

# Asignatura

- Introducción: TEB
- Método Científico
- Errores
- Instrumentación
- Análisis Dimensional

Prácticas

# Examen Final:

## Técnicas Experimentales Básicas

### 28 de Junio de 2006

- 2. El profesor les mostrará un instrumento. Determine qué magnitud se mide con él y qué error presentarán las medidas. Explique su modo de funcionamiento y la base del mismo. Finalmente, sugiera un nombre para dicho instrumento.

# Técnicas Experimentales Básicas

## Lección 4: Instrumentación

# Esquema

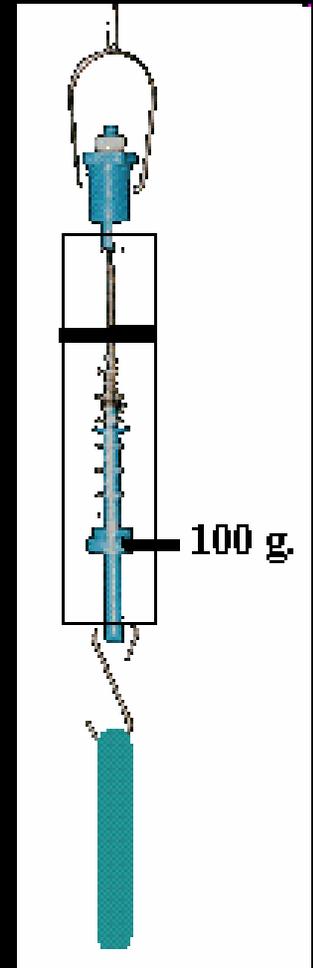
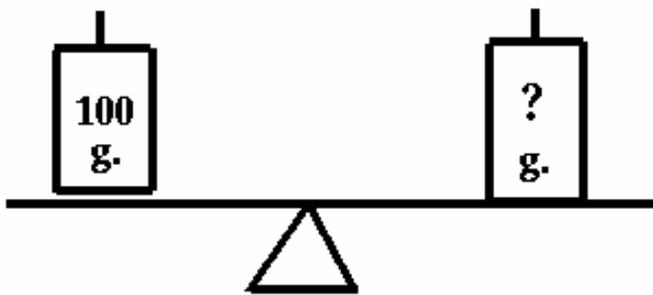
- Puntos clave en cuanto a la instrumentación
  - Lo que mide
    - Lo que se puede evaluar
    - ¿Cuál es la relación entre lo que mide y lo que quieres determinar?
  - Sensibilidad y error
  - Respuesta dinámica
  - Calibración
- Unos instrumentos importante en la física

# Lo que mide un instrumento

- Muchas veces, determinamos una cantidad a partir de otra que se mide fácilmente
- Ejemplos comunes

<b>Queremos saber</b>	<b>Medimos</b>
Presión	Altura columna mercurio
Temperatura	Altura columna alcohol (o Hg)
Densidad	Masa/Volumen
Velocidad coche	Frecuencia (corrimiento Doppler)

# La Balanza



# Sensibilidad

- Valor mínimo de la magnitud que es capaz de *diferenciar* un aparato.
- Indicada por el valor de la división más pequeña en la escala mínima de medida
- Relacionado con la *precisión* del instrumento - a definir en la lección 3 (errores)
- Por ejemplo: no se usa un metro (sensibilidad=1mm) para medir la anchura de un pelo humano.

# Sensibilidad de un metro



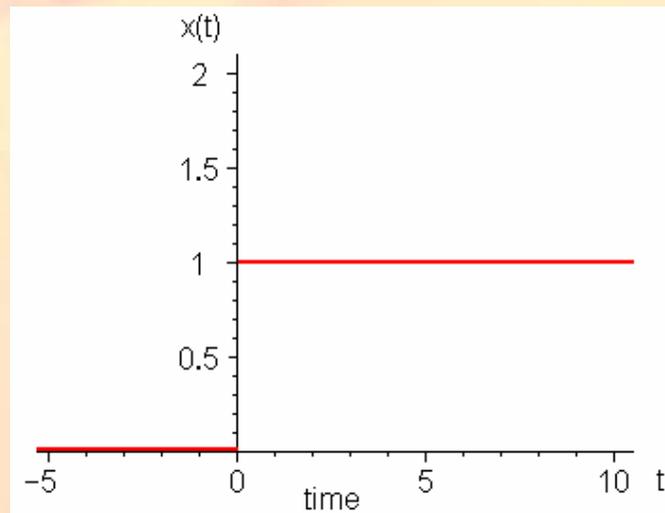
# Sensibilidad



**¿Error?**

# Respuesta dinámica

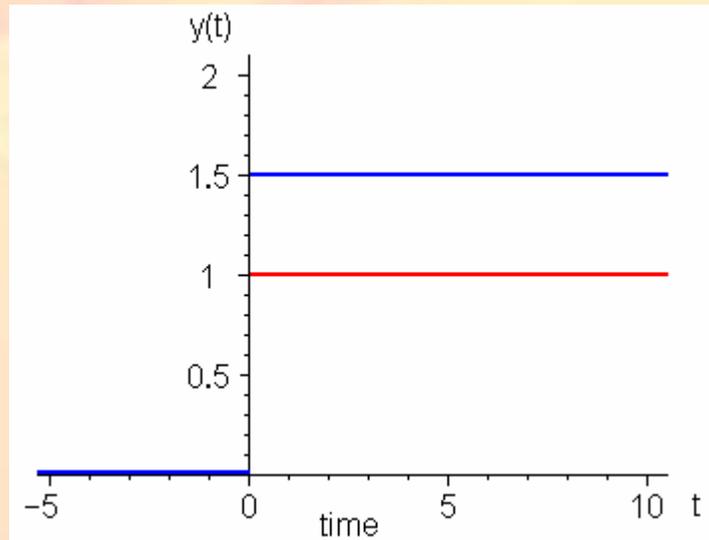
- Un señal  $x(t)$  puede sufrir un cambio instantáneo de un valor a otro



- La respuesta de un instrumento  $y(t)$  no suele ser tan ideal

# Instrumento de orden cero

- Para un instrumento de orden cero,  $y(t) = K x(t)$



- Aquí,  $K = 1.5$  (no muy bien)
- Sin embargo, un instrumento de orden cero es casi ideal (si  $K = 1$ ), porque su respuesta dinámica es perfecta

# Instrumento de orden uno

- En realidad, raramente encontramos un instrumento de orden cero
- Un instrumento de orden uno tiene *memoria*.

- Si tenemos un señal 
$$x(t) = 0 \quad t < 0$$
$$x(t) = K \quad t \geq 0$$

- La respuesta de un instrumento de orden uno se puede modelizar así

$$\tau \frac{dy}{dt} + y(t) = K$$

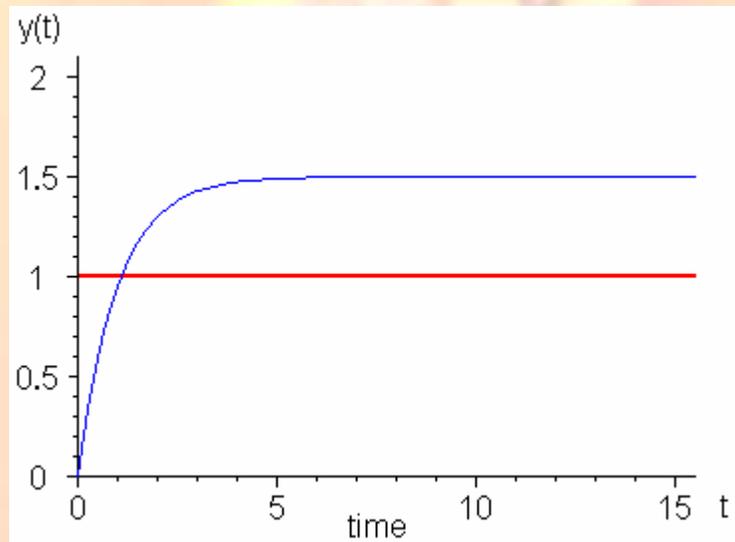
- Si  $y(0) = 0$ , la solución es

$$y(t) = K \left[ 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right]$$

# Instrumento de orden uno

- Respuesta dinámica de un instrumento de orden uno, con  $K=1.5$

$$y(t) = K \left[ 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right]$$



# Instrumento de orden dos

- Un instrumento de orden dos tiene *memoria* y *inercia* también.
- Para el mismo señal:

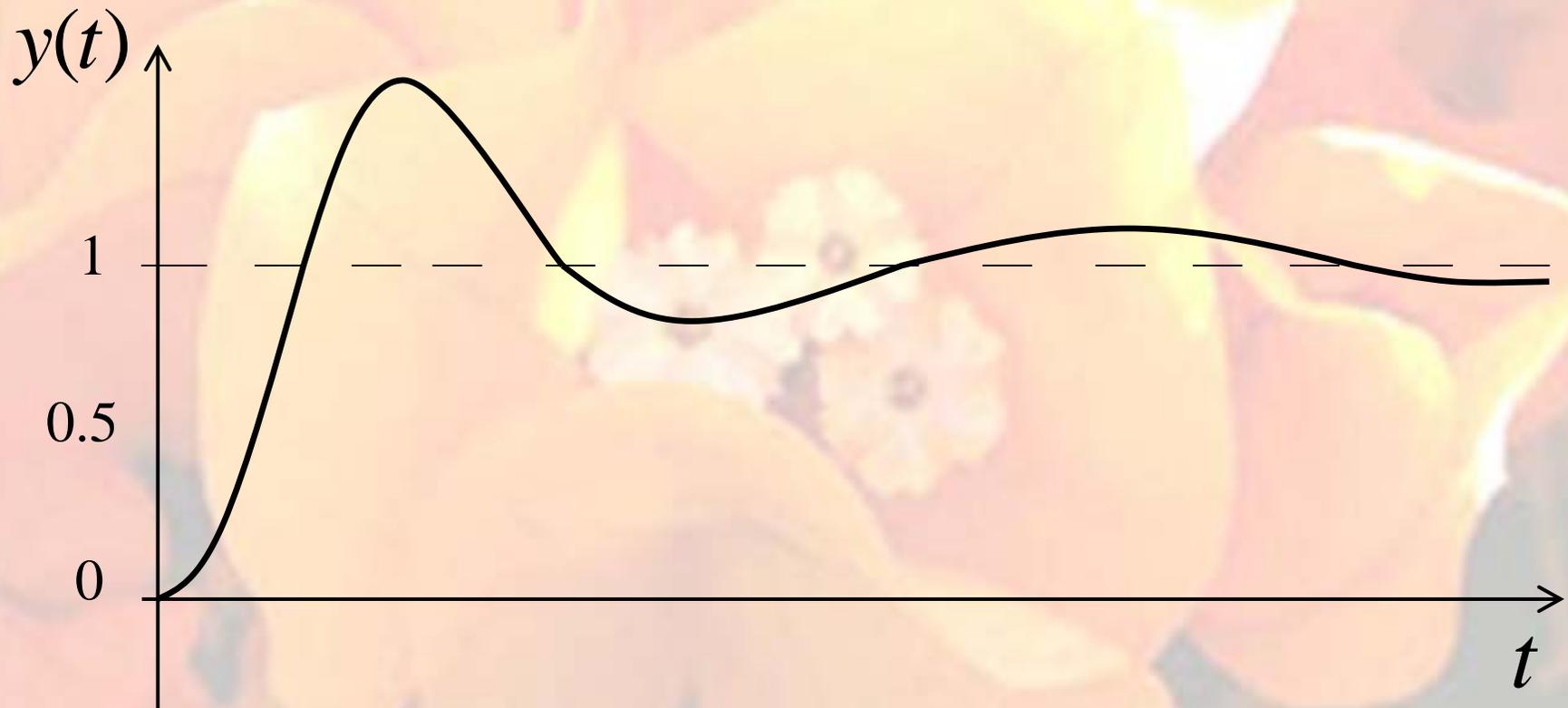
$$x(t) = 0 \quad t < 0$$

$$x(t) = K \quad t \geq 0$$

- La respuesta es la solución de la ecuación

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 2\varpi\rho \frac{dy}{dt} + \varpi^2 y(t) = K\varpi^2$$

# Instrumento de orden dos



# Instrumento de orden dos

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 2\omega\rho \frac{dy}{dt} + \omega^2 y(t) = K\omega^2$$

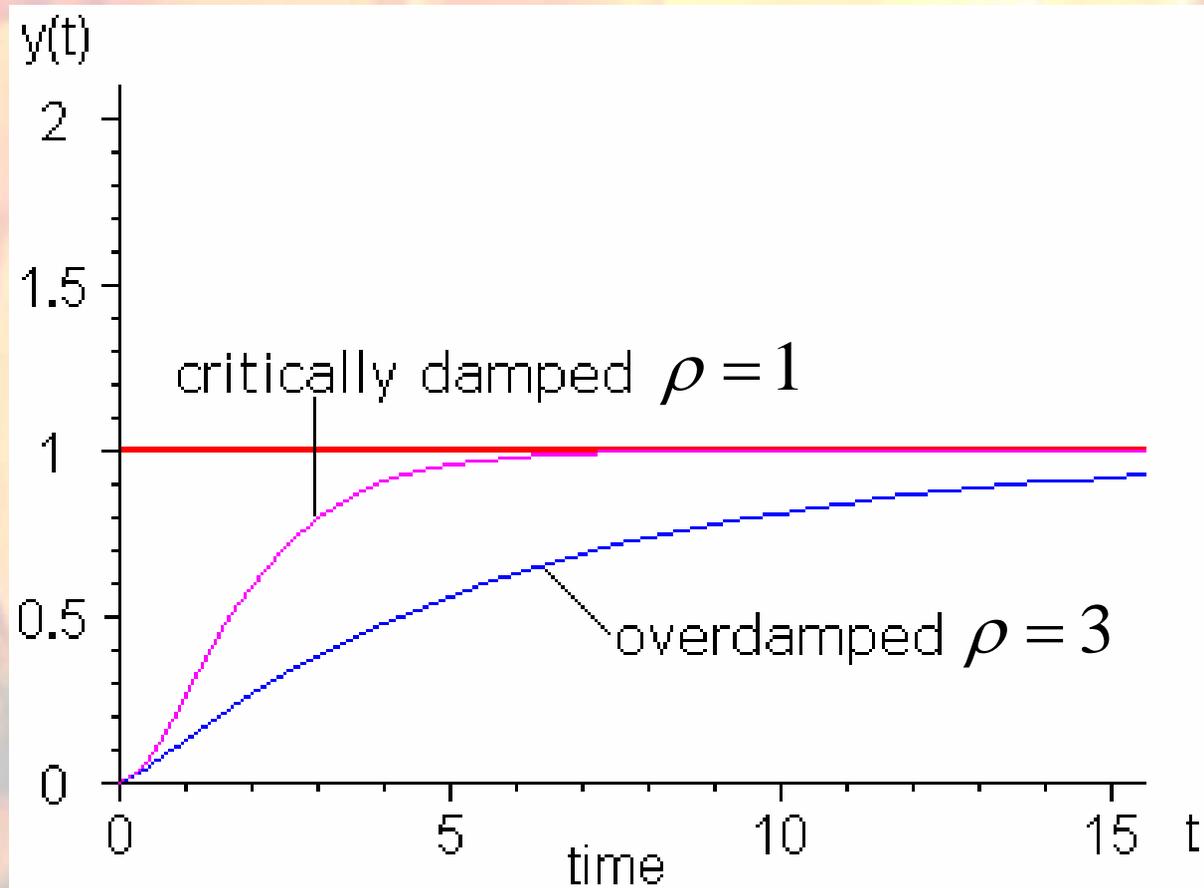
- Los parámetros de la ecuación son  $\omega$  como  $\tau$  en el caso de orden uno (memoria), pero el inverso  $\rho$  amortiguamiento (como el inverso de la inercia)

$0 < \rho < 1$	débilmente amortiguado
$\rho = 1$	críticamente amortiguado
$\rho > 1$	sobreamortiguado

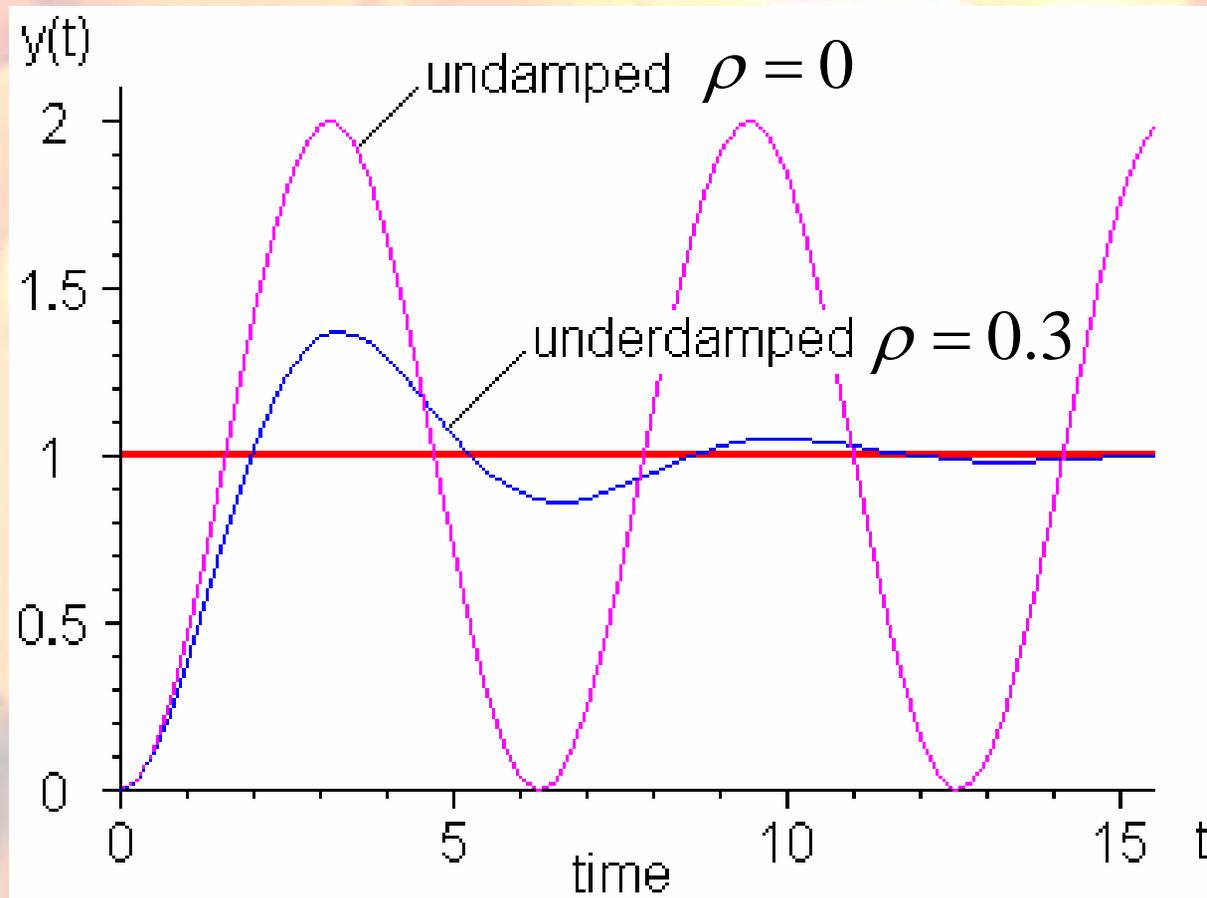
Con condiciones iniciales  $\left\{ \begin{array}{l} y|_{t=0} = 0 \\ \left. \frac{dy}{dt} \right|_{t=0} = 0 \end{array} \right\}$  y con  $\rho = 1$ , la solución es

$$y(t) = K \left[ 1 - (1 + \omega t) e^{-\omega t} \right]$$

# Instrumento de orden dos



# Instrumento de orden dos



# Instrumento de orden dos

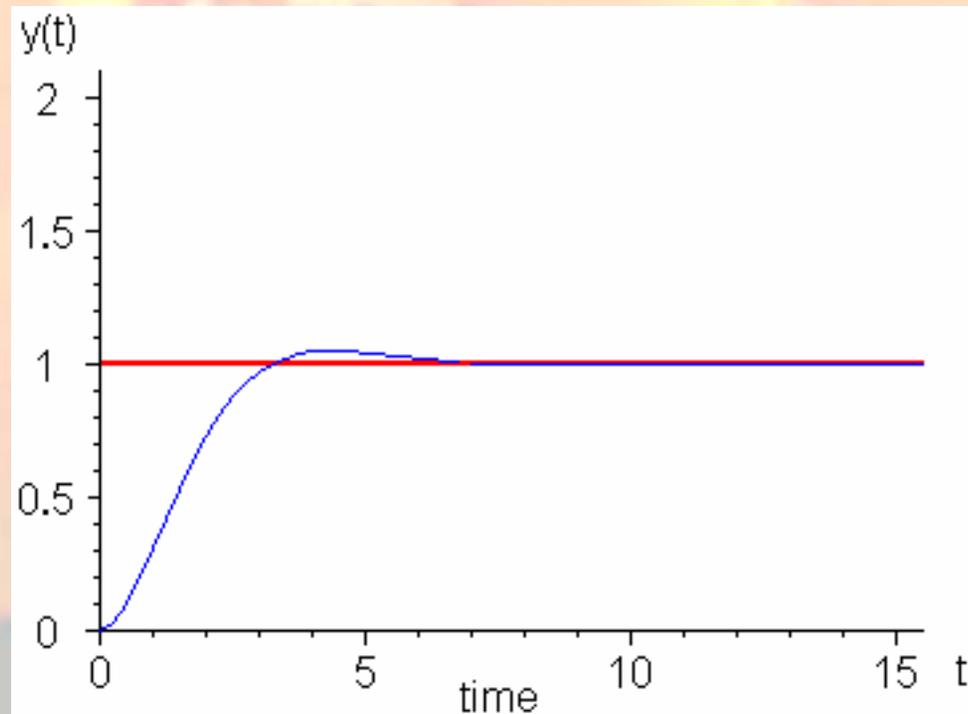
- La salida del instrumento se acerca al cambio instantáneo de valor más rápido cuando se le permite sobrepasar un poco dicho valor

$$\rho = 1$$

críticamente amortiguado

$$\rho = 0.69$$

**óptimamente amortiguado**



# Calibración

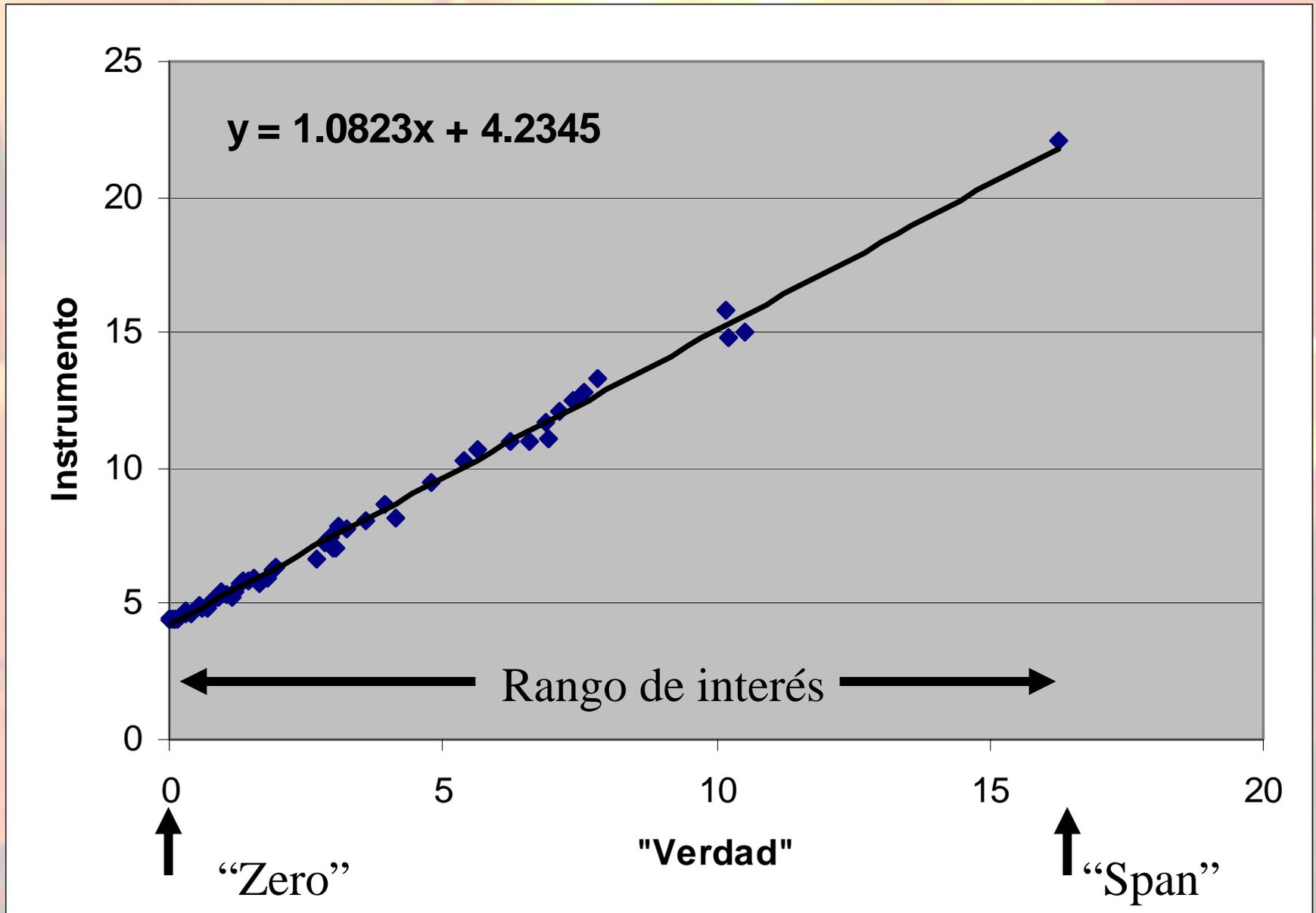
- Etapas para calibrar un instrumento
  - Comprobarle el cero (corte con el eje X)
  - Determinar su respuesta a un estándar conocido
    - Otro instrumento
    - Cantidad conocida
  - Determinar pendiente de ajuste lineal
  - SUPONE UNA RESPUESTA LINEAL

**Cero**



**Error sistemático**

# Calibración

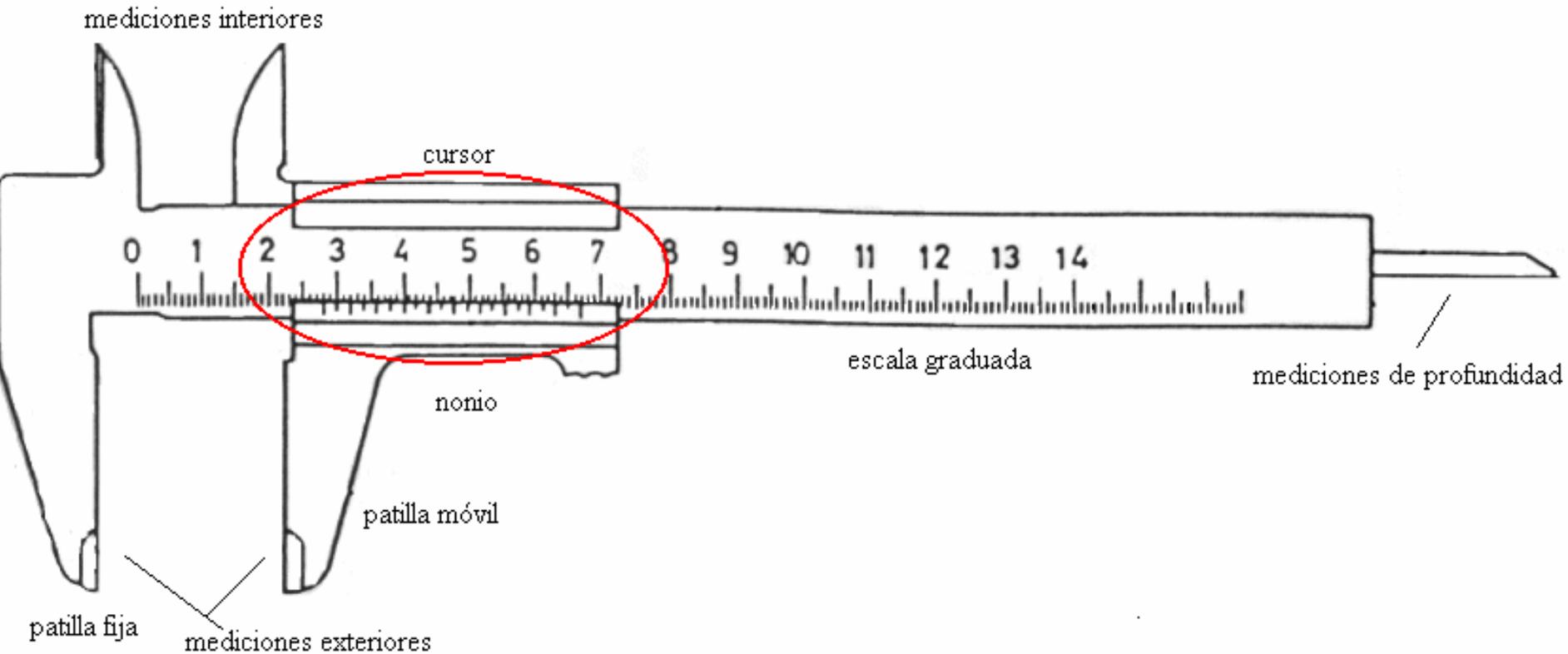


# Unos Instrumentos Clásicos

- Longitud (metro, **nonius**, **tornillo micrométrico**, esferómetro, Catetómetro )
- Tiempo y velocidad (**cronómetro**, **osciloscopio**)
- Resistencia (**Puente de Wheatstone**)
- Masa/Fuerza (balanza, **Balanza de Mohr-Westphal**)
- Temperatura (termómetro, **termopar**, **termistor**)
- Presión (aparato ley de gases, **Tubo de Pitot**, **Tubo de Venturi**)
- Electricidad (**Polímetro**)

¿Qué se mide de verdad?  $\leftrightarrow$  ¿Qué se determina?

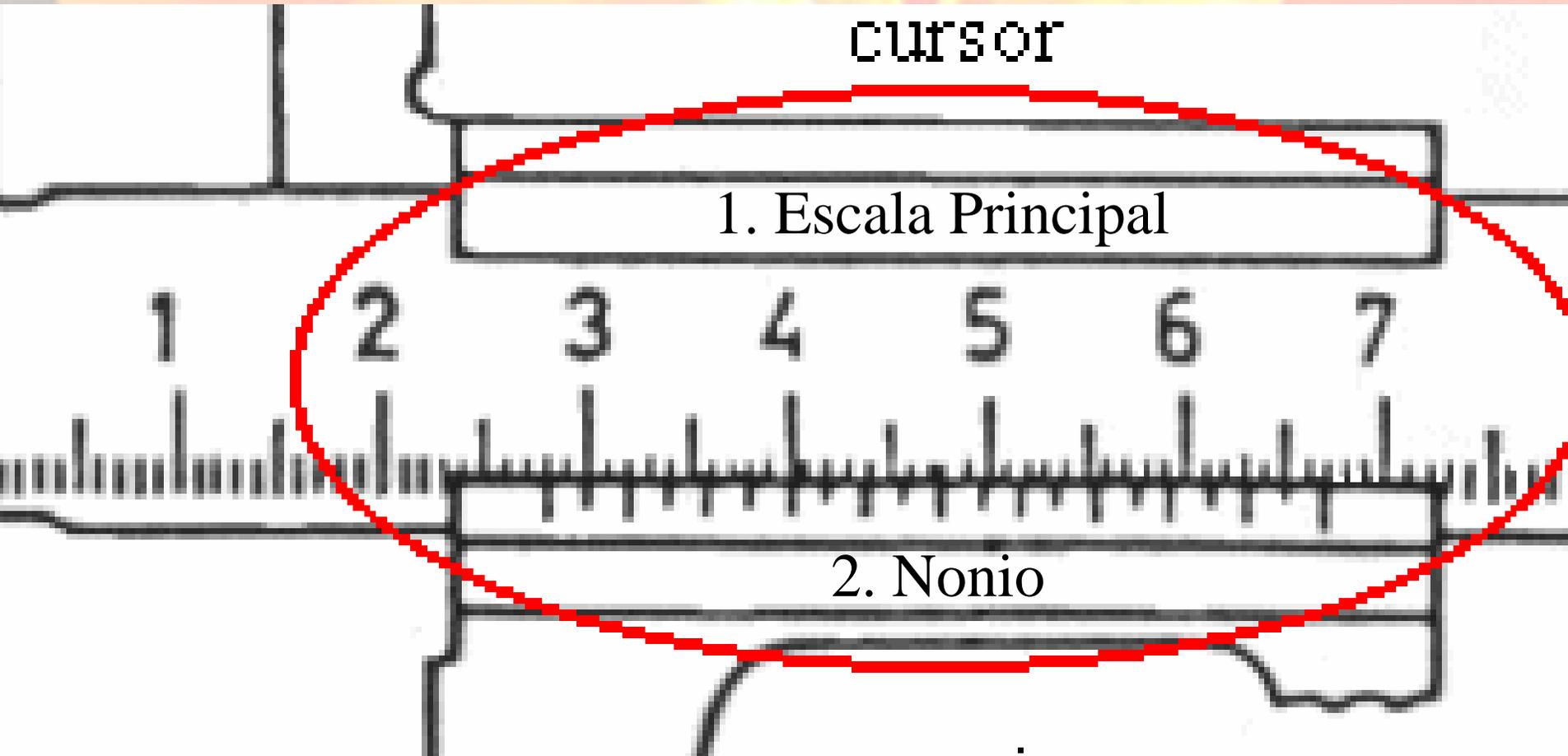
# El nonius (calibre de Vernier)



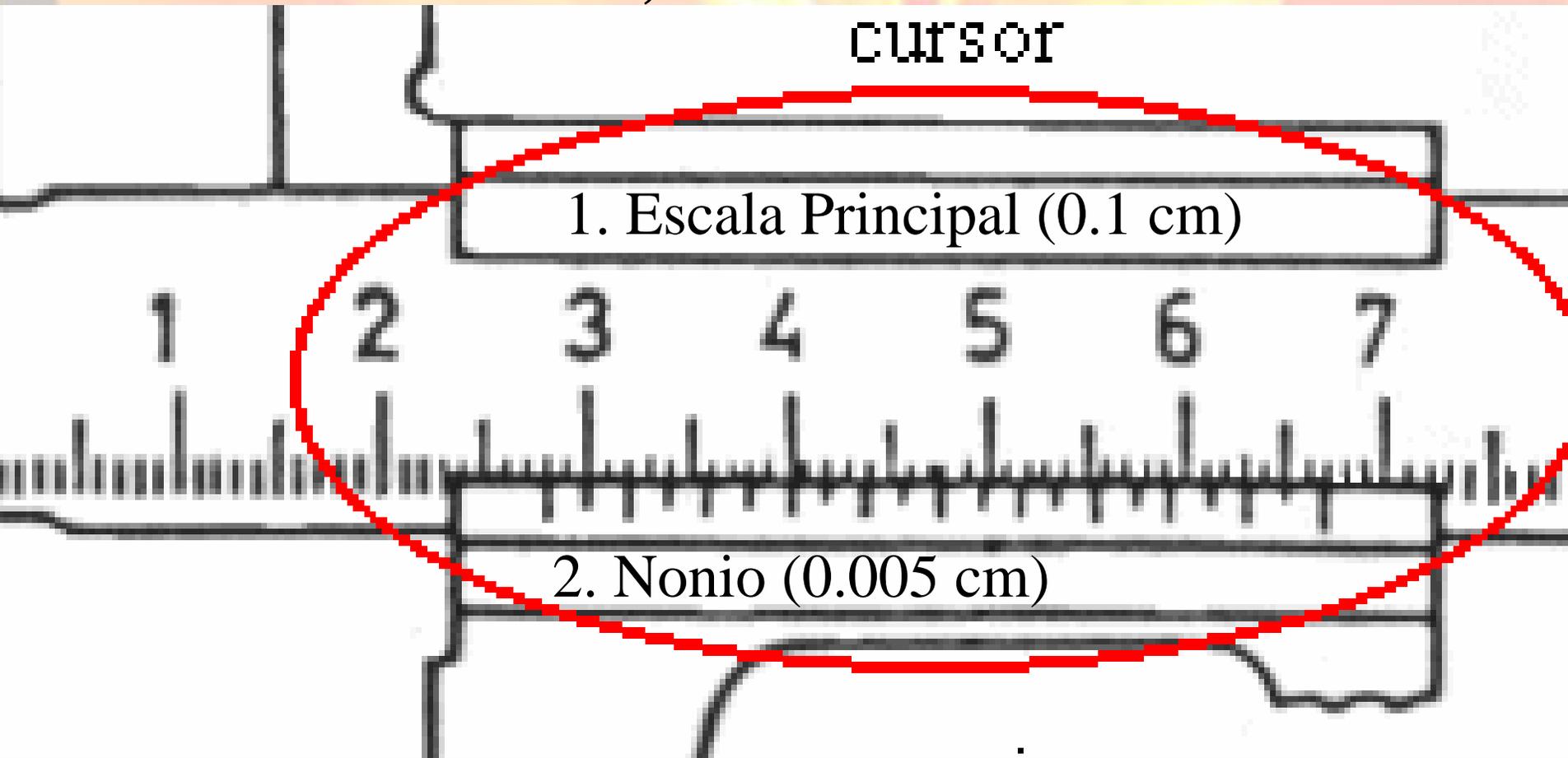
**Pierre Vernier (1584-1638)**

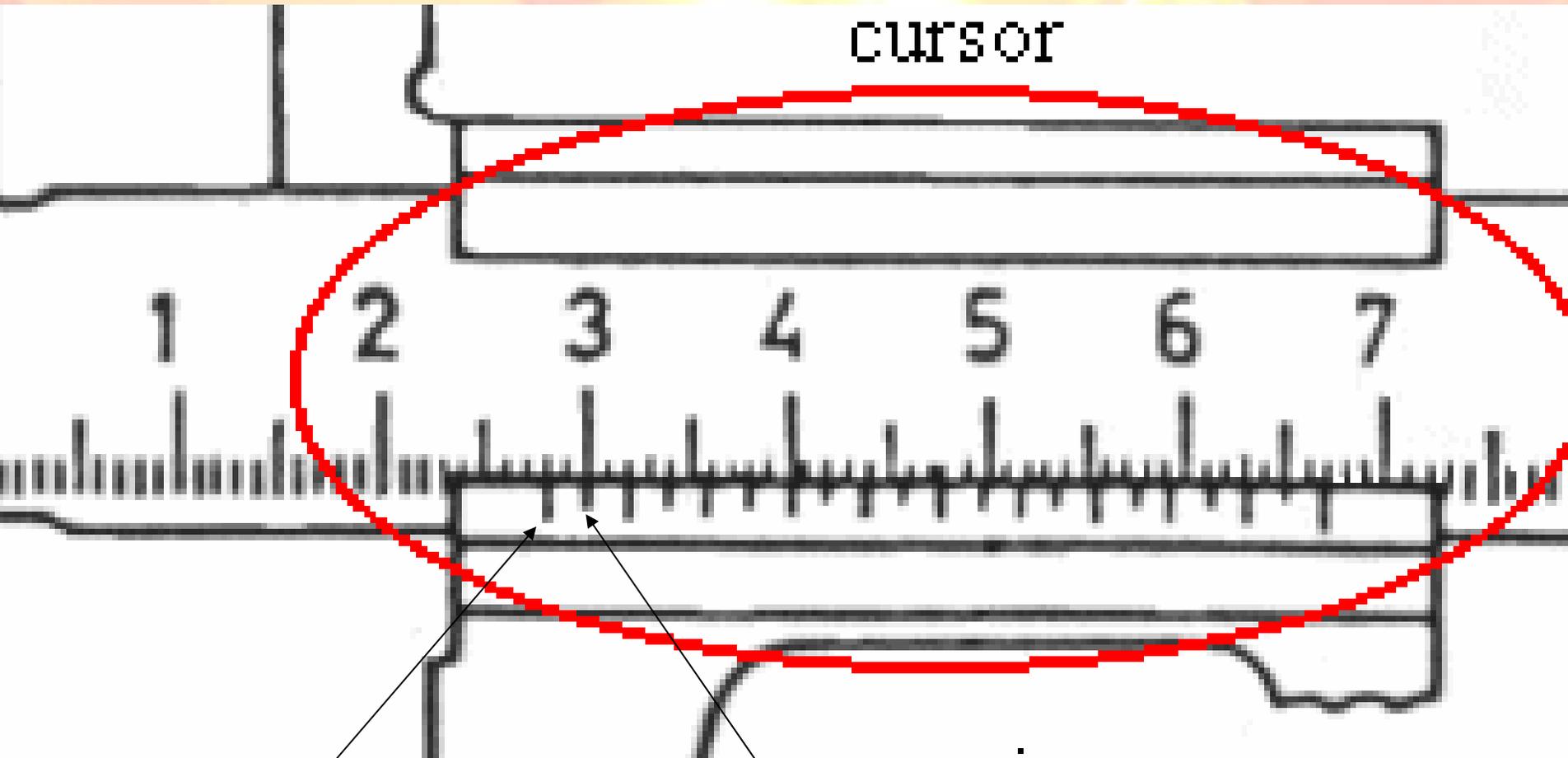
# Dos escalas, dos escalas

## Dos escalas, dos escalas



# Dos escalas, dos sensibilidades cursor



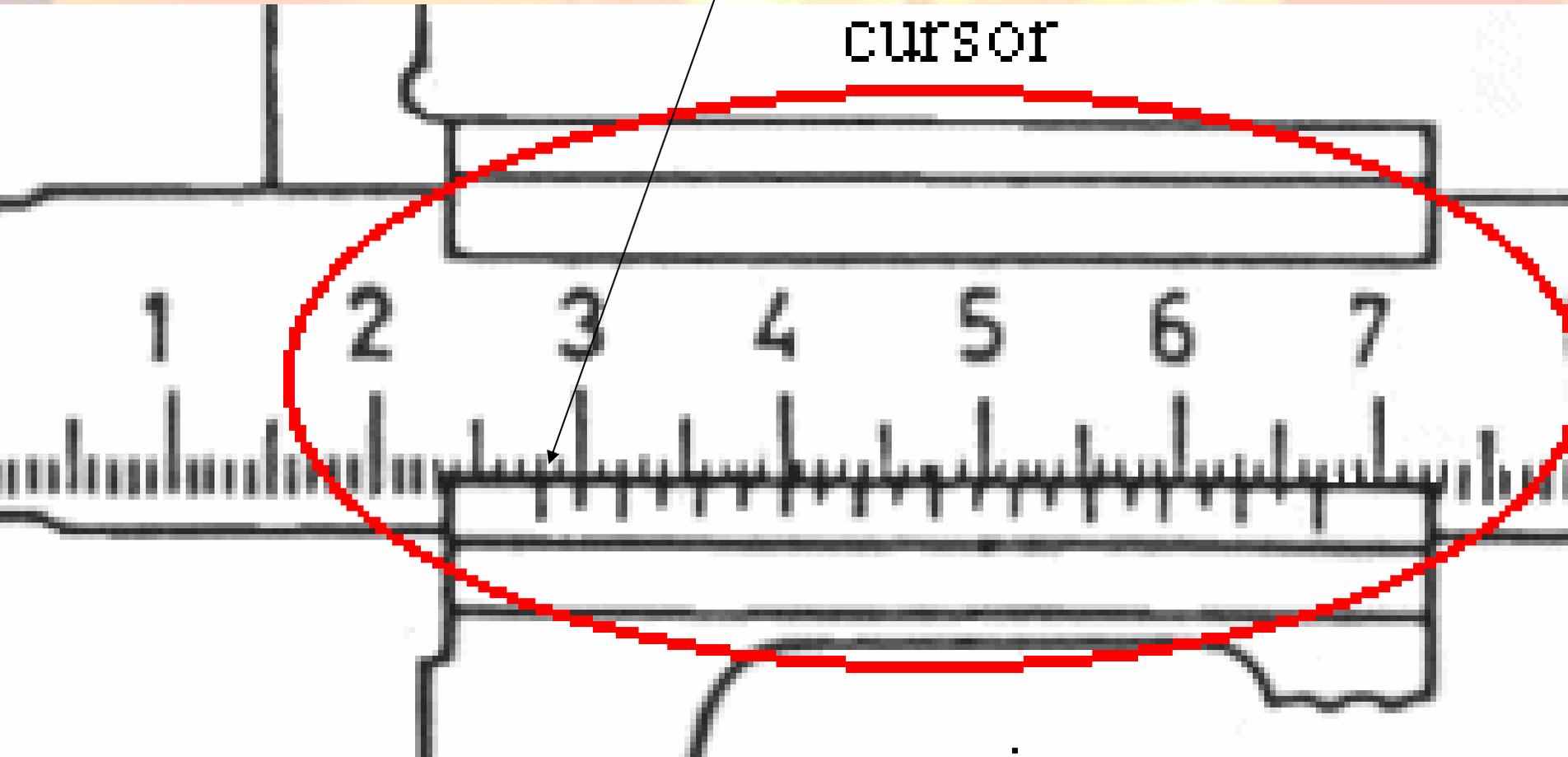


1. Primera línea del nonio

2. Línea del nonio que coincide con la escala principal

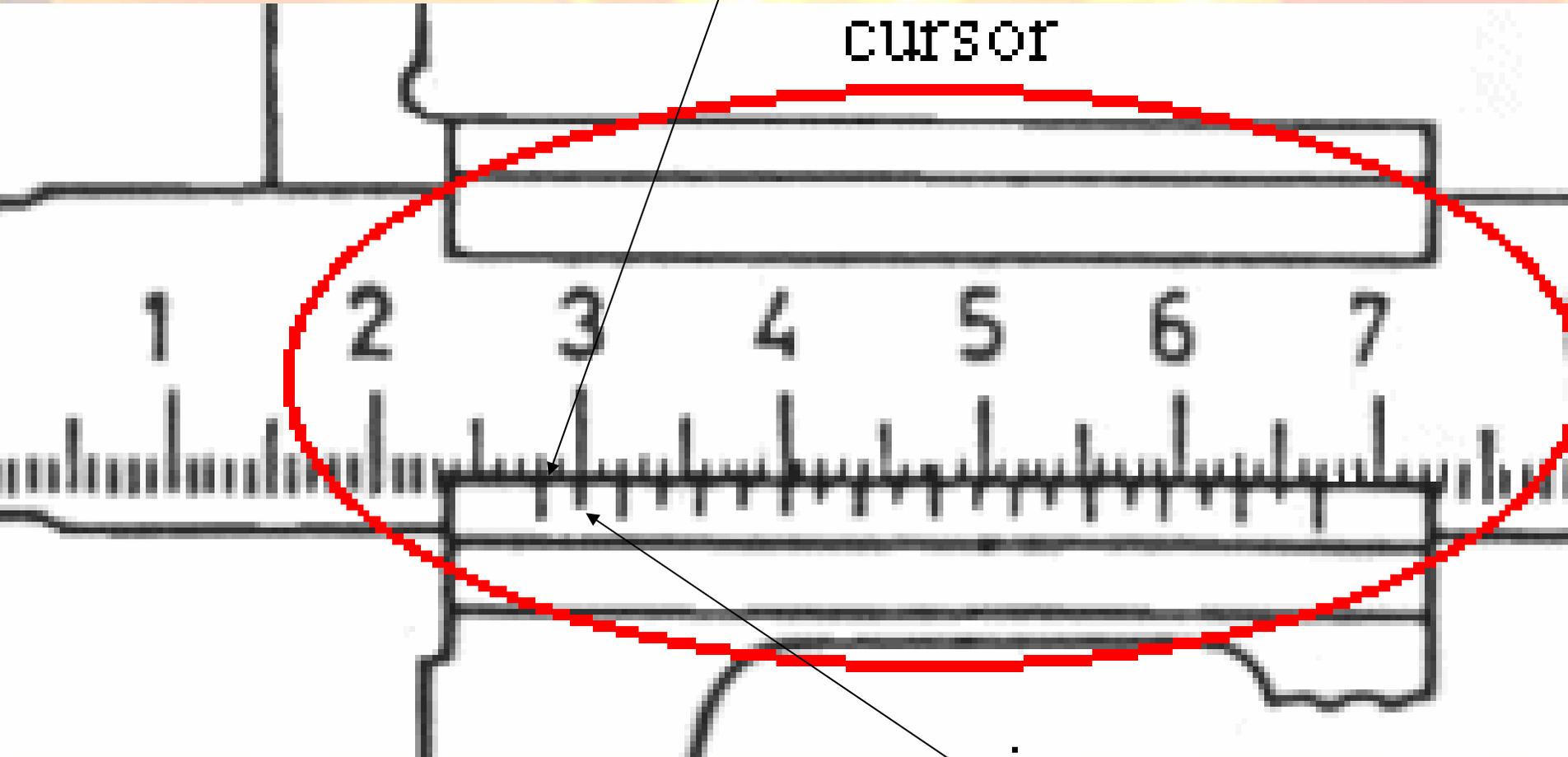
2.8?? +/- 0.005

cursor



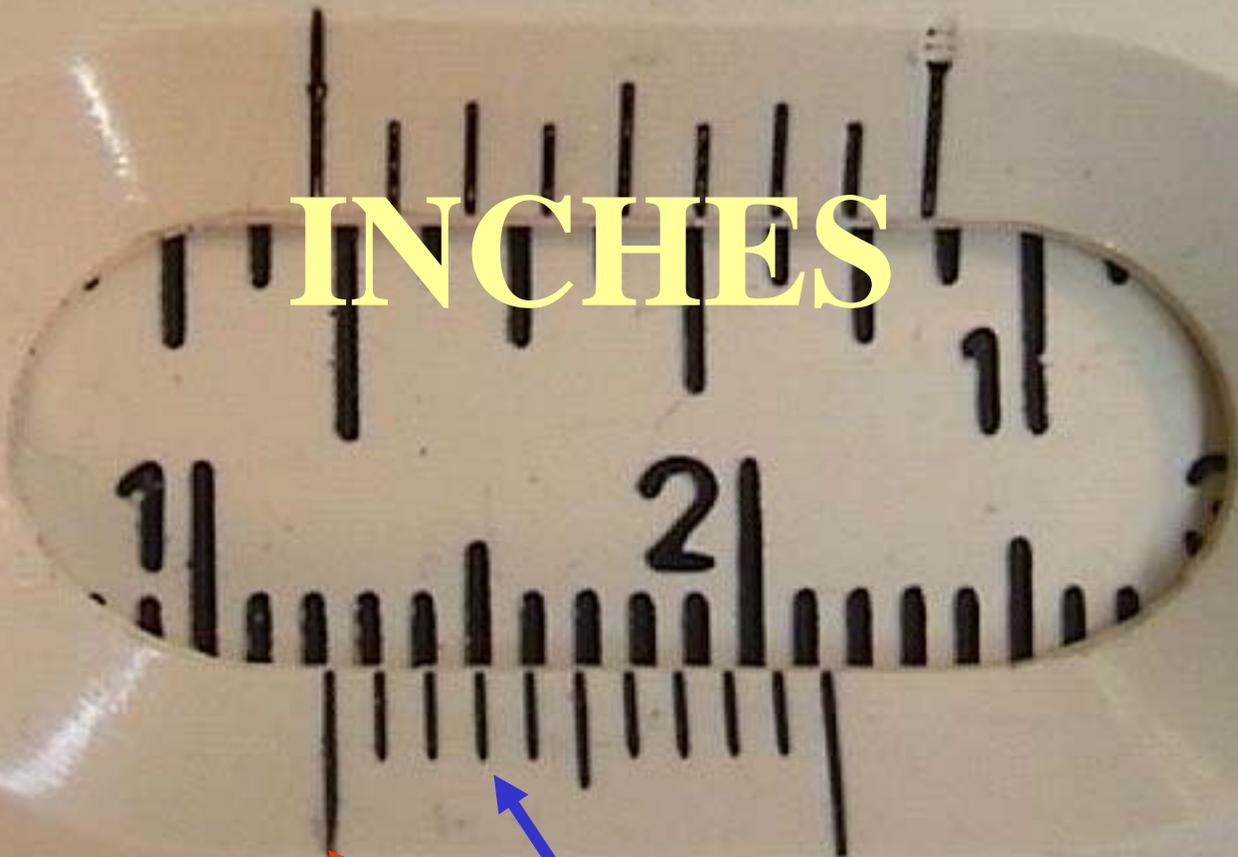
2.8?? +/- 0.005

cursor

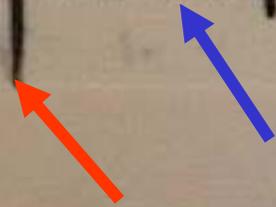


2.805 +/- 0.005cm

INCHES



INCHES

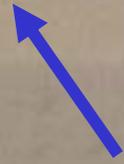


1.23 +/- 0.01 cm

INCHES



INCHES



0.05 +/- 0.01 cm

# “Simulación del calibre” (Universidad del País Vasco)

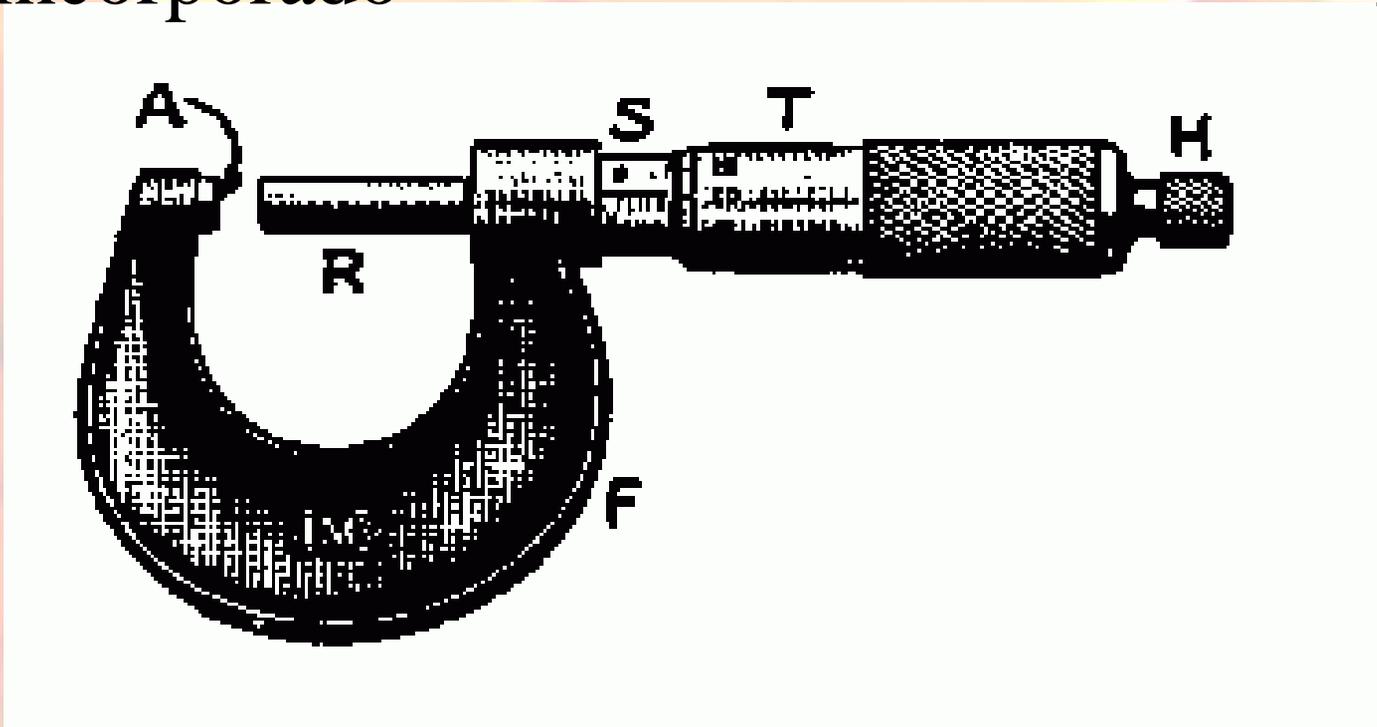
- <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/unidades/calibre/calibre.htm>
- Para practicar con el nonius
  - Atención: el azul es un fondo nada más!
  - El nonio empiece en la primera rayita.

# Otra página web interesante

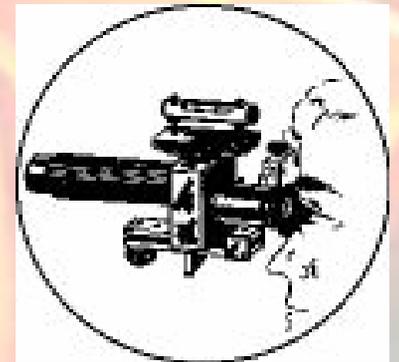
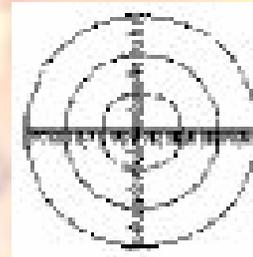
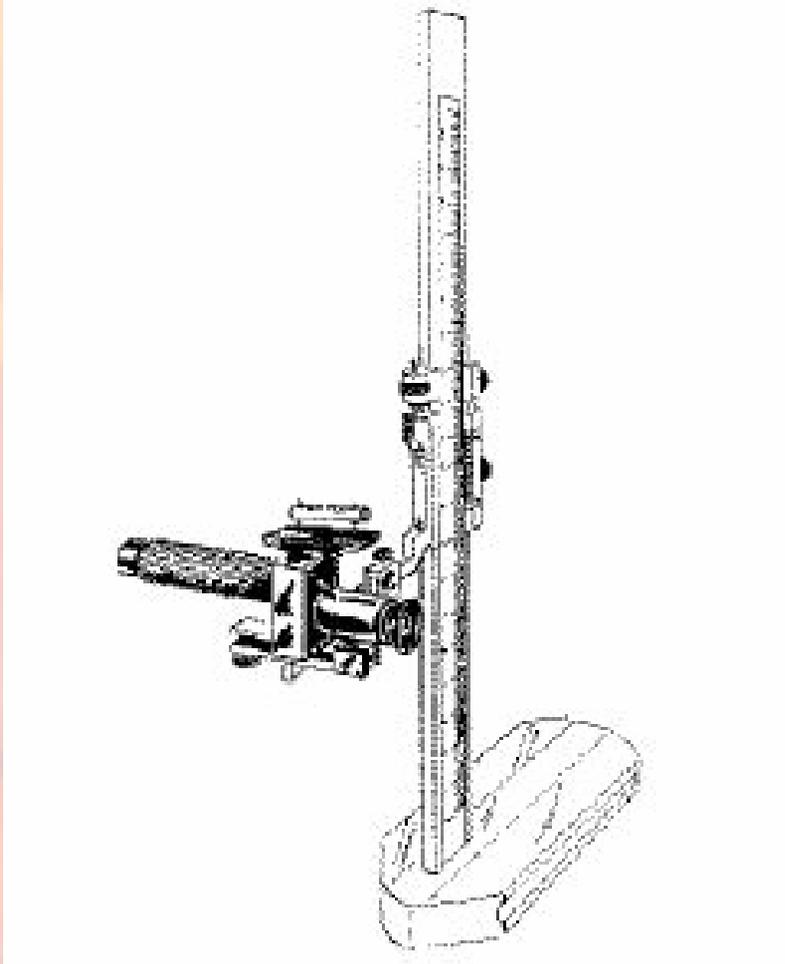
- <http://www.phy.ntnu.edu.tw/java/ruler/vernier.html>
- Pincha la cuadrita “Show”
- Mueve el calibre y ver los valores
- NB: El nonius en esta página tiene menos precisión que los de nuestro laboratorio

# El Tornillo Micrométrico

- Algunos instrumentos vienen con esto incorporado



# Catetómetro



# Cronómetro

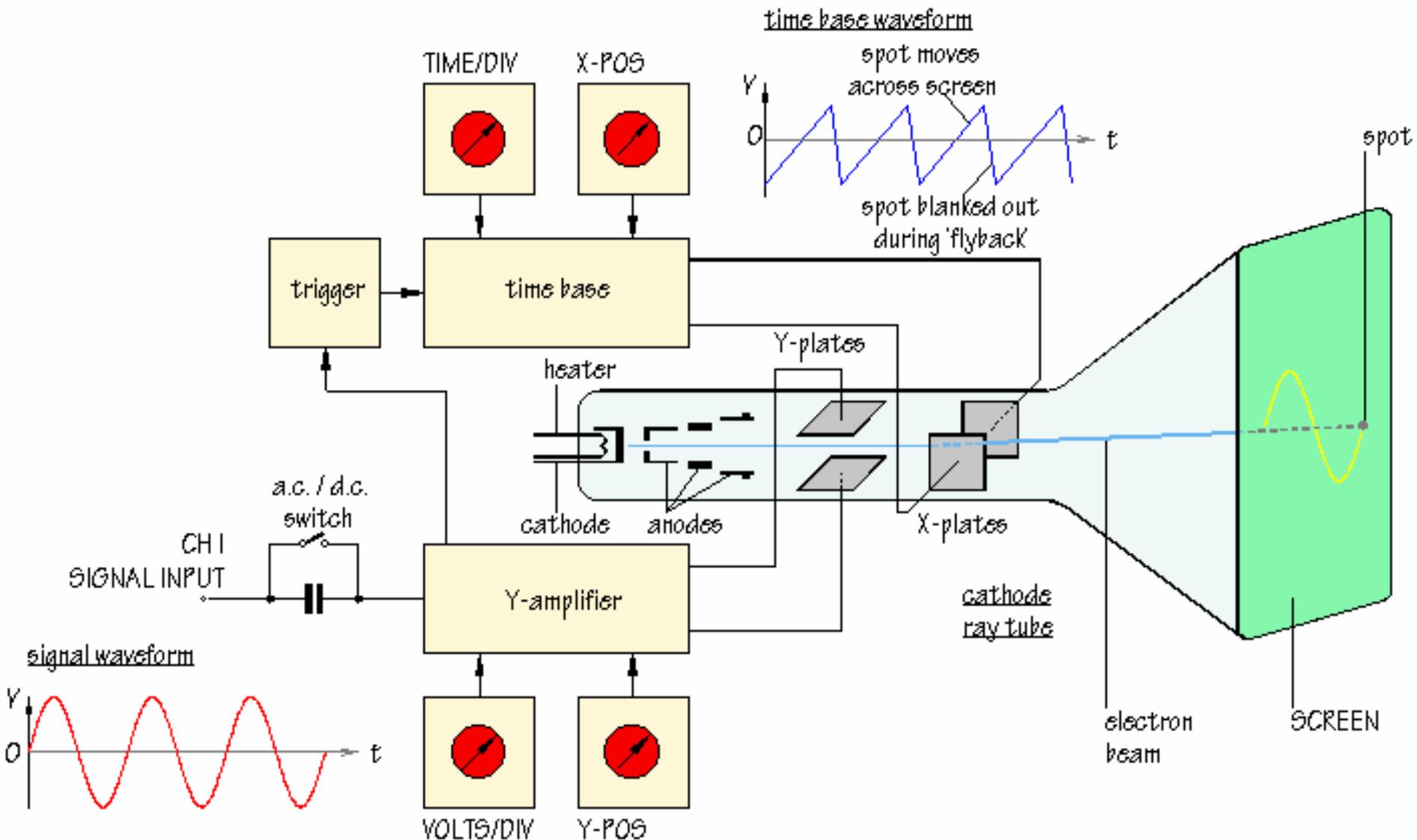
- Un cronómetro electrónico, como los del laboratorio
  - Oscilador interno
  - Bastante barato
  - Sensibilidad de 0.01s



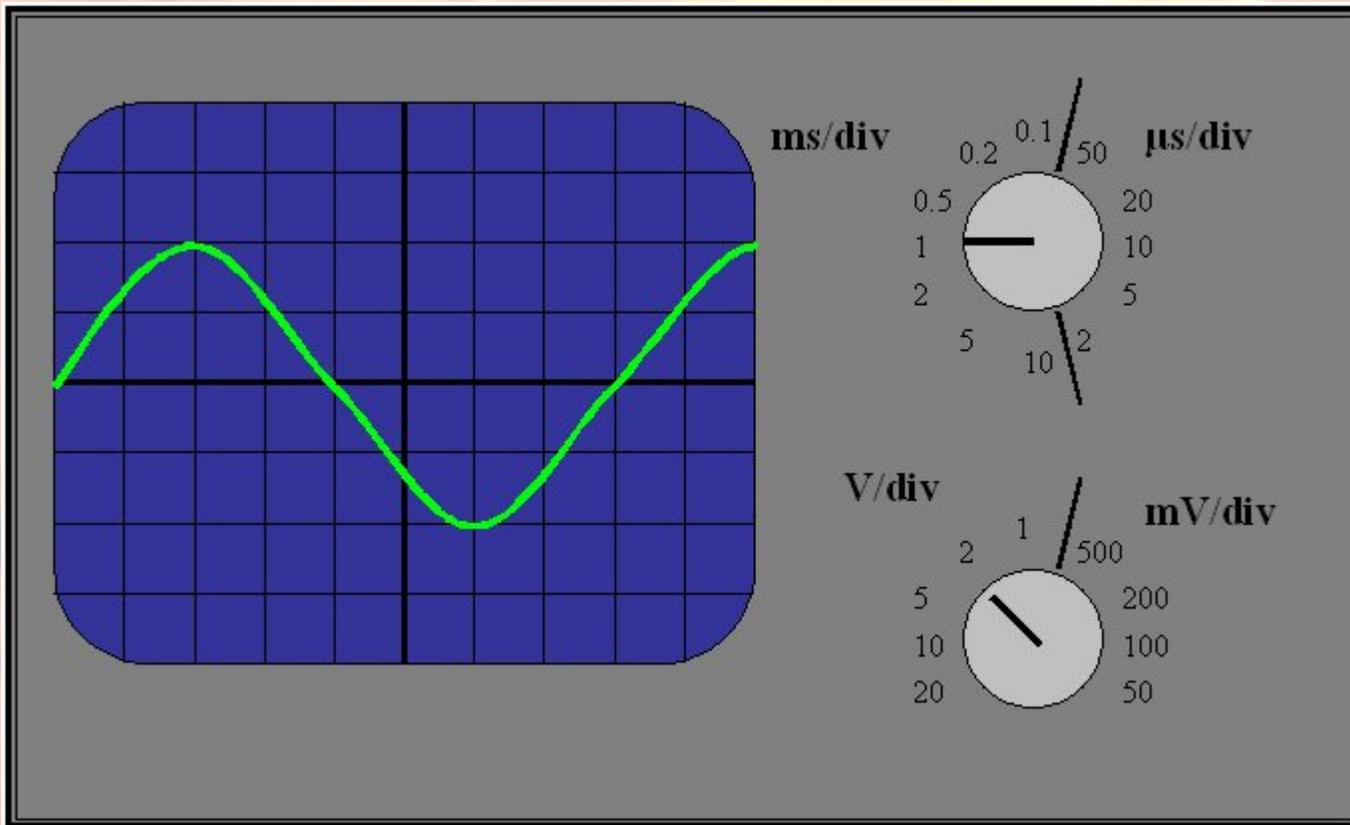
# Osciloscopio

- Tubo de rayos catódicos (CRT)
  - Vacío al interior del tubo
  - Cátodo emite electrones entre unos ánodos
  - El rayo pasa entre unos ánodos y acelera
- Desviación del rayo por voltajes aplicados
- Impacción en un punto brillante (monitor)

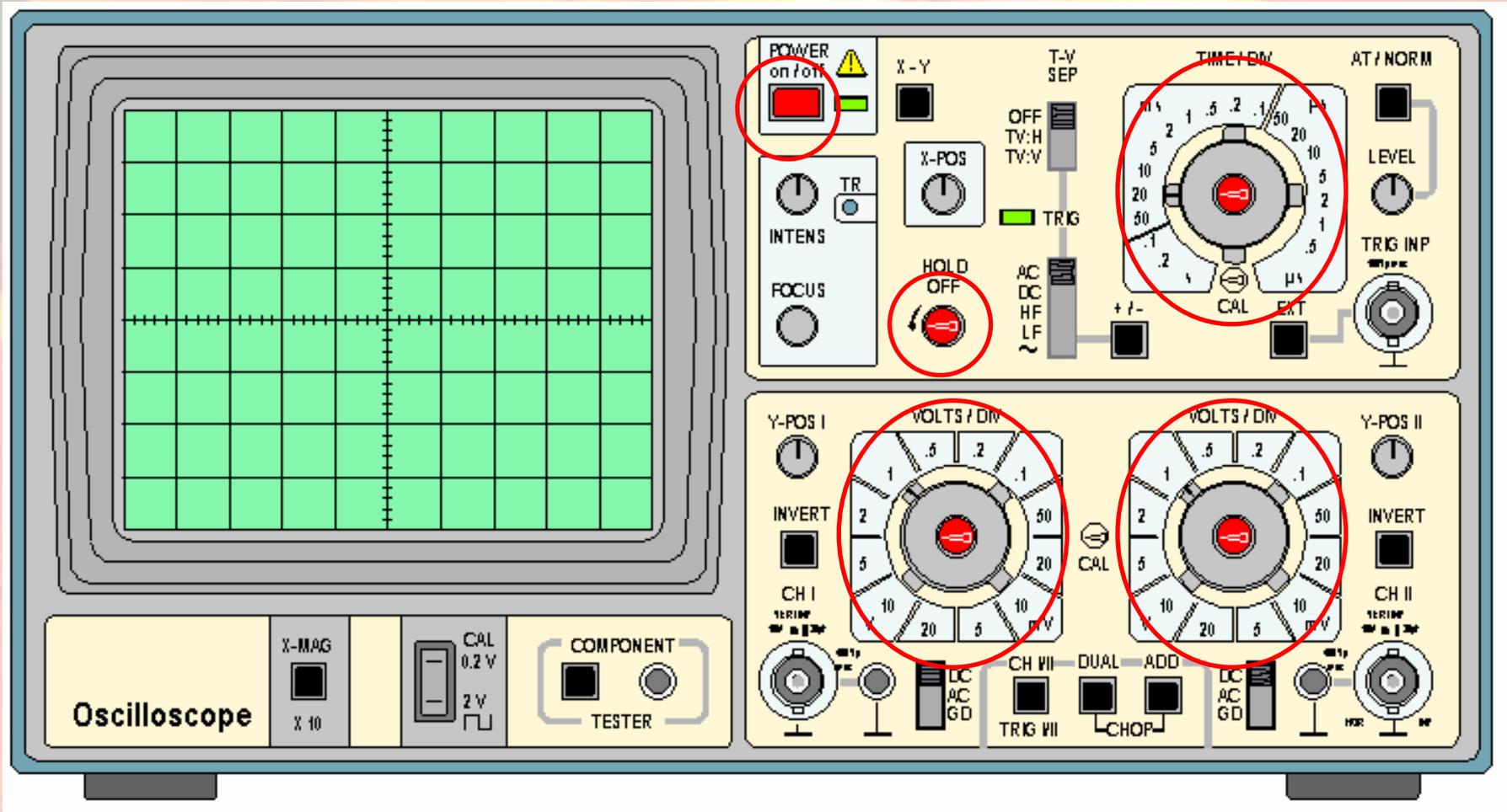
# Oscilloscopio



# Osciloscopio muy simple

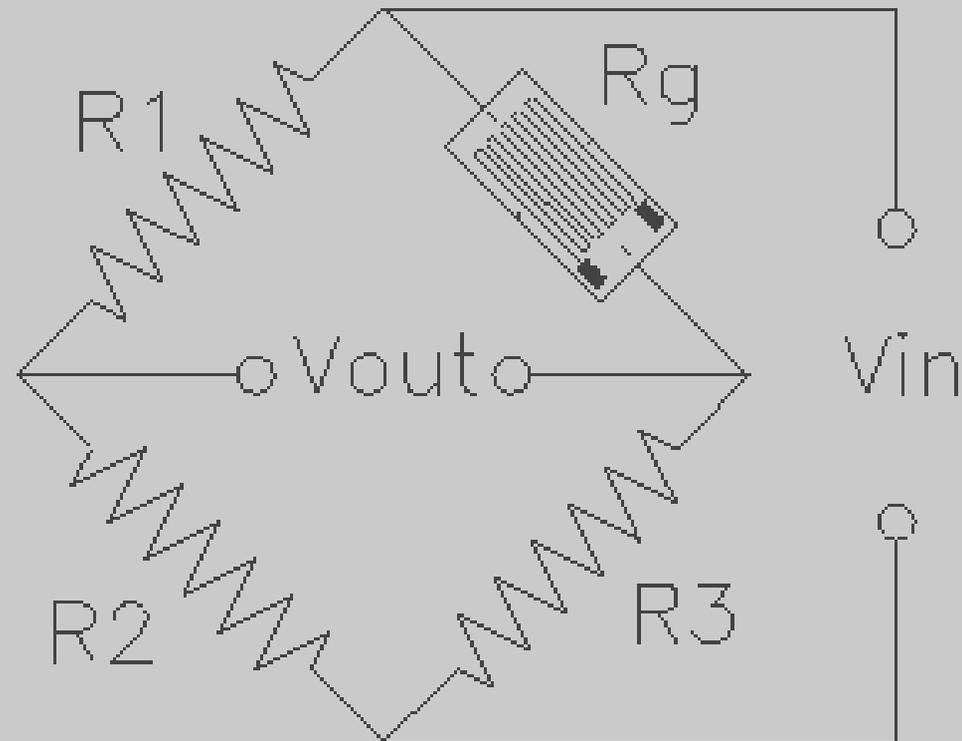


# Otro osciloscopio



# El Puente de Wheatstone

Se usa para determinar una resistencia ( $R_g$ ) desconocida en un circuito

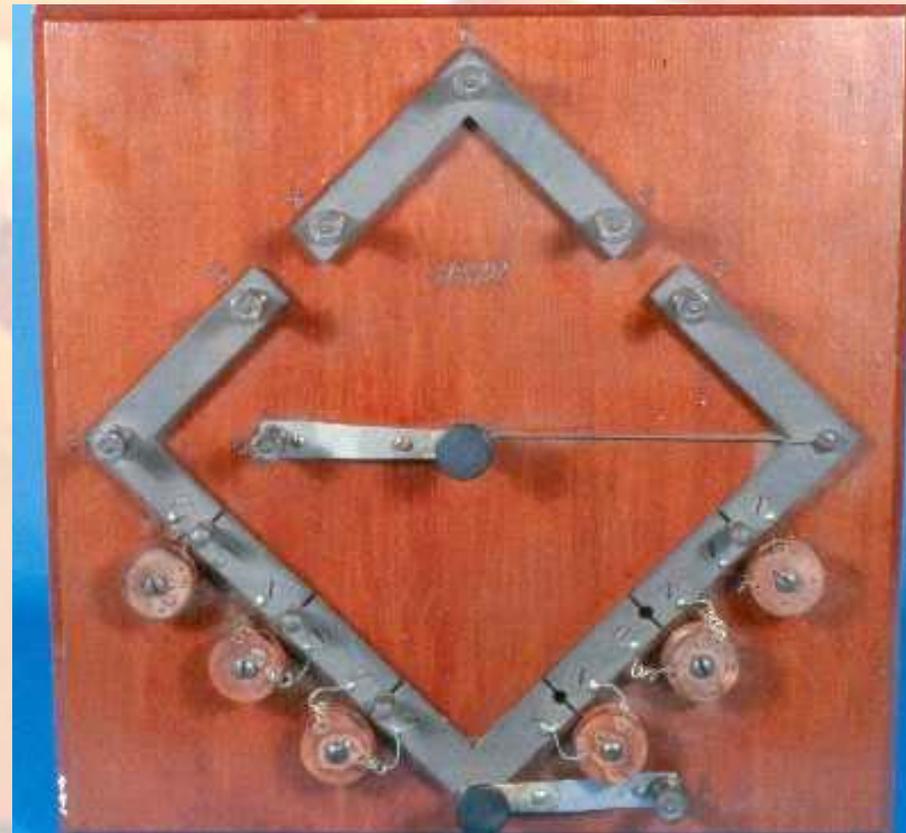


# El Puente de Wheatstone

Gracias a su sensibilidad excelente, el circuito puente de Wheatstone es muy útil para la medida de resistencia, inductancia, y capacitancia.

Para analizarlo, aprovechamos de las leyes de Kirchhoff

El Puente original de Wheatstone

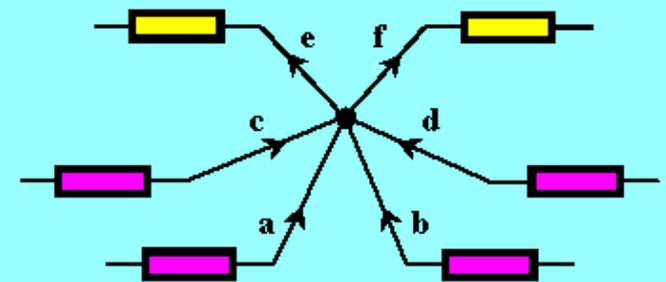


# Una Curiosidad

- El Puente de Wheatstone no fue inventado por Charles Wheatstone (1802-1875), si no por Samuel Hunter Christie (1784-1865) .
- ¿Por qué nos recordamos de Wheatstone?
  - Reconoció su valor
  - Lo aplicó extendidamente
    - Telegrafía (resistencia de los cables, para identificar fallos)
    - Fue imprescindible en el despliegue del primero cable trasatlántico

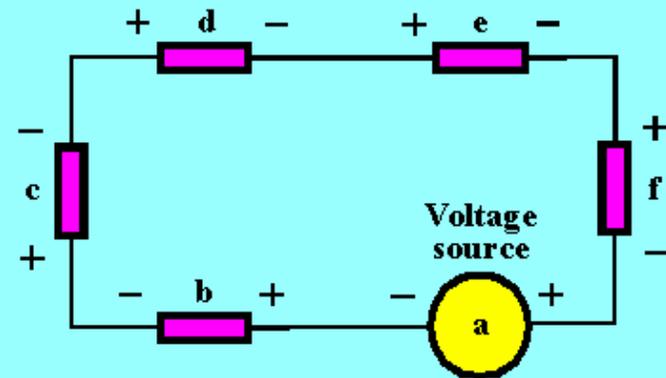
# Las Leyes de Kirchhoff

- 1. Nodos: En un nudo (punto donde hay división de corriente), la corriente total que sale es igual a la corriente total que llega.
- 2. Mallas: La suma algebraica de las fuerzas electromotrices en una malla de un circuito cerrado es cero.



**First Law**

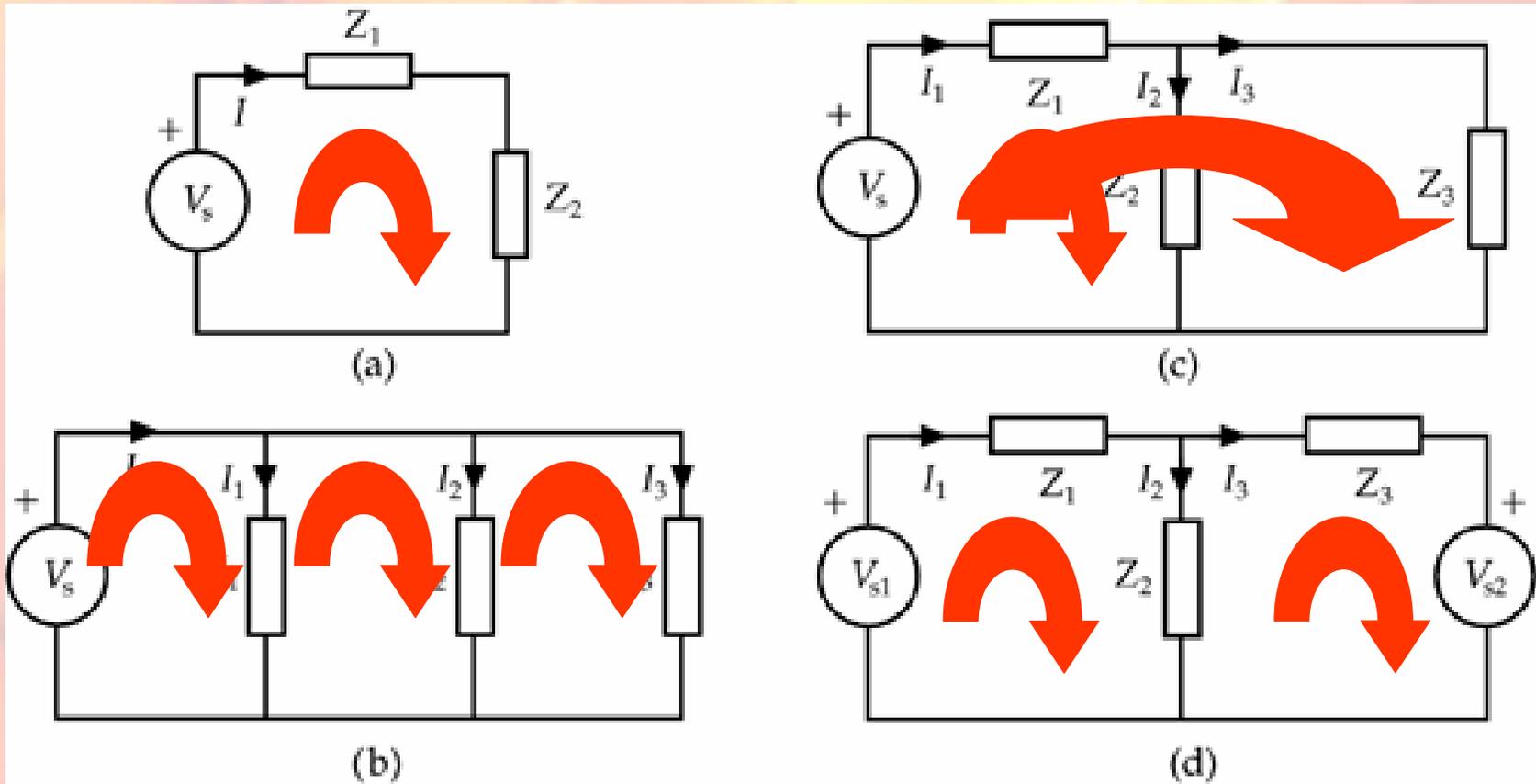
$$a + b + c + d = e + f$$



**Second Law**

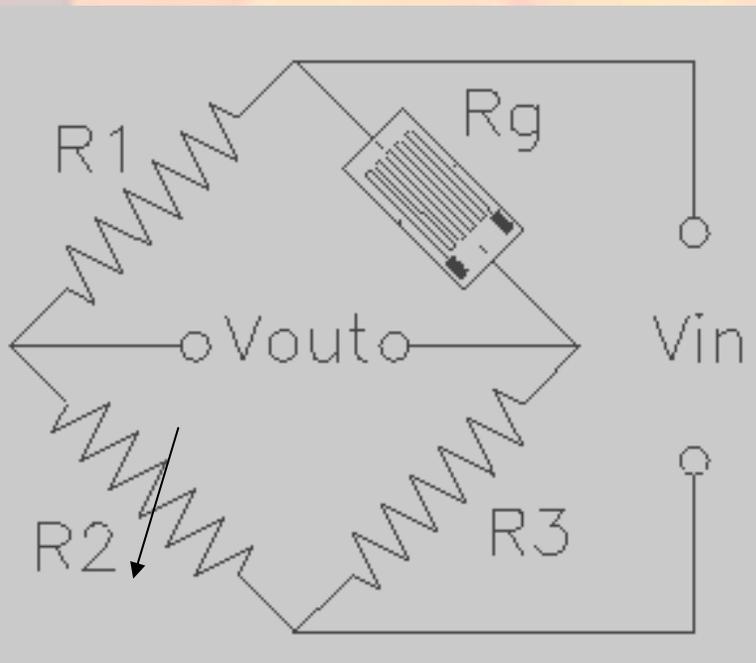
$$a + b + c + d + e + f = 0$$

En general, se puede elegir muchos circuitos cerrados



# El Puente de Wheatstone

Para determinar una resistencia ( $R_g$ ) desconocida



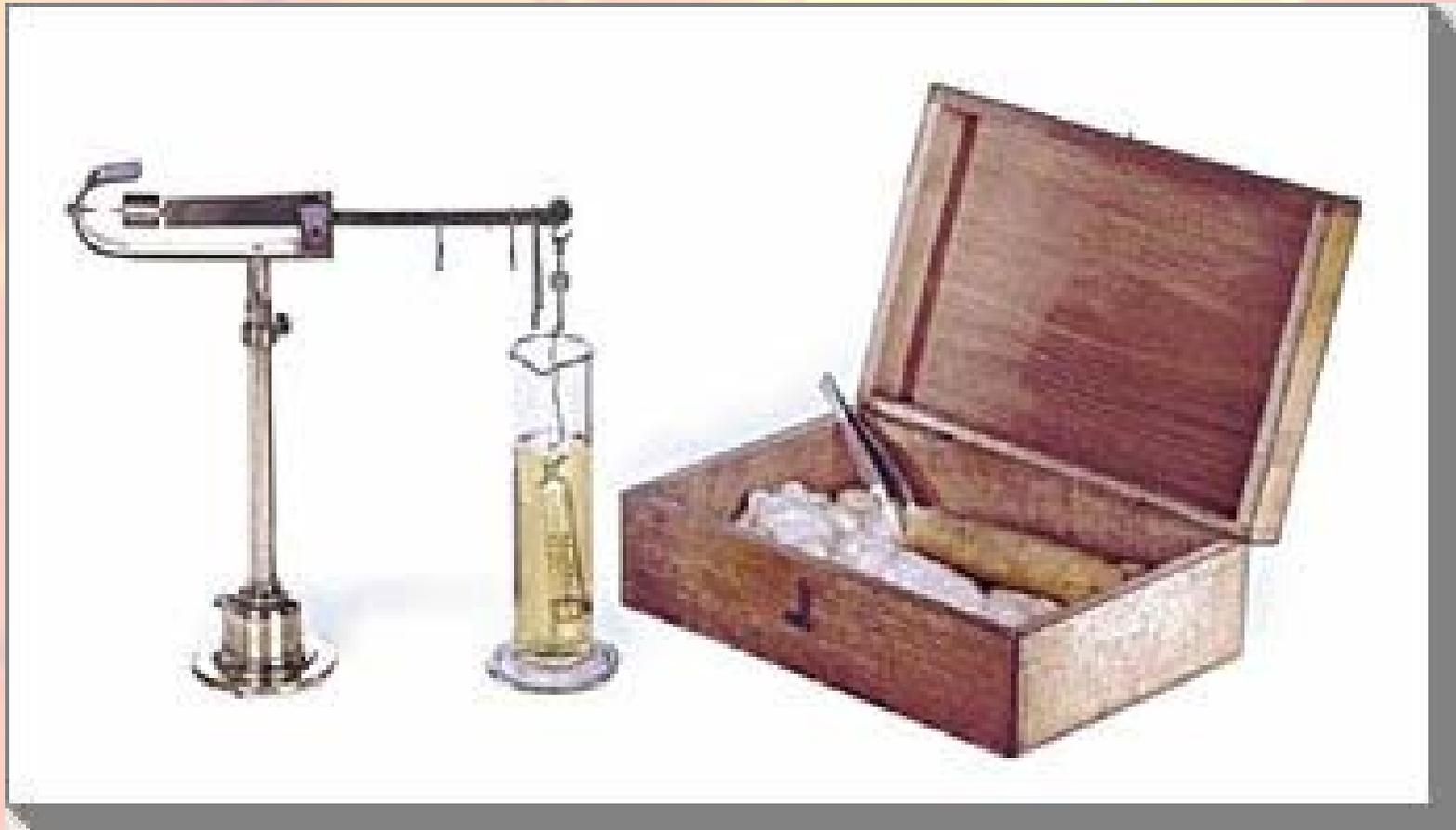
$$V_{out} = V_{in} \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_g}{R_g + R_3} \right)$$

El circuito está equilibrado si  $V_{out} = 0$   
(esto se hace variando  $R_2$ )

Entonces

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_g}{R_3}$$

# El balance de Mohr-Westfal



# El balance de Mohr-Westfal



# El balance de Mohr-Westfal

- Aprovecha del principio de Arquímedes
  - *Empuje = peso de líquido desplazado*
- Permite determinar (indirectamente) la densidad de líquidos
  - Mide la fuerza (de hecho masa) que equilibra el empuje de un líquido en un cuerpo sumergido
  - Mide el volumen del cuerpo (líquido desplazado)

# Práctica 0

- ¿Qué tengo que medir?
  - <http://www.ugr.es/~andyk/Docencia/TEB/Practica0.pdf>
- ¿Cuántas veces tengo que medir?
  - <http://www.ugr.es/~andyk/Docencia/TEB/Errores.pdf>
  - Sobre todo p. 6-8
- ¿Cómo calcular errores finales?
  - <http://www.ugr.es/~andyk/Docencia/TEB/Errores.pdf>
  - Sobre todo p. 8-11

# ¿Dónde estamos?

- Acabando con Instrumentos
  - Temperatura
  - Velocidad de Fluidos
  - El Polímetro (muy breve)
- Empezando con Errores

# el Termopar

- Seebeck, Thomas (1770-1831)
  - Dos hilos conectados de metales distintas producen una fuerza electromotriz (y una corriente continua si el circuito está cerrado)
  - El voltaje, que se puede medir con un voltímetro sensible depende fuertemente de la temperatura
  - Medir implica conectar otros metales



# El termopar

- En general: se eligen los metales en función del rango de temperatura de interés
- Ventajas
  - Son muy baratas
  - El principio de medida es sencillo (voltaje)
- Desventaja
  - Hace falta otra medida de  $T_{\text{ref}}$

# ¿Qué tipos de metales?

- Cobre-Constantan (tipo T)
  - El termopar más típico
  - Constantan es una aleación:
    - 65% cobre (Cu)
    - 18% níquel (Ni)
    - 17% zinc (Zn)
- También de otras materiales
  - Chromel-constantan ® (type E)
  - Chromel-alumel\* (Type K)

\* aleación de Ni con hasta 5% Al, Mn y Si

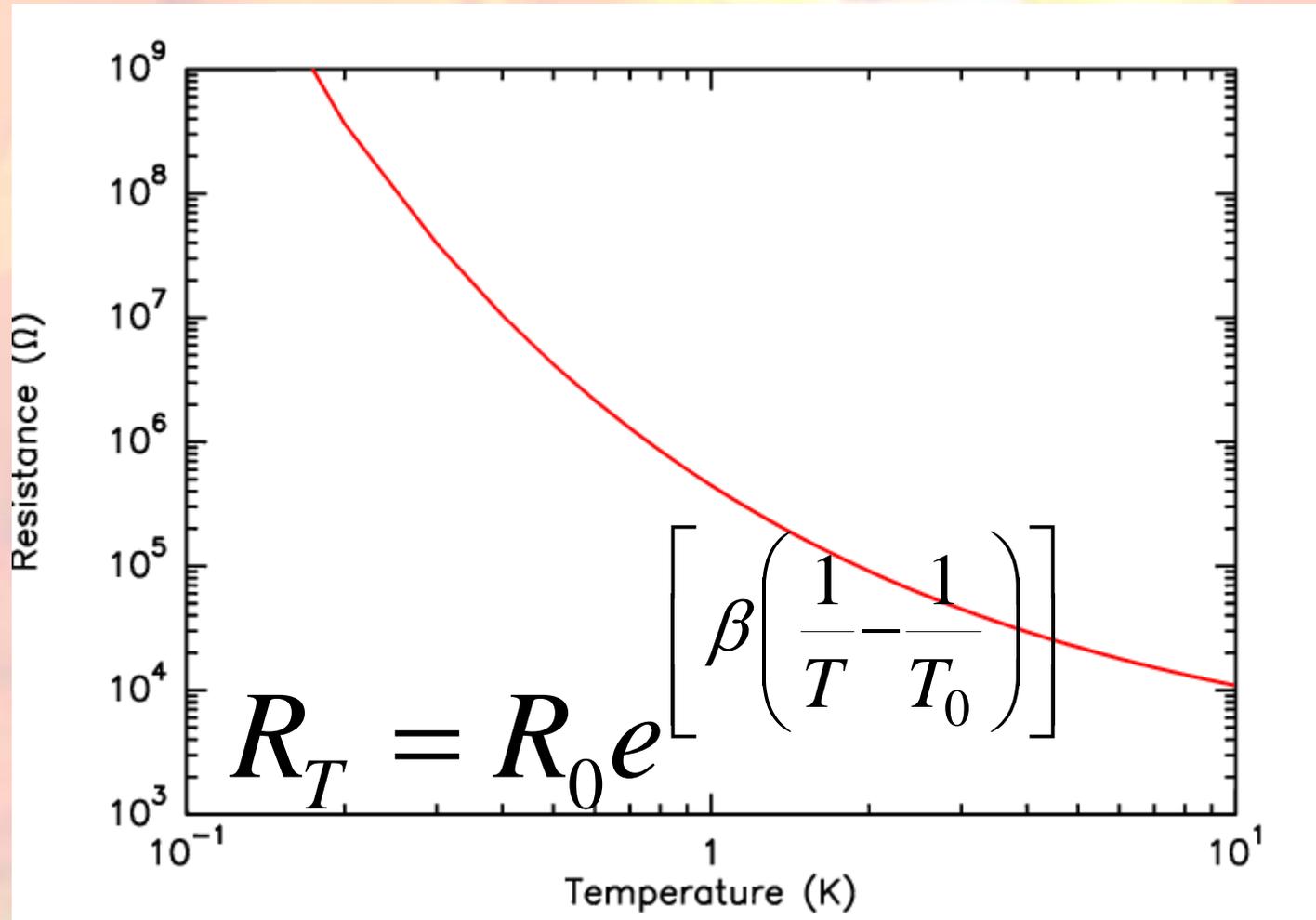
® Ni y Cr; marca registrada (Hoskins Manufacturing Company)

# Termistor

- En algunos materiales semiconductores, la resistividad ( $\rho$ ) eléctrica cambia en función de la temperatura
- La resistencia ( $R$ ) depende de  $\rho$ , y de las dimensiones, que no suelen cambiar
  - longitud,  $L$
  - área,  $A$

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

# Comportamiento típico de un termistor



# El principio de Bernoulli

Daniel Bernoulli (1700 – 1782)

$$\frac{1}{2} \rho V^2 + p = \text{Const}$$

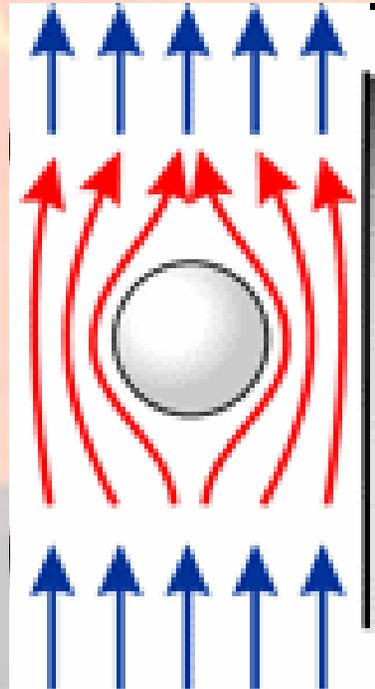
Energía cinética + Energía de presión (+ mgh)

Tubo de Pitot

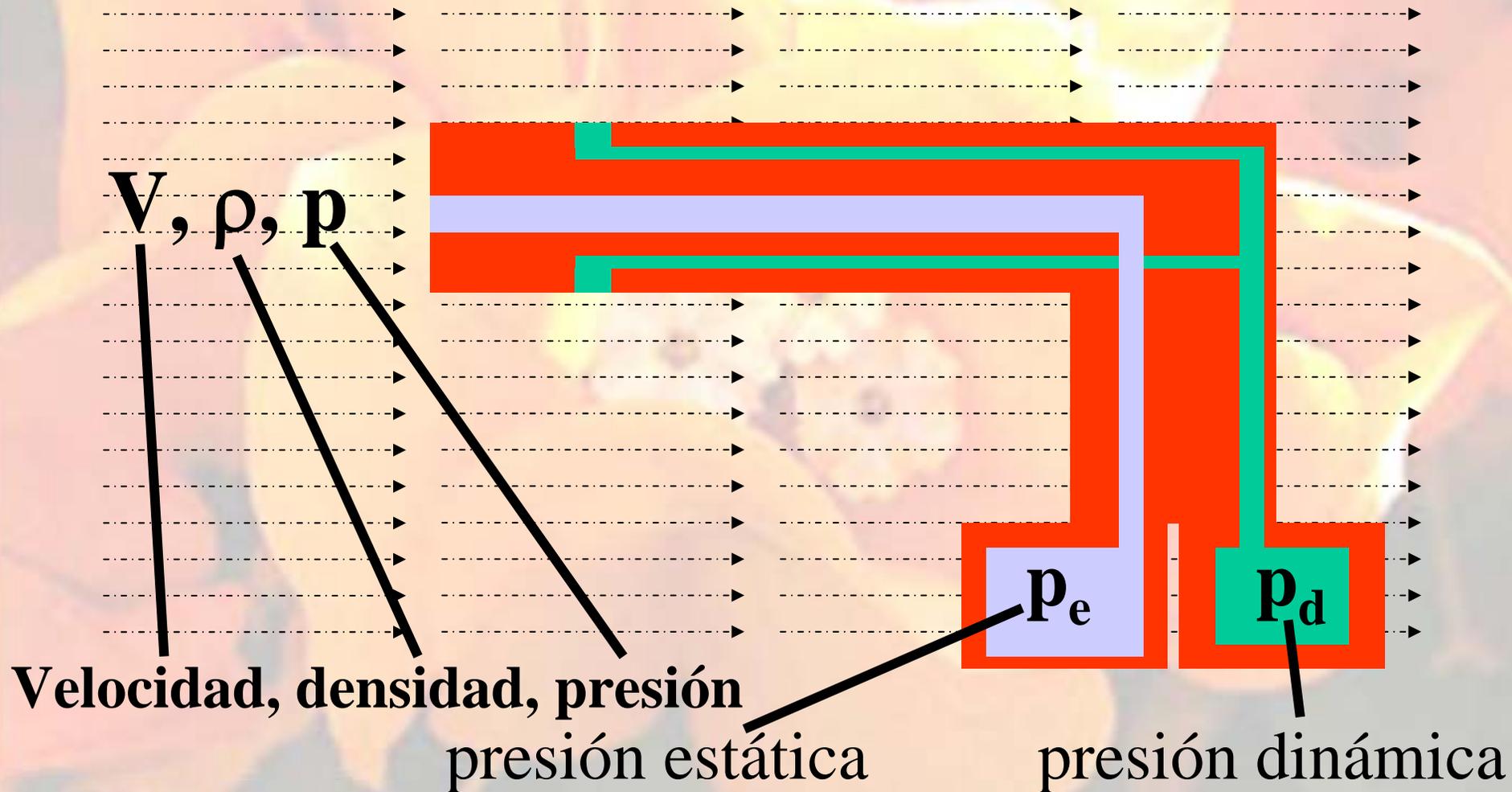
Metro de Venturi

# Cambios: velocidad y presión

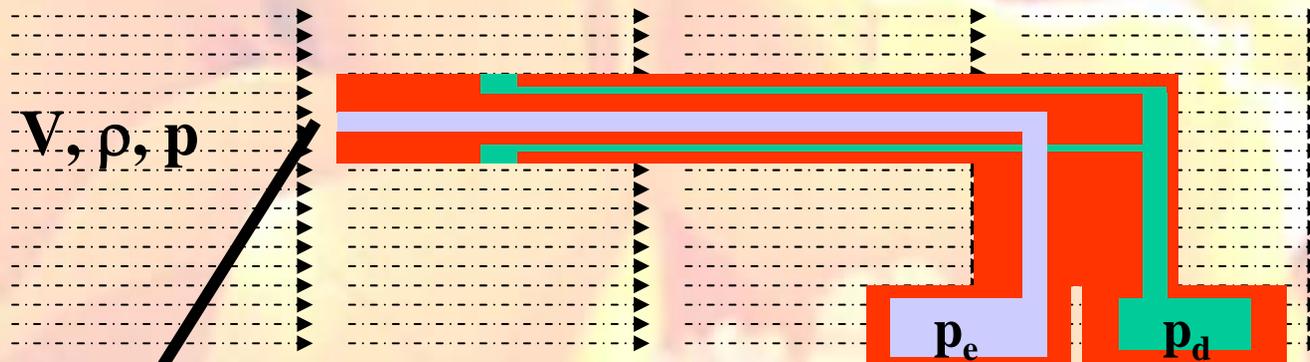
- Baja velocidad y alta presión
- Alta velocidad y baja presión



# Henry Pitot (1695-1771)



# El Tubo de Pitot



Punto de estagnación

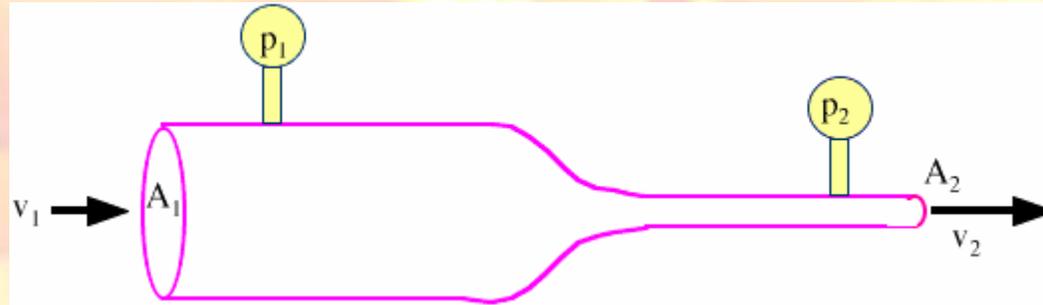
$$p_e = \frac{1}{2} \rho V^2 + p_d \qquad V = \left( \frac{2}{\rho} [p_e - p_d] \right)^{\frac{1}{2}}$$

# El metro de Venturi



Para determinar el flujo (o la velocidad) en un tubo

# ¿Cómo funciona el metro de Venturi?



El flujo total es constante

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2$$

Incompresible:  $\rho_1 = \rho_2 = \rho$

Pues,

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

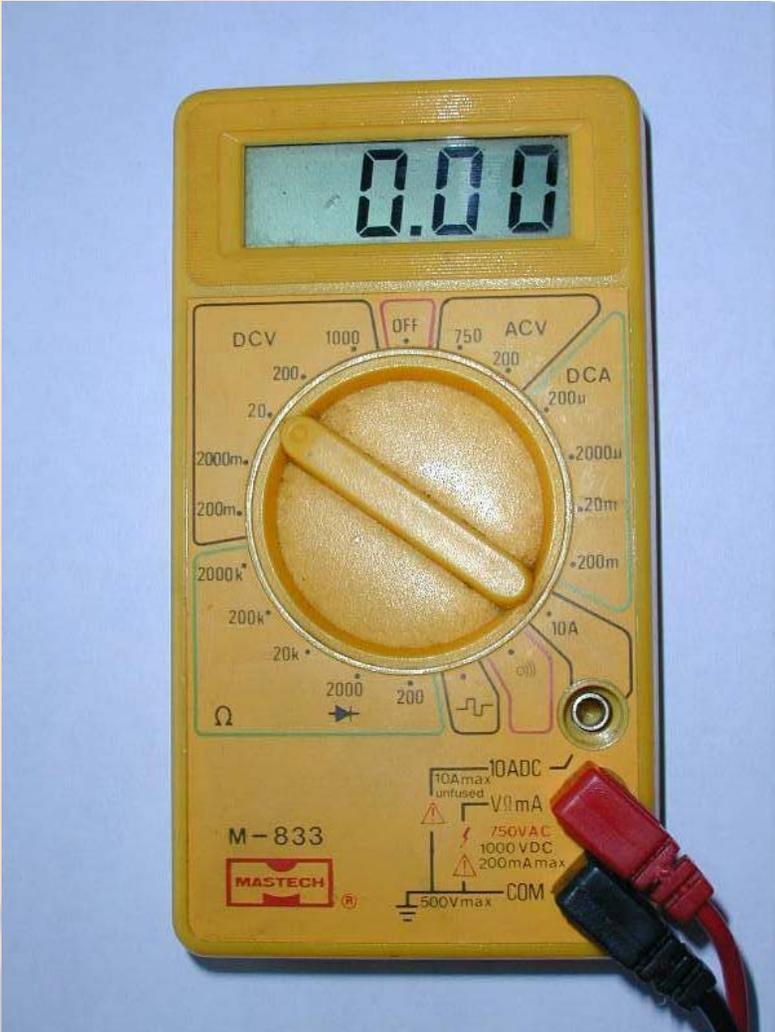
$$\text{Bernoulli: } p_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2$$

$$\frac{1}{2} \rho V_1^2 - \frac{1}{2} \rho V_2^2 = p_2 - p_1$$

$$V_1^2 \left[ 1 - \frac{V_2^2}{V_1^2} \right] = \frac{2(p_2 - p_1)}{\rho}$$

$$V_1^2 \left[ 1 - \frac{A_1^2}{A_2^2} \right] = \frac{2(p_2 - p_1)}{\rho}$$

$$V_1 = \sqrt{\frac{2(p_2 - p_1)}{\rho \left[ 1 - \frac{A_1^2}{A_2^2} \right]}}$$



# El Polímetro

- Qué mide
  - Voltaje (V), Corriente (I), Resistencia (R)
  - CA, CD
  - Nada que varié con el tiempo (“steady state”)
- Bastante sencillo
  - Elige lo que hay de medir
  - Conecta los cables consecuentemente [(1):V,R ;(2) I]
- Ojo, antes de tocar al circuito
  - Demasiado corriente, y se romperá el fusible
  - Usar la resistencia correcta!