



# Física y Uso de Fotodiodos

Grupo 4- Laboratorio 4A

Integrantes: Francisco Castillo, Mauro Chavez, Andres Derudder



Universidad de Buenos Aires - Exactas

**departamento de física**



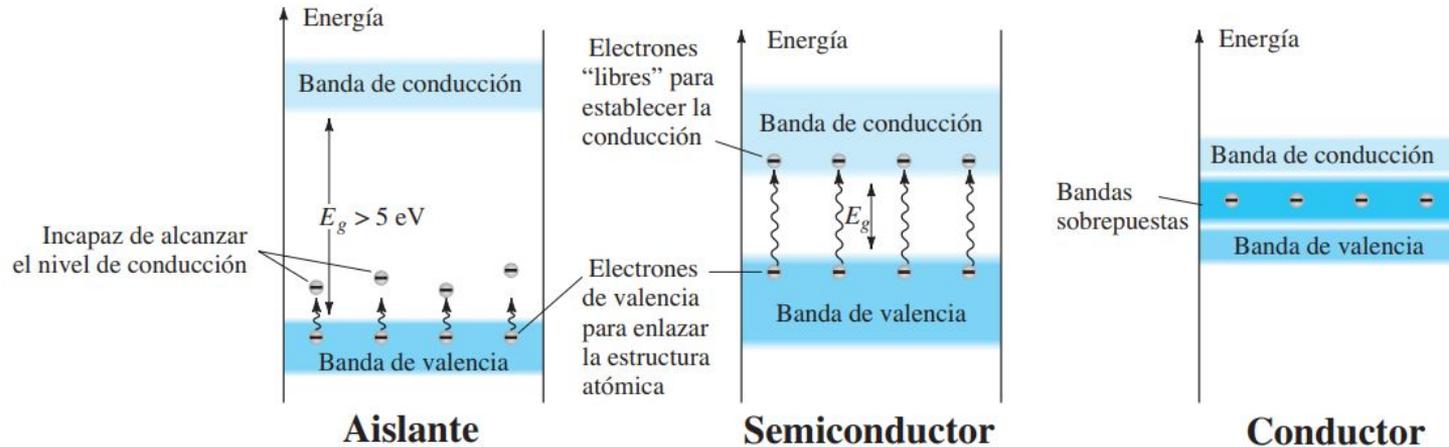
## Esquema de la charla

- Repaso de diodos
- Teoría y funcionamiento del fotodiodo
- Aplicaciones
- ¿Cómo se usa?, aspectos experimentales

## Repaso de diodos

Cuando átomos de un material se unen para formar redes cristalinas :

→ Hay interacción → estructura de bandas

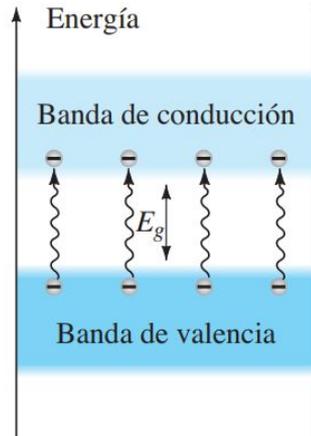


## Repaso de diodos

Cuando átomos de un material se unen para formar redes cristalinas :

→ Hay interacción

→ estructura de bandas



**Semiconductor**

$$\begin{aligned} E_g &= 0.67 \text{ eV (Ge)} \\ E_g &= 1.1 \text{ eV (Si)} \\ E_g &= 1.43 \text{ eV (GaAs)} \end{aligned}$$

→ Fotodiodo: diodo semiconductor basado en Si

## Repaso de diodos

# Materiales extrínsecos de tipo “n” y tipo “p”

Proceso de dopado: Agregado de impurezas al material semiconductor

→ Todo material sometido al proceso de dopado se denomina material extrínseco

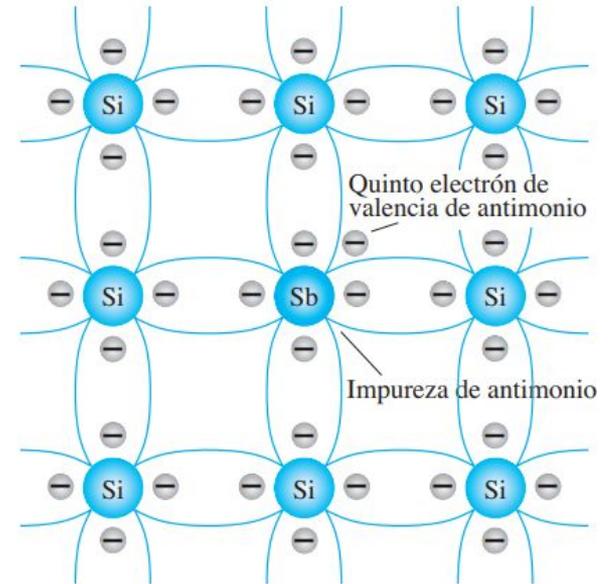


Teoría del Mono Dopado (McKenna)

## Repaso de diodos

### Material tipo "n"

Suelen ser átomos de germanio o silicio a los que se le agregan impurezas pentavalentes; e.g: antimonio, arsénico, fósforo.



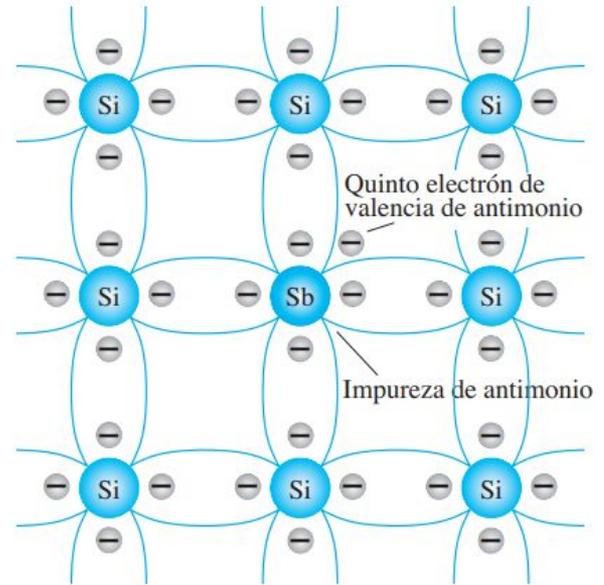
*Impureza de antimonio en un material tipo n.*

## Repaso de diodos

### Material tipo “n”

Suelen ser átomos de germanio o silicio a los que se le agregan impurezas pentavalentes; e.g: antimonio, arsénico, fósforo.

- excedencia de electrones (portadores mayoritarios)
- se mueven “libremente” (gas de Fermi)

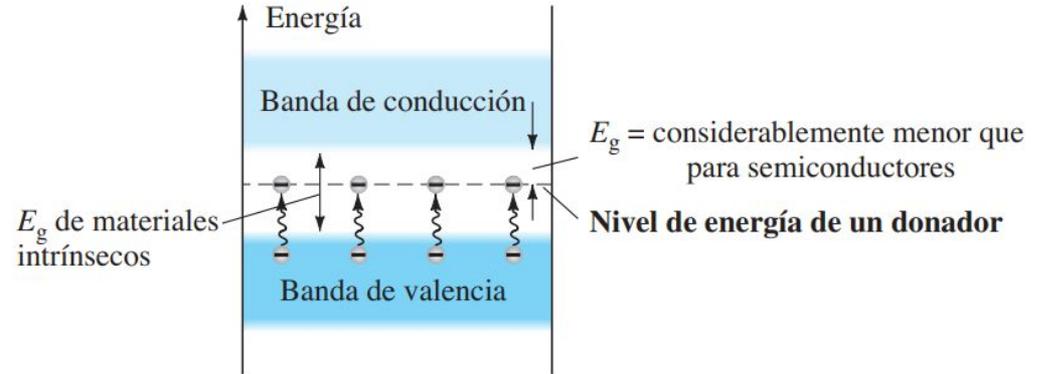


*Impureza de antimonio en un material tipo n.*

## Repaso de diodos

### Material tipo "n"

→ se reducen los gaps de energía

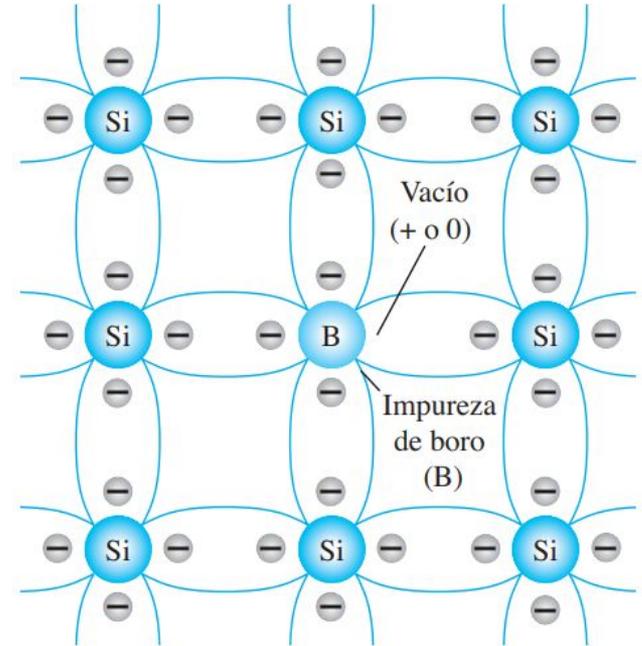


*Efecto de las impurezas de un donador en la estructura de la banda de energía.*

## Repaso de diodos

### Material tipo "p"

Dopado de un cristal puro de germanio o silicio con átomos con 3 electrones de valencia; e.g: boro, galio, silicio, etc.



*Impureza de boro en un material tipo p.*

## Repaso de diodos

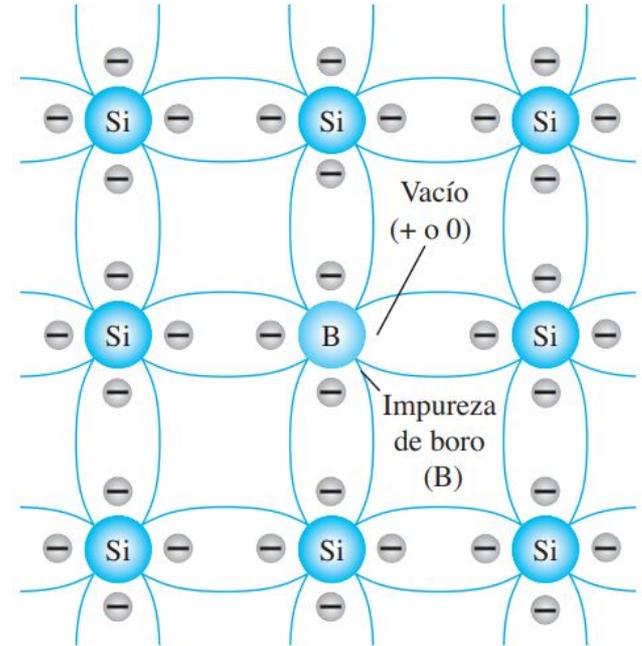
### Material tipo “p”

Dopado de un cristal puro de germanio o silicio con átomos con 3 electrones de valencia; e.g: boro, galio, silicio, etc.

→ carencia de electrones  
(portadores minoritarios)



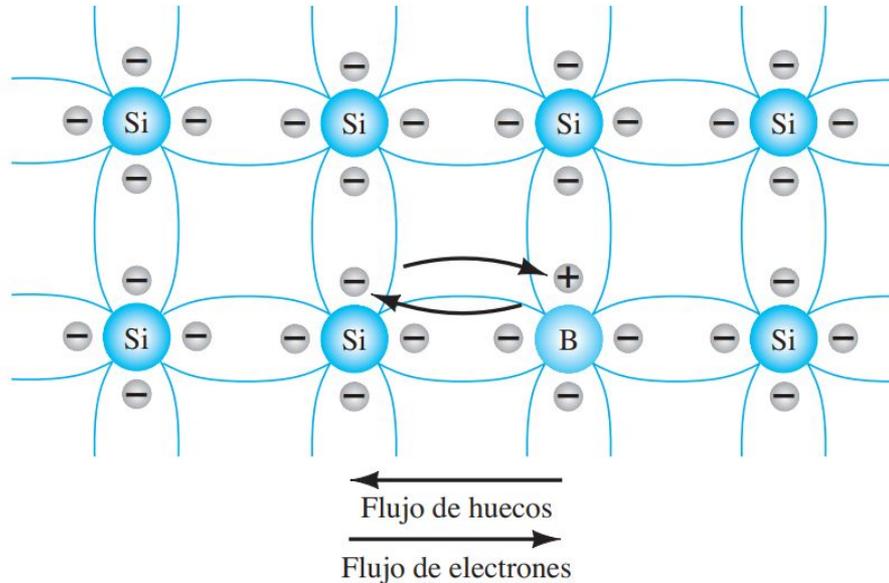
huecos (portadores mayoritarios)



*Impureza de boro en un material tipo p.*

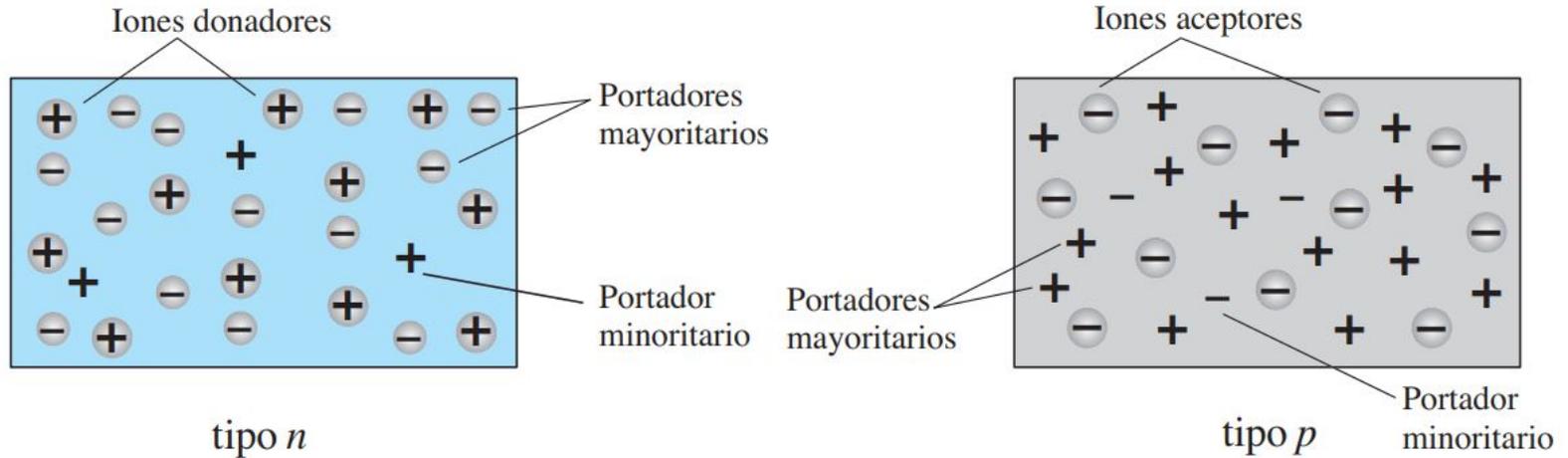
## Repaso de diodos

# Flujo de electrones contra flujo de huecos



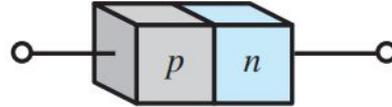
## Repaso de diodos

# Portadores mayoritarios y minoritarios



## Repaso de diodos

### Diodo semiconductor



→ Material semiconductor creado mediante una unión de materiales tipo n y tipo p.

Dado que es un dispositivo con dos terminales



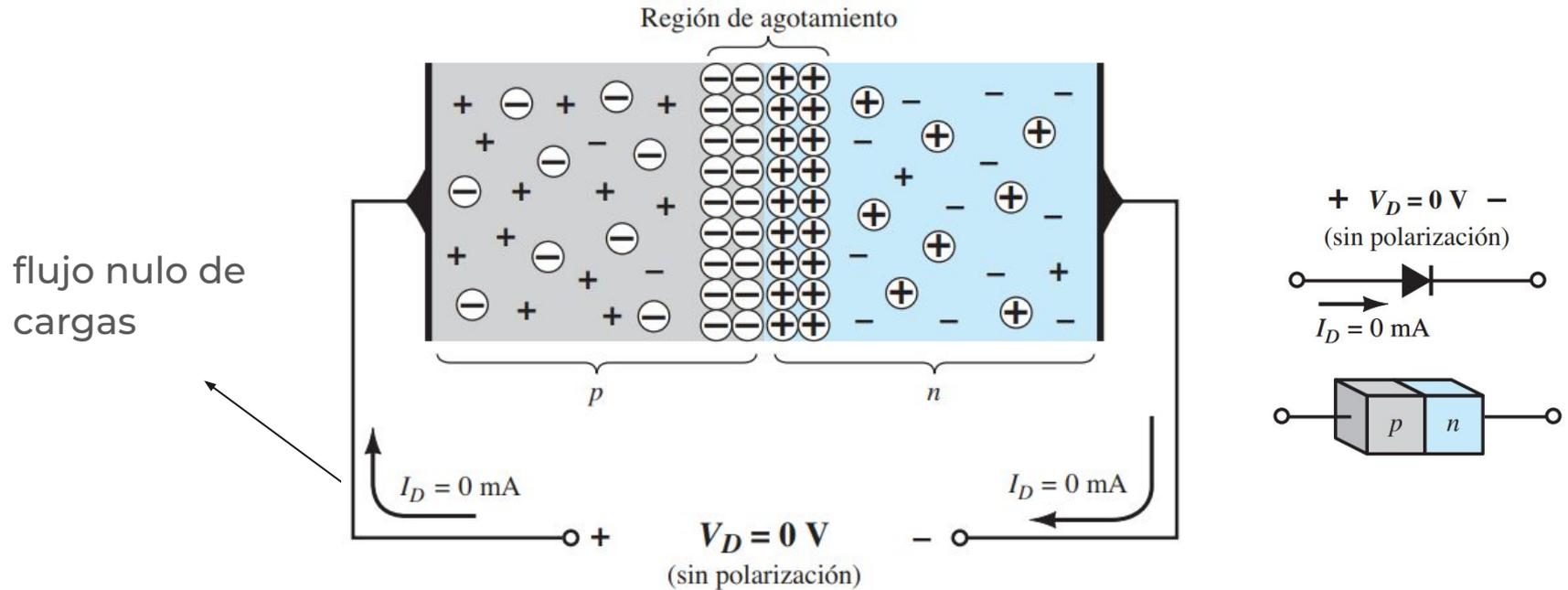
un voltaje aplicado da lugar a tres casos

- $V=0$  ( No polarizado)
- $V<0$  (Polarizado inversamente)
- $V>0$  (Polarización directa)

## Repaso de diodos

- $V=0$

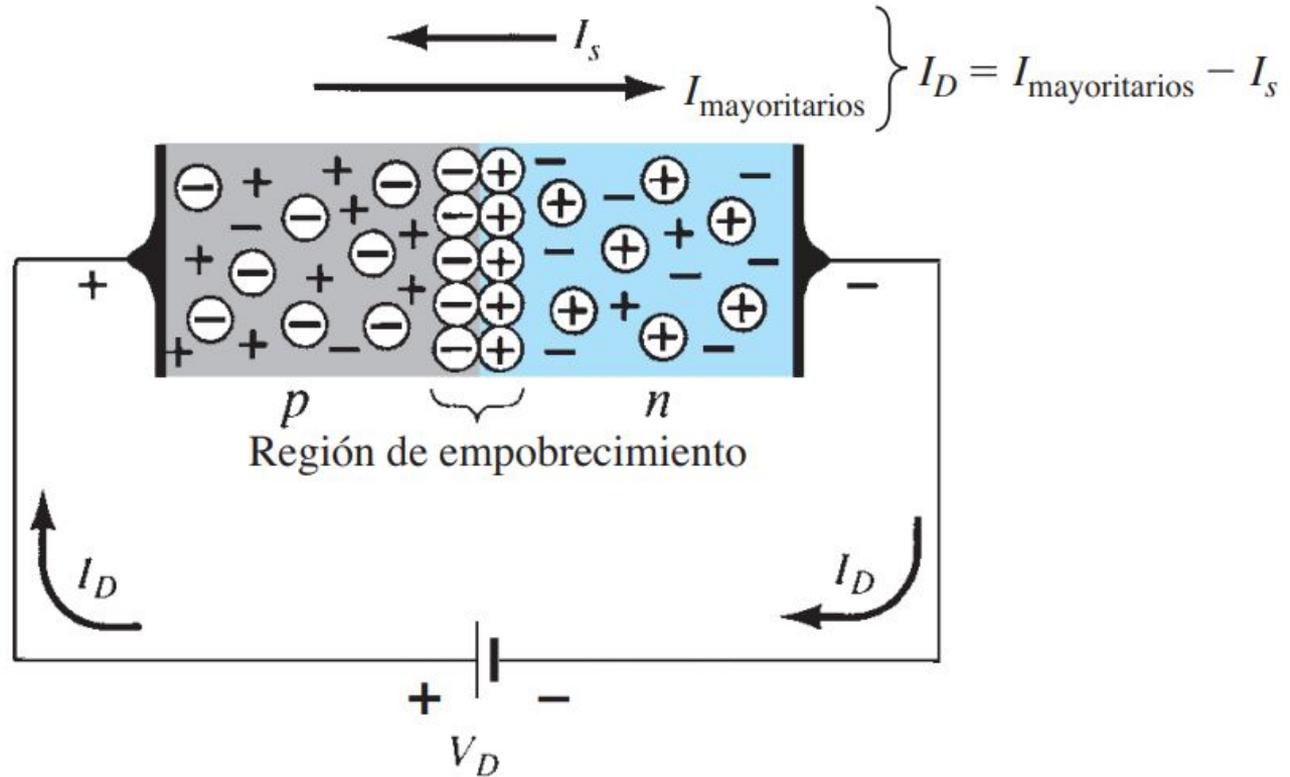
pelea electrostática de repulsión y atracción





## Repaso de diodos

- $V > 0$



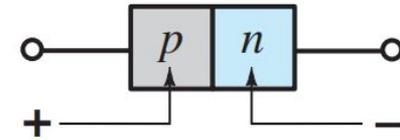
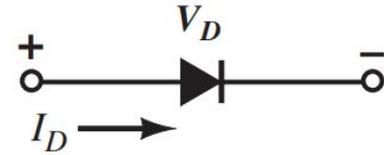
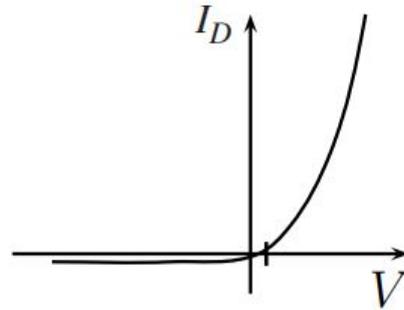
## Repaso de diodos

- $V > 0$

Shockley

$$I_D = I_s (e^{V_D/nV_T} - 1)$$

Labo 3...



“p”ositivo

“n”egativo

## Teoría del fotodiodo

### Fotodiodos



Diodo semiconductor sensible a la luz

fotón con  $E_{ph} > E_{gap}$

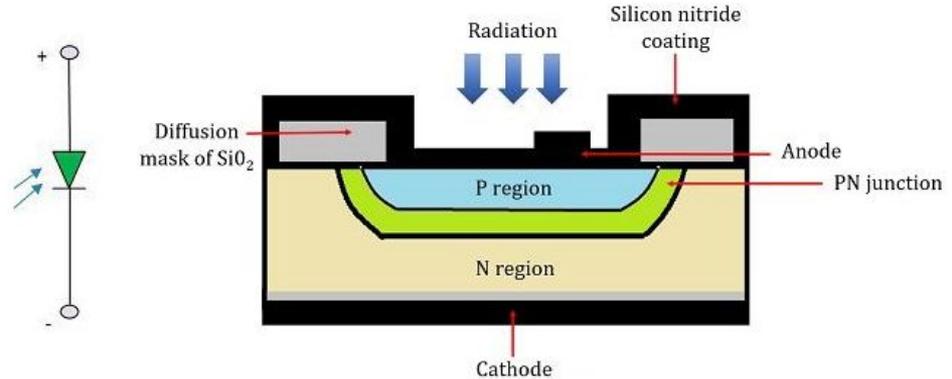
(1.1 eV para el silicio)



par electrón-hueco



fotocorriente



## Teoría del fotodiodo

### Fotodiodos

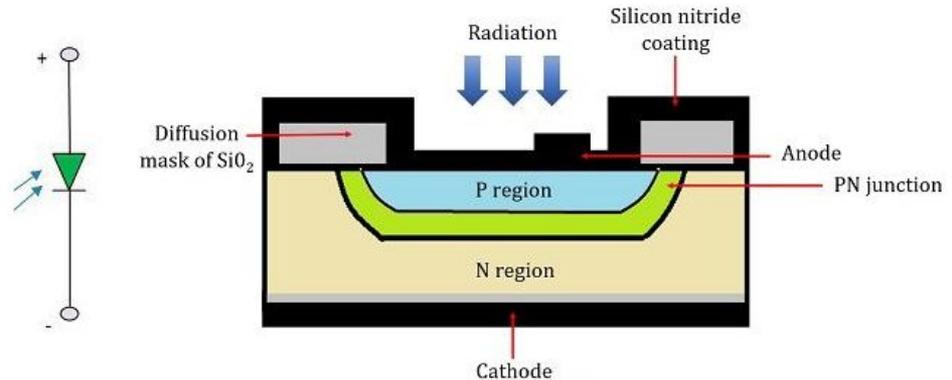
Radiación lumínica  
(e.g: un láser)



diferencia de voltaje  
medible en un  
osciloscopio

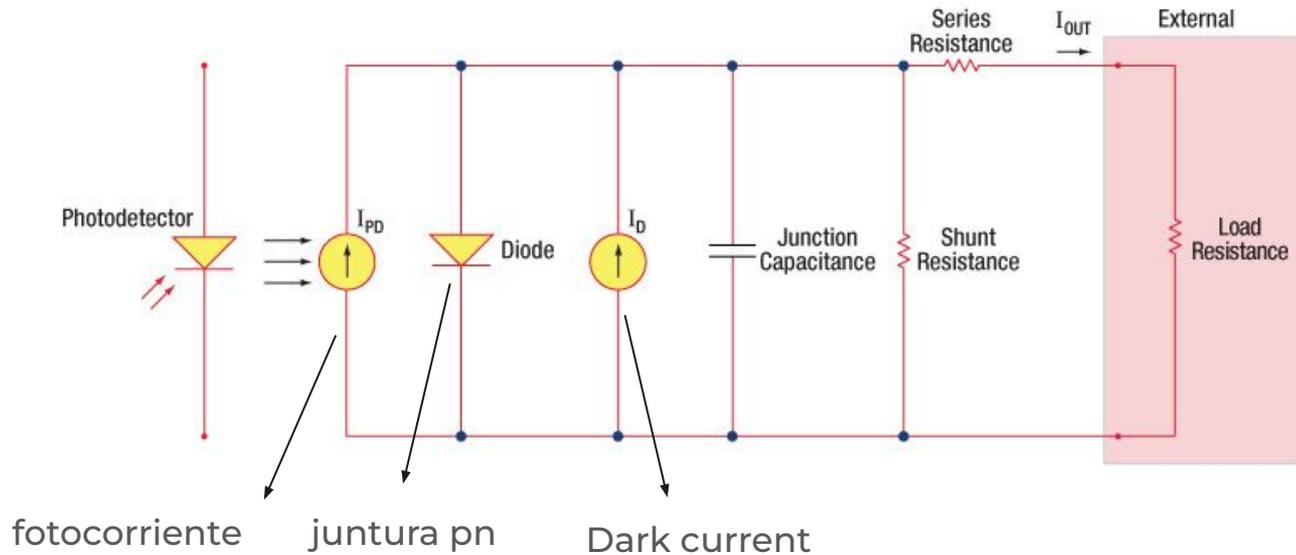


Diodo semiconductor sensible a la luz



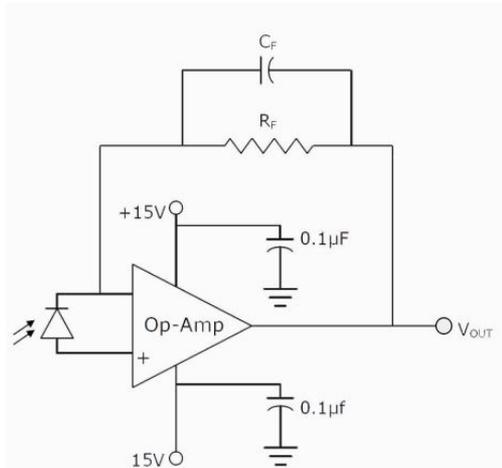
## Teoría del fotodiodo

- Cuando el Fotodiodo es iluminado se comporta como una fuente de corriente, con un circuito equivalente.

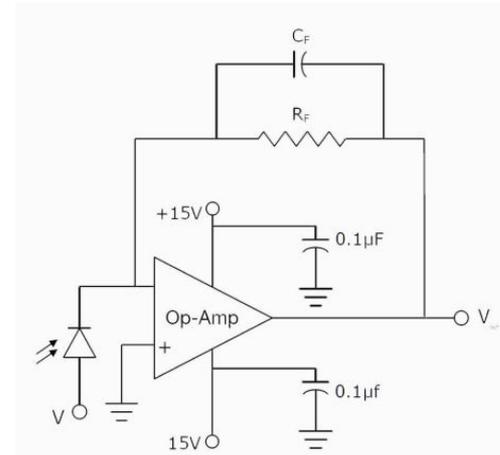


# Teoría del fotodiodo

→ Dos modos de operación



Modo fotovoltaico (diodo no polarizado)



Modo fotoconductorivo (diodo en polarización inversa)

## Teoría del fotodiodo



### Algunos parámetros característicos

- Eficiencia Cuántica ( $\eta$ )



cuántos fotones aportan a la fotocorriente

## Teoría del fotodiodo

### Algunos parámetros característicos

- Eficiencia Cuántica ( $\eta$ )



cuántos fotones aportan a la fotocorriente

- Capacidad de respuesta



$$V_{\text{out}} = P * \mathcal{R}(\lambda) * R_{\text{load}}$$

$$\mathcal{R}(\lambda) = \frac{q\eta\lambda}{hc}$$

q: carga del electrón  
h: cte planck  
c: velocidad de la luz

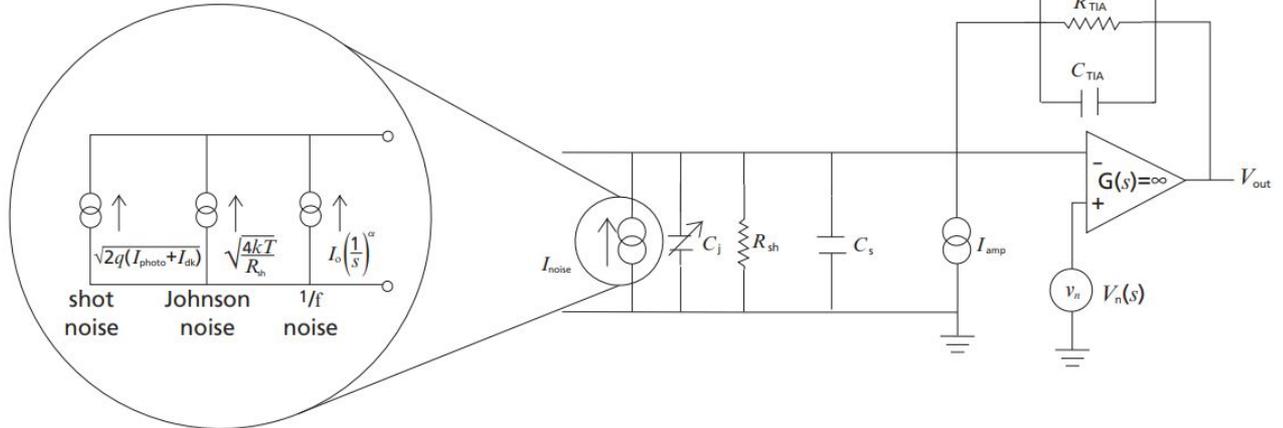


potencia de la luz incidente

# Teoría del fotodiodo

## Cosas que dejamos de lado

fuentes de ruido, efectos de temperatura, velocidad de la respuesta, etc



## Aplicaciones



# Aplicaciones

Los fotodiodos tienen múltiples aplicaciones en el campo de la ciencia y de la ingeniería.

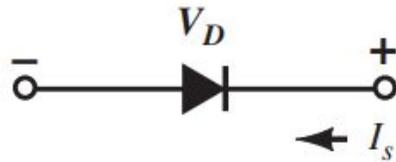
A grandes rasgos puede usarse de 2 maneras, que depende del modo en el que lo conectemos:

- Modo fotoconductor
- Modo fotovoltaico

## Aplicaciones

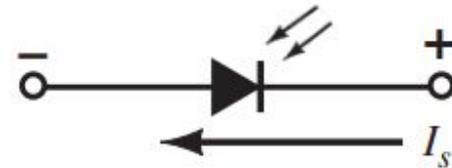
### Modo Fotoconductorivo

Se utiliza al fotodiodo como sensor de luz.



Corriente de saturacion  
pequeña

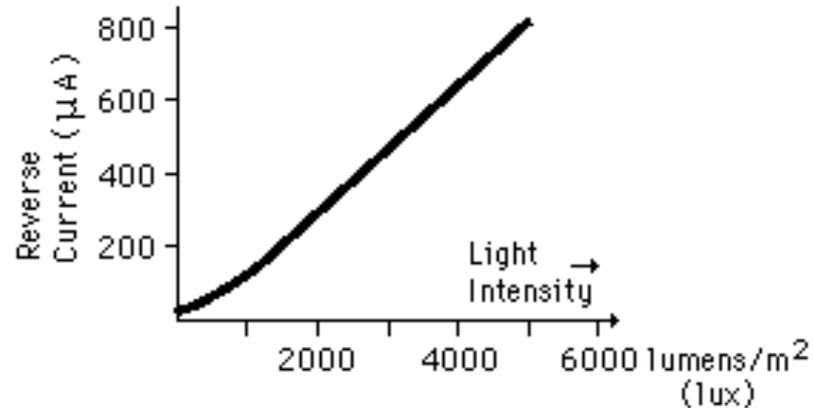
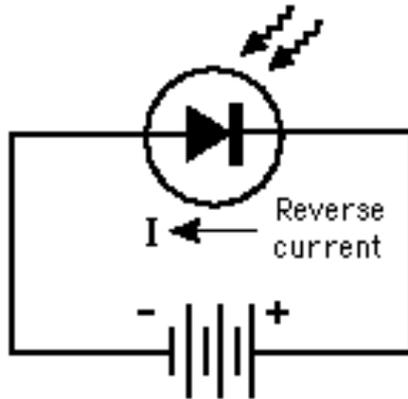
Radiación lumínica



Fotocorriente

## Aplicaciones

La fotocorriente es lineal con la intensidad de la luz → Nos da un modo para medir la intensidad de la luz con la que incidimos sobre el fotodiodo.



## Aplicaciones



Particularmente nosotros usamos el fotodiodo con este fin → Medir la intensidad lumínica del centro de un patrón de difracción en función del tiempo.

## Aplicaciones

Particularmente nosotros usamos el fotodiodo con este fin → Medir la intensidad lumínica del centro de un patrón de difracción en función del tiempo.

Otras aplicaciones: Lectores de CD 's, lectores de códigos de barras, etc.



# Aplicaciones



## **Modo Fotovoltaico**

En este caso no se polariza el diodo. Al incidir luz sobre el fotodiodo se genera una corriente debida al efecto fotoeléctrico que puede ser aprovechada.

## Aplicaciones

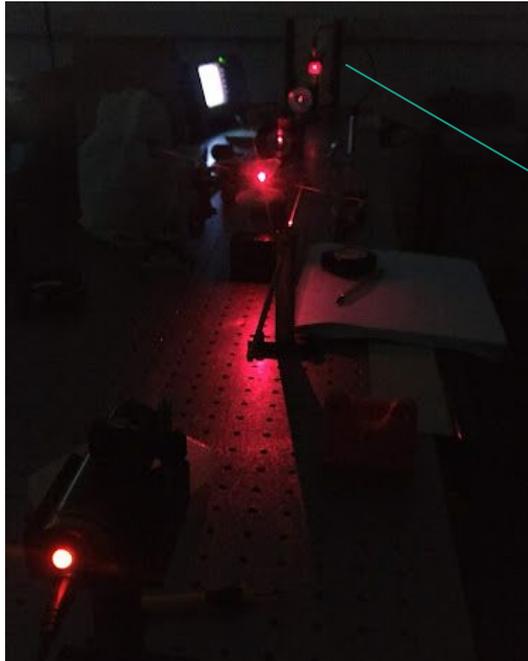
### Modo Fotovoltaico

En este caso no se polariza el diodo. Al incidir luz sobre el fotodiodo se genera una corriente debida al efecto fotoeléctrico que puede ser aprovechada.

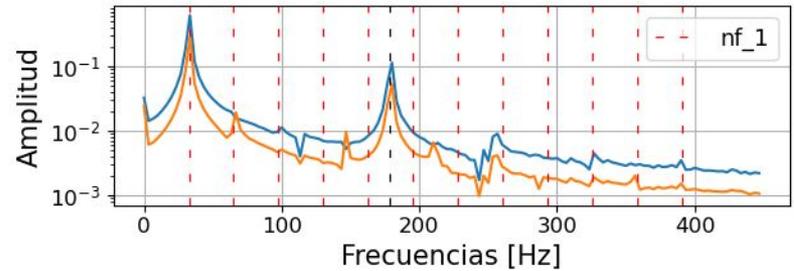
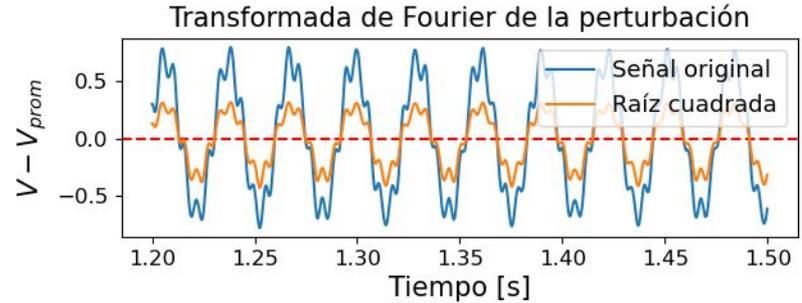


## Aplicaciones

# Medición del módulo de Young, método dinámico

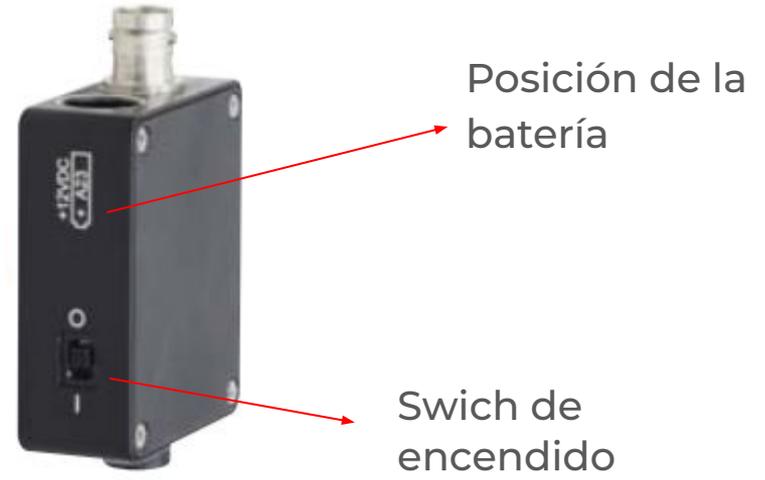


fotodiodo



## Aspectos experimentales

### Fotodiodo de verdad



I: on    O: off

## Aspectos experimentales

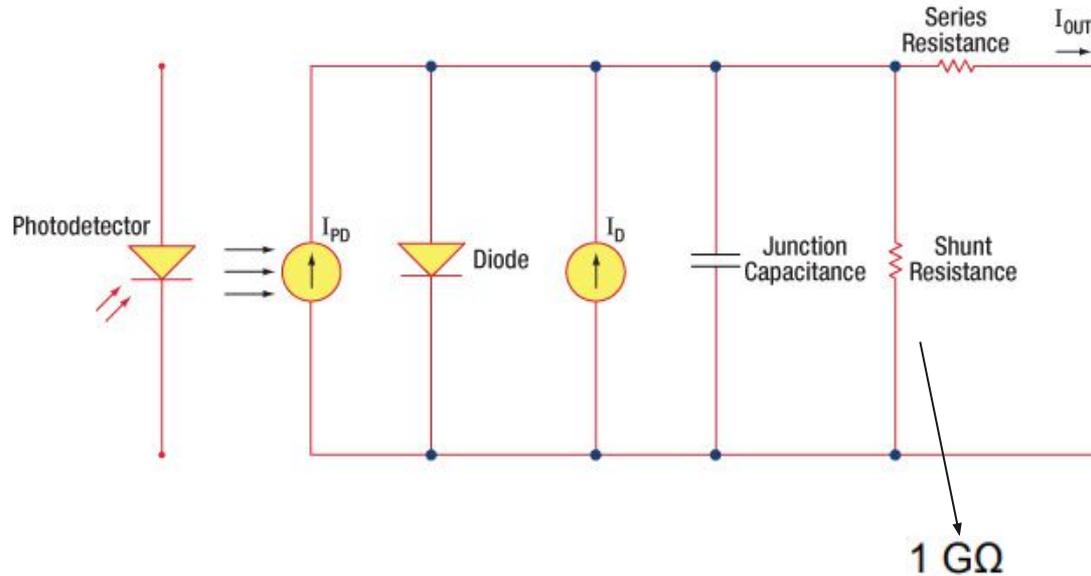
# Especificaciones

Electrical Specifications		
Detector	-	Silicon PIN
Active Area	-	3.6 x 3.6 mm (13 mm <sup>2</sup> )
Wavelength Range	$\lambda$	350 to 1100 nm
Peak Wavelength	$\lambda_p$	970 nm
Peak Response <sup>a</sup>	$\mathfrak{R}(\lambda_p)$	0.65 A/W
Shunt Resistance	$R_{sh}$	1 G $\Omega$ (Typ.)
Diode Capacitance	$C_J$	40 pF (Typ.)
Rise Time (632 nm) <sup>a,b,c</sup>	$t_r$	14 ns (Typ.)
NEP ( $\lambda_p$ )	-	1.6 x 10 <sup>-14</sup> W/ $\sqrt{\text{Hz}}$ (Typ.)
Bias Voltage	$V_R$	10 V
Dark Current <sup>d</sup>	$I_D$	0.35 nA (Typ.) 6.0 nA (Max)
Output Voltage	$V_{OUT}$	0 to 10 V

Muy grande!

## Aspectos experimentales

### Recordemos...



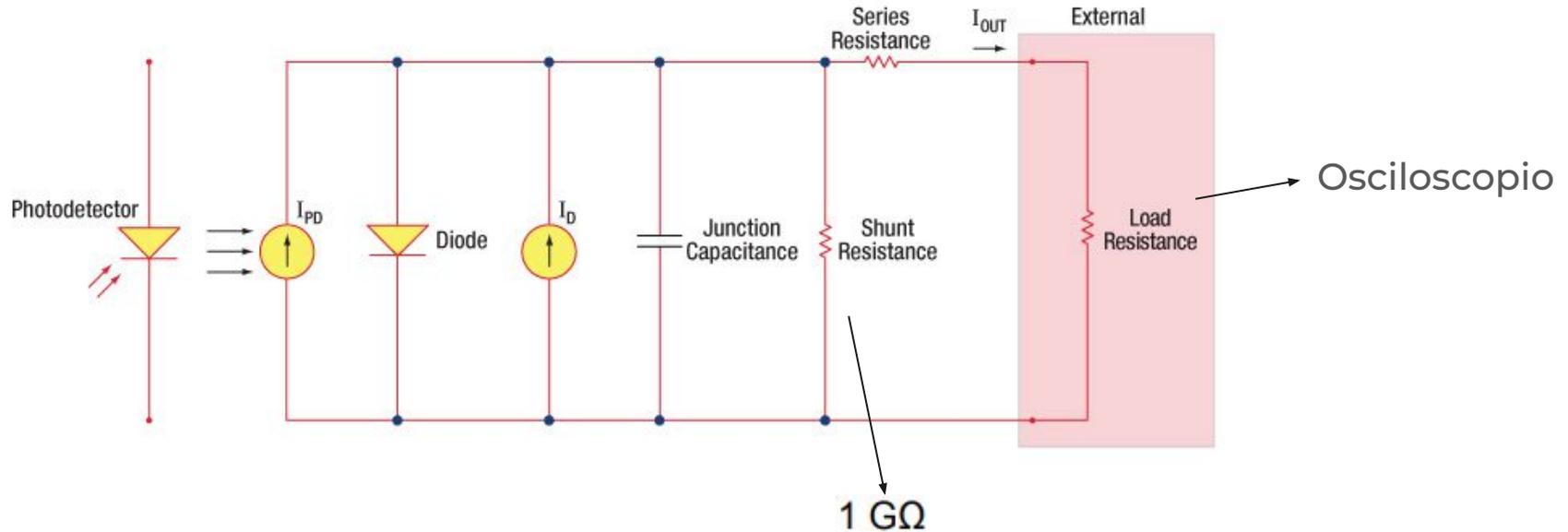
Impedancia enorme, voltaje enorme



si trato de medir directamente va a saturar

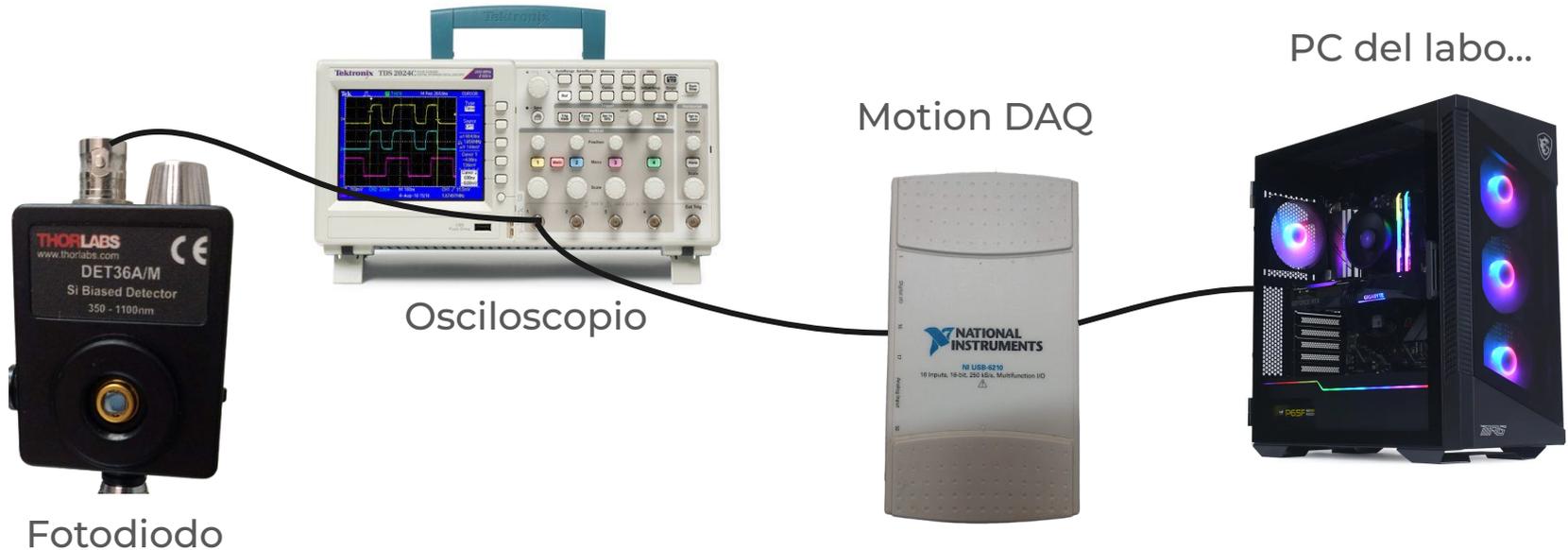
## Aspectos experimentales

Recordemos...



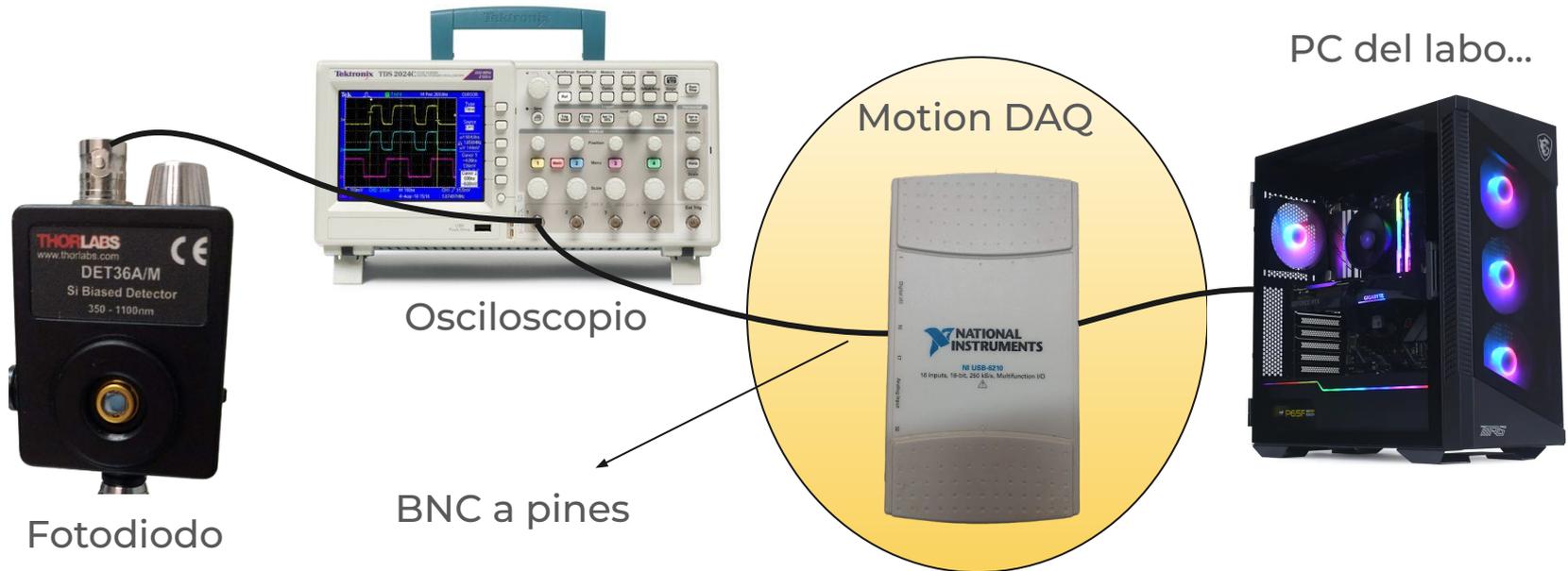
## Aspectos experimentales

# Configuración experimental



## Aspectos experimentales

# Configuración experimental



## Aspectos experimentales

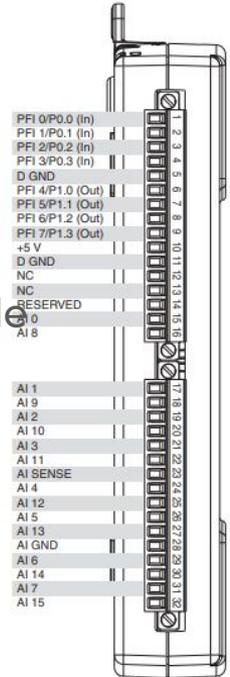
# Datos, como tomarlos y errores (NI USB-6210)

Motion DAQ



diferentes  
configuraciones de  
entradas analogicas

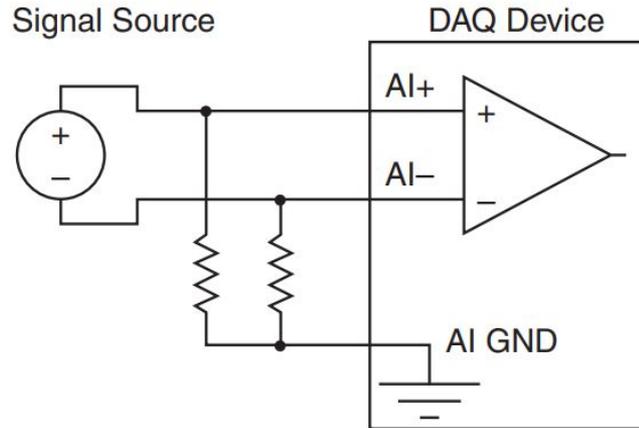
terminal de  
pines



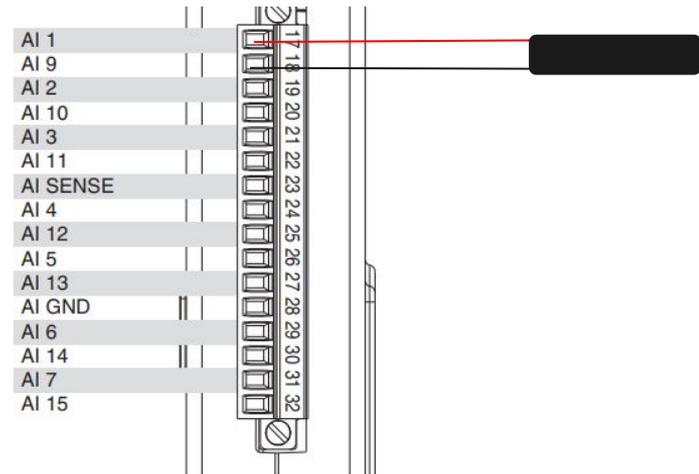
## Aspectos experimentales

# Datos, como tomarlos y errores (NI USB-6210)

### Floating Signal Sources



modo diferencial (DIFF): diferencia de voltaje entre dos señales AI

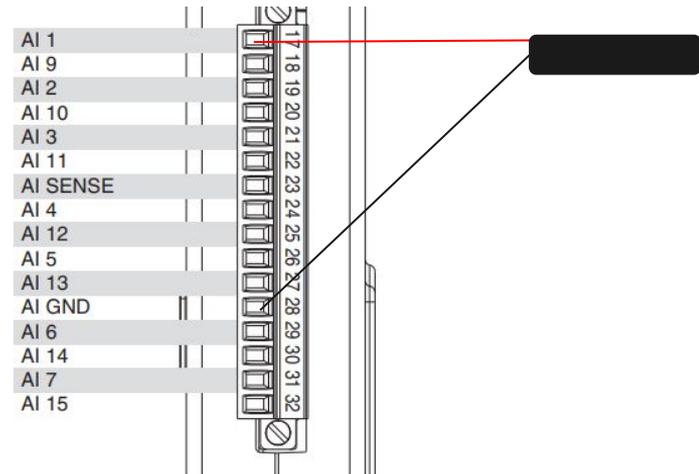
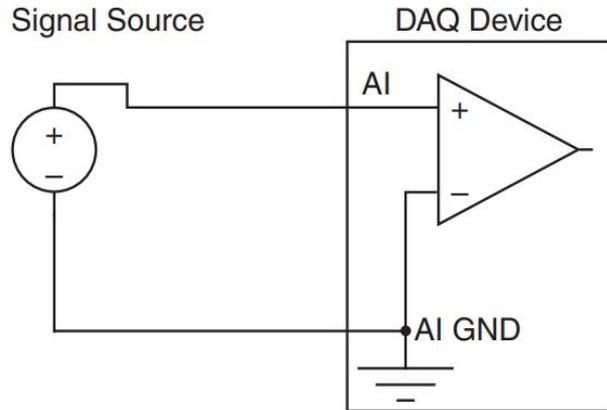


## Aspectos experimentales

# Datos, como tomarlos y errores (NI USB-6210)

### Floating Signal Sources

modo de terminación única referenciada (RSE):  
voltaje de una entrada AI con respecto al AI GND

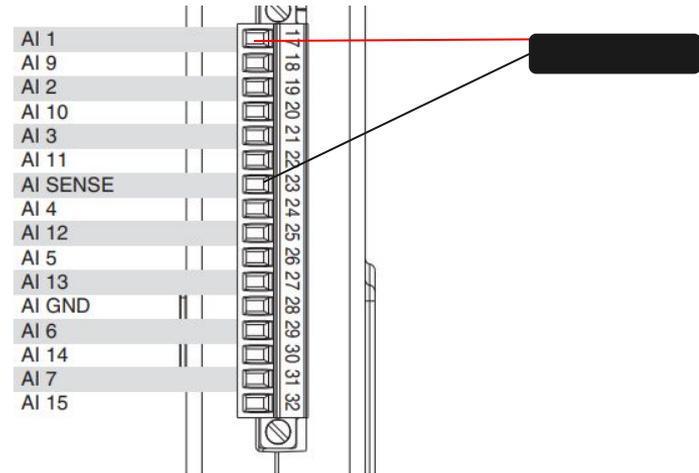
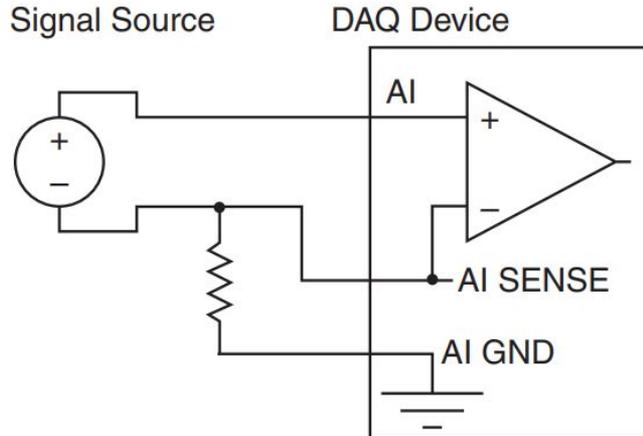


## Aspectos experimentales

# Datos, como tomarlos y errores (NI USB-6210)

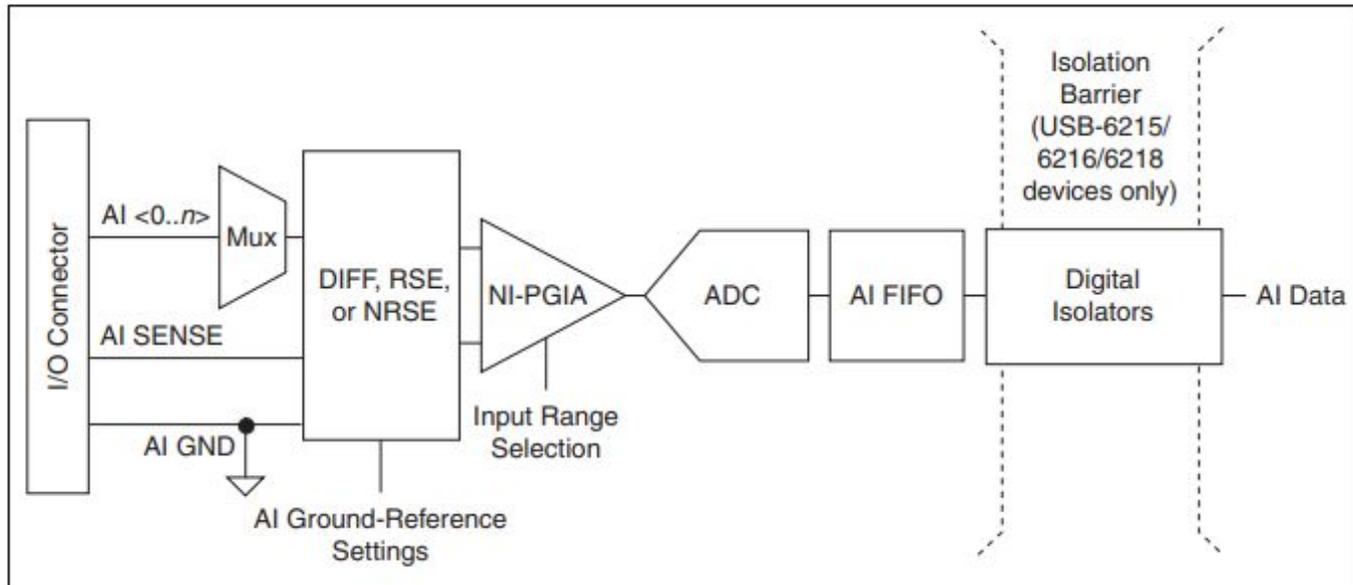
### Floating Signal Sources

modo de terminación única no referenciada (NRSE):  
voltaje de una entrada AI con respecto al AI SENSE



## Aspectos experimentales

# Datos, como tomarlos y errores (NI USB-6210)



## Aspectos experimentales

# Datos, como tomarlos y errores (NI USB-6210)

Motion DAQ



16 bits

Resolución de la medición

<b>Input Range</b>	<b>Nominal Resolution Assuming 5% Over Range</b>
-10 V to 10 V	320 $\mu$ V
-5 V to 5 V	160 $\mu$ V
-1 V to 1 V	32 $\mu$ V
-200 mV to 200 mV	6.4 $\mu$ V

$$\text{Sensibilidad} = \frac{\text{Rango operativo}}{2^{N^{\circ} \text{ bits} - 1}}$$

## Aspectos experimentales



### ¿Cómo se controla?

librería en Python → nidaqmx → código en el github (“daq”)

se puede configurar:

- duración de la medición
- frecuencia de muestreo
- rango de voltajes



**Muchas gracias!**