



## Laboratorio de Mediciones Eléctricas de 6° año - Electromecánica

### Trabajo Práctico N° 7

1. ¿Qué es la puesta a tierra?
2. Nombrar y describir los tipos de puesta a tierra
3. ¿Qué es un telurímetro?
4. ¿Qué es un megóhmetro?



## CAPITULO 5

### PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN

#### Medición de Valores Resistivos

Las mediciones de valores resistivos se encuentran en los ensayos, pruebas y localización de fallas de circuitos eléctricos. Trataremos aquí las diferentes técnicas empleadas en orden de exactitud creciente. El método más elemental consiste en la aplicación directa de la *Ley de Ohm*, realizando dos mediciones. Ellas son la *corriente I* que atraviesa al *resistor R* a evaluar, y la segunda la *diferencia de potencial V* entre sus terminales. Según lo enunciado por *Ley de Ohm* tenemos:

$$R [\Omega] = \frac{V [\text{Volt}]}{I [\text{Ampere}]}$$

por lo que el *valor de resistencia R* se obtendrá realizando el cociente entre los valores de medición obtenidos.

En la fig. 5.1 se ilustra el modo de efectuar las mediciones antes citadas.

De la exactitud en las mediciones efectuadas (*V* e *I*) dependerá el error obtenido en el cálculo del valor numérico de *R*. Para reducir los errores de medición al mínimo, se deberán considerar los puntos ya explicados en tal sentido, teniendo la precaución de utilizar un voltímetro con alta impedancia de entrada para evitar cargar el circuito a medir.

Este proceso es el utilizado para la medición de la *resistencia de puesta a tierra* de una instalación industrial o domiciliaria. Se deberá contemplar la puesta a tierra para el correcto funcionamiento de determinados equipos y artefactos que posean un elevado consumo de corriente (alta potencia consumida) y que la misma se encuentre dentro de los valores reglamentarios.

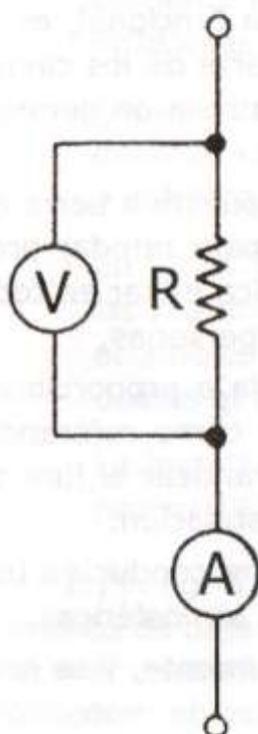


Fig. 5.1

Se entiende por *puesta a tierra* la vinculación



## 50 Introducción a las Mediciones Eléctricas - P. C. Rodríguez

intencional de un conductor a tierra. Si esta unión se realiza sin interposición de alguna impedancia (ó resistencia), se dice que se trata de una *puesta a tierra directa*. En caso contrario, sería una *puesta a tierra indirecta*. La importancia de la puesta a tierra en instalaciones domiciliarias e industriales, radica en la seguridad para las personas por posibles contactos indirectos contra tensiones peligrosas.

La A.E.A. (Asociación Electrotécnica Argentina) establece que con una *tensión de contacto*  $V_c$  de 24 Volt, la *resistencia a tierra*  $R_t$  existente deberá tener un valor de hasta  $10\Omega$  para viviendas unitarias, y no mayor de  $20\Omega$  para viviendas colectivas (edificios y/o complejos habitacionales).

La puesta a tierra se realiza mediante un conjunto de conductores (jabalinas) en contacto con la tierra que garantizan una unión íntima con ella (baja resistencia de contacto).

Cuando las jabalinas están lo suficientemente separadas para que la corriente de falla (corriente de fuga) que circule no modifique el potencial de las demás, se dice que los electrodos de tierra son independientes. Existen diferentes tipos de puesta a tierra, según el objetivo a cubrir.

Describiremos brevemente los diferentes tipos de puesta a tierra:

***Puesta a tierra de servicio*** : también llamada funcional, es la que mantiene el potencial de tierra de alguna parte de los circuitos de alimentación, como ser los centros de estrella de generadores y transformadores trifásicos.

***Puesta a tierra de protección*** : consiste en la puesta a tierra de elementos conductores ajenos a la instalación para brindar protección contra contactos indirectos, lo que significa evitar en todo momento corrientes de falla peligrosas para las personas.

***Puesta a tierra de referencia*** : está destinada a proporcionar un potencial constante, que se podrá emplear como referencia para determinados equipos. Se emplea para garantizar el funcionamiento correcto, seguro y confiable de una instalación.

***Puesta a tierra para pararrayos*** : se utiliza para conducir a tierra las sobretensiones producidas por descargas atmosféricas.

***Puesta a tierra conjunta*** : se utilizan ocasionalmente, y se realizan en forma conjunta entre las *funcionales* y las de *protección*.

Antes de realizar la puesta a tierra, se deberá medir la resistencia del terreno donde se pondrán las jabalinas. En función de ello y cumpliendo



## Capítulo 5: Procedimientos de Medición

51

con las normas vigentes de la A.E.A. se deberá decidir la cantidad de jabalinas a poner para lograr la *resistencia*  $R_t$  máxima fijada para cada caso. La *resistividad del terreno*  $G_t$  se determinará según la norma IRAM 2281, parte I. En función de dicha determinación, se aplicará la relación aproximada entre la *resistividad eléctrica del terreno*  $G_t$  [ $\Omega/m$ ] y el largo de la jabalina (de acero con recubrimiento de cobre), la cual es:

$$\begin{aligned} R_t &= 0,33 \cdot G_t && \text{para jabalinas de 3 metros de largo, y} \\ R_t &= 0,55 \cdot G_t && \text{para jabalinas de 1,5 metros de largo.} \end{aligned}$$

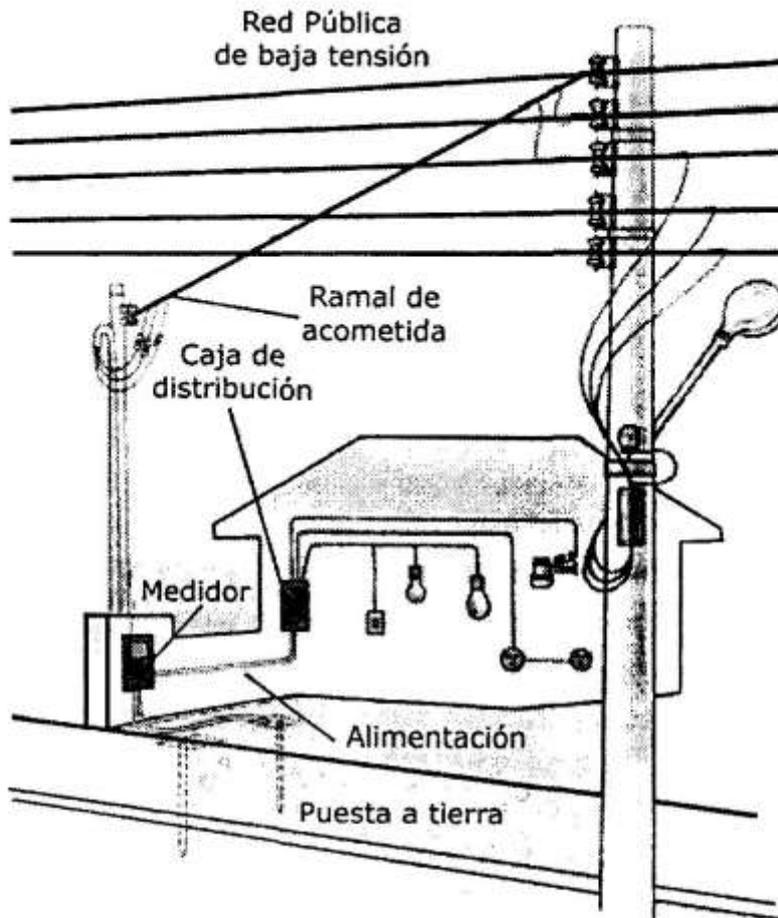
La puesta a tierra de protección es la que se realiza normalmente en los edificios e industrias, de allí la importancia de conocer sus características. La A.E.A. establece para los mismos las siguientes disposiciones generales, a saber:

- El *conductor de protección* (denominado comúnmente conductor de tierra) será eléctricamente continuo y no deberá estar eléctricamente seccionado en ningún punto de la instalación, *ni deberá pasar por el disyuntor diferencial*. Tendrá la capacidad de soportar la corriente de cortocircuito máxima coordinada con las protecciones instaladas en el circuito.
- Como *conductores de protección en instalaciones domiciliarias* se deberán utilizar cables unipolares aislados, del tipo autoextinguible o antillama, con una *sección no menor a 2,5 mm<sup>2</sup>*.
- En todos los casos deberá efectuarse la *conexión a tierra de todas las masas de la instalación*. Las masas que son simultáneamente accesibles y pertenecientes a la misma instalación eléctrica estarán unidas al mismo sistema de puesta a tierra.
- La instalación se deberá realizar de acuerdo a lo enunciado en la *Norma IRAM 2281, parte III*.

En la fig. 5.2 se observa en forma esquemática una bajada de la red pública de baja tensión (ramal de acometida). Además, se ilustra la conexión al medidor y a la caja de distribución, la toma de tierra (jabalinas), y la distribución interna en un domicilio. Es evidente que un buen contacto eléctrico significa una baja resistencia de contacto eléctrico, por lo que una buena medida de la efectividad de la puesta a tierra es su valor



**52**      *Introducción a las Mediciones Eléctricas - P. C. Rodríguez*



*Fig. 5.2 Ramal de acometida domiciliario*

de resistencia eléctrica. En la actualidad existen instrumentos de medición llamados *telurímetros*, los cuales son capaces de medir la resistencia que un sistema de puesta a tierra posee. De hecho, no es más que un ohmetro con la salvedad de proporcionar al circuito a medir una corriente alterna en lugar de corriente continua.

La razón de utilizar corriente alterna es para evitar un efecto químico sobre la jabalina llamado de "polarización". Este fenómeno es de origen electroquímico, y tiene vinculación con los procesos producidos en una cuba electrolítica por liberación de hidrógeno sobre los electrodos (en este caso sobre la jabalina). Este efecto hace que varíe la superficie de la jabalina en contacto con el terreno, haciendo que la medición realizada no responda al valor real. Otro motivo por el que se utiliza corriente alterna es tratar de reproducir más fielmente las condiciones de servicio. En los equipos modernos de medición, la corriente alterna es producida por un circuito oscilador alimentado por corriente continua. Antiguamente, los equipos medidores poseían un generador de corriente alterna a manivela o motorizado, tal cual lo detallado en el Capítulo 2 (Voltímetro con generador), instrumental que en la actualidad ha caído en un total desuso.

La frecuencia de la corriente alterna utilizada no está relacionada con



la misma que se tendrá en servicio (frecuencia de línea). Esto se debe a que si el circuito de puesta a tierra se encuentra en servicio, no aparezcan inconvenientes en su funcionamiento durante el proceso de medición. Las frecuencias de la señal alterna de prueba están entre 125 y 1.700 Hz.

| Terminal de medición | Color normalizado | Electrodos a conectar          |
|----------------------|-------------------|--------------------------------|
| E                    | Negro             | Electrodo a medir E (jabalina) |
| P (S)                | Amarillo          | Electrodo auxiliar de tierra P |
| C (H)                | Rojo              | Electrodo auxiliar de tierra C |

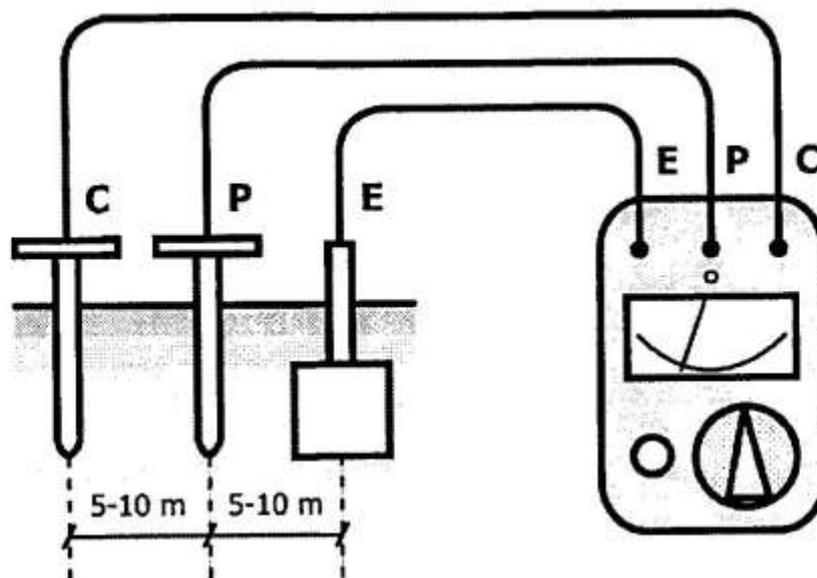


Fig. 5.3 Esquema básico de un telurímetro con tres electrodos

Básicamente el *telurímetro* es un generador de corriente alterna de intensidad constante, que inyecta corriente en el terreno (tierra) mediante un electrodo (jabalina auxiliar). Este método se denomina de tres electrodos, por utilizar un terminal común entre la inyección de corriente y el circuito a ensayar, otro para inyectar la corriente alterna de ensayo y el tercero para la medición de la caída de tensión producida (Fig. 5.3). El circuito eléctrico se cierra por el *electrodo a medir E* (bajo ensayo). La distancia existente entre electrodos deberá ser la detallada, debiéndose respetar el orden y, además, que la posición del *electrodo auxiliar P* sea equidistante entre el *electrodo auxiliar C* y el *electrodo a medir E* (jaba-



## 54 Introducción a las Mediciones Eléctricas - P. C. Rodríguez

lina). Todos los instrumentos (analógicos y/o digitales) indicarán en forma directa el valor de resistencia existente entre la jabalina y el terreno.

Todos los instrumentos de esta clase poseen una escala para medir la tensión residual de una jabalina conectada a un circuito energizado, para que el usuario pueda determinar si es posible realizar la medición o no. Los equipos comerciales poseen distinta inmunidad a la corriente alterna residual de línea, por lo que es necesario realizar la medición de tensión para determinar si están dadas las condiciones para llevar a cabo la medición de resistencia. Por lo general, los equipos de medición están preparados para poder efectuarla aún con tensiones residuales en el rango de 5 a 15 Volt como máximo.

Existen en el mercado *telurímetros a pinza*, los que son relativamente recientes. Ellos permiten medir la resistencia de un sistema de puesta a tierra sin la necesidad de desconectarlo del sistema ni la colocación de electrodos auxiliares. Esto resulta de utilidad cuando se desea medir la eficiencia de una puesta a tierra en una zona urbanizada, donde es imposible disponer de terreno para clavar los electrodos auxiliares.

La pinza, similar en formato al de una pinza amperométrica, consta de un bobinado funcionando como primario de un transformador, el que cumple la función de inyectar corriente al circuito cerrado formado por la jabalina o electrodo a ensayar y las demás conexiones a tierra que existan en el circuito.

El principio de funcionamiento es el de un transformador con núcleo partido donde el secundario (cable de conexión a tierra de la jabalina) posee una resistencia de carga de bajo valor óhmico, la cual se desea medir. Por los principios básicos de los transformadores, la corriente del secundario será función de la carga que le sea aplicada, y a su vez, guardará relación con la corriente del primario en función de su relación de transformación. Analizando los casos extremos, si el circuito secundario está abierto (impedancia infinita), la corriente que circulará por su bobinado será nula ( $I=0$ ), y por ende, el valor de magnetización que tomará el núcleo lo tomaremos en forma arbitraria como valor cero. Si por el contrario, el valor de impedancia es cero, la corriente del primario del transformador tomará un valor máximo. Dicho valor dependerá de las características que el transformador posea (sección del alambre del bobinado, reluctancia del circuito magnético, etc.).

Entre estos dos valores extremos, el instrumento es capaz de medir



valores de resistencia a tierra, y lo realiza sensando la corriente que circula por el bobinado primario del transformador, deduciéndolo de tal valor la corriente de magnetización del núcleo del mismo. El valor medido estará expresado como impedancia de carga del secundario [ $\Omega$ ]. Estos instrumentos no están preparados para expresar un valor de resistencia a tierra igual a cero, ya que la misma puede tomar valores cercanos a cero pero nunca se da la condición que sea realmente cero.

### **Medición de aislación**

Convencionalmente, se desea medir la aislación de un sistema eléctrico para poder determinar el grado de riesgo del mismo ante un valor de sobretensión transitoria.

Generalmente, son tres los casos en que el instalador desea determinar los valores posibles de aislación, a saber:

1. *En una instalación monofásica domiciliaria*
2. *En una instalación trifásica industrial*
3. *En una instalación con entrada trifásica y consumos monofásicos*

Se sabe que en una instalación monofásica tenemos un polo cercano al potencial de tierra denominado *neutro* y el otro polo denominado *vivo*. La tensión nominal de red monofásica en la República Argentina es de *220 Volt eficaces*. Dicho valor indica que en realidad la *tensión de pico* de la línea de suministro de energía es de *311,12 Volt*. Para verificar que un cable posea la aislación suficiente para soportar dicha tensión, se aplica al mismo un valor de tensión controlada, comprobando que no circule corriente entre su aislante y el entorno, o que si existe una corriente, ésta sea de un valor muy reducido. El instrumento utilizado para tal operación se denomina *Megóhmetro*. Básicamente es una fuente de corriente continua de tensión conocida y un instrumento que mide la corriente que es proveída por la fuente, el cual está calibrado en unidad de resistencia (generalmente en *millones de Ohm, M $\Omega$* ).

En la Argentina, la reglamentación vigente exige ensayar la aislación de una instalación eléctrica con una tensión de CC que sea por lo menos dos veces superior a la tensión eficaz de CA que posea la línea en servicio. Además, se menciona en la misma reglamentación, que la aislación mínima deberá ser de *1.000  $\Omega$ /Volt*. Por lo mencionado, los instrumentos



## 56 Introducción a las Mediciones Eléctricas - P. C. Rodríguez

a utilizar para verificar una instalación de 220 V, para dar cumplimiento a la reglamentación en plena vigencia, deberá aplicar una tensión de por lo menos 440 V de CC. Para las instalaciones trifásicas de 380 V de CA, la tensión de ensayo deberá ser de por lo menos 760 V de CC.

Usualmente, los instrumentos están proyectados para una tensión de ensayo de 250 V; 500 V y 1.000 V de CC, por lo que se utiliza la de 500 Volt para las líneas de alimentación monofásicas y la de 1.000 Volt para las líneas de alimentación trifásica.

La escala menor de medida (250 V CC) se utiliza, según la reglamentación, para efectuar la medición de aislación en circuitos de baja tensión y entre pares telefónicos.

La metodología utilizada para realizar cualquier medición de aislación está perfectamente detallada en la norma vigente. La instalación eléctrica puede poseer más de un circuito a partir de la acometida de la empresa proveedora de energía. Lo primero que se deberá realizar es desconectar la provisión de energía y seccionar todos los circuitos mediante los interruptores o llaves térmicas correspondientes. Una vez hecho esto, se conectará el instrumento a la línea mediante sus puntas de prueba. Por lo general, todos los instrumentos poseen dos terminales identificados como *LINE* (del inglés *línea*) y *EARTH* (del inglés *tierra*), aunque en algunos equipos la denominación puede ser diferente. Luego se enciende el instrumento y se podrá leer en su escala o display (según sea analógico o digital) el valor de aislación del sistema evaluado. Nunca se deberá encender el instrumento antes de conectar las puntas de prueba, ya que en el ensayo se utilizarán tensiones elevadas de corriente continua. Por otra parte, se deberá evitar el contacto directo con el circuito a evaluar ya que pueden existir fallas en la aislación y se produciría una descarga eléctrica a través del cuerpo humano.

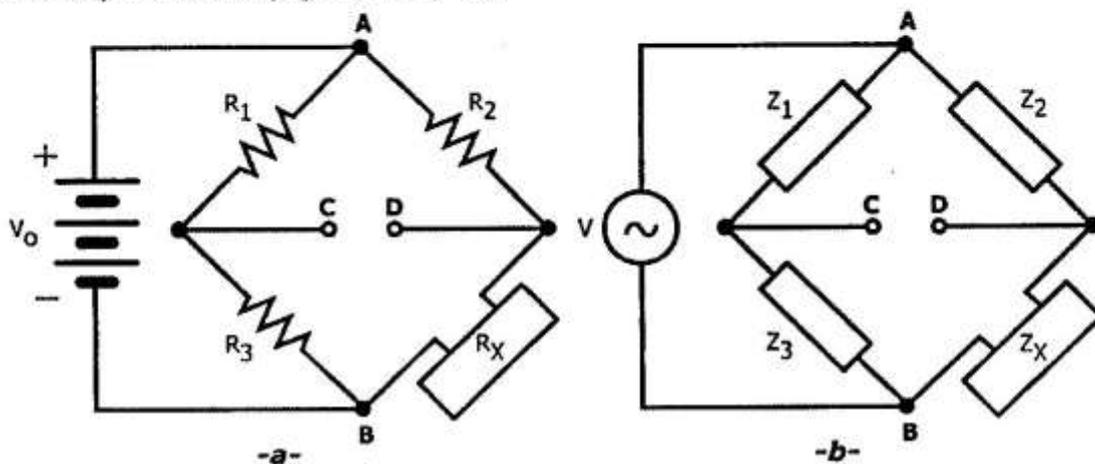
### **Medición de Capacitancia, Inductancia e Impedancia**

Aunque se puede realizar la medición de los valores de *capacitancia* e *inductancia* por métodos indirectos (medición de la *constante de tiempo*  $\tau$  en un circuito *RC* y *RL* respectivamente\*), estos no son de aplicación corriente por los errores que se introducen en las diversas mediciones.

\* Para mayores datos al respecto, consultar "Componentes Electrónicos", por Pedro C. Rodríguez, Librería y Editorial Alsina, 2001, Buenos Aires, Argentina.



Por ende, las mediciones de capacitancia, inductancia e impedancia se realizan utilizando circuitos denominados *punte* en los que el grado de exactitud logrado es muy superior. El *circuito punte* a utilizar está basado en el *Punte de Wheatstone* usado para la medición de resistencia. La diferencia radica en que en este caso, los valores a equilibrar en el mismo son impedancias (fig. 5.4 a y b).



Figuras 5.4 a y b Punte de Wheatstone para medición de resistencias (CC) y para medición de impedancias (CA)

La *condición de equilibrio* examinada en la sección *a* de la fig. 5.4 es la siguiente, a saber:

$$R_X \cdot R_1 = R_2 \cdot R_3$$

siendo  $R_X$  el valor incógnita de resistencia y  $R_1$ ;  $R_2$  y  $R_3$  resistores con valores conocidos. En dicha condición de equilibrio, la diferencia de potencial medida entre los terminales CD deberá ser nula.

Si sustituimos los resistores del *punte de Wheatstone* original por impedancias de naturaleza reactiva y resistiva como ilustra la sección *b* de la fig. 5.4, al aplicar una señal alterna entre los bornes A y B del circuito, se establecerá la siguiente ecuación de equilibrio:

$$Z_X \cdot Z_1 = Z_2 \cdot Z_3$$

Este es el principio utilizado por los *instrumentos punte* empleados en la medición de *capacitancias*, *inductancias* o *impedancias*, en este último caso, cuando hay una combinación serie o paralelo de componentes RLC. Explicar su funcionamiento para cada tipo de caso específico esca-



## 58 Introducción a las Mediciones Eléctricas - P. C. Rodríguez

pa a los alcances fijados para este libro. Para ello, se deberá tener un manejo fluido de números complejos y cálculo fasorial. Sólo mencionaremos a título informativo que son utilizados comercialmente cinco tipos de puentes de medición de impedancia. En los tres primeros, se logra medir valores de capacitancia, mientras que en los dos últimos se logra medir inductancias. En ambos casos también se puede determinar su resistencia de fuga. Los cinco tipos de puentes mencionados son:

### 1. Puente de medición de capacitancia en serie:

En este tipo de puente, la impedancia  $Z_3$  esté conformada por un capacitor  $C_3$  y una resistencia  $R_3$  en serie. Las impedancias  $Z_1$  y  $Z_2$  son resistores  $R_1$  y  $R_2$ . Cuando los valores asignados a tales componentes ( $C_3$  y  $R_3$ ) logren obtener una condición de equilibrio (tensión nula entre bornes CD), el valor de impedancia  $Z_3$  será equivalente a la impedancia incógnita  $Z_X$ .

### 2. Puente de medición de capacitancia en paralelo:

En este tipo de puente, la impedancia  $Z_3$  esté conformada por un capacitor  $C_3$  y una resistencia  $R_3$  en paralelo. Las impedancias  $Z_1$  y  $Z_2$  son resistores  $R_1$  y  $R_2$ . Cuando se logre la condición de equilibrio (tensión nula entre bornes CD), el valor de impedancia  $Z_3$  será equivalente a la impedancia incógnita  $Z_X$ .

### 3. Puente de Schering:

En este tipo de puente medidor de capacitancia, la impedancia  $Z_1$  esté conformada por un capacitor  $C_1$  y una resistencia  $R_1$  en paralelo. La impedancia  $Z_X$  incógnita es un circuito **serie RC**. La impedancia  $Z_2$  es un resistor  $R_2$  y  $Z_3$  es un capacitor  $C_3$ . De igual forma, cuando se logra la condición de equilibrio (tensión nula entre bornes CD), el valor de impedancia  $Z_1$  será equivalente a la impedancia incógnita  $Z_X$ .

### 4. Puente de Maxwell:

Este tipo de puente se utiliza para la medición de inductancia. Las impedancias  $Z_2$  y  $Z_3$  son resistencias variables  $R_2$  y  $R_3$ ; la  $Z_1$  es un circuito **RC paralelo**, compuesto por  $R_1$  y  $C_1$ ; y  $Z_X$  es un circuito **RL serie** formado por  $L_X$  y  $R_X$ . Cuando se logra la condición de equilibrio (tensión nula entre bornes CD), el valor de impedan-



cia  $Z_1$  será equivalente a la impedancia incógnita  $Z_X$ .

#### 5. Puente de Hay:

Este tipo de puente se utiliza para la medición de inductancia. Las impedancias  $Z_2$  y  $Z_3$  son resistencias variables  $R_2$  y  $R_3$ ; la  $Z_1$  es un circuito **RC serie**, compuesto por  $R_1$  y  $C_1$ ; y  $Z_X$  es un circuito **RL serie** formado por  $L_X$  y  $R_X$ . Cuando se logra la condición de equilibrio (tensión nula entre bornes CD), el valor de impedancia  $Z_1$  será equivalente a la impedancia incógnita  $Z_X$ .

### BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Catálogo de instrumentación de medida, Fluke (2000).
- Distributor Direct, Tektronix, Vol. 9 (1999).
- Guía de Mediciones Electrónicas y Prácticas de Laboratorio, S. Wolf y R. F. M. Smith, Prentice Hall (1992).
- Collier's Encyclopedia, Tomo 8 y 15, The Crowell-Collier Publishing Co. (1965).
- Components for Electronics, Siemens Aktiengesellschaft (1976).
- Siemens Review, Volume XLI, Special Issue, Siemens (1974).
- Hewlett-Packard Computer Advances, Vol. 5 (Agosto 1980).
- Tekscope, Tektronix Vol. 12 N°1 (1980).
- Tekscope, Tektronix Vol. 13 N°3 (Septiembre 1981).
- Tekscope, Tektronix Vol. 13 N°2 (Junio 1981).
- Especificaciones y Boletines Técnicos de la firma *Multimétrica Denko*, Paraná 231, Capital Federal, Buenos Aires, ARGENTINA (e-mail: [mdenko@rcc.com.ar](mailto:mdenko@rcc.com.ar); <http://www.multimetrica.com.ar>)

Escuela de Educación Secundaria Técnica N°1  
Juan Bautista Alberdi  
Conesa



Profesor: Giovagnoli Francisco Ariel  
Correo: [frangiovagnoli@hotmail.com](mailto:frangiovagnoli@hotmail.com)

---