

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
4 de agosto de 2022

CONTENIDO

1. Introducción	2
2. Marco Teórico	2
2.1. Valor medio	2
2.1.1. Obtencion del valor medio en una señal Seoidal	2
2.2. Valor eficaz	3
2.2.1. Obtencion del valor Eficaz en una señal Seoidal	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	9
4. Conclusiones	11

1. Introducción

La mayoría de los multímetros del mercado, cuando se realiza mediciones en CA, poseen un conversor de valor medio calibrado para indicar el valor eficaz mediante la aplicación de un *factor de relación*. 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 practico, se realizara la contrastacion entre un multímetro de uso general con uno que posee medición al verdadero valor eficaz *TRUE RMS*, con el fin de poder realizar cotas de corrección para señales que no sean senoidales puras.

2. Marco Teórico

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 , entonces el valor $i(\eta)$ se considera el valor medio de una señal $i(t)$, $I_{med} = i(\eta)$. Despejando el valor medio de la ecuación 1

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

El valor de la integral, puede ser cero en caso de que la señal sea simétrica, es decir, que su área positiva sea igual que la negativa, como en señales seoidales 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 $|i(t)|$ de la señal

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

2.1.1. Obtencion del valor medio en una señal Seoidal

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 con valor medio de modulo $V_p \sin(\omega t)$, 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 modulo de una onda senoidal

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

Por ultimo, como en el presente trabajo practico se utilizará señales cuadráticas y triangulares los $V_{|med|}$ de dichas señales son

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

2.2. Valor eficaz

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

Supongamos una corriente $i(t)$ en un periodo T , la cual al circular 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 debido a una corriente continua sobre la misma resistencia R

$$P_c = I^2(t) R .$$

Si se iguala $P_a = P_c$, se obtiene

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

Por ultimo, vemos que la corriente que produce la misma disipación de potencia que la señal de alterna es

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

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

2.2.1. Obtencion del valor Eficaz en una señal Seoidal

Partiendo de una señal $V_p \sin(\omega t)$, integrada en un periodo 2π

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

Resolviendo la ecuación, se obtiene el V_{ef} para una onda senoidal

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

Para señales Cuadradas y triangulase el V_{ef} será

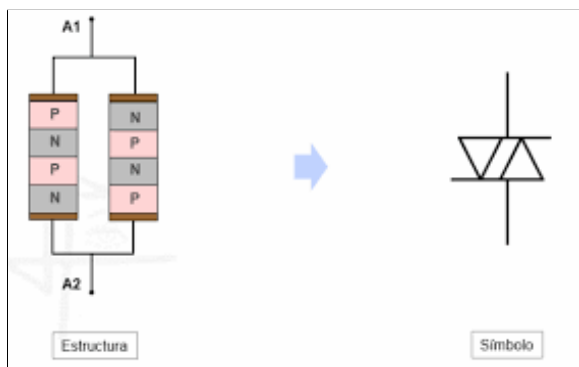
$$V_{ef_{cuadr}} = V_p \quad ; \quad V_{ef_{triang}} = \frac{V_p}{\sqrt{3}} .$$

2.3. Uso del Triac y Diac

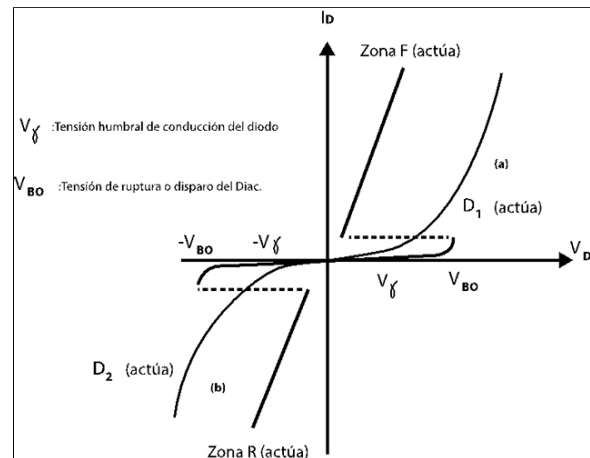
Como en el presente trabajo práctico, se utilizará un circuito de disparo compuesto con un triac y un diac, se explicará brevemente de que trata cada dispositivo y como se forma el circuito de la placa propia del TP.

2.3.1. Diac

EL Diac es un dispositivo semiconductor, posee 4 capas y dos terminales de conexión como se observa en la Figura 1a, con la particularidad de poder circular corriente en ambos sentidos cuando es activado. La conducción 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 voltaje mencionado. La curva del dispositivo se observa en la Figura 1b



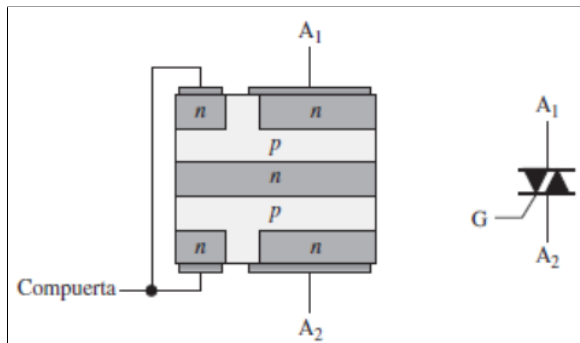
(a) Estructura y símbolo del DIAC.



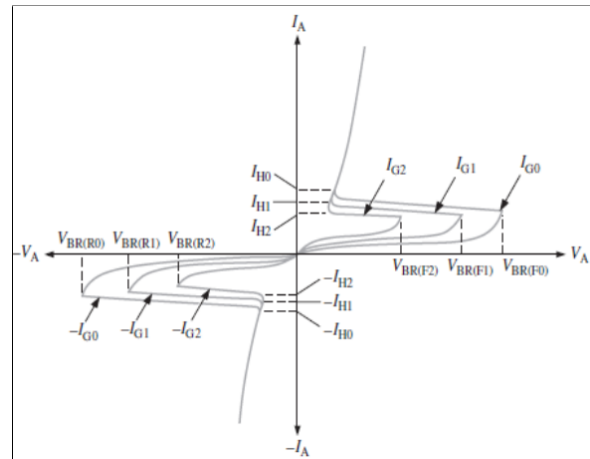
(b) Curva de trabajo del DIAC.

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. Básicamente, el triac se lo puede pensar como dos SCR conectados en paralelo, en direcciones opuestas con un terminal en común G, como se observa en la Figura 2a. 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 curva de trabajo del mismo se observa en la Figura 2b



(a) Estructura y símbolo del TRIAC.



(b) Curva de trabajo del TRIAC.

2.3.3. Circuito de disparo con Triac y Diac

Para este trabajo práctico se utilizará, el siguiente circuito de disparo de triac con diac, (*Dimer*) como se observa en la Figura 3

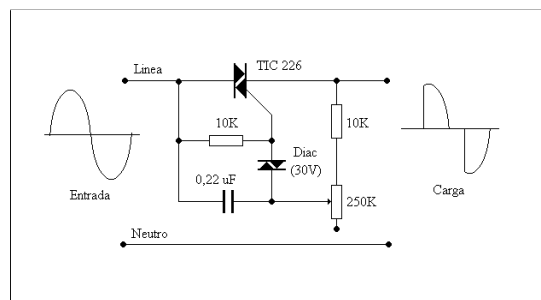


Figura 3: Circuito Dimer con Triac y Diac.

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 para que el diac conduzca. Una vez que el diac conduce, deja pasar una tensión la cual polariza al triac a través de su terminal G. El triac no conduce, hasta que, se le da un pulso de activación en el gate, y dejará de conducir cuando la onda senoidal cruce por cero. Para que vuelva a conducir, el diac es polarizado en el otro sentido y de esta manera, se genera un nuevo pulso en el gate del triac y el mismo conducirá en el otro semiciclo de la onda senoidal. Como vemos en el esquemático entre el terminal G del triac y el diac, tenemos una resistencia limitadora de corriente para el terminal G de $10\text{ K}\Omega$. Por último, la otra resistencia de $10\text{ K}\Omega$, conectada en serie con el potenciómetro, es utilizada como limitador de 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 aislamiento
- Osciloscopio digital Rigol DS1052E
- Medidor digital de potencia y factor de potencia

Es importante y obligatorio el uso de un **transformador de aislamiento**, el cual posee una de relación 1:1, y tiene como función crear una barrera física de aislamiento 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.

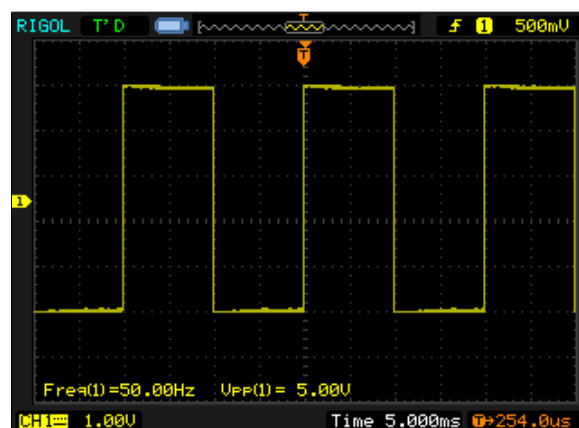
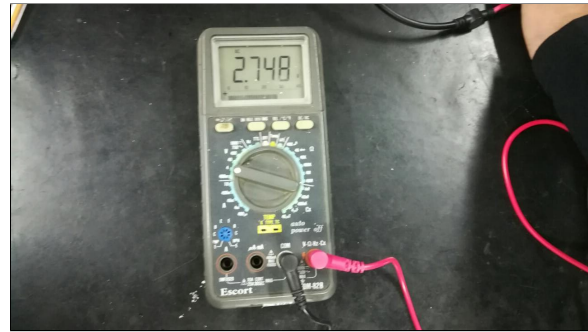


Figura 4: Señal cuadrada a medir.



(a) Medición V_{RMS} .



(b) Medición $V_{|med|}$.

Figura 5: Mediciones de la señal cuadrada.

Luego, la cota de corrección 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.

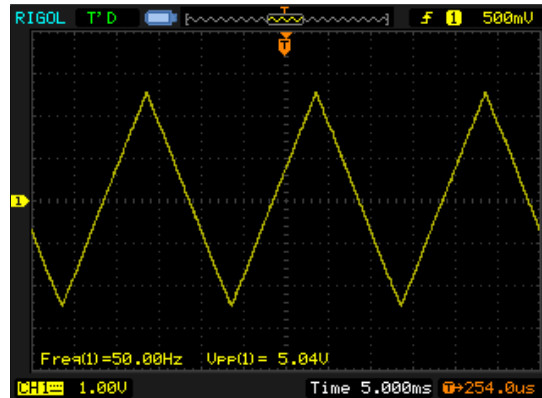
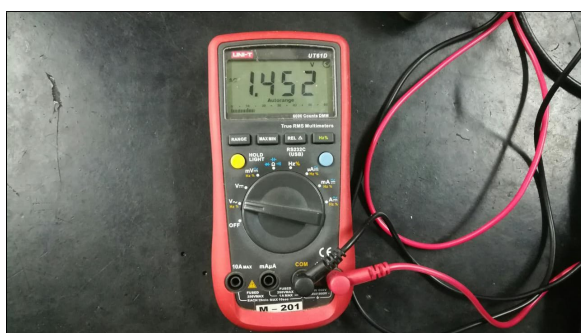


Figura 6: Señal triangular a medir.



(a) Medición V_{RMS} .



(b) Medición $V_{|med|}$.

Figura 7: Mediciones de la señal triangular.

Luego, la cota de corrección para el multímetro de respuesta al valor medio del módulo es

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

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.

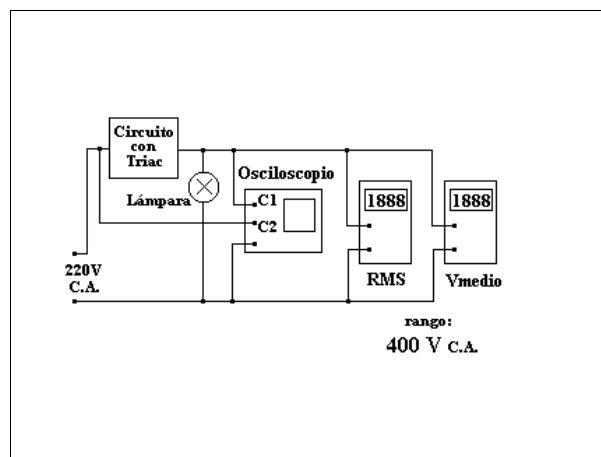


Figura 8: Esquema de conexión para el relevamiento de curva.

Se presentan a continuación los valores tabulados.

Fase	V_{O1} [V]	V_{O2} [V]	$(\frac{V_{O1}}{V_{in}})$ [V]	$(\frac{V_{O2}}{V_{in}})$ [V]
0°	234	234	1,064	1,064
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.

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.

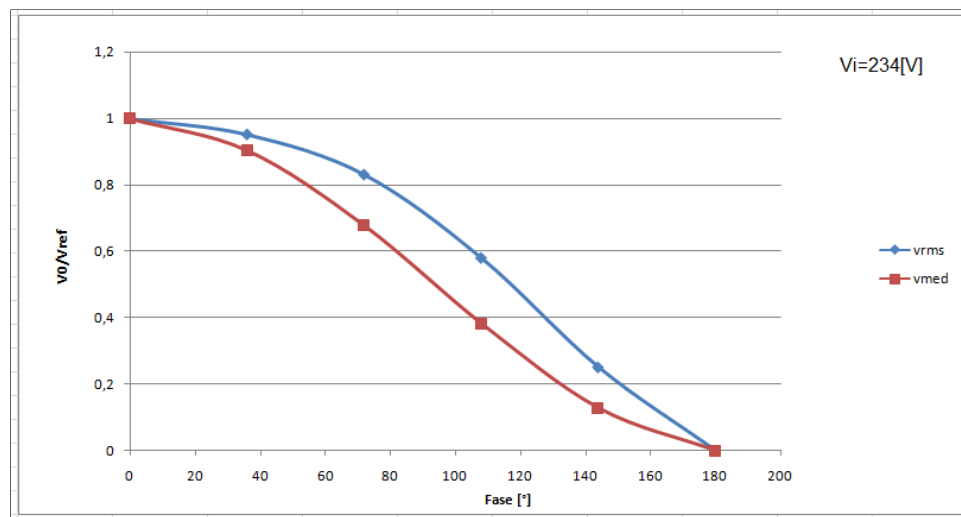


Figura 9: Gráfico obtenido.

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

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

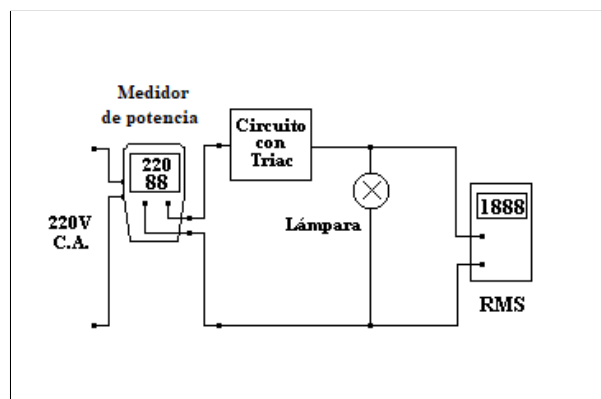


Figura 10: Circuito de medición de factor de potencia.

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].

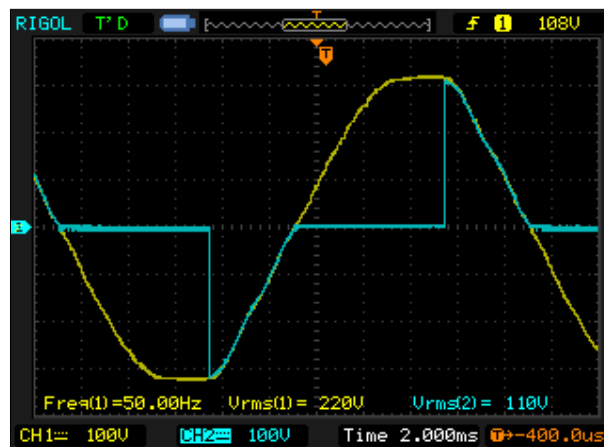


Figura 11: Forma de onda para una tensión eficaz de 110[V].

En éste punto se mide el factor de potencia inicial, cuyo valor es de 0,43.

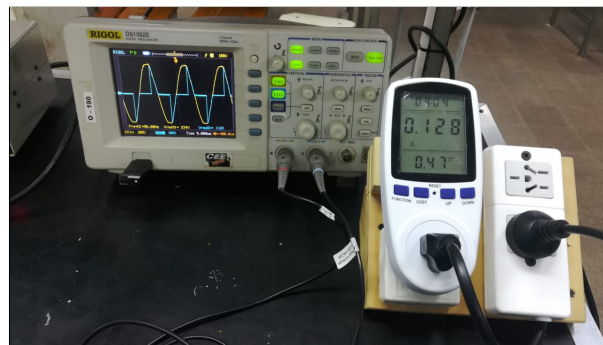


Figura 12: Factor de potencia inicial.

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

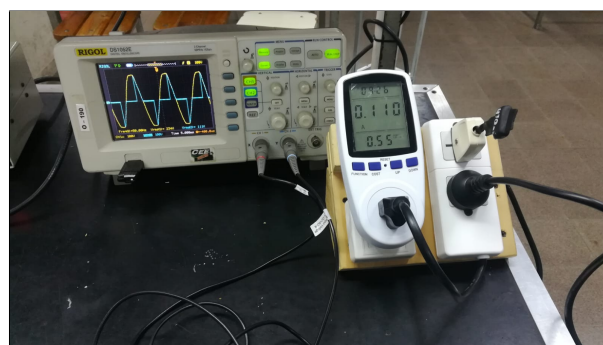


Figura 13: Factor de potencia corregido.

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, la cota de corrección (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 $V_{lectura} = 1,1102 \cdot V_{|med|}$.

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, la cota de corrección para la medición de la señal cuadrada es

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

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

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, la cota de corrección para la medición de la señal triangular es

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

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

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 explicar en base a que el instrumento no está diseñado para medir este tipo de señales de forma correcta.

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.

En primera instancia, cabe destacar, que se desconoce el funcionamiento interno del medidor de potencia. Por lo que se puede suponer, que responde de manera similar a un vatímetro ideal. En base a lo anteriormente mencionado, es posible hacer un primer análisis, a partir de la modificación del ángulo de disparo al agregar el capacitor. El segundo análisis, se hace a partir de la topología del circuito, para un tiempo dado.

Para comenzar el primer análisis, se supone el método de medición de cruces por cero de la señal de corriente, que consiste en medir desfaseamiento de la misma, respecto de la tensión aplicada, a partir de un cambio de sentido de corriente. El circuito de control de ángulo de disparo, modifica dichos cruces a partir de la tensión en el capacitor de entrada. De ésta manera, al modificar el circuito conectando un segundo capacitor a la salida, dicha tensión del capacitor de entrada se ve alterada y, por lo tanto, el ángulo de disparo también. Entonces, puede decirse que la mejora del factor de potencia, marcada por el medidor se debe a que, al conectar el capacitor, el cruce por cero se mueve junto con el ángulo de disparo en forma de adelanto respecto al punto original.

Para realizar el segundo análisis a partir de la topología del circuito, se debe tomar un punto de referencia. Para ello se supone las condiciones iniciales de la siguiente manera: El TRIAC no está en región de conducción, por lo tanto el DIAC tampoco, pudiendo representarlos como un circuito abierto en el esquema de la Figura 3. La segunda condición, es que el capacitor inicia totalmente descargado.

Bajo las suposiciones anteriores, el circuito resultante será el que se enseña en la Figura 14.

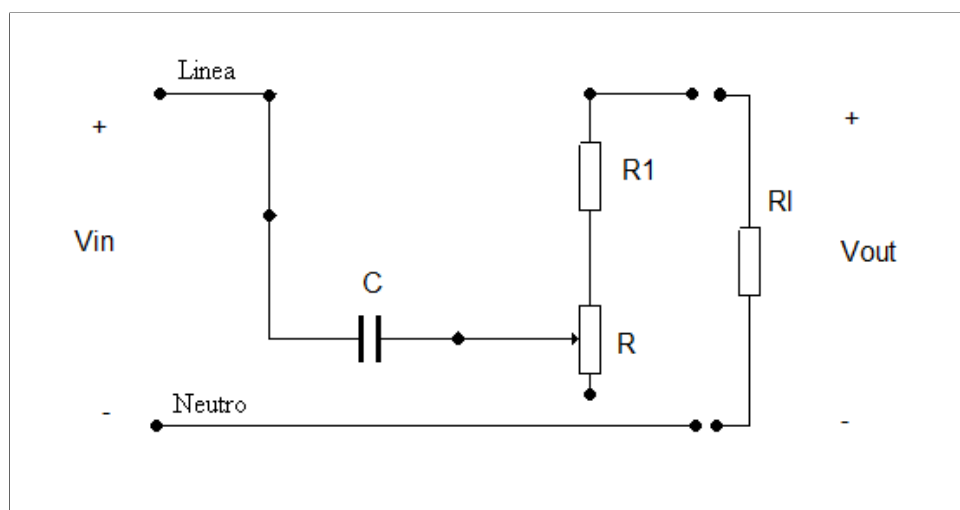


Figura 14: Situación inicial del circuito con TRIAC.

Como puede observarse, se trata de un circuito adelantador de fase, cuya respuesta en frecuencia, puede demostrarse que se comporta como un circuito RL serie.

La explicación de que el dispositivo utilizado para medir el factor de potencia, tome al circuito como de naturaleza inductiva, se debe al adelanto de fase de la señal de tensión de salida, respecto de la de entrada.

Una vez que la tensión en el capacitor alcanza los 30[V] , el DIAC entra en región de conducción reduciendo su resistencia dinámica al mínimo, polarizando a su vez el TRIAC, y cerrando el ciclo de carga-descarga del capacitor. En éste punto, el sistema posee un comportamiento resistivo puro.

Como la condición impuesta en un principio, se mantiene al menos la mitad del ciclo de onda, se podría decir que tendrá comportamiento mayormente reactivo, de ésta manera, el dispositivo de medición determina que el circuito tiene características inductivas.