



# Intensidad luminosa

## Cómo construir una estación meteorológica (II)

En este segundo artículo vamos a tratar sobre la medida de la intensidad luminosa. Como ya comentamos el mes pasado, el corazón de la estación meteorológica será un nuevo microcontrolador de la familia PIC, mucho más potente que el PIC16F84 empleado hasta el momento en los anteriores artículos, tanto en los de robótica y los de comunicaciones como en el primero de esta nueva serie.

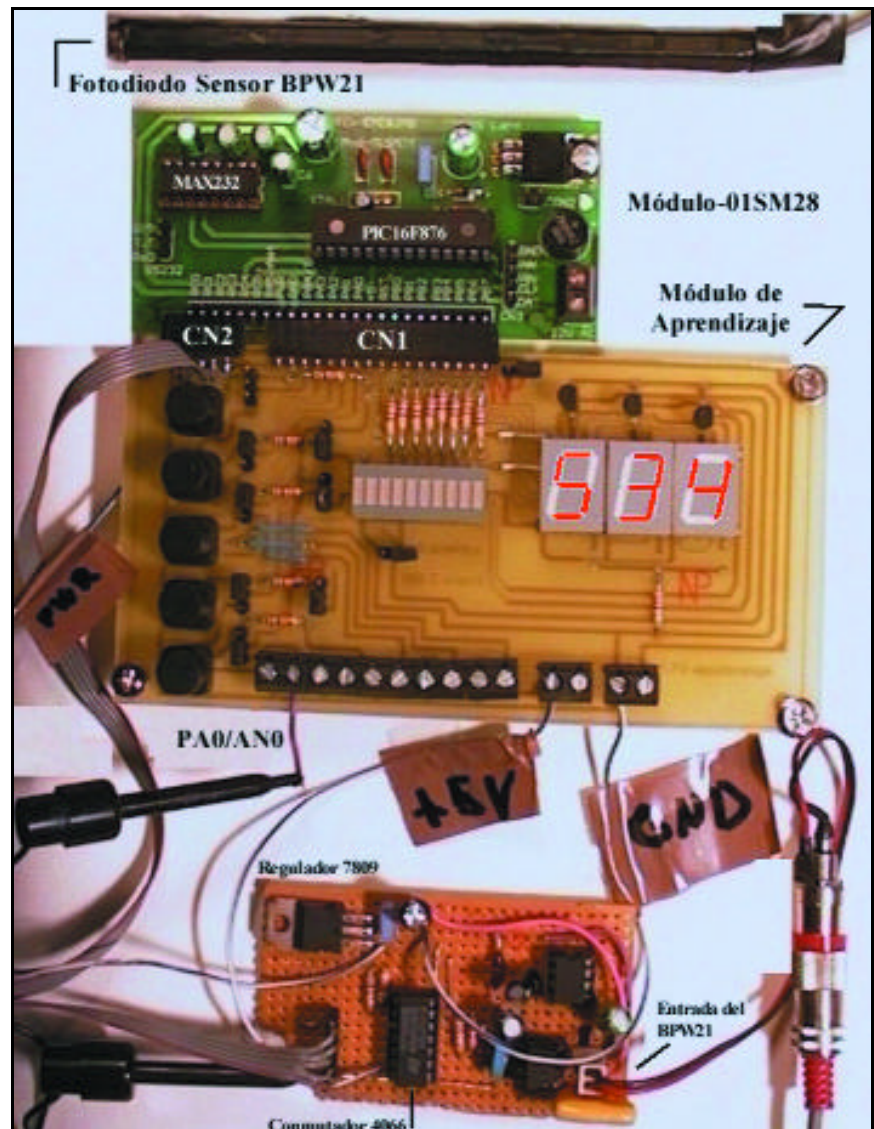
**E**ste nuevo microcontrolador es el PIC16F876, del que ofrecemos mayor información en el recuadro adjunto, donde también indicamos los motivos de la elección de este modelo. Para que el lector pueda utilizar con toda comodidad el microcontrolador PIC, que tiene un encapsulado de 28 pines, se ha diseñado un nuevo módulo 01, el Mod-01SM28, que se ha utilizado conjuntamente con el Módulo de Aprendizaje. Con la intención de presentar con cierto detalle tanto el PIC16F876 como el nuevo módulo que se encarga de hacerlo funcionar, ha sido necesario dividir en dos artículos la medida de la intensidad luminosa.

### ■ Intensidad luminosa ambiental

Dado el amplio rango de valores que abarca la intensidad luminosa a lo largo de un mismo día, hemos diseñado el sensor de tal forma que pueda conmutar automáticamente entre cuatro diferentes rangos según sea la intensidad luminosa ambiental y obtener de esta forma una mayor precisión en las medidas. Las intensidades luminosas típicas pueden ir desde algo menos de 1 lux durante la noche, hasta intensidades de más de 100.000 lux con sol de mediodía. Estas intensidades quedan reflejadas en la tabla de la siguiente página.

### ■ Luz e intensidad luminosa

La luz es una forma de energía radiante, una radiación electromagnética propaga-



Detalle del Módulo-01SM28 junto con el Módulo de Aprendizaje.

da en forma de onda. Usualmente se define como una porción del espectro electromagnético entre 10 y  $1 \times 10^6$  nanómetros en longitud de onda (la longitud de onda límite se sitúa entre 100 y 1.000  $\mu\text{m}$ , aunque nunca ha sido definida estrictamente).

Se considera luz aquella radiación que puede percibirse visualmente. El espectro

visible va desde 380 nm (violeta) hasta 780 nm (rojo). La sucesión del espectro es: rojo, naranja, amarillo, verde, azul, añil y violeta. El ojo humano es más sensible con la luz diurna alrededor de los 550nm (amarillo-verde) y sobre los 500 nm (azul-verde) con la luz nocturna.

La banda de longitudes de onda entre 10 y 380 nm se denomina radiación



## Intensidades luminosas

Iluminación natural	
Condiciones ambientales	Iluminación (lx)
Sol de mediodía en día de verano	140.000 o más
Día de verano a pleno sol	100.000 a 125.000
Día de verano y cielo cubierto	6.000 a 20.000
Día de invierno y cielo despejado	9.000
Día de invierno y cielo cubierto	900 a 2.000
Crepúsculo	70
Anochecer	1,5
Noche de luna llena y cielo despejado	0,3
Iluminación artificial	
Luz de una candela a 1 metro	1
Calle bien iluminada (de noche)	16
Andenes y escaleras del metro	30 a 60
Salas de estar y oficinas	250
Mesa de trabajo	500
Proyector de diapositivas	1.000 a 1.500

ultravioleta (UV) y la banda entre 780 nm y 104  $\mu\text{m}$  radiación infrarroja (IR). Dentro de la banda IR la porción entre 780 y 3.000 nm (3  $\mu\text{m}$ ) se denomina frecuentemente infrarroja cercana, mientras que las longitudes mayores (por encima de 3  $\mu\text{m}$ ) se consideran infrarroja lejana.

Según las normas CIE (Comisión Internacional d l'Eclairage), las unidades de luz son:

**Intensidad luminosa (I) de una fuente puntual** es el flujo luminoso (emitido por una fuente puntual) por unidad de superficie de ángulo sólido (estereorradián (sr)). La unidad es la candela (cd), que corresponde a una intensidad luminosa en una dirección particular a una superficie de 1/600.000 m<sup>2</sup> de un cuerpo negro a la temperatura de solidificación del platino (2.042°K). Nota: según el Diccionario de la Lengua Española de la Real Academia, estereorradián se define como unidad de ángulo sólido, equivalente al que, con su

vértice en el centro de una esfera, determina sobre la superficie de ésta un área equivalente a la de un cuadrado cuyo lado es igual al radio de la esfera.

**Flujo de luz** es la cantidad total de potencia radiada por una fuente luminosa como luz visible dentro del ángulo sólido de un estereorradián por una fuente puntual que tenga una intensidad uniforme. Lumen (lm) corresponde al flujo emitido en un estereorradián (que como ya hemos comentado, es un ángulo sólido que tiene su vértice en el centro de una esfera y que corta en su superficie un área igual a la de un cuadrado que tenga por lado el radio de la esfera) por una fuente puntual uniforme situada en el vértice del ángulo sólido y que posee la intensidad de una candela. Las equivalencias son:

$$1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot \text{sr}$$

Para una fuente luminosa que radia igual en todas direcciones:

$$1 \text{ lm} = 4 \cdot \pi \cdot \text{cd}$$

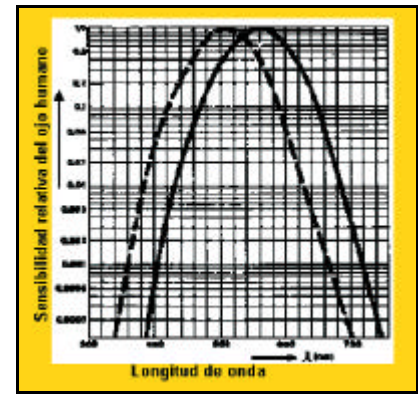
$$1 \text{ cd} = 0,0796 \text{ lm}$$

**Incidencia luminosa o iluminación (de un área)** es la unidad de iluminación, que es el lux (lx) y corresponde a la iluminación de una superficie que recibe normalmente y de forma uniforme un flujo luminoso de 1 lumen por metro cuadrado.

### Hardware sensor

Para medir la intensidad luminosa, en primer lugar necesitamos un sensor o transductor que convierta la radiación luminosa en una señal eléctrica. El luxómetro será de utilidad si «ve» la iluminación de forma similar a como lo hace el ojo humano y, por esta razón, las sensibilidades espectrales cromáticas del sensor y del ojo deben ser lo más similares posible.

Para cumplir con las condiciones antes mencionadas, se ha elegido un fotodiodo (BPW21). Podemos describir el fotodiodo en función a su actuación como una «fuente de corriente fotocontrolada»



Sensibilidad espectral del ojo humano.

o como un «convertidor luz / corriente». Cuando la luz incide sobre el diodo, se genera una corriente muy débil, directamente proporcional a la intensidad luminosa que recibe. Esta corriente circula desde el cátodo al ánodo.

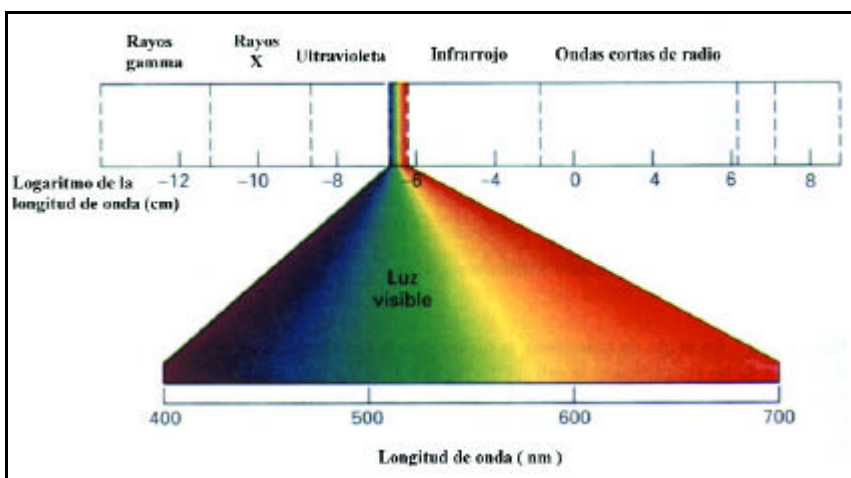
Una de las formas de conectar el fotodiodo es en modo de fotocorriente o pila fotovoltaica. En este caso el fotodiodo se polariza en sentido inverso y se mide la intensidad de la corriente. ¿Cuáles son las ventajas de este método? Una de las características esenciales del montaje en fuente de corrientes es que la relación entre la intensidad de la luz incidente y la corriente de cortocircuito del diodo es totalmente lineal. Otra ventaja de la fuente de corriente es que su margen dinámico es bastante más amplio que el montaje en fuente de tensión.

Pero las cosas no son tan simples, pues como hemos indicado, también se debe tener en cuenta su respuesta espectral. Un fotodiodo de silicio monocristalino también es sensible al infrarrojo. Si comparamos la curva de respuesta espectral del ojo humano y la del BPW21 o el BPW34, vemos que se asemejan bastante a las del ojo humano.

Otra característica del fotodiodo BPW21 es su utilidad para medidas luminosas de débil magnitud, ya que puede llegar a medir 0,1 lux sin pérdida de linealidad. Su rango de linealidad posee una conversión lineal desde 10e-2 hasta 10e5 lux. Es decir, el sensor entrega una corriente directamente proporcional a la cantidad de luz incidente. El fotodiodo se ha montado en cortocircuito virtual, entre masa y la entrada inversora de un amplificador operacional. Se puede obtener una tensión (V) de salida utilizando una resistencia de contrarreacción R. El voltaje a la salida es igual a  $V = R \times I$ , siendo R la resistencia de contrarreacción e I la corriente que atraviesa el fotodiodo.

### Convertidor luz-corriente-voltaje

Dada las ventajas expuestas en el apartado anterior de montar el fotodiodo en



Espectro de radiación.



# PIC16F876, el corazón de la estación meteorológica

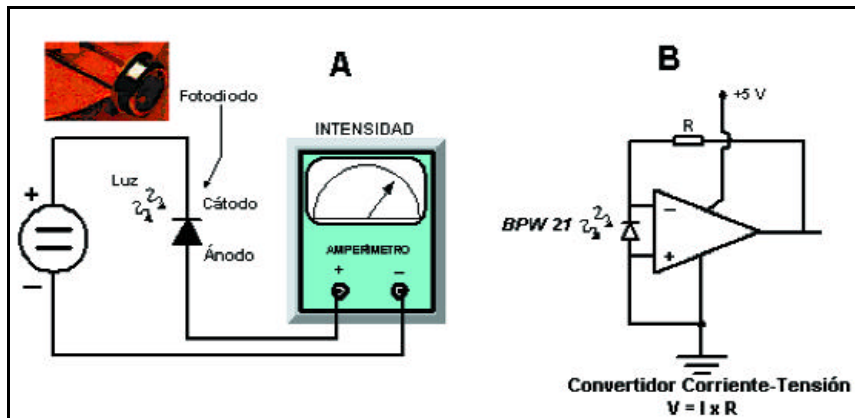
Las funciones más importantes de la estación meteorológica serán gestionadas por el microcontrolador PIC16F876, cuyas características más significativas os presentamos a continuación:

Características	PIC16F876
Frecuencia máxima de funcionamiento	20 MHz
Reset y contadores	POR, BOR, PWRT, OST
Memoria de programa (flash)	8 K de 14 bits
Memoria de datos	368 bytes
Memoria de datos EEPROM	256 bytes
Interrupciones	13
Temporizadores	3
Módulos Capture/Compare/PWM	2
Comunicación serie	MSSP, USART
Convertor A/D 10 bits	5 canales
Set de instrucciones	35

modo de fotocorriente, esta es la solución elegida. En la «Figura 1» se presenta el esquema eléctrico simplificado de la parte analógica que se encarga del acondicionamiento del sensor BPW21. El BPW21, tal como se ha indicado, está conectado en cortocircuito, es decir, el ánodo a la entrada positiva del amplificador operacional y masa y el cátodo a la entrada negativa y la resistencia de contrarreacción R, que por su otro extremo está conectada a la salida del amplificador operacional. El voltaje a la salida de este amplificador operacional se calcula mediante la fórmula  $V = R \times I$ , siendo I la corriente proporcionada por el diodo, que es directamente proporcional a la intensidad luminosa. Se deduce que dependiendo del valor de R, así será el valor del voltaje que

### Más información:

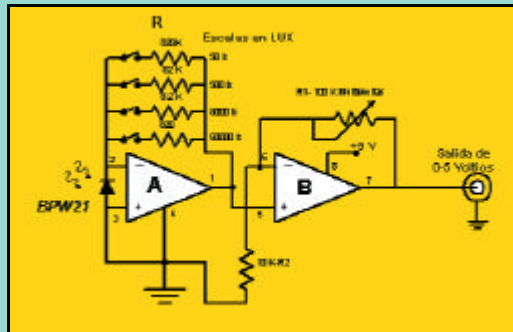
Para contactar con los autores del artículo:  
Dr. Eugenio Martín Cuenca  
Ing. Luis Javier Asensio Morcillo  
Dr. Félix Hidalgo Puertas  
Facultad de Ciencias Universidad de Granada  
E-mail: emartin@goliat.ugr.es  
http://curtis.ugr.es



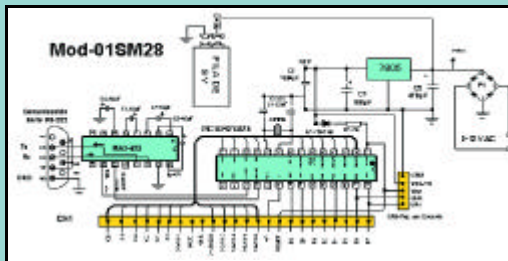
«Figura 1». Cuando la luz incide sobre el diodo, se genera una corriente muy débil, directamente proporcional a la intensidad luminosa que recibe. Esta corriente circula desde el cátodo al ánodo.

# Módulo-01SM28

Como ya informamos en el anterior artículo, la necesidad de un circuito convertor analógico a digital, entre otras, nos ha llevado a diseñar un nuevo módulo, el Módulo-01SM28, que incorpora uno de los más recientes microcontroladores, el PIC16F876, aunque puede incorporar cualquiera de los de 28 pines del fabricante.



«Figura 2». Esquema eléctrico simplificado de la parte analógica que se encarga del acondicionamiento del sensor BPW21



«Figura 3». Esquema eléctrico del Módulo-01SM28.

Este módulo, cuyo esquema eléctrico se presenta en la «Figura 3», es muy similar al Módulo-01SM que se presentó en los primeros artículos y que se ha usado profusamente hasta el momento en esta serie. Posee también comunicación serie, basada en un IC MAX-232, encargada de la comunicación con el PC.

Dado el mayor número de pines del PIC16F876, el conector CN1 posee 24 líneas, en lugar de las 17 del Módulo-01SM. Ahora bien, para mantener al máximo la compatibilidad, los 17 pines de la derecha del CN1 son exactamente los mismos y ocupan igual posición en ambos módulos. Esta compatibilidad le permite ser empleado conjuntamente con el Módulo de Aprendizaje.

obtenemos a la salida del amplificador operacional.

Este voltaje se ha de introducir por la primera entrada del convertor analógico-digital (pin AO/ANO) del PIC16F876. El rango de este convertor analógico digital va de 0 a 5 voltios, por lo que se debe diseñar esta parte del circuito para poderlo aprovechar en su totalidad.

En la «Figura 2» se presenta el esquema eléctrico simplificado de la parte analógica que se encarga del acondicionamiento del sensor BPW21. Como puede apreciarse, hay

### Bibliografía

Martín Cuenca, E., Angulo J.M. y Angulo, I. (2000). «Microcontroladores PIC. La solución en un chip». 4ª Edición. Paraninfo-ITP.

algunos cambios respecto a la «Figura 1». Comprobamos que entre el ánodo conectado a la entrada positiva (pin 3) del amplificador operacional A y masa y el cátodo conectado a la entrada negativa (pin 2), no hay sólo una resistencia de contrarreacción R, sino varias. En realidad R no es una sola resistencia, sino cuatro resistencias que, según se inserte una u otra en el circuito, permiten la conmutación de los cuatro diferentes rangos de medida, desde 50 a 50.000 lux o más.

El amplificador debe ser del tipo FET, cuya elevadísima impedancia de entrada constituye una carga despreciable para el diodo. El segundo amplificador B lleva la señal de salida a los niveles requeridos por el convertor A/D (de 0 a 5 voltios).

Resumiendo, como respuesta a la intensidad luminosa el sensor (BPW21) produce una pequeña corriente eléctrica comprendida entre  $10e-4 \mu A$  (para una iluminación de unos 0,01 lux) y  $10e3 \mu A$  (para unos 100.000 lux de iluminación), que es transformada en un voltaje comprendido entre 0 y 5 voltios por el circuito acondicionador de señal.

Dr. Eugenio Martín Cuenca  
Ing. Luis Javier Asensio Morcillo  
Dr. Félix Hidalgo Puertas