



Calibración Semiautomática de Calibradores Multifunción

Marta Porfiri ¹, Jorge Cioffi ²

¹ Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Buenos Aires, Argentina, mporfiri@inti.gob.ar

² Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Buenos Aires, Argentina, jcioffi@inti.gob.ar

Abstract: Two dedicated softwares for the calibration of multifunction calibrators Fluke 5700A/5720A¹ were developed at our Calibrators and Multimeters Lab.

The first one automates the calibration of AC Voltage and AC Current functions. The second one, intended for DC Voltage, DC Current and Resistance calibration, only needs a few external standards and instruments commonly used in metrology labs.

With these programs, we reduce the calibration time of precision multifunction calibrators from same weeks to about two days.

Keywords: calibradores multifunción, calibración automática, artifact calibration.

1. INTRODUCCIÓN

Los calibradores multifunción fueron introducidos en la década del 80 con el objeto de reunir en un instrumento la capacidad de proporcionar, por lo general y como mínimo, las cinco magnitudes eléctricas básicas: tensión continua (*DCV*), tensión alterna (*ACV*), corriente continua (*DCI*), corriente alterna (*ACI*) y resistencia (*R*), utilizadas para calibrar la mayoría de los multímetros digitales existentes.

Existe una gran variedad comercialmente disponible: desde los portátiles, empleados como instrumentos de trabajo en taller o planta de producción, hasta los de alta exactitud, que en muchos laboratorios de metrología e industriales son utilizados como instrumentos de referencia y constituyen un elemento fundamental dentro de la cadena de calibración de varias de las magnitudes eléctricas. Por esta razón, su calibración es de fundamental importancia.

La arquitectura de los calibradores de mayor exactitud está basada, fundamentalmente, en la incorporación de patrones internos de referencia, y un conversor analógico-digital de alta exactitud. Bajo el control de software interno y utilizando patrones externos, el equipo realiza los procedimientos metrologógicos necesarios para determinar los

apartamientos de sus salidas respecto de los valores nominales y efectúa las correcciones necesarias como para llevar al instrumento a su exactitud original. Durante este proceso, conocido como “artifact calibration”, los patrones internos del instrumento son calibrados automáticamente contra tres patrones externos (10 V, 1 Ω y 10 k Ω) y luego, tanto los ceros y ganancias de todos los componentes activos de tensión continua como los divisores internos utilizados para controlar los valores de salida de *DCV*, *DCI* y *R*, son referidos a esos patrones internos.

Tres Institutos Metrologógicos Nacionales – NMI (Holanda), SP (Suecia) y PTB (Alemania) evaluaron, en forma independiente, la trazabilidad de la “artifact calibration” en el calibrador Fluke 5700A Serie II. Los resultados del análisis respecto a la aceptabilidad de la misma están contenidos en un documento [1] donde, en lo que se refiere a las funciones *DCV*, *DCI* y resistencia, se concluye que de este procedimiento resulta una calibración trazable y no se requiere una verificación externa adicional. Para mantener al instrumento en estado de calibración, se recomienda una verificación bianual completa.

2. OBJETIVO

Aunque la “artifact calibration” para las funciones *DCV*, *DCI* y resistencia es un método de calibración válido, rápido y que no requiere mas que tres referencias externas, presenta algunas desventajas:

- no queda un registro de valores de calibración ni de incertidumbres, sino solo de los desvíos de las salidas respecto a los valores almacenados en la calibración inmediata anterior.
- estos desvíos se indican únicamente para valores seleccionados por la firma fabricante del instrumento como representativos. En el caso de *DCV* y *DCI*, los ceros y los valores positivo y negativo de pleno rango.
- para poder contar con valores de incertidumbres asociadas a los valores calibrados mediante este procedimiento – que resultan las especificaciones de exactitud dadas por el fabricante - se debe optar por efectuar el ajuste propuesto [2]. No siempre es deseable para el

¹ Los instrumentos comerciales son identificados en este trabajo a los efectos de especificar adecuadamente el procedimiento experimental. No implica su recomendación por parte de INTI, como tampoco indica que sean necesariamente los mejores disponibles para el propósito aquí presentado.

usuario realizar ajustes y modificar los valores de salida del calibrador obtenidos previamente.

Con lo expuesto, es posible construir la historia del calibrador, pero únicamente para unas pocas salidas del instrumento. No resulta posible incluir puntos diferentes a los propuestos por la firma fabricante. Adicionalmente, la “artifact calibration” no permite mejorar las incertidumbres asociadas con los valores de salida. Tanto la firma fabricante como los Institutos Metrológicos mencionados recomiendan una calibración completa del instrumento contra patrones externos al menos cada dos años [1], [2].

Pese a las ventajas de este método respecto al menor uso de patrones y al menor tiempo de calibración, las objeciones indicarían que la solución sería utilizar el método tradicional de calibración.

En nuestro laboratorio se confeccionaron distintos programas que automatizan la calibración de algunos modelos de calibradores multifunción enviados con mayor frecuencia por terceros para su calibración.

Presentamos aquí un programa que permite la calibración en continua de nuestros calibradores Fluke 5700A/5720A con pocos elementos, lo que lo asemeja a una “artifact calibration”, pero conservando un registro de valores e incertidumbres, sensiblemente menores que las especificaciones.

Se resumen en tablas para cada función, los puntos seleccionados para calibración, junto con sus respectivas incertidumbres típicas obtenidas.

3. MÉTODO

3.1. Tensión continua:

Para la calibración en tensión continua se hace uso de una referencia de tensión, un patrón Fluke 732B, y un multímetro Hewlett Packard 3458A, de alta estabilidad y resolución, utilizado como elemento de transferencia y aprovechando su excelente linealidad [3].

Una vez medidos los ceros de todos los rangos del multímetro colocando un cortocircuito en el extremo del cable con el que se van a hacer las mediciones, se conecta y mide la salida de 1,018 V de la referencia de tensión y se calcula la corrección relativa del multímetro y la incertidumbre asociada a la misma. Se invierten los cables de conexión en el zener y repite el procedimiento para -1,018 V. Una vez calculadas las correcciones del multímetro para un entorno de ± 1 V, se mide, corrige y calcula la incertidumbre de las salidas ± 100 mV del rango de 220 mV del calibrador.

Con los valores conocidos de ± 100 mV se corrige el rango de 100 mV del multímetro e inmediatamente se calibran las salidas de 10 mV, 50 mV y ± 100 mV del calibrador. A continuación se fija el rango de 2.2 V en el calibrador y se repiten, en el rango de 1 V previamente corregido del multímetro, las mediciones para ± 100 mV y se calibran las salidas de 200 mV, 500 mV y ± 1 V.

Con la salida de 10 V del zener, se corrige ± 10 V de los rangos de 10 V y 100 V del multímetro para, a continuación, calibrar los valores de ± 1 V, 2 V, 3 V, ..., ± 10 V y 11 V del

rango de 11 V del calibrador verificando - con ésto - su linealidad. A continuación se verifican ± 10 V y 20 V del rango de 22 V, y 50 V y ± 100 V del rango de 220 V.

Por último, con las salidas de ± 100 V recientemente calibradas se corrige el rango de 1000 V del multímetro y calibran las salidas de 200 V, 500 V, 700 V y ± 1000 V.

Tabla 1: Salidas a calibrar en DCV

Rango	Valor nominal	Incertidumbre (k=2) [μ V/V]
220 mV	10 mV	3,2
	50 mV	1,7
	± 100 mV	1,5
	200 mV	0,9
2,2 V	$\pm 0,1$ V	1,5
	0,5 V	0,6
	± 1 V	0,5
11 V	± 1 V	0,5
	2 V	0,7
	
	9 V	0,6
	± 10 V	0,6
	10,999999 V	0,6
22 V	± 10 V	0,6
	20 V	1,5
220 V	50 V	1
	± 100 V	1
	200 V	2,2
1000 V	500 V	2,1
	700 V	2,1
	± 1000 V	2,1

Una vez calibrados los puntos de tensión continua mostrados en la tabla 1, se presenta la opción de seguir con corriente continua o dar por concluida la calibración.

Respecto a la calibración en DCV, cabe puntualizar que desde hace más de 15 años la referencia zener es calibrada periódicamente contra un sistema basado en el efecto Josephson. A partir de los numerosos datos que se posee, mediante regresión lineal, se calcula el drift al momento de su uso. Tanto la temperatura del zener como la temperatura ambiente son medidas con termorresistencias y un multímetro HP34420A, y la incertidumbre asociada con cada valor medido del calibrador considera la influencia de

las variaciones de temperatura en cada uno de los instrumentos involucrados en la calibración.

3.2. Corriente continua:

Para conocer el valor de la corriente continua a calibrar se utilizan resistores patrón, a cuatro terminales, de valores adecuados para cada rango y el mismo multímetro digital utilizado en la calibración en *DCV* para medir la caída de tensión sobre los mismos.

Los valores de tensión medidos son corregidos utilizando las correcciones calculadas previamente. Con los valores calibrados de los resistores, corregidos por temperatura y las tensiones corregidas se calculan las corrientes correspondientes y sus incertidumbres asociadas [3].

Se debe disponer de resistores patrón de 10 k Ω , 1 k Ω , 100 Ω , 10 Ω , 100 m Ω y 10 m Ω . Los resistores son mantenidos en baño activo de aceite, termostatzado a una temperatura cercana a 20 °C, con estabilidad y gradientes de 0,01 °C aproximadamente. Tanto la temperatura del aceite como la ambiente son medidas con termorresistencias de platino.

El uso más frecuente del calibrador como fuente de corriente es para la calibración en la función *DCI* de multímetros, cuya resistencia de entrada es baja.

Tabla 2: Salidas a calibrar en *DCI*

Rango	Valor nominal	Resistor de carga [Ω]	Incertidumbre (k=2) [μ A/A]
220 μ A	$\pm 10 \mu$ A	10000	3
	$\pm 100 \mu$ A		2
	200 μ A		1
2,2 mA	0,3 mA	10000	1
	± 1 mA	1000	2
	2 mA		2
22 mA	3 mA	1000	2
	± 10 mA	100	2
	20 mA		1
220 mA	30 mA	10	1
	± 100 mA		2
	200 mA	0,1	4
2,2 A	0,3 A	0,1	3
	± 1 A		3
	± 2 A	0,01	9

Para la calibración del calibrador entonces, la situación ideal es utilizar un resistor lo suficientemente bajo como para simular su condición de uso, pero de valor adecuado

como para obtener una tensión fácilmente medible en el voltímetro, y adicionalmente mantener lo mas baja posible la tensión de compliancia del calibrador, a los efectos de no degradar su exactitud.

Para todos los valores de corriente de la tabla 2 se comprobó en forma práctica la influencia del resistor de carga. Se conectó inicialmente un HP3458A en modo amperímetro y en serie con éste el mismo resistor de carga allí indicado. Se efectuó una primera lectura en el amperímetro. A continuación se cortocircuitó el resistor y se tomó una segunda lectura en el instrumento. La diferencia entre ambas lecturas permite calcular, por efecto de esa carga, la contribución a la incertidumbre total de calibración de cada valor.

3.3. Resistencia:

Se continúa con la misma metodología: corregir el rango del multímetro con resistores patrón, medir las salidas del calibrador, mostradas en la tabla 3, con el mismo multímetro y corregir las lecturas con las correcciones de rango previamente calculadas [3].

Tabla 3: Salidas a calibrar en resistencia

Valor nominal	Incertidumbre (k=2) [$\mu\Omega/\Omega$]
1 Ω	2,9
1,9 Ω	7,6
10 Ω	2,4
19 Ω	4,4
100 Ω	1,1
190 Ω	0,8
1 k Ω	0,6
1,9 k Ω	0,6
10 k Ω	0,4
19 k Ω	0,6
100 k Ω	0,4
190 k Ω	3,7
1 M Ω	3,0
1,9 M Ω	13
10 M Ω	7,2
19 M Ω	90
100 M Ω	59

Con un patrón de 1 Ω se corrige el rango de 1 Ω del multímetro Hewlett Packard 34420A y el de 10 Ω del HP3458A, y con patrones de 100 Ω y 10 k Ω los rangos de 100 Ω , 10 k Ω y 100 k Ω del multímetro HP3458A. Para la

corrección de los rangos de 1 MΩ, 10 MΩ y 100 MΩ se utiliza una caja Hamon de 1 MΩ/paso, calibrada en configuración paralelo y usada luego en configuración serie-paralelo y serie. Una vez corregidos todos los rangos del multímetro, se calibran todas las salidas del calibrador.

Al igual que en la calibración en *DCV* y *DCI*, la temperatura ambiente es medida con termorresistencia de platino.

4. RESULTADOS:

Las tablas 1 a 3 muestran, para los puntos de calibración seleccionados, las incertidumbres típicas asociadas obtenidas con el método aquí presentado. En la mayoría de los casos éstas resultan inferiores a las declaradas como mejor capacidad de medición ante el Bureau Internacional de Pesas y Medidas [4]. Por esta razón, en julio de 2007 se solicitó al mencionado Organismo la incorporación de nuevos rangos y la modificación de las capacidades publicadas en el año 2004.

Las dos magnitudes restantes, tensión y corriente alterna, se calibran con el mayor nivel de exactitud utilizando termoconvertidores de tensión y corriente [3]. La desventaja de este método es el tiempo que demanda la calibración de ambas funciones. Se requiere aproximadamente una hora para calibrar un valor a una sola frecuencia.

Para ACV hemos verificado que, utilizando un voltímetro de alterna Fluke 5790A, calibrado contra estos termoconvertidores, no se degrada considerablemente la incertidumbre y reduce aproximadamente a la décima parte el tiempo de calibración del calibrador. Contamos en la actualidad con un programa que automatiza este proceso.

Para corriente alterna, con el mismo voltímetro, se mide sobre resistencias derivadoras de valores adecuados la caída de tensión producida por la corriente a calibrar [3]. A las consideraciones respecto a la influencia de la carga hechas para *DCI*, en el caso de *ACI* se añade el hecho que, debido a las impedancias puestas en juego, la tensión de compliancia resulta aún mayor a medida que aumenta la frecuencia [5].

5. CONCLUSIONES

La calibración manual – entendiendo por ésto no sólo las mediciones sino también los cálculos asociados – requiere más de dos semanas. Con la implementación de esta metodología hemos conseguido reducir notablemente este tiempo. La calibración en *DCV* y *DCI* insume aproximadamente dos horas y la de resistencia una hora y media.

Esta disminución en el tiempo de calibración permite controlar al instrumento a intervalos más reducidos y, de esta forma, seguir la evolución de cada punto con mayor frecuencia [6].

Otra ventaja adicional del método propuesto respecto a la calibración manual es la mejora en las incertidumbres de calibración. Es de hacer notar que, como resultado de la calibración, no sólo queda caracterizado el calibrador, sino también el multímetro.

La tabla 4 compara, para algunos puntos, las incertidumbres alcanzadas con los tres métodos

mencionados. Para la columna “artifact calibration” la incertidumbre fue calculada para el caso práctico más favorable: considerando una distribución rectangular dentro de los límites de exactitud a 90 días indicada por el fabricante para el valor de pleno rango [2].

Tabla 4: Comparación de incertidumbres de calibración

Valor nominal	Incertidumbre ($\times 10^{-6}$) ($k=2$)		
	“Artifact calibration”	Calibración manual	Calibración semiautomática
200 mV	12	4	0,9
200 V	8	8	2,2
1 kΩ	14	3	0,6
10 kΩ	13	3	0,4
20 mA	64	4	1
2 A	110	15	9

REFERENCIAS

- [1] Artifact Calibration – an evaluation of the Fluke 5700A Series II calibrator. Eindhoven, The Netherlands, November 1999 (ISBN 90-9013322-4)
- [2] 5700A Calibrator – Service Manual. P/N 791996, Feb. 1990. Rev.8, 5/95
- [3] Procedimiento Específico Electricidad PEE50 “Calibración de calibradores multifunción y multiproducto”. Plan de la calidad Electricidad – INTI Física y Metrología http://www.inti.gob.ar/fisicaymetrologia/sis_pce.htm
- [4] Bureau International des Poids et Mesures. <http://www.bipm.org/> BIPM Key Comparisons Database.
- [5] Klönz, M.: “AC current calibrators, are they correct?”. Conf. Digest, 20th Nordic Conf. on Meas. and Calibration, Stenungsund (Schweden), 1998, Vortrag Nr. 16
- [6] Calibrador multifunción Fluke 5700A – Diez años de mediciones. VIII Semetro. João Pessoa, Paraíba, Brasil, 17 a 19 de junio de 2009. A publicar.