



UNIVERSIDAD  
**COMPLUTENSE**  
MADRID

Proyecto de Innovación

Convocatoria 2023/2024

Nº de proyecto: 107

Posibilidades de sistemas basados en hardware y software de código abierto, para su  
uso en prácticas de espectroscopía

Responsable del Proyecto: Francisco Blanco Ramos

Facultad de Ciencias Físicas

Dpto. Estructura de la Materia, Física Térmica y Electrónica

## Contenido

<b>Resumen .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Objetivos alcanzados .....</b>	<b>5</b>
<b>3. Metodología empleada en el proyecto .....</b>	<b>6</b>
<b>4. Recursos humanos.....</b>	<b>7</b>
<b>5. Desarrollo de las actividades.....</b>	<b>8</b>

## Resumen

El proyecto se ha centrado en evaluar las posibilidades de un sistema espectrométrico basado en monocromadores y cámaras CCD como detectores de luz, y en una placa Arduino como controlador automatizado del monocromador.

El software necesario ha incluido la programación de una placa Arduino para controlar un motor paso a paso, y la creación de un programa para controlar todo el proceso de toma de datos (movimiento del motor, lectura de la cámara y registro de las medidas). Desde el punto de vista mecánico se ha resuelto la adaptación al monocromador, tanto de la cámara ccd como del motor de avance, mediante elementos sencillos disponibles en el laboratorio.

El proyecto ha involucrado a dos estudiantes que han colaborado en esos diseños, como contribución a sus TFGs.

## 1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto

Las nuevas posibilidades del hardware y software de código abierto, junto con la disponibilidad de cámaras CCD muy económicas, permiten considerar el desarrollo de sistemas espectroscópicos con buenas posibilidades de uso para un laboratorio de espectroscopía. Ello (a parte de la enorme economía que puede suponer para los laboratorios) supone el interés de acercar a los alumnos el diseño de la instrumentación y las técnicas digitales de hardware y software, conectándolas con su formación en el grado en física.

El proyecto se proponía evaluar las posibilidades de un sistema espectrométrico basado en monocromadores y cámaras CCD como detectores de luz, y una placa Arduino como controlador automatizado del monocromador.

De este modo el proyecto planteaba los siguientes objetivos concretos:

- Diseñar el control del avance del monocromador. Puesto que es esencial conocer con precisión la longitud de onda en que se encuentra el sistema en todo momento, se proponía utilizar un motor tipo "paso a paso" que debería ser controlado digitalmente mediante una unidad Arduino programada.
- Programar una unidad arduino para generar las señales de control del motor paso a paso, con velocidad y número de pasos seleccionable.
- Diseñar el control de la unidad arduino desde un programa Python, que correría en un ordenador personal conectado a través de un puerto usb.
- Calibrar los parámetros necesarios para traducir las posiciones en longitud de onda en señales de control al motor.
- Diseñar el acoplamiento mecánico de la CCD a la salida del monocromador, teniendo en cuenta que el diseño debería ajustarse al modelo de monocromador, de los varios que existen en nuestro laboratorio.
- Diseñar un software de lectura de la CCD que actuaría como detector de luz.
- Diseñar un software de registro y visualización de los datos recibidos.
- Caracterizar las prestaciones del sistema que sea posible (idealmente su eficiencia óptica, resolución, presencia de segundos órdenes, limitación señal/ruido o efectos de deriva).

No se descartaba que más adelante pudiese aprovecharse la experiencia obtenida para el diseño o modernización de otras prácticas de este u otros laboratorios.

## 2. Objetivos alcanzados

Se han llevado a cabo todos los objetivos propuestos:

- Selección de un motor que conectar al mecanismo de avance de uno de los monocromadores del laboratorio.
- Uso de una unidad Arduino que controle el motor paso a paso, y elección de la forma de alimentarlo.
- Desarrollo de un programa Python, que corra en un ordenador portátil, conectado al Arduino a través de un puerto usb.
- Determinación de los parámetros necesarios para traducir las posiciones en longitud de onda en señales de control al motor.
- Realizar el acoplamiento mecánico de la CCD a la salida del monocromador. El diseño adoptado es sencillo y económico, a la vez que suficientemente versátil para adaptarse a varios modelos de monocromador que existen en nuestro laboratorio.
- Escrito el software de lectura de la CCD que actúa como detector de luz.
- Escrito el software de registro y visualización de los datos recibidos.
- Caracterizadas algunas prestaciones del sistema (especialmente su resolución, y limitaciones señal/ruido).
- Confirmado que la experiencia obtenida podría aprovecharse para el diseño o modernización de otras prácticas de este u otros laboratorios, cosa que podrá ser objeto de futuros proyectos.

### 3. Metodología empleada en el proyecto

Se han llevado a cabo los pasos necesarios para cubrir cada uno de los objetivos:

- Evaluados varios tipos de motores, resultaba idóneo que fuese tipo paso a paso, y de entre ellos se eligió uno de bajo consumo y económico. A continuación se evaluaron varias formas de conectarlo al mecanismo de avance del monocromador, eligiendo el más práctico.

- Dada nuestra experiencia en proyectos Arduino previos, fue sencillo programar una placa de modo que controlase el motor paso a paso. Se consideraron varias formas de alimentar el motor, encontrándose que la corriente suministrada por la placa Arduino era suficiente si se limitaba mediante una pequeña resistencia en serie.

- Se aprovechó nuestra experiencia en el uso de lenguaje Python para aplicaciones didácticas, para escribir un programa que corre en un ordenador portátil, y se conecte al Arduino a través de un puerto usb.

- Analizando las características del monocromador, se determinaron los parámetros que permiten traducir las posiciones en longitud de onda en número de pasos de avance del motor, lo cual se utiliza en las rutinas Python y Arduino que lo controlan.

- Se evaluaron varios diseños de acoplamiento mecánico entre la CCD y la salida del monocromador. Finalmente se decidió utilizar piezas de pvc comercialmente disponibles que son muy económicas y de dimensiones muy reproducibles. De ese modo el diseño final es sencillo y económico, a la vez que suficientemente versátil para adaptarse a varios modelos de monocromador que existen en nuestro laboratorio.

- Se evaluaron varias rutinas Python para la lectura de la CCD (que actúa como detector de luz). Finalmente se optó por utilizar las basadas en la librería "imageio", que son muy generales, de uso muy sencillo y suelen estar preinstaladas en casi todas las implementaciones Python.

- Se evaluaron varias opciones para escribir el software de registro y visualización de los datos recibidos. Finalmente se optó por utilizar las librerías de "matplotlib" y "numpy", que siendo las más estándar y resultaban suficientes.

- Se utilizaron las técnicas habituales de nuestros laboratorios para caracterizar algunas prestaciones del sistema (especialmente su resolución, y limitaciones señal/ruido).

- En todo momento se procuró utilizar técnicas y materiales estándar y fáciles de conseguir o instalar, para asegurarse que los resultados obtenidos puedan aprovecharse para el diseño o modernización de otras prácticas de este u otros laboratorios, cosa que podrá ser objeto de futuros proyectos.

#### **4. Recursos humanos**

Los recursos humanos han coincidido con los participantes en el proyecto:

Francisco Blanco Ramos (PDI Complutense, responsable del proyecto)

Ha aportado su experiencia en la programación de los distintos equipos, así como en los aspectos hardware.

José Luis Contreras González (PDI Complutense)

Ha aportado su amplia experiencia en los equipos de prácticas del laboratorio.

Diego Benavides Vázquez (estudiante de Grado)

Manuel Hernán Zazo (estudiante de Grado)

Han realizado aportaciones en la programación del software Arduino y Python, respectivamente

Marcos Rodríguez Baldonado (PAS Complutense)

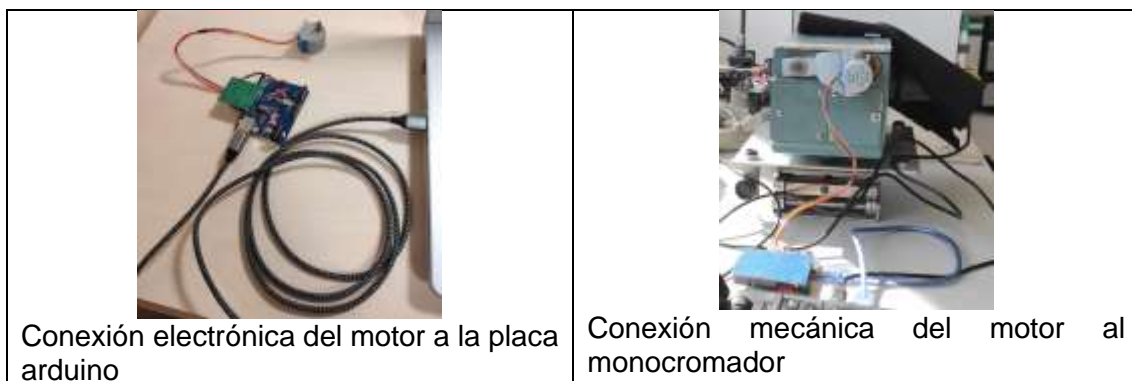
Ha aportado su experiencia en los aspectos mecánicos y en la adaptación de la cámara CCD y motor paso a paso.

## 5. Desarrollo de las actividades

En el momento inicial se contaba con montajes preliminares de los distintos elementos que han configurado el sistema final. El desarrollo del proyecto ha permitido su comprobación, varias mejoras y el desarrollo del montaje actual. En concreto:

### 1. Control del movimiento de un monocromador mediante un step-motor.

1.1 Se decidió utilizar un motor modelo 28BYJ-48. Para ello se tuvo en cuenta el par y velocidad necesarias. Se trata de un modelo de baja potencia, pero suficiente para esta tarea gracias a un engranaje reductor que incluye. Su baja potencia supuso la ventaja adicional de poder ser alimentado desde la misma placa Arduino, lo que evita el uso de una fuente de alimentación separada. Además, este modelo es muy económico, por ser de uso muy frecuente. A continuación, el código Arduino se diseñó teniendo en cuenta las características de polaridad y número de pasos por vuelta de este modelo.



1.2 Fijado el tipo de motor, se configuró la conexión mecánica del motor al monocromador. Para ello se eligió un acoplamiento con una pieza que actúa como unión entre el eje del motor y el del monocromador. Dicha unión utiliza un tornillo en cada extremo, que puede desmontarse con facilidad en caso necesario. Durante el desarrollo se detectó cierta excentricidad en el eje del monocromador, ello requirió dotar de cierto al anclaje del motor a la carcasa, para evitar el movimiento forzado del eje.

1.3 Se diseñó el programa en entorno Arduino, que recibe instrucciones desde un ordenador, y envía las señales necesarias para el movimiento del motor paso a paso. Se decidió que dicha rutina sólo necesitaba recibir dos datos del ordenador: número de pasos y velocidad de avance. El resto de parámetros era preferible dejarlos fijos en el programa guardado en el Arduino.

1.4 Se diseñó una rutina de software que establece la comunicación usb entre el ordenador y el Arduino, y permite enviarle el número de pasos y velocidad deseada. Escrita en lenguaje Python, formó parte más tarde del programa completo de control y toma de datos desde el ordenador.

## 2. Registro de las imágenes mediante una cámara CCD.

2.1 Tras probar la compatibilidad mecánica y software de algunas cámaras disponibles en el laboratorio, se decidió aplicar una de las más sencillas, tipo webcam. A pesar de su sencillez y limitaciones, ha proporcionado resultados excelentes. Ello además garantiza que cualquier otra de prestaciones superiores sería igualmente aplicable.



Cámara CCD y Monocromador tipo Czerny-Turner utilizado, con la cámara CCD ya acoplada.

2.2 Se optimizaron las versiones preliminares de software para la captura de imágenes. En concreto se diseñó un sistema que permite

- El registro por separado de los píxeles de distinto color RGB
- El encadenamiento de imágenes para cubrir un margen amplio de longitudes de onda.

## 3. Integración en un mismo software de todos los elementos.

3.1 Se han integrado en un único código python las rutinas de control del motor y de lectura de la CCD.

3.1 El código se ha dotado de un entorno basado en menús interactivos, muy cómodos para que un usuario sin especialización pueda fijar de modo intuitivo los distintos parámetros de la toma de datos.

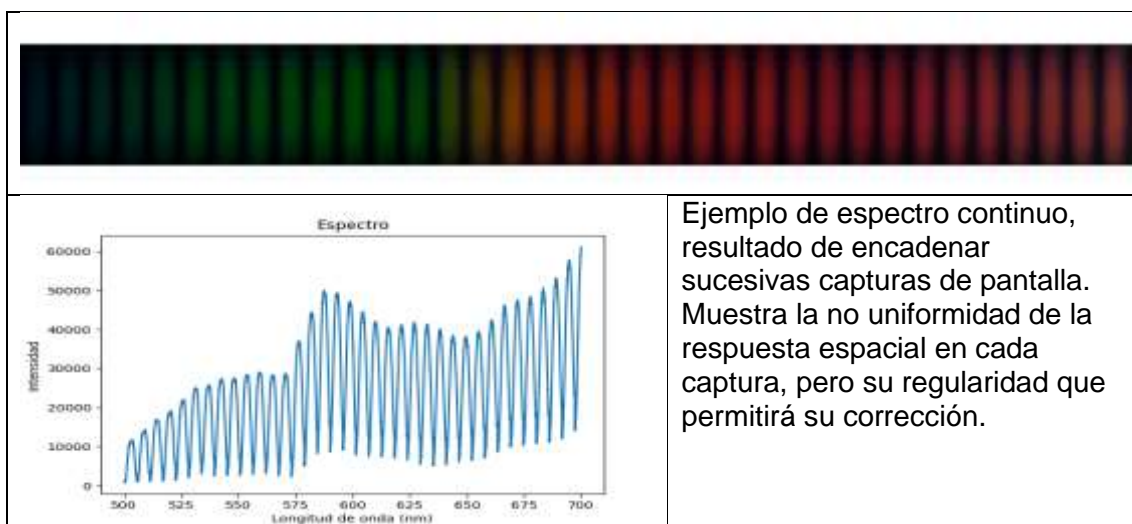
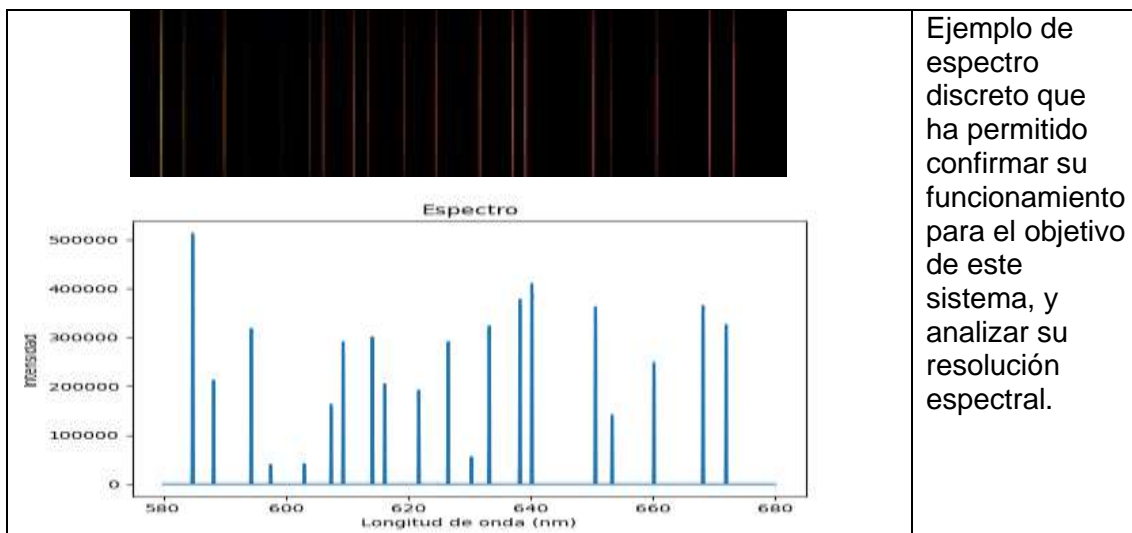


Aspecto del programa con sus distintas ventanas: a la izquierda los menús para la entrada de parámetros, a la derecha se muestran los datos capturados tanto como en forma de imagen como en forma de espectro.

#### 4. Caracterización del sistema completo y su optimización

Utilizando distintas fuentes espectroscópicas se han obtenido espectros que han permitido evaluar las posibilidades del sistema. En concreto

- El uso de lámparas de espectro discreto (sodio, mercurio y neon) han permitido apreciar la resolución espectral del sistema completo, que ha cumplido ampliamente con las expectativas iniciales.
- El uso de fuentes de espectro continuo (lámparas incandescencia, luz solar) ha permitido analizar la respuesta espectral de las distintas componentes RGB de la cámara, así como apreciar la uniformidad espacial del monocromador sobre la CCD. Ello ha revelado una cierta no-uniformidad espacial, que podrá corregirse gracias a mantener un patrón estable.
- El software completo se ha depurado hasta lograr una versión estable, lista para ser implementada en futuras prácticas de alumnos.



Para todo ello se involucraron los dos estudiantes que han formado parte del equipo, lo que contribuyó a sus respectivos trabajos de fin de grado. En particular, todas las imágenes mostradas en esta memoria están tomadas de esos dos trabajos de fin de grado.