



FUNCIONAMIENTO Y USO DE MULTÍMETROS ANALÓGICOS Y DIGITALES.

Medir: Validación de una ley, armar circuitos y medir para ver si se cumple una ley, verificar midiendo las variables. Medición con objeto de mantenimiento, calibración, supervisión, evaluación de prototipos de diseño, procesos que requieran supervisión (monitoreo continuo) a fin de tomar decisiones importantes sobre su operación.

Alguna de las definiciones importantes que se deben de considerar al momento de medir son las siguientes:

- **Exactitud:** la exactitud de una medición especifica la diferencia entre el valor medido y el valor real de una cantidad. La desviación del valor verdadero es un índice de cuan exactamente se ha llevado a cabo una lectura.
- **Precisión:** la precisión especifica la repetibilidad de un conjunto de lecturas, hechas cada una en forma independiente con el mismo instrumento. Se determina una estimación de la precisión mediante la desviación de la lectura con respecto al valor promedio.

Las mediciones juegan un papel importante en la validación de las leyes de la ciencia. También son esenciales para estudiar, desarrollar y vigilar muchos dispositivos y procesos. Sin embargo el proceso mismo de medir implica muchos pasos antes de producir un conjunto útil de información

La finalidad de Medir es con el objeto de mantenimiento, calibración, supervisión, evaluación de prototipos de diseño, proceso que requieran supervisión (monitoreo continuo) a fin de tomar decisiones importantes sobre su operación.

Las mediciones de tensión se efectúan con dispositivos tan variados como voltímetros electromecánicos, voltímetros digitales, y osciloscopios. Los métodos para medir corrientes emplean los instrumentos llamados amperímetros.

Un amperímetro siempre se conecta en serie con una rama del circuito y mide la corriente que pasa a través de él. Un amperímetro ideal sería capaz de efectuar la medición sin cambiar o perturbar la corriente en la rama. Sin embargo, los amperímetros reales poseen siempre algo de resistencia interna y hacen que la corriente en la rama cambie debido a la inserción del instrumento. (R interna en el orden de algunos Ohms)

En forma inversa, **un voltímetro se conecta en paralelo con los elementos que se miden.** Mide la diferencia de potencial (Tensión) entre los puntos en los cuales se conectan. Al igual que el amperímetro ideal, el voltímetro ideal no debería hacer cambiar la corriente y la tensión en el circuito que se está midiendo.

Esta medición ideal de tensión sólo se puede alcanzar si el voltímetro no toma corriente alguna del circuito de prueba. Sin embargo, la mayoría de los voltímetros reales trabajan tomando una corriente pequeña, pero finita y por lo mismo también perturba el circuito de prueba hasta cierto grado. (R interna en el orden de los KiloOhms)

Los instrumento para medir tensión y/o corriente se pueden agrupar en dos clases generales:

- a) **Instrumentos analógicos.**
- b) **Instrumentos digitales.**



INSTRUMENTOS ANALÓGICOS

Multímetro o Tester Analógico (VOM)

Los multímetros o testers analógicos son instrumentos de laboratorio y de campo muy útiles y versátiles, capaces de medir Tensión en corriente alterna (C.A.o A.C.en inglés) y corriente continua (C.C.o D.C. en inglés), corriente, resistencia, ganancia de transistor, caída de tensión en los diodos, capacitancia e impedancia.

Este tipo de instrumentos emplea mecanismos electromecánicos para mostrar la cantidad que se está midiendo en una escala continua. Es decir, el proceso que realizan es analógico y la salida es analógica (agujas).

Los multímetros digitales han tomado el lugar de la mayoría de los multímetros analógicos por dos razones principales: mejor exactitud y eliminación de errores de lectura.

Por otro lado, todavía se emplean instrumentos para aplicaciones en las que se deben observar las indicaciones de muchos medidores de un vistazo. Por ejemplo, la mayoría de las subestaciones de servicio eléctrico emplean medidores analógicos.

Instrumento de IPBM (Imán Permanente y Bobina Móvil)

El mecanismo sensor más común que se emplea en los amperímetros y voltímetros electromecánicos es un dispositivo sensor de corriente llamado galvanómetro de movimiento de imán permanente y bobina móvil. Este mecanismo fue desarrollado por D' Arsonval en 1881. También se emplea en algunos óhmetros, medidores rectificadores de corriente alterna y puentes de impedancia. Su aplicación tan difundida se deba a su sensibilidad y exactitud extremas. Se pueden detectar corrientes de menos de 1mA mediante instrumentos comerciales. (Algunos instrumentos de laboratorio pueden medir corrientes tan pequeñas como 1.0×10^{-13} A). El movimiento detecta la corriente empleando la fuerza que surge de la interacción de un campo magnético y la corriente que pasa a través de él. La fuerza se emplea para generar un desplazamiento mecánico, que se mide en una escala calibrada.

El mecanismo o movimiento que patentó D' Arsonval se basa en este principio. Una bobina de alambre se fija en un eje que gira en dos cojinetes (de rubí). La bobina puede girar en un espacio entre un núcleo cilíndrico de hierro suave y dos piezas polares magnéticas. Las piezas polares crean el campo magnético y el núcleo de hierro restringe el campo al espacio de aire (entrehierro) entre él y las piezas polares. Si se aplica una corriente a la bobina suspendida, la fuerza resultante hará que gire. A este giro se oponen dos resortes pequeños que originan un par (fuerza giratoria) que se opone al par magnético. Las fuerzas de los resortes se calibran de modo que una corriente conocida origine una rotación de ángulo conocido. (También, los resortes sirven como conexiones eléctricas para la bobina.) El puntero liviano muestra la cantidad de rotación sobre una escala calibrada.

La dirección de la fuerza en el conductor que lleva la corriente se encuentra fácilmente mediante la regla de la mano derecha. El dedo índice apunta en la dirección de la corriente convencional y el dedo medio apunta en la dirección del campo magnético. La ecuación vectorial que define a esta fuerza es:

$$F = i L \times B$$

Siendo F la fuerza en Newtons en el conductor, i es la corriente en Amperes, L es la longitud en metros y B la inducción magnética en Wb/m².

La desviación de la aguja es directamente proporcional a la corriente que fluye en la bobina, siempre que el campo magnético sea uniforme y la tensión del resorte sea lineal. En ese caso, la escala del medidor también es lineal. La exactitud de los instrumentos de IPBM que se emplean en los medidores comunes de laboratorio es de aproximadamente el 1% de la lectura de la escala completa.

Movimiento del electrodinamómetro

El movimiento del electrodinamómetro se emplea en la construcción de voltímetros y amperímetros de gran exactitud, así como wattímetros y medidores de factor de potencia. Al igual que el mecanismo IPBM, trabaja también como dispositivo sensor de corriente. Se puede obtener exactitudes muy altas con el empleo de este mecanismo porque no utilizan materiales magnéticos (los cuales poseen propiedades no lineales).

En contraste con el movimiento IPBM, que emplea un imán permanente como fuente del campo magnético, el electrodinamómetro crea un campo magnético con la corriente que mide. Esta corriente pasa por dos devanados del campo y establece el campo magnético que interacciona con la corriente en la bobina móvil. La fuerza en esa bobina, debido a los campos magnéticos de las bobinas fijas, hace que gire la bobina móvil. La bobina móvil se fija a un puntero que se mueve a lo largo de una escala cargada para indicar el valor de la cantidad que se esté midiendo. El conjunto completo del mecanismo se monta en una caja blindada de hierro para aislarlo de cualquier campo magnético parásito.

El movimiento del electrodinamómetro produce una lectura de gran exactitud, pero está limitado debido a sus necesidades de potencia. El campo magnético de los devanados estacionarios, producido por una corriente de pequeña es mucho más débil que el campo permanente del movimiento de D' Arsonval.

Amperímetro analógico de corriente continua (cc)

Los amperímetros electromecánicos industriales y de laboratorio se emplean para medir corrientes desde 1mA (10⁻⁶ A) hasta varios cientos de amperes.. Los instrumentos típicos para laboratorio tienen exactitudes de aproximadamente 1 % del valor de la escala completa debido a las inexactitudes del movimiento del medidor. Además de este error, la resistencia de la bobina del medidor introduce una desviación con respecto al comportamiento de un amperímetro ideal. El modelo que se emplea para describir un amperímetro real en términos de circuito equivalente posee además una resistencia Ri (de igual valor que la resistencia de la bobina y los conductores del medidor) en serie con un amperímetro ideal.

Resistencia interna de instrumentos IPBM típicos

Corriente	Resistencia	Caida de tensión
50 m A	1000-5000 ohms	50 mV-250mV
500 m A	100-1000 ohms	50 mV-500 mV
1 mA	30-120 ohms	30 mV-120 mV
10 m A	1-4 ohms	10 mV-40 mV

Ejemplo 1.1 : Se tiene un amperímetro de 50 mA que tiene una resistencia interna de 2.5 Kohms, y se desea medir la corriente que pasa en una rama que contiene una resistencia de 200 Kohms . Calcúlese:

- El error introducido por la resistencia adicional del amperímetro en el circuito.
- La indicación del amperímetro si se aplican 7.2 V en las terminales de la rama.

Solución: a) Sin el amperímetro en el circuito, 7.2 V aplicados a 200 K ohms producirán una corriente de:

$$I = V / R1 = 7.2 / 200K = 36 \text{ m A}$$

b) Cuando se conecta el amperímetro en serie con esa resistencia, la resistencia total de la rama es de 202.5 K ohms . Así, si se aplican 7.2 V a esta nueva resistencia, se tendrá una corriente de

$$I = V / (R1 + Ri) = 7.2 / (200K + 2.5K) = 35.56 \text{ mA}$$

El error en la lectura originado por Ri del amperímetro es

$$\text{Error} = \frac{(36 \text{ mA}) - (35.56 \text{ mA})}{(36 \text{ mA})} \times 100\% = 1.23\%$$

La sensibilidad de un amperímetro indica la corriente mínima necesaria para una desviación de toda la escala.

Un Shunt es una resistencia de bajo valor conectada en paralelo al amperímetro de modo que una parte de la corriente total que entra al circuito no pase por el instrumento. De esta manera es posible construir un instrumento que mida corrientes mayores a las que puede manejar inicialmente el amperímetro. Conociendo el VPE (Valor de Plena Escala o Valor para la máxima deflexión de la aguja) y la resistencia interna del instrumento R_i , es posible calcular el valor del Shunt para medir la corriente deseada..

Ejemplo 1.2 : Dado un instrumento de VPE =1mA con una resistencia interna (de bobina) de 50 ohms , se desea convertirlo a un amperímetro capaz de medir hasta 150 mA. ¿Cuál será la resistencia necesaria del Shunt?

Solución : Si el valor máximo que puede manejar el instrumento es de 1 mA, el Shunt tendrá que conducir el resto de la corriente. Así, para una desviación de escala completa.

$$I_{\text{shunt}} = I_{\text{total}} - I_{\text{pe}} = 150 - 1 = 149 \text{ mA}$$

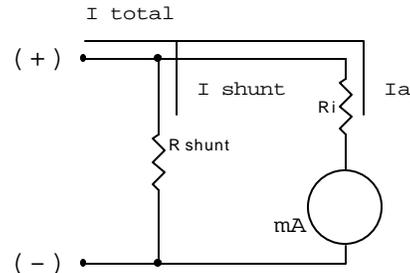
Como las caídas de tensión a través del Shunt y del instrumento son iguales (por estar conectadas en paralelo), entonces

$$V_{\text{shunt}} = V$$

$$I_{\text{shunt}} \times R_{\text{shunt}} = I_{\text{pe}} \times R_i$$

$$R_{\text{shunt}} = \frac{I_{\text{pe}} \times R_i}{I_{\text{shunt}}} = \frac{(0.001) \cdot (50)}{0.149}$$

$$R_{\text{shunt}} = 0.32 \text{ Ohms}$$



Voltímetros analógicos de corriente continua (cc)

La mayor parte de los voltímetros emplean también instrumentos IPBM. Este instrumento se puede considerar en sí mismo un voltímetro, si se considera que la corriente que pasa por él, multiplicada por su resistencia interna, origina una determinada caída de tensión. Para aumentar el alcance del instrumento, se agrega otra resistencia en serie que limita la corriente que pasa por el circuito del medidor (multiplicador).

Ejemplo 1.3 : Si se desea emplear un instrumento de 1 mA y 50 ohms como voltímetro con escala de 10 V, ¿qué resistencia se debe colocar en serie con el movimiento?

Solución: A plena escala, pasa 1mA por el instrumento. Si se han de medir 10 V, la resistencia total necesaria es:

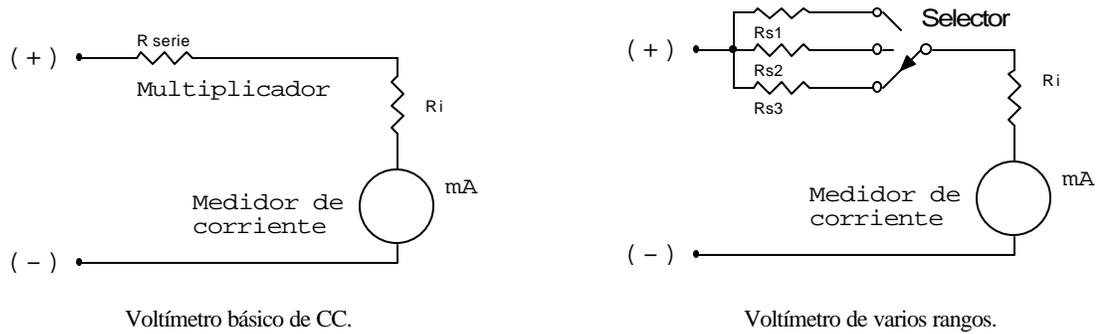
$$R_{\text{total}} = V/I = 10\text{V} / 0.001 \text{ A} = 10.000 \text{ ohms}$$

Como la resistencia del instrumento es 50 ohms, la resistencia agregada debe ser

$$R_{\text{serie}} = R_{\text{total}} - R_i$$

$$R_{\text{serie}} = 9950 \text{ ohms}$$

Para construir un voltímetro de múltiple rango, se puede emplear un interruptor que conecte resistencias de varias magnitudes en serie con el instrumento. Para obtener una deflexión hacia los valores altos de la escala, los bornes se deben conectar con el voltímetro con la misma polaridad que las marcas de las terminales.



Los voltímetros típicos de corriente continua (CC) de laboratorio tienen exactitudes de $\pm 1\%$ de la escala completa.

Ohmetro

Es un instrumento que mide la resistencia o simplemente continuidad, de un circuito o parte del directamente en ohms sin necesidad de cálculos, su principio de funcionamiento se basa en el método del voltímetro para medir resistencias y se configura habitualmente en circuitos tipo serie y/o derivación.

Ohmetro tipo serie

El ohmetro tipo serie consta de un galvanómetro conectado en serie con una resistencia y una batería, con un par de terminales a los cuales se conecta la resistencia desconocida. La corriente que circula a través del galvanómetro depende de la magnitud de la resistencia desconocida y la indicación del medidor es proporcional a su valor, siempre y cuando se hayan tomado en cuenta los problemas de calibración.

Cuando la resistencia desconocida $R_x = 0$ (terminales en cortocircuito), circula corriente máxima en el circuito. En estas condiciones, la resistencia de derivación se ajusta hasta que el galvanómetro indique la corriente a escala completa. La posición de la aguja para la corriente de escala completa se marca "0". En forma similar, cuando $R_x = \infty$ (terminales abiertos) la corriente en el circuito es cero y el galvanómetro indica cero corriente, esta posición se marca " ∞ " en la escala. Se colocan las marcas intermedias en la escala conectando valores conocidos de resistencia R_x en las terminales del instrumento. La exactitud de estas marcas depende de la exactitud respectiva del galvanómetro y de las tolerancias de las resistencias de calibración.

Aun cuando el ohmetro tipo serie es un diseño popular y se utiliza extensamente en los instrumentos portátiles para servicio general, tiene ciertas desventajas. Las más importantes se relacionan con la disminución de la tensión de la batería interna con el tiempo y el uso, de forma que la corriente a escala completa disminuye y el medidor no lee "0" cuando los terminales están en cortocircuito. La resistencia de derivación provee un ajuste para contrarrestar el efecto de la descarga de la batería. (Ajuste del "cero eléctrico")

Ohmetro tipo derivacion

Este consiste de una batería en serie con una resistencia de ajuste y un galvanómetro. La resistencia desconocida se conecta a través de las terminales, en paralelo con el medidor. Para este circuito es necesario tener un interruptor que desconecte la batería cuando no se use el instrumento. Cuando la resistencia desconocida $R_x = 0$ (terminales abiertos), las corrientes circulará únicamente a través del medidor; y con la apropiada selección del valor de la resistencia de ajuste, se puede hacer que la aguja marque escala completa.



De esta forma, el ohmetro tiene la marca "cero" en el lado izquierdo de la escala (no circula corriente) y la marca "infinito" en el lado derecho de la escala (corriente de deflexión a plena escala).

El ohmetro tipo derivación es adecuado para medir valores bajos de resistencia; no se suele emplear en los instrumentos de prueba, pero se encuentra en los laboratorios o para aplicaciones especiales de medición de resistencia baja. El análisis del ohmetro tipo derivación es similar al del ohmetro tipo serie.

Amperímetros y voltímetros analógicos para ca

Las señales eléctricas que cambian en amplitud y dirección periódicamente a través del tiempo se miden con los medidores de corriente alterna. Estos medidores pueden responder al valor pico, promedio, o efectivo de las señales periódicas de corriente alterna que se les aplique. Esos medidores también se calibran para indicar sus salidas en términos de uno de esos tres valores característicos de señales de CA. Como resultado, si se deben efectuar mediciones exactas de señales de CA, se deben seguir las referencias que se dan a continuación. Primero, se debe considerar qué valor característico de la onda se busca (promedio, pico o efectivo). A continuación, si es posible, se selecciona un medidor que responda y que esté calibrado para indicar su salida en esa característica. Si ello no fuera posible, se necesita calcular un factor de corrección entre la indicación que se obtiene y el valor deseado de la característica. Sin embargo, en ese caso probablemente sea más fácil y más exacto observar y medir el valor de la característica deseada de la onda real con un osciloscopio o analizador de espectro y no con el medidor que se tenga a mano.

CUIDADOS EN EL MANEJO DE INSTRUMENTOS ANALÓGICOS

Los amperímetros siempre se conectan en serie con la rama cuya corriente se ha de medir y nunca en paralelo. Se puede destruir el amperímetro si se conecta en paralelo por equivocación. Su baja resistencia puede permitir que pase la suficiente corriente en el medidor para quemarlo. **El voltímetro se conecta en paralelo a la porción del circuito cuya caída de voltaje se desea medir.**

Asegúrese que la aguja esté siempre en cero antes de conectar un medidor. Si no indica cero, ajústese con el tornillo de ajuste a cero en la cara del medidor. (Ajuste del "cero mecánico")

No maneje los medidores con rudeza. El eje y sus cojinetes se dañan fácilmente por golpes violentos o vibración.

Cuando se tienen rangos múltiples, inicie todas las mediciones de cantidades desconocidas ajustando al instrumento en su escala mayor. Tómese como indicación final la deflexión que quede más cerca del valor de escala completa. Esta indicación final será el valor más exacto.

Descánsense los medidores portátiles sobre sus partes traseras. Esto ayudará a evitar que se volteen y se dañen.

Se deben corregir las lecturas para todo efecto de carga originado por la presencia del medidor en el circuito.

Debe cuidarse la polaridad en los medidores de CC. **Las conexiones de polaridad invertida pueden conducir a daños** del movimiento a causa del golpe de la aguja contra el tope de reversa. Los medidores de CA -de aleta de hierro, electrodinamómetros, y los electrostáticos- pueden conectarse sin tomar en cuenta la polaridad.

Cuando no se use el instrumento, téngase el selector de función en apagado (off) o en las escalas de alta tensión de CC (si no tiene opción de apagado). Esto evita que se descargue la batería si ocurre un corto accidental entre las puntas. También protege al circuito rectificador contra conexiones accidentales como una fuente de CC.

Si el ohmetro no se puede llevar a cero cuando las puntas de prueba estén en corto, se le debe cambiar la batería.

Los medidores se deben calibrar una vez al año de conformidad con las especificaciones del fabricante. Adhiérase una etiqueta de calibración al medidor en donde aparezca la fecha en la que se hizo la última calibración.



ERRORES EN INSTRUMENTOS ANALÓGICOS

Error de escala. Marcas inexactas en la escala durante la calibración o la fabricación. Son igualmente probables en toda la escala.

Error de cero. Omisión de ajuste a cero antes de efectuarse las mediciones.

Error de paralaje. Originado por no tener la línea de visión exactamente perpendicular a la escala de medida. Se puede eliminar algo con un espejo bajo la escala o la aguja.

Error de fricción. Si está dañado o gastado el cojinete, su fricción puede evitar ue la aguja indique un valor verdadero. Se puede eliminar algo golpeando suavemente al medidor cuando se hace una medición.

Efectos de temperatura sobre los imanes, resortes y resistencias internas. Estos errores son proporcionales al por ciento de deflexión.

Error originado por desalineación entre el eje y la bobina en el cojinete; se reduce manteniendo al eje en posición vertical.

Aguja doblada o aguja rozando contra la escala.

Error de efecto de carga debido a la utilización de un instrumento no ideal en un circuito. Se puede calcular la perturbación del circuito por el instrumento y se puede compensar en la indicación, si no se dispone de un medidor con menos efecto de carga.

Errores específicos asociados con los principios de operación y el diseño de un instrumento en particular. La magnitud de esos errores se calcula a partir del conocimiento del medidor y de su funcionamiento.

Error de ruido en modo común. El ruido en modo común puede originar errores serios en muchos sistemas de medición electrónica.

INSTRUMENTOS DIGITALES

Multímetro Digital (DMM)

Están diseñados para medir cantidades como: Tensión de CC, Tensión de CA, corrientes continua y alterna, temperatura, capacitancia, resistencia, inductancia, , caída de tensión en un diodo, conductancia y accesorios para medir temperatura, presión y corrientes mayores a 500 amperes.

La mayoría de los multímetros digitales se fabrican tomando como base ya sea un convertidor A/D de doble rampa o de voltaje a frecuencia. Muchos multímetros digitales son instrumentos portátiles de baterías.

El medidor electrónico digital (abreviado DVM para voltímetro digital o DMM para multímetro digital) indica la cantidad que se está midiendo en una pantalla numérica en lugar de la aguja y la escala que se emplea en los medidores analógicos. La lectura numérica le da a los medidores electrónicos digitales las siguientes ventajas sobre los instrumentos analógicos en muchas aplicaciones:

Las exactitudes de los voltímetros electrónicos digitales DVM son mucho mayores que las de los medidores analógicos. Por ejemplo, la mejor exactitud de los medidores analógicos es de aproximadamente 0.5% mientras que las exactitudes de los voltímetros digitales pueden ser de 0.005% o mejor. Aun los DVM y DMM más sencillos tiene exactitudes de al menos $\pm 0.1\%$.



Para cada lectura hecha con el DVM se proporciona un número definido. Esto significa que dos observadores cualquiera siempre verán el mismo valor. Como resultado de ello, se eliminan errores humanos como el paralaje o equivocaciones en la lectura.

La lectura numérica aumenta la velocidad de captación del resultado y hace menos tediosa la tarea de tomar las mediciones. Esto puede ser una consideración importante en situaciones donde se deben hacer un gran número de lecturas.

La repetibilidad (repetición) de los voltímetros digitales DVM es mayor cuando se aumenta el número de dígitos desplegados. El voltímetro digital DVM también puede contener un control de rango automático y polaridad automáticos que los protejan contra sobrecargas o de polaridad invertida.

La salida del voltímetro digital DVM se puede alimentar directamente a registradores (impresoras o perforadoras de cinta) donde se haga un registro permanente de las lecturas. Estos datos registrados están en forma adecuada para ser procesados mediante computadoras digitales. Con la llegada de los circuitos integrados (CI), se ha reducido el control de los voltímetros digitales hasta el punto en que algunos modelos sencillos tienen hoy precios competitivos con los medidores electrónicos analógicos convencionales.

La parte primordial de los DVM y DMM es el circuito que convierte las señales analógicas medidas en la forma digital. Estos circuitos de conversión se llaman convertidores analógicos a digitales (A/D).

ERRORES EN MULTÍMETROS DIGITALES

Ya que el corazón del multímetro digital es el conversor A/D, el error cometido por el instrumento depende del error que comete el conversor. Al transformar información analógica, donde pueden existir infinitos valores, al formato digital, donde solo es posible tener determinados valores (valores discretos), hay parte de esa información que se pierde. Este error se conoce con el nombre de **error de Cuantificación**.

El error también está relacionado con la cantidad de dígitos de información presentada. Normalmente los Testers digitales tienen alcances escalonados en saltos de 10 veces del tipo

200 mV	2V	20V	200V
--------	----	-----	------

En el caso de tener una pantalla que presente cuatro cifras:

1	9	9	9
---	---	---	---

Valor máximo que puede representarse en este instrumento

La primera cifra valdrá 0 o 1 para cualquier alcance, mientras que los otros podrán tomar valores entre 0 y 9. Por ello se llama a la primera cifra: $\frac{1}{2}$ dígito, y a este tipo de instrumento, de 3 $\frac{1}{2}$ dígitos (También se llama de $\frac{1}{2}$ dígito cuando el primer número va de 0 a 3, es decir que el instrumento tiene alcances de por ejemplo 400 mV, 4V, 40V, 400V...).

1	9	9	9	9
---	---	---	---	---

Valor máximo que puede representarse en este instrumento

Obviamente, con 4 $\frac{1}{2}$ dígitos el instrumento presenta mayor información que el de 3 $\frac{1}{2}$ dígitos y cometerá menor error. Cuanto más dígitos presenta, mayor es la calidad del instrumento digital, y mayor será también su costo.