

# Tema 3

# SENSORES RESISTIVOS

## PARTE 1

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

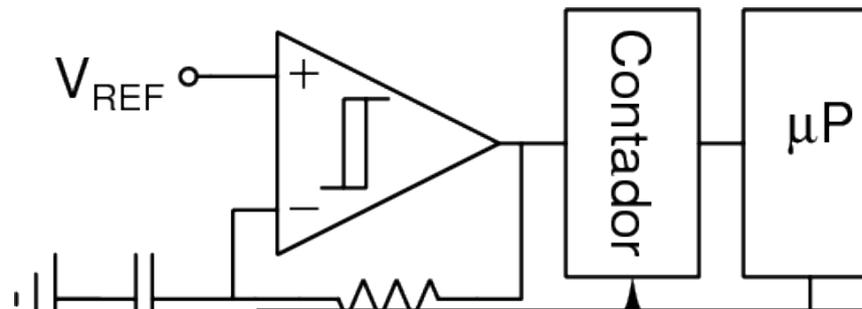
# Introducción

## ¿Cómo se puede medir una resistencia?

En la práctica, los sistemas de instrumentación terminan en un conversor analógico/digital preparado para convertir tensión en niveles de referencia.

## HAY QUE TRANSFORMAR RESISTENCIA EN TENSION

O recurrir a estrategias más heterodoxas:



**La resistencia del sensor controla el ciclo del oscilador de relajación, de modo que la salida del contador en**

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

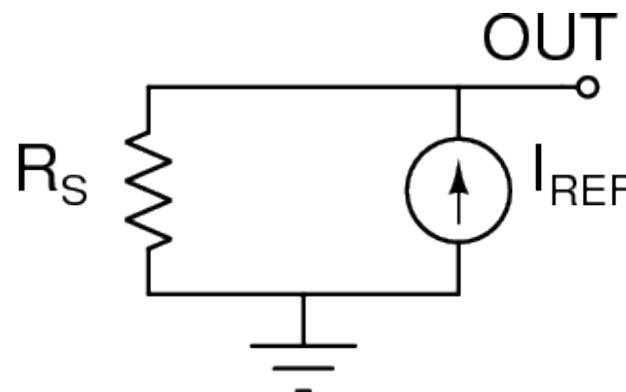
# Estrategia: Fuente de corriente

**Excitar la resistencia con una fuente conocida**

Probablemente, la solución más fácil de entender...

## PROS

- Si la resistencia es lineal, sigue siendo lineal.
- Ganancia conocida.



$$V_{OUT} = R_S \cdot I_{REF} = (R_{S0} + \alpha \cdot X) \cdot I_{REF}$$

## CONTRAS

- Tensión de salida no nula con valor cero de la variable.
- No resuelve el problema de la no linealidad del sensor

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Estrategia: Resistencia serie

## Polarizar con referencia y resistencia patrón

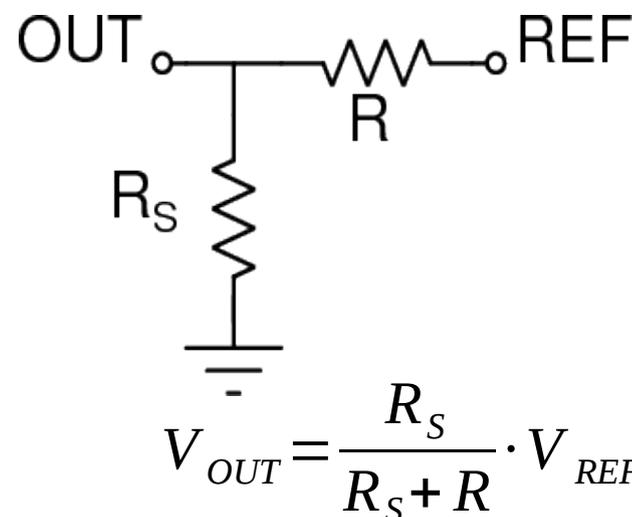
Probablemente, la solución más sencilla...

### PROS

- Fácilmente construible
- Elimina la no linealidad

### CONTRAS

- Introduce una gran no linealidad
- Tensión de salida no nula
- ¿Cómo se elige el valor de R?



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Estrategia: Resistencia serie

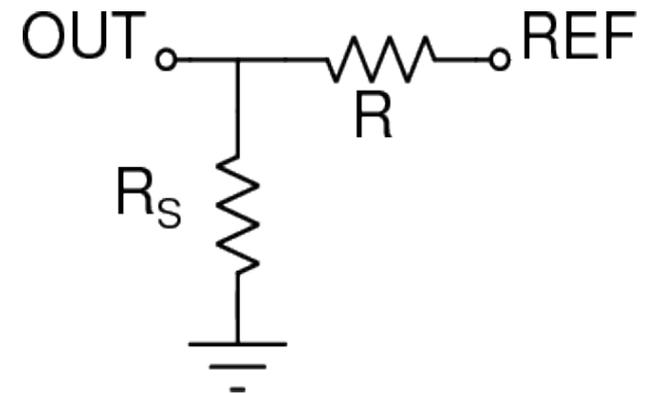
## Elección de R: Máximo fondo de escala

El objetivo es que la tensión de salida abarque todo el rango de tensiones de salida: Punto medio en  **$0,5 \cdot V_{REF}$**

$$R_S(x) = R_{S0} + \alpha \cdot x \longrightarrow R = R_{S0}$$

$$\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} = \frac{R_S}{R_S + R} = \frac{R_{S0} + \alpha \cdot x}{2 \cdot R_{S0} + \alpha \cdot x}$$

$$V_{OUT} \approx \frac{V_{REF}}{2} + \frac{\alpha \cdot V_{REF}}{4 \cdot R_{S0}} \cdot x - \frac{\alpha^2 \cdot V_{REF}}{8 \cdot R_{S0}^2} \cdot x^2$$



No

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

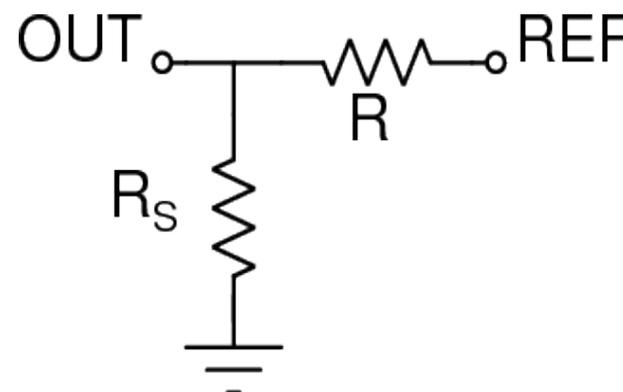
# Estrategia: Resistencia serie

## Elección de R: Eliminación de la no linealidad

El objetivo es compensar la no linealidad del sensor con la introducida por la resistencia de referencia

$$R_S(x) = R_{S0} + \alpha \cdot x + \beta \cdot x^2$$

$$\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} = \frac{R_S}{R_S + R} = \frac{R_{S0} + \alpha \cdot x + \beta \cdot x^2}{R + R_{S0} + \alpha \cdot x + \beta \cdot x^2}$$



$$V_{OUT} \approx \frac{R_{S0}}{R + R_{S0}} \cdot V_{REF} + \frac{\alpha \cdot R \cdot V_{REF}}{(R + R_{S0})^2} \cdot x + \frac{R \cdot V_{REF} \cdot \left( (R_{S0} + R) \cdot \beta - \alpha^2 \right)}{(R + R_{S0})^3} \cdot x^2$$

**Offset en**

**Nueva**

**No**

**Cartagena99**

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# Estrategia: Resistencia serie

## Elección de R: Eliminación de la no linealidad

Si  $\beta > 0$ , el término no lineal se cancela si  $(R_{s0} + R) \cdot \beta = \alpha^2$

Por tanto: 
$$R = \frac{\alpha^2}{\beta} - R_{s0}$$

$$V_{OUT} \approx \underbrace{\frac{\beta \cdot R_{s0}}{\alpha^2} \cdot V_{REF}}_{\text{Offset en la medida}} + \underbrace{\frac{\beta}{\alpha} \cdot \left(1 - \frac{\beta \cdot R_{s0}}{\alpha^2}\right) \cdot V_{REF}}_{\text{Nueva sensibilidad}} \cdot x + \underbrace{O(x^3)}_{\text{No linealidad}}$$

### Importante:

- 1) Esta técnica no siempre es válida: Necesitamos segunda derivada positiva y  $\beta$  suficientemente pequeña

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

5) muy útil CON INTC.

# El problema de la temperatura

## Corrección en la medida

En general, toda resistencia se ve afectada por la temperatura además de por el parámetro.

Por tanto, o la temperatura se mantiene constante o se debe realizar una corrección *a posteriori* midiendo la temperatura del sistema con un sensor adicional.

## Autocalentamiento por efecto Joule

En todos los ejemplos estudiados, la sensibilidad es proporcional a la excitación, sea  $V_{REF}$ , sea  $I_{REF}$ .

## Incremento de temperatura controlado por resistencia térmica, $R_\theta$

$$R_\theta \cdot V_{REF}^2$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

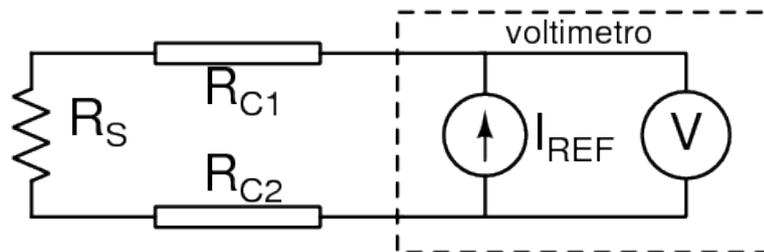
---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# El problema del cableado

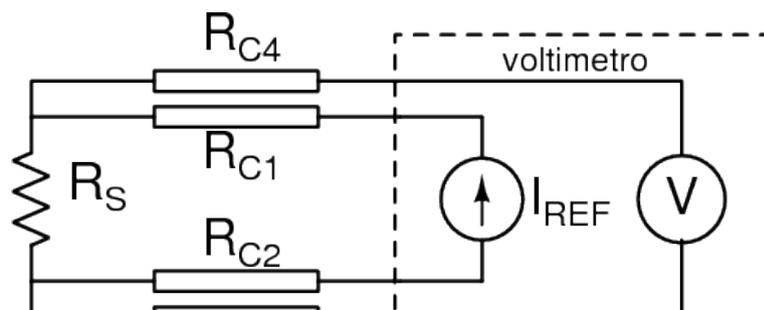
## Incertidumbre añadida en la medida

En algunos casos, el sensor se encuentra a gran distancia del sistema de medida y hay que tener en cuenta los cables.



### Medida a 2 hilos

- Muy simple
- Imprecisa:  
 $R_{S,MED} = R_S + R_{C1} + R_{C2}$



### Medida a 4 hilos

- Complicada
- Más precisa:  
 $R_{S,MED} = R_S$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

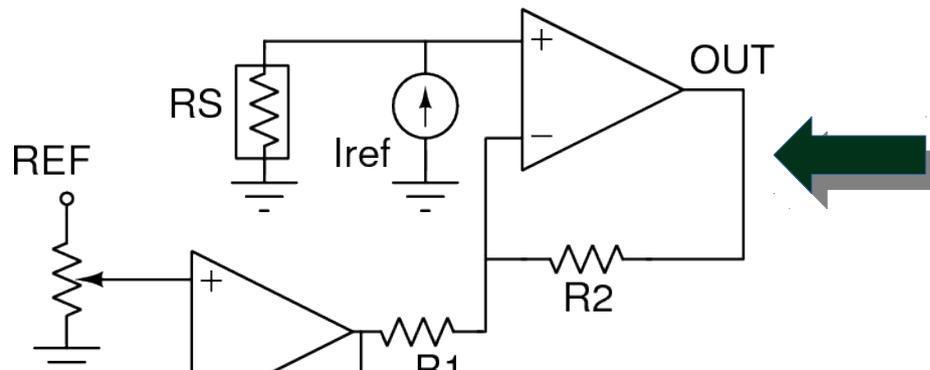
# Ajuste de cero

## Eliminación del *offset* intrínseco en la medida

Ya se vio anteriormente que, en muchos casos, en el nivel de referencia de la variable la salida del sistema no es nula.

**Por ejemplo...**

$$V_{OUT} = R_{S0} \cdot I_{REF} + \alpha \cdot I_{REF} \cdot \Delta x \quad \Rightarrow \quad V_{OUT}(\Delta x = 0) = R_{S0} \cdot I_{REF} \neq 0$$



### Una posible técnica

- No muy complicado
- Sin embargo, requiere ajuste manual

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

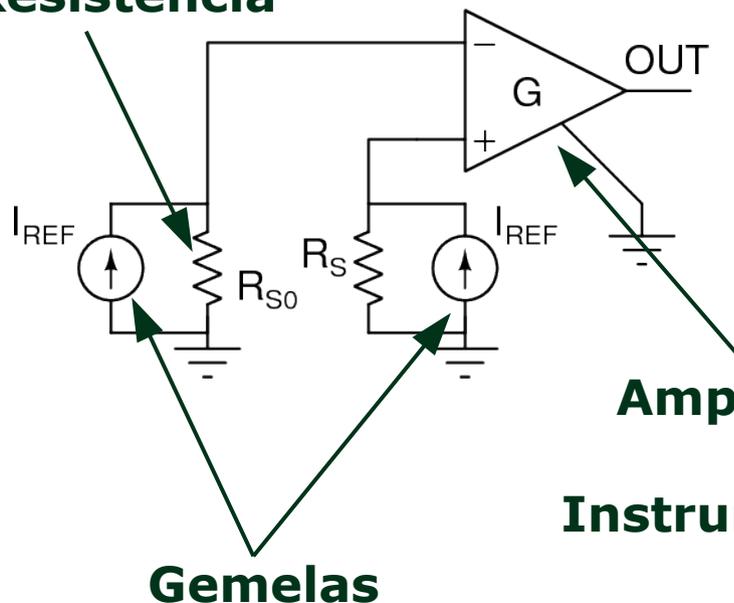
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# Ajuste de cero

## Eliminación del *offset* intrínseco en la medida

A veces, es más sencillo replicar el sensor y medir la tensión diferencial.

**Resistencia**



$$R_S = R_{S0} + \alpha \cdot \Delta x$$

$$V_{OUT} = G \cdot \alpha \cdot I_{REF} \cdot \Delta x$$

**Amplificador  
de  
Instrumentación**

**Gemelas**

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

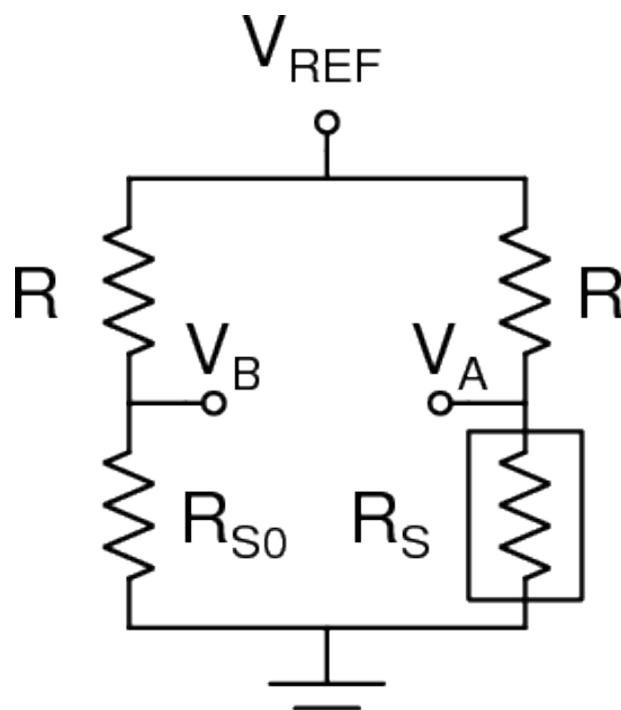
---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# Ajuste de cero

## Eliminación del *offset* intrínseco en la medida

En resistencias, hay que usar el **punteo de Wheatstone**



$$R_S = R_{S0} + \alpha \cdot \Delta X$$

$$V_A = \frac{R_S}{R + R_S} \cdot V_{REF} \quad V_B = \frac{R_{S0}}{R + R_{S0}} \cdot V_{REF}$$

$$V_{AB} \approx \frac{\alpha \cdot R \cdot V_{REF}}{(R + R_{S0})^2} \cdot \Delta X$$

**Medible con A. I.**

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

# Ajuste de cero

## Eliminación del *offset* intrínseco en la medida

El puente de Wheatstone puede mejorarse:

- La resistencia **R** puede elegirse buscando eliminar la no linealidad o el máximo rango.
- Además, con un único cable adicional se compensan los efectos del cable a larga distancia
- A veces, se pueden usar sólo cuatro sensores iguales, donde sólo uno se expone a variaciones y el resto se mantiene en un ambiente controlado (sensores pasivos).
- O dos sensores cruzado en el puente se exponen a la misma

Cartagena99

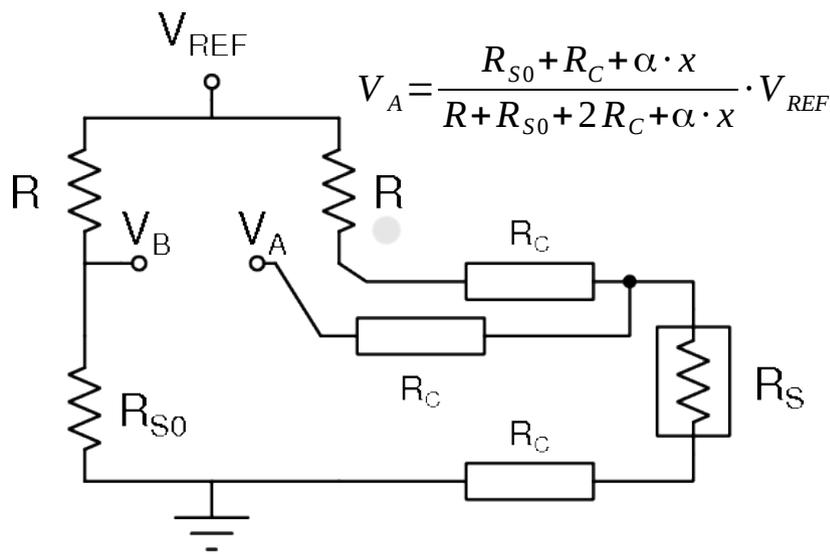
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Ajuste de cero

**Eliminación del *offset* intrínseco en la medida**

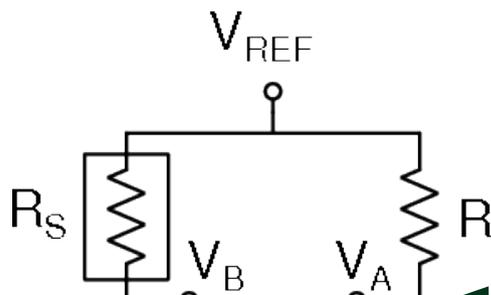


**P.e., si  $R = R_{S0}$**

$$V_A \approx \frac{V_{REF}}{2} + \frac{\alpha \cdot V_{REF}}{4 \cdot (R_{S0} + R_C)} \cdot x$$

**No cambia**

**Menor ganancia**



**Si  $R_S$  crece...**

**$V_A$  aumenta**

**Más**

**Cartagena99**

**CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

---

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

# Ajuste de cero

## Eliminación del *offset* del sistema

Se entiende por *offset* del sistema como el introducido por los dispositivos, sobre todo por aquellos encargados de la amplificación.

Dado que el sistema puede sufrir derivas por envejecimiento, temperatura, etc., y que requiere intervención de un operario:

**NO SE RECOMIENDA AJUSTAR CON POTENCIÓMETROS**

Las técnicas más habituales son:

- **Calibración automática del *offset***
  - Sistemas **con** memoria digital
  - Sistemas **con** memoria digital

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

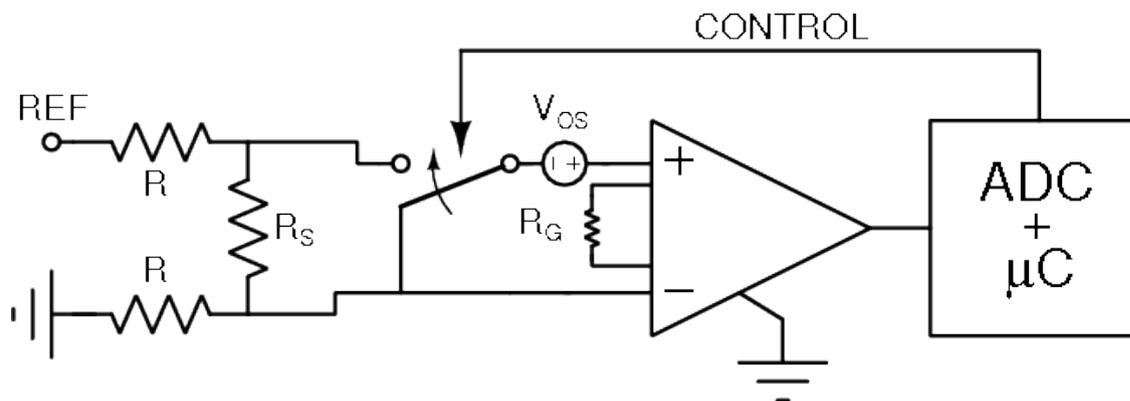
---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Ajuste de cero

## Eliminación del *offset* del sistema: Autocalibración

En un sistema digital, la autocalibración es extremadamente sencilla: Basta con configurar el sistema para tener entrada nula, medir, guardar datos y restar este valor en las siguientes medida.



**Switch ON:**

$$OUT = G_D \cdot (V_{RS} + V_{OS})$$

**Ya en el microcontrolador**

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

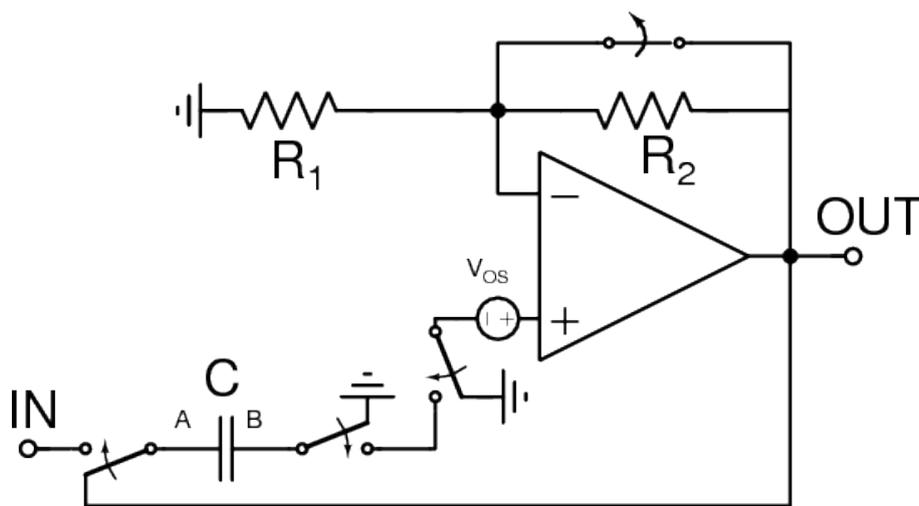
---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# Ajuste de cero

## Eliminación del *offset* del sistema: Autocalibración

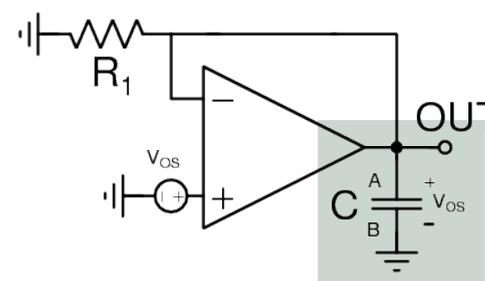
En otros casos, se puede guardar la tensión de offset en un condensador y restarla.



**Un ejemplo (puramente académico):**

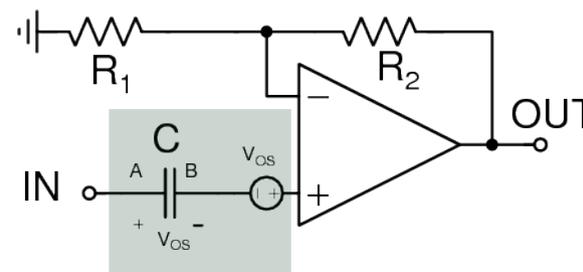
Eliminar la tensión de *offset* en un

### Switches en REPOSO



En reposo, la tensión de *offset* se almacena en el condensador.

### Switches ACTIVOS



CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

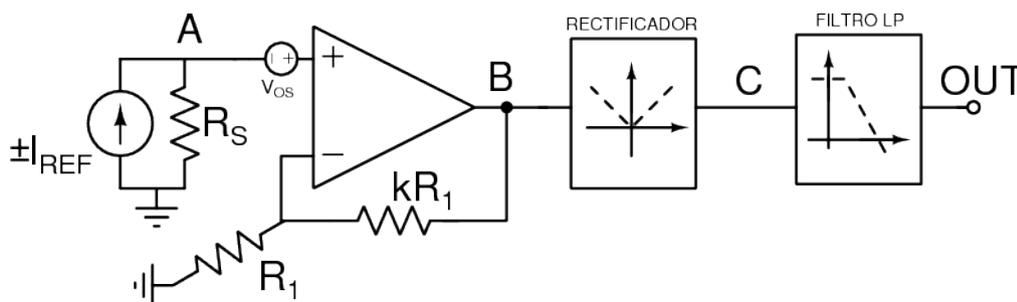
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

# Ajuste de cero

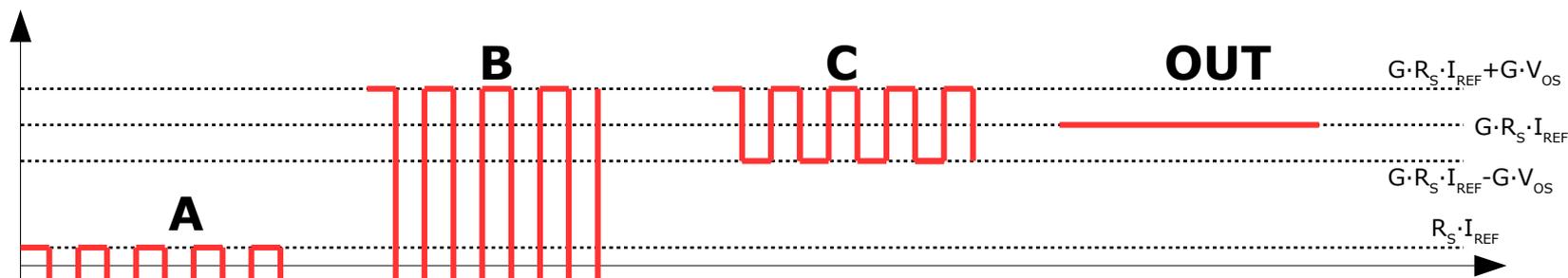
## Eliminación del *offset* del sistema: Técnicas Chopper

Bajo este nombre se recogen técnicas diversas que eliminan el offset convirtiendo una señal DC en variable, rectificando y filtrando con un filtro LP.



### Ejemplo:

Medir con fuente de corriente conmutada una resistencia con un amplificador no inversor



CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

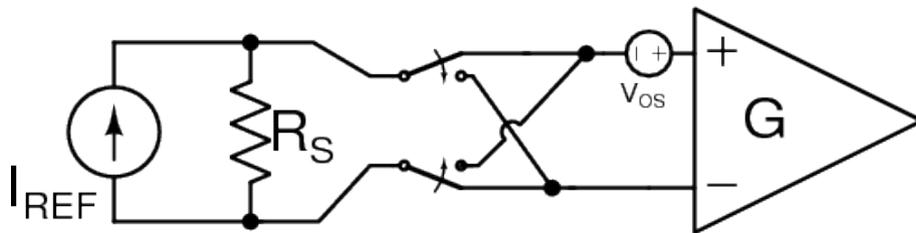
Cartagena99

# Ajuste de cero

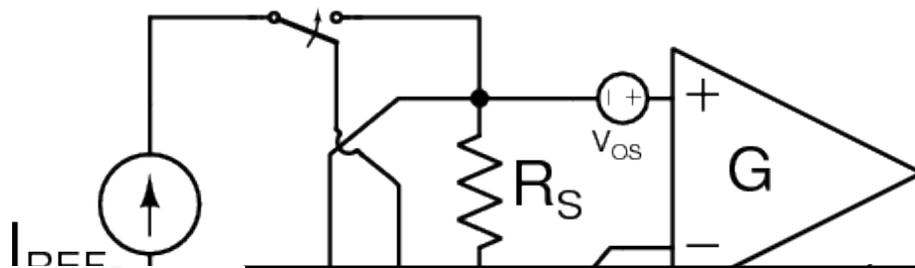
## Eliminación del *offset* del sistema: Técnicas Chopper

¿Cómo crear la fuente de corriente o de tensión variable?

- Habría que hacer un ajuste perfecto entre las dos fases, y no siempre es factible. Es mejor fijar la corriente y:



**Fijar la corriente e intercambiar los terminales de medida**



**Reordenar el circuito para que la corriente fluya en sentido inverso**

**Cartagena99**

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

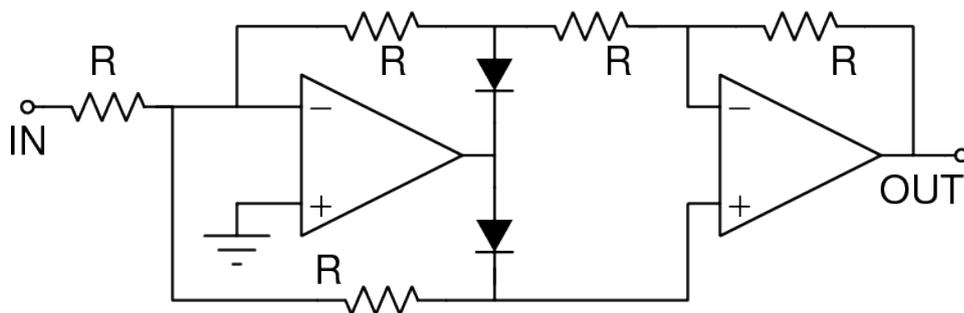
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Ajuste de cero

## Eliminación del offset del sistema: Técnicas Chopper

La rectificación debe ser de precisión.

- Los diodos sencillos están descartados



### Rectificador de onda completa

Estructura sencilla, fabricable con pocos elementos, pero relativamente lenta.



### Demodulador síncrono

Estructura sencilla, y bastante rápida.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70