

# Utilización de un microcontrolador PIC18F8722 para la automatización de una experiencia de laboratorio

Alejandro Ayala Alfonso, Silvestre Rodríguez Pérez, Oswaldo González Hernández, Beatriz Rodríguez Mendoza, Manuel Rodríguez Valido y Efrén García Hernández  
Dpto. de Física Fundamental y Exp., Electrónica y Sistemas  
Universidad de La Laguna  
La Laguna, Tenerife, España  
aayala@ull.es, srdguezp@ull.es, oghdez@ull.es, bmendoza@ull.es, mrvalido@ull.es

**Abstract**— This work presents the design and implementation of a laboratory practice for first course undergraduates of Bachelors of Science, specifically to consolidate concepts relative to the subject of Physics. The laboratory experience implements a plane whose inclination can be manually modified by the user (student or lecturer), and contains a processing device based on microcontroller PIC 18F8722, which manages the acquisition and treatment of the data supplied by different sensors located along the plane. In consequence, the kinetic parameters (speed and acceleration) associated to the fall of a ball rolling down the plane can be automatically and accurately measured. Moreover, the developed system has a radio communication module that allows it to send information to the student's laptops if these are provided with another radio module. Therefore, the experience can be performed in the laboratory by students who directly control all the process or by the teacher while the students observe the results in their own laptops. The implementation of this practical experience has been carried out as a project for undergraduates in their final course of Electronics Engineering. The designers (students) of this project have been able to see how their knowledge in Electronics can help them to implement complex applications which can be very useful to teaching activities.

*Microcontroladores, conversores analógicos digitales y digitales analógicos, enlace hertziano, protocolos de comunicación*

## I. INTRODUCCION

En la actualidad, los microcontroladores [1] forman parte de multitud de dispositivos de nuestra vida cotidiana, ya sea en nuestro hogar (lavadoras, microondas, etc.) como fuera de él (automóviles, industria, etc.), en un sinfín de aplicaciones. Es importante, por tanto, que alumnos de electrónica puedan realizar experiencias basadas en este tipo de dispositivos que les permitan aplicar sus conocimientos en el desarrollo de proyectos que consoliden su formación. En ese sentido, el presente trabajo centra su objetivo en el diseño e implementación de una experiencia práctica de laboratorio que posibilite realizar el estudio del desplazamiento de una bola a lo largo de la superficie de un plano inclinado.

El sistema, cuyo diagrama general de bloques es mostrado en la Fig. 1, es controlado mediante un microcontrolador PIC18F8722 [1, 2] lo que ha permitido la adquisición, con gran precisión, de datos del espacio recorrido por la bola en función

del tiempo, para lo que se ha hecho uso de sensores de infrarrojo que detectaban el paso de la misma en su desplazamiento por el plano inclinado.

Los datos así obtenidos son mostrados en la pantalla de un ordenador conectado al sistema de adquisición mediante un puerto RS232. El usuario dispone de un interfaz gráfico que facilita enormemente su gestión. En concreto, a través del mismo y con un simple “clic” de ratón, podrá visualizar y, si es necesario, calibrar el ángulo de elevación del plano inclinado, soltar la bola a la par de iniciar el cronometraje de tiempos u obtener en la pantalla del ordenador las representaciones del espacio, velocidad o aceleración frente al tiempo.

Para aumentar sus prestaciones, se ha diseñado el que se ha denominado “módulo del alumno” que, conectado por puerto USB al ordenador, le permite visualizar vía radio mediante modulación GFSK [3] y en tiempo real los mismos datos que el PC del profesor.

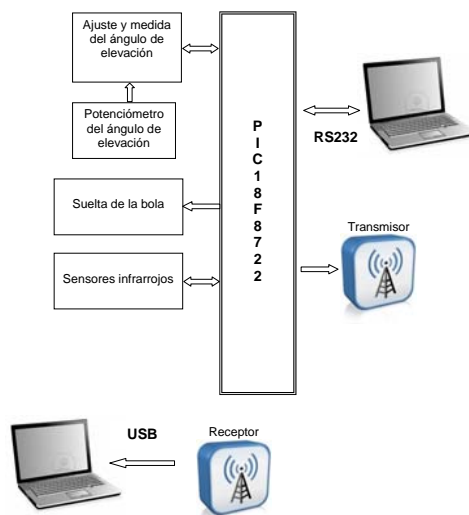


Figura 1. Diagrama de bloques del sistema

## II. CARACTERÍSTICAS DEL PLANO INCLINADO

Como paso previo al diseño de los diferentes bloques electrónicos, se hizo necesaria la construcción del plano

inclinado que debía albergar los distintos sensores necesarios para detectar la bola durante su desplazamiento, así como medir el ángulo de elevación del mismo.

Para su construcción, se contó con la colaboración del taller de carpintería de la Universidad de La Laguna, siendo su forma y dimensiones finales las mostradas en la Fig. 2. Su longitud viene determinada por la finalidad de disponer de diez puntos de medida a lo largo del mismo, separados cada uno de ellos una distancia de 10 centímetros. En cuanto a su ancho, éste ha sido el suficiente para albergar con comodidad, tanto el carril por donde discurrirá la bola, como la circuitería electrónica situada en cada uno de los puntos de medida anteriormente citados. El material empleado ha sido la madera, resultando el conjunto de un peso no elevado, lo que facilita su transporte.



Figura 2. Aspecto y dimensiones del plano inclinado

Durante el diseño, también se tuvo en cuenta ocultar los distintos cables utilizados así como las placas de los receptores y transmisores que conforman los sensores de movimiento, y con ello dotar al plano inclinado de cierta estética.

### III. DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE ELEVACIÓN

El sistema ha sido diseñado con el fin de que el usuario disponga de una interfaz gráfica desde donde se controlen y visualicen todas las variables, entre ellas, el ángulo de elevación ( $\alpha$ ). Para su medida se ha utilizado un potenciómetro lineal operando como partidor de tensión, el cual se encargará de generar un voltaje directamente proporcional al mismo. Este potenciómetro girará su eje de forma solidaria al movimiento del plano y esto será lo que provoque un cambio en la tensión de su patilla central. La Fig. 3 muestra la colocación del potenciómetro en el sistema.



Figura 3. Potenciómetro para la medida del ángulo de elevación

Una vez recibida la señal analógica procedente del potenciómetro, dicha tensión es remitida al Conversor Analógico Digital (CAD) [4] interno que posee el PIC18F8722 (configurado con una precisión de 8 bits), donde es digitalizada para que, haciendo uso del correspondiente calibrado, obtener el valor de  $\alpha$ .

Sin embargo, cuando el plano está en posición horizontal ( $\alpha = 0^\circ$ ) el potenciómetro se encuentra aproximadamente a la mitad de su recorrido, lo que significa que con  $0^\circ$  el CAD estaría recibiendo cierta tensión que implicaría una pérdida de parte de la resolución de los 256 niveles disponibles. Para solventar este problema, se ha recurrido a efectuar las siguientes modificaciones:

- La señal procedente del potenciómetro no se manda directamente al CAD interno del microcontrolador, sino que se le resta el voltaje obtenido a la salida de un Conversor Digital Analógico (CDA), el DAC0808 [4], controlado por el propio microcontrolador (Fig. 4). De esta forma, cuando  $\alpha=0^\circ$ , a la salida del restador (conectada a la entrada del CAD del PIC18F8722 a través de  $U_{21}$ ) tendremos 0 voltios y, por tanto, un cero digital. Este ajuste del cero, se puede repetir cuantas veces desee el usuario y se realiza directamente mediante la interfaz del mismo.
- Mediante un partidor de tensión, se envía el voltaje de referencia  $V_{ref+}$  al PIC, de manera que cuando  $\alpha=0^\circ$  el valor mostrado por el CAD será 0, y 255 cuando  $\alpha$  alcance su valor máximo (Tabla 1).

La ecuación (1) muestra la relación entre  $\alpha$  y el valor digital (VD) aportado por el CAD necesaria para que el microcontrolador determine su valor.

$$\alpha = 0.212 * VD \quad (1)$$

TABLA I.

Ángulo	Tensión de salida del restador	Valor digital
$\alpha=0^\circ$	0	0
$\alpha=54^\circ$	$V_{ref+}$	255

### IV. SUELTA DE LA BOLA

La realización de cada experiencia implica la suelta de una bola desde un punto inicial fijo y, en ese mismo instante, la puesta en marcha de la medida del tiempo invertido por la misma en recorrer cada uno de los tramos en los que se ha dividido el recorrido.

Para ello se ha recurrido a un electroimán extraído de un relé, que se ha situado en el extremo superior del plano inclinado (Fig. 5). Si se hace pasar una corriente por el electroimán, éste se imanará y la bola permanecerá retenida. Al ser su núcleo de “hierro dulce”, el corte de la corriente dará lugar a su suelta y al inicio del cronometraje del tiempo.

Como las bolas pueden poseer diferentes diámetros se ha diseñado una pieza metálica que, una vez sujeta la bola al electroimán, permite desplazarla longitudinalmente y centrarla

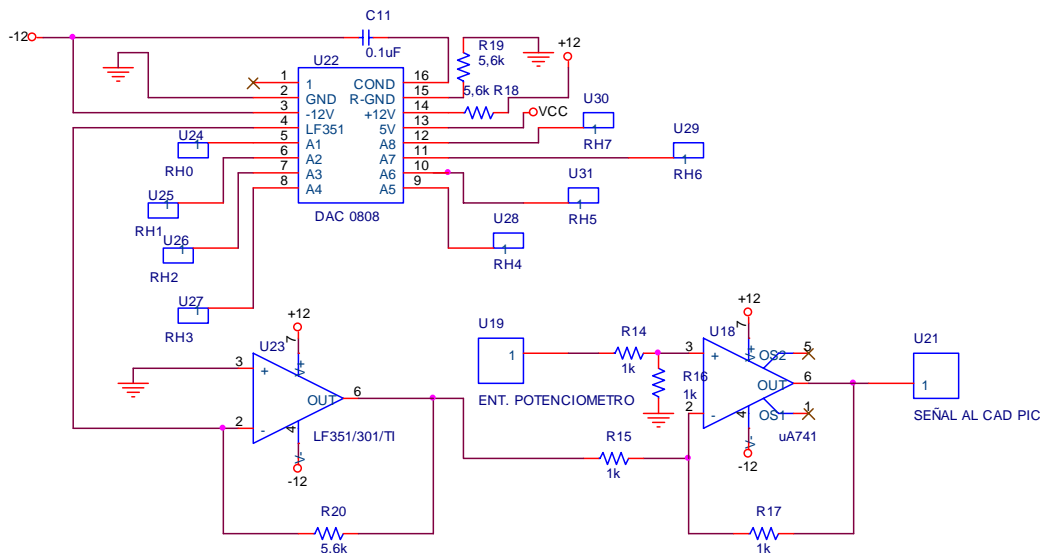


Figura 4. Esquema eléctrico para el ajuste del cero del ángulo de elevación

respecto a la línea de salida (ver Fig. 5). El microcontrolador, actuando sobre un transistor que opera en corte y saturación, imanará o no el electroimán.

### V. REALIZACIÓN DE MEDIDAS

Mediante esta experiencia de laboratorio, partiendo del reposo, una bola metálica (de la que podemos elegir su masa) se hace rodar por el plano inclinado para determinado  $\alpha$ , pretendiéndose medir el tiempo que ésta tarda en recorrer tramos de 10 centímetros hasta completar una distancia de 1 metro.

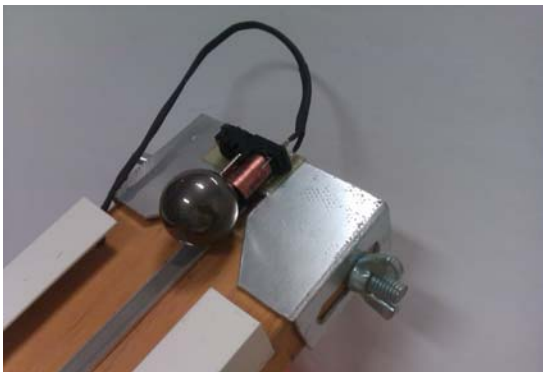


Figura 5. Dispositivo de sujeción y suelta de la bola

Para detectar el paso de la bola por cada tramo se ha procedido a situar, en cada punto de medida, un diodo infrarrojo (IR) cuyo haz de emisión se hace incidir sobre un fotodiodo. El paso de la bola interrumpe dicho haz y, con ello, genera una señal que es empleada por el PIC para medir el tiempo. La Fig. 6 muestra la distribución de los diodos y fotodiodos a lo largo del plano inclinado. Estos últimos, conectados todos en serie, proporcionan al ser iluminados una tensión  $V_0$  (terminal U4 de la Fig. 7) que es comparada con la suministrada por el partidor de tensión  $R_{11}$  de la misma figura, de forma que esta última siempre es menor que la primera. Cada vez que la bola pasa por delante de un fotodiodo, y con

ello cortando el haz de luz, la tensión disminuye por debajo de la aportada por el partidor. Ello se traduce en un cambio en el nivel lógico a la salida del LM339, que será detectado por el PIC 18F8722. Es decir, al rodar la bola a lo largo del plano inclinado se generará un tren de diez pulsos que serán utilizados por el microcontrolador para determinar el tiempo empleado por ésta en recorrer cada tramo de 10 centímetros.



Figura 6. Distribución de diodos y fotodiodos a lo largo del plano inclinado

Sin embargo, el diseño presentaba el inconveniente que los fotodiodos eran sensibles a la luz ambiental, lo que se traducía en un aumento de la tensión en el extremo de los mismos que tenía como consecuencia que los cortes del haz luminoso no producían cambios de tensión lo suficientemente grandes como para modificar la tensión de salida del comparador LM339.

Para solventar este problema, el potenciómetro  $R_{11}$  de la Fig. 7 fue sustituido por el circuito de la Fig. 8 que hace uso de un segundo CDA (el DAC0808). Así, antes de cada experiencia, el sistema va aumentando la tensión de referencia hasta alcanzar la de los fotodiodos (el PIC detectará este hecho por el cambio de nivel a la salida del comparador), momento en el que disminuía su valor hasta situarse algunos milivoltios por debajo de  $V_0$ , asegurando con ello que la disminución de voltaje por el paso de la bola ante cada punto de medida modificará la salida del comparador.

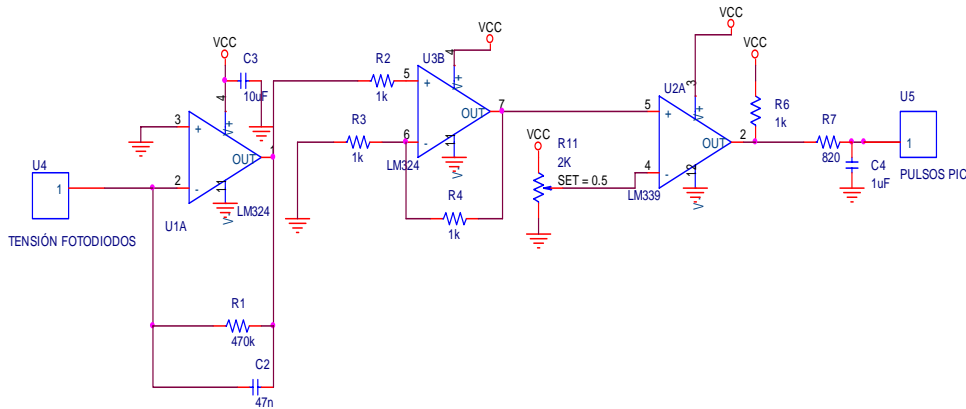


Figura 7. Esquema eléctrico del circuito para la medida de tiempos

## VI. INTERFAZ DE USUARIO

Para un mejor manejo por parte del usuario del sistema implementado, se llevaron a cabo dos interfaces que denominaremos, respectivamente, interfaz del profesor y del alumno (mediante Nokia Qt Creator). El aspecto de la primera es el mostrado en la Fig. 9 que, como se puede observar, consta de una serie de botones seleccionables mediante el uso de un ratón y que se describirán atendiendo a la secuencia a seguir durante el inicio de una experiencia práctica.

Al comenzar, debemos comprobar que cuando el plano se encuentra en posición horizontal, su ángulo de elevación  $\alpha$  debe ser  $0^\circ$ . Para visualizar  $\alpha$ , seleccionaremos la tecla “MOSTRAR INCLINACIÓN”, lo que hará que su valor sea mostrado

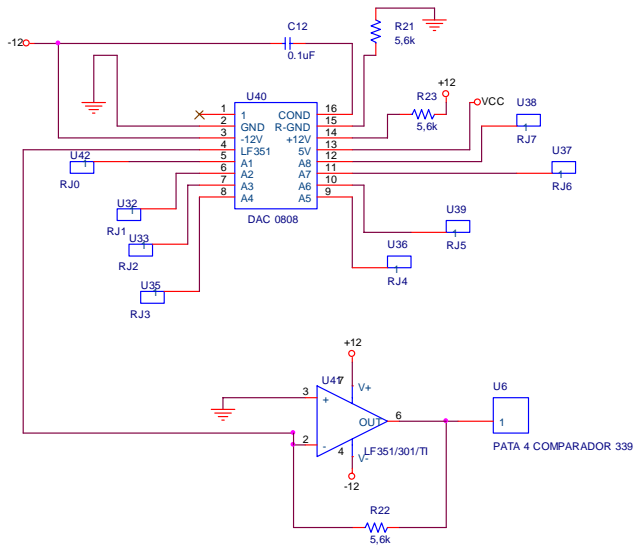


Figura 8. Circuito de compensación de la luminosidad ambiental

En primer lugar, y una vez ejecutado el programa que daría lugar a la aparición de la citada interfaz, es necesario seleccionar con el ratón el puerto de comunicaciones COM que utilizará el PC para comunicarse con el PIC vía RS232 [3]. Para ello, desplegaremos la pestaña correspondiente y elegiremos entre los puertos mostrados (en este ejemplo se ha seleccionado COM3).

Seguidamente, se procede a activar la comunicación entre el microcontrolador PIC18F8722 y el PC, para lo que pulsaremos la tecla “ON”. Ambos pasos no se repiten más.

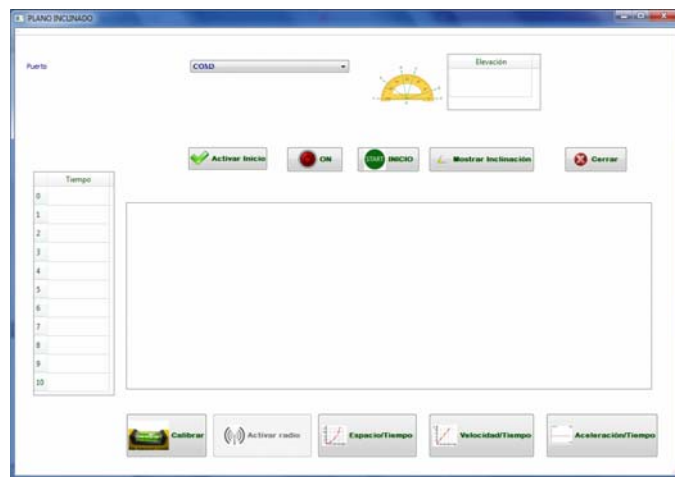


Figura 9. Interfaz del profesor

en el rectángulo superior situado junto al transportador bajo el rótulo de “ELEVACIÓN”. Si éste, para el caso citado, difiere de  $0^\circ$ , pulsaremos la tecla “CALIBRAR” situada en la parte inferior izquierda de la pantalla, lo que dará lugar a que el valor de  $\alpha$  se ajuste a  $0^\circ$ .

Se ha incluido la opción de mostrar o no el ángulo de elevación para facilitar al profesor la posibilidad de obligar a los alumnos a calcular dicho parámetro, y no a leerlo simplemente en la pantalla.

Una vez efectuado este ajuste, se procederá a elevar al plano inclinado hasta el valor de  $\alpha$  deseado. En ese momento, y tras fijar el plano, procederemos a seleccionar el botón “ACTIVAR INICIO”. Ello, dará lugar a que se active el electroimán de la Fig. 5 posibilitando la retención de la bola. En este instante, y si es necesario, desplazaremos el conjunto bola/electroimán hasta situar la primera en la posición de



inicio. Este paso es sólo necesario si se modifica el diámetro de la bola seleccionada.

Seguidamente, procederemos a pulsar la tecla “STAR INICIO”, que cortará la corriente al electroimán liberando la bola e iniciando la cuenta del tiempo.

En ese instante podremos comprobar como de forma consecutiva van apareciendo los tiempos expresados en milisegundos, correspondientes a cada uno de los diez puntos de medida que atraviesa la bola, en la tabla situada en el extremo izquierdo de la pantalla.

En este punto, las tres teclas situadas en la parte inferior de la pantalla (“ESPACIO/TIEMPO”, “VELOCIDAD/TIEMPO” y “ACELERACIÓN/TIEMPO”) posibilitan la representación de dichas gráficas en el rectángulo central de la pantalla. La Fig. 10 muestra un ejemplo de las mismas.

Por otro lado, el menú también permite transmitir vía radio los datos en tiempo real a múltiples usuarios. Para ello, es necesario seleccionar el botón “ACTIVAR RADIO” (en ese instante, éste cambia el texto apareciendo en su lugar “DESACTIVAR RADIO”).

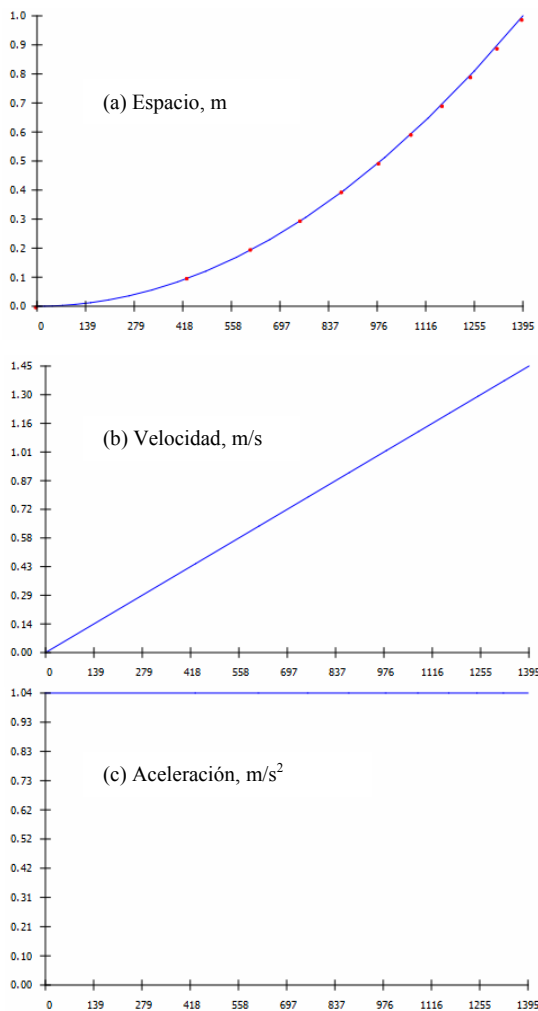


Figura 10. Representaciones gráficas de las variaciones del espacio, velocidad y aceleración frente al tiempo (ms).

De esta forma, el PIC remite los datos a través de una USART al ordenador de cada alumno haciendo uso de un transmisor/receptor GFSK semiduplex con un alcance máximo de 1000 metros, que opera en la banda de 431-478 MHz al que es posible configurar la frecuencia de la portadora, potencia de transmisión, velocidad de modulación y la desviación en frecuencia, siendo compatible tanto con niveles TTL como RS232.

Cada alumno dispondrá de un receptor cuya salida RS232 es llevada a un adaptador de RS232 a USB, siendo este último puerto el usado para conectarse a su PC, y donde se instalará el interfaz de usuario para alumno. Éste es similar al mostrado en la Fig. 9, pero al que se han eliminado algunas utilidades, de tal forma que el alumno no podrá iniciar la suelta de una bola, ajustar el cero de  $\alpha$ , etc. pero si seleccionar entre los tres tipos de representaciones de los datos que le llegan (Fig. 11).

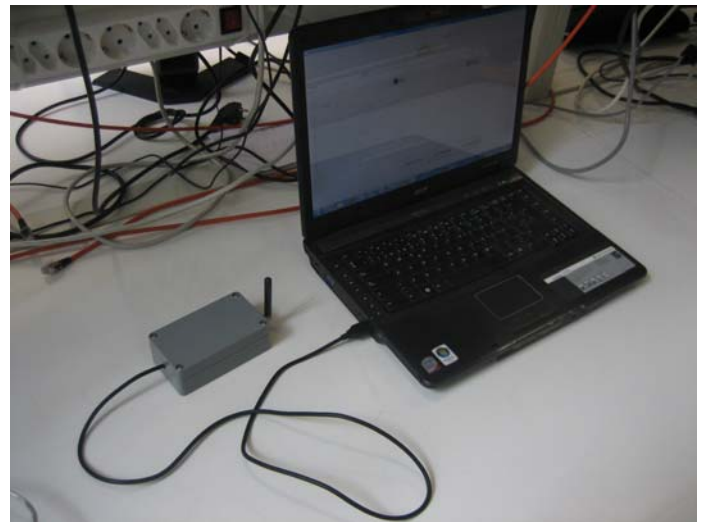


Figura 11. Sistema para el alumno

## VII. RESULTADOS EXPERIMENTALES

El sistema implementado permite realizar medidas teniendo en cuenta cuatro variables: tiempo ( $t$ ), ángulo de elevación ( $\alpha$ ), masa de la bola ( $M$ ) y espacio recorrido por ésta ( $e$ ). Es decir, seremos capaces de determinar el tiempo que una bola de masa  $M$  es capaz de recorrer una distancia de 100 cm (medido a intervalos de 10 cm) cuando el plano inclinado posee una elevación de  $\alpha$  grados. Con los datos experimentales obtenidos, es posible determinar de forma inmediata las representaciones gráficas de  $e/t$ ,  $v/t$  y  $a/t$ .

Por lo anteriormente expuesto, el sistema posee una gran versatilidad a la hora de efectuar diferentes experiencias y, con ellas, obtener múltiples representaciones gráficas complementarias a las anteriores que posibiliten al estudiante una mejor comprensión de la física del plano inclinado.

Para las medidas se utilizaron tres bolas cuyas masas  $M_1$ ,  $M_2$  y  $M_3$  fueron, respectivamente, 63,93 g, 40,27 g y 32,76 g. Dichas medidas consistían en obtener la velocidad y aceleración para cada una de las masas, a diferentes valores de  $\alpha$ , para su posterior representación.

A modo de ejemplo, la Fig. 12 muestra la variación de la velocidad de la bola con el tiempo para diferentes masas y ángulos de elevación, mientras que la Fig. 13 lo hace con la aceleración frente a la masa para distintos valores de  $\alpha$ .

Esta última resulta especialmente interesante, ya que si bien la aceleración es teóricamente independiente de la masa, se puede observar que ésta aumenta cuando lo hace  $\alpha$ . Dicho fenómeno posibilita la discusión por parte de los alumnos de su posible causa, no siendo otra que el deslizamiento de la bola.

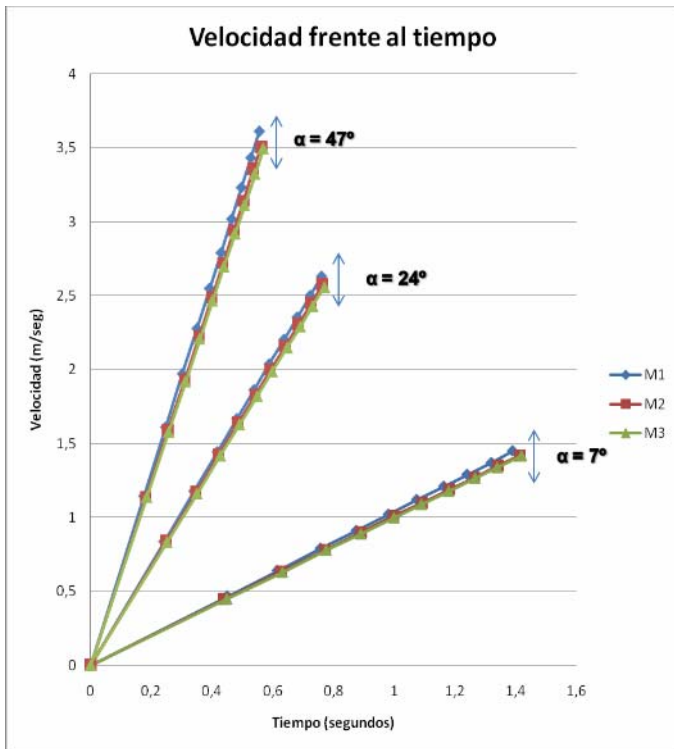


Figura 12. Variación de la velocidad con el tiempo para diferentes M y  $\alpha$

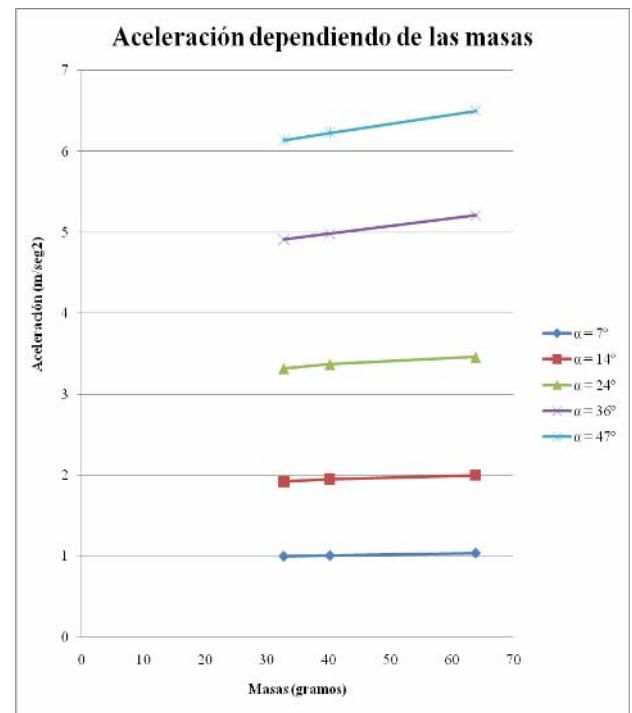


Figura 13. Variación de a con M para diferentes  $\alpha$

### VIII. CONCLUSIONES

El sistema implementado constituye una propuesta de carácter didáctico donde los alumnos pueden comprobar como los conocimientos de carácter meramente electrónico que poseen pueden ser aunados para conformar un dispositivo de utilidad práctica para un laboratorio de física general. En ese sentido, éstos pueden:

- Diseñar e implementar un circuito electrónico.
- Trabajar con diferentes instrumentos de laboratorio.
- Aprender a programar un microcontrolador PIC.
- Diseñar un interfaz de usuario.
- Realizar la transferencia de datos mediante enlace hertziano así como puertos RS232 y USB.

### REFERENCIAS

[1] J. M<sup>a</sup> Angulo y otros, “Microcontroladores PIC”, Editorial Paraninfo, Madrid, 1997.  
 [2] PIC16F877 data sheet, <http://www.microchip.com>  
 [3] Roy Blake, “Sistemas Electrónicos de Comunicaciones”, Thomson Editorial Learning, Madrid, 2004.  
 [4] N. R. Malik, “Circuitos Electrónicos”, Editorial Prentice Hall, S.A., Madrid, 1996.