

# Instrumentos Analógicos y Digitales

Funcionamiento

Pablo De Césare  
2024

**Señales no periódicas, diagramas  
de ojo, efectos de carga, análisis de  
modulaciones complejas,  
caracterización de componentes  
en amplio rango de frecuencias**

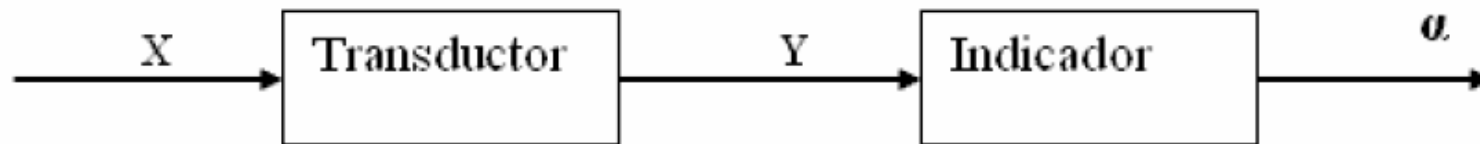


**Autoset, average y  
multímetro**



# Instrumentos Analógicos

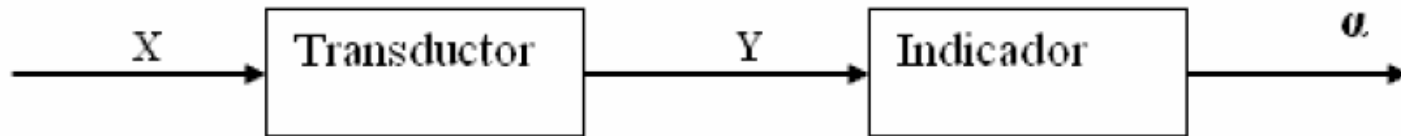
Se trata de un instrumento formado por un imán permanente y dentro del campo creado por ese imán aparece una bobina móvil a la cual se encuentra solidariamente unida el índice o aguja.



El transductor es el encargado de convertir la magnitud medida en otra que actúe sobre el sistema indicador

$$\alpha = f_1(Y) = f_1(f_2(X))$$

# Instrumentos Analógicos



El sistema indicador tiene una parte fija (la escala) y una parte móvil a la que está adosada la aguja. La parte móvil se desplaza, lo cual implica ENERGÍA (además de la energía que se pierde por calentamiento o efecto Joule); esta energía es proporcionada por el transductor que generalmente absorbe energía del equipo bajo medición.

# Instrumentos Analógicos

## Imán permanente-bobina móvil

Para una partícula sometida a un campo eléctrico combinado con un campo magnético, la fuerza electromagnética total o fuerza de Lorentz sobre esa partícula viene dada por:

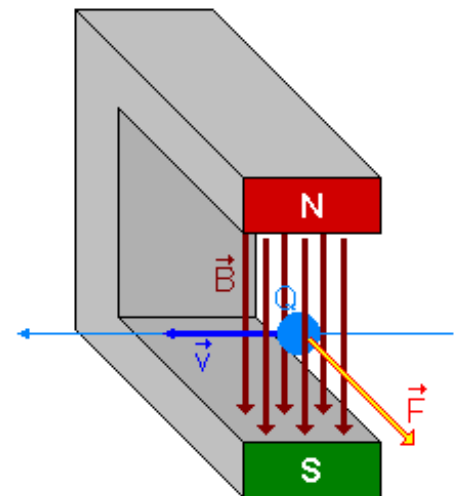
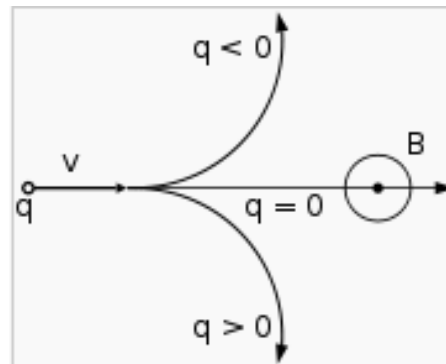
$$\vec{f} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}),$$

donde  $\vec{v}$  es la velocidad de la carga,  $\vec{E}$  es el vector campo eléctrico y  $\vec{B}$  es el vector campo magnético. La expresión anterior está relacionada con la fuerza de Laplace o fuerza sobre un hilo conductor por el que circula corriente:

$$\vec{f} = \int_L I \cdot d\vec{l} \times \vec{B}$$

$$\underline{F} = \underline{l.i} \wedge \underline{B}$$

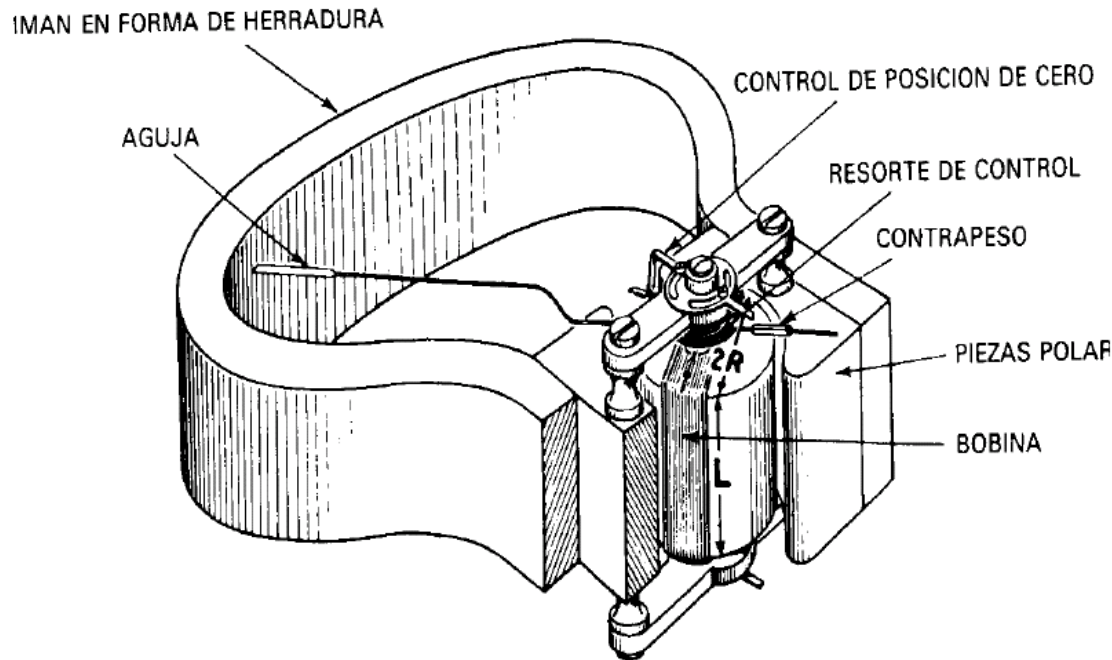
Módulo de la fuerza  $|\vec{F}| = k.l.i.B \sin \gamma$



# Instrumentos Analógicos

## Imán permanente-bobina móvil

- Se trata de un instrumento formado por un imán permanente y dentro del campo creado por ese imán aparece una bobina móvil a la cual se encuentra solidariamente unida el índice o aguja.



$$F = BiL$$

Si tenemos **N**

$$F = BiLN$$

$$C_m = BiLN^2R$$

# Instrumentos Analógicos

## Imán permanente-bobina móvil

El instrumento tienen resortes que cumplen una doble función.

- Crean la cupla resistente para lograr el equilibrio.
- Permiten que la corriente llegue a la bobina móvil.

$$C_m = C_r$$

la cupla resistente para un resorte de torsión es proporcional al ángulo girado, es decir  $C_r = k \alpha$ , donde  $\alpha$  es el ángulo girado por la aguja.

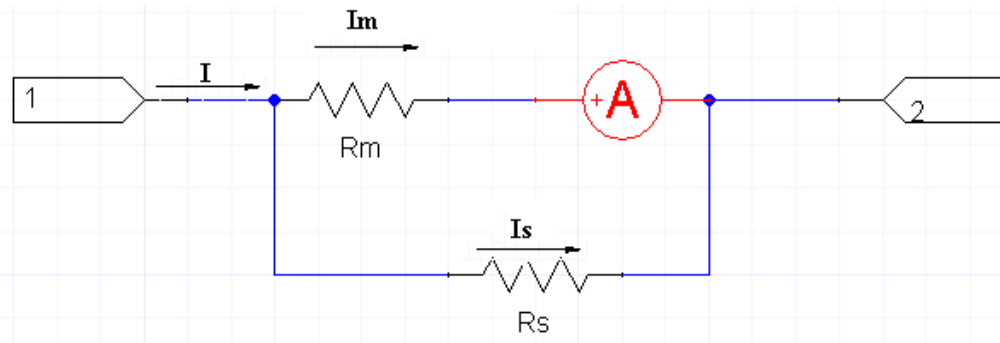
- el ángulo girado por la aguja será **proporcional** a la corriente.

$$\alpha = \frac{2RBLN}{k} i \Rightarrow \alpha = Ki$$

# Instrumentos Analógicos

## Utilización como amperímetro

- el instrumento de bobina móvil es muy sensible, para medir corrientes grandes, será necesario agregar una resistencia en paralelo con el instrumento de manera que por ella se derive la diferencia entre la corriente a medir y la máxima que puede manejar el instrumento.

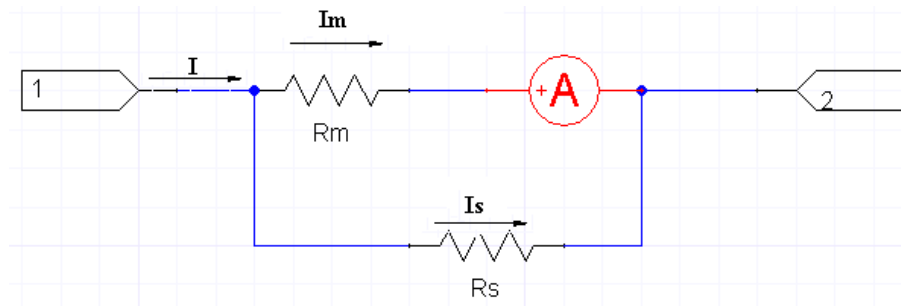


- $R_m$  = Resistencia del instrumento
- $R_s$  = Resistencia Shunt



# Instrumentos Analógicos

## Utilización como amperímetro



$$I_s R_s = I_m R_m \quad I_s = I - I_m$$

$$(I - I_m) R_s = I_m R_m$$

$$R_s = \frac{I_m R_m}{(I - I_m)} = \frac{R_m}{\frac{(I - I_m)}{I_m}} = \frac{R_m}{\frac{I}{I_m} - 1}$$

$$n = \frac{I}{I_m} \quad \text{Ampliación de escala}$$

$$R_s = \frac{R_m}{n - 1}$$

## SPECIFICATION

### DC VOLTAGE

Ranges:

0.1–0.5–2.5–10–50–250–1000V

Accuracy at FSD: 3;(1000V;5)

Sensitivity : 20kΩ/V

Extension : 25kV(with HV probe extra)

### AC VOLTAGE:

Ranges:

10–50–250–1000V

Accuracy at FSD: 4;(1000V;5)

Sensitivity : 9KΩ/V

Decibelmeter : –10 to +22dB  
0dB=1mw/600Ω

### DC CURRENT

Ranges:

50 μA(at 0.1VDC position), 2.5mA, 25mA, 0.25A, \*10A

Accuracy at FSD: 3(10A;5)

Volte Drop : 250mV

### RESISTANCE:

Ranges:

×1–0.2Ω up to 2kΩ, Midscale, at 20Ω

×10–2Ω up to 20kΩ, Midscale, at 200Ω

\*\* ×100–20Ω up to 200kΩ, Midscale, at 2kΩ

×1K–200Ω up to 2MΩ, Midscale, at 20KΩ

×10K–2KΩ up to 20MΩ, Midscale, at 200KΩ

Accuracy at FSD: 3

I<sub>ceo</sub> 150 μA–15mA–150mA

hFE 0–1000 (with connector extra)

Size 148×100×35

Weight 280g

\* DCA range for #YX-360TRN-A

\*\* Ω range for #YX-360TRE; #YX-360TRE-B;

#YX-360TRE-B-L.

$$R_m = 0,1 \text{ V} / 50 \mu\text{A} = 2 \text{ kohms}$$

$$R_s = R_m / (n - 1)$$

$$n = I / I_m$$

Rango de 250mA

$$n = 5000$$

$$R_s = 2 \text{ k} / (5000 - 1)$$

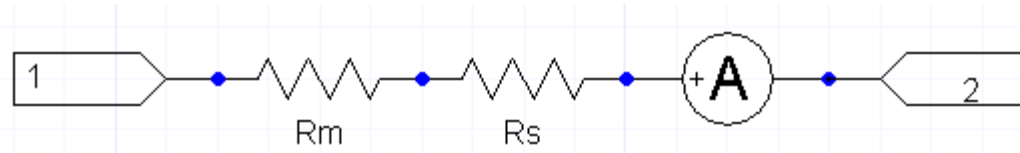
$$R_s = 400 \text{ m}\Omega$$

Corriente a  
fondo de  
escala



# Instrumentos Analógicos

## Utilización como voltímetro



$$V = I_m(R_m + R_{\text{serie}})$$

$$R_{\text{serie}} = \frac{V}{I_m} - R_m$$

Definimos sensibilidad  $S = \frac{1}{I_m}$ .

Supongamos un instrumento con una corriente de fondo de escala de  $50 \mu\text{A}$ ,

$$S = \frac{1}{50 \mu\text{A}} = 20000 \frac{\Omega}{\text{V}}.$$

La resistencia total que presentará el voltímetro según el alcance usado:  $R_v = SV$

## SPECIFICATION

### DC VOLTAGE

Ranges:

0.1-0.5-2.5-10-50-250-1000V

Accuracy at FSD: 3;(1000V;5)

Sensitivity : 20k $\Omega$ /V

Extension : 25kV(with HV probe extra)

### AC VOLTAGE:

Ranges:

10-50-250-1000V

Accuracy at FSD: 4;(1000V;5)

Sensitivity : 9K $\Omega$ /V

Decibelmeter : -10 to +22dB  
0dB=1mw/600 $\Omega$

### DC CURRENT

Ranges:

50 $\mu$ A(at 0.1VDC position), 2.5mA, 25mA, 0.25A, \*10A

Accuracy at FSD: 3(10A;5)

Volte Drop : 250mV

### RESISTANCE:

Ranges:

$\times 1-0.2\Omega$  up to 2k $\Omega$ , Midscale, at 20 $\Omega$

$\times 10-2\Omega$  up to 20k $\Omega$ , Midscale, at 200 $\Omega$

\*\*  $\times 100-20\Omega$  up to 200k $\Omega$ , Midscale, at 2k $\Omega$

$\times 1K-200\Omega$  up to 2M $\Omega$ , Midscale, at 20K $\Omega$

$\times 10K-2K\Omega$  up to 20M $\Omega$ , Midscale, at 200K $\Omega$

Accuracy at FSD: 3

I<sub>ceo</sub> 150 $\mu$ A-15mA-150mA

hFE 0-1000 (with connector extra)

Size 148 $\times$ 100 $\times$ 35

Weight 280g

\* DCA range for #YX-360TRN-A

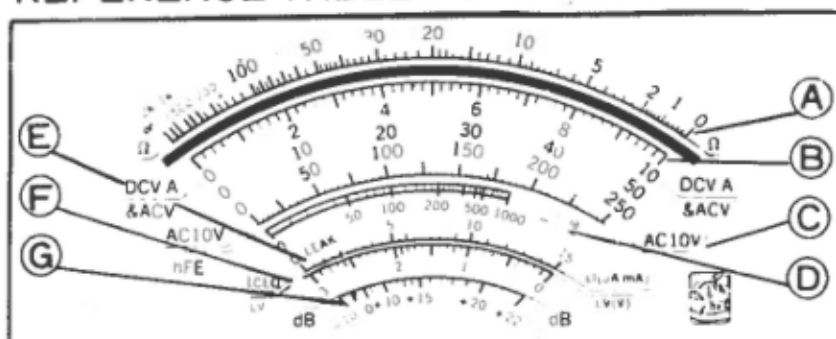
\*\*  $\Omega$  range for #YX-360TRE; #YX-360TRE-B;

#YX-360TRE-B-L.

Sensibilidad

Corriente a  
fondo de  
escala

## REFERENCE TABLE FOR READING

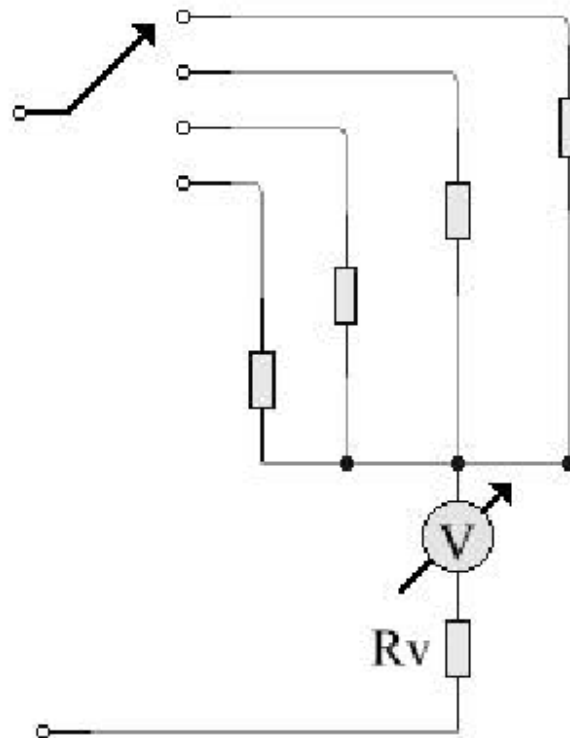


Test	Range Position	Scale to read	Mulpyier
DC Volt	DC 0.1V	B 10	$\times 0.01$
	0.5V	B 50	$\times 0.01$
	2.5V	B 250	$\times 0.01$
	10V	B 10	$\times 1$
	50V	B 50	$\times 1$
	250V	B 250	$\times 1$
AC Volt	10V	C 10	$\times 1$
	50V	B 50	$\times 1$
	250V	B 250	$\times 1$
	1000V	B 10	$\times 100$
DC Current	DC 50 $\mu$ A	B 50	$\times 1$
	2.5mA	B 250	$\times 0.01$
	25mA	B 250	$\times 0.1$
	0.25A	B 250	$\times 0.001$
	10A	B 10	$\times 1$
Resistance	$\times 1$	A	$\times 1$
	$\times 10$	A	$\times 10$
	$\times 100$	A	$\times 100$
	$\times 1K$	A	$\times 1000$
	$\times 10K$	A	$\times 10000$
Decibel	AC 10V	G	$\times 1$
	50V	G	$\times 1 + 14dB$
	250V	G	$\times 1 + 28d$
ICEO	$\times 1$	E	$\times 1$ (for big TR)
	$\times 10$	E	$\times 1$ (for small TR)
hFE	$\times 10$	D	$\times 1$
Diode	$\times 1K$	E	$\mu A \times 10$
	$\times 10$	F	$\times 1$
	$\times 1$	F	$mA \times 1$
		F	$\times 1$
		F	$mA \times 10$

# Instrumentos de alcances múltiples

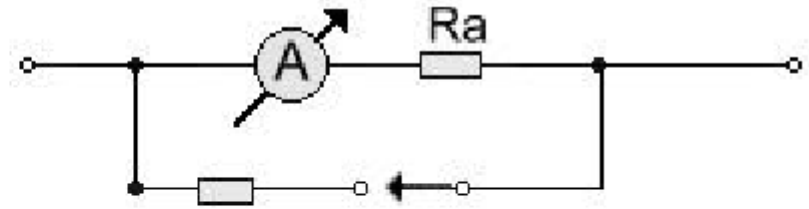
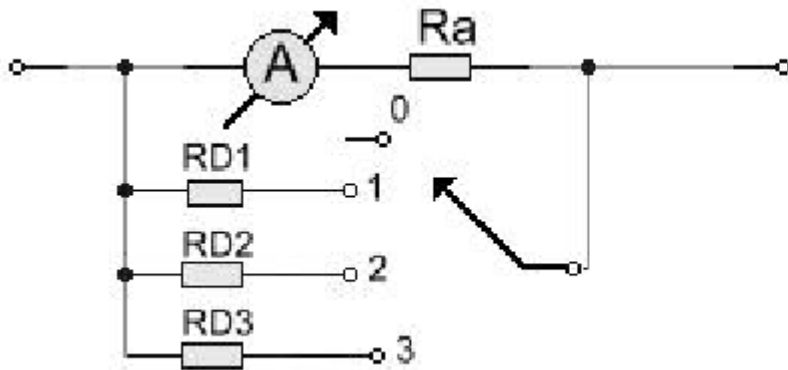
## Voltímetro

Multiplicador de resistencias independientes



# Instrumentos de alcances múltiples

## Amperímetro

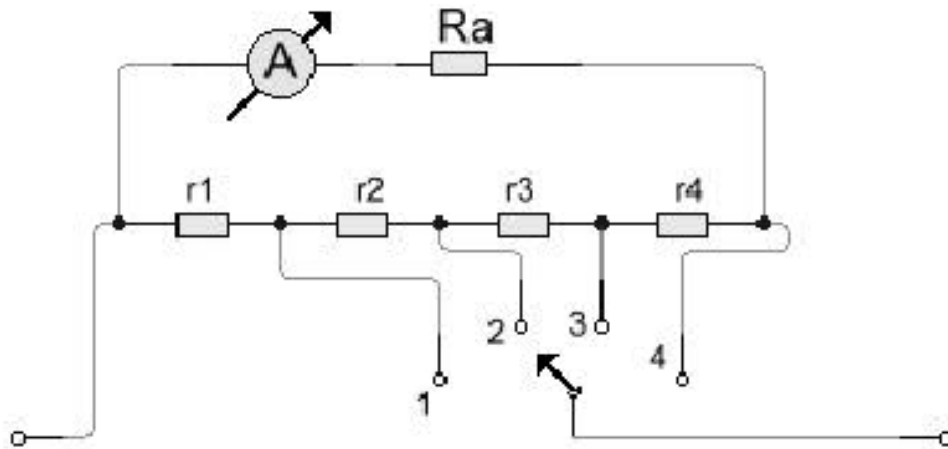


La presencia de resistencia espurias en los contactos, alteran la exactitud del multiplicador de rangos. La resistencia en los contactos son de bajo valor y del mismo orden que las resistencias derivadoras o shunt.

$$RD = Ra / (n - 1)$$

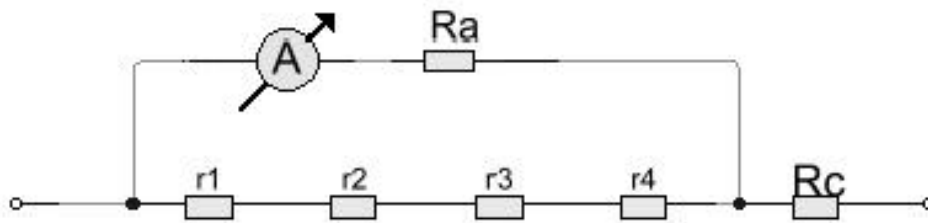
$$n_{RD1} = Ra / RD + 1$$

# Amperímetro

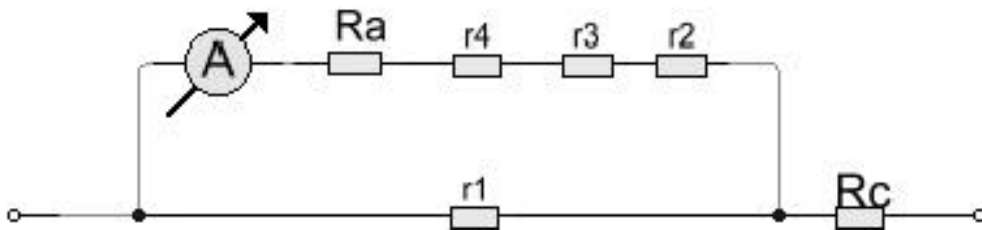


Para evitar este problema se creo otra forma de multiplicar el alcance con el llamado Shunt de alcance universal o **Shunt de Ayrton**.

$R_c$  queda fuera del sistema de medición

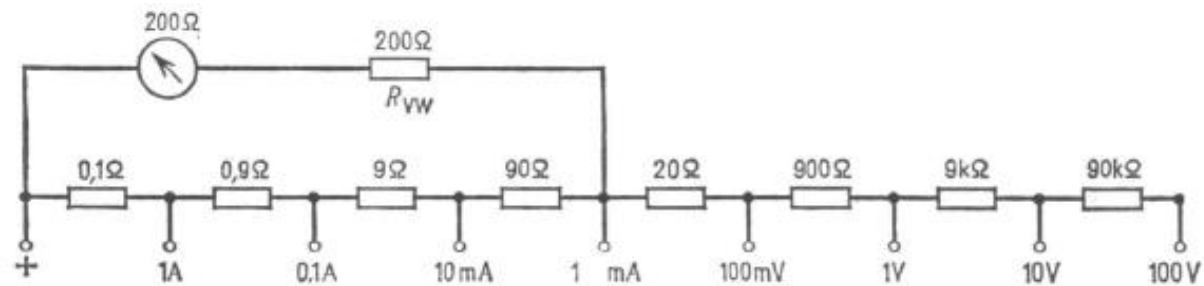
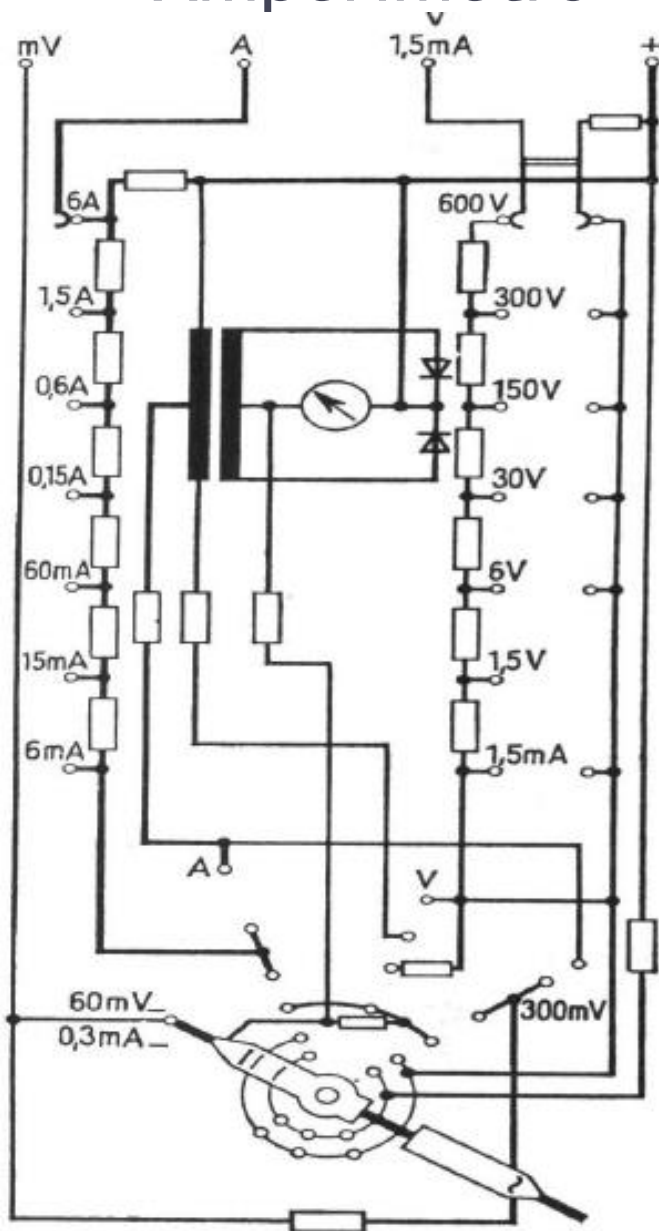


$$R_D = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 = R_a / (n - 1)$$



$$R_D = r_1 = R_a + r_2 + r_3 + r_4 / (n - 1)$$

# Amperímetro





# Instrumento con bobina móvil en CA

## Valores característicos de una señal

### Valor medio de una señal (periódica):

Está asociado al movimiento neto de cargas.

### Valor Eficaz (señal periódica)

Para una señal periódica de período T, la potencia media sobre una resistencia R está dada por.

$$P_{AC} = \frac{\langle v^2(t) \rangle}{R}$$

Para una misma tensión continua  $V_o$ , la potencia disipada sobre la misma resistencia es

$$P_{DC} = \frac{V_o^2}{R}$$

Si ambas potencias son iguales,  $V_o$  es el valor eficaz o RMS

$$V_{ef} = \sqrt{\langle v^2(t) \rangle} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt}$$

# Instrumento con bobina móvil en CA

## Valores característicos de una señal

### Factor de Cresta

El factor de cresta es la relación entre el pico y el valor verdadero eficaz. En una onda de corriente de forma senoidal este cociente es de 1,41.

### Factor de Forma

El factor de forma es la relación entre el valor medio y el valor verdadero eficaz. En una onda de corriente de forma senoidal este cociente es de 1,11.

# Instrumento con bobina móvil en CA

$$ME = (n.l.dB).I \quad \text{en cc}$$

$$ME(inst) = (n.l.dB).i \quad \text{en ca}$$

$$ME(medio) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} ME(inst).d\omega t = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (n.l.dB).i.d\omega t$$

$$ME(medio) = \frac{K1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i.d\omega t$$

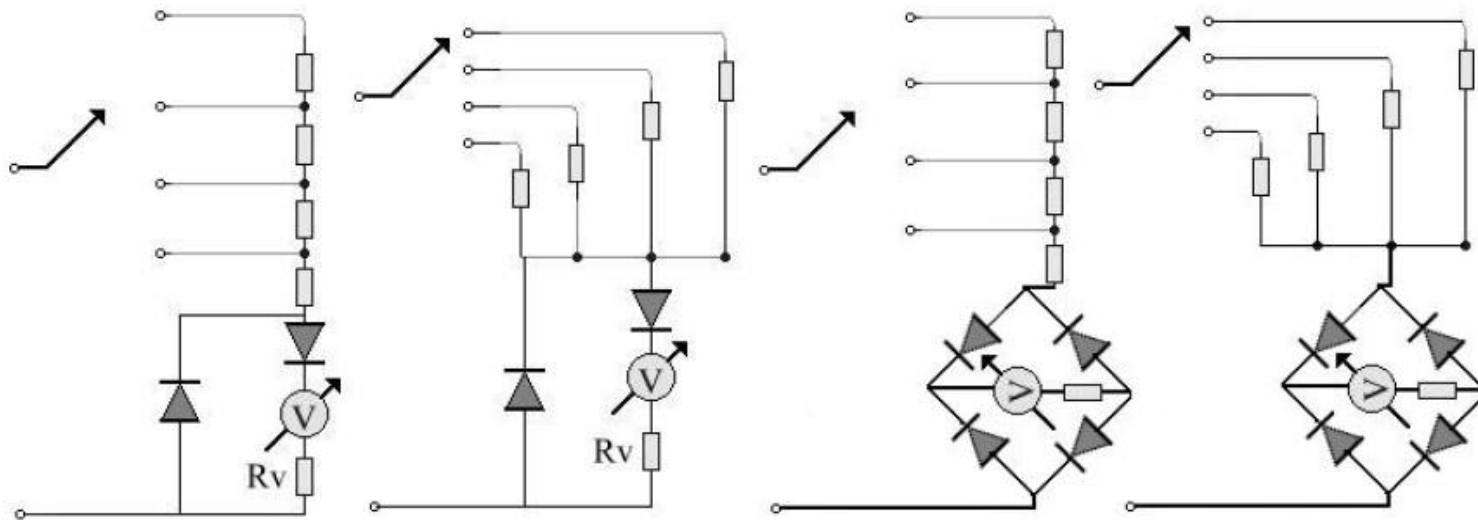
Suponiendo que  $i = \hat{I} \cdot \text{sen } \omega t$  y reemplazando queda:

$$ME(medio) = \frac{K1 \cdot \hat{I}}{2\pi} \underbrace{\int_0^{2\pi} \text{sen } \omega t . d\omega t}_{=0}$$

$ME(medio) = 0$
-----------------

# Instrumento con bobina móvil en CA

- Como el instrumento de bobina móvil **responde al valor medio** o de continua de una corriente, es imposible que por sí sólo mida tensiones o corrientes alternas.
- Se agrega de un rectificador. puede hacerlo fácilmente.



En el uso como voltímetro existen 2 variantes:

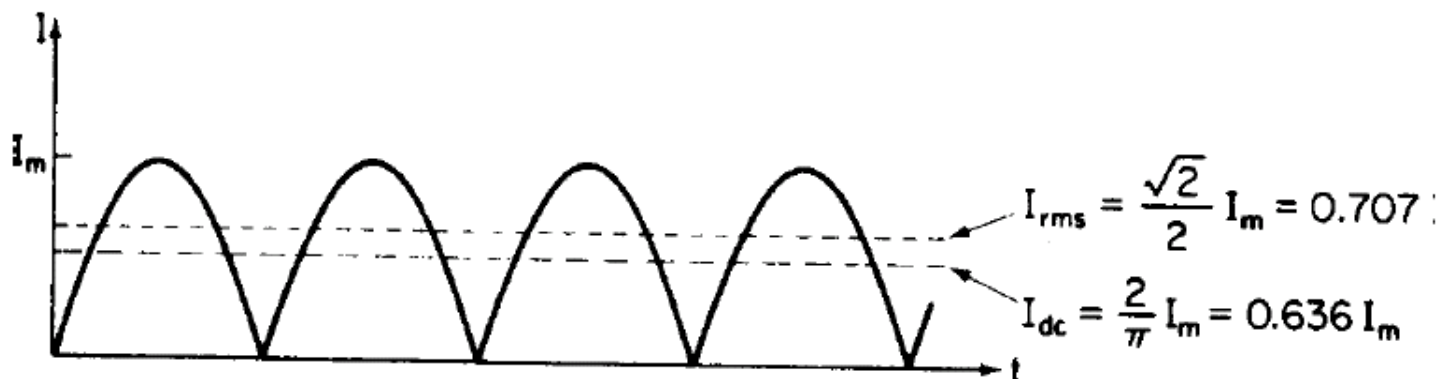
- a) Rectificador de media onda
- b) Rectificador de onda completa

el rectificador convierte a la corriente alterna en una pulsante unidireccional que sí puede ser medida por el instrumento de bobina móvil.

# Instrumento con bobina móvil en CA

-En general interesan valores eficaces de las tensiones alternas.

- El fabricante agrega una escala tal que tiene en cuenta la relación existente entre el valor medio y el valor eficaz ya que el instrumento de bobina móvil sólo es capaz de medir valores medios.



$$f_f = \frac{V_{rms}}{V_{cc}} = \frac{\frac{V_p}{\sqrt{2}}}{\frac{2V_p}{\pi}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1.11$$

Hay que destacar que cada onda tendrá una determinada relación entre su valor medio y su valor eficaz, de manera que la calibración es sólo válida para un tipo de onda en particular.

En la práctica, la forma de onda es la senoidal. La relación mencionada recibe el nombre de *factor de forma*.

# Errores cometidos por el instrumento

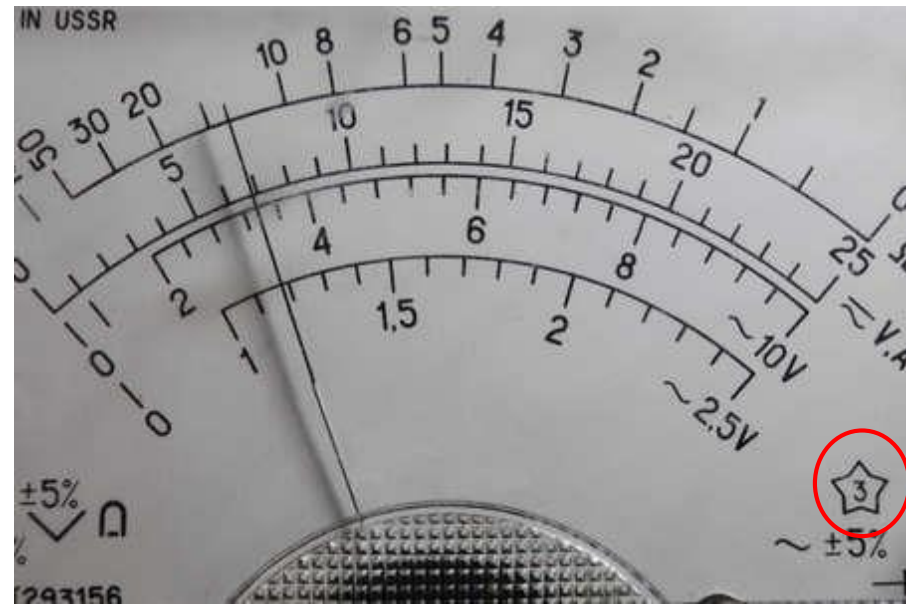
- El fabricante especifica un error relativo a fondo de escala para cada alcance al que se denomina error de clase.

$$\epsilon_c = \frac{\Delta V}{V_{\text{máx}}}$$

- El error relativo cometido en una medición :

$$\epsilon = \frac{\Delta V}{V_m}$$

$$\Delta V = \epsilon_c V_{\text{máx}} \Rightarrow \epsilon = \epsilon_c \frac{V_{\text{máx}}}{V_m}$$



# Errores cometidos por el instrumento

- También se presentará un error accidental de *lectura*. El error de lectura proviene de tres vertientes :
  - a) Error de paralaje  
falta de perpendicularidad entre el eje visual y el plano de la escala del instrumento.
  - b) Error debido al poder separador del ojo  
Como promedio y en condiciones normales de visibilidad, el menor ángulo que permite observar dos puntos separados con vértice en el ojo es de aproximadamente dos minutos.
  - c) Error de estimación  
Este error se comete al tratar de interpretar la posición de la aguja entre dos posiciones de la escala.

Error de lectura se lo simboliza como  $\Delta\alpha = 0.2$  a  $0.25$  div

# Especificaciones

Tensión a medir = 30 V

Voltímetro Analógico:

Clase 3

Alcances =  $V_{pe} = 10 \text{ V}, 50 \text{ V}, 100 \text{ V}, 500 \text{ V}$

Cantidad de divisiones =  $\alpha_{pe} = 50 \text{ DIV}$

Error de lectura =  $\Delta\alpha = 0.2 \text{ DIV}$

Lectura:

Se utiliza el alcance de 50 V

$\alpha_i = 30 \text{ DIV}$

$$\epsilon_i = \epsilon_c \frac{V_{\max}}{V_m} = 3\% \times \frac{50}{30} \cong 5\%$$

$$\epsilon_{\text{lect}} = \frac{0.2}{30} \times 100 = 0.7\%$$

$$\epsilon_{\text{total}} = \epsilon_{\text{lect}} + \epsilon_i = 0.7\% + 5\% = 5.7\%$$



# Especificaciones

Tensión a medir = 30 V

## Voltímetro Analógico:

Clase 3

Alcances =  $V_{pe} = 10\text{ V}, 50\text{ V}, 100\text{ V}, 500\text{ V}$

Cantidad de divisiones =  $\alpha_{pe} = 50\text{ DIV}$

Error de lectura =  $\Delta\alpha = 0.2\text{ DIV}$

## Lectura:

Se utiliza el alcance de 100 V

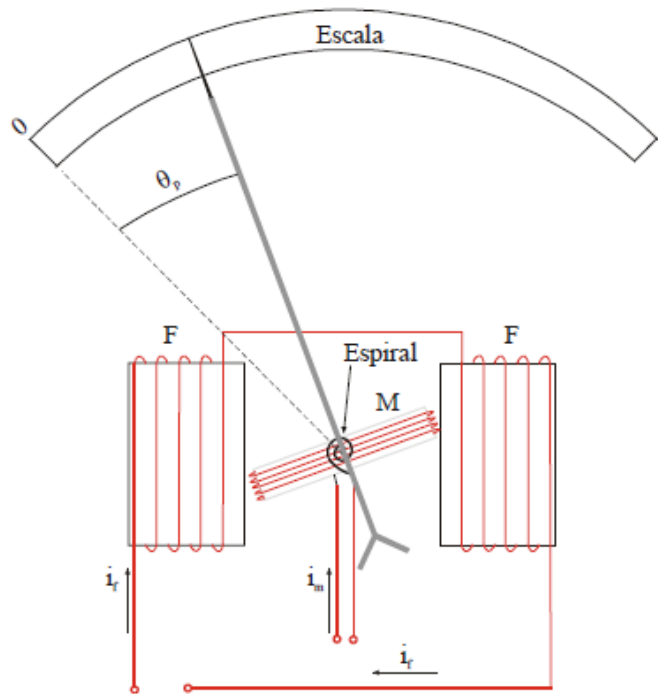
## Ejercicio

Realizar el calculo de error y extraer conclusiones

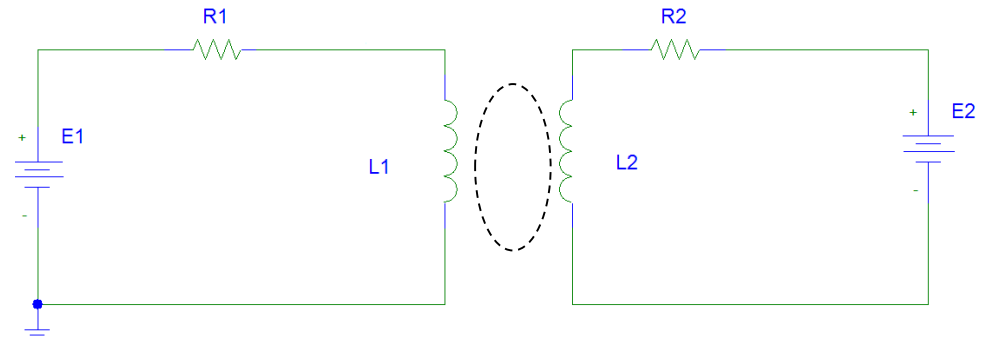


# Instrumentos Analógicos

## Instrumentos Electrodinámicos (para Maquinas e Instalaciones Eléctricas)



El par producido en este instrumento procede de las fuerzas magnéticas entre bobinas que conducen corrientes, una de las cuales es giratoria.



Suponiendo que la energía solo se almacena en forma de campo magnético

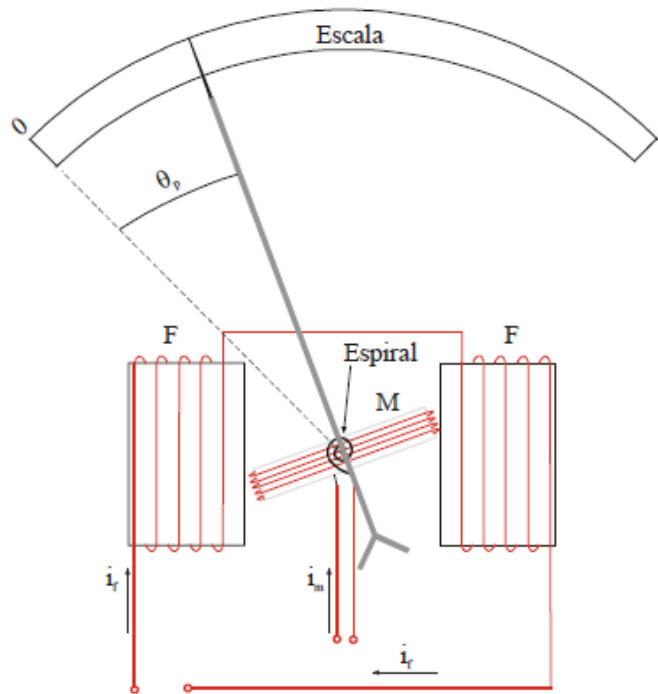
$$W = \frac{1}{2} \cdot L_f \cdot I_f^2 + \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot I_m^2 + M \cdot I_m \cdot I_f$$

La inductancia mutua varía según el ángulo entre los bobinados.

La energía almacenada varía según el ángulo.

# Instrumentos Analógicos

Instrumentos Electrodinámicos (para Maquinas e Instalaciones Eléctricas)



$$\frac{\partial W}{\partial \theta} = C_m = \theta \cdot k_r$$















La cupla generada o cupla motora queda entonces

$$C_m(t) = \frac{\partial M}{\partial \theta} \cdot I_m \cdot I_f$$

En C.A. la cupla responde proporcional al valor instantáneo de  $I^2$ .

El movimiento del *electrodinamómetro* no puede seguir las rápidas variaciones de la *cupla motora* y toma una posición en la cual el par ***promedio*** se equilibra con la *cupla resistente*.

***La deflexión del medidor es función de la media del cuadrado de la corriente***

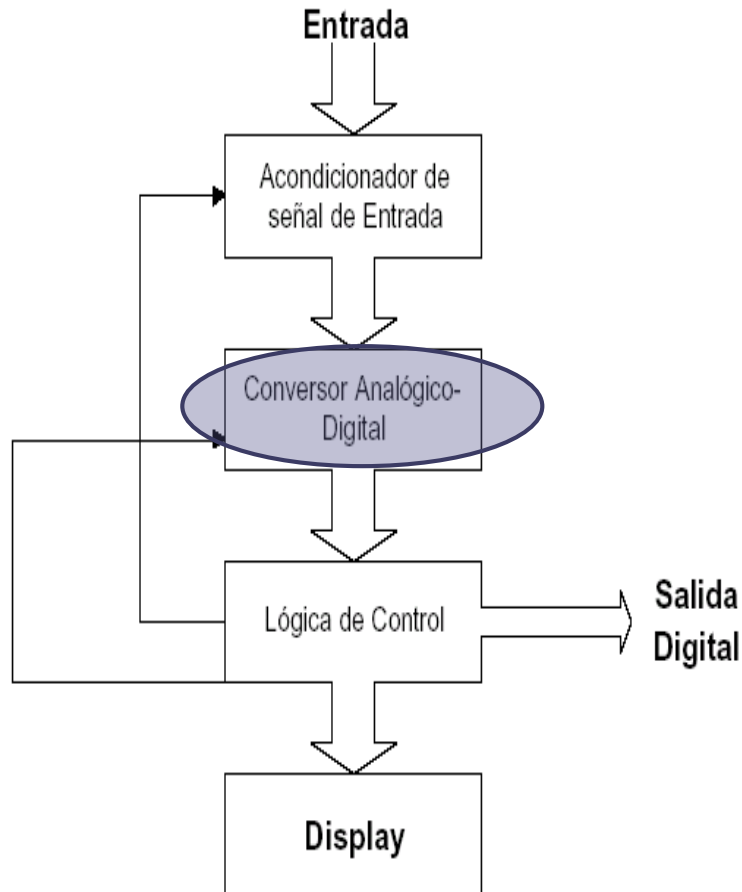
Mecanismo	Símbolo	Mecanismo	Símbolo
Bobina móvil		Vibratorio	
Hierro móvil		Térmico	
Imán móvil		Bimetálico	
Electrodinámico sin hierro		Electroestático	
Electrodinámico con circuito de hierro		Inducción	
Dispositivo electrónico en un circuito de medida		Dispositivo electrónico en circuito auxiliar	
Termopar aislado		Termopar no aislado	

Posición	Símbolo
Vertical	
Horizontal	
Inclinada	

# Instrumentos Digitales

- Fácil manera de lectura.
- Mayor resolución que los multímetros analógicos.  
La mejor resolución de un analógico es parte en 120 que, comparada con la de un digital de 3 dígitos ( muy económico ) de una parte en 1000.
- Un analógico puede tomar 1s o más para responder y un digital toma por lo menos 5 lecturas por segundo.

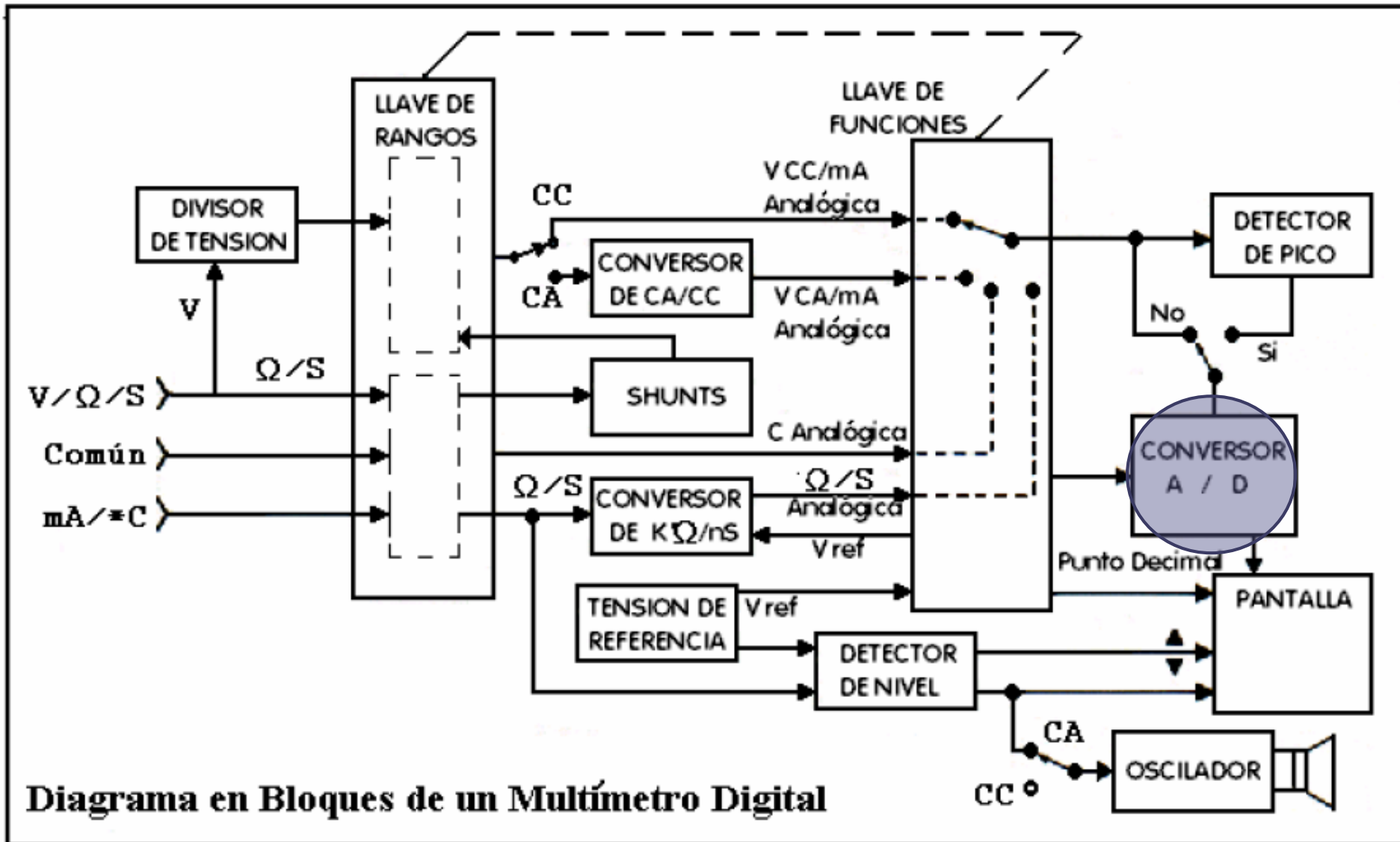
# Instrumentos Digitales



- **Acondicionador de señal**
  - Si la señal es  $V_{cc}$ , debe constar de un atenuador o un amplificador para las mas débiles.
  - Si se trata de una  $V_{ca}$  esta debe ser convertida en una  $V_{cc}$  equivalente.
- **Conversor AD**
  - dos procesos básicos:
    - a) Muestreo (sampling)
    - b) Cuantificación

En la practica ambos procesos se realizan en una misma operación, y la exactitud, precisión, y resolución son los atributos más importantes de un A/D.

# Instrumentos Digitales





# Instrumentos Digitales

## Conversor A/D

- Se utiliza un gran numero de métodos para convertir señales analógicas a digitales
  - Simple Rampa
  - Doble Rampa
  - Aproximaciones sucesivas
  - Paralelo (o instantáneo)
  - $\Sigma\Delta$

La Precisión es dependiente solamente del número de bits de la señal de salida.

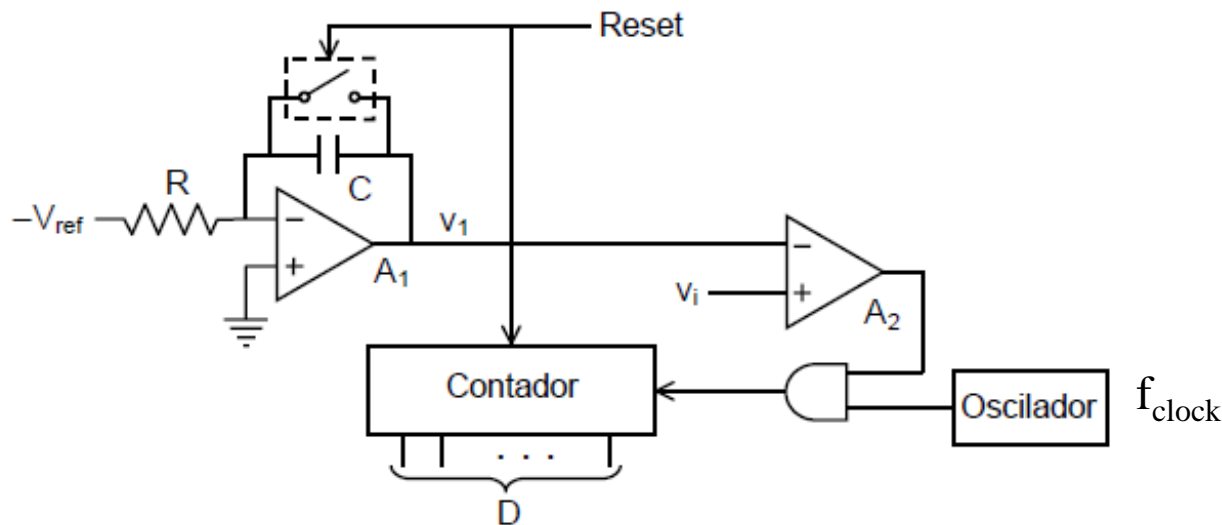
Conversor de 8 bits implica 256 estados posibles; su resolución es de una parte en 256, lo que puede ser expresado como un 0,4%.

# Instrumentos Digitales

## Conversor simple rampa

Se utiliza un integrador con un capacitor que se carga a pendiente constante hasta alcanzar la tensión a convertir, instante en que cesa la integración.

El tiempo requerido es proporcional a la tensión de entrada, y puede medirse con un contador que cuente ciclos de un reloj.



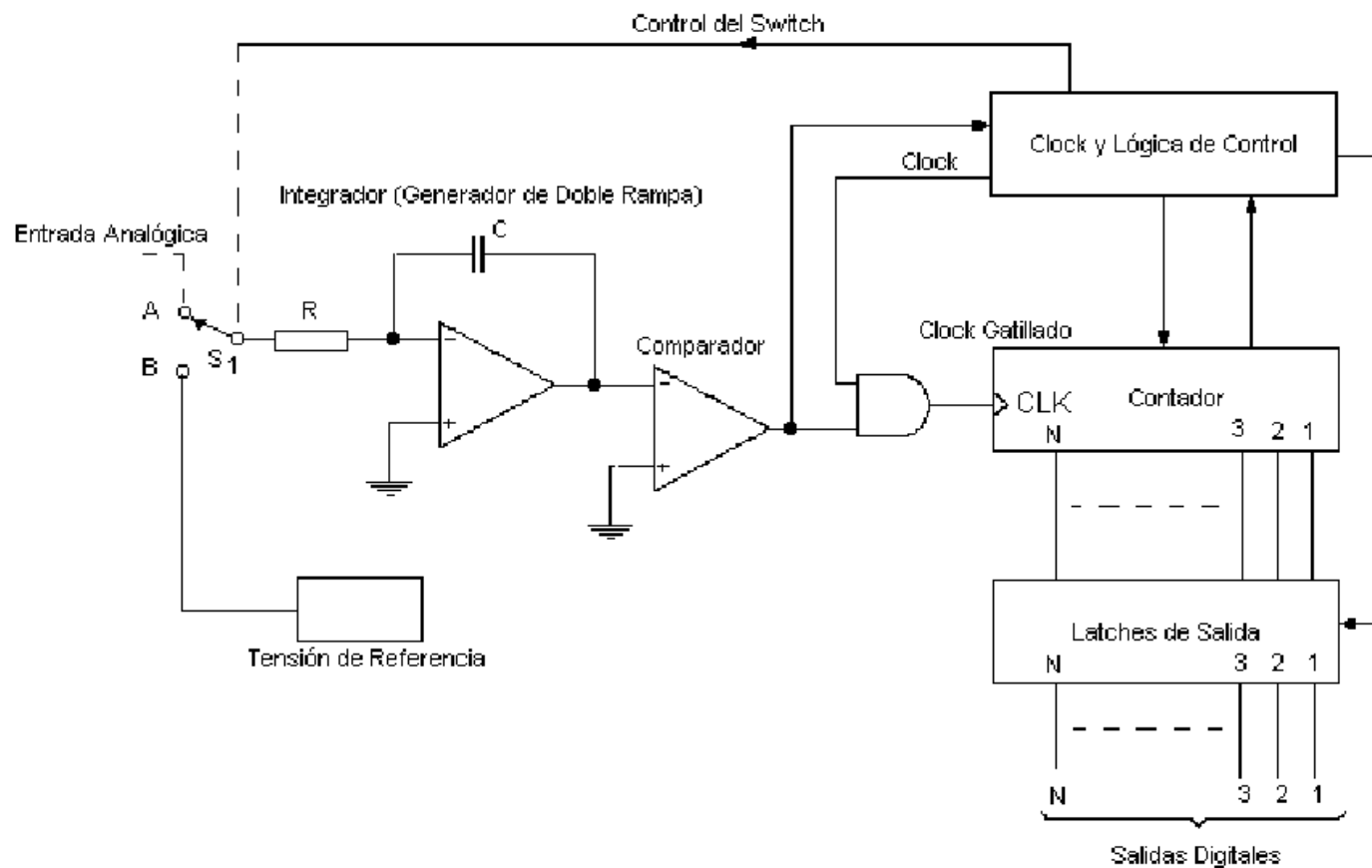
$$v_1 = \frac{V_{ref}}{R \cdot C} t$$

Mientras  $v_1 < v_i$  el comparador está alto, permitiendo que los pulsos del oscilador pasen a la entrada de reloj de un contador. Cuando  $v_1 \geq v_i$ , el comparador conmuta, inhibiendo los pulsos de reloj.

$$D = [f_{\alpha} t_0] = \left[ f_{\alpha} RC \frac{v_i}{V_{ref}} \right],$$

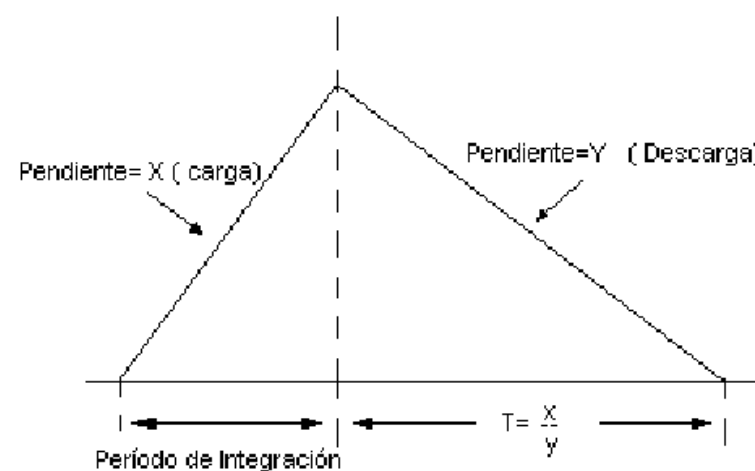
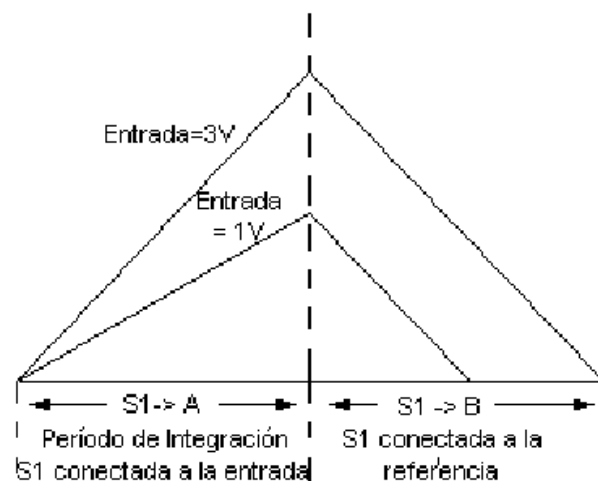
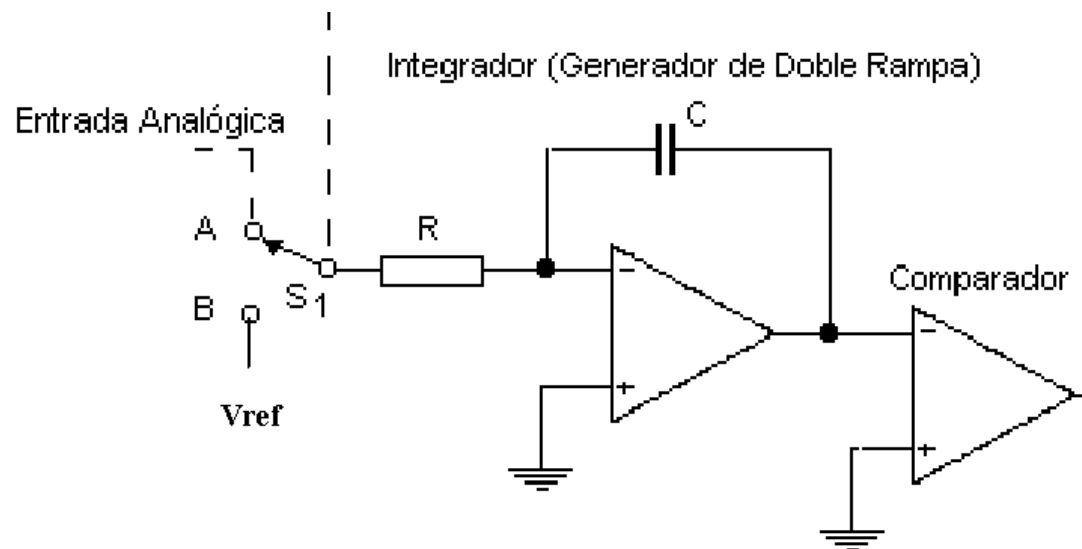
# Instrumentos Digitales

## Convertidor de doble rampa



# Instrumentos Digitales

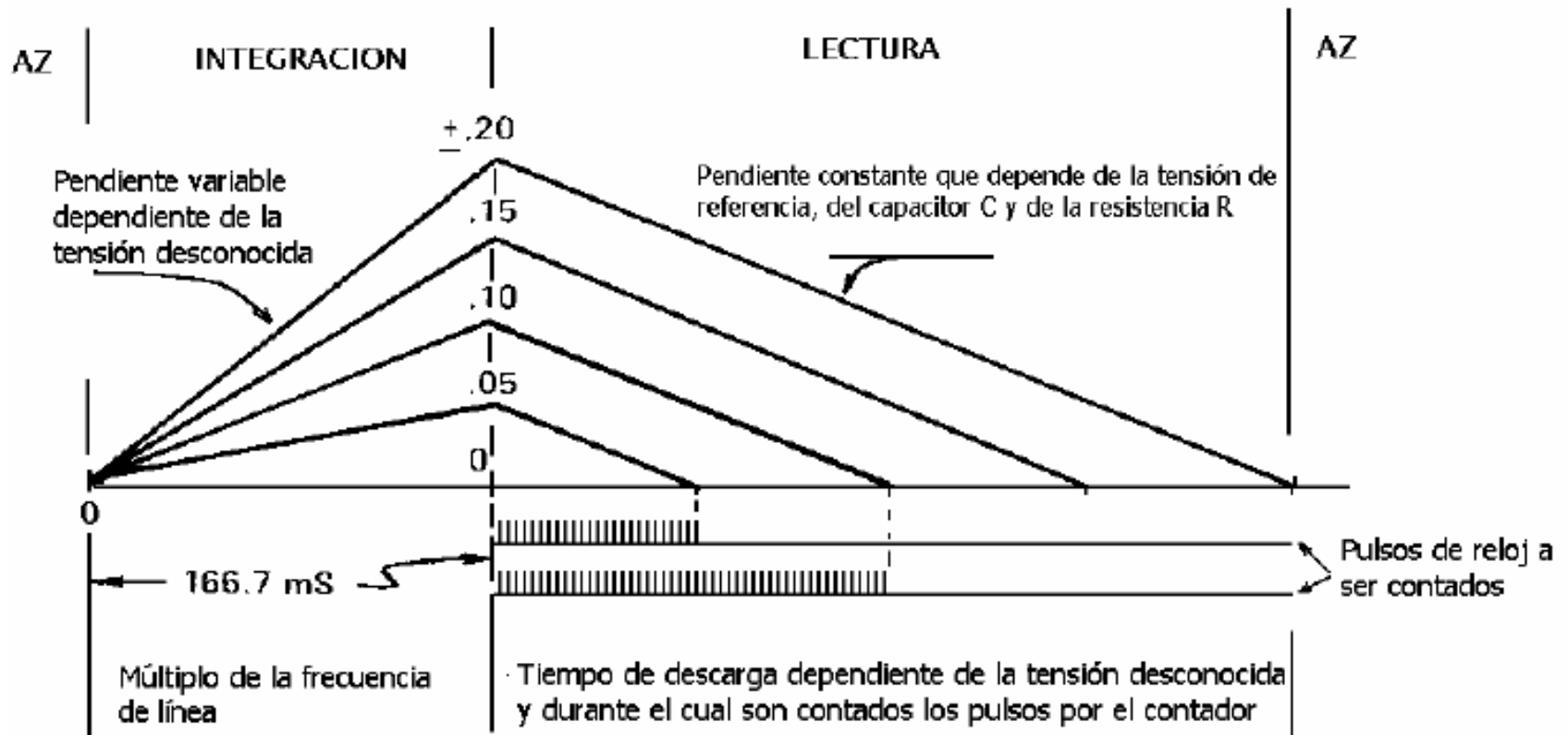
## Convertidor de doble rampa



# Instrumentos Digitales

## Convertidor de doble rampa

### DIAGRAMA DE TIEMPOS DE CONVERSION



# Convertidor de doble rampa

## Funcionamiento

Consta de dos etapas

- Determinar la rampa para  $V_i$  en la entrada, en un tiempo fijo
- El tiempo que tarda, con pendiente fija y tensión de referencia conocida,  $V_{REF}$ , en pasar del valor máximo de la anterior a cero.

El ciclo de conversión se inicia con la rampa y contadores a cero. La llave electrónica en la entrada analógica  $V_i$ . La rampa se genera hasta un punto máximo  $V_x$  que vendrá dado por el nivel de tensión de entrada  $V_i$  y siempre en un mismo tiempo  $t_1$ .

$$V_x = -(V_i / RC) \cdot t_1$$

Cuando el detector de cuenta incorporado en el contador detecta que concurre el tiempo predeterminado  $t_1$ , la unidad de control borra dicho contador y conmuta la entrada a la tensión de referencia  $V_{REF}$ . Ahora el integrador generará una rampa desde  $-V_x$  a cero, durante un tiempo  $t_2$  que será contabilizado por el contador

$$V_x = (V_{ref} / RC) \cdot t_2$$

$$\text{Quedando } V_i = V_{ref} \cdot (t_2 / t_1)$$

# Circuito comercial ICL7106



*ICL7106, ICL7107, ICL7107S*

**Data Sheet**

**December 1, 2005**

**FN3082.8**

## ***3<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Digit, LCD/LED Display, A/D Converters***

The Intersil ICL7106 and ICL7107 are high performance, low power, 3<sup>1</sup>/<sub>2</sub> digit A/D converters. Included are seven segment decoders, display drivers, a reference, and a clock. The ICL7106 is designed to interface with a liquid crystal display (LCD) and includes a multiplexed backplane drive; the ICL7107 will directly drive an instrument size light emitting diode (LED) display.

The ICL7106 and ICL7107 bring together a combination of high accuracy, versatility, and true economy. It features auto-zero to less than 10 $\mu$ V, zero drift of less than 1 $\mu$ V/ $^{\circ}$ C, input bias current of 10pA (Max), and rollover error of less than one count. True differential inputs and reference are useful in all systems, but give the designer an uncommon advantage when measuring load cells, strain gauges and other bridge type transducers. Finally, the true economy of single power supply operation (ICL7106), enables a high performance panel meter to be built with the addition of only 10 passive components and a display.

## ***Features***

- Guaranteed Zero Reading for 0V Input on All Scales
- True Polarity at Zero for Precise Null Detection
- 1pA Typical Input Current
- True Differential Input and Reference, Direct Display Drive
  - LCD ICL7106, LED ICL7107
- Low Noise - Less Than 15 $\mu$ Vp.p
- On Chip Clock and Reference
- Low Power Dissipation - Typically Less Than 10mW
- No Additional Active Circuits Required
- Enhanced Display Stability
- Pb-Free Plus Anneal Available (RoHS Compliant)

# Circuito comercial ICL7106

Por dentro de un tester comercial de 3 ½ dígitos

La función de Amperímetro de 10A utiliza un alambre como resistencia para medir la caída de tensión.

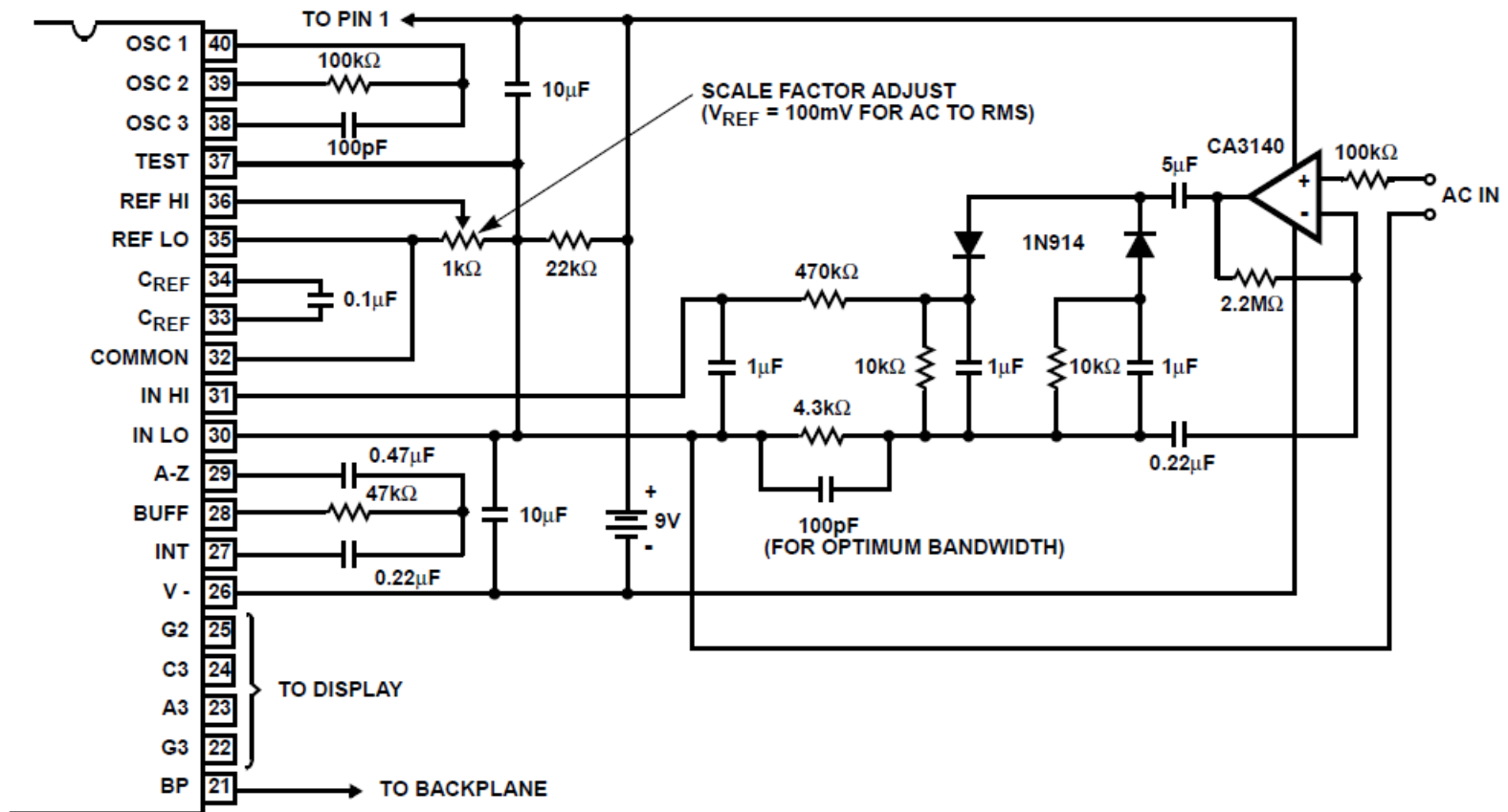
Muchas veces este alambre suele tener marcas con un alicate para variar su resistencia.





# Circuito comercial ICL7106

## Typical Applications (Continued)



Test is used as a common-mode reference level to ensure compatibility with most op amps.

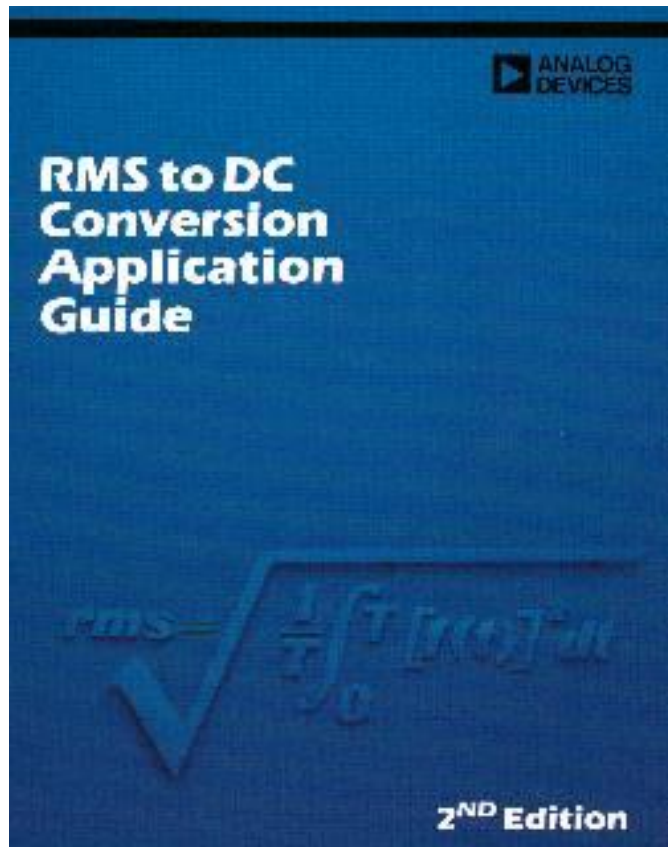
# Especificaciones de los conversores A/D

- **Resolución:** Es la cantidad de bits que entrega a su salida luego de completada la conversión. También puede expresarse como el porcentaje o partes por millón (ppm) que representa cada LSB en el rango total de entrada.

Por ejemplo, un conversor de 12 bits tiene una resolución de  $1/2^{12} \times 100 = 0,0244 \%$  o de 244 ppm.

# Medidores de Verdadero Valor Eficaz

TrueRMS  
funcionamiento



# Voltímetros de Verdadero Valor Eficaz

El valor eficaz de cualquier forma de onda esta definido por: *“El valor equivalente de tensión de continua que produce una disipación de potencia sobre una resistencia”*. El verdadero valor eficaz de una señal cualquiera es matemáticamente:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [V(t)]^2 dt}$$

Dos de los métodos mayor usados para TRUE RMS son:

- ***Sensado Térmico.***
- ***Muestro Digital.***

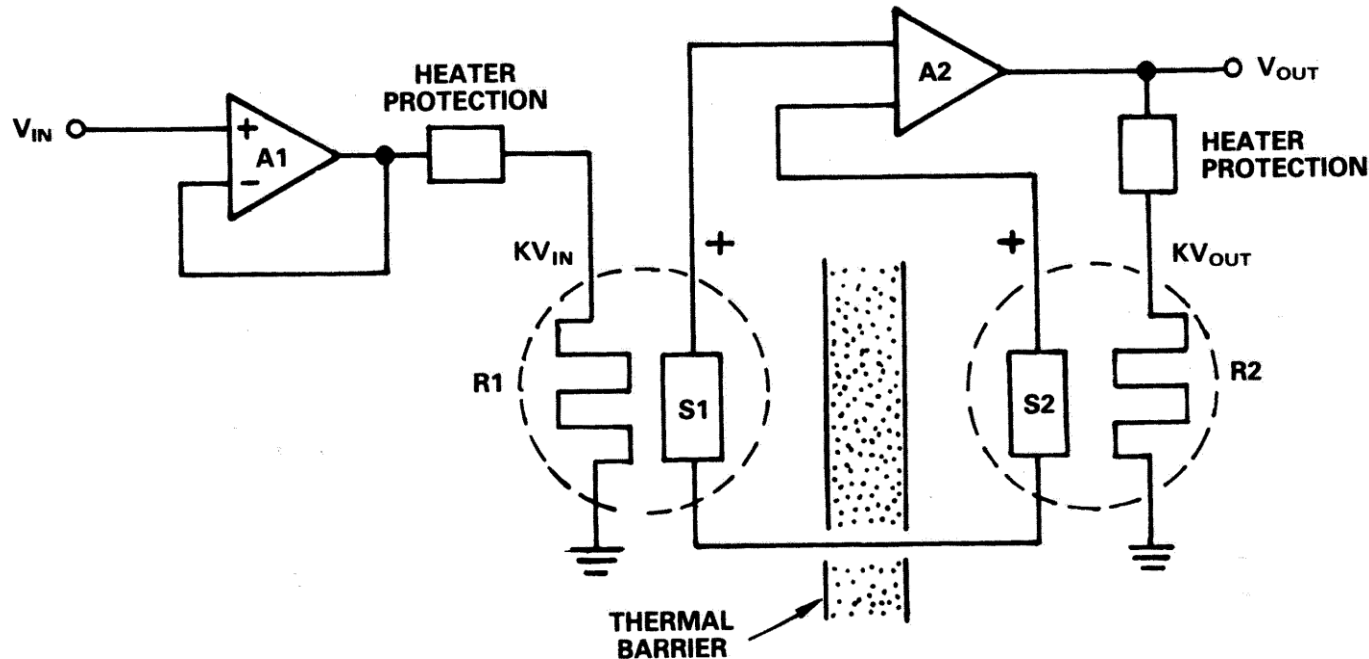
***Explicito***

***Implicito***

***Muestreo***

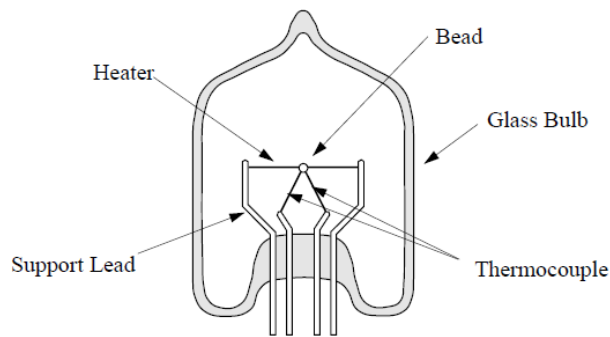
# Voltímetros de Verdadero Valor Eficaz

La conversión RMS-Térmica es en teoría la mas sencilla, pero la mas difícil de llevar a la práctica. El método implica comprar el calentamiento de una fuente de señal alterna, periódica y desconocida con una señal conocida, calibrada y de referencia

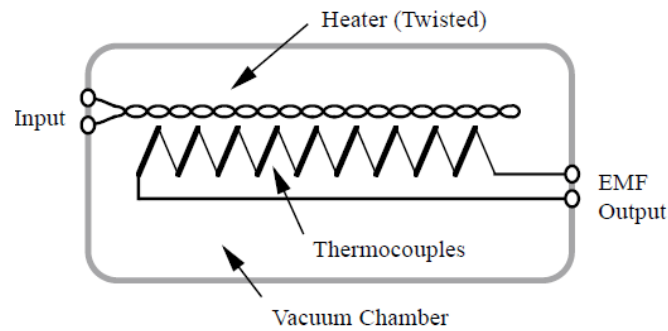


Este método tiene errores muy bajos del orden de 0,1%

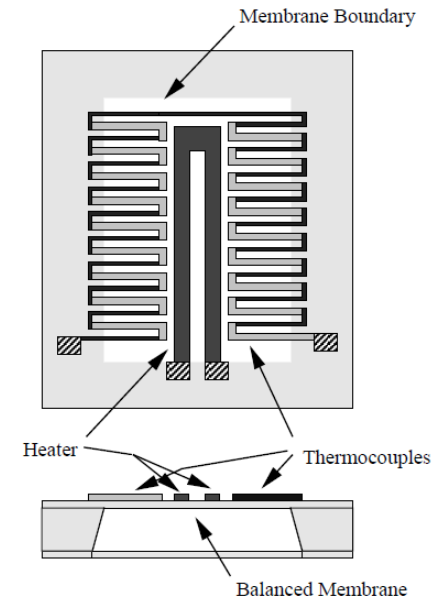
# Voltímetros de Verdadero Valor Eficaz método térmico



**Figure 1.3** Construction of a typical SJTC element. A thin filament-heater and a thermocouple are inserted in a vacuum-shielded glass bulb. A thermocouple is attached to the heater at the midpoint of the heater using a bead made of glass or ceramics.



**Figure 1.4** Construction of a Wilkins-type MJTC. Use of many numbers of thermocouples and the twisted bifilar heater is for compensating the thermoelectric effects.



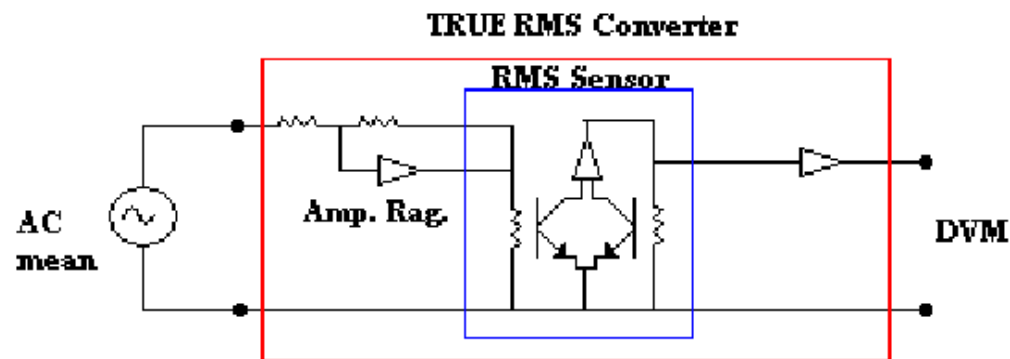
**Figure 1.5** Construction of a thin-film MJTC developed at PTB. The heater and the hot-junctions of the thermocouples are formed on  $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$  sandwich membrane made with an isotropic etching.

# Voltímetros de Verdadero Valor Eficaz método térmico



En esta conversión, la salida del “Amplificador de Rango” es aplicada sobre la resistencia talque calienta la base del transistor del lado izquierdo del sensor de RMS.

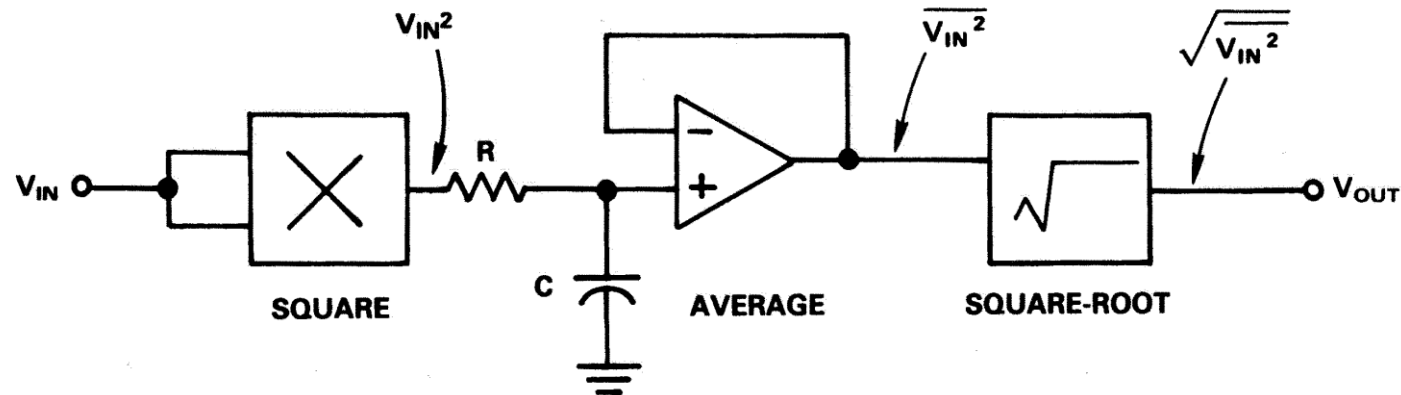
La corriente de colector de los transistores es incrementada consecuentemente y el desbalanceo de los dos transistores de sensado es amplificado. La alimentación de la amplificación diferencial es aplicada a la resistencia de la derecha del sensor. El calor en la resistencia incrementa incrementa la corriente del colector del transistor de la derecha y el balancea el amplificador diferencial. La tensión de continua de la resistencia del lado derecho es proporcional al verdadero valor eficaz de la resistencia del lado izquierdo. La tensión de continua equivalente es digitalizada. Este método responde a la disipación de potencia sobre la resistencia de todas las componentes de Fourier de la tensión. La respuesta del ancho de banda del DVM TRUE-RMS se debe a la respuesta en frecuencia de la resistencia y el amplificador.



# Voltímetros de Verdadero Valor Eficaz

## Métodos digitales - Explicito

La forma mas intuitiva es, mediante la expresión del valor RMS, implementar digitalmente el algoritmo.



Acá tenemos una gran limitación de rango dinámico debido al multiplicador en la entrada.

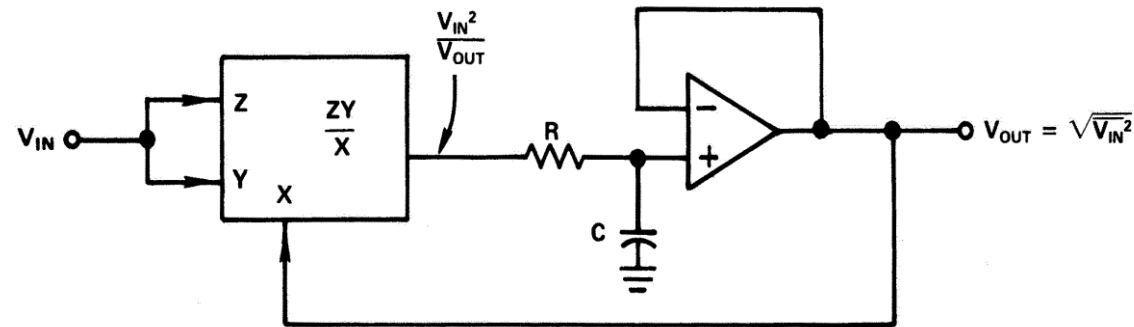
Si  $V_{IN}$  tiene una variación de 1 a 100 la salida tiene una variación de 1 a 10.000.



# Voltímetros de Verdadero Valor Eficaz

## Métodos digitales - Implícito

Otro método llamado *indirecto o implícito*, realimenta el valor medio de la salida y divide  $V_{IN}^2$ . Acá la limitación suele ser el ancho de banda.



$$V_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int v^2(t).dt}$$

$$V_{eff}^2 = \frac{1}{T} \int v^2(t).dt$$

$$V_{eff} = \frac{1}{T} \int \frac{v^2(t)}{V_{eff}}.dt$$

# AD536



## Integrated Circuit True RMS-to-DC Converter

### AD536A

#### FEATURES

True RMS-to-DC Conversion

Laser-Trimmed to High Accuracy

0.2% Max Error (AD536AK)

0.5% Max Error (AD536AJ)

Wide Response Capability:

Computes RMS of AC and DC Signals

450 kHz Bandwidth:  $V_{rms} > 100 \text{ mV}$

2 MHz Bandwidth:  $V_{rms} > 1 \text{ V}$

Signal Crest Factor of 7 for 1% Error

dB Output with 60 dB Range

Low Power: 1.2 mA Quiescent Current

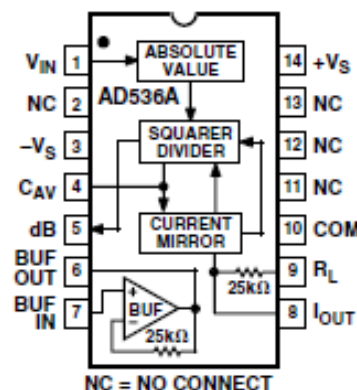
Single or Dual Supply Operation

Monolithic Integrated Circuit

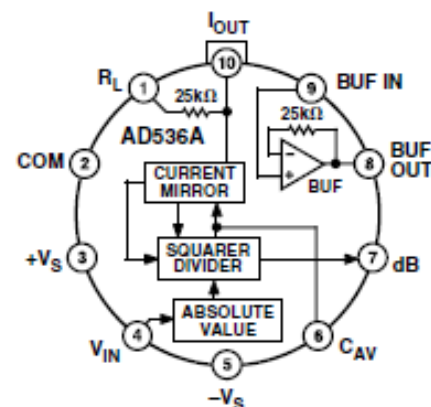
-55°C to +125°C Operation (AD536AS)

#### PIN CONFIGURATIONS AND FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAMS

TO-116 (D-14) and  
Q-14 Package

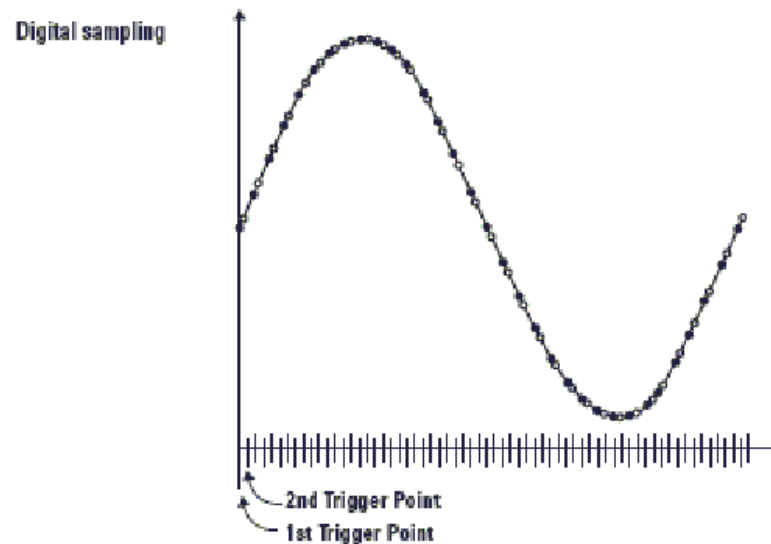


TO-100 (H-10A)  
Package



# Voltímetros de Verdadero Valor Eficaz muestreo digital

En este método se usan técnicas similares de muestreo que en el caso de osciloscopio digitales. Se muestrea varias veces la señal, cada pasada subsecuente tiene una pequeña demora. De esta forma con cada pasada se reconstruye la señal a medir con mas resolución. Una gran ventaja de esta técnica es que tiene una resolución alta, permitiendo medir señales de pequeña amplitud. Pero la forma de onda a medir tiene que ser periódica.



# Especificaciones típicas de voltímetros digitales

$$\varepsilon_{i\%} = +/- ( \varepsilon_i\% + N^{\circ} \text{ cuentas} )$$

Ejemplo

Exactitud : ( 0.5% + 2cuentas )

$$\frac{\Delta N}{N} \cdot 100 = \%$$

Para una lectura de 31.4 V de un voltímetro de 3.5 dígitos en el alcance de 200 V.

$$\frac{\Delta N}{N} \cdot 100 = \frac{2}{314} \cdot 100 = 0.64\%$$

Exactitud = ( 0.5% + 0.64% ) = 1.14 % de la lectura

# Especificaciones típicas de voltímetros digitales

## *Función de tensión de CC, resistencia y conductancia*

Función	Rango	Resolución	Exactitud
$\overline{V}$	6,000 V	0,001 V	$\pm (0,05 \% + 1)$
	60,00 V	0,01 V	$\pm (0,05 \% + 1)$
	600,0 V	0,1 V	$\pm (0,05 \% + 1)$
	1000 V	1 V	$\pm (0,05 \% + 1)$
$\overline{mV}$	600,0 mV	0,1 mV	$\pm (0,1 \% + 1)$
$\Omega$	600,0 $\Omega$	0,1 $\Omega$	$\pm (0,2 \% + 2)^{[1]}$
	6,000 k $\Omega$	0,001 k $\Omega$	$\pm (0,2 \% + 1)$
	60,00 k $\Omega$	0,01 k $\Omega$	$\pm (0,2 \% + 1)$
	600,0 k $\Omega$	0,1 k $\Omega$	$\pm (0,6 \% + 1)$
	6,000 M $\Omega$	0,001 M $\Omega$	$\pm (0,6 \% + 1)$
	50,00 M $\Omega$	0,01 M $\Omega$	$\pm (1,0 \% + 3)^{[2]}$
nS	60,00 nS	0,01 nS	$\pm (1,0 \% + 10)^{[1,2]}$

[1] Al utilizar la función REL  $\Delta$  para compensar por las compensaciones.

[2] Agregue 0,5 % de la lectura al medir por encima de 30 M $\Omega$  en el rango de 50 M $\Omega$ , y 20 cuentas por debajo de 33 nS en el rango de 60 nS.

## *Función de tensión de CA*

Función	Rango	Resolución	Exactitud					
$\tilde{V}$ [2,4]	600,0 mV 6,000 V 60,00 V 600,0 V	0,1 mV	45 - 65 Hz	30 - 200 Hz	200 - 440 Hz	440 Hz -1 kHz	1 - 5 kHz	5 - 20 kHz <sup>1</sup>
		0,001 V	± (0,7 % + 4)	± (1,0 % + 4)			± (2,0 % + 4)	± (2,0 % + 20)
		0,01 V	± (0,7 % + 2)				± (2,0 % + 4) <sup>[3]</sup>	sin especificar
		0,1 V					sin especificar	sin especificar
	1000 V	1 V				sin especificar	sin especificar	
	Filtro de paso bajo		± (0,7 % + 2)	± (1,0 % + 4)	+1 % + 4 -6 % - 4 <sup>[5]</sup>	sin especificar	sin especificar	sin especificar

[1] Por debajo de un 10 % del rango, agregue 12 cuentas.

[2] El multímetro es un instrumento que responde al verdadero valor eficaz. Cuando los conductores de entrada se conectan en cortocircuito en las funciones de CA, el multímetro puede mostrar una lectura residual entre 1 y 30 cuentas. Una lectura residual de 30 cuentas provocará un cambio de sólo 2 dígitos para lecturas de más del 3% del rango. Utilizar REL para compensar esta lectura puede producir un error constante mucho mayor en mediciones subsiguientes.

[3] Rango de frecuencias: de 1 kHz a 2,5 kHz.

[4] Una lectura residual hasta de 13 dígitos con los conductores en cortocircuito no afectará la exactitud enunciada por encima de un 3 % del rango.

[5] La especificación aumenta desde -1% a 200 Hz hasta -6% a 440 Hz al utilizar el filtro.

**FLUKE**

**87V Ex**

True-rms Multimeter



# Especificaciones típicas de voltímetros digitales

## Multímetros TX3 y TX1 de valor eficaz



### Voltaje de CA/CC

**Rangos\*** - 500,0 mV, 5,000 V, 50,00 V, 500,0 V, 1.000 V CAT III

**Precisión de CC\*** -  $\pm (0,05\% + 1 \text{ ct.})$  (TX3)

**Precisión de CA\*** -  $\pm (0,4\% + 2 \text{ cts.})$  (TX3);  $\pm (0,6\% + 2 \text{ cts.})$  (TX1)

**Mejor resolución** - 10  $\mu\text{V}$  (modo de 50.000 cuentas)

### CA/CC

**Rangos\*** - 500,0  $\mu\text{A}$ , 5,000 mA, 50,00 mA, 500,0 mA, 5,000 A, 10,00 A (3 minutos)

**Precisión de CC\*** -  $\pm (0,2\% + 2 \text{ cts.})$

**Precisión de CA\*** -  $\pm (0,6\% + 2 \text{ cts.})$

**Mejor resolución** - 10 nA (modo de 50.000 cuentas)

### Resistencia

**Rangos\*** - 50,00 ohm, 500,0 ohm, 5,000 kilohm, 50,00 kilohm, 500,0 kilohm, 5,000 Megohm, 50,00 Megohm

**Precisión\*** -  $\pm (0,1\% + 2 \text{ cts.})$

**Mejor resolución** - 0,01 ohm (en un rango de 50 W con calibración automática de conductores)