

“COMPROBACION DE LA MEDICION DE RESISTENCIA EN EL INSTRUMENTO UTILIZADO EN LA COMPARACION DE MAGNITUDES ELECTRICAS REALIZADA EN 2006-2007”

Ing. Juan E. Garay Moreno
Servicios Profesionales en Instrumentación, S.A. de C.V.
Norte 42A No 3618, Col. 7 de Noviembre, México, D.F. C.P. 07840
Tel: (55) 5537 0862, Fax: (55) 5537 7652, sepr1@netmex.com

Resumen: Por los resultados obtenidos en la medición de resistencia eléctrica en la comparación de magnitudes eléctricas usando como patrón viajero un multímetro 6 ½ dígitos realizada del 2006 al 2007, se realizó un estudio del Patrón Viajero utilizando diferentes instrumentos como referencia para determinar las posibles causas que originaron los resultados obtenidos. El laboratorio Servicios Profesionales en Instrumentación S.A. de C.V., (SEPRI) utilizó como referencia los siguientes patrones: Calibrador Wavetek 4808, Fluke 5700A, Fluke 5520A, Fluke 5500A y Resistencias patrón; en este documento se analizan los resultados para obtener conclusiones.

1. INTRODUCCIÓN

En la comparación realizada de mayo del 2006 a junio del 2007 entre los laboratorios acreditados y en proceso de acreditación en magnitudes eléctricas, solo el 20 % (5 de 26) de los laboratorios acreditados lograron resultados satisfactorios en la medición de resistencia eléctrica razón por la cual se pensó en un posible problema en el multímetro de 6 ½ dígitos utilizado como patrón viajero, tomando en cuenta lo anterior, el laboratorio piloto realizó un estudio del comportamiento del multímetro en medición de resistencia eléctrica utilizando diferentes patrones para realizar la calibración del mismo y con esto analizar los resultados obtenidos.

2. INSTRUMENTOS DE REFERENCIA

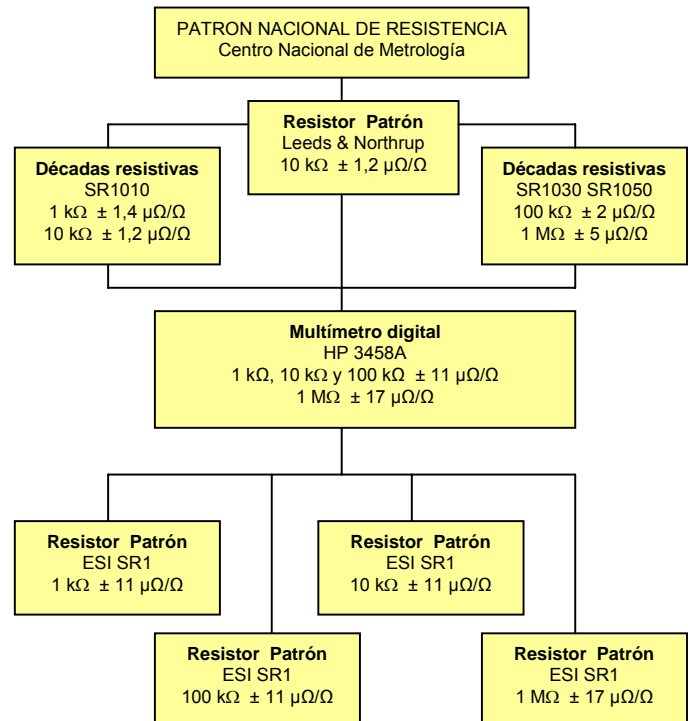
Con el propósito de realizar un estudio muy confiable, se utilizó como patrones los siguientes instrumentos:

Calibrador multifunción Wavetek 4808
Calibrador multifunción Fluke 5700A
Calibrador multifunciones Fluke 5520A
Calibrador multifunciones Fluke 5500A
Resistor patrón Leede&Northrup 10 kΩ
Multímetro 3458A
Resistores Patrón ESI para transferencia

3. DESCRIPCION

• Trazabilidad de la medición

La siguiente cadena muestra la trazabilidad de los resistores patrón utilizados como referencia para propósito de esta comprobación, la caracterización se realizó por medición directa con multímetro HP3458A.



Trazabilidad de los resistores de referencia

• **Estabilización**

Para minimizar la contribución de incertidumbre por condiciones ambientales, los instrumentos utilizados como referencia y el multímetro Solartron 7151 (IBC) se mantuvieron energizados durante 24 horas bajo las mismas condiciones antes de realizar las mediciones, los resistores patrón se caracterizaron a $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ antes de utilizarse.

• **Diagramas de interconexión con resistores patrón.**

Para las mediciones de $1\text{ k}\Omega$, $10\text{ k}\Omega$ y $100\text{ k}\Omega$ se utilizó el método de 5 terminales mostrado en la figura 1.

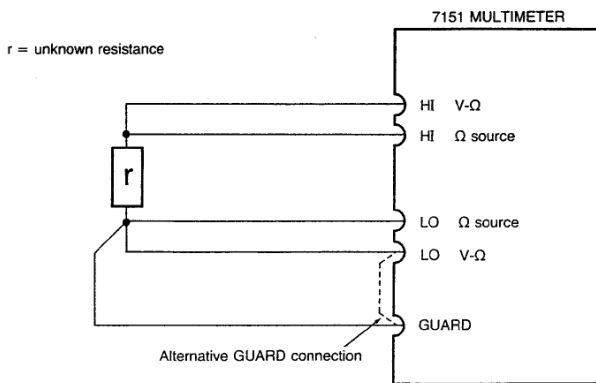


Fig 1.- Conexión a 5 terminales del IBC

Las terminales indicadas se encuentran en la parte posterior del multímetro, Input Hi (amarilla), Input Lo (azul), Sense Hi (roja), Sense Lo (negra).

Para la medición de $1\text{ M}\Omega$ se utilizó el método de tres terminales mostrado en la figura 2.

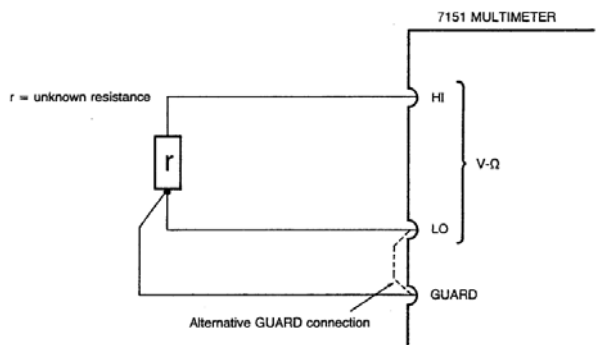


Fig 2.- Conexión de tres terminales del IBC

• **Conexiones a 5 terminales en los calibradores**

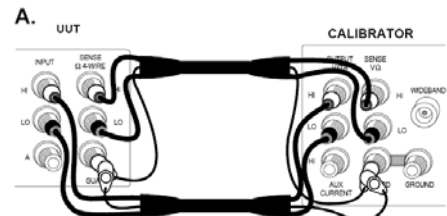
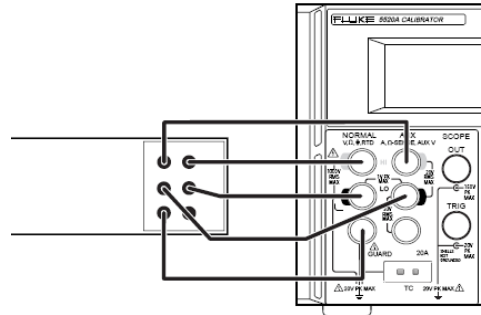


Fig 3.- Conexiones a 5 terminales

• **Conexiones a 3 terminales en los calibradores**

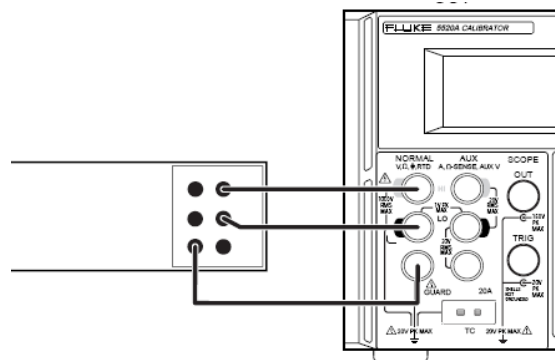


Fig 4.- Conexión a 3 terminales

• **Cables utilizados**

Las conexiones mostradas en las figuras de la 1 a la 4, solo son ilustrativas para mostrar los puntos de interconexión.

Para la conexión de 5 terminales se utilizó un cable doble par trenzado de cobre con blindaje y aislamiento de teflón de bajas FEM's térmicas con terminales tipo banana.

Para la conexión de 3 terminales se utilizó un cable de un par trenzado de cobre con blindaje y aislamiento de teflón de bajas FEM's térmicas con terminales tipo banana.

• Medición con el IBC y consideraciones

La medición se realizó de la siguiente forma:

- ✓ Se configuró el multímetro en resistencia con el botón 6 x 9 activado.
- ✓ Con la conexión en 5 terminales aplicando 0 Ω se le manda el nulo al multímetro.
- ✓ Aplicando cada uno de los valores de: 1 k Ω , 10 k Ω y 100 k Ω ; se tomaron 10 mediciones.
- ✓ De igual manera, con la conexión a 3 terminales aplicando 0 Ω se le manda el nulo al multímetro.
- ✓ Aplicando 1 M Ω , se tomaron 10 lecturas.
- ✓ En cada uno de los casos se reportó el promedio de las lecturas.
- ✓ Como valor de referencia, para asegurar la trazabilidad al Patrón Nacional en el CENAM, se corrigió el valor nominal al valor de calibración del instrumento utilizado como patrón.
- ✓ Se tomo como contribución de incertidumbre de cada calibrador (instrumento de referencia) su estabilidad a 1 año indicada por el fabricante.
- ✓ En cada caso, se agrego la variabilidad de las mediciones del IBC.

• Incertidumbre del IBC

La contribución de incertidumbres al calibrar el multímetro son:

- a) La incertidumbre del resistor de referencia.
- b) La variabilidad del IBC durante su calibración
- c) La resolución del IBC.

En la tabla 1 se muestra la incertidumbre de cada valor.

Valor nominal	U_{Resist} k = 1 $\mu\Omega/\Omega$	$U_{Resol.}$ k = 1 $\mu\Omega/\Omega$	U_{Variab} k = 1 $\mu\Omega/\Omega$	U_{Exp95} k = 2 $\mu\Omega/\Omega$
1 k Ω	5,5	0,288	2,32	12
10 k Ω	5,5	0,288	0,567	11
100 k Ω	5,5	0,288	2,24	14
1 M Ω	8,5	0,288	5,37	20

Tabla1.- Incertidumbre con cada valor resistivo.

4. RESULTADOS

o Valor de referencia

Para poder evaluar el comportamiento del multímetro Solartron modelo 7151 con cada uno de los calibradores, se tomó como referencia los valores obtenidos con los resistores patrón ESI. Los resultados obtenidos en los puntos de la comparación se muestran en la tabla 2.

Valor de Referencia k Ω	Valor indicado 7151 k Ω	Error relativo $\mu\Omega/\Omega$	Uexp k =2 $\mu\Omega/\Omega$
1,000080	1,000664	584	12
10,000202	10,00289	269	11
100,00090	100,0205	196	14
1000,0522	1000,276	224	20

Tabla 2.- Resultados obtenidos con resistores ESI.

o Valores obtenidos con el calibrador Wavetek 4808

En este caso el calibrador tiene resistores físicos, los resultados obtenidos incluyendo todas las fuentes de incertidumbre, se muestran en la tabla 3.

Valor de Referencia k Ω	Valor indicado 7151 k Ω	Error relativo $\mu\Omega/\Omega$	Uexp k =2 $\mu\Omega/\Omega$
1,000038	1,000625	587	11
10,000450	10,00322	277	8,7
100,00490	100,0243	194	11
1000,0186	1000,239	220	20

Tabla 3.- Resultados con el Wavetek 4808

o Valores obtenidos con el calibrador Fluke 5700A

También el calibrador tiene resistores físicos y los resultados obtenidos, se muestran en la tabla 4.

Valor de Referencia k Ω	Valor indicado 7151 k Ω	Error relativo $\mu\Omega/\Omega$	Uexp k =2 $\mu\Omega/\Omega$
0,999927	1,000487	570	14
9,999668	10,00228	261	12
99,99669	100,0172	205	14
1000,0390	1000,258	219	20

Tabla 4.- Valores obtenidos con el Fluke 5700A

○ **Valores obtenidos con el calibrador Fluke 5520A**

En este caso el calibrador realiza una simulación de resistencia, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 5.

Valor de Referencia kΩ	Valor indicado 7151 kΩ	Error relativo μΩ/Ω	Uexp k =2 μΩ/Ω
0,999996	1,000591	595	24
10,000024	10,00261	258	23
100,00003	100,0222	222	24
1000,0048	1000,247	242	26

Tabla 5.- Valores obtenidos con el Fluke 5520A

○ **Valores obtenidos con el calibrador Fluke 5500A**

Este calibrador también funciona como simulador de resistencia, los resultados obtenidos con el calibrador Fluke 5500A, se muestra en tal Tabla 6.

Valor de Referencia kΩ	Valor indicado 7151 kΩ	Error relativo μΩ/Ω	Uexp k =2 μΩ/Ω
1,000053	1,000541	487	120
10,000502	10,00243	192	120
100,00106	100,0251	240	130
1000,0082	1000,330	322	160

Tabla 6.- Valores obtenidos con el Fluke 5500A

4. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

El análisis y evaluación de los resultados se realizó calculando el error normalizado (En) establecida en la guía ISO/IEC 43-1, para un nivel de confianza de aproximadamente 95 % o k = 2, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$E_n = \left| \frac{V_{lab} - V_{ref}}{\sqrt{U_{95lab}^2 + U_{95ref}^2}} \right|$$

A continuación se presentan cada uno de los resultados obtenidos utilizando los calibradores, se compara cada uno de ellos con los valores de

referencia obtenidos con los resistores patrón, evaluándolos con el error normalizado En.

➤ Referencia VS Wavetek 4808

Valor nominal	Referencia μΩ/Ω		Wavetek 4808 μΩ/Ω		En
	Eref	Uref	E ₄₈₀₈	U ₄₈₀₈	
1 kΩ	584	12	587	11	0,03
10 kΩ	269	11	277	8,7	0,40
100 kΩ	196	13	194	11	0,11
1 MΩ	224	20	220	20	0,09

Tabla 7.- Con un calibrador Wavetek 4808

➤ Referencia VS Fluke 5700A

Valor nominal	Referencia μΩ/Ω		Fluke 5700A μΩ/Ω		En
	Eref	Uref	E _{5700A}	U _{5700A}	
1 kΩ	584	12	570	15	0,73
10 kΩ	269	11	261	12	0,49
100 kΩ	196	13	205	14	0,47
1 MΩ	224	20	219	20	0,18

Tabla 8.- Con un calibrador Fluke 5700A

➤ Referencia VS Fluke 5520A

Valor nominal	Referencia μΩ/Ω		Fluke 5520A μΩ/Ω		En
	Eref	Uref	E _{5520A}	U _{5520A}	
1 kΩ	584	12	595	24	0,41
10 kΩ	269	11	258	23	0,43
100 kΩ	196	13	222	24	0,95
1 MΩ	224	20	242	26	0,55

Tabla 9.- Con un calibrador Fluke 5520A

➤ Referencia VS Fluke 5500A

Valor nominal	Referencia μΩ/Ω		Fluke 5500A μΩ/Ω		En
	Eref	Uref	E _{5500A}	U _{5500A}	
1 kΩ	584	12	487	120	0,64
10 kΩ	269	11	192	120	0,63
100 kΩ	196	13	240	130	0,34
1 MΩ	224	20	322	160	0,59

Tabla 10.- Con un calibrador Fluke 5500^a

4. COMPROBACION

En el protocolo de comparación de magnitudes eléctricas realizada del 2006 al 2007, no se mencionó con que calibrar el Patrón viajero, cada laboratorio decidió como hacerlo. La mayoría utilizaron como referencia calibradores Fluke 5500A y 5520A los cuales son simuladores de resistencia, comprobaremos si es posible realizarlo. Para definirlo, tomaremos los siguientes puntos:

✓ En la tablas 9 y 10, se muestran los resultados con los calibradores Fluke 5500A y 5520A ambos calibradores fueron calibrados con un multímetro HP3458A, con ellos se calibró el IBC y el análisis de Error normalizado en todos los puntos fue menor a 1. Se utilizó como contribución de incertidumbre la especificación del calibrador y la variabilidad de las mediciones.

✓ Posibles caracterizaciones de los calibradores.

Dado que los instrumentos se calibraron en el mismo día con el multímetro HP3458A, se podría asignar la incertidumbre del multímetro al calibrador, como se muestran en las tablas 11 y 12.

➤ Referencia VS Fluke 5520A caracterizado

Valor nominal	Referencia $\mu\Omega/\Omega$		Fluke 5520A $\mu\Omega/\Omega$		En
	Eref	Uref	E _{5520A}	U _{5520A}	
1 k Ω	584	12	595	12	0,65
10 k Ω	269	11	258	11	0,71
100 k Ω	196	13	222	13	1,41
1 M Ω	224	20	242	20	0,64

Tabla 11.- Con un calibrador Fluke 5520A

➤ Referencia VS Fluke 5500A caracterizado

Valor nominal	Referencia $\mu\Omega/\Omega$		Fluke 5500A $\mu\Omega/\Omega$		En
	Eref	Uref	E _{5500A}	U _{5500A}	
1 k Ω	584	12	487	12	5,72
10 k Ω	269	11	192	11	4,95
100 k Ω	196	13	240	13	2,39
1 M Ω	224	20	322	20	3,46

Tabla 12.- Con un calibrador Fluke 5500A

Se puede observar que el error normalizado es mayor a 1 al utilizar incertidumbres menores que la especificación.

¿Cuál es la razón?. Para dar una conclusión, analizáremos los siguientes datos:

✓ La corriente aplicada al realizar la medición de resistencia fue medida en tres instrumentos, los resultados se muestran en la tabla 13.

Valor de Medición k Ω	Corriente aplicada HP3458A	Corriente aplicada HP34401A	Corriente aplicada S 7151
1	98,117 μ A	1,0018 mA	89,703 μ A
10	98,117 μ A	100,198 μ A	89,703 μ A
100	25,028 μ A	10,059 μ A	8,957 μ A
1000	4,912 μ A	5,045 μ A	0,9972 μ A

Tabla 13.- Corriente aplicada por los multímetros al medir resistencia.

✓ Los calibradores Fluke 5500A y 5520A tienen una corriente de operación que se respalda en su especificación. La corriente de funcionamiento se indica en la tabla 14. Además, tienen una degradación para corrientes menores indicada al pie de su especificación.

Valor de Resistencia	5500A	5520A
	Corriente de funcionamiento	Corriente de Funcionamiento
1 k Ω	250 μ A a 18 mA	1 mA a 18 mA
10 k Ω	25 μ A a 1,8 mA	100 μ A a 1,8 mA
100 k Ω	2,5 μ A a 0,18 mA	10 μ A a 0,18 mA
1000 k Ω	250 nA a 180 μ A	1 μ A a 18 μ A

Tabla 14.- Corrientes de funcionamiento

El 5500A y el 5520A tienen la siguiente leyenda: “ (4) para corriente menores que las mostradas, el piso se debe de aumentar por Floor(new) = Floor (old) X I min/ I aplicada”.

✓ En la tabla 15, se muestra la especificación del multímetro utilizado en la comparación 2006-2007.

Solartron 7151	
Intervalo de Resistencia	Corriente de medición
2 k Ω	100 μ A
20 k Ω	100 μ A
200 k Ω	10 μ A
2000 k Ω	1 μ A

Tabla 15.- Especificación del Solartron 7151

Lo mostrado en las tablas 13, 14 y 15 indica que la especificación del multímetro se encuentra en el límite inferior de la corriente de funcionamiento del calibrador 5520A aplicando la nota (4) se permiten corrientes menores degradando la especificación. Es importante mencionar que en el 2007, estas especificaciones se igualaron a las del 5500A.

6. CONCLUSIONES

- Desde el inicio de la preparación del Patrón viajero, al analizar las especificaciones de la corriente aplicada en la medición de resistencia se observó que en algunos casos estaba en el límite inferior de la especificación requerida por algunos calibradores pero que tomando las consideraciones adecuadas y la incertidumbre de especificación si se podía realizar la calibración.
- Tomando las consideraciones indicadas en el punto 3, asegurando las condiciones ambientales y corrigiendo el valor de calibración, es posible realizar la calibración del instrumento IBC con los calibradores Fluke 5500A y 5520A.
- En algunos casos, por la diferencia de la corriente de medición utilizada por los multímetros, no es posible mejorar las especificaciones de los simuladores de resistencia para comprobar o calibrar instrumentos diferentes, como se muestra en las tablas 11 y 12.
- Para la medición de resistencia a 4 o 5 terminales, los medidores generan una corriente en las terminales marcadas con Input Hi (roja) e Input Lo (negra), midiendo tensión en las terminales marcadas con Sense Hi y Sense Lo. Al conectarse a un simulador de resistencia como los calibradores Fluke 5500A y 5520A por el principio de generación de resistencia sintetizada, se debe respetar la conexión ya que al conectar en forma inversa, no se pueden obtener valores confiables.
- Se observó que en algunos simuladores de resistencia la corriente no estabiliza, por lo que, tampoco estabiliza la lectura de resistencia y no se puede tomar una lectura confiable. Al utilizar resistores físicos, no existe este problema y en estos casos, se debe utilizar un método alternativo para asegurar la medición.
- En conclusión, el multímetro Solartron 7151 se puede calibrar utilizando simuladores de resistencia, asegurando la trazabilidad y aplicando buenas prácticas metroológicas.
- En cualquier caso, se deben de aplicar procedimientos de aseguramiento de calidad de la medición para que los valores obtenidos sean confiables.

6. REFERENCIAS

- Norma NMX-CH-140-IMNC-2002.- "Guía para estimar la Incertidumbre de Medición"
- Norma NMX-EC-43/1-IMNC-2005.- "Ensayos de aptitud por comparaciones interlaboratorios. Parte 1 – Desarrollo y funcionamiento de programas de ensayos de aptitud"
- Manual de servicio del Calibrador multifunciones 5520A.
- Manual de servicio del Calibrador multifunciones 5500A.
- Manual del multímetro Solartron 7151
- Manual del multímetro Hewlett Packard HP 3458A.
- Manual del multímetro Hewlett Packard HP 34401A.