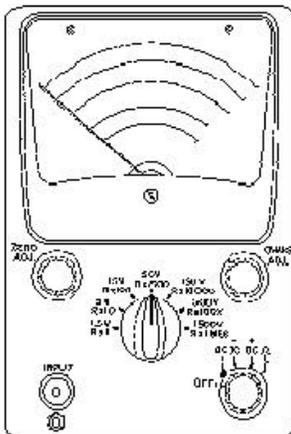


Dispositivos de Medición

1- Medición

Medir significa determinar experimentalmente el valor de una magnitud física con un instrumento o dispositivo adecuado y verificar cuántas veces es mayor ó menor este valor que la unidad de la magnitud en cuestión. Existen dos métodos de medición de magnitudes eléctricas: la medición de desviación con instrumentos de medición directa, y la medición por comparación por medio de puentes o compensación. En el primer método se usan dispositivos de medida con indicación analógica o digital que permiten leer directamente la magnitud a medir ó calcularla partiendo de la indicación. En el segundo caso, un dispositivo de medida apropiado sirve por comparación con otra conocida de la misma índole.

1a- Instrumentos de medida Analógica.



Características de los instrumentos de medida analógicos es la indicación del valor a medir por una aguja o una marca luminosa en una escala numerada, dotada de rayas divisorias. La desviación de la aguja, por desplazamiento, promovido por la magnitud a medir desde su punto de reposo (cero de escala), es análoga a dicha magnitud.

La magnitud a medir es la que se quiere medir (voltaje, frecuencia, resistencia), y su valor de medida es el leído o deducido por la indicación.

El dispositivo de medición se compone de piezas fijas que provocan el movimiento, y de un órgano móvil, cuya posición depende del valor de la magnitud a medir. Las partes fijas suelen soportar la escala, mientras que el órgano móvil lleva la aguja o el espejo giratorio para el dispositivo del indicador luminoso.

El instrumento de medida contiene en su caja el sistema de medida o también varios sistemas de medida y los accesorios incorporados.

La escala esta provista de una serie de rayas divisorias, rotuladas con las unidades de la magnitud a medir. La graduación de la escala se fija mediante calibración previa.

El error de medición es la diferencia entre el valor indicado y el correcto de la magnitud a medir en condiciones normales, expresado en la unidad de la magnitud medida.

La exactitud del instrumento se indica mediante la clase a la cual pertenecen:

- Instrumentos de precisión son los de clase 0,1; 0,2 y 0,5
- Instrumentos para cuadro y servicio son los clase 1; 1,5; 2,5 y 5

Las clases están caracterizadas por el error de indicación máximo admisible en condiciones nominales, debido a tolerancias de fabricación.

1b- Instrumentos de medida digital

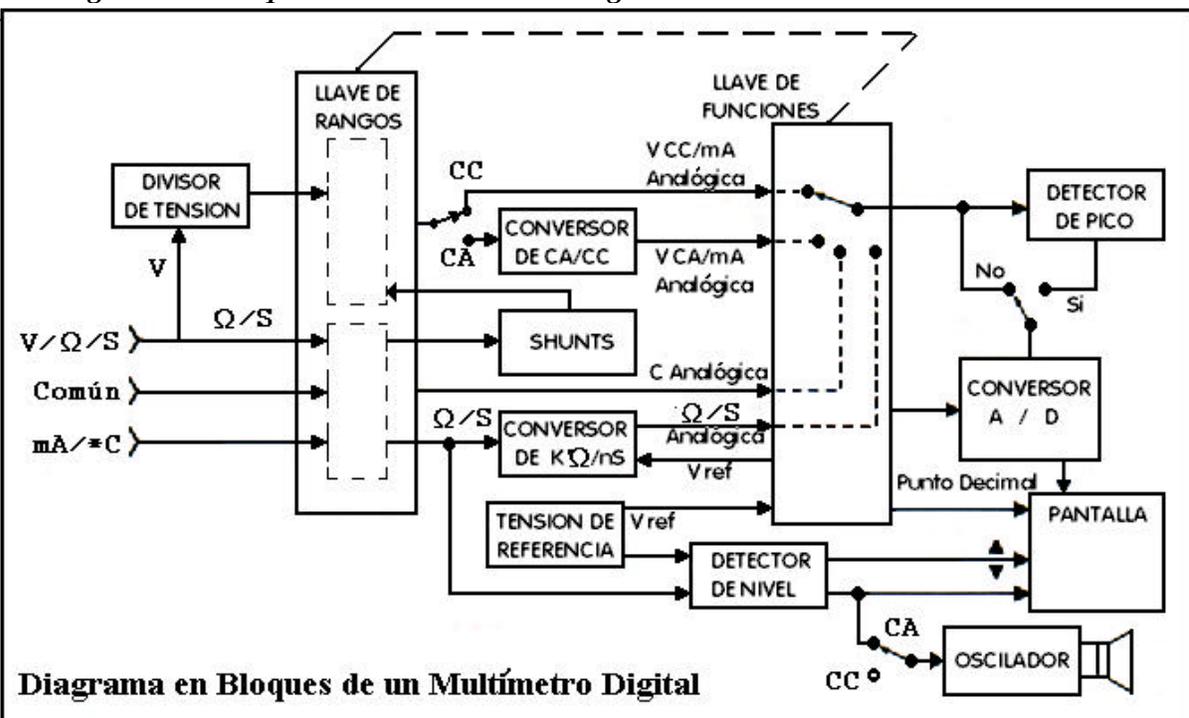
En contra posición con los instrumentos de medición analógica, los instrumentos digitales indican los valores de medida en cifras numéricas. Esto es más ventajoso para la observación visual, así de este modo se puede prescindir de la lectura de rayas y de la interpolación de valores intermedios. Esto evita agregar un error de visualización a los errores propios del instrumento.

La medición digital requiere una cuantificación de los valores de medida, que en general se presentan en forma analógica. En consecuencia, un medidor digital cuenta la cantidad de valores discretos que representan al valor analógico, siendo la indicación siempre insegura en ± 1 unidad (error de cuantificación). El error de cuantificación se puede disminuir mediante una subdivisión correspondientemente fina y aumentar la exactitud de la medida, pero esta está limitada por la exactitud de los elementos de medida empleados y de sus componentes.

En la cuantificación se detectan y cuentan los valores instantáneos de la magnitud a medir en intervalos de tiempo constante t . Cada valor de medida así determinado se indica y conserva hasta que aparece el siguiente.



3- Diagrama en bloques de un Multímetro Digital



Un multímetro Digital es un instrumento, normalmente portátil, de medición de parámetros eléctricos mediante procedimientos electrónicos, sin usar piezas móviles, con alta precisión y estabilidad y amplio rango de medición de valores y tipos de parámetros. La forma de presentación de la información medida es mediante una presentación digital (Display).

Los parámetros que pueden ser leídos por un solo instrumento contempla Voltaje y Corriente DC y CA, Valores RMS y/ó pico, Resistencia y Conductancia, Ganancia en dB, Capacitancia, probadores de semiconductores, temperatura y frecuencia.

Esta amplia posibilidad de leer distintos parámetros es debido al uso de conversores de esos parámetros en voltajes DC los cuales son convertidos mediante un dispositivo de alta velocidad, de valores analógicos en digitales y luego presentados en el Display. El dispositivo al se hace referencia es un conversor Análogo/Digital que usa distintas técnicas de conversión de acuerdo a la resolución, velocidad de respuesta y precisión buscada.

El circuito interno de los multímetros digitales puede básicamente dividirse en dos secciones: una Analógica y otra Digital. La sección Digital esta compuesta por el conversor Analógico a Digital (en algunos instrumentos esta conversión es hecha por medio de un circuito microprocesador) y una pantalla de dígitos, que puede ser de Led o de Cristal Liquido.

- SECCIÓN ANALOGICA

La sección Analógica esta compuesta por los divisores de tensión y corriente de entrada, el conversor de corriente alterna a continua, el conversor de resistencia a voltaje continuo, la tensión de referencia para comparación, la fuente de alimentación, el detector de pico y las llaves de selección de rango y funciones.

Algunos instrumentos, sólo presentan una llave de función ya que el dispositivo es controlado por un microprocesador y las escalas las selecciona automáticamente el instrumento de acuerdo al valor de entrada del parámetro. Esta selección de escala es realizada por el detector de nivel. Esto son llamados instrumentos de Auto Rango.

Para medición de corriente (CC ó CA), la señal a medir se inyecta en los terminales **COMMON** (Común) y **mA**. En serie con el terminal mA, se tiene un fusible de protección a fin de evitar que circule por el shunt una corriente mayor a la que él soporta. Este fusible puede, en algunos casos, ser extraído externamente al remover el terminal mA. En otros instrumentos, para acceder al fusible, es necesario remover la tapa del instrumento, ó la tapa del compartimiento de la batería,.

Para medición de Tensión (CC ó CA), Temperatura, Capacidad ó Frecuencia, la señal a medir se inyecta en los terminales **COMMON** (Común) y **V-OHM**.

Desde estos terminales, las señales se derivan a los escaladores y llaves de funciones.

LLAVES DE RANGOS (Escaladores): Las llaves de cambio de rangos son elementos (Generalmente resistencias en serie y/ó paralelo) que toman una muestra reducida de la señal a

medir, a fin de poder procesar esa muestra dentro de los niveles de tensión que manejan los circuitos electrónicos. Estos llaves de rangos también dan el rango de la escala en uso en ese momento.

En el caso de tensión se usa un divisor de tensión resistivo y en el caso de Corriente, se usan Shunts.

Los Shunts son resistencias en paralelo de muy bajo valor resistivo (normalmente un alambre calibrado). Se pueden encontrar valores de $0,1 \Omega$, 1Ω , 10Ω y hasta 100Ω para producir una conversión de corriente en tensión adecuada según la escala y de adecuada disipación de potencia. Ellos están organizados en una combinación serie o paralelo según el fabricante para lograr las escalas necesarias.

Ellos se intercalan en el circuito cuya corriente se quiere medir, y al circular la corriente por ese shunt, por ley de Ohm, producen una tensión proporcional al valor de corriente circulante. Esta tensión es ingresada al conversor de A/D para el caso de medición de corriente continua, ó al conversor de CA a CC en el caso de medición de corriente alterna.

Estos Shunts son de bajo valor para perturbar lo menos posible al circuito en prueba.

A los efectos de la medición, se requiere que ellos sean de un valor apreciable para que generen una tensión fácil de medir y libre de ruido, pero esto a veces nos perturba el circuito bajo prueba, ya que modifica las condiciones de trabajo. Como ya se vio, para evitar esa perturbación, el valor del shunt debe ser lo menor posible. En consecuencia, el diseñador fija una relación de compromiso para la selección de las resistencias de los shunts.

En el caso de medición de resistencias/conductancia, los escaladores permiten cambiar los niveles de corriente aplicada a las resistencias incógnitas para poder deteminarlas con precisión.

LLAVES DE FUNCIONES: Las llaves de funciones, dirigen las señales sensadas hacia los distintos circuitos conversores según corresponda para cada una de las aplicaciones.

En el caso de selección de función CC, para medir Corriente o Tensión Continua, esta llave direcciona directamente la señal de salida desde la llave de rangos hacia entrada del Conversor A/D.

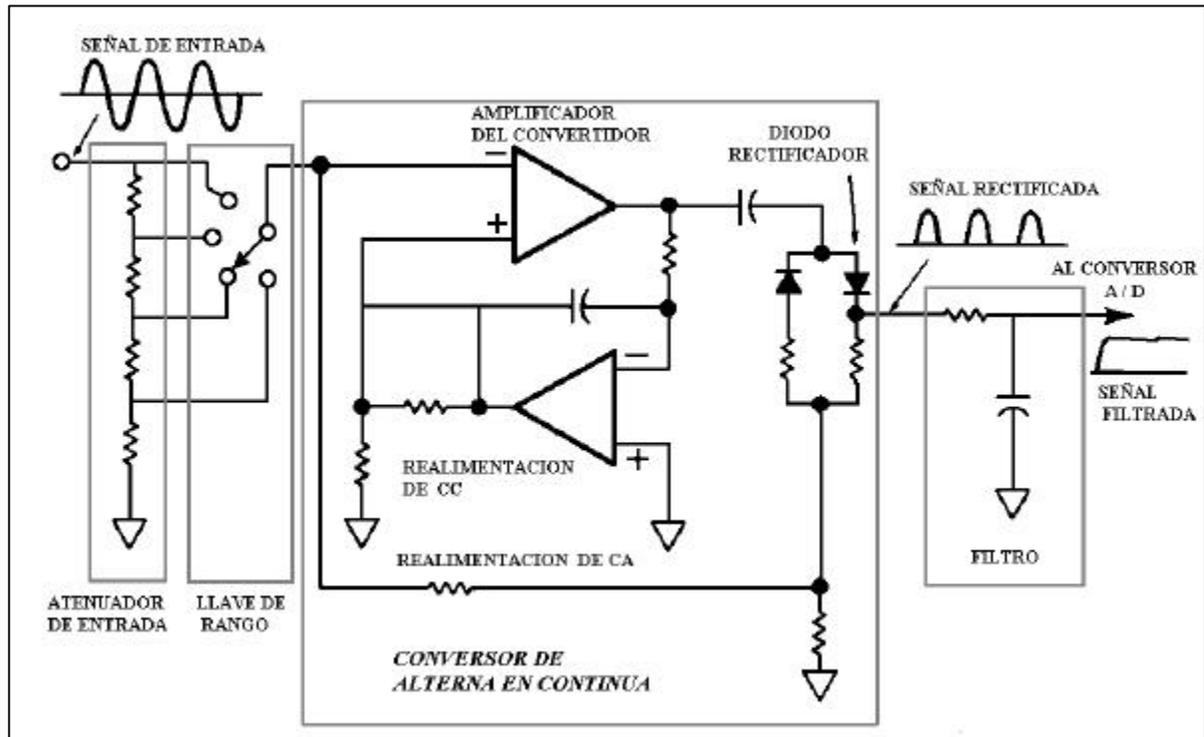
En el caso de selección de función CA, para medir Corriente ó tensión Alterna, la llave direcciona la señal de salida desde llave de rangos hacia el conversor de CA a CC.

CONVERSOR CA/CC: El conversor de corriente alterna a corriente continua, convierte la señal alterna aplicada a su entrada en una señal de CC compatible con la entrada del conversor Analógico a Digital (A/D). Este conversor CA/CC puede ser uno de valor medio o de valor eficaz.

Uno de los valores que caracterizan a una señal alterna es el valor eficaz o RMS. Este es el valor de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las componentes alternas y continuas. Físicamente equivale al valor de corriente continua que produce la misma cantidad de calor sobre un resistor que la señal de alterna.

De acuerdo a la forma de hacer la conversión de corriente alterna en continua, las lecturas de los instrumentos serán distintas entre ellos para distintas señales alternas, cuando no son señales alternas.

Convertor de Valor Promedio: El convertor que genera un valor medio de la señal alterna a medir es un circuito rectificador de media onda y filtro de precisión compuesto por un circuito integrado y dos diodos colocados en el lazo de realimentación. Este tipo de convertor es simple de diseñar y es el más comúnmente usado en los multímetros digitales.



Como él mide el valor medio de la señal alterna, pero es calibrado en valores RMS de señales senoidales, sólo es aplicable a medir CA de señales senoidales puras, o sea no distorsionadas. Si se intenta medir señales distorsionadas, cuadradas o triangulares, el valor indicado por el instrumento será erróneo.

Además estos convertores tienen un límite máximo de frecuencias de entrada del orden de unos 100 a 200 K Hz, y normalmente un límite inferior de unos 40 a 45 Hz. Esto es porque los diodos responden al valor medio en un rango de frecuencias, a altas frecuencias comienza a tener comportamiento capacitivo y el valor rectificado es menor.

En baja frecuencia, es difícil obtener una señal filtrada libre de Ripple, haciendo que la lectura sea fluctuante.

Estos convertores son rectificadores de precisión, porque en un rectificador normal, el valor de tensión de salida no cuenta con el tramo de tensión correspondiente al valor inicial durante el tiempo en que el diodo esta cortado.

La salida del rectificador se conecta a un filtro pasabajos constituido por una resistencia y un capacitor, y a la salida de él, se obtiene una componente de corriente continua proporcional al valor medio de esa señal rectificada.

Los instrumentos que responden al valor promedio, pero presentan el valor como RMS, hacen esa presentación por medio de un factor de escala, el cual es usado para calibrar internamente el multímetro en RMS.

El factor de escala se obtiene en base a que:

$$\begin{aligned} \text{Tensión eficaz (RMS) es } & V_{RMS} = 0,707 V_{\text{máx}} \text{ (Valor de amplitud en la cresta)} \\ \text{Tensión media es } & V_{\text{med}} = 0,637 V_{\text{máx}} \end{aligned}$$

La relación entre ellas da:

$$\text{Factor de escala} = \frac{V_{RMS}}{V_{\text{med}}} = \frac{0,707 V_{\text{máx}}}{0,637 V_{\text{máx}}} = 1,11$$

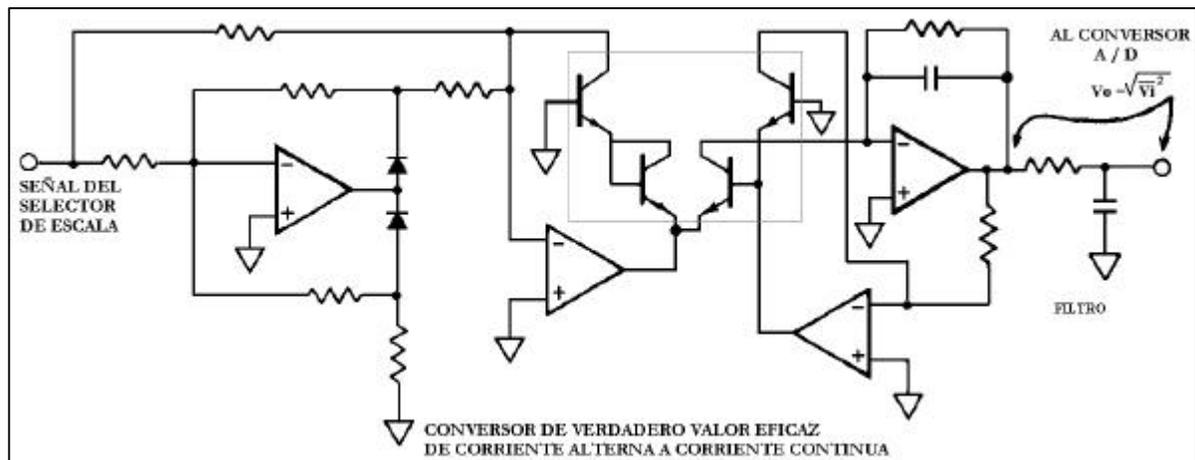
Este es el valor usado para la calibración interna, o sea, el instrumento lee el valor medio de la señal senoidal pura, pero presenta en el Display un valor 1,11 veces mayor que corresponde al valor eficaz.

Si una señal distinta a la senoidal se pretende medir, el valor indicado no corresponderá con el verdadero valor eficaz de la señal.

Para ese caso es necesario contar con un instrumento de lectura de Verdadero Valor Eficaz.

Convertor de Verdadero Valor Eficaz: Un amplitud eficaz (RMS) de una señal alterna es aquel valor de tensión o corriente alterna que produce la misma disipación de potencia sobre una determinada resistencia, que la producida por una tensión o corriente continua de igual valor numérico.

O sea, el valor eficaz es una medida del efecto térmico que produce la corriente alterna. Matemáticamente se expresa como el valor de la raíz cuadrada del cuadrado del valor absoluto instantáneo.



El circuito mostrado es un circuito ejemplo de un conversor de verdadero valor eficaz. Algunos instrumentos de precisión usan "Termocuplas" para medir el verdadero valor eficaz en un amplio rango de frecuencias (desde 2 Hz a 100 MHz), pero ellos normalmente son usados como elementos de referencia o calibración de instrumentos más simples.

A diferencia de los conversores de promedio, estos circuitos conversores RMS son mucho más complejos y costosos pero son más precisos y permiten leer el verdadero valor eficaz de cualquier tipo de señal alterna ya sea senoidal pura, cuadrada, triangular o distorsionada. El valor indicado de tensión o corriente alterna, es el verdadero valor eficaz, a diferencia del mostrado en los multímetros con conversores promedio, que indican un valor calibrado no real.

En resumen, los conversores de verdadero valor eficaz son superiores en muchos aspectos a los conversores de promedios pero su costo es mayor. Los conversores de verdadero valor eficaz tienen mayor ancho de banda, pueden leer tensión/corriente de alterna con continua superpuesta, miden con precisión señales no senoidales y son insensibles a la distorsión y pueden ser de respuesta más rápida.

CONVERSION DE RESISTENCIA/CONDUCTANCIA

Para medir resistencia o su inversa (conductancia) el multímetro modifica su conexionado interno de modo que la operación del conversor A/D se modifica un poco. Esto será explicada con más detenimiento más adelante.

Básicamente el instrumento se constituye en un circuito serie alimentado por la batería interna ó por una fuente de referencia. Este circuito estará formado por la resistencia desconocida colocada en los terminales V-Ohm y COMMON, una resistencia de referencia y la fuente de referencia. La relación de las dos resistencias (la de referencia y la desconocida) es igual a la relación de caídas de tensión de las respectivas resistencias. Por lo tanto, como se conoce el valor de la resistencia de referencia, el valor de la resistencia desconocida puede ser calculada determinando la relación de las caídas de tensión en ambas resistencias. Esta determinación la hace el conversor Análogo a Digital.

$$\frac{V_{R_x}}{V_{R_{ref}}} = \frac{R_x}{R_{ref}}$$

En las mediciones de tensión normales, el conversor Análogo a Digital compara una tensión interna de referencia con la tensión de entrada desconocida. De esta comparación, él determina el valor de la tensión desconocida. En el caso de medición de resistencia, el conversor Análogo a Digital, usa como tensión de referencia a la caída de tensión sobre la resistencia de referencia interna, y la comparación de las caídas las realiza midiendo los tiempos de subida y de bajada del integrador interno. Esto lo realiza el conversor A/D.

La conductancia es la inversa de la resistencia y se expresa en Siemens.

$$\text{Conductancia} = \frac{1}{R} \quad \left[\frac{1}{\Omega} \right] = [S]$$

En algunos textos se puede encontrar el nombre de MHO que es equivalente al Siemen. Normalmente esa conductancia se expresa en submúltiplos de miliSiemens [mS] o nanoSiemens [nS]. Normalmente esa conductancia se usa para indicar valores de resistencia muy grande, permitiendo esto determinar valores muy grandes de resistencia (de 5 Mohm a 10.000 Mohm) que por el método normal daría mucha indeterminación. La medición de resistencia muy grandes por el método normal estaría plagado de ruido e inducciones lo que haría que se requiera mucho blindaje, ya que la alta impedancia actuaría como una antena.

En las mediciones de la conductancia, se usa el mismo circuito usado para medir resistencia. La diferencia se presenta en la forma de ingresar los valores de las caídas de tensión en las resistencias al conversor A/D. En este caso, a la entrada de referencia del conversor A/D se ingresa el valor de la caída en la resistencia desconocida, y a la entrada normal se ingresa el valor de la caída de tensión en la resistencia de referencia. En consecuencia se hace una comparación de la inversa de la resistencia, o sea la conductancia.

El método de medición de conductancia es sumamente adecuado para medir altas resistencias, resistencias de pérdida de Capacitores y Diodos o Semiconductores, resistencia de pérdidas de aislación de conectores, cables, circuitos impresos, etc.

Para el caso de medición de valores muy bajos de resistencia, el método directo con multímetro no es adecuado, porque la fuente de alimentación de referencia es de pequeño valor (5 a 9 Vcc) lo cual hace que la caída de tensión sobre la resistencia desconocida sea muy pequeña produciendo indeterminación. Otro elemento muy importante en ese método directo es el debido a la caída de tensión en las resistencia de contacto, que son de valor próximo al desconocido, y además la resistencia de los cables de las puntas de prueba tienen una resistencia comparable a la desconocida, generando incertidumbre. En ese caso es necesario usar el método de los 4 terminales para separar la caída de tensión por contacto y por cables de la caída de tensión desconocida.

Para lecturas de resistencias menores a 1 Ohm, es conveniente otro tipo de instrumento o hacer la medición por un método indirecto.

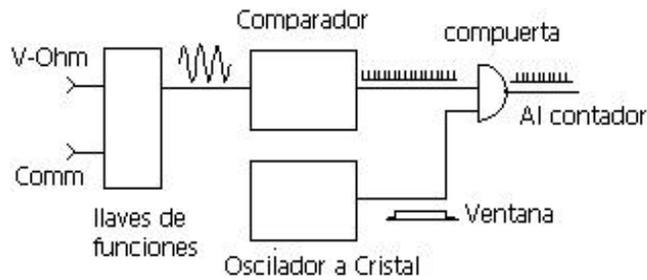
MODULO DE MEDICION DE FRECUENCIA

Algunos multímetros digitales tienen una función extra para medición de frecuencia. Normalmente este tipo de mediciones son hechas en instrumentos controlados por un microcontrolador.

En este caso, al seleccionar la función frecuencia, la salida de la llave de funciones es conectada a un comparador analógico. Este compara el valor instantáneo de la señal de entrada con un valor de tensión de referencia. Si el valor de entrada es mayor al nivel de referencia, coloca la salida del comparador en un nivel alto (próximo al valor de la fuente de alimentación).

Si el valor de entrada es menor al nivel de referencia, coloca la salida del comparador en un nivel bajo (próximo al valor de la tierra eléctrica). Cuando se le aplica una señal alterna, la salida del comparador cambiará de estado de acuerdo con los cambios de amplitud de la señal de entrada. Esto genera pulsos cuadrados van a una compuerta que se abre durante un tiempo

dato por un reloj a cristal. Los pulsos que pasan por la compuerta son contados por el microprocesador.



A mayor frecuencia de la señal incógnita, mayor será la cantidad de pulsos que pasen por la compuerta, de modo que la cantidad de pulsos contados será proporcional a la frecuencia desconocida.

El microprocesador también se encarga, si la frecuencia es muy baja, de realizar una medición de periodo para mejorar la resolución de lectura.

El rango de frecuencias a medir, en este caso, es normalmente mayor al especificado para mediciones de tensión y corriente alterna.