

# Conversor AC-DC Monofásico Controlado

Quiroga Miguel, Cáceres Sebastián, García Santiago  
{u1803264, u1803245, u1803154}@unimilitar.edu.co  
Profesor: Niño Luis Francisco

**Resumen**—A través de este laboratorio se plantea el diseño de un conversor AC-DC para alimentar un motor de tal forma que el diseño cumpla estándares energéticos para que sea viable una implementación comercial.

## I. INTRODUCCIÓN

### ¿Qué es un convertidor AC/DC monofásico controlado?

Es un circuito que se caracteriza por transformar corriente alterna en continua de forma controlada por medio de un tiristor, este tiristor recibe una señal de control que hará conmutar dicho elemento, haciendo variar el ángulo de disparo.

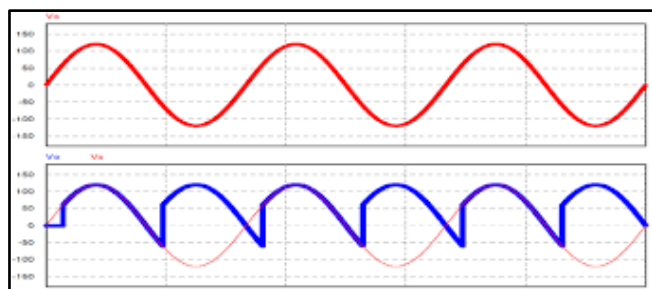


Figura 1. Rectificador monofásico controlado.

### ¿Qué es un tiristor?

Un tiristor es un dispositivo semiconductor de potencia usado como interruptor que es posible controlar externamente, ya sea para permitir o impedir el paso de corriente eléctrica.

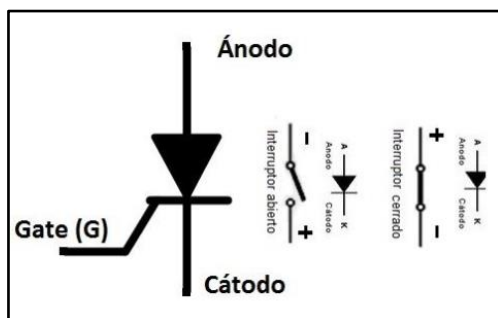


Figura 2. Símbolo del tiristor.

Este elemento está compuesto por tres terminales, un ánodo, un cátodo y “gate”, el cual cuando recibe una pequeña corriente permite el paso entre ánodo y cátodo.

### Onda SCR

El funcionamiento de un SCR se describe observando su ángulo de disparo y ángulo de conducción

- El ángulo de disparo corresponde al número de grados en un ciclo en que un SCR no está en conducción
- El ángulo de conducción corresponde al número de grados en un ciclo en que un SCR está en conducción

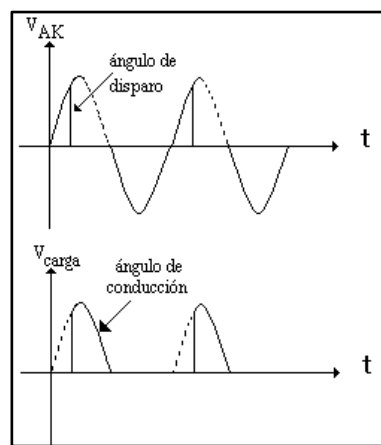


Figura 3. Formas de onda.

### Circuito de cruce por cero

Este circuito indica cuando la señal cambia de polaridad, se usa para tener una referencia y así poder realizar el control por ángulo

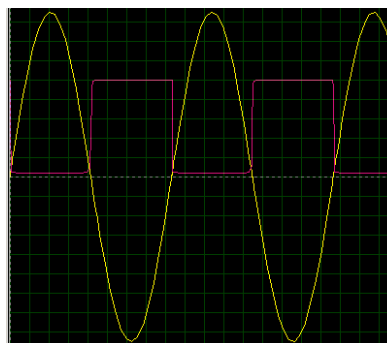


Figura 4. Onda cruce por cero.

## II. METODOLOGÍA Y MATERIALES

1. Diseñe un circuito convertidor AC-DC monofásico controlado. Utilizar la red 220 V AC y considerar en el diseño una carga de tipo motor de 5 HP.

2. Diseñar la red snubber requerida
3. Realice la simulación de la practica con las mediciones y análisis correspondientes. Para la simulación puede utilizar un circuito RL equivalente.
4. Realizar un programa que permita variar el ángulo de disparo, con esto variar la velocidad del motor.
5. Evalúe la potencia en el circuito y determiné el factor de potencia.
6. Determine si requiere disipador de calor en la aplicación, en caso afirmativo determine cual debe usar.
7. Realice el diseño del circuito impreso correspondiente.
8. Realice el análisis de calidad de energía en la fuente.
9. Realizar un análisis del factor de potencia en función del ángulo de disparo.

### III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### Rectificador onda completa:

Lo primero que se hizo fue analizar el motor de 15 HP que tenemos que usar, este motor tiene una potencia mecánica de 15 HP que se pasara a potencia eléctrica mediante una fórmula:

$$Potencia\ Mecanica = 5\ HP \quad (1)$$

$$5\ HP * \frac{745,7\ W}{1\ HP} = 3728.5\ W \quad (2)$$

Con la potencia equivalente en vatios, asumimos que el motor no es 100% eficiente. Tomamos una eficiencia del 80%.

$$Eficiencia = \frac{Potencia\ teorica}{Potencia\ real} \quad (3)$$

$$0.8 = \frac{3728.5\ W}{Potencia\ real} \quad (4)$$

$$Potencia\ electrica = 4660.6\ W \quad (5)$$

Habiendo hallado la potencia hallamos la corriente de línea que pasara por el circuito con la ley de ohm.

$$P = V * I \quad (6)$$

$$4660.6\ W = 220 * I \quad (7)$$

$$I = 21.18\ A \quad (8)$$

Habiendo hallado la corriente podemos hallar la resistencia equivalente que ese motor tendría con la siguiente formula:

$$P = R * I^2 \quad (9)$$

$$R = \frac{P}{I^2} = \frac{4660.6\ W}{21.18^2\ A} \quad (10)$$

$$R = 10.39\ \Omega \quad (11)$$

Habiendo hallado la resistencia equivalente la aproximamos a un valor comercial que en este caso serian  $R = 10\ \Omega$ .

Ahora calcularemos una bobina que tenga un valor significativo respecto a la resistencia:

$$Z = 10 + 10j \quad (12)$$

Al tener solo componente inductivo hallamos la inductancia equivalente:

$$j\omega L = 10j \quad (13)$$

$$L = \frac{10}{\omega} = \frac{10}{2 * \pi * 60} = 26.5\ mH \quad (14)$$

Con este valor hallado aproximamos la inductancia a un valor comercial  $L = 22mH$ . Procedemos a hacer el montaje en proteus que nos dará una visión de cómo se comportará el circuito en la vida real. Para implementar el convertor AC-DC se usará un rectificador de media onda, para ello es necesario tener en cuenta la corriente hallada en la ecuación 8 para poder determinar el SCR a usar en el rectificador.

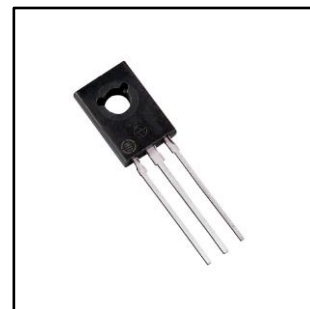


Figura 5. SCR T106A

Con el SCR que podemos visualizar en la figura 1, realizaremos la simulación del convertor AC-DC.

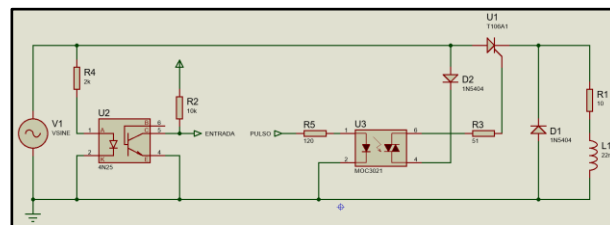


Figura 6. Simulación convertor AC-DC

Aquí podemos evidenciar el circuito en proteus con el valor equivalente de la resistencia del motor y una inductancia de 22 mH. Con el circuito montado empezaremos con el análisis del comportamiento del voltaje en la fuente y el análisis de Fourier en la fuente.

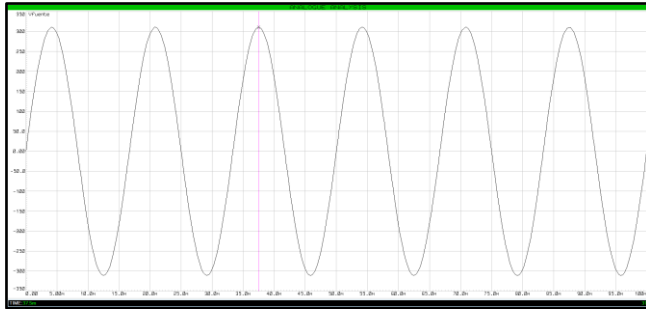


Figura 7. Análisis analógico en la fuente (V)

Como podemos ver nos arroja un valor de 311 que es el valor pico de la señal.

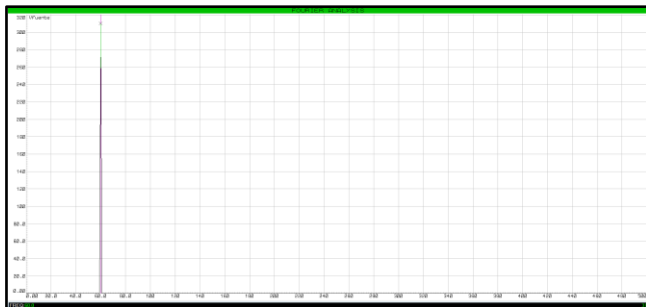


Figura 8. Análisis de Fourier en la fuente (V)

Teniendo en cuenta los resultados del análisis análogo en voltaje podemos deducir que la fuente en está trabajando adecuadamente, en términos de análisis de Fourier y distorsión armónica vemos que la fuente no presenta ningún tipo de distorsión armónica es decir que la eficiencia energética es óptima.

Ahora analizaremos el comportamiento de la corriente en la fuente, al ser una fuente en estrella la corriente de línea y la corriente de fase es la misma. Así que solo se presentaran 2 graficas el análisis análogo de corriente y el análisis de Fourier.

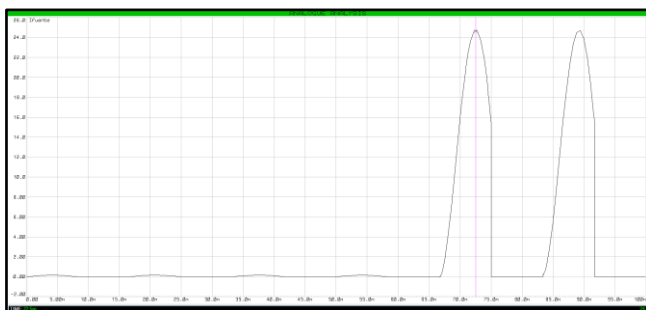


Figura 9. Análisis analógico en la fuente (I)

Como podemos visualizar en la figura 5 vemos como la fuente empieza con una oscilación en corriente y pasado cierto tiempo vemos como la onda se asemeja a una onda rectificada, esto es debido al SCR que funciona como un interruptor, es decir mientras el SCR no tenga ningún impulso en la puerta, no dejara pasar corriente, así que el comportamiento de oscilación ocurre

en este lapso de tiempo, cuando ya ingresa voltaje y corriente por la puerta vemos el comportamiento de la onda.

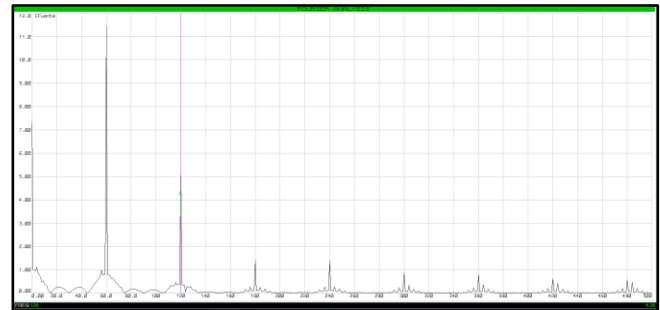


Figura 10. Análisis de Fourier (I)

Armónico	Amplitud (A)
1	11,5
2	5,05
3	1,43
4	1,4
5	0,893
6	0,826

Tabla 1. Armónicos de la señal en corriente

$$THD_I = \frac{1}{I_1} \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2} \quad (15)$$

$$THD_I = 48.41\%$$

Al realizar el análisis de calidad de energía nos arroja un valor del 48.41%, que, aunque tengamos una buena cantidad de la señal en 60 Hz presentamos también unas componentes en armónicos de la señal, por ende, no tenemos un buen aprovechamiento de la energía en términos de corriente. Aun así, tenemos un comportamiento DC en la fuente es decir que esta fuente AC no está trabajando de buena manera

Habiendo analizado la fuente en términos de voltaje y corriente pasaremos a la carga que como anteriormente mencione está compuesta por una resistencia equivalente de 10 ohms y una inductancia de 22 mH.

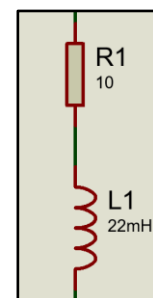


Figura 11. Circuito equivalente RL

En este circuito es donde se realizarán las mediciones de corriente y voltaje, esto con el objetivo de saber el factor de potencia del circuito. Además de mirar como es el comportamiento de los armónicos en la carga.

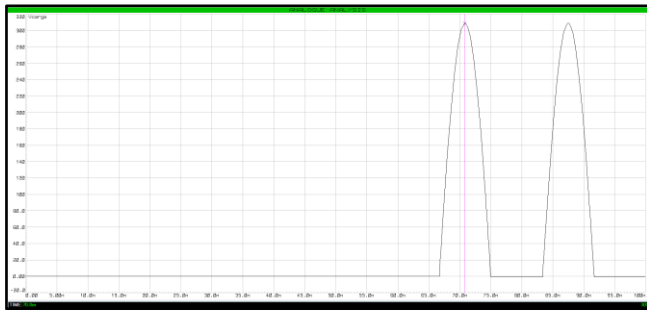


Figura 12. Análisis analógico en la carga (V)

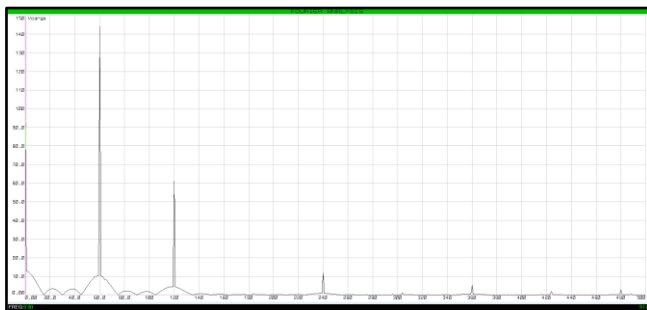


Figura 13. Análisis de Fourier en la carga (V)

En el análisis analógico podemos evidencia que la señal en la carga tiene una caída de voltaje con respecto a la señal de la fuente, esto se debe al consumo de los diodos calculado a partir de la ecuación 16 hasta la ecuación 20, aparte de eso podemos evidenciar que efectivamente obtenemos la señal esperada, en este circuito el análisis de Fourier no tiene mucho sentido, pero se quiere resaltar que al ser un rectificador de media onda monofásico su primer armónico lo deberíamos de encontrar en 60 Hz como así se puede ver en la figura 11.

$$V_{diodo} = 0.7 V \quad (16)$$

$$V_{diodo} * 2 = 1.4 V \quad (17)$$

$$V_{fuente} - V_{diodos} = V_{carga} \quad (18)$$

$$V_{carga} = 311 V - 1.4 V = 309.6 V \quad (19)$$

$$V_{carga} \approx 309 V \quad (20)$$

Ahora analizaremos el comportamiento de la corriente en la carga.

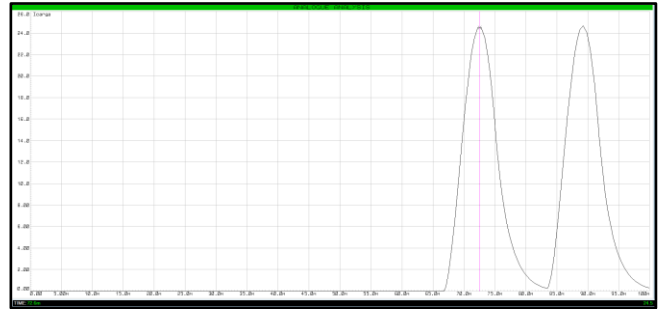


Figura 14. Análisis analógico en la fuente (I)

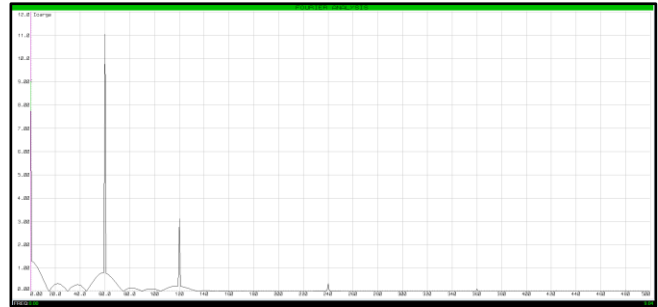


Figura 15. Análisis de Fourier en la fuente (I)

Viendo las gráficas anteriores podemos evidenciar que la corriente que llega al motor en términos de forma de onda es la misma forma que del voltaje y como se indicó anteriormente esto sucede porque el diodo dolo dejara que pase corriente si tiene un impulso en la puerta, es por ello que tiene un delay, el análisis de Fourier en la carga no tiene mucho sentido ya que solo llegara corriente DC, pero no es así, esto evidencia que hay un error en el suministro de corriente.

Habiendo analizado los comportamientos de voltaje y de corriente en los dos puntos elementales ahora procedemos a visualizar el montaje de la pcb en proteus y este es el resultado.

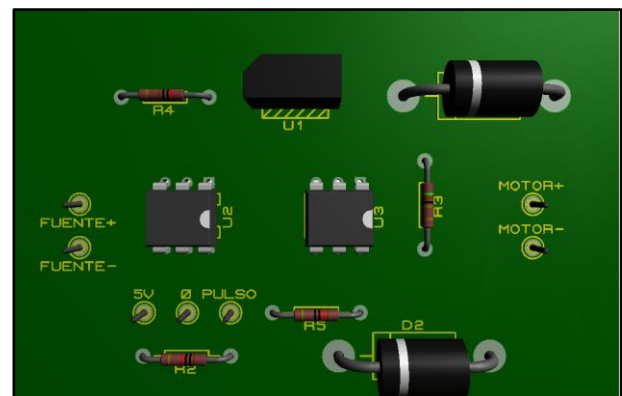


Figura 16. Vista frontal PCB

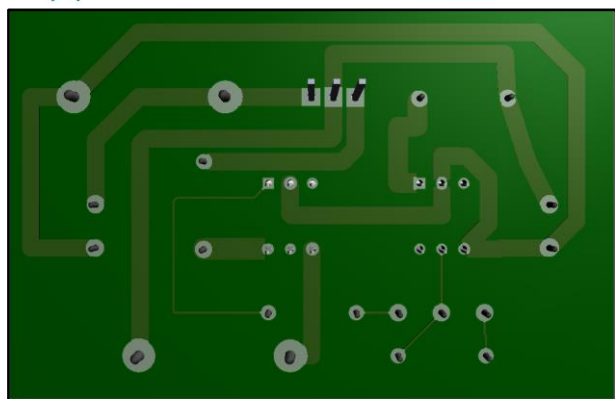


Figura 17. Vista posterior PCB

Ahora procederemos a encontrar el factor de potencia de nuestro circuito, tomaremos los valores que nos arroja la simulación, en este caso simularemos un disparo en 0 y asumiremos el factor de potencia porque a medida que cambiamos el ángulo de disparo el factor de potencia será diferente.

$$FP = \frac{\text{Potencia activa}}{\text{Potencia aparente}} = \frac{\text{Potencia carga}}{\text{Potencia fuente}} \quad (21)$$

$$FP = \frac{2.04 \text{ kW}}{2.77 \text{ kVA}} \quad (22)$$

$$FP = 0.74 \quad (23)$$

Habiendo hallado el factor de potencia el valor de este va a ir cambiando tomaremos los siguientes ángulos para evaluar el factor de potencia.

#### 45 grados

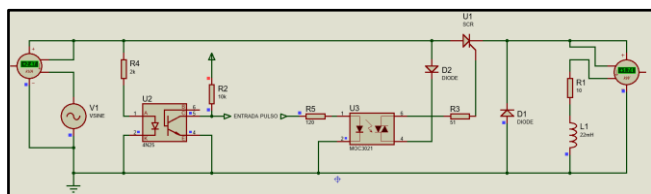


Figura 17. Medición de potencia a 45°

$$FP = \frac{1.74 \text{ kW}}{2.47 \text{ kVA}} \quad (24)$$

$$FP = 0.70 \quad (25)$$

#### 90 grados

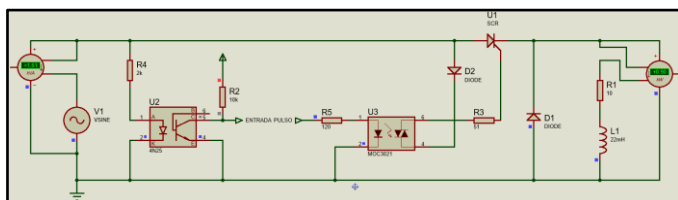


Figura 18. Medición de potencia a 90°

$$FP = \frac{0.89 \text{ kW}}{1.60 \text{ kVA}} \quad (26)$$

$$FP = 0.56 \quad (27)$$

#### 135 grados

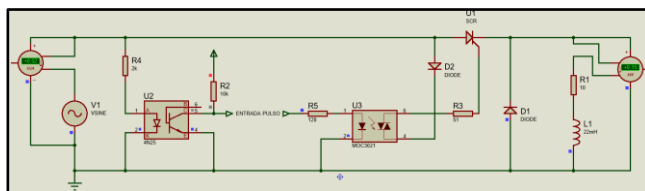


Figura 19. Medición de potencia a 135°

$$FP = \frac{0.15 \text{ kW}}{0.52 \text{ kVA}} \quad (28)$$

$$FP = 0.29 \quad (29)$$

#### 180 grados

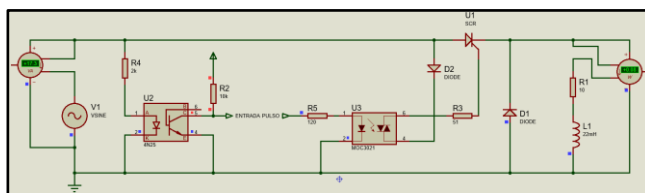


Figura 19. Medición de potencia a 180°

$$FP = \frac{0.08 \text{ W}}{17.4 \text{ VA}} \quad (28)$$

$$FP = 0.004 \quad (29)$$

#### IV. CONCLUSIONES

- Como se evidencio en los cálculos al aumentar el ángulo de disparo, el factor de potencia disminuye lo que provoca un mal aprovechamiento de la energía, este aumento del ángulo de disparo también afecta los armónicos, dado que al disminuir el voltaje que nos entrega la red las amplitudes de los armónicos aumenta.
- La red snubber nos ayuda a controlar picos de voltaje que puedan afectar el circuito, es por ello que la red snubber que se implemento fue un diodo en inverso, que, aunque su función es descargar la bobina en el ciclo negativo, también es un circuito de protección es decir una red snubber.
- Con respecto a las gráficas de corriente y voltaje en la fuente podemos evidenciar que la calidad de la energía es mala, ya que al realizar el análisis de distorsión armónica tenemos una gran pérdida en lo que armónicos se refiere.

V. REFERENCIAS

- [1] J.R. Villaseñor, Circuitos eléctricos y aplicaciones digitales, Segundo edición, México, PEARSON EDUCATION, 2013.
- [2] C.K. Alexander, Fundamentos de circuitos eléctricos, Sexta edición, México, McGraw-Hill Interamericana, 2018.
- [3] M.A. Toledo Análisis de circuitos en ingeniería, Octava edición, México D.F, Editorial Mc Graw Hill, 2012.
- [4] Muhammad H. Rashid, Electrónica de potencia: circuitos, dispositivos y aplicaciones, Pearson Educación, México, 2004.
- [5] P.D. Joaquín, Circuitos monofásicos y trifásicos, Ediciones UPC, Cataluña, 1999.
- [6] Gurú, Bhag S; Enriquez Brito, Javier; Hiziroglu, Hüseyin R., Máquinas eléctricas y transformadores, México: Oxford University Press, 2003.
- [7] Chapman, Stephen J., Electric Machinery and Power System Fundamentals, New York :McGraw-Hill, 2002.
- [8] Enríquez Harper, Gilberto. Accionamientos eléctricos. Editorial Limusa. México 2009
- [9] Boldea, Ion. Electric machines: steady state, transients, and design with MATLAB. Boca Raton. CRC Press; Taylor Francis Gropu, 2009.
- [10] Guía de diseño de instalaciones eléctricas Según normas internacionales IEC. Schneider Electric España, S.A Segunda Edición. ISBN 84-609- 8658-6
- [11] P.W. Sauer, "A Power Systems Experiment in an Electric Machinery Laboratory Course", University of Illinois at UrbanaChampaign, IEEE, 2014.
- [12] E. Muljadi, D. Yildirim, T. Batan, and C. P. Butterfield, "Understanding the unbalanced-voltage problem in wind turbine generation," in Industry Applications Conference, 1999. Thirty-Fourth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 1999 IEEE, vol. 2, pp. 1359–1365 vol.2