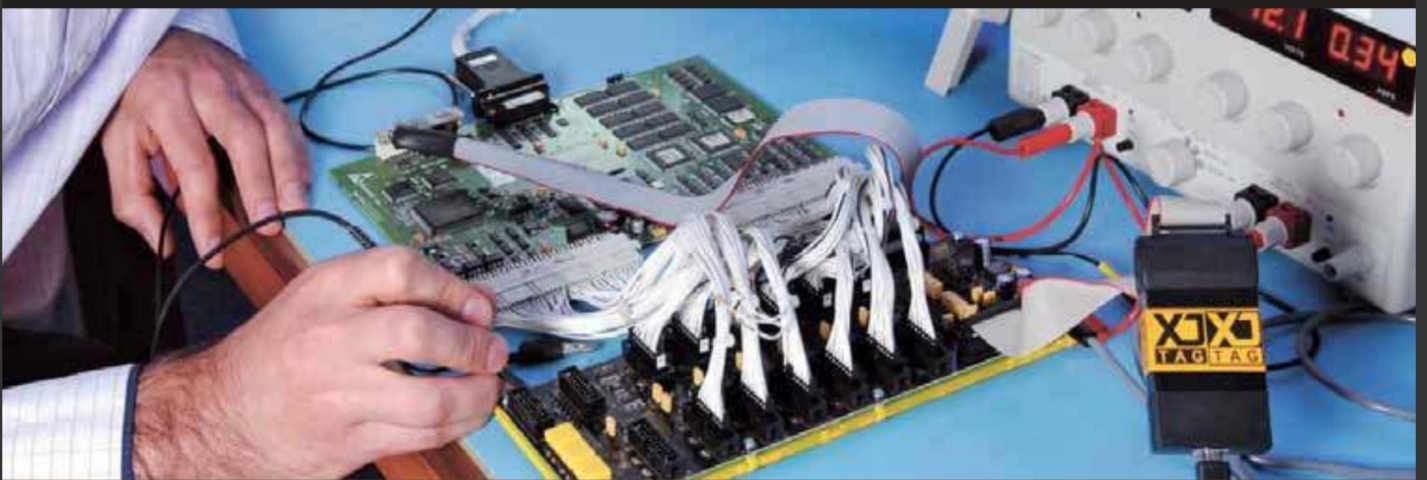


ELECTRÓNICA

Digital

03

DOMINE ESTE FASCINANTE UNIVERSO



INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

CLASE 03

- Voltímetros y amperímetros
- Multímetro
- Medición de tensión y frecuencia
- Osciloscopio

Incluye CD
con videotutoriales,
software
y glosario
de términos



USERS

Coordinador editorial
Daniel Benchimol
Asesor editorial principal
Diego M. Spaciuk
Asesor de redacción
Alan Toto Molina
Asesor de contenido
Damián Cottino
Asesor técnico
Sergio Caprile
Asesores de diseño
Jimena Minetto, Gabriela Bondone
Asesores en infografías
Federico Salguero, Ignacio Bello
Autores en esta obra
Federico Salguero, Guillermo Brolin
Asesora de corrección
Magdalena Porro
Asesora de imágenes
Renata Sanz Fuganti
Asesor de fotografía
Eduardo Rembado
Asesora de filmación
Luciana Gozar
Producción gráfica
Gustavo De Matteo
Asistentes de producción
Patricio Díaz Croce,
Juan Manuel Arena, Fernando Arias

▶ INSTRUMENTOS DE

MEDICIÓN

Coordinador editorial: Daniel Benchimol. ISBN: 978-987-663-019-1. Electrónica digital es una publicación de GRADI S.A. Esta publicación no puede ser reproducida ni en todo ni en parte, ni registrada en o transmitida por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o cualquier otro, sin el permiso previo y escrito de esta casa editorial. Distribuidores en Argentina: Capital: Vaccaro Sánchez y Cia. S.C., Moreno 794 piso 9 (1091) Ciudad de Buenos Aires. Tel. 4342-4031/4032; Interior: Distribuidora Interplazas S.A. (DISA) Pte. Luis Sáenz Peña 1832 (C1135ABN) Buenos Aires, Tel. 4305-0114. Bolivia: Agencia Moderna, General Acha E-0132, Casilla de correo 462, Cochabamba, Tel. 5914-422-1414. Chile: COPESA, Vicuña Mackena 1962, Santiago, Tel. 562-237-5822. Colombia: Distribuidoras Unidas S.A., Carrera 71 Nro. 21 - 73, Bogotá D.C., Tel. 571-486-8000 Ecuador: Disandes (Distribuidora de los Andes) Calle 7° y Av. Agustín Freire, Guayaquil, Tel. 59342-271651 México: Distribuidora Intermex, S.A. de C.V., Lucio Blanco #435, Col. San Juan Tilihuaca, México D.F. (02400), RFC DIN 870508 7D7, Tel. 52 30 95 43. Paraguay: Selecciones S.A.C., Coronel García 225, Asunción. Tel. 595-21-481-588. Perú: Distribuidora Bolivariana S.A., Av. República de Panamá 3635 piso 2 San Isidro, Lima, Tel. 4412948 anexo 21. Uruguay: Espert S.R.L., Ciudadela 1416, Montevideo. Tel. 5982-924-0766. Venezuela: Distribuidora Continental Bloque de Armas, Edificio Bloque de Armas Piso 9no., Av. San Martín, cruce con final Av. La Paz, Caracas. Tel. 58212-406-4250.

Impreso en Sevagraf S.A. Impreso en Argentina.
Copyright © Gradi S.A. MMX

N

> SABÍAS QUE...

- casi ningún aparato electrónico que conocemos hoy en día podría existir si no lo hiciera el transistor.

En esta clase, explicaremos cuáles son las medidas que podemos realizar sobre un circuito, cuál es la manera apropiada de hacerlo y qué instrumentos necesitamos.

Tomar una medida es comparar dos cantidades de una determinada magnitud física. Para esto, podemos contar con instrumentos digitales o analógicos. Los primeros -por definición de la norma IEC 485 (International Electrotechnic Commission)- son aquéllos donde la indicación aparece en forma numérica. Los segundos -por definición de la norma IEC 51- son aquéllos en los cuales la indicación resulta de relacionar la posición de un índice respecto de una escala graduada. Lo que diferencia un instrumento analógico de uno digital son los procesos que se realizan en la adquisición de la señal a medir. Para el caso de éstos últimos, los procedimientos involucran técnicas de conversión analógico-digital de la señal de entrada. Los analógicos, en cambio, proporcionan una salida de naturaleza continua, ante una entrada del mismo tipo.

En esta clase veremos

- **Instrumentos analógicos:** fueron los primeros en aparecer y tienen algunas limitaciones frente a las soluciones digitales.
- **Instrumentos digitales:** son dispositivos que convierten la entrada en pasos discretos de señal y, mediante técnicas digitales, logran mejores prestaciones.
- **Visualización de señales:** explicaremos las diferencias en la presentación y visualización de resultados de medición en ambos tipos de instrumentos.
- **Medición:** existe cierta terminología básica que se utiliza habitualmente en el campo de las medidas eléctricas y que es necesario comprender. ■



INSTRUMENTOS ANALÓGICOS

En este apartado, conoceremos las nociones elementales inherentes a los instrumentos analógicos. Analizaremos sus parámetros y especificaciones más relevantes.

La presencia de una escala graduada y de un índice o aguja para la indicación de resultados son datos más que suficientes para reconocer, en forma inmediata, un instrumento analógico. El corazón de todo instrumento de medición analógico en continua es el elemento de imán permanente y bobina móvil, también conocido como **D'Arsonval**. Los analógicos son instrumentos en los que se establece un campo magnético en el espacio existente (entrehierro), entre la bobina móvil y el imán permanente. La bobina móvil es solidaria con el índice (aguja de indicación) que se desplaza sobre la escala graduada. Dicho campo magnético tiene dirección radial y uniforme. Esto conlleva a una relación matemática entre la **cupla** (par de fuerzas que genera el movimiento del índice) y la **señal** que se detecta. Estos temas se tratan en detalle en el libro de Electrónica Analógica.

Alcance de tensión del instrumento analógico.

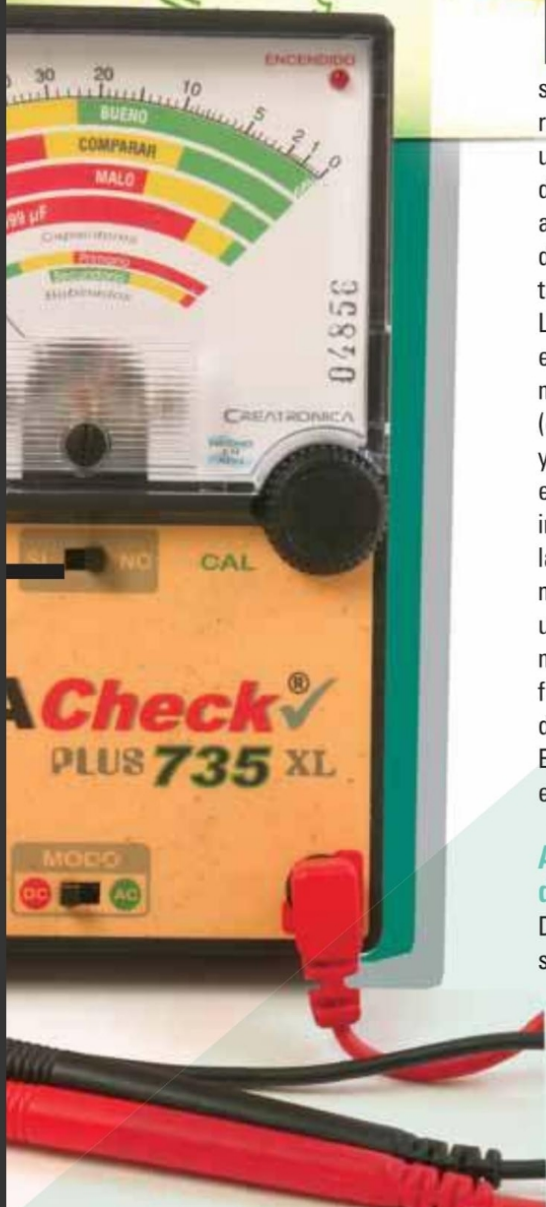
Describiremos, a continuación, cómo se utiliza en los voltímetros analógi-

> Observamos en la imagen un instrumento de medición analógico. En su frente, se destaca el switch para corriente alterna y continua.

> INSTRUMENTO DE D'ARSONVAL

El instrumento de D'Arsonval es, en esencia, un miliamperímetro y su indicación es sensible al valor medio de la corriente que circula por su bobina. Al ejercer una cupla antagónica de igual magnitud a la de la excitación, se consigue detener el índice sobre la escala graduada, haciendo posible la observación de la medida.

cos el instrumento de D'Arsonval como núcleo. Si llamamos **I_m** a la intensidad de corriente máxima que circula por la bobina del galvanómetro y **R_g** a la resistencia eléctrica que presenta dicha bobina, al aplicar la Ley de Ohm, podemos determinar el alcance de tensión **U_m** del instrumento básico. Se denomina alcance de un instrumento al máximo valor de medida –valor de fondo de escala– que puede indicar bajo una determinada configuración. Ahora bien, ¿qué pasaría si necesitáramos realizar medidas de tensiones mayores a las



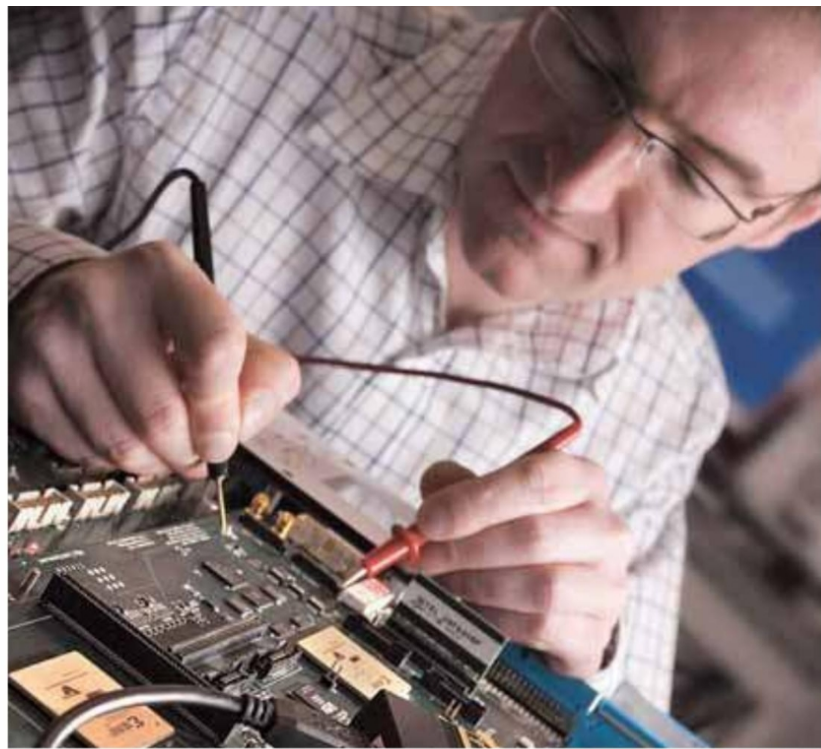
que permite el instrumento básico de D'Arsonval? Para resolver esto, es necesario intercalar otra resistencia **Rs** (denominada resistencia multiplicadora) en serie con la bobina. También tendremos que aplicar una tensión **Us** mayor, para establecer una corriente

Todo voltímetro analógico de continua incorpora el instrumento de D'Arsonval como núcleo.

Im que produzca la misma deflexión del índice. De este modo, hemos cambiado el alcance de tensión del instrumento de **Um** a **Us**.

Cifra en Ω/Volt .

Cuando se habla de cifra en Ω/Volt , se hace referencia a la indicación de la sensibilidad del instrumento. Recordemos que **Im** es la intensidad de corriente máxima admisible por el instrumento de **D'Arsonval**. Para el voltímetro se cumple la siguiente ecuación: **$I_m = U_m / R_g = U_s / R_i = \text{cte}$** , donde **Ri** es la resistencia interna del voltímetro para un determinado alcance. Llamaremos resistencia interna de un voltímetro a la suma de las resis-



■ Los instrumentos analógicos son precisos, pero debemos saber que siempre hay un margen de error en la medición.

tencias **Rs** (multiplicadora) y **Rg** (del devanado de la bobina): **$R_i = R_s + R_g$** . Al cociente **R_i / U_s** se lo denomina **cifra en Ω/Volt** y es una indicación de la sensibilidad del instrumento. A mayor cifra en Ω/Volt , estaremos en presencia de un instrumento de mayor calidad.

Amperímetro analógico

Un razonamiento similar al anterior se emplea para utilizar el instrumento de D'Arsonval como **amperímetro** de distintos alcances. En estos casos, se hace uso de una resistencia derivadora **Rshunt** (denominada resistencia de shunt) en paralelo con el instrumento básico, conformando un divisor de corriente. Ante la excitación de una corriente **Is**, la resistencia derivadora **Rshunt** se elige

de manera que, a través de la bobina de resistencia **Rg**, circule **Im**, por la simple aplicación de la Ley de Ohm.

Índice de clase de un instrumento analógico

Otro índice o parámetro de fabricación característico de los instrumentos analógicos es el denominado **índice de clase C**, el cual nos permite calcular el error intrínseco del instrumento. Se define así al error que se comete sistemáticamente por la utilización del instrumento en la obtención de una medida. Es propio del instrumento. Dado el índice de **clase C**, el error intrínseco (**Ei**) del instrumento se obtiene al despejar la siguiente ecuación:

$E_i = C \times (\text{Valor de fondo de escala})$. ■

> CONSEJO PARA INSTRUMENTOS ANALÓGICOS

Siempre conviene medir lo más próximo posible al fondo de escala, para que el error relativo tenga menor peso. El error relativo mínimo que podemos obtener es aquél que se comete cuando se mide a fondo de escala. Tal valor coincide con el valor del índice de clase C.



DCV

ACV

DCA

INSTRUMENTOS DIGITALES

Los instrumentos digitales ganaron terreno debido a la sensibilidad y exactitud en las medidas. Conozcamos sus características.

Todo instrumento digital se caracteriza por incluir una etapa de conversión y digitalización de la señal analógica de entrada. Los conversores A/D (Analógicos/Digitales) son dispositivos que dividen la amplitud de una señal de tensión analógica en pasos discretos.

Indicaciones en el display numérico

Una característica importante de los instrumentos digitales tiene que ver con el número de dígitos que utilizan para la presentación de la medida. Un multímetro típico es del tipo **3 ½ dígitos**, es decir, cuenta con 4 dígitos para la visualización de resultados. Los 3 últimos podrán tomar cualquier valor entre 0 y 9. La indicación de ½ hace referencia al cuarto, el más significativo, que no puede tomar cualquier valor, solo 0 ó 1. Así, la indicación máxima del instrumento será el valor 1999. Para el alcance



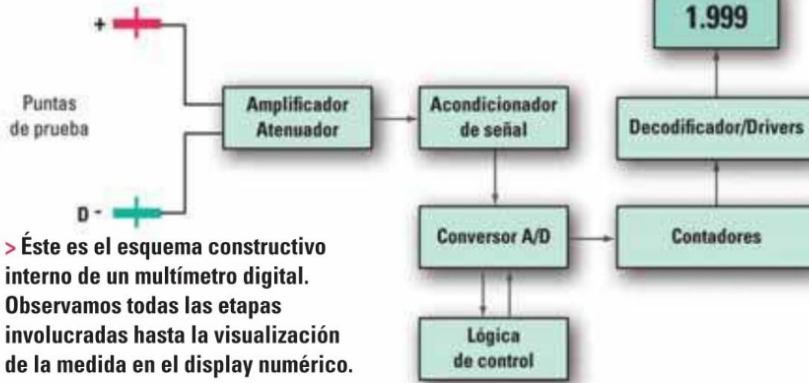
■ Un multímetro digital nos permitirá realizar la mayoría de las mediciones necesarias en la práctica: medidas de tensión AC y DC, corriente AC y DC, capacidad, resistencia y comprobación de continuidad.



> SOBRE LA RESOLUCIÓN

Es el valor que puede representar el bit menos significativo. Este parámetro está directamente relacionado con el tipo de conversor A/D, generalmente de 12 bits. Con 12 bits, podemos convertir una señal analógica en otra de 4096 pasos discretos. Este valor no es trivial, ya que está en concordancia con la resolución de un multímetro de 3 ½ dígitos.

Cómo funciona un multímetro digital



> Éste es el esquema constructivo interno de un multímetro digital. Observamos todas las etapas involucradas hasta la visualización de la medida en el display numérico.

de 2 V, la máxima representación posible en pantalla será 1.999. De esta manera, cada alcance aprovecha los dígitos al máximo. Corre la coma para presentar los valores decimales necesarios y destina el dígito más importante para la cifra más significativa del alcance.

Error intrínseco

Generalmente, el error intrínseco de los aparatos digitales se expresa de la siguiente manera: $E_i = \pm (p \times V_{\text{medido}} + m \text{ dígitos})$. Aquí, p es un porcentaje del valor medido y m es una cantidad de dígitos de los menos significativos. Ambos forman parte de las especificaciones técnicas de los instrumentos. Como el término correspondiente a los m dígitos es una parte **constante del error**, su peso relativo al valor medido irá decreciendo a medida que lo aumentamos (nos acercamos al fondo de escala). Al igual que para instrumentos analógicos, siempre conviene medir valores cercanos al máximo del rango o alcance del instrumento.

El multímetro digital

Se denomina multímetro a aquel instrumento que nos permite configurarlo como **voltímetro**, **amperímetro** y **óhmetro** (instrumento de medición de valores de resistencia). Las versiones digitales incorporan funciones de **capacímetro**, **frecuencímetro** (hasta 20 KHz), de medición de **hfe** (ganancia), de transistores y de termocuplas, para medir temperaturas sobre superficies.

Multímetro es el instrumento que permite realizar la mayoría de las mediciones de un circuito.

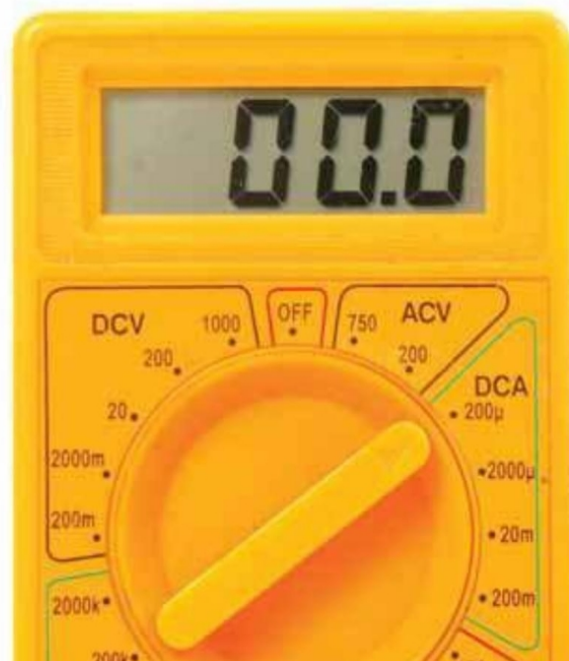
A estas funciones extra se les suman las utilidades de comprobación de **continuidad eléctrica** y **prueba de diodos**. Podemos destacar, también, que con multímetros digitales podremos realizar medidas, no solo de **voltajes** y de **corrientes continuas**, sino también de **señales alternas** que se ajusten a los alcances del instrumento.

Algunos multímetros más completos incorporan la función "**autorango**", es decir, el instrumento selecciona automáticamente el rango, sin necesidad de intervención de la persona.

Principio de funcionamiento

Un multímetro digital está formado por distintos bloques funcionales, que conforman las etapas de tratamiento de la señal a medir. La primera etapa está compuesta por un amplificador atenuador construido a partir de amplificadores operacionales. El bloque atenuador, además de actuar como selector de rango, proporciona una elevada resistencia de entrada, para minimizar el error de inserción en las medidas de voltaje. El bloque siguiente corresponde a un acondicionador de señal, que adapta la salida del amplificador atenuador al rango de trabajo del convertor A/D (generalmente, de 12 bits y del tipo doble-rampa). Para mediciones de alterna, se deriva la entrada a circuitos rectificadores que convierten la señal a un valor de continua. Lo que resta, simplemente, es la etapa de procesamiento de la salida digital del convertor A/D, que permite la visualización del resultado en el display numérico. ■

> Observamos la rueda de selección de un multímetro digital con todos los alcances y tipos de medición posibles de realizar.



INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Veremos los elementos más utilizados en el laboratorio: el tester, el osciloscopio digital, la fuente regulada, y el generador de señales.

Fuente variable regulada

Instrumento que se utiliza para la prueba y excitación de circuitos de continua. En general estos instrumentos, nos brindan tensiones de trabajo de +5 V, +12 V y una fuente continua de 0 a 25 V con salidas desde 5 hasta 10 A. Poseen sistemas de limitación de corriente. Si aumenta la corriente hasta el límite configurado, la fuente cortará automáticamente.

- Bornes de conexión fuente 1.
- Conexión de fuentes: a) independiente, b) en serie y c) paralelo.
- Limitador de corriente.
- Configuración de voltaje de salida.
- Bornes de conexión fuente 2.
- Fuente independiente de +5 V.
- Selección de visualización: Tensión o corriente.
- Displays numéricos fuentes 1 y 2.



Generador de señales

Fuente de señales de distintas formas de onda, amplitud, frecuencia y ciclo de trabajo. Nos permite excitar circuitos de prueba de manera sencilla, sin la necesidad de construir un circuito oscilador.

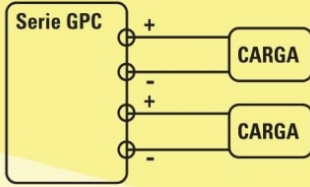
- Ajuste del ciclo de trabajo.
- Ajuste fino de frecuencia.
- Selección automática del valor de frecuencia deseado.
- Selección de forma de onda: senoidal, cuadrada y triangular.
- Ajuste amplitud de señal.
- Salida adaptada 50 Ohms (Valor medio cero).
- Salida para inyección en circuitos TTL/CMOS (referenciada a 0 Volts).



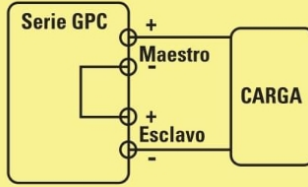
MODOS DE OPERACIÓN

FUENTES REGULADAS

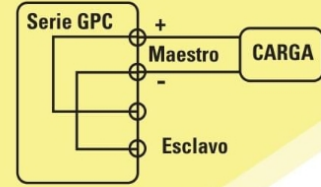
Modo independiente



Modo Serie



Modo paralelo



Tester digital o multímetro

Permite realizar las medidas más habituales, en alterna y en continua, con muy buena exactitud. Es posible medir diferencias de tensión, intensidad de corriente, resistencia y comprobar continuidad eléctrica. Incorpora funciones de prueba de diodos, capacitores y medición de ganancia hfe de transistores bipolares.

- Conector para mediciones como amperímetro hasta 200 mA (con fusible).
- Conector para mediciones como amperímetro hasta 10 A. (SIN fusible).
- Amperímetro de alterna: 20 mA a 10 A de corriente eficaz.
- Amperímetro de continua: Alcances de 2 mA a 10 A.
- Sección comprobación de continuidad, prueba de diodos y óhmetro (200 Ohm-200 MOhm)
- Voltímetro de alterna. Alcance: 700 V eficaces
- Voltímetro de continua: alcances de 200 mV a 1000 V
- Display de indicación numérica.
- Conector V/Ohm/f para medición de tensión.
- Conector de tierra COM



Osciloscopio digital

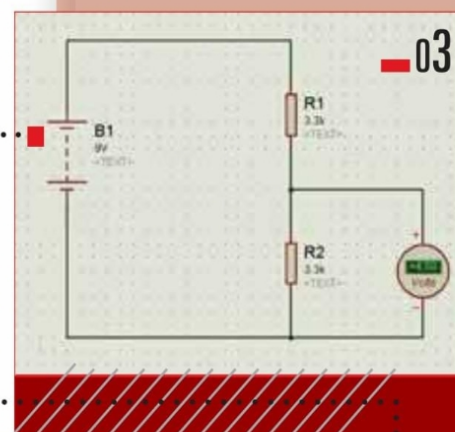
Instrumento indispensable en la mesa de trabajo profesional. Los canales de medición son sensibles a las variaciones de niveles de tensión en un circuito. Nos permitirán analizar en forma directa, forma de onda, amplitud y frecuencia de señales periódicas. Visualiza con excelente resolución señales de aparición transitoria y, mediante la utilización de memoria y cursores, se mejora la calidad de las mediciones.

- Canal 1.
- Pantalla digital de visualización.
- Canal 2.
- Conector para fuente de disparo externa.
- Sección Horizontal: Selección de la base de tiempos (Time/Div). Posicionamiento origen de traza.
- Sección de Trigger: Selección de tipo y nivel de disparo
- Sección Vertical: Configuración de Volts/división para ambos canales. Posición del cero.
- Selección de cursores y funciones varias



USO DEL MULTÍMETRO DIGITAL

En este paso a paso, aprenderemos a realizar dos mediciones sobre un circuito: la medida de diferencia de tensión entre dos puntos y la intensidad de corriente por una rama.



Antes de empezar, realizaremos unas comprobaciones de rutina. Primero, nos aseguraremos de que el tester tenga buena carga de batería. Algunos tester muestran el nivel de batería en el display. Pero también podemos

darnos cuenta de que la batería está baja, porque el pitido que genera el instrumento -cuando medimos continuidad- es débil. Verificaremos, además, que el fusible de protección del multímetro no se encuentre cortado. Generalmente, el fusible queda expuesto cuando retiramos la tapa trasera del tester. Asimismo, controlaremos que las puntas y los cables de las puntas estén en buenas condiciones. Por último, al realizar las medidas, tomaremos la precaución de no tocar con nuestros dedos las partes metálicas de las puntas de medición. Las tomaremos siempre por su mango plástico, para no afectar las medidas y también por seguridad. De todas maneras, en este caso, los valores de tensión y corrientes manejados son completamente inocuos. El circuito en cuestión se puede armar sencillamente con una batería de 9 V y 2 resistores comerciales de 3.3 K Ω . ■

$$R. \text{ interna voltímetro} = 1 \text{ M}\Omega$$

$$V_{\text{verdadero}} = 9 \text{ V} * [(3.3 \text{ k} + 3.3 \text{ k}) / 3.3 \text{ k}] = 4.5 \text{ V}$$

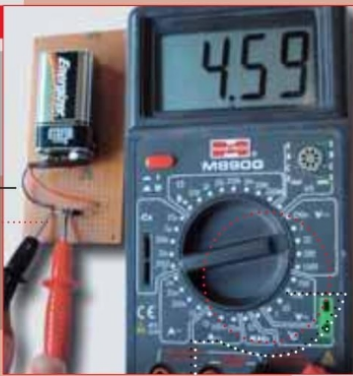
$$V_{\text{medida}} = [9 \text{ V} / (R1 + R2 // Ri)] * (R2 // Ri) = [9 \text{ V} / (3.3 \text{ k} + 3.289 \text{ k})] * (3.289 \text{ k}) = 4.4925$$

$$\% \text{error} = (V_{\text{verdadero}} - V_{\text{medido}}) / V_{\text{verdadero}} = 0.75\%$$

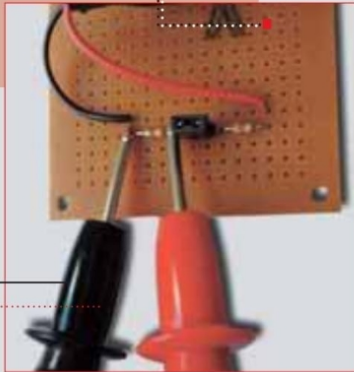
Menor al 1%.!!!



PASO A PASO



02



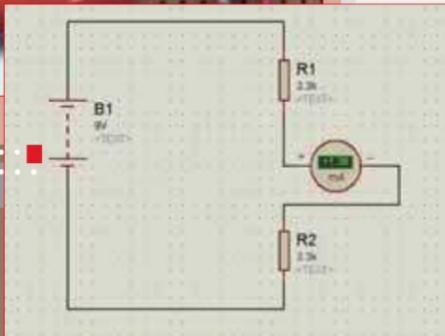
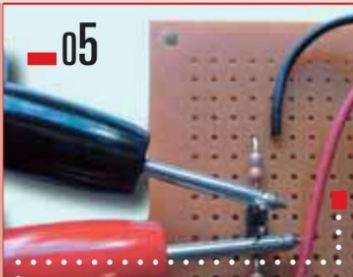
01. Para medir una diferencia de tensión, ubicamos en el circuito los bornes del resistor R2. Debemos asegurarnos, previo a la medición, que el alcance seleccionado sea el adecuado, para no dañar al tester y poder registrar la medida. La tensión a medir será aproximadamente de 4.5 V. Luego, el alcance que se deberá seleccionar con la rueda será el de 20 V para la "sección de continua". En la imagen, se observa el tester configurado como voltímetro de continua. El cable rojo (vivo) se ubica en la entrada (V/ Ω /f), mientras que el negro (masa) se ubica en la entrada (COM).

sí, disminuirá la caída sobre R2 y afectará, así, la medida. A esto se lo llama "error de inserción". Por suerte, se los puede calcular en forma exacta. Para nuestro caso, hacemos las cuentas como se ve en la imagen.

04. Para realizar una medición de corriente, ahora configuraremos el multímetro como amperímetro. La primera diferencia con respecto a la medición de voltaje es que el tester deberá colocarse en serie con la corriente a medir. Así, nos vemos obligados a abrir el circuito para intercalar el multímetro. La corriente a medir será de 1.36 mA. Luego, el

El multímetro digital es la herramienta de medición por excelencia del técnico.

05



R. interna amperímetro = 100Ω (ejemplo) lverdadera = $9 V * [(3.3 k + 3.3 k)] = 1.3636 A$
lmedida = $[9 V / (R1 + R2 + Ri)] = 9 V / (3.3 k + 3.3 k + 100 \Omega) = 1.3433$ %error = $(lverdadera - lmedida) / lverdadera = 1.49$ %

02. Para medir una diferencia de tensión positiva, debemos ubicar la punta roja del tester digital sobre el borne superior del resistor R2. Debido al sentido de la circulación de corriente, este borne será el de valor tensión positivo. La masa o retorno del multímetro (COM) se ubicará sobre el otro borne, que corresponde a la masa del circuito, es decir, nos "colgamos" en paralelo del resistor R2. Al colocar las puntas al revés, la medida arrojará un valor negativo en el multímetro.

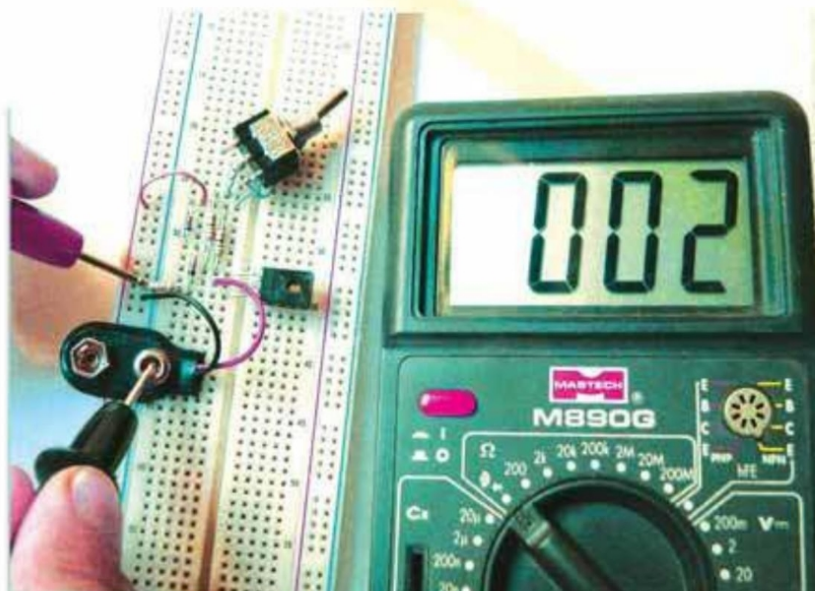
03. El tester configurado como voltímetro en su condición ideal actúa como un circuito abierto. Presenta, de este modo, una impedancia infinita cuando se conectan las puntas en paralelo con los bornes a medir. Esto no es así en la realidad. La resistencia interna (R_i) del tester tiene un valor definido que derivará corriente para

alcance a seleccionar será el de 2mA para la sección de corriente continua. Para efectuar la medición, debemos cambiar la posición del cable de punta roja (vivo). Ahora, se ubicará en la entrada (mA) del tester, protegida por fusible de 200 mA.

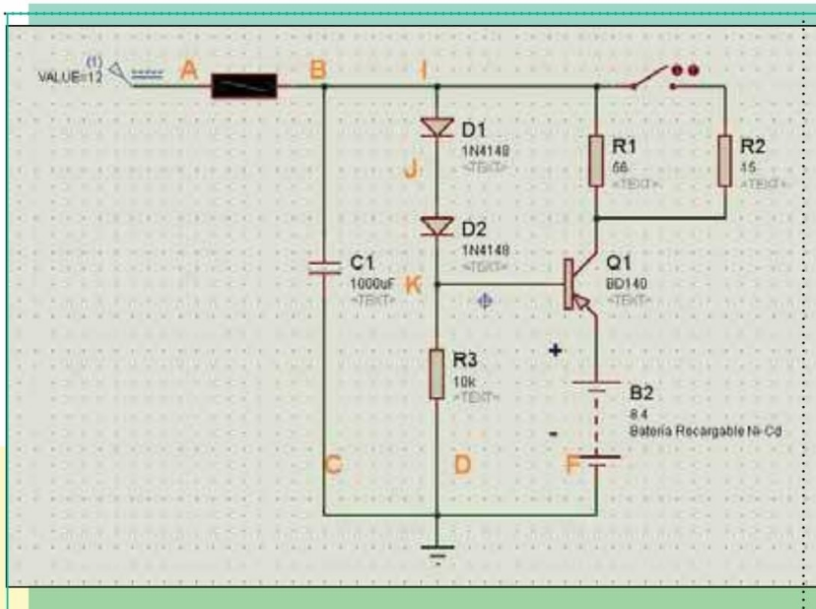
05. Las puntas del tester deben colocarse de manera tal que la roja se conecte con la entrada de corriente a medir, y la negra con el punto de salida. Registraremos así, un valor positivo de corriente. Si invirtiéramos las puntas, el signo de la indicación en el display cambiaría. El amperímetro ideal es visto como un cortocircuito (resistencia cero) por el circuito. Pero la resistencia interna del amperímetro, aunque muy pequeña, se suma a la equivalente del circuito, y se opone también al paso de la corriente. Por lo tanto, la corriente medida tiene un valor menor al real. El cálculo de dicho error de inserción se ve en la imagen.

CARGADOR DE BATERÍAS NI-CD

En este apartado, realizaremos la comprobación de continuidad y la medición de parámetros de componentes, voltajes y corrientes en funcionamiento normal.



> Observamos la configuración del tester para comprobar la continuidad en las masas. Recordemos que esta medición se realiza sin alimentación en el circuito.

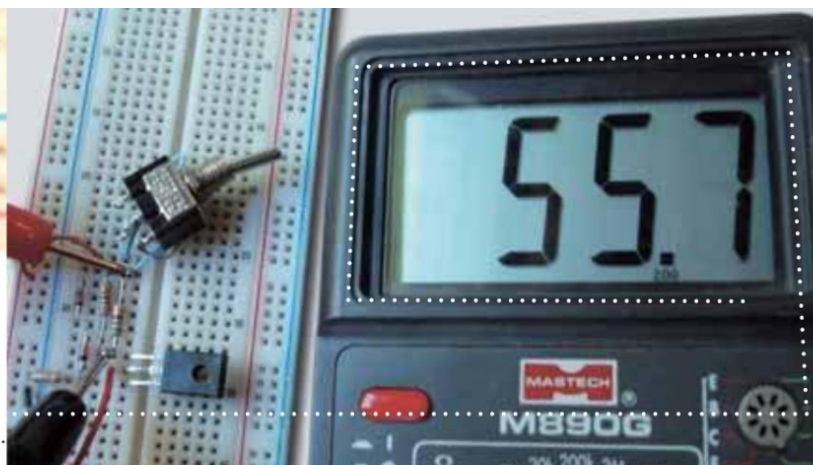


Haremos las mediciones pertinentes para la comprobación del funcionamiento del circuito cargador de baterías de Ni-Cd. Para tal tarea, utilizaremos un multímetro digital típico, de 3 ½ dígitos. Todas las mediciones que llevaremos a cabo serán de continua, ya que el circuito no posee tensiones ni corrientes de alterna, salvo en el circuito de fuente, que no analizaremos aquí. Primero, haremos ciertas comprobaciones sin alimentación, relacionadas con la seguridad eléctrica, conexión y buen funcionamiento de los componentes del circuito. Las otras mediciones se harán con el circuito cargador alimentado a 12 V de continua.

Comprobaciones de continuidad

Realizaremos una comprobación de rutina, para la cual se empleará el multímetro en el modo **detección de continuidad**. En este modo, no importa la posición de las puntas. Mientras haya conexión, la alarma sonora se activará, indicando

> Diagrama 02. Observamos el diseño del circuito donde se marcan los puntos de referencia para las mediciones.



■ Con el circuito sin alimentar, es posible utilizar el multímetro como óhmetro y estimar el valor de los resistores.

que existe continuidad eléctrica. La punta de medición roja debe conectarse al borne V/Ω del multímetro y, la negra, a la masa (**COM**). La comprobación consiste en asegurarnos de que haya continuidad eléctrica en los bornes que deben estar conectados a la masa del circuito en cuestión. Tomando como referencia el **diagrama 02**, hacemos base en **C** (GND a la entrada del circuito) con cualquier punta y recorreremos los puntos **D** (borne a masa de la resistencia de $10\text{ K}\Omega$) y **F** (borne negativo de la batería sobre el circuito). La alarma sonora indicará la existencia de continuidad eléctrica en el circuito.

Parámetros de componentes

Ahora, vamos a medir ciertos parámetros de los componentes utilizados, que nos indicarán si se encuentran en buen estado. Salvo la medición del **hfe** (ganancia) del transistor **PNP**, las otras dos se pueden realizar con el circuito ensamblado. Las mediciones son las siguientes:

- Medición del umbral de los diodos (**I** y **J** del diagrama 02).
- Medición de las resistencias de selección de velocidad de carga.
- Medición del hfe (ganancia) del transistor PNP.

La utilidad de comprobación de diodos se encuentra, casi siempre, en la

misma posición de la rueda que la detección de continuidad. Al posicionar la punta roja V/Ω sobre el ánodo del diodo (**I**) y la punta **COM** sobre el cátodo (**J**), observaremos, en pantalla del multímetro, un valor en mVolts, que indicará la tensión umbral del diodo (**cercano a los 600 mV**). Si invertimos las puntas de medición, el tester deberá indicar infinito, mostrando el número 1 en el bit más significativo. Esto es así ya que, ahora, la corriente que inyecta el tester para realizar la medición se encuentra con el diodo en inversa. Luego, el multímetro ve un circuito abierto y la medición no se efectúa por no poder establecerse la corriente. A continuación, pasaremos a medir las resistencias de conmutación, cuyos valores se encuentran

calculados para el establecimiento de dos intensidades de corriente fijas: **15 mA** y **45 mA**. Para llevar a cabo estas mediciones, emplearemos el multímetro digital como **óhmetro**. Siempre con la punta roja en el borne V/Ω y la negra en la masa común **COM**, medimos a ambos extremos de los resistores del circuito. Es suficiente la selección del alcance más bajo.

La medición del hfe del transistor bipolar es muy sencilla de realizar, aunque no todos los multímetros incorporan esa funcionalidad. Una vez insertado el componente en el zócalo, se visualiza en pantalla la ganancia del transistor. En nuestro caso, el **BD140** es un transistor bipolar PNP, por lo que debe insertarse en el zócalo correspondiente.

Vale aclarar que ésta es una función para medir el parámetro hfe de transistores bipolares. No debe usarse para hacer medidas de transistores del tipo FET, ya que puede dañarse. ■

> Observamos el zócalo bien diferenciado en el tester para medición de hfe. Allí, debemos colocar los pines de la base (B), el emisor (E) y el colector (C) del transistor PNP o NPN, según corresponda.



MEDICIONES CON EL CIRCUITO ALIMENTADO

Hasta el momento, aprendimos a tomar medidas. Ahora, realizaremos algunas mediciones elementales pero, en esta ocasión, lo haremos con el circuito alimentado con 12 V.

Realizaremos una medición de voltaje sobre los diodos **D1** y **D2** (ver diagrama 02). Una vez que se han realizado todas las mediciones anteriores, podemos proseguir a alimentar el circuito con los 12 V de continua. Mediremos, ahora, la caída de tensión de "on" de ambos diodos en conducción. Estos diodos tienen como función polarizar, en forma permanente, la juntura **Emisor-Base** del transistor PNP. Como todos sabemos, establecida I_B , I_C queda unívocamente determinada a través de la ganancia h_{fe} del transistor de unión bipolar: $I_C = h_{fe} \times I_B$. Vamos a verificar, mediante dos rápidas medidas, que efectivamente encontremos 1.2 V sobre los diodos, polarizando la juntura del PNP. Tam-

> POLARIZACIÓN DEL TRANSISTOR

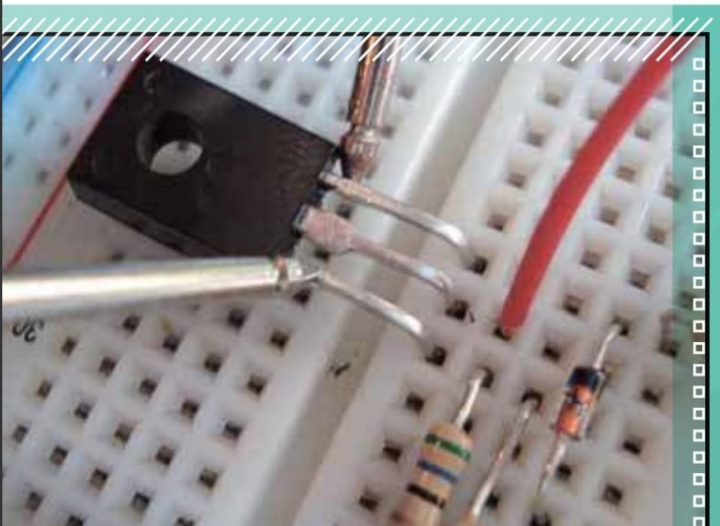
Según las hojas de especificaciones, la tensión umbral de la juntura E-B (emisor-base) del PNP, está cercana a 1 V. Dado que sobre cada uno de los diodos en conducción caen alrededor de 0.6 V teóricos, vemos cómo la suma de ambas caídas (aprox. 1.2 V) queda aplicada sobre la juntura E-B y la resistencia. Es así como el transistor se encuentra encendido en forma permanente y funciona como fuente de corriente.

bién veremos qué valor de tensión encontramos sobre la juntura E-B. Como primer paso, seleccionaremos el alcance de 2 V del instrumento, corriendo la rueda de selección hacia la posición indicada. Luego, colocaremos la punta roja sobre el ánodo (I) del diodo 1. Efectuaremos la medida posicionando, ahora, la punta COM sobre el cátodo (K) correspondiente al diodo 2. Como era previsto, la medida arrojará un valor de tensión fijo cercano a los +1.2 V. Si procedemos de la misma manera, pero ahora ubicamos las puntas para medir la diferencia de tensión E-B (emisor-base), comprobamos una caída cercana a 1 V. Notemos que colocamos las puntas siguiendo el sentido de la corriente de base, es decir, saliendo de ésta. Por eso se ubica la punta negra COM (-) del tester sobre la base y, la roja, sobre el emisor que está a un potencial superior.

Medición de la corriente de carga I_C

A continuación, pasemos a la medición de la corriente I_C de carga del circuito, que es la correspondiente al colector del transistor PNP y es la que se utilizará para cargar la batería cuando se la conecte en los bornes indicados. Como el

> Los diodos polarizan la juntura del transistor en forma permanente. Con esta configuración del tester, podremos medir la caída de tensión sobre la juntura E-B (emisor-base).



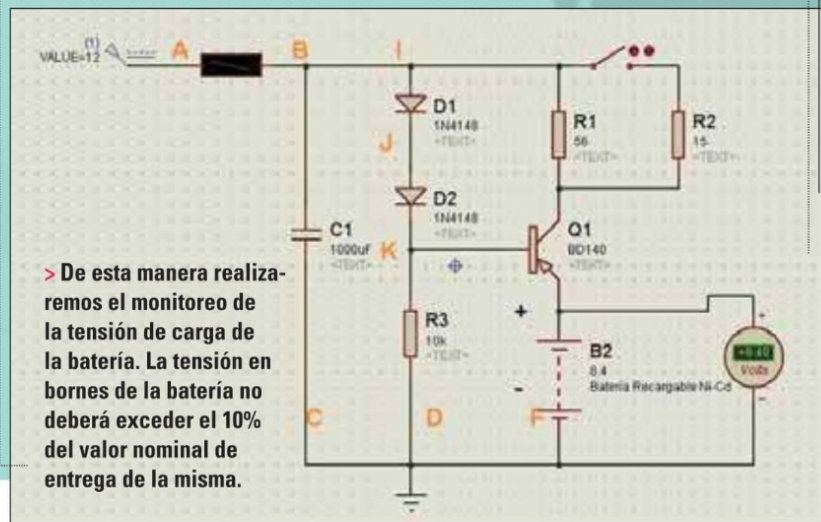
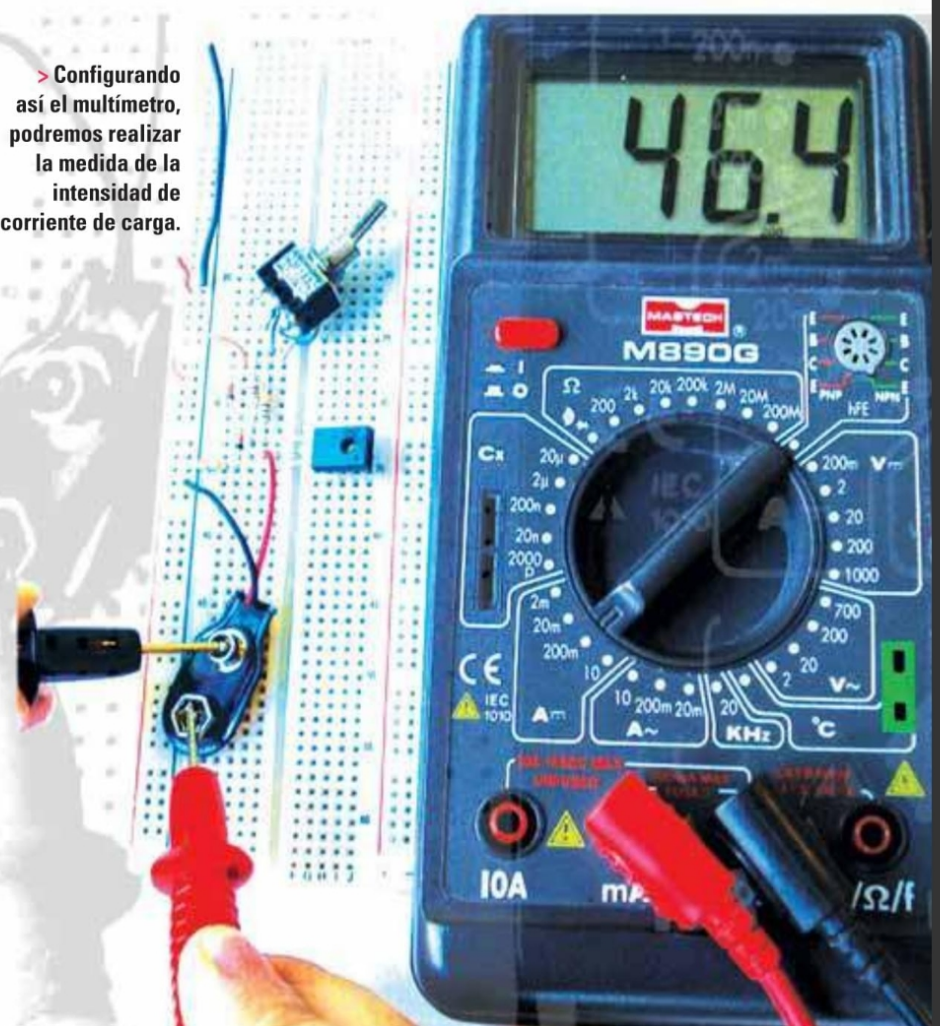
transistor **BD140** se comporta como una fuente de corriente, siempre entregará por su colector una intensidad de carga constante, independientemente de la tensión que exista en bornes de la batería. Por cálculo, se estima que ésta será de **15 mA** con la llave abierta y de **45 mA** con la llave en cortocircuito. Ahora, necesitaremos 2 alcances de continua para completar las mediciones.

Para realizar una medición de corriente, debemos desconectar el cable de punta roja del borne (V/Ω/f) del multímetro y posicionarlo en el borne marcado como (mA), por el que

Para medir la corriente, ponemos el cable rojo en el borne (mA) del tester.

pueden circular hasta 200 mA sin destruir el fusible de protección. Si necesitáramos medir una corriente mayor a este valor, colocaríamos el cable de punta roja en el borne marcado **20 A**, lo que indica la máxima corriente que soporta el instrumento en esa conexión que, por otra parte, no está protegida por fusible. Debido a que la resistencia interna **R_i** del tester en modo amperímetro es muy pequeña, no debe apreciarse un cambio radical en la corriente de colector o de carga. Procediendo así, tomamos la lectura del instrumento para ambas posiciones de la llave y usamos el alcance apropiado para cada una. Vale destacar que debemos posicionar las puntas del multímetro de manera que coincida la punta roja con el borne de entrada de corriente (+) y el negro COM con el de salida (-).

> Configurando así el multímetro, podremos realizar la medida de la intensidad de corriente de carga.



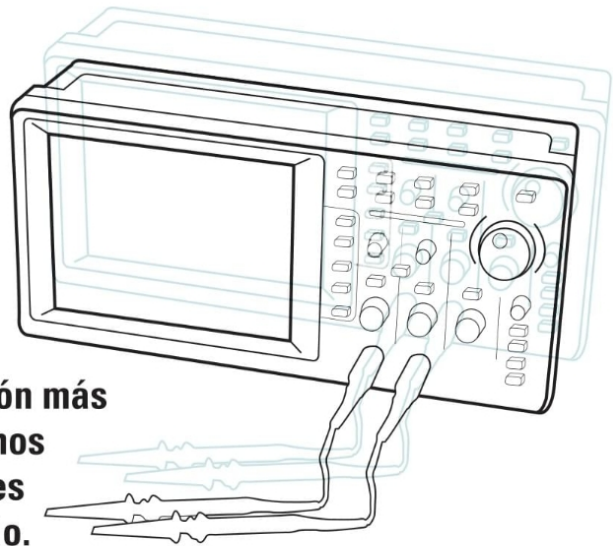
Medición sobre la batería durante la carga

Por último, debemos monitorear el valor de tensión en carga que toma la batería a medida que transcurre el tiempo. Para ello, posicionaremos el tester en paralelo con la batería en carga cada 15 minutos. El tiempo de carga dependerá, principalmente, del parámetro **mA/h** de la batería en cuestión, pudiendo llegar a varias horas. Espaciaremos

la toma de muestras en el tiempo, para no reiterar demasiado las mediciones. Siempre tenemos que comprobar que la tensión registrada no se escape del valor nominal +10% que establecimos como límite. Cuando detectemos que el valor de tensión alcanzó el 10% del valor nominal de entrega de tensión de la batería, desconectaremos el circuito y consideraremos que la carga se ha realizado. ■

EL OSCILOSCOPIO

Es uno de los instrumentos de medición más utilizados por los profesionales. Veamos de qué se trata y cuáles son las claves que necesitamos saber para emplearlo.



El osciloscopio es un instrumento que permite reproducir gráficamente las variaciones de señales de tensión a través del tiempo, en una pantalla. De este modo, es posible analizar, con gran detalle, distintas formas de onda y comprender el funcionamiento de un circuito. Este elemento es una herramienta esencial en cualquier laboratorio o taller de electrónica y en otras áreas también, por ejemplo, la militar y la médica.

Mediciones con osciloscopio

El concepto básico de este instrumento es que

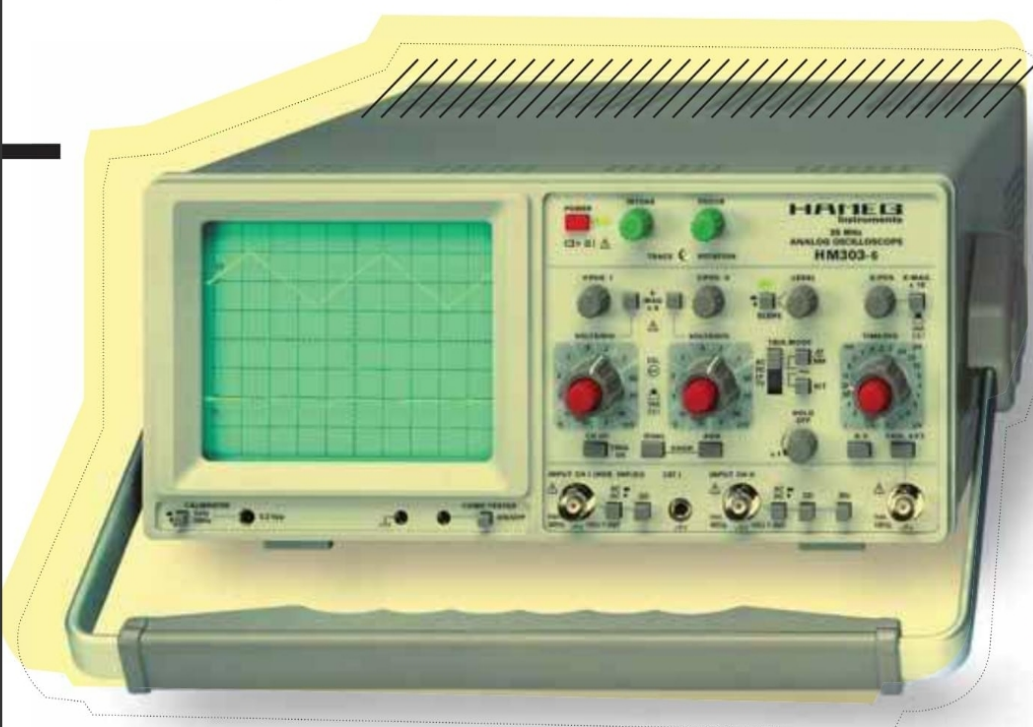
representa formas de onda en dos dimensiones. El eje vertical, o **eje Y**, se usa en general para representar la tensión de entrada, mientras que el horizontal, o **eje X**, se emplea usualmente como eje de tiempo. Así, tendremos en pantalla una representación temporal de la señal de tensión aplicada a la entrada. En los osciloscopios duales y en los multicanales, es factible representar dos o más señales en pantalla en forma simultánea, lo cual resulta práctico para comparar distintas formas de onda y analizar su interacción.

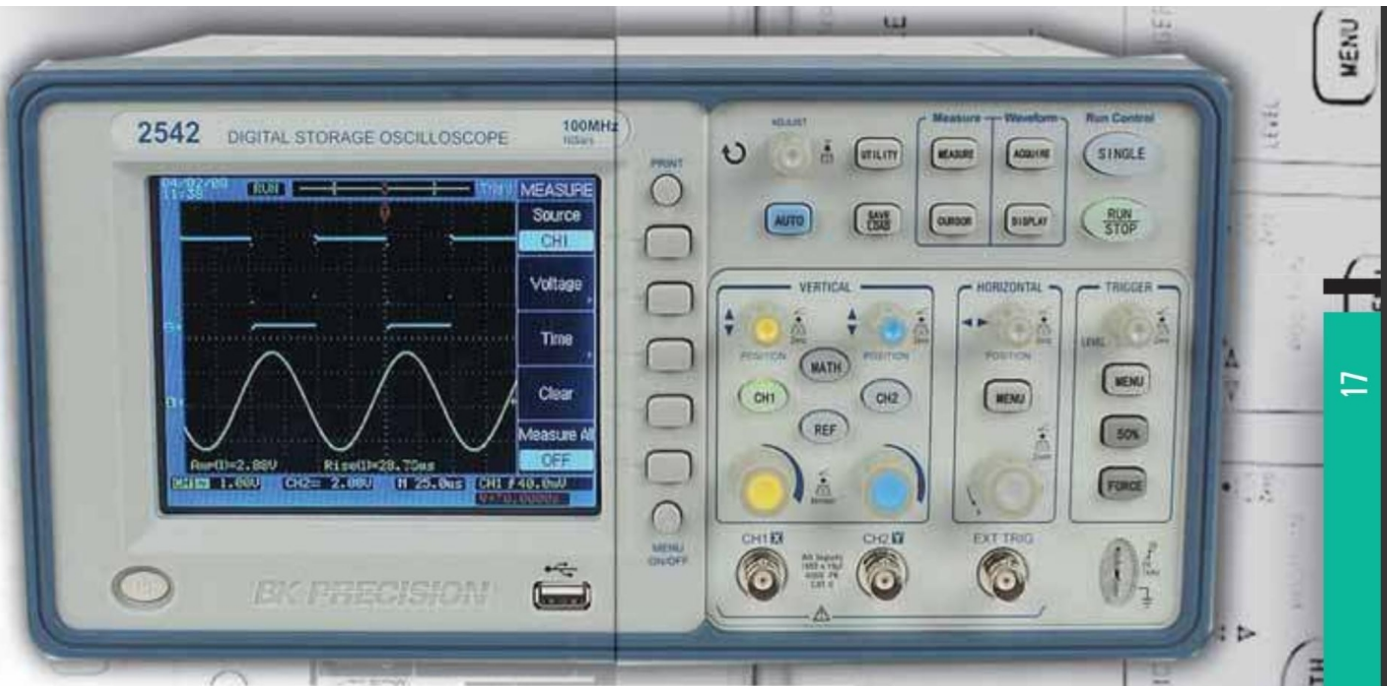
Aunque la representación temporal de formas de onda es la aplicación más común en los osciloscopios, también es posible representar de manera gráfica el comportamiento de una variable respecto de otra, o funciones paramétricas. Una aplicación de este último caso son las **figuras de Lissajous**, mediante las cuales podemos determinar gráficamente algunos parámetros y relaciones de dos formas de onda de manera simultánea.

Tipos de osciloscopios

Más allá de que la filosofía de funcionamiento de estos instrumentos es la misma, existen diferentes tipos, lo que nos permite clasificarlos en categorías. Una de las más importantes es si son analógicos o digitales. A su vez, dentro de éstos, tenemos sub-categorías, como por ejemplo, los osciloscopios con persistencia y los osciloscopios de muestreo.

> El físico alemán Ferdinand Braun fue el inventor del osciloscopio de rayos catódicos.





Osciloscopio analógico

Utiliza el principio de deflexión electrostática de un haz de electrones, para crear las gráficas en un Tubo de Rayos Catódicos (TRC). Aquí, las tensiones aplicadas a las placas deflectoras X e Y producen un punto que se mueve en la pantalla. En el eje horizontal, esto es controlado por una base de tiempos, mientras que, en el eje vertical, la deflexión es proporcional a la amplitud de la señal de entrada.

El osciloscopio nos permite reproducir las variaciones de señales de tensión.

> DSO de BK Precisión. Las altas prestaciones de estos osciloscopios los hacen apropiados para laboratorios de Electrónica o talleres de reparación de equipos electrónicos.

Osciloscopio de almacenamiento digital (DSO)

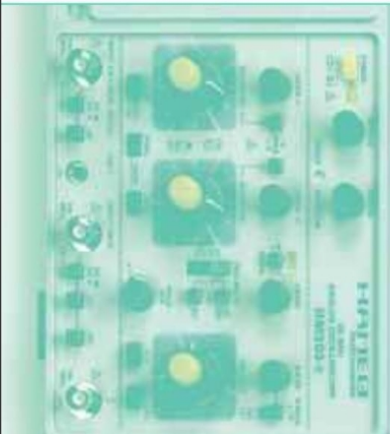
Es la forma convencional de los osciloscopios digitales y emplea pantallas del tipo raster, como las usadas en los monitores de PC para representar las gráficas. El equipo convierte la señal de entrada a un formato digital, por medio de técnicas de conversión analógico-digital, para luego guardar esta información y procesar la señal. La limitante está en la velocidad de la conversión.

Osciloscopio de fósforo digital (DPO)

Con poco más de una década en el mercado, es una variación muy versátil del DSO, que utiliza una arquitectura de procesamiento en paralelo para permitir el análisis de señales que resultarían prácticamente imposibles con un DSO. Se especializa en el muestreo de fenómenos transitorios que ocurren en el inicio de los sistemas digitales (pulsos, glitches y errores de transición). ■

> OSCILOSCOPIO DE MUESTREO

Es un instrumento utilizado para analizar señales periódicas de muy alta frecuencia, mayor aun que el ancho de banda (osciloscopio analógico) o la tasa de muestreo (osciloscopio digital), y de muy baja amplitud. Esto es factible a través de un circuito especial que toma una muestra de la señal periódica en distintos puntos distribuidos a través de muchos períodos. De esta forma, las señales bajo análisis pueden llegar a frecuencias de hasta 50 GHz o más.



FUNCIONAMIENTO DEL OSCILOSCOPIO

Hasta el momento, hemos conocido las características principales del osciloscopio. En este apartado, veremos los principios elementales del funcionamiento.

En el osciloscopio, una señal con forma de rampa, proveniente de la base de tiempos, produce el movimiento del haz en el sentido horizontal. La señal a medir, convenientemente acondicionada, ocasiona el movimiento en sentido vertical. La base de tiempos se sincroniza con un instante de la señal a medir y está calibrada de modo de hacer corresponder el desplazamiento del haz con una medida temporal y visualizar la señal en la pantalla.

Ancho de banda

En un **osciloscopio analógico**, la respuesta en frecuencia del amplificador vertical ocasiona una atenuación gradual de las señales de alta frecuencia. Por ejemplo, un osciloscopio de 20 MHz puede visualizar correctamente una señal senoidal de 20 MHz, pero puede mostrar señales de mayor frecuencia, solo que serán atenuadas por el amplificador vertical del osciloscopio.

En el caso de un **osciloscopio digital**, existe una frecuencia de muestreo, que es la que determina la cantidad de muestras de la señal que el osciloscopio toma para reconstruirla. El fabricante especifica, además, el ancho de banda

de forma similar al osciloscopio analógico. Para poder visualizar de manera correcta una señal, debemos garantizar que sus componentes más importantes entren en el ancho de banda que puede mostrar el osciloscopio.

Disparo

La base de tiempos debe sincronizarse con la señal a visualizar para que siempre arranque la visualización en el mismo instante.

Para esto, el osciloscopio incorpora un circuito de comparación,

que genera un pulso de sincronismo interno basado en la observación del nivel de la señal y el sentido (ascendente o descendente) en el que lo cruza. Esta comparación puede hacerse, además, con una señal externa. Existen, también, otros modos de trabajo en los que se fuerza un disparo aun sin señal, para ver señales sin variaciones, o se lo demora por un cierto tiempo, para evitar redisparos no deseados en señales complejas.





> **Punta de prueba.**
En el cuerpo de la punta, se encuentra el potenciómetro de calibración y el selector de atenuación x1-x10.

Los ojos del osciloscopio

Las puntas de prueba son las encargadas de entregarnos la mejor señal. Veamos, entonces, cuáles son las características que deben tener para arrojar resultados precisos. Muchas veces, perdemos de vista la importancia que tienen las puntas de prueba, cuando evaluamos integralmente las condiciones de medición.

Debemos tener presente que ellas conforman los "ojos" de nuestro osciloscopio. Si no son capaces de entregarnos la mejor calidad de señal posible, resulta poco probable que obtengamos buenos resultados de la señal bajo prueba. Idealmente, las puntas deberían ser "transparentes" para el equipo, queriendo significar con esto que la señal presente en el punto de prueba del circuito es "vista" por el osciloscopio, sin ningún tipo de interferencia, ruido, o distorsión, tanto para el instrumento como para el circuito electrónico bajo prueba.

La atenuación x10 se emplea para disminuir el efecto de carga de la punta sobre el circuito.

Calibración

Aunque no siempre lo hacemos, para garantizar una buena me-

dición es fundamental efectuar una calibración de las puntas antes de ser usadas. De esta manera, obtendremos una respuesta plana dentro del espectro de frecuencias (es decir, todo el espectro es tratado de la misma forma).

Para ello, es posible utilizar la señal de calibración del osciloscopio, midiéndola con la punta a calibrar. Ésta es una onda cuadrada de una amplitud y frecuencia estable y conocida. Debemos ajustar el pequeño potenciómetro incluido en la punta de prueba, hasta que la señal se vea perfectamente cuadrada: sus bordes no deben aparecer redondeados o con sobreimpulsos. Las puntas de prueba pueden tener una atenuación fija, o contener una llave conmutadora para seleccionarla. Estas atenuaciones vienen prefijadas en valores **x1** (sin atenuación) y **x10** (con atenuación). ■



> USOS DEL OSCILOSCOPIO

Es posible utilizar el osciloscopio para analizar distintas formas de onda individualmente, o también para observar y comparar dos o más, y ver el modo en el que interactúan entre sí. Por ejemplo, podemos analizar dos formas de onda senoidales aplicadas a ambos canales del osciloscopio e investigar sus relaciones de fase y frecuencia a través de las figuras de Lissajous.

SEÑALES ANALÓGICAS Y DIGITALES

Veremos, aquí, la manera en que estas señales son presentadas en la pantalla de nuestro osciloscopio y la forma de interpretarlas.



> Los circuitos internos del osciloscopio están calibrados de forma tal que la gráfica mostrada puede ser interpretada a través de las divisiones y marcas que posee la pantalla.

Los osciloscopios digitales tienen características que ayudan a la interpretación de la señal, tal como la indicación automática de la frecuencia y el nivel de tensión de la señal mostrada. Primero, observemos cómo está configurada la pantalla del instrumento. Se ve que está dividida, formando una retícula de 10x8 cm, con dos ejes centrales subdivididos cada 2 mm. Los circuitos internos del osciloscopio están calibrados de manera tal que la representación gráfica de la amplitud y el tiempo de la señal en pantalla pueden leerse directamente a través de la retícula, contando simplemente la cantidad

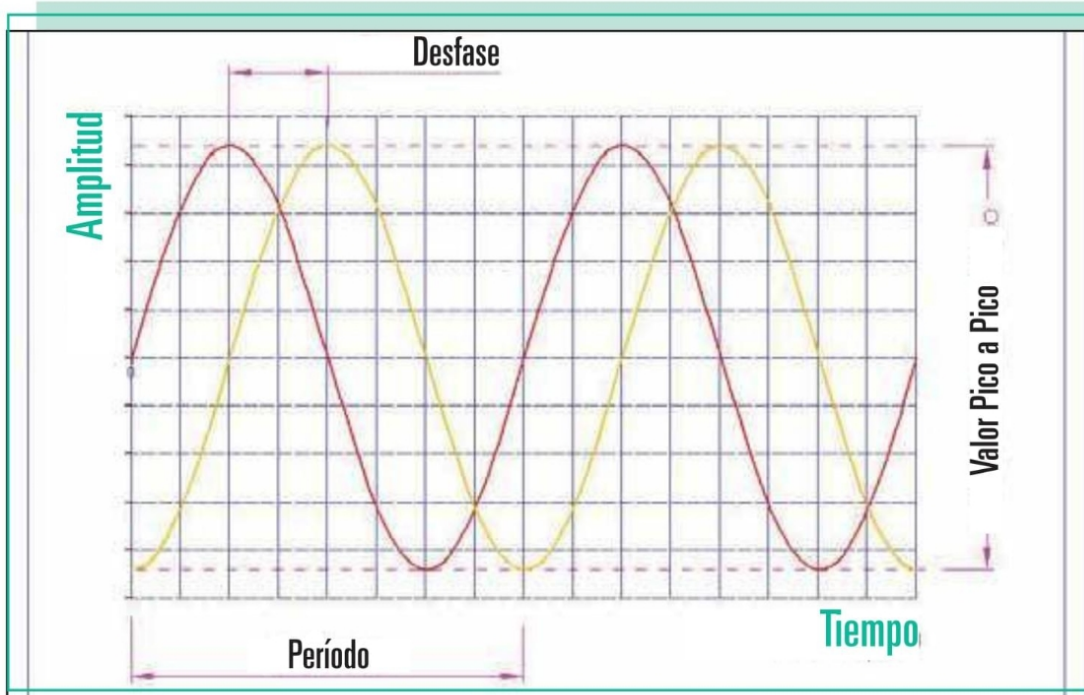
de divisiones que ocupa. Esto es posible porque los mandos de amplitud (eje vertical) y base de tiempos (eje horizontal) están ajustados a ganancias prefijadas, relativas a cada división. Están expresadas en V por división (V/div) y en segundos por división (s/div), respectivamente. Algunos osciloscopios incluyen, también, en uno de los costados de la pantalla, una escala expresada en porcentaje. Particularmente, se indican los valores 0%, 10%, 90% y 100%. Estas marcas están para facilitar una



lectura directa del tiempo de los flancos de subida y bajada de una determinada señal. Recordemos que estos parámetros se miden, justamente, entre el 10% y el 90% del valor pico a pico de la señal. Entonces, si ajustamos la amplitud de la señal para que su valor pico a pico coincida con las marcas 0% y 100%, podremos obtener una lectura del tiempo de dichos parámetros directamente desde donde la señal cruza las marcas 10% y 90%. Solamente debemos contar las divisiones que ocupa y multiplicar por la base de tiempo seleccionada.

Clips de masa

Las puntas del osciloscopio vienen con un clip de puesta a masa que es removible. Éste será conectado a un punto de prueba del circuito para proveer la referencia común a ambos. En muchos casos no existe mayor inconveniente, pero cuando trabajemos con potencias o señales de muy alta frecuencia, deberemos tener el camino más corto posible desde la señal hasta la punta de prueba, por lo que el clip de masa se conecta directamente al punto de masa más próximo al elemento a medir. Esto nos asegurará una muy buena performance desde el punto de vista eléctrico.



> Representación de dos señales senoidales desfasadas 90° o $\pi/2$ rad. El valor del desfase se puede calcular con una regla de tres simple. Si π es el desfase y t el tiempo de retraso entre las señales, entonces:

$$\Delta_{\text{deg}} = \frac{360 \cdot t}{T} \quad \Delta_{\text{rad}} = \frac{2\pi \cdot t}{T}$$

Cabe destacar que la masa del osciloscopio está vinculada al terminal de masa del enchufe, y suele ser además un punto de puesta a tierra.

Mediciones de formas de onda

Toda señal que se repite en el tiempo es periódica. Posee parámetros que la definen y que son inherentes a su naturaleza: la amplitud, la frecuencia o el período y su fase. Veamos cada una de ellas:

- **Amplitud:** es la diferencia entre el valor máximo de la señal (positivo o negativo) y el valor tomado como referencia (masa del circuito). Su unidad es el Volt. (V) o el Ampere (A),

La diferencia entre el valor máximo de la señal y la referencia de masa es la amplitud.

dependiendo de si estamos analizando formas de onda de tensión o de corriente, respectivamente.

- **Período y frecuencia:** la frecuencia de una señal se expresa con la letra f y la unidad que la representa es el

Hertz (Hz). Indica la cantidad de ciclos u oscilaciones de una señal periódica que ocurren en un intervalo de tiempo de un segundo. El período se expresa con la letra T y su unidad es el segundo (s). Existe una relación unívoca entre ambos parámetros: la frecuencia es la inversa del período.

- **Fase:** este parámetro se define para señales periódicas, en donde un ciclo completo de la señal corresponde a 360° (deg) o 2π radianes (rad).

La fase de una señal en un determinado instante es la fracción de ciclo transcurrido desde su inicio. Cuando comparamos dos señales periódicas idénticas, puede ocurrir que no coincida en el tiempo el paso por dos puntos equivalentes de ambas señales. ■



> ¿QUÉ OSCILOSCOPIO ELEGIMOS?

Cualquiera sea el tipo de osciloscopio que utilizemos, debemos tener presente que se trata de un instrumento de precisión que tiene sus limitaciones. Si bien para cada área de especialización existe un osciloscopio que se adapta mejor, la mayoría de las aplicaciones no profesionales pueden resolverse mediante uno analógico de 20 MHz, siendo un DSO de 100 MHz apropiado para gran cantidad de tareas profesionales.

MEDICIÓN DE TENSIÓN Y FRECUENCIA

La medición de estos parámetros de la señal bajo análisis puede efectuarse a través de la retícula que posee la pantalla del osciloscopio.

Hoy en día, la mayoría de los osciloscopios incorporan diversas funciones, que nos ayudan a obtener una lectura más rápida y precisa de la señal en pantalla. Nos muestran información de la diferencia de tensión o de tiempo entre dos puntos, y otros datos relevantes de la señal.

Medición de tensión

En primer lugar, ajustamos la posición vertical del canal hasta que el piso o el techo de la señal coincida con alguna división horizontal de la retícula, y contamos cuántas divisiones verticales ocupa. A este valor, lo multiplicamos por el valor de ganancia del canal seleccionado y obtenemos, así, el valor de tensión pico a pico de la señal. En nuestro caso, la señal ocupa 4 divisiones verticales exactas y, como la ganancia del canal está en 0,5 V/div, tenemos:

$$V = 4 \text{ div} \cdot 0,5 \frac{\text{V}}{\text{div}} = 2 \text{ Volt picon pico}$$



Medición de frecuencia

Procedemos de forma similar a la medición de tensión. Ajustamos la posición horizontal del canal hasta que uno de los flancos (puede ser el ascendente o el descendente) coincida con alguna división vertical de la retícula. Luego, contamos cuántas divisiones horizontales ocupa un período de la señal. A este valor, lo multiplicamos por la base de tiempo seleccionada y obtenemos, así, el período.

Si hacemos la inversa del período, podemos inferir el valor de la frecuencia de la señal. En nuestro caso, la señal ocupa 5 divisiones horizontales exactas y, como la base de tiempo del canal está en 0,2 ms/div, tenemos:

$$T = 5 \text{ div} \cdot 0,2 \frac{\text{ms}}{\text{div}} = 1 \text{ ms} \Rightarrow f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1 \cdot 10^{-3} \text{ s}} = 1000 \frac{1}{\text{s}} = 1 \text{ kHz}$$

Puntas lógicas

Una punta lógica es un instrumento sencillo. Posee una punta que se colocará en el punto del circuito a medir. También cuenta con un par de cables con pinzas de cocodrilo para tomar alimentación del circuito bajo prueba, aunque

La punta lógica sirve para visualizar el estado lógico en un punto determinado del circuito.

las hay alimentadas a pilas. En el cuerpo de las puntas lógicas hay un indicador del estado lógico (0 ó 1), el que se manifiesta mediante LEDs rojos y verdes. En algunos casos, observamos otro indicador, el cual señala la existencia de pulsos (señales que cambian de estado) en el punto del circuito bajo observación, aun de muy corta duración, gracias a un circuito que retiene los cambios de estado cortos durante un tiempo mayor, denominado monoestable.

¿Por qué y para qué?

Veremos, en próximos fascículos, que los componentes esenciales de la Electrónica Digital se agrupan en familias lógicas que tienen características similares. Las dos familias lógicas más conocidas son **TTL** (Transistor-Transistor Logic) y **C-MOS** (Complementary Metal Oxide Silicon). Éstas corresponden a diferentes formas de encarar el tratamiento de la Lógica desde el punto de vista de la Electrónica. Por el momento, solo diremos que la diferencia entre ambas familias radica en los valores de la tensión de alimentación y los umbrales de tensión que el circuito lógico

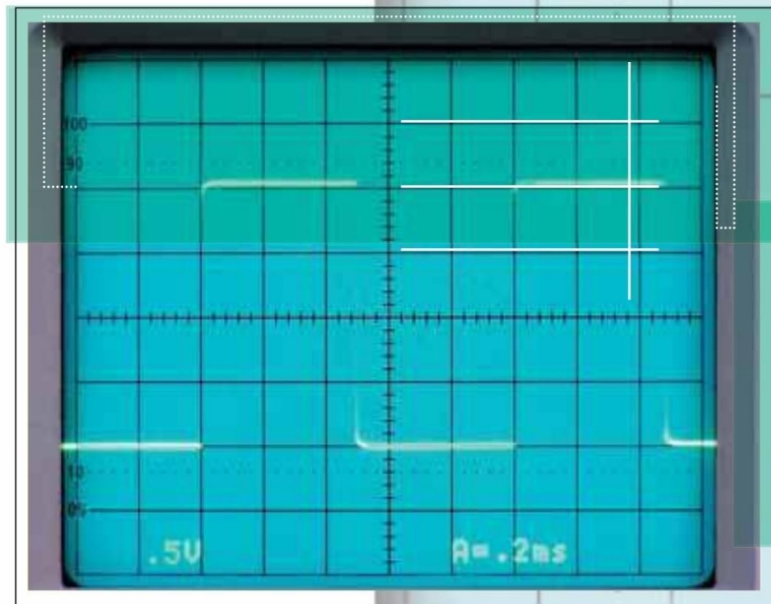


Figura 7. Señal cuadrada bajo medición. Se utiliza la retícula calibrada para medir la amplitud y la frecuencia o período de la señal.

considera como 1 lógico o 0 lógico. Muchas puntas lógicas posibilitan hacer una selección de la familia. Podemos ver el estado de un punto del circuito con un voltímetro o con un osciloscopio, pero deberemos observar cuidadosamente el valor medido y, mentalmente, comparar con las tensiones de umbral, para ver si ese punto está en estado lógico alto (1) o bajo (0). La punta lógica realiza esta comparación internamente y nos lo muestra

enciendiendo un LED. Si el valor de tensión no corresponde a un valor lógico, es decir, se encuentra por encima del umbral de estado bajo y por debajo del umbral de estado alto, no enciende ningún LED. ■

> El osciloscopio es un instrumento sofisticado y complejo de interpretar, pero también resulta imprescindible para el técnico electrónico.

