

Design of a system of acquisition and data processing with the use of multisensors for university physics laboratories

Yubiry González^{*,a}, Jesús Pérez^b y Emery Dunia^b

^aPostgrado en instrumentación, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.

^bDepartamento de Ciencias Básicas, Universidad Politécnica Territorial del Estado Aragua Federico Brito Figueroa, Venezuela.

Abstract.- The design and construction of a data acquisition and data processing system with the use of multisensors for the execution of ten practical laboratory works that covers the curricular contents of basic physics at university level. The proposed system incorporates data acquisition and processing technologies through the use of multi-sensors (ultrasonic position sensor, voltage sensors, light intensity, temperature, mechanical bending and Hall effect) and a PIC 16F870 micro controller, attached to a USB communication interface. The design of automated practical experiences in the acquisition of signals and data processing, showed its effectiveness and versatility for the execution of practical experiences in the laboratories of university physics.

Keywords: data acquisition and processing systems; multisensors; physics laboratories.

Diseño de un sistema de adquisición y procesamiento de datos con el uso de multisensores para laboratorios de física universitarios

Resumen.- Se presenta el diseño y construcción de un sistema de adquisición y procesamiento de datos con el uso de multisensores para la realización de diez trabajos prácticos de laboratorio que abarcan los contenidos curriculares de la física básica a nivel universitario. El sistema propuesto incorpora las tecnologías de adquisición y procesamiento de datos mediante la utilización de multisensores (sensor ultrasónico de posición, sensores de voltaje, de intensidad lumínica, de temperatura, de flexión mecánica y de efecto Hall) y un micro controlador PIC 16F870, unido a una interfaz de comunicación USB. El diseño de las experiencias prácticas automatizadas en la adquisición de señales y procesamiento de datos, mostró su eficacia y versatilidad para la ejecución de experiencias prácticas en los laboratorios de Física universitarios.

Palabras claves: sistemas de adquisición y procesamiento de datos; multisensores; laboratorios de física.

Recibido: mayo 2017

Aceptado: diciembre 2017

1. Introducción

El desarrollo tecnológico de las últimas décadas se ha caracterizado por el auge de la globalización informática, la automatización y las telecomunicaciones; comúnmente conocidas como Tecnología de Información y Comunicación (TIC), teniendo un amplio impacto, reconocido mundialmente en el área de la ingeniería y la vida cotidiana. Aunado al desarrollo de las TIC se encuentra el empleo

sistemático y extendido de la automatización-control y adquisición-procesamiento de datos, mediante la tecnología de Microcontroladores, también conocidos como controladores de interfaz periférico, o por su acrónimo anglosajón PIC (Peripheral Interface Controller). La incorporación de estos desarrollos tecnológicos dentro del proceso de enseñanza – aprendizaje a nivel universitario trae de la mano, además, notables resultados que permiten acercar a los aprendices, desde la práctica, al uso de estos desarrollos [1].

La incorporación de la automatización y procesamiento de datos con el uso de microcontroladores en los laboratorios universitarios, sirve no solo para hacer más eficiente el procesamiento de datos y la ejecución de los ensayos sino también; y sobre

^{*}Autor para correspondencia:

Correo-e: Yubiry.gonzalez.17@gmail.com (Yubiry González)

todo; para capacitar a los futuros ingenieros en el manejo de las TIC, además de los sistemas automatizados basados en PIC.

Es conocido dentro de los laboratorios de física universitaria que la mayoría de las veces, emplean técnicas de muestreo, tabulación y procesamiento de datos en forma manual y la repetición continua de medidas de una misma situación física particular [2, 3]. El tiempo efectivo de “experimentación” para el estudiante se circunscribe al muestreo estadístico y la lectura visual de instrumentos de medición, soslayando la interpretación, análisis y variación de otros parámetros experimentales, dificultad que puede ser superada con la incorporación de sistemas automatizados y el uso de multisensores.

En los últimos años diversos autores [4, 5, 6, 7] han propuesto iniciativas del empleo de tecnología PIC limitándose a ciertos contenidos de Mecánica Clásica en los Laboratorios de Física Universitaria; siendo menester ampliar la gama de aplicación de tales dispositivos a sistemas multisensores con tecnología PIC que puedan abarcar mas contenidos programáticos en tópicos diversos como Mecánica, Óptica, Electromagnetismo, Termodinámica y Física Moderna.

El objetivo del presente trabajo es presentar el diseño y construcción de un sistema de adquisición y procesamiento de datos empleando tecnología PIC y multisensores analógicos-digitales, a ser implementados en los laboratorios de Física General que cumpla con los siguientes criterios:

- **Versatilidad:** empleo del mismo sistema de adquisición y procesamiento de datos con diversos sensores para la ejecución de todas las prácticas de laboratorio de física, que incluye contenidos de cinemática, dinámica, hidrostática, electricidad, magnetismo, óptica, calor y temperatura, oscilaciones, ondas y física moderna.
- **Robustez:** diseño compacto que permite la manipulación por los no expertos. Se presenta el prototipo armado y su configuración permite adicionarle accesorios de forma modular de acuerdo a la aplicación. Evitando

el uso de calibración previa por parte de los usuarios.

- **Universalidad:** puede acoplarse a cualquier PC, Laptop o Tablet y permite el procesamiento de la información emanada por el sensor usando cualquier software de graficación y manejo de base de datos.
- **Economía:** construido con materiales de bajo costo y fácil adquisición sin requerir insumos adicionales ni refacciones. El sistema de adquisición de datos y de experimentación es energizado por el ordenador, no requiriendo de fuentes de voltaje adicionales.

En la sección 2 (metodología) se muestra los detalles de su diseño y construcción, seguidamente los trabajos prácticos se especifican en la sección 3 (resultados) y en la sección 4 se discute y concluye sobre la valoración del prototipo.

2. Metodología

El sistema de medición consiste en una maqueta experimental, un sistema de adquisición de datos (Hardware) y un software en Visual Basic para el procesamiento de la información. La maqueta de experimentación pone a prueba la situación física particular, los sensores registran la información requerida y la envían al PIC; el microprocesador crea un archivo .dat y la envía al ordenador a través del puerto USB; el ordenador crea una base de datos por medio de un software en Visual Basic Microsoft® que puede ser leído y procesado por cualquier programa de graficación y cálculo, como Excel®, Origin®, Matlab®, MAPLE® (Figura 1).

2.1. Hardware

El sistema de control y adquisición de datos, consta de un microcontrolador PIC 16F870, siendo uno de los más comerciales, genéricos y económico. Este, presenta varias características que se adaptan a las necesidades del laboratorio. Algunas de ellas es que posee cinco entradas analógicas además de cinco digitales, y un oscilador externo de 20 MHz. El diseño del

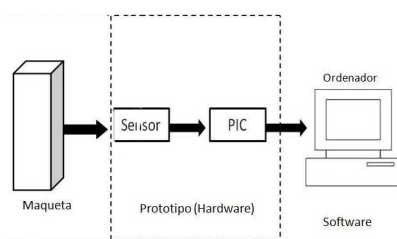


Figura 1: Configuración del sistema de Medición. Incluye la maqueta de experimentación, el prototipo (Hardware) y el programa en Visual Basic (software).

sistema de control que discutiremos más adelante puede, con muy ligeras modificaciones, adaptarse a cualquier otro microprocesador similar al 16F870.

Como característica de diseño se consideró que el PIC solo ejecutará las operaciones básicas de coleccionar y transmitir los datos de los sensores hacia el computador (en formato .dat), dejando las operaciones de manipulación, cálculos y obtención de gráficas a los programas de usuario (Excel, MatLab, etc). Con ello, se evita tener que reprogramar el PIC cada vez que se redefina la maqueta de experimentación o situación física particular donde quiera emplearse el hardware, y adicionalmente mejora el rendimiento del dispositivo.

La comunicación entre el microprocesador (PIC) y el ordenador (PC) se realiza a través del bus serial universal (USB), en función de su versatilidad de aplicación en las tecnologías actuales de comunicación. Vale recordar que los ordenadores de fabricación posteriores al año 2010 ya no cuentan con puerto serial. Adicionalmente, la comunicación vía USB permite la alimentación del PIC directamente desde la PC sin necesidad de fuentes adicionales, garantizando la sobrevivencia del dispositivo ante fluctuaciones de la red doméstica.

Para la interfaz de comunicación entre el PIC y la PC se utilizó el integrado FT232RL en su configuración estándar (Figura 2). Donde los terminales 1 y 5 del FT232RL reciben y transmiten respectivamente la señal al PIC, y los terminales 15 y 16 se comunican al puerto USB. El capacitor C7, funge como un capacitor de desacoplo de

componentes alterna de la tensión de alimentación +5V (terminal 19).

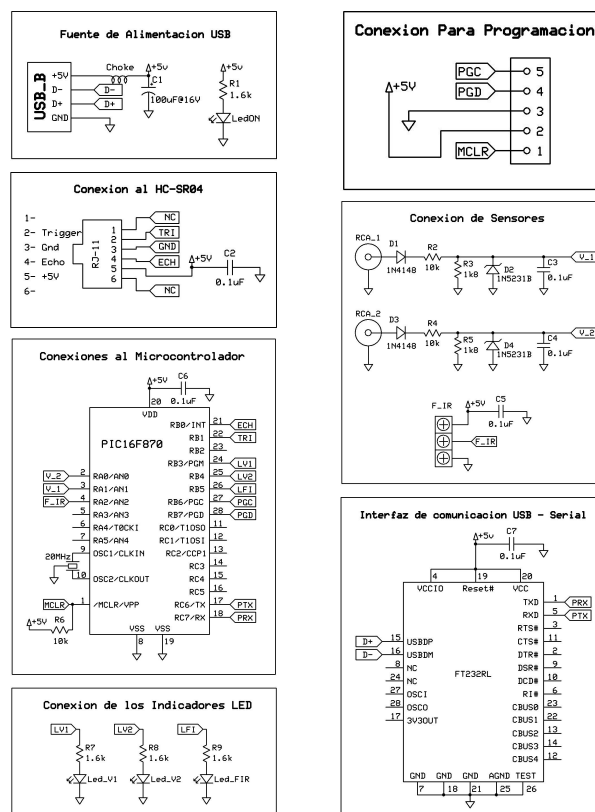


Figura 2: Diagrama en bloque del sistema de control y adquisición de datos.

El sistema de adquisición de datos permite coleccionar en función del tiempo, simultáneamente las señales enviadas por un sensor ultrasónico de movimiento HC-SR04 (terminales 21 y 22 del PIC), un sensor analógico de voltaje (terminal 4 del PIC) y dos sensores de voltaje digitales (terminales 2 y 3 del PIC). Estas últimas permiten medir tensiones discreta en el rango de 0-255, para ello se emplea un circuito divisor de tensión elemental (Figura 2) provistos de un circuito de protección del PIC ante sobretensiones.

Las entradas de voltaje (V_1 y V_2) al dispositivo se efectúan a través de conectores RCA y cables coaxiales que minimizan el ruido instrumental. Fueron provistos de puntas de prueba para su uso en protoboard, con pinzas para el aterramiento, incorporándolo dentro del dispositivo circuitual interno junto al PIC. Como quiera que el sensor analógico de tensión F_IR está alimentado por la

misma fuente del PIC, su conexión no requiere de los componentes de protección y la señal se envía directamente al PIC.

Todo el dispositivo está encapsulado en una caja de proyectos, como se observa en la Figura 3. Los cuatro LED indicadores, corresponden a la señal on-off del equipo, las entradas V_1 y V_2 y a la señal del sensor analógico de tensión F_{IR} respectivamente, que se encienden al momento de la conexión de los plug correspondientes. Tanto el plug USB, como los plug de los sensores de movimientos y los plug ya referidos son de distinto tipo, con la finalidad didáctica de prever daños al equipo por una mala conexión durante la operatividad.

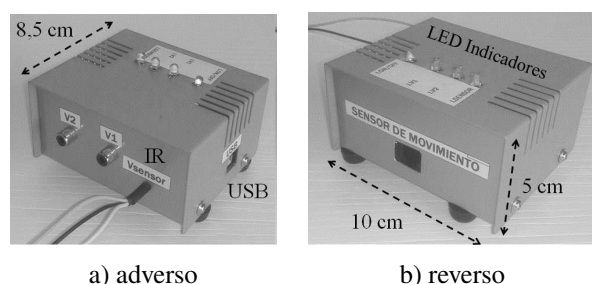


Figura 3: Cajetín y conexiones del Sistema de Control y Adquisición de datos.

2.2. Software

Para conectar y desconectar el sistema de control y adquisición de datos se necesita de un ordenador como se mostró en la Figura 1. Para la activación se creó una interfaz gráfica para que el usuario active o desactive tal sistema y el PIC envía la información de los sensores que luego se transmite directamente al ordenador, en un archivo de texto. Esta interfaz es un programa ejecutable, donde el usuario podrá conectar y desconectar el sistema de control seleccionando el ícono correspondiente, iniciando así la captura de datos de los sensores instalados. Podrá además, seleccionar la velocidad de muestreo, cuyos valores ya están predefinidos (2 s, 1 s, 500 ms, 250 ms y 100 ms) y el puerto COM de comunicación en la PC donde se halla instalado ver Figura 4.

Al desconectar la interfaz el sistema inmediatamente generará un archivo .dat, que contiene

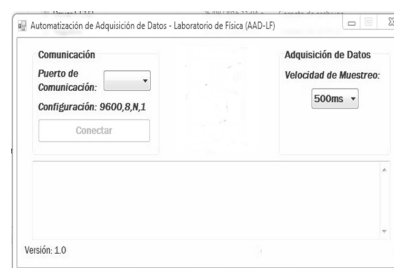


Figura 4: Pantalla de inicio de la interfaz gráfica AAD-LF.

información (dividido en columnas) de las medidas realizadas en unidades de centímetro o volt, según sea el caso, y el intervalo temporal de cada medida. Para visualizar y procesar los datos, el usuario podrá seleccionar cualquier otro software que permita la lectura de este formato (por ejemplo Excel, Matlab entre otros) para la obtención de las curvas, cálculos y gráficas de acuerdo a los objetivos planteados en cada uno de los trabajos prácticos de laboratorio, como se verá en la sección 3.

2.3. Sensores

Se emplean multisensores de respuesta diversa para cada aplicación del dispositivo en situaciones físicas particulares, dependiendo de las Prácticas de Laboratorio a ejecutar, como se discutirá específicamente en la sección 3. Los sensores a emplear son:

- de posición (ultrasónico)
- de tensión eléctrica o voltaje DC
- de intensidad lumínica o fotométrico
- de temperatura (v) de flexión o tensión mecánica
- de efecto Hall.

El sensor ultrasónico (HC-SR04) permite, por un sistema de transmisión y recepción, utilizar dicha señal para captar la distancia. El HC-SR04 registra el lapso entre emisión y recepción del pulso ultrasónico. El PIC contiene un programa que traducirá estos lapsos de retardo como posición del móvil. En sentido estricto hay un error sistemático

debido a que la velocidad del sonido en el aire es finita; lo que acarrea un retardo, del orden del tiempo de respuesta del sensor sónico (ver ecuación (1)).

$$t_s = \frac{2d}{v_{\text{sonido}}} \quad (1)$$

Sin embargo, como los desplazamientos (d) considerados en las prácticas de laboratorio a realizar son del orden de las decenas de centímetros; este error es solo del orden de los milisegundos, despreciable cuando los tiempos característicos del sistema (tiempo de recorrido del móvil) son del orden de la decena de segundos. Las posiciones y tiempo son leídas por un programa de usuario como Matlab o similar para elaborar las gráficas requeridas en cada situación física particular de acuerdo al trabajo práctico de laboratorio considerado.

Las entradas de voltaje (V_1 y V_2) permiten medir tensiones discretas en el rango de 0-255. Para realizar el cálculo y obtener los valores de voltaje medidos, debe aplicarse la relación:

$$V = 0,54V + \left[\frac{V_{PC}}{1023} A_i f_s \right] \quad (2)$$

Donde:

V: denota el voltaje aplicado a las entradas V_1 y V_2 (expresada en voltios).

V_{PC} : el voltaje de alimentación, este es entregado por el puerto USB, típicamente es 5,06 V.

A_i : el valor entregado por el equipo al computador, es el equivalente digital del voltaje que se está midiendo (magnitud adimensional).

f_s : es el factor equivalente del divisor de tensión para cada entrada. $6,59 \pm 0,01$ para el canal 1 y $6,55 \pm 0,01$ para el canal 2.

La ecuación (2) resulta de la resolución de la malla de entrada de los sensores RCA_1 y RCA_2 en el circuito de la Figura 2. Obsérvese que las medidas de voltaje mínimamente detectadas están limitadas por la tensión de disparo del diodo de protección 1N4148 por lo que las tensiones medidas serán siempre mayores a 0,54 V.

El sensor fotométrico (S) es un fotoresistor 21K1130 de respuesta lineal en el rango visible, se conecta al cajetín del sistema de control y

adquisición de datos, usando la entrada “Vsensor” (Figura 4), a través de entrada analógica de tensión F_IR (Figura 3). Está alimentado por el PIC por medio de un divisor de tensión constituido por el fotoresistor (R_p) y un resistor R_0 en el orden de $1k\Omega$, en paralelo a la alimentación. En ausencia de luz $R_p \gg R_0$ y la señal que llega al PIC es del orden de 0 voltios, en iluminación, cuando $R_p < R_0$ la señal transmitida es (R_0/R_p) 5 V.

Se usa como sensor de temperatura un LM35 (transistor marca Texas Instruments), de respuesta lineal en el rango -55 a 150 °C, con exactitud de 0.5 °C a la temperatura ambiente. El LM35 es fundamentalmente un fotómetro infrarrojo, que se conecta directamente al PIC usando la entrada “Vsensor” (Figura 4), a través de la entrada analógica de tensión F_IR (Figura 3) para obtener los cambios de temperatura en función del tiempo.

Como sensor de flexión mecánica se emplea un LDT0-028K, que es piezoeléctrico, donde la flexión crea una tensión dentro del piezopolímero y se generan picos de voltajes del orden de centenares de milivoltios. El microprocesador (PIC) registra las variaciones temporales de voltaje del LDT0-028K, como respuesta a la tensión mecánica o flexión, su alimentación es a través del PIC por medio de la entrada analógica de tensión F_IR (Figura 3).

El sensor de inducción magnética A3141 consiste en un transistor CMOS, que emplea el efecto Hall, a través de la tensión colector abierto; cuya conexión y alimentación es a través de la entrada analógica de tensión F_IR (Figura 3) sin necesidad de modificar la electrónica ni la programación interna del PIC.

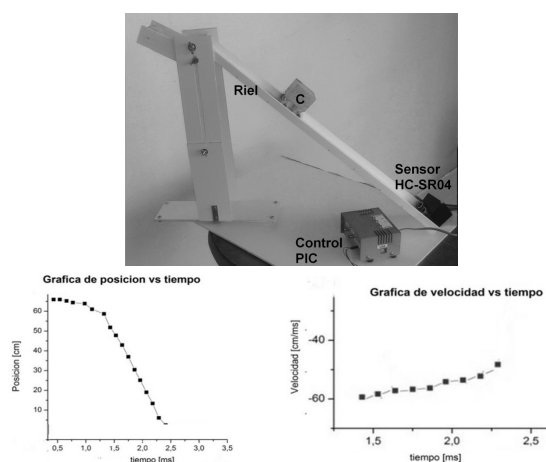
3. Resultados y discusión

Se describen a continuación la implementación del sistema de adquisición y procesamiento de datos en diversas prácticas de laboratorio de los cursos Universitarios de Física General.

3.1. Cinemática (plano inclinado)

Un trabajo práctico de laboratorio, frecuente en casi cualquier laboratorio de física general, consiste en medir la aceleración de un cuerpo que cae sobre

un plano inclinado, bajo la acción de la gravedad. Básicamente, se obtiene la gráfica de posición versus tiempo variando el ángulo de inclinación del plano y la masa del móvil. En las prácticas tradicionales no automatizadas, se obtiene de forma discreta estas gráficas, repitiendo innumerables veces las medidas. Además de monótono, la práctica suele resultar larga en duración y con muchos errores de apreciación. En este caso, el empleo del sistema propuesto (ver Figura 5) permite obtener la gráfica de posición-tiempo en forma automatizada y continua. La mayor actividad de los estudiantes, será discutir y analizar las gráficas obtenidas, según las variables involucradas (masa, ángulo, altura) y no en la repetición de la misma situación física.

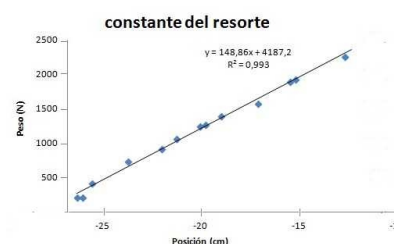
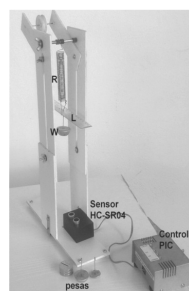


El sensor registra la posición del móvil C en cada instante t y el software genera las gráficas correspondientes.

Figura 5: Diseño experimental de la práctica de cinemática en el plano inclinado.

3.2. Dinámica (Ley de Hooke)

El prototipo puede emplearse para estudiar la Ley de Hooke, en este caso el sensor ultrasónico determina la posición final del sistema. El sensor registra la posición de equilibrio para cada masa. El estudiante varía la masa W para un mismo resorte S de constante de elasticidad k , desconocida. Y a partir de la gráfica de elongación versus masa se determina la constante k . Los estudiantes pueden cambiar el resorte y obtener varios ejemplos para su discusión y comparación. La función de la lámina acrílica (L) es reflejar el eco del sensor y determinar la elongación del resorte para cada pesa.



La experiencia permite la evaluación de la constante de elasticidad del resorte, del orden de $k = 148\ 860\ [\text{N/m}] \pm 10$

Figura 6: Diseño experimental de la práctica de Ley de Hooke.

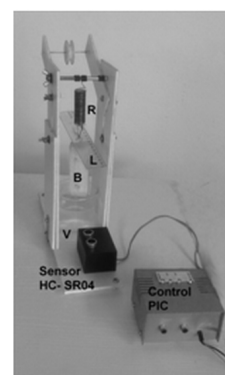


Figura 7: Diseño experimental de la práctica de empuje hidrostático.

3.3. Empuje hidrostático

La configuración experimental usada para la experiencia de Dinámica (Ley de Hooke), puede emplearse para estudiar el principio de Arquímedes y la noción de peso “aparente”. Así, como se muestra en la Figura 7, se sumerge un bloque de madera (B), en un fluido de densidad desconocida (vaso V), puede determinarse el empuje hidrostático, si se conoce la constante del resorte (R), el volumen de la masa sumergida y el desplazamiento del bloque respecto a su posición inicial de equilibrio Δy , medido por el sensor HC-SR04. Análogamente pueden realizarse experimentos donde el estudiante verificará la validez del principio de Arquímedes y probará la dependencia del empuje hidrostático para distintos fluidos.

3.4. Corriente y resistencia

Una práctica de laboratorio usual en los contenidos de corriente y resistencia es la elaboración de la gráfica de corriente versus voltaje para dispositivos óhmicos y no óhmicos (semiconductores). La configuración experimental es la usual (Figura 8), donde el elemento al que se realiza la curva característica (corriente versus voltaje) se denota con z y R_0 es un resistor para medir indirectamente la corriente que circula en z . Típicamente se realiza esta experiencia para evaluar la curva característica de un diodo semiconductor. Para la realización de la curva característica basta con variar el potenciómetro R_p mientras se adquieren los datos, el dispositivo registra automáticamente las tensiones V_1 y V_2 , con las cuales se obtiene la caída de tensión y la corriente en z . Adviértase que el registro ocurre en lapso del orden de los milisegundos, por lo cual no es relevante la rapidez en la variación manual del potenciómetro R_p durante la adquisición de los datos. Además se puede cambiar el elemento z (diodo semiconductor) por un resistor Ohmico (del orden de 20 a 100 Ω) para comparar la curva característica con un conductor óhmico.

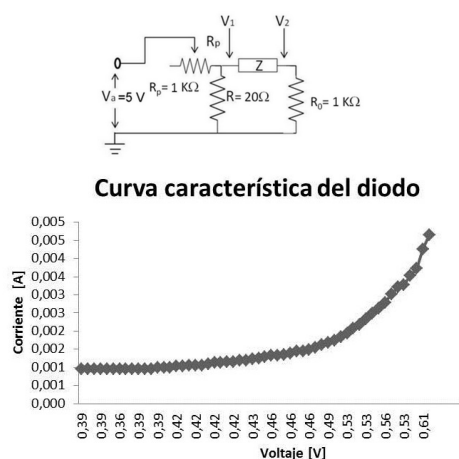


Figura 8: Diseño experimental de la práctica de corriente y resistencia para un diodo 1N4001.

3.5. Capacitancia y circuito RC

Para estudiar la carga y descarga de un capacitor, se empleará un circuito simple RC en serie, constituido por un Resistor de 1k Ω y un capacitor

de 1 mF; alimentado por una fuente DC de 5V como muestra la Figura 9. Los resultados de la carga y descarga del capacitor se muestran en la Figura 10 al registrar las tensiones en V_1 y V_2 para cada milésima de segundo.

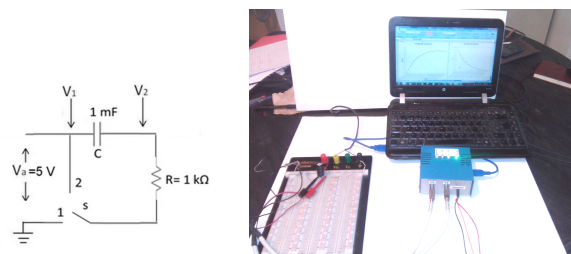


Figura 9: Diseño experimental de la práctica de capacitancia y circuito RC.

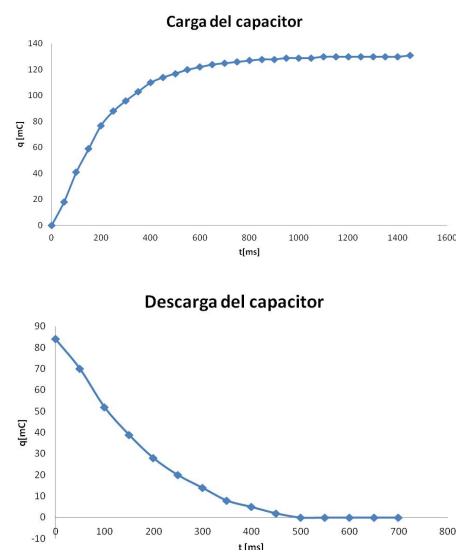


Figura 10: Resultados de la práctica de capacitancia y circuito RC.

3.6. Difracción

El dispositivo también puede usarse para mostrar los experimentos estándar de interferencia y difracción. En la Figura 11 se observa el diseño experimental producido al iluminar con un láser una red de difracción (R). En esta aplicación el sensor ultrasónico (D) guarda la posición del fotómetro (s) cuando se desplaza a lo largo de la pantalla de observación (P), constituida por una lamina de vidrio de 0,2 mm de espesor, permitiendo

obtener automáticamente la curva normalizada de intensidad versus posición del patrón de difracción (Figura 11). A diferencia de las prácticas estándar de difracción de doble rendija, el sistema propuesto permite obtener una gráfica casi continua de posiciones e intensidades.

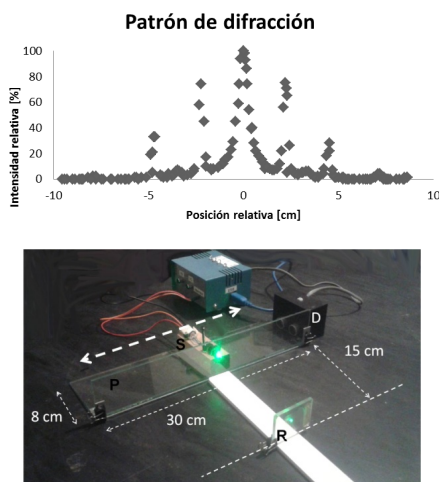


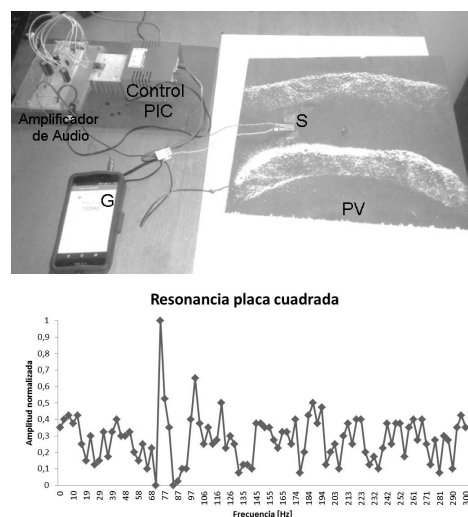
Figura 11: Difracción para una red de 300 líneas/mm iluminada con luz láser verde de 100 mW y longitud de onda 532 nm.

3.7. Resonancia y Patrones de Chladni

En una placa vibrante pueden generarse ondas estacionarias a ciertas frecuencias determinadas (resonancia). Su visualización se suele presentar a través de un medio dispersivo o granular que se acumula en los nodos sobre la placa vibrante. Las figuras generadas por la distribución de material granular sobre las placas se denominan Patrones de Chladni. En esta aplicación se ilustra la generación de tales Patrones siguiendo la configuración propuesta por González [8], tal y como se muestra en la Figura 12, donde además se presenta la curva de resonancia para la placa cuadrada utilizando el sensor de vibración LDT0-028K, que remplazará la sal utilizada como medio dispersivo en la visualización de los nodos y antinodos de la oscilación acústica.

3.8. Cuerpo negro y ley de Stephan–Boltzmann

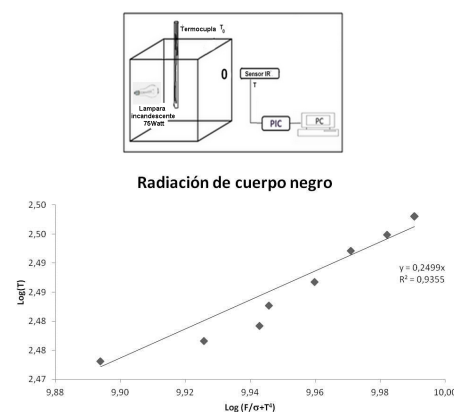
Puede emplearse el sistema para graficar la variación de temperatura en función del tiempo



Se muestran las amplitudes relativas de la oscilación, medida con el sensor de vibración LDT0 028 K (S), para una frecuencia de resonancia de 74 Hz.

Figura 12: Patrones de Chladni.

de un cuerpo negro construido en forma simple, mediante un cubo de madera de 0,3 m de lado, en cuyo interior hay un bombillo incandescente de tungsteno que emite al exterior a través de un pequeño orificio (Figura 13). Para ello se



La pendiente de 1/4 obtenida permite comprobar la ley de Stephan–Boltzmann.

Figura 13: Montaje experimental de la radiación de cuerpo negro.

emplea una termocupla que mide la temperatura termodinámica (T_0) en el interior de la caja enviando la respuesta al PIC a través del sensor de voltaje digital V_I del dispositivo, simultáneamente el sensor infrarrojo LM35 mide la temperatura de la radiación a través de la emisión del

orificio del cuerpo negro. Empleando el software de graficación se construyen diferentes gráficas, como $\log(T)$ versus t y/o $\log(T)$ versus $\log\left(\frac{F}{\sigma} + T_0^4\right)$ donde F es el cociente entre la potencia del bombillo (75 Watt) y el área de la caja $0,09 \text{ m}^2 \pm 0,001 \text{ cm}^2$. En este último caso la pendiente de la recta obtenida deberá ser del orden de $1/4 = 0,25$; que equivale a la Ley de Stephan-Boltzmann (Figura 13).

3.9. Oscilaciones amortiguadas

Para estudiar las oscilaciones amortiguadas en un sistema masa-resorte vertical, sometido a la aceleración de gravedad, basta con registrar la posición instantánea de la masa oscilante, de acuerdo a la configuración de la Figura 6. El sensor HC-SR04 registra la posición durante la oscilación y podrá obtenerse las gráficas que se muestran en la Figura 14.

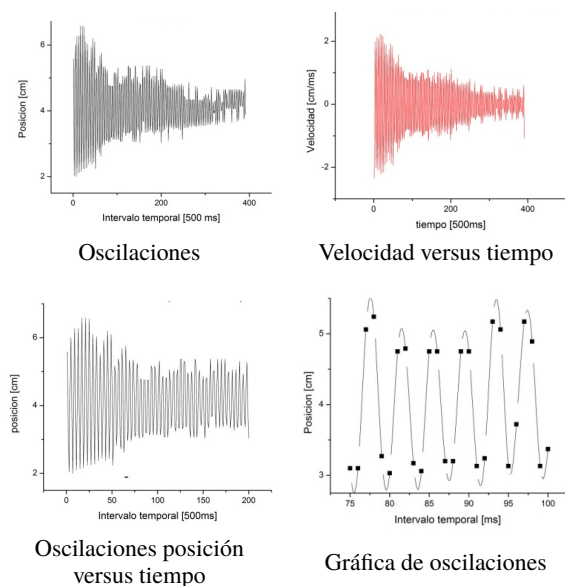


Figura 14: Gráficas del muestreo de 400 datos para el movimiento oscilatorio amortiguado en un lapso de 2 minutos.

3.10. Fuerza magnética y solenoides

Se puede ejemplificar el efecto de la fuerza magnética ejercida por un solenoide, empleando el dispositivo para registrar la inducción magnética de un solenoide de 265 espiras de cobre y con embobinado de longitud $L \approx 0,055 \text{ m} \pm$

0,001 y radio medio $r_{\text{espiras}} \approx 0,63 \text{ cm} \pm 0,01$, que es alimentado por una fuente DC variable (Figura 15). Para ello se conecta un divisor de tensión entre la fuente y el solenoide, con un potenciómetro de $1 \text{ k}\Omega$ y un resistor de 20 Ohmios . El sensor digital de tensión V_1 registrará la caída de tensión en el resistor mientras el sensor inducción magnética mide las variaciones de voltaje debidas al efecto Hall a través de la entrada F_IR del PIC. La variación de la tensión de alimentación del solenoide, por medio del potenciómetro, permite graficar la tensión Hall en función de la caída de tensión en el solenoide, y con ello la dependencia lineal entre Inducción magnética y corriente en el solenoide.

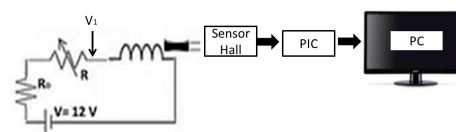


Figura 15: Diseño experimental para ilustrar el campo magnético de un solenoide.

4. Conclusiones

El prototipo elaborado mostró su eficacia como sistema automatizado de adquisición de datos en los trabajos prácticos de laboratorio de física para la enseñanza universitaria, como se mostró en la sección 3. En particular su empleo para las determinaciones de las variaciones temporales de posición, mediante el uso del sensor HC-SR04, mostró ser suficientemente sensible incluso para variaciones tan pequeñas como $0,2 \text{ cm}$ en rango de distancias de 1 a 60 cm de longitud; como se evidenció en las experiencias de cinemática (sección 3.1), Ley de Hooke (sección 3.2) y Empuje Hidrostático (sección 3.3). Se destaca las prestaciones del sensor en cuanto a su empleo en cualquier condición de iluminación y para móviles en trayectorias cortas, del orden de los centímetros, que difícilmente pueden ser alcanzadas con similar prestación por los sensores optoelectrónicos, basados en interruptores de luz infrarrojos.

Así mismo, el uso del dispositivo evidenció su bondad en la colección rápida y eficiente de muchos datos en lapsos de tiempo muy breves, como se mostró en los experimentos de corriente y resistencia (sección 3.4), capacitancia y circuito RC (sección 3.5), Difracción (sección 3.6) y oscilaciones amortiguadas (sección 3.9). Además de su fácil implementación para trabajos prácticos de Laboratorio más elaborados como los correspondientes a Cuerpo negro y ley de Stephan–Boltzmann (sección 3.8) y de resonancia y patrones de Chladni (sección 3.7).

Destaca que el empleo y uso del microcontrolador PIC y el diseño del circuito propuesto (Figura 2) evidenció varias ventajas en su implementación: i) permitió rápida comunicación con la interfaz de usuario al emplear como canal de comunicación el puerto USB en lugar de los puertos serial-paralelo con el ordenador, ii) su versatilidad puesto que los registros de salida del PIC son tipo texto; pudiendo ser leídos y procesados por casi cualquier software de graficación sin requerir la programación interna del PIC y iii) su adaptabilidad y facilidad de implementación para diversas maquetas de experimentación en los laboratorios de física universitaria, al coleccionar simultáneamente el registro de dos o más sensores de diferentes características estímulo respuestas.

5. Referencias

- [1] Lyle D. Feisel and Albert J. Rosa. The role of the laboratory in undergraduate engineering education. *Journal of Engineering Education*, 94(1):121–130, 2005.
- [2] Richard T. White. The link between the laboratory and learning. *International Journal of Science Education*, 18(7):761–774, 1996.
- [3] Olga Lucía Castiblanco and Diego Fabián Vizcaíno. La experiencia del laboratorio en la enseñanza de la física. *Revista Educación en Ingeniería*, 3(5):68–74, 2008.
- [4] Juan Carlos Cruz Ardila and Vanesa Espinosa Arroyave. Reflexiones sobre la didáctica en física desde los laboratorios y el uso de las TIC. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, (35):105–127, 2012.
- [5] J. C. Cruz Ardila. Importancia de usar tecnología en el desarrollo de prácticas de laboratorio de física mecánica. *Revista Educación en Ingeniería*, (11):1–11, 2011.
- [6] S. Pinto, L. Silva, C. Tenório de Carvalho, and Ciro Jose Egoavil Montero. Pêndulo simples utilizando tecnologia embarcada de baixo custo aplicado ao ensino da física. *Latin American Journal of Science Education*, 2(1):1–6, 2015.
- [7] Leonardo Bohórquez, Sebastián Martínez, and Hugo Armando Gallego. Diseño y construcción de un prototipo autónomo para la práctica experimental de laboratorios de física. *Scientia et technica*, (52):155–164, 2012.
- [8] Yubiry González. Diseño de prototipos para la enseñanza de la acústica musical a través de patrones de Chladni. *Acta Científica Venezolana*, 66(3):128–133, 2015.