Revista Colombiana de Física, vol.44 , No. 2, 2012

Temporizador de bajo costo para experimentos de mecánica

Low Cost Timer for Mechanics Experiments

C. A. Collazos[a,b*]

[a]*Escuela Colombiana de Ingeniería, Facultad de Ciencias Naturales, Bogotá D.C.*
[b]*Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional, México D. F.*

Recibido marzo 18 de 2010; aceptado mayo 4 de 2011.

Resumen

Se ha construido un sistema mecánico que consta de una base y un eje vertical que sostiene un riel. En los extremos del riel se han acondicionado dos fotoceldas las cuales han sido diseñadas y construidas para medir intervalos de tiempo de sólidos rígidos que se desplazan sobre el riel y que pasan por las fotoceldas. El prototipo es de bajo costo y puede utilizarse para prácticas de laboratorio de dinámica del sólido rígido y de cinemática y dinámica de traslación en cursos de mecánica.

***Palabras claves*:** diseño de exprimentos, circuitos y componentes de circuito.

Abstract

We have made a mechanical device that consist of a base and a vertical axis that supports a rail. At each end of the rail,two photogates have been prepared. The photogates have been designed and constructed to measure time intervals for rigid bodiesmoving on the rail and passing through the photogates. The prototype is inexpensive and could be used for laboratory practices concerning with kinematics and dynamics of translation, and dynamics of the rigid body in mechanics courses.

Keywords: design of experiments, circuits and circuit components.

1. Introducción

En los laboratorios de los cursos de física a nivel mecánica, la medida de intervalos de tiempo del orden de centésimas de segundo es prioritaria para obtener registros aceptables en cinemática y dinámica. Existen cronómetros y sistema de adquisición de datos tradicionales como en [1], sin embargo en muchos casos no están al alcance de las instituciones universitarias. En [2, 3] se presentan temporizadores de bajo costo con diversos enfoques a nivel de mecánica. Este trabajo presenta un prototipo de bajo costo que consta de un sistema mecánico con una base y un eje vertical que sostiene un riel horizontal al cual se le puede variar el ángulo de inclinación respecto a la vertical. En los extremos de riel se han acondicionado dos fotoceldas que permiten medir intervalos de tiempo de sólidos rígidos que se desplazan entre las fotoceldas. Las fotoceldas son dos circuitos eléctricos idénticos que permiten medir tiempo y que están formadas por un sensor infrarrojo de proximidad que recibe un haz proyectado por un diodo infrarrojo. Cuando el haz es interrumpido por el paso de un sólido que se traslada sobre el riel, se activa un cronómetro el cual mide el tiempo que el sólido emplea en recorrer la distancia entre las fotoceldas. Las fotoceldas se pueden mover sobre el riel lo que permite variar la distancia entre ellas.

El artículo se ha estructurado de la siguiente manera. En la sección 2 se indican cada una de las partes que conforman el prototipo y su costo aproximado. En la sección 3 se presenta el plano electrónico de las fotoceldas. En la sección 4 se indican los experimentos en losque se usó el temporizador. En la sección 5 se indican las conclusiones de este trabajo.

*cacollazos@gmail.com

2. Partes y costo del prototipo

El prototipo armado es indicado en la Figura 1. En el prototipo se distinguen la base, el cronómetro, la batería (caja de pilas) y el riel inclinable donde se ubican las fotoceldas. Los materiales empleados y el costo respectivo pueden variar dependiendo de los proveedores, sin embargo el valor oscila alrededor de $110.000 pesos colombianos.

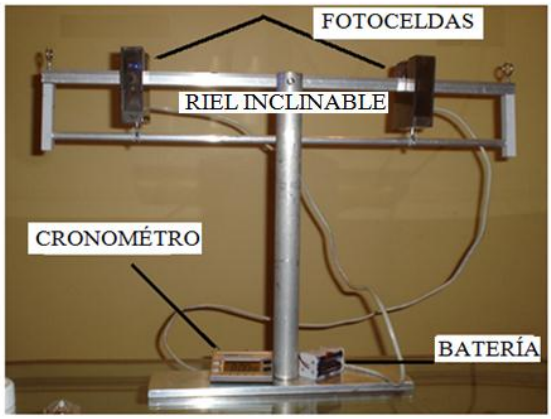


Figura 1. Prototipo.

3. Plano eléctrico de fotoceldas

En lo que respecta a la construcción de la parte eléctrica del prototipo se debe tener presente el control del cronómetro, la alimentación del circuito y del cronómetro, la recepción de señales y la conmutación de las mismas para la activación del cronómetro. El sistema está alimentado con 4.8 voltios, los cuales los provee una caja de de 4 baterías AA de 1.2 V cada una. El sensor infrarrojo de proximidad (MLED81) debe ser alimentado con 5V. Por otra parte el voltaje de alimentación del cronómetro y las fotoceldas deben ir a las terminales del transistor (BC547A) para poder hacer la conmutación y controlar las salidas de potencial. La recepción y envío de la señal se realiza por el componente principal del sistema, el cual es el circuito integrado (IS471F), este integrado cumple las funciones de oscilación, modulación, filtro y demodulación de las señales que recibe, lo que simplifica el proceso en comparación con temporizadores que involucran el integrado 555. Adicionalmente, para el montaje anterior es necesario enviar la salida del integrado a una compuerta lógica NOT (74LS04D) para que la señal sea inicialmente negada y, posteriormente, negada otra vez con el transistor en saturación, de tal forma que la salida del integrado, mientras no esté sensando, sea 5V, al pasar por la compuerta lógica NOT se convierte en 0V y con el montaje del transitor su salida es 1.2V, activando así el cronómetro. Por otra parte entre el transistor y el diodo infrarrojo, se debe colocar un trimer (R4) para que varíe la caída de potencial y por consiguiente la intensidad del haz de luz que el diodo emite y tener la posibilidad de variar el alcance de la señal. La obtención de las ecuaciones de los lazos cerrados del transistor permitió obtener los valores de las resistencias de base y colector. El circuito completo con cada uno de sus componentes es presentado en la Figura 2.

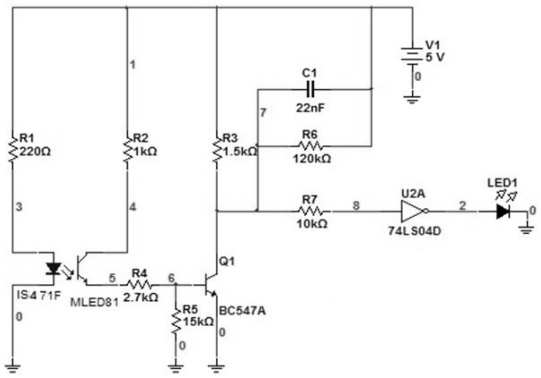


Figura 2. Circuito de la fotocelda y sus componentes.

4. Uso del temporizador a nivel de enseñanza

El uso del prototipo se extiende a laboratorios de mecánica y algunos proyectos desarrollados por estudiantes como se indica en [4]. A continuación se hace una descripción más específica de cada uno de los laboratorios donde se usa el prototipo. En [5, 6] se puede encontrar una descripción mas detallada de los experimentos que a continuación son descritos.

4.1. Cinemática traslacional

Utilizando el riel en forma vertical (Figura 3), se puede medir el tiempo *t* que emplea una esfera metálica en desplazarse verticalmente una distancia fija entre las fotoceldas 1. Por medio de la conocida ecuación (1).

$$y = y_O + v_O.t - \frac{1}{2}gt^2. \qquad (1)$$

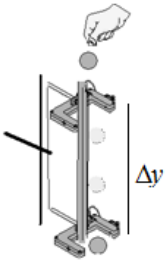


Figura 3. Montaje para Caida Libre.

Después de un proceso algebraico de la ecuación (1) y teniendo presente las condiciones iniciales del fenómeno, posición inicial $y_O = 0$ y velocidad inicial $v_{O=0}$, es posible determinar la gravedad experimental por la ecuación (2).

$$g_{\exp}=\frac{2.\Delta y}{t^2}. \qquad (2)$$

Se realizaron 5 observaciones experimentales y se obtuvo un valor promedio de la gravedad experimental $g_{\exp}=9{,}5 m/s^2$. Por medio de la ecuación (3) se determinó el error relativo respecto al valor teórico de la gravedad ($g_{teo}=9{,}8 m/s^2$), obteniendo un error relativo del 3,10 %.

$$\%E=\left|\frac{teo-\exp}{teo}\right|.100\%. \qquad (3)$$

4.1.2 Dinámica traslacional

El temporizador puede ser involucrado dentro de un montaje experimental que permita validar la segunda ley de Newton, en ausencia de fricción, para dos cuerpos acoplados por una cuerda, como se indica en la Figura 4. La aceleración teórica para el sistema físico según la dinámica se define por la ecuación (4).

$$a_{teo}=\frac{m_c.g}{m_c+m_o} \qquad (4)$$

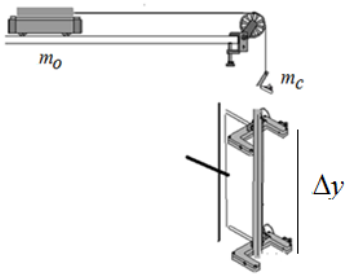


Figura 4. Montaje para segunda ley de Newton.

Se realizaron 5 observaciones experimentales empleando una masa colgante $m_c=0{,}05Kg$ y una masa del carro $m_o=0{,}49Kg$, y se obtuvo una aceleración experimental de $a_{\exp}=0{,}87 m/s^2$ empleando la ecuación (5).

$$a_{\exp}=\frac{2.\Delta y}{t^2}. \qquad (5)$$

Para la ecuación (5), Δy y t corresponden al desplazamiento y tiempo, respectivamente, que emplea la masa colgante m_c entre las fotoceldas. Finalmente, por medio de la ecuaciones (3), (4) y (5) se determinó el error porcentual respecto al valor teórico de la aceleración ($a_{teo}=0{,}91 m/s^2$), y se obtuvo un error relativo del 4,39%.

4.1.3 Conservación de la energía mecánica

El temporizador es usado a nivel del teorema de conservación de energía mecánica en ausencia de fricción. Se utiliza el montaje indicado en la Figura 5 y se analiza el fenómeno de rodadura sin deslazamiento de una esfera de masa m que se encuentra descrito en [7]. La esfera pasa entre las dos fotoceldas y, según las condiciones iniciales y finales del fenómeno, tenemos que la velocidad lineal de la esfera es $v_o=0$, la velocidad angular inicial es $w_o=0$ y la altura final que alcanza la esfera es $h_f=0$.

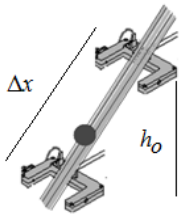


Figura 5. Montaje para plano inclinado.

Por lo tanto, de la ecuación de conservación de energía tenemos que:

$$m.g.h_o=\frac{1}{2}m.v_f^2+\frac{1}{2}I.w_f^2 \qquad (6)$$

donde v_f es la velocidad final de esfera, w_f es la velocidad angular inicial y h_o corresponde a la altura inicial de la que parte la esfera. Recordando que para una esfera de masa m y radio R el momento de inercia I, respecto a su centro de masa, se define por la ecuación (7).

$$I=\frac{2}{5}.m.R^2 \qquad (7)$$

la velocidad angular w_f se define por la ecuación:

$$v_f=w_f.R \qquad (8)$$

Reemplazando las ecuaciones (7) y (8) en la ecuación (6) y despejando v_f, se obtiene la ecuación para velocidad final teórica

$$v_{f\,teo}=\sqrt{\frac{10.g.h_o}{7}} \qquad (9)$$

Por medio la siguiente ecuación se determina la velocidad experimental:

$$V_{\exp}=\frac{\Delta x}{t}. \qquad (10)$$

Se realizaron 5 observaciones experimentales empleando una distancia entre las fotoceldas $\Delta x = 0{,}1m$ y altura inicial $h_o = 0{,}1m$ y se obtuvo una velocidad experimental $V_{\exp} = 1{,}18m/s$. Por medio de las ecuaciones (3), (9) y (10) se determinó el error relativo respecto al valor teórico de velocidad $v_{f_{teo}} = 1{,}09m/s$, obteniendo un error relativo de 7,62%.

4.1.4 Dinámica rotacional

El temporizador se usa para medir el momento de inercia de un disco en un sistema rotatorio como el que se indica en la (Figura 6).

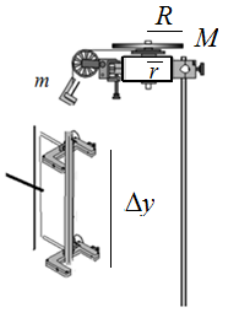


Figura 6. Montaje para dinámica rotacional.

Con base en la segunda ley de Newton el momento de inercia experimental para el disco se define por la ecuacion:

$$I_{\exp} = m.r^2\left(\frac{g}{a} - 1\right). \qquad (11)$$

Donde m corresponde a la masa colgante, r es el radio del sistema rotatorio al que se ha atado la cuerda y a es la aceleración que experimenta de la masa m y que se determina por la ecuación (5). La deducción completa de la ecuación (11) se encuentra en [4]. A nivel teórico el momento de inercia I_{teo} de un disco de masa M y radio R respecto al centro de masa se define por la ecuación:

$$I_{teo} = \frac{1}{2}.M.R^2 \qquad (12)$$

A nivel experimental se realizaron 5 observaciones empleando una masa colgante $m = 0{,}05Kg$, un radio del sistema rotatorio $r = 0{,}005m$, un disco de masa $M = 0{,}1kg$ y de radio $R = 0{,}15m$. Se obtuvo un momento de inercia experimental $I_{\exp} = 1{,}12x10^{-3}Kg.m^2$. Por medio de las ecuaciones (3), (11) y (12) se determinó el error relativo respecto al valor teórico del momento de Inercia ($I_{\exp} = 1{,}01x10^{-3}Kg.m^2$), obteniendo un error relativo de 9,02%.

5. Conclusiones

El prototipo construido es económico y de fácil implementación a nivel mecánico y electrónico; permite medir con exactitud tiempos en el orden de las centésimas de segundo en varios experimentos de física a nivel de cinemática y dinámica. Los errores relativos muestran que el temporizador es adecuado para enseñanza de la física.

Referencias

[1] PASCO Scientific, 1999 Catalog, pp.48-49.

[2] Dorado, P., et al., *Revista Colombiana de Física*, **38,** 2006 ,pp. 695-698.

[3] Reyes, L., et al., *Revista Colombiana de Fisica*, **38**, 2006, pp. 850-854.

[4] Collazos, C. A., *Lat. Am. J. Phys. Educ.*, **3**, 2009, pp.619-624.

[5] Osorio, A., y Collazos, C.A., *Experimentos de Mecánica*, Bogotá, Universidad de La Sabana, 2003.

[6] Otero, H., Santillana, J., *Prácticas de Física, Mecánica y Calor*, Bogotá , Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003.

[7] Tipler, P.y Mosca G., *Física para la Ciencia y Tecnología*, México D.F., Editorial Reverté, 2005.