

# CALIBRANDO MEDIDORES DE CAPACITANCIA EMPLEANDO EQUIPOS MULTIFUNCIÓN

J. Angel Moreno

Centro Nacional de Metrología, Laboratorio de Impedancia  
km 4,5 Carretera a los Cués, 76241, El Marqués, Qro., México  
+52 (442) 211 05 00, +52 (442) 211 05 48, jmoreno@cenam.mx

J. Edmundo Garay

Servicios Profesionales en Instrumentación, S.A. de C.V.  
Norte 42-A No. 3618, Col. 7 de Noviembre, 07840, México, D.F., México.  
+52 (55) 55 37 08 62, +52 (55) 57 59 31 99, sepri1@netmex.com

**Resumen:** Empleando calibradores multifunción se realiza la calibración de medidores de capacitancia, en particular de multímetros de mano y algunos puentes RLC. Los multímetros y puentes tienen principios de funcionamiento distintos. El calibrador multifunción no presenta al medidor una capacitancia física, sólo una simulación de ésta. En este trabajo se presentan los efectos que presenta un calibrador multifunción cuando la capacitancia simulada es medida por un multímetro a una baja frecuencia y por dos puentes a distintas frecuencias y distintos valores de capacitancia, así como las limitaciones derivadas del calibrador multifunción.

## I. INTRODUCCION

En diversos sectores productivos de la industria se requiere medir capacitancia. La medición de capacitancia se usa para controlar procesos específicos mediante transductores, corregir el factor de potencia del consumo de energía y medir componentes empleados en la fabricación de circuitos electrónicos para equipos de comunicación, cómputo, diagnóstico médico, etc.

La industria dispone de una diversidad muy amplia de instrumentos de medición de capacitancia, los cuales tienen alcance, exactitud y características particulares. Estos instrumentos pueden clasificarse por su funcionalidad y aplicación en 4 grupos específicos:

- Multímetros y medidores de mano
- Puentes RLC
- Puentes de capacitancia de alta tensión
- Analizadores de impedancia

Estos instrumentos requieren ser calibrados de manera adecuada, para asegurar la trazabilidad de sus mediciones.

Dada la naturaleza de la magnitud de capacitancia los recursos de calibración son escasos. El recurso más importante es el uso de patrones y décadas de capacitancia, los cuales tienen valor nominal determinados, así como tensión y frecuencia de operación particulares.

El uso de simuladores de capacitancia para calibrar multímetros y puentes RLC ha ido en incremento durante el último lustro en México. Hoy en día este recurso es el más utilizado por los laboratorios de calibración empleando calibradores multifunción.

Antes de mostrar los fenómenos que se presentan al calibrar multímetros y puentes RLC empleando un calibrador multifunción, se explicará el funcionamiento básico de un puente RLC y de un multímetro para medir capacitancia.

## II. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN PUENTE RLC

Los puentes RLC tienen un principio de funcionamiento muy sencillo de entender [1]. Tal como se ilustra en la figura 1, el puente dispone de dos terminales llamadas "de corriente". Estas son conectadas al capacitor a medir para hacer circular por él una corriente alterna  $I$  con forma senoidal, donde la amplitud y frecuencia son determinadas por el usuario. Al circular esta corriente por el capacitor aparece entre sus terminales una tensión  $V$  con forma senoidal, como la mostrada en la figura 2, que el puente RLC mide por medio de sus terminales "de tensión".

El puente RLC mide adicionalmente la diferencia de fase  $\theta$  que existe entre las señales de corriente  $I$  y la

de tensión  $V$ . Con esta información, el puente RLC realiza los cálculos necesarios para encontrar el valor del capacitor bajo medición, con base en la ecuación 1, que define vectorialmente la impedancia del capacitor.

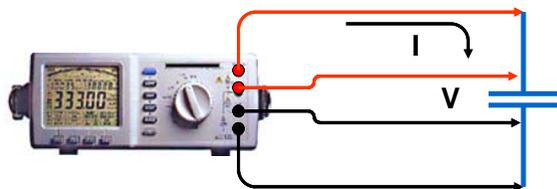


Fig. 1 Esquema gráfico del principio de funcionamiento de un puente RLC.

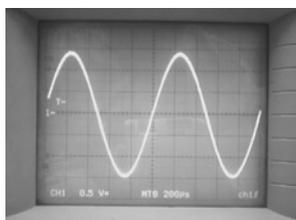


Fig. 2 Forma de onda de la tensión  $V$  al medir una impedancia con un puente RLC.

$$\vec{Z} = \frac{\vec{V}}{\vec{I}} \quad (1)$$

Generalmente, los puentes RLC trabajan a frecuencias de 60 Hz a 100 kHz, donde su frecuencia de operación óptima es 1 kHz. Sin embargo existen algunos puentes RLC de baja exactitud que trabajan a frecuencias de algunos hertz.

### III. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN MULTÍMETRO

El principio de funcionamiento de los multímetros es distinto al de los puentes RLC. La medición se lleva a cabo en corriente continua [2].

Si se hace circular una corriente  $I(t)$  constante en el tiempo a través del capacitor a medir, aparece entre sus terminales una tensión  $V(t)$  que obedece a la ecuación 2 y forma una rampa de tensión como la que se ilustra en la figura 3.

$$V(t) = \frac{1}{C} \int I(t) dt \quad (2)$$

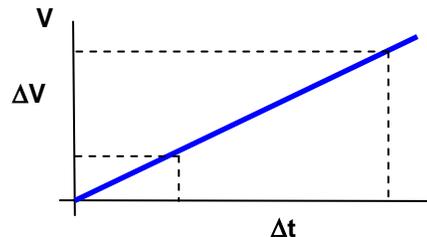


Fig. 3 Forma de onda teórica de la tensión  $V(t)$  al medir un capacitor con un multímetro.

La razón de cambio en el tiempo de esta rampa de tensión contiene la información del valor del capacitor. Si la corriente  $I(t)$  tiene un valor constante en el tiempo  $I$ , el valor del capacitor es:

$$C = I \frac{\Delta t}{\Delta V} \quad (3)$$

Cuando un capacitor se mide con un multímetro la señal existente entre las terminales del capacitor no es como la que se mostró en la figura 3, sino como la que se muestra en la figura 4.

La evolución de la señal muestra que el multímetro carga al capacitor hasta una tensión determinada, después lo descarga lentamente para generar la rampa de tensión descrita anteriormente, y finalmente lo descarga rápidamente hasta lograr una tensión mínima para iniciar un nuevo ciclo de medición.

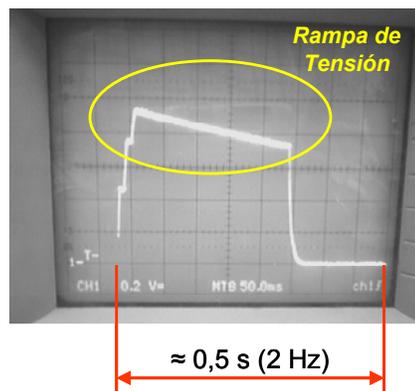


Fig. 4 Forma de onda real de la tensión  $V(t)$  al medir un capacitor con un multímetro.

Mientras sucede la descarga lenta del capacitor, el multímetro realiza las mediciones necesarias para determinar el valor de  $I$ ,  $\Delta t$  y  $\Delta V$ . Con esto, el

multímetro lleva a cabo el cálculo del valor del capacitor.

Para este caso particular, el ciclo de medición dura aproximadamente medio segundo, por lo que la frecuencia de medición asociada es de 2 Hz. El ciclo de medición depende del valor del capacitor, pero generalmente la frecuencia de medición asociada no supera 10 Hz.

#### IV. CALIBRACIÓN DE PUENTES RLC Y MULTÍMETROS CON UN CALIBRADOR MULTIFUNCIONES

El calibrador multifunciones fue ideado para calibrar multímetros. La calibración de puentes RLC con el calibrador es posible con restricciones de frecuencia, tensión y corriente, de acuerdo a las especificaciones del propio fabricante [3].

El calibrador multifunciones no presenta al medidor a calibrar una capacitancia física, sino sólo una simulación eléctrica parcial de ella, la cual está limitada en frecuencia, sin embargo se espera que el medidor interprete esta simulación de la misma manera a como lo hace con un capacitor real.

Para confirmar lo anterior, se realizó la medición de la capacitancia simulada con un multímetro y con un puente RLC, observándose en cada caso la forma de la señal de tensión presente en las terminales del calibrador mediante un osciloscopio, la cual se muestra en las figuras 5a y 5b respectivamente.

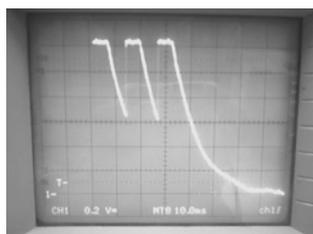


Fig. 5a

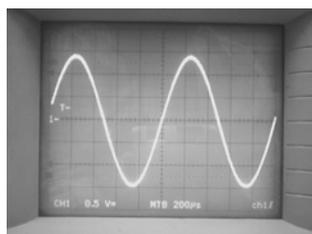


Fig. 5b

**Tensión presente en las terminales de un calibrador multifunción cuando es medido con un multímetro (5a) y un puente RLC (5b).**

En el caso del puente RLC, la tensión tiene la misma forma que la observada al medir un capacitor real, mientras que en el caso del multímetro la forma de onda cambia. No obstante lo anterior, la lectura de ambos medidores es muy aproximada a la esperada.

Derivado de esto, se esperan mayores dificultades al calibrar multímetros que al calibrar puentes RLC, sin embargo al realizar mediciones adicionales se encontraron efectos importantes asociados a la frecuencia de medición. Esto último resulta particularmente crítico en la calibración de puentes RLC.

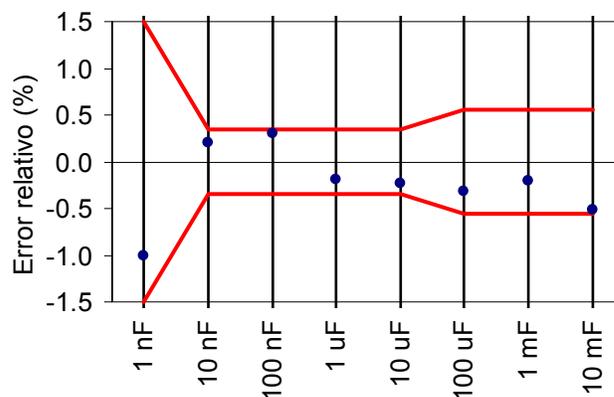
A continuación se presentarán las mediciones realizadas con un multímetro y dos puentes RLC a un calibrador multifunciones.

#### V. MEDICIONES CON UN MULTÍMETRO

Se programó un calibrador multifunciones para simular 8 valores de capacitancia dentro del intervalo comprendido entre 1 nF y 10 mF. Cada capacitancia simulada fue medida con un multímetro con especificación básica de  $\pm 1,9\%$  [4].

Se determinó en cada caso el error relativo del calibrador multifunciones usando el valor nominal de capacitancia simulada y el valor indicado por el multímetro, compensando la capacitancia de los cables empleados.

La figura 6 muestra el valor del error relativo encontrado para cada valor de capacitancia simulada. Las barras de error representan la especificación del multímetro y las líneas gruesas y continuas representan la especificación del calibrador multifunciones.



**Fig. 6 Error relativo de un calibrador multifunción determinado con un multímetro.**

En todos los casos, el error relativo del calibrador se encontró dentro de las especificaciones. Estos resultados permiten ver que los errores que pudiera introducir el calibrador multifunción no comprometen la incertidumbre de calibración del multímetro en relación a las especificaciones de éste último.

**VI. MEDICIONES CON DOS PUENTES RLC**

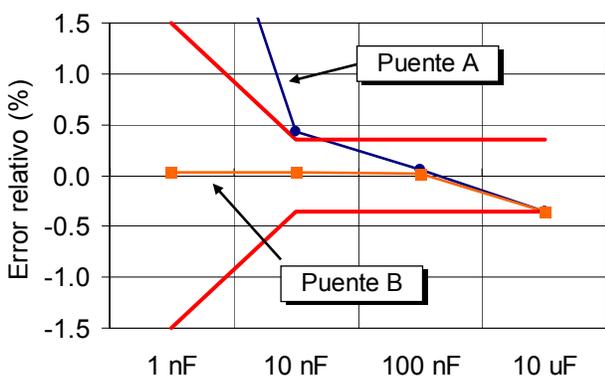
El ejercicio de medición realizado con el multímetro se repitió empleando dos puentes RLC distintos (A y B) con especificación básica de 0,1 % [5] y 0,02 % [6] respectivamente.

Las mediciones se llevaron a cabo a frecuencias de 1 kHz, 100 Hz, 50 Hz y 12 Hz de acuerdo a la tabla 1. No se realizaron mediciones a 10 mF debido a que el calibrador multifunciones no dispone de especificaciones para las frecuencias de medición mencionadas.

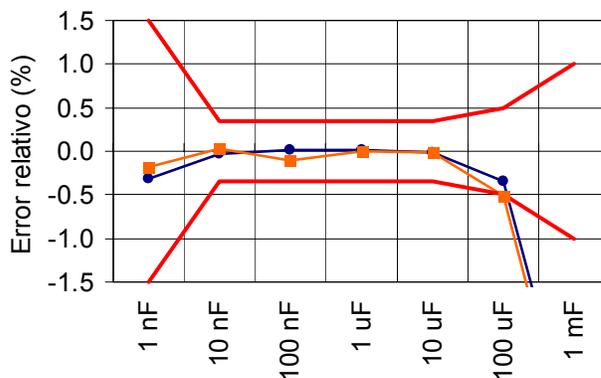
**Tabla 1 Mediciones realizadas con los puentes RLC A y B.**

Valor	Frecuencia / Puente RLC		
	1 kHz	100 Hz y 50 Hz	12 Hz
1 nF	A y B	A y B	B
10 nF	A y B	A y B	B
100 nF	A y B	A y B	B
1 µF	A y B	A y B	B
10 µF	---	A y B	B
100 µF	---	A y B	B
1 mF	---	A y B	B

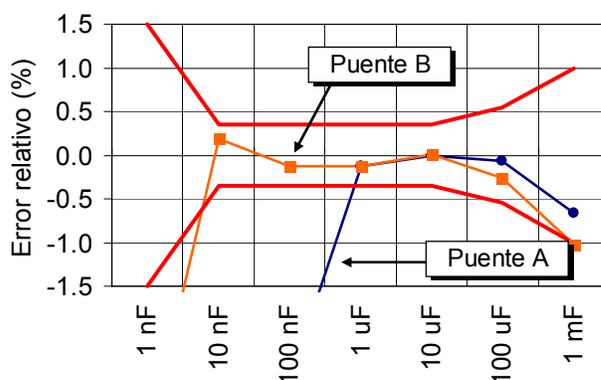
La figuras 7, 8, 9 y 10 muestran los resultados obtenidos a frecuencias de 1 kHz, 100 Hz, 50 Hz y 12 Hz respectivamente. La especificación de los puentes no se representa para dar claridad al gráfico.



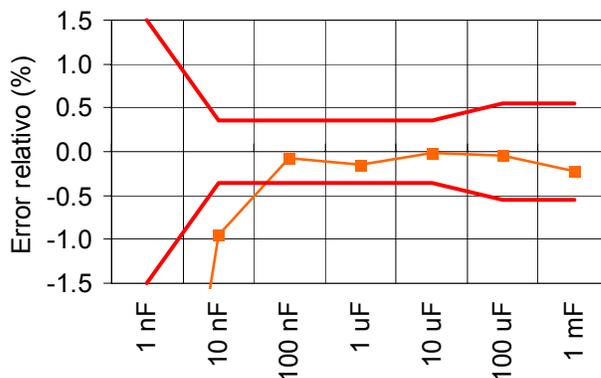
**Fig. 7 Error relativo de un calibrador determinado con dos puentes RLC a 1 kHz.**



**Fig. 8 Error relativo de un calibrador multifunción determinado con dos puentes RLC a 100 Hz.**



**Fig. 9 Error relativo de un calibrador multifunción determinado con dos puentes RLC a 50 Hz.**



**Fig. 10 Error relativo de un calibrador multifunción determinado con un puente RLC (B) a 12 Hz.**

En lo general, los dos puentes RLC coinciden en sus mediciones.

Se observó que el error relativo del calibrador multifunción depende del valor de la capacitancia simulada y de la frecuencia de medición.

El mejor desempeño del calibrador se mostró a una frecuencia de medición de 100 Hz, sin embargo sus especificaciones no se cumplieron para 1 mF.

El calibrador multifunción mostró errores relativos fuera de sus especificaciones bajo las siguientes condiciones:

- Para valores menores a 10 nF a 1 kHz para el puente A y a 50 Hz para el puente B.
- Valores menores a 1  $\mu$ F a 50 Hz para el puente A.
- Valores menores a 100 nF a 12 Hz para el puente B.

Bajo la última condición, se esperaba que las mediciones realizadas con el puente RLC fueran parecidas a las que se obtuvieron con el multímetro, dado que la frecuencia de ambas mediciones es muy cercana, lo cual no sucedió para valores menores a 100 nF.

Lo anterior permite determinar que el calibrador multifunciones además de ser sensible a la frecuencia de medición es sensible al principio de funcionamiento del medidor empleado

## VII. CONCLUSIONES

El calibrador multifunciones fue ideado para calibrar multímetros, sin embargo la calibración de puentes RLC con el calibrador es posible bajo las restricciones establecidas por el propio fabricante.

Los multímetros y los puentes RLC no tienen el mismo principio de funcionamiento para medir capacitancia. El calibrador multifunciones es sensible a este principio de medición, de tal modo que su comportamiento es distinto en cada caso, además de ser sensible a la frecuencia de medición de los puentes RLC.

De acuerdo con los resultados de las mediciones mostradas la calibración de multímetros empleando el calibrador multifunciones es una opción viable. En el caso de la calibración de puentes RLC, se requiere tener cuidado en la adecuada determinación de puntos de calibración y frecuencia de medición. En ambos casos se requiere considerar las especificaciones del medidor, de modo que se conserve una relación adecuada entre estas y las especificaciones del calibrador multifunciones.

Dado que las posibilidades de calibración de puentes RLC pudieran verse limitadas, el uso de patrones y décadas para este propósito es una mejor opción, sin embargo, se requiere considerar que los patrones y décadas tienen también limitantes de funcionamiento en cuanto a tensión y frecuencia de medición principalmente.

## VIII. REFERENCIAS

- [1] Thomas T., "The reality behind the theory of four-terminal LRC measurements", LRC Measurements ESI Inc., 1995.
- [2] Roberts P., "Maintaining the traceability of an active capacitance source", [http://assets.fluke.com/appnotes/Calibration/Maintaining\\_tibility\\_of\\_active\\_cap\\_srce.PDF](http://assets.fluke.com/appnotes/Calibration/Maintaining_tibility_of_active_cap_srce.PDF), 2005-05-13.
- [3] Fluke, "Fluke 5520A Operators Manual", <http://www.fluke.co.uk/comx/manuals.aspx>, 2005-05-13.
- [4] Fluke, "Fluke 179 Users Manual", <http://www.fluke.co.uk/comx/manuals.aspx>, 2005-05-13.
- [5] Fluke, "Versatil Automatic RCL meters Technical Specifications", [http://assets.fluke.com/images/products/fpm/bench\\_instruments/datapart\\_pm630x.pdf](http://assets.fluke.com/images/products/fpm/bench_instruments/datapart_pm630x.pdf), 2005-05-13.
- [6] QuadTech, "1693 Precision RLC Digibridge Instruction Manual", QuadTech, 1992.