

Laboratorio 1: Potencia en aplicaciones domésticas

Jorge Lambraño³, Julian Rojas², Juan Sánchez³

¹jelambrano, ²drojasj, ³paradac @uninorte.edu.co

Resumen—En el presente informe se exponen los resultados de las mediciones de potencia, tensión y corriente de diferentes dispositivos, asimismo se encuentra el diseño de un circuito que permite controlar la potencia de una carga resistiva, utilizando DIACs y TRIACs. El lector podrá encontrar una validación a los modelos teóricos de la electrónica de potencia.

Palabras clave—Armónico, Corriente, Distorsión, Factor de Potencia, Potencia, Tensión, Transformada de Fourier, Voltaje.

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de esta práctica es realizar un análisis de la forma de onda y las mediciones de tres tipos diferentes de carga. Dentro de la caja de seguridad hay un fusible para proteger el equipo de cualquier corto circuito. Se usó resistencia de 1Ω y 10 W para medir la corriente dividiendo la tensión entre 1 para obtener el valor actual. Todos los dispositivos electrónicos están compuestos de resistencias, condensadores e inductancias, un soldador es una carga lineal resistiva, requieren calor para funcionar. El voltaje medido sería el mismo que el de la fuente, pero la corriente variará según el consumo de energía del dispositivo. Se espera la misma forma de onda para el voltaje y la corriente y ningún cambio de fase entre ellos.

Un taladro es una carga lineal inductiva, basado en el hecho de que los motores están hechos de bobinas. Debería haber un cambio de fase entre el voltaje y la corriente. La computadora portátil es una carga no lineal, la forma de onda del voltaje sería la misma, pero esperamos una forma diferente para la corriente. [1]

La segunda parte consiste en diseñar y desarrollar un controlador de CA compuesto por un DIAC y un QUADRAc. Este tipo de circuito puede cambiar el

voltaje RMS en los terminales de una carga lineal manipulando el ángulo de disparo del QUADRAc usando un potenciómetro. La carga ya no será lineal debido al circuito resultante entre la bombilla y el controlador AC.

II. PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

II-A. Cálculos de Potencia

El objetivo de esta práctica es medir el consumo eléctrico de dispositivos cotidianos, tales como computadores portátiles, un pequeño taladro y un cañil. Teniendo en cuenta los valores altos de tensión y corriente que se pueden encontrar en instalaciones eléctricas domésticas, se tomaron todas las precauciones necesarias para garantizar seguridad a los dispositivos, instrumentos de medición y a las personas que realizan la medición. Para poder obtener los valores de tensión, corriente y corriente se diseñó un circuito que junto con el osciloscopio, es capaz de permitir la obtención de valores de tensión y corriente. El diseño del circuito se encuentra ilustrado en la Figura 1.

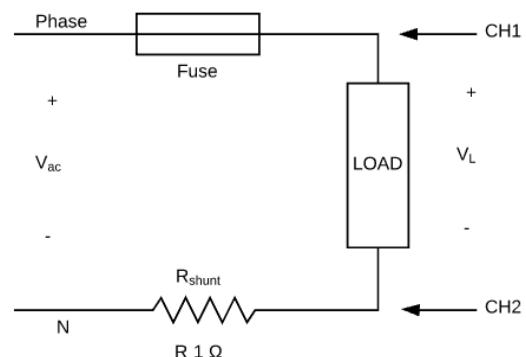


Figura 1: Circuito utilizado para la obtención de los valores de corriente y tensión.

CH1 y *CH2* representan los puntos donde se toman el osciloscopio toma las medidas a través de las sondas de los canales 1 y 2 del osciloscopio, *Phase* y *N* corresponden a la fase y al neutro de la red a la que se conecta el circuito. V_{ac} representa la onda de $120V_{rms}$ que entrega la red eléctrica. *Fuse* representa un fusible cuyo valor se explicará más adelante, *Rshunt* representa una resistencia de potencia de $1\ \Omega$ y $10\ W$. *LOAD* corresponde al dispositivo al que se va a realizar la medición.

Se puede observar del gráfico que el valor de tensión que cae en el dispositivo es la diferencia de los datos que se obtienen en los canales del osciloscopio. $V_L = CH1 - CH2$. Y la corriente que pasa a través del dispositivo es la razón entre la tensión que se obtiene en el canal *CH2* y el valor de la resistencia. Esto es el valor del canal, puesto que la resistencia es de $1\ \Omega$. Esta información es muy útil para los cálculos de potencia que se explicarán más adelante.

Dispositivo	Potencia (W)	Tensión (V _{rms})	Corriente (A _{rms})
Cautín	40	120	0.33
Taladro	130	120	1.08
Portátil	140	120	1.16
Bombillo	70	120	0.58
Resistencia	10	-	3.17

Tabla I: Power and current values of each device.

Con respecto al calibre del alambre, fue seleccionado dependiendo de la máxima corriente que necesita cada dispositivo, de acuerdo con los parámetros eléctricos que se muestran en la descripción del dispositivo. Estos valores de corriente son mostrados en la Tabla I. Basándose en la Tabla I se seleccionó un alambre AWG 14 capaz de soportar una corriente máxima de $15A_{rms}$, puesto que es que utiliza normalmente en instalaciones eléctricas domésticas. La corriente máxima que soporta el fusible es $3A_{rms}$, se escogió este valor basándose en la máxima corriente que es capaz de soportar la resistencia.

El circuito se introdujo dentro de una caja 4x4, el fusible se ubicó de tal forma que no fuese necesario abrir la caja en caso que fuera necesario

reemplazarlo. Además se colocaron cuatro borneras para poder medir de forma más segura usando las sondas del osciloscopio.



Figura 2: Imagen del montaje del circuito.

En esta práctica se utilizaron tres cargas diferentes para analizar las formas de onda de corriente y tensión: Un *cautín* como ejemplo de una carga puramente resistiva, un *taladro* como carga inductiva y un *computador portátil* como carga no lineal. Gracias a la inercia de la red eléctrica, la onda de tensión no depende de la carga, esto hace que la medida de la tensión sea similar para todas las cargas. Sin embargo, la onda de corriente depende de la impedancia de la carga. Por esta razón, el análisis de potencia se centrará en la forma de onda de la corriente, y se espera que la distorsión en la onda de tensión sea mínima. En otras palabras, mientras el valor de la Distorsión Total Armónica de Tensión THD_V se mantenga más o menos constante, el valor de la Distorsión Total Armónica de Corriente THD_I varíe según la carga que se esté midiendo.

II-A1. Cautín (carga resistiva): La onda de corriente para esta carga fue una señal sinusoidal que no presentaba ninguna distorsión y además se encontraba en fase con la onda de voltaje. Las imágenes de las formas de onda que se obtuvieron en el osciloscopio se observan en la Figura 3.

Adicionalmente, en una carga resistiva, el producto de la onda de corriente y tensión siempre es positivo, esto significa que un cautín funciona siempre como un consumidor de potencia ya que por su naturaleza no es capaz de entregar energía.

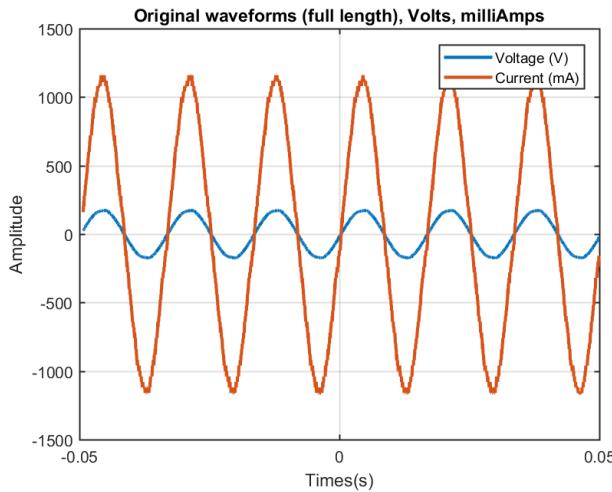


Figura 3: Ondas de tensión y corriente para una carga resistiva.

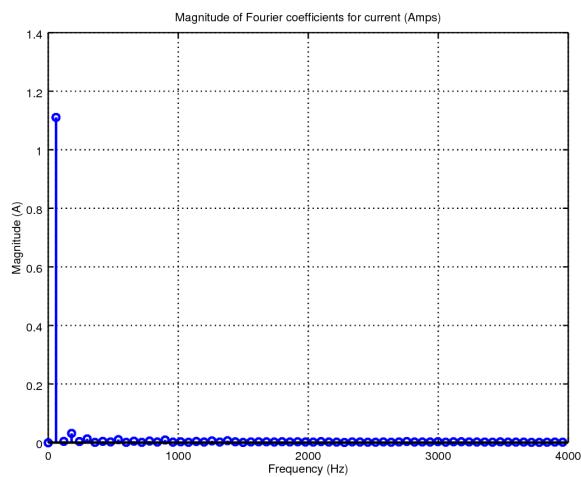


Figura 4: Coeficientes de Fourier de la onda de corriente para una carga resistiva.

La Transformada de Fourier permite identificar las componentes armónicas de la señal de corriente. De acuerdo con la Figura 4, la onda de corriente solamente tiene la componente de la frecuencia fundamental (60Hz), las demás son despreciables. Por tanto, no hay distorsión, el factor de potencia *PF* es casi unitario, mientras que la Distorsión Total Armónica de Corriente *THD_I* es muy pequeña. Esto lo confirma la Salida 1, en donde el Factor de Potencia es 0.9989, la potencia activa *P* es muy alta en comparación a la potencia reactiva *Q* y a la potencia de distorsión *D* y la Distorsión Armónica de Corriente *THD_I* es 4 %.

Salida 1: Carga resistiva.

$$\begin{aligned} T &= 0.0167 \text{ s} \\ f_0 &= 59.9520 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Vrms	=	123.3322 V
Irms	=	0.7860 A
S	=	96.9336 VA
Pavg	=	96.8309 W
P	=	96.8309 W
Q	=	-1.8282 VAR
D_fast	=	4.0701 VA
D	=	4.0562 VA
PF	=	0.9989
THD_V	=	1.8878 %
THD_I	=	4.0154 %

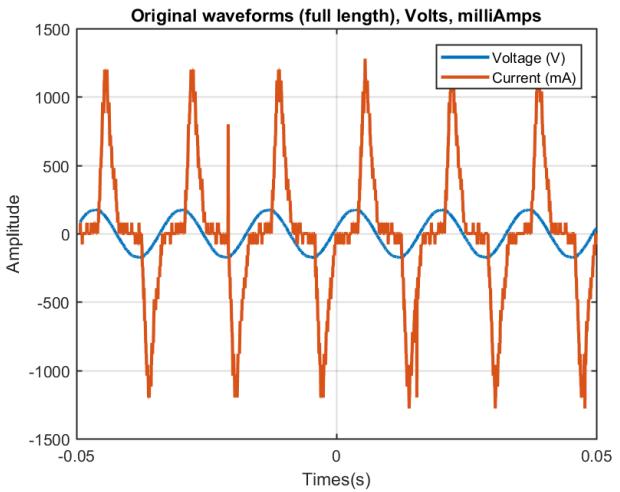


Figura 5: Ondas de tensión y corriente para una carga inductiva.

II-A2. Taladro (carga inductiva): El comportamiento de la corriente en una carga inductiva es diferente al comportamiento en una carga resistiva. La forma de la corriente no es una puramente sinusoidal, aparecen componentes armónicas que distorsionan la forma de la señal. La forma de onda de la corriente se puede observar en la Figura 5.

La presencia de las componentes armónicas se observa con mayor claridad gracias a la Transformada de Fourier, esta transformada aparece en la Figura 6. La Transformada de Fourier de la señal de corriente presenta fuertes componentes armónicas en las frecuencias $3f_0$, $5f_0$, $7f_0$ y $9f_0$, donde f_0 es la frecuencia fundamental (60Hz). Además de las componentes armónicas existe un desfase entre la onda de corriente y tensión. Este desfase es una característica importante de las cargas inductivas.

A diferencia de una carga resistiva, la mediciones y los cálculos de potencia en un taladro dieron como resultado un valor de Potencia Reactiva *Q* y

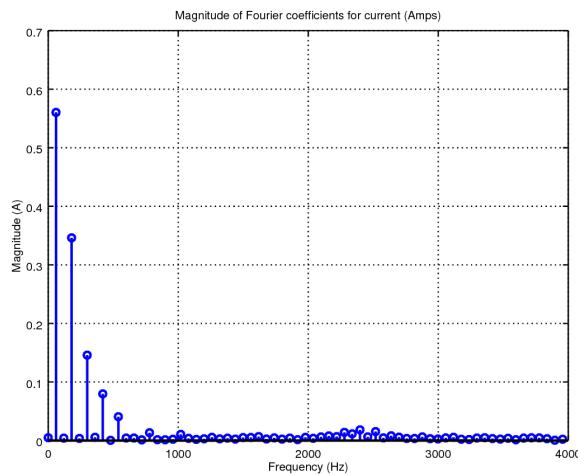


Figura 6: Coeficientes de Fourier de la onda de corriente para una carga inductiva.

de Distorsión Total Armónica de Corriente mucho más alto. Tanto así que hacen que el valor del Factor de Potencia pf sea muy bajo, aproximadamente 0.51. Los motores y otras cargas inductivas, por lo general tienen un factor de potencia más alto (entre 0.75 y 0.9), una causa por la cual el factor de potencia durante la medición fue mucho más bajo que estos valores es la presencia de un circuito eléctrico que regula la velocidad y el torque del motor del taladro. Este circuito electrónico para valores bajos de velocidad, genera distorsión en la señal de corriente la cual tiene el efecto de aumentar el THD_I y la Potencia de Distorsión D y por tanto, reducir el Factor de Potencia. En la segunda parte de este informe se analizará más detalladamente el efecto de circuitos electrónicos controladores de potencia.

Salida 2: Output for inductive load.

T	=	0.0167 s
f0	=	59.9520 Hz
Vrms	=	123.8850 V
Irms	=	0.4831 A
S	=	59.8537 VA
Pavg	=	30.4372 W
P	=	30.4372 W
Q	=	38.7767 VAR
D_fast	=	33.9472 VA
D	=	33.9434 VA
PF	=	0.5085
THD_V	=	1.8561 %
THD_I	=	69.7550 %

II-A3. Computador portátil (carga no-lineal): Finalmente, la forma de onda de la corriente y de la tensión se ilustran en la Figura 7. Se observa, en

primer lugar la presencia de picos bastante estrechos en la onda de corriente, esta forma de consumir es típica de muchos dispositivos electrónicos. La distorsión de la onda de corriente es tan alta que ya no es posible identificar una forma sinusoidal. Lo estrecho de los picos da una idea de la presencia de componentes armónicas con valores bastante altos.

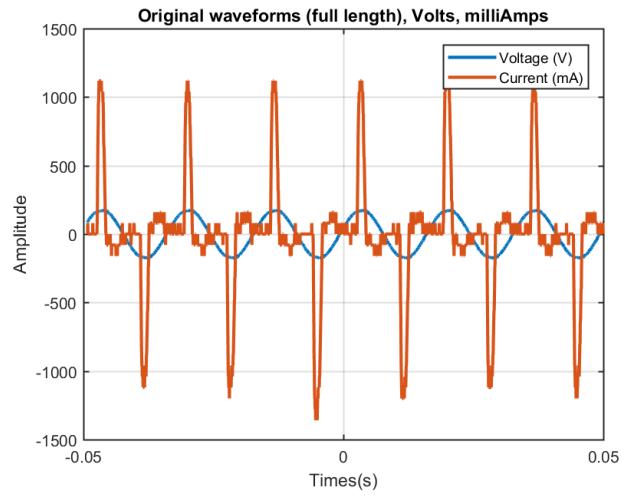


Figura 7: Ondas de tensión y corriente para una carga no-lineal.

Si se aplica la Trasformada de Fourier a la señal de corriente, se obtiene la Figura 8. Se observa que la magnitud de la segunda componente de frecuencia es mayor que la componente de la frecuencia fundamental. Y las componentes armónicas siguientes también tienen un valor bastante alto.

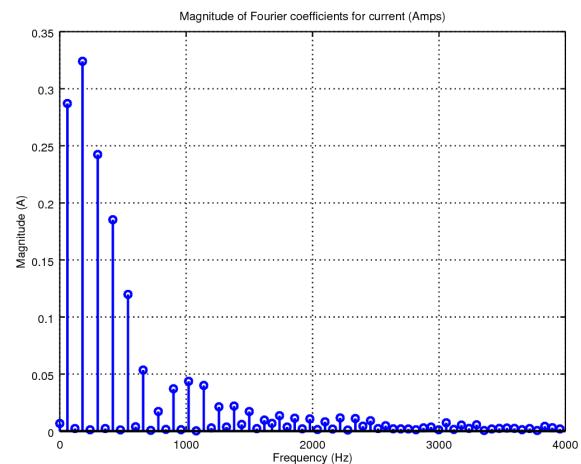


Figura 8: Coeficientes de Fourier de la onda de corriente para una carga no-lineal.

A pesar que el computador portátil no posee grandes elementos rectivos, en comparación al motor de un taladro, el Factor de Potencia que se obtuvo

fue muy bajo. Esto se debe a que los circuitos electrónicos no presentan un comportamiento lineal en el consumo de la corriente. El comportamiento no-lineal de este tipo de dispositivos es la causa de la alta distorsión de la onda de corriente, como resultado, el valor del Factor de Potencia pf es bajo, mientras que los valores de la Potencia de Distorsión D y de la Distorsión Total Armónica de Corriente son muy altos. En la Salida 3, pueden observarse los valores del Factor de Potencia, Potencia Activa P y Potencia de Distorsión D y Distorsión Total Armónica de Corriente y Tensión.

Salida 3: Output for non-linear load.

T	=	0.0167 s
f0	=	59.9520 Hz
Vrms	=	124.3447 V
Irms	=	0.3916 A
S	=	48.6915 VA
Pavg	=	23.9965 W
P	=	23.9965 W
Q	=	-5.7979 VAR
D_fast	=	41.9692 VA
D	=	41.9644 VA
PF	=	0.4928
THD_V	=	2.2668 %
THD_I	=	164.9239 %

II-B. Controlador AC

Para la segunda parte de esta práctica, se diseñó un circuito usando tiristores para controlar la cantidad de potencia consumida por un bombillo. La intensidad de la luz del bombillo es controlada por medio de un potenciómetro. El circuito que se utilizó se muestra en la Figura 9.

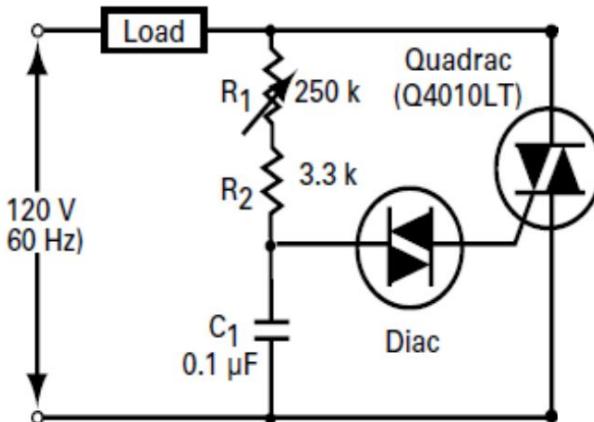


Figura 9: Circuito del controlador AC.

Cuando el voltaje a través del capacitor alcanza el voltaje de ruptura del DIAC, éste se encuentra

parcialmente descargado por el DIAC a través de la compuerta del QUADRAc. En ese momento el QUADRAc entra en modo conducción en el ciclo de media onda. En este circuito el QUADRAc se encuentra en los cuadrantes I y III. La simplicidad de este circuito hace que sea accesible para aplicaciones con pequeño control de rango. Los circuitos dimmer se basan en el control de potencia que se logra variando el ángulo de conducción del QUADRAc, de 30° a 160° cuando fluye la corriente por un potenciómetro que tiene la función de controlarla. Al variar el potenciómetro, es posible controlar el ángulo de conducción.^[2]

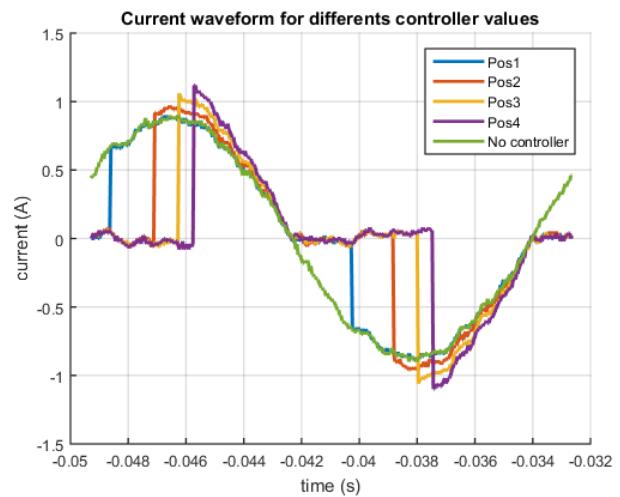


Figura 10: Señales de corriente para diferentes valores del controlador.

Se realizaron las mismas mediciones con el controlador AC que se utilizaron anteriormente. se obtuvieron variaciones según la posición del potenciómetro, de tal forma que en la medida que el valor del potenciómetro se hacía más pequeño, la onda se distorsionaba más. Esto se observa claramente en la Figura 10. Además, se compararon los valores de Factor de Potencia, Potencia Activa, Potencia de Distorsión y Distorsión Armónica, para el caso donde no hay controlador, y para diferentes valores de resistencia (posiciones del potenciómetro). Los resultados de esas comparaciones se observan en la Tabla II.

Básandose en la información se pudo observar que el controlador permite variar la potencia activa que consume el dispositivo, es decir, reduce o aumente el brillo de la lámpara. Sin embargo a medida que se reduce el brillo del bombillo

	P (W)	Q (VAR)	D (VA)	S (VA)	PF	THDI (%)
NoCtrl	77.24	-3	3	77.36	0.999	4.01
Pos 0	74.2	0.1	5.1	74.37	0.998	6.23
Pos 1	69.8	10.5	17.29	72.68	0.96	23.99
Pos 2	53.64	23.48	31.41	66.45	0.807	53.48
Pos 3	40.19	27.81	35.69	60.51	0.664	73.58
Pos 4	30.47	28.41	37.36	55.96	0.545	89.63

Tabla II: Mediciones de potencia para diferentes valores del Potenciómetro.

aumenta la Potencia de Distorsión D , la Distorsión en la Corriente y se reduce el Factor de Potencia. Esto sucede porque a medida que se aumenta el retraso del disparo, la onda deja de ser sinusoidal y aparecen componentes armónicas que la distorsionan, especialmente, las que se generan por el pico del disparo.

III. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta práctica, se puede concluir que las cargas resistentivas muestran un factor de potencia de casi unitario. En cambio, una carga inductiva, como un taladro, inductiva tiene una forma de corriente rizada gracias al tipo de motor que se utiliza en el taladro. Y también, una carga no lineal muestra una forma de onda rizada que depende del circuito dentro del dispositivo electrónico.

El dimmer permite regular la potencia de la bombilla. Teniendo en cuenta que una bombilla es resistiva, la efectividad depende del voltaje y la corriente que se encuentra en éste.

El circuito controla la alimentación de la bombilla encendiendo y apagando durante las regiones positiva y negativa de la señal sinusoidal de entrada. Durante la parte negativa de la señal de entrada, se obtendrá el mismo tipo de respuesta, ya que tanto el DIAC como el QUADRAC se pueden disparar en la dirección inversa.

Acerca de las cargas inductivas y no lineales, no se debe utilizar el circuito dimmer, ya que ambos dependen del factor de potencia y de la forma de onda de tensión y corriente.

Los dispositivos electrónicos, como el DIAC y el QUADRAC, permiten construir circuitos para controlar la potencia de una carga resistiva.

REFERENCIAS

- [1] S. Rochelle and T. Brian, *Triac light dimmer*, University of Texas, Austin, TX, Rep., Feb. 2, 2005. Available at: http://us-ers.ece.utexas.edu/~kwasin-ski/_1_EE362L_Sample_Report_Light_Dim-mer.pdf
- [2] H. W. Daniel, “Power Computations,” in *Power Electronics*, Valparaiso, IN: McGraw-Hill, 2011, pp. 21-54.