

Medición de la velocidad de la luz mediante la modulación de un láser

Myoren Reyna, Eugenia Lechuga, Yasmin Hachim

Laboratorio 4, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA

INTRODUCCIÓN

Un poco de HISTORIA...



- **IV a.C** Aristóteles creía que la luz viajaba instantáneamente

Un poco de HISTORIA...



- **IV a.C** Aristóteles creía que la luz viajaba instantáneamente
- **1667** Galileo propuso prender una linterna y medir el retraso, pero no fue concluyente

Un poco de **HISTORIA...**



- **IV a.C** Aristóteles creía que la luz viajaba instantáneamente
- **1667** Galileo propuso prender una linterna y medir el retraso, pero no fue concluyente
- **1676** Primera estimación exitosa: por Ole Romer, estudiando el movimiento de un satélite estimó $c = 2.2 \times 10^8 \text{ m/s}$

Un poco de HISTORIA...



- **IV a.C** Aristóteles creía que la luz viajaba instantáneamente
- **1667** Galileo propuso prender una linterna y medir el retraso, pero no fue concluyente
- **1676** Primera estimación exitosa: por Ole Romer, estudiando el movimiento de un satélite estimó $c = 2.2 \times 10^8 \text{ m/s}$
- **1850** Foucault fue uno de los primeros en estimar su valor con un experimento terrestre

1879 Michelson mejoró el método de Foucault añadiendo interferometría y estimó $c = 2.99 \times 10^8 \text{ m/s}$

1879 Michelson mejoró el método de Foucault añadiendo interferometría y estimó $c = 2.99 \times 10^8 \text{ m/s}$

Se midió cada vez con más precisión, utilizando técnicas de interferometría y relojes atómicos

1879 Michelson mejoró el método de Foucault añadiendo interferometría y estimó $c = 2.99 \times 10^8$ m/s

Se midió cada vez con más precisión, utilizando técnicas de interferometría y relojes atómicos

1975 El CODATA recomendó el valor de $c = 299\,792\,458 \pm 1$ m/s como el mejor estimado experimental disponible hasta ese momento

1879 Michelson mejoró el método de Foucault añadiendo interferometría y estimó $c = 2.99 \times 10^8$ m/s

Se midió cada vez con más precisión, utilizando técnicas de interferometría y relojes atómicos

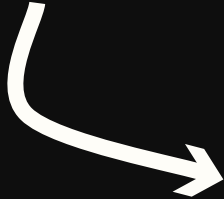
1975 El CODATA recomendó el valor de $c = 299\,792\,458 \pm 1$ m/s como el mejor estimado experimental disponible hasta ese momento

1983 En la Conferencia General de Pesas y Medidas, se fijó por definición el valor de la velocidad de la luz como:

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$$

¿Cómo podemos estimar la velocidad de la luz en este laboratorio?

¿Cómo podemos estimar la velocidad de la luz en este laboratorio?

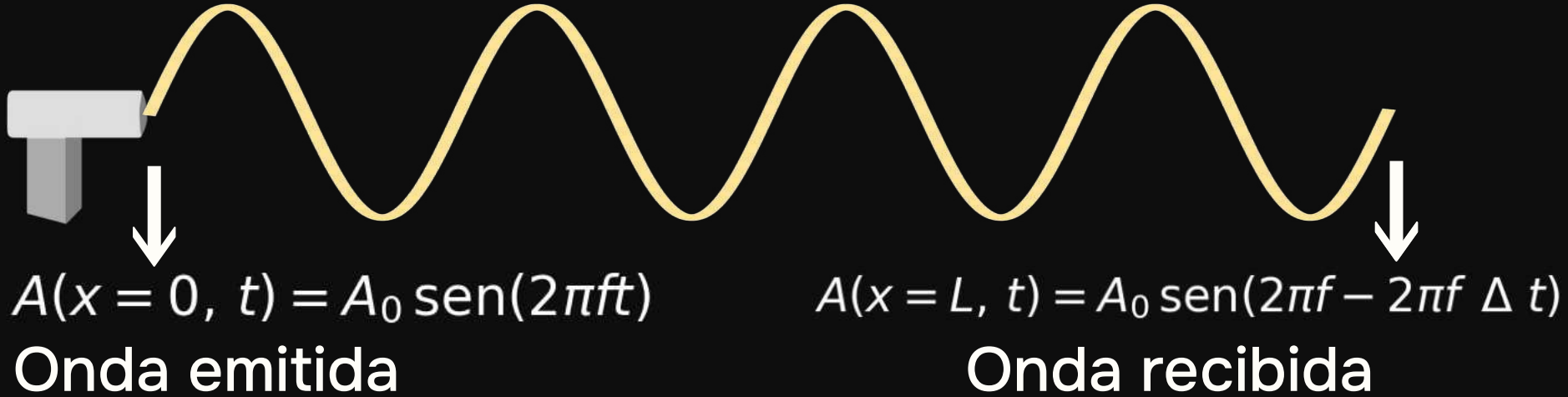


La luz es una onda de frecuencia imperceptible ante nuestros dispositivos

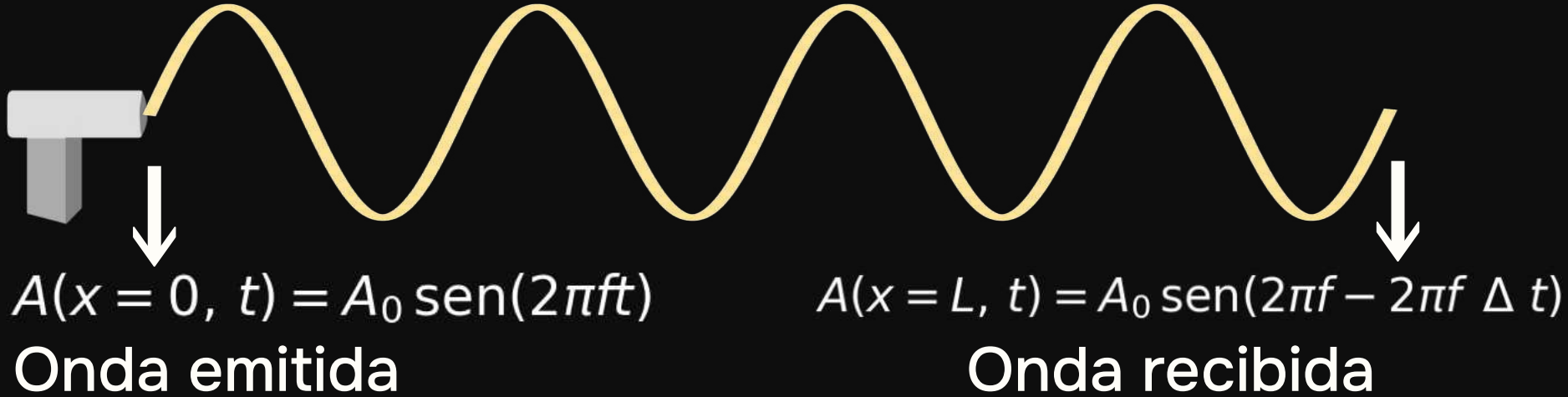
Proponemos modular la intensidad del haz
sinusoidalmente:



Proponemos modular la intensidad del haz sinusoidalmente:



Proponemos modular la intensidad del haz sinusoidalmente:



El desfase es: $\Delta\varphi = 2\pi f \Delta t$

Proponemos modular la intensidad del haz sinusoidalmente:

Frecuencia moduladora

El desfase es:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi f L}{c}$$
The diagram shows the equation $\Delta\varphi = \frac{2\pi f L}{c}$. The variable f is enclosed in a red circle, with a red arrow pointing upwards to the text 'Frecuencia moduladora'. The variable L is enclosed in a blue circle, with a blue arrow pointing to the right towards the text 'Distancia'. The variable c is enclosed in a green circle, with a green arrow pointing downwards to the text 'Velocidad de la luz'.

Distancia

Velocidad de la luz

OBJETIVO

Estimar la velocidad de la luz, modulando sinusoidalmente la intensidad de un láser y midiendo el desfase a distintas distancias y frecuencia conocidas

DESARROLLO EXPERIMENTAL

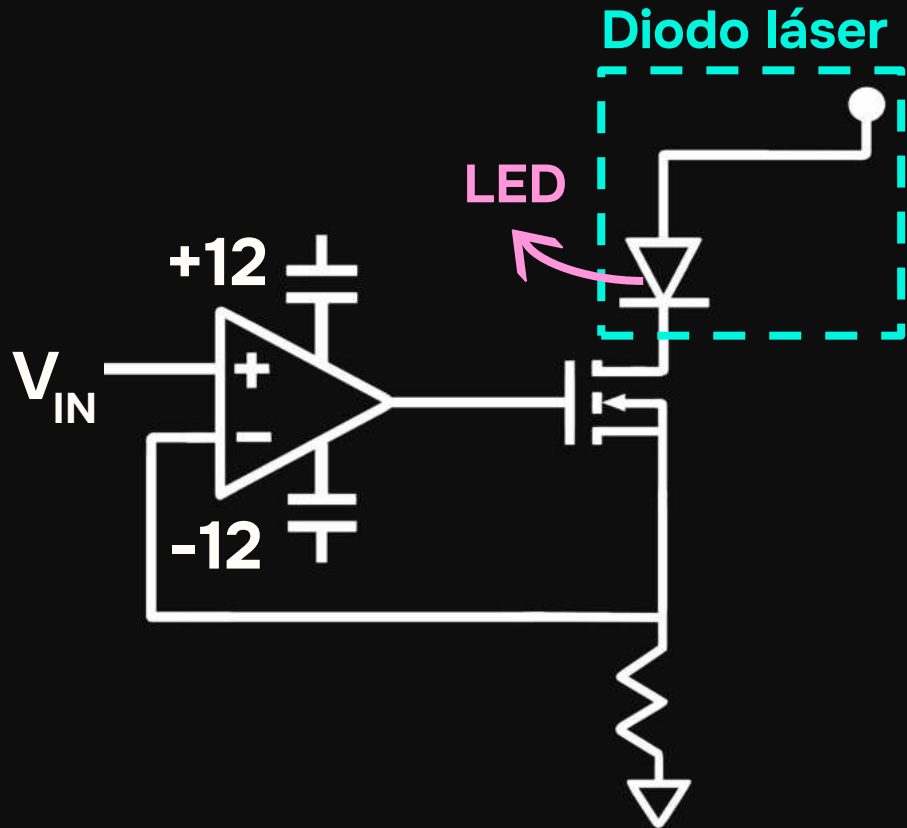
El diseño experimental está dividido en tres partes:

- 01.** Modulación de la intensidad del láser
- 02.** Distribución de elementos ópticos
- 03.** Adquisición y procesamiento de la señal

01.

Circuito modulador de corriente

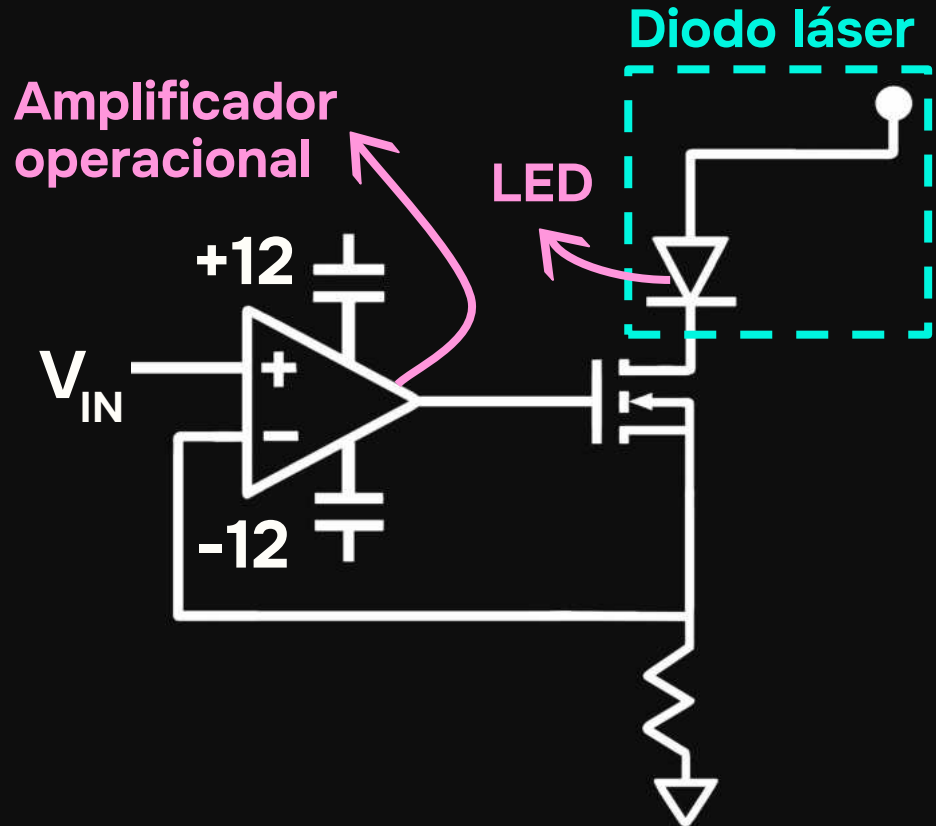
- Transforma tensión en corriente proporcional



01.

Circuito modulador de corriente

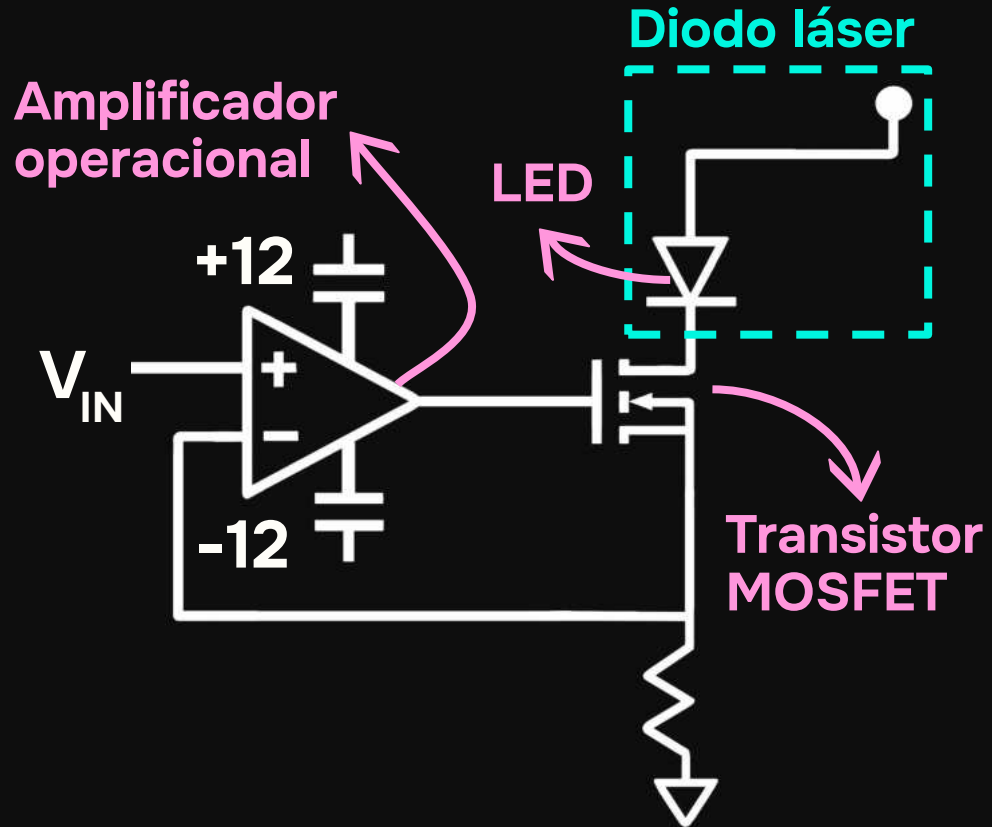
- ▶▶ Transforma tensión en corriente proporcional
- ▶▶ El OP-AMP se encarga de controlar la corriente



01.

Circuito modulador de corriente

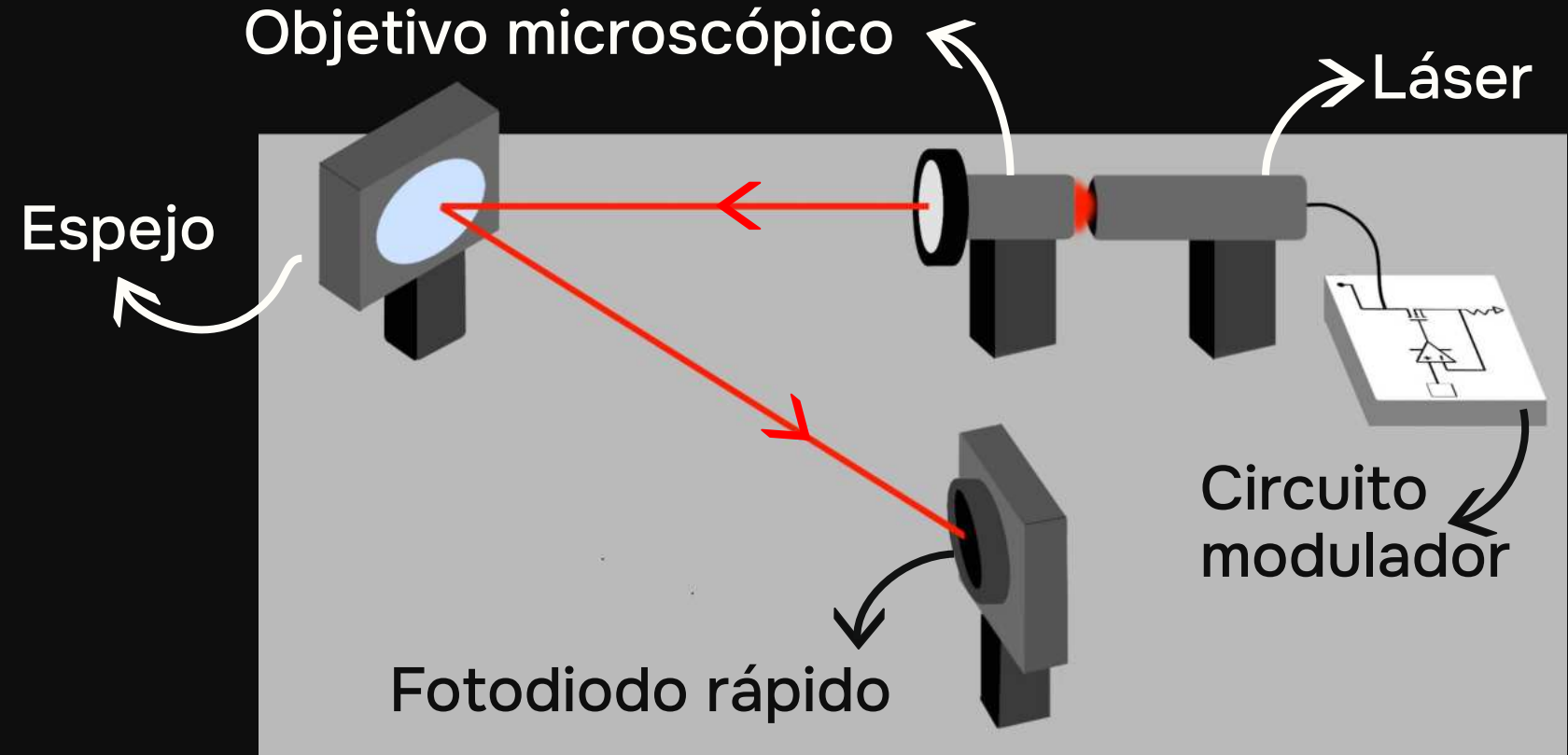
- ▶▶ Transforma tensión en corriente proporcional
- ▶▶ El OP-AMP se encarga de controlar la corriente
- ▶▶ El transistor amplifica la corriente



02.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

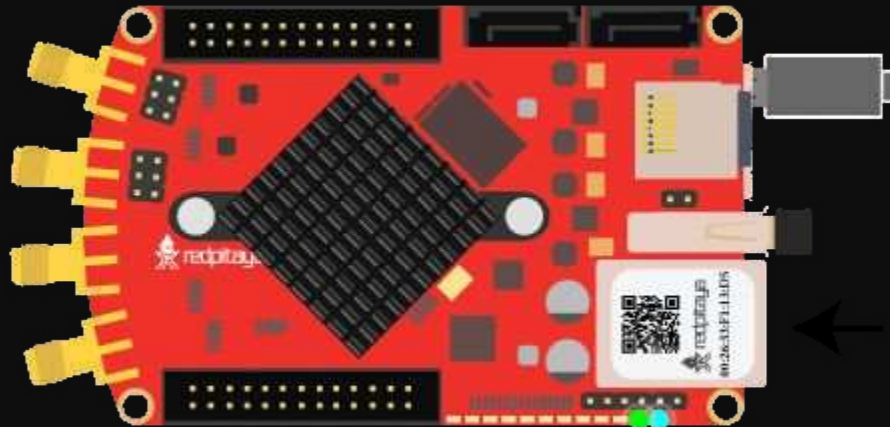
Disposición de los elementos ópticos



03.

Adquisición y procesamiento de la señal

- ▶▶ **Red Pitaya:** Plataforma central para la generación, adquisición y procesamiento de señales



03.

Adquisición y procesamiento de la señal

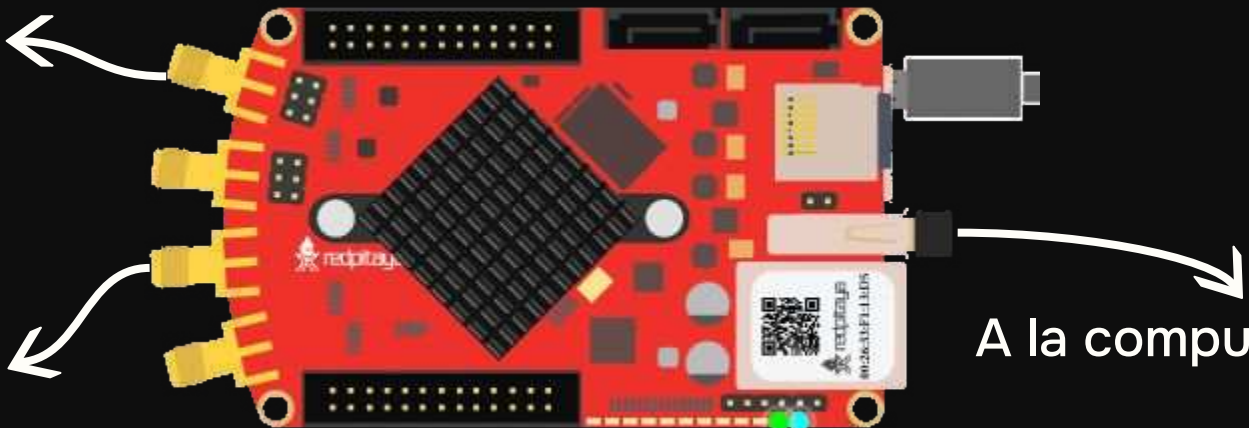
- **Red Pitaya:** Plataforma central para la generación, adquisición y procesamiento de señales

Input:

Amplificador
Lock-in

Output:

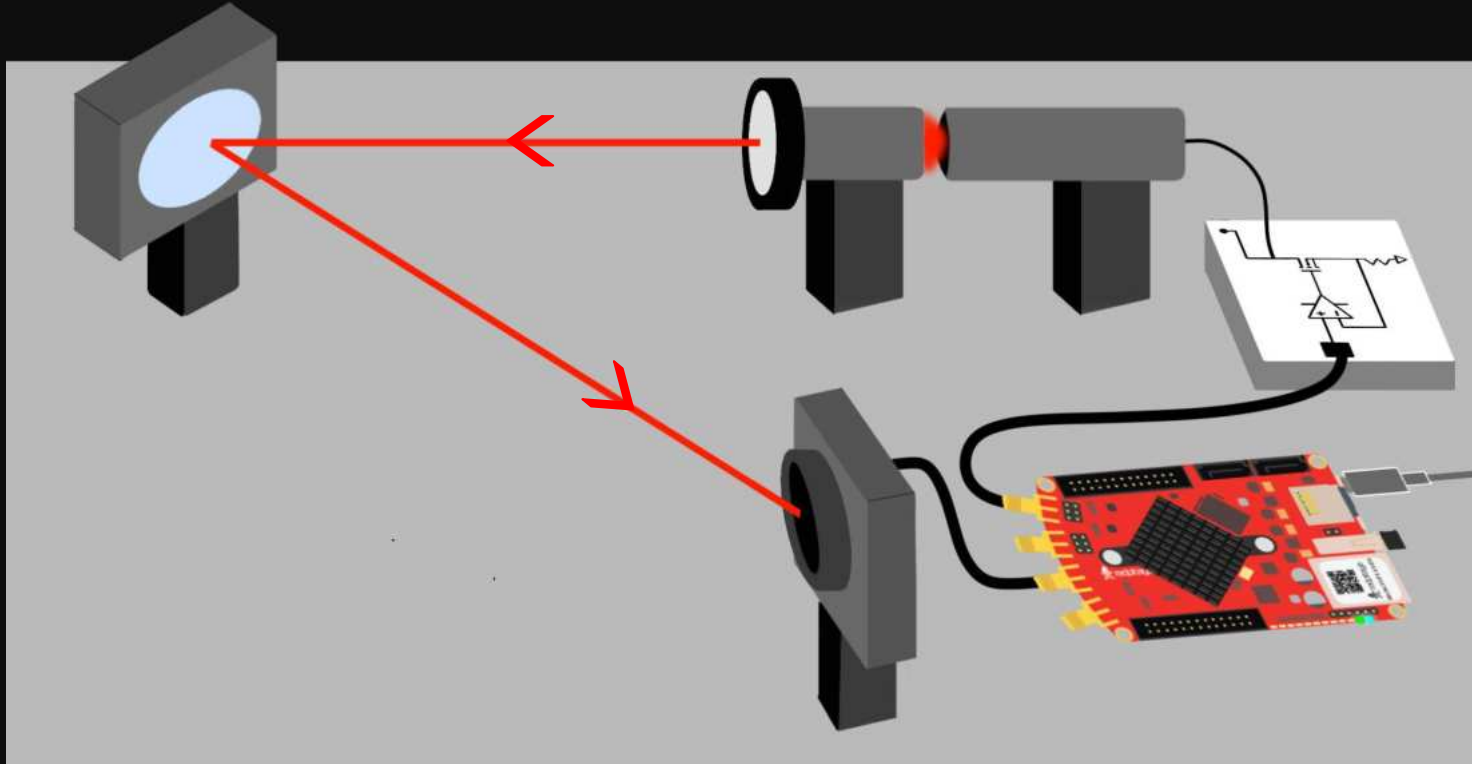
generador de
funciones



A la computadora

03.

Dispositivo experimental completo:



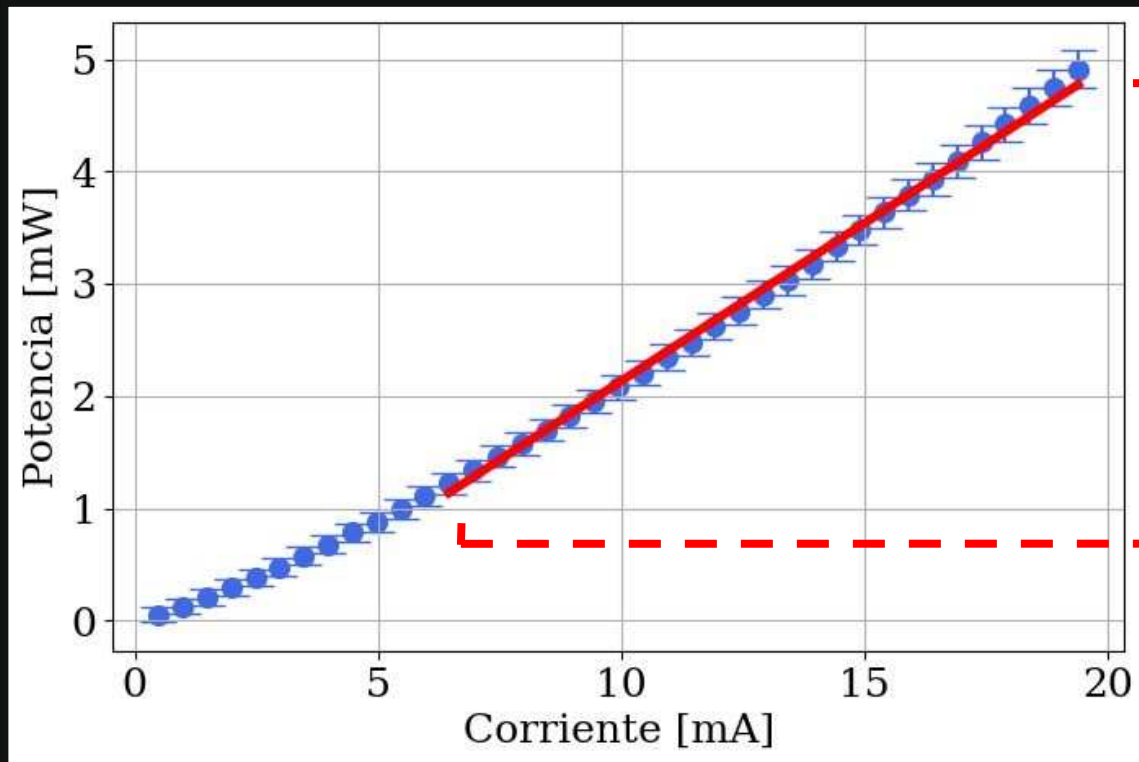
¿Qué hicimos?

- a.** Realizamos una **caracterización** del diodo láser para determinar rango de trabajo
- b.** Medimos el **desfase** entre la señal recibida y la emitida, variando la distancia recorrida por el haz, a una frecuencia de modulación de 1MHz

MEDICIONES Y RESULTADOS

a. Caracterización del láser

Gráfico de la potencia óptica en función de la corriente:



Rango de trabajo
6 mA - 20 mA

b. Estimación de la velocidad de la luz

RESULTADOS

Consideraciones:

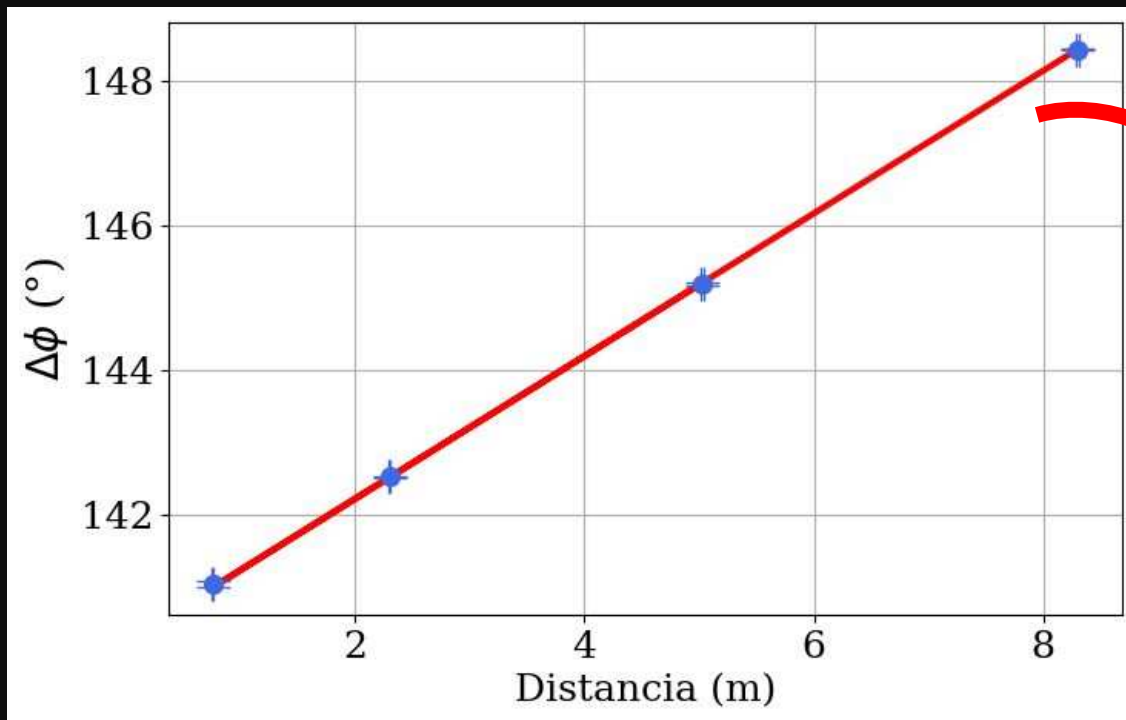
- ▶▶ Realizamos 20 mediciones de cada distancia, a causa de fluctuaciones de la señal
- ▶▶ Medimos un “offset” debido al ruido ambiente y cables del sistema, y lo restamos a cada medición

b.

1. Calculamos los desfases $\Delta\phi$ para cada distancia
- ▶▶ Tomamos el promedio las mediciones de X e Y, calculamos el $\Delta\phi$ de estos y propagamos los errores

b.

1. Calculamos los desfases $\Delta\phi$ para cada distancia
2. Graficamos $\Delta\phi$ en función de la distancia recorrida



Ajuste lineal

b.

1. Calculamos los desfases $\Delta\phi$ para cada distancia
2. Graficamos $\Delta\phi$ en función de la distancia recorrida
3. Estimamos la velocidad de la luz

$$v = (3.65 \pm 0.01) \times 10^8 \text{ m/s}$$

b.

1. Calculamos los desfases $\Delta\phi$ para cada distancia
2. Graficamos $\Delta\phi$ en función de la distancia recorrida
3. Estimamos la velocidad de la luz

$$v = (3.65 \pm 0.01) \times 10^8 \text{ m/s}$$

Dió *cerca* . . . ¿Qué pasó? ¿Cómo lo podemos mejorar?

Posibles Mejoras

Para la distancia:

- ▶▶ Utilización de una única mesa óptica graduada
- ▶▶ Utilización de una celda multipaso
- ▶▶ Medir más distancias

Posibles Mejoras

Para la distancia:

- ▶▶ Utilización de una única mesa óptica graduada
- ▶▶ Utilización de una celda multipaso
- ▶▶ Medir más distancias

Para estabilizar el haz del láser:

- ▶▶ Soldar las componentes del circuito en un placa
- ▶▶ No modificar la inclinación de los espejos

CONCLUSIONES

Conclusiones

- ▶▶ Hallamos el rango lineal en el cual el voltaje aplicado es proporcional a la corriente

Conclusiones

- ▶▶ Hallamos el rango lineal en el cual el voltaje aplicado es proporcional a la corriente
- ▶▶ Se estimó un valor de la velocidad de la luz del mismo orden de magnitud al tabulado

Conclusiones

- ▶▶ Hallamos el rango lineal en el cual el voltaje aplicado es proporcional a la corriente
- ▶▶ Se estimó un valor de la velocidad de la luz del mismo orden de magnitud al tabulado
- ▶▶ Hubo imprecisiones al momento de medir las distancias

Conclusiones

- ▶▶ Hallamos el rango lineal en el cual el voltaje aplicado es proporcional a la corriente
- ▶▶ Se estimó un valor de la velocidad de la luz del mismo orden de magnitud al tabulado
- ▶▶ Hubo imprecisiones al momento de medir las distancias
- ▶▶ Se puede mejorar la experiencia ubicando en la mesa óptica a todos los elementos, utilizando un multipaso o realizando múltiples mediciones de cada distancia

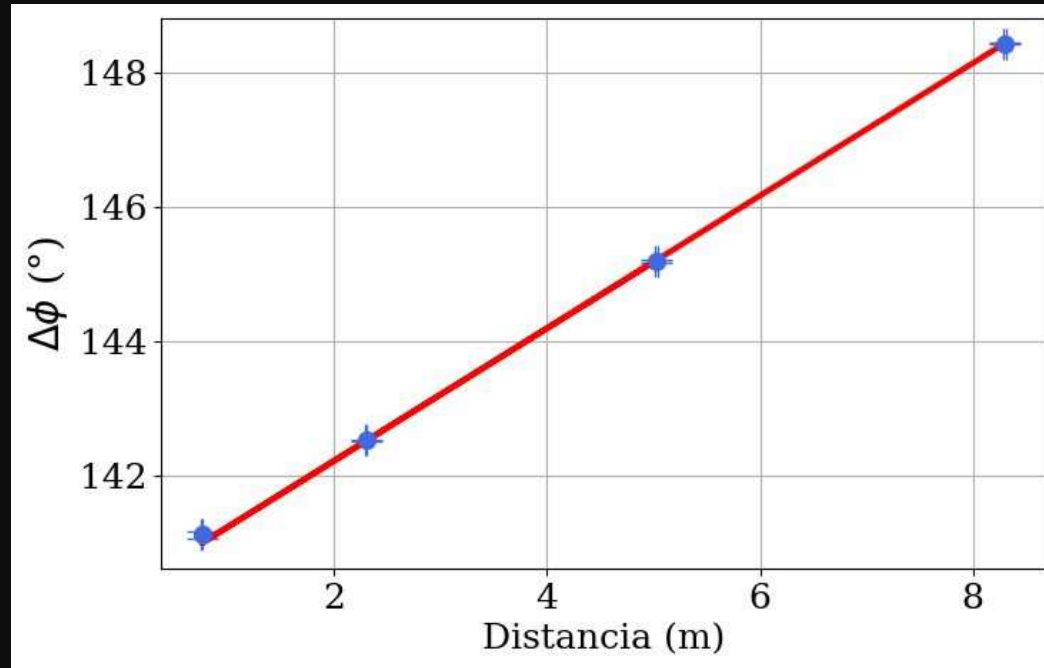
OTROS EXPERIMENTOS

Otros experimentos

- ▶▶ **Interferometría láser:** se divide el haz de luz en dos y se genera un patrón de interferencia. Variando la distancia de un haz o la frecuencia, se analiza dicho patrón.
- ▶▶ **Relojes atómicos:** Debido a la precisión extremadamente alta que poseen, es posible medir el tiempo que tarda el haz de forma directa.

iGracias!

Calculando $\Delta\phi$ en cada dato de las 20 mediciones y luego haciendo un promedio:



$$c = (3.65 \pm 0.01) \times 10^8 \text{ m/s}$$