

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA  
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA-ELECTRÓNICA

**LABORATORIO DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS III**  
**INFORME No. 3**

**CIRCUITOS TRIFÁSICOS DESEQUILIBRADOS  
CON FUENTE ESTRELLA Y CARGA ESTRELLA**

**Estudiante:**

Caballero Burgoa, Carlos Eduardo.

**Carrera:**

Ing. Electromecánica.

**Docente:**

Ing. Marco Antonio Vallejo Camacho.

**Grupo:** 2F (Martes).

**Fecha de entrega:** 2 de Octubre del 2024.

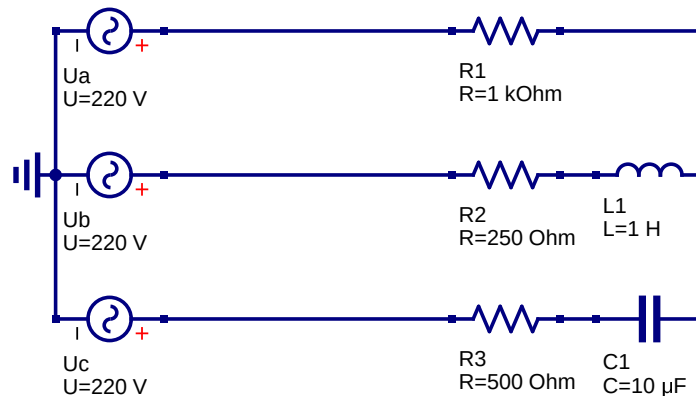
## 1. Cálculos teóricos

Considerando un circuito trifásico estrella-estrella desequilibrado con las siguientes cargas:

- **Carga A:**  $R_1 = 1[k\Omega]$ .
- **Carga B:**  $R_2 = 250[\Omega]$  y  $L = 1[H]$ .
- **Carga C:**  $R_3 = 500[\Omega]$  y  $C = 10[\mu F]$ .

Con voltaje de fase  $U_L = 220[V]$  y con frecuencia de  $50[Hz]$ , se hallan las corrientes de línea para los siguientes casos:

### 1.1. Sin línea de neutro



**Figura 1:** Circuito trifásico desequilibrado sin línea de neutro.

#### 1.1.1. Secuencia positiva

Se calcula la frecuencia angular ( $\omega$ ):

$$\begin{aligned}\omega &= 2\pi f \\ &= 2\pi(50) \\ &= 100\pi[\text{rad/s}]\end{aligned}$$

Se hallan las impedancias en el dominio de frecuencia:

$$\begin{aligned}Z_1 &= R_1 \\ &= 1000[\Omega]\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Z_2 &= R_2 + j\omega L \\ &= 250 + j100\pi[\Omega]\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Z_3 &= R_3 + \frac{1}{j\omega C} \\&= 500 - j\frac{1000}{\pi} [\Omega]\end{aligned}$$

Considerando una secuencia positiva:

$$\begin{aligned}U_a &= 220/\underline{0^\circ} [\text{V}] \\U_b &= 220/\underline{-120^\circ} [\text{V}] \\U_c &= 220/\underline{120^\circ} [\text{V}]\end{aligned}$$

Se calcula el voltaje entre neutros con el teorema de *Millman*:

$$\begin{aligned}U_0 &= \frac{\frac{U_a}{Z_1} + \frac{U_b}{Z_2} + \frac{U_c}{Z_3}}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3}} \\&= \frac{\frac{220/\underline{0^\circ}}{1000} + \frac{220/\underline{-120^\circ}}{250 + j100\pi} + \frac{120/\underline{120^\circ}}{500 - j(1000/\pi)}}{\frac{1}{1000} + \frac{1}{250 + j100\pi} + \frac{1}{500 - j(1000/\pi)}} \\&= 159.99/\underline{-173.20^\circ} [\text{V}]\end{aligned}$$

A partir del voltaje de neutro se calculan las corrientes de línea:

$$\begin{aligned}I_{L_1} &= \frac{U_a - U_0}{Z_1} \\&= \frac{200/\underline{0^\circ} - 159.99/\underline{-173.20^\circ}}{500} \\&= 0.38/\underline{2.86^\circ} [\text{A}] \\I_{L_2} &= \frac{U_b - U_0}{Z_2} \\&= \frac{200/\underline{-120^\circ} - 159.99/\underline{-173.20^\circ}}{250 + j100\pi} \\&= 0.44/\underline{-125.59^\circ} [\text{A}] \\I_{L_3} &= \frac{U_c - U_0}{Z_3} \\&= \frac{200/\underline{120^\circ} - 159.99/\underline{-173.20^\circ}}{500 - j(1000/\pi)} \\&= 0.36/\underline{109.35^\circ} [\text{A}]\end{aligned}$$

### 1.1.2. Secuencia negativa

Considerando una secuencia negativa:

$$U_a = 220/0^\circ \text{ [V]}$$

$$U_b = 220/120^\circ \text{ [V]}$$

$$U_c = 220/-120^\circ \text{ [V]}$$

Se calcula el voltaje entre neutros con el teorema de *Millman*:

$$\begin{aligned} U_0 &= \frac{\frac{U_a}{Z_1} + \frac{U_b}{Z_2} + \frac{U_c}{Z_3}}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3}} \\ &= \frac{\frac{220/0^\circ}{1000} + \frac{220/120^\circ}{250 + j100\pi} + \frac{120/-120^\circ}{500 - j(1000/\pi)}}{\frac{1}{1000} + \frac{1}{250 + j100\pi} + \frac{1}{500 - j(1000/\pi)}} \\ &= 111.57/32.36^\circ \text{ [V]} \end{aligned}$$

A partir del voltaje de neutro se calculan las corrientes de línea:

$$\begin{aligned} I_{L_1} &= \frac{U_a - U_0}{Z_1} \\ &= \frac{200/0^\circ - 111.57/32.36^\circ}{500} \\ &= 0.14/-25.40^\circ \text{ [A]} \\ I_{L_2} &= \frac{U_b - U_0}{Z_2} \\ &= \frac{200/-120^\circ - 111.57/32.36^\circ}{250 + j100\pi} \\ &= 0.60/95.87^\circ \text{ [A]} \\ I_{L_3} &= \frac{U_c - U_0}{Z_3} \\ &= \frac{200/120^\circ - 111.57/32.36^\circ}{500 - j(1000/\pi)} \\ &= 0.54/-96.74^\circ \text{ [A]} \end{aligned}$$

## 1.2. Con línea de neutro

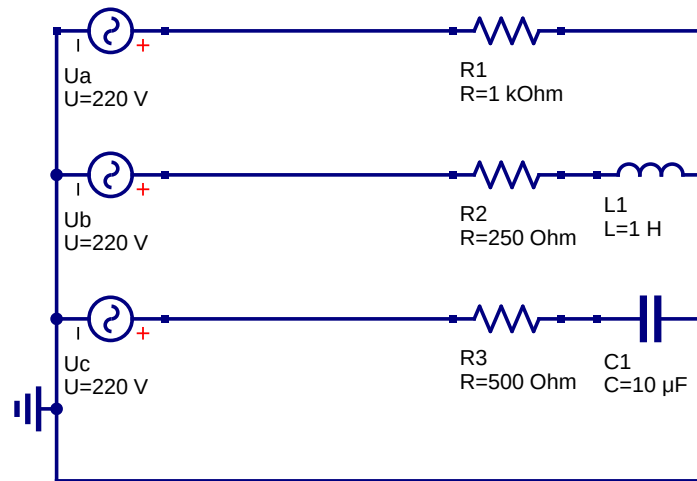
### 1.2.1. Secuencia positiva

Considerando una secuencia positiva:

$$U_a = 220/0^\circ \text{ [V]}$$

$$U_b = 220/-120^\circ \text{ [V]}$$

$$U_c = 220/120^\circ \text{ [V]}$$



**Figura 2:** Circuito trifásico desequilibrado con línea de neutro.

Se calculan las corrientes de línea:

$$\begin{aligned}
 I_{L_1} &= \frac{U_a}{Z_1} \\
 &= \frac{200\angle 0^\circ}{500} \\
 &= 0.22\angle 0^\circ [\text{A}]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{L_2} &= \frac{U_b}{Z_2} \\
 &= \frac{200\angle -120^\circ}{250 + j100\pi} \\
 &= 0.55\angle -171.49^\circ [\text{A}]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{L_3} &= \frac{U_c}{Z_3} \\
 &= \frac{200\angle 120^\circ}{500 - j(1000/\pi)} \\
 &= 0.37\angle 152.48^\circ [\text{A}]
 \end{aligned}$$

Con las corrientes de línea se calcula la corriente de neutro:

$$\begin{aligned}
 I_0 &= I_{L_1} + I_{L_2} + I_{L_3} \\
 &= 0.22\angle 0^\circ + 0.55\angle -171.49^\circ + 0.37\angle 152.48^\circ \\
 &= 0.66\angle 172.10^\circ [\text{A}]
 \end{aligned}$$

### 1.2.2. Secuencia negativa

Considerando una secuencia negativa:

$$U_a = 220/0^\circ [\text{V}]$$

$$U_b = 220/120^\circ [\text{V}]$$

$$U_c = 220/-120^\circ [\text{V}]$$

Se calculan las corrientes de línea:

$$\begin{aligned} I_{L_1} &= \frac{U_a}{Z_1} \\ &= \frac{200/0^\circ}{500} \\ &= 0.22/0^\circ [\text{A}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{L_2} &= \frac{U_b}{Z_2} \\ &= \frac{200/120^\circ}{250 + j100\pi} \\ &= 0.55/68.51^\circ [\text{A}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{L_3} &= \frac{U_c}{Z_3} \\ &= \frac{200/-120^\circ}{500 - j(1000/\pi)} \\ &= 0.37/-87.52^\circ [\text{A}] \end{aligned}$$

Con las corrientes de línea se calcula la corriente de neutro:

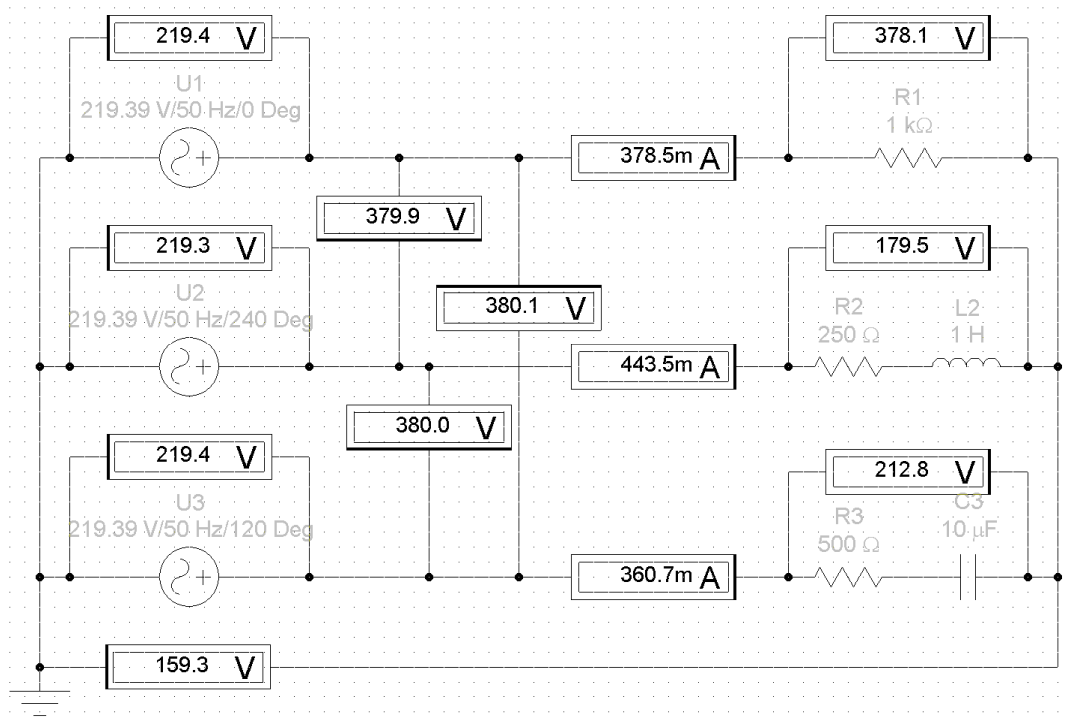
$$\begin{aligned} I_0 &= I_{L_1} + I_{L_2} + I_{L_3} \\ &= 0.22/0^\circ + 0.55/68.51^\circ + 0.37/-87.52^\circ \\ &= 0.46/17.66^\circ [\text{A}] \end{aligned}$$

### 1.3. Resumen de resultados

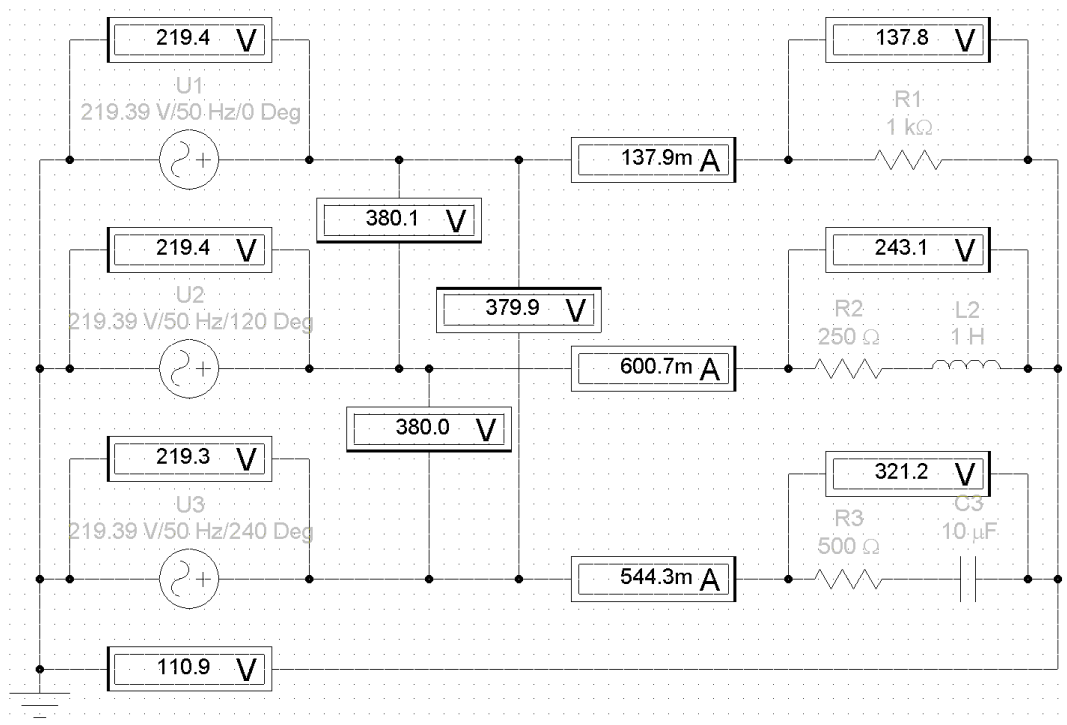
|     |           | $I_{L_1} [\text{A}]$ | $I_{L_2} [\text{A}]$ | $I_{L_3} [\text{A}]$ | $U_0 [\text{V}]$ | $I_0 [\text{A}]$ |
|-----|-----------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|------------------|
| (+) | <b>SN</b> | 0.38/2.86°           | 0.44/-125.59°        | 0.36/109.35°         | 159.99/-173.20°  | —                |
|     | <b>CN</b> | 0.22/0°              | 0.55/-171.49°        | 0.37/152.48°         | 0                | 0.66/172.10°     |
| (-) | <b>SN</b> | 0.14/-25.40°         | 0.60/95.87°          | 0.54/-96.74°         | 111.57/32.36°    | —                |
|     | <b>CN</b> | 0.22/0°              | 0.55/68.51°          | 0.37/-87.52°         | 0                | 0.46/17.66°      |

## 2. Simulación

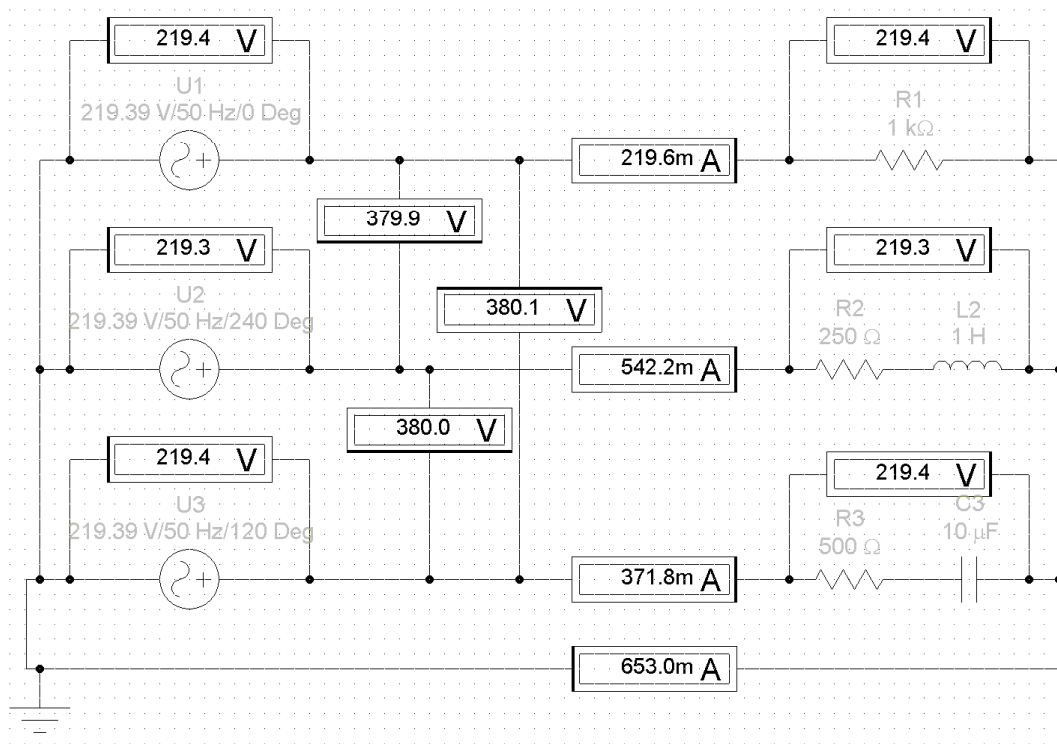
Se utilizó el software *Electronic Workbench v5.12*. para simular los circuitos, estos pueden verse en las figuras: (3), (4), (5) y (6).



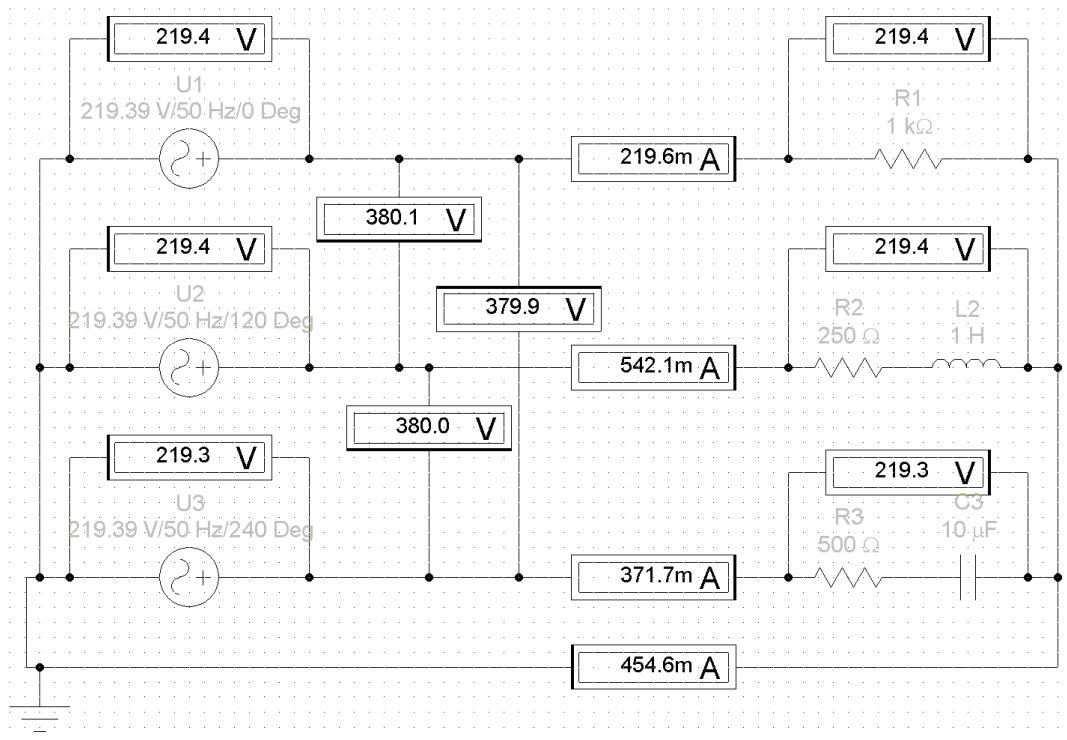
**Figura 3:** Simulación del circuito sin linea de neutro secuencia positiva.



**Figura 4:** Simulación del circuito sin linea de neutro secuencia negativa.



**Figura 5:** Simulación del circuito con línea de neutro secuencia positiva.



**Figura 6:** Simulación del circuito con línea de neutro secuencia negativa.



### 3. Tablas y mediciones

En las tablas siguientes, se presentan los resultados obtenidos con las mediciones realizadas en laboratorio.

|     |    | $U_{L_1-N}[\text{V}]$ | $U_{L_2-N}[\text{V}]$ | $U_{L_3-N}[\text{V}]$ | $I_{L_1}[\text{A}]$ | $I_{L_2}[\text{A}]$ | $I_{L_3}[\text{A}]$ | $U_0[\text{V}]$ | $I_0[\text{A}]$ |
|-----|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------|-----------------|
| (+) | SN | 224                   | 222                   | 225                   | 0.36                | 0.43                | 0.35                | 159             | —               |
|     | CN | 225                   | 222                   | 224                   | 0.2                 | 0.53                | 0.36                | 0               | 0.63            |
| (-) | SN | 225                   | 222                   | 224                   | 0.12                | 0.59                | 0.53                | 109             | —               |
|     | CN | 225                   | 222                   | 226                   | 0.2                 | 0.53                | 0.37                | 0               | 0.43            |

|     |    | $U_{Z_1}[\text{V}]$ | $U_{Z_2}[\text{V}]$ | $U_{Z_3}[\text{V}]$ |
|-----|----|---------------------|---------------------|---------------------|
| (+) | SN | 384                 | 184                 | 218                 |
|     | CN | 225                 | 173                 | 225                 |
| (-) | SN | 146                 | 244                 | 328                 |
|     | CN | 225                 | 222                 | 226                 |

### 4. Cuestionario

1. ¿Existe variación en los valores medidos al cambiar la secuencia del generador? Qué sucedería en caso de que el sistema fuera equilibrado habría también variación?. Justifique su respuesta.
2. Demostrar el teorema de *Millman* y verifique el valor calculado con el valor medido en laboratorio. Explique el por qué de las variaciones si existen.
3. Verificar la ley de corrientes de *Kirchhoff* sin neutro conectado con los valores teóricos calculados, cuánto debería ser y cuánto es lo que se obtiene?
4. Con los datos tomados en el circuito con neutro conectado. ¿El valor medido de  $I_0$  concuerda con lo aprendido en la teoría?
5. Con los datos de laboratorio, ¿existen diferencias de tensiones y corrientes tanto de fase como de línea, sin neutro y con neutro?. Justifique su respuesta.

### 5. Conclusiones y Recomendaciones