

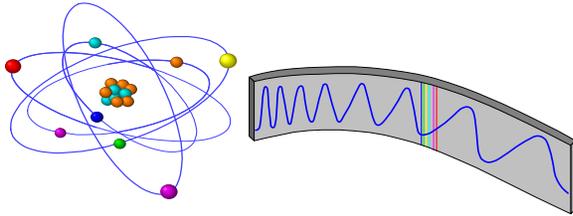
Escalamiento en tensión eléctrica en c.c. basado en la linealidad de un multímetro de 8 ½ dígitos



CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA

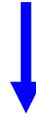
Dr. Carlos David Avilés Castro
Ing. Dionisio Hernández
Ing. Mauricio Islas



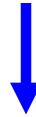


El volt y su trazabilidad

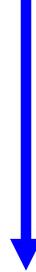
REPRODUCCIÓN Efecto Josephson
(-10 V a +10V)



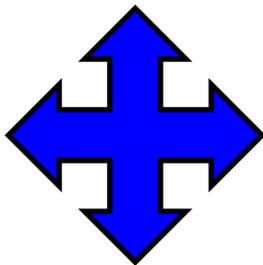
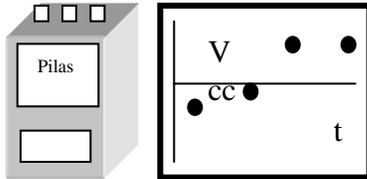
MANTENIMIENTO Pilas patrón (1,018 V)
Referencias Zener (10 V)



ESCALAMIENTO Divisores resistivos
Linealidad del Multímetro
Zeners en serie
(1 mV a 1000 V)



DISEMINACIÓN Calibración de:
Zeners
Pilas patrón
(Multímetros de 8 ½ dígitos)

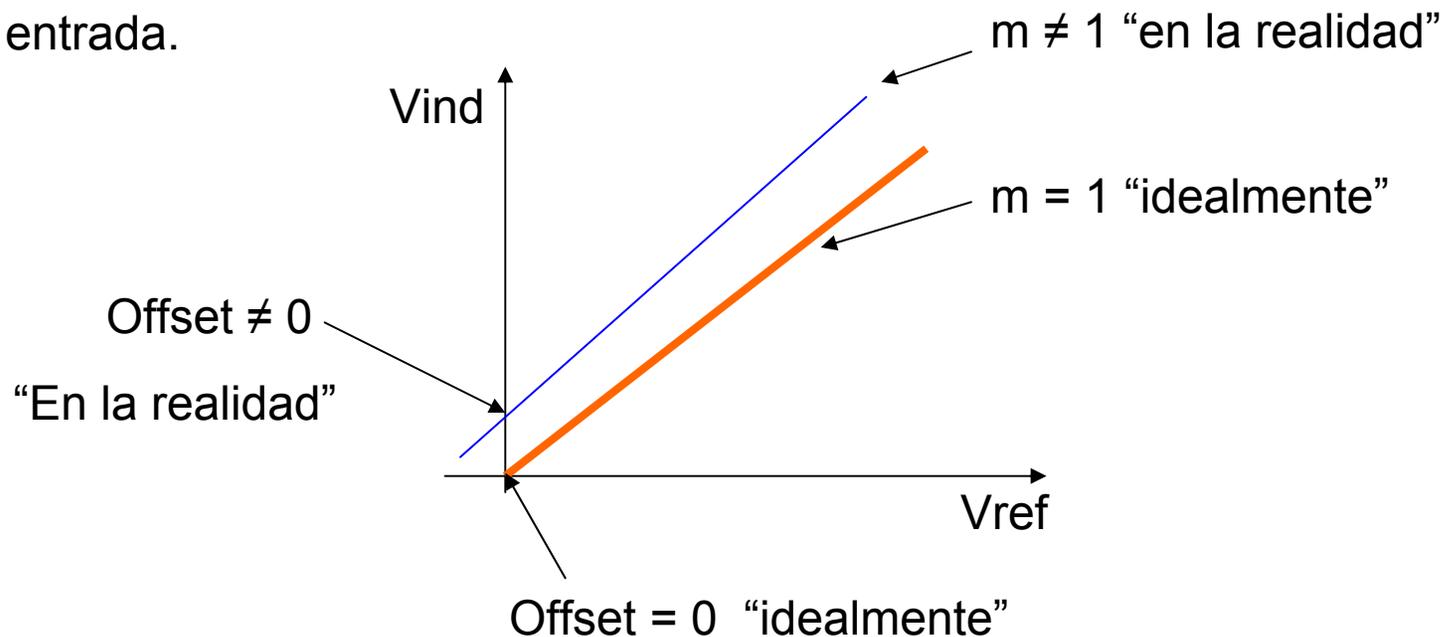


Ganancia de un multímetro “m”

$$m = V_{ind} / V_{ref}$$

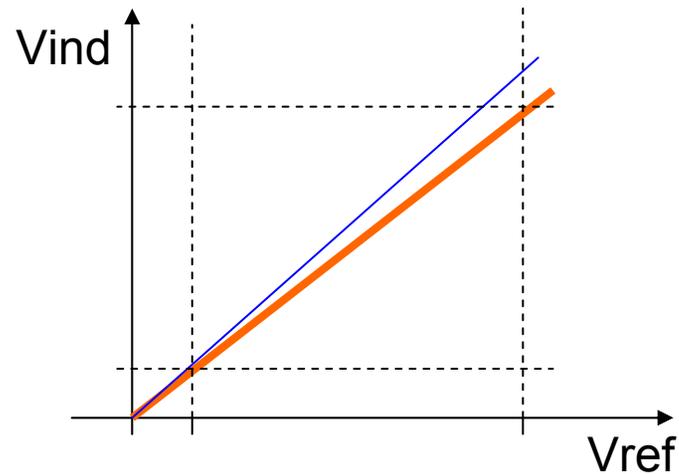
V_{ind} – Es la tensión indicada por el multímetro

V_{ref} – Es la tensión calibrada de la referencia conectada en sus terminales de entrada.

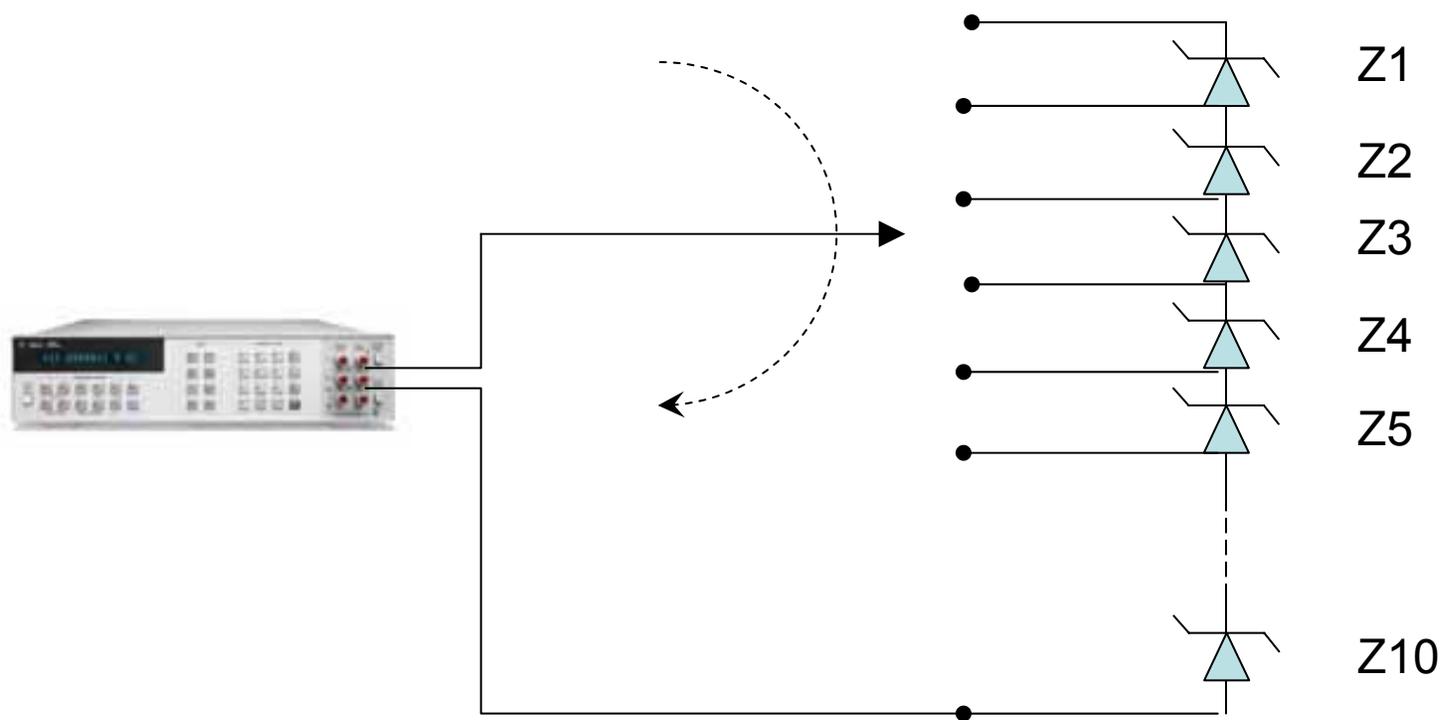


Fundamento del método:

Hipótesis: La ganancia de un multímetro en este caso un multímetro de 8 ½ dígitos se mantiene entre el 10% y el 100% de la escala en cualquiera de sus intervalos de medición.



Confirmación de la hipótesis en la escala de 100 V



Nota: Se usó la técnica de inversión de polaridad para cancelar fems térmicas y offset del multímetro

Confirmación de la hipótesis en la escala de 100 V

Ganancias medidas:

m (10%) = 1,000 003 81 +/- 0,2 partes en $\times 10^{-6}$

m (30%) = 1,000 003 94 +/- 0,2 partes en $\times 10^{-6}$

m (60%) = 1,000 003 88 +/- 0,2 partes en $\times 10^{-6}$

m (80%) = 1,000 003 85 +/- 0,2 partes en $\times 10^{-6}$

m (100%) = 1,000 003 82 +/- 0,2 partes en $\times 10^{-6}$

Máxima diferencia = 0,13 partes en $\times 10^{-6}$

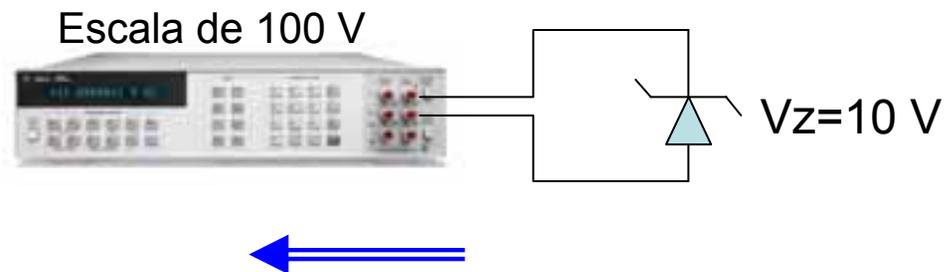
Hipótesis confirmada en este caso dentro de la
incertidumbre de la tensión de referencia.

Descripción del método

Escalamiento a partir de un Zener calibrado a 10 V

Escalamiento hacia arriba de 10 V a 100 V

- a) Calibrar el multímetro a 10 V en la escala de 100 V
Determinar la ganancia del multímetro al 10% en la escala de 100 V.

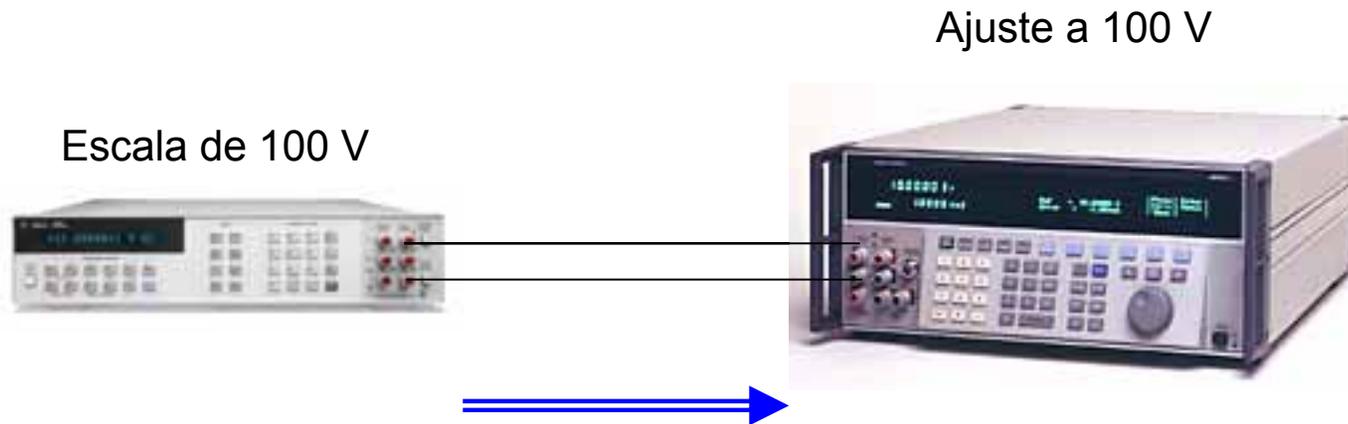


$$E_{mul} (10\%, E 100 V) = V_{mul} (10V, E 100 V) - V_Z$$

$$m (10 \%, E 100 V) = V_{mul} (10 V, E 100 V) / V_Z (10 V)$$

Escalamiento hacia arriba de 10V a 100 V

b) Calibrar un calibrador a 100 V suponiendo que la ganancia al 10% se mantiene al 100% de la escala.



$$E_{cal} (100 \text{ V}) = V_{cal} (100 \text{ V}) - [V_{mul} (100 \text{ V})]$$

$$E_{cal} (100 \text{ V}) = V_{cal} (100 \text{ V}) - [V_{mul} (100 \%, E 100 \text{ V}) / m(10 \% E 100 \text{ V})]$$

Escalamiento hacia arriba de 10V a 100 V

c) Calibrar el multímetro a 100 V

Escala de 100 V



Ajuste a 100 V



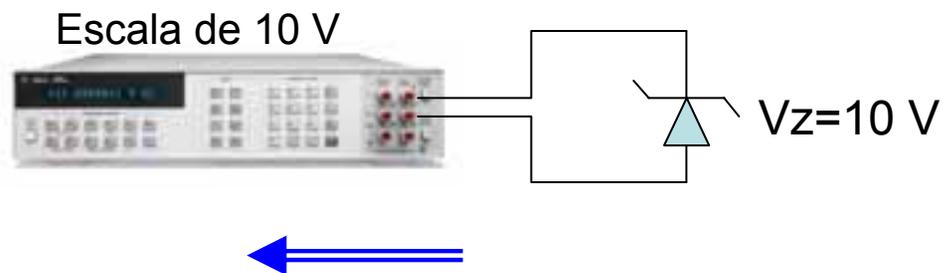
$$E_{mul} (100 \%, E 100 V) = V_{mul} (100 V) - E_{cal} (100 V)$$

Descripción del método

Escalamiento a partir de un Zener calibrado a 10 V

Escalamiento hacia abajo de 10 V a 1 V

- a) Calibrar el multímetro a 10 V en la escala de 10 V
Determinar la ganancia del multímetro al 100% en la escala de 10 V.

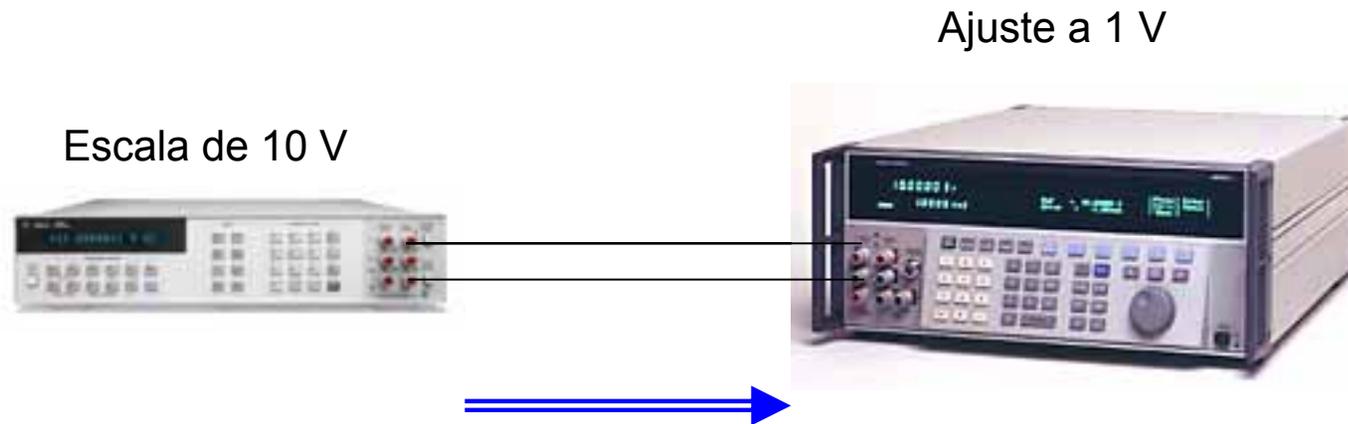


$$E_{mul} (100\%, E 10 V) = V_{mul} (10V, E 10 V) - V_Z$$

$$m (100 \%, E 10 V) = V_{mul} (10 V, E 10 V) / V_Z (10 V)$$

Escalamiento hacia abajo de 10V a 1 V

b) Calibrar un calibrador a 1 V suponiendo que la ganancia al 100% se mantiene al 10% de la escala.



$$E_{cal}(1\text{ V}) = V_{cal}(1\text{ V}) - [V_{mul}(1\text{ V})]$$

$$E_{cal}(1\text{ V}) = V_{cal}(1\text{ V}) - [V_{mul}(10\%, E_{10\text{ V}}) / m(100\% E_{10\text{ V}})]$$

Escalamiento Hacia abajo de 10V a 1 V

c) Calibrar el multímetro a 1 V

Escala de 10 V

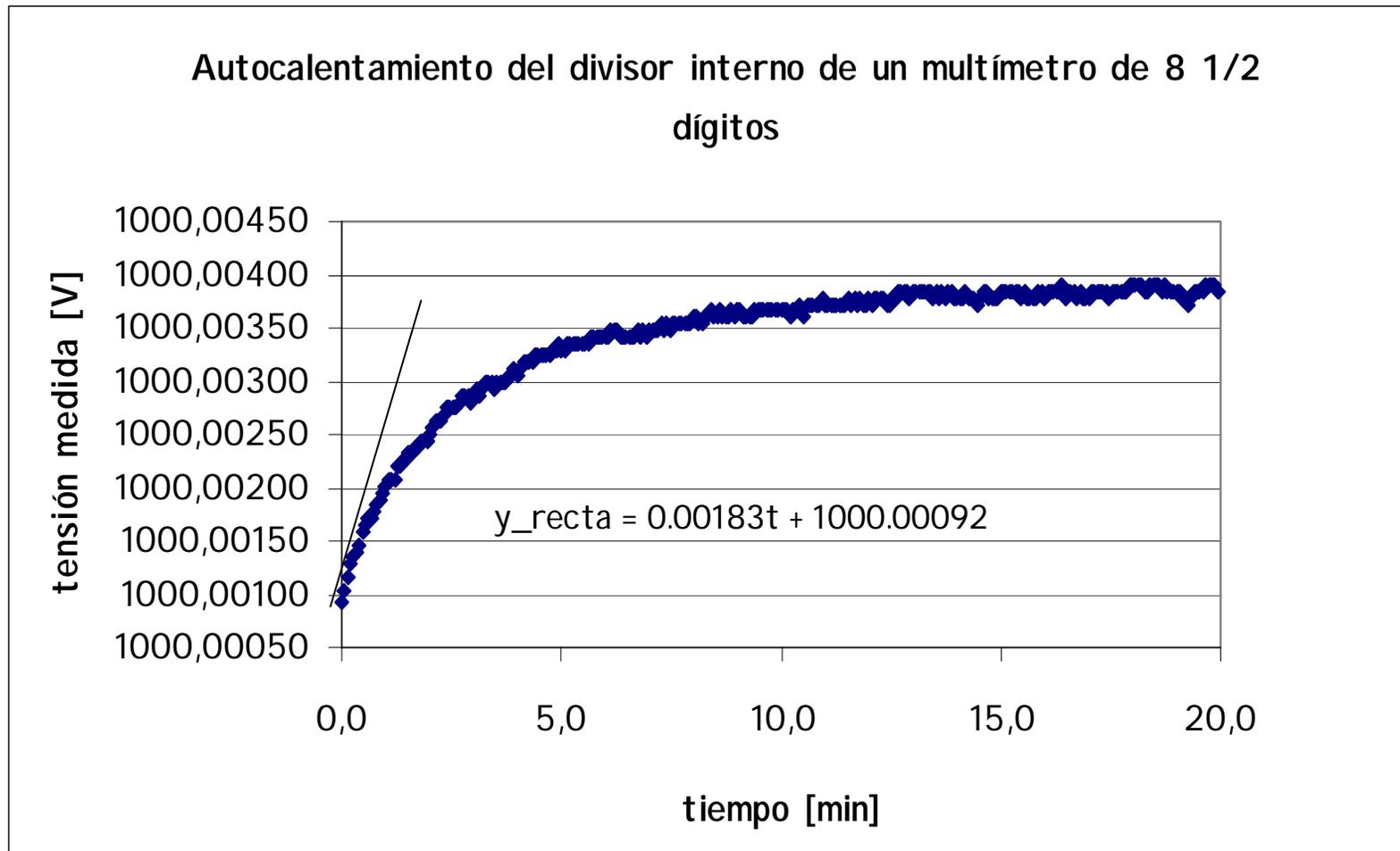


Ajuste a 1 V



$$E_{mul} (10 \%, E 10 V) = V_{mul} (1 V) - E_{cal} (1 V)$$

Efecto de calentamiento del multímetro al escalar a 1000 V



Efecto de calentamiento del multímetro al escalar a 1000 V

Procedimiento:

- a) Calibrar el multímetro a 100 V en la escala de 1000 V
Determinar la ganancia del multímetro al 10% en la escala de 1000 V.

$$E_{mul} (10\%, E 1000 V) = V_{mul} (100V, E 1000 V) - V_{cal} (100 V)$$

$$m (10 \%, E 1000 V) = V_{mul} (100 V, E 1000 V) / V_{cal} (100 V)$$

- b) Calibrar un calibrador a 1000 V suponiendo que la ganancia al 10% se mantiene al 100% de la escala.

$$E_{cal} (1000 V) = V_{cal} (1000 V) - [V_{mul} (1000 V)]$$

$$E_{cal} (1000 V) = V_{cal} (1000 V) - [V_{mul} (100 \%, E 1000 V) / m(10 \% E 1000 V)]$$

Efecto de calentamiento del multímetro al escalar a 1000 V

La ganancia se mantiene del 10% al 100% mientras el multímetro esté frío, por lo que hay que registrar las lecturas del multímetro en función del tiempo y determinar el valor a $t = 0$ (multímetro frío) por un ajuste de curvas.

El escalamiento se hace utilizando el valor en frío V_{mul} (100 %, E 1000 V) que se determina con el procedimiento anterior.

c) Calibrar el multímetro a 1000 V

$$E_{mul} (100 \%, E 1000 V) = V_{mul} (1000 V) - E_{cal} (1000 V)$$

Este será el error del multímetro en frío, si se quiere conocer el error del multímetro en caliente se usa la gráfica de calentamiento ya mostrada.

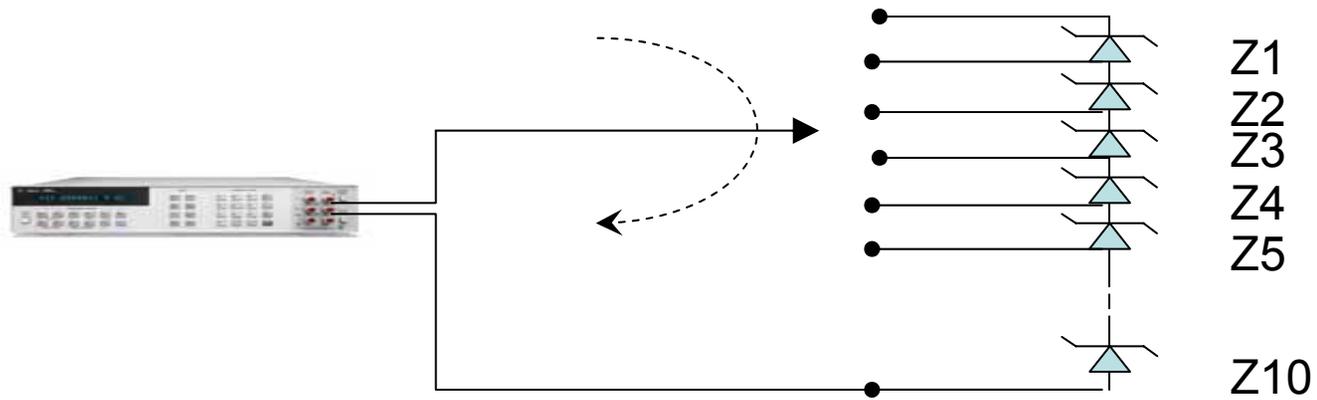
Automatización



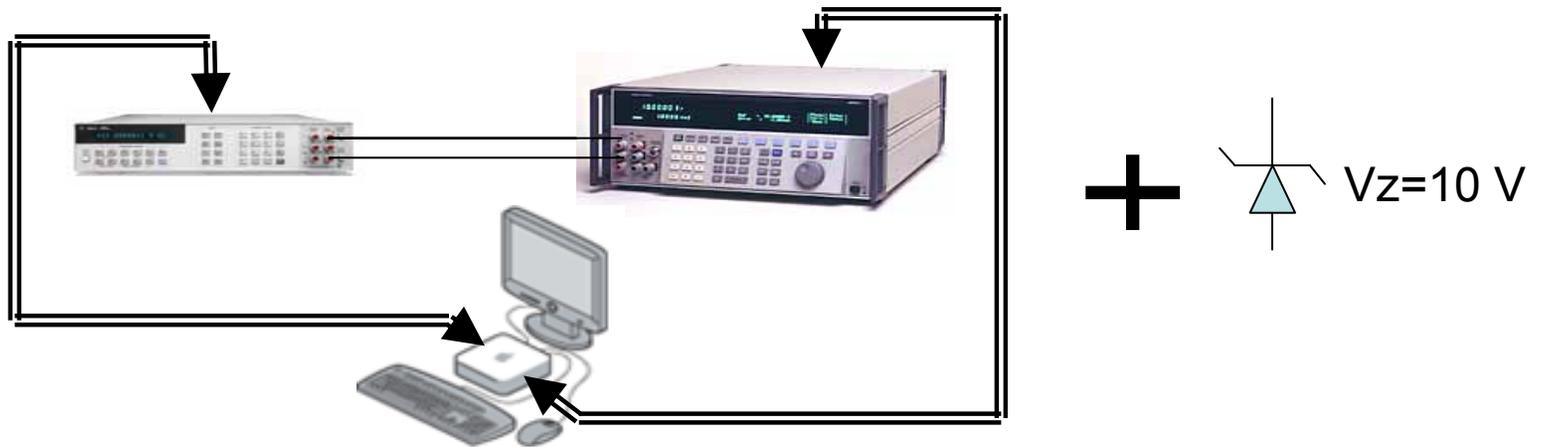
Escalamiento a cualquier valor desde 100 mV a 1000 V de manera automática en base a 1 valor de referencia dado por un Zener o un por un calibrador.

Validación del escalamiento de 10V a 100 V

a)



b)



Validación del escalamiento de 10V a 100 V

a) Método de conexión de 10 Zeners en serie

$$V_a = 99,999\ 855 \pm 0,5 \mu\text{V/V}$$

b) Escalamiento por linealidad del multímetro

$$V_b = 99,999\ 838 \pm 1 \mu\text{V/V}$$

$$V_a - V_b = 0,17 \mu\text{V/V}$$

Conclusiones

- Método útil para escalar a cualquier valor entre 100 mV y 1000 V con un niveles de incertidumbre de algunos $\mu\text{V}/\text{V}$.
- Se requiere un valor de referencia calibrado (referencia Zener o calibrador).
- Se requiere un multímetro de alta linealidad y un calibrador con buena estabilidad a corto plazo.
- Se recomienda verificar la hipótesis de linealidad en las escalas utilizadas.
- Método fácilmente automatizable.
- Se debe usar la técnica de inversión de polaridad para cancelar el offset del multímetro y las fems térmicas