

# ESPECTROMETRO EN EL VISIBLE: DISEÑO Y APLICACION A LABORATORIOS DE METROLOGIA Y COMUNICACIONES

C. Catalán\*\*, A. Blesa\*, F. Serna\*\*, I. Gutierrez\*.  
\*Dpto. Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Comunicaciones  
\*\*Dpto. de Informática e Ingeniería de Sistemas  
Universidad de Zaragoza  
Escuela Universitaria Politécnica, 44071 TERUEL  
Tfno. 978 610325 Fax. 978 603225  
Email: ablesa@posta.unizar.es

**RESUMEN.-** Encontramos ocasiones donde la distribución de energía en frecuencia de una fuente luminosa indica la calidad o el estado de sistemas optoelectrónicos (ej. LED) o de iluminación (ej. fuentes espectrales). Por este motivo resulta interesante acercar al alumno de Ingenierías relacionadas con estas disciplinas a herramientas que caractericen adecuadamente estas fuentes de iluminación. Este trabajo presenta un prototipo que permite caracterizar el espectro de un sistema radiante en el visible. Para ello se diseña y construye una red de difracción y la electrónica necesaria para almacenar el espectro en un ordenador compatible PC. Los resultados son cualitativamente correctos y el costo global de los componentes permite que se puedan dotar suficientes puestos de prácticas para una adecuada docencia en el laboratorio.

## 1.- INTRODUCCION

Al igual que en señales eléctricas, el espectro en frecuencia de una señal óptica es de interés en múltiples campos. Por ejemplo, en procesos de transmisión de datos por una fibra óptica interesa que las fuentes sean muy monocromáticas para evitar efectos de ensanchamiento de los pulsos, debidos a dispersión cromática. También se diseñan fuentes de iluminación con una distribución espectral adecuada para aplicaciones tales como iluminación de oficinas, presentación de productos, etc.

Al incluir asignaturas relacionadas con estos sistemas en Escuelas de Ingeniería, encontramos que las herramientas comerciales (espectrómetros, etc.) para realizar prácticas suelen ser pocas y con un alto costo, por lo que se hace difícil dotar adecuadamente a los laboratorios. Valorando los objetivos que deben cumplir algunas de las prácticas que muestren estos efectos, se ha llegado a la conclusión de que lo importante es observar fenómenos cualitativos, más que cuantitativos. Pongamos como ejemplo las diferentes fuentes de iluminación que existen en el mercado. Para distinguir una fuente de sodio o una de mercurio, es de interés observar que la primera tiene una distribución espectral claramente diferente a la segunda. Por este motivo, aunque los sistemas de medida no se encuentren perfectamente calibrados en intensidad, se consigue mostrar con toda claridad el efecto (en este caso caracterizar una fuente luminosa por su distribución de energía en el espectro visible).

## 2.- DISEÑO DE UN ESPECTROMETRO PARA PRACTICAS: DESCRIPCION DEL SISTEMA

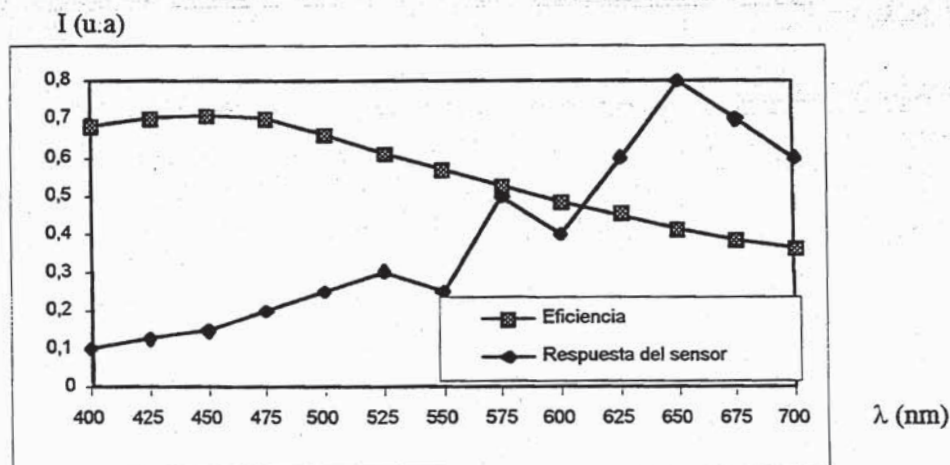
Siguiendo esta filosofía se ha diseñado y construido un sistema cuyo esquema se muestra en la fig. 1. El sistema consta básicamente de elementos ópticos, un sensor optoelectrónico, la electrónica necesaria para su lectura y control ubicada en una tarjeta basada en el bus PC diseñada al efecto, un computador compatible PC y el software adecuado.

La luz de una fuente luminosa se descompone en su espectro con una red de volumen y de fase holográfica construida a tal fin. Una red holográfica se obtiene de la interferencia de dos haces coherentes sobre un sustrato fotosensible [1]. En el presente caso se ha utilizado como medio de registro placas comerciales Agfa-Gevaert 8E75 [2], utilizando como fuente luminosa un láser de HeNe de 35 mW de potencia en continua. El procesado químico utilizado se conoce como Gelatinas Sensibilizadas con Haluros de Plata (SHSG) y está suficientemente descrito en la literatura [3]. Con el mismo se consiguen redes de alta eficiencia, entendida como la porción de energía que es difractada por la red. Además se ha observado que son muy estables en el tiempo, pudiendo soportar altas intensidades de luz sin merma de sus propiedades. Aunque en principio no se pretende calibrar en intensidad el sistema, es interesante, para posteriores desarrollos, conocer la eficiencia de las redes en función de la longitud de onda. Dato que mostramos en el graf 1.

Una vez grabada la red, se procede al diseño del sistema óptico completo, cuya disposición se muestra en la (fig. 2). La rendija de entrada se encuentra en el foco de la lente L1, que colima la luz de la fuente a estudiar. En estas condiciones se incide sobre la red holográfica, que difracta el haz luminoso, descomponiéndolo en su espectro. La dirección de salida de cada longitud de onda viene determinada por la ecuación de red en condiciones de desviación mínima [4]

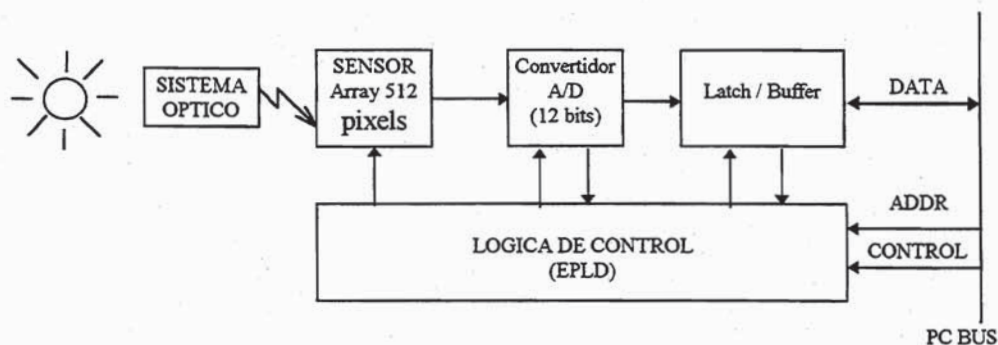
$$2d \sin(\theta) = \lambda$$

donde  $d$  es el periodo espacial de la red (en nuestro caso 817 líneas/mm)



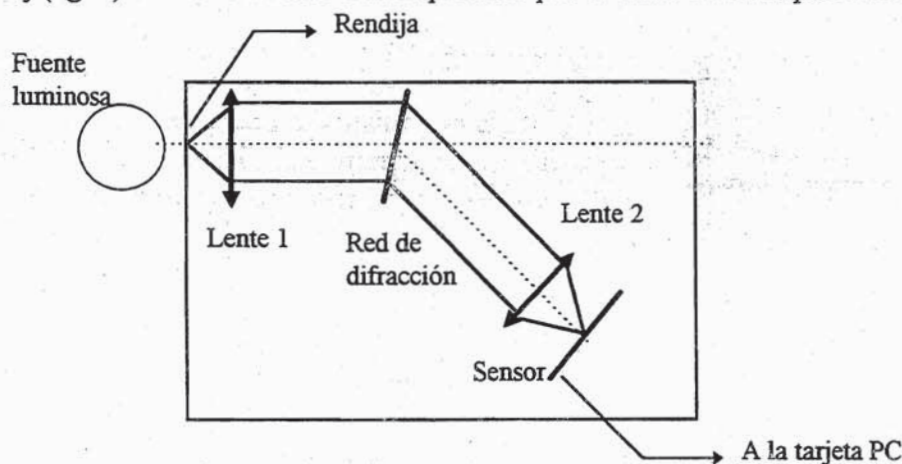
Gráfica 1.- Respuesta de la red de difracción y del sensor (según TI).

La segunda lente L2 focaliza estos haces en posiciones diferentes del plano imagen (en nuestro caso plano focal), donde se encuentra situado un sensor T.I. TSL 218, que consiste en una matriz lineal de 512 pixel.



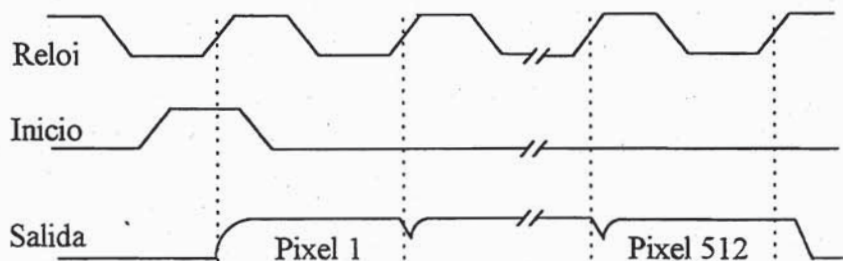
**Figura 1.-** Esquema hardware del espectrómetro.

El sensor basado en el efecto CCD convierte la luz recibida en cada pixel en una tensión analógica, que se obtiene en función de la intensidad luminosa que recibe y el tiempo de exposición para cada medida. Para evitar los efectos de saturación típicos en estos sensores se debe controlar el tiempo de integración (fig. 4). La respuesta a la intensidad en función de la longitud de onda se estima en la graf. 1. Los valores correspondientes a cada pixel son entregados por el sensor mediante un tren de 512 señales analógicas, la duración de cada una de estas señales es marcada por una entrada de reloj (fig. 3). El inicio de este tren se produce por el envío de un impulso al sensor.



**Figura 2.-** Esquema del sistema óptico.

Los valores analógicos recibidos del sensor deben ser convertidos a valores digitales, esta función es realizada por un convertidor A/D tipo SAR de 12 bits (Maxim MAX 190). Es necesario realizar 512 conversiones correspondientes cada una de ellas a el valor de un pixel, esto implica que debe existir una sincronización entre el tren de señales entregado por el sensor y el control del convertidor en la fase de muestro de su entrada. Esta sincronización se realiza por el software que controla la tarjeta.



**Figura 3.-** Diagrama temporal de las señales del sensor TLS 218.

Tanto el sensor como el convertidor A/D necesitan una lógica de control que ha sido integrada en un dispositivo EPLD (ALTERA Classic 910). Dicha lógica realiza las tareas de control del sensor (generación del reloj y del impulso de inicio del tren de señales analógicas), control del convertidor A/D (señal comienzo de conversión, lectura de señal de fin de conversión, almacén temporal del valor entregado por el sensor) y control del bus PC (mediante las líneas de ciclo de I/O y la decodificación de las direcciones de I/O, generación de las señales necesarias para la lectura de la conversión, control del sensor y del convertidor A/D).

El Programa que acompaña a este hardware realiza las operaciones de interfaz con el usuario y control de la electrónica asociada. Se ejecuta sobre entorno operativo Windows 3.1 o superior.

### 3.- FUNCIONAMIENTO BASICO DEL SISTEMA

Para establecer una relación entre la coordenada espacial que ocupa cada pixel del sensor con la longitud de onda que incide sobre la misma es necesario un adecuado proceso de calibración. Para ello se utilizan como fuentes de iluminación una fuente de mercurio de alta presión y otra de sodio, con picos de emisión de longitudes de onda conocida. A partir de estos valores se realiza un proceso de interpolación, para definir las longitudes de onda del resto de los pixels.

#### 3.1.- Funciones del sistema

Seguidamente se enumeran las funciones implementadas en este sistema:

Comandar la tarjeta de adquisición de datos: Generando las señales de control adecuadas para el funcionamiento del sistema.

Implementar un control automático de ganancia: Modificando el tiempo de integración del sensor para optimizar su rango dinámico, evitando en lo posible, su saturación.

Filtrar la señal para corregir efectos no deseados en el proceso de medida (obtención de espectro, conversión optoelectrónica, conversión A/D, etc.) debidos a variaciones en el comportamiento frente a longitudes de onda diferentes, a tolerancias de fabricación, etc.

Presentar al usuario las siguientes operaciones: Visualizar el espectro obtenido por el sistema, permitiendo elegir zonas de interés (Zoom), etc.; controlar los parámetros que intervienen en la realización de la medida, (tiempo de integración, nivel de offset, etc.). Almacenar y recuperar espectros en disco, en formato ASCII, fácilmente exportable a otras aplicaciones (Excel, MatLab, etc.). Comparar varios espectros entre sí, visualizando simultáneamente hasta tres señales diferentes, dos de ellas adquiridas previamente. Para ello se disponen de tres canales activables a voluntad del usuario.

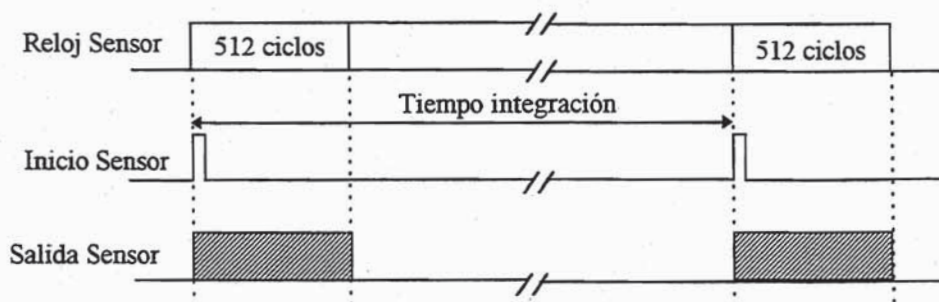


Figura 4.- Tiempo de integración.

#### 4.- RESULTADOS

La figura 5 muestra el interfaz de usuario, donde se observan gráficas obtenidas con el sistema anteriormente descrito. Las mismas representan la distribución energética de una fuente de mercurio de alta presión PHILIPS HPL-N, y una fuente de sodio de alta presión PHILIPS HPL-C.

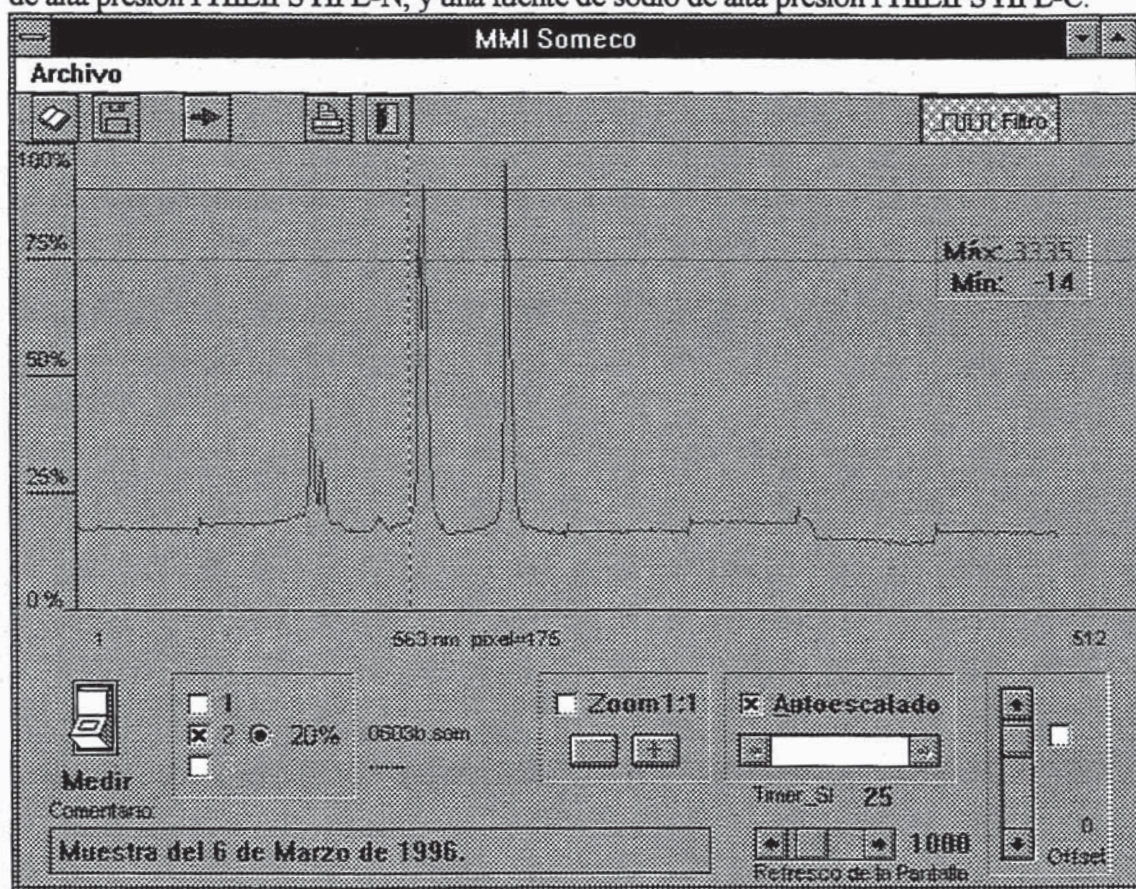
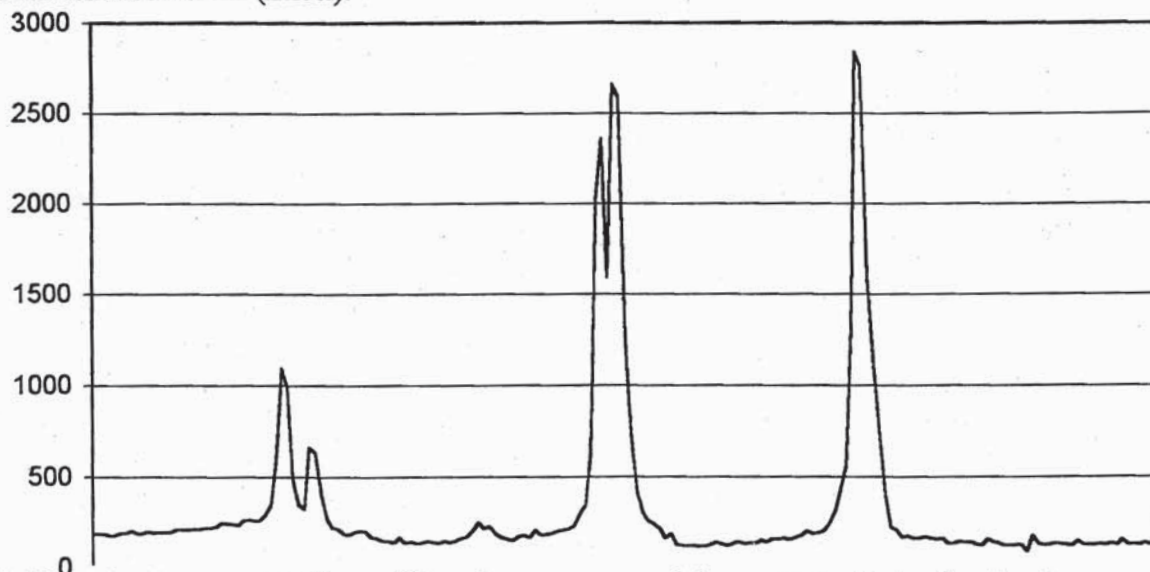


Figura 5.- Interfaz de usuario

Mostramos en la Gráfica 2 parte del espectro en el visible de la fuente de mercurio antes mencionada, que ha sido almacenada en un fichero y exportado para su representación a una herramienta comercial (Excel).



Gráfica 2.- Representación gráfica de una parte del espectro de la fuente de mercurio, exportado a Excel

## 5.- CONCLUSIONES

Utilizando componentes electrónicos de bajo costo, fáciles de encontrar en el mercado y construyendo redes planas de difracción, se ha diseñado y construido un espectrómetro que permite observar cualitativamente la distribución de energía de diferentes fuentes de luz utilizadas en iluminación y en telecomunicaciones. Las redes de difracción construidas tienen alta eficiencia, bajo costo y alta estabilidad.

Consideramos que este es un claro ejemplo donde se integra en un mismo diseño sistemas ópticos (redes de difracción) en un entorno de adquisición de datos y control suficientemente conocido y extendido (PC). De esta forma acercamos a los alumnos de Ingeniería Técnica en Telecomunicación, especialidad Sistemas Electrónicos, a la caracterización de estas fuentes luminosas, llevando al laboratorio conceptos teóricos que de otra forma supondrían un costo económico inabordable.

Agradecimientos: Trabajo subvencionado por la Diputación Provincial de Teruel. (nº de Proyecto UZ-28468).

## 6.- REFERENCIAS

- [1] R. Collier, C.B. Burckhardt, L.H. Lin "Optical Holography". Ed. Academic Press
- [2] Agfa-Gevaert, Diagnostic Imaging Systems Division, "Información técnica".
- [3] A. Fimia, I. Pascual, A. Beléndez. "Silver Halide Sensitized Gelatin as a holographic storage medium". SPIE vol 952, pp 288-291, 1988.
- [4] J. Casas. Optica. 2 De. Zaragoza, 1995
- [5] Texas instruments optoelectronics Data Book.