

## Instrumentación Electrónica I

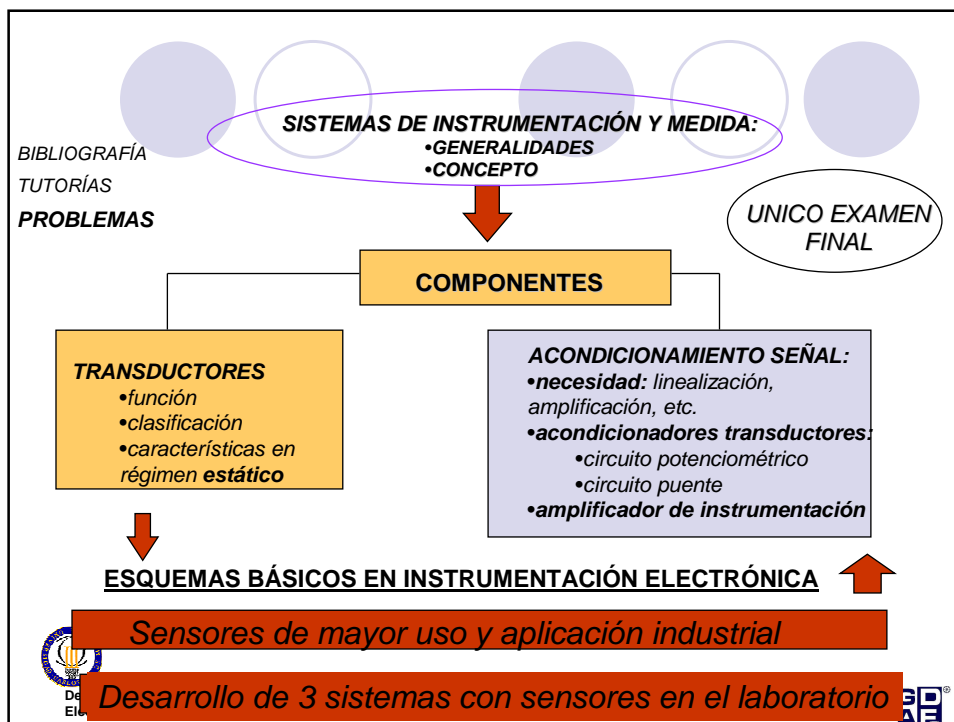
### Tema 4: Acondicionamiento de la señal de salida de un transductor

Departamento Tecnología Electrónica  
Carlos III University Madrid (Spain)



Departamento Tecnología  
Electrónica

Instrumentación Electrónica I  
CV



# Temario

TEMARIO	HTE	P	HL
TEMA 1. INTRODUCCIÓN	1 H		
TEMA 2. SENSORES Y TRANSDUCTORES	1 H	1	
TEMA 3. CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS DE UN TRANSDUCTOR	2 H	T	
<b>TEMA 4. ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL DE SALIDA DE UN TRANSDUCTOR</b>	7 H	T	
TEMA 5. TRANSDUCTORES PARA LA MEDIDA DE TEMPERATURA.	5 H	1	3 H
TEMA 6. SENSORES PARA LA MEDIDA DE DEFORMACIONES	5H	2	3 H
TEMA 7. SENSORES DE POSICIÓN Y NIVEL	5 H	3	3 H
TEMA 8. SENSORES ÓPTICOS	6 H		
<b>TOTAL</b>	<b>32 H</b>		<b>9 H</b>

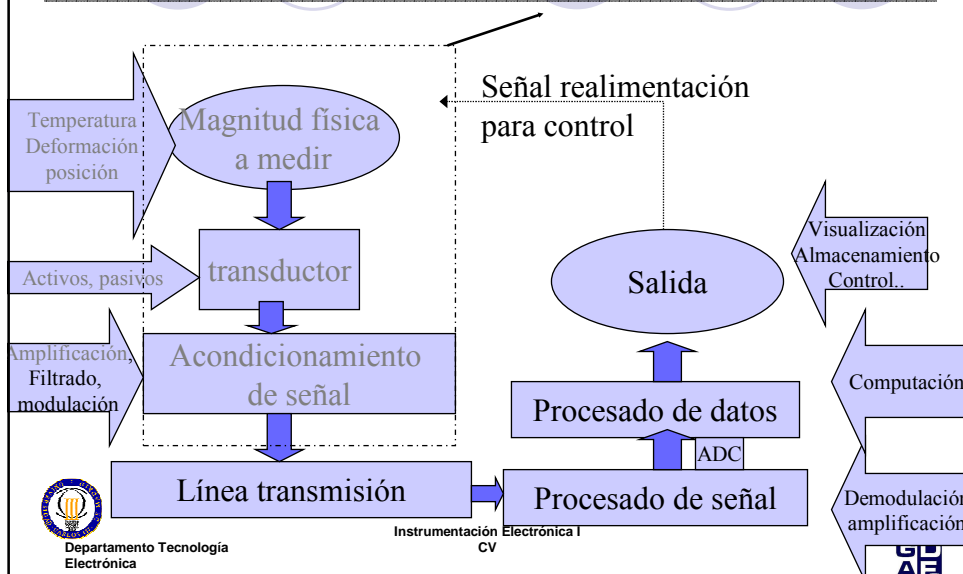


Departamento Tecnología Electrónica

T= Enfoque en todas prácticas  
Instrumentación Electrónica I  
CV



# Componentes de un sistema de medida

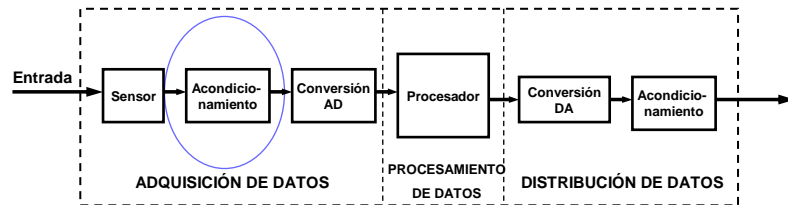


Departamento Tecnología Electrónica

Instrumentación Electrónica I  
CV



## Acondicionamiento de señal



*Necesidad: linealización, alta sensibilidad, evitar efecto magnitudes de influencia, niveles adecuados de señal*

### 1) acondicionadores transductores pasivos

- circuito potenciométrico

- circuito puente

### 2) amplificación



Departamento Tecnología  
Electrónica

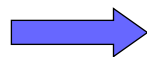
Instrumentación Electrónica I  
CV



## Acondicionamiento transductores pasivos

- Necesidad conversión

- $\Delta Z$



$\Delta V$  ó  $\Delta I$

IEI

- Circuitos potenciométrico y puente:

¿esquemas?

¿lineales?

¿sensibilidad? ¿magnitudes influencia?



Departamento Tecnología  
Electrónica

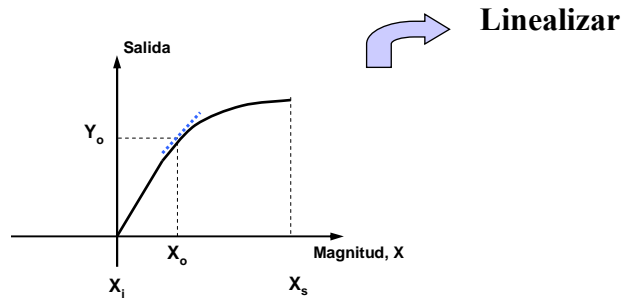
Instrumentación Electrónica I  
CV



## Sensor operando en régimen de pequeña señal

La variación en la magnitud de medida provoca pequeñas variaciones de resistencia.

Ejemplo:  $\Delta R = 25,2 \text{ m}\Omega$ ,  $R_0 = 120 \Omega$

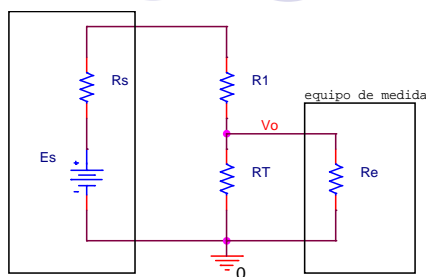


Departamento Tecnología Electrónica

Instrumentación Electrónica I  
CV



## Circuito potenciométrico



$$\Delta Z \rightarrow \Delta V$$

$$V_m = \frac{R_T}{(R_s + R_1 + R_T)} E_s \quad R_e \gg R_T$$

No lineal

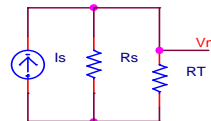
Técnicas linealizar:

(a) Pequeñas variaciones,  $\Delta R_T \ll R_T$ :

$$\Delta V_m \approx \frac{E_s}{4R_{T0}} \Delta R_T \quad R_s \rightarrow 0 \quad R_1 = R_{T0}$$

$$\Delta V_m = I_s \Delta R_T$$

(b) Alimentación generador corriente



Departamento Tecnología Electrónica

Instrumentación Electrónica I  
CV

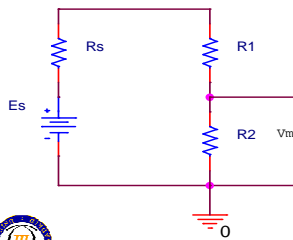


## Circuito potenciométrico

### Técnicas linealización

(a) Pequeñas variaciones,  $\Delta R_T \ll R_T$ :      (b) Generador corriente

(c) Montaje push-pull



$$\Delta V_m \approx \frac{E_s}{2R_{T0}} \Delta R_T \quad R_s \rightarrow 0$$

$$R_1 = R_{T0} - \Delta R_T \quad R_2 = R_{T0} + \Delta R_T$$

Tensión salida =  $Kte + \Delta V_m$



Departamento Tecnología  
Electrónica

Instrumentación Electrónica I  
CV

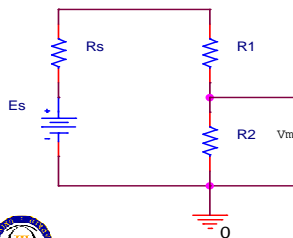


## Circuito potenciométrico

### Magnitudes de influencia

$\Delta R_T = S_m \Delta m + S_g \Delta g$ ; m=medida interés, g=parámetro influencia (T típicamente)

¿Efecto? ¿Se puede compensar?



$$\Delta V_m \approx \frac{E_s}{2R_{T0}} \Delta R_T \quad R_s \rightarrow 0$$

$$R_1 = R_{T0} - \Delta R_T \quad R_2 = R_{T0} + \Delta R_T$$



Departamento Tecnología  
Electrónica

Instrumentación Electrónica I  
CV



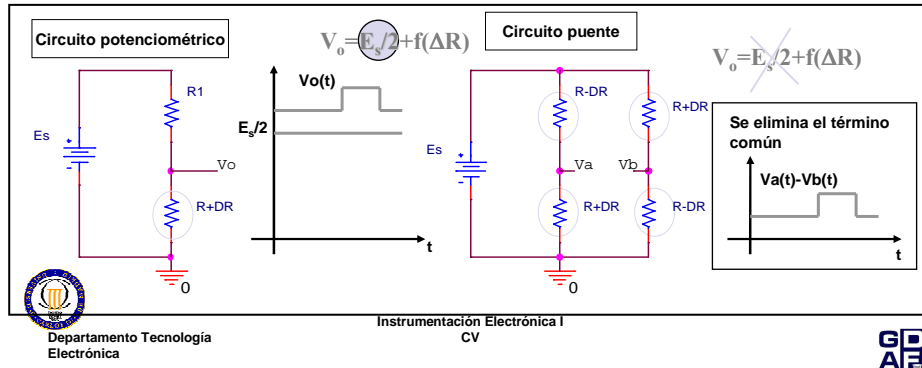
## Inconveniente circuito potenciométrico. Solución

### Potenciométrico:

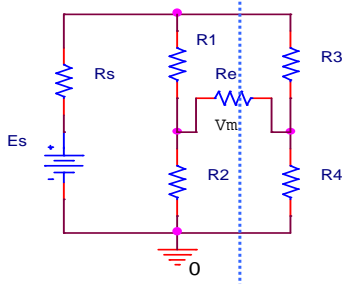
Término constante: !!!Resolución  
insuficiente pequeña señal. 4,00001!!!

### Puente de Wheatstone

- Respuesta diferencial
- Respuesta lineal
- Aumento sensibilidad, inmunidad



## Circuito en puente de Wheatstone



$$V_m = E_s \frac{R_2 R_3 - R_1 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} \quad R_e \rightarrow \infty$$

$$\text{Equilibrio : } i_{R_e} = 0 \quad R_2 R_3 = R_1 R_4$$

$$V_m = E_s \frac{R_o (\Delta R_2 - \Delta R_1 + \Delta R_3 - \Delta R_4) + \Delta R_2 \Delta R_3 - \Delta R_1 \Delta R_4}{4R_o^2 + 2R_o (\Delta R_1 + \Delta R_2 + \Delta R_3 + \Delta R_4) + (\Delta R_1 + \Delta R_2)(\Delta R_3 + \Delta R_4)}$$

$$R_i = R_o + \Delta R_i$$



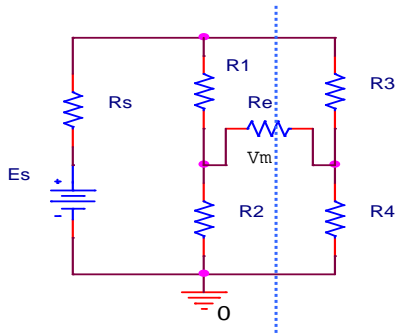
Departamento Tecnología Electrónica

**No lineal**

Instrumentación Electrónica I CV



## Circuito en puente de Wheatstone



- $R_s \rightarrow 0, R_e \rightarrow \infty$
- Equilibrio,  $R_{10} = R_0$
- Pequeñas variaciones

$$V_m = E_s \frac{(\Delta R_2 - \Delta R_1 + \Delta R_3 - \Delta R_4)}{4R_0}$$

Lineal

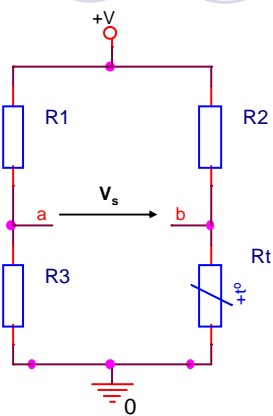


Departamento Tecnología  
Electrónica

Instrumentación Electrónica I  
CV

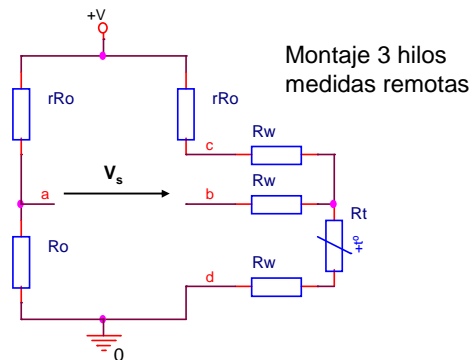


## Ejemplo aplicación: Medida temperatura RTD



Equilibrar puente

Régimen pequeña señal

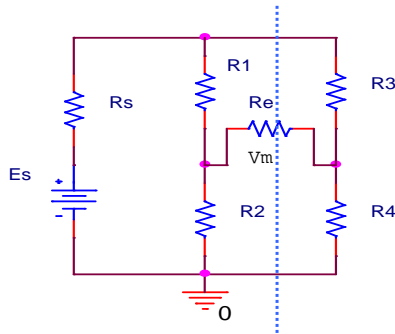


Departamento Tecnología  
Electrónica

Instrumentación Electrónica I  
CV



## Circuito en puente de Wheatstone



- $R_s \rightarrow 0, R_e \rightarrow \infty$
- Equilibrio,  $R_{i0} = R_o$
- Pequeñas variaciones

$$V_m = E_s \frac{(\Delta R_2 - \Delta R_1 + \Delta R_3 - \Delta R_4)}{4R_o}$$

### Mejora sensibilidad

Montaje push-pull convenientemente colocados sensores:

Máxima 4 sensores:  $\Delta R_2 = \Delta R_3 = -\Delta R_1 = -\Delta R_4$



Departamento Tecnología  
Electrónica

Instrumentación Electrónica I  
CV



## Circuito en puente de Wheatstone

### Magnitudes de influencia

$\Delta RT = S_m \Delta m + S_g \Delta g$ ; m=medida interés, g=parámetro influencia (T típicamente)

¿Efecto? ¿Se puede compensar?

En configuración push-pull y si se puede aplicar pequeña señal también al efecto de la magnitud de influencia.

En ocasiones si la magnitud de medida no es susceptible de push-pull, se pueden usar 2 sensores: 1 medir y 1 para compensar



Departamento Tecnología  
Electrónica

Instrumentación Electrónica I  
CV





## Amplificación.

- Objetivo: aumentar el nivel de señal
- Diseño: amplificadores multietapa, G grande con un BW razonable
- Parámetros:  $R_i$ ,  $R_o$ , G
- Efectos de carga entre:
  - etapas propio amplificador
  - el circuito acondicionador transductor y entrada ampl.
  - Salida del amplificador y la carga



Departamento Tecnología  
Electrónica

Instrumentación Electrónica I  
CV



## Amplificación.

- Amplificadores de tensión. Características generales:
  - **Alta impedancia de entrada**
  - **Ganancia en tensión elevada y variable**
  - **Baja impedancia de salida**



Departamento Tecnología  
Electrónica

Instrumentación Electrónica I  
CV



## Amplificación. A.O.

- A.O. CI clave en el diseño de amplificadores
- Características clave: bajo coste, fácil uso, versatilidad
- Historia:
  - 1964-67 Fairchild 1º A.O. integrados
  - Avance tecnología: JFET, CMOS, BIFET,
  - 2º innovación: encapsulado doble y cuádruple
  - **Especialización:**
    - Amplificadores de alta potencia, de audio, de G variable
    - Amplificadores de **INSTRUMENTACIÓN**



Departamento Tecnología  
Electrónica

Instrumentación Electrónica I  
CV



## Amplificación. A.O.

- **A.O. ideal y circuitos de aplicación**
  - 1.1.1. Fundamentos A.O.
  - 1.1.2. Aplicaciones de una entrada
  - 1.1.3. Amplificadores diferenciales y de instrumentación
- Amplificación en sistemas de instrumentación



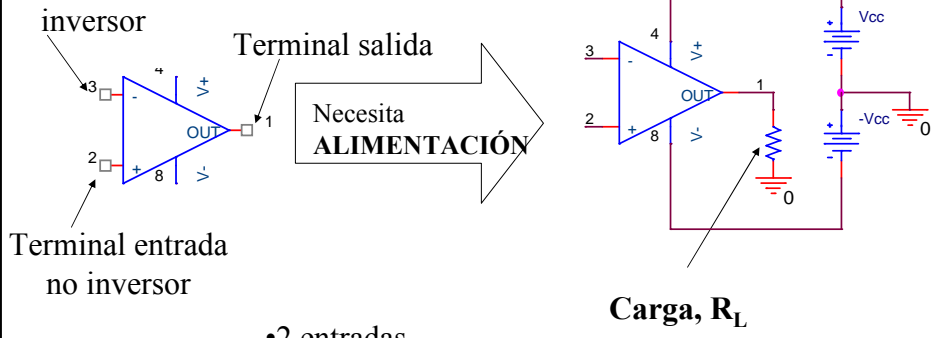
Departamento Tecnología  
Electrónica

Instrumentación Electrónica I  
CV



# Amplificador Operacional

## ● Símbolo



- terminales: • 2 entradas + 2 terminales alimentación  
 • 1 salida



Departamento Tecnología Electrónica

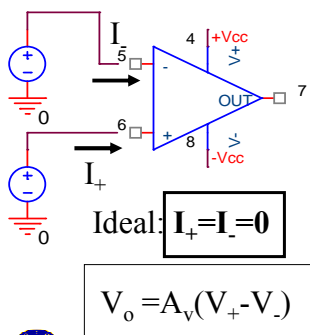
Instrumentación Electrónica I CV



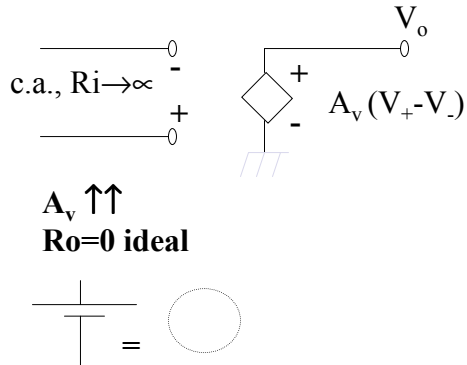
# A. Operacional Ideal

## ● Características

## ● ¿Cómo modelarlo?



Departamento Tecnología Electrónica

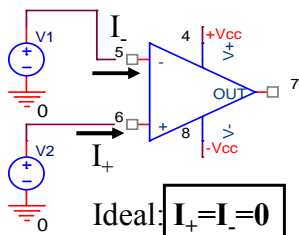


Instrumentación Electrónica I CV



## A. Operacional

- **Características**

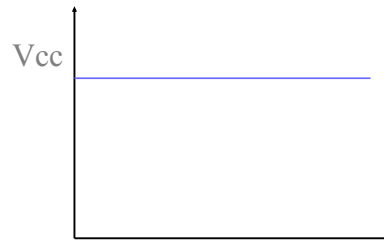


$$V_o = A_v(V_+ - V_-)$$



Departamento Tecnología  
Electrónica

- **En lazo abierto:**  
Satura. Comparador



$$V_1 = 0\text{v}$$

$$V_2 = 1\text{V}, V_+ > V_-$$

Instrumentación Electrónica I  
CV



## A. Operacional

- **Versatilidad:** “Las funciones a implementar se consiguen con la conexión de elementos externos”

**AMPLIFICACIÓN.** “Existe una resistencia externa conectando el terminal de salida,  $V_o$ , con el terminal inversor de entrada,  $V_-$ , del A.O.”.

**GANANCIA,  $G=f(\text{Resistencias externas})$ .**



Departamento Tecnología  
Electrónica

Instrumentación Electrónica I  
CV



# Circuitos lineales de aplicación

- **Metodología común**

Uso características A.O. ideal y de una red de resistencias externa

Cálculo: Ganancia, impedancia entrada

- **Objetivo:** Manejo de los circuitos y facilitar la comprensión del funcionamiento y prestaciones del amplificador diferencial



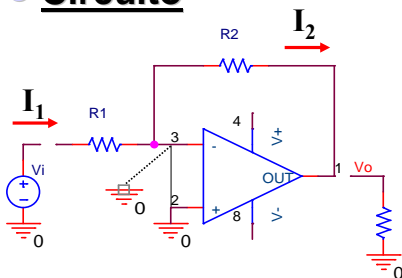
Departamento Tecnología Electrónica

Instrumentación Electrónica I  
CV



# Configuración Inversora

- **Circuito**



- **Análisis, ¿Vo?**

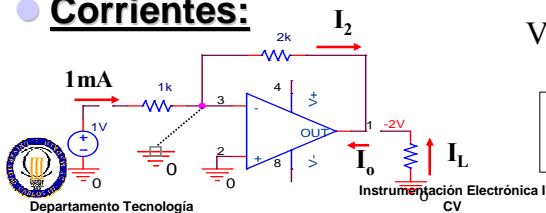
Ideal:  $I_+ = I_- = 0$

Cortocircuito virtual:  $V_+ = V_-$

$I_1 = I_2 \Rightarrow V_i/R_1 = -V_o/R_2$ , luego

$V_o = -R_2/R_1 V_i$ ; **G**

- **Corrientes:**



$I_o = I_L + I_2$



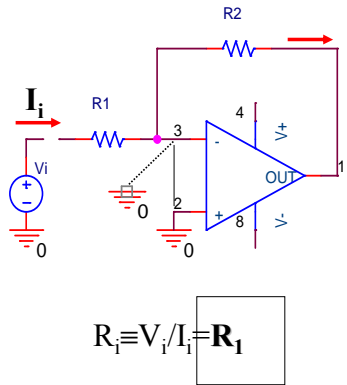
Departamento Tecnología Electrónica

Instrumentación Electrónica I  
CV



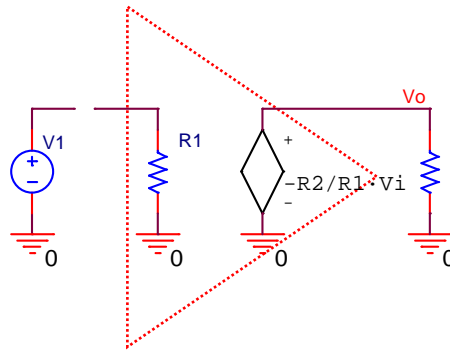
# Configuración Inversora

## ● Cálculo Ri



$$R_i \equiv V_i / I_i = R_1$$

## ● Modelo equivalente



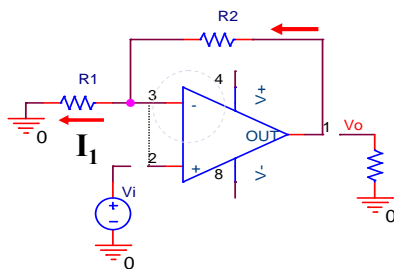
Departamento Tecnología  
Electrónica

Instrumentación Electrónica I  
CV



# Configuración no Inversora

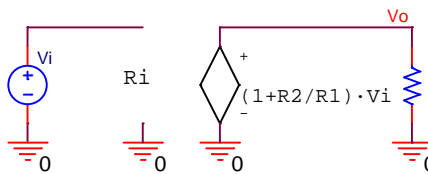
## ● Circuito



$$I_1 = I_2 \Rightarrow V_i / R_1 = (V_o - V_i) / R_2, \text{ luego}$$

$$V_o = (1 + R_2 / R_1) V_i; G$$

## ● Modelo equivalente



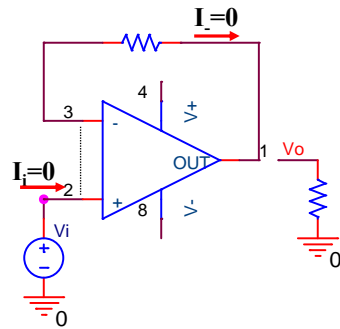
Departamento Tecnología  
Electrónica

Instrumentación Electrónica I  
CV



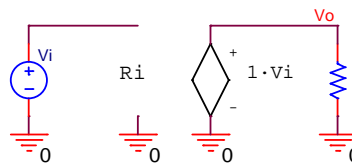
# Buffer de ganancia unidad

## ● Circuito



$$V_o = V_i$$

## ● Modelo equivalente



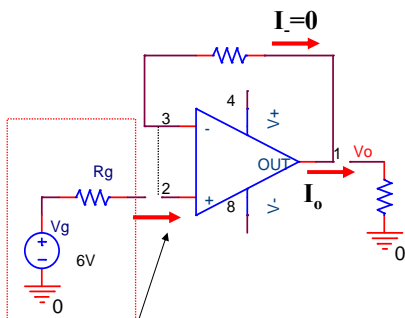
Departamento Tecnología Electrónica

Instrumentación Electrónica I  
CV



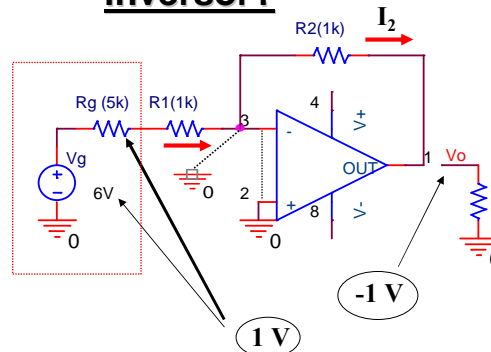
# Buffer. Utilidad

## ● ¿Util si G=1?



No demanda corriente

## ● ¿Y si se usa un inversor?



ATENUACIÓN



**AISLA LA FUENTE DE LA CARGA**

Instrumentación Electrónica I  
CV



# Amplificación diferencial

- **Metodología común**

Uso características A.O. ideal

Cálculo: Ganancia, impedancia entrada, **RRMC**

- **Objetivo:** Entender la estructura y ventajas del Amplificador de Instrumentación



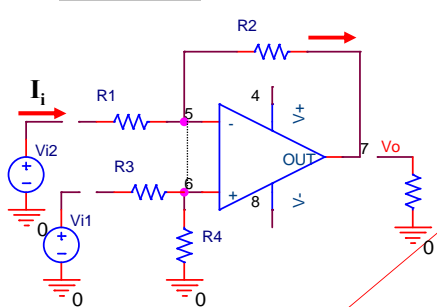
Departamento Tecnología  
Electrónica

Instrumentación Electrónica I  
CV



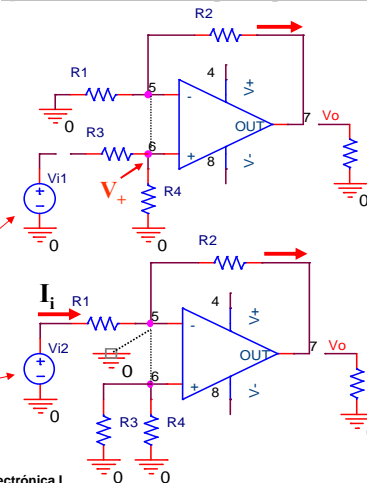
# Amplificador Diferencial

- **Circuito**



**No inversora**  
**Inversora**

- **¿Vo? Tma Superposición**



Departamento Tecnología  
Electrónica

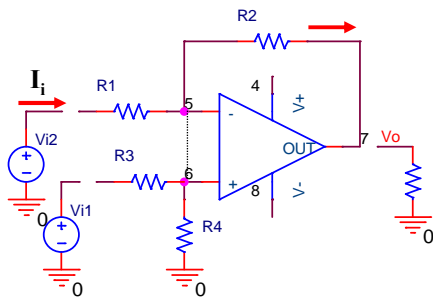
Instrumentación Electrónica I  
CV





# Amplificador Diferencial

## ● Circuito



## ● ¿Vo? Si $R_2=R_4$ y $R_1=R_3$

$$V_o = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_{i1} - \frac{R_2}{R_1} V_{i2}$$

$$V_o = V_{i1} \left( \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) (1 + R_2/R_1) + V_{i2} \left( -R_2/R_1 \right)$$

$$V_o = \frac{R_2}{R_1} (V_{i1} - V_{i2})$$



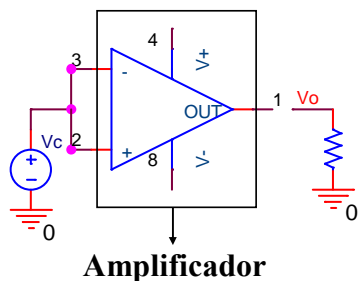
Departamento Tecnología  
Electrónica

Instrumentación Electrónica I  
CV



# Amplificación Diferencial

## ● Relación de Rechazo al Modo Común



Amplificador

Ganancia modo común

$$V_o = A_{mc} V_c$$

$$RRMC \equiv A_{md}/A_{mc} \rightarrow \infty$$



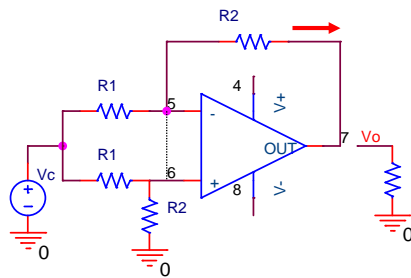
Departamento Tecnología  
Electrónica

Instrumentación Electrónica I  
CV



# Amplificador Diferencial

¿Qué ocurre al aplicar la misma señal a ambas entradas?



$V_o = 0$ , Rechaza señales comunes

Si existen desequilibrios:  $R_1 \neq R_2$ ,  
 $R_3 \neq R_4$

$V_o \neq 0$



Departamento Tecnología  
Electrónica



Tecnología



Desequilibrios etapas previas

Instrumentación Electrónica I  
CV



# Resumen: Amplificador Diferencial

## ● Características

- ☺ Amplifica la diferencia señales
- ☹ RRMC depende tecnología
- ☹ Desequilibrio resistencias entrada
- ☹ Variación ganancia difícil
- ☹ Bajas impedancias entrada

## ● Mejoras

- ☺ Ganancia variable
- ☺ Mayores resistencias entrada
- ☺ Mejores RRMC

EJEMPLO: INA106



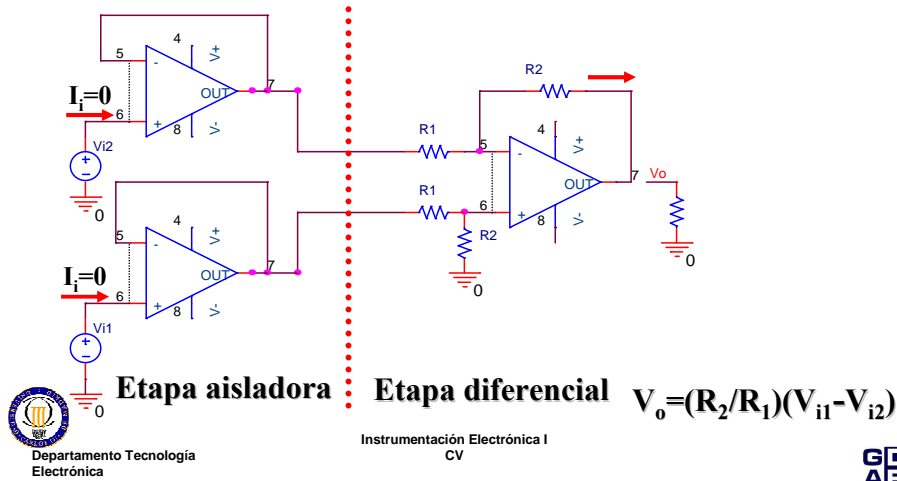
Departamento Tecnología  
Electrónica

Instrumentación Electrónica I  
CV



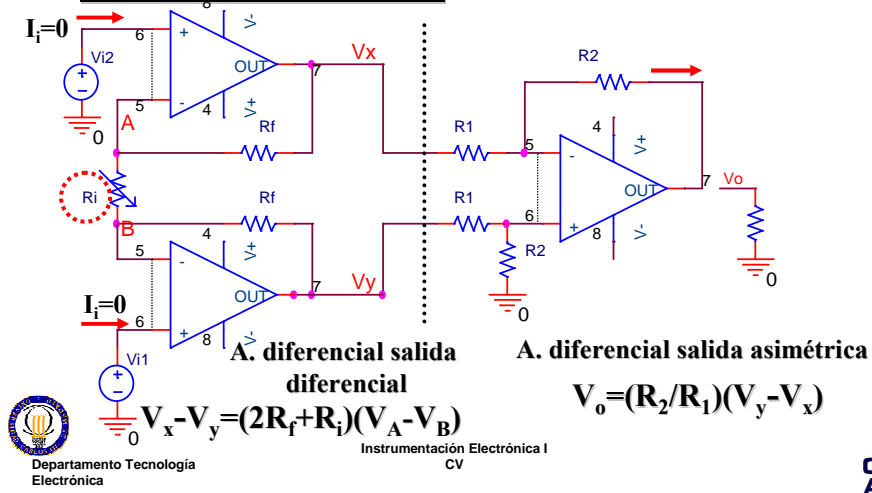
# Amplificador Diferencial y Buffers

## 😊 Aumento de la impedancia de entrada



# Amplificador de Instrumentación

## 😊 Ganancia variable

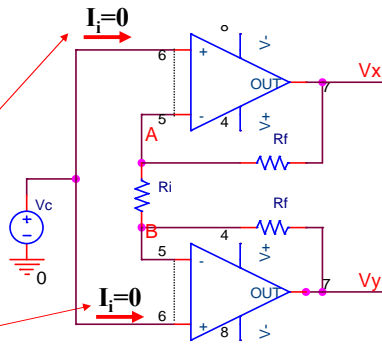


# Amplificador de Instrumentación

☺ **Ganancia variable**

$$V_o = (R_2/R_1)(1 + 2R_f/R_i)(V_{i1} - V_{i2})$$

☺ **Mejora RRMC**



☺ **Impedancia de entrada alta**

$$V_x = V_y \text{ si } V_{i1} = V_{i2} \Rightarrow I_{Ri} = 0$$



Departamento Tecnología  
Electrónica

Instrumentación Electrónica I  
CV



# Acondicionamiento de transductores resistivos

☰ Ganancias **elevadas y variables** ( $\Delta R$  pequeños)

☰ Amplificación **diferencial** con **RRMC** altas

☰ **Altas** impedancias de entrada

**¿Cómo se consigue?**



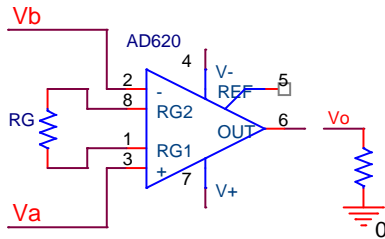
Departamento Tecnología  
Electrónica

Instrumentación Electrónica I  
CV



# Amplificador de Instrumentación

## ● Símbolo



**Monolítico**



Departamento Tecnología  
Electrónica

Instrumentación Electrónica I  
CV

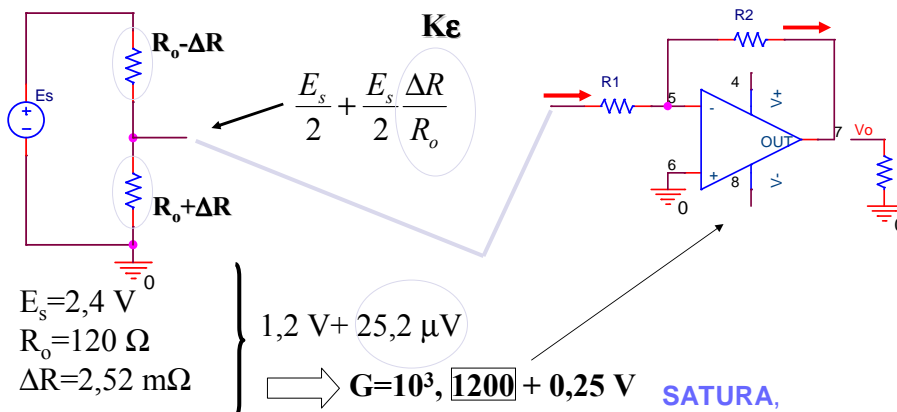


## ● Características. AD620

- ☞ Ri = 10 GΩ
- ☞ RRMC= 110 dB (mínima)
- ☞ G variable: (1-1000); R<sub>G</sub>

# Aplicación: Medida deformaciones

## **Motivación:** Circuito Potenciométrico + AO inversor



Departamento Tecnología  
Electrónica

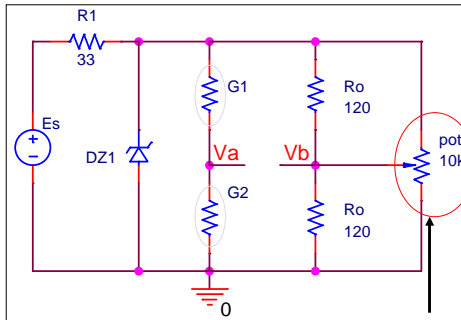
Instrumentación Electrónica I  
CV



**¿Solución?**

## Utilidad: Circuito acondicionador 2

### Circuito 1/2 Puente Wheatstone



$$V_a > V_b \Rightarrow R_{G2} > R_{G1} \quad \begin{matrix} G_1, -\Delta R \text{ compresión} \\ G_2, +\Delta R \text{ tracción} \end{matrix}$$

$$V_a = \frac{V_{z1}}{2} + \frac{V_{z1}}{2} \frac{\Delta R}{R_o}$$

$$V_b = \frac{V_{z1}}{2} \text{ (equilibrio)}$$

$R_1 = 33\Omega$  1/2W

$DZ_1 = 2,4$  V 1/4 W

$G_1, G_2$ : PFL1011

Equilibra puente

LIMITA I galga

$$V_a - V_b = \frac{V_{z1}}{2} \frac{\Delta R}{R_o}$$



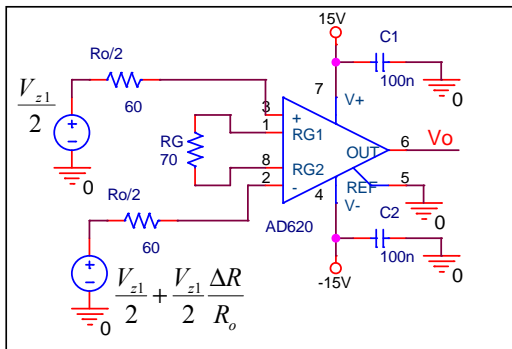
Departamento Tecnología Electrónica

Instrumentación Electrónica I CV



## Utilidad: Circuito acondicionador 2

### Amplificador de instrumentación. AD620



$$V_o = \frac{V_{z1}}{2} \frac{\Delta R}{R_o} G = 7,07 \Delta R$$

$$G = \frac{49,4 K}{R_G} + 1 = 707$$

No existe efecto de carga  $10 G\Omega \gg 120 \Omega$



Rechaza el modo común:  $V_{oc} = 2,68$  mV ( $RRMC = A_{md}/A_{mc}$ ;  $V_{oc} = V_z/2 * A_{mc}$ )

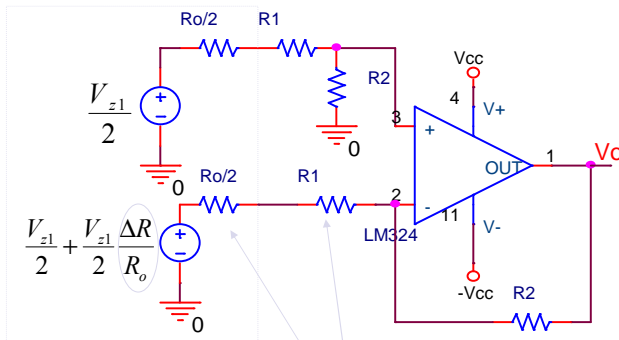
Departamento Tecnología Electrónica

Instrumentación Electrónica I CV



## Circuito acondicionador 3

### ¿Qué ocurre si se utiliza un A Diferencial?



$G \approx 10^3$ , INA106

$R_2 = 60 \text{ K}\Omega$

$R_1 = 60 \Omega$

Equivalente Thévenin

Puente+sensor

Efecto de carga

$G_{\text{real}} = 500 \text{ MITAD}$



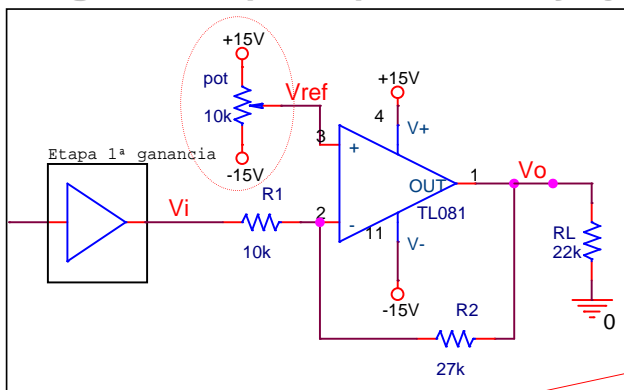
Departamento Tecnología  
Electrónica

Instrumentación Electrónica I  
CV



## Acondicionamiento

### Segunda etapa amplificadora y ajuste de offset



Ajustar nivel cero

$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1} V_i + V_{\text{ref}} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

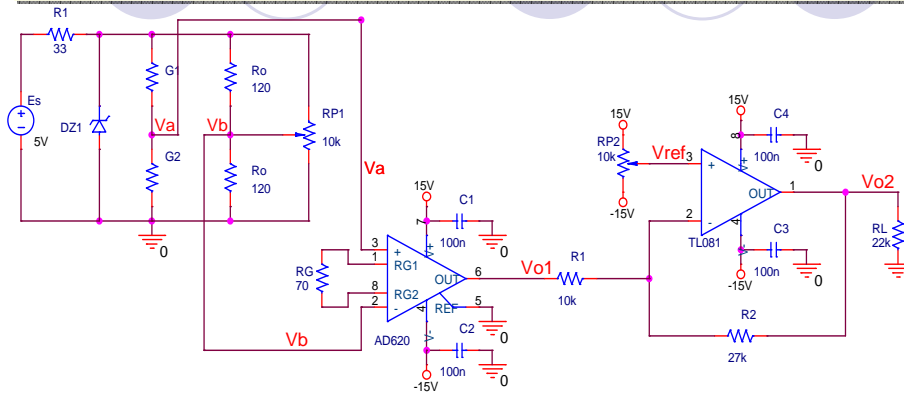


Departamento Tecnología  
Electrónica

Instrumentación Electrónica I  
CV



## Ejemplo. Sistema completo: Sensibilidad



$$V_o = V_{o2} = -\frac{R_2}{R_1} G_1 \frac{V_{z1}}{2} \frac{\Delta R}{R_o} + V_{ref} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$S \equiv \frac{|\Delta V_o|}{\Delta R} = ?$$



Departamento Tecnología  
Electrónica

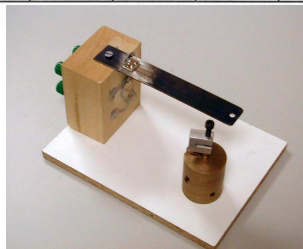
Instrumentación Electrónica I  
CV



## Sistema completo: Calibración

### Tabla de calibración a rellenar

Pesos	Sin carga	soporte	1 pesa	2 pesas	3 pesas	4 pesas	5 pesas	6 pesas	7 pesas	8 pesas
Uo (V)										



Departamento Tecnología  
Electrónica



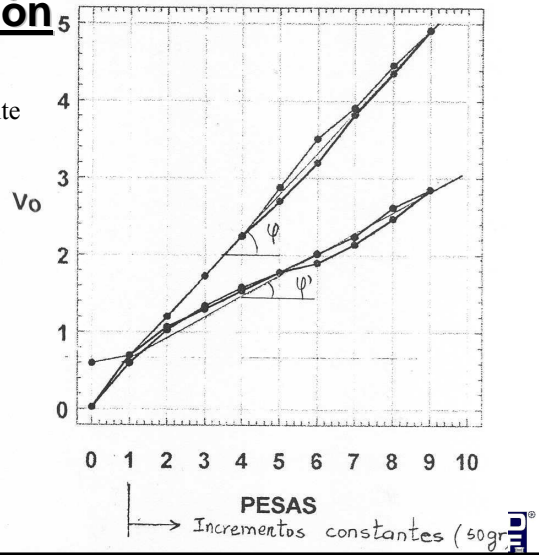


# Sistema completo: Calibración

Vo-PESAS  
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA SENSIBILIDAD

## Curva de calibración

- ☐ Sensibilidad doble 1/2 Puente
- ☐ Mayor linealidad
- ☐ Histéresis mínima



Departamento Tecnología  
Electrónica



Departamento Tecnología  
Electrónica

Instrumentación Electrónica I  
CV

