

## 5º CyTAL – V Jornadas de Ciencia y Tecnología para Alumnos

### MEDIDOR DE RADIACION SOLAR CON ALMACENAMIENTO EN MEMORIA SD

#### Departamento de Ingeniería Electrónica

Autor: **Fabián Sensini**; Legajo UTN: 4995; Tutor: **Ing. Franco Salvatico**.

Contacto: [fabiansensini@gmail.com](mailto:fabiansensini@gmail.com); UTN FRVM – Av. Universidad 450 – Villa María – Córdoba.

**Palabras Claves:** Radiación Solar, Fotodiodo, Ozono, Atmosfera, Ondas Electromagnéticas.

#### Resumen

La radiación solar es la energía emitida por el sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Esta energía es el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima, la misma después de pasar por la atmósfera, donde sufre un proceso de debilitamiento, alcanza la superficie terrestre, oceánica y continental, que la refleja o la absorbe, donde la radiación que finalmente llega a la superficie de la tierra se clasifica en: **Directa, Difusa y Global**.

Medir la radiación solar es importante para una amplia variedad de aplicaciones, tales como el monitoreo del efecto en el crecimiento de las plantas, análisis de la evaporación e irrigación del agua, arquitectura y diseño de edificios, generación de electricidad, diseño y uso de sistemas de calentamiento solar, implicaciones en la salud (cáncer de piel), modelos de predicción del tiempo y el clima entre otros. Los niveles de radiación en la superficie terrestre dependen de varios factores como son: la posición del sol, la altitud, la latitud, el cubrimiento de las nubes, la cantidad de ozono en la atmósfera y la reflexión terrestre, además estos niveles varían durante el día y a lo largo del año, presentándose los mayores niveles en el día cuando el sol se encuentra en su máxima elevación.

La medición de la radiación solar se realiza en dos espectros, debido a que no existe un sensor capaz de medir todo el espectro, estos son el UV (215 a 380 nm) y uno denominado global (380 a 1100 nm) que abarca el espectro visible y una parte del infrarrojo, para esto se diseñan sensores que utilizan dos fotodiodos para esas longitudes de onda; la radiación global es la que abarca la mayor cantidad de energía que incide y la radiación UV es la más peligrosa para las personas, esta radiación es la que ocasiona daños sobre la piel pudiendo ser causa de cáncer. El dispositivo presentado realiza la medición de la radiación solar y almacena los datos obtenidos en una memoria SD, donde se genera un archivo de datos en Excel donde se escriben los valores de radiación, la fecha y la hora a la cual se realiza la medición obteniendo así información para generar un histórico de los valores medidos.

#### Radiación solar, que es y para que se utiliza

La radiación solar es la energía emitida por el sol, que se propaga en todas las direcciones, en la Figura N° 1 se observa el espectro de radiación que incide en la superficie terrestre. Los niveles de radiación varían durante el día y a lo largo del año, presentándose los mayores niveles en el día cuando el sol se encuentra en su máxima elevación (entre las 10 a.m. y las 2 p.m.; el 60% de la radiación es recibida a estas horas). Por el contrario, cuando el ángulo del sol está más cercano al horizonte llega menos radiación a la superficie de la Tierra debido a que atraviesa una distancia más larga en la atmósfera y encuentra más moléculas de ozono, dando lugar a una mayor absorción. En zonas diferentes a los trópicos los máximos niveles se presentan en los meses de verano alrededor del mediodía, la altitud también determina la cantidad de radiación que se recibe, debido a que en zonas de alta montaña el aire es más limpio y la capa atmosférica más delgada determinándose que a mayor altitud mayor radiación. Otro aspecto relevante son las nubes que pueden tener un impacto importante en la cantidad de radiación que recibe la superficie terrestre, generalmente las nubes densas bloquean más radiación que una nube delgada, por ejemplo los días de lluvia o muy nublados reducen la exposición, en algunos casos hasta un 50% o más. Otro factor importante en la determinación de la intensidad de radiación a la cual se está expuesto y que recibe una persona, es el tiempo que la misma permanece expuesta al Sol. Las personas que

trabajan o juegan al aire libre durante largos períodos de tiempo sufren riesgos mayores por los efectos perjudiciales de la exposición a la radiación solar pero principalmente a causa de la radiación UV, razón por la cual en verano estar expuesto a esta radiación es mucho más perjudicial. El uso de los salones para bronceado también aumenta el riesgo, porque la radiación ultravioleta, cualquiera sea la fuente, contribuye en daños a largo plazo sobre la piel, estos pueden ser quemaduras de diferentes grados, úlceras y en el peor de los casos puede ocasionar cáncer, por tal motivo es aconsejable utilizar protección de grado alto cuando tenemos que estar expuestos al sol y en caso de estar tiempos prolongados se aconseja repetir la protección periódicamente.

Solamente las nubes tipo cúmulos de gran desarrollo vertical atenúan la radiación UV prácticamente a cero, el resto de las formaciones tales como cirrus, estratos y cúmulos de poco desarrollo vertical no la atenúa, por lo que es importante utilizar protección aún en días nublados, además de tener especial cuidado cuando se desarrollan nubes cúmulos de poca envergadura, ya que pueden llegar a actuar como difusores e incrementar la intensidad de los rayos UV y por consiguiente el riesgo solar, algunas nubes tenues pueden tener el efecto de lupa.

Cabe aclarar que la radiación UV se divide en tres espectros distintos, el UV-A; UV-B y UV-C, el fotodiódodo que se utiliza para medir esta radiación comprende los espectros UV-A el cual aporta aproximadamente el 90% de esta radiación y el UV-B, parte del cual es absorbido por el ozono, el UV-C no se mide debido a que la capa de ozono lo absorbe por completo. Estos dos últimos espectros son los que mayor daños causan en la piel, debido a que el valor de la radiación UV que incide sobre la tierra es el más perjudicial para la salud y como los mismos se incrementan cada vez mas debido a la debilitación en la capa de ozono, es de gran interés conocer este valor para saber cómo debemos actuar al momento de estar expuestos a la radiación solar.

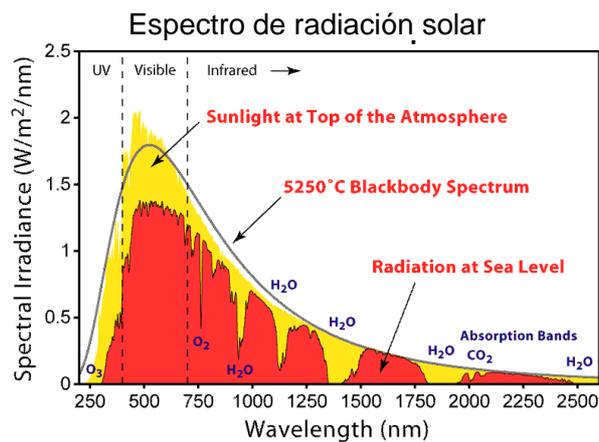


Figura N° 1.

Entre las múltiples aplicaciones de la energía solar se encuentran su aprovechamiento como luz directa, como fuente de calor y en la generación de electricidad:

Como luz directa: se utiliza para iluminación, secado de ropa y en algunos productos en procesos de producción con tecnología simple.

Como fuente de calor: puede utilizarse para el calentamiento de algún sistema que posteriormente permitirá la climatización de viviendas, calefacción, refrigeración, secado, entre otros; los sistemas de aprovechamiento térmico permiten que el calor recogido en los colectores pueda destinarse y satisfacer numerosas necesidades. Por ejemplo, se puede obtener agua caliente para consumo doméstico o industrial, o bien generar calefacción a casas, hoteles, colegios, etc.

Generación de electricidad: es la energía aprovechada por medio de celdas fotovoltaicas (celda solar) capaz de convertir la luz en un potencial eléctrico, sin necesariamente pasar por un efecto térmico. Para lograr esto la energía solar se recoge de una forma adecuada a través de módulos fotovoltaicos. La electricidad que se obtiene de esta manera puede usarse de forma directa, o bien ser almacenada en acumuladores para usarse en horas nocturnas, incluso es posible inyectar la electricidad sobrante a la red general, obteniendo un importante beneficio.

En la agricultura: su aplicación es muy amplia, en invernaderos solares pueden obtenerse mayores y más tempranas cosechas; los secaderos agrícolas consumen mucha menos energía si

se combinan con un sistema solar, y por citar otro ejemplo, pueden funcionar plantas de purificación o desalinización de aguas sin consumir ningún tipo de combustible.

Las "células solares", dispuestas en paneles solares, ya producían electricidad en los primeros satélites espaciales. Actualmente se perfilan como la solución definitiva al problema de la electrificación rural, con clara ventaja sobre otras alternativas, pues, al carecer los paneles de partes móviles, resultan totalmente inalterables al paso del tiempo, ni producen ningún ruido en absoluto, no consumen combustible y no necesitan mantenimiento. Además, y aunque con menos rendimiento, funcionan también en días nublados, puesto que captan la luz que se filtra a través de las nubes.

Es por estas aplicaciones que debemos tomar muy en serio la obtención de los datos de la Radiación Solar, sobre todo en los lugares en que pensamos hacer estas aplicaciones, teniendo esta información nos ayuda a informar sobre el aumento de los Rayos UV y sus efectos sobre la salud, registrar las Cantidades de Radiación Solar para su aplicación en la generación de electricidad, calor y su importancia en cantidad necesaria para requerimientos agrícolas, desde luego en combinación con los datos climatológicos.

### Medición de la radiación solar

Para tal fin se desarrolla un sensor que contiene dos fotodiodos debido a que en el mercado no existe un fotodiodo o sensor capaz de medir todo el espectro de radiación y un circuito acondicionador de señal (que es un amplificador para realizar una conversión de corriente a tensión eléctrica) ya que los fotodiodos proporcionan un valor de corriente proporcional al nivel de radiación solar que incide sobre ellos, convirtiéndola en tensión se ingresa con esta al microcontrolador que por medio de sus conversores analógicos-digitales (A/D) proporciona una señal digital del valor de radiación medida por los fotodiodos. Esta etapa es la encargada de obtener los índices correspondientes a la radiación solar incidente, la cual es medida en Watts por metros cuadrados ( $W/m^2$ ). Como se menciona con anterioridad se opta por la utilización de dos fotodiodos, se puede observar en la Figura N° 2c el sensor físico que está compuesto por el fotodiodo de la derecha que es el encargado de medir la radiación UV incidente y el fotodiodo de la izquierda que mide la radiación global, se utilizan estos sensores debido a que es la franja del espectro de radiación (200 nm a 1100 nm) en la cual se concentra la mayor parte de la energía proveniente del sol, mostrado en la Figura N° 1 (espectro de radiación solar), e incidente sobre la superficie terrestre.

Debido a que la señal entregada por los fotodiodos debe acondicionarse, para utilizar un conversor A/D incluido en el microcontrolador utilizado, y así obtener los valores de radiación solar que se desean medir, se utiliza para tal fin un amplificador operacional en configuración de conversor de corriente a tensión, en la Figura N° 2a se observa el esquema eléctrico utilizado para tal fin y para cada fotodiodo.

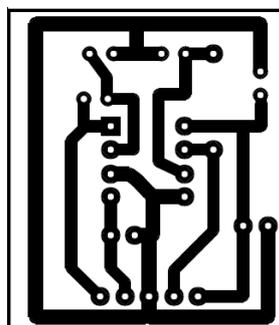
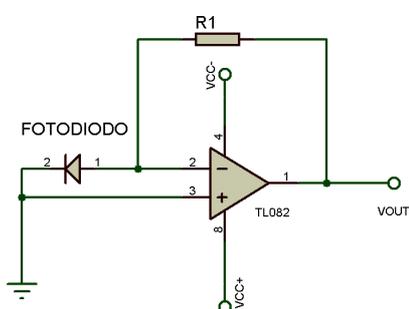


Figura N° 2a Circuito eléctrico    Figura N° 2b Diseño de placa    Figura N° 2c Placa terminada

Como el nivel de tensión obtenido es negativo por la configuración del amplificador lo que se hace es agregar otra etapa amplificadora con ganancia unitaria y negativa para invertir el nivel de señal proveniente de los sensores. Además de esta forma se logra separar la etapa de medición del micro lo cual es muy importante para que los sensores vean una alta impedancia y no carguen al microcontrolador, logrando un correcto funcionamiento del A/D y obteniendo una medición

correcta. Los conversores A/D que tiene incorporado el microcontrolador, tienen una resolución de 10 bits lo que le da una resolución en tensión de 4,82 mV por cada bit, este valor se obtiene de la ecuación N° 1-1, es decir que vamos a tener una señal digital que varía cada 4,82 mV; luego a la conversión de la señal analógica en digital se utiliza la ecuación 1-2 para obtener el nivel de tensión que tenemos a la entrada del A/D, de esta manera se toman las mediciones correspondientes a cada sensor y se utilizan estos valores para mostrarlos en el display LCD y almacenarlos en la memoria SD para generar el archivo histórico.

$$\text{resolución} = \frac{V_{ref}}{(2^N - 1)} = \frac{5V}{(1024 - 1)} = 4,88mV \quad \text{Ecuación (1-1)}$$

$$D = \frac{((\text{señalA/D}) * V_{ref})}{2^N} \quad \text{Ecuación (1-2)}$$

D = Nivel de tensión; Vref = Tensión de referencia; N = Número de bits que utiliza el A/D.

Para la obtención de los niveles de radiación y debido a que los fotodiodos entregan un valor de corriente que es directamente proporcional a los valores de radiación medidos, se utiliza el nivel de tensión entregado por el A/D multiplicado por una constante que se obtiene de la relación del conversor de corriente a tensión y de la relación corriente radiación solar que entrega el fotodiodo. El cálculo de la radiación se implementa por medio del software del microcontrolador, ya que se utiliza una ecuación (ecuación 2-3) donde se calcula el valor de la misma en Watts por metros cuadrados ( $W/m^2$ ), este cálculo se hace en función de la corriente generada por el fotodiodo, que en el microcontrolador es leída como un nivel de tensión mediante sus conversores A/D.

$$R_d = \frac{I_{in}}{(S(\lambda) * A_r)} \quad \text{(Ecuación 2-1)}$$

$$V_{out} = I_{in} * R \Rightarrow I_{in} = \frac{V_{out}}{R} \quad \text{(Ecuación 2-2)}$$

La ecuación 2-2 es la ecuación del conversor de corriente a tensión, si reemplazamos la ecuación 2-2 en la ecuación 2-1 obtenemos la ecuación 2-3 utilizada para el cálculo de la radiación solar.

$$R_d = \frac{\left(\frac{V_{out}}{R}\right)}{(S(\lambda) * A_r)} = \frac{V_{out}}{(S(\lambda) * A_r * R)} \quad \text{Ecuación 2-3}$$

$R_d$  = radiación incidente en los fotodiodos en Watts por metros cuadrados ( $W/m^2$ ).

$I_{in}$  = corriente generada por el fotodiodo en Amperes (A).

$S(\lambda)$  = sensibilidad del sensor en Amperes por Watts (A/W).

$A_r$  = área activa del sensor, expresada en metros cuadrados ( $m^2$ ).

$V_{out} = D$  = tensión medida en el A/D del microcontrolador y expresada en Voltios (V).

$R$  = resistencia de realimentación del conversor de corriente a tensión en Ohm ( $\Omega$ ).

Reemplazando las variables por sus correspondientes unidades obtenemos la unidad de medida de la radiación que es  $W/m^2$  como se observa en la ecuación 2-4.

$$R_d = \frac{V}{((A/W) * m^2 * \Omega)} = \frac{V * W}{A * m^2 * \Omega} = \frac{A * W}{A * m^2} = \frac{W}{m^2} \quad \text{Ecuación 2-4}$$

La ecuación utilizada es la misma para ambos fotodiodo, lo que varía para cada uno de ellos son los valores de la sensibilidad y el área activa, es decir el área que tiene cada fotodiodo para captar la radiación solar, estos valores se obtiene de sus respectivas hojas de datos.

Para obtener una medición en tiempo real y no tener que esperar a descargar el archivo en una computadora para ver los valores de radiación se le agrega al proyecto un LCD (display de cristal líquido) compuesto por dos líneas para la escritura y dieciséis caracteres por cada una de estas líneas. En la figura N° 3 se puede observar la pantalla utilizada, mostrándose en la primer fila la fecha y la hora actual y en la segunda fila se visualizan los valores de la radiación solar separada en radiación global (S) y radiación UV, este display es controlado por el microcontrolador, utilizándose tres pines de comunicación para el control y cuatro pines para la transmisión de

datos, hace más simple mostrar los datos el hecho de que el LCD posee una memoria interna en la cual tiene almacenada una tabla de valores, de esta manera solo basta con enviar un código con el valor de cada carácter que se desea visualizar o imprimir en pantalla, este código es almacenado en la memoria de escritura, y de esta manera se van escribiendo los mismos en el LCD hasta completar todos los valores a mostrar. El microcontrolador se encarga de enviar la rutina de inicialización, control y los caracteres correspondientes a los datos a escribir en el LCD.



Figura N° 3

### Almacenamiento de datos

Para el almacenamiento de los datos obtenidos se utiliza una memoria microSD, (también se pueden utilizar memorias SD y memorias MMC), la cual es comandada por el microcontrolador mediante el protocolo de comunicación SPI, este protocolo se configura por software en el microcontrolador, el cual funciona como maestro por lo que éste envía las señales de control y las señales de escritura; para la escritura en la memoria se crea un archivo Excel, como se observa en la Figura N° 4, en el cual se escriben los datos de cada lectura separados por fila, que a su vez se separa en cuatro columnas donde se identifican de la siguiente manera; en la primera columna se guarda el valor de la radiación solar, en la segunda columna el valor de la radiación UV, en la tercera columna la hora a la cual se toma la medición y en la cuarta columna la fecha en la cual se tomo la medición, al guardar los datos de esta forma se logra generar un archivo histórico ordenado por fecha y hora de medición; este archivo se sobrescribe cada un periodo especificado por software, controlado por el microcontrolador que por configuración inicial es cada un minuto, cuyo intervalo se puede configurar desde un minuto hasta una hora como máximo, para esto se utilizan pasos de a un minuto y se accede al menú de configuración desde los botones de control que se ubican en el frente del dispositivo. La capacidad de la memoria utilizada es de 1 Gigabytes lo que le da al proyecto una capacidad de almacenamiento de datos de varios días, ya que el archivo generado ocupa muy poco espacio, este se incrementa a medida que se van agregando datos, debido al software asociado al control y escritura en memoria se pueden utilizar memorias del tipo SD, MMC o microSD (con su correspondiente adaptador) y con una máxima capacidad de almacenamiento de 2 Gigabytes.

A screenshot of a Microsoft Excel spreadsheet titled 'Datos - Microsoft Excel'. The spreadsheet contains a table with 11 rows and 8 columns. The first row is a header with the title 'Datos del medidor de radiacion'. The second row contains the column headers: 'Solar', 'UV', 'Hora', and 'Fecha'. The following rows contain numerical data for solar radiation, UV radiation, time, and date. The date for all entries is '30/08/2010'.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Datos del medidor de radiacion							
2	Solar	UV	Hora	Fecha				
3	67.87	56.15	19:52	30/08/2010				
4	65.42	54.19	19:57	30/08/2010				
5	100.09	76.66	20:02	30/08/2010				
6	101.56	77.14	20:07	30/08/2010				
7	99.60	77.63	20:12	30/08/2010				
8	86.91	67.87	20:17	30/08/2010				
9	93.26	74.70	20:22	30/08/2010				
10	104.49	79.58	20:27	30/08/2010				
11	100.09	78.12	20:32	30/08/2010				

Figura N° 4, Archivo Excel generado en la memoria SD.

## Dispositivo terminado

Como se puede observar en la figura N° 5 el dispositivo quedo correctamente presentado como así también en un tamaño acorde para su portabilidad. En la figura N° 5c se puede observar la placa principal del dispositivo, la fuente de alimentación, el slot de conexión para la memoria SD y el conector para el sensor.



Figura N° 5a Lateral de periféricos



Figura N° 5b Frente



Figura N° 5c Interior

## Conclusiones

La realización de este proyecto fue un proceso arduo, realizar un dispositivo que pueda medir la radiación solar (global y UV) y almacenar los datos obtenidos en una memoria SD. Esto lo conseguí desarrollando un único sensor físico, el cual está compuesto por dos fotodiodos y sus amplificadores en una sola unidad, así se logro sensar ambos espectros con un solo dispositivo, al mismo tiempo lograr la adquisición de datos en una memoria SD mediante un archivo Excel lo que le da al dispositivo una gran capacidad de memoria y la posibilidad de generar archivo histórico con los datos obtenidos de la medición, lo que le brinda al dispositivo portabilidad al no depender de una conexión externa con una PC mediante cables de conexión para visualizar el archivo generado y procesar los datos obtenidos.

Este desafío exigió acudir a numerosos conocimientos adquiridos, como así también a profundizar otros que escapan a nuestra formación académica, lo que me llevo a investigar sobre la radiación solar y que dispositivos utilizar para medirla, pero al verlo en funcionamiento me lleno de orgullo y me motivo a seguir con esta investigación.

## Bibliografía

- [1] Notas Sobre Radiación Solar; Hugo Grossi Gallegos; Universidad Nacional de Lujan; Primera Edición.
- [2] Atlas de Radiación Solar de la República Argentina; H. Grossi Gallegos y R. Righini; Universidad Nacional de Lujan; Primera Edición; 1997.
- [3] Energía Solar, Luis Jutglar; CEAC; Primera Edición; 2004.
- [4] Elevated ultraviolet (UV)-B radiation and agricultura; Sagar V. Krupa, R. N. Kickert, H. J. Jäger; Springer; Primera Edición; 1998.

## Información general

- [1] [http://www.meteochile.cl/instrumentos/inst\\_electronico.html](http://www.meteochile.cl/instrumentos/inst_electronico.html)
- [2] <http://www.asades.org.ar>
- [3] <http://www.epsea.org/esp/pdf2/Capit01a.pdf>
- [4] <http://www.cicyttp.org.ar/climatologiafca/docencia/apuntes/tema2.pdf>
- [5] <http://www.unicen.edu.ar/crecic/analesafa/vol16/g8-283-286.pdf>
- [6] <http://www.i-micro.com/pdf/articulos/spi.pdf>
- [7] <http://alumni.cs.ucr.edu/~amitra/sdcard/ProdManualSDCardv1.9.pdf>
- [8] <http://www.scitec.uk.com/uvphotodiodes/>