

Prueba experimental.- Características de un pequeño motor.

Objetivo y fundamento.

Se trata de determinar algunas características de un pequeño motor de corriente continua, del tipo de los utilizados en juguetería.

Un motor de corriente continua es, básicamente, una bobina de hilo conductor arrollada en torno a un eje, que interacciona con un campo magnético producido por un imán u otra bobina auxiliar. Mediante un generador (por ej., una batería), se hace pasar una corriente eléctrica continua por la bobina. Su interacción con el campo magnético consiste en un sistema de fuerzas sobre el eje y, por tanto, sobre lo que esté mecánicamente unido a él (la *carga del motor*), haciéndolo girar.

Desde el punto de vista energético, el motor recibe energía eléctrica mediante la corriente que se hace pasar por la bobina, y realiza trabajo mecánico mediante la rotación de su eje. Sin embargo, alguna energía se disipa por efecto Joule en el hilo con el que está construida la bobina.

Mientras el fundamento teórico es simple, la realización práctica está sujeta a una gran cantidad de condicionantes, entre ellos la geometría del conjunto, para optimizar sus características, especialmente su rendimiento energético.

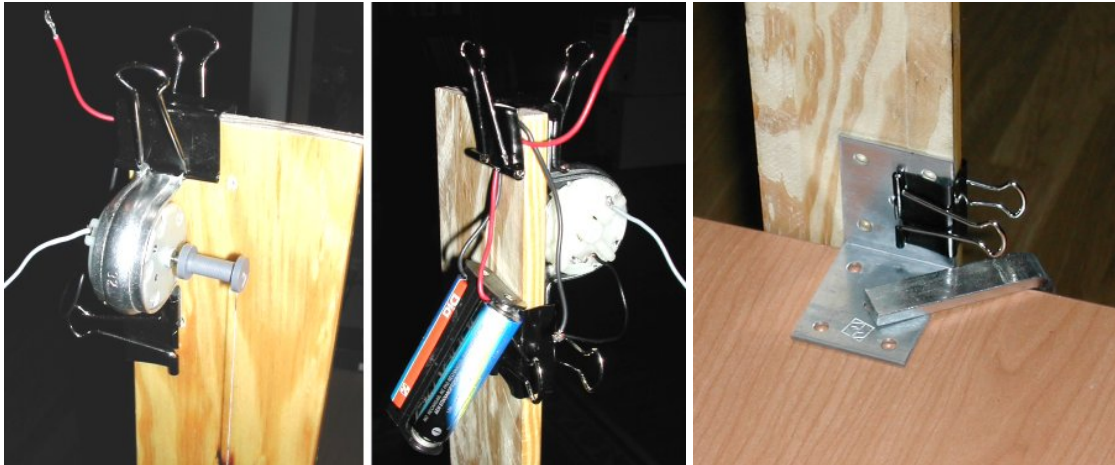
Materiales suministrados.

- Motor de corriente continua.
- Polea para el motor (se inserta a presión en el eje del motor). Su diámetro es de $6,0 \pm 0,1$ mm.
- Porta pilas para las dos pilas. Brida para sujetar el motor.
- 3 resistencias de 15Ω .
- 4 pinzas para las sondas de los multímetros
- Listón largo de madera.
- Escuadra metálica para sujetar el listón.
- Sargento para sujetar la escuadra ala mesa.
- Hilo de 0,1 mm de diámetro.
- Arandelas (se usan como pesas). Las cuatro arandelas tienen una masa de 11,6 g, y la pequeña, de 5,9 g.
- Cinta métrica.
- Cronómetro.
- 2 multímetros.
- Clip.
- 2 pilas de 1,5 V.
- 3 pinzas metálicas.
- Tijeras.

Montaje (I).

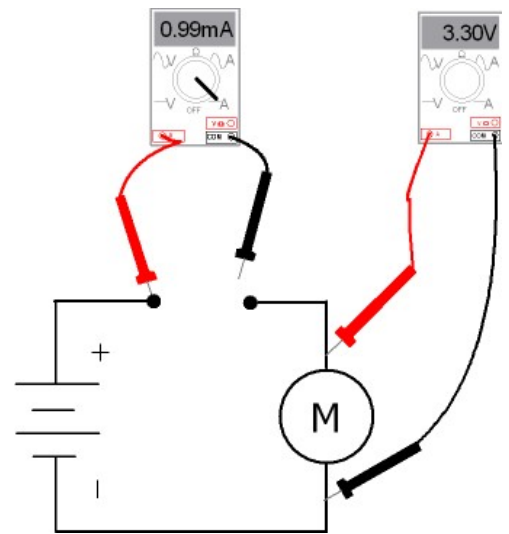
a) Montaje mecánico del motor

- Se sujeta el motor mediante una brida, que, a su vez, se sujeta mediante dos pinzas en la parte superior del listón de madera.
- El listón de madera se coloca vertical, apoyado en el borde de la mesa, y se sostiene mediante una escuadra sujeta al listón con una pinza. Un sargento aprieta la escuadra contra la mesa.



b) Montaje eléctrico del circuito del motor (circuito I)

- Se colocan dos pilas en serie en el portapilas, que se coloca detrás del listón. Se puede sujetar aprisionando los cables con una de las pinzas que aguantan la brida con el motor. Estas pilas son el generador que se usará para hacer funcionar el motor.
- Se conecta un polímetro, empleado como voltímetro en la escala de 20 V de corriente continua, para medir la tensión en los terminales del motor.
- Se conecta uno de los terminales del portapilas a un terminal del motor (doblando los cables entre sí). El otro terminal del portapilas se conecta a uno del polímetro funcionando como amperímetro en la escala de 200 mA de corriente continua. Bastará con tocar el terminal del motor con el otro terminal del amperímetro para alimentar el motor y hacer que gire. El contacto tiene que ser firme para evitar variaciones en la intensidad.

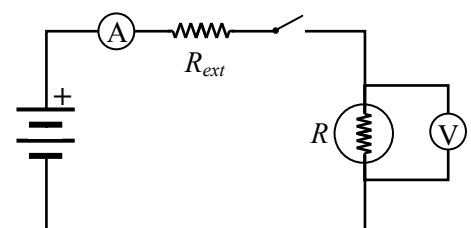


c) Comprobación del montaje

El motor debe girar al tocar el cable con la sonda del amperímetro, y los instrumentos deben indicar la tensión y la intensidad.

Determinación de la resistencia interna, R , del motor.

Si el motor no se deja girar se comporta como una resistencia, R , correspondiente al hilo que forma el bobinado. Puesto que el valor de R es pequeño, la medida directa de esta resistencia con el polímetro puede dar un error apreciable. Por ello, es conveniente un procedimiento basado en tomar varias medidas de intensidad y voltaje en un circuito que incluye el motor.



Circuito II

Modo de operación (circuito II).

El motor se alimenta con una batería, conectándolo en serie con un conductor de resistencia R_{ext} . Con distintos valores de R_{ext} , se obtienen distintas intensidades en el motor, para ello se utiliza, en cada caso, una combinación distinta (en serie o en paralelo) de 3 resistencias de 15Ω , para lo cual se enrollan sus terminales. Para cada valor de R_{ext} se miden la intensidad y la tensión en el motor, sujetando el eje del motor para impedir que gire.

Medidas.

1. Haga una tabla de valores R_{ext} , V e I correspondiente a las medidas realizadas en el circuito anterior. Puesto que el motor bloqueado se comporta como una resistencia, la ley de Ohm permite calcular su valor, R .
2. Haga la representación gráfica $V-I$.
3. A partir de ella, calcule el valor de la resistencia R .

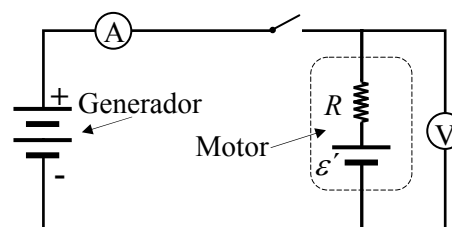
Montaje (II).

- Se hace pasar un hilo de una longitud similar a la del listón por la polea de plástico y se anuda, con el nudo en la parte interior, tal como muestra la figura. Puede ser conveniente utilizar un clip para ayudar a pasar el hilo por los agujeros. La polea se inserta a presión en el eje del motor. Se ha de asegurar que el motor está sujeto con su eje horizontal, de modo que al hacerlo funcionar, el hilo se enrolle a lo largo de toda la anchura de la polea.
- Se dobla el clip para hacer un portapesas que permita colgar las arandelas que se utilizarán como pesas. Se cuelga el portapesas de un lazo en el extremo inferior del hilo.



Relación entre la fuerza electromotriz ε' y la velocidad angular ω del motor

Cuando gira un motor, además del efecto principal (la fuerza de interacción electromagnética), se tiene un efecto secundario inseparable del anterior: una bobina (muchas espiras acopladas) girando en un campo magnético produce una *fuerza electromotriz* (fem) inducida que, de acuerdo con la ley de Faraday-Lenz, se opone al paso de la corriente. Por esta razón, en los motores se habla de *fuerza contraelectromotriz*, que se designa con el símbolo ε' . Aquí se aprovecha la experiencia con un dispositivo *técnico* para hacer una comprobación *científica*.



Circuito III

Como en cualquier dispositivo práctico que efectúa transformaciones de energía, interesa el máximo *rendimiento*, entendido como la relación entre el *beneficio obtenido* (la energía o trabajo desarrollado) y *el coste necesario para obtenerlo* (la energía o trabajo suministrado).

Según el esquema del circuito III, la tensión V entre los terminales del motor cumple:

$$V = \varepsilon' + IR$$

Modo de operación.

- Se define previamente la altura h a la que el motor elevará la carga, y se anota este valor.
- Se cuelgan distintas pesas del hilo y, al cerrar el circuito tocando un terminal del motor con un terminal del amperímetro, el motor gira, enrolla el hilo y levanta la pesa una altura h .

Medidas.

Combinando las pesas del modo apropiado se puede conseguir una serie de masas creciente m (se puede ignorar la masa del clip).

4. Hacer una tabla con los valores de la masa empleados y, para cada uno de ellos, con las medidas obtenidas de:

- el tiempo que tarda subir la altura h
- la tensión V en los terminales del motor
- la intensidad I que circula

Es conveniente medir separadamente (repetiendo la elevación) el tiempo, y la tensión e intensidad, ya que resulta muy complicado poder hacer las tres medidas simultáneamente.

Las medidas del tiempo con el cronómetro son la principal fuente de error en el experimento, por ello, se sugiere tomar 5 medidas del tiempo para cada pesa. Para la intensidad y la tensión, 3 medidas son suficientes. Tomar más medidas de estas magnitudes, que resultaría deseable para un mejor tratamiento de los errores, puede suponer que no se disponga de tiempo suficiente para completar todas las tareas que se proponen.

Cálculos y gráficas

5. La tabla se ha de completar calculando, para cada una de las masas utilizadas, los correspondientes valores de:

- La fuerza contraelectromotriz, \mathcal{E}' ,
- La velocidad v con que se levanta la pesa (que se supondrá constante durante cada ascenso),
- El error Δv en la velocidad,
- La potencia mecánica desarrollada por el motor, $P_m = mgv$,
- La potencia eléctrica suministrada al mismo, $P_e = IV$
- el rendimiento de la transformación de energía, $R_e = P_m / P_e$.

6. A partir de los valores tabulados se hará la representación gráfica de la fuerza contraelectromotriz del motor \mathcal{E}' en función de la velocidad v con que asciende la pesa.

Para simplificar la representación, así como para realizar el apartado 7, se puede considerar que los errores en los valores de \mathcal{E}' son insignificantes frente a los errores de v .

7. Se determinará la constante de proporcionalidad, k , entre \mathcal{E}' y la velocidad angular ω con que gira el motor, así como el error Δk en el valor de k .

8. A partir de los valores tabulados se hará la representación gráfica del rendimiento en función de la masa. Se determinará la masa para la cual el rendimiento es máximo.

Solución

(Datos obtenidos en una realización correcta del experimento)

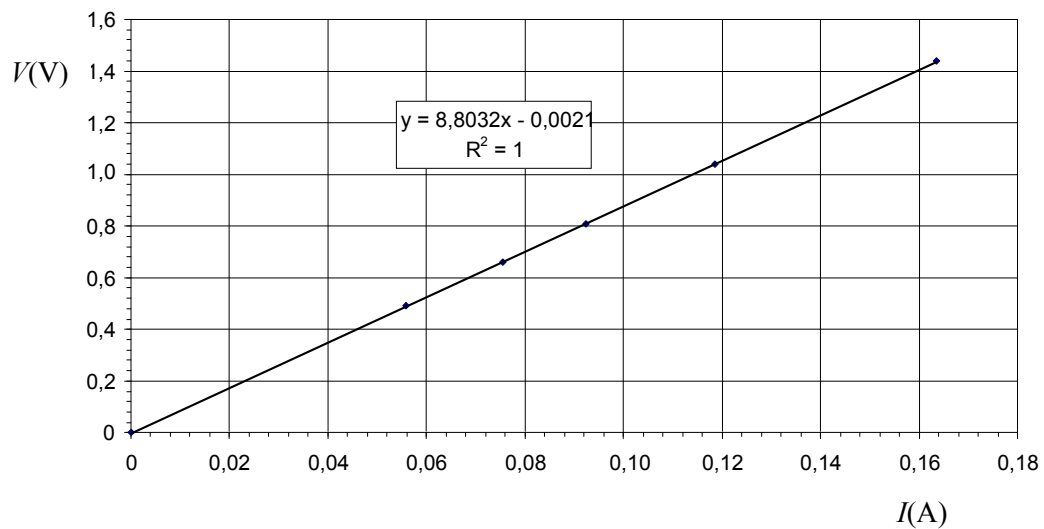
Determinación de la resistencia interna, R , del motor

1. Tabla de valores medidos R_{ext} , V e I .

Usando escalas de multímetro de 20 V y 200 mA para V e I , respectivamente, se obtiene la tabla adjunta.

R_{ext} (ohmios)	I (A)	V (V)
15	0,1185	1,04
30	0,0756	0,66
7,5	0,1635	1,44
22,5	0,0924	0,81
45	0,0558	0,49

2. Representación gráfica $V - I$



3. Resistencia del hilo R (pendiente de la recta):

- $R = 8,8 \Omega$, mínimos cuadrados Excel.
- $R = 8,9 \Omega$, buscando “a mano” la recta que mejor ajusta a los puntos.
- Considerar correcto $R = (8,8 \pm 0,1)\Omega$.

Relación entre la fuerza contraelectromotriz \mathcal{E}' y la velocidad angular ω del motor

4. Tabla con los valores de la masa empleados y, para cada uno de ellos, con las medidas obtenidas de:

- El tiempo que tarda en subir la altura h ,
- La tensión V en los terminales del motor,
- La intensidad I que circula.

La altura h es un valor particular de cada experimentador. En las medidas que sigue,

$$h = (0,960 \pm 0,005) m$$

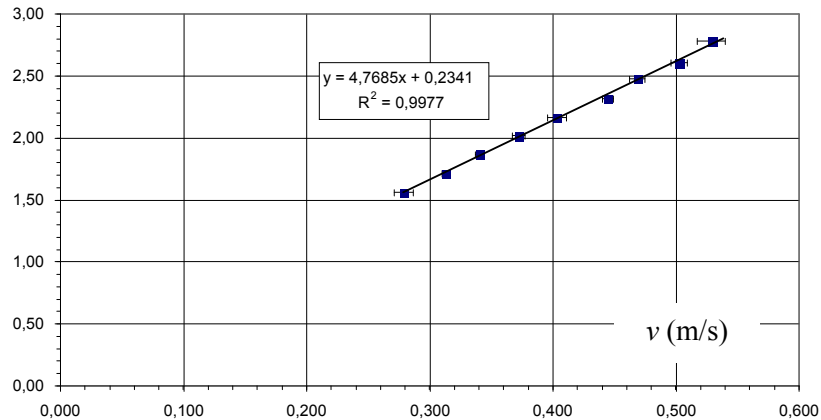
Masa (g)	Tiempo (s)					Intensidad (mA)			Tensión (V)		
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	I_1	I_2	I_3	V_1	V_2	V_3
5,9	1,87	1,81	1,78	1,84	1,78	33,9	32,8	33,3	3,08	3,08	3,07
11,6	1,93	1,93	1,91	1,87	1,91	48,9	47,3	47,2	3,02	3,04	3,03
17,5	2,06	2,03	2,03	2,03	2,09	59,5	60,1	59,4	3,00	3,00	3,00
23,2	2,16	2,13	2,16	2,19	2,16	73,4	73,1	72,8	2,96	2,96	2,96
29,1	2,38	2,43	2,31	2,38	2,41	86,3	85,7	86,2	2,92	2,93	2,92
34,8	2,59	2,59	2,53	2,63	2,56	98,6	98,5	98,3	2,89	2,88	2,89
40,7	2,78	2,84	2,85	2,81	2,82	110,2	111,3	111,7	2,85	2,85	2,84
46,4	3,10	3,06	3,06	3,10	3,03	125,4	125,5	126,0	2,82	2,83	2,81
52,3	3,37	3,32	3,47	3,50	3,56	137,2	138,5	136,4	2,78	2,77	2,77

5. Tabla de los valores medios experimentales y cálculos

Masa m (g)	Valores medios experimentales				Cálculos							
	Tiempo medio, t (s)	Error tiempo, Δt (s)	Intens. media, I (mA)	Tensión media, V (V)	Velocid. $v = h / t_m$ (m/s)	Error veloc., Δv (m/s)	ΔV en R $\Delta V = IR$ (V)	Fcem $\mathcal{E}' = V - IR$ (V)	Potencia $P_m = mgv$ (W)	Potencia $P_e = IV$ (W)	Rendto. $R_e = \frac{P_m}{P_e}$	
5,9	1,82	0,039	33,3	3,08	0,529	0,011	0,293	2,78	0,031	0,103	0,30	
11,6	1,91	0,024	47,8	3,03	0,503	0,006	0,421	2,61	0,057	0,136	0,39	
17,5	2,05	0,027	59,7	3,00	0,469	0,006	0,525	2,47	0,080	0,172	0,45	
23,2	2,16	0,021	73,1	2,96	0,444	0,004	0,643	2,32	0,101	0,209	0,47	
29,1	2,38	0,045	86,1	2,92	0,403	0,008	0,757	2,17	0,115	0,243	0,46	
34,8	2,58	0,037	98,5	2,89	0,372	0,005	0,867	2,02	0,127	0,274	0,45	
40,7	2,82	0,027	111,1	2,85	0,340	0,003	0,977	1,87	0,136	0,305	0,43	

46,4	3,07	0,030	125,6	2,82	0,313	0,003	1,106	1,71	0,142	0,340	0,40
52,3	3,44	0,098	137,4	2,77	0,279	0,008	1,209	1,56	0,143	0,364	0,38

6. Representación gráfica de la fuerza contraelectromotriz del motor \mathcal{E}' en función de la velocidad v con que asciende la pesa.



7. Constante de proporcionalidad, k , entre \mathcal{E}' y la velocidad angular ω con que gira el motor, así como el error Δk en el valor de k .

En primer lugar se calcula la pendiente, p , de la recta en la representación $\mathcal{E}' - v$

Ajustada con Excel: $p = 4,77 \text{ Vs/m}$.

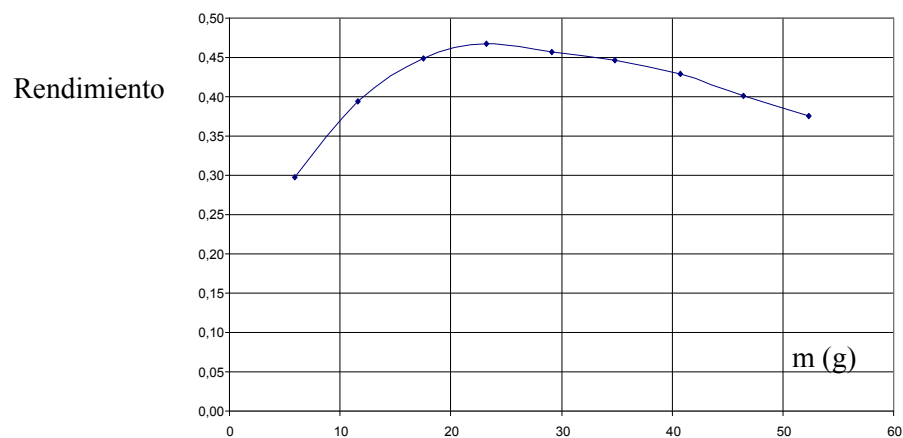
A partir de las rectas de pendiente máxima y mínima (4,96 y 4,49 Vs/m, respectivamente) hechas "a mano" teniendo en cuenta las barras de error de v , se obtiene $p = (4,7 \pm 0,3) \text{ Vs/m}$

La constante k pedida, se relaciona con la pendiente p de la gráfica y con el radio r de la polea:

$$k = \frac{\mathcal{E}'}{\omega} = \frac{\mathcal{E}'}{v/r} = pr$$

Resultando: $k = (0,014 \pm 0,001) \text{ Vs/rad}$

8. Representación gráfica del rendimiento en función de la masa.



El rendimiento es máximo para una masa $m = (23 \pm 2) \text{ g}$.