

## Prueba experimental. Absorción de luz por un filtro neutro.

### Objetivo

Cuando un haz de luz de intensidad  $I_0$  incide sobre una de las caras planas de un medio parcialmente transparente, como un filtro de gelatina, parte de la luz se transmite, y emerge por la otra cara con una intensidad inferior  $I$  (Fig. 1).

La intensidad luminosa se ve reducida en un factor  $T$ , menor que la unidad, denominado *transmitancia*

$$I = T I_0 \quad (1)$$

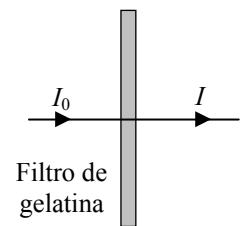


Fig. 1

El objetivo de esta prueba experimental es determinar la transmitancia de un *filtro neutro* (con transmitancia aproximadamente independiente de la longitud de onda) por dos procedimientos diferentes.

**Material** (véase la figura 2)

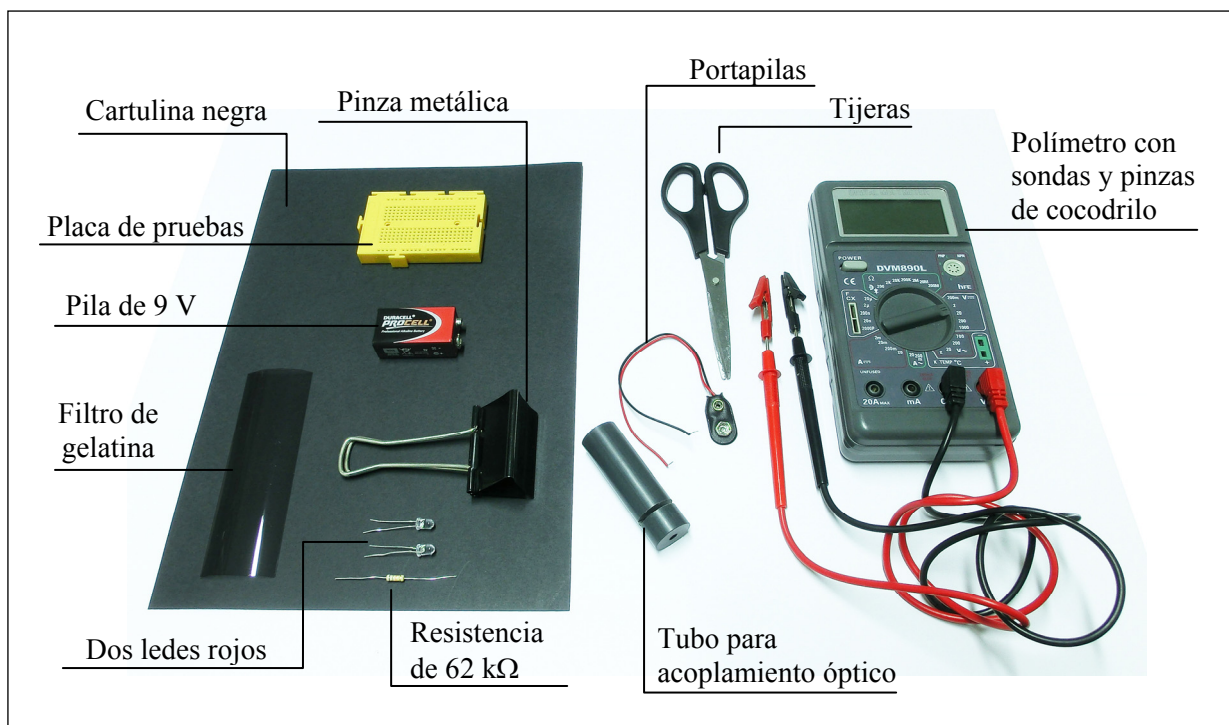


Fig. 2

### Modelo teórico.

Teniendo en cuenta la expresión (1), cuando el haz de luz atraviesa un conjunto de  $n$  filtros iguales, la intensidad transmitida es

$$I_n = T^n I_0 \quad (2)$$

La intensidad luminosa transmitida se va a medir con un fotodetector. Supondremos que la diferencia de potencial  $V$  entre sus terminales es directamente proporcional a dicha intensidad. En consecuencia, la expresión (2) se transforma en

$$V_n = T^n V_0 \quad (3)$$

## Procedimiento experimental

El sistema consta de dos circuitos: el primero está formado por una pila, una resistencia y un led que actúa como emisor de luz, y el segundo lo constituye otro led, que actúa como fotodetector, conectado a un polímetro en función de voltímetro (figura 3).

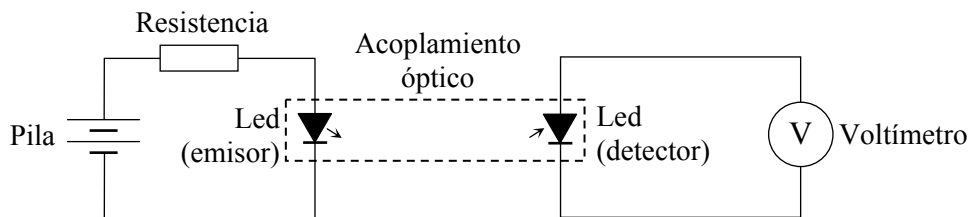


Fig. 3

Aunque un led es un emisor de luz (light-emitting diode), también es capaz de actuar como fotodetector, aunque su eficiencia es baja. Si la intensidad luminosa se mantiene por debajo de cierto nivel, su respuesta es aproximadamente lineal, es decir la diferencia de potencial entre sus extremos es directamente proporcional a la intensidad luminosa recibida.

Los dos circuitos anteriores se acoplan ópticamente mediante un tubo para mantener fija la distancia entre emisor y detector y apantallar la luz ambiente.

El tubo para acoplamiento óptico (figura 4) tiene dos orificios circulares en los extremos y una ranura transversal. En cada uno de los orificios debe encajarse un led, realizando una ligera presión. El led más alejado de la ranura actuará como emisor y el más próximo actuará como fotodetector. En la ranura se colocarán los filtros neutros.

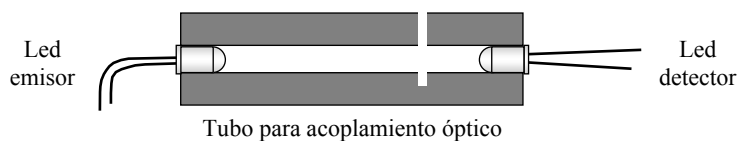


Fig. 4

Doble las patillas del led emisor para poder insertarlas después en la placa de pruebas.

Sujete el tubo con la pinza metálica, de modo que la ranura transversal quede horizontal (figura 5). Monte después el primer circuito conectando el portapilas, la resistencia y el led emisor sobre la placa de pruebas. Tenga en cuenta que la patilla larga del led es el ánodo (+) por donde debe entrar la corriente. **No conecte todavía la pila.**

En el anexo al final de este enunciado se indican las características de la placa de montaje.

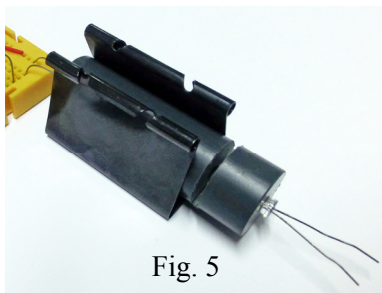


Fig. 5

En el segundo circuito, ajuste el voltímetro en la escala de 2 V de tensión continua y utilice las sondas y las pinzas de cocodrilo para conectarlo al led detector.

Corte el filtro de gelatina en ocho piezas rectangulares aproximadamente iguales.

Para evitar que la luz ambiente afecte a las medidas, construya una caja protectora con la cartulina negra. Antes de realizar cualquier medida debe proteger con esta caja el tubo para acoplamiento óptico, evitando que llegue luz ambiente al led detector.

Revise el montaje y asegúrese de que las conexiones son correctas. En particular, el led emisor debe estar conectado a la pila a través de la resistencia. **Si el led se conecta directamente a la pila, se destruirá.** Cuando esté seguro de que el circuito está bien montado, conecte la pila, compruebe que el led emite una débil luz roja, y encienda el polímetro.

### Primer procedimiento para determinar $T$ .

- 1.- Sin ningún filtro en la ranura del tubo ( $n = 0$ ) anote el valor indicado por el voltímetro<sup>1</sup>,  $V_0$ . Coloque un filtro en la ranura ( $n = 1$ ) y tome la medida del voltímetro,  $V_1$ . Añada un segundo filtro ( $n = 2$ ) y mida  $V_2$ , etc. hasta acumular los ocho filtros en la ranura. Presente los datos en una tabla como la siguiente: (2 p.)

Nº de filtros, $n$	$V_n$ (mV)		$V_{n+1}/V_n$
0			
1			
...			

- 2.- Transforme la expresión (3), para obtener una dependencia lineal entre una función de  $V_n$  y  $n$ . (1 p.)
- 3.- Anote en la tercera columna de la tabla anterior los valores de esa función de  $V_n$ . (1 p.)
- 4.- Represente gráficamente en el papel milimetrado los puntos correspondientes a la dependencia lineal esperada. (3 p.)
- 5.- Determine la pendiente,  $p$ , de la recta que mejor se ajuste a esos puntos. Deduzca el valor de la transmitancia  $T$ . (4 p.)
- 6.- Haga una estimación de la incertidumbre de  $T$ . (4 p.)

### Segundo procedimiento para determinar $T$ .

La transmitancia de un filtro también puede determinarse a partir de dos medidas consecutivas con  $n$  y  $n+1$  filtros. Teniendo en cuenta (3), es evidente que

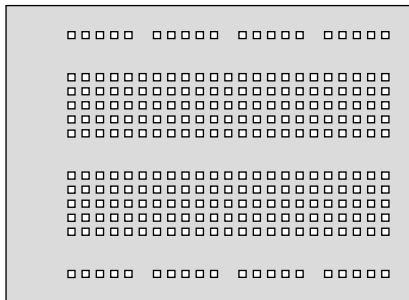
$$T = \frac{V_{n+1}}{V_n} \quad (4)$$

- 7.- Aplicando (4) a parejas consecutivas de sus nueve medidas,  $V_0, V_1 \dots V_8$ , calcule los ocho valores correspondientes de  $T$  y anótelos en la cuarta columna de la tabla. (1 p.)
- 8.- Mediante un tratamiento estadístico, calcule el valor más fiable de la transmitancia  $T$  de un filtro, y su margen de incertidumbre. (4 p.)

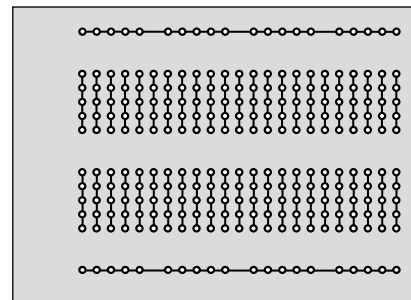
<sup>1</sup> El valor de  $V_0$  debe estar comprendido entre 200 y 400 mV. Si no es así, revise el montaje experimental. Si no encuentra errores de montaje, indíquelo a un responsable de la prueba.

# ANEXO

Las *placas de pruebas* se utilizan para montar circuitos de forma rápida y no permanente.



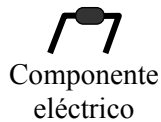
Aspecto exterior de una *placa de pruebas*.  
Existe una matriz de agujeros en los se pueden insertar los terminales de los componentes.



Conexiones eléctricas internas.  
En la zona central de la placa, los agujeros están agrupados en columnas de 5, conectados entre sí.  
Todos los agujeros de las líneas superior e inferior de la placa están conectados entre sí. Suelen emplearse para la alimentación del circuito.

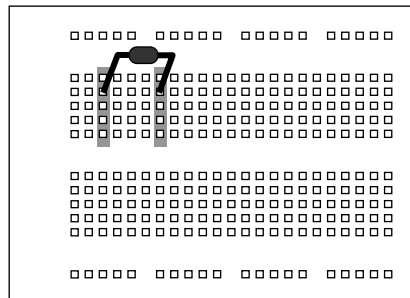
Para realizar un montaje, los extremos de un componente eléctrico deben estar insertados en filas o columnas diferentes. De otro modo, el componente estaría en cortocircuito.

Ejemplo: Se muestran cuatro formas de conectar un componente eléctrico en la placa. Las formas A, B y C son correctas, y la D incorrecta.

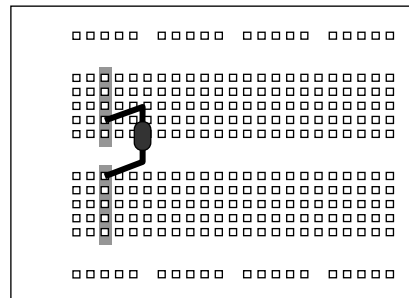


Componente eléctrico

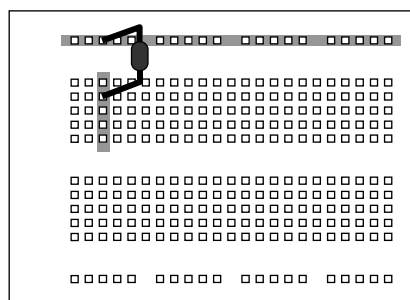
A. Montaje correcto



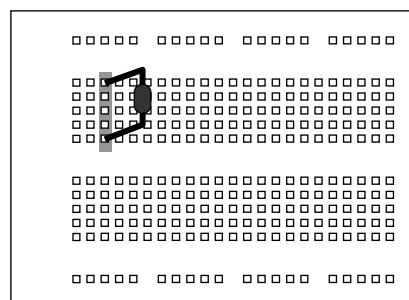
B. Montaje correcto



C. Montaje correcto



D. Montaje incorrecto



## Prueba experimental. Solución

1.- Medidas y magnitudes derivadas:

Nº de filtros, $n$	$V_n$ (mV)	$\ln V_n$	$V_{n+1}/V_n$
0	277	5,62	0,693
1	192	5,26	0,682
2	131	4,88	0,679
3	89	4,49	0,674
4	60	4,09	0,667
5	40	3,69	0,650
6	26	3,26	0,654
7	17	2,83	0,647
8	11	2,40	

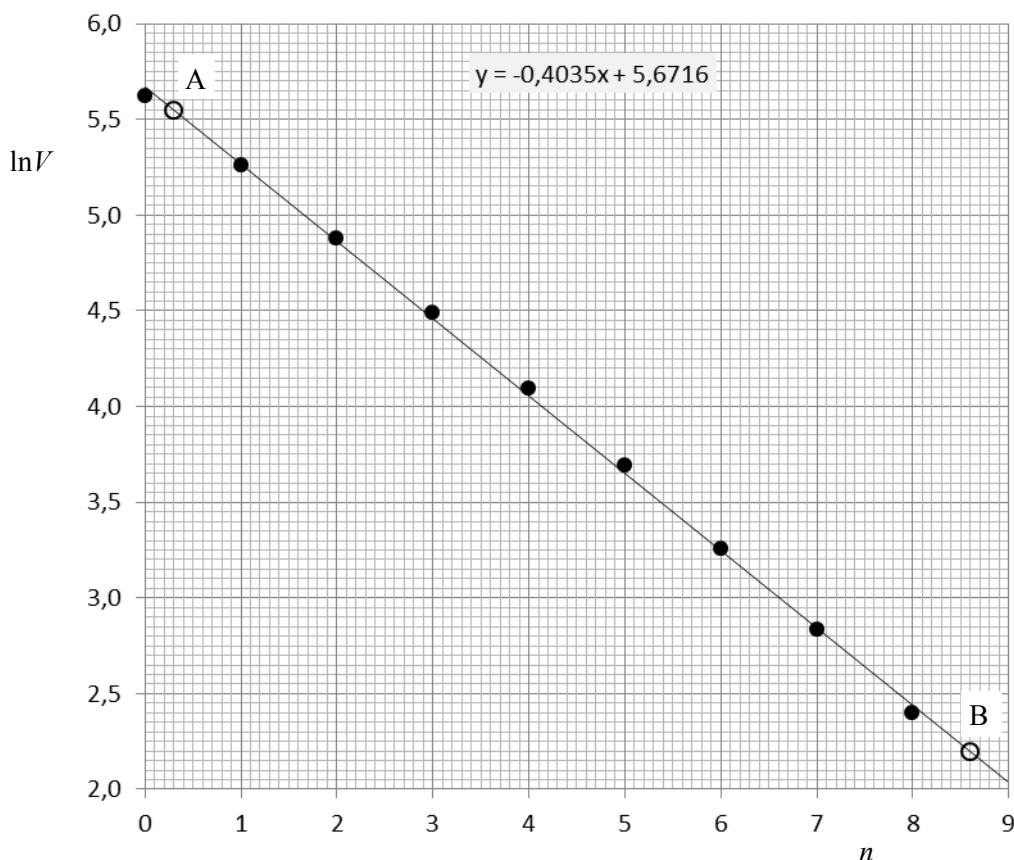
2.- Tomando logaritmos (por ejemplo neperianos) en la ecuación (3) se tiene

$$\ln V_n = \ln V_0 + n \ln T \quad (4)$$

Por tanto, se espera una dependencia lineal entre  $y = \ln V_n$  y  $x = n$ , con pendiente  $p = \ln T$ .

3.- Los valores de  $\ln V_n$  se presentan en la tercera columna de la tabla anterior

4.- Gráfica y ajuste a una recta



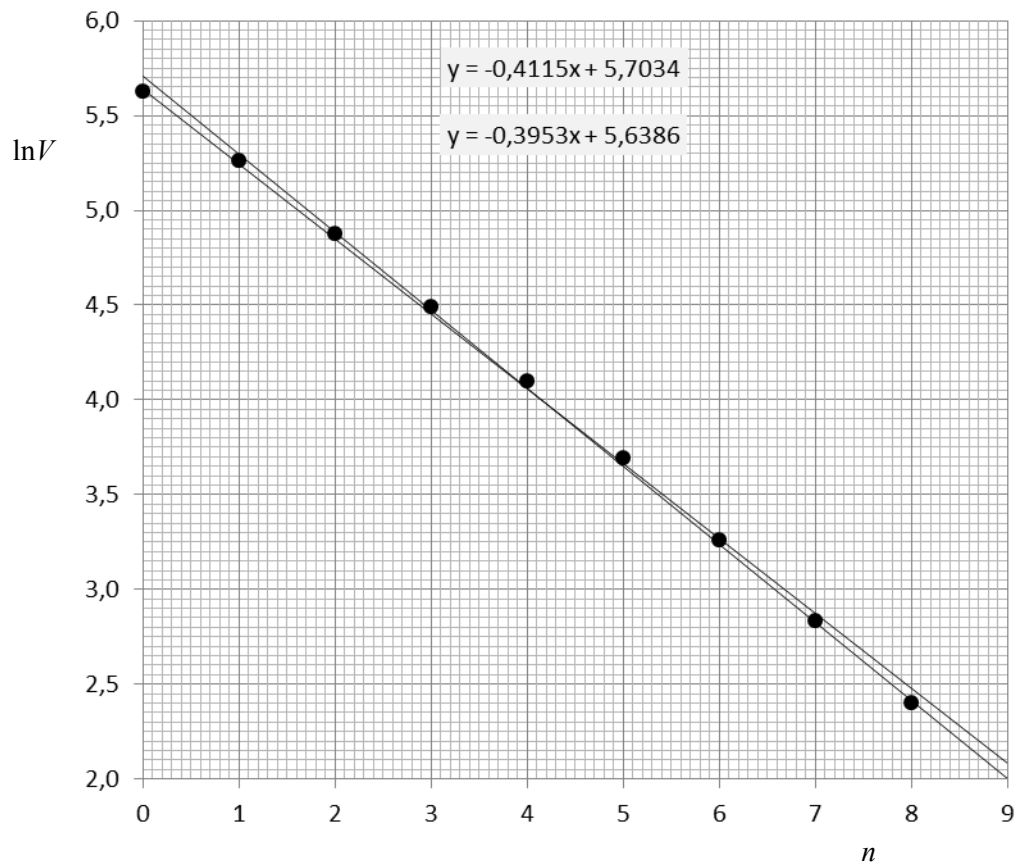
5.- Puntos auxiliares: A(0,30; 5,55) , B(8,60; 2,20)

$$\text{Pendiente: } p = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} = -0,4036$$

$$\text{Transmitancia: } T = e^p = 0,6679$$

El valor de  $p$  obtenido con un ajuste por “mínimos cuadrados” se muestra en la gráfica.

- 6.- Rectas con pendientes máxima y mínima que se ajustan razonablemente a los puntos experimentales y pasan por<sup>2</sup> el “centro”  $(\bar{x}; \bar{y}) = (4,00; 4,06)$



Pendientes extremas:  $p_{\max} = -0,3953$ ,  $p_{\min} = -0,4115$

Transmitancias extremas:  $T_{\max} = e^{-0,3953} = 0,6735$ ,  $T_{\min} = e^{-0,4115} = 0,6627$

$$\Delta T = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2} = 0,0054 \quad \boxed{T = 0,668 \pm 0,005}$$

- 7.- Los ocho valores de  $T$  calculados como  $V_{n+1} / V_n$  se presentan en la última columna de la tabla.  
 8.- El valor más fiable es la media de estos ocho valores.

$$\bar{T} = 0,6683$$

Estimación de incertidumbre: error típico (incertidumbre estándar de la media)

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (T_i - \bar{T})^2}{N(N-1)}} = 0,0059 \quad \boxed{T = 0,668 \pm 0,006}$$

Nota1: La transmitancia nominal del filtro empleado (filtro neutro ROSCO 298.15) es  $T = 0,67$ .

Nota 2: En la última columna de la tabla de datos se aprecia una dispersión no aleatoria respecto a la media, probablemente debida a una falta de linealidad del detector empleado.

<sup>2</sup> En el tratamiento analítico del ajuste a una recta por mínimos cuadrados se demuestra que la mejor recta siempre pasa por el punto promedio de los experimentales.