

COMPROBACIÓN DE LAS LEYES DE KIRCHHOFF PARA ALTERNA

CHECK KIRCHHOFF'S LAWS FOR AC

E. Fariás de la Torre^{a*}, R. Ricón^b, S. Boglione^b, J. Montaña^b, E. Molina^b, R. Silveira^b,
F. Zacco^b .

a UTN (FRC), UNC (FCEfyN)

b UTN (FRC)

e-mail: fariasdelatorre@gmail.com

Recibido: 31/12/14; aceptado: 09/09/15

A partir de un circuito básico de dos mallas con elementos resistivos, inductivos y capacitivos, adecuadamente elegidos, se muestra la comprobación de las leyes de Kirchhoff de tensión y corriente para alterna. La adquisición y procesamiento de los datos, como así también la presentación de los resultados hace que la propuesta signifique un aporte didáctico desde lo experimental y para la enseñanza del tema.

Palabras claves: Kirchhoff, leyes, corriente, tensión, alterna.

From a basic circuit of two meshes with properly chosen resistive, inductive and capacitive element we present here an experimental comprobation of the Kirchhoff's laws for AC currents. The data acquisition and processing, as well as the presentation of the results proposed here is a meaningful contribution from the experimental point of view in this subject.

Keywords: Kirchhoff, laws, current, voltage, AC.

I. INTRODUCCIÓN

Los trabajos prácticos de Laboratorio (TPL) tradicionales y destinados a la comprobación de las leyes de Kirchhoff de tensión y de corriente se han referido al caso de tensiones y corrientes continuas. Así, por la primera de ellas (LKT), se verifica la conservación de la energía en un circuito cerrado, mientras que, por la segunda (LKI), el principio de conservación de la carga eléctrica para cualquier nudo del circuito

Por otra parte, si las tensiones aplicadas en el circuito y por ende las corrientes circulantes varían en el tiempo, es evidente que la verificación señalada de las LKT y LKI se refiere a cada instante de tiempo y, dentro de éste caso, se comprende la aplicación de tensiones alternas a circuitos que incorporan como elementos discretos no solo resistencias sino inductancias y capacitores.

Un problema que se presenta a la hora de analizar los circuitos alimentados por tensiones alternas es la complicación en el tratamiento matemático, lo cual lleva a resolver, en el mejor de los casos, ecuaciones diferenciales. A esto se suma el hecho de que estos circuitos pueden constar de varias mallas y con ello la necesidad de resolver ecuaciones diferenciales acopladas. En este sentido y, cuando el análisis es en régimen permanente, la solución más adecuada al tratamiento del problema, surge de la aplicación del *método fasorial*.

El presente Trabajo tiene por objetivo proponer un experimento o TPL destinado a que el alumno no solo compruebe las leyes de Kirchhoff de tensión y corriente para alterna, sino que también adquiera una familiaridad y dominio de este método y con ello él de las variables eléctricas en circuitos de éste tipo. Finalmente, este Trabajo es la continuación, complementación y mejora de otro anterior donde se usan las mismas herramientas y referido a la *simulación de un circuito RLC* ⁽¹⁾

II. ECUACIONES BÁSICAS

El método fasorial⁽²⁾, utilizado para la resolución de circuitos, en corriente alterna, representa a las variables eléctricas de tensión y corriente, mediante vectores rotantes en el plano complejo los cuales rotan con una velocidad angular $\omega = 2\pi f$, donde f es la frecuencia de la alterna y la parte imaginaria del vector rotante se corresponde con la variable en cuestión. Esta forma de representación permite un tratamiento más simple en la resolución de los circuitos cuando el interés se centra en hallar la solución estacionaria y no la solución transitoria.

Para ejemplificar lo expuesto se analizará la solución para un circuito RLC de una malla (figura 1).

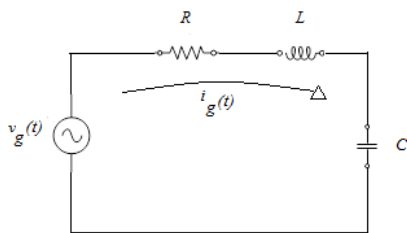


Figura 1: Circuito simple de una malla para explicar la equivalencia entre la resolución tradicional y el método fasorial.

De la aplicación de la LKT resulta:

$$L \frac{di_g(t)}{dt} + Ri_g(t) + \frac{q(t)}{C} = v_g(t) \quad (1)$$

Donde, $v_g(t) = V_{gm} \sin(\omega t)$ es la tensión alterna aplicada al circuito y, las tensiones o caídas de potencial sobre los respectivos elementos resultan:

$Ri_g(t)$: tensión o caída de potencial sobre R.

$L \frac{di_g(t)}{dt}$: tensión sobre la inductancia.

$q(t)/C$: tensión sobre la capacidad.

De la cual se obtiene la ecuación diferencial para la carga en el capacitor:

$$q'' + \frac{R}{L}q' + \frac{1}{LC}q = v_g(t) \quad (2)$$

La solución de esta ecuación consta de una parte que es estacionaria, q_{ss} , y otra transitoria, q_{tr} . La primera mantiene su amplitud constante a una dada frecuencia; mientras que la segunda se atenúa con el tiempo con una constante de decaimiento: $2L/R$.

Solución estacionaria

$$q_{ss} = \frac{V_{gm}}{\omega \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} \sin(\omega t + \varphi) \quad (3)$$

Con:

$$\tan(\varphi) = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \quad (4)$$

Y la corriente estacionaria resulta:

$$i_{ss} = \frac{V_{gm}}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} \cos(\omega t + \varphi) \quad (5)$$

O bien:

$$i_{ss} = I_{gm} \sin(\omega t + \varphi) \quad (6)$$

Solución transitoria

$$q_{tr} = e^{\frac{-R}{2L}t} [A \cos(\omega_a t) + B \sin(\omega_a t)] \quad (7)$$

Con:

$$\omega_n = \frac{1}{LC} \quad (8)$$

Que es la *pulsación natural* de la oscilación ($R=0$). Por otra parte:

$$\omega_a = \omega_n \sqrt{1 - \frac{R^2}{R_c^2}} \quad (9)$$

Es la pulsación del factor periódico de la solución transitoria. Esta solución puede presentar este factor periódico si $R < R_c$ o bien ser exponencial decreciente si $R > R_c$ o $R = R_c$ (crítico). El parámetro $R_c = 2(L/C)^{0.5}$ depende de los elementos que acumulan energía ya sea en forma de campo eléctrico (C), o de campo magnético (L).

Las constantes A y B dependen de varios factores entre los que se cuentan las condiciones iniciales del sistema. Estas condiciones iniciales pueden ser, en el caso más general: una carga inicial en el capacitor, q_0 , y una corriente inicial en el inductor o bobina, i_0 , lo cual determina que este elemento, inicialmente, tenga armado un campo magnético al momento de la aplicación de $v_g(t)$.

Los valores de estas constantes resultan:

$$A = q_0 - \frac{I_{gm}}{\omega} \sin \varphi \quad (10)$$

$$B = \frac{(i_0 - \frac{R}{2L}(q_0 - \frac{I_{gm}}{\omega} \sin \varphi) - I_{gm} \cos \varphi)}{\omega} \quad (11)$$

Aplicación del método fasorial

En el método fasorial o de vectores rotantes se representan las magnitudes eléctricas de interés por vectores rotantes en el plano complejo. Es un método que permite encontrar la solución estacionaria de un circuito cuando se aplican tensiones alternas a sus mallas. En la resolución del circuito RLC de la figura 1 se puede verificar que la corriente estacionaria satisface la ec.6 y veremos, a continuación, que se puede alcanzar idéntico resultado pero en forma más simple proponiendo las magnitudes fasoriales:

$$\begin{aligned} \mathbf{V}_g &= V_{gm} e^{j\omega t} \\ \mathbf{I}_g &= I_{gm} e^{j(\omega t + \phi)} \end{aligned} \quad (12)$$

Como representativas de la tensión aplicada y la corriente en el circuito siempre que:

$$\begin{aligned} v_g(t) &= \text{Im}\{\mathbf{V}_g\} \\ i_g(t) &= \text{Im}\{\mathbf{I}_g\} \end{aligned} \quad (13)$$

Donde la unidad imaginaria es representada por j en vez de i , esta última reservada para la corriente eléctrica.

La aplicación de los operadores diferenciales e integrales a las magnitudes eléctricas fasoriales mantiene la separación entre parte real e imaginaria de las mismas por lo que la ec.1 se puede escribir en forma fasorial:

$$L \frac{dI_g}{dt} + RI_g + \frac{\int I_g dt}{C} = V_g \quad (14)$$

A partir de la cual y, usando las ec.12, se obtiene la relación:

$$V_g = Z \cdot I_g \quad (15)$$

Donde,

$$Z = R + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \quad (16)$$

es la *impedancia del circuito*. La ec.15 constituye la generalización de la ley de ohm aplicada a circuitos de alterna. Nos permite establecer la relación, en forma directa y simple, de módulos y fase entre la tensión aplicada y la corriente estacionaria del circuito obteniendo, de esta manera, las ecuaciones (4) y (5).

Finalmente, la ec.(16) puede expresarse como suma de tres contribuciones: Resistencia óhmica, R ; *reactancia inductiva*, $Z_L = j\omega L$ y *reactancia capacitiva*, $Z_C = -j \frac{1}{\omega C}$

Nuestro circuito

En la figura 2 se muestra el circuito de dos mallas que se utilizará para la comprobación de las LKT y LKI. Los detalles del mismo se explicarán en el punto V y, aquí nos limitaremos a la aplicación del método fasorial para su resolución.

Los circuitos cerrados que presenta el mismo son tres: V_g - R - C - R_C - P (puente); V_g - R - L - R_L - P y, R_C - C - L - R_L . Este último sin fuente de tensión aplicada.

De la misma manera que se aplicó la LKT para el circuito de la figura 1 se puede aplicar para cada uno de estos circuitos. Se tienen, entonces, tres ecuaciones fasoriales:

$$V_g = RI_g + R_C I_C + Z_C I_C \quad (17)$$

$$V_g = RI_g + R_L I_L + Z_L I_L \quad (18)$$

$$R_C I_C + Z_C I_C = R_L I_L + Z_L I_L \quad (19)$$

Como es evidente, la tercera se obtiene de restar las dos primeras por lo tanto tenemos sólo dos ecuaciones para las incógnitas $I_g, I_C e I_L$. En este punto interviene la *ley de Kirchhoff de corrientes* la cual establece que:

$$I_g = I_C + I_L \quad (20)$$

Incorporando (20) en (17) o (18); usando, además, (19) podemos resolver nuestro circuito:

$$I_C = \left[R + R_C + Z_C + \frac{R_C + Z_C}{R_L + Z_L} R \right]^{-1} V_g \quad (21)$$

$$I_L = \frac{R_C + Z_C}{R_L + Z_L} I_C \quad (22)$$

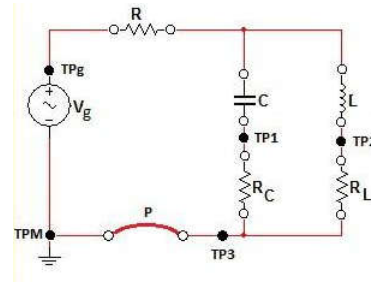


Figura 2: Circuito de dos mallas para un TPL que permita comprobar las leyes de Kirchhoff de tensión y corriente.

Para los siguientes valores de los elementos se resolvió el circuito a los fines de comparación con los resultados experimentales: $R=100\Omega$; $R_L=390\Omega$; $R_C=47\Omega$; $C=440\text{nF}$; $L=11.6\text{mH}$; $V_{gm}=1\text{ V}$ y $f=1\text{KHz}$.

Los valores obtenidos para los *fasores corriente* con ángulo de fase, ϕ , referido al fasor V_g resultaron:

$$\begin{aligned} \mathbf{I}_S &= 0.44\text{ A}; \phi = 59.9^\circ \\ \mathbf{I}_L &= 0.0059\text{ A}; \phi = -32.1^\circ \\ \mathbf{I}_C &= 0.00097\text{ A}; \phi = 68.4^\circ \end{aligned}$$

A su vez, los *fasores tensión* sobre los distintos elementos resultan:

$$\begin{aligned} \mathbf{V}_L &= 0.44\text{ V}; \phi = 57.9^\circ \\ \mathbf{V}_{RL} &= 0.28\text{ V}; \phi = -32.1^\circ \\ \mathbf{V}_C &= 0.35\text{ V}; \phi = -21.6^\circ \\ \mathbf{V}_{RC} &= 0.38\text{ V}; \phi = 68.4^\circ \end{aligned}$$

III. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

En la figura 3 se muestra el sistema completo con sus componentes.

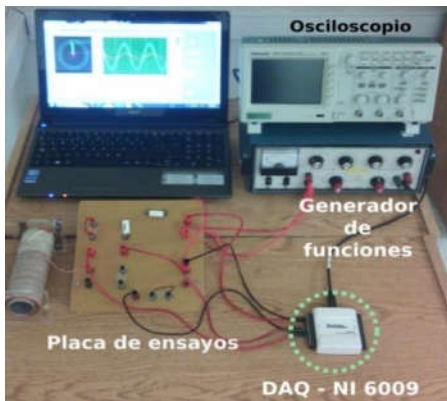


Figura 3: Sistema completo para la realización de la experiencia.

Está compuesto por los siguientes elementos:

- Generador de funciones.
- Osciloscopio de doble trazo (tektronix).
- Una placa de ensayos con elementos pasivos (Resistencia, bobina y capacitor).
- Placa de adquisición de Datos NI 6009.
- PC con software LabView (Laboratory Virtual Instrument Workbench) incorporado.

Generador de funciones (Heathkit, IG-5218).

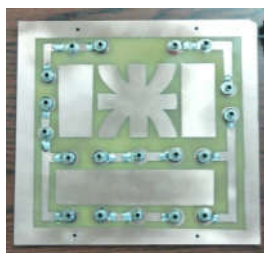
Provee una onda sinusoidal con una amplitud de hasta 10 V rms y frecuencia variable de hasta 100kHz.

Osciloscopio de doble trazo (Tektronix, TDS 1012B).

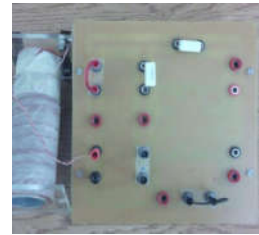
Para este instrumento es importante la condición de doble trazo toda vez que, para la comprobación de la adquisición de los datos, es necesario presentar en pantalla las dos tensiones adquiridas y verificar sus amplitudes y fases relativas.

Placa de ensayos y elementos pasivos

Fue diseñada exclusivamente para la realización del presente trabajo. Como se aprecia en la imagen inferior, los elementos pasivos pueden ser intercambiables permitiendo con ello configurar circuitos distintos con el fin de realizar las comprobaciones de las leyes de Kirchhoff.



(a)



(b)

Figura 4: a) layout de la placa; b) montaje de los elementos del circuito.

Placa de adquisición de Datos NI 6009.

Esta placa de adquisición⁽³⁾ es de gran funcionalidad para aplicaciones como registro de datos, medidas portátiles y experimentos de laboratorio. Presenta seis canales de adquisición y una velocidad de muestreo de 44 KHz; para nuestro caso se emplearán solamente dos canales por las razones que se explican en V.

IV. ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE LOS DATOS.

El software utilizado para la adquisición y procesamiento de los datos como así también para la presentación de los resultados es el de *LabView*^(4,5). Este lenguaje de programación es un lenguaje de alto nivel para PC, preferido en el ambiente de la instrumentación, el control y el procesamiento de datos. A diferencia de otros lenguajes de programación, en LabView encontramos librerías con herramientas especiales listas para usar, por ejemplo, si se busca hacer un análisis en la frecuencia de señales ingresadas a la PC, encontramos una cantidad notable de herramientas que nos dan información sobre amplitudes, frecuencias, fases relativas, etc. de la señal muestreada, sin importar el puerto por el que ingresó.

Una vez que la señal se encuentra dentro de la misma, es posible hacer cualquier tipo de manipulación.

LabView, por otra parte, es un lenguaje de programación en entorno gráfico, esto significa que el método de programación no es escrito. El modo en que funciona una aplicación, llamada instrumento virtual, o vi, es por flujo de datos, es decir que solamente cuando los datos están presentes se ejecuta la aplicación.

La programación en LabView se realizó para los siguientes bloques:

IV-1) Adquisición de las tensiones sobre los distintos elementos.

IV-2) Obtención de los fasores y sus respectivas fases relativas.

IV-3) Verificación de las LKT y LKI

IV-4) Obtención de la tensión y corriente por rama. Determinación de su impedancia.

IV-5) Simulación del comportamiento del circuito para valores impuestos de resistencias, inductancias y capacidad.

Según lo previamente descrito, a continuación se presentan los diagramas en bloque de la programación en LabView que permiten hacer la adquisición, procesamiento y presentación de los datos.

Adquisición de tensiones

El diagrama en bloque de la etapa de entrada, mostrado a continuación, permite el control de la adquisición con la cual se produce la captura de las tensiones, tanto del generador como de los puntos preestablecidos para la medición. Estos datos son utilizados, luego, para representar las tensiones tanto en forma temporal como en forma fasorial.

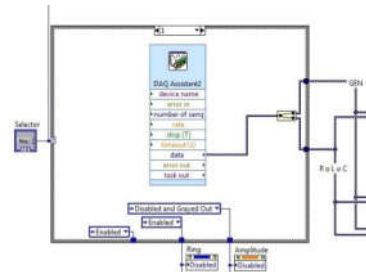
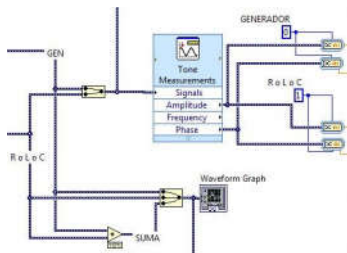


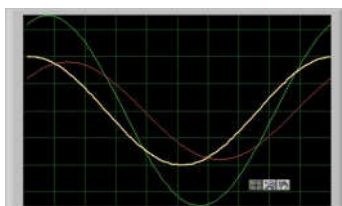
Figura 5: Software de adquisición de datos con dos entradas. Por un lado siempre se adquiere la tensión del generador y, por otra parte, la tensión sobre alguno de los elementos del circuito.

Presentación temporal de las señales adquiridas

El siguiente bloque, tiene por función hacer un tratamiento de los datos adquiridos:



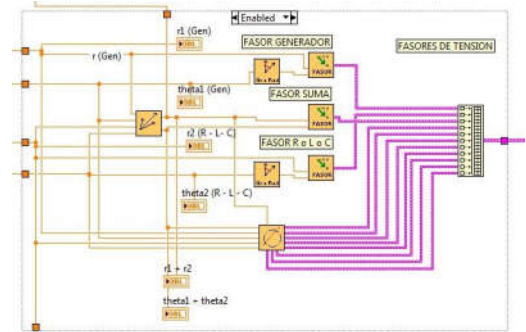
(a)



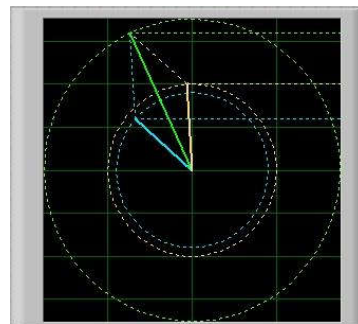
(b)

Figura 6: a) Software para la presentación temporal de las tensiones adquiridas; b) Gráficas temporales.

Software de generación de fasores



(a)



(b)

Figura 7: a) Software para obtención de los fasores, módulo y fase; b) diagrama en el plano complejo.

V. REALIZACIÓN DE LA EXPERIENCIA

La propuesta es hacer la comprobación experimental de las leyes de Kirchhoff de voltaje y corriente, para lo cual se ha montado el sistema completo antes descrito y conformado por el Generador de señales, la placa para montaje de los componentes discretos R L y C, placa NI6009 y PC con Software LabView y programa de adquisición, procesamiento y presentación de datos.

Circuito Propuesto

En la figura 8 se muestra el circuito propuesto y que ya fue presentado para la explicación general de método y

que por razones de unidad en la exposición se reproduce aquí.

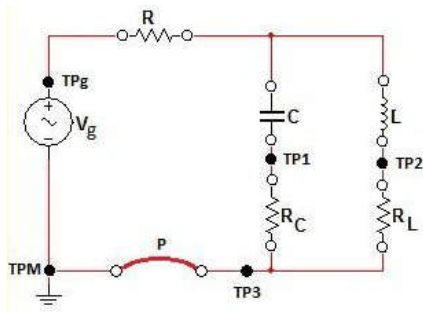


Figura 8: Circuito básico para la realización de la experiencia

Se ha elegido un circuito con dos ramas reactivas distintas: Una rama capacitiva constituida por los elementos R_C y C ; y, otra rama inductiva con R_L y L ; finalmente, la resistencia R y el generador V_g completan las ramas presentes.

<Los símbolos de los elementos terminan en círculos abiertos con lo que se quiere significar que los mismos son removibles e intercambiables con otros elementos elegidos convenientemente y a fin de realizar las comprobaciones propuestas. Los puntos de medición TP_1 , TP_2 ; TP_3 ; TP_g y TP_m se indican con círculos llenos y se agrega el puente P por las razones que se explicarán.

Los valores de los elementos reactivos y resistivos han sido elegidos de tal manera que las tensiones sobre los mismos, a la frecuencia adoptada, no sean muy diferentes en magnitud y a fin de poder medir desfases sin dificultad. No obstante las resistencias están constituidas por preset para poder efectuar un ajuste fino de las mismas.

Mediciones a Realizar

Las mediciones de tensión se realizarán en los distintos puntos de prueba, TP_1 , TP_2 ; TP_3 ; TP_g , respecto de TP_m (masa). Se realizarán usando solo dos canales de la placa de adquisición (NI6009). La utilización de sólo dos canales es debido a que la frecuencia de muestreo de la placa se divide por el número de canales activos y esto determina una baja frecuencia de muestreo en relación a la necesaria para una buena conformación de las tensiones medidas a la frecuencia de la tensión que se adopte. Por otra parte, para usar más canales sería necesario disminuir la frecuencia de la tensión aplicada y ello determinaría que la impedancia inductiva sería del orden de la resistencia propia del bobinado no pudiéndose, entonces, discriminar la tensión propia sobre la inductancia.

Uno de los canales será aplicando permanentemente a TP_g y medirá la tensión del generador constituyendo el fasor de referencia. El otro canal se aplicará

consecutivamente a los distintos puntos de prueba permitiendo, así, construir los distintos fasores respecto al de referencia. En la etapa de procesamiento se obtienen los distintos fasores y su ángulo de fase relativo entre ellos.

En las figuras 9 y 10 se muestran los dos circuitos que completan los necesarios para la comprobación, obtenidos a partir del primero por intercambios de elementos. En la tabla 1 se presenta la secuencia de pasos en la medición.

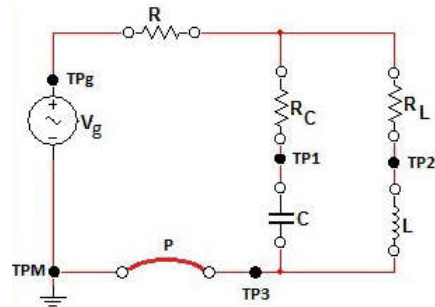


Figura 9 Circuito para la medición de las tensiones en C y L .

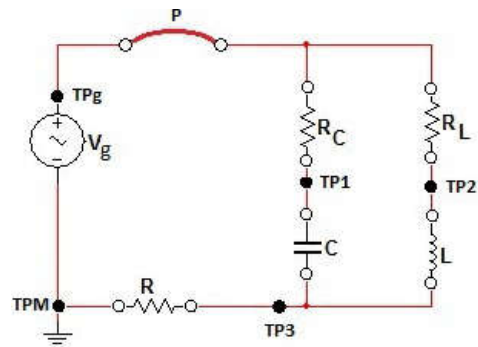


Figura 10 Circuito que permite medir la tensión en R .

Los valores de los elementos utilizados: resistencias, inductancia y capacidad fueron especificados en el punto II referido a la explicación del método y a la solución teórica del circuito.

Tabla del proceso de medición

	CANAL 1	CANAL 2	Observaciones
1	V_g (TP_g)	V_{Rc} (TP_1)	Circuito Inicial
2	V_g (TP_g)	V_{Rl} (TP_2)	
3	V_g (TP_g)	V_c (TP_1)	Intercambios $R_c - C$

4	V_g (TPg)	V_L (TP2)	RL - L
5	V_g (TPg)	V_R (TP3)	Intercambio R - P

Tabla 1: Síntesis del proceso de medición con los intercambios de elementos.

Completados los pasos 1-5 se han adquirido todas las tensiones necesarias para construir los diagramas fasoriales de las mismas respecto del generador. Al relacionar pasos sucesivos se obtienen los fasores con sus ángulos relativos. Finalmente, los fasores corriente se obtendrán dividiendo el fasor tensión por la resistencia respectiva.

Ley de Kirchhoff de corrientes

A partir de las mediciones efectuadas sobre R_C y R_L en el circuito de la figura 8 como así también sobre R en el circuito de la figura 10 se construyen los fasores de intensidad o corriente y con ello se plantea la verificación de la LKI. Se adoptó, por razones didácticas, para la suma de los fasores la representación bajo la forma de poligonal. Con ello, si la poligonal se cierra entonces se cumple la ley en cuestión.

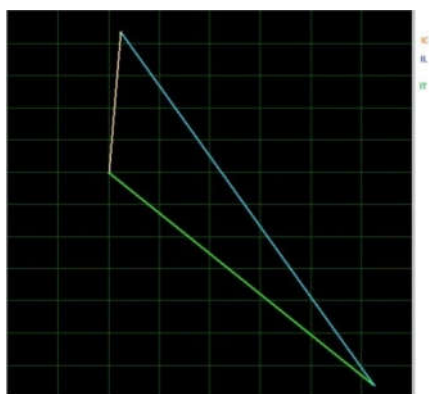


Figura 11: Comprobación de la ley de Kirchhoff de corrientes.

En la figura 11 se puede apreciar que la corriente total, en verde, resulta de la suma de la corriente en la inductancia, en azul, y la del capacitor en marrón.

Ley de Kirchhoff de tensiones

Esta ley establece que para toda malla cerrada de un circuito, la suma de los fasores diferencia de potencial es igual a cero. Esto incluye no solo las caídas de

potencial en los elementos pasivos sino también la diferencia de potencial sobre las fuentes de tensión. Elegimos, de las tres posibilidades aquella que no presenta fuente de tensión, es decir la malla conformada por C, R_C , R_L y L.

Para la comprobación de ésta ley, se parte de los datos adquiridos previamente, con los que se determinó la LKI, y se elige en el panel de control del software, la opción correspondiente a la suma de los voltajes seleccionados. En la imagen siguiente, se muestra la captura de pantalla, en un instante dado, en el cuál se aprecia que la suma vectorial de los fasores es, aproximadamente, igual a cero como era de esperar.



Figura 12: Ley de Kirchhoff de tensiones para la malla C, R_C , R_L y L: la tensión sobre la resistencia R_C blanca; Tensión sobre la resistencia R_L , verde; Tensión sobre el capacitor C, roja y la tensión sobre la inductancia L, azul. Observe que el pequeño segmento que falta para completar la poligonal corresponde a la caída en la resistencia interna del bobinado.

Determinación de la impedancia de una rama

Una extensión importante del presente Trabajo es permitir que el alumno visualice el efecto sobre los fasores tensión y corriente cuando se modifican los valores de los elementos discretos. En este sentido es importante que diferencie los fasores o vectores rotantes del complejo impedancia el cual es un vector que no rota. Se eligió la rama capacitiva y, mediante el software, se realiza la suma de los fasores tensión por un lado. Por otra parte se tiene el fasor corriente en la rama. Ambos rotan con velocidad angular ω sin embargo su cociente, que es la impedancia de la rama, se mantiene fijo en el plano complejo, punto verde (figura 13).

Complementariamente, el alumno puede variar la resistencia de la rama y observar como el punto representativo de la impedancia se acerca o aleja del fasor corriente en la misma.

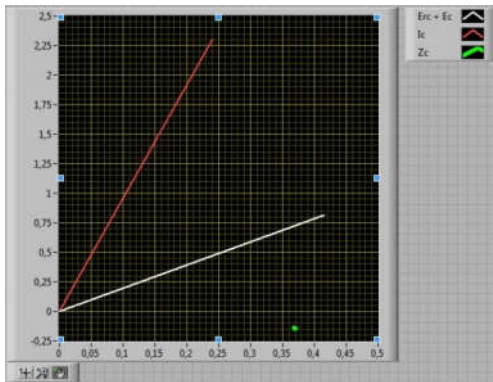


Figura 13: Impedancia de la rama, C , R_c : Tensión sobre la rama, blanco, en volts; corriente en la rama, rojo, en mA e, impedancia de la rama: cociente de las dos primeras, punto verde, en $k\Omega$.

VI. CONCLUSIONES

Las conclusiones del presente Trabajo pueden ser resumidas en los siguientes puntos:

- Extiende al caso de circuitos de alterna la comprobación de las LKT y LKI de continua.
- Introduce al alumno en la utilización del *método fasorial* de amplia utilización para la resolución de circuitos de alterna en su estado estacionario.
- Permite que el alumno visualice las relaciones entre las variables eléctricas de tensión y corriente y de qué manera estas dependen de los elementos del circuito, R, L ó C.
- Es posible su instrumentación para un TPL virtual o a distancia debido a la simplicidad del hardware utilizado. En este sentido sería necesario diseñar un sistema de conmutación con llaves electrónicas a fin de reemplazar el proceso de intercambio de elementos el cual es manual por uno automático.

- Se estudia la posibilidad de reemplazar la placa de adquisición NI6009 por otras más económicas tales como *Arduino* o *Galileo* y con ello ampliar el alcance de su uso en nuestras universidades.
- Este TPL tiene la virtud de introducir en el uso de LabView y su posible extensión para otro tipo de TPL.
- El software desarrollado contempla realizar simulaciones eligiendo los valores de los elementos discretos.
- Finalmente, este software también almacena los resultados de previas adquisiciones y puede procesar los mismos lo cual resulta útil cuando se desarrolla una clase fuera del laboratorio o bien en el ámbito de *aula virtual*.

VII. REFERENCIAS

- Farías de la Torre, E. M. y Ricón, R. "Memorias del Encuentro Nacional de Profesores de Física", 465-474, Córdoba, Argentina (2001).
- Skillíng, H. "Circuitos en ingeniería eléctrica", Ed., Compañía Editorial Continental, México (1992).
- National Instruments, "NI USB 6009 User Guide and Specifications", Ed., National Instruments (2009).
- National Instruments, "LabView for everyone" 2d. Ed. National Instruments (2001).
- Bishop, R. H. Learning with LabVIEW, Ed., AddisonWesley Longman Inc.(1999).