

Calibrador multifunción Fluke 5700A - Diez años de mediciones

Jorge Cioffi¹, Marta Porfiri²

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

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

Abstract: A multifunction calibrator Fluke 5700A¹ has been measured during ten years at the Multimeters and Calibrators Laboratory of the Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI).

With the use of the many data obtained due to systematical calibrations, the uncertainty of the measured values has been significantly reduced. In most of the magnitudes and ranges, we obtained a reduction of, at least, one tenth of the accuracy specifications published by the manufacturer.

Keywords calibradores multifunción, calibración, regresión lineal, extrapolación.

1. INTRODUCCIÓN

Los calibradores multifunción de alta exactitud son instrumentos fundamentales en un laboratorio de metrología. Su alta estabilidad, sumado a la ventaja de poder obtener distintas salidas para las magnitudes eléctricas básicas tensión continua (*DCV*), corriente continua (*DCI*), tensión alterna (*ACV*), corriente alterna (*ACI*) y resistencia (*R*) lo convierten en el instrumento ideal para la calibración de, por ejemplo, multímetros digitales.

2. OBJETIVO

Con el advenimiento de una nueva generación de instrumental de medición, con especificaciones de exactitud cada vez más exigentes, es importante todo esfuerzo que tienda a mejorar la relación de incertidumbres entre el instrumento de referencia – en este caso el calibrador – y el sometido a calibración – el multímetro.

Con este objetivo y la historia de calibraciones de nuestro calibrador Fluke 5700A, se procuró sistematizar la información caracterizando las distintas salidas, ver su evolución temporal y – en lo posible – poder mejorar las incertidumbres declaradas por el fabricante.

3. MÉTODOS

3.1. Método manual:

Hasta el año 2006 todas las mediciones fueron realizadas en forma manual. Ésto implicaba no sólo la toma de datos sino también los cálculos correspondientes, lo que insumía un tiempo considerable [1]

3.1.1. Tensión continua:

Se calibran tensiones comprendidas entre 100 mV y 1000 V. Para las salidas de 1 V y 10 V se probaron distintos métodos. Uno de ellos por oposición contra las salidas de patrones electrónicos de tensión (zener Fluke 732B), calibradas contra el sistema basado en el efecto Josephson. (Figura 1).

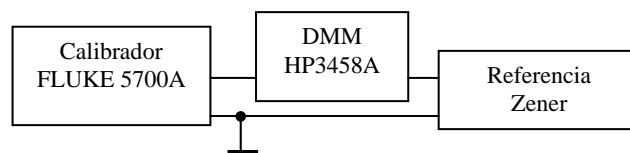


Figura 1: Calibración de 1 V y 10 V

Para 100 V, se intercala en el circuito anterior un divisor de tensión Kelvin Varley Fluke 720A (Figura 2).

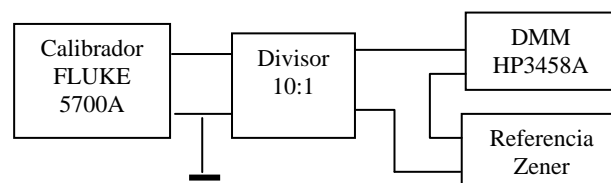


Figura 2: Calibración de 100 V

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.

Para 1000 V, la referencia era, inicialmente, 100 V proveniente de un calibrador Fluke 335D y el mismo divisor. Ambos instrumentos fueron reemplazados, en una primera instancia, por un divisor Fluke 752A y el zener de

10 V y más tarde por el anterior divisor Kelvin Varley 720A y un calibrador Fluke 5720A (Figura 3).

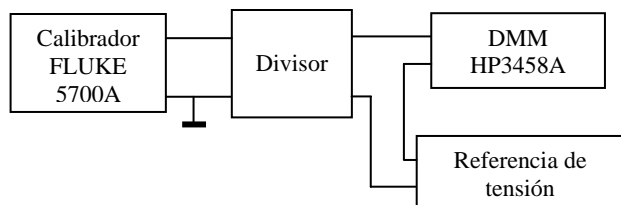


Figura 3: Calibración de 1000 V

La calibración de 100 mV se efectúa en dos pasos. Primeramente se calibra el rango de 100 mV de un multímetro Hewlett Packard 3458A con la salida de 1 V previamente calibrada del calibrador, dividida por el divisor Kelvin Varley en relación 10:1. Luego, con el rango del multímetro corregido, se mide y calibra la salida del calibrador (Figura 4).

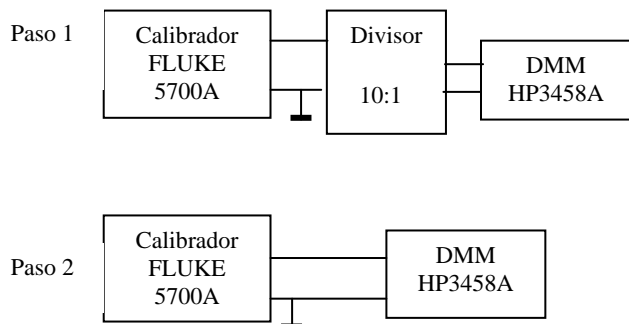


Figura 4: Calibración de 100 mV

3.1.2. Corriente continua:

Todos los rangos son calibrados midiendo la caída de tensión con un voltímetro HP3458A, provocada al circular la corriente a calibrar sobre resistores a cuatro terminales de valores adecuados (Figura 5).

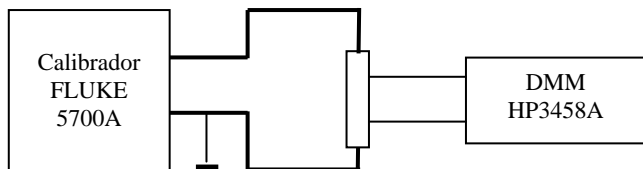


Figura 5: Calibración en DCI

En la elección de los resistores se consideró la posible variación en la corriente de salida del calibrador con la carga, teniendo en cuenta que el uso principal del mismo en esta función es para la calibración en DCI de multímetros. Como amperímetro, los multímetros presentan una baja

resistencia de entrada y con esta condición de carga es deseable calibrar el calibrador. Existe una condición de compromiso que es, manteniendo la carga baja obtener una señal razonable a ser medida por el voltímetro, pero no tan alta como para que la caída de tensión sobre el resistor degrade la calibración (tensión de compliancia) y pueda entonces asegurarse la mejor exactitud asociada con el valor calibrado.

Se calibran corrientes comprendidas entre 100 μ A y 2 A.

3.1.3. Resistencia:

Se calibran todas las salidas comprendidas entre 1 Ω y 100 M Ω . Para valores entre 1 Ω y 19 k Ω inclusive, se utilizó un puente comparador de corrientes, inicialmente Guildline 9975, reemplazado posteriormente por otro, marca Measurement International 6010B.

Los valores superiores, hasta 100 M Ω se miden con un multímetro Hewlett Packard 3458A, cuyos rangos son corregidos previamente utilizando resistores patrón de valores adecuados.

3.1.4. Tensión alterna:

Entre 100 mV y 1000 V, contra conversores térmicos de tensión (Figura 6).

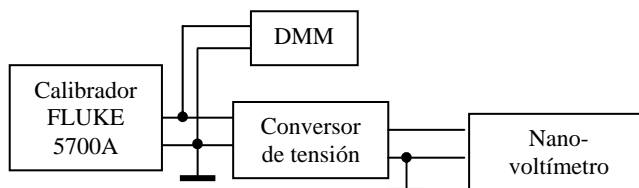


Figura 6: Calibración en ACV

El valor eficaz de la tensión alterna que se quiere calibrar produce un calentamiento en el calefactor del termoconversor seleccionado. Esta temperatura es sensada con termocuplas, y la f.e.m. de salida es medida con un nanovoltímetro. Luego se repite este proceso, pero aplicando una tensión continua de referencia calibrada previamente y se ajusta su valor hasta obtener la misma indicación en el nanovoltímetro. Se aplica la ACV y la DCV en polaridad directa e inversa, en una secuencia establecida y se hacen un mínimo de 10 repeticiones, de las que se determina un valor promedio de la ACV, con una desviación estándar.

Los valores de tensión comprendidos entre 100 mV y 10 V inclusive, son calibrados para frecuencias desde 10 Hz a 1 MHz; mayores de 10 V y hasta 100 V inclusive, de 10 Hz a 200 kHz; mayores de 100 V y hasta 200 V inclusive, de 10 Hz a 20 kHz y mayores de 200 V y hasta 1000 V, entre 50 Hz y 1 kHz.

3.1.5. Corriente alterna:

Se utilizan termoconvertidores de corriente (Figura 7).

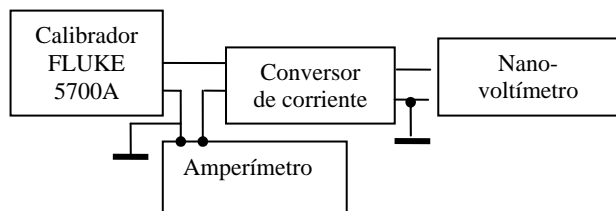


Figura 7: Calibración en ACI

Al igual que en *DCI*, se considera el efecto de la carga conectada a la salida del calibrador. En esta función cabe mencionar que su efecto se incrementa al aumentar la inductancia y la frecuencia [2].

El procedimiento de calibración con termoconvertidores de corriente es similar al descrito para ACV, pero usando la *DCI* calibrada previamente como referencia.

Los valores de corriente comprendidos entre 3 mA y 2 A son calibrados para frecuencias entre 10 Hz y 10 kHz.

3.2. Método automático:

A partir de 2006 se implementó un sistema semiautomático para la calibración de las funciones *DCV*, *DCI* y resistencia y dos más para ACV y ACI [1], [3].

3.2.1. Tensión continua:

Se utiliza un multímetro HP3458A, dada su alta resolución, estabilidad y linealidad, corrigiendo, inicialmente, su rango de 1 V con la salida de 1,018 V de la referencia de tensión de estado sólido Fluke 732B. En ese rango se calibra la salida de 100 mV del calibrador, que luego es usada para corregir el rango de 100 mV del multímetro. Los rangos de 10 V y 100 V son corregidos con la salida de 10 V del zener. Para corregir el rango de 1000 V se calibra previamente la salida de 100 V del calibrador para ser utilizada inmediatamente como referencia.

Con todos los rangos del multímetro corregidos, se calibran las salidas restantes del calibrador. Una ventaja adicional de este método semiautomático respecto del anterior es que no se necesita usar un divisor Kelvin Varley calibrado antes de su uso.

3.2.2. Corriente continua:

Las únicas modificaciones que se hicieron respecto al método manual, fueron incorporar el valor de 10 μ A y automatizar las mediciones y cálculos.

3.2.3. Resistencia:

Nuevamente, se utiliza el multímetro HP3458A como elemento de transferencia. Para ello, se corrigen todos sus rangos con resistores patrón de valores adecuados y se miden luego todas las salidas del calibrador.

Tanto para *DCV*, como para *DCI* y *R*, las temperaturas son medidas con termorresistencias de platino a los efectos de calcular el valor de los patrones a la temperatura medida e incorporar en el cálculo de incertidumbre la influencia en los instrumentos debida a variaciones de la misma.

3.2.4. Tensión alterna:

Para tensión alterna existe la alternativa de utilizar termoconvertidores, método exacto pero muy demandante en

tiempo, y calibrar los mismos puntos descritos en el método manual, o un voltímetro de alterna Fluke 5790A calibrado contra ellos, sin degradar significativamente su exactitud y teniendo como ventaja una reducción considerable en tiempo.

Para minimizar el efecto de carga producido por la impedancia de los cables, la longitud de éstos se hace tan corta como sea posible o se evita su uso haciendo conexiones directas entre los instrumentos (Figura 8).



Figura 8: Conexión para ACV

Se obtienen valores de la tensión de salida del calibrador Fluke 5700A para las distintas condiciones de carga dadas por los diferentes voltímetros comúnmente calibrados en el laboratorio. Ésto tiene mayor importancia a frecuencias superiores a 100 kHz.

3.2.5. Corriente alterna:

También existen dos alternativas para calibrar los puntos de corriente alterna: con termoconvertidores de corriente o midiendo con el mismo voltímetro Fluke 5790A la caída producida sobre resistores derivadores al circular la corriente alterna a calibrar, siendo válidas las mismas consideraciones que para tensión alterna.

4. RESULTADOS

Para todas las funciones y cada uno de los valores calibrados, se calcula la línea de regresión correspondiente [4]. De ésta puede calcularse por extrapolación el valor estimado y su incertidumbre asociada al momento de su uso. La incertidumbre es calculada como la suma cuadrática de la incertidumbre asociada al último valor medido y la asociada al valor estimado mediante la curva de regresión.

Tabla 1: 1 V DC. Valores calibrados

Fecha	V medida [V]	U [μ V/V] (k=2)
Abr-01	0,99999702	1,00
Ene-02	0,99999695	1,00
Ago-02	0,99999720	1,00
Ago-03	0,99999676	0,92
Mar-04	0,99999598	0,97

Fecha	V medida [V]	U [μV/V] (k=2)
Dic-04	0,99999589	0,95
Jun-05	0,99999552	0,70
Sep-06	0,99999569	0,50
Ago-08	0,99999474	0,50

A modo de ejemplo de aplicación, en la Tabla 1 se muestran los valores de calibración e incertidumbres para 1 V DC.

La especificación a un año dada por el fabricante [5] para el rango de 2,2 V es de $\pm (8 \mu\text{V/V de la salida} + 1,2 \mu\text{V})$, lo que implica para 1 V de salida una incertidumbre expandida ($k=2$) de $10,6 \mu\text{V/V}$, un orden superior a la incertidumbre “histórica” máxima de calibración de ese punto: $1,0 \mu\text{V/V}$.

Si consideramos la evolución de los datos hasta el anteúltimo punto (Sep-06) obtenemos la curva de ajuste mostrada en la Fig. 9.

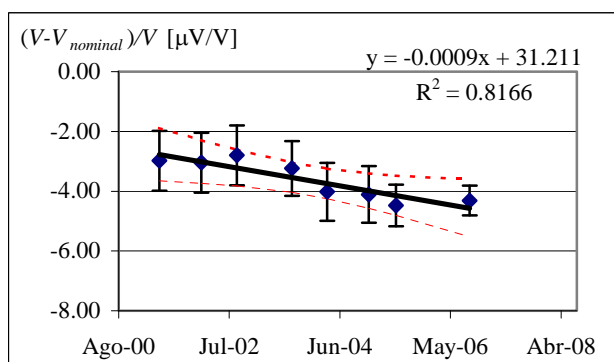


Fig. 9: Curva de ajuste de los ocho primeros valores medidos de 1 VDC.

Supongamos ahora que a la fecha de la última calibración (Ago-08, todavía no hecha) aplicamos 1 V del calibrador a un multímetro. Para determinar el valor aplicado tenemos dos posibilidades:

- usar el valor obtenido en la última calibración, (Sep - 06), igual a 0,9999957 V con la incertidumbre expandida de $10,6 \mu\text{V/V}$ calculada a partir de las especificaciones de exactitud indicadas por el fabricante, o
- con los datos de la Fig. 9, extrapolar el valor a agosto de 2008 y combinar cuadráticamente la incertidumbre de la última calibración con la del ajuste. Obtenemos entonces $0,99999478 \text{ V}$ y $0,69 \mu\text{V/V}$ ($k=2$).

Comparando ambos valores con el obtenido por calibración en agosto de 2008 (Tabla 1): $0,99999474 \text{ V}$ y $0,50 \mu\text{V/V}$ vemos que la segunda opción es la más adecuada. Cabe destacar para este ejemplo, que la

concordancia entre el valor extrapolado y el medido resulta de $0,04 \mu\text{V/V}$.

En el caso de corriente continua, analicemos el punto de $-100 \mu\text{A}$. La especificación a un año dada por el fabricante [5] para el rango de $220 \mu\text{A}$ es de $\pm (60 \mu\text{A/A de la salida} + 10 \text{ nA})$, lo que implica para $-100 \mu\text{A}$ de salida una incertidumbre expandida de $185 \mu\text{A/A}$, casi dos órdenes superior a la incertidumbre “histórica” máxima de calibración de ese punto: $2,5 \mu\text{A/A}$.

En la tabla 2 se muestran valores de calibración para $-100 \mu\text{A}$.

Tabla 2: $-100 \mu\text{A DC}$. Valores calibrados

Fecha	I medida [μA]	U [μA/A] (k=2)
Abr-01	-99,99867	2,5
Jul-02	-99,99838	2,0
Ago-03	-99,99820	2,2
Nov-04	-99,99810	1,7
Sep-06	-99,99807	2,5
Ago-08	-99,99794	1,5

Si consideramos la evolución de los datos hasta el anteúltimo punto (Sep-06) obtenemos la curva de ajuste mostrada en la Fig. 10.

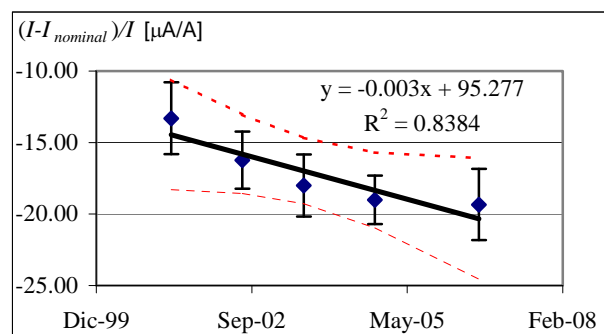


Figura 10: Curva de ajuste de los cinco primeros valores medidos de $-100 \mu\text{A}$.

Con el mismo razonamiento que para 1 VDC, a agosto de 2008 obtenemos, en el primer caso $-99,9981 \mu\text{A}$ y $185 \mu\text{A/A}$, y en el segundo $-99,99776 \mu\text{A}$ y $3,3 \mu\text{A/A}$.

Ambos valores tienen desvíos equivalentes respecto al valor $-99,99794 \mu\text{A}$ obtenido por calibración, pero las incertidumbres son notablemente diferentes.

Si tomamos el caso de 1Ω , como ejemplo para resistencia, en la tabla 3 se muestran los valores históricos de calibración.

Tabla 3: Valores de calibración para 1 Ω

Fecha	R medida [Ω]	U [$\mu\Omega/\Omega$] ($k=2$)
Abr-97	0,9999409	3,2
Mar-98	0,9999438	2,8
Ago-98	0,9999296	3,1
Feb-00	0,9999196	2,5
Jun-00	0,9999206	2,7
Abr-01	0,9999179	1,6
Jun-02	0,9998982	1,9
Ago-03	0,9998970	1,9
Nov-04	0,9998916	1,4
Oct-06	0,9998799	2,8
Ago-08	0,9998767	2,9

El fabricante indica a un año una exactitud de $\pm 110 \mu\Omega/\Omega$ [5]; ésto es, una incertidumbre expandida de $127 \mu\Omega/\Omega$.

La figura 11 muestra la curva de ajuste de los valores medidos hasta octubre de 2006.

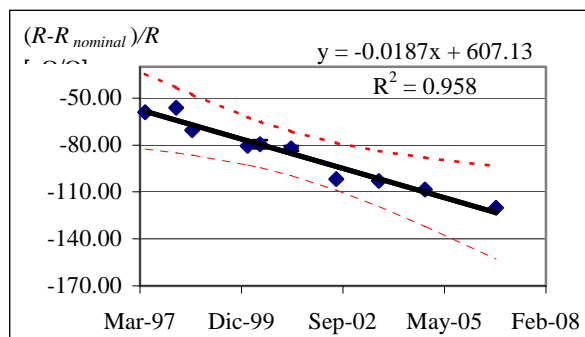


Figura 11: Curva de ajuste para 1 Ω

A partir de los datos que se posee, las dos alternativas a agosto de 2008 resultan:

- Valor de calibración a octubre de 2006 e incertidumbre a un año especificada por el fabricante: $0,999880 \Omega$ y $127 \mu\Omega/\Omega$.
- Valor extrapolado a agosto de 2008 e incertidumbre combinada de calibración a octubre de 2006 y de ajuste a agosto de 2008: $0,999864 \Omega$ y $14 \mu\Omega/\Omega$

Por último, la tabla 4 presenta los valores obtenidos para la calibración de 10 V @ 1 kHz y la figura 12 el ajuste de los nueve primeros puntos medidos:

Tabla 4: Calibración de 10 V @ 1 kHz

Fecha	V medida [V]	U [$\mu V/V$] ($k=2$)
Nov-99	10,00011	10
Nov-00	10,00004	10
May-01	10,00003	10
May-02	10,00002	10
Set-03	10,00003	10
Oct-04	10,00002	10
Oct-05	10,00002	11
Oct-06	10,00003	11
Nov-07	10,00004	11
Nov-08	10,00002	11

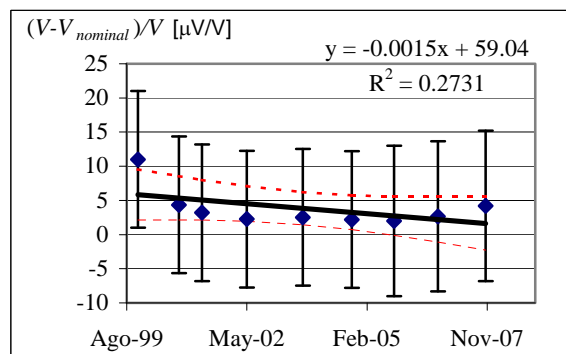


Figura 12: Curva de ajuste para 10 V @ 1 kHz

El fabricante especifica a un año una exactitud de $\pm 92 \mu V/V$ [5], es decir, una incertidumbre expandida de $106 \mu V/V$.

La alternativa de utilizar a noviembre de 2008 el valor de calibración obtenido en noviembre de 2007 y la incertidumbre indicada por el fabricante resulta: $10,00004 V$ y $106 \mu V/V$, mientras que el valor extrapolado a esa fecha y su incertidumbre asociada es: $10,00001 V$ y $11 \mu V/V$. El valor efectivamente medido a esa fecha resulta prácticamente equidistante de ambos, pero la incertidumbre disminuye un orden.

5. CONCLUSIONES

La tabla 5 muestra las especificaciones a un año dadas por el fabricante junto con las estabilidades observadas durante los períodos indicados, para los puntos tomados como ejemplo.

Tabla 5: Valores comparativos

Valor nominal	Período medido	Especificación a un año	Estabilidad
1 V	7,5 años	$\pm 9,2 \mu\text{V/V}$	$\pm 1,2 \mu\text{V/V}$
- 100 μA	7,5 años	$\pm 160 \mu\text{A/A}$	$\pm 3,7 \mu\text{A/A}$
1 Ω	11,5 años	$\pm 110 \mu\Omega/\Omega$	$\pm 33,5 \mu\Omega/\Omega$
10 V @ 1 kHz	9 años	$\pm 92 \mu\text{V/V}$	$\pm 45 \mu\text{V/V}$

Sobre la base del análisis y procesamiento de los datos históricos se concluye que resulta posible mejorar el conocimiento de los valores aplicados por el instrumento durante el período que media entre calibraciones, como así también sus incertidumbres asociadas.

REFERENCIAS

- [1] 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
- [2] Klonz, M.: “AC current calibrators, are they correct?” In: Conf. Digest, 20th Nordic Conf. on Meas. and Calibration, Stenungsund (Schweden), 1998, Vortrag Nr. 16
- [3] M. Porfiri, J. Cioffi “Calibración semiautomática de calibradores multifunción” VIII Semetro. João Pessoa, Paraíba, Brasil, 17 a 19 de junio de 2009. A publicar.
- [4] Draper N.R., Smith H “Applied regression analysis” J. Willey & Sons, Inc. N York, London, Sidney
- [5] Fluke Corporation. 5700A Multifunction Calibrator .Operator Manual P/N 791905