

ANALISIS DEL USO DE LOS LABORATORIOS BASADOS EN VIDEO

J.L. Pérez S., A. Miranda V., F. Gamboa R., F. Cabiedes C.
Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico. UNAM.
Cdad. Universitaria. Del. Coyoacan. CP 045210. México D.F.

RESUMEN

El sistema de laboratorios basados en video que se desarrolló en el Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico de la UNAM, se ha probado tanto en estudiantes de preparatoria como con profesores del mismo nivel del bachillerato. En este trabajo se presentan los resultados del trabajo realizado con grupo de profesores de física de bachillerato en el manejo del laboratorio basado en videos.

ABSTRACT

The video based laboratories system that was developed in the Center of Applied Sciences and Technological Development of the UNAM, has been proven so much in students of high school as with professors of the same level. In this work the results of the work carried out with professors of high school physics group in the handling of the videos based laboratory are presented.

INTRODUCCION

El laboratorio basado en videos desarrollado en el CCADET consiste en una serie de experimentos filmados en video, los cuales se incorporaron a una herramienta de software que permite que el video sea desplazado cuadro por cuadro y poder realizar mediciones en pixeles tanto en x como en y. Como se conoce el número de cuadros por segundo a los que se tomó el video, cada cuadro corresponde a un múltiplo del tiempo del cuadro, lo que a su vez permite medir el tiempo.

Estos experimentos ya fueron probados con estudiantes de preparatoria en dos cursos de un año de física dentro del programa del CCH, y nos pudimos dar cuenta de algunos resultados con los estudiantes al analizar tanto en sus trabajos escolares como en entrevistas filmadas externas al aula y guiados por estudiantes de posgrado de la UNAM. Al ser el CCADET sede del Programa de actualización del profesorado del Bachillerato Universitario, en el área de física, nos propusimos presentarle a los profesores los experimentos del Laboratorio basado en video, que ya se les habían presentado con anterioridad a los estudiantes, de forma tal que permitiera analizar las posibilidades de ser empleados por ellos y de paso, detrás de este objetivo, poder estudiar los resultados de los profesores y compararlos con los de los estudiantes.

Para esto se les dieron a los profesores un grupo de experimentos consistente en los siguientes: péndulo simple, oscilador armónico simple del tipo masa-resorte, movimiento circular uniforme, y oscilador armónico amortiguado. La idea detrás de esta serie de experimentos, era ver dos posibilidades: La primera era la posibilidad de que directamente de las medidas se obtuvieran las soluciones senoidales y cosenoidales al movimiento, y que la relación entre ellas daba por solución el movimiento percibido. La segunda era analizar si los profesores podían, por comparación de los resultados experimentales, percibir que todos los movimientos tenían una forma única de solución y que de esto se pudiera concluir como un tipo de movimiento.

Para lograr lo anterior se filmaron en video dos casos diferentes, dadas las condiciones iniciales, de cada experimento y se les puso a trabajar en dos grupos individuales. La consigna dada era la de que tenían, a

partir de sus resultados experimentales, modelar su experimento y desarrollar teóricamente un modelo de cada movimiento.

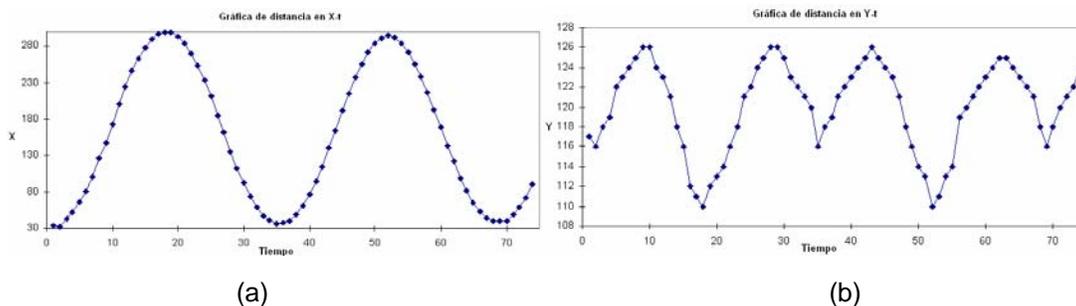
2. EXPERIMENTO DEL PÉNDULO SIMPLE

En el experimento del péndulo simple el péndulo consistió en una peonza colgada de un soporte rígido sobre el techo del laboratorio como lo muestra la imagen de la figura 1.



Figura 1. Experimento basado en video del péndulo simple.

Los resultados obtenidos por los profesores fueron los que se muestran en las siguientes gráficas de las figuras 2, (a,b,c).



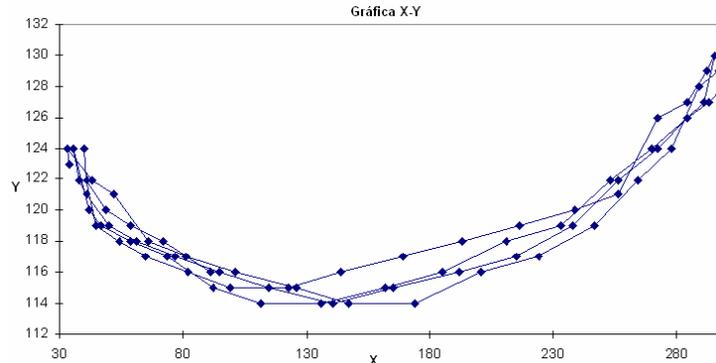


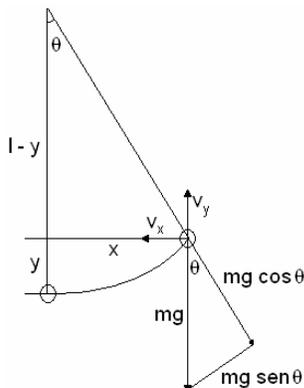
Figura 2. a. Gráfica de X-t del experimento del Péndulo. b. Gráfica de Y-t del experimento del Péndulo. c. Gráfica X-Y del experimento del Péndulo.

Con estos resultados la pregunta inmediata que se les presentó a los profesores fue la razón por la cual los dos puntos extremos del movimiento no estaban a la misma altura. Costó un buen tiempo de discusión entre ellos pero pudieron llegar a la conclusión de que la cámara no estaba colocada en el plano horizontal del péndulo, sino que estaba girada, un cierto ángulo respecto de él.

La siguiente discusión versó acerca de si se habían encontrado que las soluciones para el movimiento en X y Y eran senoidales, los alumnos no tenían ya porque hacer un acto de fe respecto a las soluciones, sino que había que encontrar un desarrollo teórico que a partir del experimento lo describiera. El esfuerzo de los profesores fue realmente extraordinario y se requirió de mucha ayuda de los tutores del PAAS para que se pudiera lograr un modelado del experimento. Fue claro que por ellos mismos nunca hubieran podido construir un esquema teórico que represente lo obtenido en el laboratorio. Lo logrado por los profesores se muestra en el siguiente reporte que entregaron a los tutores:

ECUACIONES DE MOVIMIENTO PARA UN PÉNDULO SIMPLE

De la figura se pueden determinar las siguientes relaciones entre el desplazamiento en x y la longitud del péndulo:



$$\text{sen } \theta = \frac{x}{l} \quad (12a)$$

$$x = l \text{sen } \theta \quad (12b)$$

$$\text{cos } \theta = \frac{l-y}{l}$$

Despejando y se tiene:

$$y = l(1 - \text{cos } \theta) \quad (13)$$

donde:

g : aceleración de la gravedad.

m : la masa de la partícula.

x : es el desplazamiento de la partícula x .

θ : Es el cambio en el ángulo que se forma con la longitud l del péndulo respecto a su posición inicial.

y : es el desplazamiento de la partícula en el eje y .

V_x : Componente de la velocidad en x .

V_y : Componente de la velocidad en y .

l : Es la longitud del péndulo.

Para establecer la velocidad de la masa m del péndulo tanto en la componente x , como en la componente y , consideremos la ecuación (6) de la velocidad total de la masa y establezcamos para las componentes las relaciones:

$$V_x = V \cos\theta \quad (14)$$

$$V_y = V \sen\theta \quad (15)$$

Recordando que

$$V = \frac{d}{t} = \frac{l\theta}{t}$$

$$V_x = \frac{d}{t} \cos\theta \quad \text{y} \quad V_y = \frac{d}{t} \sen\theta$$

como $d = l\theta$

$$w = \frac{\theta}{t}$$

donde ω es la frecuencia angular del movimiento de la partícula del péndulo. $V = \omega l$

$$\theta = \omega t \quad (16)$$

$$V_x = \frac{l\theta}{t} \cos\theta = l\omega \cos\theta \quad \text{y} \quad V_y = \frac{l\theta}{t} \sen\theta = l\omega \sen\theta$$

$$V_x = \omega l \cos\omega t \quad \text{y} \quad V_y = \omega l \sen\omega t$$

Como l es constante, se puede establecer que:

$$A = l.$$

Por lo cual las velocidades quedan como:

$$V_x = A\omega \cos \omega t \quad (17)$$

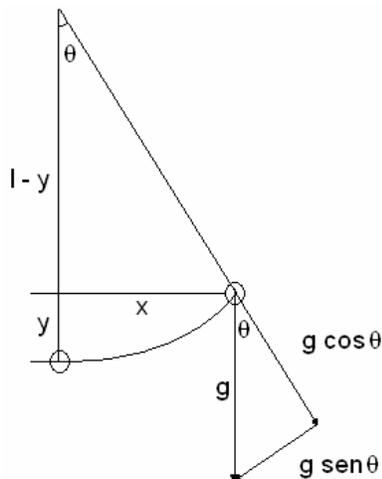
$$V_y = A\omega \sin \omega t \quad (18)$$

Sustituyendo la ecuación (16) en la (12b) y en la (13) se establecen las ecuaciones de movimiento para el desplazamiento en x y para y : $x = l \sin \omega t$ y $y = l(1 - \cos \omega t)$. Siendo $A = l$, se tiene que:

$$x = A \sin \omega t \quad (19)$$

$$y = A(1 - \cos \omega t) \quad (20)$$

Como se puede ver las soluciones tanto para las componentes de la velocidad en x , en y como en el desplazamiento en x y de y son funciones del seno y coseno. Ahora establezcamos las ecuaciones para la aceleración.



Donde:

l : Es la longitud del péndulo.

x : es el desplazamiento de la partícula en el eje x .

θ : Es el cambio en el ángulo que se forma con la longitud l del péndulo

y : es el desplazamiento de la partícula en el eje y .

a : aceleración

a_x : Componente de la aceleración en x

a_y : Componente de la aceleración en y . ω : frecuencia angular del movimiento de la partícula del péndulo

Obsérvese en la figura, el triángulo rectángulo formado por la aceleración y sus componentes, de lo cual se puede establecer que:

$$a_x = -a \operatorname{sen} \theta \quad (21)$$

$$a_y = a \operatorname{cos} \theta \quad (22)$$

Sustituyendo la ecuación 16 en la (21) y en la (22) se tiene:

$$a_x = -a \operatorname{sen} \omega t \quad (23)$$

$$a_y = a \operatorname{cos} \omega t \quad (24)$$

Recordando que:

$$a = \frac{V}{t}$$

y que V :

$$V = \frac{d}{t} = \frac{l\theta}{t}$$

$$a = \frac{l\theta^\tau}{t^2} \quad (25)$$

Recordando la ecuación para determinar l

$$t = \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Sustituyendo este valor en la ecuación (25), se tiene:

$$a = \frac{l\theta}{\left(\sqrt{\frac{l}{g}}\right)^2}$$

Arreglando las variables, se tiene que:

$$a = \frac{g}{l} \theta l$$

recordando que $d = l\theta$ y sustituyendo en a , tenemos:

$$a = \frac{g}{l}d \quad (26)$$

dado que $\omega = \frac{1}{t}$ y el valor de $t = \sqrt{\frac{l}{g}}$ tenemos que :

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{\frac{l}{g}}}$$

$$\omega^2 = \frac{g}{l}$$

Al sustituir g/l en la ecuación (26),

$$a = \omega^2d \quad (27)$$

Sustituyendo el valor de a en las ecuaciones de las componentes de la aceleración (23) y (24), se tiene:

$$a_y = -\omega^2d \cos \omega t \quad (28)$$

$$a_x = \omega^2d \cos \omega t \quad (29)$$

Observemos que las componentes de la aceleración son también función de las funciones seno y coseno, con la misma dirección que los desplazamientos.

Podemos darnos cuenta que se logró por parte de los profesores integrar un desarrollo teórico para el péndulo.

3. EXPERIMENTO DEL MOVIMIENTO CIRCULAR UNIFORME

Lo mismo se realizó con el experimento de movimiento circular uniforme. Los profesores emplearon el sistema de laboratorio basado en videos y realizaron sus mediciones. En las gráficas de las figuras 5(a,b,c) se muestran los resultados obtenidos por los profesores.

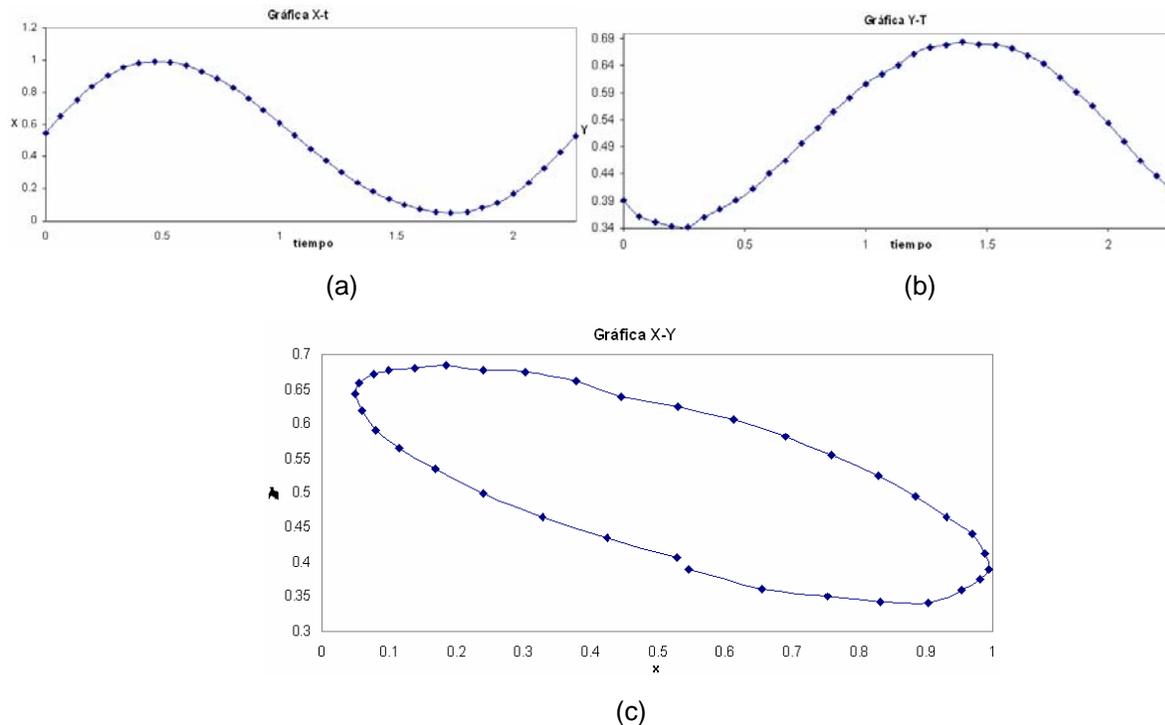


Figura 5. a. Gráfica de X-t del movimiento circular uniforme. b. Gráfica de Y-t del movimiento circular uniforme. c. Gráfica de X-Y del movimiento circular uniforme.

En este caso fue mucho más sencillo para los profesores obtener las ecuaciones de movimiento, ya que estas son más conocidas. De la misma forma les fue fácil encontrar el fenómeno de la perspectiva angular de la cámara en la filmación del experimento

4. EXPERIMENTO DEL MOVIMIENTO DE UN BALÍN SOBRE UN RIEL SEMICIRCULAR

El siguiente experimento que se realizó, fue el movimiento de un balón sobre un riel semicircular. En este caso cambia por completo la situación del oscilador armónico simple ya que rápidamente se amortigua por la gran fricción entre el balón y el riel. El experimento se realizó de la misma forma filmando en video este movimiento y montándolo en la herramienta ya empleada, como lo muestra la figura 6.



Figura 6. Experimento basado en video del movimiento de un balón sobre un riel semicircular.

En la figura 7 (a,b,c) se muestran los resultados experimentales obtenidos por los profesores en este experimento.

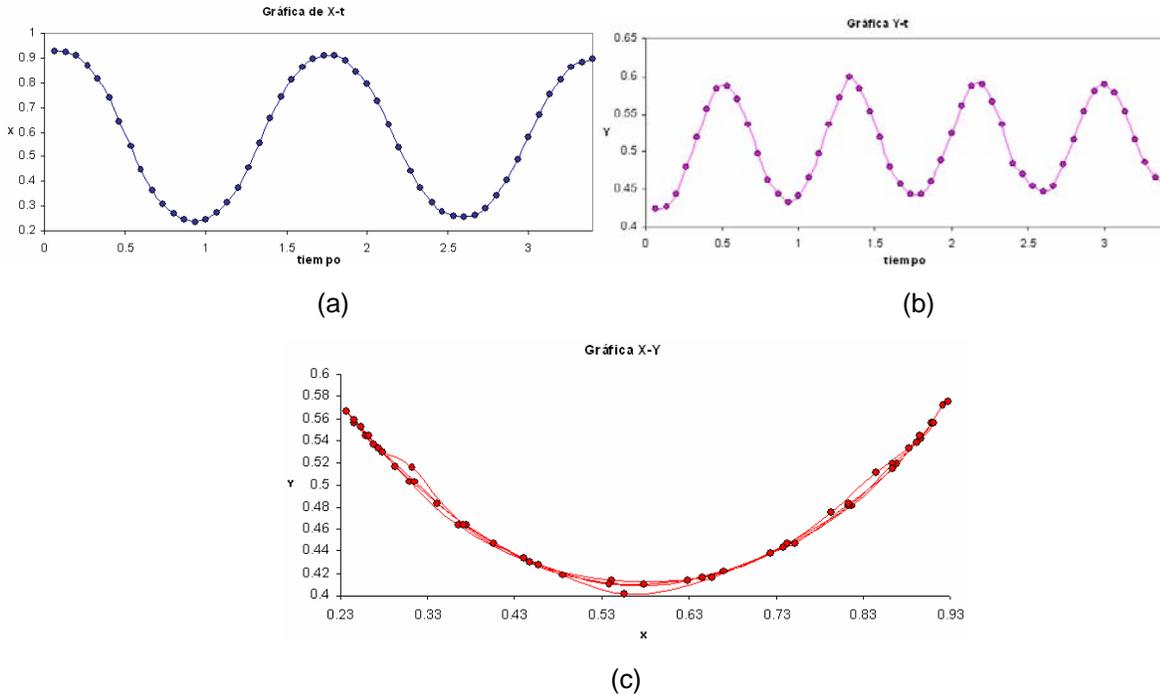


Figura 7. a. Gráfica de X-t del movimiento de un balón sobre un riel semicircular. b. Gráfica de Y-t del movimiento de un balón sobre un riel semicircular. c. Gráfica de X-Y del movimiento de un balón sobre un riel semicircular.

En este caso el desarrollo teórico para modelar los datos experimentales implicó también una guía muy grande de los tutores del PAAS, es importante hacer notar aquí el avance sustancial de los profesores con este tipo de herramientas de laboratorio y los profesores lograron el siguiente desarrollo teórico.

ECUACIONES DE MOVIMIENTO DE UNA PARTÍCULA MOVIÉNDOSE SOBRE UN RIEL SEMICIRCULAR

Para establecer las ecuaciones de movimiento para una partícula que se mueve en un riel semicircular con centro O, es necesario observar a: el vector velocidad, las fuerzas así como los desplazamientos de la partícula cuando se mueve del punto 1 al 2. Obsérvese la figura 8, para establecer las relaciones entre las variables físicas que están presentes en este movimiento.

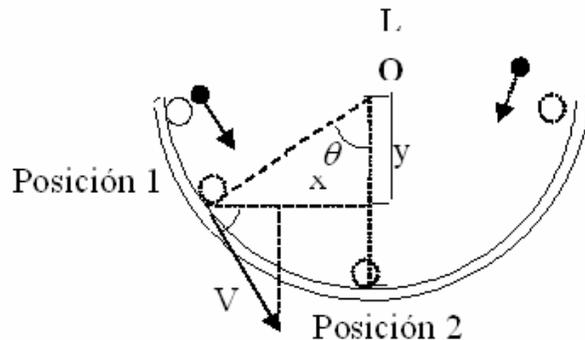


Figura 8

Del triángulo formado en la figura 8, se establece las relaciones de los desplazamientos en x y en y, las cuales se presentan a continuación:

Ecuaciones para los desplazamientos:

$$x = L \sin \theta$$

$$y = L \cos \theta$$

Como la velocidad angular es $\omega = \frac{\theta}{t}$, despejando θ obtenemos que:

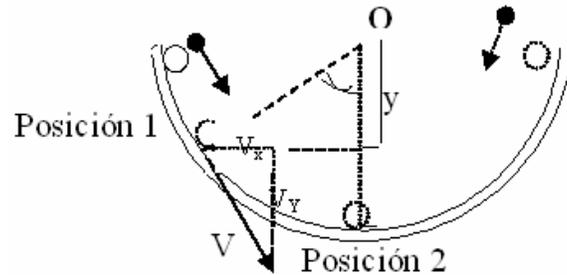
$$\theta = \omega t$$

Como la partícula se mueve sobre la curva semicircular se puede establecer que las ecuaciones para los desplazamientos quedarán en función del ωt las cuales serán:

$$x = L \sin \omega t$$

$$y = L \cos \omega t$$

Las ecuaciones de las componentes de la velocidad se establecen observando que el vector velocidad de la partícula es tangente a la trayectoria semicircular el cual a su vez es perpendicular al radio de esa trayectoria, obsérvese la figura



Debido a que la partícula se desplaza en un riel semicircular, la magnitud de la velocidad V se calcula al igual que en el movimiento circular uniforme con el producto de la velocidad angular y el radio de la trayectoria, como se expresa en la siguiente ecuación:

$$V = \omega L$$

Las componentes de la velocidad V son V_x y V_y , la magnitud de estas se determina con las siguientes expresiones:

$$V_x = V \cos \theta$$

$$V_y = -V \sin \theta$$

Sustituyendo el valor de V y el de θ , se obtienen las ecuaciones para las componentes de la velocidad, las cuales son:

$$V_x = \omega L \cos \omega t = \omega y$$

$$V_y = -\omega L \sin \omega t = -\omega x$$

Ecuaciones para las componentes de la aceleración:

$$a = \omega^2 L$$

$$a_x = \omega^2 L \sin \theta$$

$$a_y = \omega^2 L \cos \theta$$

$$a_x = \omega^2 L \sin \omega t = \omega^2 x$$

$$a_y = \omega^2 L \cos \omega t = \omega^2 y$$

Caso amortiguado

El movimiento de la partícula en el riel semicircular produce componentes de una fuerza de amortiguamiento dichas fuerzas serán proporcionales a las componentes de la velocidad, a continuación se establecen las ecuaciones de movimiento de las componentes del desplazamiento estableciendo la suma de las fuerzas que experimenta la partícula en este movimiento, las cuales son:

$$\beta V_x + mg_x = m\omega^2 x$$

$$\beta V_x + mg \sin \theta = m\omega^2 x$$

$$\beta V_y + mg_y = m\omega^2 y$$

$$\beta V_y + mg \cos \theta = m\omega^2 y$$

despejando a x y a y se tiene:

$$x = \frac{\beta V_x + mg \sin \theta}{m\omega^2}$$

$$y = \frac{\beta V_y + mg \cos \theta}{m\omega^2}$$

Sustituyendo el valor de θ , se tiene:

$$x = \frac{\beta \omega L \cos \omega t + mg \sin \omega t}{m\omega^2}$$

$$y = \frac{-\beta \omega L \sin \omega t + mg \cos \omega t}{m\omega^2}$$

Estas serán las expresiones de los desplazamientos para el movimiento amortiguado en el riel.

5. EXPERIMENTO DEL MOVIMIENTO DE UNA MASA SUSPENDIDA SOBRE UN RESORTE

El siguiente y último de los experimentos que se realizaron fue el experimento de una masa suspendida de un resorte y puesta a oscilar. El experimento se muestra en la figura 9.



Figura 9. Experimento basado en video de una masa suspendida de un resorte.

Los datos obtenidos por los profesores fueron los que se muestran en la figura 10.

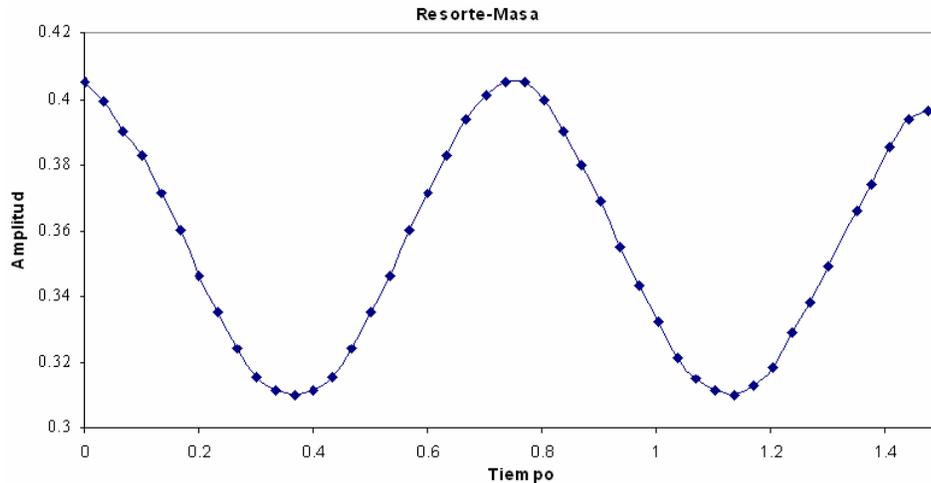


Figura 10. Datos del experimento basado en video de una masa suspendida de un resorte.

En este caso les fue imposible a los profesores poder desarrollar un modelo matemático que describa los datos experimentales obtenidos. Es importante que aunque este es un experimento muy conocido, pocas veces se ve como un oscilador armónico ya que generalmente lo realizan cambiando masas para poder obtener la ley de Hooke.

6. PRACTICAS DESARROLLADAS POR LOS PROFESORES

Para poder lograr este punto se dotó una computadora del laboratorio con una cámara de WEB de \$ 350, y se conectó al puerto USB de la máquina. Se instruyó a los profesores acerca del uso del sistema y como poder realizar una película avi empleando Director, de forma tal que ellos pudiesen plantearse un problema filmarlo y poder realizar una experiencia como las anteriores en la herramienta de medición. Los profesores plantearon varias propuestas, de las cuales decidieron tanto por la dificultad académica de explicarlo en sus clases, como por la viabilidad en el tiempo de diseñar el equipo por la experiencia de una onda estacionaria en una cuerda. En la figura 11 se muestra la pantalla del laboratorio basado en videos con la práctica.



Figura 9. Experimento basado en video de ondas estacionarias en una cuerda.

Los profesores pudieron medir replicar la experiencia varias veces, como lo muestra la figura 12 y aprender a ampliar esta herramienta para el uso en las escuelas.



Figura 9. Experimento basado en video de ondas estacionarias en una cuerda con otras condiciones.

También con filmaciones muy simples y directas, como la que se muestra en las figuras 13 y 14 pensando que pudiesen en forma inmediata ser realizadas por sus estudiantes, realizaron experiencias y desarrollos



Figura 13. Práctica libre basada en video. Caída de una bola de papel

7. CONCLUSIONES

Comparando los resultados con los de los estudiantes nos damos cuenta que de entrada las cosas más significativas que se encontraron en ambos grupos experimentales fueron:

1. La imposibilidad de construir a partir de los datos experimentales las soluciones completas al experimento.
2. La imposibilidad de construir un esquema teórico que represente lo obtenido en el laboratorio.
3. La absoluta disociación entre la parte teórica de este esquema de movimientos y los resultados de los experimentos.



Figura 14. Práctica de una masa oscilando de un fleje de acero

La diferencia notoria se presentó al trabajar con los profesores los que lograron avances significativos con la guía de los tutores del PAAS, como se evidencia en los reportes presentados en este trabajo, mientras que con los estudiantes lo más que se logró fue una mejor asimilación de los desarrollos teóricos, que necesitaron ser desarrollados por el profesor en clase.

Otro fenómeno importante que pudimos detectar fue que a los profesores, no digamos a los alumnos, les fue imposible percibir que en todos los casos se encontraban ante el mismo fenómeno físico, el oscilador armónico simple. Cuando después de una discusión con los tutores se les preguntó que encontraban en común, la respuesta general fue que todos los experimentos presentaban soluciones del tipo seno y coseno, pero al preguntarles que tipo de fuerza era aplicada a los sistemas, ninguno pudo dar una respuesta, mucho menos desarrollar algo formal acerca de la pregunta.

8. BIBLIOGRAFIA

1. Gamboa F., Pérez J.L., Caviedes F., Miranda A., Kemper N. "Especificación y desarrollo de un Laboratorio de Física Basado en Videos". Memoria SOMI XIV Congreso Nacional de Instrumentación Puebla, Pue. 1999 p.p. 325-329
2. Gamboa F., Pérez J.L., Lara F., Miranda A., Caviedes F., Juárez R., Kemper N. "Specification and Development of a Physics Based Laboratory for High School Level" Advances in Multimedia and Distance Education. Editor George E. Lasker. Published by International Institute for Advanced studies in Systems Research and Cybernetics. 1999, I, pp 175-179.
3. Gamboa F., Pérez J.L., Caviedes F., Miranda A., Kemper N. "Specification and development of a Physics Video Based Laboratory". Instrumentation and Development. 2000. v.4 n.5. p.p.45-50
4. Gamboa F., Pérez S. J.L., Miranda A., Caviedes F.. "Specification, Development and Evaluation of a Physics Video Based Laboratory". Conielectcomp 2000 Puebla, Pue. Febrero 2000. p.p. 126-130.
5. Gamboa F., Pérez J.L., Gálvez D., Lara F., Miranda A., Cabiedes F. "Las Dudas y La Interacción En Primera Persona Como Estrategias Efectivas En El Software Educativo" Memoria SOMI XVI Congreso Nacional de Instrumentación SOMI. 2001. Querétaro. SOMI. 2001 Edición Digital (2001) DIDAC 1-1.1

6. Gamboa F., Pérez S. J.L., Lara F., Caviedes F., Miranda A. "A Student Centered Methodology for the Development of a Physics Video Based Laboratory". *Interacting with Computers*. v. 13 No. 5 2001 pp 527-548.
7. Gamboa F., Pérez S. J.L., Lara F., Caviedes F., Miranda A. "Creating a High School Physics Video-Based Laboratory". *IEEE Multimedia* V. 8 No. 3 2001 pp 78-86.
8. Juárez J.L., Gamboa F., Pérez, J.L. Cabiedes F., Miranda A. "Diseño de Paseos Virtuales" Memoria Encuentro de Multimedia Universitarios: hacia la Asociación. México. Edición Digital (2001)
9. Juárez J.L., Gamboa F., Pérez J.L., Lara F., Cabiedes F., Miranda A. "Paseos Virtuales Para Un Tutor De Física" Memoria SOMI XVI Congreso Nacional de Instrumentación SOMI. 2001. Querétaro. SOMI. 2001 Edición Digital (2001) DIDAC 2-1
10. Lara F., Gamboa F., Pérez Silva J.L., Kemper N., Barojas J., Sierra G., Miranda A., Pérez R., Caviedes F.. "Sistema Inteligente Computarizado para el Aprendizaje Conceptual e Interactivo de la Física a Nivel Bachillerato". Memoria SOMI XV Congreso Nacional de Instrumentación SOMI. 2000, Guadalajara. SOMI. 2000 Edición Digital (2000) CIB-8
11. Pérez, A.I. Miranda, A. Garcés, N. Lara. "Hypertexto de Física". SOMI XIII Congreso de Instrumentación. Ensenada BCN Mex. Octubre 1998.
12. Pérez-S. J.L., Miranda, A. I. "Enciclopedia de la Física". Edición Digital CI-UNAM 2000.
13. Pérez S. J.L., Miranda A., Gamboa F., Caviedes F., Garces A., Lara N. "Physics Hipertext". Conielectrocomp 2000 Puebla, Pue. Febrero 2000. p.p. 131-135
14. Pérez S. J.L., Miranda A., Gamboa F., Caviedes F., Garcés A., Lara N. "Multimedia Physics Course". *Instrumentation and Development*. 2000. v.4 n.4. p.p.37-45
15. Pérez S. J.L., Miranda A., Gamboa F., Lara F., Caviedes F., Garces A., Lara N. "A multimedia Based Physics Tutorial". *Advances in Multimedia and Distance Education*. Editor George E. Lasker. Published by International Institute for Advanced studies in Systems Research and Cybernetics. 2000 (en prensa).