

Tema 2: Instrumentos de Medida y Visualización

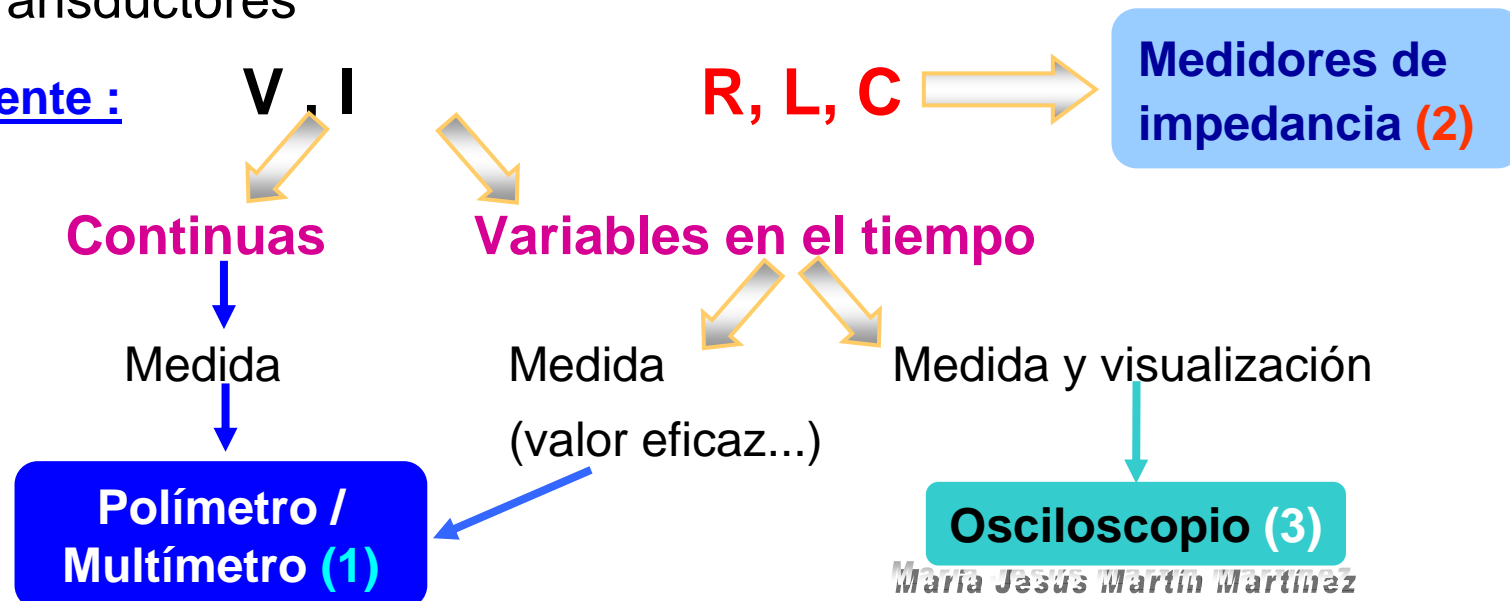
- De acuerdo con lo expuesto en el Tema 1, los dos tipos de señales analógicas más utilizadas son:

- Señales continuas: **dc**
(valor constante a lo largo del tiempo)
- Señales alternas senoidales de **f** fija: **ac**
(variables en el tiempo)

Ambas de tensión
o corriente

- Las magnitudes que no son eléctricas se transforman en eléctricas mediante transductores

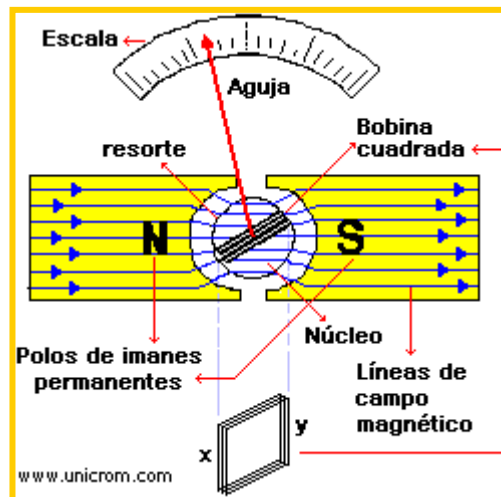
Principalmente :



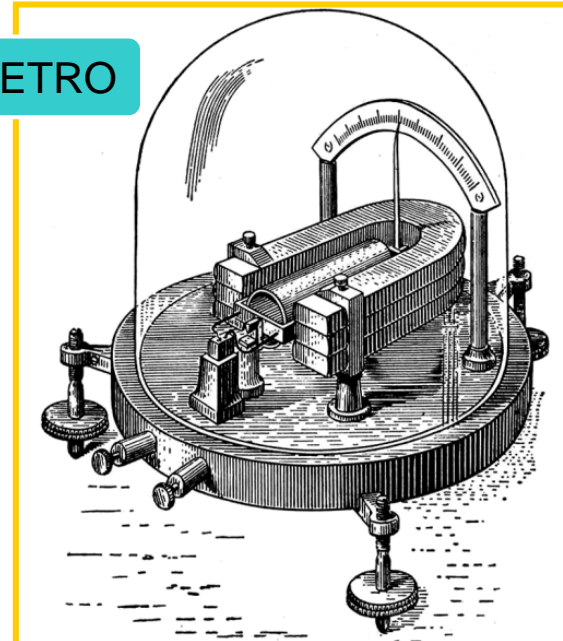
Maria Jesús Martín Martínez

Tema 2: Multímetros

- **Multímetros**: Miden principalmente **tensiones**, **corrientes** y **resistencias**
- Existen dos tipos de multímetros:
 - **Instrumentos analógicos**



GALVANOMETRO



Segundo galvanómetro de d'Arsonval. Tomado de Lloyd W. Taylor. Physics the pioneer science. Volume 2. Light - Electricity. New York: Dover Publications, Inc.; 1959.

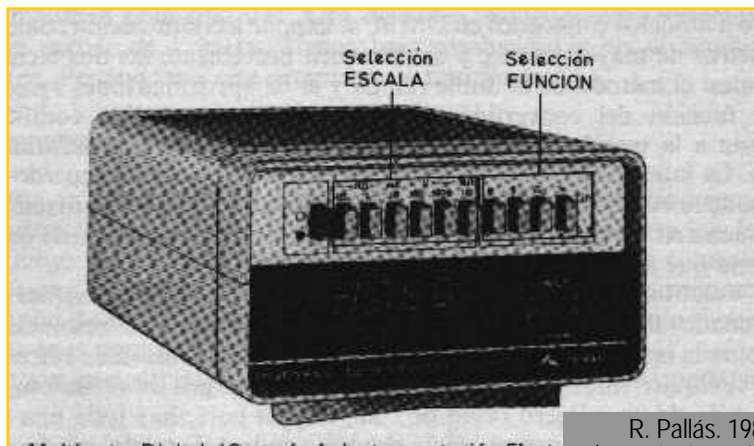
Basado en el **medidor de bobina móvil**

- Una bobina situada en un campo magnético constante (imán permanente),
- Cuando la corriente pasa a través de la bobina, la hace girar un cierto ángulo que es proporcional a la corriente → **Mecanismo D'Arsonval**
- Están en desuso

Tema 2: Multímetros

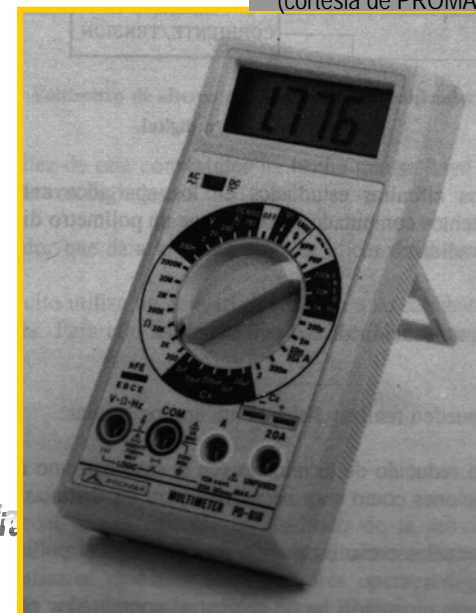
■ Instrumentos digitales (DMM) → GRANDES VENTAJAS

- Presentación numérica de I, V, R
 - Visualizador numérico (LEDs)
 - Información en sistema de numeración decimal
- Reducción del tamaño
- Transmisión de datos → la información digital puede transportarse a gran distancia (para memorizarla, procesarla, capacidad de cálculo etc.)
- Puede realizarse automatización de funciones (se reduce el error humano) → programación de control remotos
- Robustez → no hay elementos mecánicos



R. Pallás. 1987
(cortesía de PROMAX)

mjmm@usal.es



E. Mandado, et al. 1995
(cortesía de PROMAX)

Tema 2: Multímetros

■ Comparación Multímetros Digitales /Analógicos

■ Los errores

- **Analógico** → los errores son como mínimo del orden del 0.5 % de la lectura más un 0.5 % del valor del fondo de escala.
- **Digital** → los errores habituales son 0.1 % de la lectura más un 0.1 % del fondo de escala
 - La **exactitud** no viene marcada por la longitud de la escala sino porque consta de un conversor A/D de tensión. → El error se minimiza al aumentar la precisión del conversor A/D (**el número de bits**)

■ La resolución y exactitud → mucho mayor en digitales a igual coste

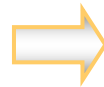
- En Analógicos: 1 en 120
- Digitales: varía desde 1 en 10^3 (3 dígitos) hasta 1 en 10^9 en (9 dígitos)

■ La velocidad:

- Analógicos: menor de 1 medida por segundo
- Digitales: varía desde 2 hasta > 50.000 medidas/segundo en (S.A.D.)

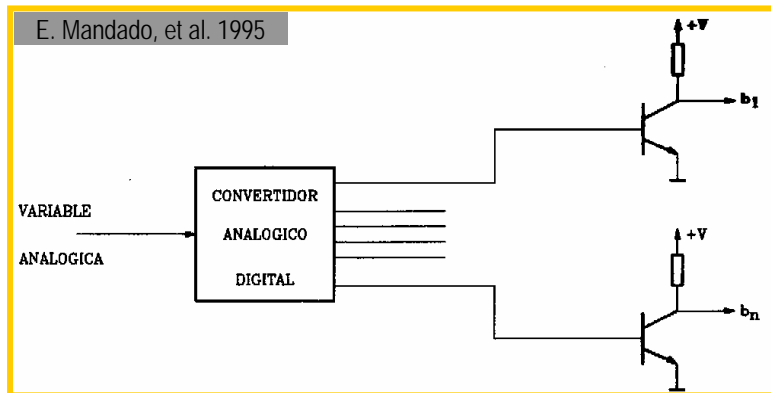
Tema 2: Multímetros Digitales (DMM)

Elemento básico del DMM

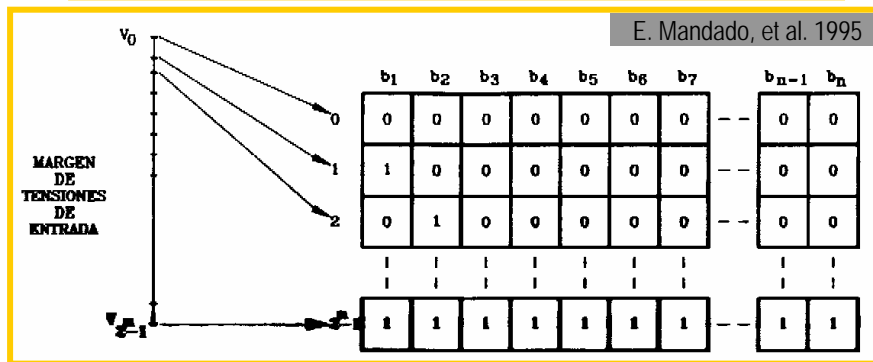


Convertor Analógico- Digital (A/D)

- Sistema electrónico que **convierte una tensión continua** presente en su entrada en la **combinación binaria de n bits a su salida**



La salida está formada por tantos transistores como bits del convertor que pueden encontrarse en estado de saturación o de corte



b_1, b_2, \dots, b_n , bits desde el menos significativo al mas significativo

- Los **métodos de conversión** de una variable analógica a una digital dependen:
 - De la complejidad del sistema físico
 - Del tiempo de conversión

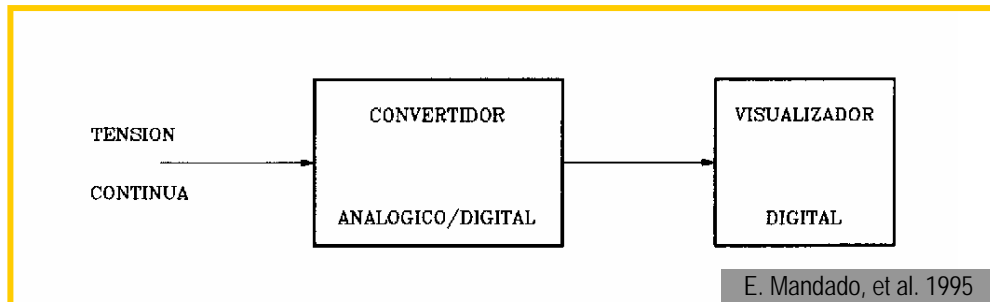
mjmim@usal.es

Maria Jesús Martín Martínez

Tema 2: Diagrama de bloques de un DMM

Diagrama de Bloques del DMM

- En su forma más básica el Multímetro sólo consta de 2 bloques



Conversor A/D → obtiene el valor digital (valor numérico) del resultado de la medida

(Estudio en el TEMA 3)

Diagrama de Bloques simplificado de un Multímetro Digital

- De este modo únicamente sirve para medir voltajes, por tanto sería solo un Digital –Volti-Meter (**DVM**) → **Voltímetro**
- Sin embargo, este sería un Voltímetro, si queremos que funcione como Multímetro debe también medir:
 - Corrientes (**Amperímetro**)
 - Resistencias (**Ohmetro**)
 - Magnitudes tanto **ac** como **dc**
 - Distintos rangos de estas magnitudes (**Ejemplo: corrientes desde μA hasta A**)

Tema 2: Diagrama de bloques de un DMM

Diagrama de Bloques completo de un Multímetro Digital

a → Atenuador /Amplificador

- Adecua el margen de entrada de la señal al conversor A/D
- Ofrece la impedancia de entrada adecuada
- Se puede controlar mediante un mando externo (escala)

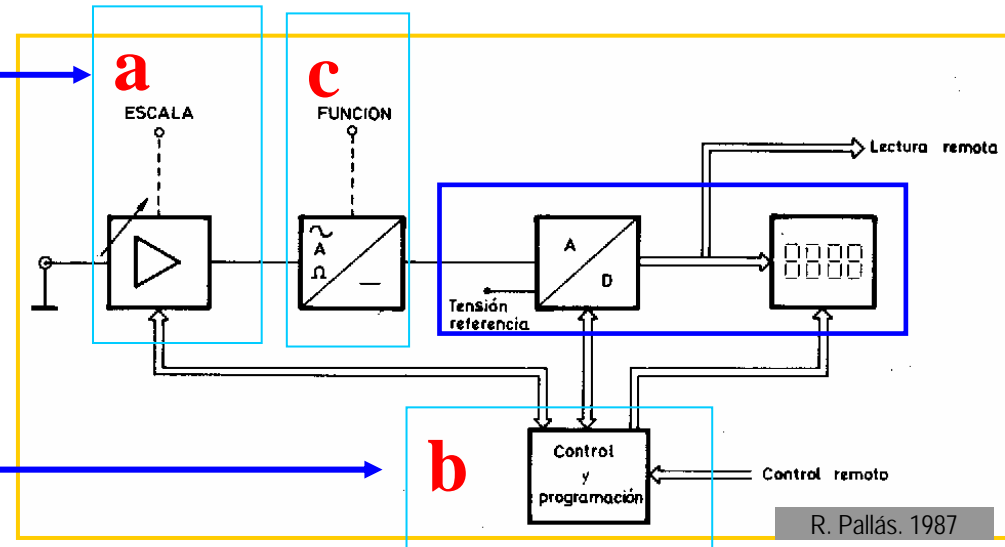
b → Circuito de Control:

- Se informa de la escala de medida
 - Modificada de manera **manual** a través del panel frontal
 - Se informa directamente del A/D → en el caso de un sistema **automático**
- Determina la secuencia de operación, controla la presentación local y remota de los resultados, etc. Existen CIs que realizan todas estas funciones.

c → Conversión a tensión continua de:

- Resistencia → tensión dc
- Corriente → tensión dc
- Tensión **ac** → tensión **dc**

mjmm@usal.es

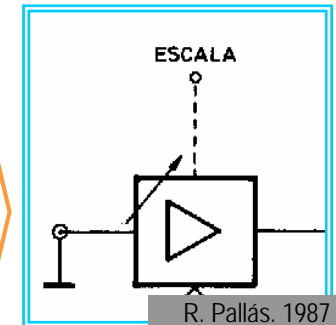


Maria Jesús Martín Martínez

Tema 2: Bloque Atenuador/Amplificador

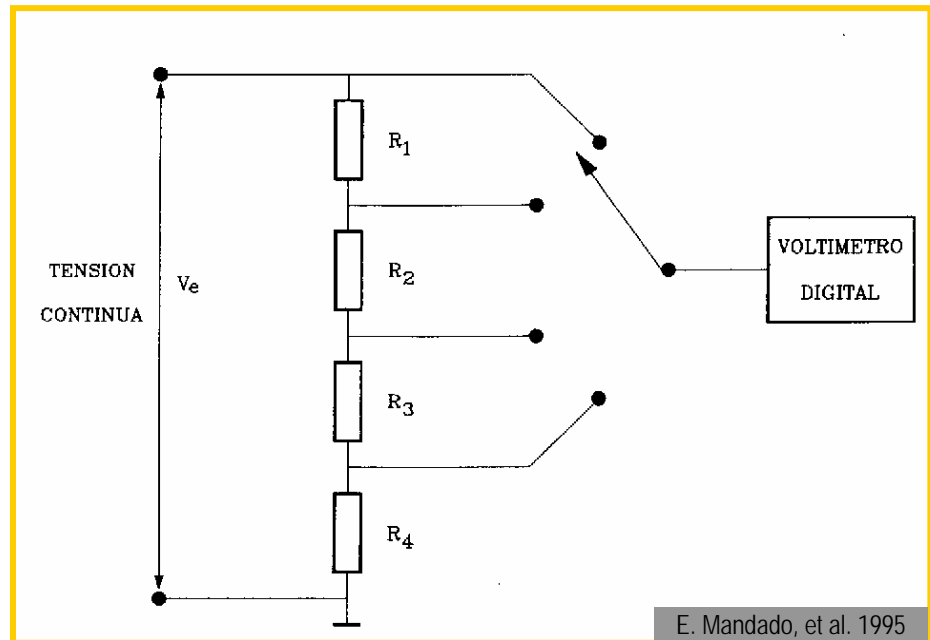
- **Bloque a** → El A/D tiene un margen de tensiones de entrada limitada:

- Amplificar (señales pequeñas) ⇒ **Amplificador (Tema 3)**
- Atenuar (señales grandes) ⇒ **Atenuador**



Atenuador

- Establece la **Impedancia de Entrada** (Z_{in}) del instrumento total (del DMM)
(debe ser elevada)
- Sirve para:
 - Dar **protección al DMM** contra *sobretensiones* o *sobrecorrientes*
 - Fija el **valor máximo de la señal** aplicada al A/D (el que corresponde a la salida del A/D del tipo 11.....1)
- Los atenuadores son *atenuadores resistivos* (no se utilizan capacidades)



Esquema típico de un atenuador de entrada → **Voltímetro de continua digital con varias escalas**

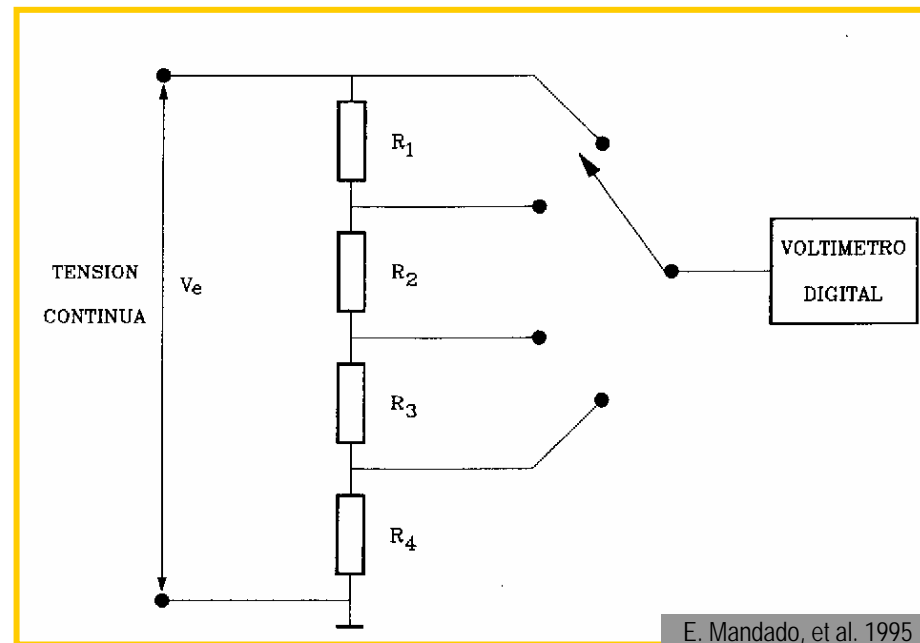
Tema 2: Ejemplo de Atenuador de entrada

■ Ejemplo:

- Calcular R_1 , R_2 , R_3 y R_4 , si queremos tener 4 escalas de 0.2 V, 2 V, 20 V y 200 V
- Sabiendo que el rango del conversor A/D es de 0 - 0.2 V.
- Recordar que la Impedancia de entrada del voltímetro digital debe ser muy elevada

(idealmente infinita para que no entre corriente)

- Nótese que la corriente que circula a través de las resistencias es siempre la misma independientemente de la posición del interruptor.



Tema 2: Conversión Corriente-Tensión

Bloque c → Conversión a tensión continua:

c.1 Conversión de corriente a tensión continua:

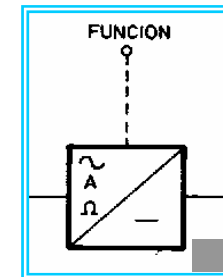
- Se conectaría el conversor I-V antes del voltímetro digital

Amperímetro de corriente continua

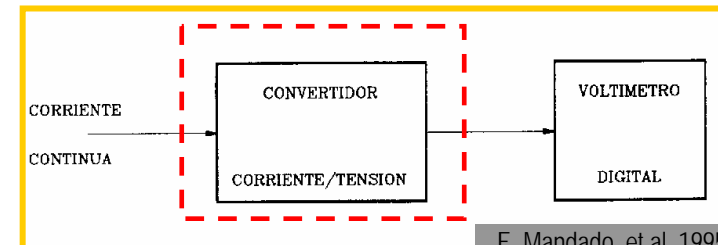
Conversores Corriente / Tensión

- Basados en resistencias paralelas con la corriente a medir
- El valor de R se selecciona mediante el cortocircuito de los contactos adecuados de manera que la máxima tensión de salida sea:
 - La misma para **distintas escalas de I** ($V_{in}=0.2$ V).
 - Coincida con la que admite el A/D
 - Incluye la atenuación por las diferentes resistencias
 - Los diodos D_1 y D_2 y el fusible F protegen el convertidor contra sobretensiones.

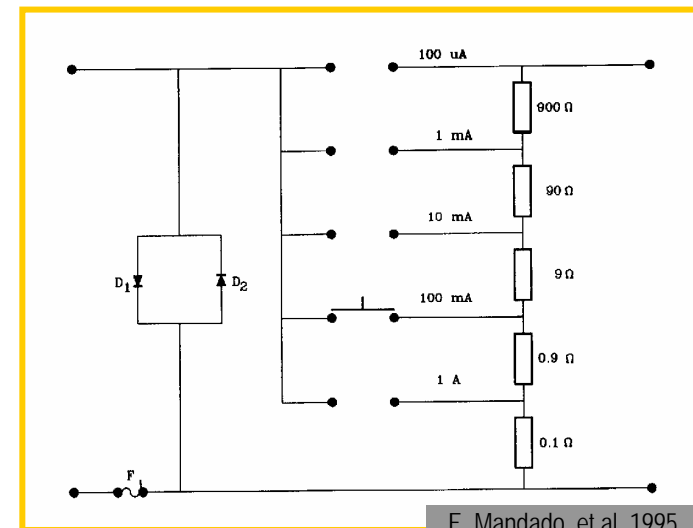
mjmm@usal.es



R. Pallás. 1987



E. Mandado, et al. 1995



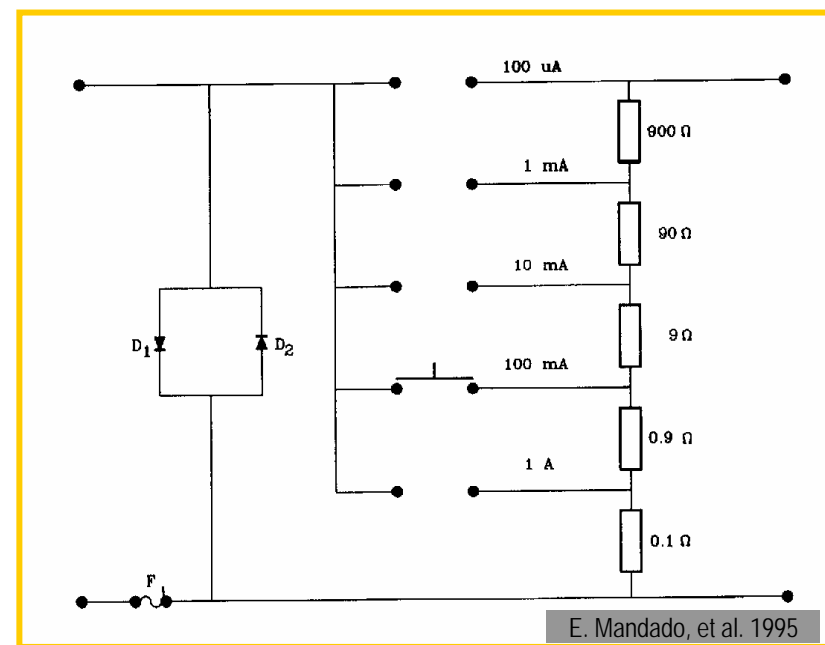
E. Mandado, et al. 1995

Ejemplo de conversor I-V →
Amperímetro

Tema 2: Ejemplo de Conversión I-V

■ Ejemplo:

- Supongamos que el rango del conversor A/D (la máxima tensión de salida) es de 0 - 0.2 V.
- Calcular **las escalas de corrientes en cada rama** teniendo en cuenta los valores de las resistencias
 - La manera de convertir $I \rightarrow V$ es dejar pasar corriente por la rama que circula la corriente de interés
 - De ese modo se selecciona el valor de R (cortocircuito de los contactos adecuados)
- La diferencia con el atenuador es la **Impedancia de entrada Z_{in}**
 - Z_{in} es baja pues las resistencias son bajas
 - Z_{in} varía de unas escalas de corrientes a otras

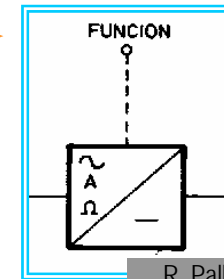


Tema 2: Conversión Resistencia – Voltaje

■ Bloque c → Conversión a tensión continua:

■ c.2 Conversión de resistencia a tensión continua.

Ohmetro

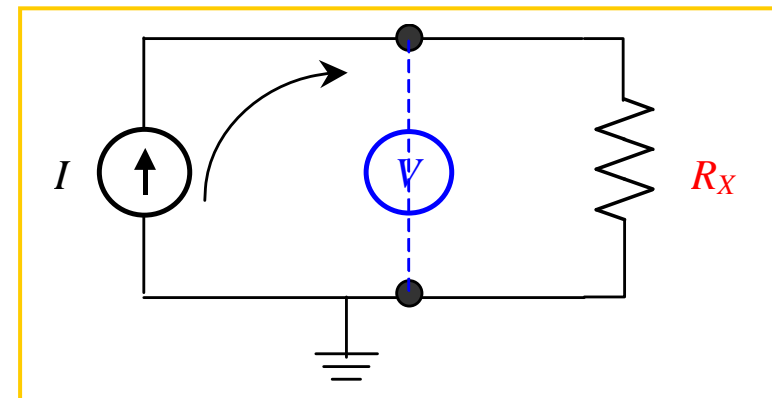


R. Pallás. 1987

■ Para convertir un valor de R a un voltaje **dc** para que lo acepte el A/D, nos basamos en la Ley de Ohm. Tenemos dos posibilidades

■ (a) Hacemos pasar una corriente:

- Constante y conocida con precisión: I
- Variable según el margen de las resistencias a medir
- Se mide la caída de potencial (V_m), en la resistencia incógnita (R_x), en paralelo mediante un voltímetro



Ejemplo 1 de conversor R-V →
Ohmetro

$$R_x = \frac{V_m}{I}$$

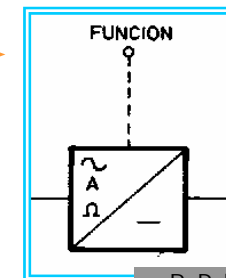
Nota: La impedancia de entrada del voltímetro es infinita.

Tema 2: Conversión Resistencia – Voltaje

■ **Bloque c** → Conversión a tensión continua:

■ **c.2** Conversión de **resistencia** a **tensión continua**:

Ohmetro



R. Pallás. 1987

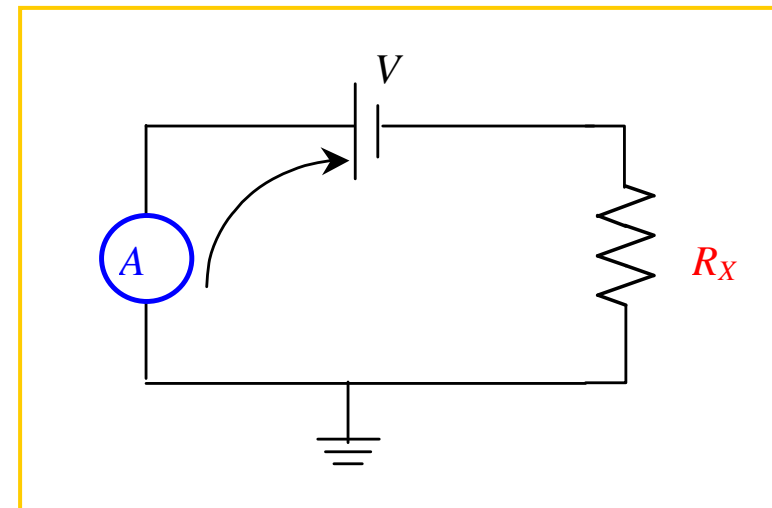
■ Otra Posibilidad

■ **b)** Se aplica una tensión

■ Constante y conocida de continua: V

■ Se mide la corriente que circula I_m mediante un amperímetro (en serie)

$$R_x = \frac{V}{I_m}$$



Ejemplo 2 de conversor R-V →
Ohmetro

Nota: La impedancia de entrada del amperímetro es muy baja (prácticamente nula).

mjmm@usal.es

Maria Jesús Martín Martínez

Tema 2: Conversión Resistencia – Voltaje

Ohmetro

¿Cuál es la diferencia principal para elegir un el montaje tipo **a** o el **b**?

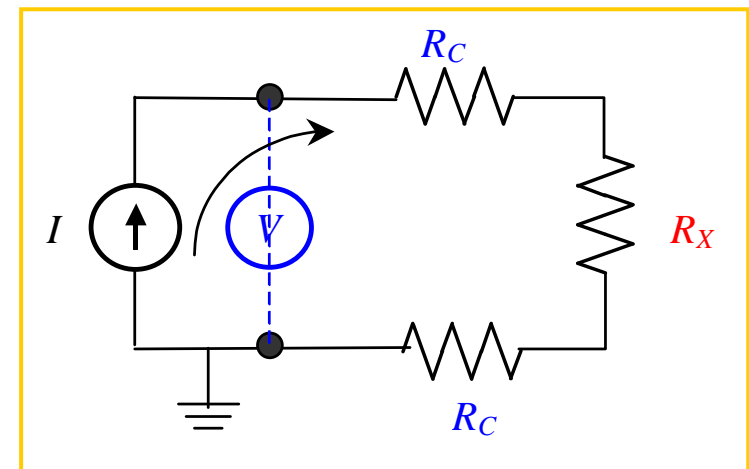
- Depende de los valores de R_x
- El caso **a**) es adecuado para medir valores de R_x pequeñas \Rightarrow no influye la R_{in} del voltímetro (alta pero no nula) en el valor de R_x
- El caso **b**) es adecuado para medir valores de R_x muy elevadas \Rightarrow se minimiza el impacto de la R_{in} del amperímetro

■ **PROBLEMA:** Para medir valores de R_x tan pequeñas (montaje **a**), que las resistencias de los cables (R_C) son del orden del valor de R_x

- En este caso, el voltaje que mediríamos sería

$$V_m = I(R_x + 2 R_C)$$

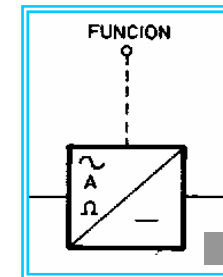
- R_C aquí sería del orden de R_x , por lo que influye en el valor medido.



Ejemplo 3 de conversor R-V \rightarrow
Ohmetro con R_x muy pequeña

Tema 2: Conversión Alterna – Continua

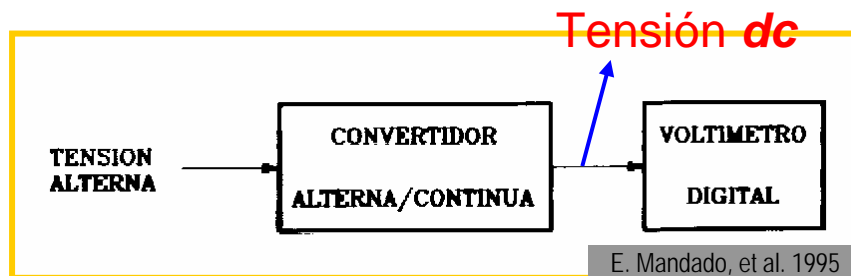
■ Bloque c → Conversión a tensión continua:



R. Pallás. 1987

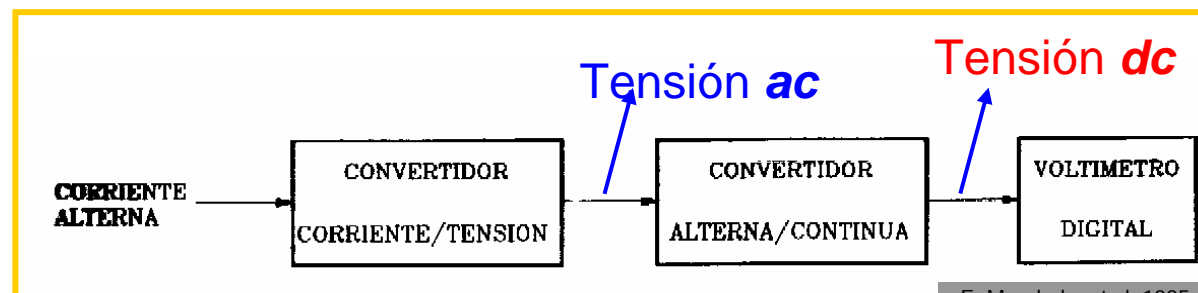
■ Conversión de alterna a continua:

- Hasta ahora hemos visto como obtener un Amperímetro o un Voltímetro de **dc**.
- Pero para poder realizar la medida de voltajes o corrientes de alterna, necesitamos los conversores de **alterna** → **continua**
- El diagrama de bloques es el que se muestra en la figura



E. Mandado, et al. 1995

Voltímetro de “ac” digital



mjmm@usal.es

E. Mandado, et al. 1995

Amperímetro de
“ac” digital

Jaés Martín Martínez

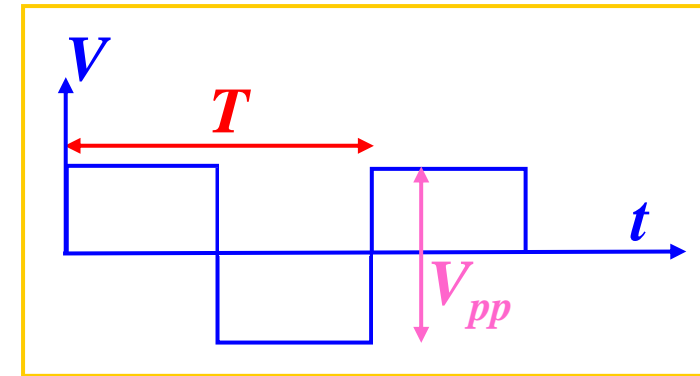
Tema 2: Conversión Alterna – Continua

■ Características de magnitudes de **dc** y **ac**

■ Caso de **tensión, corriente** de **dc** →

Está caracterizada por dos parámetros:

- Su magnitud
- Su polaridad → Ejemplo: $\pm 5 \text{ V}$



■ Caso de **tensión, corriente** de **ac** → Debemos saber en primer lugar si son periódicas. De ser así, los parámetros que las caracterizan son:

- Frecuencia, Forma (triangular, cuadrada, etc.)
- Valor pico a pico: de voltaje, V_{pp} , valor de pico de corriente, I_{pp}
- Valor medio: V_m (media temporal)

→
$$V_m = \frac{1}{T} \int_0^T |V(t)| dt$$

- **Valor eficaz**, V_{eff} , o Valor **r m s**, V_{rms} (valor cuadrático medio: *root mean square*)

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

Valor de una tensión **dc** que produzca la misma cantidad de energía que la **ac** (en el mismo tiempo)

Tema 2: Conversión Alterna – Continua

- **Clasificación** de **los voltímetros de alterna** en dos tipos diferentes:

- **1. Multímetros digitales de valor medio** → Son los voltímetros de uso cotidiano. Funcionan de la siguiente manera

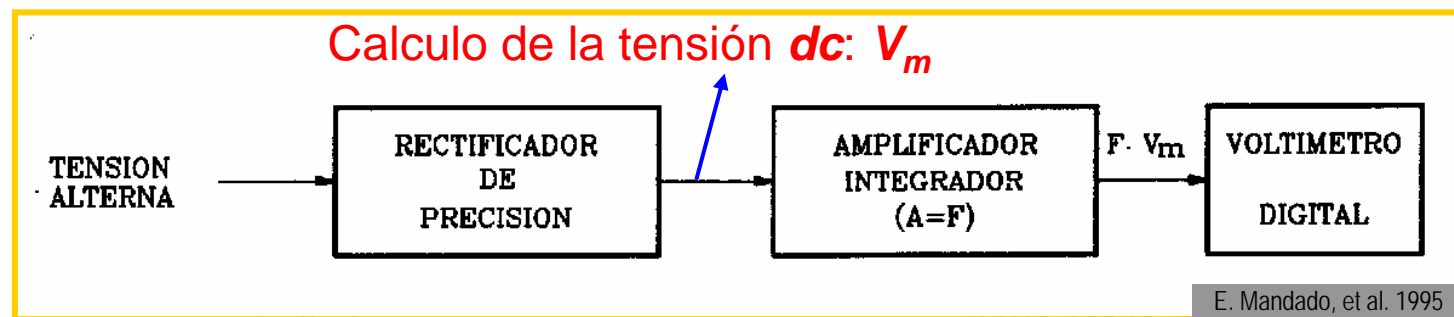
- Para cada tipo de señal a medir (triangular, cuadrada o sinusoidal) proporcionan un voltaje **dc** (valor medio de la magnitud alterna) → miden V_m

Este valor medio se consigue mediante la rectificación de la onda

- Posteriormente, sabiendo que para cada señal que hay una relación entre el V_m y el V_{rms} , el valor medio se convierte en valor eficaz

Se realiza multiplicando el V_m por el FACTOR DE FORMA (relaciona el V_m y el V_{rms} , y depende del tipo de señal)

- El diagrama de bloques de este Multímetro digital de valor medio:

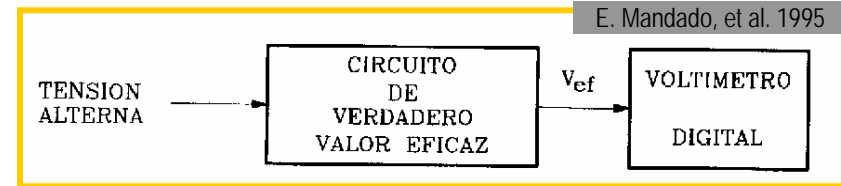


mjmm@usal.es

Tema 2: Conversión Alterna – Continua

■ 2. Multímetros digitales de valor eficaz = **TRUE RMS**

- Son más caros
- Sirven para cualquier señal **ac**
- Estos pueden ser de dos tipos:



- El primer tipo se basa en la definición → **Valor eficaz es el valor de una tensión **dc** que produzca la misma cantidad de energía que la **ac** en el mismo tiempo.**

- Emplea dos termoelementos → una termopila y una resistencia de calefacción, **aislados eléctricamente, pero con buen acoplamiento térmico**
- La tensión **ac** de entrada calienta uno de los dos, mientras que el otro es calentado hasta alcanzar la misma temperatura, a base de aplicarle una tensión **dc** generada internamente y que se mide con precisión.
- Su respuesta es lenta (del orden de 1 s o más)

- Otro tipo se basa en circuitos analógicos que realizan los **cálculos indicados por la definición matemática mediante un circuito integrado híbrido,**

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

- Calculan el cuadrado de la señal, obtienen la integral y realizan la raíz cuadrada).
- Han sido posible gracias a los avances de la microelectrónica
- Son más baratos y con mayor margen dinámico que los térmicos, pero con mucho error si la entrada no es simétrica.

mjmm@usal.es

Maria Jesús Martín Martínez

Tema 2: Conversión Alterna – Continua

■ Características o **especificaciones** de los Multímetros

■ El margen de frecuencias → Admiten tanto tensiones ac como dc:

- Tensiones **ac**: habitual es de 30 Hz hasta 100 kHz
- Tiene un **conmutador a la entrada** (ac o dc)

■ La exactitud , sensibilidad, etc. (**Ver ejemplo**)

■ Normalmente llevan incorporados **funciones automáticas**

■ Indicación de polaridad → Signo – si el voltaje es negativo

- Posicionan automáticamente el punto decimal
- Indicación de sobrecarga

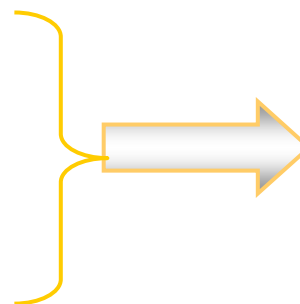
■ Los Multímetros que presentan capacidad de cálculo:

- Funciones de escalado
- Promedios de las medidas, multiplicación de relaciones
- Cálculo estadísticos: desviaciones estándar y en % de las desviaciones típicas
- Almacenamiento de valores máximo y mínimo

Tema 2: Medidores de Impedancia

- El Multímetro digital que hemos estudiado anteriormente, es un instrumento que permite realizar la medida de (V, I, R)
- Sin embargo, hay muchas aplicaciones en las que se necesita medir:

- La capacidad de un condensador
- La inductancia de una bobina
- Componentes resistivo y reactivo de montajes serie, paralelo



Medidores de
Impedancia

- La medida de impedancias no es muy usual
- No se ha beneficiado de los métodos digitales: no existen equipos de bajo coste y eficientes como los Multímetros

■ Impedancia eléctrica:

- Propiedad inherente a todos los materiales que describe la **oposición que ofrecen al flujo de corriente alterna a una frecuencia elevada**
- Se define a partir de la ley de Ohm:



$$Z = \frac{V}{I}$$

Tema 2: Medidores de Impedancia

■ Dado que las magnitudes V , I son alternas, tenemos diferentes tipos de impedancia:

■ Si hay elementos que almacenan energía (C , L), entonces V e I no están en fase
→ o lo que es lo mismo, al cesar un voltaje no cesa la corriente, sino que existe entre ambas un tiempo de retardo

■ Por ello Z se describe mediante un **nº complejo**:

$$Z = \frac{V}{I} \quad \Rightarrow \quad Z = |Z|(\cos \theta + j \sin \theta) = |Z| e^{j\theta} = R + jX$$

■ Siendo

■ $R(\omega)$: la **resistencia en alterna**, varía con la frecuencia → **Es responsable de la energía disipada**

■ $X(\omega)$: la **reactancia en alterna** (varía con la frecuencia) → **es responsable de la energía almacenada**

■ $|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$ → El módulo de Z

■ La Fase, θ , (desfase entre V e I)

$$\tan \theta = \frac{X}{R}$$

mjmm@usal.es


M. J. Martín Martínez


Tema 2: Medidores de Impedancia

■ CASOS PARTICULARES:

- Tenemos tres casos particulares que se comportan idealmente:

■ Resistencia pura :  $Z = R$

■ Inductancia pura:  $Z = j \omega L$ luego $X = \omega L$ y $R = 0$

■ Capacidad pura:  $Z = \frac{1}{j \omega C}$ luego $X = \frac{-1}{\omega C}$ y $R = 0$

- Normalmente, las impedancias no son tan sencillas, sino que están formadas por diferentes componentes que hacen su circuito equivalente más complicado.
- Ver ejemplos **de impedancias reales**

Tema 2: Medidores de Impedancia

■ Medidores de Impedancia

- Instrumentos que permiten la medida de uno o varios de los parámetros anteriores

- A una frecuencia fija
- En toda una banda de frecuencias.

- Existen dos tipos de medidores de impedancia:

- Los que miden por deflexión: Miden V e I , e internamente se realiza el cálculo $V/I \rightarrow$ no vamos a estudiarlos

- Los que miden por comparación \rightarrow **Puentes de Alterna**

- Se **compara la impedancia a medir con otra conocida** y ajustable mediante un circuito que tiene una relación conocida entre sus elementos cuando hay un cero en la salida
- La **exactitud** depende de la calibración y estabilidad de un dispositivo pasivo similar al medido
- La **sensibilidad** depende del detector de la diferencia entre ambos
- Actualmente este tipo de sistemas realiza la **medida** de forma bastante **rápida**

Tema 2: Medidores de Impedancia

■ Medidores de Impedancia por comparación

Puentes de Alterna

- Son una extensión del puente de Wheatstone, pero con impedancias en sus ramas en vez de resistencias y con alimentación de un oscilador en vez de una tensión constante de **dc**.

- Constan de:

- 4 impedancias conectadas en un montaje serie-paralelo
- Una fuente de alimentación **ac**
- Un detector de cero que mide entre los puntos **A** y **B** los desequilibrios de las corrientes a través de las dos ramas.

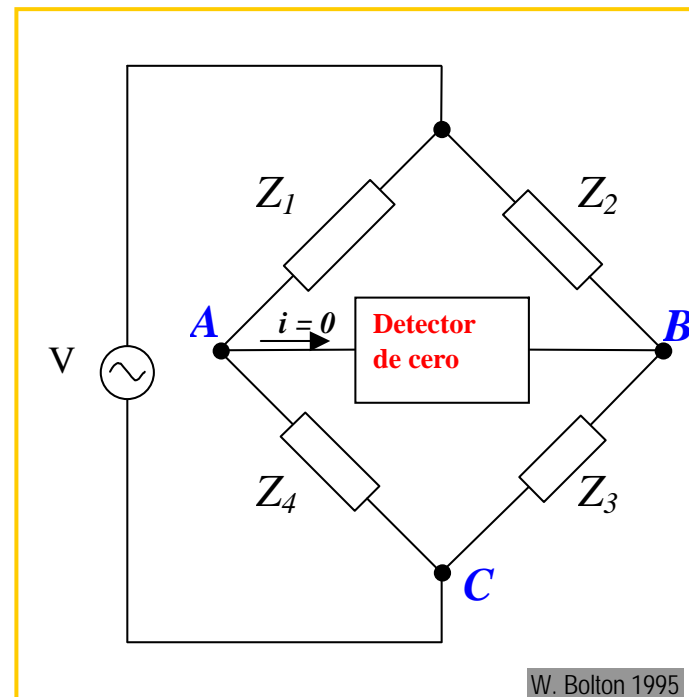
■ Condición de equilibrio del puente

→ no circula corriente entre **A** y **B** →

están a igual potencial

$$V_{AC} = V_{BC}$$

- Si sustituimos los voltajes, obtenemos:



$$V_{AC} = V \frac{Z_4}{Z_1 + Z_4} = V_{BC} = V \frac{Z_3}{Z_2 + Z_3}$$

Tema 2: Puentes de alterna

- Por tanto, podemos obtener la condición de puente equilibrado en función de las impedancias es: $\Rightarrow Z_2 Z_4 = Z_3 Z_1$

PUENTE EQUILIBRADO: Producto de impedancias situadas en ramas opuestas es el mismo (**tanto en módulo como en fase**)

- Si sustituimos las impedancias por su forma compleja, obtenemos dos ajustes para llegar al equilibrio:

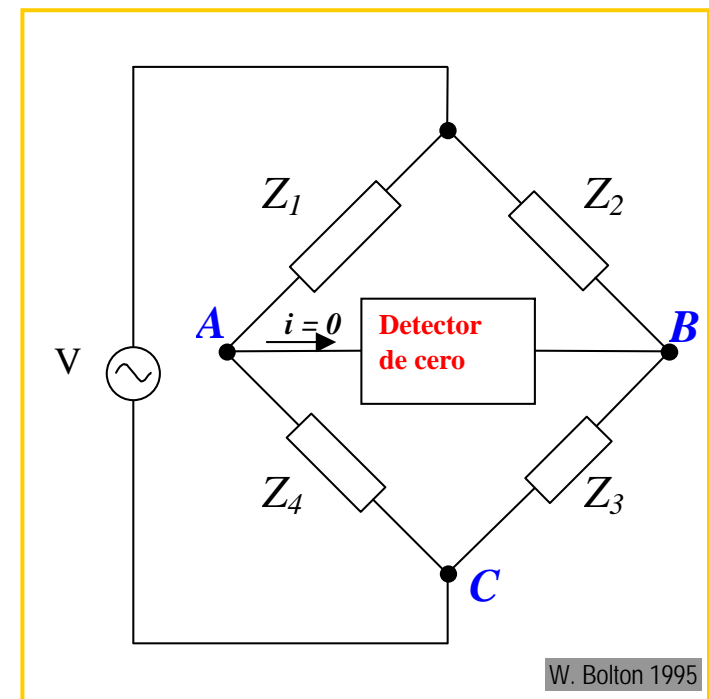
- **Condición 1:** : Producto de módulos de impedancias opuestas

$$|Z_2| |Z_4| = |Z_3| |Z_1|$$

- **Condición 2:** : Suma de fases de impedancias de ramas opuestas

$$\theta_2 + \theta_4 = \theta_3 + \theta_1$$

mjmm@usal.es



Maria Jesús Martín Martínez

Tema 2: Puentes de alterna

■ 1. Puente de Maxwell (A)

■ Se utiliza principalmente para medir **inductancias**, L_x , que tienen un factor de calidad Q de valor **bajo**.

■ La incógnita es L_x (con resistencia asociada del cableado R_x)

■ Se mide conociendo el valor de tres resistencias (R_1 , R_2 , R_4) y de una capacidad (C_1)

■ La impedancia incógnita

$$Z_x = \frac{Z_2 Z_4}{Z_1}$$

■ Con:

■ Z_1 es una impedancia en **paralelo** (R_1 y C_1)

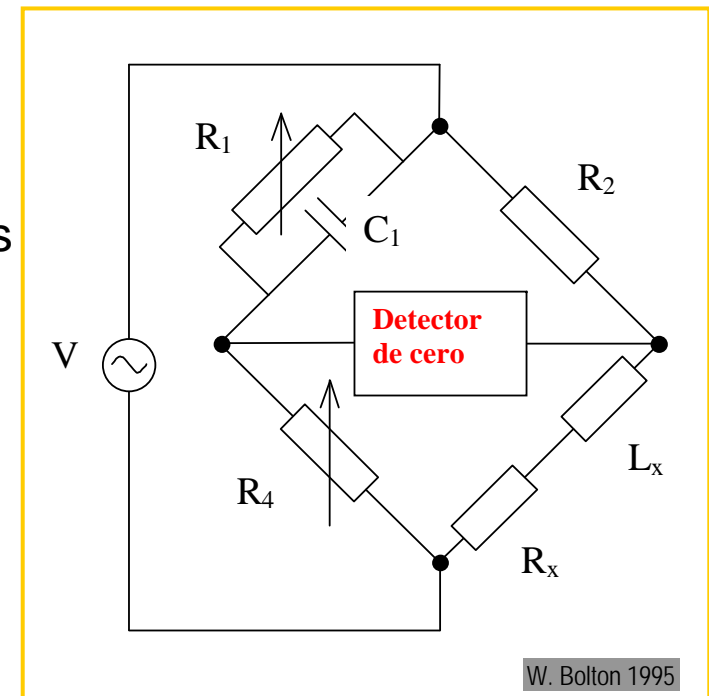
■ $Z_2 = R_2$

■ $Z_4 = R_4$

■ De donde se obtiene

$$Z_x = R_2 R_4 \left(\frac{1}{R_1} + j \omega C_1 \right)$$

mjmm@usal.es



ia Jesús Martín Martínez

Tema 2: Puentes de alterna

1. Puente de Maxwell (B)

- Si sustituimos los valores de las impedancias (hacer como ejercicio) , e igualando las partes reales e imaginarias obtenemos:

$$L_x = R_2 R_4 C_1$$

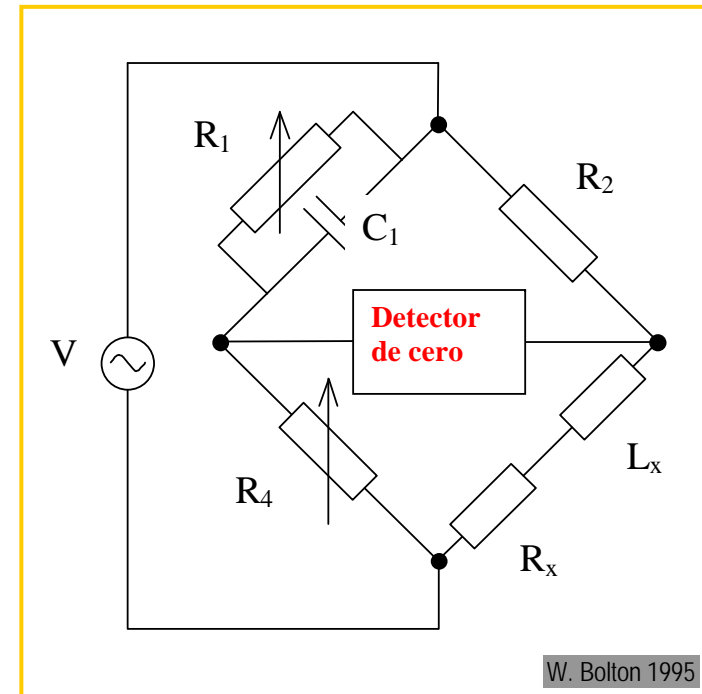
$$R_x = \frac{R_2 R_4}{R_1}$$

- Que en este caso no dependen de la frecuencia

- El factor de calidad, Q , de la **inductancia** :

$$Q = \frac{X}{R} = \frac{\omega L_x}{R_x} = \omega C_1 R_1$$

- Este puente se usa cuando Q toma un valor medio o medio- bajo $\Rightarrow 1 < Q < 10$



- De la condición de las fases:

- Teniendo en cuenta que $\theta_2 = \theta_4 = 0$

- Para **medir una L** debe tener en la rama opuesta una **C**:

$$\theta_1 = -\theta_3$$

Tema 2: Puentes de alterna

1. Puente de Hay (A)

■ Se utiliza principalmente para medir **inductancias**, L_x , que tienen un factor de calidad **Q muy elevado**.

- La incógnita es L_x (con resistencia asociada del cableado R_x)
- Se mide conociendo el valor de tres resistencias (R_1 , R_2 , R_4) y de una capacidad (C_1)
- C_1 en este caso en serie con R_1

■ La impedancia incógnita

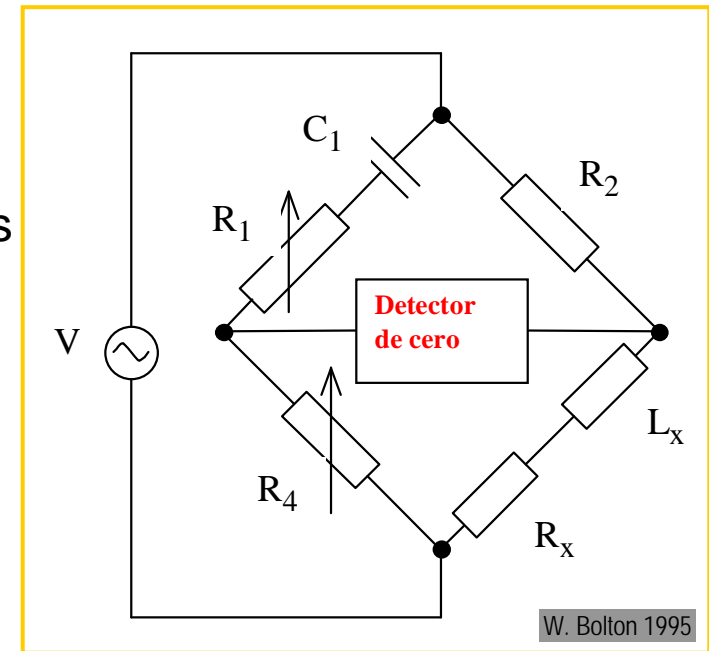
$$Z_x = \frac{Z_2 Z_4}{Z_1}$$

■ Con:

- Z_1 es una impedancia en **serie** (R_1 y C_1)
- $Z_2 = R_2$
- $Z_4 = R_4$

■ Se obtiene

$$Z_x = \frac{R_2 R_4}{R_1 + \frac{1}{j \omega C_1}} = \frac{(1 - j \omega R_1 C_1) j \omega R_2 R_4 C_1}{1 - \omega^2 R_1^2 C_1^2} = R_x + j \omega L_x$$



Tema 2: Puentes de alterna

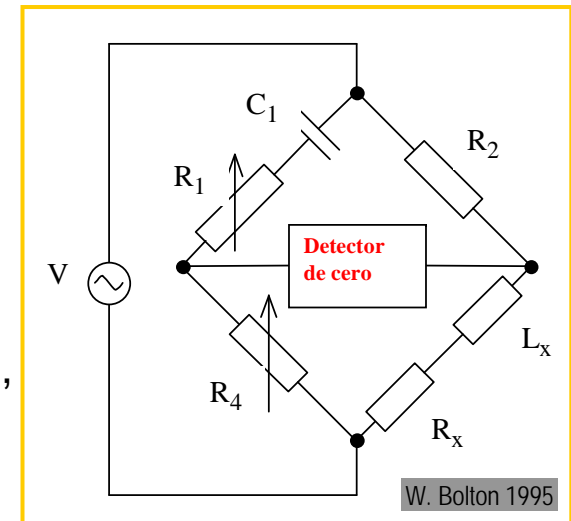
1. Puente de Hay (B)

- Igualando las partes reales e imaginarias obtenemos:

$$L_x = \frac{R_2 R_4 C_1}{1 + \omega^2 C_1^2 R_1^2}$$

$$R_x = \frac{\omega^2 C_1 R_1 R_2 R_4}{1 + \omega^2 C_1^2 R_1^2}$$

- R_x y L_x dependen de R_p , C_p como en el Puente de Maxwell,
- También de la frecuencia (ω) alterna de la señal aplicada al puente \Rightarrow extracción más complicada



- El factor de calidad, Q , de la **inductancia** : \Rightarrow
- Sustituyendo en L_x y R_x , en función de Q , obtenemos:

$$Q = \frac{X}{R} = \frac{\omega L_x}{R_x} = \frac{1}{\omega R_1 C_1}$$

$$L_x = \frac{R_2 R_4 C_1}{1 + \omega^2 C_1^2 R_1^2} = \frac{R_2 R_4 C_1}{1 + \frac{1}{Q^2}}$$

$$R_x = \frac{\omega^2 C_1 R_1 R_2 R_4}{1 + \omega^2 C_1^2 R_1^2} = \frac{R_2 R_4}{R_1 (1 + Q^2)}$$

- Este puente se usa cuando Q toma un valor muy elevado, así se elimina la dependencia con la frecuencia \Rightarrow

$$R_x \approx \frac{R_2 R_4}{R_1}$$

$$L_x \approx R_2 R_4 C_1$$

Tema 2: Puentes de alterna

1. Puente de Shering (A)

- Es uno de los puentes más importantes
- Se utiliza principalmente para medir **capacidades**, C_x , que tienen un factor de calidad **Q muy elevado**.
- La incógnita es C_x (con resistencia asociada del cableado R_x)
- Se mide conociendo el valor de dos resistencias (R_1 y R_2) y de dos capacidades (C_1 y C_4)

■ La impedancia incógnita

$$Z_x = \frac{Z_2 Z_4}{Z_1}$$

■ Z_1 es una impedancia en **paralelo** (R_1 y C_1), $Z_2 = R_2$ y $Z_4 = 1/j\omega C_4$

■ Se obtiene

$$Z_x = R_x + \frac{1}{j\omega C_x} = R_2 \left(\frac{1}{j\omega C_4} \right) \left(\frac{1}{R_1} + j\omega C_1 \right)$$

■ De donde:

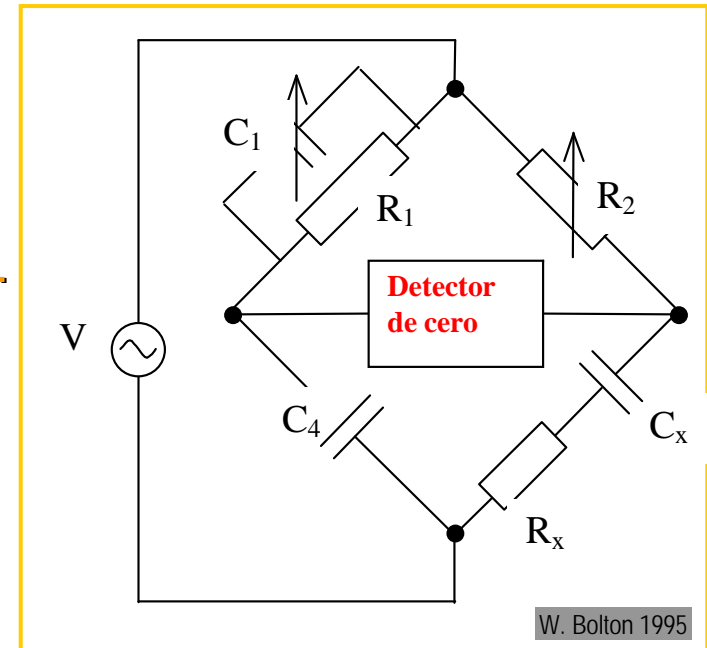
$$R_x = \frac{R_2 C_1}{C_4}$$

mjmm@usal.es

$$C_x = \frac{R_1 C_4}{R_2}$$

Independientes de la frecuencia

Maria Jesús Martín Martínez



W. Bolton 1995

- Bibliografía y figuras cortesía de

- R. Pallás, Instrumentación Electrónica. Marcombo, 1987.
- E. Mandado, P. Mariño y A. Lago, Instrumentación Electrónica. Marcombo. 1995.
- W. Bolton, Mediciones y pruebas eléctricas y electrónicas. Marcombo, 1995,
- PROMAX. www.promax.es.
- Manual del osciloscopio digital Tecktronix TDS 220. www.tektronix.com.