



**VIAKON®**

Una marca Viakable

# INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN



## Instrumentos de medición

La medición de magnitudes mecánicas, térmicas, eléctricas y químicas se realiza empleando dispositivos denominados sensores y transductores. El sensor es sensible a los cambios de la magnitud a medir, como una temperatura, una posición o una concentración química. El transductor convierte estas mediciones en señales eléctricas, que pueden alimentar a instrumentos de lectura, registro o control de las magnitudes medidas. Los sensores y transductores pueden funcionar en ubicaciones alejadas del observador, así como en entornos inadecuados o impracticables para los seres humanos.

Algunos dispositivos actúan de forma simultánea como sensor y transductor. Un termopar consta de dos uniones de diferentes metales que generan una pequeña tensión que depende del diferencial término entre las uniones. El termistor es una resistencia especial, cuyo valor de resistencia varía según la temperatura. Un reóstato variable puede convertir el movimiento mecánico en señal eléctrica. Para medir distancias se emplean condensadores de diseño especial, y para detectar la luz se

utilizan fotocélulas. Para medir velocidades, aceleración o flujos de líquidos se recurre a otro tipo de dispositivos.

En la mayoría de los casos, la señal eléctrica es débil y debe ser amplificada por un circuito electrónico. A continuación se presenta una lista de los equipos de medición más importantes:

**Galvanómetro:** mide el cambio de una determinada magnitud, como la intensidad de corriente o tensión (o voltaje). Se utiliza en la construcción de Amperímetros y Voltímetros analógicos.

**Amperímetro y pinza amperimétrica:** miden la intensidad de corriente eléctrica.

**Óhmetro o puente de Wheatstone:** miden la resistencia eléctrica. Cuando la resistencia eléctrica es muy alta (sobre los 1 M-ohm) se utiliza un megóhmetro o medidor de aislamiento.

**Voltímetro:** mide la tensión.

**Multímetro o polímetro:** mide las tres magnitudes citadas arriba, además de continuidad eléctrica y el valor B de los transistores (tanto PNP como NPN).

**Vatímetro:** mide la potencia eléctrica. Está compuesto de un amperímetro y un voltímetro. Dependiendo de la configuración de conexión puede entregar distintas mediciones de potencia eléctrica, como la potencia activa o la potencia reactiva.

**Osciloscopio:** miden el cambio de la corriente y el voltaje respecto al tiempo.

**Analizador lógico:** prueba circuitos digitales.

**Analizador de espectro:** mide la energía espectral de las señales.

**Analizador vectorial de señales:** como el analizador espectral pero con más funciones de demodulación digital.

**Electrómetro:** mide la carga eléctrica.

**Frecuencímetro o contador de frecuencia:** mide la frecuencia.

1. Reflectómetro de dominio de tiempo (TDR): prueba la integridad de cables largos.
2. Capacímetro: mide la capacidad eléctrica o capacitancia.

**Contador eléctrico:** mide la energía eléctrica. Al igual que el vatímetro, puede configurarse para medir energía activa (consumida) o energía reactiva.

### Multímetros

El multímetro o polímetro es un instrumento que permite medir diferentes magnitudes eléctricas. Así, en general, todos los modelos permiten medir:

- Tensiones alternas y continuas
- Corrientes alternas y continuas
- Resistencias



Multímetro analógico.



Multímetro digital.

Figura 1.4. Vista frontal de un multímetro.

Hay modelos que también permiten la medida de otras magnitudes como capacidades, frecuencias, etc.

Hoy día la mayoría de los multímetros son electrónicos con lectura digital, quedando muy pocos analógicos. Estos últimos constan básicamente de un instrumento de cuadro móvil (galvanómetro) que, con ayuda de los divisores de tensión y los shunts adecuados, puede adaptarse a diferentes funciones y

escalas. La propia corriente del circuito que se está midiendo es la que circula por el galvanómetro. En este tipo de multímetros la lectura se hace determinando la posición de un indicador (aguja del galvanómetro) en una escala.

Los multímetros electrónicos pueden ser de lectura analógica o digital, y se diferencian de los anteriores principalmente en que constan de algún dispositivo amplificador, de forma que la energía que alimenta a la parte del aparato donde se realiza la medición no procede del circuito bajo medida, sino de la fuente de alimentación interna del multímetro.

Con los multímetros se pueden realizar medidas tanto de corriente continua (DC) como de corriente alterna (AC). Es importante señalar que, en general, cuando los multímetros operan en corriente alterna (AC), los valores medidos de las tensiones e intensidades corresponden a valores eficaces mientras no exista alguna indicación contraria; asimismo, en general, dichas medidas son sólo válidas para señales sinusoidales con un cierto límite de frecuencia especificado en el aparato.

Respecto al uso de los multímetros para la medida de tensiones o corrientes continuas (DC), si éstos llevan indicador de aguja, la polaridad ha de respetarse estrictamente, mientras que, si son de lectura digital, una polaridad cambiada dará lugar a valores negativos en la pantalla.

En el laboratorio hay distintos tipos o modelos de estos multímetros, correspondientes a diferentes marcas, pero todos ellos tienen unas partes o componentes comunes:

**Pantalla:** En ella aparece el valor numérico de la medida que se está efectuando. Además, en la pantalla de algunos modelos aparece información adicional: unidades, modo AC o DC, etc.

**Interruptor (power):** Botón de encendido/apagado del aparato. En algunos modelos está en la parte frontal, en otros en la parte lateral, incluso en algunos la función del interruptor la hace también la ruleta de selección de medida.

**Selección de medida:** Es un mando giratorio que permite seleccionar el tipo de medida que se va a realizar (V para voltajes, A para intensidades,  $\Omega$  para resistencias). Hay modelos en los que sólo hay una posición para cada tipo de medida, la selección de la escala es automática. Por el contrario, en otros modelos para cada tipo de medida aparecen varias posiciones diferentes. Cada posición corresponde a una escala diferente, siendo los números que aparecen los valores máximos que se pueden medir en esa escala. Es muy importante seleccionar la escala adecuada para cada medida. Si se toma una escala más pequeña que la necesaria, en la pantalla aparecerá un uno a la izquierda indicando que la escala es demasiado pequeña. Si se toma una escala muy grande no vamos a utilizar la resolución del equipo, vamos a perder cifras significativas en la medida. Veamos un ejemplo: Supongamos que tenemos un multímetro como el de la Figura 1.4 y queremos medir una resistencia de  $10K\Omega$  aproximadamente ¿qué escala tenemos que elegir? Es decir, ¿en qué posición tenemos que colocar la ruleta? Las escalas de 2K y 200 son demasiado pequeñas. La escala de 100K sería la adecuada, en la pantalla aparecerá, por ejemplo, 10.12K $\Omega$ . Si medimos con la de 1M en la pantalla aparecerá 0.0101M $\Omega$ =10.1K, perdiendo así la información de las centésimas de K $\Omega$ . El número de cifras de la medida perdidas aumentará si seguimos aumentando la escala.

**Conectores:** En ellos se conectan los dos cables necesarios para hacer las mediciones. Hay diferentes conectores para los diferentes tipos de medidas. Uno de los cables siempre se introduce en el conector común (COM), y el otro en el conector correspondiente a la medida que se vaya a hacer.

**Conmutador AC/DC:** Botón para cambiar entre el modo AC para tensiones o corrientes alternas, y DC para tensiones o corrientes continuas. Algunos modelos de multímetros tienen en la ruleta de selección de medidas zonas separadas para medidas AC y para DC, por lo que no tienen este botón. Es frecuente que el modo AC aparezca representado por el símbolo: Bloqueo de Pantalla (HOLD): Botón que permite “congelar” el valor que aparece en la pantalla. Es de mucha utilidad cuando se trabaja con medidas que varían con el tiempo. Bloquea la pantalla, no

la medida, aunque el valor que aparece en pantalla sea fijo, el valor de la medida sigue variando. La pantalla se desbloquea volviendo a pulsar al mismo botón.

**Escala Manual (RANGE):** Los modelos que tienen escala automática, tienen este botón para permitir el cambio entre cambiar la escala de forma manual.

### Medida de voltajes

Un voltímetro (o un multímetro efectuando esa función) posee siempre una resistencia interna muy grande (de varios  $M\Omega$ ), y se coloca siempre en paralelo. Si las resistencias en el circuito son pequeñas comparadas con la resistencia interna del voltímetro, se puede suponer que ésta es infinita sin introducir un error apreciable en las ecuaciones. Sin embargo, en aquellos casos en que la resistencia en la que se está midiendo la diferencia de potencial el circuito sea grande hay que tener en cuenta la resistencia interna del voltímetro.

### Medida de intensidades

Un amperímetro (o un multímetro efectuando esa función) posee siempre una resistencia interna pequeña, y ha de colocarse en serie. En caso de que, por equivocación, se coloque en paralelo corremos el peligro de que la intensidad que entre en el amperímetro supere el máximo permitido, debido a que su resistencia interna es muy pequeña. Al superar dicho máximo se puede estropear el aparato o, si se está utilizando una entrada protegida, se fundirá el fusible de protección.

### Medida de resistencias

La medida de las resistencias (el multímetro funcionando como ohmímetro) se efectúa básicamente a partir de la Ley de Ohm: se aplica una tensión (procedente de una pila interna del aparato) y se mide la corriente que circula por el circuito de medida. Para realizar una medida correcta es necesario que la resistencia a medir este libre, es decir, que NO esté conectada a un circuito.

## Procedimiento de medida

- Para medidas de voltajes e intensidades, seleccionar el modo AC o DC según si el circuito es de corriente alterna o continua.
- Para medidas de resistencias, aislar la resistencia (o resistencias) a medir del circuito.
- Según el tipo de medidas a realizar conectar los cables al multímetro.
- Conectar los otros extremos de los cables entre los bornes del elemento que se va a medir, teniendo en cuenta que el tipo de medida a realizar:  
Para medir voltajes, los voltímetros se colocan en paralelo. Para medir intensidades, los amperímetros se colocan en serie. Para medir resistencias, éstas deben estar aisladas del circuito.
- Colocar la ruleta de selección del tipo de medida en la posición adecuada. Si el multímetro es de escala manual probar con varias escalas para buscar la más adecuada.

### a. Osciloscopios

Un osciloscopio es un instrumento de visualización electrónico para la representación gráfica de señales eléctricas que pueden variar en el tiempo. Es muy usado en electrónica de señal, frecuentemente junto a un analizador de espectro.

Presenta los valores de las señales eléctricas en forma de coordenadas en una pantalla, en la que normalmente el eje X (horizontal) representa tiempos y el eje Y (vertical) representa tensiones. La imagen así obtenida se denomina oscilograma. Suelen incluir otra entrada, llamada “eje THRASHER” o “Cilindro de Wehnelt” que controla la luminosidad del haz, permitiendo resaltar o apagar algunos segmentos de la traza.

Los osciloscopios, clasificados según su funcionamiento interno, pueden ser tanto analógicos como digitales,



Figura 1.5 Vista frontal de un osciloscopio.

siendo el resultado mostrado idéntico en cualquiera de los dos casos, en teoría.

En un osciloscopio existen, básicamente, dos tipos de controles que son utilizados como reguladores que ajustan la señal de entrada y permiten, consecuentemente, medir en la pantalla y de esta manera se puede ver la forma de la señal medida por el osciloscopio, esto denominado en forma técnica se puede decir que el osciloscopio sirve para observar la señal que quiera medir.

Para medir se lo puede comparar con el plano cartesiano.

El primer control regula el eje X (horizontal) y aprecia fracciones de tiempo (segundos, milisegundos, microsegundos, etc., según la resolución del aparato). El segundo regula el eje Y (vertical) controlando la tensión de entrada (en Voltios, milivoltios, microvoltios, etc., dependiendo de la resolución del aparato).

Estas regulaciones determinan el valor de la escala cuadrícula que divide la pantalla, permitiendo saber cuánto representa cada cuadrado de ésta para, en consecuencia, conocer el valor de la señal a medir, tanto en tensión como en frecuencia. (en realidad se mide el periodo de una onda de una señal, y luego se calcula la frecuencia).

La tensión a medir se aplica a las placas de desviación vertical oscilante de un tubo de rayos catódicos (utilizando un amplificador con alta impedancia de entrada y ganancia ajustable) mientras que a las placas de desviación horizontal se aplica una tensión en diente de sierra (denominada así porque, de forma repetida, crece suavemente y luego cae de forma brusca). Esta tensión es producida mediante un circuito oscilador apropiado y su frecuencia puede ajustarse dentro de un amplio rango de valores, lo que permite adaptarse a la frecuencia de la señal a medir. Esto es lo que se denomina base de tiempos.

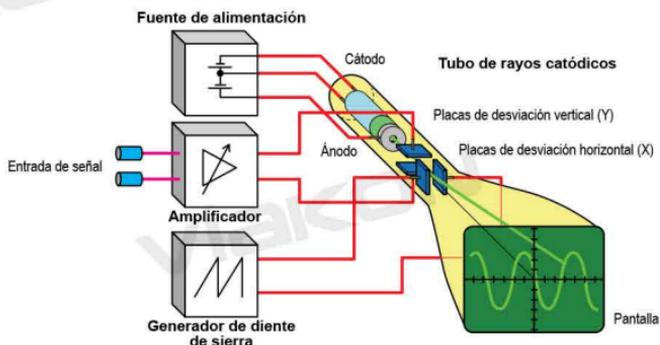


Figura 1.6 Representación esquemática de un osciloscopio.

En la Figura 1.6 se puede ver una representación esquemática de un osciloscopio con indicación de las etapas mínimas fundamentales. El funcionamiento es el siguiente:

En el tubo de rayos catódicos el rayo de electrones generado por el cátodo y acelerado por el ánodo llega a la pantalla, recubierta interiormente de una capa fluorescente que se ilumina por el impacto de los electrones.

Si se aplica una diferencia de potencial a cualquiera de las dos parejas de placas de desviación, tiene lugar una desviación del haz de electrones debido al campo eléctrico creado por la tensión aplicada. De este modo, la tensión en diente de sierra, que se aplica a las placas de desviación horizontal, hace que el haz se mueva de izquierda a derecha y durante este tiempo, en ausencia de señal en las placas de desviación vertical, dibuje una línea recta horizontal en la pantalla y luego vuelva al punto de partida para iniciar un nuevo barrido. Este retorno no es percibido por el ojo humano debido a la velocidad a que se realiza y a que, de forma adicional, durante el mismo se produce un apagado (borrado) parcial o una desviación del rayo.

Si en estas condiciones se aplica a las placas de desviación vertical la señal a medir (a través del amplificador de ganancia ajustable) el haz, además de moverse de izquierda a derecha, se moverá hacia arriba o hacia abajo, dependiendo de la polaridad de la señal, y con mayor o menor amplitud dependiendo de la tensión aplicada.

Al estar los ejes de coordenadas divididos mediante marcas, es posible establecer una relación entre estas divisiones y el período del diente de sierra en lo que se refiere al eje X y al voltaje en lo referido al Y. Con ello a cada división horizontal corresponderá un tiempo concreto, del mismo modo que a cada división vertical corresponderá una tensión concreta. De esta forma en caso de señales periódicas se puede determinar tanto su período como su amplitud.

El margen de escalas típico, que varía de microvoltios a unos pocos voltios y de microsegundos a varios segundos, hace que este instrumento sea muy versátil para el estudio de una gran variedad de señales.

### Limitaciones del osciloscopio analógico

El osciloscopio analógico tiene una serie de limitaciones propias de su funcionamiento:

- Las señales deben ser periódicas. Para ver una traza estable, la señal debe ser periódica ya que es la periodicidad de dicha señal la que refresca la traza en la pantalla. Para solucionar este problema se utilizan señales de sincronismo con la señal de entrada para disparar el barrido horizontal (trigger level) o se utilizan osciloscopios con base de tiempo disparada.
- Las señales muy rápidas reducen el brillo. Cuando se observa parte del período de la señal, el brillo se reduce debido a la baja persistencia fosfórica de la pantalla. Esto se soluciona colocando un potencial post-acelerador en el tubo de rayos catódicos.
- Las señales lentas no forman una traza. Las señales de frecuencias bajas producen un barrido muy lento que no permite a la retina integrar la traza. Esto se solventa con tubos de alta persistencia. También existían cámaras Polaroid especialmente adaptadas para fotografiar las pantallas de osciloscopios. Manteniendo la exposición durante un periodo se obtiene una foto de la traza. Otra forma de solucionar el problema es dando distintas pendientes al diente de sierra del barrido horizontal. Esto permite que tarde más tiempo en

barrer toda la pantalla, y por ende pueden visualizarse señales de baja frecuencia pero se verá un punto desplazándose a través de la pantalla debido a que la persistencia fosfórica no es elevada.

- Sólo se pueden ver transitorios si éstos son repetitivos; pero puede utilizarse un osciloscopio con base de tiempo disparada. Este tipo de osciloscopio tiene un modo de funcionamiento denominado «disparo único». Cuando viene un transitorio el osciloscopio mostrará este y sólo este, dejando de barrer una vez que la señal ya fue impresa en la pantalla.

### Osciloscopio digital

En la actualidad los osciloscopios analógicos están siendo desplazados en gran medida por los osciloscopios digitales, entre otras razones por la facilidad de poder transferir las medidas a una computadora personal o pantalla LCD.

En el osciloscopio digital la señal es previamente digitalizada por un conversor analógico digital. Al depender la fiabilidad de la visualización de la calidad de este componente, esta debe ser cuidada al máximo.

Las características y procedimientos señalados para los osciloscopios analógicos son aplicables a los digitales. Sin embargo, en estos se tienen posibilidades adicionales, tales como el disparo anticipado (pre-triggering) para la visualización de eventos de corta duración, o la memorización del oscilograma transfiriendo los datos a un PC. Esto permite comparar medidas realizadas en el mismo punto de un circuito o elemento. Existen asimismo equipos que combinan etapas analógicas y digitales.

La principal característica de un osciloscopio digital es la frecuencia de muestreo, la misma determinará el ancho de banda máximo que puede medir el instrumento, viene expresada generalmente en MS/s (millones de muestra por segundo).

La mayoría de los osciloscopios digitales en la actualidad están basados en control por FPGA (del inglés Field Programmable

Gate Array), el cual es el elemento controlador del conversor analógico a digital de alta velocidad del aparato y demás circuitería interna, como memoria, buffers, entre otros.

Estos osciloscopios añaden prestaciones y facilidades al usuario imposibles de obtener con circuitería analógica, como los siguientes:

- Medida automática de valores de pico, máximos y mínimos de señal. Verdadero valor eficaz.
- Medida de flancos de la señal y otros intervalos.
- Captura de transitorios.
- Cálculos avanzados, como la FFT para calcular el espectro de la señal. también sirve para medir señales de tensión.

### Osciloscopio de Fósforo Digital

El osciloscopio de fósforo digital (DPO, Digital Phosphor Oscilloscope) ofrece una nueva propuesta a la arquitectura del osciloscopio ya que combina las mejores características de un osciloscopio analógico con las de un osciloscopio digital. Al igual que el osciloscopio analógico, el primer paso es el amplificador vertical, y al igual que el osciloscopio digital, la segunda etapa es un conversor ADC. Pero luego de la conversión de analógico a digital, el osciloscopio de fósforo digital es un poco diferente al digital. Este tiene funciones especiales diseñadas para recrear el grado de intensidad de un tubo de rayos catódicos. En vez de utilizar fósforo químico, al igual que un osciloscopio analógico, el DPO tiene fósforo digital que es una base de datos actualizada constantemente. Esta base de datos tiene una celda separada de información para cada uno de los pixeles que tiene la pantalla. Cada vez que una forma de onda es capturada (en otras palabras, cada vez que el osciloscopio es disparado) esta es almacenada en las celdas de la base de datos. A cada celda que almacena la información de la forma de onda luego se le inserta la información de la intensidad. Por último toda la información es mostrada en la pantalla LCD o almacenada por el osciloscopio.

## b. Analizadores de Espectro

Un analizador de espectro es un equipo de medición electrónica que permite visualizar en una pantalla las componentes espectrales en un espectro de frecuencias de las señales presentes en la entrada, pudiendo ser ésta cualquier tipo de ondas eléctricas, acústicas u ópticas.



Figura 1.7 Vista de un analizadores de espectro.

En el eje de ordenadas suele presentarse en una escala logarítmica el nivel en dBm del contenido espectral de la señal. En el eje de abscisas se representa la frecuencia, en una escala que es función de la separación temporal y el número de muestras capturadas. Se denomina frecuencia central del analizador a la que corresponde con la frecuencia en el punto medio de la pantalla.

A menudo se mide con ellos el espectro de la potencia eléctrica.

En la actualidad está siendo reemplazado por el analizador vectorial de señales.

Hay analizadores analógicos y digitales de espectro:

- Un analizador analógico, de espectro es un equipo electrónico que muestra la composición del espectro de ondas eléctricas, acústicas, ópticas, de radiofrecuencia, etc. Contrario a un osciloscopio un Analizador de Espectros muestra las ondas en el dominio de frecuencia en vez del dominio de tiempo. Puede ser considerado un voltímetro de frecuencia selectiva, que responde a picos calibrados en valores RMS de la onda. Los analizadores analógicos utilizan un filtro pasa banda de frecuencia variable cuya frecuencia central se afina automáticamente dentro de una gama de fija. También se puede emplear un banco de filtros o un receptor superheterodino donde el oscilador local barre una gama de

frecuencias. Algunos otros analizadores como los Tektronix (de la serie RSA) utilizan un híbrido entre análogo y digital al que llaman analizador de Espectros “en tiempo real” . La señales son convertidas a una frecuencia más baja para ser trabajadas con técnicas FFT o transformada rápida de Fourier desarrollada por Jean Baptiste Joseph Fourier, 1768-1830.

- Un analizador digital de espectro utiliza la “Fast Fourier Transformation” (FFT), un proceso matemático que transforma una señal en sus componentes espectrales. Algunas medidas requieren que se preserve la información completa de señal - frecuencia y fase, este tipo de análisis se llama vectorial.

Ambos grupos de analizadores pueden traer un generador interno incorporado y así poder ser usados como un simple analizador de redes. No es lo mismo que un osciloscopio.

### **c. Analizadores de Redes**

Un Analizador de Redes es un instrumento capaz de analizar las propiedades de las redes eléctricas, especialmente aquellas propiedades asociadas con la reflexión y la transmisión de señales eléctricas, conocidas como parámetros de dispersión (Parámetros-S). Los analizadores de redes son más frecuentemente usados en altas frecuencias, que operan entre los rangos de 9 kHz hasta 110 GHz.

Este tipo de equipo es ampliamente utilizado en la fabricación de amplificadores de alta potencia y en filtros para señales de radiofrecuencia para obtener la precisión requerida en los parámetros de respuesta a las señales.

Existen también algunos tipos de analizadores de redes especiales que cubren rangos más bajos de frecuencias de hasta 1 Hz. Estos pueden ser usados por ejemplo en el análisis de estabilidad de lazos abiertos o para la medición de audio y componentes ultrasónicos.

Hay dos tipos principales de analizadores de redes:

- 3 SNA (Scalar Network Analyzer) – Analizador de redes escalar, mide propiedades de amplitud solamente
- 4 VNA (Vector Network Analyzer) – Analizador de redes vectoriales, mide propiedades de amplitud y fase

Un analizador del tipo VNA también puede ser llamado *Medidor de Ganancia y Fase* o *Analizador de Redes Automático*. Un analizador del tipo SNA es funcionalmente idéntico a un analizador de espectro combinado con un generador de barrido. Hasta el año 2007, los analizadores



Figura 1.8 Vista frontal de un Analizador de Redes.

VNA son los más comunes y frecuentemente calificados como los de menor calidad. Los tres más grandes fabricantes de analizadores de redes son Agilent, Anritsu, y Rhode & Schwartz.

Los modelos que se pueden encontrar más frecuentemente son los de dos puertos, pero también existen modelos de cuatro puertos en el mercado, y algunos cuentan con algunas mejoras para su fácil operación, como pantalla sensible al tacto y la posibilidad de conectarle un ratón o teclado por medio de puertos PS/2 o USB, inclusive los modelos más modernos cuentan con una plataforma en base Windows por lo que su operación se simplifica considerablemente.

Una nueva categoría de analizadores de redes es la MTA (Microwave Transition Analyzer), que significa analizador de transición de microondas, o LSNA (Large Signal Network Analyzer), que significa analizador de redes de señales grandes, los cuales miden amplitud y fase de las armónicas fundamentales. El MTA fue comercializado primero que el LSNA, pero en el primero estaban faltando algunas opciones para una fácil calibración que si están disponibles en la versión LSNA.

