

Práctica n°2: Medida de Resistencias Pequeñas, Resistencias de Aislamiento y Resistencias de Puesta a Tierra

Laboratorio de Instrumentación Eléctrica
4°B, I.E.M

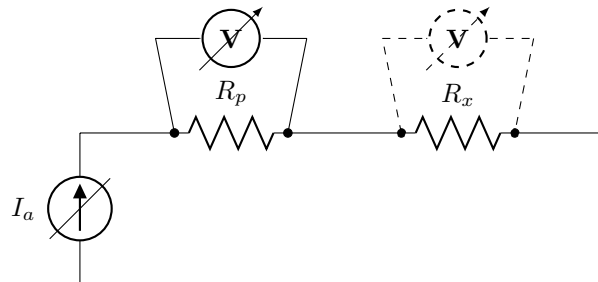
Gonzalo Sánchez Contreras
Antonio Rubí Rodríguez
Ignacio Sanz Soriano

12 de noviembre de 2016

Ensayo 2.1: Medida de una resistencia pequeña por comparación

Enunciado: Medida de una resistencia de un valor de aproximadamente 25 mΩ, por el método de comparación de tensiones.

Esquema:



Preparación:

Selección del voltímetro. En primer lugar se elige el voltímetro con mayor precisión de entre los disponibles. Los polímetros disponibles presentan las siguientes incertidumbres de medida funcionando como voltímetros:

Voltímetro	Incertidumbre
PROMAX FP-2b (2000 cuentas)	0.8 %lect. + 1 dig. en CC.
PROMAX PD-183 (20000 cuentas)	0.05 %lect. + 3 dig. en CC.
FLUKE 175 (6000 cuentas, verdadero valor eficaz)	0.15 %lect.+2 dig. en CC.

Se elegirá el voltímetro PROMAX PD-183 (20000 cuentas) por tener una incertidumbre menor en comparación con los voltímetros PROMAX FP-2b (2000 cuentas) y FLUKE 175 (6000 cuentas).

Selección de la resistencia patrón (R_p). Las resistencias disponibles que presentan mejor precisión son las de 10 mΩ, y 100 mΩ con un 0.1 %. El resto de resistencias presentan peor precisión (resistencia de 60 mΩ, 0.5 %, 5A) o bien no cumplen los límites de potencia (2 resistencias de 100 Ω, 0.1 % en paralelo, 0.25 W cada una) para las condiciones posibles del ensayo.

1. Resistencia patrón de 10 mΩ, 1W ($R_p = 10 \text{ m}\Omega$). Con esta resistencia tan pequeña, se necesitan altas corrientes para conseguir una caída de tensión que este próxima a los alcances del voltímetro, que haga que la precisión en la medida de la tensión sea lo mejor posible. La máxima corriente disponible es de 3 A, con la fuente de tensión regulable, por lo que se tiene:

$$R_p = 10 \text{ m}\Omega \left\{ \begin{array}{l} I_{\text{máx}} = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{1}{0.01}} = 10 \text{ A} \\ U_{\text{máx}} = \sqrt{P \cdot R} = \sqrt{1 \cdot 0.01} = 100 \text{ mV} \end{array} \right.$$

Opción	R_P (mΩ)	$\varepsilon(R_p)$	U_p	Alcance	$\varepsilon(U_p)$	U_x	Alcance	$\varepsilon(U_x)$	$\varepsilon(R_x)$
1	10	0.1 %	30 mV	200 mV	0.15 %	250 mV	2 V	0.17 %	0.42 %

2. Resistencia patrón de 100 mΩ, 2 W ($R_p = 100 \text{ m}\Omega$). Con esta resistencia se pueden conseguir tensiones iguales al alcance del voltímetro con intensidades más pequeñas. En este ensayo, se probará con una intensidad de 2 A, para conseguir 200 mV en la R_p , y también se probará con intensidad máxima disponible de 3 A.

$$R_p = 100 \text{ m}\Omega \left\{ \begin{array}{l} I_{\text{máx}} = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{2}{0.1}} = 4.47 \text{ A} \\ U_{\text{máx}} = \sqrt{P \cdot R} = \sqrt{1 \cdot 0.01} = 447.2 \text{ mV} \end{array} \right.$$

Opción	R_P (m Ω)	$\varepsilon(R_P)$	U_p	Alcance	$\varepsilon(U_p)$	U_x	Alcance	$\varepsilon(U_x)$	$\varepsilon(R_x)$
1	100	0.1 %	200 mV	200 mV	0.065 %	50 mV	200 mV	0.11 %	0.275 %
2	100	0.1 %	300 mV	2 V	0.15 %	75 mV	200 mV	0.09 %	0.34 %

De las dos posibles resistencias patrón se elige la resistencia de 100 m Ω por ser la permite medir R_x con la mejor precisión posible. Se usará el voltímetro digital en alcance de 200 mV para medir la tensión en ambas resistencias. La intensidad del ensayo es de 2 A. La incertidumbre esperada para la resistencia a medir R_x es:

$$\varepsilon(R_x) = 0.275 \%$$

$$R_x = 25 \pm 0.07 \text{ m}\Omega = 25 \text{ m}\Omega \pm 0.275 \%$$

Selección de las fuentes. La intensidad necesaria para llevar a cabo el ensayo es de 2 A. De las distintas fuentes disponibles en el laboratorio, se procede a analizar la más adecuada para el ensayo:

- Se descartan las fuentes de tensión fija de 5 V, por la necesidad de ir regulando la tensión en la resistencia patrón R_p .
- La fuente de intensidad de 7-11 mA también se descarta por ser inferior a 2 A, la intensidad requerida para este ensayo.
- La fuente de tensión regulable de 2x30 V, $I_{m\acute{a}x}=3$ A, $\Delta U=0.2$ V, puede usarse pero tiene poca resolución.
- La fuente de intensidad individual regulable 0-3 A. $U_{m\acute{a}x} = 30$ V; resolución=20 mA, nos proporciona la intensidad del ensayo y en principio presenta mejor resolución en la intensidad.

Calculamos la resolución con ambas fuentes para elegir entre la fuente de tensión y la de intensidad regulable:

$$\Delta U_p^{U_a} = \frac{R_p}{R_x + R_p} \cdot \Delta U = \frac{0.1}{0.025 + 0.1} \cdot 0.2 = 0.16 \text{ V}$$

$$\Delta U_p^{I_a} = R_p \cdot \Delta I = 0.1 \cdot 0.02 = 0.002 \text{ V}$$

Como se observa, la fuente de intensidad regulable presenta mejor resolución en la tensión de la resistencia patrón, por lo que se seleccionará esta fuente.

Lista de aparatos:

Aparatos Auxiliares:

- I_a : Fuente de intensidad individual regulable 0-3 A. $U_{m\acute{a}x} = 30$ V; resolución=20 mA.

Aparatos de Precisión:

- V: Multímetro digital PROMAX PD-183 (20000 cuentas).
Como voltímetro: 200mV, 2, 20, 200, 1000V. Resistencia interna: 10 M Ω .
Precisión: 0.05 %lect. + 3díg. en CC.
- R_p : Resistencia (shunt): 100 m Ω 0.1 %, 2W.

Medidas: Tensión medida en la resistencia patrón, $U_p = 199.27$ mV. La incertidumbre en la medida es:

$$\alpha(U_p) = \frac{0.05}{100} \cdot U_p + 3 \cdot 0.01 = \frac{0.05}{100} \cdot 199.27 + 3 \cdot 0.01 = 0.13 \text{ V}$$

$$\varepsilon(U_p) = \frac{\alpha(U_p)}{U_p} \cdot 100 = \frac{0.13}{199.27} \cdot 100 = 0.065 \%$$

Tensión medida en la resistencia a medir, $U_x = 55.52$ mV. La incertidumbre en la medida es:

$$\alpha(U_x) = \frac{0.05}{100} \cdot U_x + 3 \cdot 0.0001 = \frac{0.05}{100} \cdot 55.52 + 3 \cdot 0.01 = 0.06 \text{ V}$$

$$\varepsilon(U_x) = \frac{\alpha(U_x)}{U_x} \cdot 100 = \frac{0.06}{55.52} \cdot 100 = 0.104 \%$$

Resultados: La resistencia medida R_x será:

$$R_x = \frac{U_x}{U_p} \cdot R_p = \frac{55.52}{199.27} \cdot 100 = 27.86 \text{ m}\Omega$$

La incertidumbre en R_x será:

$$\begin{aligned} \varepsilon(R_x) &= \varepsilon(R_p) + \varepsilon(U_x) + \varepsilon(U_p) = \\ &= 0.1 \% + 0.104 \% + 0.065 \% = \\ &= 0.27 \% \end{aligned}$$

La resistencia medida R_x será:

$$R_x = 27.86 \pm 0.08 \text{ m}\Omega = 27.86 \text{ m}\Omega \pm 0.27 \%$$

Conclusiones: Con este método se ha tratado de medir haciendo uso de un voltímetro en paralelo con una resistencia para evitar el uso del amperímetro. El valor obtenido en la medida de la resistencia ha sido de 27.86 mΩ, que es bastante similar a 25 mΩ, no encontrándose sin embargo, el valor dado por el fabricante en el rango de posibles valores.

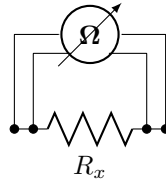
También es importante apreciar que en la medida de resistencias pequeñas es difícil conseguir tensiones cercanas a los alcances mínimos disponibles en los voltímetros, lo que supone una pérdida de precisión en la medida de las tensiones, y por ende, en la de la resistencia a medir. Además, para alcanzar dichas tensiones cercanas al alcance, son necesarias intensidades considerables, que no aguantan todas las resistencias, lo que supone una dificultad adicional a la hora de encontrar una resistencia patrón.

Un último factor a tener en cuenta es la resolución, ya que mientras que con el uso de fuentes de tensión la resolución aumenta poco debido a los pequeños y parecidos valores de las resistencias, es recomendable hacer uso de fuentes de intensidad cuya resolución en la tensión de las resistencias se verá mejorada al ser estas menores que la unidad.

Ensayo 2.2: Medida de una resistencia pequeña con instrumento de lectura directa

Enunciado: Medida de la resistencia de entrada de un transformador de intensidad 10/5 A, 6 VA, clase 0.5, la resistencia del conductor de un cable amperimétrico y volimétrico y la resistencia de contacto de una conexión a un miliohmímetro.

Esquema de conexión:



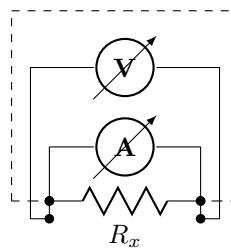
Preparación: Se dispone de dos miliohmímetros de 2000 y 4000 cuentas con distintas precisiones:

Miliohmímetro	Incertidumbre
(2000 cuentas)	0.1 %lect. + 0.25 %alc.
(4000 cuentas)	0.05 %lect. + 0.09 %alc.

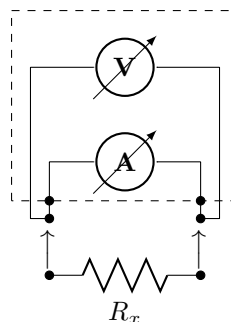
Todas las medidas se realizan de forma directa y a cuatro hilos. La resistencia de entrada del transformador de intensidad se mide con el miliohmímetro de 4000 cuentas en alcance de 40 mΩ.

Con el mismo aparato de medida, se realiza la medida de la resistencia de los conductores amperimétricos y voltimétricos. Para ello, se hace uso de las bornas de conexión del miliohmímetro, atendiendo a la conexión adecuada de los conductores para incluir o eliminar la resistencia de contacto de dichos cables.

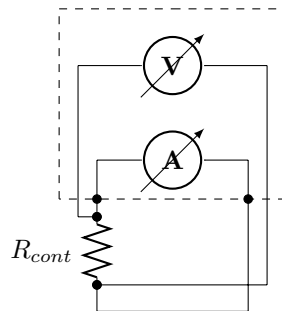
Ensayo sin resistencia de contacto: El ensayo sin resistencia de contacto se consigue conectando la resistencia (conductor) a las bornas de la fuente de intensidad y el voltímetro del aparato entre ambas.



Ensayo con resistencia de contacto: El siguiente ensayo con resistencia de contacto se consigue conectando una borna del voltímetro a una de las bornas del amperímetro, antes de la resistencia, y después se conecta dicha resistencia entre esta borna y la restante del amperímetro y por último la borna del voltímetro.



Medida de la resistencia de contacto: Para medir la resistencia de contacto R_{cont} , se conecta un borna del voltímetro a la entrada del amperímetro, la R_{cont} , la otra borna del voltímetro y finalmente se cierra el circuito de intensidad conectando la última borna del voltímetro al amperímetro



Lista de aparatos:

Aparatos de Precisión:

- Miliohmímetro (4000 cuentas): 40, 400mΩ, 4, 40, 400Ω, 4kΩ; 0.05 % lect.+0.09 % alc.

Medidas: Resistencia del arrollamiento del transformador de intensidad:

$$R_x = 25.70 \text{ m}\Omega$$

Incertidumbre en la medida:

$$\alpha(R_x) = \frac{0.05}{100} \cdot 25.7 + \frac{0.09}{100} \cdot 40 = 0.05 \text{ m}\Omega$$

$$\varepsilon(R_x) = \frac{\alpha(R_x)}{R_x} \cdot 100 = 0.19 \%$$

Medida de las resistencias de un cable amperimétrico:

	R_x (mΩ)	$\alpha(R_x)$ (mΩ)	$\varepsilon(R_x)$ (%)	Medida
R sin contactos	4.88	0.04	0.79 %	$4.88 \pm 0.04 \text{ m}\Omega$, $4.88 \text{ m}\Omega \pm 0.79 \%$
R con contactos	9.15	0.04	0.44 %	$9.15 \pm 0.04 \text{ m}\Omega$, $9.15 \text{ m}\Omega \pm 0.44 \%$
Contacto	1.56	0.04	2.36 %	$1.56 \pm 0.04 \text{ m}\Omega$, $1.56 \text{ m}\Omega \pm 2.36 \%$

Medida de las resistencias de un cable voltimétrico:

	R_x (mΩ)	$\alpha(R_x)$ (mΩ)	$\varepsilon(R_x)$ (%)	Medida
R sin contactos	10.21	0.04	0.40 %	$10.21 \pm 0.04 \text{ m}\Omega$, $10.21 \text{ m}\Omega \pm 0.40 \%$
R con contactos	12.21	0.04	0.34 %	$12.21 \pm 0.04 \text{ m}\Omega$, $12.21 \text{ m}\Omega \pm 0.34 \%$
Contacto	0.9	0.04	4.05 %	$0.9 \pm 0.04 \text{ m}\Omega$, $0.9 \text{ m}\Omega \pm 4.05 \%$

Resultados:

Medida de la resistencia del arrollamiento:

$$R_x = 25.70 \pm 0.05 \text{ m}\Omega = 25.7 \text{ m}\Omega \pm 0.19 \%$$

Medida de las resistencias de un cable amperimétrico:

R_x	Medida
R sin contactos	$4.88 \pm 0.04 \text{ m}\Omega$, $4.88 \text{ m}\Omega \pm 0.79 \%$
R con contactos	$9.15 \pm 0.04 \text{ m}\Omega$, $9.15 \text{ m}\Omega \pm 0.44 \%$
Contacto	$1.56 \pm 0.04 \text{ m}\Omega$, $1.56 \text{ m}\Omega \pm 2.36 \%$

Resistencias de un cable voltimétrico:

R_x	Medida
R sin contactos	$10.21 \pm 0.04 \text{ m}\Omega$, $10.21 \text{ m}\Omega \pm 0.40 \%$
R con contactos	$12.21 \pm 0.04 \text{ m}\Omega$, $12.21 \text{ m}\Omega \pm 0.34 \%$
Contacto	$0.9 \pm 0.04 \text{ m}\Omega$, $0.9 \text{ m}\Omega \pm 4.05 \%$

Conclusiones: Con respecto a la resistencia del transformador, se puede concluir que la medida directa de resistencias proporciona un valor más cercano y fiable que el obtenido por comparación de tensiones, ya que no requiere más aparatos que el de medida, no modifica el circuito (con el consiguiente posible error sistemático a considerar) y, además, es posible la medida a cuatro hilos, que mejora la precisión, ya que permite descontar las resistencias de los cables de los instrumentos.

Con respecto a los cables voltimétricos y amperimétricos, se comprueba que este último presenta menor resistencia, como era de esperar. Además, existe coherencia entre los resultados obtenidos con y sin resistencia de contacto, puesto que la suma de las resistencias sin contacto más la propia del contacto nos da un resultado muy próximo a la resistencia completa del cable.

Se podría mejorar la precisión de ambas medidas con un miliohmímetro con menores alcances, ya que el alcance utilizado (que era el más pequeño posible) se encontraba lejos del valor a medir, lo que conlleva un aumento de la incertidumbre.

Ensayo 2.3: Medida de una resistencia de aislamiento con instrumento de lectura directa

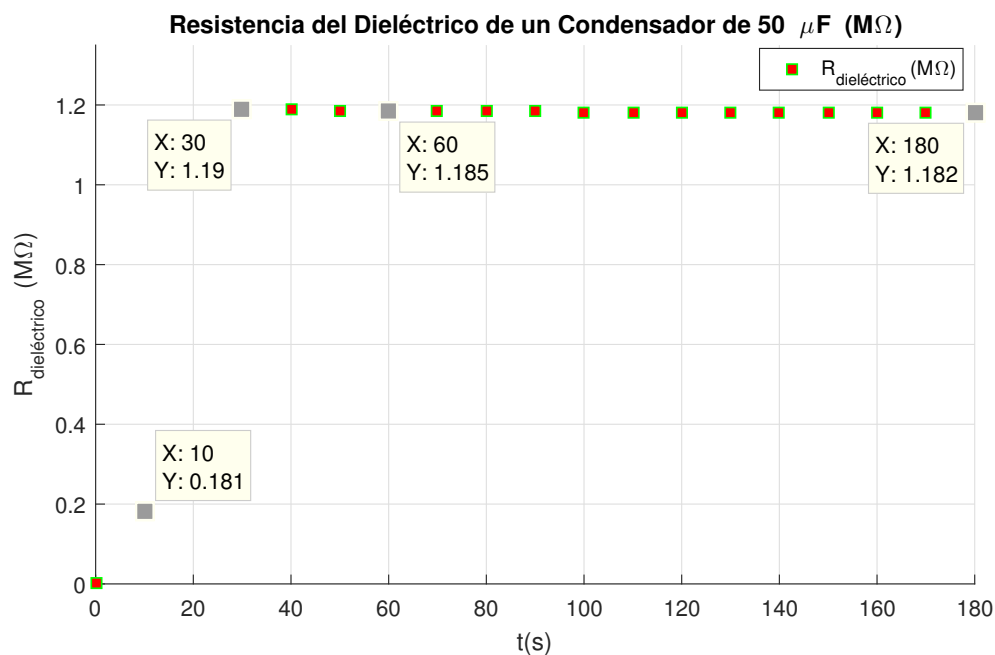
Enunciado: Medida de la resistencia de aislamiento de un cable de audio, y de la resistencia del dieléctrico de un condensador de capacidad $50 \mu F$, con un gigaohmímetro.

Lista de aparatos:

Aparatos de Precisión:

- Gigaohmímetro (4000 cuentas): 4, 40, 400, 4000M Ω ; 3 % + 5dig ($\geq 2G\Omega$), 5 + 5dig ($\geq 2G\Omega$). Tensiones de medida: 250V, 500V y 1000V. Corriente de medida: 1mA.

Medidas:



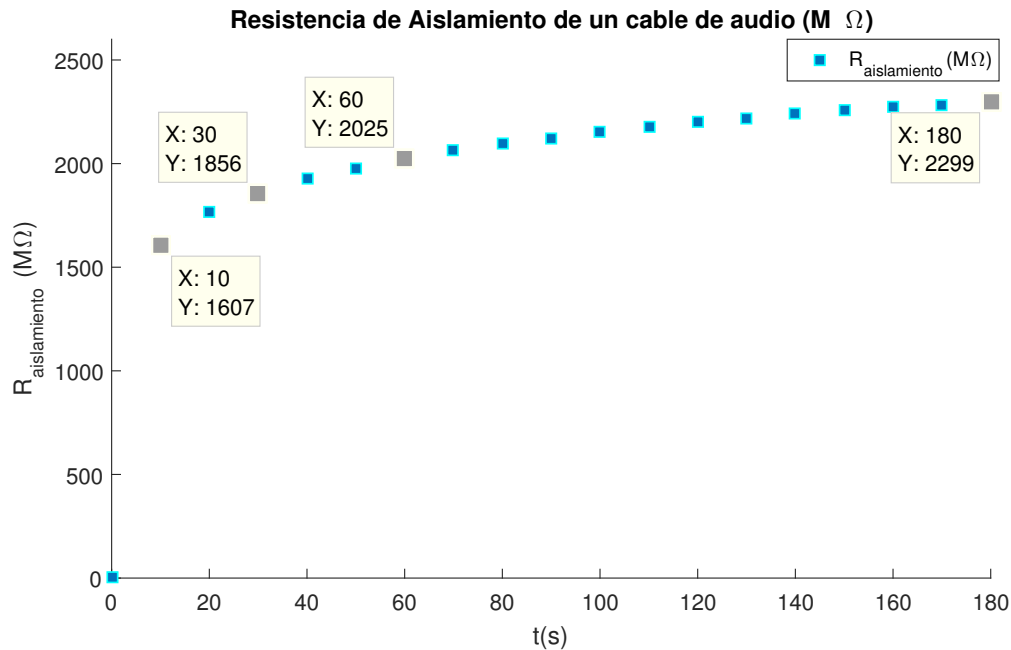
Resultados:

Condensador ($50 \mu F$). Los índices que se han de medir para analizar la calidad y el estado del dieléctrico son el ratio de absorción dieléctrica, DAR y el índice de polarización, PI :

$$DAR = \frac{R(60 s)}{R(30 s)} = \frac{1.185}{1.19} = 0.996$$

Para el cálculo del PI , se supondrá que la resistencia medida a los 10 minutos es igual que la medida a los 3 minutos ya que esta última se mantiene prácticamente constante. Así, se tiene:

$$PI = \frac{R(10 min)}{R(1 min)} = \frac{1.182}{1.185} = 0.998$$

Medidas:**Resultados:**

Cable de Audio. Los índices que se han de medir para analizar la calidad y el estado del dieléctrico son el ratio de absorción dieléctrica, *DAR* y el índice de polarización, *PI*:

$$DAR = \frac{R(60\ s)}{R(30\ s)} = \frac{2025}{1856} = 1.091$$

Para el cálculo del *PI*, se supondrá que la resistencia medida a los 10 minutos es igual que la medida a los 3 minutos ya que esta última se mantiene prácticamente constante. Así, se tiene:

$$PI = \frac{R(10\ min)}{R(1\ min)} = \frac{2299}{2025} = 1.135$$

Conclusiones: Yendo a la tabla de criterios generalmente aceptados para comparar el estado de los aislamientos que se presenta a continuación:

Estado de aislamiento	Índice	
	DAR	PI
Peligroso	< 1	< 1
Dudoso	1 a 1.25	1 a 2
Bueno	1.4 a 1.6	2 a 4
Excelente	>1.6	>4

Del aislamiento del condensador, se puede concluir, según la tabla, que el aislamiento es de dudosa calidad más cercano a peligroso, que a bueno, ya que tanto el *Dar* como el *PI*, están muy cercanos 1.

Del aislamiento del cable de audio, se puede concluir, según la tabla, que el aislamiento del cable es peligroso, y de estado dudoso, con un *Dar* como el *PI*, están muy cercanos 1, pero inferiores a la unidad.

Ensayo 2.4: Medida de resistencias de toma de tierra

Enunciado: Medida de las resistencias de toma de tierra con un simulador de tomas de tierra.

Lista de aparatos:

- Telurímetro (2000 cuentas): 20, 200, 2000 Ω ; 1 % lect. + 0.5 % alc.; RV=3M Ω ; Fuente intensidad: R0j40k Ω .

Medidas: Se miden, en parejas, las distintas tomas auxiliares, cuyos resultados son: Se puede

A4 y A6	R=19.8 Ω
A5 y A4	R=19.8 Ω
A5 y A6	R=21.2 Ω

deducir que la resistencia distinta de las otras dos es la A4, por lo que queda descartada y se hará uso de las tomas A5 y A6. Realizando las medidas a tres hilos se obtienen los siguientes valores de las tomas principales:

$$T_1 = 21.2 \Omega$$

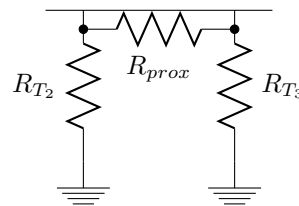
$$T_2 = 19.3 \Omega$$

$$T_3 = 16 \Omega$$

Además, midiendo a las tomas de tierra por parejas, se tiene que :

T_1 y T_2	R=41 Ω
T_1 y T_3	R=37.9 Ω
T_2 y T_3	R=16.3 Ω

Resultados: Se comprueba en la tabla anterior que las conexiones $T_1 - T_2$ y $T_1 - T_3$ son el resultado de la suma de las individuales, pero no así ocurre lo mismo con $T_2 - T_3$ que es mucho menor que la suma de las individuales. Ello se debe a que ambas tierras se encuentran muy próximas por lo que parte de la intensidad no pasa por el punto de tensión cero. esto se representa con una resistencia de proximidad que refleja físicamente la situación:

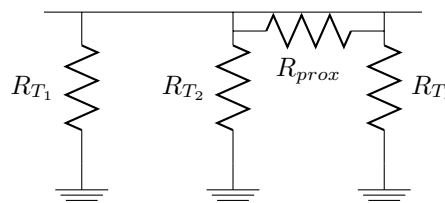


El valor de la resistencia de proximidad se puede obtener despejando del paralelo de las tres resistencias ($R_{prox} // (R_{T_2} + R_{T_3})$), cuyo valor es conocido por ser el que se ha medido:

$$16.3 \Omega = \frac{(R_{T_2} + R_{T_3}) \cdot R_{prox}}{(R_{T_2} + R_{T_3}) + R_{prox}}$$

$$R_{prox} = 30.138 \Omega$$

Por lo que finalmente se tiene:



donde $R_{T_1} = 21.2 \, \Omega$, $R_{T_2} = 19.3 \, \Omega$, $R_{T_3} = 16 \, \Omega$ y $R_{prox} = 30.138 \, \Omega$.

Conclusiones: Del ensayo se puede concluir que la influencia en la medida de la resistencia de proximidad juega un papel muy relevante en la medida de las puestas a tierra, ya que el paralelo de dos resistencias siempre da una resistencia equivalente menor que cualquiera de las dos, y esto supone que se está midiendo una resistencia (la resistencia equivalente) mucho menor a la que en realidad existe, lo que afecta a la precisión de la medida de forma determinante. El efecto de la proximidad a la hora de tomar medidas es un factor que siempre se ha de tener en cuenta.