

Circuitos Trifásicos

José Fabio Lozano Ovalle Código: 222982

Wilson Orlando Macias Fuquen Código: 223101

David Ricardo Martínez Hernández Código: 261931

Resumen—Se construirán cargas trifásicas balanceadas en estrella y delta que se alimentaran con fuentes trifásicas balanceadas y se analizan los voltajes y corrientes de línea y fase, también se realizaran los diagramas fasoriales. Se construirá un circuito rectificador trifásico de media onda y por ultimo se medirán las potencias activa reactiva y aparente tanto monofásica como trifásica.

Palabras clave—Cargas Balanceadas, Conexión Estrella (Y), Conexión Triangulo (Δ), Corriente de Fase, Corriente de Línea, Neutro, Potencia Activa, Potencia Aparente, Potencia Reactiva, Voltaje de Fase, Voltaje de Línea.

I. OBJETIVOS

- Identificar la relación entre voltajes fase-fase y voltajes fase-neutro en un sistema trifásico para cargas en estrella y en delta.
- Identificar la relación entre la corriente fase-fase y la corriente fase-neutro en un sistema trifásico para cargas en estrella y en delta.
- Utilizar el método de los dos watímetros “ARON” para la medición de potencia.
- Determinar la variación de la potencia cuando se implementa un rectificador de media onda.

II. INTRODUCCIÓN

La mayor parte del equipo utilizado en nuestra vida cotidiana funciona con sistemas monofásicos, pero existen muchos otros que utilizan el sistema trifásico, como por ejemplo los motores en la industria, y que representan una gran parte de la demanda total del sistema.

La utilización de circuitos trifásicos para la generación de energía eléctrica presenta ventajas no solo desde el punto de vista constructivo de la maquina rotatoria que se utiliza para dicha generación, sino también para la transmisión de potencia, ya que la eficiencia mejora cuando se utiliza un sistema trifásico en vez de uno monofásico. La potencia instantánea de la carga se mantiene como una constante lo cual ayuda a mantener también constante el momento de torsión sobre el rotor, esto no sería posible en un sistema monofásico y se traduciría en un aumento en la vibración del generador.

III. HIPÓTESIS

Al medir la potencia con el método de los dos watímetros la suma de la potencia activa registrada por cada uno será la potencia trifásica total que consume la carga.

Los voltajes de línea serán mayores en una magnitud de $\sqrt{3}$ a los voltajes de fase en una conexión estrella-estrella (Y-Y). Las corrientes de línea serán mayores en una magnitud de $\sqrt{3}$ a las corrientes de fase en una conexión estrella-delta (Y- Δ).

IV. ACTIVIDADES A DESARROLLAR EN EL LABORATORIO

- Se identifico el neutro de la red monofásica midiendo la diferencia de potencial entre los terminales con respecto a tierra, el que diera aproximadamente 0 es el neutro que se necesita.
- En el segundo punto se midieron Voltajes, Corrientes y Potencias del circuito Y-Y balanceado. De igual forma se realizo este procedimiento para el circuito Y- Δ balanceado.

V. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Para esta práctica se implementaran tres circuitos trifásicos con fuentes balanceadas, a continuación se muestran los montajes de estos.

A. Circuito Y – Y

Para esta parte de la práctica se implementa el siguiente circuito trifásico Y – Y con cargas balanceadas para el cual se hace el análisis correspondiente.

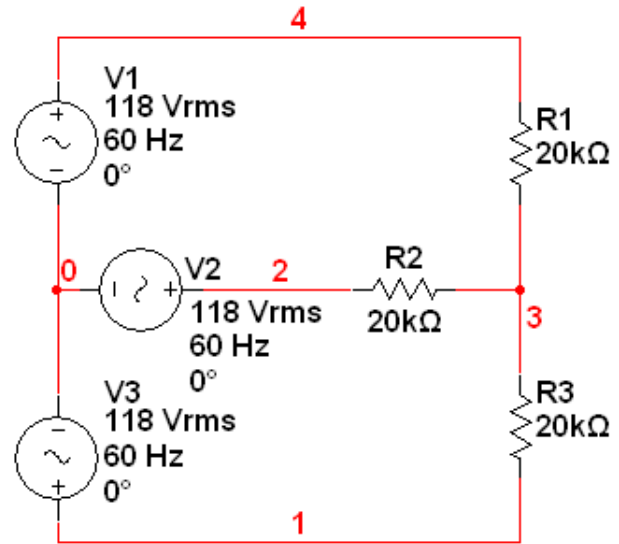


Fig. 1: Circuito Balanceado Y – Y

Al tener el circuito con carga balanceada se puede decir que la tensión el Nodo 3 es 0 V, lo cual facilita el análisis ya que en cada resistencia Z_Y cae una tensión de $120 V_{RMS}$.

$$I_a = \frac{V_{an}}{Z_Y} = \frac{120\angle 0^\circ V}{20\angle 0^\circ K\Omega} = 6\angle 0^\circ mA \quad (1)$$

De igual forma se obtiene $I_b = 6\angle -120^\circ \text{ mA}$ y $I_c = 6\angle 120^\circ \text{ mA}$.

$$P = 3V_f I_L \cos\theta = 3(120V)(6mA)\cos 0^\circ = 2.16 \text{ Watts} \quad (2)$$

Los resultados obtenidos en la simulación fueron:

V_{nN}	234.28 mV_{rms}
V_{an}	118 V_{rms}
V_{ab}	118 V_{rms}
V_{cn}	118 V_{rms}
V_{ab}	204.398 V_{rms}
V_{bc}	204.398 V_{rms}
V_{ca}	204.398 V_{rms}

TABLA I: Valores obtenidos teóricamente de los Voltajes

$I_{La} = I_{fA}$	0.5305 A_{rms}
$I_{Lb} = I_{fB}$	0.5299 A_{rms}
$I_{Lc} = I_{fC}$	0.5317 A_{rms}

TABLA II: Valores obtenidos teóricamente de las Corrientes

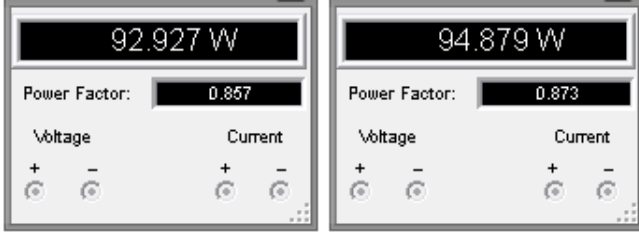


Fig. 2: Potencia medida en conexión Aron

Los valores de las resistencias son $R_1 = 220 \Omega$, $R_2 = 220.5 \Omega$ y $R_3 = 219 \Omega$, 3 inductancias de $L = 9 \text{ mH}$ con un valor resistivo de $R_L = 2.5 \Omega$ a una frecuencia de $F = 60 \text{ Hz}$.

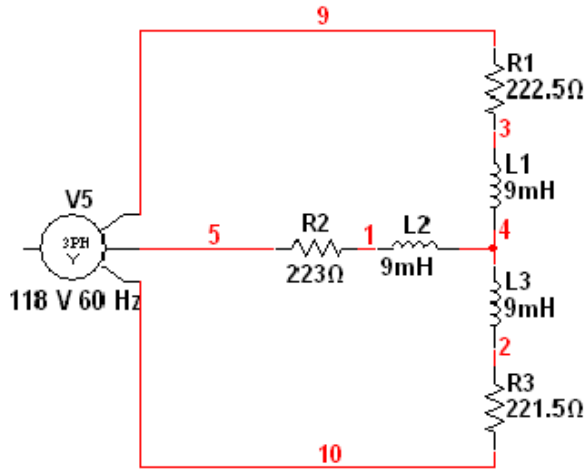


Fig. 3: Circuito Y – Y rediseñado

Los resultados obtenidos en la práctica fueron:

Elemento	Medida
Watimetro1	84 $Watts$
Watimetro2	80 $Watts$

TABLA III: Valores obtenidos en la práctica de las Potencias

V_{nN}	3.06 V_{rms}
V_{an}	118.3 V_{rms}
V_{ab}	119.5 V_{rms}
V_{cn}	118.6 V_{rms}
V_{ab}	205.1 V_{rms}
V_{bc}	205.8 V_{rms}
V_{ca}	205.3 V_{rms}

TABLA IV: Valores obtenidos en la práctica de los Voltajes

$I_{La} = I_{fA}$	0.53 A_{rms}
$I_{Lb} = I_{fB}$	0.532 A_{rms}
$I_{Lc} = I_{fC}$	0.53 A_{rms}

TABLA V: Valores obtenidos en la práctica de las Corrientes

Las tensiones de línea V_L y de fase V_f obtenidas en la práctica y contenidas en la TABLA IV se aproximan a las obtenidas teóricamente o por simulaciones que se encuentran en la TABLA I, aunque se puede observar que en la realidad no es posible obtener una fuente trifásica totalmente balanceada. De igual forma las corrientes de línea I_L prácticas de la TABLA V y teóricas de la TABLA II son muy cercanas, y que en magnitud tanto teóricas como prácticas no sean iguales se debe a que la carga no es totalmente balanceada. Además, las potencias medidas en la simulación y mostrada en la Fig. 3 se acercan levemente a las potencias medidas en la parte práctica contenidas en la TABLA III, debido a que el Wattímetro usado en la práctica no da una medida exacta.

B. Circuito Y – Δ

A continuación se muestra el circuito Y-Δ con carga balanceada, para este circuito se hace el análisis pertinente.

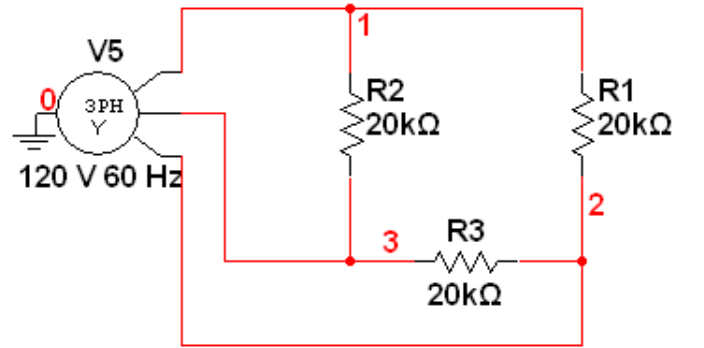


Fig. 4: Circuito Balanceado Y – Δ

Nuevamente se tiene un circuito balanceado se facilita el análisis teniendo.

$$V_L = \sqrt{3}120\angle 0^\circ V = V_{Z\Delta} \quad (3)$$

Para esta tensión de línea V_L el ángulo 0° cumple el sistema balanceado.

$$I_L = \frac{V_L}{Z_{\Delta}} = \frac{\sqrt{3}120\angle 0^\circ V}{20\angle 0^\circ K\Omega} = 10.392\angle 0^\circ mA \quad (4)$$

Las corrientes de línea I_L , de igual forma tienen ángulos 0° balanceados.

$$P = \sqrt{3}V_L I_L \cos\theta \quad (5)$$

$$P = \sqrt{3}(\sqrt{3}120V)(10.392mA)\cos 0^\circ = 3.741 \text{ Watts} \quad (6)$$

Los resultados obtenidos en la simulación fueron:

V_{nN}	234.28 mV_{rms}
V_{an}	118 V_{rms}
V_{ab}	118 V_{rms}
V_{cn}	118 V_{rms}
V_{ab}	204.398 V_{rms}
V_{bc}	204.398 V_{rms}
V_{ca}	204.398 V_{rms}

TABLA VI: Valores obtenidos teóricamente de los Voltajes

I_{La}	1.589 A_{rms}
I_{Lb}	1.539 A_{rms}
I_{Lc}	1.595 A_{rms}
I_{FA}	0.918 A_{rms}
I_{FB}	0.916 A_{rms}
I_{FC}	0.922 A_{rms}

TABLA VII: Valores obtenidos teóricamente de las Corrientes

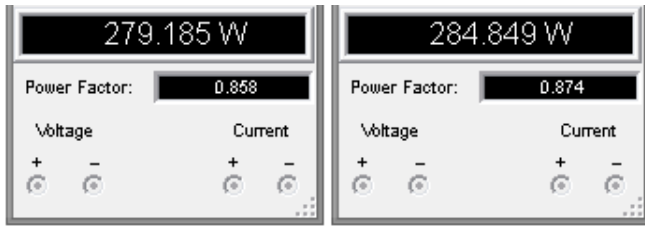


Fig. 5: Potencia medida en conexión Aron

Los valores de las resistencias son $R_1 = 220 \Omega$, $R_2 = 220.5 \Omega$ y $R_3 = 219 \Omega$, 3 inductancias de $L = 9 \text{ mH}$ con un valor resistivo de $R_L = 2.5 \Omega$ a una frecuencia de $F = 60 \text{ Hz}$.

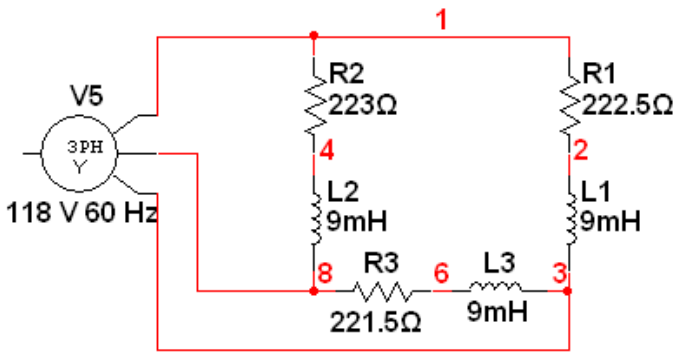


Fig. 6: Circuito Y – Δ rediseñado

Los resultados obtenidos en la práctica fueron:

Elemento	Medida
Wattímetro 1	122 <i>Watts</i>
Wattímetro 2	134 <i>Watts</i>

TABLA VIII: Valores obtenidos en la práctica de las Potencias

V_{an}	118.3 V_{rms}
V_{ab}	119.5 V_{rms}
V_{cn}	118.6 V_{rms}
V_{ab}	205.1 V_{rms}
V_{bc}	205.8 V_{rms}
V_{ca}	205.3 V_{rms}

TABLA IX: Valores obtenidos en la práctica de los Voltajes

I_{La}	1.363 A_{rms}
I_{Lb}	1.367 A_{rms}
I_{Lc}	1.366 A_{rms}
I_{FA}	0.458 A_{rms}
I_{FB}	0.456 A_{rms}
I_{FC}	0.903 A_{rms}

TABLA X: Valores obtenidos en la práctica de las Corrientes

Las tensiones de línea V_L y de fase V_f tanto teóricos como prácticos se comporta igual a las tensiones medidas en el circuito Y – Y.

Se puede observar que las corrientes de línea I_L medidas teóricamente consignadas en la TABLA VII y las obtenidas en la práctica y contenidas en la TABLA X son aproximadamente iguales, mientras que las corrientes de fase I_F son diferentes notablemente excepto la corriente I_{FC} la cual es aproximadamente igual, esto tal vez se da por un error en la medida o en el montaje del circuito al momento de medir estas corrientes, o al el hecho de que la carga no es totalmente balanceada.

Para la medición de la potencia en conexión Aron se puede comparar los datos teóricos de la Fig. 5 y los datos obtenidos en la práctica contenidos en la TABLA VIII, los datos son notablemente diferentes, esto puede deberse a error en el momento de la conexión además que los Wattímetros usados en la practica no son elementos de medida exactos.

C. Rectificación de media Onda

En esta parte de la práctica se diseña un circuito con una fuente trifásica, luego se aplica un rectificador de media onda en cada señal, la salida de cada fase se suma para obtenerla señal que se aplicara a la carga.

Los datos obtenidos teóricamente o a través de simulaciones son:

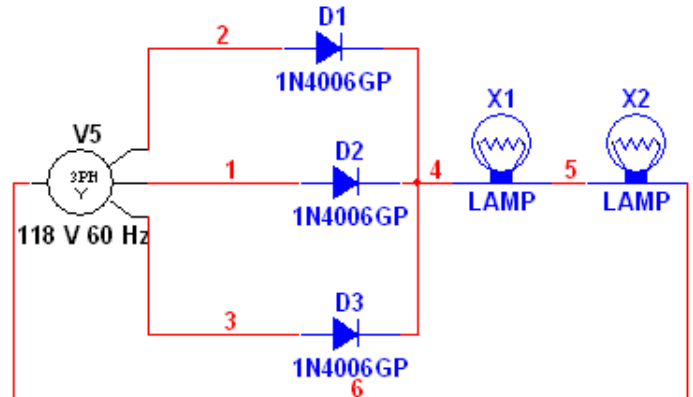


Fig. 7: Circuito rectificador de media onda trifásico

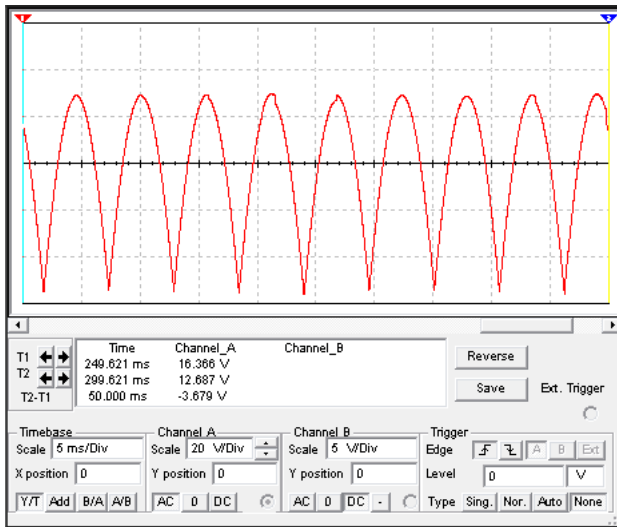


Fig. 8: Onda obtenida en la rectificación simulada

$V_{carga\ DC}$	137.053 V
$V_{carga\ AC}$	25.194 V_{rms}

TABLA XI: Valores obtenidos a través de simulaciones de los Voltajes

Los demás datos como corrientes de línea I_L y potencia no se pueden obtener a partir de simulaciones, ya que no es posible simular una bombilla de 100 *watts*.

Los resultados obtenidos en la práctica fueron:

Elemento	Medida
Watímetro 1	43 <i>Watts</i>
Watímetro 2	43 <i>Watts</i>

TABLA XII: Valores obtenidos en la práctica de las Potencias

$V_{carga\ DC}$	138.6 V
$V_{carga\ AC}$	35.11 V_{rms}

TABLA XIII: Valores obtenidos en la práctica de los Voltajes

$I_{L\ DC}$	0.632 A
$I_{LA\ AC}$	0.304 A_{rms}
$I_{LB\ AC}$	0.309 A_{rms}
$I_{LC\ AC}$	0.309 A_{rms}
$I_{carga\ AC}$	0.116 A_{rms}

TABLA XIV: Valores obtenidos en la práctica de las Corrientes

El tiempo que se utilizó para calcular la potencia consumida por medio del contador fue de $t = 8.4\ min$ para $0.1\ Kw-H$, la energía calculada con este tiempo y el valor obtenido con los Wattímetros es $E_t = 0.01204\ Kw-H$, estos valores deberían dar aproximadamente iguales, se desconoce el porque estos valores difieren tanto, esto puede ser ocasionado por que el contador trifásico se encontraba descalibrado, o se generó un error al medir dicha energía (Error de escala o de manipulación del elemento).



(a) Imagen del Contador Trifásico



(b) Imagen del Contador Trifásico y del montaje

Fig. 9: Imágenes del montaje con el Contador Trifásico

Al comparar los datos obtenidos en simulaciones de la TABLA XI y los datos obtenidos en la práctica contenidos en la TABLA XIII se puede observar que tanto en *DC* como en *AC* son aproximadamente iguales y se obtienen de la señal mostrada en la Fig. 8.

VI. CONCLUSIONES

- Se comprobó de manera empírica que para saber la potencia consumida por una carga trifásica, sin importar si esta es balanceada o no, se puede hacer a partir de dos Watímetros utilizando la conexión Aron.
- En la realidad no se puede obtener una carga balanceada o una fuente trifásica balanceada debido a corrientes parásitas, variación de las resistencias, campos magnéticos, entre otros.
- Al rectificar la señal trifásica y sumarla como se explicó anteriormente, esta de igual forma está entregando una energía a la carga conectada, en este caso dos bombillas, debido a esto las bombillas se encienden.
- Se comprobó que las tensiones de línea V_L y de fase V_f se mantienen constantes sin importar la carga que se conecte a la fuente trifásica.

- Cuando se presenta un pequeño desbalance en una carga conectada en Δ , existe una pequeña variación en los voltajes de línea, pero la variación de las corrientes de fase es notorio, esto se vio en la practica al medir las corrientes del circuito Y- Δ .

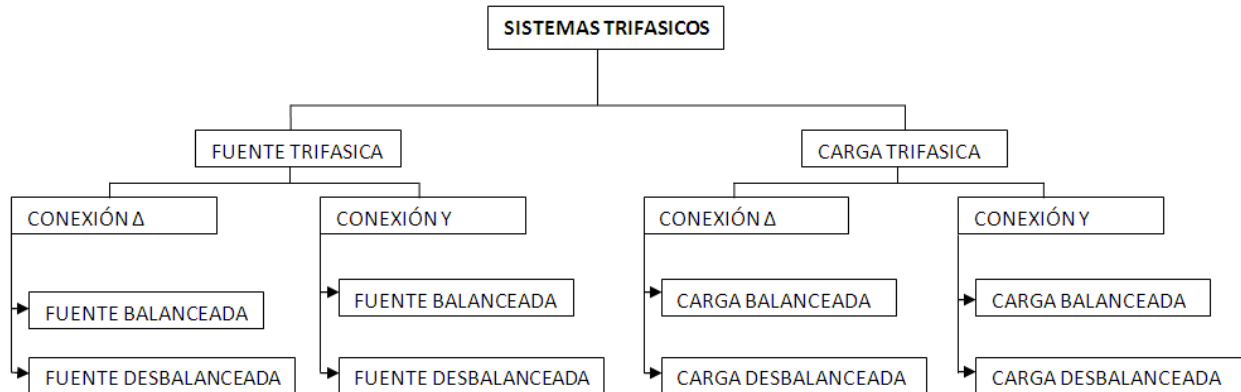


Fig. 10: Mapa conceptual de los Sistema Trifásicos

REFERENCIAS

- [1] Alexander, Charles K. & Sadiku, Matthew N.O. “*Fundamentals of Electric Circuits*”. McGRAW-HILL, ISE Editions, 1999.
- [2] Dorf & Svoboda. “*Circuitos Eléctricos*”. Alfaomega, Sexta Edición, 2006.
- [3] Hayt, William H. Jr., Kemmerly, Jack E. & Durbin, Steven M. “*Análisis de circuitos en ingeniería*”. McGRAW-HILL, Séptima Edición, 2007.
- [4] Nahvi, Mahmood & Edminister, Joseph A. “*Theory and Problems of Electric Circuits*”. McGRAW-HILL, Fourth Edition, 2003.