



# SISTEMA DE MEDICIÓN TRAZABLE POR DIGITALIZACIÓN DE LA CURVA DE CARGA DE CAPACITORES UTILIZANDO MÍNIMOS CUADRADOS

N. Brunella<sup>(1) (2)</sup>, S. Villegas<sup>(1) (2)</sup>

(1) Proyecto Final – Ingeniería Electrónica – Universidad Tecnológica Nacional.

Av. Medrano 951, C1179AAQ Cdad. Autónoma de Buenos Aires

(2) Laboratorio de Impedancia – Departamento de Metrología Cuántica – Instituto Nacional de Tecnología Industrial.

Av. Gral. Paz 5445, San Martín, Bs. As., Argentina

## 1. Introducción

Este proyecto tiene como objetivo la implementación de un sistema de medición y calibración de instrumentos destinados a la medición y generación de capacidad eléctrica superior a 1 μF. Para ello, se analiza la tensión de la curva de carga, se procesan los datos mediante regresión lineal y se aplica el método de calibración por transferencia. El propósito es proporcionar trazabilidad con baja incertidumbre y ampliar los servicios de calibración ofrecidos actualmente por el INTI, sin necesidad de adquirir nuevo instrumental.

El sistema está diseñado para determinar la capacidad eléctrica de un capacitor de transferencia (Cx), conectado en serie con un resistor patrón (Rp). Estas magnitudes están relacionadas por la constante de tiempo (τ). Si bien el valor de Rp es conocido, τ no lo es; sin embargo, su cálculo es fundamental, ya que el cociente entre τ y Rp permite determinar la capacidad.

Para obtener τ, se mide la tensión en el capacitor (inicialmente descargado) mientras se carga tras la aplicación de un escalón de tensión mediante un generador de alta estabilidad al conjunto RC. Las mediciones, registradas por un multímetro calibrado de alta precisión, se analizan mediante un algoritmo de regresión lineal por mínimos cuadrados, el cual devuelve un valor estimado de τ. Finalmente, con τ y Rp, se obtiene el valor de Cx.

## 2. Modelo Matemático

Partiendo de la respuesta temporal de la tensión sobre el capacitor (Cx) con condiciones iniciales nulas:

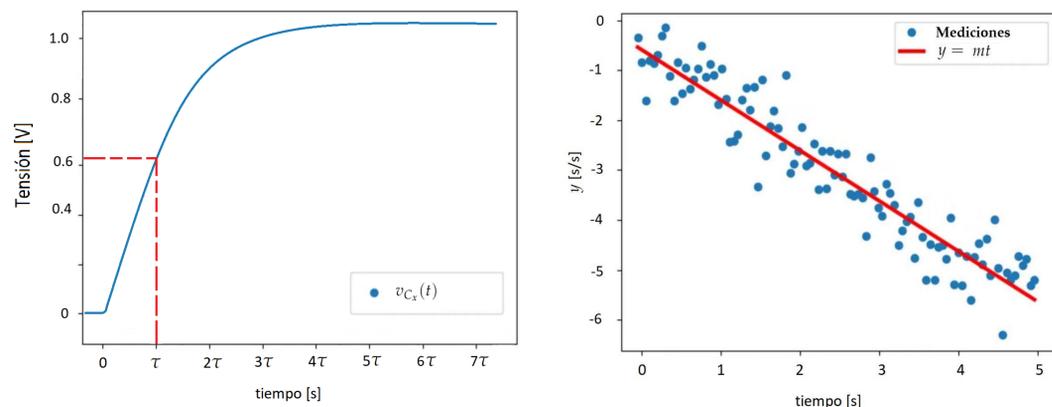
$$v_{C_x}(t) = \hat{V}_{gen}(1 - e^{-\frac{t}{R_p C_x}})$$

Nomenclatura:

- $v_{C_x}(t)$ : Tensión instantánea en el capacitor  $C_x$ .
- $\hat{V}_{gen}$ : Tensión pico del generador de tensión.
- $t$ : Tiempo.
- $R_p$ : Resistor patrón.
- $C_x$ : Capacitor de transferencia.

Despejando se obtiene una expresión de una recta a la cual se le aplica el cálculo de mínimos cuadrados:

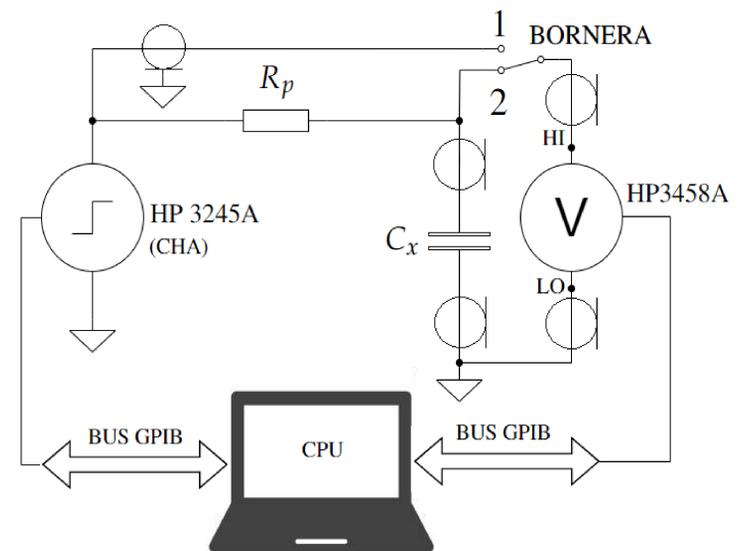
$$\ln\left(1 - \frac{v_{C_x}(t)}{\hat{V}_{gen}}\right) = -\frac{t}{R_p C_x} = -\frac{t}{\tau} = mt = y$$



$$C_x = \frac{\tau}{R_p} = \frac{-1}{m R_p}$$

## 3. Arreglo experimental

En la siguiente figura se puede observar un diagrama de las interconexiones:



### Instrumentos utilizados

Multímetro digital 8 1/2 HP3458	Generador de Señales HP3458A	Bornera de conexiones desarrollado po	Resistencia patrón de la marca General Radio
CPU con software de código abierto	Tierra de medición	Convertor USB/GPIB	Capacitor de transferencia

## 4. Resultados

Cx (μF)	Rp (kΩ)	τ (ms)	Uc (Cx)	Er[%]
0.1	1	0.1	0.03	-0.28
	2	0.2	0.03	-0.29
	5	0.5	0.02	-0.65
1	10	1	0.02	-0.71
	0.1	0.1	0.03	1.25
	1	1	0.02	-0.08
	2	2	0.03	-0.14
	5	5	0.03	-0.17
207	10	10	0.02	-0.17
	0.1	20.7	0.02	-0.12
	10	207	0.02	-0.48

τ [ms] : Tau

Uc (Cx) [%] : Incertidumbre combinada de Cx

Er[%] : Diferencia entre valor patrón y medido  
(Cpatrón - Cmedido)/Cmedido x 100%

## 5. Conclusiones

- Hay repetibilidad en las mediciones.
- Se pudo observar que el error relativo varía en función de la resistencia patrón que se le asigne, independientemente del modelo o del fabricante.
- Se puede observar también, que a partir de los 2 kΩ, el error empieza a mantenerse estable a medida que se varía la resistencia.
- Usando un capacitor de referencia ( de 0.1 y 1 μF) para luego corregir el error en el capacitor de transferencia (por ejemplo, el capacitor de 207 μF) se podrá hacer calibraciones mayores a 1 μF.