

Convertidor AC – DC monofásico

Ulloa Brayan, Muñoz Mayron, Castellanos Brayan.
 {u1802861, u1803070, u1803141}@unimilitar.edu.co
 Profesor: Niño Luis

Resumen - La presente práctica tiene como objetivo estudiar, diseñar e implementar mediante simulaciones la práctica correspondiente al convertidor AC – DC, con el objetivo de afianzar y aplicar los conocimientos teóricos vistos en clase y necesarios para la correcta realización de aplicaciones como la propuesta en esta práctica.

I. OBJETIVOS

- Analizar diferentes tipos de circuitos monofásicos.
- Realizar mediciones en sistemas trifásicos.
- Realizar diseño de circuitos impresos.

II. METODOLOGIA

1. Diseñe un circuito convertidor AC-DC monofásico. Utilizar la red 220VAC y considerar en el diseño una carga de tipo motor de 5HP.
2. Realice la simulación de la práctica con las mediciones y análisis correspondientes. Para la simulación puede utilizar un circuito RL equivalente.
3. Diseñe el circuito impreso correspondiente. Utilice bornas y cables adecuados para conexiones eléctricas.
4. Analice las correspondientes curvas de corriente y voltaje teniendo en cuenta dispositivos de protección.
5. Evalúe la potencia en el circuito y determine el factor de potencia.
6. Realice el análisis de calidad de energía en la fuente.

III. INTRODUCCION

Convertir de corriente alterna a corriente directa es algo fundamental, debido a que el transporte de corriente es mucho más fácil y eficiente de hacer por medio de corriente alterna, pero los dispositivos que comúnmente utilizamos no usan este tipo de corriente para funcionar, estos usan corriente directa, por tal motivo hacer la conversión entre ellas es algo necesario.

Corriente alterna (AC)

Es un tipo de corriente en el cual su magnitud y sentido varía a lo largo del tiempo, esta variación sucede normalmente de manera sinusoidal entre un valor máximo positivo y un valor máximo negativo, es decir, la mitad del tiempo el voltaje toma valores positivos y la otra mitad valores negativos.

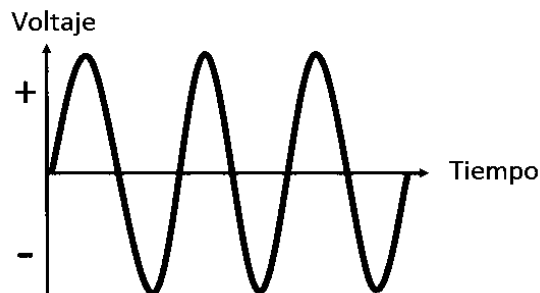


Figura No.1. Grafica de corriente alterna.

Corriente directa (DC)

Es un tipo de corriente cuya magnitud y sentido es invariante en el tiempo.

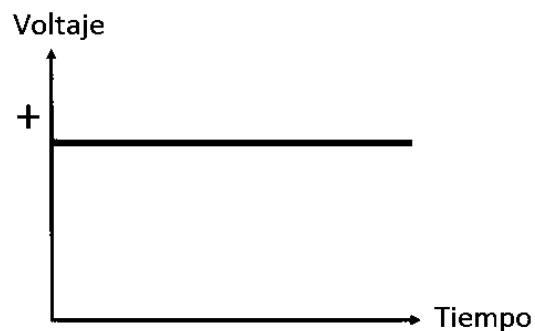
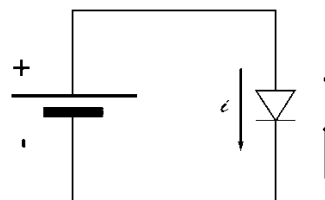


Figura No.2. Grafica de corriente directa.

Diodo

Es un dispositivo semiconductor que permite el flujo de corriente únicamente en una dirección, es decir, actúa como un interruptor, consta de la unión de un material tipo P y un material tipo N, el material tipo P es obtenido a través de un proceso de dopado, en donde se añaden átomos al semiconductor para aumentar el número de portadores de carga positivos o huecos. El material tipo N también es dopado, pero añadiendo portadores de carga negativos o electrones.



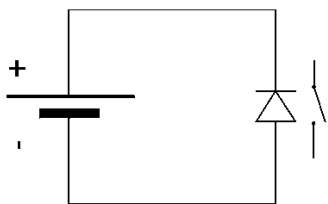


Figura No.3. Funcionamiento del diodo.

Rectificador

Es un circuito que permite realizar la conversión de corriente alterne (AC) a corriente directa (DC), existen 2 dos tipos de rectificadores básicos hechos con diodos, de media onda y de onda completa; el rectificador de media onda está conformado por un único diodo que permite únicamente el paso del ciclo positivo de una señal AC, teniendo como resultado una señal igual a la que se aprecia en la segunda grafica de la figura 5. Un rectificador de onda completa está conformado por un puente de diodos, este permite el paso de ambos ciclos de la señal, pero solo hacia la salida positiva.

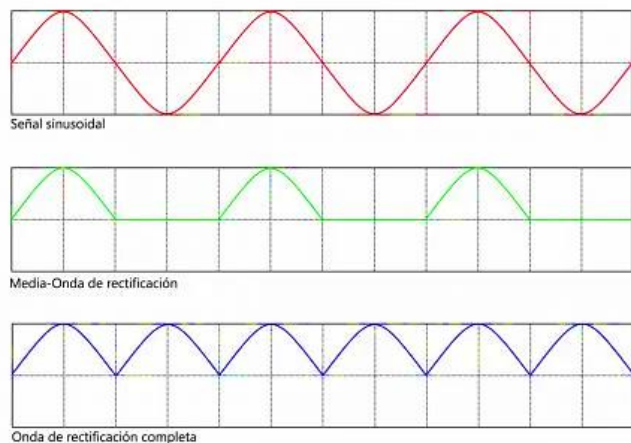


Figura No.4. Proceso de rectificado.

IV. PROCEDIMIENTO Y MATERIALES

Materiales, equipos y software:

- Simulador Proteus

Procedimiento:

Para el desarrollo de la práctica se decidió hacer un rectificador de media onda, para representar la carga de los 5Hp del motor por medio de un circuito RL, se realizaron los cálculos de la potencia y corriente presentes en la carga.

$$5Hp = 3728.5W$$

$$P = V * I$$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{3728.5}{220} = 16.947A$$

Posteriormente se determina la resistencia del circuito.

$$P = \frac{V^2}{R}$$

$$R = \frac{V^2}{P} = \frac{220^2}{3728.5} = 12.981\Omega$$

Teniendo en cuenta que la resistencia es el valor real y la reactancia el valor imaginario, se elige un valor para el inductor de 100mH, y se procede a calcular la impedancia.

$$Z = \sqrt{12.981^2 + 100 \times 10^{-3}^2} = 12.981$$

De tal forma que, con esos valores de resistencia e inductancia, se garantiza la corriente y la potencia necesarias.

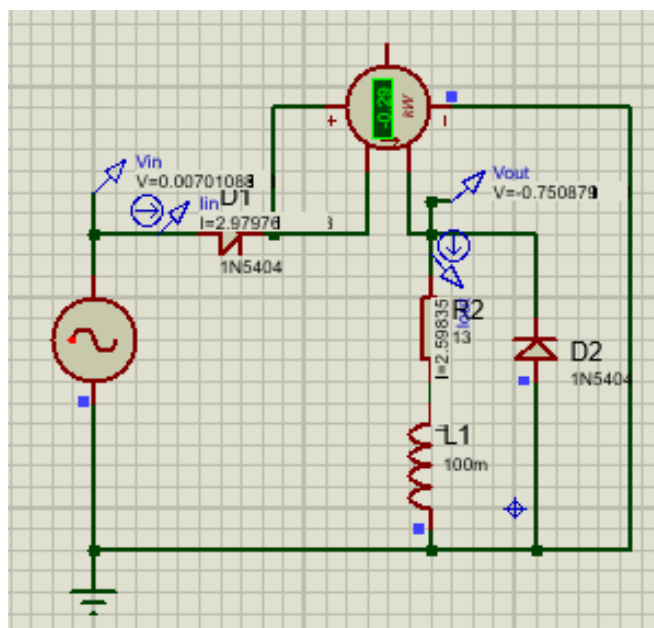


Figura No.5. Rectificador con carga RL.

En la figura anterior se puede evidenciar el rectificador de media onda con carga RL la cual es equivalente al motor utilizado.

Posteriormente se procede a simular y obtener las curvas de corriente y voltaje, en donde las cuales es posible observar si la rectificación se esta realizando de manera correcta, además de como se afecta el comportamiento del circuito dependiendo de los diferentes componentes en el mismo.

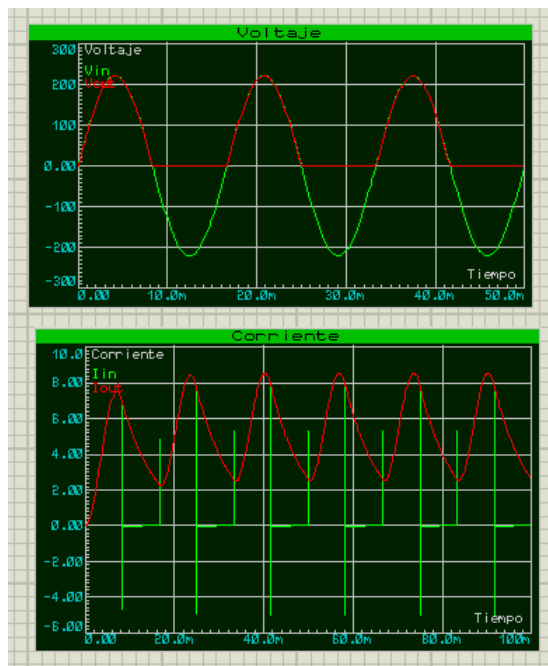


Figura No.6. Graficas De Voltaje Y Corriente.

Analizando las dos graficas anteriores podemos concluir que en la gráfica de **voltaje** la rectificación de media onda es correcta ya que es posible apreciar el voltaje rectificado (V_{out}) respecto al voltaje ingresado (V_{in}), además de ello se puede concluir que el comportamiento del diodo es ideal ya que no se perciben ningún tipo de pérdidas, dado que el comportamiento normal tiene que existir una pérdida de voltaje en el diodo.

- Diseño circuito impreso: Para el diseño de la PCB se tuvieron en cuenta las dimensiones de los dispositivos que se iban a implementar en la práctica de laboratorio, como es el caso del diodo, se dispuso a la implementación de borneras para tener conectores tipo banana-banana para la fuente y el motor, de esta manera se facilita la realización del montaje y las mediciones en este. Para el diseño de las pistas se debe tener en cuenta que es un circuito de potencia por lo cual, los tamaños de las pistas tienen que ser mas grandes para que soporten las corrientes máximas que se presentan en el circuito, para determinar su tamaño se utilizaron los siguientes cálculos:

$$Altura = 3 \frac{onza}{ft^2} (Altura Estadarizada)$$

$$Area = \left(\frac{I}{(k1 * \Delta T^{k2})} \right)^{\frac{1}{k3}}$$

Donde:

I: Corriente que soportara la pista = 17A

ΔT : Diferencia de temperatura entre el aire y la pista = $70 - 25 = 45$

K1, K2, K3: Son constantes que dependen si la pista es interna o externa.

Al ser una pista externa entonces:

K1 = 0.0647

K2 = 0.4281

K3 = 0.6732

Con estos datos se procede a calcular el área.

$$Area = \left(\frac{17}{(0,0647 * 45^{0,4281})} \right)^{\frac{1}{0,6732}} = 348.9693$$

$$Ancho = \frac{348.9693}{3 * 1.378} = 84.41[th]$$

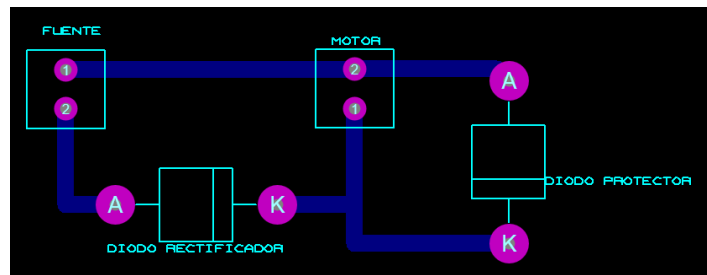


Figura No 7. PCB Del circuito

- Cálculo del factor de potencia:

$$I_{rms} = \frac{I_o}{\sqrt{2}} = \frac{16.947}{\sqrt{2}} = 11.983$$

*Potencia absorbida por la carga:

$$P = I_{rms}^2 * R = 11.983^2 * 13 = 1866.8W$$

*Potencia aparente:

$$S = V_{rms} * I_{rms} = 220 * 11.983 = 2636.3KW$$

$$\text{*Factor De Potencia: } \frac{P}{S} = \frac{1.8663}{2.6363} = 0.708$$

V. ANALISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

- Al obtener como resultado que el factor de potencia nos dio aproximadamente 0,7, es posible concluir que la totalidad de la potencia no fue consumida en la carga, dado que pueden existir pérdidas de potencia a lo largo del circuito.
- En la simulación se evidencia que la señal rectificada tiene valores en cero, esto debido a que el ciclo negativo no pasa por el diodo, haciendo que el valor medio del voltaje sea mucho menor, para arreglar esto se adicionaría un capacitor a la salida del rectificador, con el objetivo de suavizar la señal y el promedio aumente.
- El uso de simuladores nos permite tener una idea más aproximada de cómo será el comportamiento del circuito en un montaje practico, al igual que con ayuda de las gráficas, entender el funcionamiento del circuito.

VI. BIBLIOGRAFIA

- [1] Electrónica de potencia, Daniel Hart, «Rectificador de media onda »

Convertidor AC – DC trifásico

Ulloa Brayan, Muñoz Mayron, Castellanos Brayan.
{u1802861, u1803070, u1803141}@unimilitar.edu.co
Profesor: Niño Luis

Resumen - La presente práctica tiene como objetivo estudiar, diseñar e implementar mediante simulaciones la practica correspondiente al convertidor AC – DC trifásico, con el objetivo de afianzar y aplicar los conocimientos teóricos vistos en clase y necesarios para la correcta realización de aplicaciones como la propuesta en esta práctica.

I. OBJETIVOS

- Analizar diferentes tipos de circuitos trifásicos.
- Realizar mediciones en sistemas trifásicos rectificados.

II. METODOLOGIA

1. Diseñe un circuito convertidor AC-DC trifásico. Utilizar la red 220VAC y considerar en el diseño una carga de tipo motor de 15HP.
2. Realice la simulación de la práctica con las mediciones y análisis correspondientes. Para la simulación puede utilizar un circuito RL equivalente.
3. Diseñe el circuito impreso correspondiente. Utilice bornas y cables adecuados para conexiones eléctricas.
4. Analice las correspondientes curvas de corriente y voltaje teniendo en cuenta dispositivos de protección.
5. Evalúe la potencia en el circuito y determine el factor de potencia.
6. Realice el análisis de calidad de energía en la fuente. Determine si se encuentra balanceada o no.

III. INTRODUCCION

Convertir de corriente alterna a corriente directa es algo fundamental, debido a que el transporte de corriente es mucho más fácil y eficiente de hacer por medio de corriente alterna, pero los dispositivos que comúnmente utilizamos no usan este tipo de corriente para funcionar, estos usan corriente directa, por tal motivo hacer la conversión entre ellas es algo necesario.

Corriente alterna (AC)

Es un tipo de corriente en el cual su magnitud y sentido varia a lo largo del tiempo, esta variación sucede normalmente de manera sinusoidal entre un valor máximo positivo y un valor máximo negativo, es decir, la mitad del tiempo el voltaje toma valores positivos y la otra mitad valores negativos, en el caso de un sistema trifásico, existen tres señales de igual magnitud desfasadas 120° entre ellas.

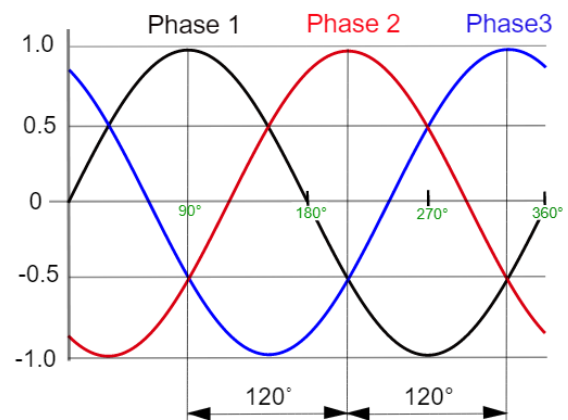


Figura No.1. Grafica de corriente alterna trifásica.

Corriente directa (DC)

Es un tipo de corriente cuya magnitud y sentido es invariante en el tiempo.

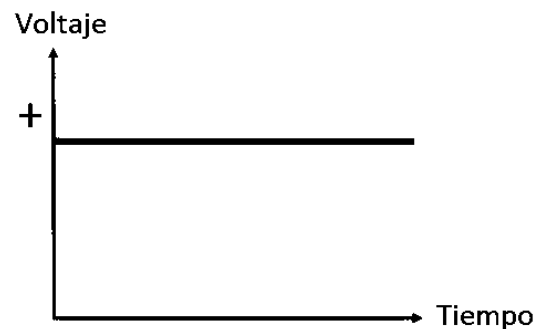
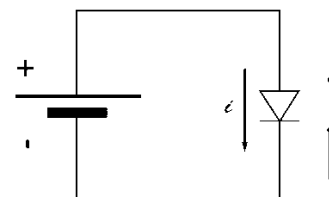


Figura No.2. Grafica de corriente directa.

Diodo

Es un dispositivo semiconductor que permite el flujo de corriente únicamente en una dirección, es decir, actúa como un interruptor, consta de la unión de un material tipo P y un material tipo N, el material tipo P es obtenido a través de un proceso de dopado, en donde se añaden átomos al semiconductor para aumentar el número de portadores de carga positivos o huecos. El material tipo N también es dopado, pero añadiendo portadores de carga negativos o electrones.



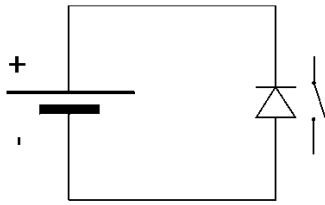


Figura No.3. Funcionamiento del diodo.

Rectificador

Es un circuito que permite realizar la conversión de corriente alterna (AC) a corriente directa (DC), esto se realiza por medio de una serie de diodos que permite el paso de corriente en un determinado instante, en este caso dado por el desfase propio de las señales.

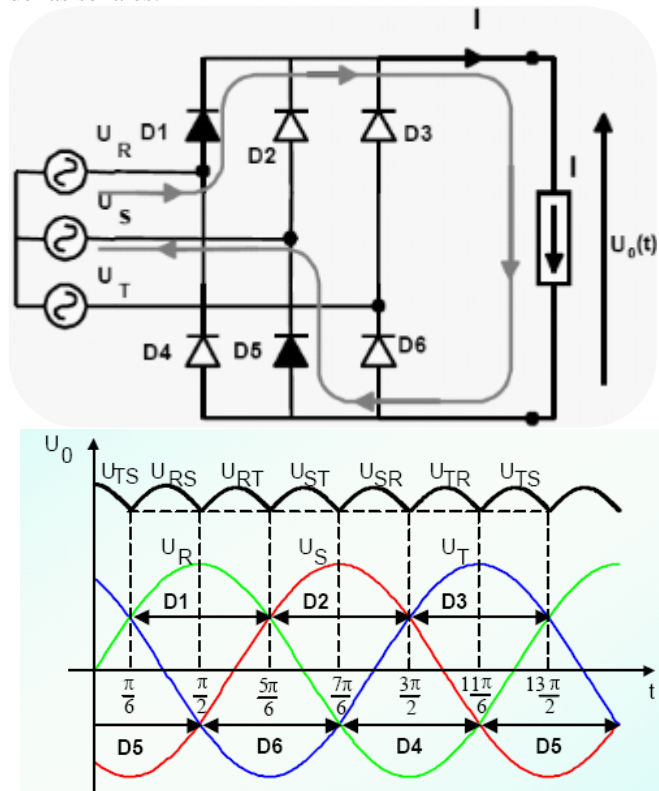


Figura No.4. Proceso de rectificado.

IV. PROCEDIMIENTO Y MATERIALES

Materiales, equipos y software:

- Simulador Proteus.
- Simulador Ltpice.

Procedimiento:

Para el desarrollo de la práctica se decidió hacer un rectificador de onda completa, para representar la carga de los 15Hp del motor se hace mediante el modelo presente en Proteus, los parámetros variables en el motor son el voltaje nominal y la resistencia, que se calculo de la siguiente manera.

$$15Hp = 11185.5W$$

$$P = V * I \quad (1)$$

$$I = \frac{P}{V} \quad (2)$$

$$I = \frac{11185.5}{220} = 50.84A$$

Posteriormente se determina la resistencia del motor.

$$R = \frac{V^2}{P} \quad (3)$$

$$R = \frac{220^2}{11185.5} = 4.327\Omega$$

Teniendo ya el valor de resistencia para el motor necesaria para obtener la corriente deseada, se procede a simular el circuito.

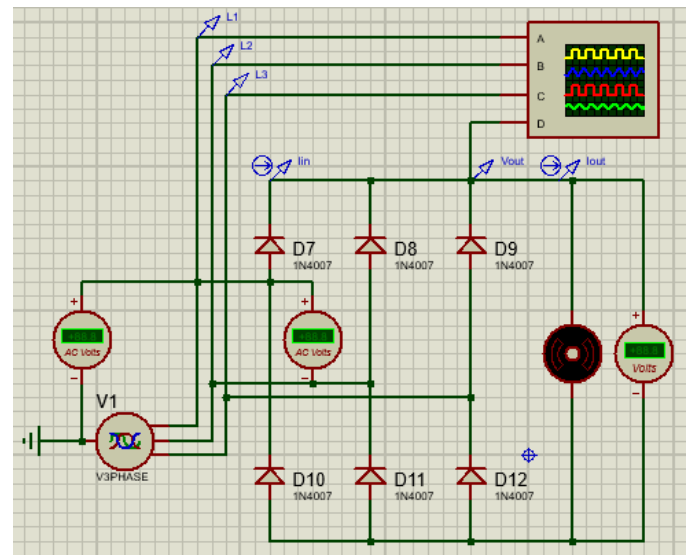


Figura No.5. Simulación en Proteus.

Teniendo como resultado:

- $I_{out} = 50.7A$

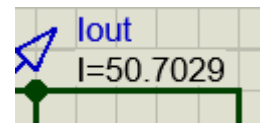


Figura No.6. Medición de corriente.

- $V_m = 532V$

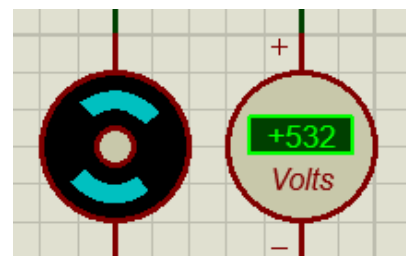


Figura No.7. Medición de voltaje.

Se establece que los 220V indicados como el V_{RMS} , sabiendo esto mediante las siguientes ecuaciones se procede a calcular el voltaje que se debería obtener a la salida del rectificador.

$$V_{max} = \sqrt{2}V_{RMS} \quad (4)$$

$$V_{max} = \sqrt{2}(220) = 311.12V$$

$$V_{DC} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi}V_{max} \quad (5)$$

$$V_{DC} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi}(311.12) = 514.59V$$

Voltaje RMS de la salida:

$$V_{RMS} = \left(\frac{3}{2} + \frac{9\sqrt{3}}{4\pi}\right)^{1/2} V_{max} \quad (6)$$

$$V_{RMS} = \left(\frac{3}{2} + \frac{9\sqrt{3}}{4\pi}\right)^{1/2} (311.12) = 515.04V$$

Se obtuvo que el voltaje a la salida del rectificador debe ser de aproximadamente 515V, en el simulador de Proteus la señal rectificadora obtenida tiene un valor igual a la amplitud de la señal trifásica, valor que en teoría debe ser mucho mayor, pero cuando se simuló en Ltspice se pudo apreciar que verdaderamente la señal de salida posee un valor cercano a lo esperado como se observa en la figura No. 6

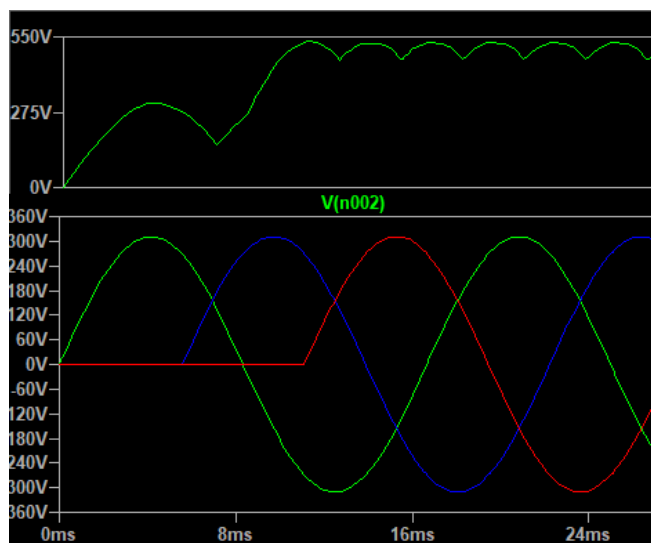


Figura No.8. Simulación en Ltspice.

- Diseño circuito impreso:

Para el diseño de la PCB se tuvieron en cuenta las dimensiones de los dispositivos que se iban a implementar en la práctica de laboratorio, como es el caso del diodo, se dispuso a la implementación de borneras para tener conectores tipo banana-banana para la fuente y el motor, de esta manera se facilita la realización del montaje y las mediciones en este. Para el diseño de las pistas se debe tener en cuenta que es un circuito de

potencia por lo cual, los tamaños de las pistas tienen que ser más grandes para que soporten las corrientes máximas que se presentan en el circuito, para determinar su tamaño se utilizaron los siguientes cálculos:

$$Altura = 3 \frac{onza}{ft^2} (Altura Estadarizada) \quad (7)$$

$$Area = \left(\frac{I}{(k1 * \Delta T^{k2})}\right)^{\frac{1}{k3}} \quad (8)$$

Donde:

I: Corriente que soportara la pista = 50.7A

ΔT : Diferencia de temperatura entre el aire y la pista = 70 – 25 = 45

K1, K2, K3: Son constantes que dependen si la pista es interna o externa.

Al ser una pista externa entonces:

K1 = 0.0647

K2 = 0.4281

K3 = 0.6732

Con estos datos se procede a calcular el área.

$$Area = \left(\frac{50.7}{(0.0647 * 45^{0.4281})}\right)^{\frac{1}{0.6732}} = 1768.95$$

$$Ancho = \frac{1768.95}{3 * 1.378} = 427.90[th]$$

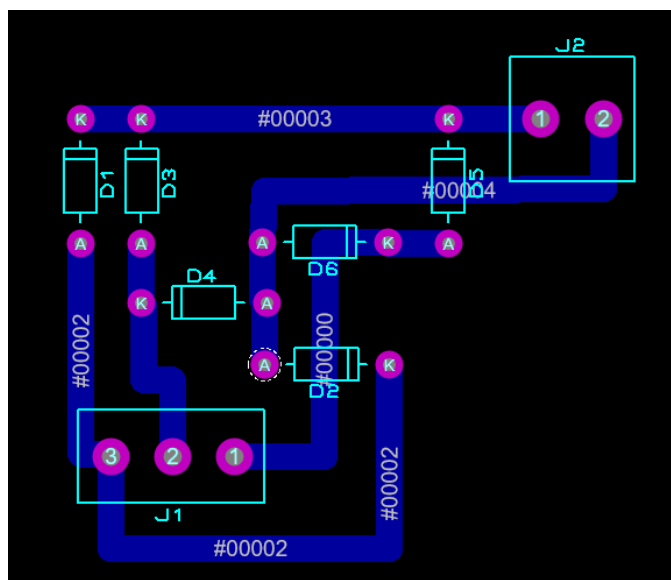


Figura No.9. Diseño PCB.

Como se mencionó anteriormente, si los 220V son el V_{RMS} mediante la ecuación 4 se calculó un $V_{max} = 311.12V$ que es el valor pico de amplitud que tendrá cada una de las líneas de la fuente trifásica.

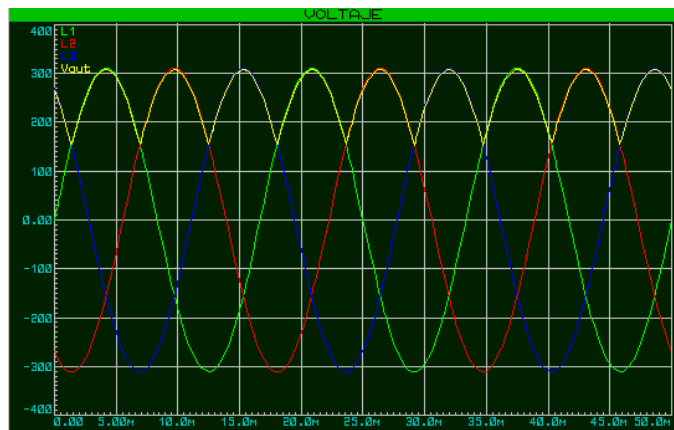


Figura No.10. Curva de voltaje.

En la simulación en Proteus, la resistencia en el motor que se necesitó para tener la corriente de 50A fue 10.5Ω , si reemplazamos este valor de resistencia junto con V_{max} en la siguiente ecuación, tenemos:

$$I_1 = I_2 = I_3 = \frac{\sqrt{3}V_{max}}{R} \quad (9)$$

$$I_1 = I_2 = I_3 = \frac{\sqrt{3}(311.12)}{10.5} = 51.32A$$

Este valor corresponde a la corriente en cada una de las fuentes y que pasara por cada uno de los diodos cuando este esté conduciendo, se puede corroborar en la figura No.8.

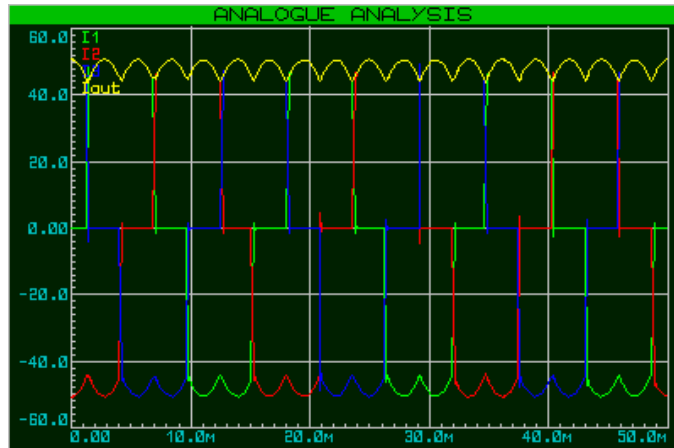


Figura No.11. Curva de voltaje.

Según el análisis de Fourier, la distorsión debida a las fases de las fuentes es decreciente, con su pico más alto en los 60Hz, y la distorsión en la salida del rectificador es prácticamente 0.

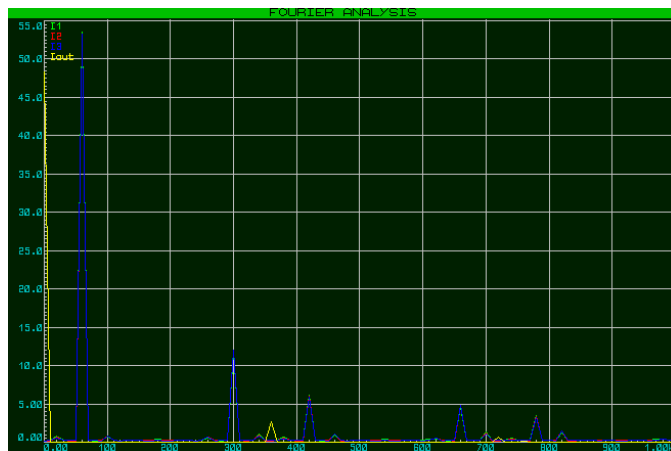


Figura No.12. Análisis de Fourier.

V. ANALISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

- Contrario a lo que se cree, el valor de salida del rectificador no tiene una magnitud similar al voltaje entregado por la fuente trifásica, en este caso 220V y a la salida un valor de 515V teóricamente, o en el caso de la simulación, 532V, dando un error del 3.19%.
- Conociendo y entendiendo el correcto funcionamiento de los softwares que utilizamos nos brinda una mayor claridad y facilidad al momento de analizar y comparar los resultados teóricos obtenidos mediante las ecuaciones implementadas y los prácticos que obtenemos gracias a estos programas.
- En el simulador hay que tener en cuenta que el osciloscopio mide con respecto a tierra, al tener una fuente trifásica esta debe estar diferente a esa tierra para no generar un corto.

VI. BIBLIOGRAFIA

- [1] Mohan, N. (2009) Electrónica de potencia: convertidores, aplicaciones y diseño. 3a. ed. McGraw-Hill. Available at: <http://search.ebscohost.com.ezproxy.umng.edu.co/login.aspx?direct=true&db=cab04333a&AN=mng.16436&lang=es&site=eds-live>
- [2] Ballester, E. (2012) Electrónica de potencia: principios fundamentales y estructuras básicas. Alfaomega. Available at: <http://search.ebscohost.com.ezproxy.umng.edu.co/login.aspx?direct=true&db=cab04333a&AN=mng.7083&lang=es&site=eds-live>
- [3] Benavent García, J. M. (2000) Electrónica de potencia: teoría y aplicaciones. Alfaomega. Available at: <http://search.ebscohost.com.ezproxy.umng.edu.co/login.aspx?direct=true&db=cab04333a&AN=mng.7083&lang=es&site=eds-live>

Convertidor AC – DC monofásico controlado

Ulloa Brayan, Muñoz Mayron, Castellanos Brayan.
{u1802861, u1803070, u1803141}@unimilitar.edu.co
Profesor: Niño Luis

Resumen - La presente práctica tiene como objetivo estudiar, diseñar e implementar mediante simulaciones la práctica correspondiente al convertidor AC – DC monofásico controlado, con el objetivo de afianzar y aplicar los conocimientos teóricos vistos en clase y necesarios para la correcta realización de aplicaciones como la propuesta en esta práctica.

I. OBJETIVOS

- Analizar diferentes tipos de redes snubber.
- Realizar mediciones en sistemas monofásicos rectificadores.
- Analizar tiempos de disparo en los dispositivos de potencia.

II. METODOLOGIA

1. Diseñe un circuito convertidor AC-DC monofásico controlado, usando tiristor. Utilizar la red 220VAC y considerar en el diseño una carga de tipo motor de 5Hp.
2. Diseñar la red snubber requerida.
3. Realice la simulación de la práctica 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 determine el factor de potencia.
6. Realice el análisis de calidad de energía en la fuente.
7. Realizar un análisis del factor de potencia en función del ángulo de disparo del sistema.

III. INTRODUCCION

Para el desarrollo de esta práctica se tiene como objetivo evidenciar el correcto funcionamiento de un rectificador monofásico, que en nuestro caso solo será rectificación de media onda la cual tendrá como carga un motor DC de 5 Hp de potencia donde tendremos una alimentación de 220V.

IV. MARCO TEORICO

Corriente alterna (AC)

Es un tipo de corriente en el cual su magnitud y sentido varía a lo largo del tiempo, esta variación sucede normalmente de manera sinusoidal entre un valor máximo positivo y un valor máximo negativo, es decir, la mitad del tiempo el voltaje toma valores positivos y la otra mitad valores negativos.

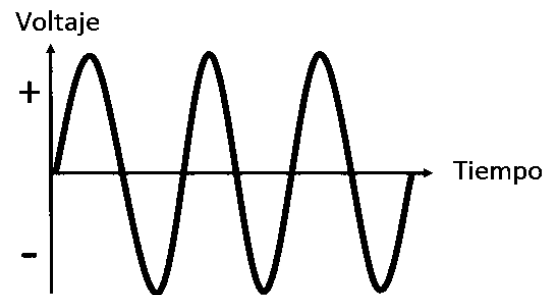


Figura 1. Grafica de corriente alterna.

Corriente directa (DC)

Es un tipo de corriente cuya magnitud y sentido es invariante en el tiempo.

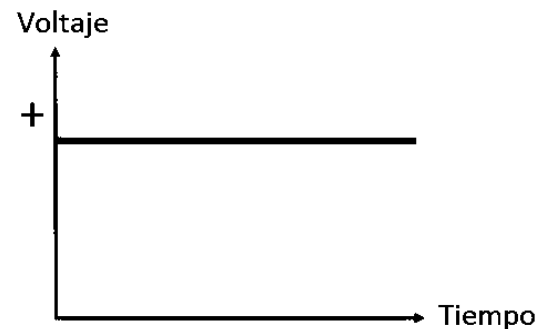


Figura 2. Grafica de corriente directa.

Tiristor

Es un dispositivo semiconductor de potencia que permite el flujo de corriente únicamente en una dirección, es decir, actúa como un interruptor, a este componente se le conoce como diodo de potencia por que se utilizan para manejar grandes cantidades de corriente y voltaje, a comparación de los otros semiconductores que manejan cantidades relativamente bajas. Cuando poseemos un voltaje en la puerta, el tiristor se activa y conducirá hasta que la corriente en los terminales sea 0, en este instante es cuando dejará de conducir.

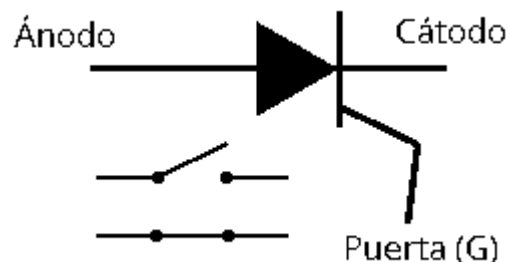


Figura 3. Tiristor.

V. PROCEDIMIENTO Y MATERIALES

Rectificador

Es un circuito que permite realizar la conversión de corriente alterne (AC) a corriente directa (DC), existen 2 tipos de rectificadores básicos hechos con tiristores, de media onda y de onda completa; el rectificador de media onda está conformado por un único tiristor que permite únicamente el paso del ciclo positivo de una señal AC cuando se le indique al tiristor que debe cerrar el circuito y empezar a permitir el paso de corriente, teniendo como resultado una señal igual a la que se aprecia en la segunda grafica de la figura 5. Un rectificador de onda completa está conformado por un puente de tiristores, este permite el paso de ambos ciclos de la señal, pero solo hacia la salida positiva.

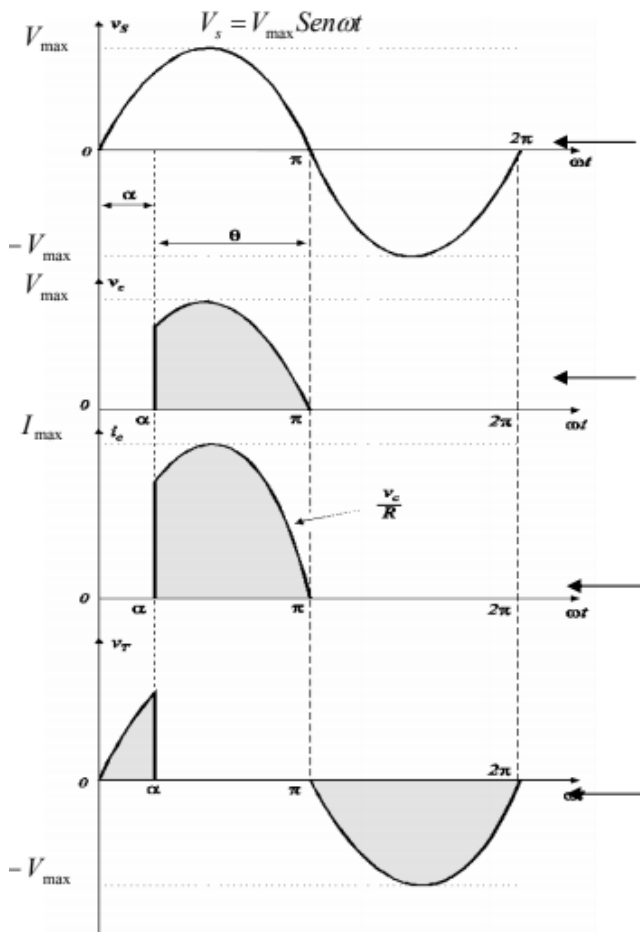


Figura 4. Curva de rectificado.

Red Snubber

Las redes Snubbers se utilizan para suprimir transitorios indeseables y eliminar problemas en los circuitos de conmutación con elementos inductivos y capacitivos. La conmutación en estos circuitos puede producir EMI (interferencias electromagnéticas) que afecten a otros equipos y si no se suprimen las sobretensiones transitorias se pueden exceder los límites de los dispositivos y producir su degradación o su posible destrucción.

Materiales, equipos y software:

- Simulador Proteus
- Arduino

Procedimiento:

Para el desarrollo de la práctica se decidió hacer un rectificador de media onda, para representar la carga de los 5Hp de un motor se realizó por medio del modelo de motor existente en Proteus, en donde se debe asignar un valor de resistencia para este, para ello, se realizan los cálculos de la potencia y corriente presentes en la carga.

$$5Hp = 3728.5W$$

$$P = V * I$$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{3728.5}{220} = 16.947A$$

Posteriormente se determina la resistencia de la carga.

$$P = \frac{V^2}{R}$$

$$R = \frac{V^2}{P} = \frac{220^2}{3728.5} = 12.981\Omega$$

Además de determinar el valor de la resistencia que tendrá el motor, también utilizamos un diodo en paralelo para tener la protección necesaria en el motor y evitar cualquier daño.

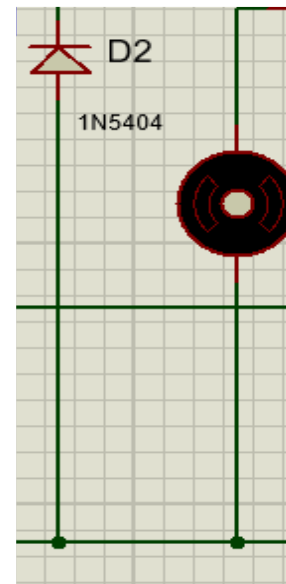


Figura 5. Diodo de protección para el motor.

Al igual que para el motor, implementamos una protección en el tiristor compuesta por una red Snubber en el circuito la cual estará en paralelo con el diodo anteriormente nombrado, esto para evitar cualquier tipo de daño en el circuito, dado que al implementar estos tipos de componentes es normal que se

presente un estrés eléctrico en los mismos, producidas por las conmutaciones tan veloces y de gran potencia que se presentan en su funcionamiento.

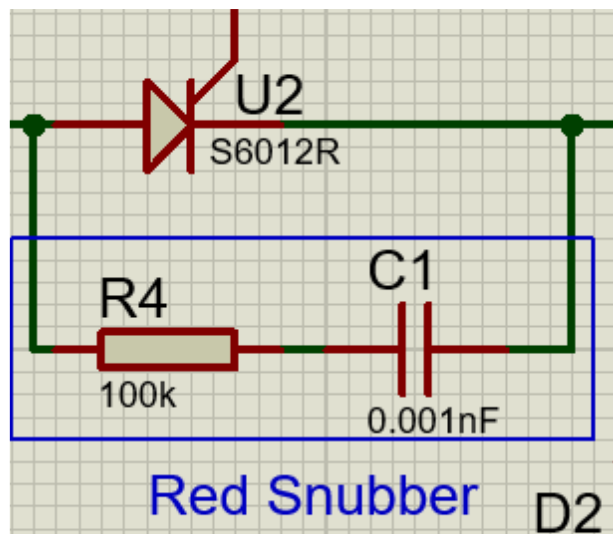


Figura 6. Red Snubber.

Ya con los cálculos y la implementación correcta de las protecciones en el circuito se procedió a montar el circuito completo para el desarrollo de nuestra práctica.

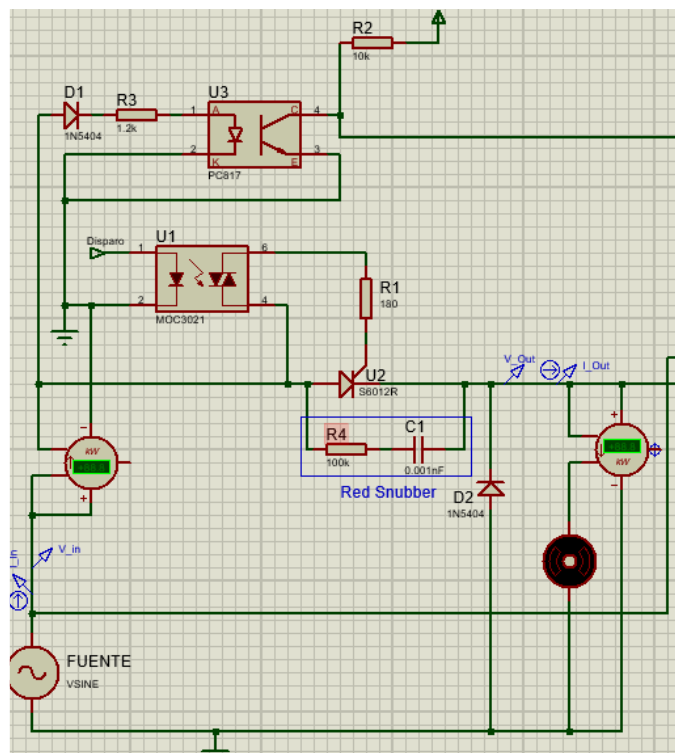


Figura 7. Circuito del rectificador monofásico controlado de media onda.

Después de verificar el correcto funcionamiento de nuestro circuito procedimos a implementar el microprocesador con el cual vamos a realizar el control solicitado en la practica del rectificador de media onda, esto se hizo mediante la

implementación de un Arduino Uno y un teclado matricial su conexión se muestra en la siguiente imagen.

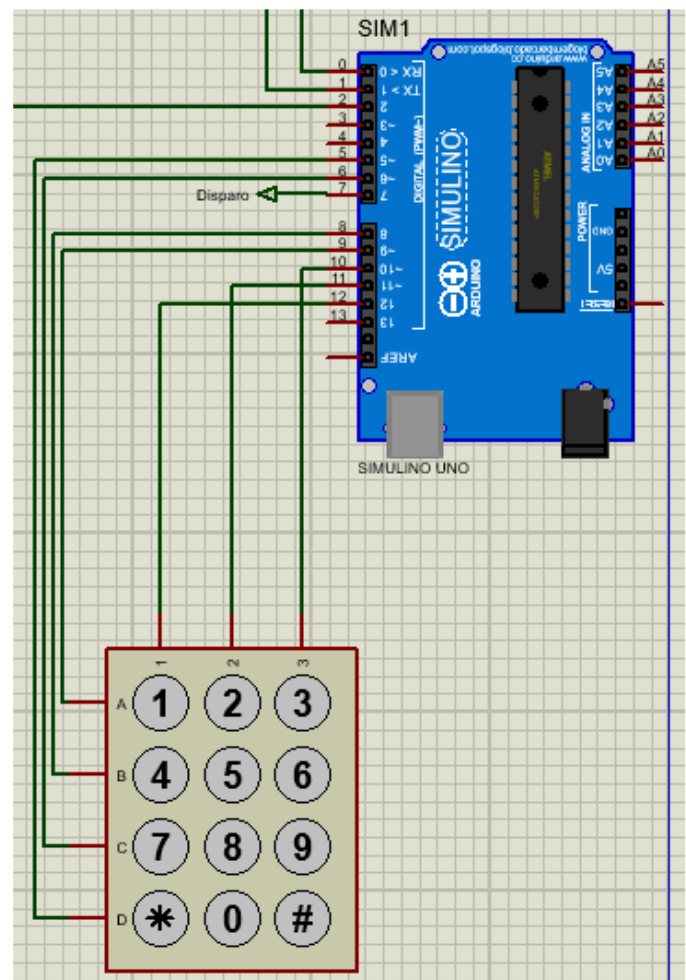


Figura 8. Conexión del Arduino.

Ya con el diseño completo del circuito procedemos a simular y recopilar los datos necesarios para realizar el correcto análisis del laboratorio.

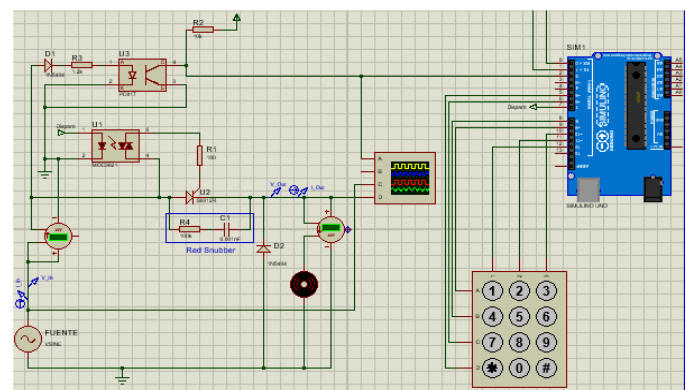


Figura 9. Simulación completa del circuito a implementar.

Digital Oscilloscope

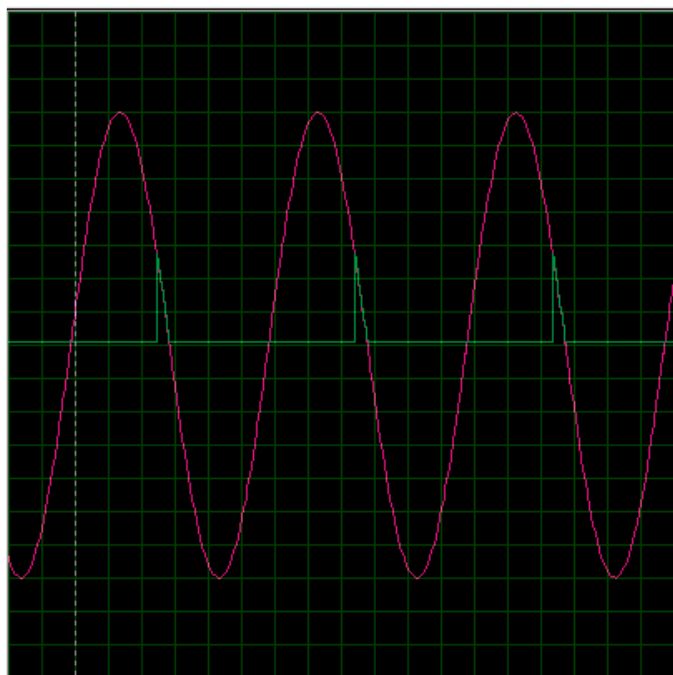


Figura 10. Rectificación con el 0% de la señal rectificada

Digital Oscilloscope

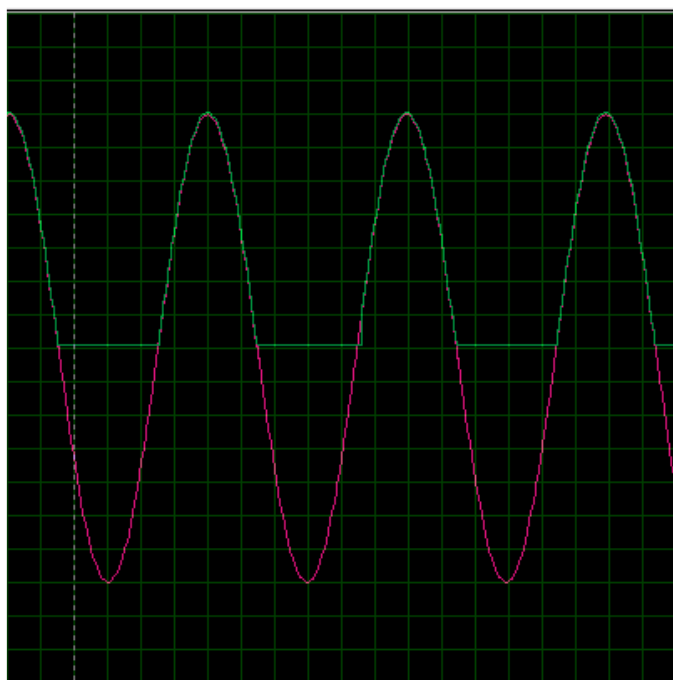


Figura 11. Rectificación con el 100% de la señal rectificada

En las dos imágenes anteriores se observan las respuestas mínimas y máximas que se presentaran en el rectificador de media onda controlado, con lo cual podemos concluir que la rectificación y el control de la onda está funcionando de manera correcta.

Posteriormente observaremos los diferentes valores de potencia mecánica (en el motor “Pm”) y eléctrica (fuente ”Ps”) que presentara el circuito, para realizar el análisis del factor de potencia (Fp) y establecer que tan eficiente es nuestro diseño.

Ecuación del factor de potencia: Conociendo el valor de potencia que tendrá nuestro motor 5Hp lo pasamos a Kw y según la referencia de motor buscada para un voltaje de 220V y 5Hp de potencia se utiliza una corriente de 20.8A . [4]

$$P_m = 5[Hp] = 3728[W]$$

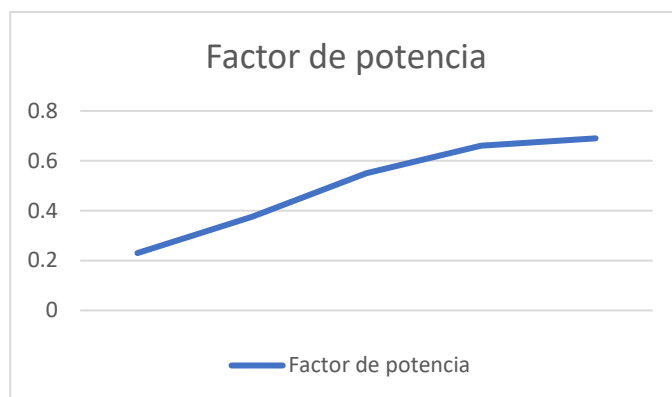
$$P_s = 220 * 20.8 = 4576[W]$$

$$\varphi = \frac{P_m}{P_s} = \frac{3728}{4576} = 0.814$$

En la ecuación anterior se observa la manera de calcular el factor de potencia del sistema. Se procederá a recopilar los datos de nuestra simulación para calcular los factores de potencia dada el porcentaje de onda rectificada.

% Rectificado	Ps [Kw]	Pm[Kw]	Fp
10 %	0.52	0.12	0.23
30 %	0.8	0.3	0.375
50 %	1.12	0.62	0.55
70 %	1.33	0.89	0.66
100 %	1.42	0.99	0.69

Tabla 1. Datos de las potencias



Grafica 1. Factor de potencia

En la tabla y la grafica anterior se puede observar el comportamiento del factor de potencia en el circuito cuando se varía el porcentaje de rectificación en el mismo, donde podemos inferir que va aumentando su valor a medida que el porcentaje de onda rectificada también lo hace.

Posteriormente se realizarán las simulaciones respectivas para observar la distorsión armónica (THD) correspondiente a cada porcentaje rectificado, esto se realizará para la onda de voltaje y la de corriente.

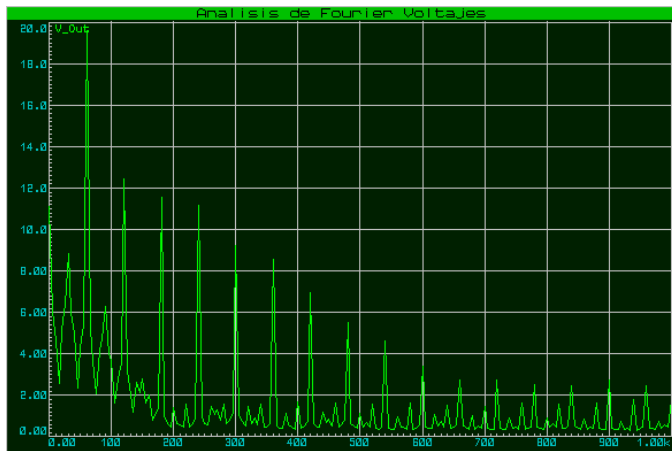


Figura 12. Analisis de Fourier de Voltaje (10%)

Del analisis anterior se procede a calcular el valor de THD de voltaje correspondiente cuando en el motor se presenta un 10% de la señal rectificada.

$$THD_V = \frac{\sqrt{12.4^2 + 11.6^2 + 11.2^2 + 9.21^2 + 8.58^2}}{19.6} = 1.22$$

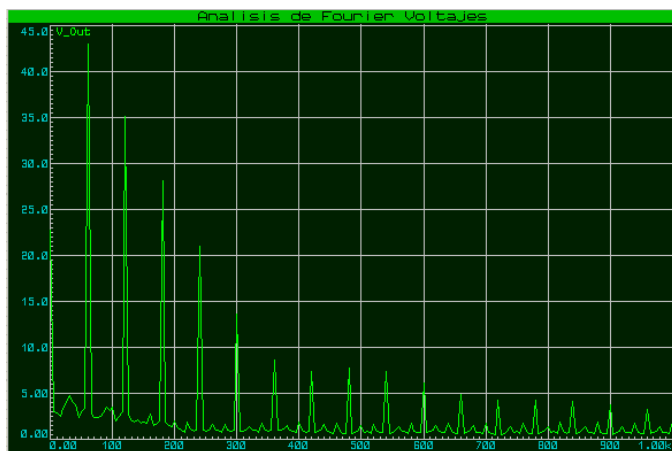


Figura 13. Analisis de Fourier de Voltaje (30%)

Del analisis anterior se procede a calcular el valor de THD de voltaje correspondiente cuando en el motor se presenta un 30% de la señal rectificada.

$$THD_V = \frac{\sqrt{35.1^2 + 28.1^2 + 20.7^2 + 13.6^2 + 8.62^2}}{43} = 1.21$$

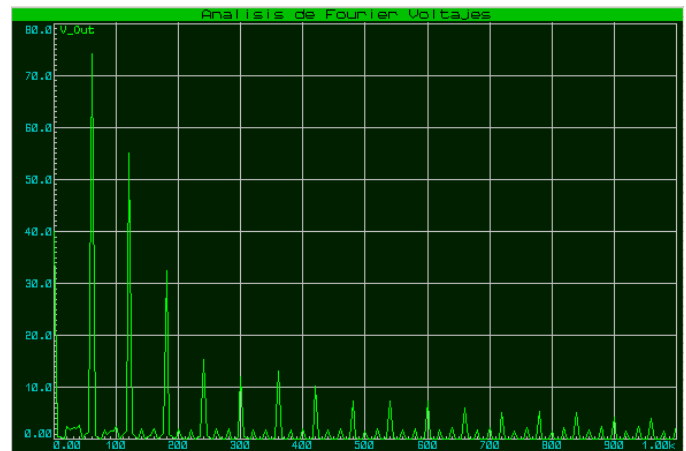


Figura 14. Analisis de Fourier de Voltaje (50%)

Del analisis anterior se procede a calcular el valor de THD de voltaje correspondiente cuando en el motor se presenta un 50% de la señal rectificada.

$$THD_V = \frac{\sqrt{55^2 + 32.5^2 + 15.3^2 + 12^2 + 13.1^2}}{74.1} = 0.91$$

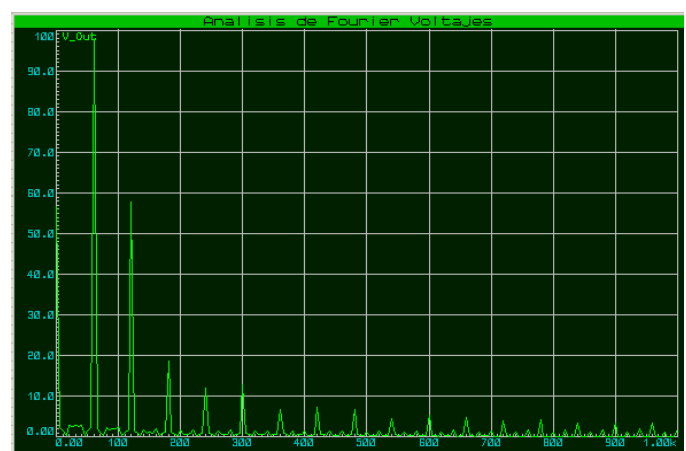


Figura 15. Analisis de Fourier de Voltaje (70%)

Del analisis anterior se procede a calcular el valor de THD de voltaje correspondiente cuando en el motor se presenta un 70% de la señal rectificada.

$$THD_V = \frac{\sqrt{57.6^2 + 18.6^2 + 11.9^2 + 13^2 + 6.71^2}}{97.7} = 0.64$$

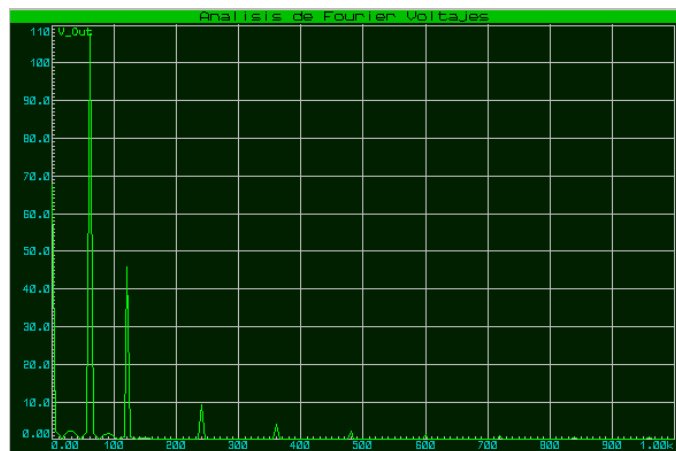


Figura 16. Analisis de Fourier de Voltaje (100%)

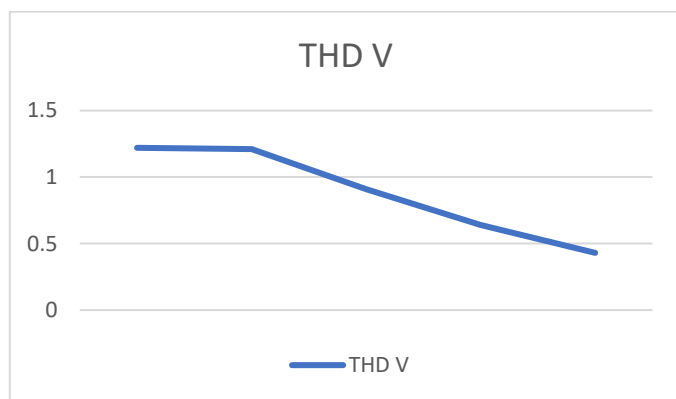
Del analisis anterior se procede a calcular el valor de THD de voltaje correspondiente cuando en el motor se presenta un 100% de la señal rectificada.

$$THD_V = \frac{\sqrt{45.9^2 + 9.3^2 + 4.04^2 + 2.26^2 + 1.43^2}}{108} = 0.43$$

Los resultados anteriormente mostrados se recopilan en la siguiente tabla.

% Rectificado	THDv (Distorsión Armónica Total)
10%	1.22
30%	1.21
50%	0.91
70%	0.64
100%	0.43

Tabla 2. Datos de THD de voltaje



Grafica 2. Distorsión Armónica En Voltajes

Respecto a la grafica anterior se puede observar que el valor de la distorsión armónica total en los voltajes se reduce drásticamente cuando el porcentaje de la señal rectifica empieza a aumentar.

De la misma manera que con el voltaje realizamos las simulaciones y los análisis correspondientes para las corrientes.

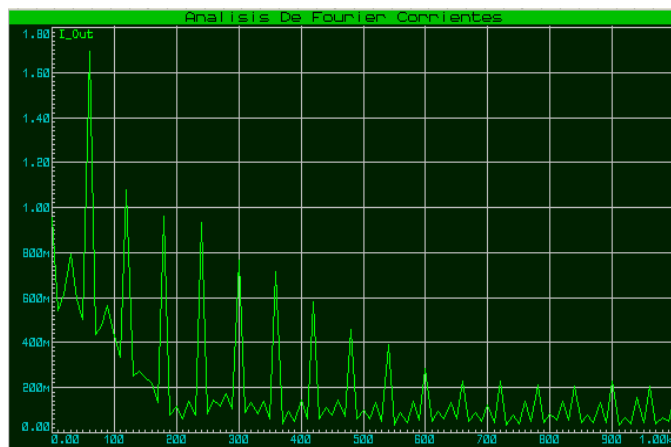


Figura 17. Analisis de Fourier de Corrientes (10%)

Del analisis anterior se procede a calcular el valor de THD de corriente correspondiente cuando en el motor se presenta un 10% de la señal rectificada.

$$THD_I = \frac{\sqrt{1.08^2 + 0.96^2 + 0.93^2 + 0.76^2 + 0.71^2}}{1.69} = 1.18$$

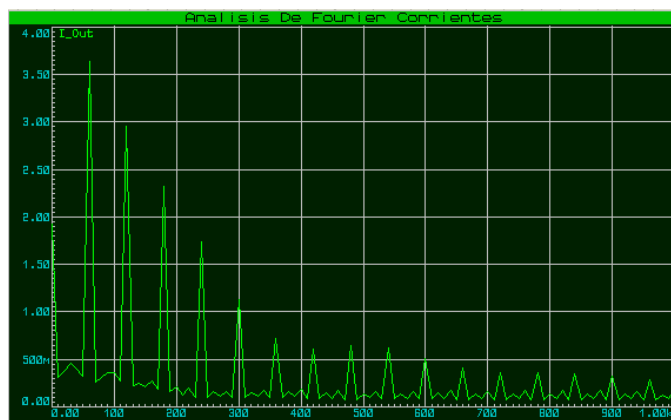


Figura 18. Analisis de Fourier de Corrientes (30%)

Del analisis anterior se procede a calcular el valor de THD de corriente correspondiente cuando en el motor se presenta un 30% de la señal rectificada.

$$THD_I = \frac{\sqrt{2.95^2 + 2.33^2 + 1.74^2 + 1.13^2 + 0.71^2}}{3.64} = 1.19$$

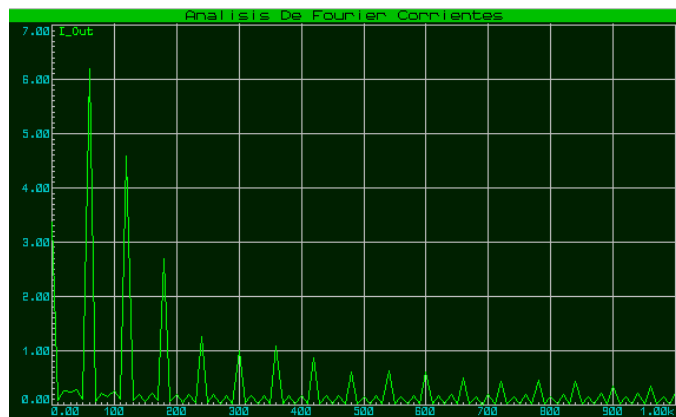


Figura 19. Analisis de Fourier de Corrientes (50%)

Del analisis anterior se procede a calcular el valor de THD de corriente correspondiente cuando en el motor se presenta un 50% de la señal rectificada.

$$THD_I = \frac{\sqrt{4.58^2 + 2.69^2 + 1.27^2 + 0.99^2 + 1.09^2}}{6.2} = 0.91$$

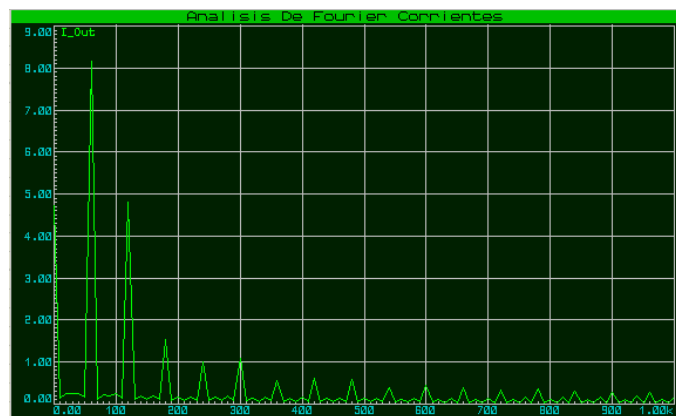


Figura 20. Analisis de Fourier de Corrientes (70%)

Del analisis anterior se procede a calcular el valor de THD de corriente correspondiente cuando en el motor se presenta un 70% de la señal rectificada.

$$THD_I = \frac{\sqrt{4.8^2 + 1.55^2 + 0.99^2 + 1.07^2 + 0.55^2}}{8.16} = 0.64$$

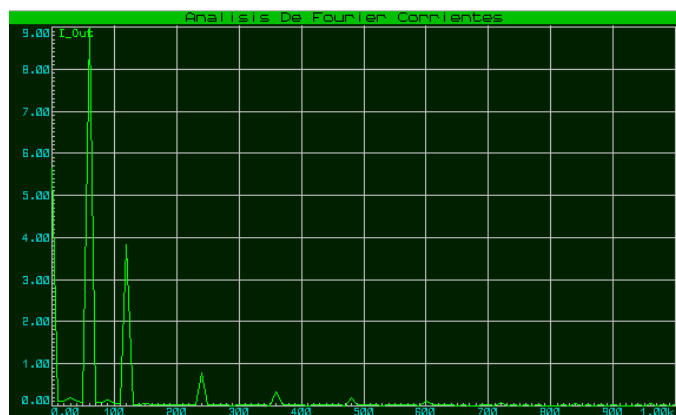


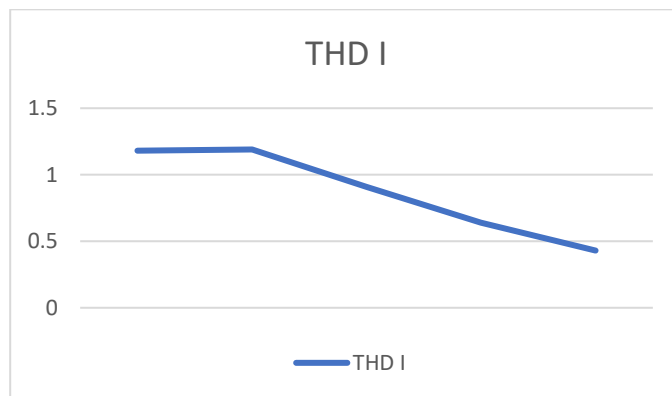
Figura 21. Analisis de Fourier de Corrientes (100%)

Del analisis anterior se procede a calcular el valor de THD de corriente correspondiente cuando en el motor se presenta un 100% de la señal rectificada.

$$THD_I = \frac{\sqrt{3.83^2 + 0.77^2 + 0.33^2 + 0.18^2 + 0.12^2}}{8.98} = 0.43$$

% Rectificado	THDI (Distorsión Armónica Total)
10%	1.18
30%	1.19
50%	0.91
70%	0.64
100%	0.43

Tabla 2. Datos de THD de corriente



Grafica 3. Distorsión armónica de corrientes

Al igual que sucedió con la señal de voltaje de salida, al realizar el análisis de Fourier de las corrientes y calcular su respectiva distorsión armónica se logra evidenciar que mientras se aumenta el porcentaje de rectificación de la onda el valor de su distorsión armónica (THD) se ve reducida considerablemente. Además, se puede comprobar que sus valores son similares.

VI. ANALISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

- Se puede observar que, mediante la variación del ángulo de disparo del tiristor, es posible controlar el valor de la señal de salida DC, algo útil a la hora de hacer aplicaciones en las cuales se desee variar la velocidad de un motor.
- Los resultados obtenidos al visualizar la gráfica evidencian que el sistema funciona de manera adecuada, pero si se miden los voltajes y corrientes a la salida del rectificador, estos oscilan todo el tiempo, haciendo muy complicado evidenciar si los valores obtenidos son los adecuados, e imposibilitando mediciones como la potencia, o la eficiencia de energía.
- Se puede evidenciar que el porcentaje de onda rectificada reduce el valor de distorsión armónica que se presenta en el circuito

VII. BIBLIOGRAFIA

- [1] Mohan, N. (2009) Electrónica de potencia: convertidores, aplicaciones y diseño. 3a. ed. McGraw-Hill. Available at: [http://search.ebscohost.com.ezproxy.umng.edu.co/login.aspx?](http://search.ebscohost.com.ezproxy.umng.edu.co/login.aspx?direct=true&db=cat04333a&AN=mng.16436&lang=es&site=eds-live)
- [2] Ballester, E. (2012) Electrónica de potencia: principios fundamentales y estructuras básicas. Alfaomega. Available at: <http://search.ebscohost.com.ezproxy.umng.edu.co/login.aspx?direct=true&db=cat04333a&AN=mng.16436&lang=es&site=eds-live>
- [3] Benavent García, J. M. (2000) Electrónica de potencia: teoría y aplicaciones. Alfaomega. Available at: <http://search.ebscohost.com.ezproxy.umng.edu.co/login.aspx?direct=true&db=cat04333a&AN=mng.7083&lang=es&site=eds-live>.
- [4] Motor Eléctrico Monofásico Catálogo Comercial Mercado Latinoamericano. Available at: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h35/h2b/WEG-w22-motor-electrico-monofasico-50070884-brochure-spanish-web.pdf>

Convertidor AC – DC trifásico controlado

Ulloa Brayan, Muñoz Mayron, Castellanos Brayan.
{u1802861, u1803070, u1803141}@unimilitar.edu.co
Profesor: Niño Luis

Resumen - La presente práctica tiene como objetivo estudiar, diseñar e implementar mediante simulaciones la practica correspondiente al convertidor AC – DC trifásico controlado, con el objetivo de afianzar y aplicar los conocimientos teóricos vistos en clase y necesarios para la correcta realización de circuitos de aplicación como el propuesto para este desarrollo.

I. OBJETIVOS

- Analizar diferentes tipos de circuitos trifásicos.
- Realizar mediciones en sistemas trifásicos rectificadores.
- Realizar análisis de distorsión armónica en función del ángulo de disparo.

II. METODOLOGIA

1. Diseñe un circuito convertidor AC-DC trifásico controlado. Utilizar la red 220VAC y considerar en el diseño una carga de tipo motor de 15HP.
2. Realice la simulación de la práctica con las mediciones y análisis correspondientes. Para la simulación puede utilizar un circuito RL equivalente.
3. Diseñe el circuito impreso correspondiente. Utilice bornas y cables adecuados para conexiones eléctricas.
4. Analice las correspondientes curvas de corriente y voltaje teniendo en cuenta dispositivos de protección.
5. Evalúe la potencia en el circuito y determine el factor de potencia.
6. Determine la distorsión armónica en función del ángulo de disparo
7. Realice el análisis de calidad de energía en la fuente. Determine si se encuentra balanceada o no.

III. INTRODUCCION

Convertir de corriente alterna a corriente directa es algo fundamental, debido a que el transporte de corriente es mucho más fácil y eficiente de hacer por medio de corriente alterna, pero los dispositivos que comúnmente utilizamos no usan este tipo de corriente para funcionar, estos usan corriente directa, por tal motivo hacer la conversión entre ellas es algo necesario.

Corriente alterna (AC)

Es un tipo de corriente en el cual su magnitud y sentido varia a lo largo del tiempo, esta variación sucede normalmente de manera sinusoidal entre un valor máximo positivo y un valor máximo negativo, es decir, la mitad del tiempo el voltaje toma valores positivos y la otra mitad valores negativos, en el caso de un sistema trifásico, existen tres señales de igual magnitud desfasadas 120° entre ellas.

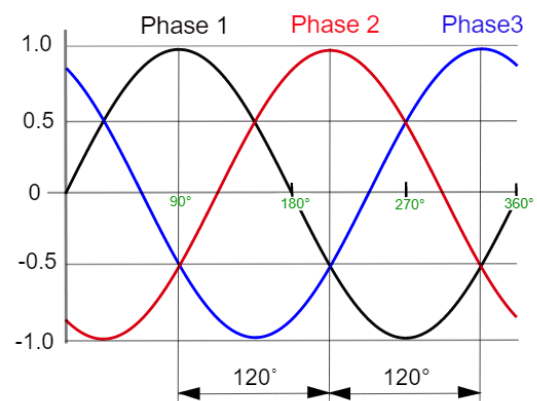


Figura 1. Grafica de corriente alterna trifásica.

Corriente directa (DC)

Es un tipo de corriente cuya magnitud y sentido es invariante en el tiempo.

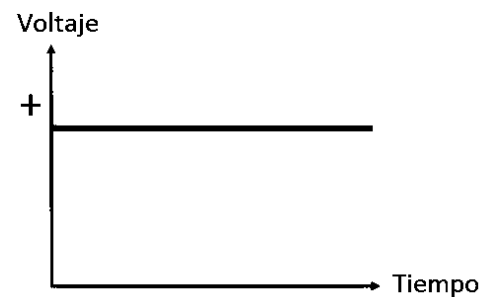


Figura 2. Grafica de corriente directa.

Tiristor

Es un dispositivo semiconductor de potencia que permite el flujo de corriente únicamente en una dirección, es decir, actúa como un interruptor, a este componente se le conoce como diodo de potencia por que se utilizan para manejar grandes cantidades de corriente y voltaje, a comparación de los otros semiconductores que manejan cantidades relativamente bajas. Cuando poseemos un voltaje en la puerta, el tiristor se activa y conducirá hasta que la corriente en los terminales sea 0, en este instante es cuando dejará de conducir

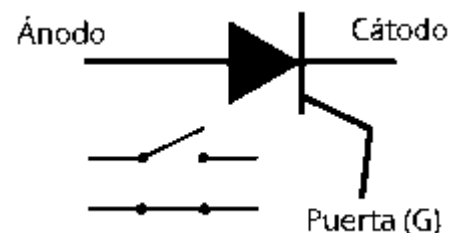


Figura 3. Esquema de un Tiristor.

Rectificador

Es un circuito que permite realizar la conversión de corriente alterna (AC) a corriente directa (DC), esto se realiza por medio de una serie de tiristores que permiten el paso de corriente cuando son disparados.

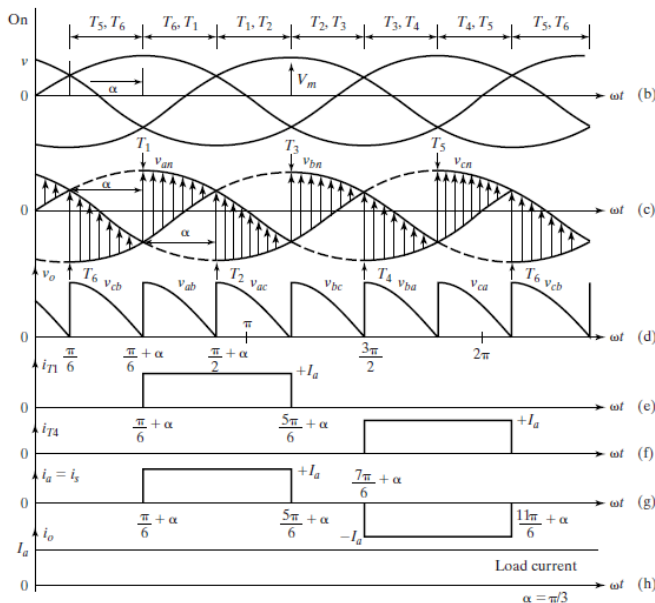
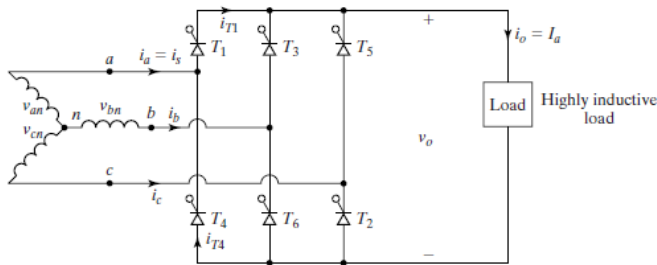


Figura 4. Circuito rectificador y curvas de entrada y salida.

IV. PROCEDIMIENTO Y MATERIALES

Materiales, equipos y software:

- Simulador Proteus.
- Arduino.

Procedimiento:

Para el desarrollo de la práctica se decidió hacer la rectificación de cada una de las fases independientemente mediante el uso de un microcontrolador para cada caso, para representar la carga de los 15Hp del motor se hace mediante el modelo presente en Proteus, los parámetros variables en el motor son el voltaje nominal y la resistencia, que se calculó de la siguiente manera.

$$15Hp = 11185.5W$$

$$P = V * I \quad (1)$$

$$I = \frac{P}{V} \quad (2)$$

$$I = \frac{11185.5}{220} = 50.84A$$

Posteriormente se determina la resistencia del motor.

$$R = \frac{V^2}{P} \quad (3)$$

$$R = \frac{220^2}{11185.5} = 4.327\Omega$$

Teniendo ya el valor de resistencia para el motor necesaria para obtener la corriente deseada, se procedió a montar el circuito completo para el desarrollo de nuestra práctica.

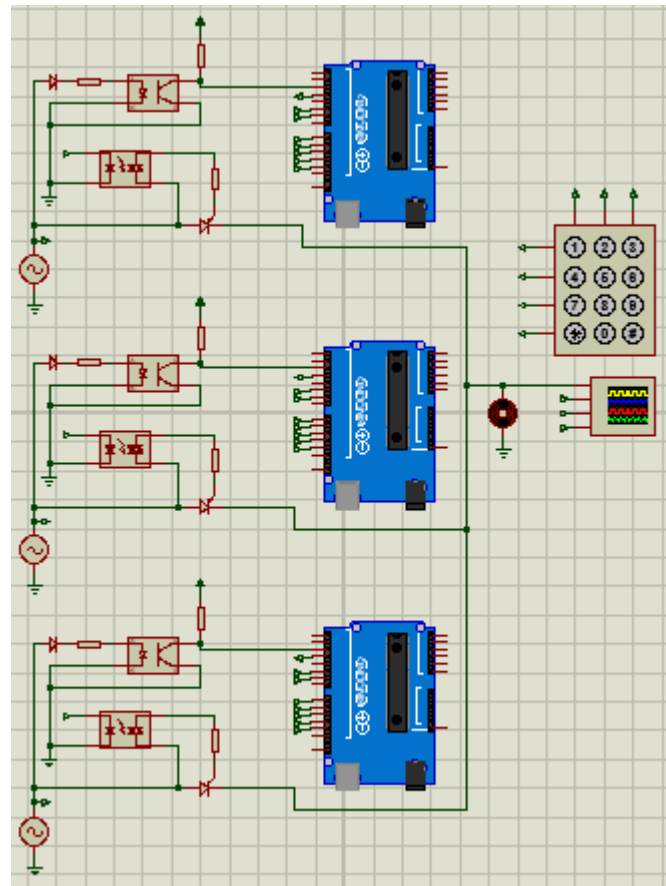


Figura 5. Simulación en Proteus.

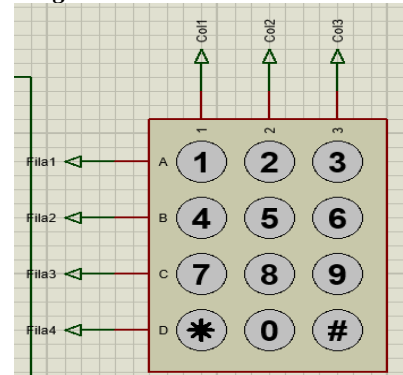


Figura 5. Teclado matricial para el control de la señal rectificadora

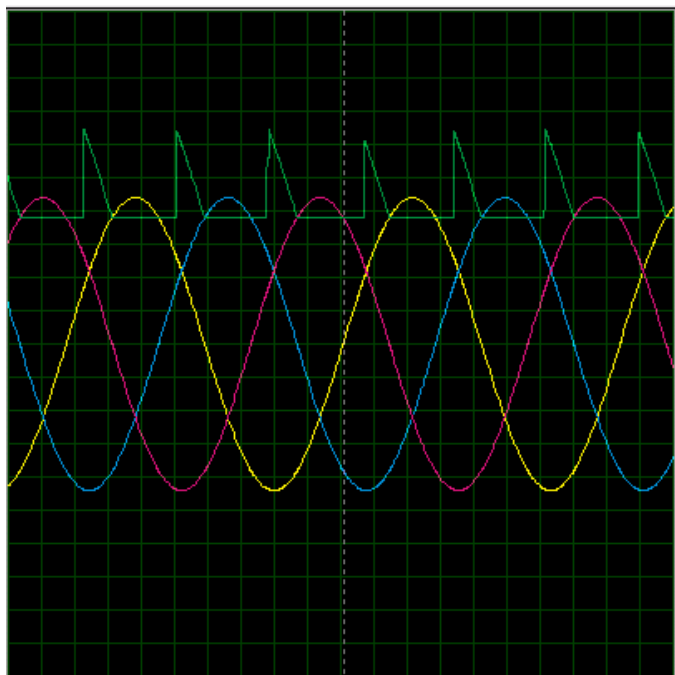


Figura 6. Rectificación con el 10% de la señal rectificada según nuestro controlador

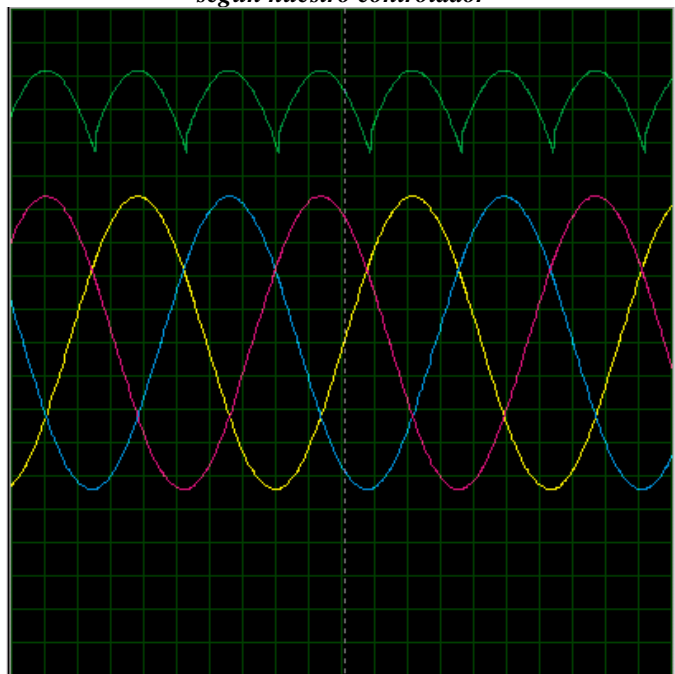


Figura 7. Rectificación con el 80% de la señal rectificada según nuestro controlador

En las dos imágenes anteriores se observan las respuestas mínimas y máximas que se presentaron en el rectificador de onda completa trifásico controlado, con lo cual podemos concluir que la rectificación y el control de la onda está funcionando de manera correcta, aunque sus valores de porcentaje de rectificación según nuestro control no coincidan con el solicitado.

Posteriormente observaremos los diferentes valores de potencia mecánica (en el motor “Pm”) y eléctrica (fuente “Ps”) que

presentara el circuito, para realizar el análisis del factor de potencia (Fp) y establecer que tan eficiente es nuestro diseño.

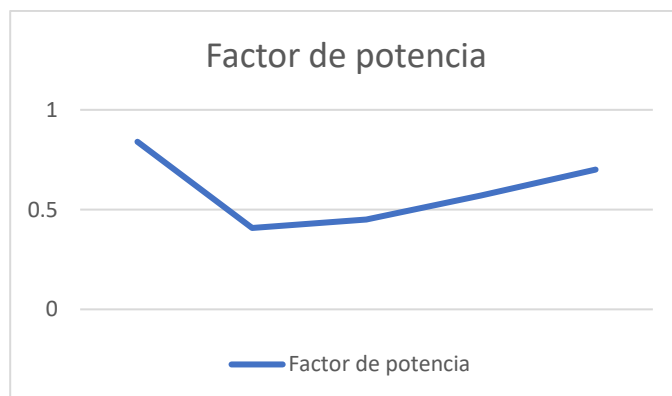
Ecuación del factor de potencia: Conociendo el valor de potencia que tendrá nuestro motor 15Hp lo pasamos a Kw y según la referencia de motor buscada para un voltaje de 220V y 15Hp de potencia se utiliza una corriente de 36.9A . [4]

$$\varphi = 0.89$$

Se procederá a recopilar los datos de nuestra simulación para calcular los factores de potencia dada el porcentaje de onda rectificada.

% Rectificado	Ps [Kw]	Pm[Kw]	Fp
10 %	1.56	1.32	0.84
20 %	5.39	2.2	0.408
40 %	9.29	4.22	0.45
60 %	11.97	6.92	0.57
80 %	11.87	0.99	0.7

Tabla 1. Datos de las potencias



Grafica 1. Factor de potencia

En la tabla y la gráfica anterior se puede observar el comportamiento del factor de potencia en el circuito cuando se varía el porcentaje de rectificación en el mismo, donde podemos inferir que va aumentando su valor a medida que el porcentaje de onda rectificada también lo hace. Pero además de ello se puede observar una inestabilidad en el circuito cuando el porcentaje de rectificación es menor al 20%, tanto así, que con el pasar del tiempo, en el circuito se puede observar como el valor de la potencia en las fuentes se vuelve negativa.

Posteriormente se realizarán las simulaciones respectivas para observar la distorsión armónica (THD) correspondiente a cada porcentaje rectificado, esto se realizará para la onda de voltaje y la de corriente.

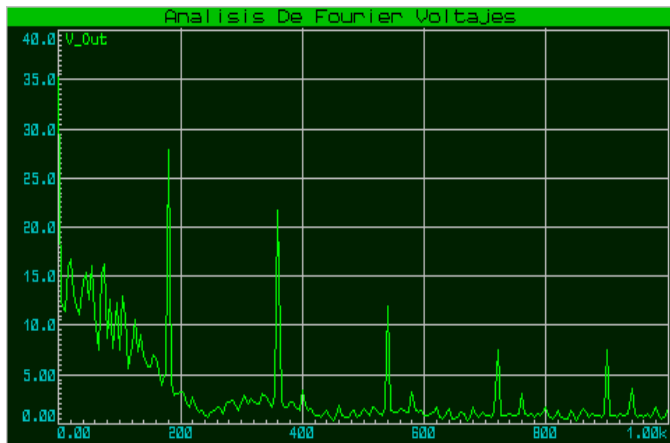


Figura 8. Analisis de Fourier de Voltaje (10%)

Del analisis anterior se procede a calcular el valor de THD de voltaje correspondiente cuando en el motor se presenta un 10% de la señal rectificada.

$$THD_V = \frac{\sqrt{27.9^2 + 21.8^2 + 12^2 + 7.45^2 + 7.49^2}}{35.2} = 1.10$$

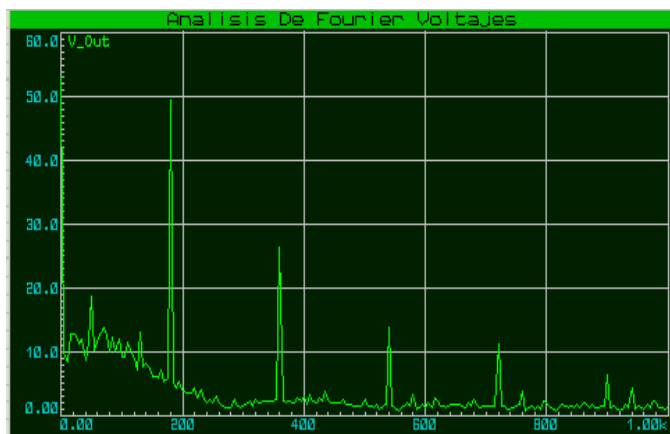


Figura 9. Analisis de Fourier de Voltaje (20%)

Del analisis anterior se procede a calcular el valor de THD de voltaje correspondiente cuando en el motor se presenta un 20% de la señal rectificada.

$$THD_V = \frac{\sqrt{49.6^2 + 26.4^2 + 13.8^2 + 11.2^2 + 6.37^2}}{53.2} = 1.11$$

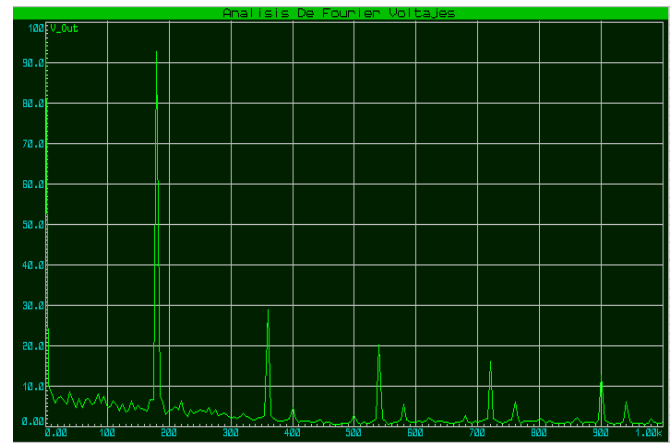


Figura 10. Analisis de Fourier de Voltaje (40%)

Del analisis anterior se procede a calcular el valor de THD de voltaje correspondiente cuando en el motor se presenta un 40% de la señal rectificada.

$$THD_V = \frac{\sqrt{92.8^2 + 28.8^2 + 20.2^2 + 16.1^2 + 12.9^2}}{95.4} = 1.06$$

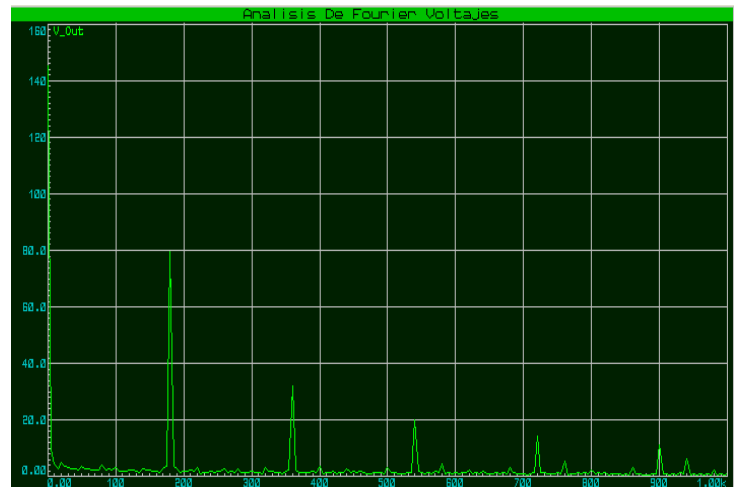


Figura 11. Analisis de Fourier de Voltaje (60%)

Del analisis anterior se procede a calcular el valor de THD de voltaje correspondiente cuando en el motor se presenta un 60% de la señal rectificada.

$$THD_V = \frac{\sqrt{79.6^2 + 32.2^2 + 19.9^2 + 14.3^2 + 11.4^2}}{145} = 0.62$$

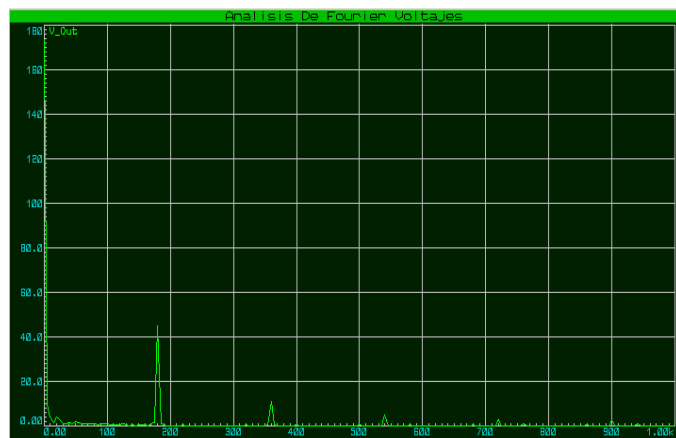


Figura 12. Analisis de Fourier de Voltaje (80%)

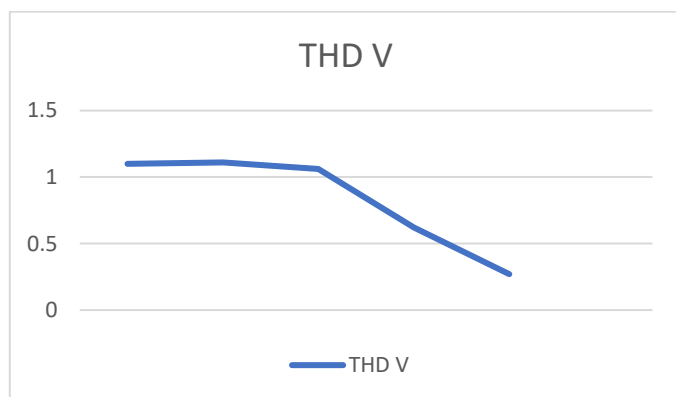
Del analisis anterior se procede a calcular el valor de THD de voltaje correspondiente cuando en el motor se presenta un 80% de la señal rectificada.

$$THD_V = \frac{\sqrt{44.9^2 + 11^2 + 5.3^2 + 3.42^2 + 2.45^2}}{173} = 0.27$$

Los resultados anteriormente mostrados se recopilan en la siguiente tabla.

% Rectificado	THDv (Distorsión Armónica Total)
10%	1.10
20%	1.11
40%	1.06
60%	0.62
80%	0.27

Tabla 2. Datos de THD de voltaje



Grafica 2. Distorsión Armónica En Voltajes

Respecto a la gráfica anterior se puede observar que el valor de la distorsión armónica total en los voltajes se reduce drásticamente cuando el porcentaje de la señal rectifica empieza a aumentar.

Al igual que con el factor de potencia se puede evidenciar que al realizar el análisis de Fourier con un porcentaje del 10% rectificado, su distorsión armónica total es menor que la del 20% lo cual se puede entender que no es acorde al comportamiento esperado.

De la misma manera que con el voltaje realizamos las simulaciones y los análisis correspondientes para las corrientes.

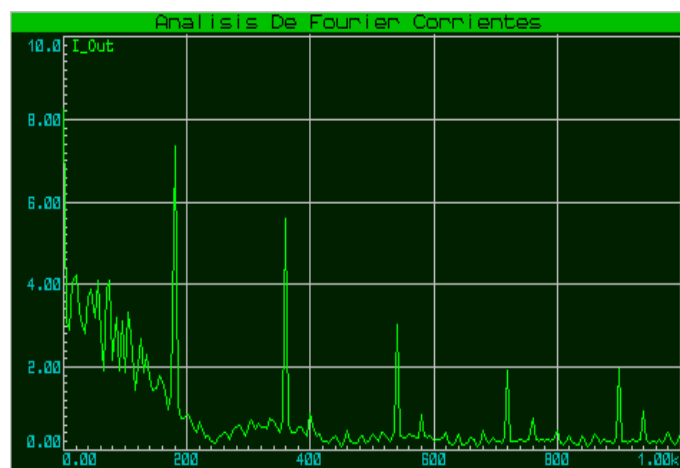


Figura 13. Analisis de Fourier de Corrientes (10%)

Del analisis anterior se procede a calcular el valor de THD de corriente correspondiente cuando en el motor se presenta un 10% de la señal rectificada.

$$THD_I = \frac{\sqrt{7.36^2 + 5.61^2 + 3.04^2 + 1.92^2 + 1.96^2}}{8.27} = 1.22$$

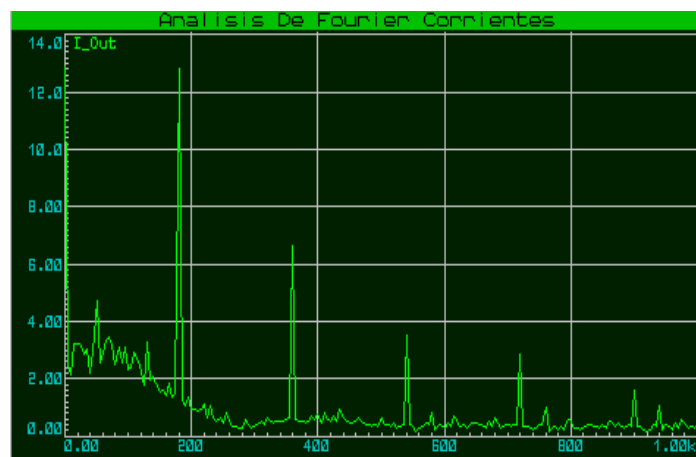


Figura 14. Analisis de Fourier de Corrientes (20%)

Del analisis anterior se procede a calcular el valor de THD de corriente correspondiente cuando en el motor se presenta un 20% de la señal rectificada.

$$THD_I = \frac{\sqrt{12.8^2 + 6.62^2 + 3.54^2 + 2.85^2 + 1.6^2}}{12.9} = 1.17$$

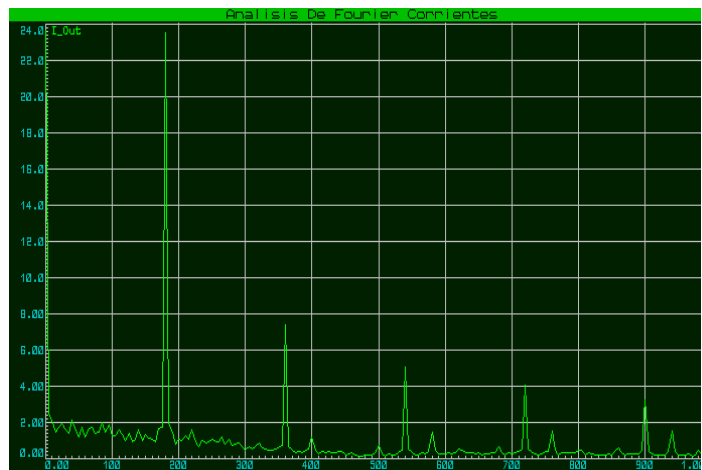


Figura 15. Analisis de Fourier de Corrientes (40%)

Del analisis anterior se procede a calcular el valor de THD de corriente correspondiente cuando en el motor se presenta un 40% de la señal rectificada.

$$THD_I = \frac{\sqrt{23.5^2 + 7.43^2 + 5.08^2 + 4.07^2 + 3.31^2}}{23.6} = 1.08$$

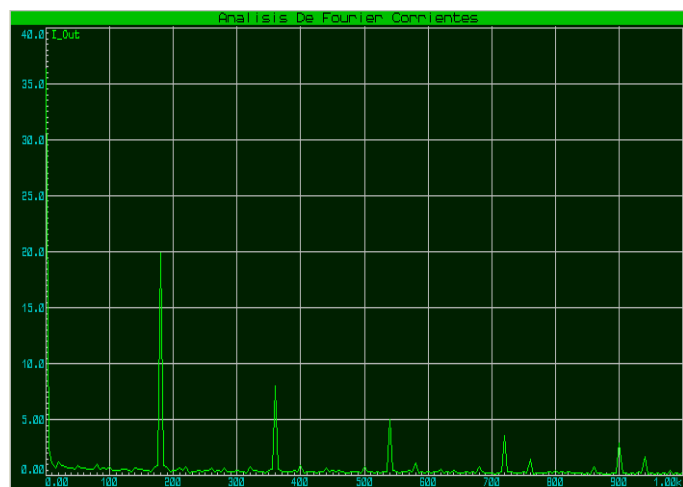


Figura 16. Analisis de Fourier de Corrientes (60%)

Del analisis anterior se procede a calcular el valor de THD de corriente correspondiente cuando en el motor se presenta un 60% de la señal rectificada.

$$THD_I = \frac{\sqrt{19.9^2 + 8.07^2 + 5.01^2 + 3.61^2 + 2.9^2}}{36.3} = 0.62$$

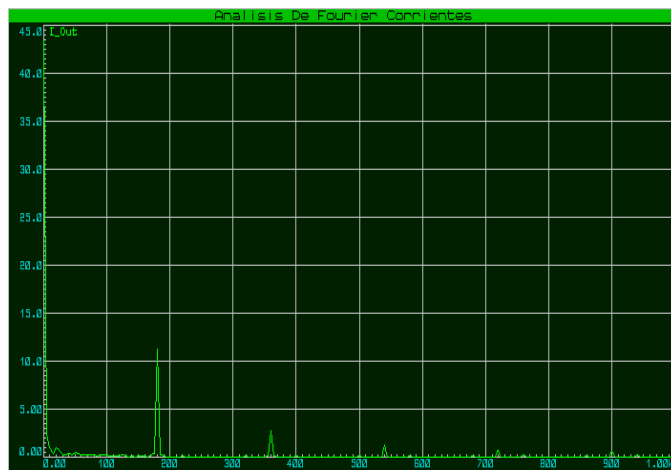


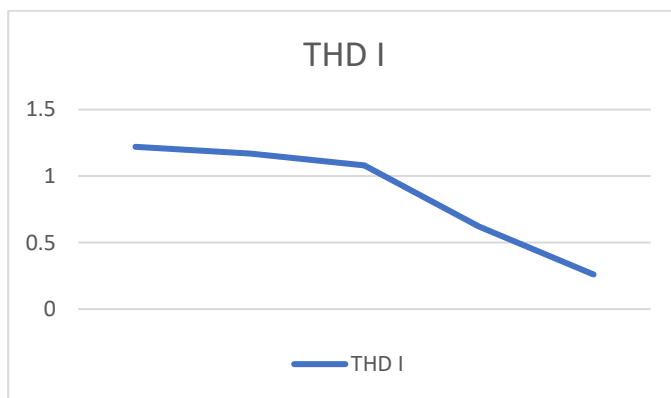
Figura 17. Analisis de Fourier de Corrientes (80%)

Del analisis anterior se procede a calcular el valor de THD de corriente correspondiente cuando en el motor se presenta un 80% de la señal rectificada.

$$THD_I = \frac{\sqrt{11.2^2 + 2.74^2 + 1.32^2 + 0.854^2 + 0.614^2}}{43.3} = 0.26$$

% Rectificado	THDI (Distorsión Armónica Total)
10%	1.22
20%	1.17
40%	1.08
60%	0.62
80%	0.26

Tabla 2. Datos de THD de corriente



Grafica 3. Distorsión armónica de corrientes

Al igual que sucedió con la señal de voltaje de salida, al realizar el análisis de Fourier de las corrientes y calcular su respectiva distorsión armónica se logra evidenciar que mientras se aumenta el porcentaje de rectificación de la onda el valor de su distorsión armónica (THD) se ve reducida considerablemente. Además, se puede comprobar que sus valores son similares por lo tanto su comportamiento es muy similar en ambos casos.

V. ANALISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

- Algo importante a resaltar es que cuando el porcentaje de la señal DC que queremos en la salida es del 80%, el circuito no rectifica más y la simulación falla, esto se aprecia en la figura 7, y es gracias a que cuando tenemos este porcentaje de salida, hay un cambio en el voltaje entre fases, es decir, la siguiente fase de la fuente tiene un voltaje mayor al que estamos rectificando en ese momento.
- Como se realizó para este caso, es posible diseñar un rectificador trifásico controlado a partir del uso de un rectificador monofásico controlado para cada una de las fases de la fuente, ya que se está aplicando el disparo a cada fase de manera independiente, y debido al desfase de 120° entre las señales, obtendremos una señal DC para cada fase, que sumadas serán iguales a la señal esperada.
- El factor de potencia y la distorsión armónica no tienen un patrón claro en algunos momentos, esto debido a que el circuito posee inestabilidades que ocasionan picos de voltaje y corriente, que podría causar daños en un sistema, es por ello por lo que implementar protecciones es de gran importancia en estos casos.

VI. BIBLIOGRAFIA

- [1] Mohan, N. (2009) Electrónica de potencia: convertidores, aplicaciones y diseño. 3a. ed. McGraw-Hill. Available at: <http://search.ebscohost.com.ezproxy.umng.edu.co/login.aspx?>
- [2] Ballester, E. (2012) Electrónica de potencia: principios fundamentales y estructuras básicas. Alfaomega. Available at: <http://search.ebscohost.com.ezproxy.umng.edu.co/login.aspx?direct=true&db=cat04333a&AN=mng.16436&lang=es&site=eds-live>
- [3] Benavent García, J. M. (2000) Electrónica de potencia: teoría y aplicaciones. Alfaomega. Available at: <http://search.ebscohost.com.ezproxy.umng.edu.co/login.aspx?direct=true&db=cat04333a&AN=mng.7083&lang=es&site=eds-live>
- [4] Catalogo motores eléctricos WEG Available at: <https://es.slideshare.net/jadeverde/catalogoweg>