



2019 10 al 13 de septiembre - Cartagena de Indias, Colombia

RETOS EN LA FORMACIÓN  
DE INGENIEROS EN LA  
ERA DIGITAL

# UTILIZACIÓN DEL LEGO MINDSTORMS EV3 PARA LA REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN EL ÁREA DE FÍSICA DE LOS PROGRAMAS DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CESMAG

**Javier Narváez Solarte, William Arévalo Terán, Karla Reyes Sánchez**

**Universidad CESMAG  
Pasto, Colombia**

## Resumen

Como parte de la formación en física, de los estudiantes de ingeniería de la Universidad CESMAG, se contempla la realización de prácticas de laboratorio que conlleven a una mejor comprensión de los aspectos teóricos estudiados dentro del aula. Dado que el programa de ingeniería electrónica de la institución cuenta con un número suficiente de LEGO Mindstorms EV3 (LMEV3) y debido a que para ciertas prácticas no es posible contar con suficientes montajes experimentales típicos para la enseñanza de la física, el Departamento de Ciencias Básicas con la colaboración de estudiantes de los programas de ingeniería, ha llevado a cabo una serie de actividades consistentes en la implementación de prácticas de física utilizando tales robots, estableciendo así una alianza y un trabajo interdisciplinario. Cada práctica tiene entre sus objetivos el diseño y adecuación del montaje, la programación, la toma de datos y el análisis estadístico de los mismos. En cada práctica se persigue la búsqueda de constantes físicas que se puedan comparar con valores reportados en la literatura o que sean obtenidas de manera teórica, dando legitimidad al experimento. Entre los montajes realizados se encuentra el estudio experimental de la cinemática unidimensional en los casos de un movimiento rectilíneo uniforme, movimiento rectilíneo uniformemente acelerado y caída libre, para el caso de las oscilaciones se han implementado las guías correspondientes al movimiento oscilatorio forzado y una descripción completa de un péndulo físico. Para los distintos montajes se hace uso de los sensores incluidos en el paquete básico de LMEV3 education, tales como el sensor de ultrasonido, de contacto, el giroscopio, y el sensor de luz reflejada, lo cual aporta al estudiante un conocimiento extra sobre el funcionamiento de estos dispositivos. El equipo en un trabajo posterior, buscará hacer uso de sensores HiTechnic que permiten medir otras variables, lo que ampliará las prácticas con LMEV3. Se ha observado que la utilización de los robots aporta al estudiante un ambiente de trabajo más didáctico y el hecho de combinar los

aspectos de la robótica, la programación y la física ha generado resultados muy satisfactorios para los docentes del área de física del departamento.

**Palabras clave:** lego; laboratorio; física

### **Abstract**

*As part of a basic science formation, in particular in physics of the electronic and system engineering students in CESMAG University, we consider to carry out laboratory practices with the objective to obtain a better comprehension of the theoretical aspects which were studied inside the class. Since the electronic engineering program has a considerable number of LEGO MINDSTORMS EV3 robots, and because the difficulty to have enough typical experimental assemblies for the teaching of physics, the department of basic sciences in collaboration with its students, has carried out a list of activities with the aim to obtain a group of formal laboratory guides using those robots correctly. Each practice has in its design, the objectives, the instructions to assemble the experiment, the way to acquire the data, the statistical analysis of the data, etc. The experimental guide pursues the search for physical constants which can be compared with theoretical values found in the literature. At the moment, we had implemented this kind of guides in the area of mechanics focusing in cinematics and oscillations which are common to both programs of engineering. Among the assemblies that we have implemented are the experimental study of the free fall, damped oscillations, etc. For the different experiments we have used the sensors like ultrasound, contact, infrared and the gyroscope, this part is important because it contributes to the student understanding of these kind of dispositives. Also, with the implementation of this guide, we have reached to characterize the LEGO robots in the sense that we found the physical equivalences between units of the official systems with the units handled by the device. We have noted that the use of the robots, provides to the student a more didactic work environment and the fact to combine many aspects as robotics, programming and physics has generated good and satisfactory results for teachers in the area of physics of the department.*

**Keywords:** LEGO; laboratory; physics

## **1. Introducción**

La enseñanza de la física en cualquier ámbito requiere una interacción entre conceptos teóricos y prácticas que demuestren la veracidad de dichos conceptos y la coherencia entre los mismos. Las experiencias de laboratorio que se realizan en los laboratorios de física buscan trasladar los conocimientos teóricos a prácticas con las que, en la mayoría de ellas, se encuentran constantes físicas, las cuales son modeladas matemáticamente dentro de la clase.

La mayoría de los montajes de laboratorio de física que se comercializan son utilizados en una sola práctica lo que hace que se sub utilicen, haciendo que se compren montajes para una práctica específica y muchas veces sean usadas solo una vez por semestre. En cambio, la plataforma LMEV3 permite que con un sólo kit se pueda crear diversos tipos de montajes para prácticas de física.

El presente trabajo se realiza con la finalidad de mostrar métodos alternativos de elaboración de prácticas de laboratorio de física a partir de elementos disponibles en el laboratorio de electrónica, como lo son los LMEV3. Los cuales son una plataforma que permite integrar piezas de armado típicas de los juguetes LEGO, con sensores, motores y elementos de programación para crear montajes que serán utilizados en el aprendizaje.

Las experiencias vividas en el uso de LMEV3 en prácticas de laboratorio muestra cómo los estudiantes se motivan en el desarrollo de la práctica, interactúan con los robots y hace que el conocimiento científico brindado desde las nociones teóricas en el área de la física interactúe con el componente de su desarrollo ingenieril, para que de esta manera lograr que los conocimientos físicos sean apropiados, haciendo de estos un aprendizaje profundo y significativo.

El equipo de trabajo busca solventar a través de la plataforma LMEV3 diversas prácticas de laboratorio para el área de física, logrando que, en la actualidad se hayan desarrollado guías de laboratorio para prácticas como: movimiento rectilíneo uniforme, movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, caída libre, movimiento circular uniforme, oscilaciones en un péndulo físico, oscilaciones amortiguadas y resonancia por oscilaciones forzadas. También se indica cómo se va a desarrollar una de las prácticas ya sustentadas por la plataforma, específicamente en oscilaciones de un péndulo físico; mostrando una versión de la manera en que se aplica y algunos resultados obtenidos mediante el manejo de los datos con la rigurosidad científica.

## **2. Marco conceptual**

El LMEV3 es el producto del trabajo entre la empresa de juguetes LEGO y el MIT, nace como un trabajo colaborativo de investigación en el cual se buscaba entender cómo aprenden los niños a través del juego. Sin embargo, luego de varios años de desarrollo y de experiencias, esta herramienta demuestra un potencial a nivel educativo que empieza a ser utilizado en ambientes académicos que van desde la primaria hasta la universidad. La facilidad que presenta esta herramienta al momento de prototipar soluciones que involucran una estructura mecánica, un módulo de procesamiento digital, sensores y actuadores tipo motor, es algo que tiene un potencial de desarrollo muy útil en programas de formación en ingeniería. En el desarrollo de proyectos de aula y laboratorios, una plataforma plug-and-play como lo es el LMEV3 elimina la necesidad de crear impresos, hacer soldaduras, lidiar con cableados, y la creación de estructuras mecánica deficientes, lo que se ve reflejado en un mejor aprendizaje de los conocimientos objeto de estudio de la práctica y un mayor aprovechamiento del tiempo.

Estructuralmente hablando, el LMEV3 versión educativa está compuesto por:

- Kit de 541 piezas LEGO Technic
- Brick: es la mente del sistema, cuenta con un procesador ARM9 de 300MHz, una memoria RAM de 64MB, memoria flash de 16MB, 4 puertos para servomotores, 4 puertos para sensores, pantalla LCD, Altavoz, puerto USB y micro SD, Conectividad Bluetooth, y sistema operativo Linux.

- 2 servo motores de 160 RPM y un par de 20N/cm y un servo motor mediano de 240 RPM y un par de 8N/cm.
- 5 sensores: 1 sensor ultrasonico, 1 sensor de color-reflexión de luz, 2 sensores de contacto y 1 sensor giróscopo.
- Batería recargable de ion-litio de 2050mAh, cargador y cable USB.

El software que utiliza la plataforma LMEV3 education es un entorno de programación visual que utiliza bloques parametrizables que facilitan los procesos de aprendizaje y estructuración de programas, sin embargo, gracias a la flexibilidad que tiene el sistema operativo del brick, la plataforma LEGO puede ser programada desde entornos como JAVA, C++, Matlab o LabView. En particular el software Mindstorms EV3 versión educativa cuenta con una sección para docentes que permite plantear y documentar experimentos, hacer registro de variables, y hacer operaciones simples, opciones que ayudan en gran medida al estudiante en los procesos de experimentación y apropiación de conocimiento.

### **3. Propuesta metodológica**

Para poder utilizar con regularidad y de forma sistemática el LMEV3 en el laboratorio de física, se planteó desde el Departamento de Ciencias Básicas la creación de una guía de laboratorio para cada práctica, que permitiera a los estudiantes consolidar de manera satisfactoria la experiencia con el mínimo requerimiento de otros dispositivos adicionales a los robots. La guía está pensada para que el estudiante sea capaz de recrear el montaje por sí mismo, llevar a cabo un procedimiento y realizar un análisis detallado de los datos obtenidos; en concordancia con otras guías de laboratorio usualmente trabajadas a nivel universitario, la guía muestra además cuáles son los objetivos de la práctica y el respectivo marco teórico. En la sección procedimiento se le pide al estudiante, cuando sea necesario, que elabore el programa computacional que le permitirá realizar la toma de datos. Por lo tanto, la práctica reúne varios elementos interdisciplinarios que fomentarán mayor capacidades y competencias en el estudiante.

#### **3.1 Ejemplo de una práctica de laboratorio: estudio del Péndulo físico**

A continuación, se muestra un ejemplo de la guía elaborada en el espacio académico de Física y Laboratorio II, correspondiente al estudio del péndulo físico. La primera parte es la portada de la guía y la presentación de los objetivos de la práctica. Los estudiantes ya están familiarizados con los aspectos teóricos y pueden reconocer las ecuaciones que representan la situación física involucrada.



PÉNDULO FÍSICO CON LEGO  
Práctica 1

JAVIER NARVÁEZ SOLARTE, WILLIAM ARÉVALO, KARLA REYES SÁNCHEZ  
Docentes IU CESMAG

janarvaez@iucsmag.edu.co, warevalo@iucsmag.edu.co, kpreyes@iucsmag.edu.co

1. Objetivos de la práctica

- Construir un péndulo físico con piezas del LEGO MINDSTORMS EV3.
- Medir la amplitud en función del tiempo, utilizando el sensor giroscopio, con el fin de observar las características fundamentales del amortiguamiento en un péndulo físico.
- Determinar el coeficiente de amortiguamiento, el momento de inercia en el centro de masa y la aceleración de la gravedad.

Puede observarse como en los objetivos se plantea la consecución de constantes físicas que pueden ratificarse con valores teóricos, tanto en el caso del momento de inercia en el centro de masa y la aceleración de la gravedad que para la ciudad de Pasto adquiere un valor de  $977.05 \text{ cm/s}^2$ . Igualmente se conoce la forma que tienen las oscilaciones amortiguadas y el modelo teórico que permite determinar el coeficiente de amortiguamiento.

El siguiente espacio de la guía es el referente teórico, aquí se enuncian las principales características de la temática a trabajar. Para el mismo caso, se muestra una imagen de ejemplo extraída de la guía.

2. Oscilaciones amortiguadas

En un oscilador ideal, las oscilaciones se mantendrían por un tiempo infinito sin disminuir la amplitud. Esta descripción, por supuesto, no reproduce de forma confiable el comportamiento de multitud de sistemas físicos reales. ¿Cómo podemos modificar nuestra descripción de un oscilador armónico alrededor del equilibrio para obtener un descripción más acorde a lo observado en la naturaleza? En general, para obtener la ecuación de movimiento se utiliza la ley dinámica  $F = m \frac{d^2x}{dt^2}$ , al establecer una forma particular de la fuerza (por ejemplo,  $F = -kx$ ). Para enriquecer nuestra descripción, no modificaremos la ley dinámica (que no es más que la segunda ley de Newton) y si en cambio nos plantearemos qué clase de modificación sencilla de la forma de la fuerza es útil a nuestro propósito. Para mantener la linealidad del sistema, tan solo consideramos términos con una única potencia de  $x$ , tampoco es necesario incluir derivadas de orden superior, esto implica que la fuerza debe modificarse de una única manera dependiente de la velocidad, lo que es habitual al describir, por ejemplo, fuerzas de rozamiento. Así:

$$F = -kx - b\dot{x} \quad (2.1)$$

De tal manera que:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx - b\dot{x} \Leftrightarrow \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{b}{m} \frac{dx}{dt} + \frac{k}{m} x = 0 \quad (2.2)$$

La combinación  $\frac{k}{m}$  tiene dimensiones de  $(\text{tiempo})^{-2}$ ; introducimos una nueva constante,  $\gamma$ , con  $2\gamma = \frac{k}{m}$ ; adicionalmente, sea  $\omega_0 = \frac{k}{m}$  la frecuencia natural del sistema, ahora tenemos:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\gamma \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0 \quad (2.3)$$

¿Qué soluciones tiene (2.3)? Al establecer la solución de la ecuación diferencial por medio del polinomio característico, se encuentran tres posibles opciones:

siendo  $I_0$  el momento de inercia respecto al eje de rotación,  $D$  el diámetro del eje y  $b$  la constante o coeficiente de amortiguamiento.

La ecuación (2.5) no tiene una solución sencilla a menos que se haga la aproximación  $\sin \theta \approx \theta$ , tanto más correcta cuanto más pequeñas sean las oscilaciones. Bajo esta premisa:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + 2\beta \frac{d\theta}{dt} + \omega_0^2 \theta = 0 \quad (2.6)$$

con  $\omega_0$  la frecuencia natural de oscilación del sistema y  $\beta$  el parámetro de amortiguamiento.

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{mgL}{I_0}} \quad \beta = \frac{bD^2}{4I_0} \quad (2.7)$$

Para obtener el periodo de oscilación del péndulo, se parte de la parte izquierda de la ecuación (2.7) y utilizando el teorema de Steiner o de los ejes paralelos, se tiene que:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I_{CM} + md^2}{mgd}} = 2\pi \sqrt{\frac{I_{CM} + d^2}{gd}} \quad (2.8)$$

donde  $I_{CM}$  es el momento de inercia en el centro de masa, que para el caso de una barra de longitud  $L$  y masa  $M$  es igual a  $I_{CM} = \frac{1}{12} ML^2$ , por otro lado,  $d$  es la distancia desde el centro de masa al punto de oscilación.

La solución a la ecuación diferencial va a tener una componente que nos define el amortiguamiento,

$$\theta = \theta_0 e^{-\beta t} \quad (2.9)$$

Las ecuaciones presentes en la guía, serán las que utilizarán los estudiantes en el análisis de los datos obtenidos.

Una vez presentado el marco teórico, se procede a escribir el método o procedimiento experimental. En esta sección se explica al estudiante cómo armar utilizando LEGO el montaje experimental deseado, por medio de fotografías, videos o de forma escrita. La sección contiene los materiales utilizados, el armado del montaje y los procedimientos respectivos según los objetivos planteados anteriormente.

### 3. Demostración Experimental

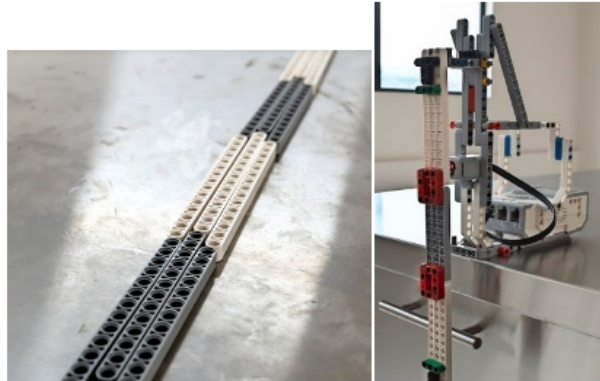
#### 3.1. Materiales

- Brick EV3    • Computador    • Piezas LEGO mindstorm EV3    • Sensor de giro    • Sensor de color
- regla    • balanza

#### 3.2. Procedimiento

##### 3.2.1. Armado del montaje

El montaje consistirá en una barra delgada de longitud  $L$  y masa  $M$  construida a partir de las piezas de LEGO que se muestran en la Figura 3.2.1. Debe juntar las piezas de la manera indicada, la longitud del péndulo es  $L = (32.6 \pm 0.1)$  cm y la masa  $M = (45.7 \pm 0.1)$  g. La barra se ubica en un soporte hecho también con la herramienta LEGO conteniendo al brick (Figura 3.2.1). Se utilizarán dos sensores, el de giro y el de color o detección, los cuales se conectan al brick por medio de cables. El primero será utilizado para analizar el amortiguamiento del movimiento y el segundo, para a partir de la determinación del periodo, encontrar cantidades físicas como el momento de inercia en el centro de masa y la aceleración de la gravedad.



Se muestra claramente que el montaje armado para un péndulo físico a partir del LMEV3 es autoconsistente en el sentido que funciona sin ningún otro accesorio extra. Se utilizará un sensor dependiendo del objetivo específico a encontrar.

##### 3.2.2. Procedimiento para obtener el coeficiente de amortiguamiento $\beta$

Ubique el sensor de giro en la parte superior de la barra asegurándose que el centro del sensor coincida con el punto de giro del sistema. (Ver figura 3.2.2). La toma de datos se realiza mediante el módulo experimento, el cual registra automáticamente las mediciones hechas por el sensor de giro, por lo tanto, aquí no es necesario realizar un programa computacional. Usted puede visualizar en tiempo real la gráfica realizada por el programa y mediante la herramienta adecuada, es posible extraer las coordenadas  $x$  y  $y$ , que corresponden al tiempo  $t$  y al ángulo  $\theta$ , respectivamente.



Figura 3.2: Montaje del péndulo físico con sensor de giro para determinar las oscilaciones amortiguadas.

Una vez el montaje esté armado, el brick conectado al computador y el software listo para el registro de datos, suministre una pequeña amplitud al péndulo físico, asegúrese que la oscilación ocurra en un plano vertical y tome en cuenta todas las precauciones para evitar la inclusión de errores sistemáticos al experimento. Dentro del software, seleccione una frecuencia de muestreo que le permita observar la disminución de la amplitud con el tiempo de forma correcta. Una vez aprecie una buena recolección de datos, tal que se observe una gráfica como la mostrada en la Figura 2.2, puede continuar con la extracción de la información importante para el análisis.

Busque entre las opciones la herramienta apropiada que le permita extraer de los puntos máximos de oscilación ("los picos") el valor de la amplitud y del tiempo. Tome al menos 15 mediciones.

##### 3.2.3. Procedimiento para obtener el valor del momento de inercia en el centro de masa $I_{CM}$ y la aceleración de la gravedad $g$

El montaje elaborado descrito anteriormente, permite cambiar la posición del eje de rotación a lo largo de la vertical del péndulo físico o regla. Para determinar el periodo de oscilación se utilizará el sensor de color, ubicado en la parte trasera del péndulo físico, que se activará al "ver" pasar el péndulo, iniciando un cronómetro y se detendrá al completar una oscilación completa, es decir un periodo, Figura 3.2.3. Usted debe realizar un programa computacional con el software del dispositivo que le permita la obtención de este valor, el dato aparecerá en la pantalla del brick del LEGO.



Figura 3.3: Montaje del péndulo físico con sensor de color para determinar el periodo de las oscilaciones.

Coloque a oscilar el sistema en varias posiciones partiendo del primer punto (hueco) posible sobre el centro de masa, hasta llegar al extremo de la barra. Repita el procedimiento tres veces como mínimo para obtener un valor promedio del periodo con su respectivo error. Se supondrá que la oscilación es ideal y se utilizará la ecuación (2.8) para determinar la aceleración de la gravedad  $g$  y el  $I_{CM}$ . Determine con cuidado la distancia  $d$  para cada caso, puede hacerlo contando el número de "circulitos lego" desde el CM hasta el punto de giro, y midiendo con un calibrador el diámetro de cada circulito, esto además le servirá para caracterizar el montaje.

En el procedimiento se le dan las instrucciones al estudiante de lo que debe medir y cómo hacerlo. En todo momento se le pide al estudiante que debe presentar el error de las medidas y que trabaje teniendo en cuenta en sus cálculos la propagación de la incertidumbre.

El último aspecto corresponde al análisis de los datos; se sugiere al estudiante los gráficos a realizar, también se le pide que ajuste los datos a los modelos teóricos y que obtenga finalmente los parámetros de los ajustes si es del caso. Finalmente, si es posible comparar con valores teóricos el estudiante debe hacerlo reportando un error porcentual.

#### 4. Análisis

##### 4.1. Obtención del coeficiente de amortiguamiento $\beta$

Con la ayuda de un software como Root, gnuplot, excel, entre otros, realice una gráfica de los datos extraídos de la amplitud (ángulo  $\theta$ ) como función del tiempo. Observe el comportamiento de la gráfica, la cual debe ajustarse al modelo predicho por la ecuación (2.9). Ajuste los datos a dicha ecuación y determine entonces la amplitud inicial  $\theta_0$  y el parámetro de amortiguamiento  $\beta$ .

Responda en su informe a las siguientes preguntas. ¿Qué tipo de gráfica obtuvo de la amplitud en función del tiempo?, ¿era lo que esperaba?, ¿cuál fue el valor del coeficiente de amortiguamiento obtenido?, ¿con qué error?, ¿puede compararlo con algún valor teórico?

##### 4.2. Obtención del valor de $I_{CM}$ y la aceleración de la gravedad $g$

A partir del programa computacional elaborado por usted tiene información de tres valores del periodo por cada punto de oscilación, correspondiente a la distancia  $d$ . Obtenga el valor promedio  $T$  con su respectivo error. Utilice el software root para elaborar una gráfica de  $T$  en función de  $d$ . Cree una función que le permita ajustar sus datos a la ecuación (2.8) y obtener de dicho ajuste los parámetros desconocidos que son el  $I_{CM}$  y la gravedad  $g$ .

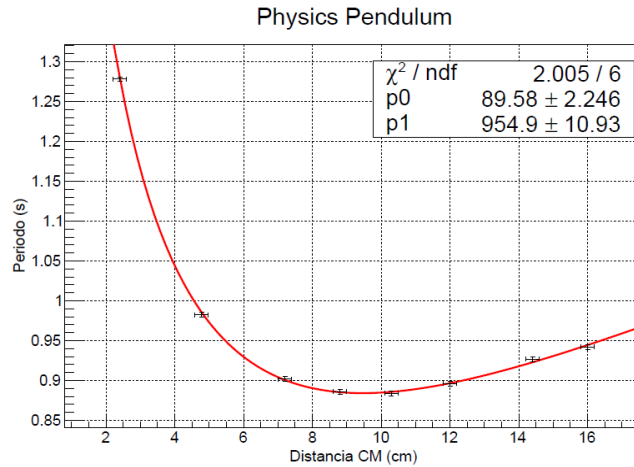
## 4. Resultados y hallazgos

El grupo de trabajo evidenció el gran alcance que tienen los robots LEGO y el uso que se le puede dar dentro del área de física. El ambiente de trabajo con los estudiantes se transformó en algo más lúdico y aumento el interés de los estudiantes al utilizar esta metodología.

La flexibilidad que brinda la herramienta LMEV3 para hacer modificaciones rápidas de estructuras mecánicas, el uso de sensores y motores, y la programación mediante bloques, hace que el estudiante pueda desarrollar nuevas competencias, ya que debe entender e interpretar el funcionamiento mecánico y electrónico del montaje propuesto, y desde ahí plantear un programa que permita adquirir los datos necesarios para caracterizar el fenómeno físico. Este particular hace que la creatividad sea una constante en el proceso de aprendizaje propuesto.

### 4.1 Resultados práctica de laboratorio

A continuación, se presentan algunos resultados obtenidos por los estudiantes en la práctica del péndulo físico.



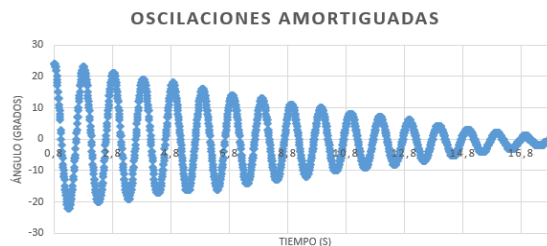
La gráfica muestra la dependencia del periodo de oscilación del péndulo con la distancia del punto de giro al centro de masa. En la gráfica los parámetros [0] y [1] corresponde al  $l_{CM}/m$  y a la  $g$  respectivamente. Para el caso trabajado:

$$[0] = l_{CM}/m = 89 \pm 2 \text{ cm}^2$$

$$[1] = g = 950 \pm 10 \text{ cm/s}^2$$

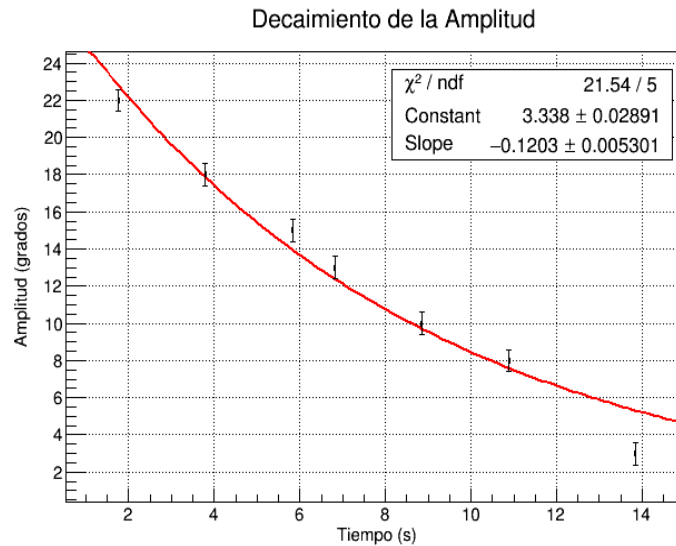
Comparándolos con los valores teóricos,  $l_{CM}/m = 88.6 \pm 0.5 \text{ cm}^2$  y  $g = 977.05 \text{ cm/s}^2$ , se puede concluir que los valores son iguales teniendo en cuenta el criterio de igualdad de la teoría de errores, además contemplando solamente los mesurandos los errores porcentuales son del 3% para la gravedad y de menos del 1% para el momento de inercia.

Para el caso de las oscilaciones amortiguadas, el resultado de graficar la amplitud vs el tiempo es el indicado en la figura siguiente:



Puede verse el decaimiento de la amplitud, se procedió a realizar la gráfica de los datos extraídos de amplitud y tiempo de los picos. Se seleccionaron 10 picos y el gráfico obtenido, ajustado a una exponencial fue el siguiente:





Ahora los parámetros siguen el modelo teórico  $\theta = \theta_0 e^{[-\beta t]}$ . Entonces:

$$\beta = 0.12 \text{ 1/s}$$

$$\theta_0 = 28.2 \text{ grados}$$

## 5. Conclusiones

La propuesta de utilizar una herramienta educativa que involucra el diseño mecánico, la electrónica y la programación en la ejecución de laboratorios de física, genera en estos espacios de trabajo un ambiente lúdico más atractivo que permite una mayor apropiación de conocimiento y un aprendizaje significativo en el estudiante.

Los resultados experimentales utilizando la herramienta LEGO, son semejantes y/o superiores a los obtenidos con montajes tradicionales de laboratorios de física, esto convierte a la herramienta LMEV3 en una opción atractiva proyectada como un laboratorio multipropósito de física.

Se presenta un cambio en el paradigma de un laboratorio tradicional de física donde el número de prácticas se limita al número de montajes disponibles, por una nueva propuesta de laboratorio donde el docente puede crear prácticas que no están limitadas a nivel de estructura física ni funcional gracias a la flexibilidad que ofrece la herramienta LMEV3, motivando la creatividad del docente en la generación de prácticas de laboratorio.

## 6. Referencias

- Aldana, M., & Buitrago, J. (2015). Experiencias de enseñanza y aprendizaje utilizando Lego Mindstorms para estudiantes de primer semestre en el programa de ingeniería de sistemas y computación de la Universidad del Quindío.

- Enriquez, C., & Aguilar, O. (2016). Using robot to motivate computational thinking in high school students. *IEEE Latin America Transactions*, 14(11), 4620-4625.
- Eraso-Checa, F., Narváez-Solarte, J., Lagos, C., Escobar, E., & Erazo, O. (2014). Aprendizaje significativo por investigación: propuesta alternativa-Significant learning research: alternative proposal. *Revista científica*, 2(19), 158-167.
- LEGO Education (2019). The LEGO Group: LEGO, the LEGO logo, DUPLO and MINDSTORMS. Consultado en junio 2019, Disponible en: <https://education.lego.com/en-us>
- Williams, A. B. (2003). The qualitative impact of using LEGO MINDSTORMS robots to teach computer engineering. *IEEE Transactions on Education*, 46(1), 206.
- Yu, X. (2012, August). Using LEGO Mindstorms in the undergraduate curriculum of IT. In 2012 International Symposium on Information Technologies in Medicine and Education (Vol. 1, pp. 270-273). IEEE.
- Zygouris, N. C., Striftou, A., Dadaliaris, A. N., Stamoulis, G. I., Xenakis, A. C., & Vavougios, D. (2017, April). The use of lego mindstorms in elementary schools. In 2017 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON) (pp. 514-516). IEEE.

## Sobre los autores

- **Javier Narváez Solarte:** Físico, Master en Administración de la Energía y Fuentes Renovables del Instituto Tecnológico de Monterrey. Director Departamento de Ciencias Básicas UNICESMAG.
- **William Andrés Arévalo Terán:** Ingeniero Electrónico, Especialista en Automatización Industrial. Decano de Facultad de Ingeniería UNICESMAG.
- **Karla Reyes Sánchez:** Física, Master en Astronomía y Astrofísica Universidad de Valencia. Docente área física, Departamento de Ciencias Básicas UNICESMAG.

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2019 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)