



Física y Uso de Fotodiodos

Grupo 4- Laboratorio 4A

Integrantes: Francisco Castillo, Mauro Chavez, Andres Derudder



Universidad de Buenos Aires - Exactas

departamento de física



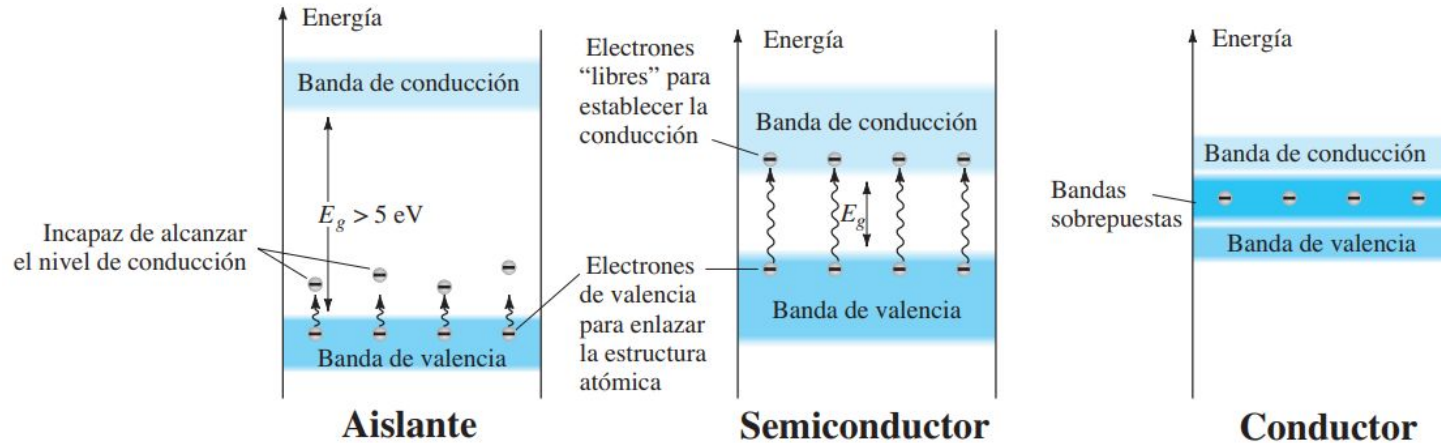
Esquema de la charla

- 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

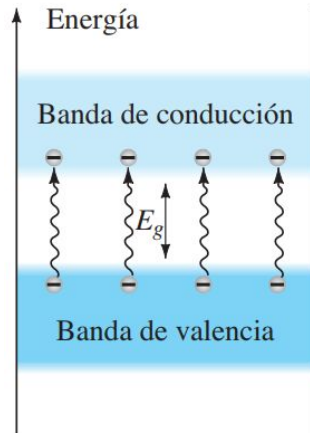


Repaso de diodos

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

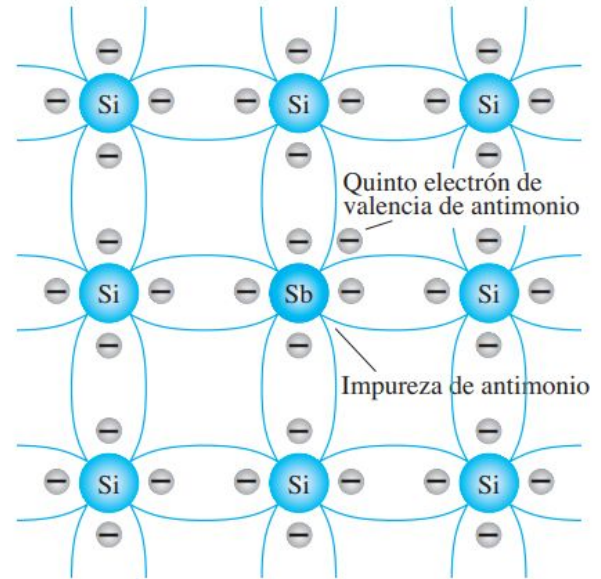


Teoría del Mono Dopado (McKenna)

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.



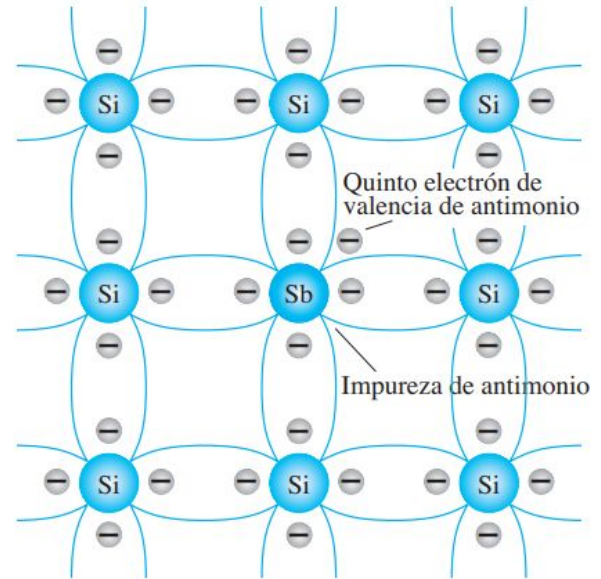
Impureza de antimonio en un material tipo n.

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)

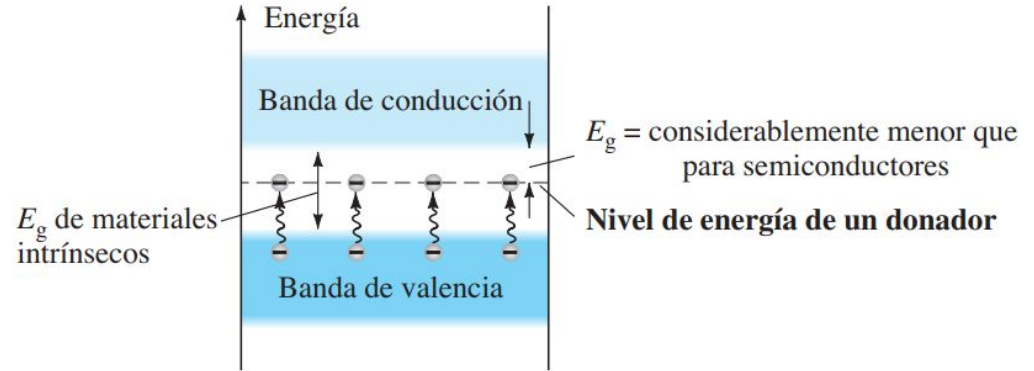


Impureza de antimonio en un material tipo n.

Repaso de diodos

Material tipo "n"

→ se reducen los gaps de energía

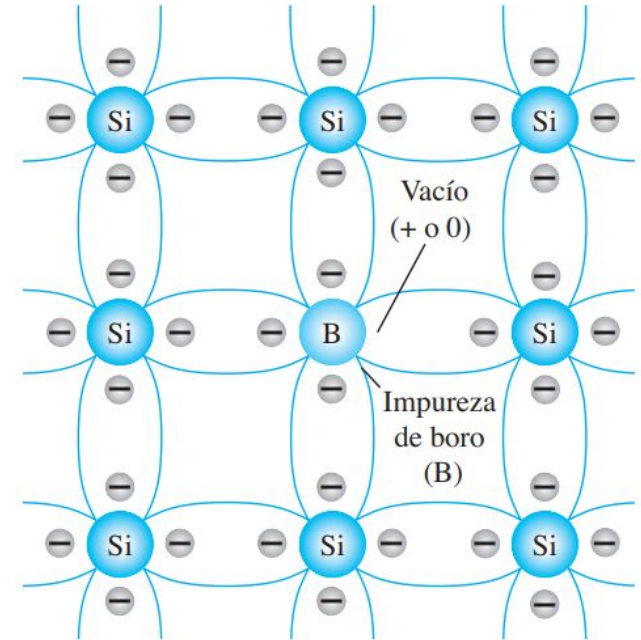


Efecto de las impurezas de un donador en la estructura de la banda de energía.

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

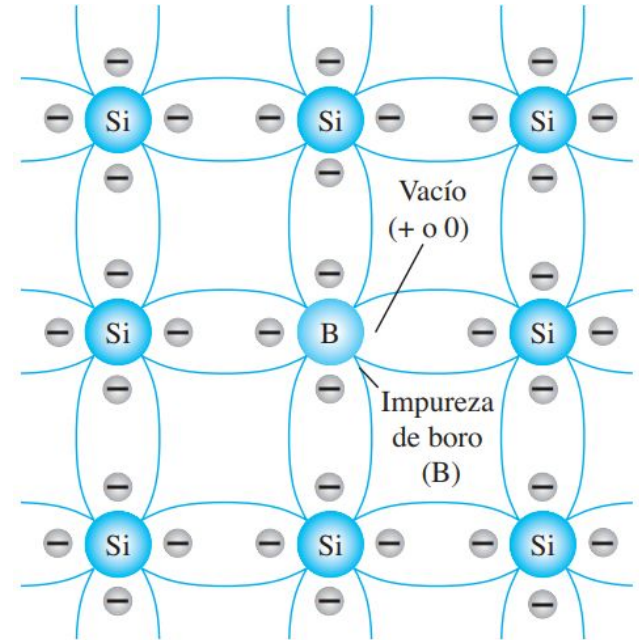
Material tipo “p”

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)



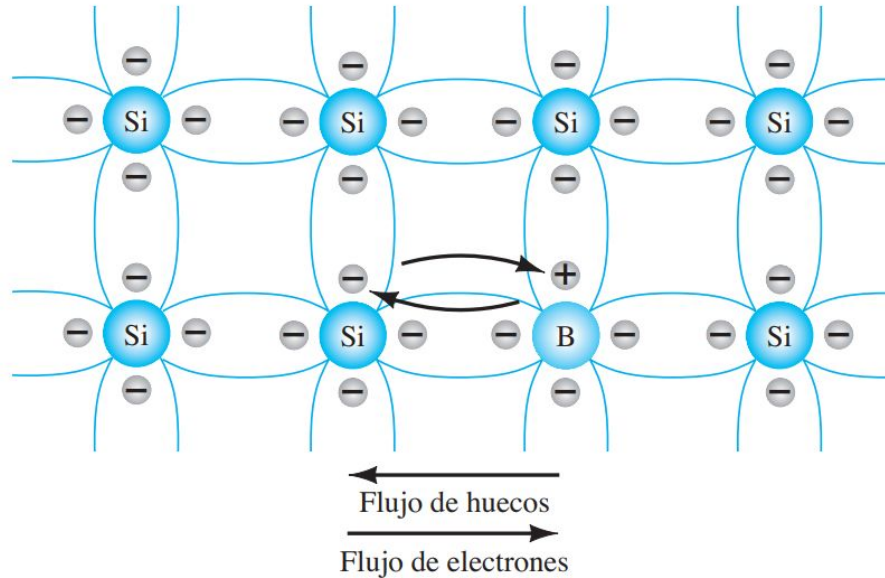
huecos (portadores mayoritarios)



Impureza de boro en un material tipo p.

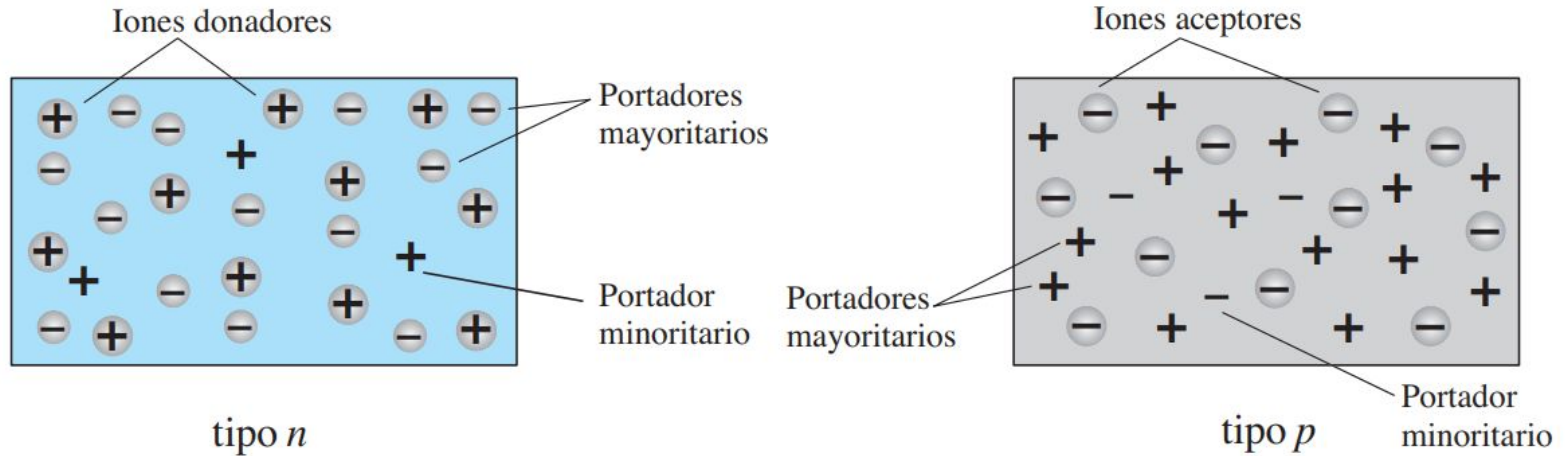
Repaso de diodos

Flujo de electrones contra flujo de huecos



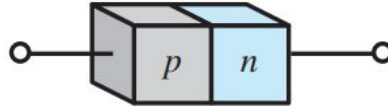
Repaso de diodos

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



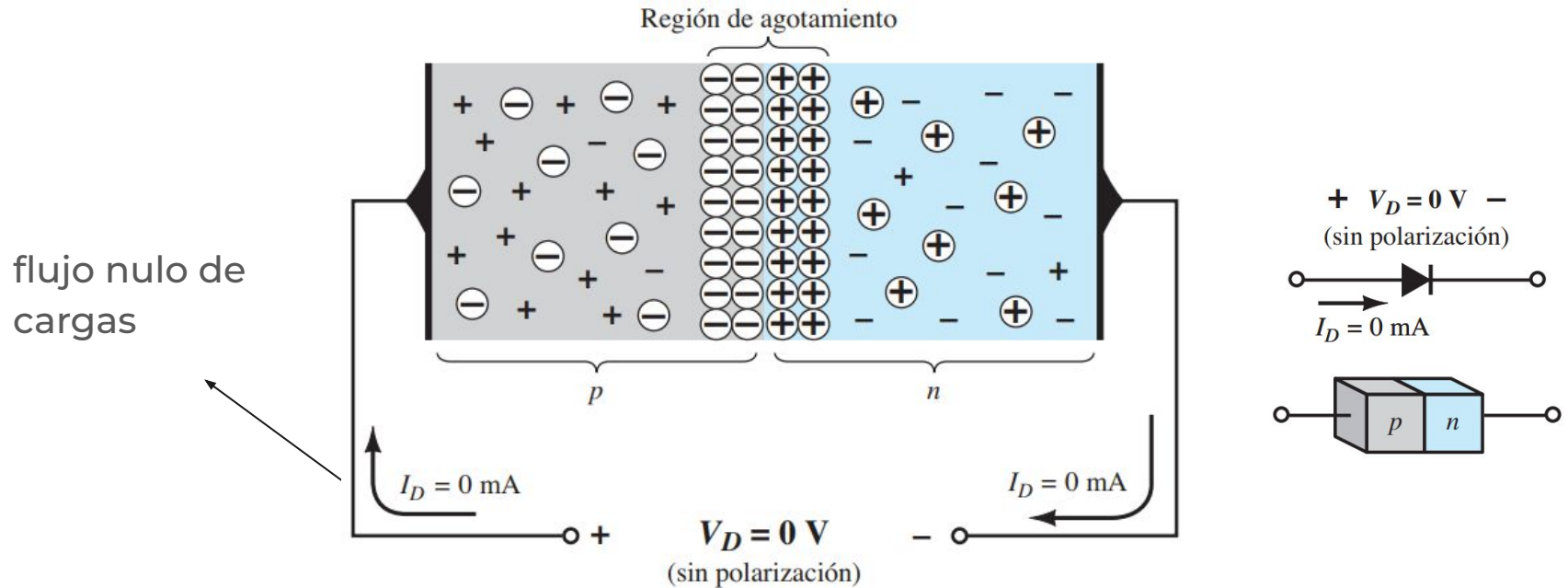
un voltaje aplicado da lugar a tres casos

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

Repaso de diodos

- $V=0$

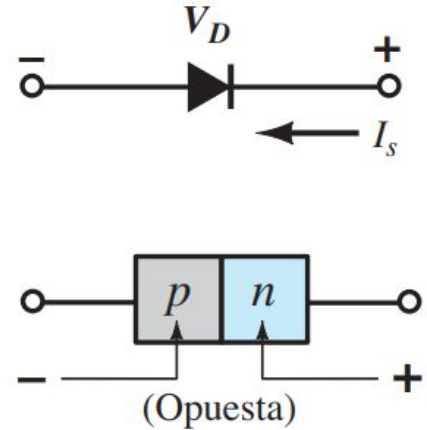
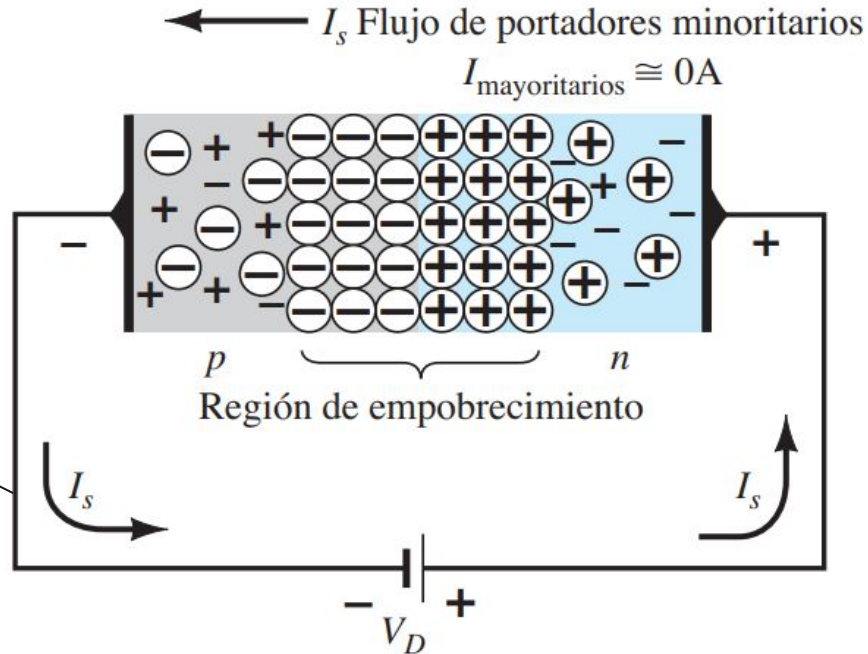
pelea electrostática de repulsión y atracción



Repaso de diodos

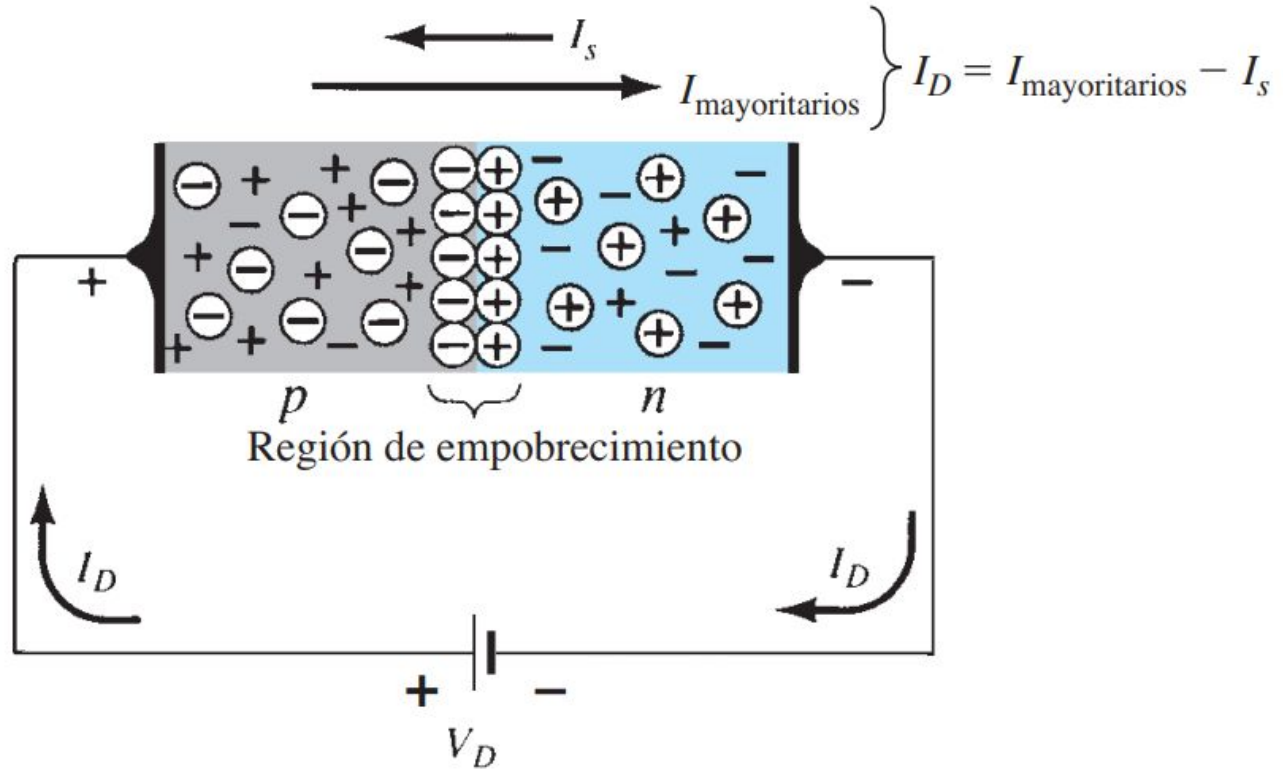
- $V < 0$

Corriente de saturación



Repaso de diodos

- $V > 0$



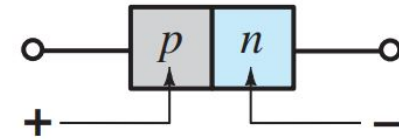
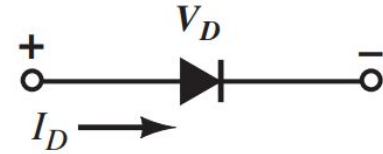
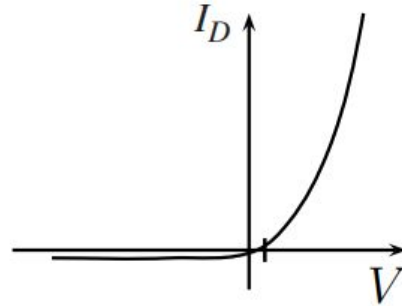
Repaso de diodos

- $V > 0$

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 $E_{ph} > E_{gap}$

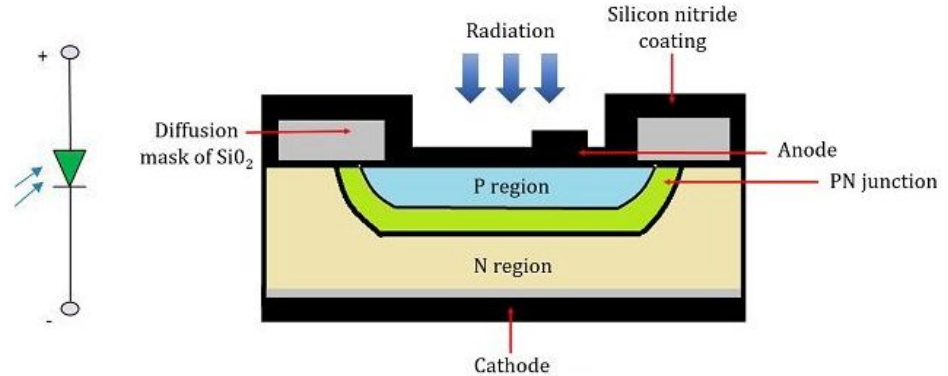
(1.1 eV para el silicio)



par electrón-hueco



fotocorriente



Teoría del fotodiodo

Fotodiodos

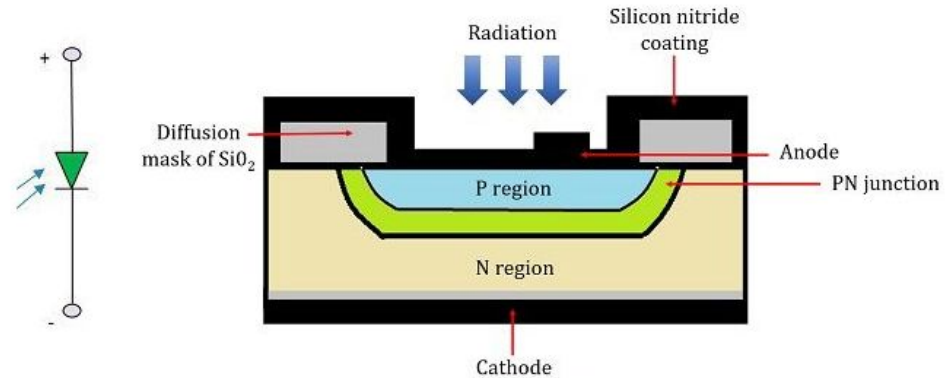
Radiación lumínica
(e.g: un láser)



diferencia de voltaje
medible en un
osciloscopio

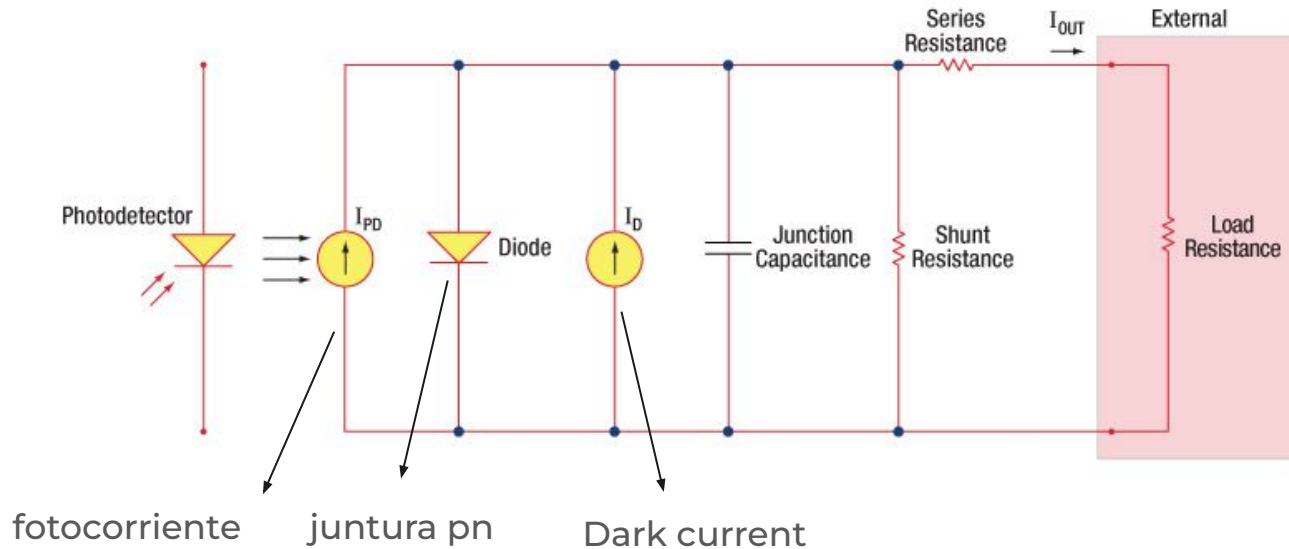


Diodo semiconductor sensible a la luz



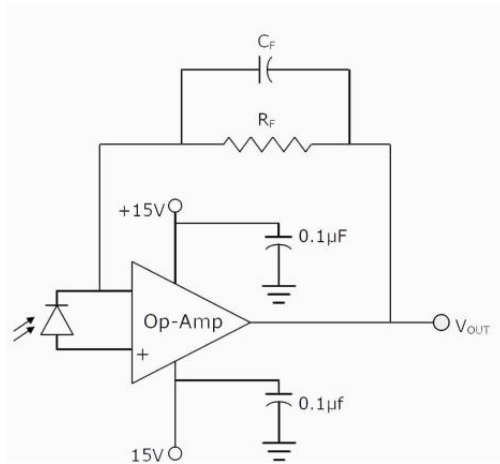
Teoría del fotodiodo

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

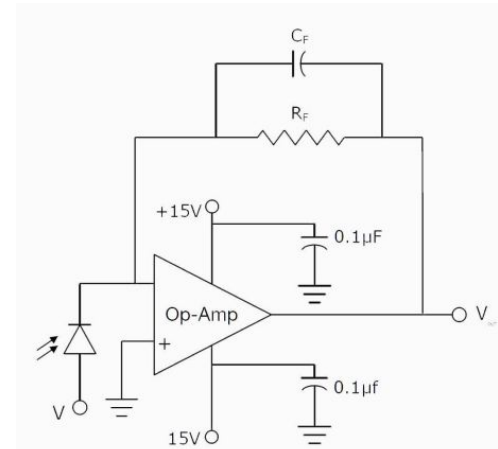


Teoría del fotodiodo

→ Dos modos de operación



Modo fotovoltaico (diodo no polarizado)



Modo fotoconductorivo (diodo en polarización inversa)

Teoría del fotodiodo



Algunos parámetros característicos

- Eficiencia Cuántica (η)



cuántos fotones aportan a la fotocorriente

Teoría del fotodiodo

Algunos parámetros característicos

- Eficiencia Cuántica (η)



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

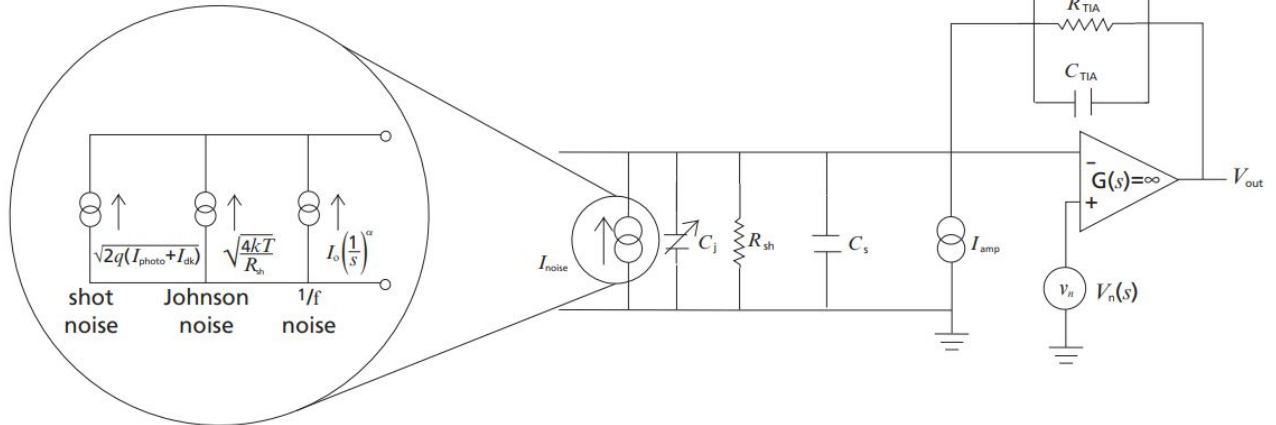


potencia de la luz incidente

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.

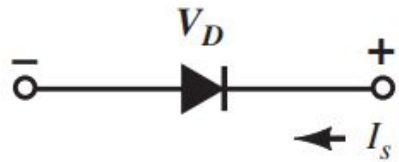
A grandes rasgos puede usarse de 2 maneras, que depende del modo en el que lo conectemos:

- Modo fotoconductor
- Modo fotovoltaico

Aplicaciones

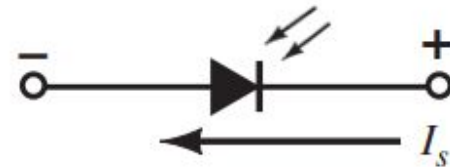
Modo Fotoconductorivo

Se utiliza al fotodiodo como sensor de luz.



Corriente de saturacion
pequeña

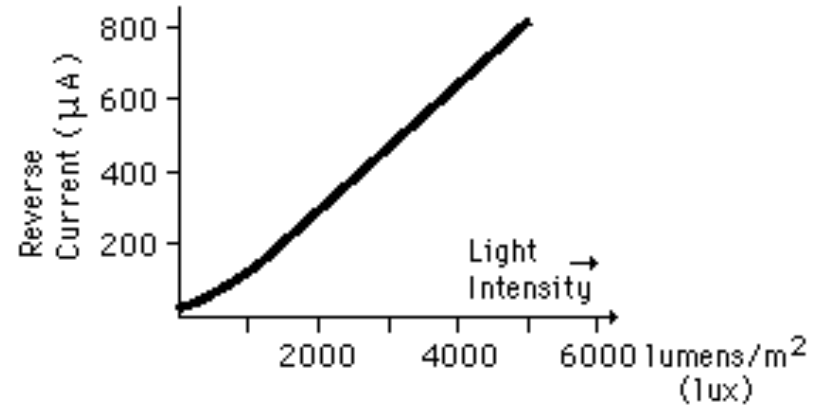
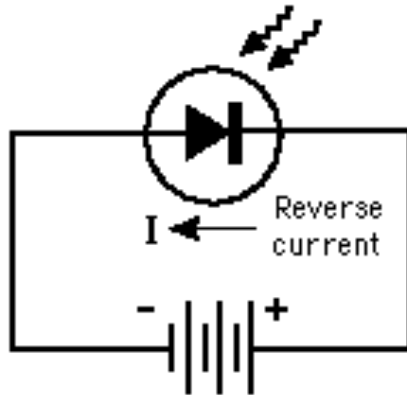
Radiación lumínica



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

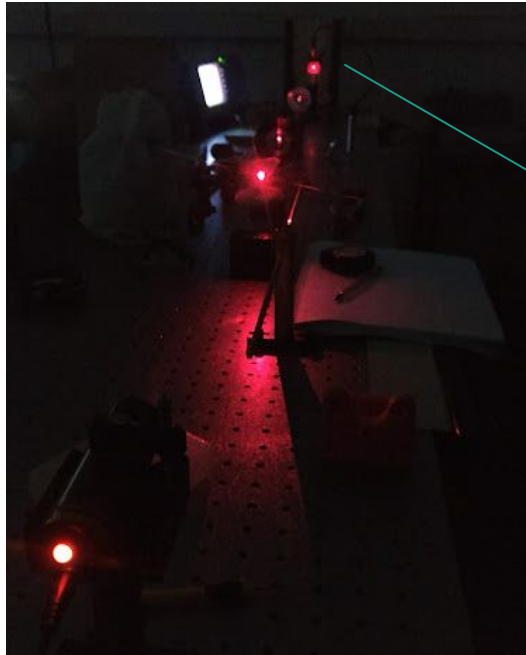
Modo Fotovoltaico

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.

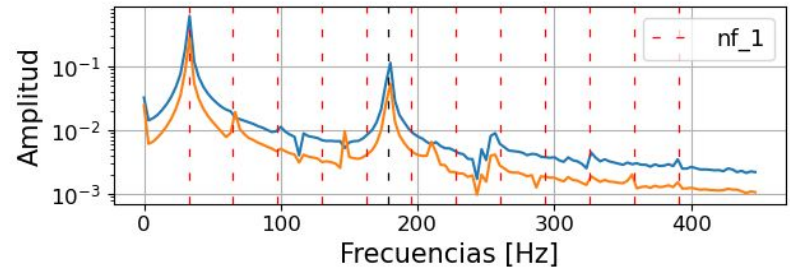
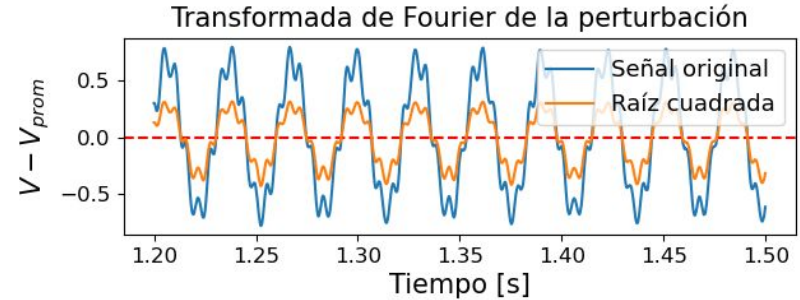


Aplicaciones

Medición del módulo de Young, método dinámico

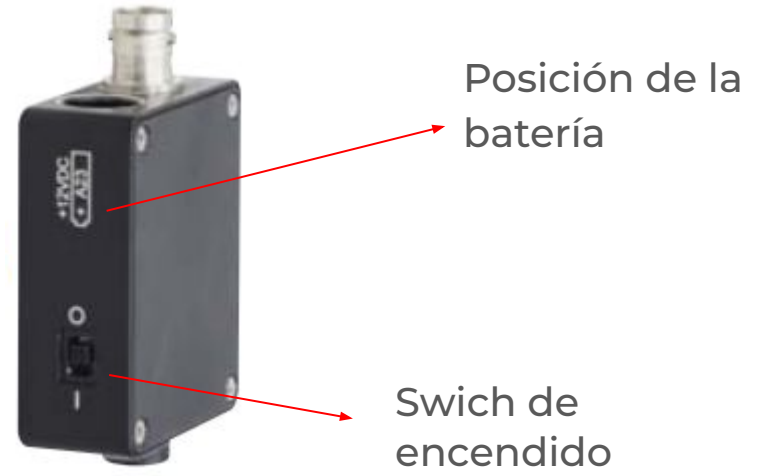


fotodiodo



Aspectos experimentales

Fotodiodo de verdad



I: on O: off

Aspectos experimentales

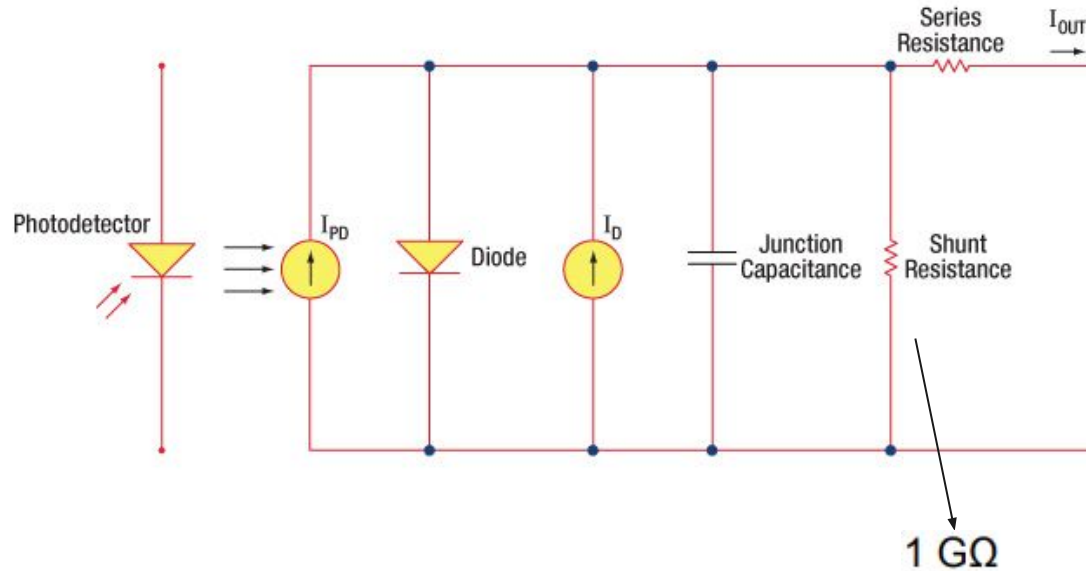
Especificaciones

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

Muy grande!

Aspectos experimentales

Recordemos...



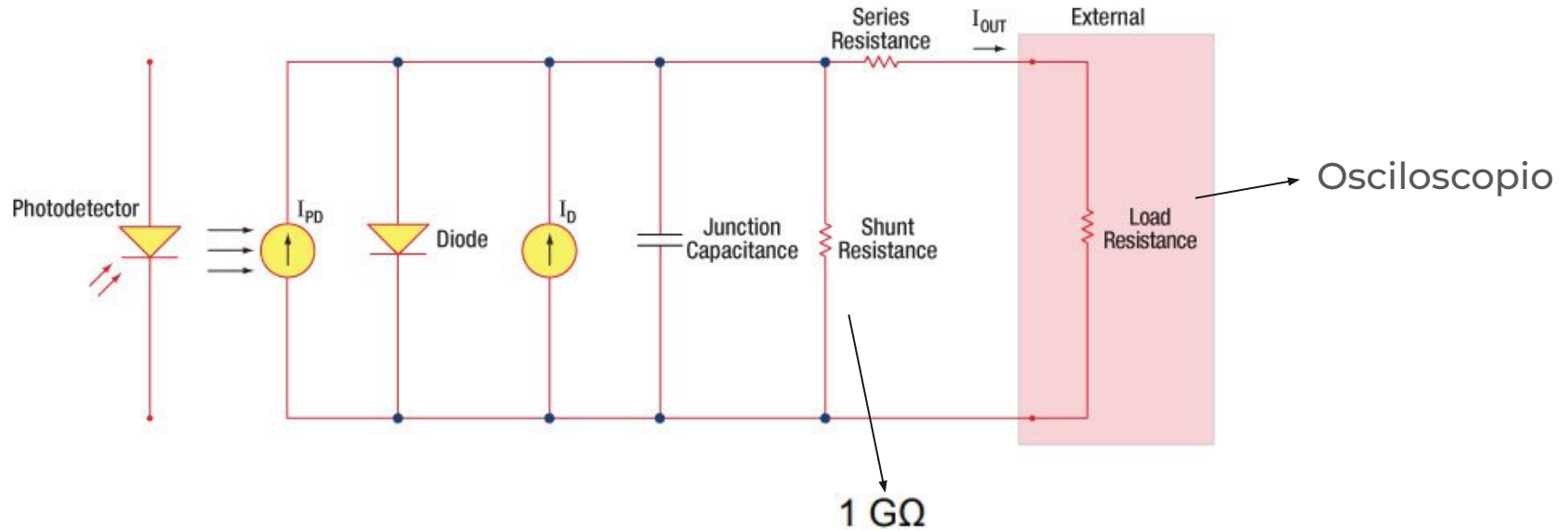
Impedancia enorme, voltaje enorme



si trato de medir directamente va a saturar

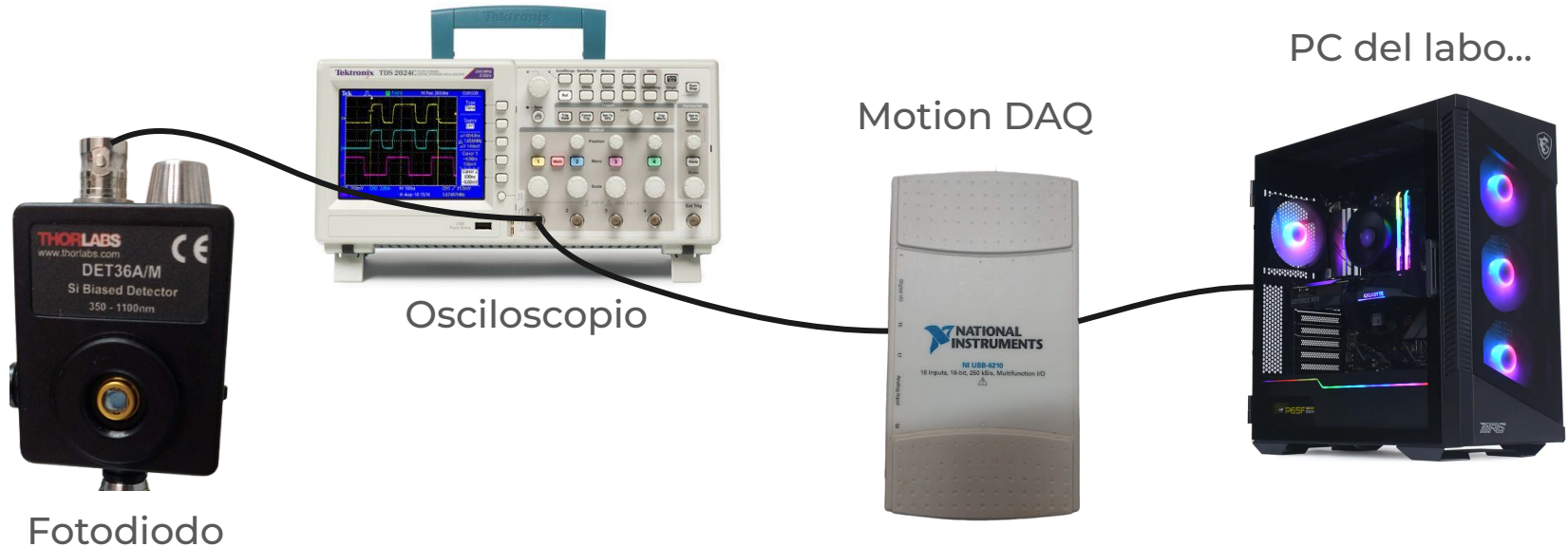
Aspectos experimentales

Recordemos...



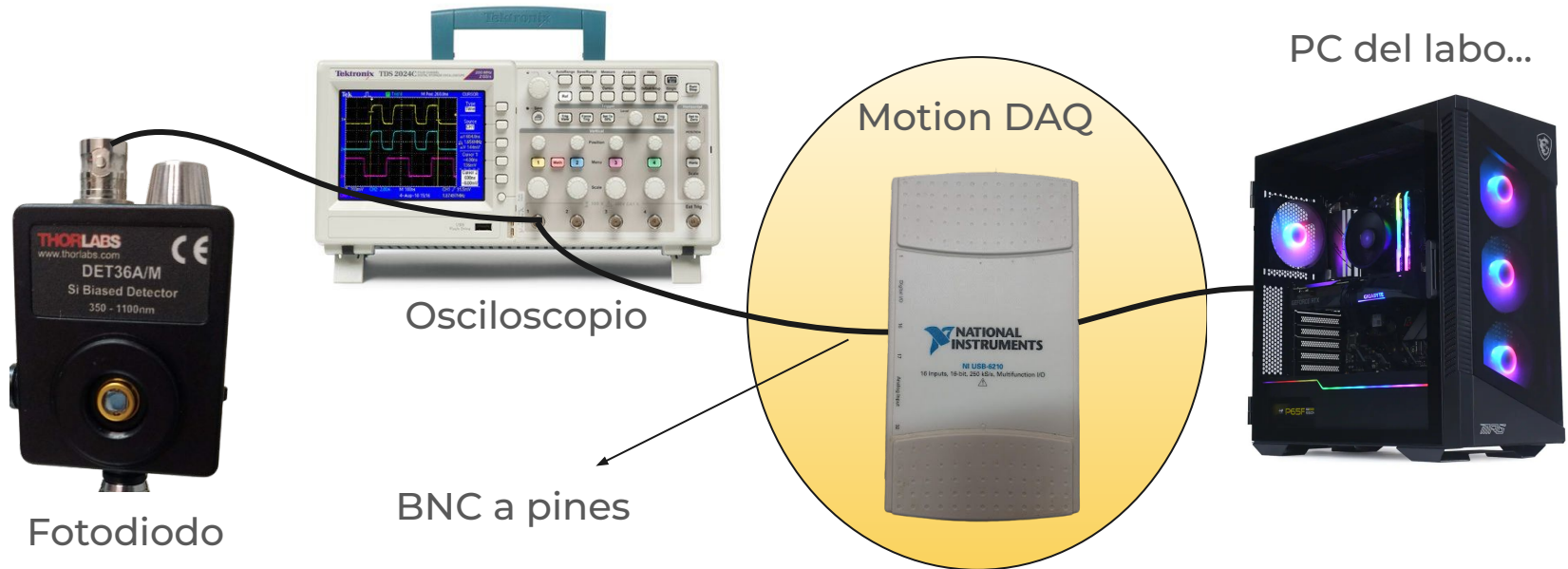
Aspectos experimentales

Configuración experimental



Aspectos experimentales

Configuración experimental



Aspectos experimentales

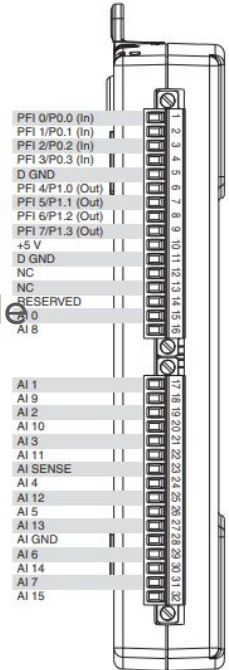
Datos, como tomarlos y errores (NI USB-6210)

Motion DAQ



diferentes
configuraciones de
entradas analogicas

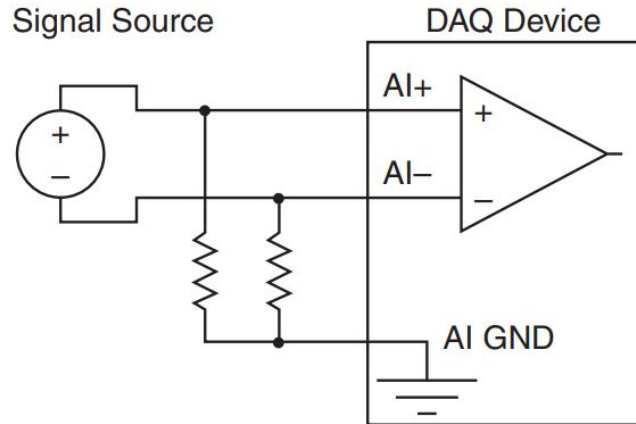
terminal de
pines



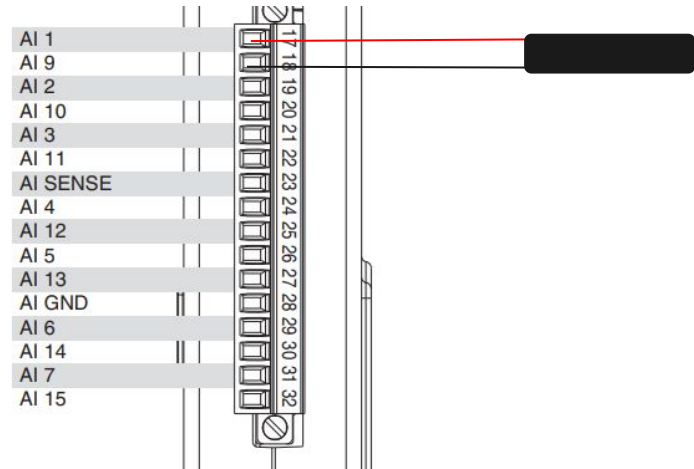
Aspectos experimentales

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

Floating Signal Sources



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

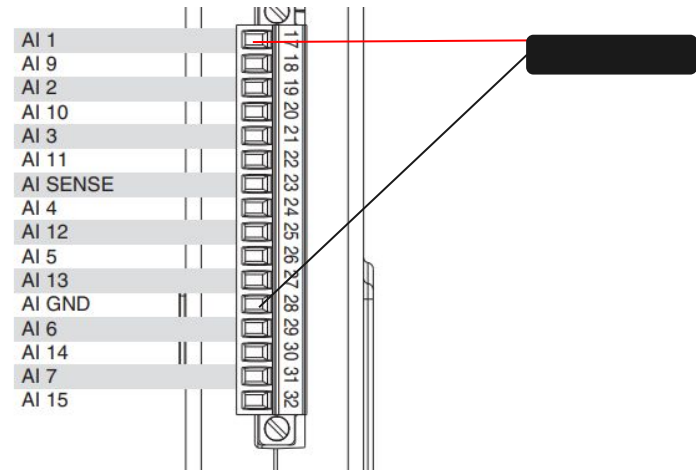
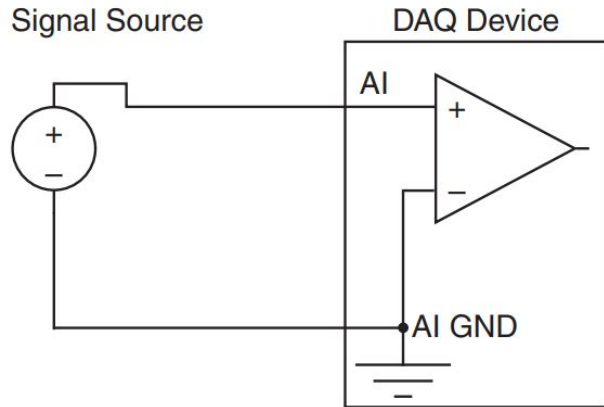


Aspectos experimentales

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

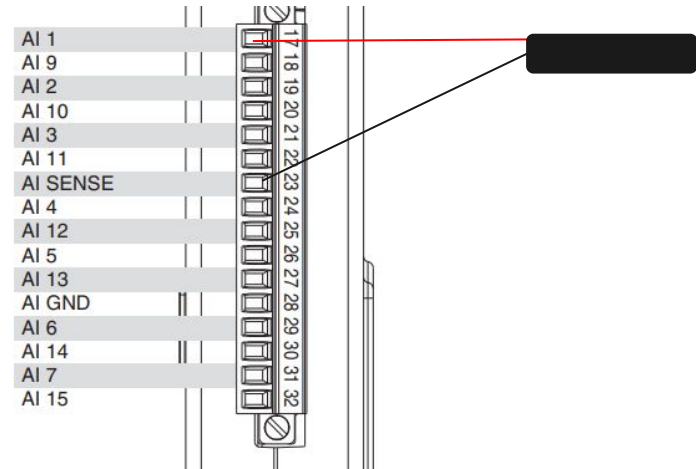
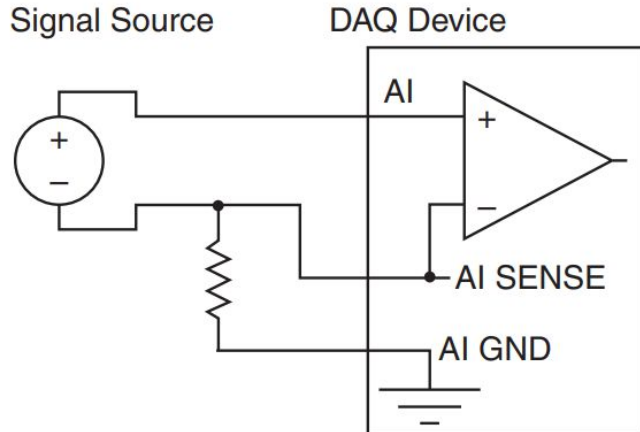


Aspectos experimentales

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

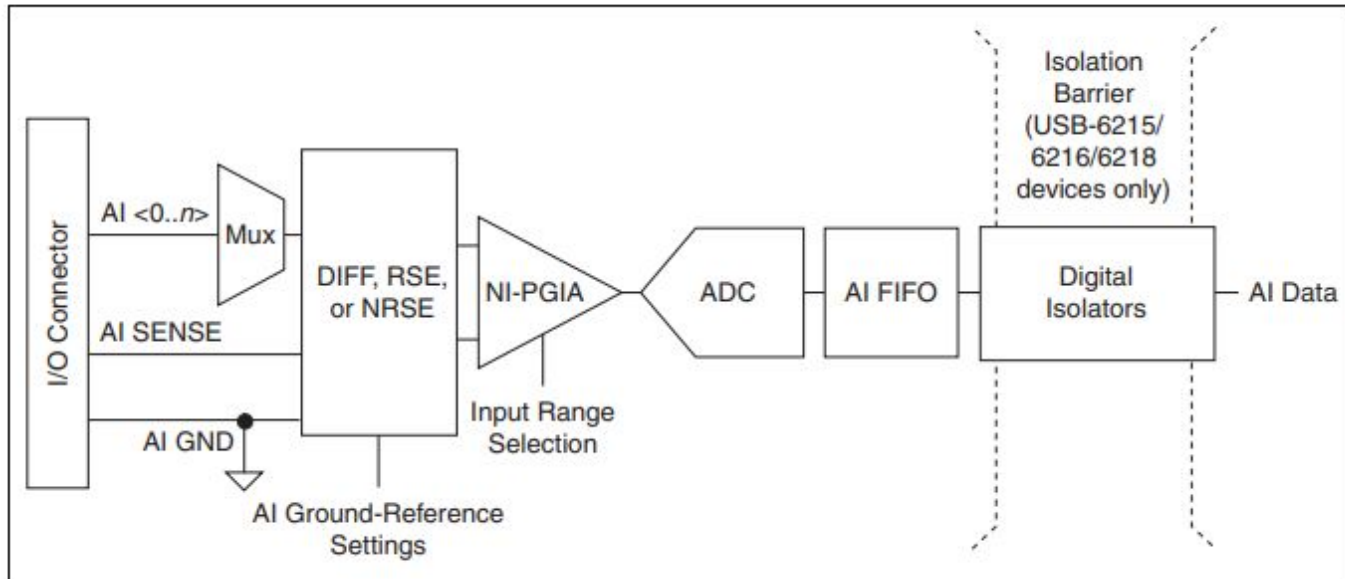
Floating Signal Sources

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

Input Range	Nominal Resolution Assuming 5% Over Range
-10 V to 10 V	320 μ V
-5 V to 5 V	160 μ V
-1 V to 1 V	32 μ V
-200 mV to 200 mV	6.4 μ 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!