

# El laboratorio de Física asistido por computadoras. Experiencias y proyección de su uso para una contribución más efectiva a la formación profesional de los ingenieros.

Arcelio A. Hernández Ferreira, PhD, Profesor.

Departamento de Física, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cienfuegos, Cuba [archdez@ucf.edu.cu](mailto:archdez@ucf.edu.cu)

*Abstract– Se presentan los resultados de la labor investigativa dedicada a las tareas técnico-experimentales y didácticas realizadas para perfeccionar las prácticas de laboratorio asistidas por la computadora. Los primeros elementos tecnológicos que soportan este tipo de práctica se recibieron hace unos años por las universidades cubanas y se comenzaron a introducir paulatinamente en los sistemas de prácticas de laboratorio de la disciplina Física. Precisamente, para lograr esta introducción fue necesario un proceso de asimilación de la tecnología y de su evaluación para posteriormente proponer su uso más eficiente y con mayor impacto en la formación del profesional tal y como se recoge en el presente trabajo.*

*En 12 trabajos de laboratorio con el uso del sistema HPCI-1 se ha introducido alguna mejora, ya sea al menos en la forma de procesar los datos obtenidos en el montaje propuesto por los fabricantes. En otros se ha introducido algún elemento adicional a los circuitos que proponen y de nuevo hemos variado el tratamiento de los datos obtenidos. Para un tercer grupo se usa alguno de los montajes con otros propósitos más abarcadores, ampliando el alcance y los objetivos de la práctica.*

*En todos los casos se exponen las ventajas en el aumento de la exactitud y de la precisión al determinar las diferentes magnitudes, del grado de repetitividad y de la confiabilidad de las prácticas. Asimismo, se ilustra cuánto puede lograrse en el nivel de profundidad de los contenidos más acordes a los conocimientos de matemática del nivel universitario. Estos elementos, junto a la contribución a habilidades profesionales específicas del ingeniero, permiten asegurar que los estudiantes reciben una formación profesional más completa.*

*Keywords-- laboratorios asistidos por computadoras, prácticas de Física, formación profesional del ingeniero*

## I. INTRODUCCIÓN

Desde hace más tres décadas se ha venido manifestando como una tendencia en la formación de los ingenieros que “la contribución de la Física no se agota con la formación del cuadro físico del universo que presupone la comprensión de diversos fenómenos que se dan en la naturaleza o la fundamentación de la tecnología del mundo contemporáneo, sino que debe incidir al mismo tiempo en el desarrollo de las habilidades profesionales que tipifican los modos de actuación del ingeniero” [1].

Por otra parte, cada día es más frecuente el empleo de los sistemas automatizados para el control de los procesos tecnológicos en el entorno de trabajo de los ingenieros. Estos se caracterizan por el uso de sensores para la medición de magnitudes que determinan los parámetros tecnológicos de los procesos y el procesamiento de las señales de los mismos con

software especializados que brindan la información necesaria para la oportuna y certera toma de decisiones.

La introducción de tales sistemas en las prácticas de laboratorio haría una contribución sustancial al desarrollo de estas habilidades profesionales de los ingenieros.

Las prácticas de laboratorio asistidas por computadoras son el resultado de un proceso de evolución de las mediciones de las magnitudes físicas producto del desarrollo tecnológico y ha implicado un cambio sustancial hasta en lo que se entiende por realizar una medición. Se pueden identificar al menos tres etapas asociadas con la evolución de los instrumentos de medición:

- La etapa de los instrumentos analógicos (con indicadores de aguja, varias escalas con sensibilidades distintas, impedancias de entrada no siempre altas y clases de acuerdo a su calidad, etc.)

- La etapa de los instrumentos digitales (en gran parte resuelven el problema de la impedancia de entrada y la estimación en las mediciones. Algunos aún conservan las escalas múltiples, pero la precisión de cada una se auto establece. Los más recientes se hacen autoajustables).

- La etapa del uso de los sensores, el desarrollo de interfaces para adecuación de las señales y su conexión a la computadora. Desarrollo de software para la adquisición y procesamiento de los datos adquiridos de los sensores.

En las prácticas de laboratorio asistidas por computadoras los sensores de medición se intercalan en los montajes experimentales para efectuar las mediciones de las magnitudes físicas necesarias, se conectan a la computadora a través de una interfaz que realiza la adecuación de la señal proveniente del sensor. En la computadora se ejecuta un programa que guía el proceso de efectuar las mediciones y finalmente las procesa y presenta en la forma conveniente. Todo esto está debidamente integrado en un sistema.

Los sistemas asistidos por computadoras trajeron una significativa simplificación de todo el proceso de realización de las mediciones y el procesamiento de las mismas y de forma general han aumentado la exactitud y precisión de las mediciones. Sin embargo, en la mayoría de los casos las prácticas de laboratorio asistidas por computadoras propuestas por los fabricantes de equipos de laboratorio requieren ser modificadas para atemperarlas a nuevas exigencias del proceso de aprendizaje. Como una regularidad se observa que al ejecutar los mencionados montajes lo que se ha conseguido es acomodar a los estudiantes que siguen una rutina de pasos (a lo que se ha reducido el proceso de medición) y que cuando analizan los resultados llegan a las mismas conclusiones que

cuando la práctica se hacía de forma manual y reiteran los mismos niveles de conocimiento que en el nivel de enseñanza precedente.

Desde nuestro punto de vista las prácticas de laboratorios asistidas por computadoras deben modificar las habilidades a desarrollar durante las mismas. A diferencia de las prácticas convencionales, ahora el énfasis ya no es sobre las habilidades experimentales y la manipulación de instrumentos de medición (que prácticamente no está presente) sino que es preciso desarrollar otras habilidades intelectuales como el análisis, la inducción, la generalización, la síntesis, etc., a la par que se contribuye a una habilidad profesional específica relacionada precisamente con el uso de este tipo de sistema en entornos productivos.

Precisamente, en nuestro trabajo ampliamos las posibilidades del sistema HPCI-1 que poseen las universidades a partir de:

- Modificar los trabajos de laboratorio de tipo cualitativos que están planteados por los fabricantes de forma que pudieran incluir cálculos cuantitativos.
- Introducir nuevos trabajos de laboratorio con el uso de los elementos de los circuitos que posee y complementándolos con algunos elementos o equipos del laboratorio.
- Diseñar nuevos trabajos de laboratorio con el uso de otros equipos existentes en los laboratorios de Física, pero usando las facilidades de algún trabajo previsto en el sistema HPCI-1.

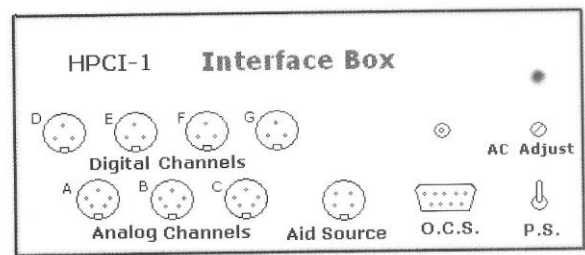
De esta forma nos aproximamos al objetivo de hacerlos más eficiente en la formación profesional del ingeniero.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

Dados los objetivos propuestos, el trabajo está concebido a partir del uso del sistema asistido por computadoras HPCI-1 [2], [3] adquirido por el Ministerio de Educación Superior de Cuba para las universidades y complementado por algunos otros equipos del laboratorio. Se realizó un análisis profundo de las posibilidades del sistema a partir del estudio de los manuales que lo acompañaban y de la realización de los trabajos conforme a los mismos.

El HPCI-1 es la Versión 4.0 de la empresa china U-Star Sensor Technology Co., Ltd. Es un Sistema de Prácticas de Laboratorio de Física Asistido por Computadoras (Computer Aided Physics Laboratory).

Básicamente consta de una interfaz, un conjunto de circuitos donde se insertan los sensores y los cuales reciben alimentación de la interfaz y un surtido de sensores para determinar diferentes magnitudes físicas (voltaje, presión, campo magnético, intensidad luminosa, etc.). La interfaz (figura 1) es la encargada de acondicionar las señales eléctricas analógicas y digitales proveniente de los sensores para su ingreso a la computadora, pero también suministra señales eléctricas AC y DC de determinados niveles para trabajos específicos con los circuitos del sistema.



- A: Gain=1, 10, 100, 500; Differential input
- B: Gain=1
- C: Gain=1
- D, E, F, G: Resolving Power 1.45  $\mu$ s

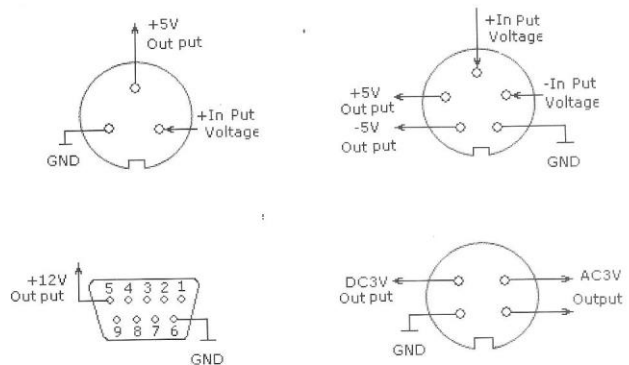


Fig. 1. Panel frontal de la interfaz del sistema HPCI-1 y detalles de sus entradas

El sistema se acompaña con un software que se instala en el computador que permite seleccionar en un menú el experimento (figura 2), efectuar las mediciones previstas para dicho trabajo, realiza un procesamiento estadístico de las mismas y brinda los resultados de forma conveniente para su análisis. En cada experimento tiene un sistema de ayuda que ofrece una explicación básica de su fundamento y de la forma de efectuar las mediciones. Para algunos experimentos el sistema tiene la posibilidad de exportar los resultados a EXCEL.

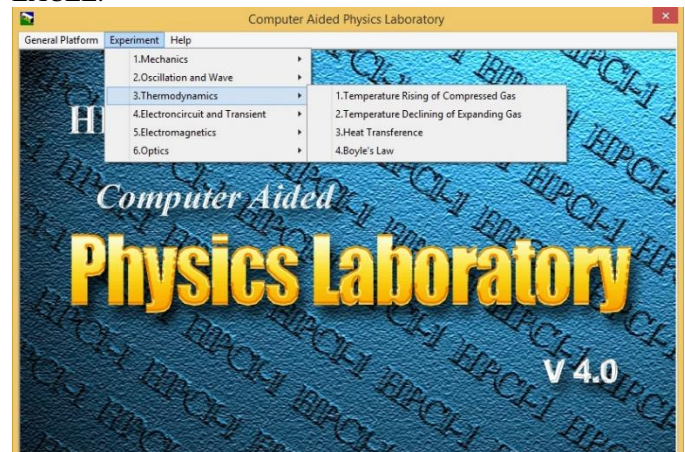


Fig. 2. Aspecto de la pantalla principal del software del sistema HPCI-1 mostrando el menú de experimentos.

Con la configuración estándar, que incluye 17 sensores, un banco óptico con un láser semiconductor, una pista de aire con su soplador, 4 circuitos y algunos accesorios, se pueden realizar 49 trabajos de laboratorio distribuidos por las siguientes temáticas: Mecánica 16, Oscilaciones y Ondas 7, Termodinámica 4, Circuitos electrónicos y transientes 11, Electromagnetismo 7 y Óptica 4. Aparte de estos experimentos tiene una plataforma general de mediciones (figura 3) que permite diseñar y efectuar otros trabajos complementarios usando sus facilidades.

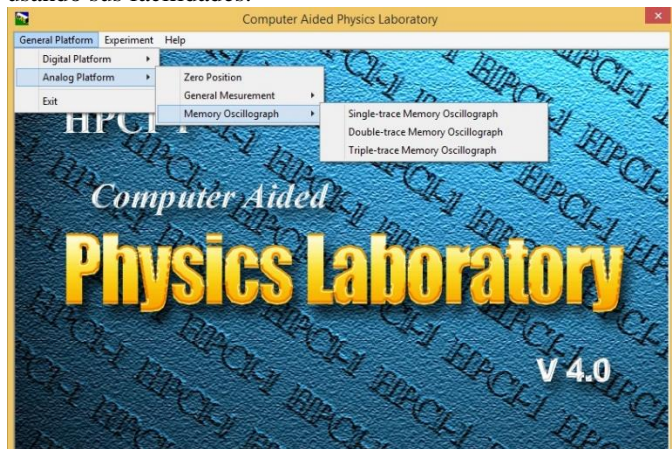


Fig. 3. Aspecto de la pantalla principal del software del sistema HPCI-1 mostrando el menú de la plataforma general.

En la tabla I aparecen los equipos y accesorios adicionados al sistema HPCI-1 para cada una de las prácticas que fueron modificadas.

TABLA I  
Equipos u accesorios adicionados al HPCI-1

Práctica de laboratorio	Equipos u accesorios adicionados al HPCI-1
Ley de Boyle	Fuelle metálico de volumen variable, recipiente para contenerlo y termómetro
Oscilaciones electromagnéticas versión 1	Cajas decádica de resistencias y condensadores, bobinas solenoides.
Choques en una dimensión	Imanes permanentes y plastilina
Momento de inercia	Equipo básico con cruceta de varillas y masas desplazables por estas
Ondas sonoras estacionarias	Equipo completo para obtener ondas sonoras estacionarias
Estudio de circuitos de CA	Generador de señales, cajas decádica de resistencias y condensadores
Constante de Planck con leds	Diodos leds transparentes de diferentes longitudes de onda, espectrómetro de red, fuente DC
Oscilaciones electromagnéticas versión 2	Caja decádica de resistencias
Isocronismo del péndulo simple	Cubeta plástica transparente con electrodos.
Determinación de la aceleración gravitatoria con el péndulo	Hilos casi inextensibles con densidad lineal de masa muy pequeña
Segunda ley de Newton	Hilo casi inextensible de densidad lineal de masa muy pequeña

**Digital Object Identifier:** (to be inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).

Se empleó la hoja de cálculo EXCEL de Microsoft para el procesamiento de los resultados experimentales.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado del trabajo se implementaron nuevos montajes que permiten verificar experimentalmente fenómenos y leyes que antes no se podían mostrar y de esta manera se ha ampliado la cobertura que brindan las prácticas a los programas de las asignaturas, tanto en el sistema de conocimientos como en el de habilidades [4], [5]. En el proceso de incorporación del nuevo equipamiento se priorizaron aquellos dedicados a contenidos que no tenían un soporte experimental o que era factible de mejorar. A continuación, ofrecemos la relación de las prácticas perfeccionadas con los elementos nuevos que pueden alcanzarse. Se hace mayor énfasis y se brindan más detalles en 5 de ellas.

1) Estudio de las oscilaciones electromagnéticas libres en el circuito RLC: un tratamiento combinando mediciones experimentales y cálculos computarizados. En esta ocasión se empleó la plataforma general de mediciones del HPCI-1 con los sensores conectados a elementos circuitales existente en el laboratorio y el lenguaje de programación MatLab. Se pudieron mostrar los tres casos de amortiguamiento y verificar las condiciones para la ocurrencia de los mismos, cuestión casi nunca tratada en el laboratorio y poco en las clases teóricas.

2) Implementación de una práctica de laboratorio sobre conservación de la cantidad de movimiento lineal durante los choques unidimensionales. En este caso se verificó experimentalmente la conservación de la cantidad de movimiento lineal durante los choques elásticos e inelásticos, así como la conservación de la energía cinética durante los choques elásticos y la no conservación de la misma durante los inelásticos. Los resultados obtenidos al comparar con los previstos teóricamente son muy buenos. A su vez, al comparar con los resultados de esta práctica realizada con contadores para medir las velocidades, estos son mucho mejores.

3) Recuperación de un equipo de laboratorio para la determinación del momento de inercia [6]. En este caso se buscó una alternativa para realizar las mediciones de tiempo del movimiento en un conjunto perteneciente a un equipo discontinuado usando el sistema HPCI-1. Los resultados fueron muy satisfactorios y de esta manera disponemos de dos equipos con principios diferentes para el mismo propósito.

4) Implementación de una práctica de laboratorio sobre dinámica de la partícula. En este caso el montaje permite verificar la segunda ley de Newton del movimiento a partir de mostrar la relación lineal entre los elementos de la ecuación fundamental de la dinámica de la traslación. Se realizó un procesamiento alternativo al propuesto por los fabricantes. Los resultados son muy convincentes.

5) Implementación de una práctica de laboratorio para el estudio de las ondas estacionarias. En este caso se retoma un montaje dedicado al estudio de las ondas mecánicas y en particular de las ondas estacionarias para medir la velocidad del sonido en el aire. Mediante un sensor acústico se pueden

observar las intensidades de la onda sonora poder determinar con mayor precisión la ubicación de los nodos y antinodos de dicha onda. Los resultados fueron excelentes.

6) Implementación de una práctica de laboratorio para determinar la constante de Planck usando la luminiscencia por inyección en diodos emisores de luz. En este caso se trata de una alternativa a la práctica sobre efecto fotoeléctrico externo para hallar  $h$ . Se hace uso de las facilidades del HPCI-1 en la construcción de características I-V de dispositivos, en este caso de diodos LEDS y se combina con la medición de la longitud de onda emitida por los mismos en un espectrómetro. Los resultados se compararon incluso con los obtenidos en un equipo profesional y son muy buenos [7].

7) Comprobación experimental de la ley de Boyle para los gases. Se combinaron elementos de un montaje proveniente de la URSS y los sensores de presión del sistema HPCI-1 (Fig. 4 a). Se pudo verificar el cumplimiento de la ley de Boyle e incluso para cuáles condiciones de temperatura y presión los resultados obtenidos para el aire como gas real empiezan a desviarse del comportamiento ideal (Fig. 4 b). El número de mediciones efectuado fue muy superior al previsto en el montaje del sistema HPCI-1 y se pudo variar la temperatura del ensayo.

8) Tratamiento combinado de mediciones experimentales y cálculos computarizados para el estudio de las oscilaciones electromagnéticas libres en el circuito RLC [8]. Aquí se empleó un trabajo previsto en el manual del HPCI-1 con el circuito propuesto para el caso infra amortiguado, pero se le adicionó una caja de resistencias decádica para poder obtener los otros dos casos de amortiguamiento. Se pudo obtener el valor de la inductancia y la resistencia de la bobina y con el valor de la capacidad del condensador verificar las condiciones de los tres casos de amortiguamiento (ver Fig. 5). En este caso se usó el lenguaje de programación Wolfram Mathematica para los cálculos computarizados.

9) Ampliación en el uso del Laboratorio de Física Asistido por Computadora HPCI-1 para el estudio de circuitos de corriente alterna. En este caso se hacen mediciones cuantitativas del desfase introducido por elementos capacitivos e inductivos en circuitos de corriente alterna primero por separado y luego integrados para ilustrar las características de este desfase con la prevalencia de uno u otro (Fig. 6). Finalmente se muestra el fenómeno de la resonancia de corriente, de tremenda importancia práctica [9]. Este montaje permite durante una sesión de trabajo en el laboratorio, abarcar todos estos aspectos de los circuitos de CA, algo inusual en los laboratorios convencionales.

10) Registro eléctrico de las oscilaciones mecánicas, ventajas para el estudio de los casos más generales. A partir de un trabajo previsto en el manual del HPCI-1 se obtuvieron los registros de las variaciones del potencial eléctrico con el tiempo correspondientes a las posiciones de los cuerpos integrantes de tres péndulos simples que poseían diferentes masas para una longitud de 1 m. como se muestra en la figura 7 a. Se procesaron los valores de las amplitudes en los diferentes instantes de

tiempo, de dichos datos se obtuvieron los coeficientes de amortiguamiento de las esferas para el aire (figura 7 b) y se evidenció la influencia de la masa de los cuerpos en el mismo (Tabla III). Con la variante empleada, el trabajo de laboratorio va más allá del estudio tradicional restringido a las oscilaciones armónicas sin presencia de fuerzas de fricción, típico del nivel de enseñanza medio [10]. Este trabajo prepara al estudiante para realizar futuros trabajos de laboratorio referidos a otros tipos de oscilaciones, como las electromagnéticas.

11) La evolución de los instrumentos de medición de las magnitudes físicas y su influencia en los resultados de las prácticas de laboratorio de Física. Caso del péndulo simple. Con este trabajo se evidencia y de esta manera se justifica el uso de los sistemas asistidos por computadoras en las prácticas de Física. A través del estudio del péndulo simple se demuestra el aumento de la exactitud y precisión de los resultados cuando las mediciones se hacen con tales facilidades [11].

12) Propuesta para la práctica de laboratorio estudio del péndulo simple usando un sistema asistido por computadora. Se fundamenta la propuesta de un montaje en el cual se realizan las mediciones y el procesamiento para tres sistemas que difieren en su masa y se pide el análisis de los resultados y su discusión a la luz de casos más generales de oscilación que no corresponden sólo con el armónico simple. Se ilustran las posibilidades de desarrollar nuevas habilidades intelectuales en los estudiantes a partir de evaluar críticamente los resultados.

En todos los casos se eleva la precisión con que se determinan las magnitudes necesarias para obtener los resultados previstos en las prácticas. A manera de resumen en la tabla II se muestran los resultados obtenidos para 10 de los montajes. Los errores relativos de las magnitudes a determinar experimentalmente resultan bajos comparados con los valores teóricos de referencia. De igual manera, en los casos de dependencias lineales los valores de los coeficientes  $R^2$  del ajuste por el método de los mínimos cuadrados eran siempre muy cercanos a 1.

#### IV. CONCLUSIONES

Las prácticas de laboratorio asistidas por computadoras propuestas por los fabricantes de equipos tienen que ser remodeladas para que sean eficaces en la formación profesional de los ingenieros.

Las prácticas propuestas permiten ir más allá en el conocimiento y las habilidades de los estudiantes y superar el alcance del nivel de asimilación respecto al nivel precedente. Las posibilidades tecnológicas de estos sistemas permiten mostrar aspectos más profundos acordes a las herramientas matemáticas propias del nivel superior.

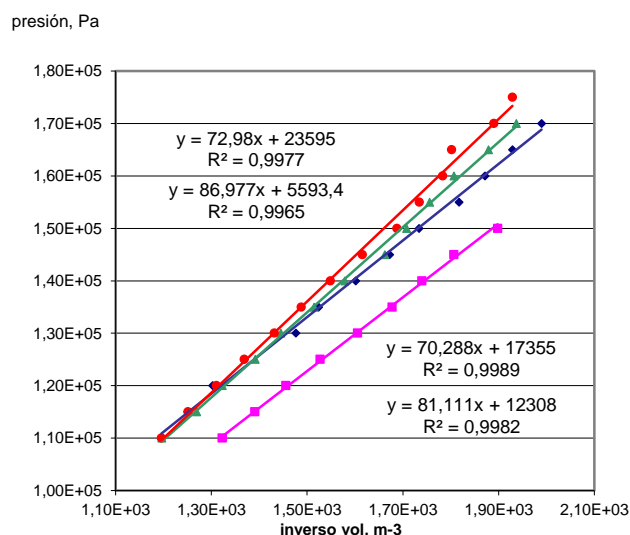
Hay que modificar el énfasis que no es sobre las habilidades experimentales y la manipulación de instrumentos de medición, sino sobre el desarrollo de otras habilidades intelectuales como el análisis, la inducción, la generalización, la síntesis, etc., a la par que se contribuye a una habilidad profesional específica relacionada precisamente con el uso de este tipo de sistema por los ingenieros en entornos productivos.

TABLA II.  
Resultados experimentales obtenidos para 10 de los montajes

Título de la práctica		Coefficiente R <sup>2</sup>	Coeficiente de amortiguamiento	
Registro eléctrico de las oscilaciones mecánicas		0,992	0,0061 (esfera acero)	
		0,9839	0,0088 (esfera aluminio)	
		0,9837	0,034 (esfera madera)	
Título de la práctica	Coefficiente R <sup>2</sup>	Error relativo	Valor de la aceleración gravitatoria	
Estudio del péndulo simple. Influencia de los instrumentos de medición	0,991	2,1 %	9,99 m/s <sup>2</sup> (analógico)	
	0,9979	1,0 %	9,88 m/s <sup>2</sup> (digital)	
	0,9996	0,0078 %	9,78 m/s <sup>2</sup> (interfaz)	
Título de la práctica		Error relativo	Velocidad del sonido	
Estudio de ondas sonoras estacionarias		2,3 %	340,10 m/s	
Título de la práctica	Caso estudiado		Error absoluto	
Conservación de la cantidad de movimiento lineal durante los choques unidimensionales.	Choque plástico un cuerpo en reposo y otro en movimiento de diferentes masas		0,0048	
	Choque plástico un cuerpo en reposo y otro en movimiento de igual masa		0,0043	
	Choque elástico un cuerpo en reposo y otro en movimiento de igual masa		0,0018	
	Choque elástico un cuerpo en reposo y otro en movimiento de igual masa		0,0035	
	Choque plástico un cuerpo en reposo y otro en movimiento de igual masa		0,0028	
	Choque elástico un cuerpo en reposo y otro en movimiento de diferentes masas		0,0021	
	Choque elástico ambos cuerpos en movimiento a su encuentro de igual masa		0,0024	
Título de la práctica		Coefficiente R <sup>2</sup>	Masa del cuerpo	
Dinámica de la partícula. Verificación de la segunda ley de Newton.		0,999	0,649	
		0,985	0,215	
Título de la práctica	Caso estudiado	Momento de inercia	Error relativo	
Determinación del momento de inercia	Dos varillas y dos pesas	0,02330 kg.m <sup>2</sup>	10,66	
	Cuatro varillas y cuatro pesas	0,04120 kg.m <sup>2</sup>	0,45	
Título de la práctica	Valor experimental de la resistencia que conduce al caso crítico	Error relativo		
Circuito RLC. Versión 1	77 Ω	5,2 %		
Título de la práctica	Coefficiente R <sup>2</sup>	Coeficiente de amortiguamiento		
Oscilaciones libre circuito RLC. Versión 2	0,9982	36,4		
	Valor experimental de la resistencia de la resistencia que conduce al caso crítico		Error relativo	
	1700 Ω		3,6 %	
Título de la práctica	Valor de la constante de Planck	Error relativo	Coeficiente R <sup>2</sup>	
Constante de Planck con leds	7,0x10 <sup>-34</sup> J.s	5,2%	0,9804	
Título de la práctica	Valores de la capacidad y la inductancia		Coeficiente R <sup>2</sup>	
Ampliación del uso del HPCI-1 para estudio de circuitos de CA	0,5 μF		0,9992	
	0,485 mH		0,9943	

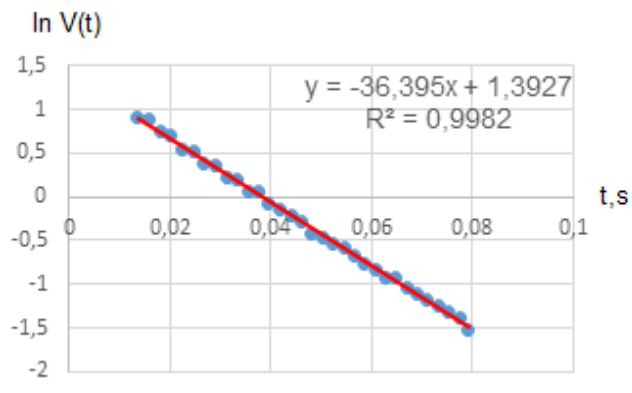
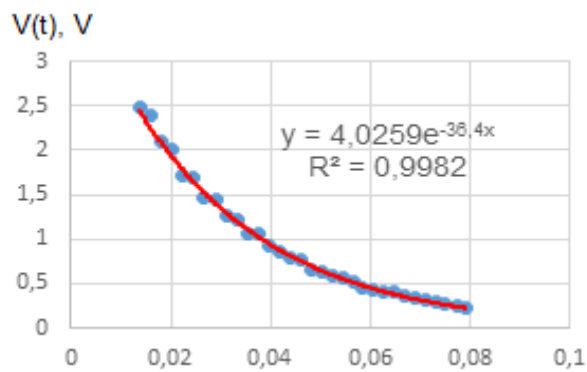


(a)



(b)

Fig. 1. (a) Aspecto del montaje para la comprobación de la ley de Boyle mostrando el fuelle metálico y el sensor de presión conectado a la interfaz. (b) Gráficas de la dependencia lineal de la presión respecto al inverso del volumen a temperatura constante para el aire.



(a)

(b)

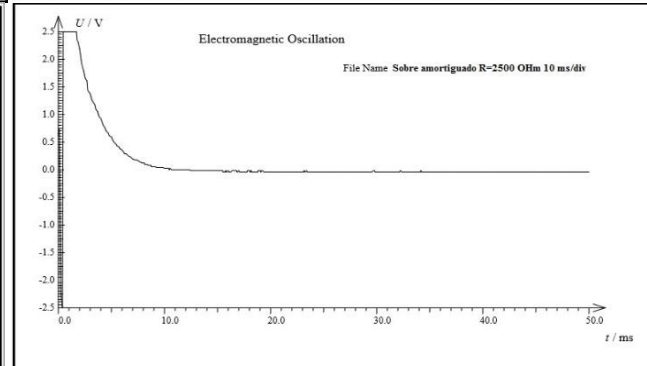
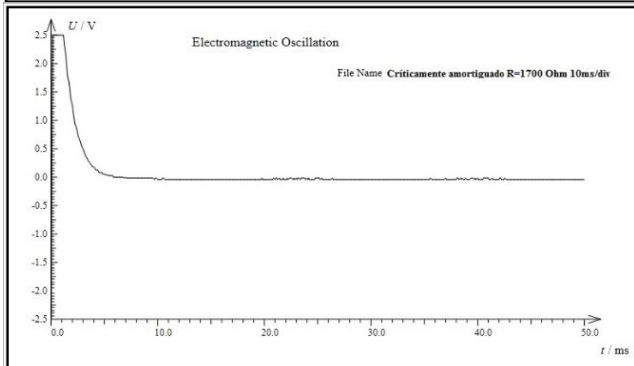
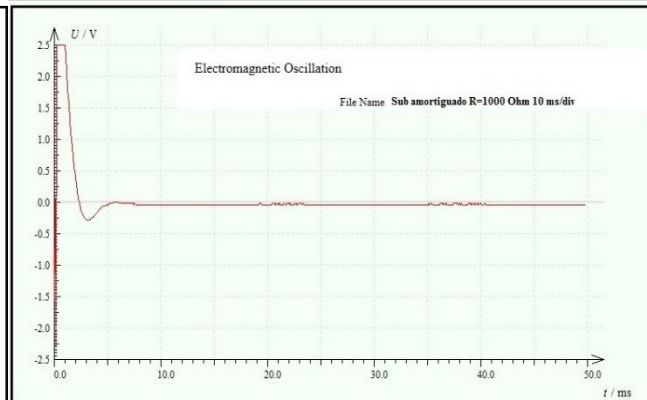
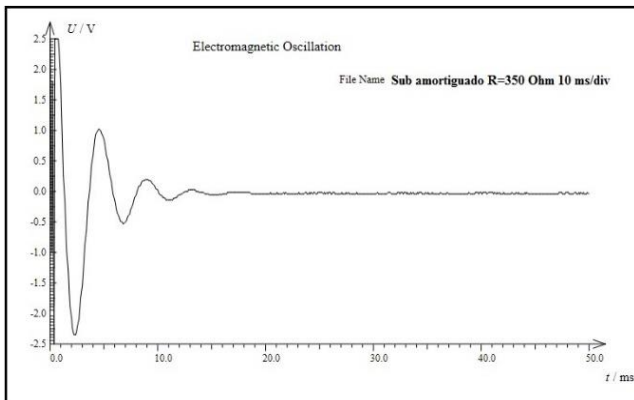
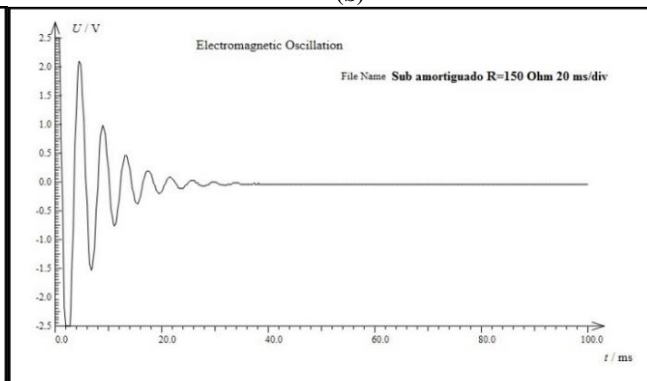
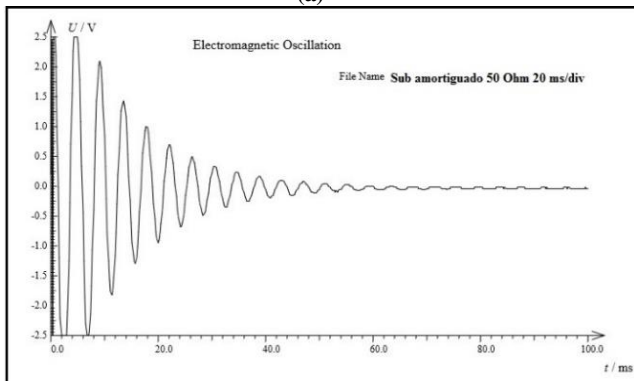
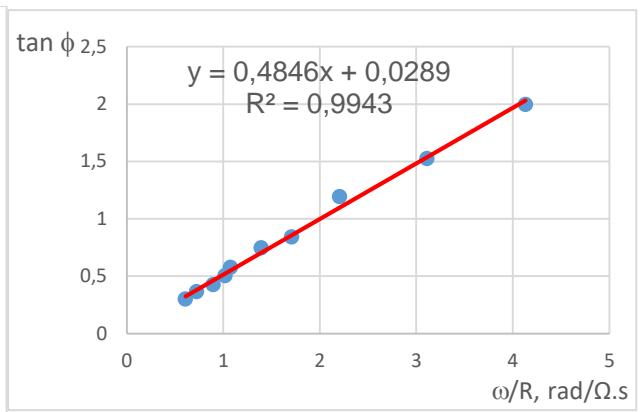
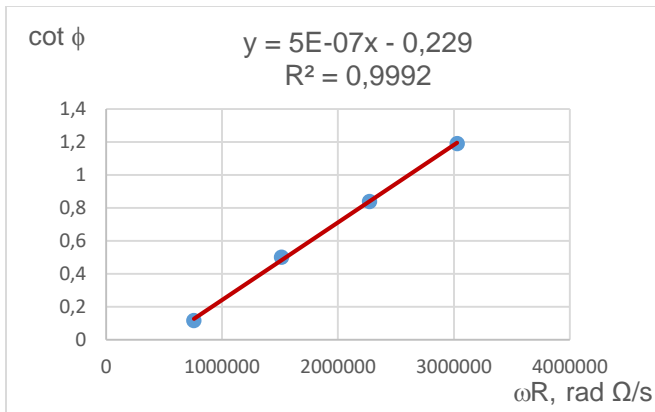


Fig. 2 Gráfica del ploteo de los valores del voltaje en el condensador (a) y de su logaritmo natural (b) para diferentes instantes del tiempo en el caso amortiguado. Las seis figuras restantes que aparecen debajo muestran el registro del voltaje en el condensador con el tiempo al variar la resistencia del circuito RLC. Las cuatro primeras corresponden al caso infra amortiguado y se evidencia el proceso de desaparición de las oscilaciones al aumentar la resistencia. La quinta corresponde al caso críticamente amortiguado y la sexta al caso sobre amortiguado.



(a)

(b)

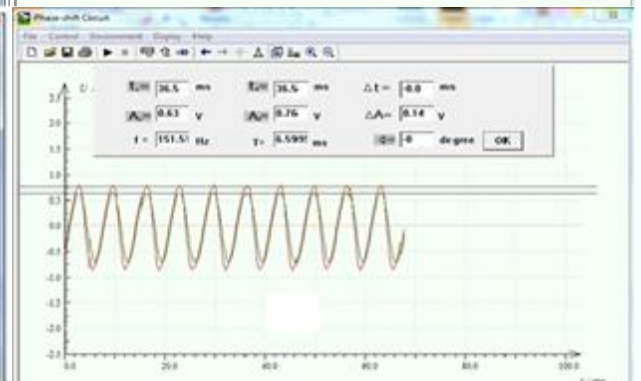
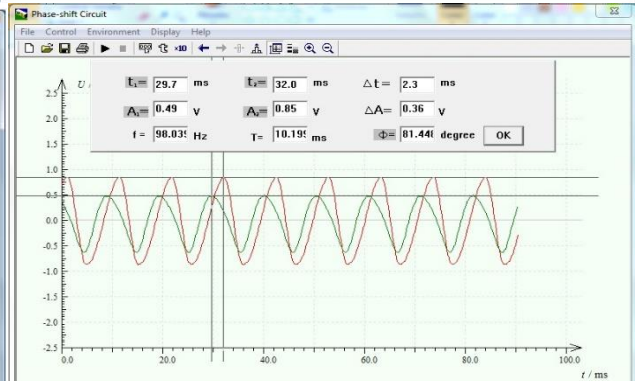
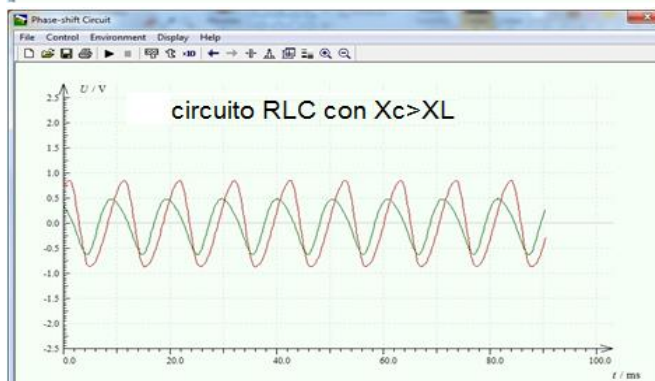
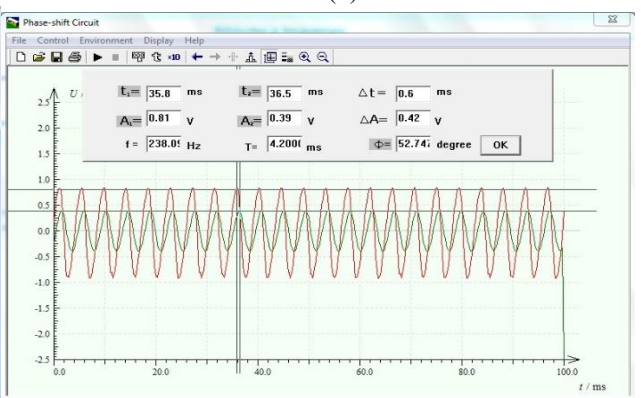
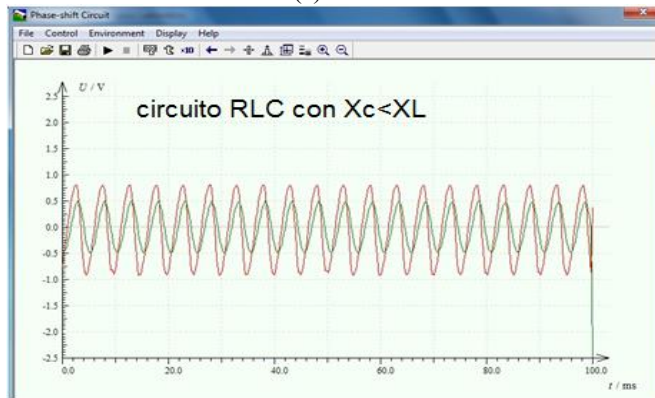
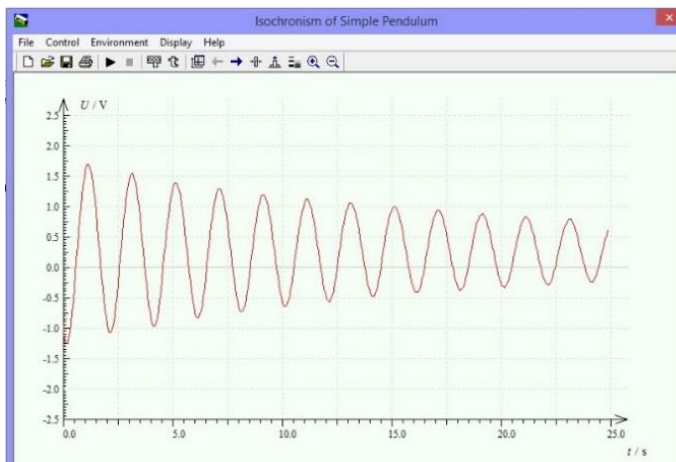
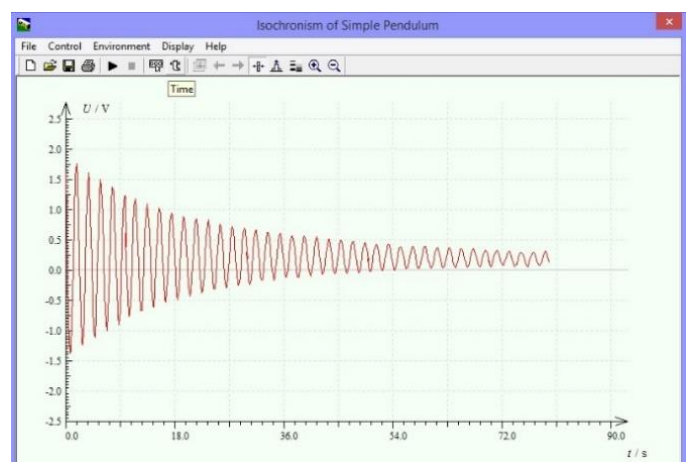


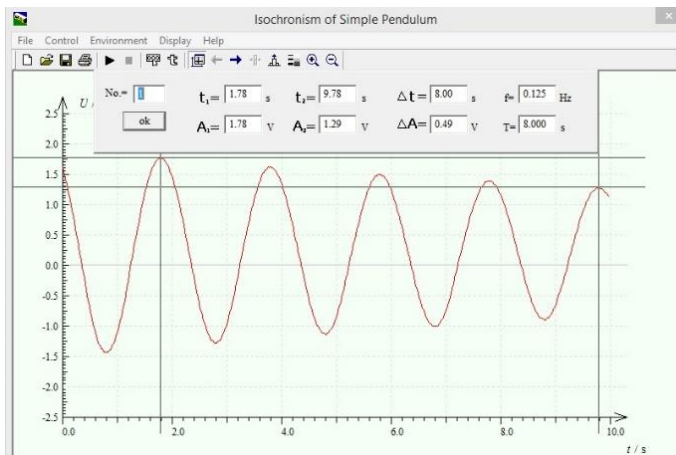
Fig. 3 (a) Gráfica de la cotangente del ángulo de desfasaje contra  $\omega R$  para el circuito RC. (b) Gráfica de la tangente del ángulo de desfasaje contra  $\omega/R$  para el circuito RL. Las seis gráficas restantes muestran los voltajes de la fuente y de la resistencia para los casos en que hay predominio de efectos inductivos, capacitivos y balance entre ellos (a la izquierda) y las mediciones del desfasaje entre ambas señales con la herramienta Analyze del HPCI-1 para dichos casos (a la derecha).



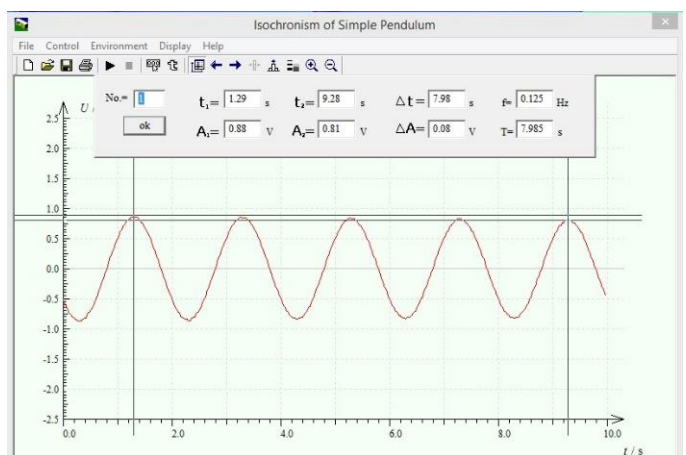
(a)



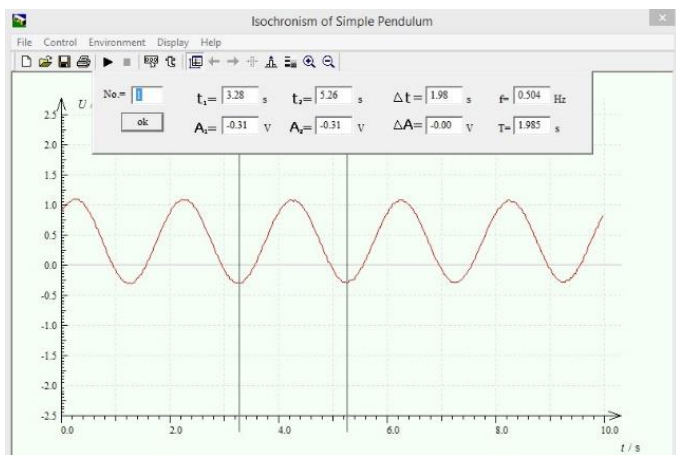
(b)



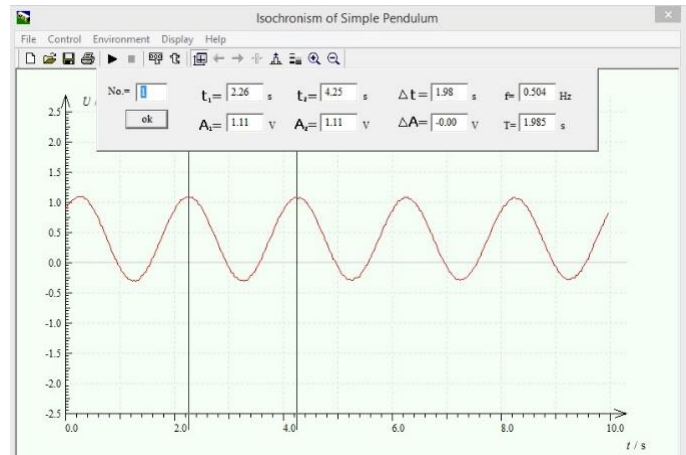
(c)



(d)



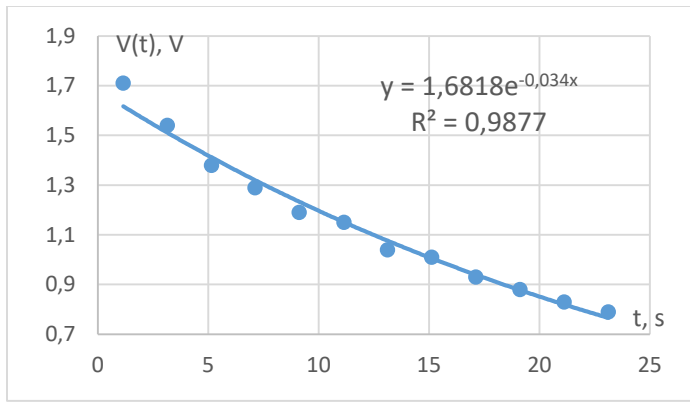
(e)



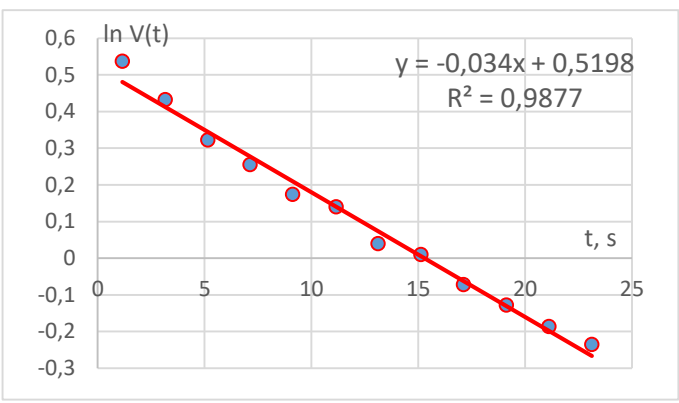
(f)

Fig. 4. Registro eléctrico de las oscilaciones de un péndulo simple. Gráficas del voltaje correspondiente a las posiciones del péndulo para tiempos de registro de (a) 25 s. (b) 90 s. Para tiempos de registro de 10 s se muestran las mediciones del intervalo de tiempo usando la herramienta Analyze en los casos de esfera de madera (c), esfera de aluminio (d) y esfera de acero (e) y (f).

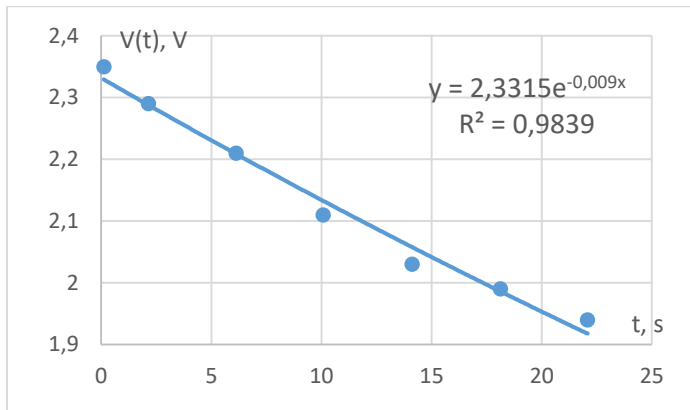




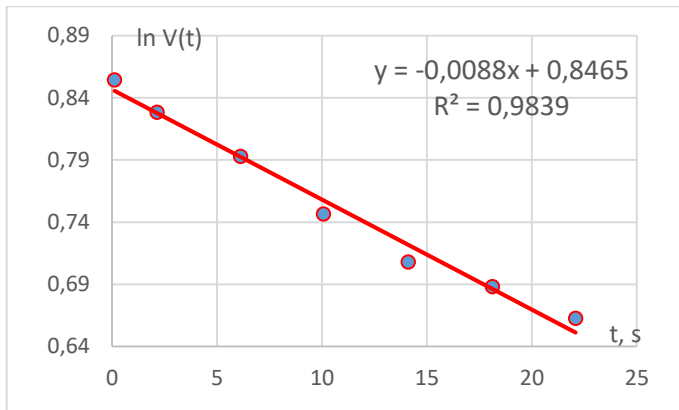
(a)



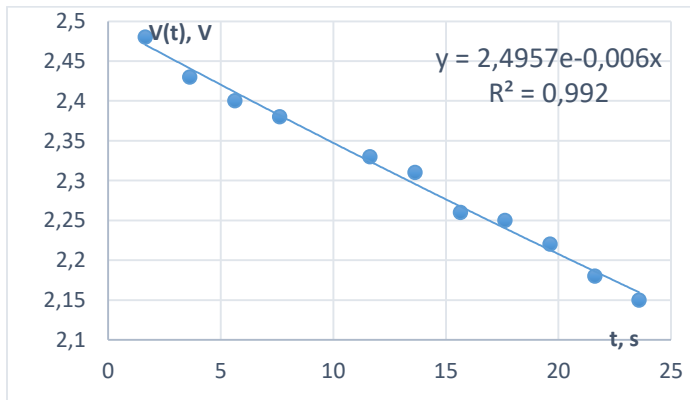
(b)



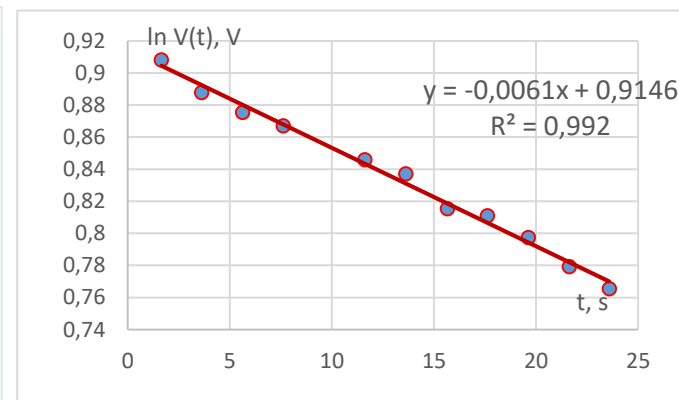
(c)



(d)



(e)



(f)

Fig. 5. Gráficas de  $V(t)$  y  $\ln V(t)$  contra tiempo para los péndulos con esferas de diferentes masas, mostrando las ecuaciones de ajuste de las cuales se obtienen los coeficiente de amortiguamiento  $\gamma$  y el coeficiente  $R^2$ . (a) y (b) esfera de madera  $m=2,4$  g. (c) y (d) esfera de aluminio  $m=9,8$  g. (e) y (f) esfera de acero  $m=26,9$  g.

TABLA III.  
Valores de  $\gamma$ ,  $\gamma^2$ ,  $\omega/\omega_0$  y  $e^{-\gamma t}$  para 90 s para los tres péndulos.

Masa, g	$\gamma$ , $s^{-1}$	$\gamma^2$ , $s^{-2}$	$\frac{\omega}{\omega_0}$	$e^{-\gamma t}$ para 90 s
26,9	0,0061	0,00003721	0,999998098	0,577527049
9,8	0,0088	0,00007744	0,999996041	0,452938013
2,4	0,034	0,001156	0,999940898	0,046887695

## REFERENCES

- [1] C. M. Álvarez de Zayas. Tendencias en la Enseñanza de la Física para ingenieros en Cuba. *Revista Cubana de Educación Superior*, vol. 5, no. 1, pp. 29-38. 1986
- [2] HPCI-1 Computer Aided Physics Laboratory. Experiment Manual. Version 4.0. U-Star Sensor Technology Co., Ltd.
- [3] HPCI-1 Computer Aided Physics Laboratory. Application Manual. Version 4.0. U-Star Sensor Technology Co., Ltd.
- [4] P. Horruitiner Silva. El Perfeccionamiento en el sistema de conocimientos en la Disciplina Física para estudiantes de Ingeniería. Tesis de Grado para Dr. en Ciencias Pedagógicas. ISPJAM. Santiago, Cuba. 1985.
- [5] H.C. Fuentes González. Perfeccionamiento del sistema de habilidades en la disciplina Física para estudiantes de Ciencias Técnicas. Tesis de Grado para Dr. en Ciencias Pedagógicas ISPJAM, Santiago de Cuba. 1989.
- [6] A. Hernández Fereira, A. Hernández Gessa. Evaluación de tres montajes experimentales para la práctica de laboratorio "Momento de inercia de un cuerpo rígido". *Lat. Am. J. Phys. Educ.* Vol. 5, No. 1, pp.183-191. March 2011.
- [7] A. Hernández Fereira, N. Borgiano Mikulenko. Implementación de una práctica de laboratorio para determinar la constante de Planck usando la luminiscencia por inyección en diodos emisores de luz. . En Memorias del IV Taller de Enseñanza de la Física. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba. Mayo 2017. ISBN 978-959-282-099-9.
- [8] A. Hernández Fereira, O. Espinosa Valdés. Tratamiento combinado de mediciones experimentales y cálculos computarizados para el estudio de las oscilaciones electromagnéticas libres en el circuito RLC. *Lat. Am. J. Phys. Educ.* Vol. 12, No. 3, pp. 3304-1-3304-7. Sept. 2018.
- [9] A. Hernández Fereira. Ampliación en el uso del Laboratorio de Física Asistido por Computadora HPCI-1 para el estudio de circuitos de corriente alterna. En Memorias del IV Taller de Enseñanza de la Física. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba. Mayo 2017. ISBN 978-959-282-099-9.
- [10] A. Hernández Fereira, O. Espinosa Valdés. Registro eléctrico de las oscilaciones mecánicas, ventajas para el estudio de los casos más generales. En Memorias del V Taller de Enseñanza de la Física. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba. Junio 2018. ISBN 978-959-207-618-1.
- [11] A. Hernández Fereira, G. Pérez Roque. La evolución de los instrumentos de medición de las magnitudes físicas y su influencia en la modalidad y resultados de las prácticas de laboratorio de Física. Caso del péndulo simple. En Memorias del V Taller de Enseñanza de la Física. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba. Junio 2018. ISBN 978-959-207-618-1.