



CONTROL BASADO EN *ARDUINO* PARA DEMOSTRACIÓN DE LA CONDICIÓN DE PESO APARENTE¹

Arduino control-based to
demonstrate the weightless condition

*Osorio Bolaños, María Alejandra², Vera Betancourt,
Carlos Alberto³ y Cárdenas Montoya, Paulo César⁴*

1 El presente trabajo se encuentra enmarcado dentro del proyecto: Aprendizaje basado en investigación para la solución de problemas de ingeniería a partir de conceptos de Física Básica con código 574-087. Es un resultado del semillero Pi_Lab del Departamento de Física y Matemáticas de la Universidad Autónoma de Manizales quien es la entidad financiadora.

2 Universidad Autónoma de Manizales. Contacto: maria.osoriob@autonoma.edu.co

3 Universidad Autónoma de Manizales. Contacto: carlos.verab@autonoma.edu.co

4 Universidad Autónoma de Manizales.; código ORCID 0000-0002-7546-5916.
Contacto pcardenasm@autonoma.edu.co.

Resumen

En las célebres clases de física del profesor Walter Lewin hay un esfuerzo significativo para realizar demostraciones de fenómenos, hechos y consecuencias de la física que en muchos casos son contraintuitivos. Una de estas demostraciones tiene que ver con la llamada condición de peso aparente, en este caso el profesor deja caer desde una altura considerable una balanza con una masa. La demostración permite evidenciar que mientras la balanza y el cuerpo caen, el peso que marca la balanza es cero. La situación anterior se puede entender fácilmente al usar las leyes de movimiento de Newton. El peso aparente corresponde a situaciones en las cuales el peso de un cuerpo se mide en ambientes acelerados, es decir por fuera de la condición de equilibrio estático. Este efecto es común, por ejemplo cuando un avión despegue los pasajeros tienen la sensación de sentirse más pesados. Es claro que el peso del cuerpo en cuestión no cambia en ninguna de las situaciones descritas anteriormente, sin embargo la percepción del peso es diferente por el efecto de la aceleración que actúa sobre el cuerpo. En el presente artículo se presenta una demostración que sigue de cerca la presentada por el profesor Lewin en su curso, haciendo uso de tecnología de bajo costo y de fácil implementación, además puede ser incorporada fácilmente en el salón de clase.

Palabras clave

Peso aparente, caída libre, demostración en clase, instrumentación, *Arduino*.

Abstract

In the famous physics courses of Professor Walter Lewin there is a huge effort in showing demonstrations of different phenomena, facts and consequences of physics that in many cases are counterintuitive. One of these demonstrations has to do with the so-called apparent weight condition, in this case the teacher drops a scale with a mass from a considerable height. The demonstration shows that while the balance and the body fall, the weight that marks the balance is zero. The above situation can be easily understood applying Newton's laws of motion. The apparent weight corresponds to situations in which the weight of a body is measured in accelerated environments, that means outside the static equilibrium condition. This effect is common, for example when a plane takes off, passengers have the sensation of feeling heavier. It is clear that the weight of the body in question does not change in any of the situations described above, however the perception of weight is different due to the effect of the acceleration that acts on the body. This paper presents a demonstration that closely follows the one

presented by Professor Lewin in his course, making use of low cost technology and easy implementation, also it can be easily incorporated in classroom.

Keywords

Apparent Weight, Free Fall, Classroom Demonstration, Instrumentation, *Arduino*

I. INTRODUCCIÓN

Es usual en los cursos de física básica introducir la idea de *peso aparente* como una aplicación de las leyes de movimiento de Newton. La pregunta problema que comúnmente se intenta responder es: ¿cuál es el registro de una balanza que mide el peso de una persona, mientras el sistema formado por la balanza y la persona se encuentran en un ascensor, que se mueve con aceleración constante en relación a un sistema inercial? [1,2]. La respuesta a esta pregunta involucra usar las leyes de movimiento, y las conclusiones son contraintuitivas lo cual puede inducir ideas equivocadas en los estudiantes.

El experimento mental de cuerpos acelerados en ascensores (o cajas cerradas) lo exploró Albert Einstein a un nivel más profundo, fue esta la semilla para formular la Teoría General de la Relatividad. En efecto, Einstein concluyó que hay una equivalencia entre el campo gravitacional y un cuerpo acelerado en relación a un sistema de coordenadas, a lo que llamó principio de equivalencia [3].

De igual forma, la idea básica detrás del peso aparente es relevante en situaciones como las que perciben los astronautas, o aún, los pilotos que realizan maniobras en las que se experimentan aceleraciones mayores o menores que la aceleración gravitacional [4,5].

Por estas razones es conveniente presentar en las clases de física básica demostraciones que validen las consecuencias de la teoría, y que permitan poner en evidencia las situaciones contraintuitivas.

En esta dirección el célebre profesor Walter Lewin en sus cursos de física presenta una demostración del peso aparente en sus lecturas [6]. Esta demostración es la inspiración para el presente trabajo, en el cual, usando instrumentación de bajo costo se ha logrado medir en tiempo real la masa de un cuerpo mientras se encuentra en caída libre, de forma que es posible constatar la idea de peso

aparente. Es importante notar que el experimento se puede presentar fácilmente como una demostración de aula y es de fácil implementación como proyecto de curso.

II. MARCO TEÓRICO

Peso Aparente. Al considerar un cuerpo de masa m (una persona por ejemplo) en reposo sobre una balanza, se registrará una masa m , por tanto el peso de la persona será, en magnitud mg . Al considerar el mismo sistema en un elevador que se mueve con aceleración constante en relación a un sistema inercial de referencia, dependiendo de la dirección de la aceleración, la balanza registrará mayor o menor peso. La explicación a este hecho se deriva fácilmente de la segunda ley de Newton considerando referencias inerciales.

En la figura 1 se representa el diagrama de cuerpo libre para una persona de masa m . En la figura 1a, se evidencia la situación de equilibrio, mientras que en b y c de la misma figura, se representan las posibles aceleraciones arriba y abajo respectivamente.

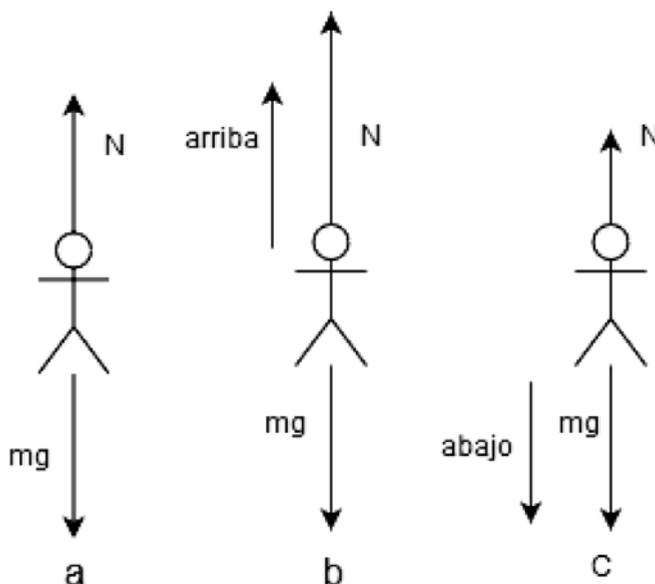


Figura 1. Diagramas de cuerpo libre para una persona de masa m que se encuentra en un ascensor. Figura 1a. corresponde a la situación en equilibrio. En 1b y 1c diagramas de cuerpo libre mientras el ascensor se encuentra acelerado hacia arriba y hacia abajo respectivamente.

De la condición de equilibrio (figura 1a.) es fácil concluir que:

$$\Sigma \quad \vec{F} = \vec{0} \therefore \vec{N} = mg, \quad (\text{i})$$

por tanto, el mecanismo por el cual se acciona la balanza se debe a la presencia de la fuerza normal. De otro lado, considerando un sistema de referencia orientado positivo hacia arriba en la vertical (como en la figura 1), el ascensor acelerado, de la segunda ley se tiene:

$$\Sigma \quad \vec{F} = \pm m \vec{a} \therefore \vec{N} - mg = \pm m a, \quad (\text{ii})$$

el signo positivo indica que la aceleración del ascensor coincide con la dirección positiva del sistema de referencia, mientras que el signo menos indica lo contrario.

De la ecuación (ii) se llega a:

$$\vec{N} = m\vec{g} \pm m \vec{a}, \quad (\text{iii})$$

por lo tanto, si el ascensor asciende la balanza marcará más peso puesto que la fuerza normal es mayor, lo contrario ocurre si el ascensor desciende, *i.e.* la balanza marcará menor peso por la misma razón. El caso en que la aceleración del ascensor sea igual a la aceleración gravitacional la balanza marcará peso cero, condición conocida como *weightless*, o sin peso. Es claro que sí se acepta la definición de peso como el efecto del campo gravitacional sobre un cuerpo de masa m (en magnitud), entonces, en el experimento anterior el cuerpo siempre tuvo el mismo peso. La medición del *peso* o la masa de un cuerpo se hace en la situación de equilibrio, el efecto de la variación del *peso* que marca la balanza se debe a que la medida se realiza en un entorno acelerado.

La idea esencial de la demostración en clase consiste en evidenciar que sí un cuerpo que se encuentra sobre una balanza en reposo, y registra un cierto peso¹, mientras el mismo cuerpo se encuentre en caída libre, la balanza marcará una masa cero durante el tiempo de caída. De igual forma, mostrar que sí aparece una aceleración sobre el cuerpo, dependiendo de la dirección de la misma, el cuerpo *pesará* más o menos según la dirección de la aceleración. De esta forma el problema técnico que se enfrenta es poder determinar en tiempo real el peso

¹ En realidad una cierta masa que es lo que permite determinar una balanza.

de un cuerpo y visualizarlo, mientras es sometido a diferentes aceleraciones. A continuación se describen los elementos que componen la balanza.

III. CONTROL DE CELDA DE CARGA POR *ARDUINO*

Los elementos esenciales para la demostración son (ver Figura 2):

1. Celda de carga, Máximo valor de carga *1kg*
2. Microcontrolador *Arduino Uno*
3. Módulo HX-711
4. Computador
5. Cables jumpers macho - hembra



Figura 2. Montaje de la balanza controlada por *Arduino*. En detalle: la celda de carga (1), Microcontrolador *Arduino Uno* (2), y el Módulo HX-711 (3).

La balanza de bajo costo consiste de un transmisor de celda de carga que está formada por galgas configuradas en puente de *Wheatstone*, las galgas son sensores de presión; así, el peso es transformado a una señal eléctrica. La comunicación de la señal que entrega la celda de carga con el computador se hizo por medio de un transmisor de celda de carga (Módulo HX-711) convirtiendo la señal análoga en digital, y entregandola al microcontrolador *Arduino uno*.

Para hacer funcional el módulo transmisor HX711, se debe agregar la librería de *Arduino* HX711.f que se encarga de darle soporte al módulo. Esta librería se puede descargar libremente desde su repositorio de *github* [7]. Adicionalmente,

el computador debe contar con el *IDE*² de *Arduino* que corresponde al entorno de desarrollo integrado, tiene la ventaja de que es libre y se puede instalar en cualquier sistema operativo [8].

La visualización en tiempo real hace uso del *IDE*, y permite ver la señal por medio de la herramienta *serial plotter* que hace parte del entorno *IDE*, y se encarga de graficar en el eje vertical la medida de masa y en el eje horizontal el tiempo transcurrido en este caso.

De otro lado, el procedimiento para calibrar el sistema consiste en encontrar la escala o factor de conversión adecuado que permite convertir la señal eléctrica en la masa del cuerpo.

El factor de conversión (escala) se encuentra de la siguiente forma: en primer lugar, se busca un patrón de referencia (cualquier masa que no supere el valor máximo soportado por la celda puede ser útil). Se recomienda que el peso conocido sea cercano al valor máximo del rango de trabajo de la celda de carga. Como masas de referencia se usó el juego de pesas del laboratorio de Física de la Universidad Autónoma de Manizales. En segundo lugar se carga un código de *Arduino* para la calibración de la balanza, este se debe hacer sin masa en la balanza, después de tarar, se le pone el objeto de masa conocida mostrando lecturas sin escala. En tercer lugar, se realizan un número arbitrario de diferentes mediciones con el mismo patrón, se toma el promedio de las mediciones, y se divide esta cantidad entre el valor de la masa conocida. Finalmente, esta relación será la escala que se incluye en el código que controla la balanza.

Para la realización de la demostración, la persona que la lleva a cabo puede por ejemplo, ubicarse sobre una mesa a una altura de más de un metro. Se configura el sistema de forma que en la pantalla del computador se evidencie el valor de la masa que se encuentra sobre la balanza, lo cual puede tardar cierto tiempo mientras el sistema realiza los ajustes que le permiten determinar precisamente la masa del cuerpo. A continuación, se deja caer la balanza de forma que golpee contra una superficie blanda como por ejemplo una espuma de espesor considerable (30 cm)³. En estas condiciones se evidencia una clara variación de la masa en función del tiempo como se presenta a continuación en la parte de resultados.

2 *IDE* por sus siglas en inglés: *Integrated Development Environment*. Es decir el entorno de desarrollo integrado.

3 Para que el objeto no se caiga de la balanza se puede asegurar con cinta.

IV. RESULTADOS

En la figura 3 se presenta el resultado de la experiencia que se obtiene del visualizador en el *IDE* de *Arduino*. El eje vertical corresponde a la masa del cuerpo en gramos, el eje horizontal corresponde al eje del tiempo que puede configurarse según la cantidad de datos que se quiera tomar. En este caso se configura para que una medida sea tomada cada 200 ms , y se autoajusta para una ventana de 500 medidas de tiempo. En esta demostración se usó una masa de 300g que golpeó contra espuma de 4 cm de espesor desde una altura aproximada de 1.30 m .



Figura 3. Masa del cuerpo (eje vertical) en función del tiempo (eje horizontal). Imágen obtenida del *IDE* de *Arduino* para una masa de 300g que golpea contra espuma de 4 cm de espesor.

Según la figura 3, se observa que inicialmente la balanza toma un tiempo corto en determinar el valor de la masa que corresponde a 300 g . El sistema es muy sensible, y cualquier desplazamiento en la vertical mostrará una variación en la masa como se evidencia en el primer pico en el cual la masa disminuye su valor a casi 250 g .

La caída de la balanza junto con el cuerpo corresponde al pico bien definido que es el elemento central en la demostración. Se observa que mientras el cuerpo cae, la masa disminuye rápidamente a cero, el tiempo que tarda el cuerpo en caer desde una distancia aproximada de 1.30 m es 0.5 s , se evidencia de esta forma que la respuesta del sensor es inmediata. Al golpear contra la espuma hay un cambio súbito en la dirección de la aceleración, en este caso hacia arriba en la vertical, y según la ecuación (iii) con el signo positivo, la masa del cuerpo debe aumentar, este efecto se observa claramente en el pico que marca rápidamente un salto de masa cero a una masa de más de 750 g . A partir de este punto, la masa del cuerpo tiende a retornar a su valor en equilibrio, lo que indicaría nuevamente una posible situación de caída libre que rápidamente es contrarrestada probablemente por el choque con la espuma, que corresponde al siguiente pico que alcanza casi una masa de 250 g . Finalmente la masa del cuerpo estabiliza al valor que debe tener en equilibrio indicando que ya el cuerpo se encuentra en reposo sobre la espuma.

V. CONCLUSIONES

En el presente documento se presentó el prototipo de una balanza de bajo costo controlada por *arduino*, que tiene como finalidad demostrar algunos de los aspectos relevantes en relación a la idea de peso aparente. El sistema permite visualizar en tiempo real la masa de un cuerpo mientras se somete a aceleraciones externas. El sistema es fácil de transportar y la demostración se puede realizar usando cualquier computador con recursos mínimos.

En la demostración que se presentó, se evidenció que mientras el cuerpo se encuentra en caída libre la masa que reporta la balanza es cero. De igual forma, se mostró que cambios externos en la aceleración del cuerpo generan masas que pueden ser mayores o menores en comparación a la masa en equilibrio.

Finalmente es importante mencionar que el sistema se está adaptando para que la comunicación sea inalámbrica, de forma que sea aún más sencillo el uso por parte de los profesores.

REFERENCIAS

- [1] D. Kleppner, and R. Kolenkow, *An Introduction to Mechanics*, (2014) Second Ed. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press

- [2] R. Taibu, D. Schuster, D. Rudge, “Teaching weight to explicitly address language ambiguities and conceptual difficulties”, *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.*, 13, 010130 (2017)
- [3] W. Isaacson, *Einstein his Life and Universe*, (2007) New York, NY: Simon & Schuster Paperbacks, pp. 146–147
- [4] F. W. Sears, “Weight and Weightlessness”, *The Physics Teacher*, 1, 20 (1963)
- [5] R. Dempsey, G. A. DiLisi, L. A. DiLisi, and G. Santo, “Thank you for the flying the vomit comet”, *The Physics Teacher*, 45, 75 (2007)
- [6] Walter Lewin. (2015, February 7). 8.01x-Lect 7- Weight, Weightlessness in Free Fall, Weight in Orbit [Video File]. Tomado de <https://www.youtube.com/watch?v=Z07tTuE1mwk&t=2267s>
- [7] github. (2019, August 02). Tomado de <https://github.com/bogde/HX711>
- [8] Arduino. (2019, August 02). Tomado de <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>

Biografía. Autor 1: María Alejandra Osorio Bolaños

Es estudiante de pregrado que aspira a doble titulación en Ingeniería electrónica e Ingeniería de sistemas en la universidad Autónoma de Manizales. Actualmente cursa sexto semestre.

Áreas de investigación: Instrumentación electrónica con Arduino. Diseño de herramientas para la enseñanza de la física.

Biografía. Autor 2: Carlos Alberto Vera Betancourt

Es estudiante de pregrado en Ingeniería de sistemas en la Universidad Autónoma de Manizales. Actualmente cursa el octavo semestre.

Áreas de investigación: Instrumentación electrónica con Arduino. Diseño de herramientas para la enseñanza de la física.

Biografía. Autor 3: Paulo César Cárdenas Montoya

Posee doctorado en Física, otorgado por la Universidad Federal do ABC del estado de São Paulo en Brasil; Magíster en Física, de la Universidad de Antioquia; Ingeniero Físico, de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales;



Especialista en Vocación Docente, de la Universidad Haaga-Helia de Finlandia. Actualmente se desempeña como profesor de tiempo completo en la Universidad Autónoma de Manizales y lidera el semillero Pi_Lab del departamento de Física y Matemáticas de la misma universidad.

Áreas de investigación: Sistemas cuánticos abiertos, computación e información cuántica, física computacional, termodinámica cuántica, enseñanza de la física, innovación en educación.