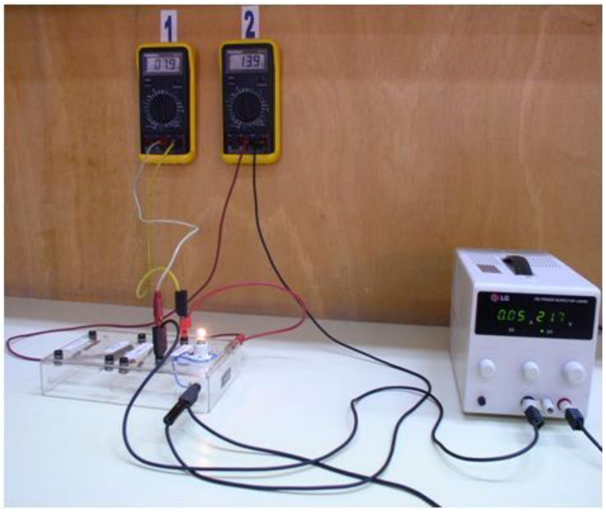
9 ELEMENTOS LINEALES Y NO LINEALES



OBJETIVOS

- Obtener las curvas características de elementos eléctricos lineales y no lineales
- Resolver experimentalmente por métodos gráficos, circuitos con un elemento no lineal.

MATERIALES

- 1 Tester digital como voltímetro
- 1 Tester digital como voltímetro o amperímetro
- 1 Tablero con una resistencias, un bombillo y un diodo
- 1 Fuente de poder 0-30 V dc
- 1 Juego de cables

PARTE TEÓRICA

Si se aplica una diferencia de potencial ***V*** entre los terminales de un material o elemento eléctrico, se establece una corriente eléctrica ***I*** a través de él. Como para cada diferencia de potencial aplicada hay una corriente correspondiente, se puede graficar la corriente ***I*** que fluye por el elemento en función del voltaje ***V*** que se le aplica, a esta gráfica de la corriente ***I*** en función de la diferencia de potencial ***V*** se le llama ***curva característica del elemento eléctrico***. Para algunos elementos, la gráfica es una línea recta, como se muestra en la Figura1. A estos elementos se los denomina elementos ***lineales***, mientras que para otros, la relación no es lineal (Fig. 2) este comportamiento corresponde a los elementos ***no-lineales***. El empleo de *curvas características****I***= f(***V***) nos da una visión general del comportamiento de los elementos eléctricos y también se las puede usar para facilitar la solución de circuitos eléctricos (encontrar corrientes producidas por determinados voltajes aplicados) cuando intervienen elementos *no-lineales*.

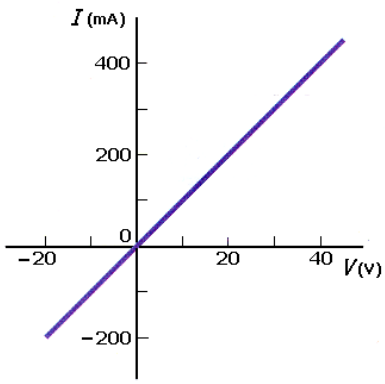


Fig. 1 Curva característica de un conductor Lineal u óhmico

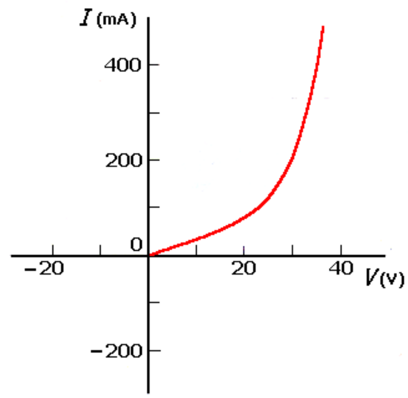


Fig. 2 Curva característica de un conductor no lineal. (Pertenece a un semiconductor)

La resistencia *R* de un elemento está dada por el cociente de dividir la diferencia de potencial que se le aplica entre la corriente que ésta produce:

$$\boxed{R = \frac{V}{I}} \qquad (1)$$

La unidad de resistencia en el SI es el **ohm**, el cual es igual a un voltio por ampere (1Ω = 1V/A).

Regresemos al conductor lineal de la figura 1, cuya *curva característicaI* = f(*V*) es una recta. Como la pendiente de la recta es constante, e igual al inverso de la ***resistencia*** (Fig. 3), podemos concluir que la resistencia de un *elemento lineal***no** varía, ni con el voltaje, ni con la corriente, cuando esto sucede; se dice que el elemento obedece la ***ley de Ohm*** (al menos dentro de un cierto rango de voltajes y corrientes).

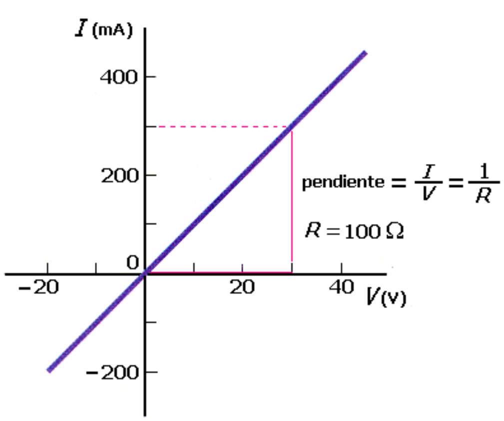


Fig. 3

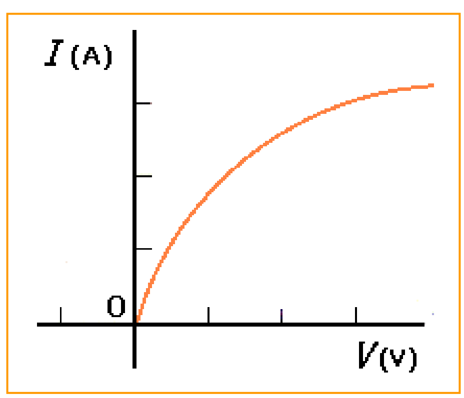


Fig. 4

El nombre de esta ley se debe a que el físico alemán Georg Simón Ohm descubrió que, en muchos conductores, la corriente es directamente proporcional a la diferencia de potencial aplicada; esto es: que la resistencia es independiente de la corriente. Los metales son excelentes ejemplos de tales conductores conocidos como:*óhmicos* o *lineales*.

La ecuación (1) también se puede escribir como:

$$\boxed{V = IR} \qquad (2)$$

A esta ecuación se le suele llamar ***ley de Ohm***, pero es importante recalcar que el contenido real de la *ley deOhm*, es la proporcionalidad directa (para algunos materiales) de V con I.

Las ecuaciones (1) y (2) definen la resistencia R de **cualquier** conductor, independientemente de que obedezca o no, la *ley de Ohm*, pero, **sólo cuando *R* es constante** se puede llamar apropiadamente a esta relación ***ley de Ohm***.

Hay conductores, como en el caso del tungsteno, que tienen un comportamiento lineal para corrientes suficientemente bajas, pero al aumentar la corriente se apartan considerablemente de este comportamiento, como se ilustra en la figura 4.

Los alambres de los usados en el cableado de la electricidad doméstica, tienen aproximadamente una resistencia de 0.5 Ω por metro de longitud, mientras que la resistencia de un bombillo de 100 Watt y 110 V es de 121 Ω. Si en una misma corriente pasa por uno de esos cables(no muy largo) y por un bombillo conectado a él, la diferencia de potencial $V = IR$ es mucho mayor a través del bombillo, esto corrobora que se disipa mucha más energía por unidad de carga transportada en el bombillo, que en el cable.

El mismo efecto se puede analizar desde el punto de vista de la potencia disipada:P (energía disipada por unidad de tiempo). Esta potencia es igual a:

$$P = I^2 R \qquad (3)$$

Por lo tanto, para una misma corriente, la potencia disipada será mayor en el conductor de mayor resistencia.

Para un conductor con sección transversal uniforme su resistencia R está dada por la relación:

$$R = \rho \frac{L}{A} \qquad (4)$$

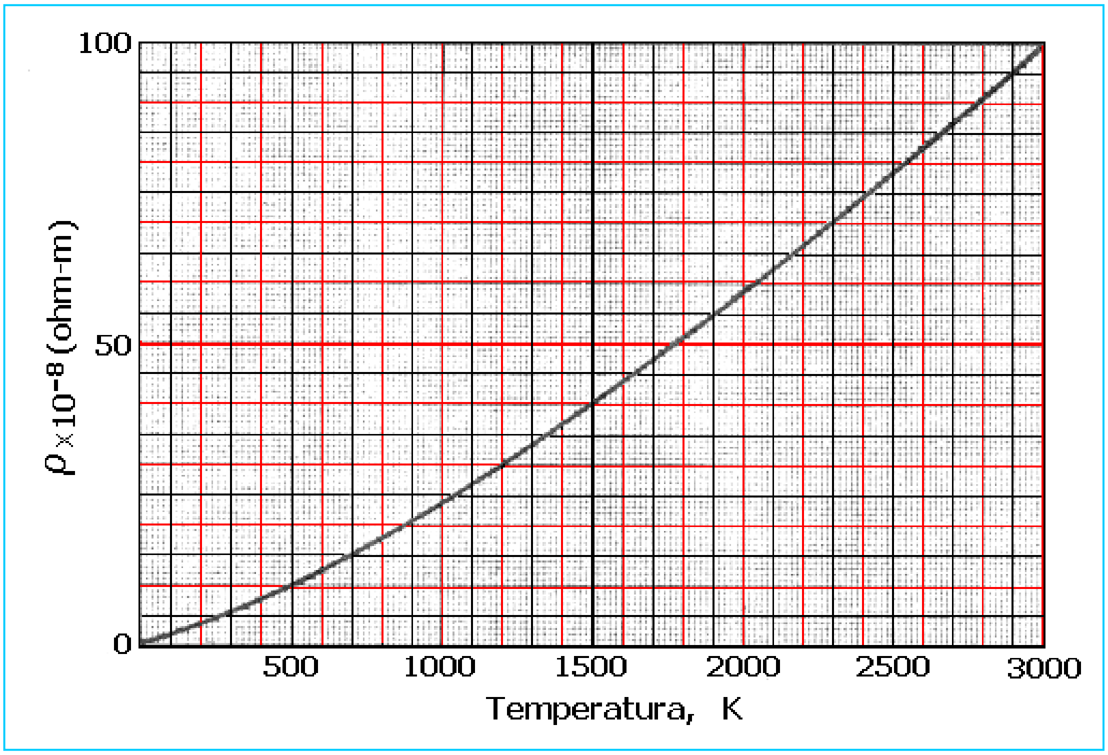
donde A es la sección transversal, L su longitudy ρ la resistividad de su material.

En los materiales óhmicos la resistividad ρ es constante y por ende, también lo es R, como se concluye de la ecuación (4).

El hecho de que los materiales se aparten en mayor o menor grado del comportamiento lineal u óhmico, obedece principalmente a la variación que sufre la resistividad ρcon las variaciones de temperatura, la cual está asociada con la potencia disipada en el conductor y, en consecuencia, con la corriente que lo atraviesa (Ec.3). Para intervalos de temperatura no muy grandes, esta variación es aproximadamente lineal

$$\boxed{\rho = \rho_0 \left[1 + \alpha\left(T - T_0\right)\right]} \qquad (5)$$

Donde ρes la resistividad a la temperatura T y ρ_0 la resistividad a la temperatura T_0, al coeficiente α se conoce como ***coeficiente de temperatura de laresistividad***. Los metales comunes tienen valores pequeños de α y se apegan bastante bien a la *ley de Ohm* en intervalos moderados de temperatura. En la gráfica 1 se muestra la variación de la resistividad del tungsteno con la temperatura en grados Kelvin.



GRÁFICA 1

Otros materiales como los semiconductores de silicio o germanio tienen un αnegativo, de modo que su resistividad y por ende, su resistencia, decrecen con el aumento de la temperatura (Fig. 2).

La resistencia de un alambre metálico es independiente de la corriente que pasa a través de él, sólo mientras la temperatura del metal sea constante o no varíe significativamente. Al aumentar al temperatura la resistividad aumenta y por ende, la resistencia. La figura 5 muestra una gráfica de la corriente que pasa por un filamento de tungsteno en función de la diferencia de potencial entre sus extremos. Cuando la temperatura se mantiene constante la gráfica es una recta cuya pendiente $1/R$ mide su resistencia constante. Cuando la temperatura del filamento aumenta, como en el caso del filamento de un bombillo (Fig. 6), su resistencia aumenta con la temperatura, y la gráfica correspondiente se curva hacia abajo. Este contraste ilustra que la *ley de Ohm* es una relación práctica más que fundamental, y que funciona con algunos sistemas en condiciones específicas.

Fig. 5

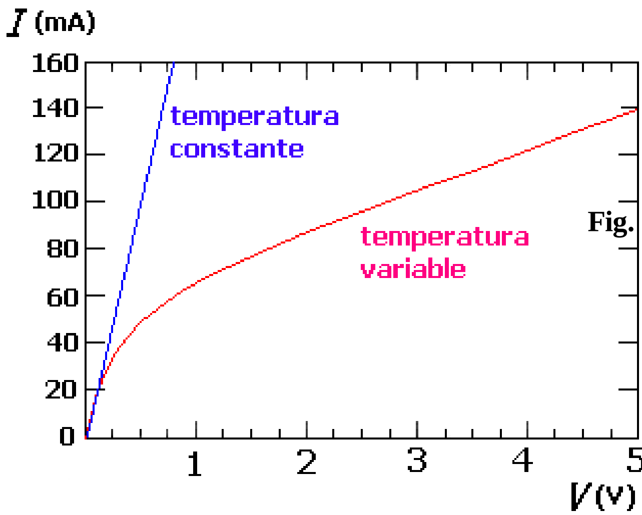
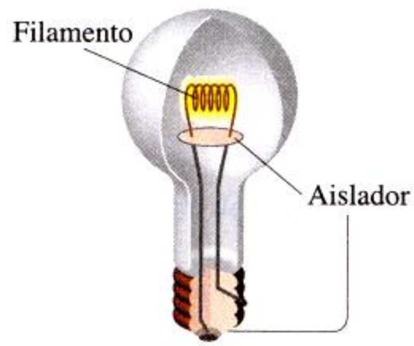
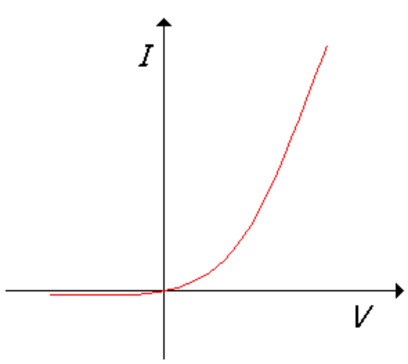


Fig. 6



Las desviaciones a la ley de Ohm, no solamente están relacionadas con la variación de la temperatura, también pueden depender del sentido de circulación de la corriente. En la figura 7 se muestra la curva característica de un diodo semiconductor (Fig. 8), se puede observar que para un sentido de circulación de la corriente (en la gráfica, diferencia de potencial negativa) la corriente es muy pequeña o nula, lo que corresponde a una resistencia extremadamente alta (se conoce como paso *difícil*) mientras que para el sentido opuesto (diferencia de potencial positiva) se produce una corriente alta la cual aumenta considerablemente, aún, para pequeños incrementos del potencial. (Paso*fácil*). Esto hace que el diodo funcione como una “válvula” eléctrica de un solo sentido.



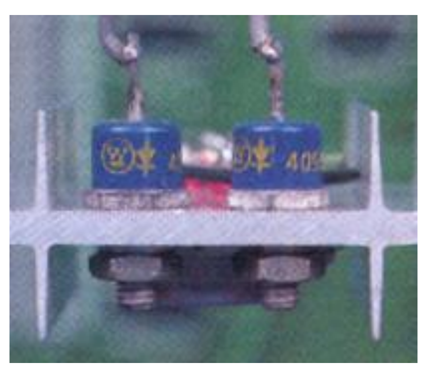


Fig. 7

Fig. 8 Diodos instalados en un dispositivo de alta disipación de calor. Las flechas amarillas indican la dirección de la corriente en pasofácil.

ANÁLISIS DE CIRCUITOS CON UN SOLO ELEMENTO NO LINEAL

La resolución de circuitos con resistencias constantes es relativamente simple y bien conocida. Pero, cuando se introduce un elemento *no lineal* en el circuito es conveniente usar métodos gráficos para su resolución, por cuanto de esta manera se simplifica el calculo considerablemente, además en muchos casos, esta es la única manera de hacerlo.

Consideremos el circuito de la Figura 9, queremos determinar la corriente y el voltaje sobre el elemento *no lineal*.

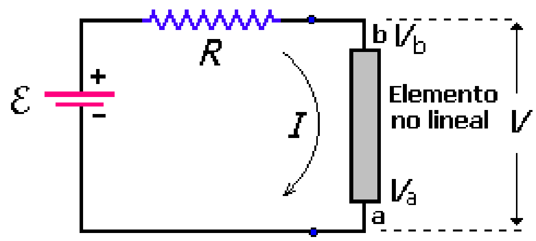


Fig. 9

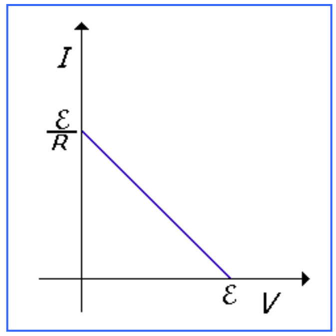


Fig. 10

Si recorremos el circuito desde el punto **a** al **b** a través de la batería, aplicando la segunda ley de Kirchhoff, podemos ver que

$$V_a + \varepsilon - RI = V_b \qquad (6)$$

Haciendo $V_b - V_a = V$, la ecuación (6) puede ser escrita así:

$$I = \frac{\varepsilon - V}{R} \qquad (7)$$

Podemos expresar *I* en función de *V* como: $I = \dfrac{\varepsilon}{R} - \dfrac{V}{R}$ (8)

Ya que ε y *R* son constantes, la ecuación (8) corresponde a una recta de pendiente negativa (Fig. 10).

Para el elemento *no lineal* del circuito, se cumple que la corriente y el voltaje están relacionados mediante la curva característica $I = f(V)$, por ejemplo, la correspondiente al diodo semiconductor (Fig. 7).

Por la primera ley de Kirchhoff la corriente que pasa por la resistencia *R* y por el elemento *no lineal*, es la misma, entonces; igualando las dos expresiones de la corriente se tiene:

$$f(V) = \frac{\varepsilon}{R} - \frac{V}{R} \qquad (9)$$

Resolviendo esta ecuación se puede determinar V y, una vez que se conoce V, se puede obtener el valor de I por medio de la ecuación (8)

También, la ecuación (9) se puede resolver de forma gráfica, dibujando la recta correspondiente a la ecuación (8) sobre la representación de la curva característica del elemento *no lineal*; el punto $\boldsymbol{Q}$ de intersección de las dos curvas indica el valor V_o que satisface la igualdad (9) y también, la corriente I_o que circula por el circuito, ver Figura 12.

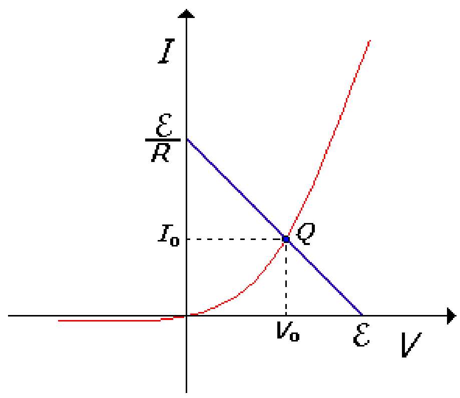


Fig. 12

Al punto $\boldsymbol{Q}$ se lo llama ***punto de operación*** y a la recta del elemento lineal: ***rectade carga.***

ACTIVIDADES PREVIAS A LA SESIÓN DE PRÁCTICA

1. Estudiar el contenido teórico de la presente guía

PARTE EXPERIMENTAL

El análisis y procesamiento de los datos se hará en el libro de Excel: ***"Elementos Lineales y no Lineales"***

ACTIVIDAD 1

CURVA CARACTERÍSTICA DE UN ELEMENTO LINEAL

Tester 1 **Tester** 2

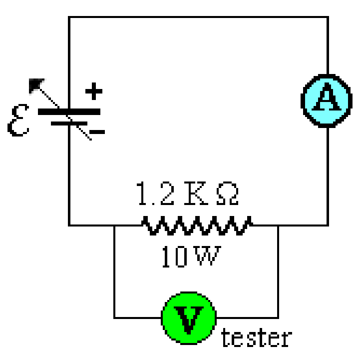


Fig. 1

Fig. 2

Fig. 3

1. Sin prender la fuente, instala el circuito mostrado en la figura 1.
2. La fuente es variable 0-30 V y tiene limitador de corriente, debes colocar el limitador a la máxima salida de corriente, girado el control “CURRENT” totalmente a la derecha. El ajuste fino “FINE” debes girarlo totalmente a la izquierda.
3. Se usará como amperímetro el “tester2” en la escala de 200 mA dc, conectado por sus terminales “COMON” (negro (–)) y “mA” (rojo (+)), como se muestra en la figura 3
4. El “tester1” usado como voltímetro en la escala de 200 V dc, se conecta por los terminales “COMON” (negro (–)) y “Ω-V-Hz” (rojo (+)), como se muestra en la figura 2. Este tester permanecerá conectado de esta manera, mientras no se indique alguna modificación.
5. Variando el voltaje de salida de la fuente, mide 10 valores de la corriente (tester 2) para 10 valores del *voltaje en la resistencia* (tester 1), en un rango comprendido entre 0.5 y 20 V
6. Grafica la corriente en función del voltaje para encontrar la *curva característicaI*(*V*)
7. Verifica si la resistencia *R* es un elemento lineal, o no. Una medida de la linealidad de la *curva característicaI*(*V*), la puedes conseguir por medio del *coeficiente de determinación* R^2, que te proporciona el Excel en su opción de gráfico “*Agregarlínea de tendencia*” y en esta; en la opción “*lineal*”.Mientras más se acerque R^2al valor “1”, mayor será la linealidad de *I*(*V*).
8. La opción “*Agregarlínea de tendencia*” también proporciona la ecuación de la recta que mejor se ajusta a los datos experimentales, encuentra esta ecuación y colócala en la grafica.
9. Con la función “*aproximación lineal”* (“*linest”*, en ingles) del Excel (ver Apéndice 1), encuentra el valor de la pendiente “*m*” de la recta y su error estándarΔm. Con estos valores, calcula el valor de la resistencia *R*del circuito, con su respectivo error ΔR.

$$R = \frac{1}{m} \Delta R = \left| -\frac{1}{m^2} \right| \Delta m$$

10. Compara el valor de la resistencia *R* obtenido del gráfico con su valor nominal. Reporta la diferencia porcentual entre estos dos valores.

$$\text{Diferencia porcentual} = \left| \frac{R_{(nominal)} - R_{(medido)}}{R_{(nominal)}} \right| \times 100$$

11. Disminuye el voltaje hasta cero y apaga la fuente.

CARACTERÍSTICA DE UN FILAMENTO DE TUNGSTENO

Usarás la misma fuente del experimento anterior, la cualestá provista de un voltímetro y un amperímetro digitales, que indican el voltaje de salida de la fuente y la corriente que pasa por ella.

12. Instala el circuito mostrado en la figura 4, **colocando el tester 2 en la modalidad de medir voltaje continuo (mostrada en la figura 2 para el tester1) pero, en el rango de 20 V,** conéctalo por sus terminales "COMON" (negro (–)) y "Ω-V-Hz" (rojo (+)).
13. El voltaje en el bombillo lo medirás directamente (tester 2) y la corriente, para mayor precisión, la calcularás midiendo el voltaje en la resistencia (tester 1).
14. Primero, mide aumentando el voltaje de la fuente, de 0.5V en 0.5V, desde 0.5 voltios hasta llegar a 3.0 V. Luego, para 5V y 6V**en la fuente**. A partir de los 6V aumenta el voltaje de la fuente de 2V en 2V, hasta llegar a los 18V. (Para pequeños ajustes puedes usar el control "**FINE**" de la fuente). ***No excedas los 19 V en la fuente***.

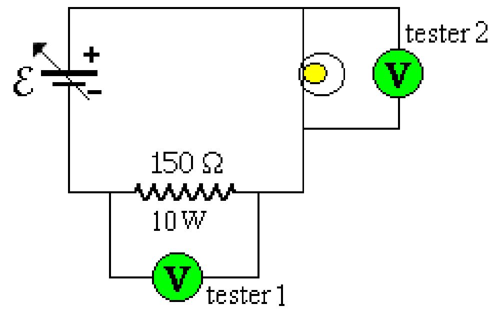


Fig.4

15. Traza la *curva característicaI*(*V*).
16. Esta gráfica demuestra que el filamento de tungsteno no es un elemento lineal

ESTIMACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL FILAMENTO INCANDESCENTE

17. Con las medidas de voltaje y corriente, calcula la resistencia R del filamento ($R = V/I$), tanto en frió R_o, esto es; para baja corriente (par de medidas menores), como en caliente R_c; que corresponde a la máxima corriente en el bombillo (par de medidasmayores).
18. Se hará una estimación de la temperatura del filamento a máxima corriente. Para esto usarás los valores de R_o y R_c,la ecuación 2 de la parte teórica, la Gráfica 1 que representa la resistividad en función de la temperatura en grados Kelvin ρ (T), y la temperatura ambiente en el laboratorio expresada en grados Kelvin.

Procedimiento:

Primero debes leer en el termómetro del laboratorio el valor de la temperatura ambiente. Con esta temperatura expresada en grados Kelvin, puedes calcular en la Gráfica 1, el valor de la resistividad del filamento en frió ρ_0.

Suponiendo que el largo L y el área transversal A, del filamento no cambian significativamente con la variación de la temperatura, podemos expresar (ecuación 4) las resistencias en frió R_o y en caliente R_c como:

$$R_0 = \rho_0 \frac{L}{A} \text{ y } R_C = \rho_C \frac{L}{A}, \quad \text{despejamos: } \rho_C = \rho_0 \frac{R_C}{R_0}$$

Con el valor calculado de la resistividad en caliente ρ_C puedes leer en la Gráfica 1, la temperatura en Kelvin del filamento en caliente. Expresa esta temperatura en grados centígrados.

ANÁLISIS DEL CIRCUITO

19. Sobre la gráfica obtenida en la parte 14, traza la *recta de carga* (figura 12 de la parte teórica). Hazlo para ε = 6 V (voltaje de la fuente), y R = 150 Ω. Determina las coordenadas del *punto de operación*.
20. Compara los valores de voltaje y corriente que mediste en el bombillo, para el voltaje de 6 V de la fuente, con los valores dados por el punto de operación (ver Apéndice 2).
21. Disminuye el voltaje hasta cero y apaga la fuente

CARACTERÍSTICA DE UN DIODO

22. Usando el tester 2 como *ohmmetro,* (colócalo en la modalidad indicada con "Ω") en la escala de "20 MΩ" (Fig. 5), mide la resistencia del diodo dos veces (el diodo no debe estar conectado a ningún otro elemento), la primera vez, coloca cada una de las puntas de prueba a un terminal del diodo (Fig. 6), y la segunda vez, invirtiendo la posición de las puntas (Fig. 7). Conociendo la polaridad de las puntas de prueba: positiva la conectada el terminal rojo ("Ω-V-Hz") y negativa, la conectada al terminal negro ("COM"), puedes saber para qué polaridad de los terminales el diodo tiene mayor resistencia y de esta manera, corroborar el sentido de la corriente en el *paso fácil* (menor resistencia) el cual se encuentra indicado con una flecha sobre el diodo, y, cuándo el diodo está conectado en el *paso difícil* (mayor resistencia).

Fig. 5

23. Con el circuito mostrado en la figura 8 y procediendo como en los casos anteriores, traza la *curva característica*$I(V)$ para el diodo en el ***paso fácil***. Conecta el "tester1" en 200 V dc, y el "tester2" en 2V dc.

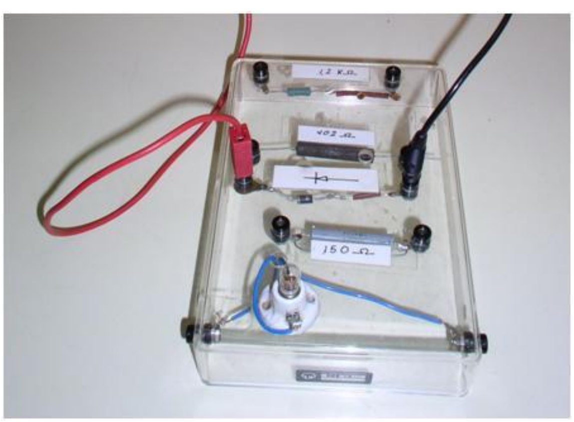


Fig. 6

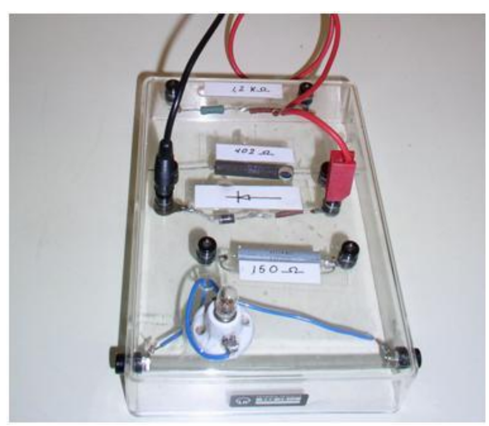


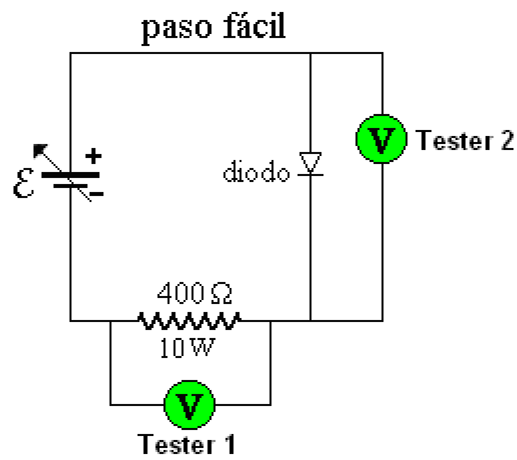
Fig. 7

Primero mide incrementando el voltaje de salida de la fuente (lo lees en el voltímetro de la fuente) en intervalos de 0.1V, desde 0.1 voltios hasta llegar a 1 V (puedes usar el ajuste fino "FINE", si no puedes ajustar el voltaje con el control principal).

A partir de 1V incrementa el voltaje de 4V en 4V hasta 17 V.

No olvides incluir los valores de corriente y voltaje en el diodo, para un voltaje de 0.8 V en la fuente

Paso difícil. No se estudiará este caso porque el diodo que usamos no conduce corriente polarizado de esta manera.**Fig. 8**



24. Traza la *curva característica* $I(V)$ correspondiente al paso fácil.

ANÁLISIS DEL CIRCUITO

25. Igual que la parte 18, traza la *recta de carga* sobre el gráfico correspondiente al paso fácil, para ε = 0.8 V y R = 400 Ω. Determina las coordenadas del *punto de operación.*,
26. Compara los valores de voltaje y corriente que mediste para el diodo cuando el voltaje de la fuente era 0.8 V, con los valores dados por el punto de operación.
27. Baja el voltaje de la fuente a cero y apágala. Apaga los tester.

ACTIVIDAD 2

VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA CON LA TEMPERATURA

Se estudiará la variación de la resistencia con la temperatura, para un alambre de cobre.

Para este conductor su resistencia es: $R = \rho \frac{L}{A}$ donde A es la sección transversal, L su longitud ρ la resistividad de su material (ecuación 4). La resistividad, a su vez, para variaciones de temperatura no muy grandes, cambia linealmente, de la forma:

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha (T - T_0)]$$

Donde ρ_o es el valor de la resistividad a la temperatura T_o, y α el coeficiente de temperatura de la resistividad (ecuación 5)

Primero, consideremos solamente la variación de ρ con la temperatura. Denotemos como A_0 y L_0 los valores de estos parámetros a la temperatura T_0, y suponiendo que no cambien significativamente con la temperatura, entonces, llamando R_1 a la resistencia calculada con esta corrección:

$$R_1 = \rho_0 \frac{L_0}{A_0}\left[1+\alpha\left(T-T_0\right)\right] = R_0\left[1+\alpha\left(T-T_0\right)\right] \qquad (10)$$

Con R_0 el valor de la resistencia a la temperatura T_0

Si queremos hacer un cálculo más preciso, uno que incluya el hecho de que la longitud y el área del alambre cambian cuando se calientan, debemos poner L y A en sus expresiones en función de la temperatura.

Para variaciones de la temperatura no muy grandes, se tiene:

$$L = L_0\left[1+\alpha'\left(T-T_0\right)\right] \quad (11) \qquad A = A_0\left[1+2\alpha'\left(T-T_0\right)\right] \quad (12)$$

Donde, como antes, L_0 y A_0 son la longitud y el área transversal del alambre a la temperatura de referencia T_0 y α' el coeficiente de dilatación lineal del material. Incorporando estas variaciones en la ecuación (10) y denotando con R_2 a la resistencia más finamente calculada.

$$R_2 = R_1 \frac{\left[1+\alpha'\left(T-T_0\right)\right]}{\left[1+2\alpha'\left(T-T_0\right)\right]} \quad (13)$$

28. Calcula la resistencia $R_0 = \rho_0 \frac{L_0}{A_0}$ para un alambre de cobre a T_0 = 20°C, con ρ_o= 1.7×10^{-8} Ω.m, L_0 = 2.00 m y A_0=3.14×10^{-8} m^2
29. Para analizar la dependencia de la resistencia con los cambios en la receptividad ρ producidos por variaciones en la temperatura, calcula R_1 para valores de T comprendidos entre 20°C y 600°C, incrementando la temperatura en pasos de 20 grados. Usa α= 3.9×10^{-3} (1/°C)
30. Grafica R_1 en función de T.
31. Calcula la diferencia entre $R_1(T = 600°C)$ y $R_1(T = 20°C)$.
32. Ahora, se estimará el grado de influencia que tienen los cambios en la longitud L y en el área transversal A, producidos por la variación de la temperatura.
33. Calcula R_2 para los mismos valores de T usados para R_1. Usa α'= 17×10^{-6} (1/°C)
34. En la misma gráfica que representa R_1 en función de T, grafica R_2 en función de T
35. Compara las dos gráficas, y decide si dentro del rango de temperatura usado, hay alguna variación apreciable en la resistencia debida a la dilatación térmica del material.

APÉNDICE 1

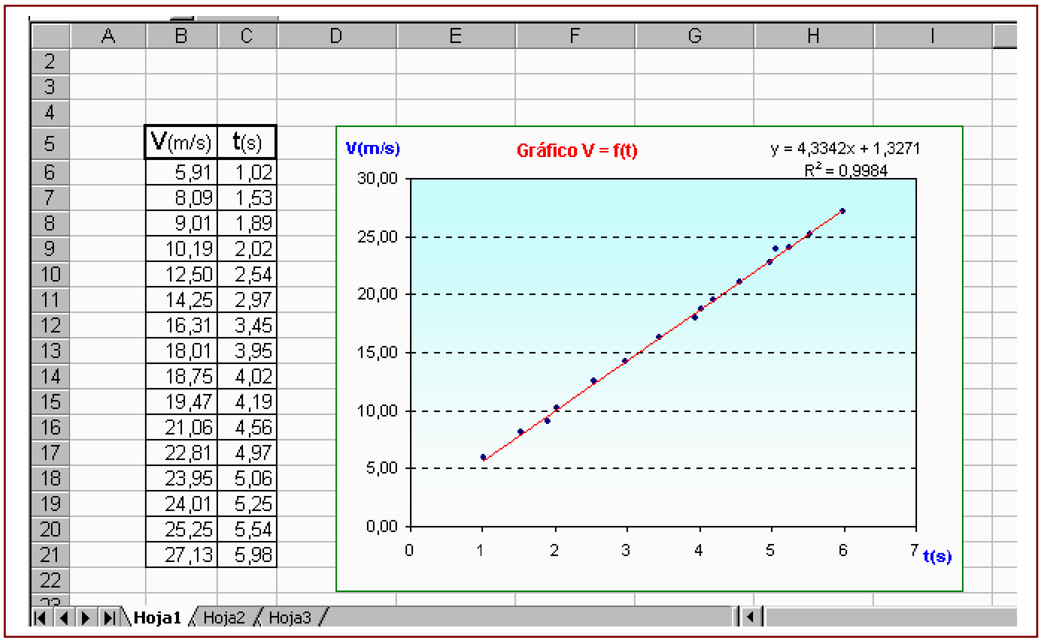
FUNCIÓN “*ESTIMACIÓN.LINEAL*” DE EXCEL

Para explicar, someramente, el uso de la función “*estimación.lineal*”, usaremos como ejemplo, el procesamiento de las medidas de la rapidez de un móvil, realizadas en diferentes tiempos, como se muestra en la tabla de la Figura1.

Come se puede ver, en la misma figura 1, el gráfico de la rapidez en función del tiempo, corresponde a una línea recta, o sea, que la función V = f(t) es de la forma:

$$V = a + mt$$

Fig. 1



V(m/s)	t(s)
5,91	1,02
8,09	1,53
9,01	1,89
10,19	2,02
12,50	2,54
14,25	2,97
16,31	3,45
18,01	3,95
18,75	4,02
19,47	4,19
21,06	4,56
22,81	4,97
23,95	5,06
24,01	5,25
25,25	5,54
27,13	5,98

Come se puede ver, en la misma figura 1, el gráfico de la rapidez en función del tiempo, corresponde a una línea recta, o sea, que la función V = f(t) es de la forma:

$$V = a + mt$$

donde “a” es el punto de corte de la recta con el eje de las ordenadas, en este caso representa la velocidad para $t = 0$, y “m” la pendiente de la recta, o sea; la aceleración del móvil. Los valores numéricos de estos dos parámetros se muestran sobre la gráfica, en la *ecuación que mejor se ajusta* a los datos, la cual fue encontrada por medio de la *opción de gráfico*: “*agregar línea de tendencia*”, esta opción, también proporciona el *coeficiente de determinación* (R^2) que mide el grado de correspondencia entre la función escogida, y los datos experimentales. Si los datos experimentales se ajustan perfectamente a la función elegida, el coeficiente de determinación se hace igual a uno (R^2 = 1), que constituye su valor máximo.

Muchas veces al procesar datos experimentales no es suficiente la información antes expuesta, sino, que también, se necesita conocer los errores estadísticos tanto del punto de corte como de la pendiente de la recta, esta información la proporciona la función *estadista*: "*estimación.lineal*". Veamos como se usa.

Primero, en la hoja de Excel donde se encuentra la tabla de valores experimentales, se debe abrir una matriz 2 x3 como se muestra en la figura 2. Una vez abierta la matriz, se procede a activar la función *estimación.lineal* del paquete de *funciones estadísticas.* Entonces, aparecerá en pantalla un cuadro de diálogo como el mostrado en la figura 3.

En la casilla "**Conocido..Y**" se debe colocar el rango de las celdas que contienen los valores de la variable dependiente, en este ejemplo: la velocidad (V(m/s)). En la casilla "**Conocido..X**" se coloca el rango de celdas quecontienen los valores de la variableindependiente, en este ejemplo: el tiempo (t(s)).

Fig. 2

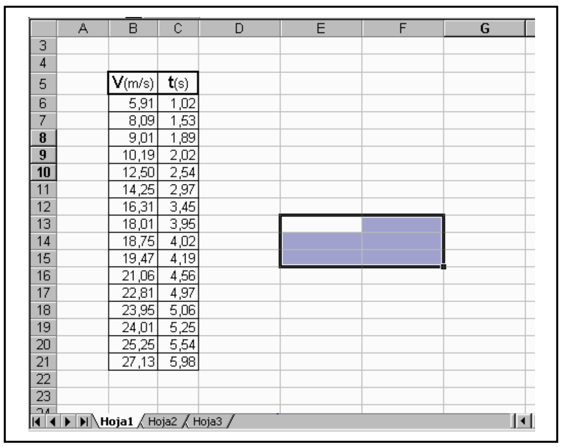
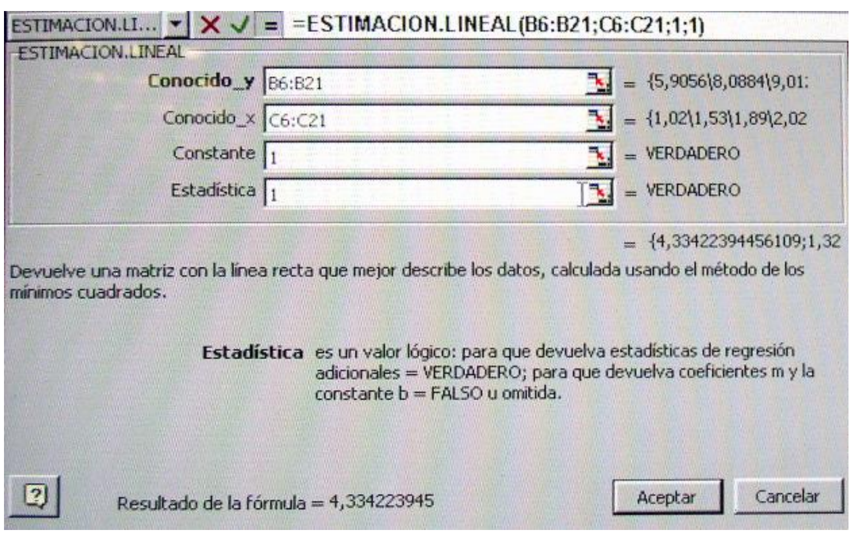


Fig. 3



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
3											
4											
5		V(m/s)	t(s)								
6		5,91	1,02								
7		8,09	1,53								
8		9,01	1,89			pendiente	4,33422394	1,32705254		punto de corte	
9		10,19	2,02			error de la pendiente	0,04570952	0,18163437		error del punto de corte	
10		12,50	2,54			coeficiente de determinación	0,99844531	0,27242325		error en la determinación	
11		14,25	2,97								
12		16,31	3,45								
13		18,01	3,95								
14		18,75	4,02								
15		19,47	4,19								
16		21,06	4,56								
17		22,81	4,97								
18		23,95	5,06								
19		24,01	5,25								
20		25,25	5,54								
21		27,13	5,98								
22											

Fig. 4

En las casillas "**Constante**" y "**Estadística**" se coloca un número uno (1) en cada una de ellas. Ahora se pisan simultáneamente las teclas: **CONTROL, SHIFT, ALT**, y manteniendo pisadas estas teclas, se pisa la tecla **ENTER,** el programa colocará en la matriz, los valores de los parámetros y sus errores en el orden que se muestra el la figura 4.

El valor estadístico "*error en la determinación*", no es de aplicación en este laboratorio.

Con esta información se podría reportar la función V = f(t) con los respectivos errores de los parámetros:

$$V = [(1.3 \pm 0.2) + (4.33 \pm 0.05)t]\frac{m}{s}$$

O, usar los errores de los parámetros, para determinar los errores de otras magnitudes físicas relacionadas con ellos, que es el caso de esta práctica.

APÉNDICE 2

RECTA DE CARGA Y PUNTO DE OPERACIÓN

Si tienes dudas en lo referente al significado y utilidad de la recta de carga y del punto de operación, debes repasar el "ANÁLISIS DE CIRCUITOS CON UN SOLO ELEMENTO NO LINEAL" en la página 6 de la guía.

La figura 5 muestra como debe trazarse la *recta de carga* sobre la *curva característica* del filamento de tungsteno (bombillo) para un voltaje de salida de la fuente ε = 10 V y una resistencia **R** conectada en serie con la fuente. El punto de operación determina los valores de voltaje V_0 y corriente I_0, que debe tener el bombillo en esas condiciones.

La figura 6 proporciona la misma información que la figura 5, pero, para el diodo en *paso fácil* y un voltaje de salida de la fuente $\varepsilon = 1.0$ V

Fig. 5

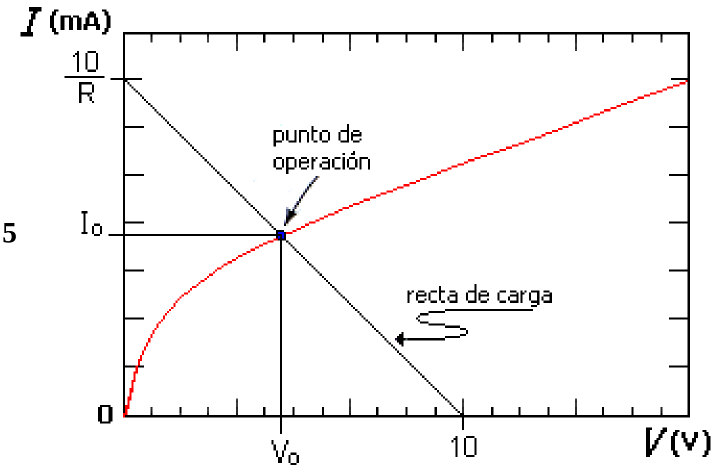


Fig. 6