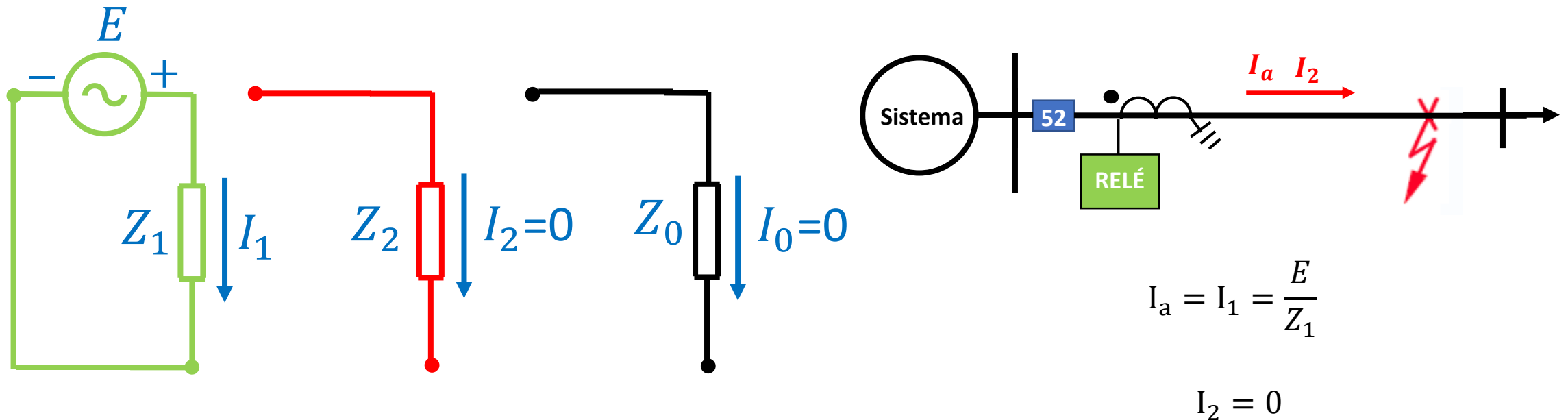
$$I_b = I_0 + a^2 I_1 + a I_2$$

$$|3I_2| = k \cdot |I_b|$$

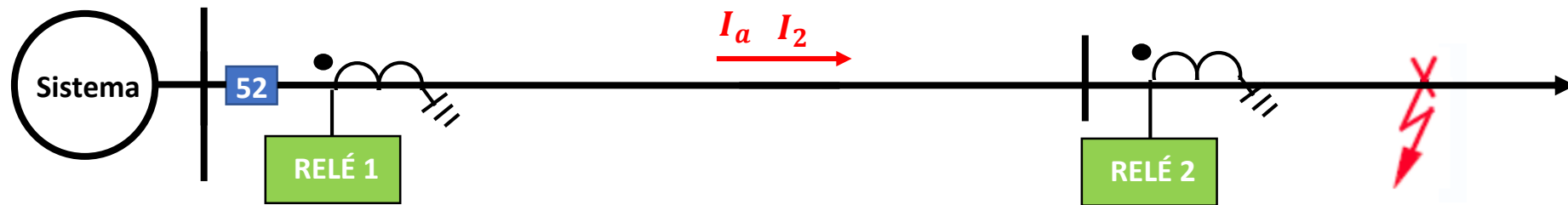
K nunca es mayor que $\sqrt{3}$

Fallas Trifásicas

La protección de Secuencia Negativa (46) no detecta fallas trifásicas debido que éstas no presentan componente de secuencia negativa tal como se muestra:

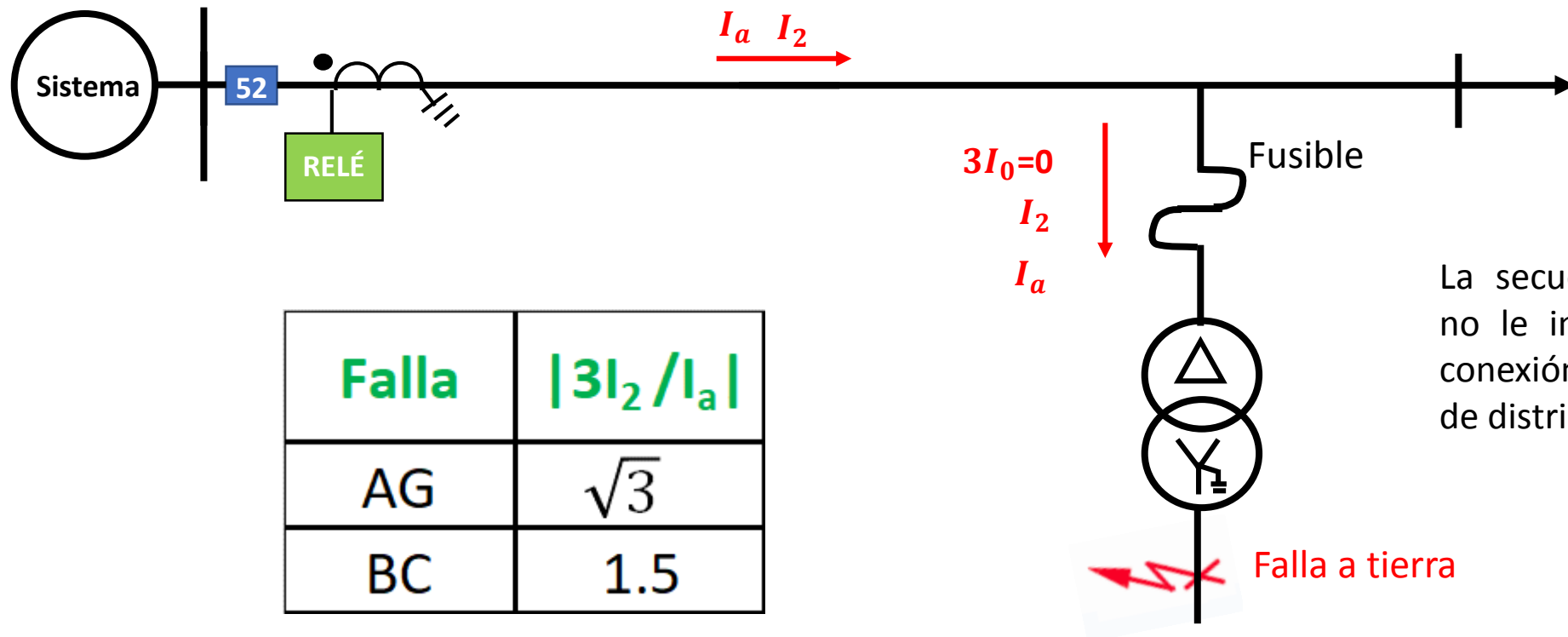


Respaldo ante fallas en el alimentador de Distribución:



Falla	TIPO	$ 3I_2/I_a $
AG	Monofásica	1
BC	Bifásica	$\sqrt{3}$
BCG	Bifásica a Tierra	$\leq \sqrt{3}$

Respaldo ante fallas monofásicas en la red YN en lado de baja.:



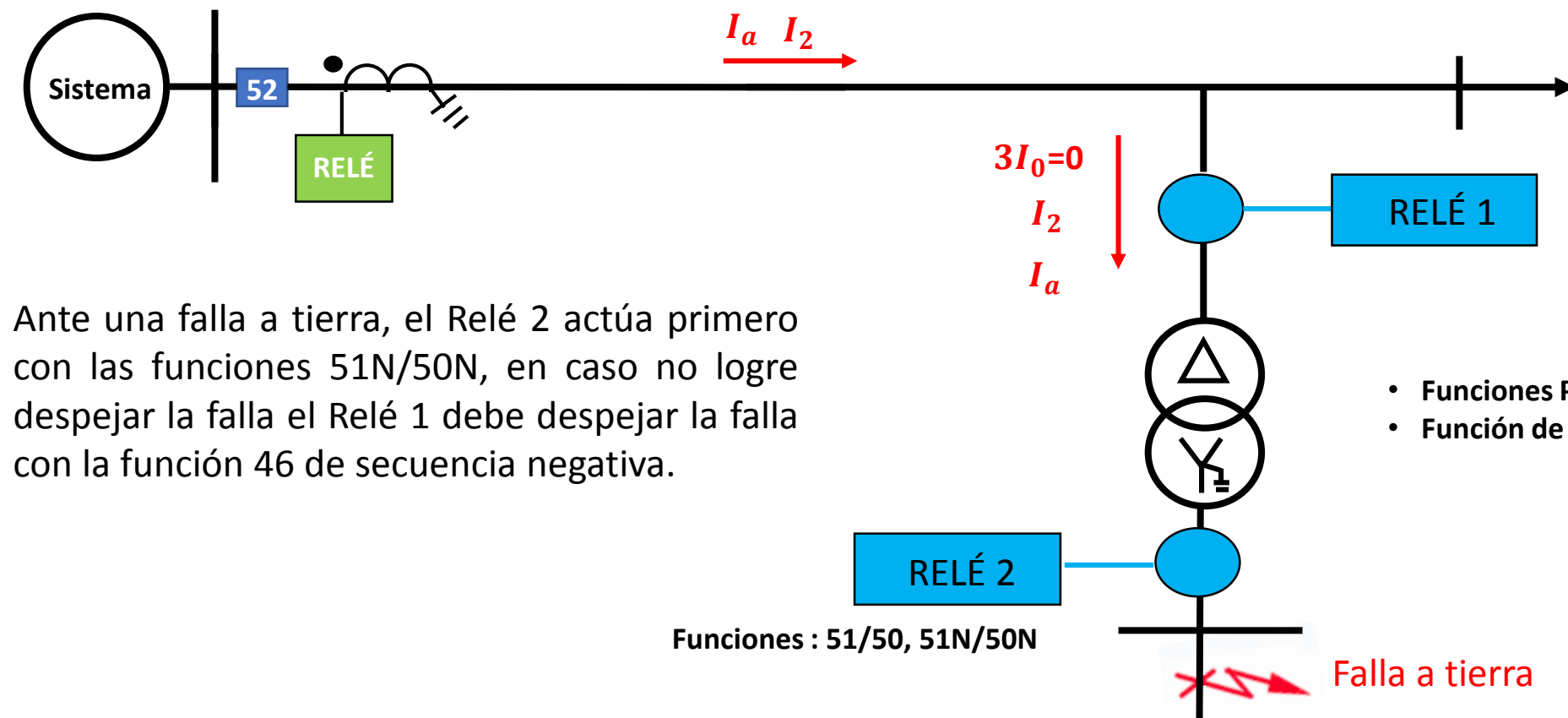
$$3I_0=0$$
$$I_2$$
$$I_a$$

Fusible

La secuencia negativa pasa
no le interesa el grupo de
conexión del transformador
de distribución: DyN y YyN

Falla a tierra

Respaldo ante fallas monofásicas en la red YN en lado de baja.:

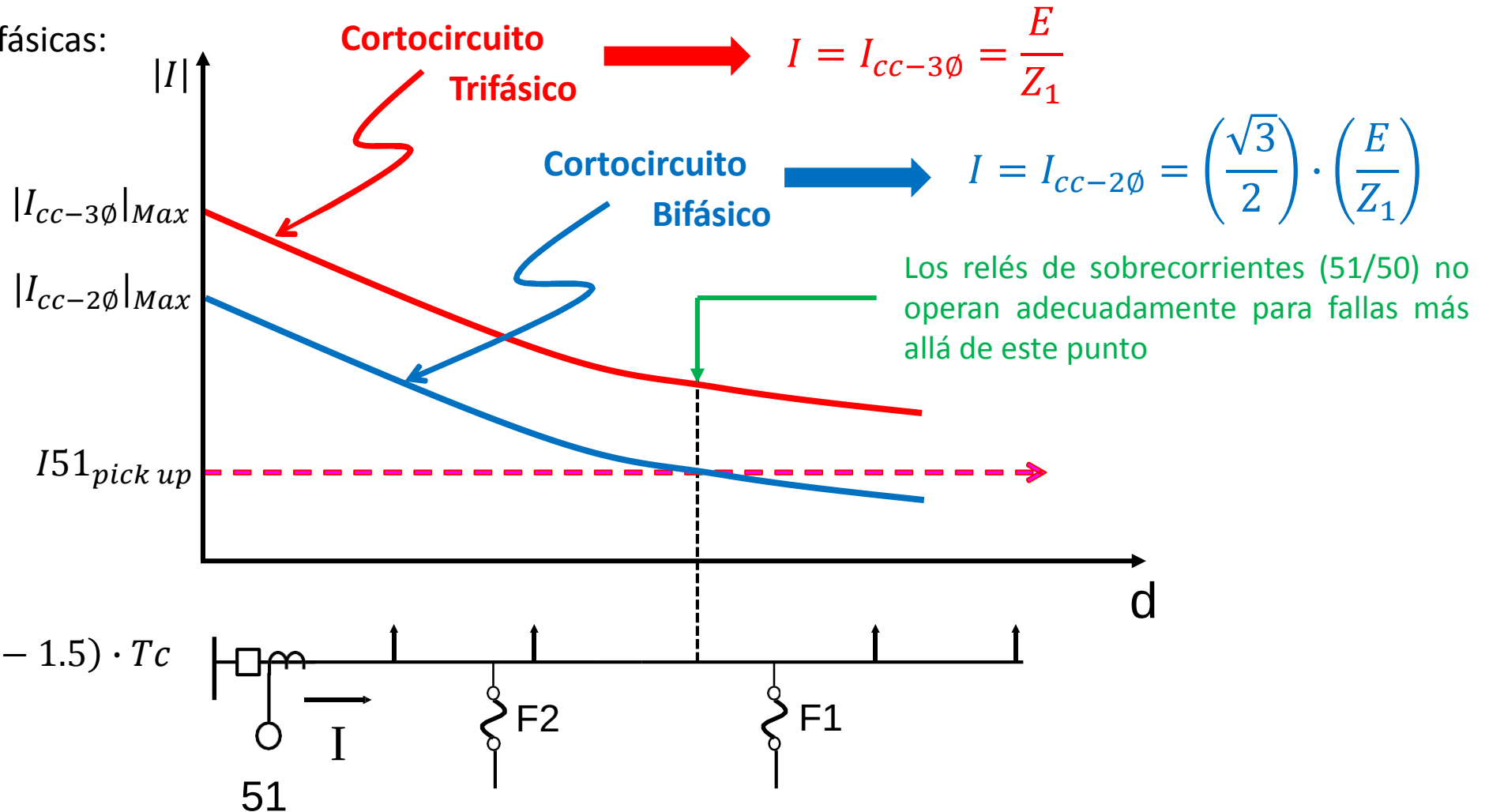


Ante una falla a tierra, el Relé 2 actúa primero con las funciones 51N/50N, en caso no logre despejar la falla el Relé 1 debe despejar la falla con la función 46 de secuencia negativa.

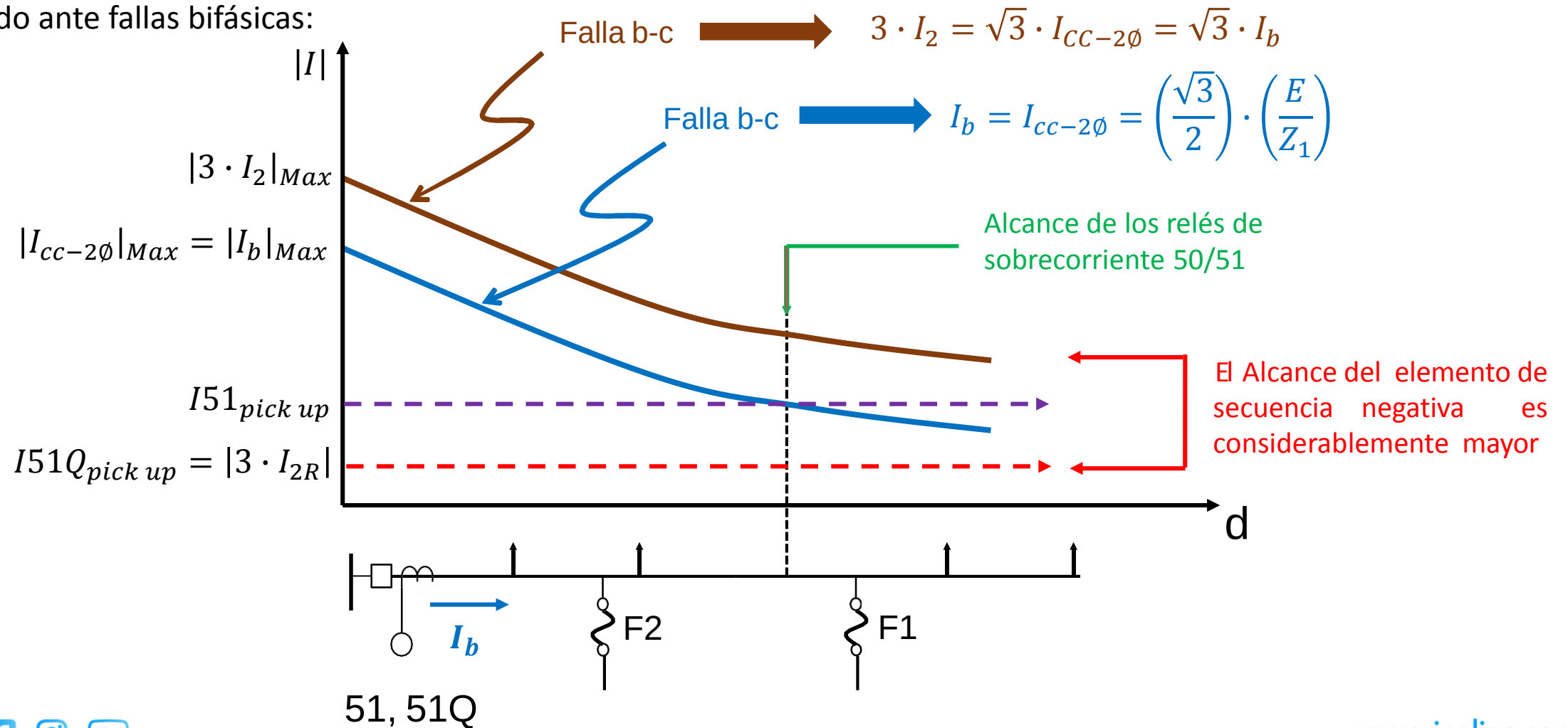
- Funciones Principales: 51/50, 51N/50N
- Función de Respaldo: 46

Funciones : 51/50, 51N/50N

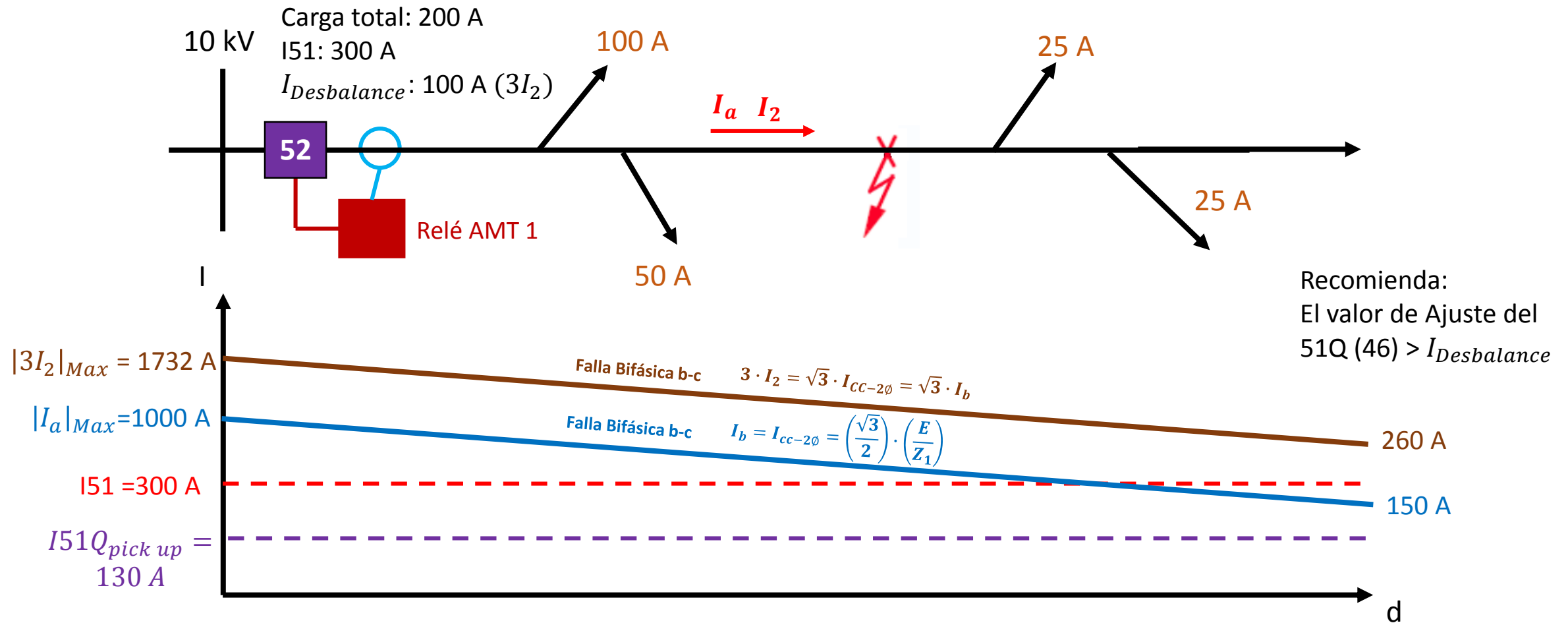
Respaldo ante fallas bifásicas:



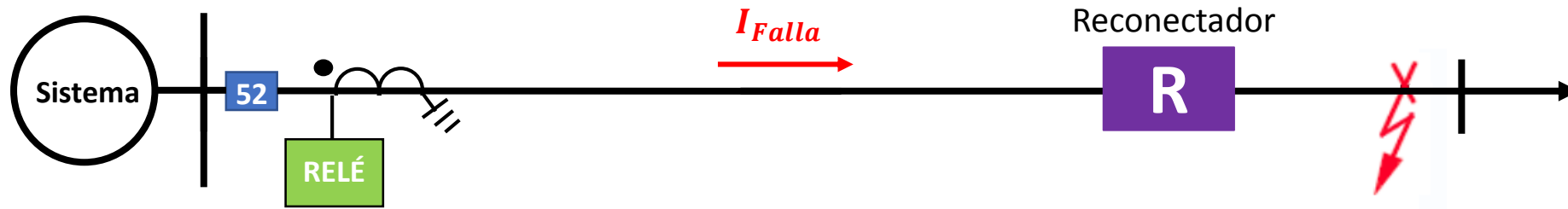
Respaldo ante fallas bifásicas:



APLICACIONES DE PROTECCIÓN DE SECUENCIA NEGATIVA



Respaldo ante fallas bifásica y monofásica en Alimentadores de media tensión



Fallas Trifásica se detecta con las funciones: 51/50

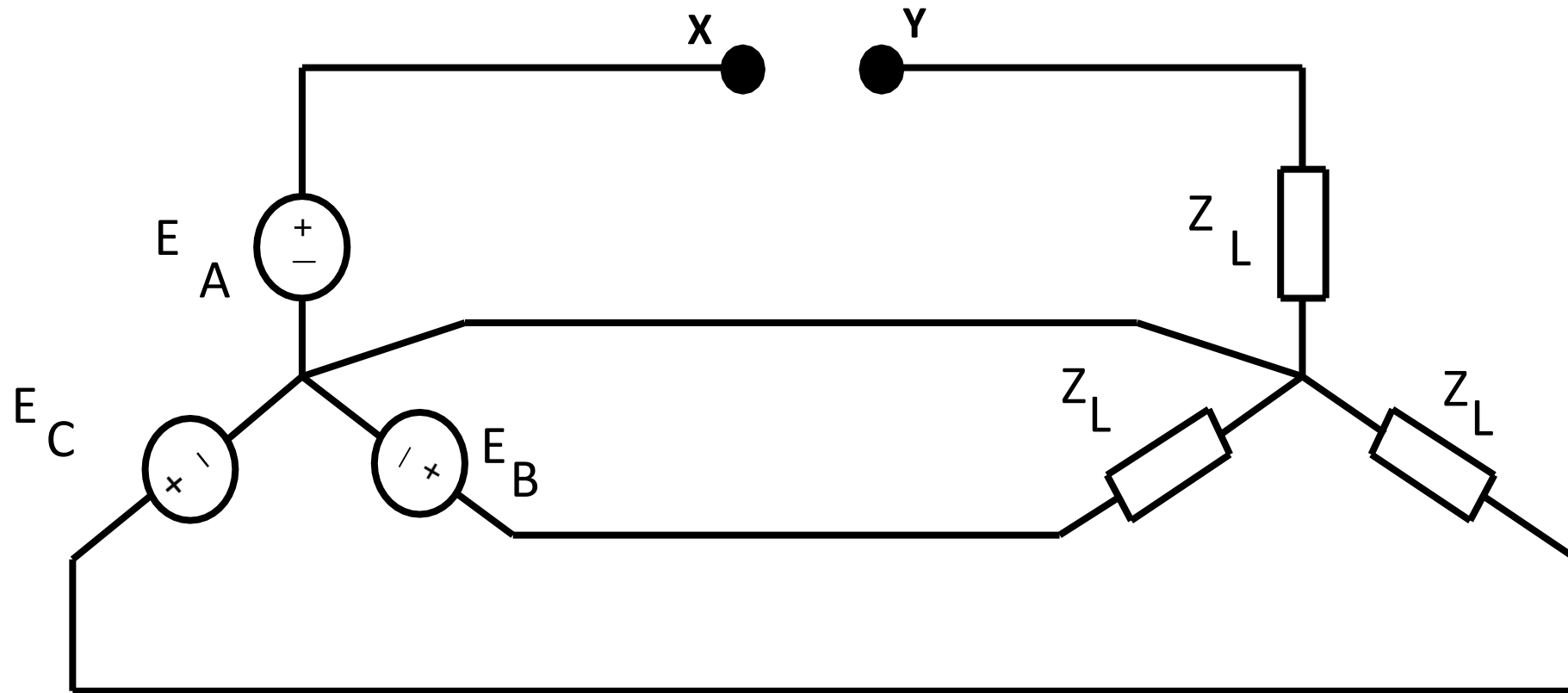
Fallas Monofásicas se detecta con las funciones: 51N/50N, 51Ns/50Ns y 51Q (46).

Fallas Bifásica se detecta con las funciones: 51/50 y 51Q (46).

Fallas Bifásica a tierra se detecta con las funciones: 51/50, 51N/50N y 51Q (46).

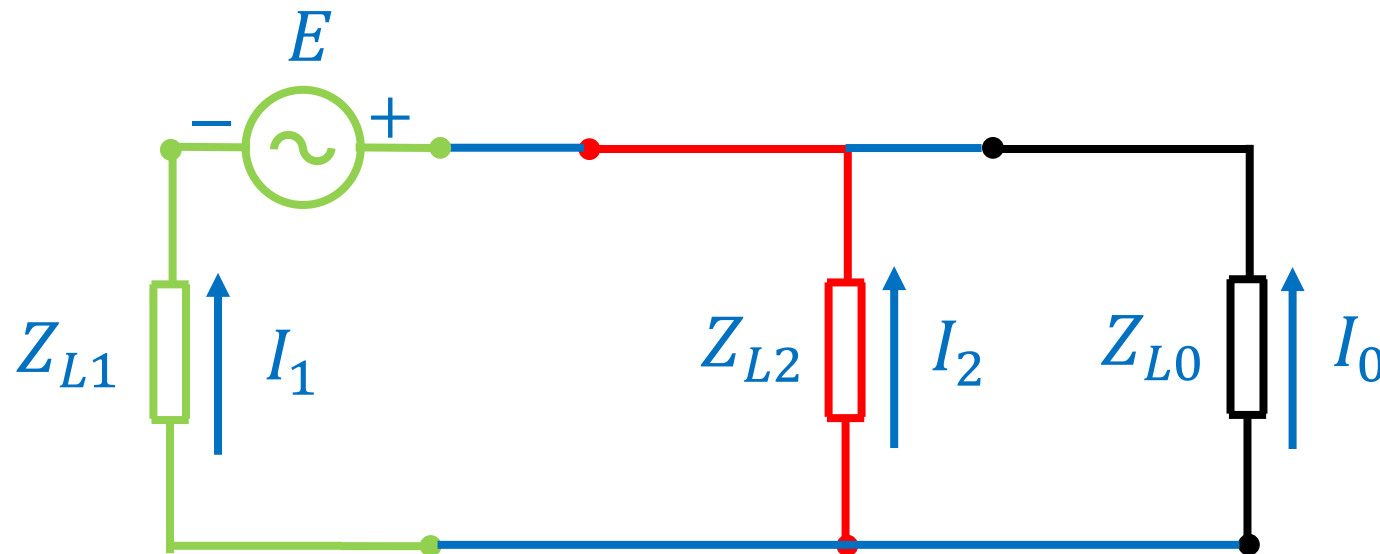
DETECCIÓN DE CONDUCTOR ROTO

Sistema de Cuatro Hilos



DETECCIÓN DE CONDUCTOR ROTO

Circuito equivalente de secuencia en conductor roto en Sistema de Cuatro Hilos



Detección de Conductor Roto en Sistema de 4 Hilos

$$\text{Si: } Z_{1L} = Z_{2L} = Z_{0L}$$

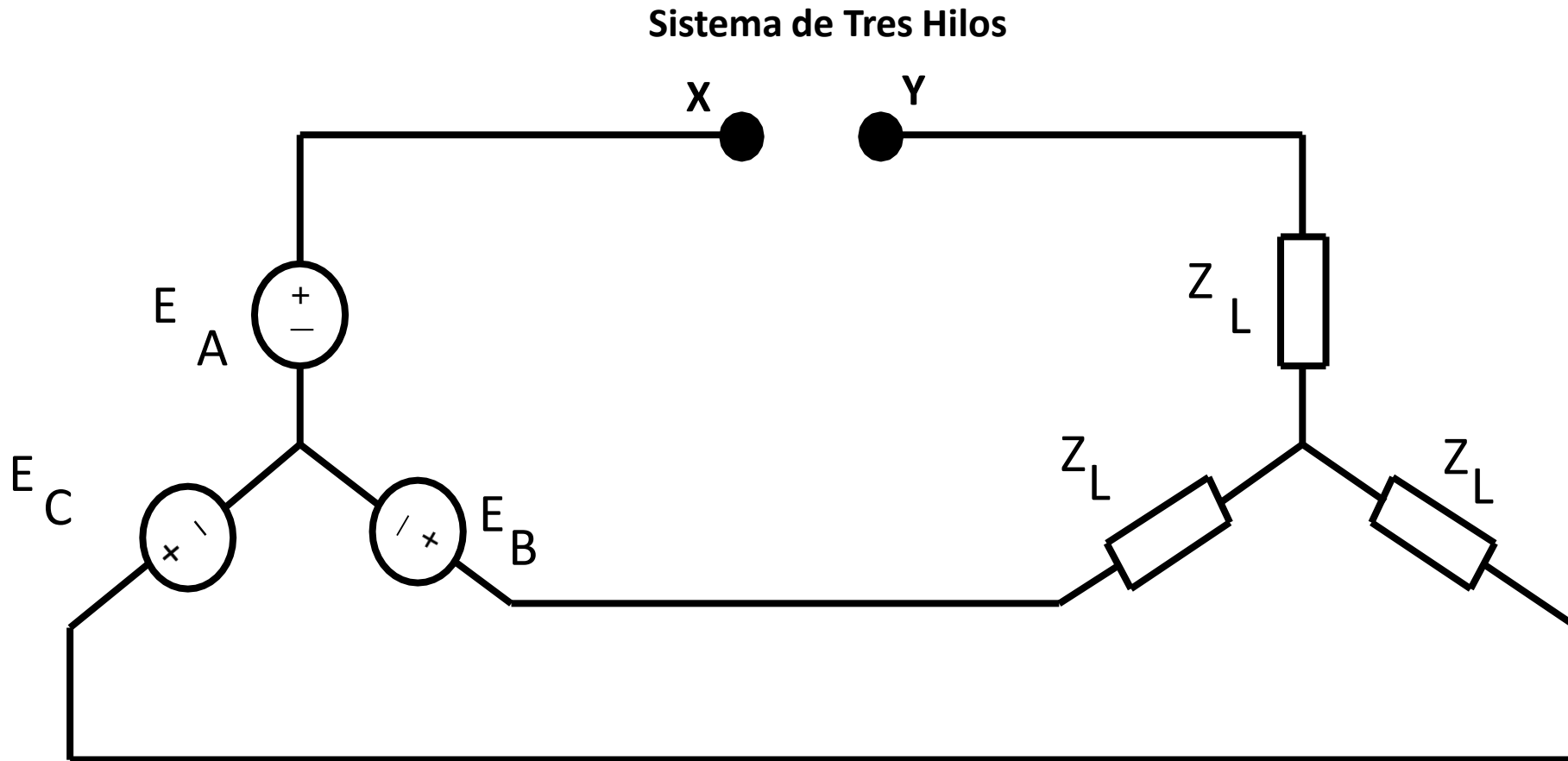
Corriente de Carga antes de conductor roto

$$\text{Por tanto: } |3 \cdot I_2| = |I_L|$$

$$I_L = \frac{E}{Z_{1L}}$$

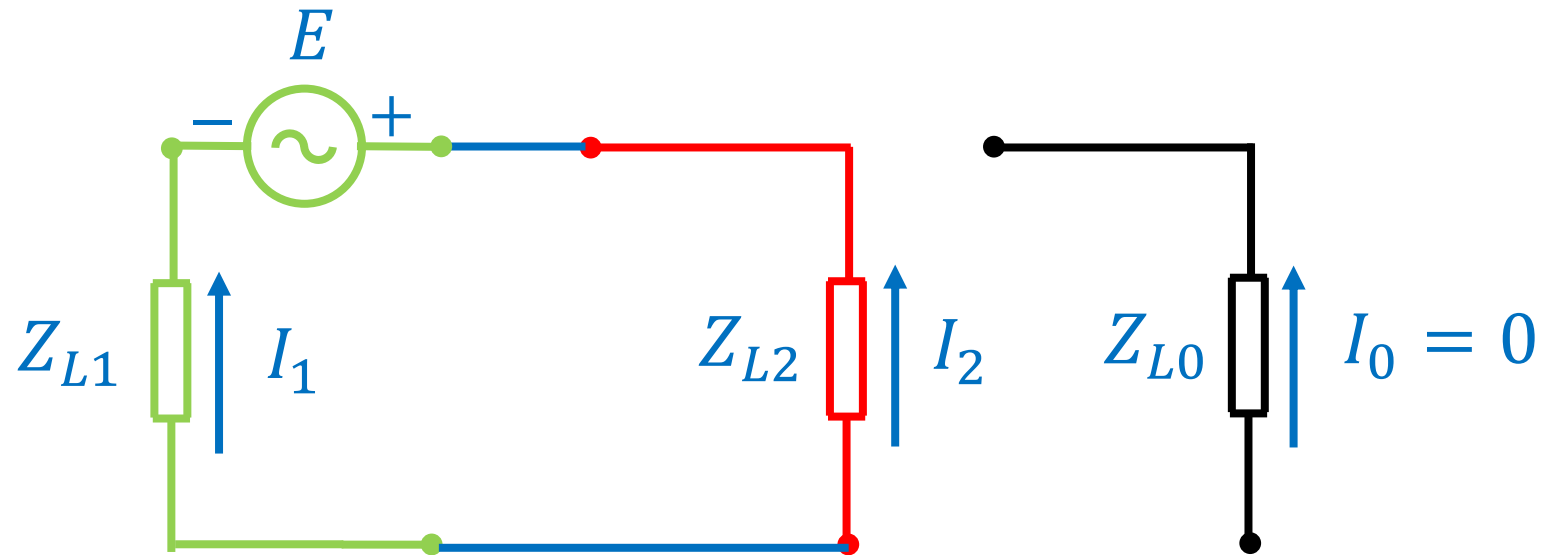
$$\text{Pickup del Elemento de Fase Equivalente} = \frac{I_L}{\sqrt{3}} = 0.577 \cdot I_L$$

DETECCIÓN DE CONDUCTOR ROTO



DETECCIÓN DE CONDUCTOR ROTO

Circuito equivalente de secuencia en conductor roto en Sistema de Tres Hilos



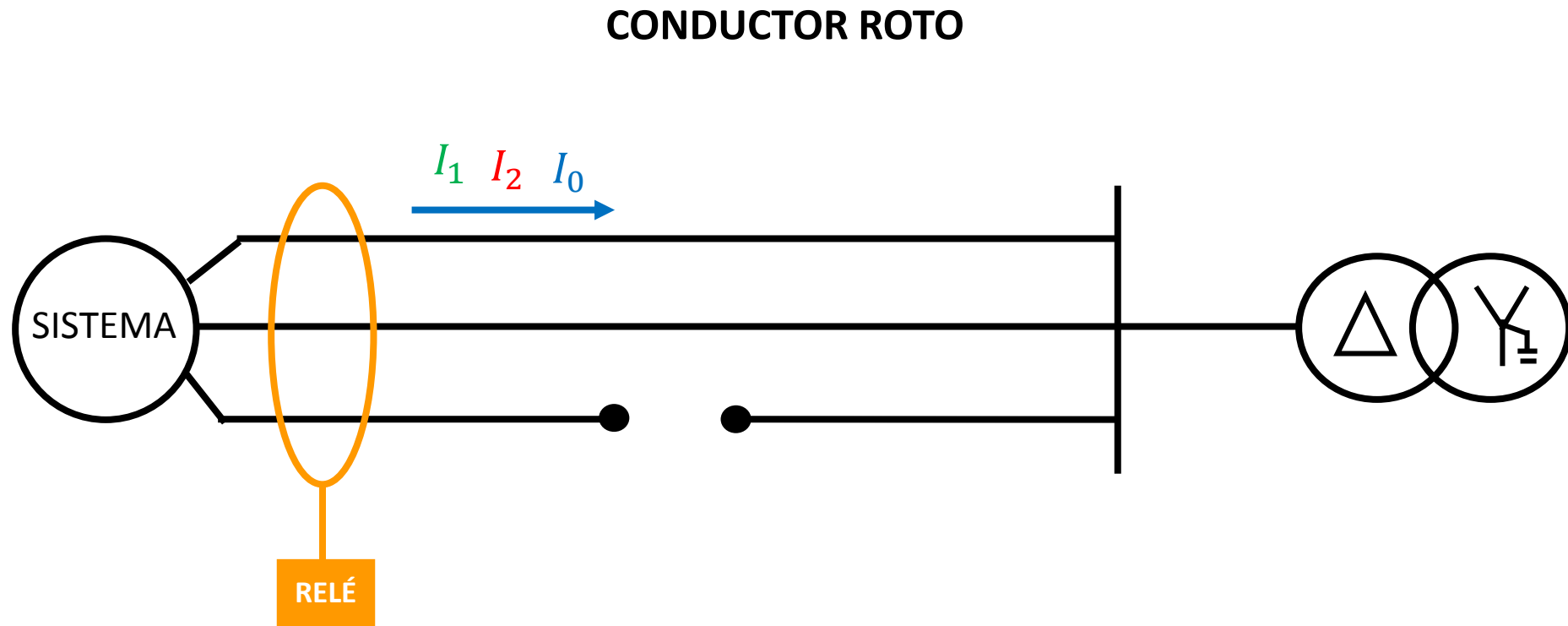
Detección de Conductor Roto en Sistema de 3 Hilos

$$\text{Si: } Z_{1L} = Z_{2L}$$

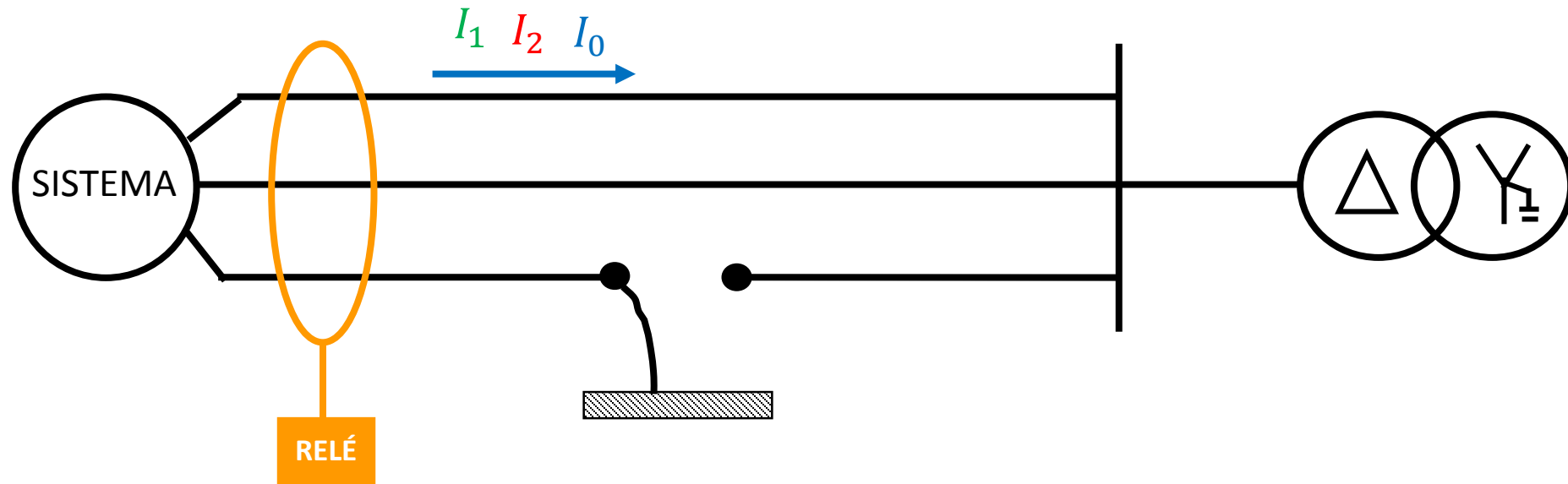
Corriente de Carga antes de conductor roto

$$\text{Por tanto: } |3 \cdot I_2| = |1.5 \cdot I_L| \qquad I_L = \frac{E}{Z_{1L}}$$

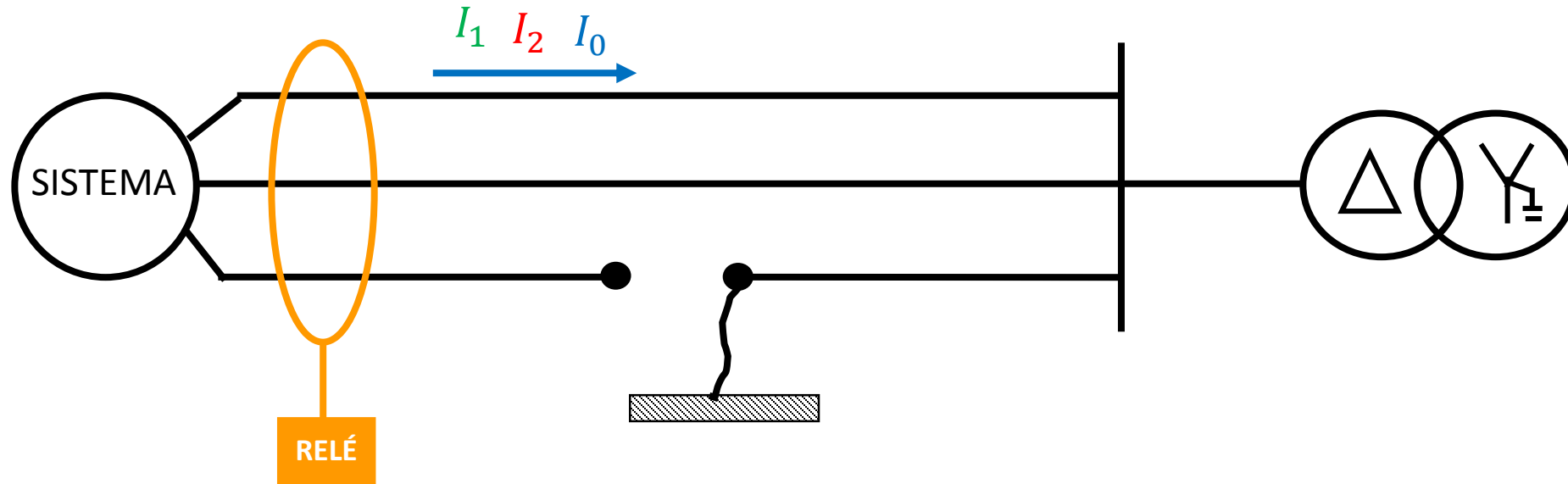
$$\text{Pickup del Elemento de Fase Equivalente} = \frac{1.5 \cdot I_L}{\sqrt{3}} = 0.866 \cdot I_L$$



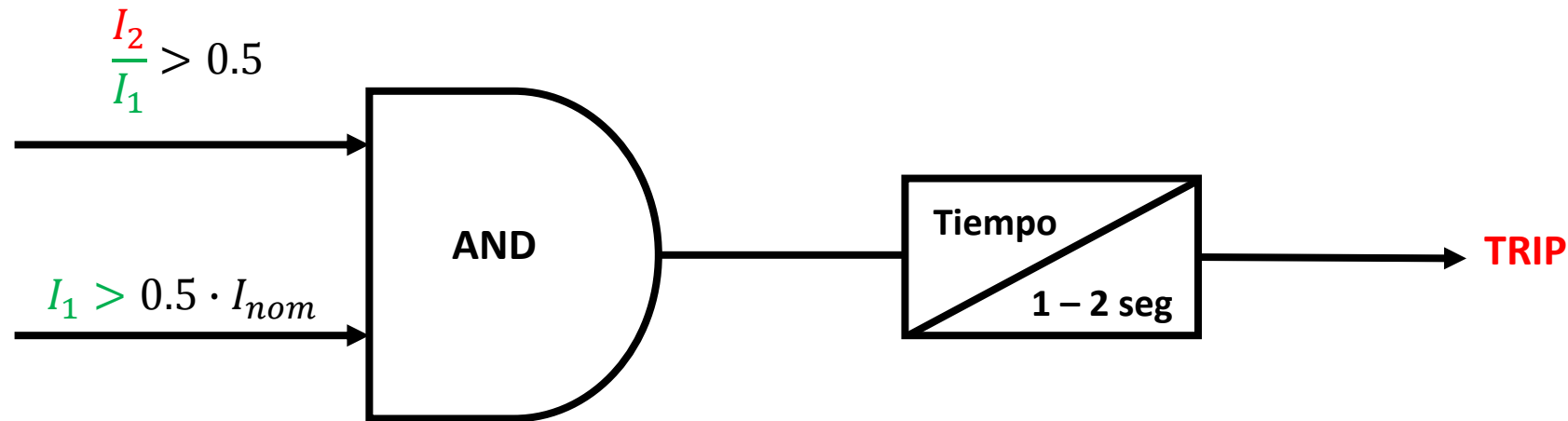
CONDUCTOR ROTO EN EL LADO DE LA FUENTE



CONDUCTOR ROTO EN EL LADO DE LA CARGA



ESQUEMA DE CONDUCTOR ROTO Y AJUSTES RECOMENDADOS



Se recomienda reajustar los valores de ajustes propuestos, en función de las simulaciones y pruebas en sitio de los alimentadores; teniendo en cuenta el ajuste en la corriente de mayor desbalance en el Alimentador o circuito.

MUCHAS
GRACIAS