Componentes Simétricas

1 - Introducción

En los sistemas trifásicos se presentan muchas veces cargas desequilibradas que para los casos más complicados la solución resulta dificultosa. Por esta razón, el uso del método de las Componentes Simétricas presentado por C. Fortescue.

El fundamento es el siguiente:

Todo circuito trifásico asimétrico y desequilibrado puede ser la suma o composición de dos sistemas simétricos y equilibrados de distinta secuencia y una terna de vectores iguales y colineales, los que pueden resolverse por métodos estudiados anteriormente.

2 - Suma de Ternas de Vectores.

La suma de dos ternas simétricas y equilibradas de la misma secuencia da una terna simétrica. (Figura 1)

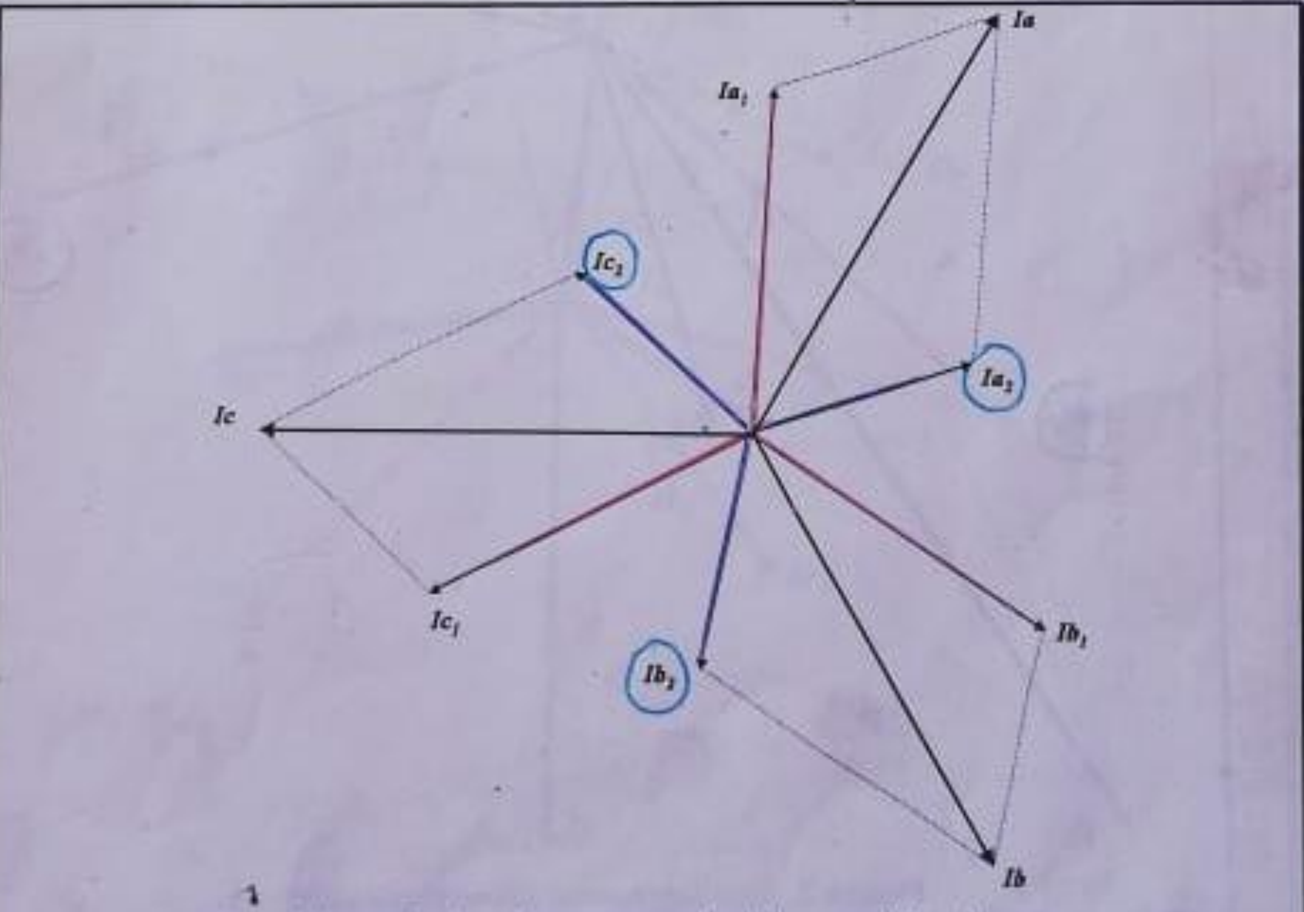

Figura 1. *Resultante terna simétrica equilibrada.*

Terna 1	Ia_1	Ib_1	Ic_1
Terna 2	Ia_2	Ib_2	Ic_2
Resultante	Ia	Ib	Ic

La suma de dos ternas simétricas y equilibradas de distinta secuencia da una terna asimétrica equilibrada. (Figura 2)

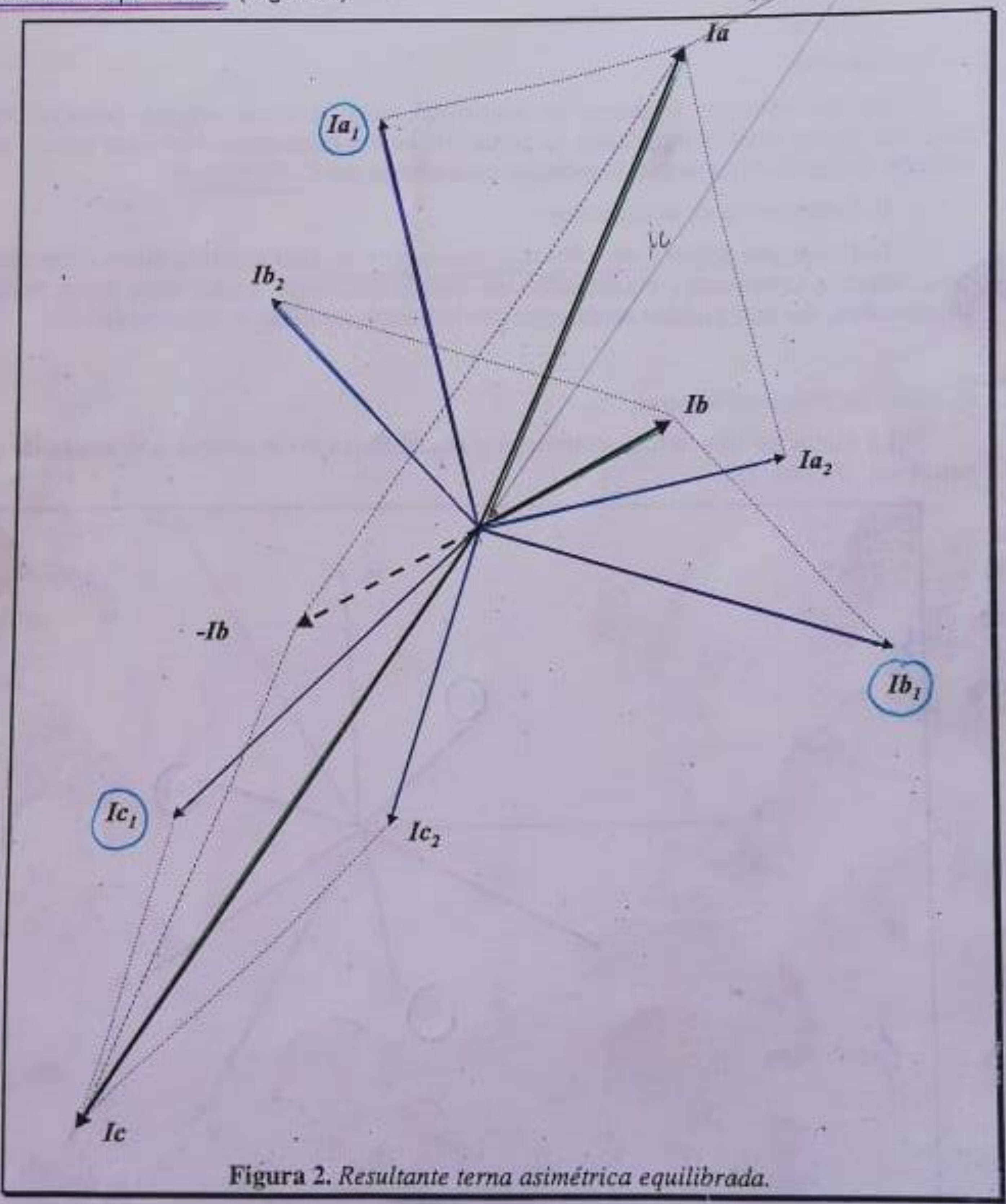

Figura 2. *Resultante terna asimétrica equilibrada.*

Terna 1	Ia_1	Ib_1	Ic_1	*Secuencia directa o positiva.*
Terna 2	Ia_2	Ib_2	Ic_2	*Secuencia indirecta o negativa*
Resultante	Ia	Ib	Ic	*Terna asimétrica equilibrada*

La suma de dos ternas simétricas y equilibradas de distinta secuencia y una terna de vectores iguales y colineales, da una terna asimétrica y desequilibrada. (Figura 3)

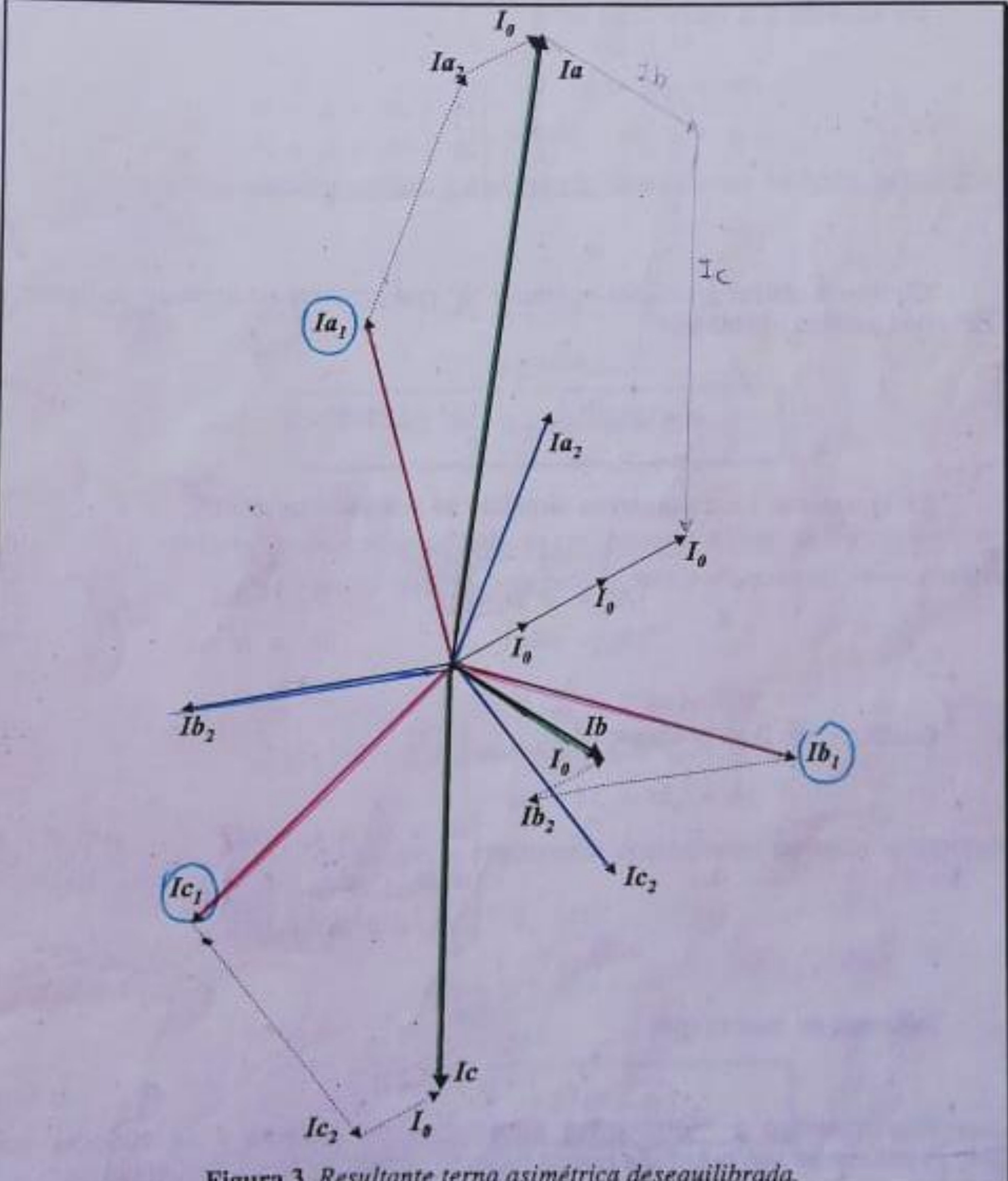

Figura 3. *Resultante terna asimétrica desequilibrada.*

Terna 1	Ia_1	Ib_1	Ic_1	*Secuencia positiva.*
Terna 2	Ia_2	Ib_2	Ic_2	*Secuencia negativa*
Terna 3	$Ia_0=Ib_0=Ic_0=I_0$			*Secuencia cero*
Resultante	Ia	Ib	Ic	*Terna asimétrica desequilibrada*

3 - Determinación analítica de las Componentes Simétricas.

De acuerdo a la figura 3, se tiene

$$1 \qquad \begin{cases} Ia_1 + Ia_2 + I_0 = Ia \\ Ib_1 + Ib_2 + I_0 = Ib \\ Ic_1 + Ic_2 + I_0 = Ic \end{cases}$$

Conviene utilizar un nuevo operador "α" que produce en el plano complejo un giro de 120° en el sentido antihorario

$$\alpha = 1\angle 120^\circ \qquad \alpha^2 = 1\angle 240^\circ = 1\angle -120^\circ$$

En el sistema 1 los siguientes términos se pueden expresar:

sec (+) sec (-)

$$2 \qquad \begin{cases} Ib_1 = \alpha^2 Ia_1 \\ Ic_1 = \alpha Ia_1 \end{cases} \qquad \begin{aligned} Ib_2 &= \alpha Ia_2 \\ Ic_2 &= \alpha^2 Ia_2 \end{aligned}$$

Sustituyendo 2 en el sistema 1

$$3 \qquad \begin{cases} Ia_1 + Ia_2 + I_0 = Ia \\ \alpha^2 Ia_1 + \alpha Ia_2 + I_0 = Ib \\ \alpha Ia_1 + \alpha^2 Ia_2 + I_0 = Ic \end{cases}$$

Teniendo en cuenta que

$$1 + \alpha + \alpha^2 = 0$$

y sumando miembro a miembro las ecuaciones del sistema 3 se observa que las dos primeras columnas son nulas. Se puede hallar la componente de secuencia cero

$$3I_0 = Ia + Ib + Ic$$

$$\therefore$$

$$\boxed{I_0 = \frac{1}{3}(Ia + Ib + Ic)}$$

Para hallar la componente simétrica de secuencia positiva se multiplica por α y α² la segunda y tercer ecuación de 3 respectivamente.

$$4 \qquad \begin{array}{r} \\ \times\alpha = \\ \times\alpha^2 = \end{array}\begin{cases} Ia_1 + Ia_2 + I_0 = Ia \\ Ia_1 + \alpha^2 Ia_2 + \alpha I_0 = \alpha Ib \\ Ia_1 + \alpha Ia_2 + \alpha^2 I_0 = \alpha^2 Ic \end{cases}$$

Sumando miembro a miembro y efectuando operaciones se halla la componente de secuencia positiva.

$$3Ia_1 = Ia + \alpha Ib + \alpha^2 Ic$$

$$\therefore$$

$$\boxed{Ia_1 = \frac{1}{3}\left(Ia + \alpha Ib + \alpha^2 Ic\right)}$$

Procediendo en forma similar se halla la componente simétrica de secuencia negativa pero ahora se multiplica por α² y α la segunda y tercera ecuación respectivamente del sistema 3

$$5 \qquad \begin{array}{r} \\ \times\alpha^2 = \\ \times\alpha = \end{array}\begin{cases} Ia_1 + Ia_2 + I_0 = I_a \\ \alpha Ia_1 + Ia_2 + \alpha^2 I_0 = \alpha^2 I_b \\ \alpha^2 Ia_1 + Ia_2 + \alpha I_0 = \alpha I_c \end{cases}$$

Sumando miembro a miembro y efectuando operaciones se halla la componente de secuencia negativa

$$3Ia_2 = Ia + \alpha^2 Ib + \alpha Ic$$

$$\therefore$$

$$\boxed{Ia_2 = \frac{1}{3}\left(Ia + \alpha^2 Ib + \alpha Ic\right)}$$

Se pueden hallar gráficamente las componentes simétricas partiendo de la terna asimétrica desequilibrada interpretando las expresiones.

$$I_0 = \frac{1}{3}(Ia + Ib + Ic) \qquad \text{Fig. 4}$$

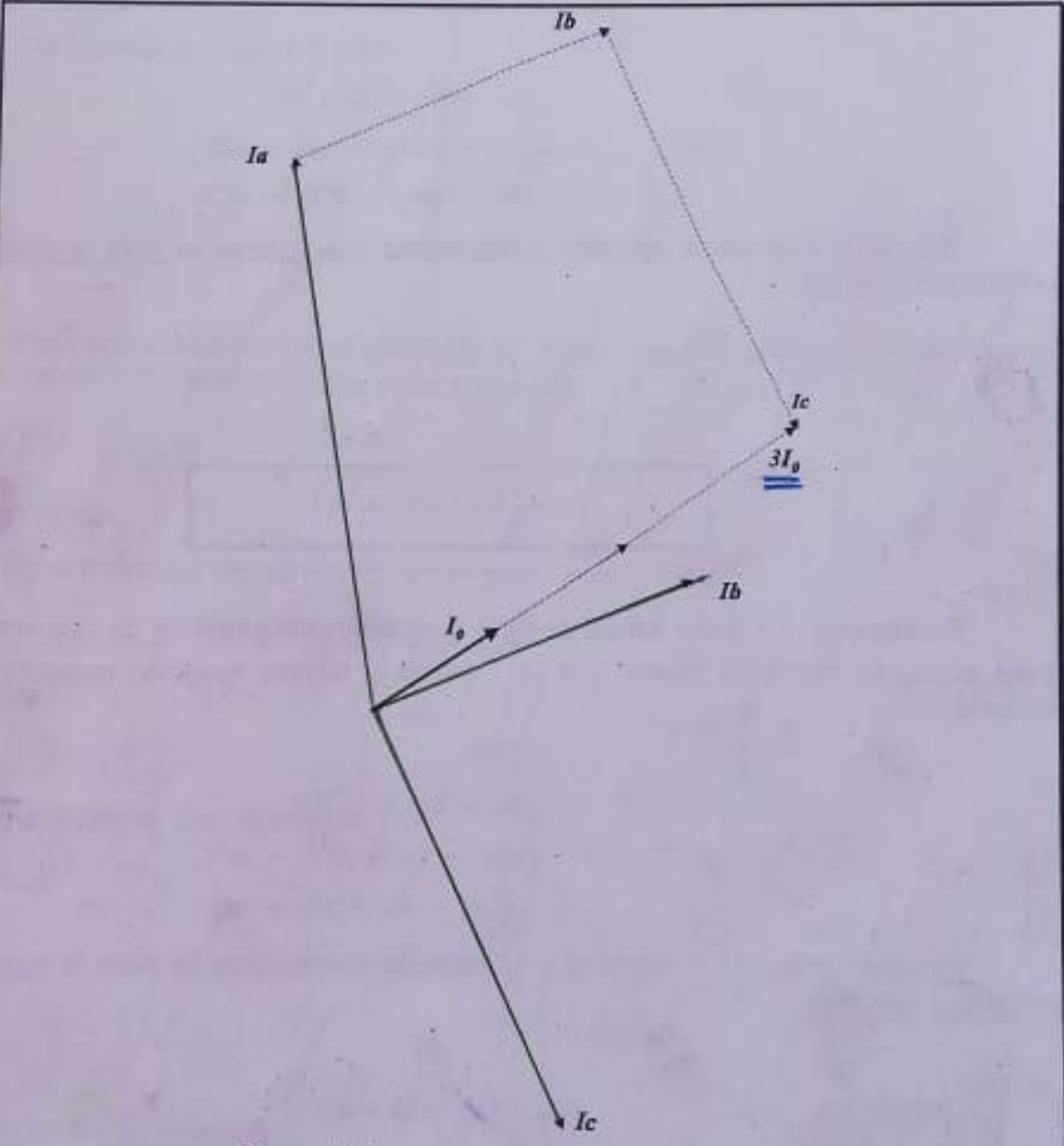

Figura 4. *Determinación terna secuencia cero.*

$$Ia_1 = \frac{1}{3}\left(Ia + \alpha Ib + \alpha^2 Ic\right)$$ Fig. 5

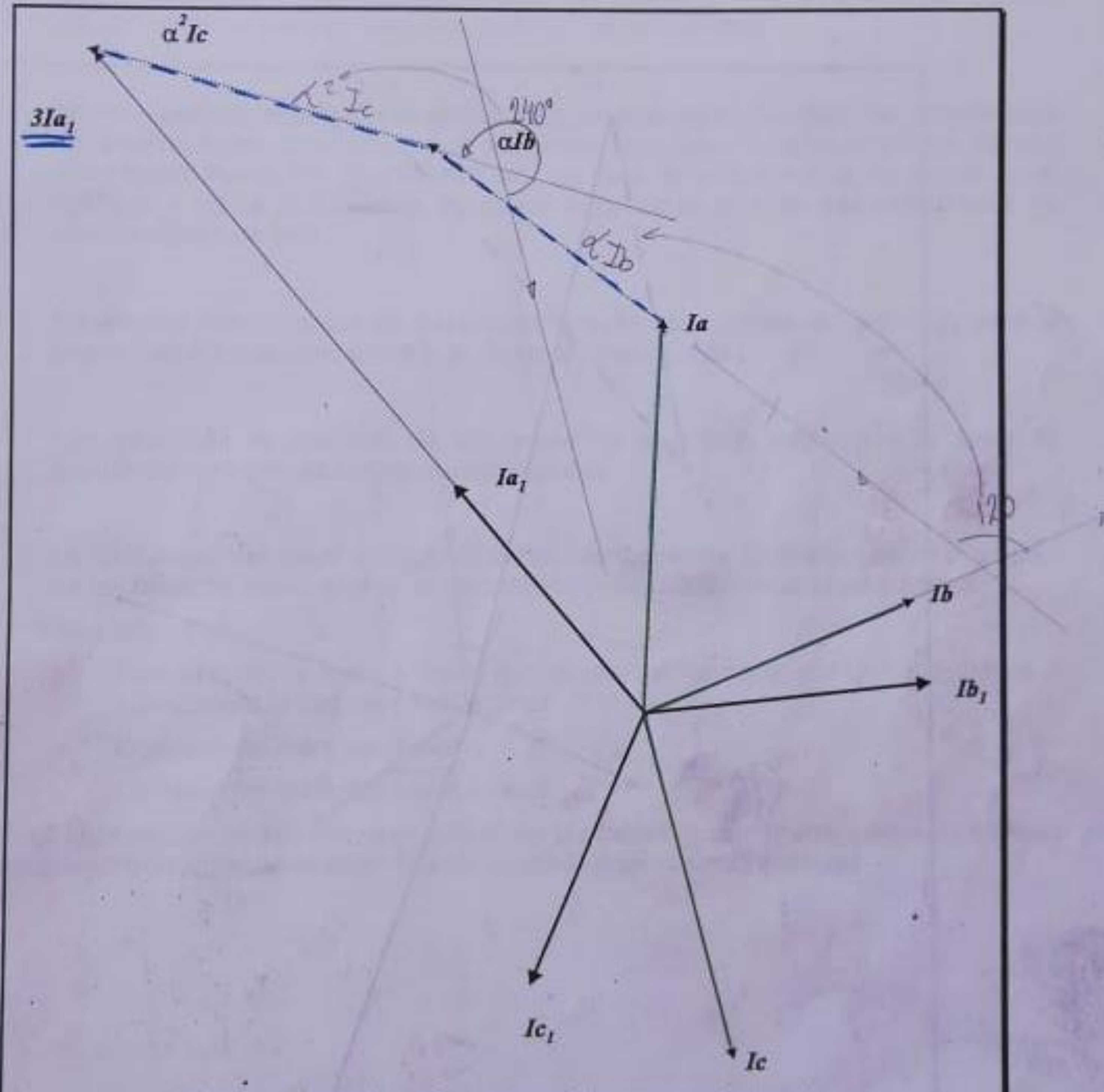

Figura 5. *Determinación terna simétrica secuencia positiva.*

$$Ia_2 = \frac{1}{3}\left(Ia + \alpha^2 Ib + \alpha Ic\right) \qquad \text{Fig. 6}$$

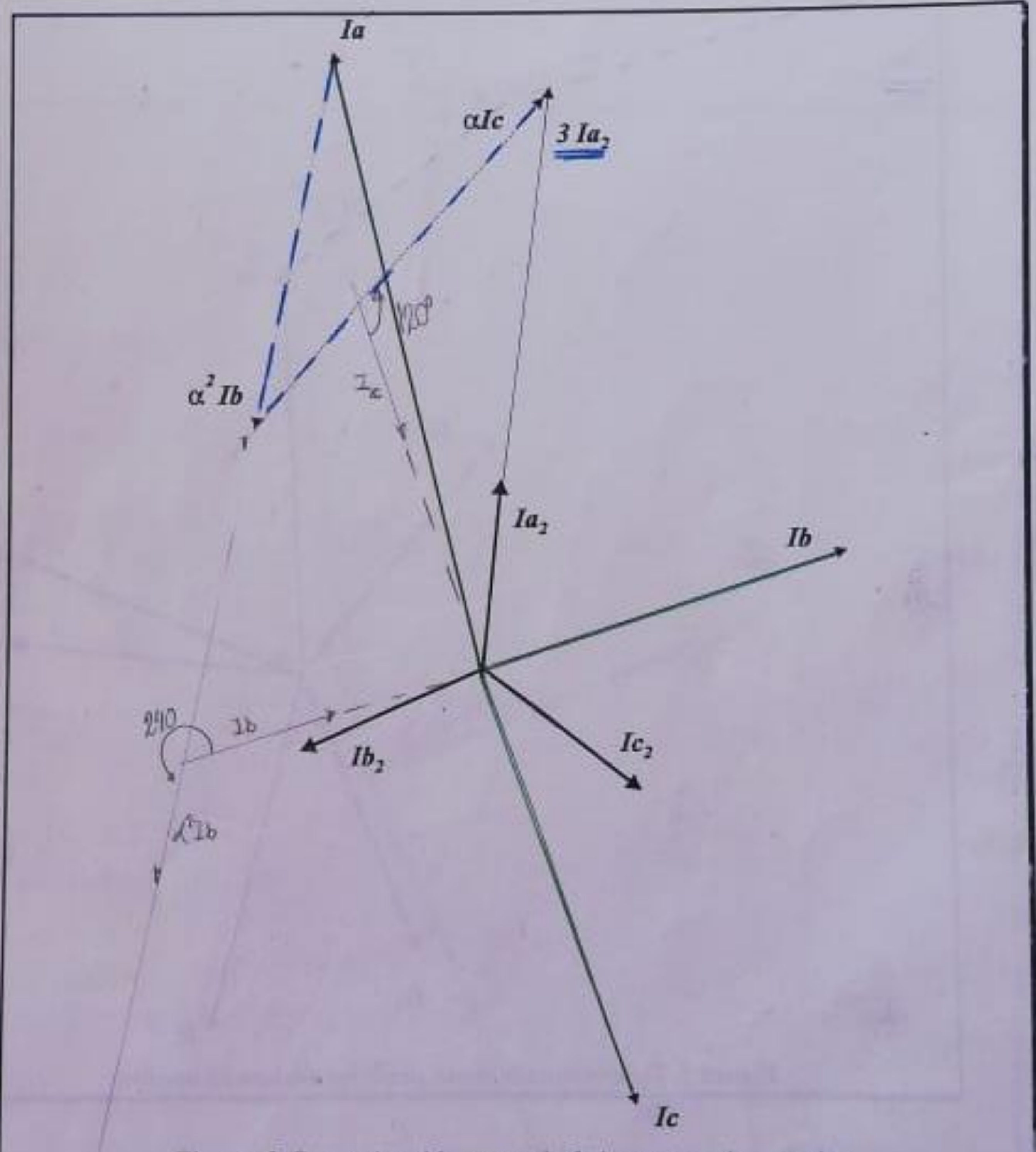

Figura 6. *Determinación terna simétrica secuencia negativa.*

Conclusiones

1. En un sistema de cargas desequilibradas conectadas en estrella con neutro flotante, las corrientes no pueden tener componentes de secuencia 0

2. En los sistemas de cargas desequilibradas conectadas en triángulo, las intensidades de línea no tienen componentes de secuencia cero, pero si en las corrientes de fase cuya suma puede ser distinta de cero, se trata de una corriente circulante en el triángulo y nunca lo abandona, no puede encontrarse sola, es una componente de cada corriente de fase.

3. No existen componentes de secuencia cero en los voltajes entre líneas, pero si puede haber estas componentes en las tensiones de fase

4. Las causa de la aparición de las ternas de secuencia negativa y la terna de secuencia cero son las cargas desequilibradas.

5. La aplicación más usual del método de las Componentes Simétricas es en el estudio de las fallas de líneas aéreas de transmisión y distribución de energía eléctrica.

   Estas fallas son:

   a. Cortocircuito de línea a tierra que puede ser causado por un rayo, niebla o suciedad en la cadena de aisladores.

   b. Cortocircuito entre dos líneas.

   c. Cortocircuito entre dos líneas y tierra.

El cortocircuito de tres líneas es común en los cables subterráneos, pero este caso es una falla equilibrada que no requiere el análisis por Componentes Simétricas.

Redes Eléctricas
Skilling
Cap V completo

JGS - Fin de Tema