



# Sistema Automático para el Mantenimiento del Patrón de Resistencia en UTE

Daniel Izquierdo, María Ines Camacho, and Daniel Slomovitz

UTE-LABORATORIO, MONTEVIDEO, URUGUAY  
dizquierdo@ute.com.uy

**RESUMEN** — Se describe un sistema automático para el mantenimiento del patrón de resistencia de 1 ohm basado en la comparación de resistores de alta estabilidad, tomando como referencia la calibración externa de uno de los elementos en forma regular. El sistema intercompara, en forma periódica, cinco resistores tipo Thomas mediante un scanner y un multímetro digital de alta precisión, controlados por una computadora. Usando análisis estadísticos y gráficos de control se determina la estabilidad y posibles apartamientos de alguno de los elementos que conforman el conjunto. Este desarrollo fue realizado para el mantenimiento del patrón resistencia por parte de UTE (Instituto Metrológico Nacional delegado)

**KEYWORDS** — RESISTOR, PATRÓN, ALTA PRECISIÓN, INCERTIDUMBRE, TRAZABILIDAD.

## I. INTRODUCCIÓN

La escala de resistencia del Laboratorio de UTE se basa en el valor del patrón de 1  $\Omega$  a diferencia de otros Institutos Metrológicos que disponen de Efecto Hall Cuántico [1] y basan su escala en elementos de 10 k $\Omega$ . A los efectos de darle robustez al mantenimiento del valor de 1  $\Omega$ , se han adquirido recientemente cuatro nuevos resistores tipo Thomas [2], que conjuntamente con lo existente han pasado a formar un banco de cinco elementos. El resistor patrón actual cuenta con una historia de más de 25 años, generada a partir de calibraciones realizadas en diferentes Institutos Metrológicos Nacionales y se toma como elemento de referencia del nuevo banco de 1  $\Omega$ .

La automatización de la medida permite detectar la variación de algunos de los resistores que componen el banco, considerando la deriva del patrón de referencia.

## II. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

### A. Determinación del valor medio

La determinación del valor medio del grupo se realiza mediante la calibración de cada uno de los resistores contra un resistor de referencia (patrón viajero), el cual regularmente es calibrado por un Instituto de Metrología Nacional externo contra un patrón primario. Así mismo, el sistema intercompara todos los resistores entre sí para lograr menores incertidumbres en la determinación del valor promedio del banco. El método de calibración aplicado es potenciométrico, aplicando una corriente constante de 100 mA. Un multímetro de 8 ½ dígitos mide sucesivamente las caídas de tensión en los resistores a comparar. La fuente de corriente es invertida de manera de eliminar efectos termoeléctricos y offset del multímetro. Asimismo, la secuencia de medida elimina derivas de la fuente de corriente. Tomando como R5 el resistor de referencia podemos determinar las siguientes relaciones:

$$\begin{aligned} R1/R5 &= r1 \\ R2/R5 &= r2 \\ R3/R5 &= r3 \\ R4/R5 &= r4 \\ R5/R5 &= 1 \end{aligned} \quad (1)$$

El valor medio del banco ( $V_m$ ) se calcula como:

$$V_m = R5(r1 + r2 + r3 + r4 + 1)/5 \quad (2)$$

## B. Determinación de los apartamientos respecto al valor medio.

Los apartamientos de cada resistor respecto al valor medio asignado al banco por el resistor de referencia son calculados a partir de la intercomparación de los cinco componentes del grupo [3]. En la intercomparación se miden las relaciones de todas las combinaciones posibles, teniendo como resultado 20 valores de relación, 10 que corresponden a una posición relativa de los resistores y 10 a la posición inversa. Cada serie completa de medidas para un par de resistores incluye la aplicación de corriente directo e inverso, a los efectos de eliminar los efectos termoeléctricos y de offset del multímetro. Si se toma el promedio de cada par de valores que corresponden al mismo par de resistores, entonces se tendrá un grupo de 10 valores y otro grupo con el mismo valor con signo invertido. En la Tabla I se presentan los valores relativos  $D_{ij}$  que se obtienen al medir todas las relaciones  $r_{ij} = R_i/R_j$  posibles.

$$D_{ij} = r_{ij} - 1 \quad (3)$$

Tabla I. Diferencias entre par de resistores

	R1	R2	R3	R4	R5
R1	0	-D <sub>12</sub>	-D <sub>13</sub>	-D <sub>14</sub>	-D <sub>15</sub>
R2	D <sub>12</sub>	0	-D <sub>23</sub>	-D <sub>24</sub>	-D <sub>25</sub>
R3	D <sub>13</sub>	D <sub>23</sub>	0	-D <sub>34</sub>	-D <sub>35</sub>
R4	D <sub>14</sub>	D <sub>24</sub>	D <sub>34</sub>	0	-D <sub>45</sub>
R5	D <sub>15</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>35</sub>	D <sub>45</sub>	0

Los apartamientos de cada resistor respecto al promedio  $V_m$  se pueden hallar como

$$R_i - V_m = M_i/5 \quad (4)$$

Donde  $M_i$  es la suma de todos los valores de  $D_{ij}$ , correspondientes a la columna de  $R_i$ . El comportamiento de los valores de apartamiento  $M_i/5$  de cada resistor en el lapso de tiempo entre dos asignaciones de  $V_m$ , mostrarán la estabilidad de cada uno de los resistores. También es posible obtener el valor de cada componente del banco en todo momento, asumiendo que el valor de  $V_m$  permanece constante en el período entre dos calibraciones respecto al valor de referencia. Es posible respaldar esta hipótesis debido a que las variaciones de todos los elementos son del mismo orden.

Actualmente las calibraciones del resistor de referencia son realizadas por el servicio de calibración de resistores del BIPM y cuenta con una deriva conocida determinada por un historial de 25 años, lo que permite establecer nuevos valores de  $V_m$  con plazos anuales y controlar la estabilidad del grupo en ese período.

## C. Método automático de medida

Se ha utilizado el programa Labview [4] para el desarrollo del automatismo. El software controla una fuente de corriente estable (calibrador) que aplica un valor de corriente constante

en sentido directo e inverso a la serie de los cinco resistores, colocados en un baño de vaselina no activo. Por otra parte selecciona las medidas de tensiones sobre cada uno de los componentes, controlando un selector de 10 canales que se conecta a un multímetro de precisión de 8 ½ dígitos a los efectos de conocer la caída de tensión de cada uno de los resistores. También mide la temperatura del baño por medio de la resistencia de un termistor conectado a un multímetro de 6 ½ dígitos y corrige todos los valores de relaciones de los resistores a 23 °C. Debido a que la estabilidad del baño es un factor importante en el cálculo de la incertidumbre de los valores de resistencia, el programa tiene la capacidad de detener la medida y lanzar una alarma si la variación de temperatura durante la medida de un par de resistores varía más que 0.01 °C.

Debido a que la determinación del valor medio del grupo se ha establecido en plazos de un año y la estabilidad del grupo se controla en plazos mensuales se han generado dos ejecutables, el primero a los efectos de determinar el valor medio y el segundo para determinar la estabilidad de cada resistor.

## D. Cálculo de incertidumbre

Para estimar la incertidumbre del valor asignado al banco se tiene en cuenta la incertidumbre del valor del patrón viajero (referencia externa), la incertidumbre de calibración de los resistores del banco contra dicho patrón y la incertidumbre derivada de la estabilidad del banco. Para esta última se usan técnicas estadísticas [3] aplicadas a las intercomparaciones que periódicamente el sistema automático realiza con todos los resistores del banco. Un detalle del método y de los resultados será informado en el trabajo definitivo.

## III. CONCLUSIONES

El desarrollo de un sistema automático de comparación de resistores patrones de 1 Ω, tipo Thomas, permitió bajar la incertidumbre del patrón nacional del ohm en UTE. El sistema calcula el apartamiento de cada uno de los integrantes del banco respecto al valor promedio y asigna incertidumbres a cada uno de los resistores y al propio valor medio por el efecto de la estabilidad. A esto se agrega la incertidumbre de calibración del banco contra el patrón viajero.

## REFERENCIAS

- [1] K. v. Klitzing, G. Dorda, and M. Pepper, "New method for high accuracy determination of the fine-structure constant based on quantized Hall resistance," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 45, pp. 494-497, Aug. 1980.
- [2] J. L. Thomas, "Stability of double-walled Manganin resistors," *J. Res. Nat. Bur. Stand.*, vol. 36, p. 107, 1946.
- [3] A. F. Dunn, "Maintenance of a Laboratory Unit of Voltage," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. IM-20, No. 1. pp.2-10, Feb. 1971.
- [4] Labview software, national Instruments.