

Simulaciones sobre EJS para aprender Física



J. Ortega Breto¹, M. L. Martínez Pérez¹ y L. Jorge Domínguez²

¹*Departamento de Física, Facultad de Ingeniería Automática y Biomédica, Universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echeverría”, CUJAE, Calle 114, No. 11901, Marianao, La Habana, Cuba, CP 10400*

²*Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería Industrial, CUJAE.*

E-mail: justoo@electronica.cujae.edu.cu

(Recibido el 30 de octubre de 2018, aceptado el 3 de junio de 2019)

Resumen

Los programas de simulación son utilizados en la actualidad con diferentes fines. En el presente trabajo se describen algunos ejemplos de simulaciones aplicadas al aprendizaje de la Física, relacionadas con el lanzamiento vertical de un cuerpo, las ondas estacionarias en cuerdas, el experimento del tubo de Kundt y el efecto fotoeléctrico. Las simulaciones se han desarrollado con EJS (Easy Java Simulations), sistema de autor creado por Francisco Esquembre en la Universidad de Murcia. Las simulaciones permiten hacer explícitos diferentes modelos matemáticos, correrlos y estudiar su comportamiento. Los sistemas como EJS disminuyen las dificultades en las tareas de programación, aunque no las eliminan totalmente, como muchos insisten en afirmar. Se toma como premisa que es necesaria la orientación precisa del estudiante que utiliza las simulaciones con el objetivo de lograr un aprendizaje efectivo, mediante un cuidadoso diseño y la elaboración de cuestionarios que el alumno debe responder a partir de lo observado en las simulaciones.

Palabras clave: Aprendizaje de la Física, simulaciones por computadora, EJS.

Abstract

Simulation programs are used at present with different purposes. In this work, examples of simulations applied to Physics learning are described. The examples are related to the vertical launching of a body, the standing waves in strings, the experiment of Kundt tube and the photoelectric effect. Simulations are developed with EJS (Easy Java Simulations), author system created by Francisco Esquembre in the University of Murcia. These examples permit to make explicit different mathematical models, to run and study their behaviour. The systems as EJS diminishes the difficulties in programming tasks, although do eliminates these difficulties completely, as some people affirm. The start point is to guide student who use the simulations to get an effective learning, by means of a careful design and questionnaires that students must answer to base on simulations observations.

Keywords: Physics learning, computer simulations, EJS.

PACS: 01.50.H-, 01.50.Lc, 01.50.hv

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

Aunque se reconoce universalmente la utilidad de los programas de simulación en diferentes áreas del conocimiento, en particular, en el área de la educación, no se puede afirmar que dichos programas sean en verdad muy utilizados. En algunos casos, esto representa una carga adicional para el docente, debido a que casi siempre se requiere algún trabajo de programación. Precisamente, los sistemas de autor se diseñan para simplificar, en la medida de lo posible, la tarea del profesor. EJS consigue este propósito: posee una muy buena herramienta para el desarrollo de gráficos dinámicos y una satisfactoria interfaz gráfica en general. Toda la información sobre EJS puede obtenerse de <http://fem.um.es/Ejs> [1].

En este trabajo se muestran cuatro ejemplos de uso de EJS, para potenciar el aprendizaje de la Física, relacionándolo con simulaciones de experimentos de laboratorio. Los ejemplos son el lanzamiento vertical de un

cuerpo, el estudio de las ondas estacionarias en una cuerda tensa y en el tubo de Kundt, y el experimento del efecto fotoeléctrico.

II. DESARROLLO

A. Simulación sobre lanzamiento vertical

En este caso, el programa realiza una animación del movimiento de un cuerpo lanzado verticalmente hacia arriba, a partir de una determinada rapidez. La simulación, como todas las que se muestran, consiste en un fichero ejecutable (`ejs_model_Lanzamientovertical.jar`), resultado del empaquetamiento de la simulación desarrollada a partir de EJS. Se muestra una ventana con una breve descripción teórica del movimiento y un cuestionario (Figura 1), así como las ventanas de la animación (Figura 2) y los gráficos de posición contra tiempo, y de rapidez contra tiempo (Figura 3).
<http://www.lajpe.org>

3). Estos gráficos corresponden al instante $t = 0.9$ s posterior al del lanzamiento, y a una rapidez inicial de 6.0 m/s. La ventana de la descripción teórica [2] muestra las ecuaciones del movimiento rectilíneo uniformemente variado. La tarea que se plantea es simple, y consiste en responder las preguntas del cuestionario, auxiliándose de estas ecuaciones y de los gráficos de la Figura 3.

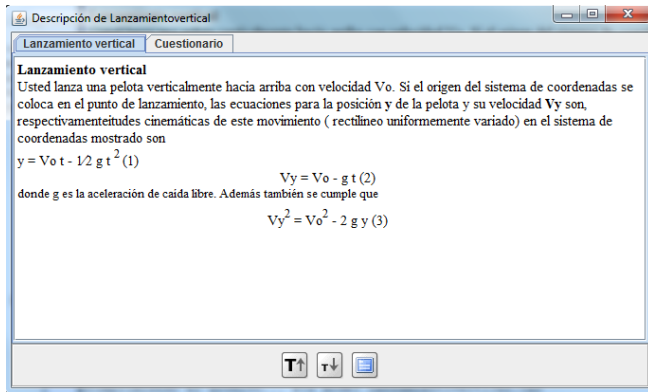


FIGURA 1. Descripción teórica del lanzamiento vertical.

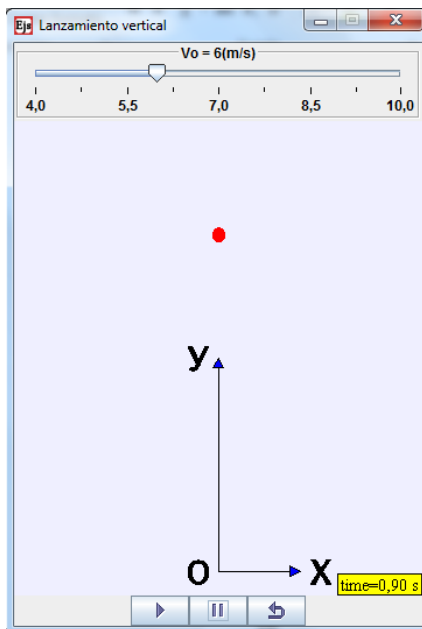


FIGURA 2. Ventana de la animación.

- ¿Cuál es el valor de v_y cuando el cuerpo regresa al punto de lanzamiento?
- ¿Cómo se observa en el gráfico que el valor de la aceleración es constante?
- Obtenga el valor de la aceleración (de caída libre).

Se trata de orientar de manera precisa el trabajo del alumno, con el objetivo de tomar este como punto de partida para un estudio independiente más abarcador.

Se pueden agregar otras preguntas como las siguientes:

- En el instante estudiado ¿el cuerpo sube o baja?
- ¿Está su respuesta de acuerdo con el signo de la velocidad?

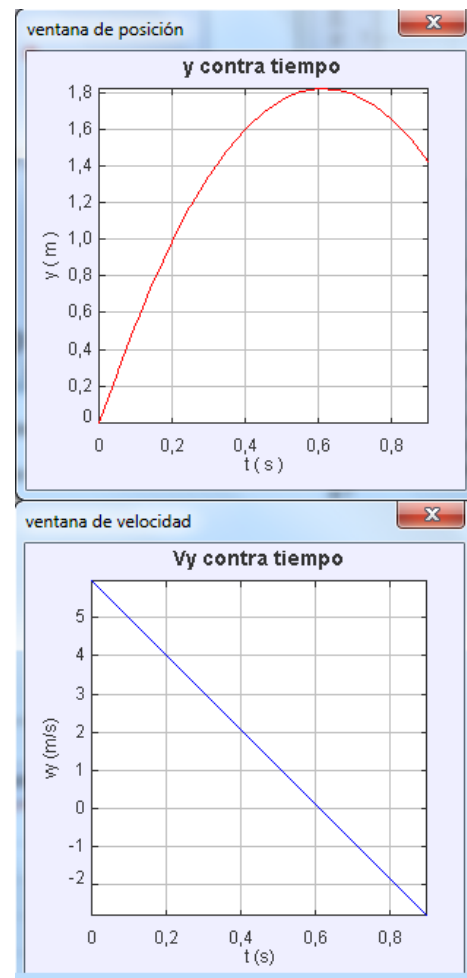


FIGURA 3. Gráficos de posición y rapidez contra tiempo

Cuestionario. Lanzamiento vertical

- ¿Cuál es la altura máxima que alcanza el cuerpo?
- ¿En qué instante de tiempo la alcanza? (o sea, ¿cuál es el tiempo de subida?)
- ¿Cuál es el tiempo total de vuelo del cuerpo?
- ¿Cuál es la relación entre los dos tiempos anteriores?
- ¿Cuál es el valor de v_y cuando el cuerpo alcanza la altura máxima?

B. Simulación sobre las ondas estacionarias en una cuerda tensa

Se trata a continuación, el desarrollo de dos simulaciones computarizadas, que corresponden a experimentos reales en el laboratorio de Física.

La primera describe el establecimiento de ondas estacionarias en una cuerda tensa, con un extremo fijo y el otro conectado a un vibrador [3]. Cuando la frecuencia del

vibrador es igual a la de algún modo normal de oscilación, la amplitud de dichas oscilaciones se hace relativamente grande. Los valores de estas frecuencias –llamadas también armónicos– son:

$$f_n = n / 2L \cdot \sqrt{(F / \mu)}, \quad (1)$$

donde $n = 1, 2, 3$, etc., L es la longitud de la cuerda, F la tensión y μ la densidad lineal de masa. La expresión anterior se obtiene de la más general:

$$f_n = v / \lambda_n, \quad (2)$$

donde v es la rapidez de propagación de la onda en la cuerda tensa, dada por:

$$v = \sqrt{(F / \mu)}, \quad (3)$$

λ_n es la longitud de onda, que se relaciona con la longitud de la cuerda mediante la expresión:

$$L = n \cdot \lambda_n / 2, \quad (4)$$

y finalmente, de (1) puede obtenerse la expresión de trabajo:

$$F = (4L^2 \mu f_n^2) / n^2. \quad (5)$$

La simulación consiste en un fichero ejecutable `ejs_model_Ondas.jar`. La ventana descripción (Figura 4) contiene un breve resumen teórico y una descripción del procedimiento experimental, y en la Figura 5 se muestra la ventana de la simulación.

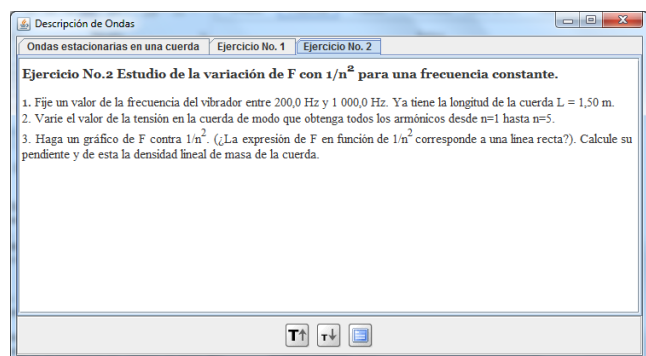


FIGURA 4. Descripción teórica. Ejercicio No. 2 Onda estacionaria en una cuerda tensa.

En esta última se encuentran: una cuerda fija por los dos extremos, un pequeño rectángulo que representa al vibrador y dos deslizadores, mediante los cuales se pueden variar la frecuencia del vibrador y la tensión en la cuerda.

A continuación, se reproduce el contenido de la ventana de uno de los ejercicios.

Ejercicio No. 1.

Simulaciones sobre EJS para aprender Física Estudio de la variación de las frecuencias de los armónicos con n , para una tensión constante.

1. Fije un valor de la tensión F entre 200.0 N y 1000.0 N.
2. Varíe el valor de la frecuencia del vibrador de modo que obtenga todos los armónicos desde $n = 1$ hasta $n = 5$
3. Haga un gráfico de fn contra n , de acuerdo con la expresión (5) y de su pendiente obtenga el valor de la densidad lineal de masa. La longitud de la cuerda es un dato: $L = 1.50$ m.

La descripción del segundo ejercicio se muestra en la Figura 4. Mediante la simulación se puede realizar un estudio general del establecimiento de las ondas estacionarias en una cuerda tensa. Este consiste en una pequeña unidad de instrucción que permite al estudiante, una rápida familiarización con los elementos esenciales del fenómeno, y sirve de preparación para realizar el correspondiente experimento de laboratorio.

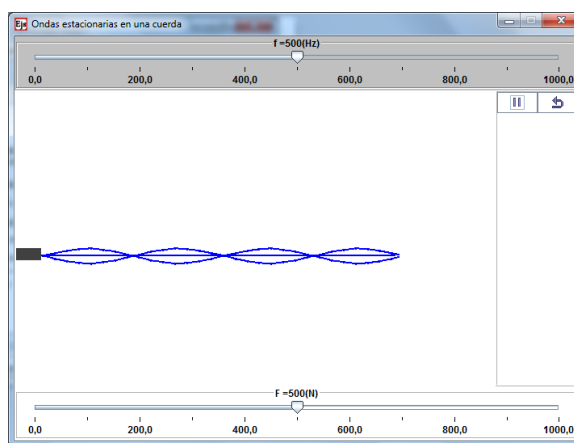


FIGURA 5. Onda estacionaria en una cuerda tensa.

C. Simulación sobre el experimento del tubo de Kundt

La segunda simulación corresponde al experimento del tubo de Kundt. En la Figura 6 se encuentra la descripción teórica del experimento. La simulación se ha empaquetado en el archivo `ejs_model_Kundt.jar`.

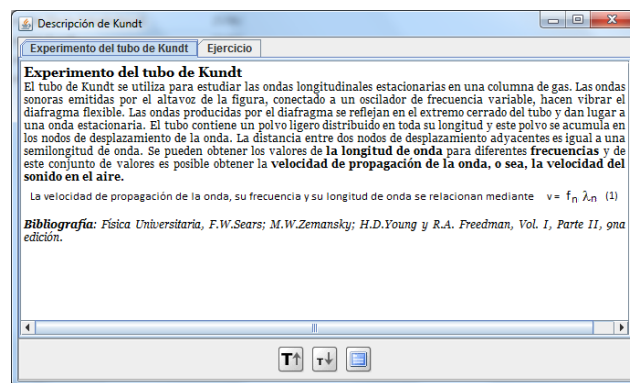


FIGURA 6. Ventana de descripción. Simulación sobre el experimento del tubo de Kundt.

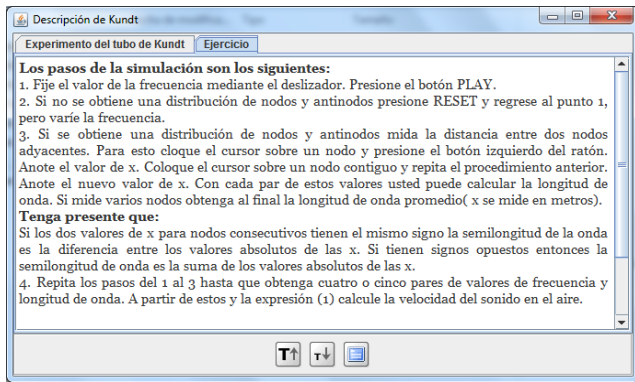


FIGURA 7. Ventana de descripción. Ejercicio del experimento.

En la Figura 7 se indican los pasos a seguir para correr la simulación. El experimento real se realiza utilizando un generador de audiofrecuencias, pero aquí no se ha utilizado sonido alguno. La ventana de ejecución aparece a continuación: en su parte superior se encuentra un deslizador que permite variar la frecuencia.

A continuación, se ilustra el procedimiento: después de una búsqueda cuidadosa se encuentra que, una de las frecuencias para la que se produce una onda estacionaria es la que se muestra en la Figura 8. El cursor se coloca sucesivamente, sobre cada uno de los nodos de desplazamiento donde se acumula el “polvo”, que inicialmente estaba uniformemente distribuido a lo largo del tubo, y en cada caso se toma el valor de x. Como se sabe, la diferencia entre dos valores consecutivos de x, es la mitad de la longitud de onda.

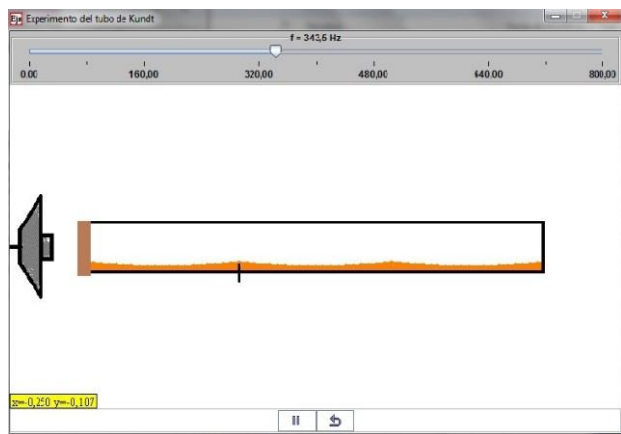


FIGURA 8. Ventana de ejecución del experimento.

Si se repite este procedimiento en todo el rango de frecuencias que permite el deslizador, y se determina la longitud de onda en cada caso, puede calcularse la rapidez del sonido en el aire, mediante un gráfico de frecuencias contra los inversos de las longitudes de onda.

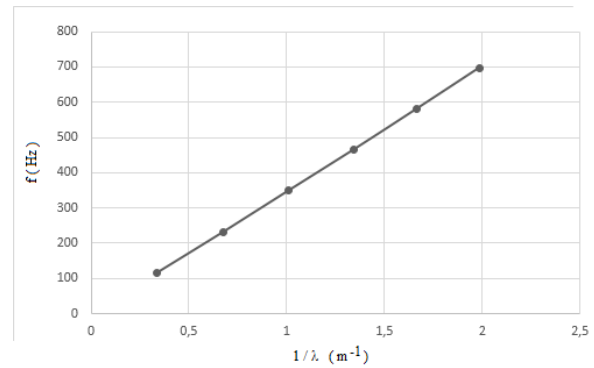


FIGURA 9. Gráfico de f contra $1/\lambda$, del que se obtiene la rapidez del sonido en el aire, $v = 353,3$ m/s.

Las dos demostraciones anteriores corresponden a experimentos reales sobre movimientos ondulatorios.

Rodríguez y Llovera [3, 4] han trabajado sobre la relación entre simulaciones virtuales y experimentos reales en el laboratorio de Física, tarea que, hoy en día, se desarrolla en nuestro departamento.

D. Simulación sobre el experimento del efecto fotoeléctrico

Como se sabe, la ecuación de Einstein para el efecto fotoeléctrico es:

$$K_{m\acute{a}x} = hf - \phi \quad (6)$$

Si se tiene en cuenta la relación entre la energía cinética máxima y el potencial de frenado V_0 :

$$K_{m\acute{a}x} = eV_0 \quad (7)$$

$$f = c/\lambda \quad (8)$$

La ecuación (6) puede escribirse:

$$V_0 = hc/e (1/\lambda) - \phi/e \quad (9)$$

que es la expresión de trabajo.

La simulación consiste en un fichero ejecutable `ejs_model_Efecto fotoeléctrico_4.jar`. Este programa muestra dos ventanas, una que contiene toda la descripción del trabajo, y la otra, la simulación. La ventana de descripción contiene cuatro pestañas, que corresponden a una breve introducción teórica (Figura 10), un esquema del circuito, donde, básicamente se explica el significado del diagrama en la ventana de trabajo y el aspecto del equipamiento del laboratorio real (Figura 11).

La pestaña *Simulación* contiene los ejercicios que se realizarán. Por último, la Figura 12 corresponde a la ventana de trabajo de la simulación.

Se ha tomado $\lambda = 450 \text{ nm}$. Se obtiene para el potencial de frenado $V_0 = 0.6 \text{ V}$.

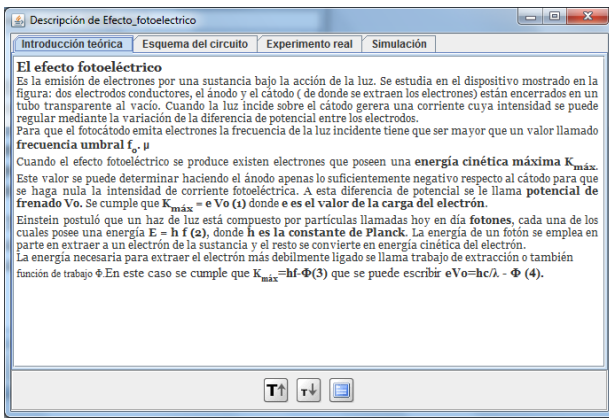


FIGURA 10. Descripción del efecto fotoeléctrico.

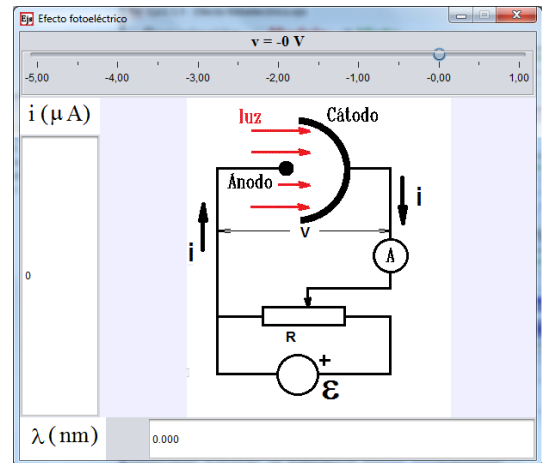


FIGURA 12. Ventana de trabajo del experimento del efecto fotoeléctrico.

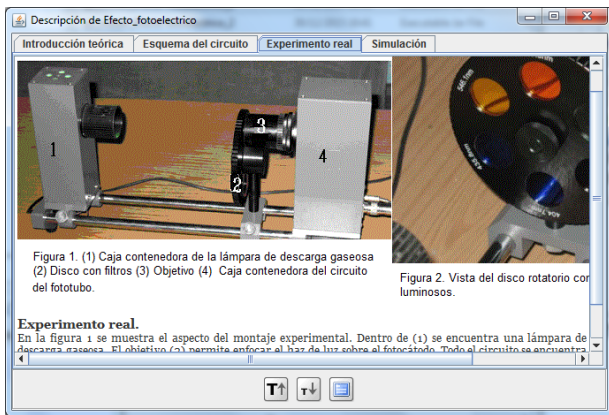


FIGURA 11. Equipo para el experimento real.

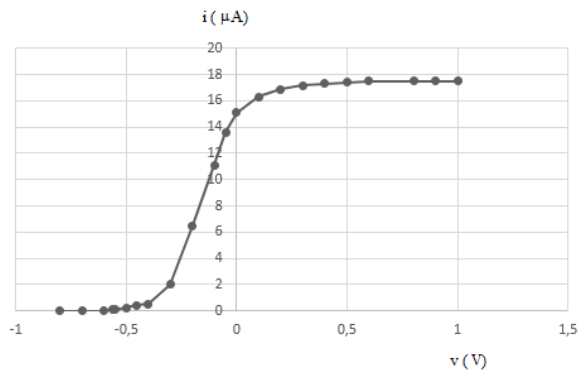


FIGURA 13. Característica $i-v$ del fotodiodo.

Ejercicios. Efecto fotoeléctrico.

El trabajo de extracción de la sustancia es una incógnita.

Ud. deberá calcularlo. La carga del electrón es un dato:

$$e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C.}$$

1. **Obtención de la característica voltampérica para el fotodiodo.**

Teclee el valor de la longitud de onda. Si no sabe cuál escoger, puede tomar uno de los valores de los filtros del experimento real. Varíe la diferencia de potencial V con pasos de 0.1 V , y anote el valor de la intensidad de la fotocorriente i en cada caso. Haga un gráfico de i contra v .

Nota: La intensidad de la luz es constante.

2. **Obtención de los valores de la constante de Planck y el trabajo de extracción.**

Para una longitud de onda dada, varíe V cuidadosamente (en inversa), hasta que la intensidad de la corriente fotoeléctrica se haga cero. El valor absoluto de V es V_0 , el potencial de frenado. Tome varios valores de la longitud de onda y determine V_0 en cada una. Trace un gráfico de V_0 contra f (o contra $1/\lambda$). De este gráfico obtenga los valores de h y Φ .

Los resultados del ejercicio No. 1 obtenidos con la simulación, se reflejan en la Figura 13.

Los resultados del ejercicio 2 se encuentran en la Figura 14.

La pendiente de la recta es $4.0 \cdot 10^{-15} \text{ V/s}$. Si se toma como dato la carga del electrón $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, entonces se obtiene para la constante de Planck el valor $6.4 \cdot 10^{-34} \text{ J/s}$.

La simulación se utilizó en la primera actividad independiente del curso de laboratorio de Física III (Física Moderna), que se imparte en el segundo semestre del segundo año, a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial. A cada pareja de estudiantes se le entregó un programa de simulación.

Los estudiantes no conocían el valor (uno para cada simulación) de la función de trabajo. Enfrentaron la tarea con responsabilidad y mucho interés. Manifestaron estar complacidos con esta forma de abordar el tema del efecto fotoeléctrico.

La evaluación se hizo a partir de la entrega de los resultados y de una discusión de los mismos, que se basó en los aspectos teóricos y en el procesamiento de los resultados (mediante Excel). El 89.6% de los alumnos obtuvo nota de 5, 4 o 3. Sólo el 10.3% de la matrícula desaprobó. El 71.1% obtuvo notas de excelente (5) o bien (4).

Las tres últimas demostraciones están orientadas a la preparación de los alumnos que se disponen a realizar experimentos en el laboratorio de Física, de acuerdo con los aspectos siguientes: (1) la motivación que se logra mediante el uso de la computadora, (2) el diseño de los ejercicios de la simulación, que se materializa en las orientaciones que se proporcionan, y (3) la indicación de que es necesaria una manipulación correcta y cuidadosa, lo mismo que en un experimento real.

Si no se dispone del equipamiento necesario, las simulaciones pueden sustituir a los experimentos reales.

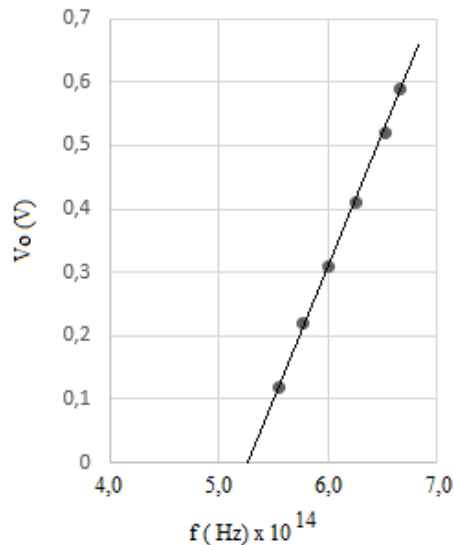


FIGURA 14. Gráfico de potencial de frenado V_o contra frecuencia f . La frecuencia umbral es $5.25 \cdot 10^{14}$ Hz.

III. CONCLUSIONES

En el trabajo se han descrito simulaciones para recrear experimentos de Física.

Se trata de reproducir, siempre que sea posible, los rasgos distintivos que acercan los experimentos virtuales a la realidad del laboratorio. No siempre es posible hacer esto, pero se trata de llegar a un compromiso entre ese acercamiento y la rapidez de ejecución del programa.

Aunque se haga una simulación en que, cada punto de la “cuerda” se mueva, nunca lo haría a la velocidad real de ese punto en el experimento.

De manera similar, en el ejemplo del tubo de Kundt, la onda estacionaria no se establece “casi” simultáneamente en todos los puntos del tubo, sino que se nota que se ha producido de izquierda a derecha.

Por otra parte, existen simulaciones de Física en las que, un modelo mecano clásico atenta contra los principios físicos del experimento real. Las simulaciones que se han mostrado, auxilian al estudiante en su preparación para realizar experimentos de laboratorio, y también han demostrado tener valor independiente para auxiliar el aprendizaje de esta difícil materia.

REFERENCIAS

- [1] Esquembre, F., *Easy java simulations*, <<http://fem.um.es/Ejs>>, consultado: 28 de julio de 2016.
- [2] Sears, F., Zemansky, M., Young, H. y Freedman, R., *Física Universitaria. Vol. I, Parte I*, 9a Ed. (Editorial Félix Varela, La Habana, 2006).
- [3] Rodríguez, D. y Llovera, J., *Estrategias de enseñanza en el laboratorio docente de Física para estudiantes de Ingeniería*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **8**, 4504-1-8 (2014).
- [4] Rodríguez, D. y Llovera, J., *Estudio comparativo de los potenciales didácticos de las simulaciones virtuales y los experimentos reales en la enseñanza de la Física general para estudiantes de ciencias técnicas*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **4**, 181-187 (2010).