

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL CÓRDOBA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA



MEDIDAS ELECTRÓNICAS I

Trabajo Práctico de Laboratorio N°7

VOLTÍMETROS DIGITALES CON DETECTORES DE
VALOR EFICAZ VERDADERO

ALUMNOS	:	Carreño Marin, Sebastian	83497
		Juarez, Daniel	79111
		Torres, Heber	84640
CURSO	:	4R1	
DOCENTES	:	Ing. Centeno, Carlos	
		Ing. Salamero, Martin	
		Ing. Guanuco, Luis	

CÓRDOBA, ARGENTINA
8 de septiembre de 2022

CONTENIDO

1. Introducción	2
2. Marco Teórico	2
2.1. Valor medio	2
2.1.1. Obtención del valor medio en una señal senoidal	2
2.2. Valor eficaz	3
2.2.1. Obtención del valor eficaz en una señal senoidal	3
2.3. Uso del triac y diac	4
2.3.1. Diac	4
2.3.2. Triac	4
2.3.3. Circuito de disparo con triac y diac	5
3. Actividad Práctica	6
3.1. Medición de tensión eficaz de ondas no sinusoidales	6
3.1.1. En una onda cuadrada	6
3.1.2. En una onda triangular	7
3.2. Medición de la tensión eficaz de una onda proveniente de un circuito de control de ángulo de conducción	8
3.3. Medición de factor de potencia en un circuito con control de ángulo de conducción	10
4. Conclusiones	12

1. Introducción

La mayoría de los multímetros del mercado, para realizar mediciones en corriente alterna, poseen un conversor de valor medio del módulo calibrado para indicar el valor eficaz mediante la aplicación de un *factor de relación o forma*. Por lo general, la relación del factor se hace superponiendo ondas senoidales puras, por eso mismo, cuando se trata de medir otras señales como ondas cuadradas, triangulares, trenes de pulso, etc., se obtiene un error en la lectura, debido a que el factor de relación es propio de cada tipo de señal. En el presente trabajo práctico, se realizará una comparación entre un multímetro de uso general con uno que posee medición del verdadero valor eficaz *TRUE RMS*.

2. Marco Teórico

A continuación se hace mención de ciertos valores característicos de algunas señales de interés. Además, se repasa un circuito de control de ángulo de disparo, que es utilizado a lo largo del trabajo práctico.

2.1. Valor medio

EL valor medio de una señal, viene dado por el *teorema de la media* el cual indica que, si una función $i(t)$ es continua en un intervalo $[a, b]$, existirá un punto η tal que

$$\int_a^b i(t) dt = (b - a) \cdot i(\eta) . \quad (1)$$

Ahora, si el intervalo presentado es igual a un período T de una señal periódica, entonces el valor $i(\eta)$ se considera el valor medio de dicha señal $i(t)$, $I_{med} = i(\eta)$. Despejando el valor medio de la ecuación (1)

$$i(\eta) = \frac{1}{(b - a)} \int_a^b i(t) dt \implies I_{med} = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt .$$

El valor de la integral, puede ser cero en caso de que la señal sea periódica y no posea un nivel de continua, debido a que su área positiva es igual que la negativa, como en señales senoidales puras o cuadradas. Por ende, en caso de señales que posean un valor medio nulo, se calcula el *valor medio del módulo* tomando la integral a lo largo de un período de la señal

$$I_{|med|} = \frac{1}{T} \int_0^T |i(t)| dt .$$

2.1.1. Obtención del valor medio en una señal senoidal

Debido a que el valor medio de una onda senoidal es cero, se utiliza el valor medio del módulo de la misma. Por ende, partiendo de una onda senoidal $V_p \sin(\omega t)$, integrado en un periodo π

$$V_{|med|} = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi |V_p \sin(\omega t)| dt .$$

Resolviendo la integral, se obtiene el valor medio del módulo de una onda senoidal

$$V_{|med|} = \frac{2 V_p}{\pi} .$$

Por último, como en el presente trabajo práctico se utilizarán señales cuadráticas y triangulares los $V_{|med|}$ de dichas señales son

$$V_{|med|_{cuad}} = V_p \quad ; \quad V_{|med|_{triang}} = \frac{V_p}{2} . \quad (2)$$

2.2. Valor eficaz

El valor eficaz es aquel que produce la misma disipación de potencia media (valor medio de la potencia instantánea) sobre un resistor, que la que disipa una señal de continua.

Partiendo de una corriente $i(t)$ en un periodo T , que circula por una resistencia R , disipando una potencia instantánea $P_a = i^2(t) R$. Por ende, la potencia media será

$$P_a = \frac{1}{T} \int_0^T P_a(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) R dt .$$

Ahora, suponiendo una potencia instantánea $P_c = I^2(t) R$ debido a una corriente continua sobre la misma resistencia R , al igualar $P_a = P_c$, se obtiene

$$\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) R dt = I^2(t) R .$$

Por último, se ve que la corriente que produce la misma disipación de potencia que la señal de alterna es

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} . \quad (3)$$

El valor eficaz obtenido, es la raíz cuadrática media de la señal $i(t)$, conocido por sus siglas en inglés como *root mean square* (RMS).

2.2.1. Obtención del valor eficaz en una señal senoidal

Partiendo de una señal $V_p \sin(\omega t)$ y de la ecuación (3), integrada en un período 2π

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (V_p \sin(\omega t))^2 dt} ,$$

al resolverla se obtiene

$$V_{ef} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} .$$

Para señales cuadradas y triangulares el V_{ef} es

$$V_{ef_{cuadr}} = V_p \quad ; \quad V_{ef_{triang}} = \frac{V_p}{\sqrt{3}} . \quad (4)$$

2.3. Uso del triac y diac

Como en el presente trabajo práctico (TP), se utiliza un circuito de disparo compuesto con un triac y un diac, se explica brevemente de qué trata cada dispositivo y cómo se forma el circuito de la placa propia del TP.

2.3.1. Diac

El diac es un dispositivo semiconductor, que posee cuatro capas de semiconductores y dos terminales de conexión, como se observa en la Figura 1a. Tiene la particularidad de poder circular corriente en ambos sentidos cuando es activado. Dicha activación en el diac, ocurre cuando se alcanza el voltaje de ruptura V_{BO} en cualquiera de los dos sentidos, y se apaga cuando la corriente se reduce por debajo del valor de retención mencionado. La curva del dispositivo se observa en la Figura 1b.

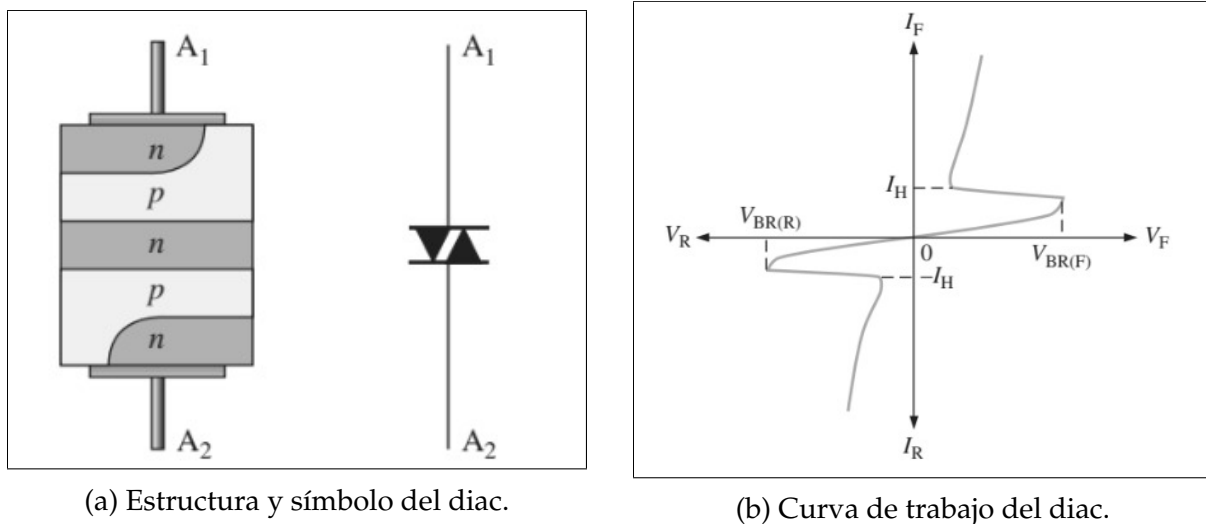


Figura 1: Características del diac.

2.3.2. Triac

El triac es como un diac pero con un terminal de compuerta G (*gate*), el cual le permite ser disparado por un pulso de corriente en dicha terminal. A diferencia del diac, no requiere de un voltaje de ruptura para iniciar la conducción. Este dispositivo es capaz, también como el diac, de conducir corriente en ambos sentidos según la polaridad de voltaje que tenga entre sus bornes. La construcción, el símbolo y la curva de trabajo del triac se observan en la Figura 2.

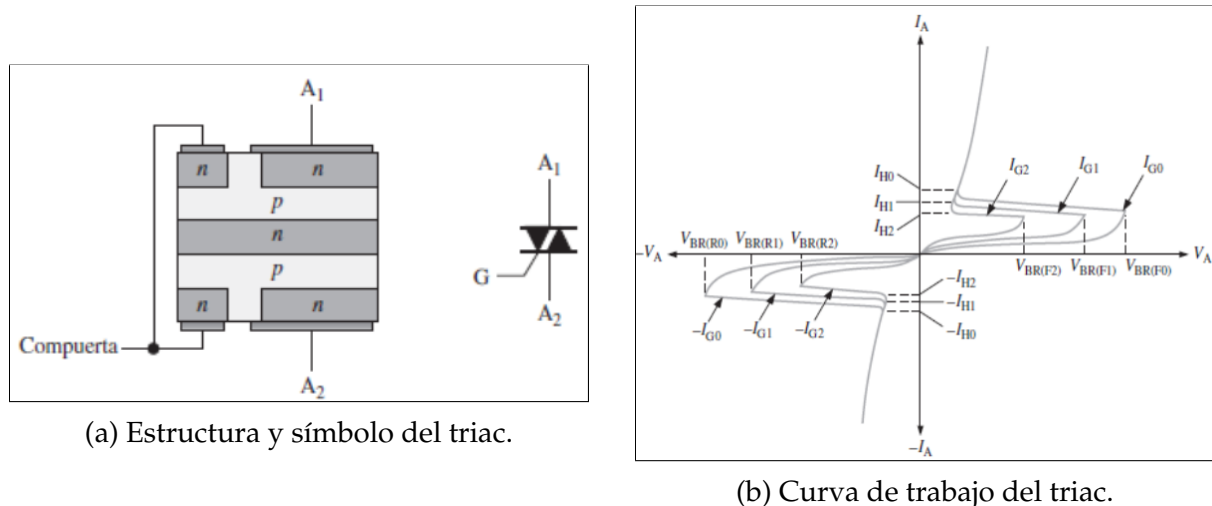


Figura 2: Características del triac.

2.3.3. Circuito de disparo con triac y diac

Para este trabajo práctico se utiliza el siguiente circuito de disparo de triac con diac (*dimmer*) que se observa en la Figura 3

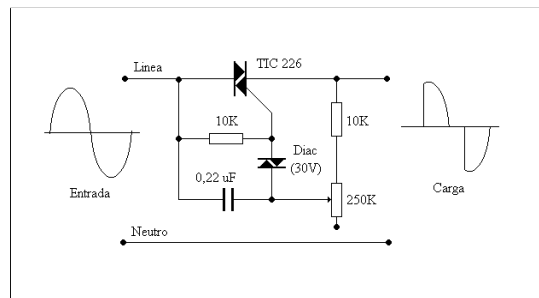


Figura 3: Circuito dimmer con triac y diac.

El potenciómetro de $250\text{ K}\Omega$, lo que hace es regular el tiempo de carga del condensador de $0.22\text{ }\mu\text{F}$, el cual es el encargado de entregar la tensión de ruptura (30 V) para que el diac conduzca. Una vez que el diac conduce, deja pasar una corriente la cual activa al triac a través de su terminal G. Este último dejará de conducir cuando la corriente sea menor al valor de retención (aproximadamente cuando la tensión de entrada cruce por cero). Para que vuelva a conducir en el semiciclo negativo, el capacitor es cargado con polarización inversa a la anterior, y dispara el diac cuando llega a la tensión de ruptura nuevamente. De esta manera, se genera un nuevo pulso en el gate del triac y el mismo conducirá en el otro sentido de la corriente.

Como se observa en el esquemático entre el terminal G del triac y un ánodo del diac, se tiene una resistencia limitadora de corriente para el terminal G de $10\text{ K}\Omega$. Además, dicha resistencia permite cerrar el circuito del capacitor para descargarlo.

Por último, la otra resistencia de $10\text{ K}\Omega$ y el potenciómetro (conectados en serie) permiten variar el tiempo de carga del capacitor, partiendo de un mínimo de $2,2\text{ ms}$. Dichas resistencias en serie también cumplen la función de limitar la corriente para el circuito de disparo.

3. Actividad Práctica

Se propone como actividad realizar mediciones de tensión en formas de onda no senoidales, empezando por una triangular y una cuadrada, para luego terminar con una proveniente de un circuito controlador del ángulo de disparo. Para ello, se hace uso de los siguientes insumos:

- Multímetro Escort EDM-82B con detector del valor medio del módulo
- Multímetro UT61D con detector True RMS
- Generador de funciones GFG-3015
- Circuito de control de disparo con triac y diac
- Transformador de aislación
- Osciloscopio digital Rigol DS1052E
- Medidor digital de potencia y factor de potencia

Es importante y obligatorio el uso de un **transformador de aislación**, el cual posee una de relación 1:1, y tiene como función crear una barrera física de aislación entre los equipos/circuitos con los cuales se trabaja y la red. Esto se justifica con que, la diferencia de potencial entre *neutro* y *tierra* de la red no es cero (idealmente debería serlo), para este caso, dicho valor es de aproximadamente **1,27 V**. Este valor generaría un flujo de corriente a través del osciloscopio directo a la *tierra*, lo cual podría dañar el instrumento, y además, provocaría que el diferencial se active.

3.1. Medición de tensión eficaz de ondas no sinusoidales

Haciendo uso del generador de funciones se setean señales de forma cuadrada y triangular de una amplitud de $5 V_{pp}$ y frecuencia de 50 Hz . Luego, se mide el valor de tensión con ambos multímetros, se calcula el error, y finalmente, se tabula.

3.1.1. En una onda cuadrada

En la Figura 4 se puede observar la señal cuadrada seteada. Luego, en la Figura 5 se observa la medición de tensión con ambos multímetros.

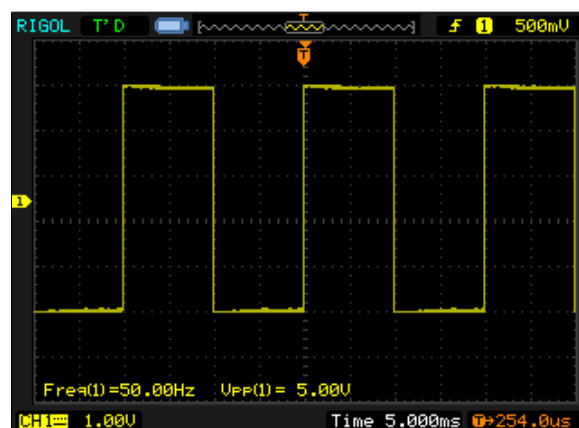
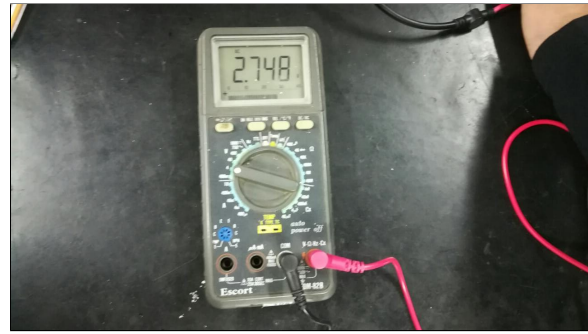


Figura 4: Señal cuadrada a medir.



(a) Medición V_{RMS} .



(b) Medición $V_{|med|}$.

Figura 5: Mediciones de la señal cuadrada.

Luego, el error porcentual para el multímetro de respuesta al valor medio del módulo es

$$e_{cuad} [\%] = \frac{V_{|med|} - V_{RMS}}{V_{RMS}} \cdot 100 = \frac{2,748 \text{ V} - 2,450 \text{ V}}{2,450} \cdot 100 \quad \therefore \boxed{e_{cuad} = +12,16 \%}$$

3.1.2. En una onda triangular

En la Figura 6 se puede observar la señal triangular seteada. Luego, en la Figura 7 se observa la medición de tensión con ambos multímetros.

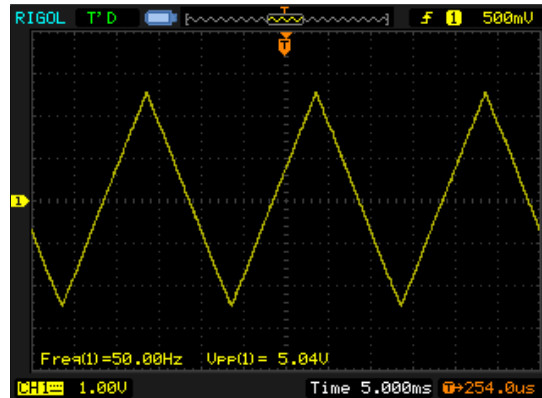


Figura 6: Señal triangular a medir.



(a) Medición V_{RMS} .



(b) Medición $V_{|med|}$.

Figura 7: Mediciones de la señal triangular.

Luego, el error porcentual para el multímetro de respuesta al valor medio del módulo es

$$e_{tri}[\%] = \frac{V_{|med|} - V_{RMS}}{V_{RMS}} \cdot 100 = \frac{1,421 \text{ V} - 1,452 \text{ V}}{1,452 \text{ V}} \cdot 100 \quad \therefore \quad \boxed{e_{tri} = -2,13 \%}$$

Los resultados de este experimento se encuentran consignados en la Tabla 1.

Señal	Lectura RMS [V]	Lectura med [V]	e [%]
Cuadrada (50 Hz – 5 V_{pp})	2,450	2,748	+12,16
Triangular (50 Hz – 5 V_{pp})	1,452	1,421	-2,13

Tabla 1: Tabla de mediciones y cotas de corrección.

3.2. Medición de la tensión eficaz de una onda proveniente de un circuito de control de ángulo de conducción

Para la siguiente parte del experimento, se utiliza un control de medición de ángulo de disparo, circuito que se enseña en la Figura 3.

El procedimiento consiste en medir la tensión de entrada al circuito, y medir la de salida sobre la carga, tomando lecturas al variar el ángulo de conducción con un multímetro que mide True RMS y otro de valor medio. Luego, se debe confeccionar un gráfico normalizado de tensión de salida respecto de la entrada, con las curvas obtenidas con cada instrumento.

El esquema de conexión se presenta a continuación en la Figura 8.

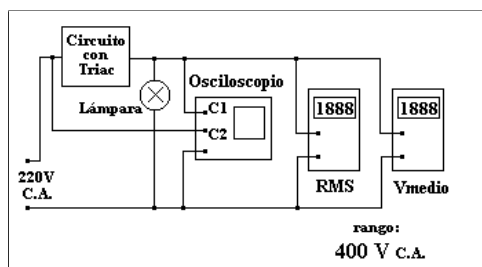
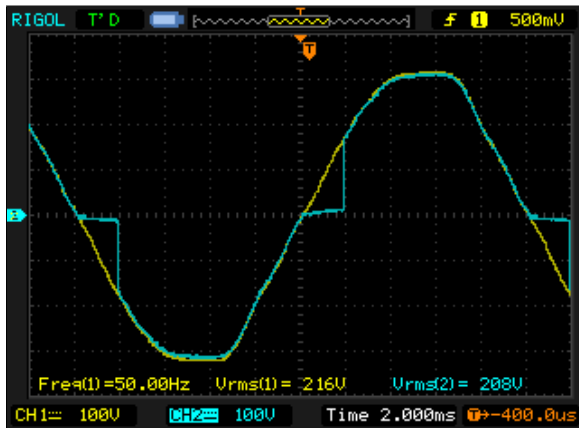


Figura 8: Esquema de conexión para el relevamiento de curva.

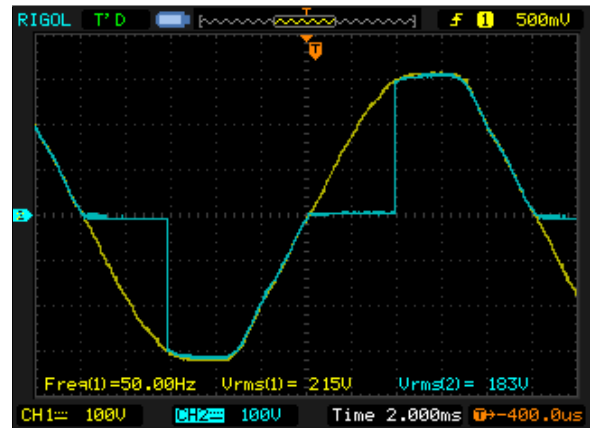
Se presentan a continuación en la Tabla 2 los valores tabulados. Se debe tener en cuenta que, debido al circuito de disparo, nunca se logra obtener el ángulo de disparo 0°.

Fase	V _{o1} [V]	V _{o2} [V]	($\frac{V_{o1}}{V_{in}}$)	($\frac{V_{o2}}{V_{in}}$)
0°	-	-	-	-
36°	222,8	211,6	1,013	0,962
72°	194,5	158,6	0,884	0,721
108°	135,8	189,6	0,617	0,407
144°	58,77	30,0	0,267	0,136
180°	0	0	0	0

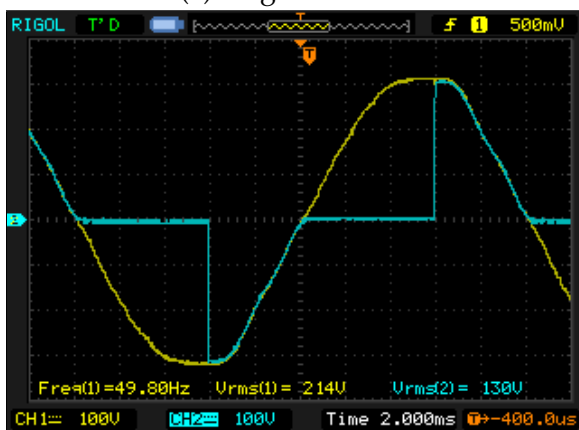
Tabla 2: Tabla de valores obtenidos.



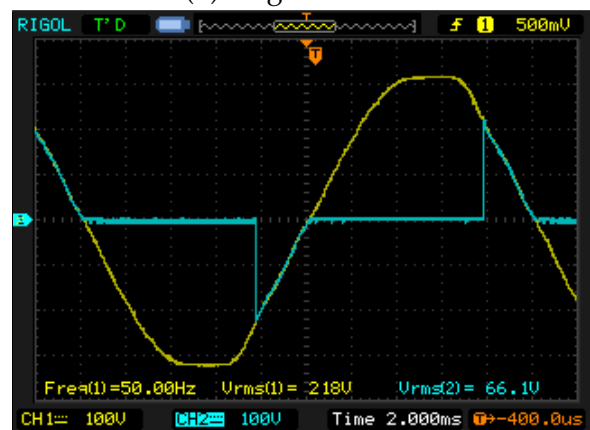
(a) Ángulo de 36° .



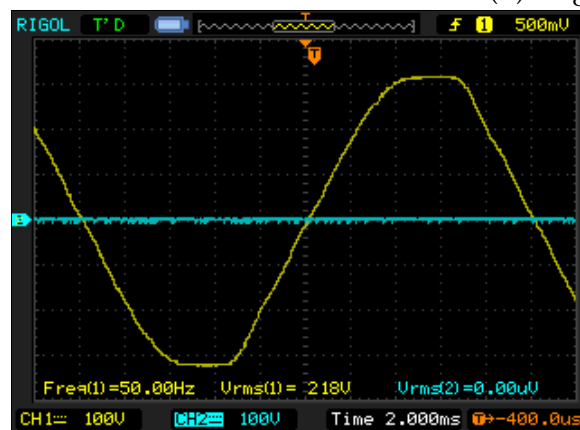
(b) Ángulo de 72° .



(c) Ángulo de 108° .



(d) Ángulo de 144° .



(e) Ángulo de 180° .

Figura 9: Medición de tensión eficaz para distintos ángulos de conducción.

Finalmente, se confecciona un gráfico con los valores obtenidos, donde se visualizan las curvas de los instrumentos, cuyos valores son relativos al valor medido de la red, que en éste caso corresponde con 234 V eficaces.

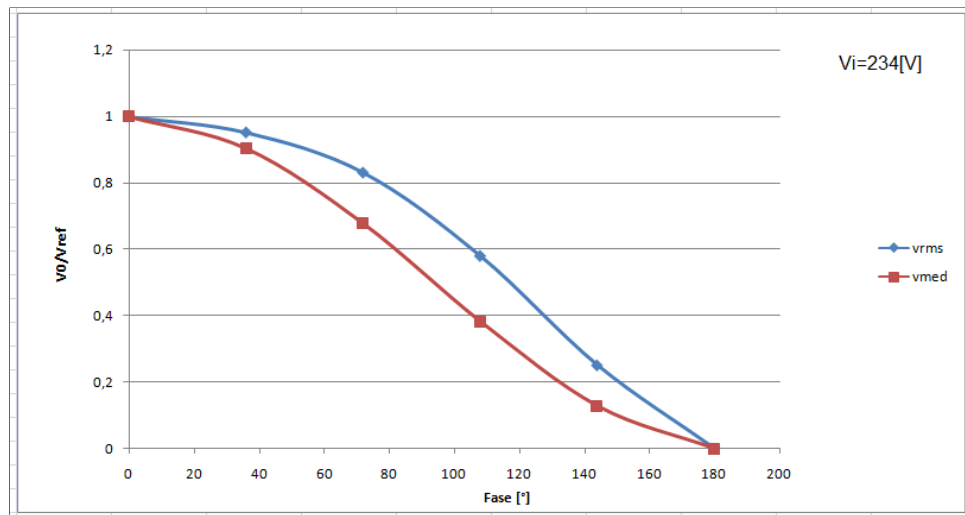


Figura 10: Gráfico obtenido.

3.3. Medición de factor de potencia en un circuito con control de ángulo de conducción

Para el siguiente experimento se emplea el mismo circuito de la sección anterior. Ésta vez se conecta al medidor digital para medir el factor de potencia.

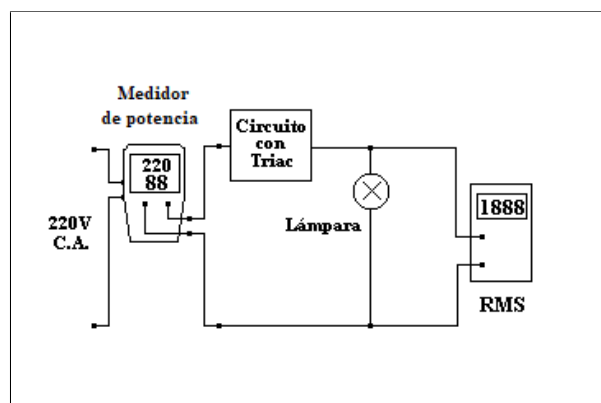


Figura 11: Circuito de medición de factor de potencia.

Una vez realizada la conexión, se debe variar el potenciómetro del circuito de control de disparo, hasta lograr que la tensión eficaz de salida sea de 110 V.

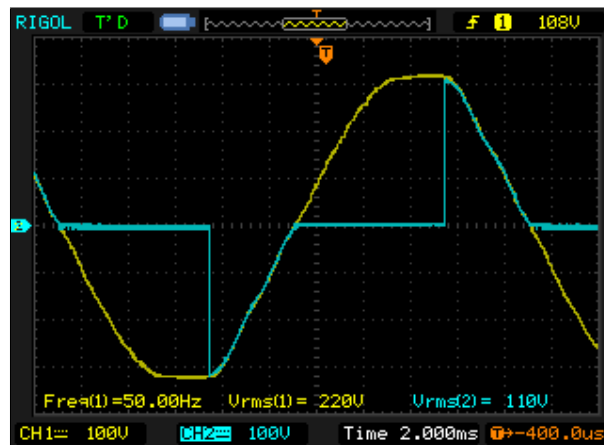


Figura 12: Forma de onda para una tensión eficaz de 110[V].

En éste punto se mide el factor de potencia inicial, cuyo valor es de 0,47.

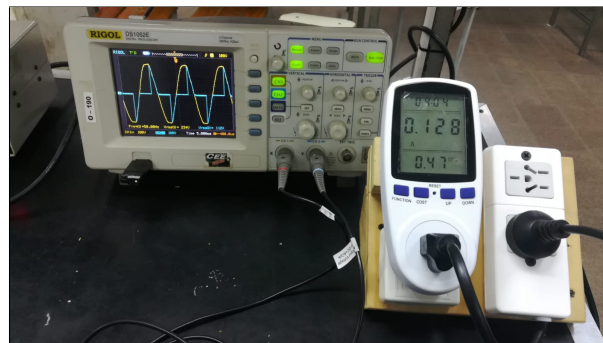


Figura 13: Factor de potencia inicial.

Al conectar el capacitor de corrección, se observa que el factor de potencia aumenta a 0,55, como muestra la Figura 14. Ésto indica que la carga total del circuito en conjunto, se comporta de manera inductiva.

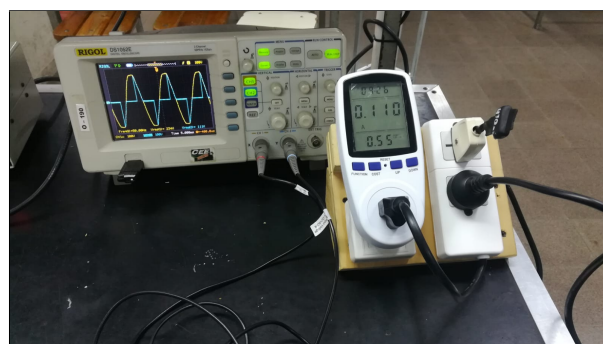


Figura 14: Factor de potencia corregido.

4. Conclusiones

En relación con el primer experimento realizado en este trabajo práctico, se procede a obtener de forma analítica los valores de las cotas de corrección de las mediciones realizadas con el multímetro con respuesta al valor medio del módulo de la tensión.

Se sabe que los multímetros de respuesta al valor medio del módulo, realizan una corrección mediante una cota para obtener el valor eficaz de la medición. Para obtener dicha cota, se hace uso de los siguientes valores representativos de una **señal senoidal**

$$V_{RMS_{sin}} = \frac{V_{m\acute{a}x}}{\sqrt{2}} \quad ; \quad V_{|med|_{sin}} = \frac{2 V_{m\acute{a}x}}{\pi}.$$

Luego, el factor de forma se obtiene relacionando las expresiones anteriores

$$k = \frac{V_{RMS_{sin}}}{V_{|med|_{sin}}} = \frac{\frac{V_{m\acute{a}x}}{\sqrt{2}}}{\frac{2 V_{m\acute{a}x}}{\pi}} \implies k = 1,1107.$$

El valor antes encontrado, es el que permite saber que el multímetro de respuesta al valor medio del módulo muestra en el display el resultado de $V_{lectura} = 1,1107 \cdot V_{|med|}$.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, y que para una señal cuadrada su valor eficaz y valor medio de módulo se expresan mediante

$$V_{RMS_{cuad}} = V_{m\acute{a}x} \quad ; \quad V_{|med|_{cuad}} = V_{m\acute{a}x},$$

entonces, el error porcentual para la medición de la señal cuadrada es

$$e_{cuad}[\%] = \frac{k \cdot V_{|med|_{cuad}} - V_{RMS_{cuad}}}{V_{RMS_{cuad}}} \cdot 100 = \frac{1,1107 V_{m\acute{a}x} - V_{m\acute{a}x}}{V_{m\acute{a}x}} \cdot 100$$

$$\therefore \boxed{e_{cuad}[\%] = +11,07\%}.$$

Siguiendo la misma línea, para una señal triangular sus valor eficaz y valor medio de módulo se expresan mediante

$$V_{RMS_{tri}} = \frac{V_{m\acute{a}x}}{\sqrt{3}} \quad ; \quad V_{|med|_{tri}} = \frac{V_{m\acute{a}x}}{2},$$

entonces, el error porcentual para la medición de la señal triangular es

$$e_{tri}[\%] = \frac{k \cdot V_{|med|_{tri}} - V_{RMS_{tri}}}{V_{RMS_{tri}}} \cdot 100 = \frac{1,1107 \frac{V_{m\acute{a}x}}{2} - \frac{V_{m\acute{a}x}}{\sqrt{3}}}{\frac{V_{m\acute{a}x}}{\sqrt{3}}} \cdot 100$$

$$\therefore \boxed{e_{tri}[\%] = -3,81\%}.$$

En la Tabla 3, se puede observar la comparación entre valores prácticos y teóricos de las mediciones realizadas con el multímetro de respuesta al valor medio del módulo. Los valores presentan diferencias entre sí, en especial en el caso de la señal triangular. Esto se puede fundamentar en base a que, el factor de forma de la señal triangular indica que el valor eficaz difiere un 15 % aproximadamente del valor medio del módulo, siendo que el instrumento está diseñado para medir éste último. Por otro lado, en la señal cuadrada ambos valores son iguales, lo que justifica que la diferencia de error sea menor.

Señal	Error práctico [%]	Error teórico [%]	Factor de forma
Cuadrada	+12,16	+11,07	1,000
Triangular	-2,13	-3,81	1,1547

Tabla 3: Tabla de comparación de cotas.

En relación con el tercer experimento, se observó que el comportamiento del circuito (según la lectura del factor de potencia del dispositivo empleado), es de tipo inductivo, ya que al conectar el capacitor, el factor de potencia mejoró.

Para comenzar análisis, se supone el método de medición de cruces por cero de la señal de tensión y corriente, que consiste en medir el retardo entre ambas señales. Al variar el potenciómetro del circuito de control de ángulo de disparo, se modifica la constante de tiempo τ de carga y descarga del capacitor, lo que provoca un retardo en el disparo de la señal de la corriente de entrada, como puede observarse en la Figura 12, ya que se modifica el instante en que conduce el diac. Esto provoca que el medidor detecte un falso desfase.