

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**Facultad de Ciencias**

**Escuela Profesional de Ingeniería Física**



**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO FÍSICO**

**Desarrollo de un sistema portátil y económico para el monitoreo de la Radiación Solar  
usando como interface la Tarjeta de Sonido**

**Presentado por:**

**Bach. William Chambi Ochoa**

**Asesor:**

**Mg. Germán Yuri Comina Bellido**

**LIMA – PERÚ**

**2011**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por su amor incondicional, por darme la oportunidad de experimentar la vida, por ponerme retos en el camino y cada vez que llegue a una meta en realidad no es una meta sino la búsqueda de seguir creciendo cada día, gracias.

A mis padres por su apoyo incondicional, por compartir los momentos de mi vida, por darme la motivación que necesitaba en los momentos difíciles de mi vida. A mis hermanos por su calor fraternal.

A todos los docentes, compañeros de estudio y aquellas personas que estuvieron durante mi formación académica, ético y profesional. A todos ellos por su tiempo, por su dedicación, por compartir conocimientos y, lo más importante, por tener esa amplitud de criterio que nos permite adentrarnos en el mundo de la ciencia.

## INDICE

AGRADECIMIENTOS	ii
INDICE	iii
NOMENCLATURA	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABLA	ix
TÍTULO	x
RESUMEN	xi
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Introducción	1
1.2. Objetivos	
1.2.1. Objetivo general.	1
1.2.2. Objetivos específicos.	1
2. FUNDAMENTO TEÓRICO	2
2.1 Introducción a la Radiación Solar.	2
2.2 Tipos de paneles solares en función de los materiales	7
2.2.1.- Silicio Puro monocristalino.	7
2.2.2.- Silicio Puro policristalino.	7
2.2.3.- Silicio Amorfo.	8
2.2.4.- Teluro de cadmio.	9
2.2.5.- Arseniuro de galio.	9
2.2.6.- Diseleniuro de cobre en indio.	9
2.3.- Los Fotodiodos	9
2.3.1.- Polaridad del fotodiodo.	11
2.3.2.- Sensibilidad del fotodiodo.	12
2.3.3.- Respuesta espectral.	12
2.3.4.- Linealidad.	13
2.3.5.- Eficiencia Quantum (Q.E.).	13
2.3.6.- Ruido en fotodiodos basados en diodos PN.	14
2.4. - Atenuación de la Radiación Solar por la Atmósfera	14
2.4.1. – Absorción.	14

2.4.2. - Difusión de Rayleigh y de Mie.	15
2.5. – Instrumentación y Medida de Radiación Solar	15
2.5.1. – Medida de Radiación Directa.	15
2.5.2. – Medida de la Radiación Difusa.	16
2.5.3. – Medida de la Radiación Reflejada.	16
2.5.4. – Medida de la Radiación Global.	16
2.6.- Generador de señales	17
2.6.1- Oscilador LM3909.	18
2.6.1.1.- Características.	18
2.6.1.2.- Usos.	19
2.6.1.3.- Características Eléctricas.	19
2.6.1.4.- Aplicaciones Típicas.	20
2.7.- Tarjeta de Sonido	21
2.7.1.- Características generales.	21
2.7.2.- Funcionalidades.	22
2.7.3.- Componentes.	23
2.7.4.- Desventajas de la Tarjeta de Sonido.	26
2.7.5.- Ventajas de la Tarjeta de Sonido.	27
2.7.6.- Etapas principales: Muestreo, cuantificación y codificación.	30
2.7.7.- Selección de la frecuencia de muestreo y Teorema del Muestreo.	31
2.7.7.1.- Selección de la frecuencia de muestreo.	31
2.7.7.2.- Teorema del muestreo.	32
2.7.8.- Selección del paso de cuantificación y el número de bits.	35
3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	36
3.1.- Selección del Sensor.	36
3.2.- Selección del Oscilador o Conversor V/F.	37
3.3.- Acondicionamiento de la señal y adquisición de datos.	38
4. RESULTADOS EXPERIMENTALES	46
5. DISCUSIÓN	48
6. CONCLUSIONES	51
7. REFERENCIAS	51

## NOMENCLATURA

$W/m^2$	Irradiancia solar.
FV	Panel Fotovoltaico
$\alpha$	Ángulo formado entre la posición de zenit y la posición del sol.
M	Masa de aire a la posición del zenit.
V	voltio
Hz	Hertz
S/s	Sample rate o frecuencia de muestro
Vpp	Voltaje pico pico

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1.	Espectro Luminoso de la Luz Solar.	3
Figura 2.2.	Masa de Aire.	4
Figura 2.3.	Juntura N-P en Equilibrio.	6
Figura 2.4.	Celda Fotovoltaica con Carga Eléctrica.	7
Figura 2.5.	Celda Solar monocristalina (a la izquierda) y celda solar policristalina (a la derecha). Se distinguen fácilmente, la monocristalina tiene un color uniforme.	14
Figura 2.6.	Sección transversal de un fotodiodo.	10
Figura 2.7.	Relación entre la capacitancia de la unión y voltaje de polarización.	11
Figura 2.8.	Curva entre la Sensibilidad y Longitud de onda.	12
Figura 2.9.	Relación entre la corriente y Iluminación.	13
Figura 2.10.	Bloque esquemático del receptor de un sistema de transmisión óptico detallando las distintas fuentes de ruido.	14
Figura 2.11.	Pirheliómetro de primera clase Kipp-Zonen.	16
Figura 2.12.	Pinanómetro Kipp-Zonen.	17
Figura 2.13.	Diagrama interno del Circuito Integrado LM3909.	19
Figura 2.14.	Tensión de advertencia intermitente de alta potencia.	20
Figura 2.15.	En función al tiempo de vida.	20
Figura 2.16.	Tarjeta de sonido Sound Blaster Live! 5.1.	21
Figura 2.17.	Diagrama típico de una Tarjeta de Sonido..	23
Figura 2.18.	Conector a tarjeta de sonido.	27
Figura 2.19.	Señal recortada en los picos.	28
Figura 2.20.	Representación esquemática de una señal analógica como función real de variable real.	30
Figura 2.21.	Proceso genérico de conversión de una señal analógica a digital.	31
Figura 2.22.	Señal paso bajo de banda limitada con ancho de banda $W$ .	31
Figura 2.23.	Posible ambigüedad entre dos señales para el mismo conjunto de puntos de muestreo.	32

Figura 2.24.	Muestreo de una componente sinusoidal con una frecuencia de muestreo que verifica el criterio de Nyquist.	33
Figura 2.25.	Importancia de la desigualdad estricta para el criterio de Nyquist.	34
Figura 2.26.	Filtrado paso bajo previo de la señal analógica: filtro antialiasing.	34
Figura 2.27.	Cuantificación y ruido de cuantificación.	35
Figura 3.1.	Diagrama de bloques del Sistema de medición y Monitoreo de la radiación solar.	36
Figura 3.2.	Celda Solar utilizado.	36
Figura 3.3.	Configuración del LM3909.	37
Figura 3.4.	Circuito impreso del Integrado LM3909.	38
Figura 3.5.	Configuración de sonido para la señal digital.	39
Figura 3.6.	En el Panel frontal de Labview tenemos las características seleccionadas del filtro Butterworth.	40
Figura 3.7.	Señal muestreada sin filtro.	41
Figura 3.8.	Señal muestreada con filtro pasabanda de 500 Hz a 1 kHz.	42
Figura 3.9.	Señal muestreada con filtro pasabanda de 500 Hz a 800 Hz.	43
Figura 3.10.	Presentación Final.	44
Figura 3.11.	Esquema de la señal, es dividida por factor conveniente.	44
Figura 3.12.	Diagrama de Flujo del sistema implementado.	45
Figura 4.1.	Perfil de radiación solar global correspondiente al día 23 de octubre, cerca al Aeropuerto Internacional Jorge Chavez.	46
Figura 4.2.	Perfil de radiación solar global correspondiente al día 8 de noviembre, en la Universidad Nacional de Ingeniería, relativamente nublado y sol alrededor de la 1 a 2 pm.	47
Figura 5.1.	Perfil de radiación del patrón con una radiación máxima de 1060 W/m <sup>2</sup> .	50

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1.	Características Eléctricas del LM3909.	19
Tabla 2.2.	Colores de los tipos de conectores de la tarjeta de sonido.	26
Tabla 3.1.	Características del sensor.	37
Tabla 5.1.	Registro del tiempo y voltaje cada 5 minutos.	49



## **TITULO**

**Desarrollo de un sistema portátil y económico para el monitoreo de la Radiación Solar usando como interface la Tarjeta de Sonido.**

## RESUMEN

Se ha desarrollado e implementado un sistema portátil con facilidades para medir, adquirir y evaluar la radiación solar global. La celda solar utilizada para medir la radiación solar fue acoplada a un circuito oscilador basado en un integrado LM3909 para convertir voltaje a frecuencia a medida que el voltaje aumenta, debido a la radiación solar, aumenta la frecuencia y su amplitud para luego ser entregada a la tarjeta de sonido por el cual la señal es muestreada y filtrada bajo ciertos criterios. La señal tratada es procesada usando instrumentación virtual y el paquete Labview 10,0 en el cual se visualiza la indicación de la medición y se registra en base de datos para luego ser analizado y graficado en Excel. Para la calibración del sistema implementado se comparó con un piranómetro patrón y los resultados obtenidos por un ajuste por mínimos cuadrados indican que el factor de correlación en las mediciones obtenidas fue de 0,96.

**Palabras claves:** Instrumentación virtual, celda solar, filtro pasabanda, tarjeta de sonido.

## **1.- INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Introducción**

Los estudios sobre el comportamiento de las variables ambientales en el entorno de los sistemas de conversión fotovoltaica influyen directamente en la búsqueda de nuevos recursos energéticos para el hombre. Además la importancia de las medidas de irradiación solar global o directa por ser la fuente de energía utilizada en la gran mayoría de los procesos en nuestro planeta su medición es escasa debido a los altos costos del instrumental de precisión y las características particulares requeridas así como también de su mantenimiento. En ese sentido se desarrolló e implementó un sistema novedoso de medición y monitoreo de la variable irradiación solar global usando el concepto de Instrumentación Virtual, donde el software es el elemento principal del sistema, a diferencia de la instrumentación tradicional. donde lo principal es el hardware además de tener ciertas limitaciones en cuando a la exploración del menú.

El sistema desarrollado permite medir, monitorear en tiempo real dicho parámetro además de almacenar los datos en Excel, usando una fotocelda de bajo costo como sensor y un circuito para la conversión de voltaje a frecuencia que es enviada a través de una interface como la tarjeta de sonido para su interpretación y filtrado en un instrumento virtual como el paquete LabView. Todo este sistema es de bajo costo ya que se pretende reemplazar la tarjeta de adquisición de datos por una tarjeta de sonido. El sistema desarrollado se comparó, con un radiómetro patrón, los resultados durante un periodo de tiempo largo y con esos resultados se construyó una curva para el ajuste respectivo encontrando un factor.

Las mediciones se realizaron en algunas zonas del distrito de San Martín de Porres usando el sistema mencionado que será reportado en los resultados en este trabajo.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivos generales**

- Implementación de un sistema sencillo que permita medir, monitorear en tiempo real, registrar y evaluar la radiación global.

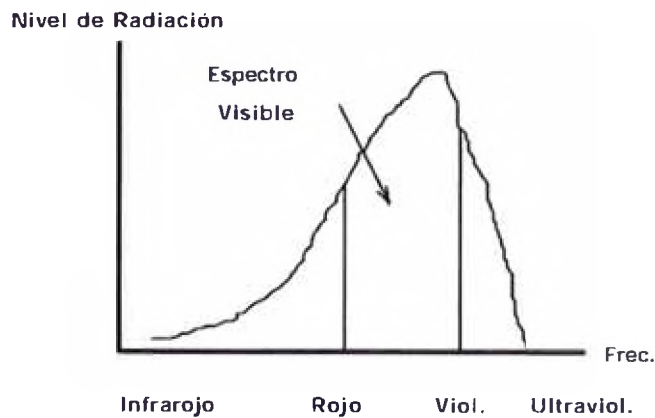
### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Elaboración de un sistema de medición de radiación solar de bajo costo y que permita una interacción directa con la PC a través de la tarjeta de sonido.
- Diseño de un circuito electrónico basado en un oscilador LM3909 para la conversión de voltaje (generada por el panel solar) a frecuencia (hacia el micrófono de la tarjeta de sonido).
- Diseño del Software Labview para el tratamiento de señales, adquisición de datos y posteriormente ser mostrado en el panel frontal como indicador.

## **2.- FUNDAMENTO TEÓRICO**

### **2.1.- Introducción a la Radiación Solar.**

La luz, de origen solar, o generada por un foco incandescente o fluorescente, está formada por un conjunto de radiaciones electromagnéticas de muy alta frecuencia, que están agrupadas dentro de un cierto rango, llamado espectro luminoso. Las ondas de baja frecuencia del espectro solar (infrarrojo) proporcionan calor, las de alta frecuencia (ultravioleta) hacen posible el proceso de fotosíntesis o el bronceado de la piel. Entre esos dos extremos están las frecuencias que forman la parte visible de la luz solar. La intensidad de la radiación luminosa varía con la frecuencia. La Figura 2.1. muestra, en forma no detallada, la composición del espectro luminoso.

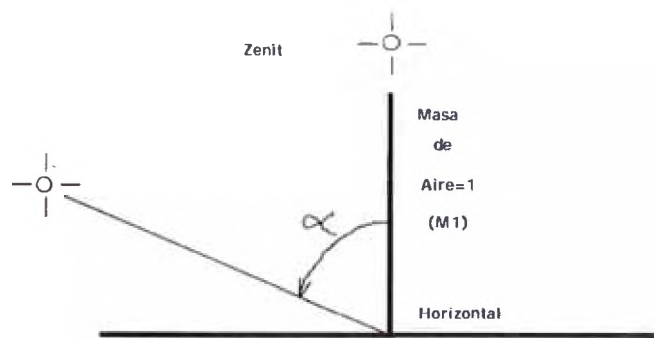


**Figura 2.1.** Espectro Luminoso de la Luz Solar.

El “color” de la luz solar depende de la composición del espectro de frecuencias. Los fabricantes de focos luminosos, conscientes de este fenómeno, tratan de dar a éstos un espectro de radiación luminosa similar al de la luz solar que llega a la Tierra cuando el sol alcanza la posición del zenit (luz blanca). La intensidad y frecuencias del espectro luminoso generado por el sol sufren alteraciones cuando la luz atraviesa la atmósfera, ello se debe a la absorción, reflexión y dispersión que se da dentro de ésta. Los gases presentes en la capa atmosférica actúan como filtros para ciertas frecuencias, las que ven disminuidas su intensidad o son absorbidas totalmente. El **proceso fotovoltaico** responde a un limitado rango de frecuencias dentro del espectro visible, de manera que es importante definir el espectro de radiación de la fuente luminosa que se utiliza para evaluar la celda fotovoltaica. Esto se hace especificando un parámetro denominado Masa de Aire.

La posición relativa del sol respecto a la horizontal del lugar determina el valor de la masa de aire. Cuando los rayos solares caen formando un ángulo de  $90^\circ$  respecto a la horizontal, se dice que el sol ha alcanzado su zenit.

Para esta posición la radiación directa del sol atraviesa una distancia mínima a través de la atmósfera. Cuando el sol está más cercano al horizonte, esta distancia se incrementa, es decir, la “masa de aire” es mayor. La Figura 2.2. ilustra esta situación.



**Figura 2.2. Masa de Aire.**

A la posición del zenit se le asigna una masa de aire igual a 1 (M1). Cualquier otra distancia tendrá una masa de aire que puede calcularse usando la expresión:

$$\text{Masa de Aire} = 1/\cos\alpha \dots\dots\dots (1)$$

donde  $\alpha$  es el ángulo formado entre la posición de zenit y la posición del sol en ese momento, y  $\cos\alpha$  es el valor del coseno de ese ángulo, el que varía entre 1 y 0 cuando el ángulo varía entre 0 y 90°. Para valores de  $\alpha$  mayores que cero, el valor de  $\cos\alpha$  es siempre menor que la unidad, de manera que el valor de la masa de aire se incrementa. Para valores, de la masa de aire, mayores que la unidad indican que la radiación directa debe atravesar una distancia mayor dentro de la atmósfera.

Al incrementarse la distancia, la absorción, reflexión y dispersión de la luz solar también se incrementan, cambiando el rango de frecuencias que integran el espectro luminoso, así como la intensidad del mismo. Esto explica las variaciones de intensidad y color de la luz solar durante la salida y puesta del sol. La fuente luminosa usada para medir la potencia de salida de un panel FV tiene un espectro luminoso correspondiente a una masa de 1.5 (M1,5), el que ha sido adoptado como estándar. La intensidad es muy cercana a 1 kW/m<sup>2</sup>.

La cantidad total de radiación solar (directa y reflejada) que se recibe en un punto determinado del planeta, sobre una superficie de 1 m<sup>2</sup>, para un determinado ángulo de inclinación entre la superficie colectora y la horizontal del lugar, recibe el nombre de insolación. El término deriva de la palabra inglesa insolation, la que, a su vez, representa un acronismo derivado de otras tres palabras del mismo idioma: incident solar radiation (radiación solar incidente).

Si la superficie colectora mantiene un ángulo de inclinación fijo, el valor de la insolación en una locación dada depende de las condiciones atmosféricas y la posición del sol respecto del horizonte. La presencia de nubes incrementa la absorción, reflexión y dispersión de la radiación solar. Las zonas desérticas, dada la carencia de nubes, tienen los mayores valores de insolación en el planeta. La posición del sol respecto a la horizontal cambia durante el día y con las estaciones. El valor de la insolación al amanecer y al atardecer, así como en el invierno, es menor que el del mediodía o el verano.

Irradiación es el valor de la potencia luminosa. Los fabricantes de paneles fotovoltaicos (FVs) determinan la máxima potencia eléctrica de salida usando una fuente con una potencia luminosa de 1 kW/m<sup>2</sup>. Este valor, conocido con el nombre de SOL., se ha convertido en un estándar para la industria, facilitando la comparación de paneles de distintos orígenes. Recordando que 1 m<sup>2</sup> = 10000 cm<sup>2</sup>, y que 1 kW = 1000 W, se tiene que:

$$1 \text{ SOL} = 1 \text{ kW/m}^2 = 100 \text{ mW/cm}^2 \dots\dots\dots (2)$$

Las dos cantidades son usadas, indistintamente, en las especificaciones de paneles FVs. La palabra fotovoltaico(a) está formada por la combinación de dos palabras de origen griego: **foto**, que significa **luz**, y **voltaico** que significa **eléctrico**. El nombre resume la acción de éstas celdas: transformar, directamente, la energía luminosa en energía eléctrica.

El silicio es el material más usado en la fabricación de celdas solares. En su forma cristalina pura, es un semiconductor, con muy pocas cargas libres dentro de él. Su resistividad es muy elevada. Usando un proceso llamado de difusión se puede introducir pequeñas cantidades de otros elementos químicos, los que permiten decrecer el valor inicial de la resistividad, creando, al mismo tiempo, zonas con diferentes tipos de carga. La celda FV utiliza dos tipos de materiales semiconductores, el tipo N y el tipo P. Cuando la substancia difusa cede fácilmente electrones, se crea una zona dentro del semiconductor que tiene un exceso de cargas negativas (electrones). Esto es lo que se conoce como semiconductor del tipo N (negativo). Cuando la substancia difusa atrapa electrones libres, los átomos que los pierden quedan cargados positivamente. En esta zona predominan las cargas positivas (holes, en inglés) obteniéndose un semiconductor del tipo P (positivo). El proceso de difusión es continuo, permitiendo la formación, en el mismo material, de dos zonas semiconductoras

adyacentes, una del tipo N; la otra del tipo P. El espacio que separa ambas zonas es la juntura de transición (junction, en inglés).

La teoría muestra que las cargas mayoritarias en una zona se desplazan hacia la de baja densidad en la zona opuesta. El desplazamiento de las cargas negativas y positivas deja a la zona de la juntura totalmente libre de cargas. Las zonas adyacentes a la misma tienen concentraciones de carga minoritarias (cargas negativas en el lado P y cargas positivas en el lado N). La acumulación de estas cargas a ambos lados de la juntura crea una diferencia de voltaje que impide la continuación del desplazamiento inicial.

La corriente de desplazamiento se anula. Se dice entonces que la juntura N-P ha alcanzado el estado de equilibrio, el que es ilustrado en la Figura 2.3.

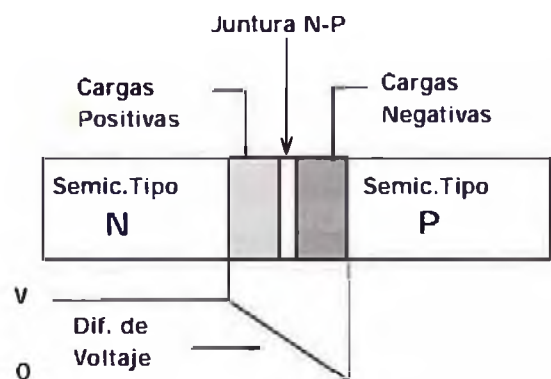
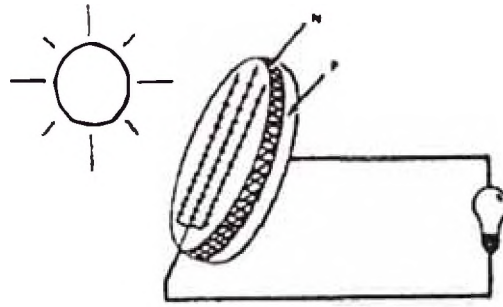


Figura 2.3. Juntura N-P en Equilibrio.

Cuando la luz incide sobre un semiconductor de este tipo, el bombardeo de los fotones libera electrones de los átomos de selenio creando dos cargas libres, una positiva y otra negativa. El equilibrio eléctrico de la juntura N-P se ve alterado por la presencia de estas nuevas cargas libres. Si al semiconductor se le conectan dos cables (uno por cada zona), se verifica la existencia de un voltaje entre los mismos. Si los terminales de la celda PV son conectados a una carga eléctrica, circulará una corriente eléctrica en el circuito formado por la celda, los cables de conexión y la carga externa. La Figura 2.4 muestra este tipo de circuito. Sólo una parte del espectro luminoso puede llevar a cabo la acción descrita. El material utilizado para fabricar el semiconductor determina que parte del espectro luminoso es la óptima para provocar este desequilibrio.





**Figura 2.4.** Celda Fotovoltaica con Carga Eléctrica.

El voltaje de una celda FV es de corriente continua (CC). Por lo tanto, hay un lado que es positivo y otro negativo. Para celdas de selenio, este voltaje es de alrededor de 0,5 V.

## **2.2.- Tipos de paneles solares en función de los materiales**

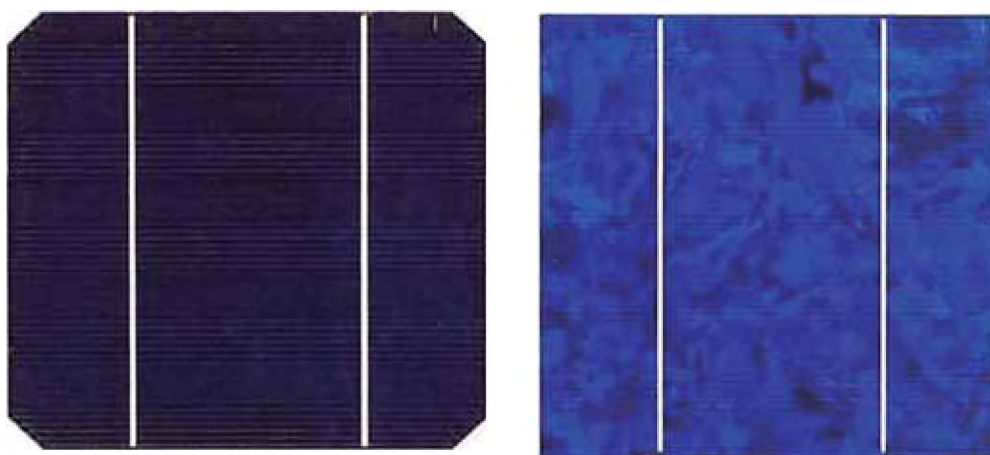
Si bien, los Paneles Fotovoltaicos también llamados módulos o colectores. Una célula fotovoltaica genera una corriente muy baja, por lo que es necesario unir varias de ellas en serie para poder alcanzar un cierto voltaje. Los paneles solares son la unión de células fotovoltaicas en serie, encapsuladas para protegerlas (en plástico transparente, por ejemplo) y con un marco metálico para su montaje. Existen diferentes tipos de paneles solares en función de los materiales semiconductores y los métodos de fabricación que se empleen. Los tipos de paneles solares que se pueden encontrar en el mercado son:

**2.2.1.- Silicio Puro monocristalino** - Basados en secciones de una barra de silicio perfectamente cristalizado en una sola pieza. El tipo cristalino requiere un elaborado proceso de manufactura, que insume enormes cantidades de energía eléctrica, incrementando substancialmente el costo del material semiconductor. En laboratorio se han alcanzado rendimientos máximos del 24,7% para éste tipo de paneles siendo en los comercializados del 16%.

**2.2.2.- Silicio Puro policristalino** - Los materiales son semejantes a los del tipo anterior aunque en este caso el proceso de cristalización del silicio es diferente. Los paneles policristalinos se basan en secciones de una barra de silicio que se ha estructurado

desordenadamente en forma de pequeños cristales. Son visualmente muy reconocibles por presentar su superficie un aspecto granulado. Se obtiene con ellos un rendimiento inferior que con los monocristalinos (en laboratorio del 19.8% y en los módulos comerciales del 14%) siendo su precio también más bajo.

Las celdas FVs que se ofrecen en el mercado actual utilizan éstos dos tipos de materiales semiconductores que pueden ser identificados a simple vista, ya que la estructura cristalina provee una superficie de brillo uniforme, mientras que la policristalina muestra zonas de brillo diferente en la Figura 2.5 muestra ésta diferencia.



**Figura 2.5.** Celda Solar monocristalina (a la izquierda) y celda solar policristalina (a la derecha). Se distinguen fácilmente, la monocristalina tiene un color uniforme.

los tipos de paneles de lámina delgada son:

**2.2.3.- Silicio Amorfo** - Basados también en el silicio, pero a diferencia de los dos anteriores, este material no sigue aquí estructura cristalina alguna. Paneles de este tipo son habitualmente empleados para pequeños dispositivos electrónicos (Calculadoras, relojes) y en pequeños paneles portátiles. Su rendimiento máximo alcanzado en laboratorio ha sido del 13% siendo el de los módulos comerciales del 8%.

**2.2.4.- Teluro de cadmio**, Rendimiento en laboratorio 16% y en módulos comerciales 8%.

**2.2.5.- Arseniuro de galio** - Uno de los materiales más eficientes, presenta unos rendimientos en laboratorio del 25.7% siendo los comerciales del 20%.

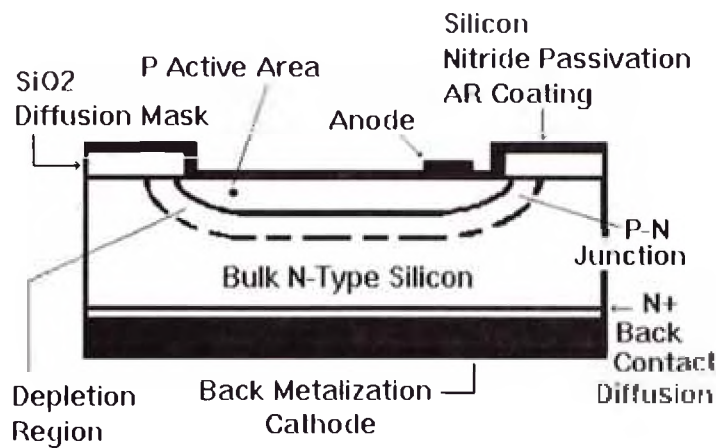
**2.2.6.- Diseleniuro de cobre en indio** - con rendimientos en laboratorio próximos al 17% y en módulos comerciales del 9%.

Existen también los llamados paneles **Tándem** que combinan dos tipos de materiales semiconductores distintos. Debido a que cada tipo de material aprovecha sólo una parte del espectro electromagnético de la radiación solar, mediante la combinación de dos o tres tipos de materiales es posible aprovechar una mayor parte del mismo. Con este tipo de paneles se ha llegado a lograr rendimientos del 35%. Teóricamente con uniones de 3 materiales podría llegarse hasta rendimientos del 50%

### **2.3.- Los Fotodiodos**

Los fotodiodos de silicio están contruidos de wafers de cristal de silicio simple semejantes a aquellos usados en la fabricación de circuitos integrados. La principal diferencia es que los fotodiodos requieren de un silicio mucho más puro. La pureza del silicio está relacionada directamente con la resistividad del mismo, a mayor resistividad, mayor pureza del silicio.

Una sección transversal de un fotodiodo típico se muestra en la Figura 2.6, el silicio de tipo N es el material de arranque. Una delgada capa de material "P" se forma en la superficie frontal del dispositivo por difusión térmica o implantación de ión del material de dopado apropiado, (generalmente Boro). La interfase entre la capa "P" y la capa "N" es conocida como unión PN. Se aplican pequeños contactos metálicos a la superficie frontal del dispositivo y toda la parte posterior del mismo.

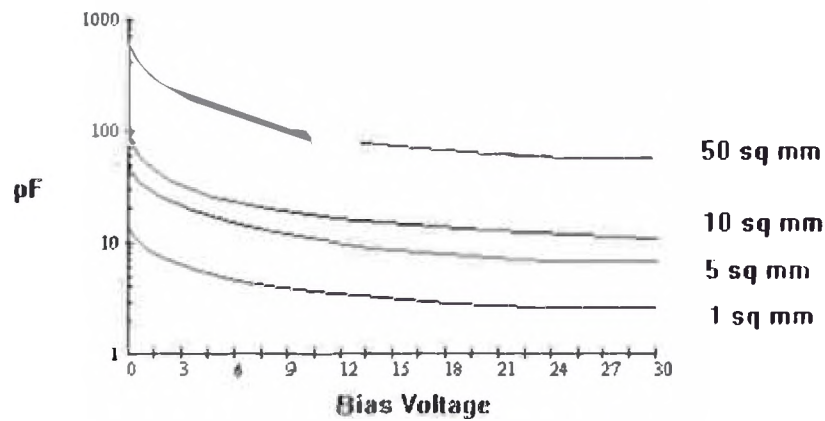


**Figura 2.6.** Sección transversal de un fotodiodo.

El contacto posterior es el cátodo, y el contacto frontal es el ánodo. El área activa está depositada con una capa de Nitruro de silicio, monóxido de silicio o dióxido de silicio para proteger, a la vez que sirve de capa antirreflejante. El grosor de la capa está optimizado para una longitud de onda irradiada en particular.

Las características de la unión PN son bien conocidas, sin embargo, las uniones de fotodiodos son inusuales debido a que la capa superior tipo “P” es muy delgada. El grosor de esta capa está determinado por la longitud de onda de la radiación que será detectada. En las cercanías de la unión PN el silicio llega a estar completamente vacío de cargas eléctricas. Esta se conoce como la “región de vacío”. La profundidad de la región de vacío puede variar de acuerdo al voltaje inverso que se le aplique a la unión. Cuando la región de vacío alcanza la parte posterior del diodo, el fotodiodo se dice que está completamente vaciado. La región de vacío es importante para el desempeño del fotodiodo dado que la mayor parte de su sensibilidad se origina allí.

La capacitancia de la unión PN depende del grosor de esta región de vacío variable. A medida que se incrementa la polarización inversa se incrementa la profundidad de la región de vacío y se disminuye la capacitancia hasta que se logra la condición de vaciamiento total. La capacitancia de la unión es también una función de la resistividad del silicio usado y del tamaño del área activa. La relación entre la capacitancia de la unión, voltaje de polarización y el área se muestran en la Figura 2.7.



**Figura 2.7.** Relación entre la capacitancia de la unión y voltaje de polarización.

Cuando la luz es absorbida en el área activa se forma un par electrón-hueco. Los electrones y los huecos son separados pasando los electrones a la región “N” y los huecos a la región “P”, esto da como resultado una corriente eléctrica generada por la luz (generalmente abreviada como  $I_{sc}$ ). La migración de electrones y huecos a sus respectivas regiones es llamada “El efecto fotovoltaico”.

Los fotodiodos de silicio son más útiles como generadores de corriente, sin embargo también se genera un voltaje debido a la iluminación. La mayoría de los datos provistos en los manuales se refieren a las características de corriente de corto circuito de los fotodiodos. La corriente de corto circuito es una función lineal de la irradiancia en un amplio rango de por lo menos 7 órdenes de magnitud. La  $I_{sc}$  sólo es afectada ligeramente por la temperatura, variando menos del 0.2% por grado Celsius para longitudes de onda visibles.

### 2.3.1.- Polaridad del fotodiodo.

Un fotodiodo tiene dos terminales, un cátodo y un ánodo. Tiene una baja resistencia en directa (ánodo positivo) y una resistencia alta en inversa (ánodo negativo). En los modos de polarización fotovoltaica y cero, la corriente o voltaje generado está en la dirección de la polarización directa del diodo. Por consiguiente, la polaridad generada es opuesta a la requerida para el modo polarizado.

### 2.3.2.- Sensibilidad del fotodiodo.

La medida de la sensibilidad es el cociente de la corriente de salida del fotodiodo en amperes y la energía radiante (en watts) incidente sobre el fotodiodo. Se expresa como una sensibilidad absoluta en amperes por watt (A/W). Note que la energía radiante generalmente se expresa como watts por centímetro cuadrado y que la corriente del fotodiodo se expresa en amperes por centímetro cuadrado, por lo que los  $\text{cm}^2$  se cancelan y sólo dejamos amperes por watt (A/W). Una curva típica de sensibilidad que muestra A/W como función de la longitud de onda se muestra en la Figura 2.8.

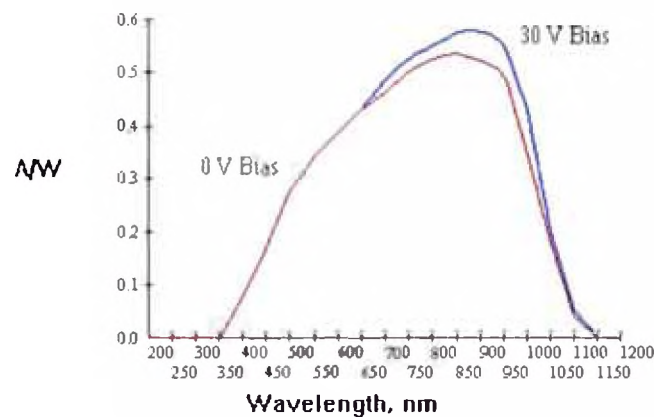


Figura 2.8. Curva entre la Sensibilidad y Longitud de onda.

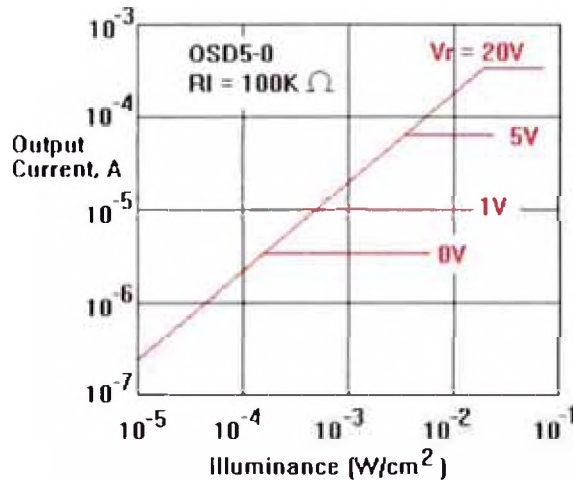
### 2.3.3.- Respuesta espectral.

La longitud de onda de radiación a ser detectada es un parámetro importante. Como se pudo ver de la gráfica, el silicio llega a ser transparente para longitudes de onda mayores que 1100 nm. Por lo tanto no es apto para usarse con longitudes de onda más allá de ésta. La luz ultravioleta por el contrario se absorbe en los primeros 100 nm del grosor del silicio. Aun la preparación más cuidadosa de la superficie deja algunos daños, lo cual reduce la eficiencia de recolección para esta longitud de onda ( $\lambda$ ). Además otras capas en la superficie afectan la respuesta espectral del dispositivo. Es normal aplicar capas antirreflejantes, las cuales amplían la respuesta hasta en un 25% en la  $\lambda$  requerida. Estas capas pueden reducir la eficiencia en otras  $\lambda$  las cuales reflejan además la ventana del paquete modifica la respuesta espectral. El vidrio estándar absorbe longitudes de onda ( $\lambda$ ) menores de 300 nm. Para la detección de UV (ultra violeta) se usa una ventana de silica fundida o vidrio transmisor de UV. Existen varios filtros disponibles para adecuar la respuesta espectral a la aplicación.

Un filtro en particular el cual es de gran interés, modifica la respuesta del silicio para aproximarla a la respuesta espectral del ojo humano.

**2.3.4.- Linealidad.**

La salida del fotodiodo cuando está polarizado inversamente es extremadamente lineal con respecto a la iluminación aplicada a la unión del fotodiodo como se puede apreciar en la Figura 2.9.



**Figura 2.9** Relación entre la corriente y Iluminacion.

Efectos de la polarización inversa en la linealidad del fotodiodo.

**2.3.5.- Eficiencia Quantum (Q.E.).**

La capacidad de los fotodiodos para convertir energía luminosa en energía eléctrica, se expresa como un porcentaje, este es la eficiencia Quantum. La sensibilidad (R) de un fotodiodo puede también ser expresada en unidades prácticas de amperes de corriente del fotodiodo por watt de iluminación incidente. La QE está relacionada a la sensibilidad de un fotodiodo por la siguiente ecuación:

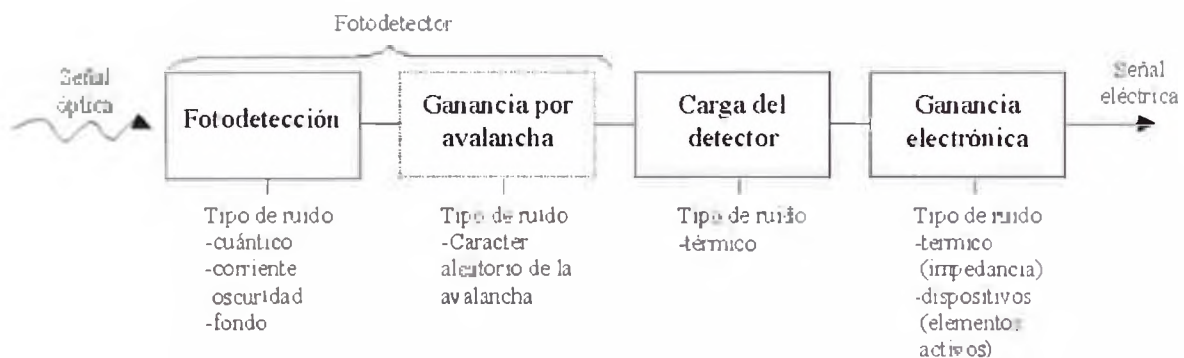
$$Q.E.(%) = \frac{1.24 \times 10^5 R(A/W)}{\lambda (nm)} \dots\dots\dots (3)$$



### 2.3.6.- Ruido en fotodiodos basados en diodos PN.

Las fuentes principales de ruido en los fotodiodos sin ganancia interna son el ruido ligado a la corriente de oscuridad y el ruido cuántico en su forma tanto digital como analógica. La corriente resultante de ambas fuentes de ruido puede combinarse. En el caso de que fuera necesario (en los sistemas de fibra no lo es) añadir el término relativo a la radiación ambiente se sumaría este término de corriente a los dos existentes mencionadas, ver Figura 2.10.

Cuando, como en este caso, no hay ganancia, el ruido térmico procedente de la carga resistiva y de los elementos activos (por ejemplo un operacional) suele dominar. Éste sería el caso práctico para sistemas de banda ancha en longitudes de onda de 0.8 y 0.9  $\mu\text{m}$ , ya que la corriente de oscuridad de los dispositivos suele ser muy pequeña (en fotodiodos bien diseñados).



**Figura 2.10.** : Bloque esquemático del receptor de un sistema de transmisión óptico detallando las distintas fuentes de ruido.

## 2.4. - Atenuación de la Radiación Solar por la Atmósfera

**2.4.1. - Absorción.-** Es sabido que la energía radiante se debilita al atravesar medios materiales, en particular la atmósfera. El poder transmisor depende de la naturaleza del medio atravesado y también de la longitud del camino recorrido por el rayo. Para la caracterización de la opacidad atmosférica, se consideran tres tipos de agentes absorbentes: Absorción debida al Ozono ionosférico, Absorción debida a gases absorbentes y Absorción debida al vapor de agua.



**2.4.2. - Difusión de Rayleigh y de Mie.-** La difusión es un proceso físicamente distinto de la absorción, ya que no transforma energía radiante en otras formas (en último término calor), pero la interacción entre el haz incidente y la partícula difusora, al cambiar la dirección de parte del haz incidente, da por resultado una disminución de la intensidad específica monocromática en la dirección original. Las partículas difusoras pueden ser moléculas gaseosas (difusión molecular o de Rayleigh) u otras partículas presentes en la atmósfera (polvo atmosférico, gotas de nube o niebla, cristales de hielo, humos, aerosoles).

La superposición de todos los efectos de absorción y difusión da lugar a la transmisión global a la radiación en la dirección directa.

## **2.5. – Instrumentación y Medida de Radiación Solar**

Las medidas de la radiación son importantes para:

Estudiar las transformaciones de la energía en sistema Tierra-Atmósfera.

Analizar las propiedades y distribución de la atmósfera, los elementos que la constituyen, tales como los aerosoles, el vapor de agua, el ozono, etc.

Estudiar la distribución y variaciones de la radiación incidente, reflejada y total.

Satisfacer las necesidades derivadas de las actividades de la biología, de la medicina, de la agricultura, de la arquitectura, de la ingeniería y de la industria relacionadas con la radiación.

**2.5.1. – Medida de Radiación Directa.-** La radiación solar directa se mide por medio de pirheliómetros. Dispone de un obturador para medir solamente la radiación procedente del sol y de una región anular del cielo muy próxima al astro. En los instrumentos modernos, esta última abarca un semiángulo de  $2.5^\circ$  aproximadamente a partir del centro del Sol. Generalmente el sensor está dotado de un visor en el que un pequeño punto luminoso coincide con una marca situada en el centro del mismo cuando la superficie receptora se halla en posición exactamente perpendicular al haz solar directo. Por lo que se precisa que

todos los pirheliómetros vayan montados sobre un mecanismo que le permita un seguimiento muy preciso del Sol, ver Figura 2.11.



**Figura 2.11.** Pirheliómetro de primera clase Kipp-Zonen.

**2.5.2. – Medida de la Radiación Difusa.-** Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta radiación, que se denomina difusa, va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, etc. Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos. Las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que ven toda la bóveda celeste, mientras que las verticales reciben menos porque sólo ven la mitad.

**2.5.3. – Medida de la Radiación Reflejada.-** La radiación reflejada es, como su nombre indica, aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no ven ninguna superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben.

**2.5.4. – Medida de la Radiación Global.-** La radiación global se define como la radiación solar recibida de un ángulo sólido de  $2\pi$  estereorradianes sobre una superficie horizontal. La radiación global incluye la recibida directamente del disco solar y también la radiación celeste difusa dispersada al atravesar la atmósfera. El instrumento necesario para medir la

radiación global es el piranómetro, ver Figura 2.12. Este se utiliza a veces para medir la radiación incidente sobre superficies inclinadas y se dispone en posición invertida para medir la radiación global reflejada (albedo). Para medir solamente la componente difusa de la radiación solar, la componente directa se cubre por medio de un sistema de pantalla o sombreado.



**Figura 2.12.** Piranómetro Kipp-Zonen.

## **2.6.- Generador de señales.**

En la actualidad existen muchos generadores de señales **convertidores de voltaje a frecuencia** para que así sea interpretado en la entrada del micrófono de la tarjeta de Sonido y gracias a los generadores puede comprobarse el ancho de banda de los amplificadores de sonido y su distorsión armónica, analizar, determinan la velocidad de respuesta ante perturbaciones en las fuentes de alimentación y en un elevado número de circuitos que son ampliamente utilizados en la actualidad. Incluso las características que debe cumplir el generador de funciones viene impuesta por una serie de condicionantes, que limitan en gran medida las posibilidades, pero que es preciso enunciarlas para que, se encuentren dentro de un ámbito más universal, pero no desarrollar funciones que a priori no tengan una aplicación muy definida.

### **2.6.1- Oscilador LM3909.**

El LM3909 es un oscilador monolítico diseñado específicamente para destellar los diodos emisores de luz utilizando el condensador para la sincronización de la tensión que entrega pulsos de 2 ó más voltios al LED mientras que funciona con una fuente de 1.5 V o menos. El circuito es inherentemente de arranque automático y requiere la adición sólo de una batería y de un condensador para funcionar como generador intermitente del LED.

El LM3909 opera en el rango de temperatura de consumo desde  $-25^{\circ}\text{C}$  a  $+70^{\circ}\text{C}$ . Se ha optimizado para el drenaje de baja potencia y el funcionamiento de las pilas gastadas de manera que la vida de operación continúa a lo esperado de la capacidad de la batería. La aplicación se simplifica gracias a la inclusión de sincronización interna de las resistencias y una resistencia interna LED límite de corriente. Como se muestra en los circuitos de aplicación los dos primeros, las resistencias de sincronización suministradas están optimizadas para las tasas nominales que destellan y consumo de batería mínimo de 1.5 V y 3V.

Los condensadores de sincronización generalmente serán del tipo electrolítico y una pequeña parte de 3V será conveniente para cualquier luz intermitente LED que usa una fuente de hasta 6V. Sin embargo, al momento de generar las tasas de destello, hay que recordar que algunos electrolíticos tienen tolerancias muy amplias de capacitancia, por ejemplo  $-20\%$  hasta  $+100\%$ .

#### **2.6.1.1.- Características**

- Operación durante un año.
- Pulso brillante, de gran intensidad del LED.
- Piezas externas mínimas.
- Bajo costo.
- Operación de baja tensión, apenas encima de 1V a 5V.
- Bajo consumo de corriente, un promedio inferior a 0,5 mA durante la vida de la batería.
- De gran alcance; como un oscilador conduce directamente 8 ohmios en altavoces.
- Amplio rango de temperaturas.

### 2.6.1.2.- Usos

- Ventas y trucos de la publicidad.
- Localizadores de emergencia, por ejemplo, en extintores.
- Juguetes y novedades.
- Aplicaciones electrónicas tales como generadores de disparador y diente de sierra.
- Sirena para el coche de bomberos (oscilador combinado de altavoces).
- Indicadores de alerta funciona con 1,4 V a 200V.

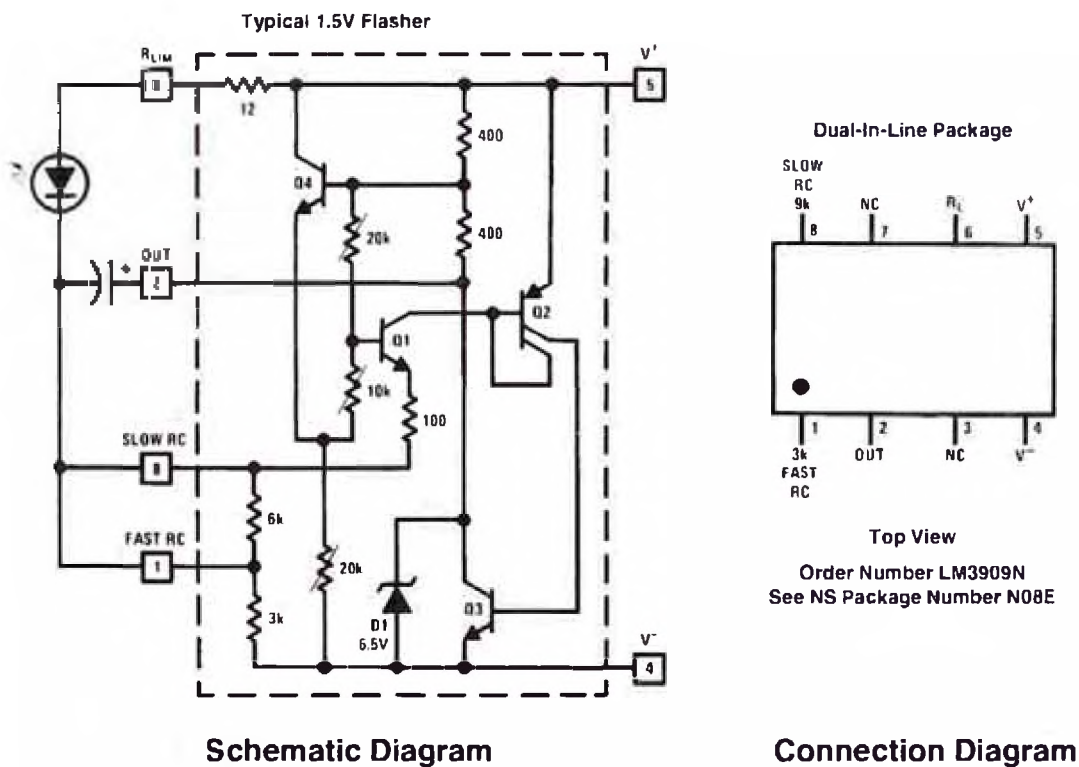


Figura 2.13. Diagrama interno del Circuito Integrado LM3909.

### 2.6.1.3.- Características Eléctricas

Tabla 2.1. Características Eléctricas del LM3909.

Parámetro	Condiciones	Min	Tipo	Max	Unidades
Fuente de Voltaje	(En oscilación)	0.15		6.0	V
Corriente de funcionamiento			0.55	0.75	mA
Frecuencia de destello	300 $\mu$ F, 5% Condensador	0.65	1.0	1.3	Hz
Alta frecuencia de destello	0.30 $\mu$ F, 5% Condensador		1.1		kHz
LED compatible remite descenso	1 mA Corriente	0.35		2.1	V
Corriente máxima del LED	350 $\mu$ F Capacitor		45		mA
Ancho de Pulso	350 $\mu$ F Condensadores de 1/2 Amplitud		6.0		ms

### 2.6.1.4.- Aplicaciones Típicas.

Las Figuras 2.14 y 2.15 pueden mostrarse algunos ejemplos simples.

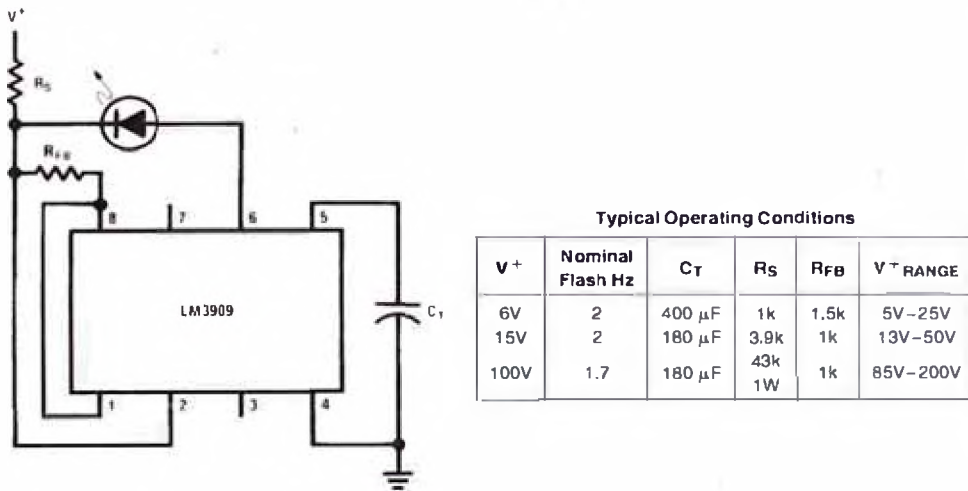


Figura 2.14. Tensión de advertencia intermitente de alta potencia.

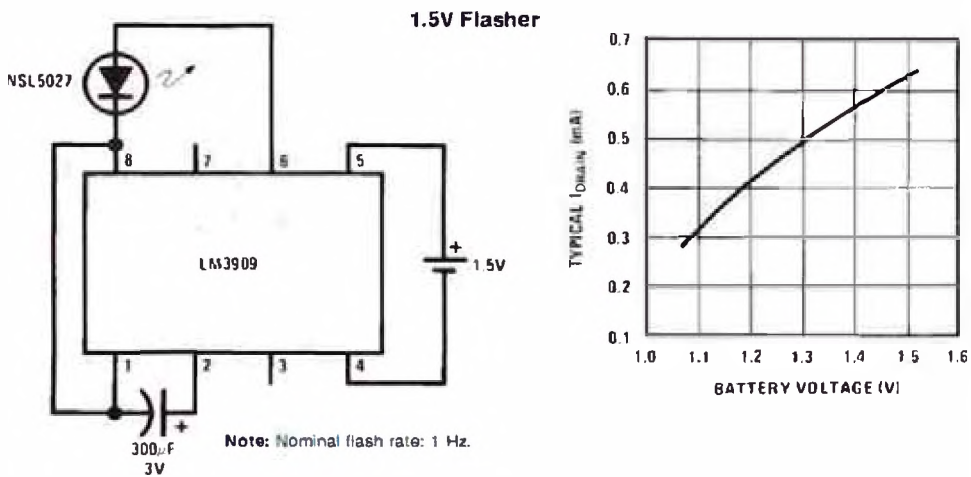
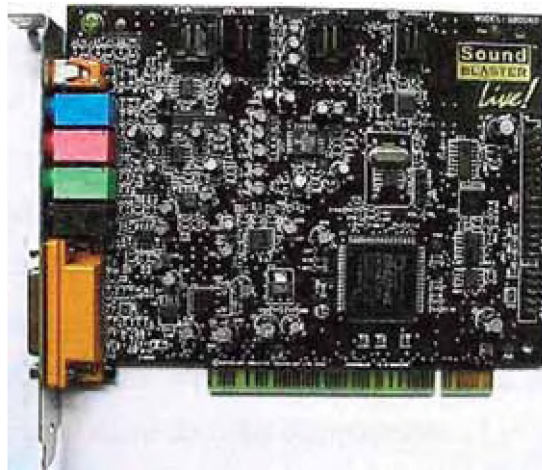


Figura 2.15. En función al tiempo de vida.

## 2.7.- Tarjeta de Sonido

Una tarjeta de sonido o placa de sonido es una tarjeta de expansión para computadoras que permite la entrada y salida de audio bajo el control de un programa informático llamado controlador (en inglés Driver). El uso típico de las tarjetas de sonido consiste en proveer mediante un programa que actúa de mezclador, que las aplicaciones multimedia del componente de audio suenen y puedan ser gestionadas. Estas aplicaciones multimedia engloban composición y edición de video o audio, presentaciones multimedia y entretenimiento (videojuegos). Algunos equipos tienen la tarjeta ya integrada, mientras que otros requieren tarjetas de expansión, en la Figura 2.16 muestra un modelo en particular.



**Figura 2.16.** Tarjeta de sonido Sound Blaster Live! 5.1.

### 2.7.1.- Características generales

Una tarjeta de sonido típica, incorpora un chip de sonido que por lo general contiene el Conversor digital-analógico, el cual cumple con la importante función de "traducir" formas de ondas grabadas o generadas digitalmente en una señal analógica y viceversa. Esta señal es enviada a un conector (para audífonos) en donde se puede conectar cualquier otro dispositivo como un amplificador, un altavoz, etc. Para poder grabar y reproducir audio al mismo tiempo con la tarjeta de sonido debe poseer la característica "full-duplex" para que los dos conversores trabajen de forma independiente.



Los diseños más avanzados tienen más de un chip de sonido, y tienen la capacidad de separar entre los sonidos sintetizados (usualmente para la generación de música y efectos especiales en tiempo real utilizando poca cantidad de información y tiempo del microprocesador y quizá compatibilidad MIDI) y los sonidos digitales para la reproducción.

Esto último se logra con DACs (por sus siglas en inglés Digital-Analog-Convertor o Convertor-Digital-Analógico), que tienen la capacidad de reproducir múltiples muestras digitales a diferentes tonos e incluso aplicarles efectos en tiempo real como el filtrado o distorsión. Algunas veces, la reproducción digital de multi-canales puede ser usado para sintetizar música si es combinado con un banco de instrumentos que por lo general es una pequeña cantidad de memoria ROM o flash con datos sobre el sonido de distintos instrumentos musicales. Otra forma de sintetizar música en las PC's es por medio de los "códecs de audio" los cuales son programas diseñados para esta función pero consumen mucho tiempo de microprocesador. Esta también nos sirve para teléfonos móviles en la tecnología celular del mundo moderno de tal modo que estos tengan una mayor capacidad de batería. La mayoría de las tarjetas de sonido también tienen un conector de entrada o "Line In" por el cual puede entrar cualquier tipo de señal de audio proveniente de otro dispositivo como micrófonos, cassetas entre otros y luego así la tarjeta de sonido puede digitalizar estas ondas y guardarlas en el disco duro del computador.

Otro conector externo que tiene una tarjeta de sonido típica es el conector para micrófono. Este conector está diseñado para recibir una señal proveniente de dispositivos con menor voltaje al utilizado en el conector de entrada "Line-In".

### **2.7.2.- Funcionalidades**

Las operaciones básicas que permiten las tarjetas de sonido convencionales son las siguientes:

- **Grabación.-** La señal acústica procedente de un micrófono u otras fuentes se introduce en la tarjeta por los conectores. Esta señal se transforma convenientemente y se envía al computador para su almacenamiento en un formato específico.
- **Reproducción.-** La información de onda digital existente en la máquina se envía a la tarjeta. Tras cierto procesamiento se expulsa por los conectores de salida para ser interpretada por un altavoz u otro dispositivo.

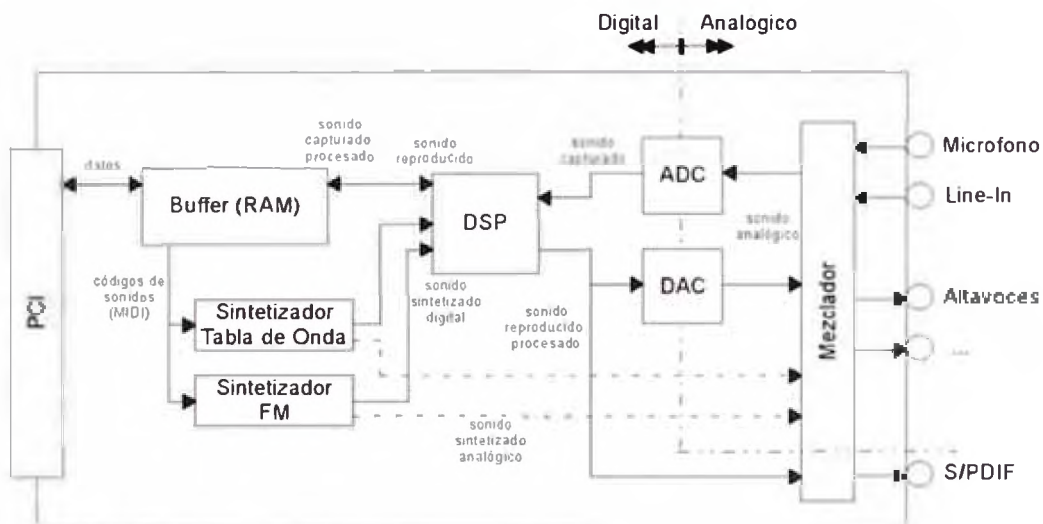


- **Síntesis.-** El sonido también se puede codificar mediante representaciones simbólicas de sus características (tono, timbre, duración...), por ejemplo con el formato MIDI. La tarjeta es capaz de generar, a partir de esos datos, un sonido audible que también se envía a las salidas.

De estas operaciones mencionadas, las tarjetas suelen permitir cierto procesamiento de la señal, como compresión o introducción de efectos.

### 2.7.3.- Componentes

La Figura 2.17 siguiente muestra un diagrama simplificado de los componentes típicos de una tarjeta de sonido. En él se indica cuál es la información que viaja por cada enlace.



**Figura 2.17.** Diagrama típico de una Tarjeta de Sonido.

- **Interfaz con placa madre.-** Sirve para transmitir información entre la tarjeta y el computador. Puede ser de tipo PCI, ISA, USB, etc.
- **Buffer.-** La función del buffer es almacenar temporalmente los datos que viajan entre la máquina y la tarjeta, lo cual permite absorber pequeños desajustes en la velocidad de transmisión. Por ejemplo, si la CPU no envía un dato a tiempo, la tarjeta puede seguir reproduciendo lo que tiene en el buffer; si los datos llegan demasiado rápido, se van guardando. Lo mismo pasa en sentido inverso.

- **DSP.-** Procesador de señal digital. Es un pequeño microprocesador que efectúa cálculos y tratamientos sobre la señal de sonido, liberando así a la CPU de ese trabajo. Entre las tareas que realiza se incluye compresión (en la grabación) y descompresión (en la reproducción) de la señal digital. También puede introducir efectos acústicos tales como coros, reverberación, etc., a base de algoritmos. Los DSP suelen disponer de múltiples canales para procesar distintos flujos de señal en paralelo. También pueden ser full-duplex, lo que les permite manipular datos en ambos sentidos simultáneamente.

- **ADC.-** Conversor analógico-digital. Se encarga de transformar la señal de sonido analógica en su equivalente digital. Esto se lleva a cabo mediante tres fases: muestreo, cuantificación y codificación. Como resultado se obtiene una secuencia de valores binarios que representan el nivel de tensión en un momento concreto.

El número de bits por muestra es fijo, y suele ser 16. La frecuencia de muestreo se puede controlar desde la PC, y normalmente es una fracción de 44.1kHz.

- **DAC.-** Conversor digital-analógico. Su misión es reconstruir una señal analógica a partir de su versión digital. Para ello el circuito genera un nivel de tensión de salida de acuerdo con los valores que recibe, y lo mantiene hasta que llega el siguiente. En consecuencia se produce una señal escalonada, pero con la suficiente frecuencia de muestreo puede reproducir fielmente la original.

- **Sintetizador FM (modulación de frecuencia).-** La síntesis por modulación de frecuencias implementa uno de los métodos de sintetizar sonido a partir de información simbólica (MIDI). Su funcionamiento consiste en variar la frecuencia de una onda portadora sinusoidal en función de una onda moduladora. Con esto se pueden conseguir formas de onda complejas con múltiples armónicos, que son lo que define el timbre. El tono y volumen del sonido deseado los determinan la frecuencia fundamental y la amplitud de la onda.

Los primeros sintetizadores FM generaban una señal analógica. Sin embargo, posteriormente se han desarrollado versiones que trabajan digitalmente. Esto da más

flexibilidad y por tanto más expresividad a la generación de ondas, a la vez que permite someter la señal a tratamiento digital.

- **Sintetizador por Tabla de Ondas.**- La síntesis mediante tabla de ondas es un método alternativo al FM. En vez de generar sonido de la nada, utiliza muestras grabadas de los sonidos de instrumentos reales. Estas muestras están almacenadas en formato digital en una memoria ROM incorporada, aunque también pueden estar en memoria principal y ser modificables. El sintetizador busca en la tabla el sonido que más se ajusta al requerido en cada momento. Antes de enviarlo realiza algunos ajustes sobre la muestra elegida, como modificar el volumen, prolongar su duración mediante un bucle, o alterar su tono a base de aumentar o reducir la velocidad de reproducción.

Este componente puede tener una salida analógica o digital, aunque es preferible la segunda. En general el sonido resultante es de mayor calidad que el de la síntesis FM.

Alternativamente, este proceso puede ser llevado a cabo enteramente por software. ejecutado por la CPU con muestras almacenadas en disco y un algoritmo apropiado (códecs de audio). Esta técnica es muy utilizada porque permite abaratar el coste de la tarjeta.

- **Mezclador.**- El mezclador tiene como finalidad recibir múltiples entradas, combinarlas adecuadamente, y encaminarlas hacia las salidas. Para ello puede mezclar varias señales (por ejemplo, sacar por el altavoz sonido reproducido y sintetizado) o seleccionar alguna de ellas (tomar como entrada el micrófono ignorando el Line-In). Este comportamiento se puede configurar por software.

Tanto las entradas como las salidas pueden proceder de la tarjeta o del exterior. El mezclador suele trabajar con señales analógicas, aunque también puede manejar digitales (S/PDIF).

- **Conectores.**- Son los elementos físicos en los que deben conectarse los dispositivos externos, los cuales pueden ser de entrada o de salida.

Casi todas las tarjetas de sonido se han adaptado al estándar PC 99 de Microsoft que consiste en asignarle un color a cada conector externo, de este modo:

**Tabla 2.2.** Colores de los tipos de conectores de la tarjeta de sonido.

Color	Función
Rosa	Entrada analógica para micrófono.
Azul	Entrada analógica "Line-In"
Verde	Salida analógica para la señal estéreo principal (altavoces frontales).
Negro	Salida analógica para altavoces traseros.
Plateado	Salida analógica para altavoces laterales.
Naranja	Salida Digital SPDIF (que algunas veces es utilizado como salida analógica para altavoces centrales).

#### **2.7.4.- Desventajas de la Tarjeta de Sonido**

No es posible realizar medidas de tensión D.C. Las tarjetas de sonido usan condensadores de paso para evitar que las señales de frecuencia muy baja entren al sistema, de esta forma, cualquier nivel DC es eliminado. Esto significa que existe un límite para frecuencias bajas debido a las características de los filtros utilizados.

La impedancia de entrada es baja. Las medidas se hacen usando la línea de entrada (Line-In). Las tarjetas de adquisición de datos reales tienen impedancias de 1 a 10 Mohm. En general, las tarjetas de sonido presentan una impedancia mucho más baja, del orden de 600 Ohmios a 47 Kohms. También podemos usar la entrada de Micrófono (Mic-In) para conseguir una mayor sensibilidad, pero el ruido es mayor y muchas tarjetas de sonido sacan un nivel de tensión para alimentar el micrófono. Si se usa ésta entrada, es necesario un condensador que bloquee ésta tensión.

Las tarjetas de Adquisición de datos pueden medir tensiones con una alta precisión ( $\pm 1\%$  ó mejor). A demás, nos proporcionan diferentes rangos de medida. En contraste, el nivel de grabación de las tarjetas de sonido se fija normalmente con un control "deslizable".

No hay una calibración inicial; debe hacerlo el usuario.

El rango de voltaje de entrada para la entrada de sensores en una tarjeta de adquisición real es en general de  $\pm 10V$ . Las tarjetas de sonido proporcionan un rango de tensión de entrada "Line-In" de  $\pm 400mV$ . La entrada de micrófono es mucho más sensible. Sólo son funcionales sensores de baja tensión de salida AC y de baja impedancia de salida o de lo contrario hay que hacer las adecuaciones del caso.

No disponen de disparador trigger. Las tarjetas de adquisición normalmente pueden esperar un evento de disparo “trigger” que da comienzo a la captura de datos. Normalmente, el trigger se activa a un determinado nivel de tensión, o por un flanco de bajado o de subida detectado. Aunque, en cierto grado, éstas limitaciones pueden ser cubiertas por software, los problemas de calibración continúan ya que el nivel del disparador no suele ser muy preciso.

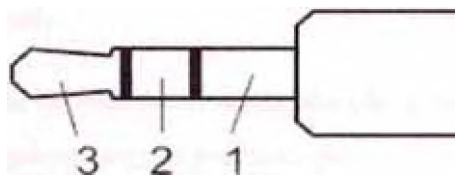
### 2.7.5.- Ventajas de la Tarjeta de Sonido

Una clara ventaja de las tarjetas de sonido en comparación con la mayoría de las tarjetas de adquisición de datos es que los dos canales son capturados al mismo tiempo usando convertidores A/D o, al menos, dos dispositivos “simple&hold”. Las tarjetas de adquisición de datos suelen usar un convertor A/D y un multiplexor. Por ésta razón, se escanean varios canales uno tras otro, pero no en paralelo.

Ahora veamos algunas cosas importantes que se deben tener en cuenta para poder trabajar con la tarjeta de sonido adecuadamente.

Todas las especificaciones dadas pueden cambiar de acuerdo a la tarjeta de sonido, pero en general, la tarjeta no se dañará a menos que se le suministre un voltaje muy superior al indicado, en otros casos simplemente no funcionará.

La entrada de las tarjetas de sonido es un conector estéreo como el que se muestra en la Figura 2.18.

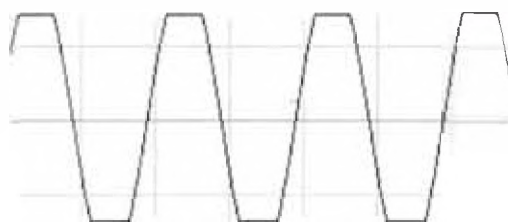


**Figura 2.18.** Conector a tarjeta de sonido.

1. Tierra
2. Canal derecho
3. Canal izquierdo

Un sistema de sonido estéreo tiene dos canales de entrada, aunque la mayoría de las tarjetas de sonido, sobre todo las integradas en la mainboard no lo son, tienen dos canales pero internamente es el mismo, como si solo tuvieran un canal de entrada, es lo que se conoce como sistema mono.

El voltaje máximo de entrada que soporta una tarjeta de sonido es 1 volt pico, un voltaje mayor hará que la entrada se sature, éste voltaje se puede reducir dependiendo de la configuración del sonido de Windows. Si intentamos ver una señal de un voltaje mayor al soportado por la tarjeta, podríamos observar una imagen como la Figura 2.19.



**Figura 2.19.** Señal recortada en los picos.

Parece que estuviera recortada. Cuando la saturación es mayor, la señal se asemeja a una señal cuadrada.

Por otra parte la saturación también depende del volumen que Windows tiene asignado para la entrada de micrófono. Es posible cambiar esa configuración, para eso entre al panel de control/dispositivos de sonido y audio, y seleccionamos el botón volumen que se encuentra en el marco de grabación de sonido, es aquí donde se selecciona el dispositivo y el volumen de la entrada analógica de audio.

Si se quiere medir la señal de la línea de alimentación (de la toma corriente) o voltajes altos como 120 V ó 220 V. Se requieren ciertas precauciones.

La referencia de la computadora es en teoría la tierra física, cuando invertimos la alimentación y no tenemos idea de la polaridad la referencia puede ser una fase, esto no altera el funcionamiento del aparato en la mayoría de los casos pero es un problema, pues el aparato puede dar peligrosas descargas con sus chasis.

A la hora de poner voltaje en la entrada del micrófono de la computadora, debemos de asegurarnos que sean menos de un voltio y que la referencia de este voltaje sea la misma que la referencia del voltaje de la computadora, de preferencia tierra. De lo contrario podríamos creer que estamos conectando un voltio pero referenciados a una fase CA y conectar el voltaje de la red a la entrada de micrófono de la computadora, lo que dañaría la tarjeta de sonido. De preferencia la señal debe estar eléctricamente aislada mediante un transformador.

La computadora funcionará como un osciloscopio digital, la frecuencia máxima de la señal de entrada será de 20 kHz. En caso de ser una señal de forma caprichosa, se puede deformar al perder armónicas mayores de 20 kHz. La frecuencia de muestreo de la tarjeta de sonido es por lo regular es de 44,1 kHz. Pero aunque puede ser mayor, dependiendo de la calidad de la tarjeta, la mayoría cuentan con filtros pasa banda por lo que frecuencias muy altas o muy bajas (de menos de 1 Hz) no serán muestreadas. Por eso este osciloscopio no sirve para medir voltaje de corriente directa o corriente continua.

Hasta el momento, hemos visto la forma adecuada de conectar la señal análoga en la tarjeta de sonido. Una vez hecho esto, necesitamos del software adecuado que nos permita visualizar en tiempo real o almacenar los datos obtenidos para su posterior análisis. Para ello recurrimos al software libre que podemos encontrar en Internet.

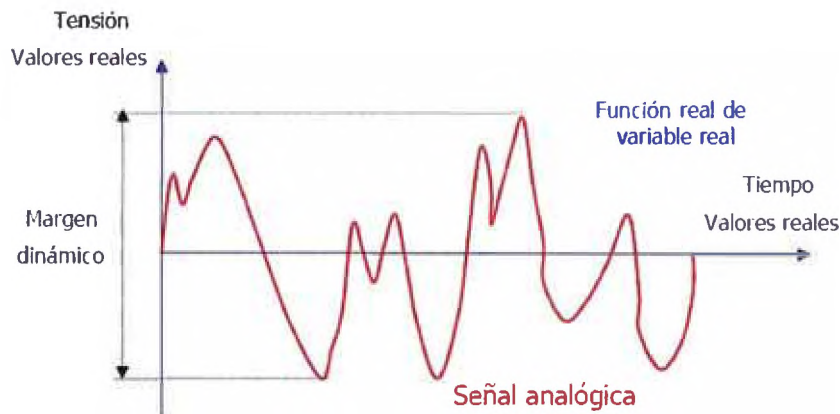
Existen muchas opciones que nos permitirán trabajar fácilmente. Entre las que se recomiendan en éste artículo:

Para los desarrollos en los que únicamente se necesita visualizar y leer la frecuencia de la señal, se pueden utilizar software, para grabación y edición de sonido digital: en los cuales podemos encontrar ventanas que nos permiten ver la señal de entrada en tiempo real como en la pantalla de osciloscopio. A demás podemos ajustar los tiempos de muestreo para calcular la frecuencia de la señal. Entre los ejemplos tenemos: Goldwave, Wave Studio, entre otros.

El proceso de convertir las ondas acústicas o los espectros visibles en señales de tensión y viceversa se conoce con el nombre genérico de **transducción**. Un sistema **analógico** es aquel en que la magnitud física que se transmite puede tomar cualquier valor numérico



dentro del margen de trabajo del propio sistema. En la Figura 2.20 se representa esquemáticamente una señal de tensión analógica donde se indica que, desde un punto de vista formal, puede considerarse como una función real (tensión) de variable real (tiempo). El margen de valores que toma la función se denomina **margen dinámico** y suele estar acotado entre un valor mínimo y uno máximo que dependen de las limitaciones físicas de los sistemas de transducción.



**Figura 2.20.** Representación esquemática de una señal analógica como función real de variable real.

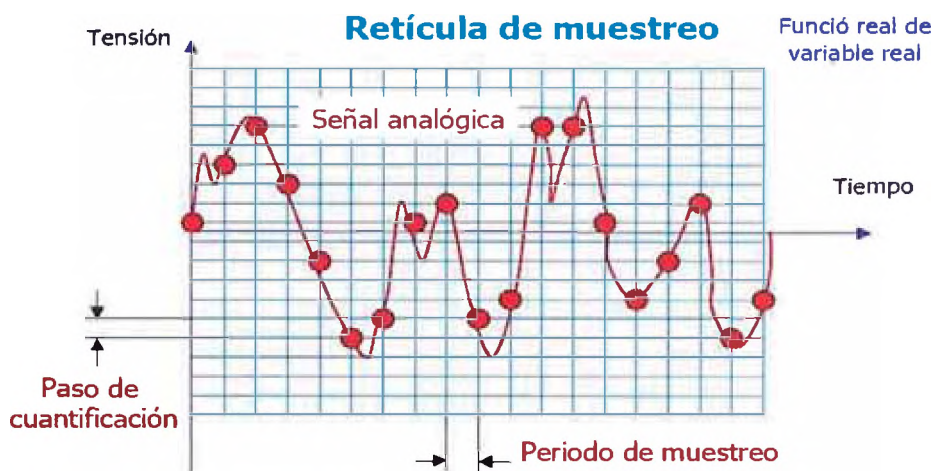
Sin embargo existe un conjunto muy importante de señales denominadas **digitales**, que implica un conjunto discreto tanto en el dominio del tiempo como para la amplitud. La digitalización consiste en tomar un número elevado de muestras de la función en el eje temporal. Si éste número es suficientemente elevado el ojo no será capaz de distinguir entre una representación realmente analógica y su equivalente digital.

### 2.7.6.- Etapas principales: Muestreo, cuantificación y codificación

El concepto básico de la digitalización de señales se muestra en la Figura 2.21. La señal analógica original se aproxima mediante la ayuda de una retícula rectangular. La separación entre los elementos de la retícula en el eje de abscisas es constante y se conoce como el **periodo de muestreo** de la señal. Intuitivamente, parece que cuanto menor sea el valor del periodo de muestreo mejor representada quedará la señal analógica. No obstante, veremos que el teorema del muestreo establece, en función de las características de la señal, un límite al valor del periodo de muestreo. Si se verifica éste requisito mínimo, la señal



analógica puede ser recuperada exactamente a partir de sus muestras sin ningún tipo de ambigüedad. Bajo estas condiciones, la representación digital de la señal no mejora aunque reduzcamos el intervalo de muestreo en el eje temporal.

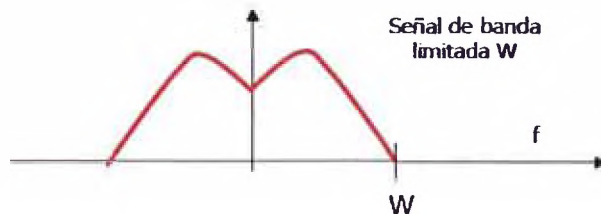


**Figura 2.21.** Proceso genérico de conversión de una señal analógica a digital.

**2.7.7.- Selección de la frecuencia de muestreo y Teorema del Muestreo.**

**2.7.7.1.- Selección de la frecuencia de muestreo**

Para evitar la inclusión de frecuencias inservibles, las señales se limitan en banda, es decir, se anulan por encima de un determinado valor de frecuencia. Se dice que una señal es de banda limitada cuando su contenido espectral es nulo a partir de una determinada frecuencia  $W$ . En la Figura 2.22 se representa esquemáticamente el espectro de una señal de banda limitada. Si la señal es paso bajo, la frecuencia que actúa como límite del contenido espectral de la señal se denomina ancho de banda.



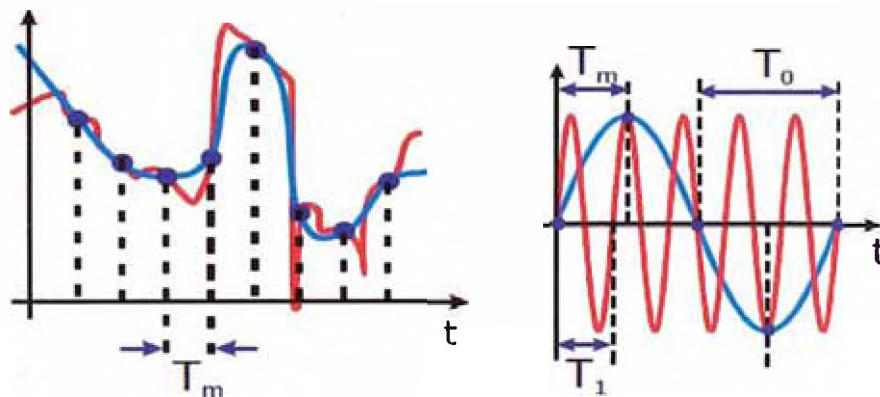
**Figura 2.22.** Señal paso bajo de banda limitada con ancho de banda  $W$ .

Así, la **frecuencia de muestreo** depende de las **características de la señal** y su estadística de variación en el tiempo. Evidentemente, cuanto más rápidos son los cambios temporales que experimenta la señal, más elevada debe ser la frecuencia de muestreo a fin de evitar que se produzca una pérdida de información significativa. La relación entre las variaciones temporales de la señal y la frecuencia de muestreo mínima se establece mediante el **teorema del muestreo o criterio de Nyquist**.

### 2.7.7.2.- Teorema del muestreo.

Desde el punto de vista intuitivo, si deseamos tener una representación de una señal mediante un conjunto finito de puntos de muestreo, nos basta con cumplir dos condiciones:

- Que la señal original pase por los puntos de muestreo;
- Que no exista otra señal que pase por los mismos puntos de muestreo;



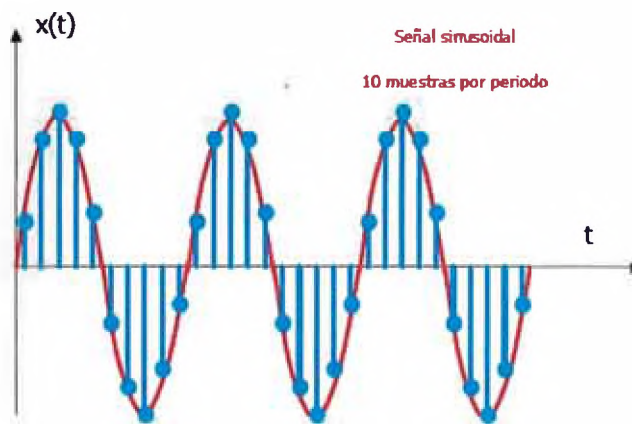
**Figura 2.23.** Posible ambigüedad entre dos señales para el mismo conjunto de puntos de muestreo.

La Figura 2.23 muestra la principal problemática al seleccionar los puntos de muestreo: que representen una única señal. Nótese que tanto la señal representada por la curva azul como la que viene dada por la curva roja proporcionarían los mismos valores si se muestrearan con un periodo  $T_m$ . ¿Cómo determinar si las muestras se corresponden con la señal representada en rojo o en azul?

De forma más rigurosa, el teorema del muestreo establece que cuando una señal es de banda limitada puede muestrearse sin que se produzcan pérdidas de información utilizando una frecuencia de muestreo mayor que el doble de su ancho de banda.

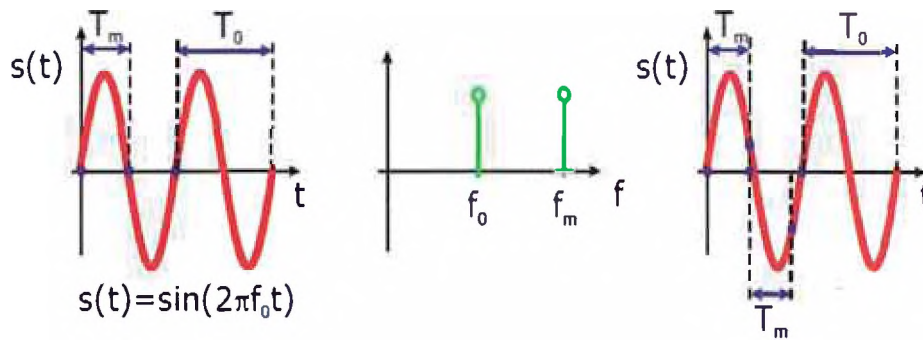
$$f_{\text{muestreo}} = \frac{1}{T_{\text{muestreo}}} > 2 \cdot W \quad \dots\dots\dots (4)$$

Esta relación entre la frecuencia de muestreo y el ancho de banda de la señal también se conoce con el nombre de criterio de Nyquist. De acuerdo con este teorema, la frecuencia de muestreo mínima para poder trabajar con señales de audio de alta fidelidad estaría situada por encima de los 40 kHz (20 kHz de ancho de banda). En la Figura 2.24 se ilustra el proceso de muestreo sobre una componente sinusoidal. En este ejemplo se toman un total de 10 muestras por periodo por lo que se verifica, sin ningún tipo de problemas, el teorema del muestreo.



**Figura 2.24.** Muestreo de una componente sinusoidal con una frecuencia de muestreo que verifica el criterio de Nyquist.

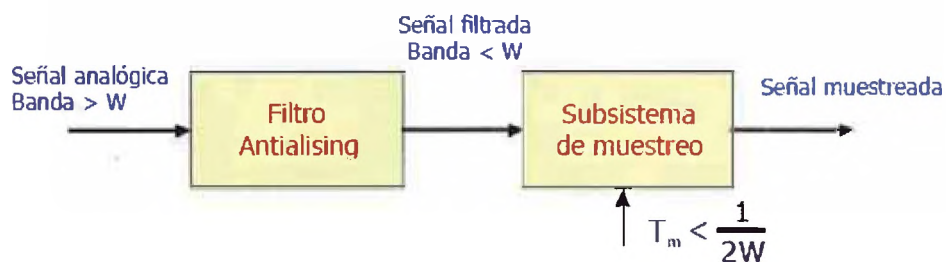
Es importante notar que el criterio de Nyquist establece un valor de frecuencia de muestreo estrictamente mayor, pues si el valor tomado se corresponde con la igualdad, la frecuencia máxima será suprimida. Es particular, para un tono de frecuencia  $f_0$ , y periodo  $T_0=1/f_0$ , si se emplea una frecuencia de muestreo  $2 \cdot f_0$ , que implica un periodo de muestreo  $T_m=T_0/2$ , NO podríamos recuperar la información, es decir, perderíamos el tono a frecuencia  $f_0$ . De hecho, y como puede verse en la Figura 2.25, para esa frecuencia de muestreo, los valores recogidos serían todos ceros.



**Figura 2.25.** Importancia de la desigualdad estricta para el criterio de Nyquist.

Por ello, la frecuencia de muestreo debería ser estrictamente mayor a  $f_0$  y  $T_m$  estrictamente menor a  $T_0/2$ , valor para el que puede demostrarse matemáticamente que la señal se reconstruye completamente. En este apartado bastará con observar gráficamente que los puntos muestreados ofrecen un valor no nulo por el que, además, resulta imposible dibujar cualquier otra señal de menor frecuencia.

Resumiendo para garantizar que el proceso de muestreo de una señal analógica verifica el criterio de Nyquist es necesario realizar un filtrado previo de la señal que garantice que no existen componentes de señal con una frecuencia superior a la mitad de la frecuencia de muestreo, es decir, que **la señal es de banda limitada**. Este filtro paso bajo se denomina **filtro antialiasing** y debe ser incorporado en cualquier sistema que realice la digitalización de señales. En la Figura 2.26 se representa un diagrama de bloques en el que se indica la presencia del filtro antialiasing precediendo al subsistema de muestreo de la señal.



**Figura 2.26.** Filtrado paso bajo previo de la señal analógica: filtro antialiasing.

### 2.7.8.- Selección del paso de cuantificación y el número de bits.

El paso de cuantificación define la precisión con la que se codifican las muestras de la señal, como si fueran a representarse en un display. es decir en un visor con un número de decimales fijo, y está directamente relacionado con el número de bits asignado a cada muestra. La Figura 2.27 muestra el proceso de discretización de la amplitud de la señal e indica como se introduce un error entre el valor real de la señal analógica y el valor con que se codificará la muestra una vez digitalizada.

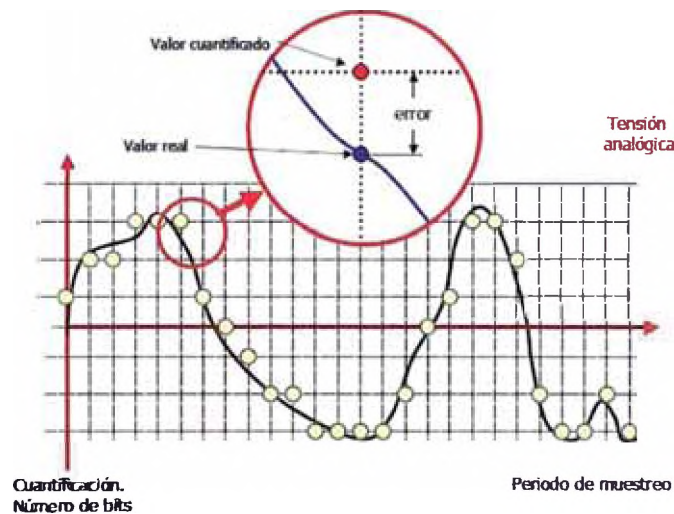
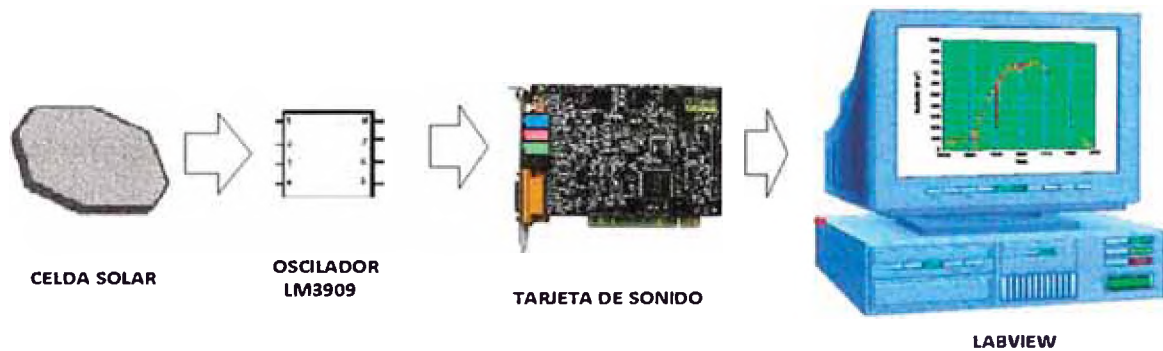


Figura 2.27. Cuantificación y ruido de cuantificación.

El proceso de digitalización introduce por tanto un error aleatorio en la amplitud de la señal que es equivalente a la adición de una componente de ruido. En efecto, podemos suponer que el valor cuantificado corresponde al de la señal original más un ruido 'virtual', que se ha superpuesto con la señal, dando lugar al valor que realmente adquiriremos. El ruido puede ser tanto positivo como negativo y **su valor máximo es igual a la mitad del paso de cuantificación.**

### 3.- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

En la Figura 3.1 se muestra un diagrama del sistema desarrollado. Está conformado por una celda solar, el circuito oscilador LM3909, la tarjeta de sonido de la PC y el sistema de adquisición, procesamiento y visualización en tiempo real de datos en una PC. Las funciones de medición, adquisición, procesamiento, filtrado y visualización de datos son realizados a través de un Instrumento Virtual desarrollado en Labview 10.0.



**Figura 3.1.** Diagrama de bloques del Sistema de medición y Monitoreo de la radiación solar.

Para describir el proceso vamos a describirlo de manera entendible, con las bases teóricas que han sido sustentadas, en las siguientes etapas:

#### 3.1.- Selección del Sensor.

Se empleó una pequeña **celda solar**, ver Figura 3.2, cuyas especificaciones se ven en la Tabla 3.1.



**Figura 3.2.** Celda Solar utilizada.



**Tabla 3.1.** Características del sensor.

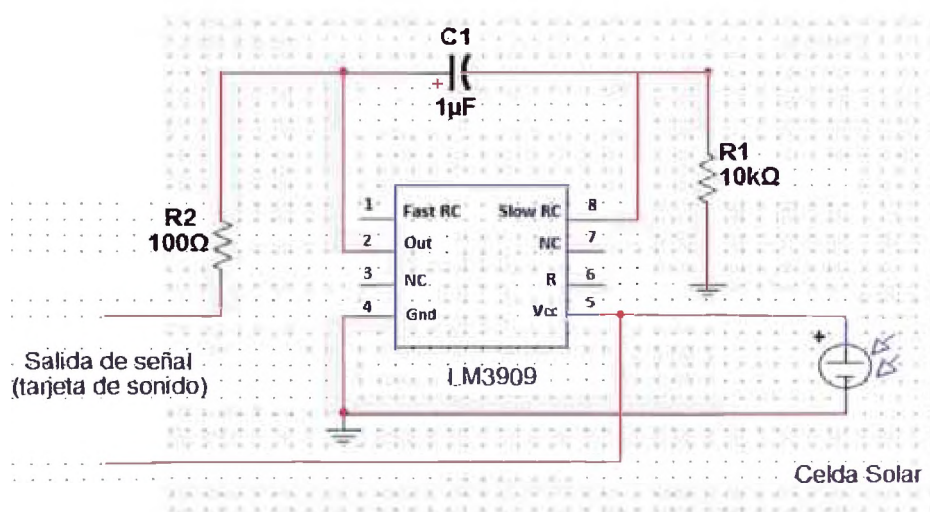
PANEL SOLAR	
Voltaje del circuito abierto:	2,2 V
Potencia:	0,15 W
Condición de prueba:	35000 Lux
Material:	Policristalino
Diámetro:	55 mm

Este dispositivo se utilizó para medir la radiación global además de sus dimensiones reducidas es material de bajo costo.

Sería importante mencionar que se podría haber utilizado como sensor un fotodiodo receptor pero la desventaja era la necesidad de amplificación para radiaciones de baja potencia que significa armar el circuito amplificador y alimentarla con una batería y todo eso sería un costo adicional a demás del fotodiodo tiene una respuesta angular definida a menos que se le diseñara un concentrador solar de lente plano convexo invertido.

### 3.2.- Selección del Oscilador o Conversor V/F.

Consiste en el desarrollo de un circuito oscilador en base al integrado LM3909 que convierte la señal de voltaje a frecuencia. El voltaje es la señal proveniente de la celda solar y la frecuencia generada del circuito es enviada al micrófono de la tarjeta de Sonido. En la Figura 3.3 nos muestra la configuración de éste circuito para su funcionamiento.



**Figura 3.3.** Configuración del LM3909.

Las características generales del oscilador es que genera frecuencias hasta 1,1 kHz; genera voltaje de oscilación desde 0,15 V hasta 6,0 V; corriente máxima de funcionamiento 0.75 mA según las especificaciones del fabricante.

La gran ventaja de usar este circuito es que es alimentada por la propia celda solar cuando el voltaje aumenta también aumenta la frecuencia que genera el circuito y de esta manera podemos aprovechar la señal para su tratamiento. Aquí tenemos el circuito impreso en la Figura 3.4.



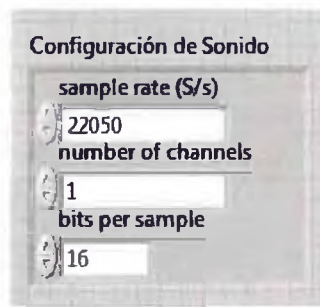
**Figura 3.4.** Circuito impreso del Integrado LM3909.

### **3.3.- Acondicionamiento de la señal y adquisición de datos.**

Cabe mencionar que el micrófono de la tarjeta de sonido es muy sensible a las variaciones eléctricas y no dejando pasar corrientes continuas en este caso la tarjeta de sonido que se utilizó tenía una entrada máximo de 2 Vpp\* pero se ha trabajado hasta 1 Vpp como lo sugieren los distintos fabricantes para tarjetas comunes y evitar algún tipo de inconveniente.

Para que la señal analógica sea interpretada por la tarjeta de sonido se ha tenido que configurar ciertos parámetros para el muestreo y filtrado y obtener la señal digital descada y en lo posible bien definida que será interpretada en Labview. En la Figura 3.5 se observa la configuración en el Panel de Bloques de Labview, algunos parámetros seleccionados para el muestreo en función del Criterio de Nyquist:





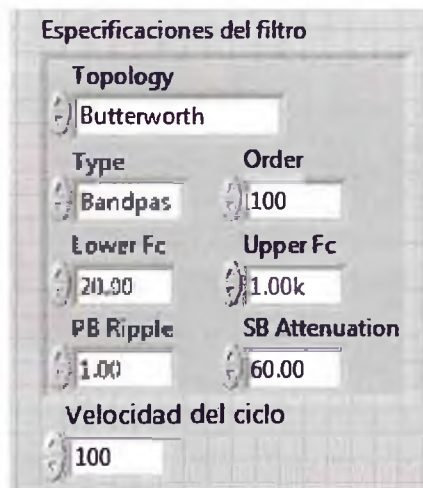
**Figura 3.5.** Configuración de sonido para la señal digital.

Se le asigna la frecuencia de muestreo o Sample rate de 22050 Hz y 16 bits por muestra o bits per sample.

Como sabemos la frecuencia de muestreo debe ser mayor que el doble de la máxima frecuencia original con tal de cumplir el criterio de Nyquist y no ser deformada la señal muestreada. La frecuencia máxima que puede generar el oscilador LM3909 es 1,1 kHz pero se ha evidenciado que existen otras frecuencias indeseables hasta 2 kHz. Para visualizar el conjunto de éstas frecuencias se ha muestreado dicha señal a una frecuencia de muestreo de 22050 Hz. Más adelante veremos un análisis porque era necesario muestrear hasta las señales indeseables para luego filtrarla y ver la evolución de las señales.

Con respecto al **filtrado**, la señal muestreada no garantiza el filtro sino simplemente reconstruye la señal analógica a señal digital. En ese sentido incluye las frecuencias indeseables debido a los ruidos generados por el mismo sistema electrónico del oscilador e incluso el filtrado de la misma tarjeta de sonido entonces se utilizó un filtro digital de la librería Labview. El filtro de Butterworth es usada para el tratado de las señales con la finalidad de atenuar las frecuencias indeseables dicho filtro tiene la opción de configurar filtros pasa bajo, pasa alto, pasa banda limitando los rangos de corte. En nuestro caso se eligió la señal pasabanda limitando las frecuencias de corte de los extremos. Como se muestra un ejemplo en la Figura 3.6.

*\* Se utilizó una laptop marca: ASUS Lamborghini, modelo: VX6 de 12" para el monitoreo de las mediciones. Los resultados obtenidos y parámetros asignados como la frecuencia de muestreo, filtros pasabanda pueden ser relativos ya que las características de la tarjeta de sonido son diferentes para diferentes PCs.*



**Figura 3.6.** En el Panel frontal de Labview tenemos las características seleccionadas del filtro Butterworth.

A continuación el filtrado de la señal muestreada se analizó variando la frecuencia de corte con tal de reducir las frecuencias indeseables y se tomó 3 casos cada uno con 3 gráficos para su comprensión y ver la evolución de la señal.

## CASO 1.

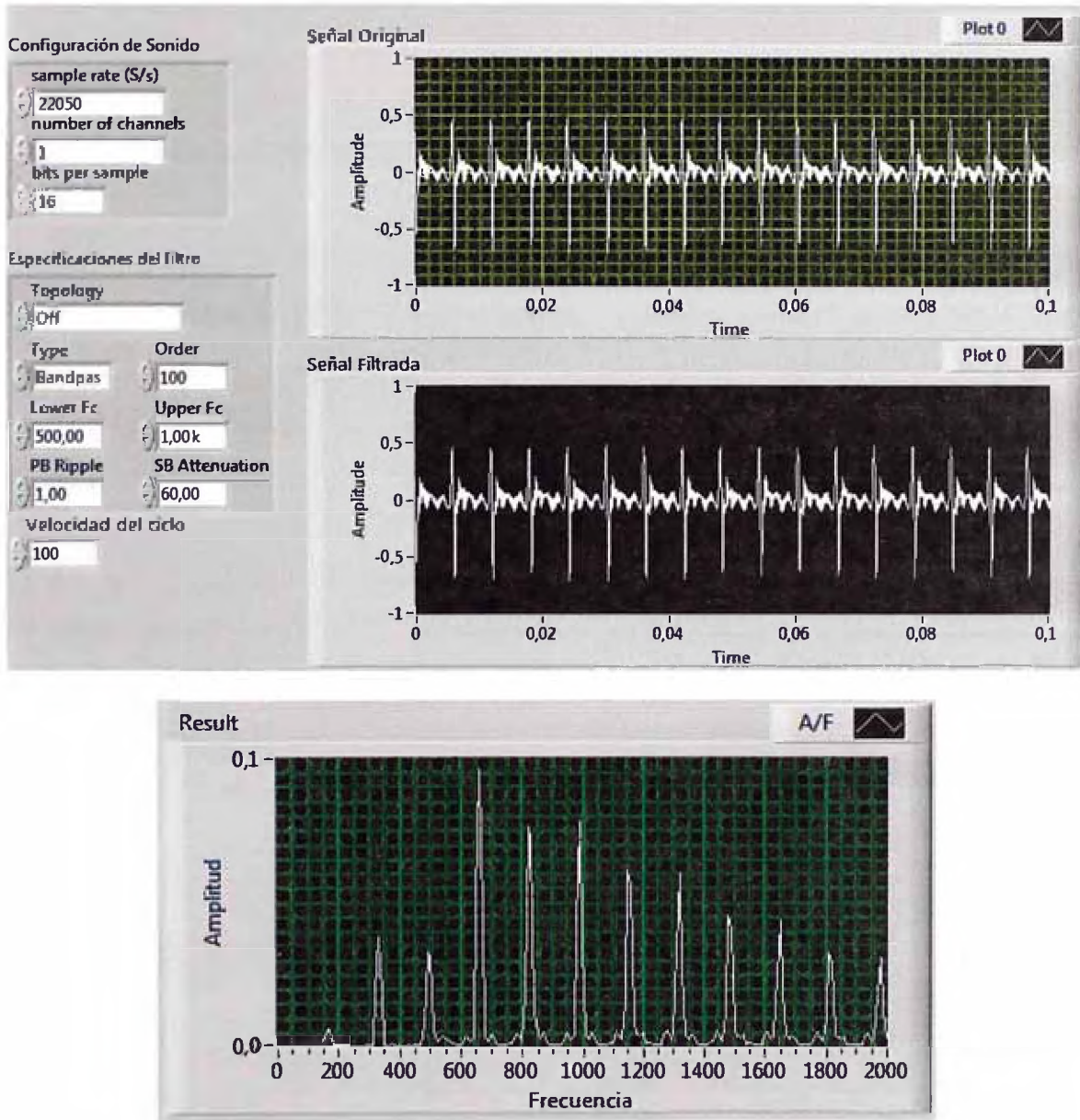
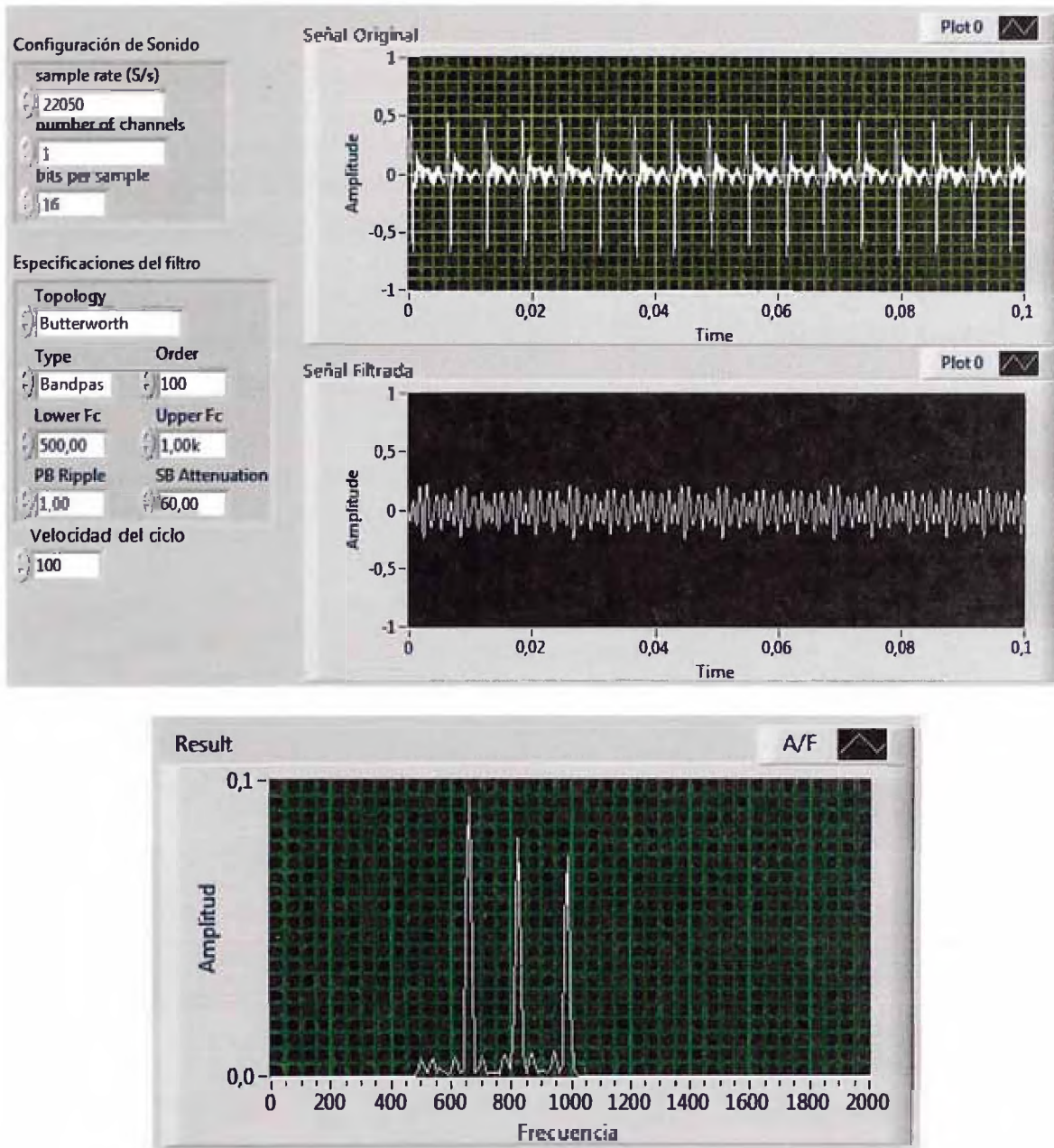


Figura 3.7. Señal muestreada sin filtro.

**Comentario de la Figura 3.7:** Como se puede observar tenemos 3 gráficos, la primera corresponde a la señal original muestreada con sus respectivas configuraciones en el menú **Configuración de Sonido**. En el segundo gráfico caso la señal no ha sido filtrada ya que en el menú **Especificaciones de Filtro** en Topology elegimos **Off** como se puede ver la señal filtrada es lo mismo que la señal original. El resultado de la gráfica de Amplitud vs. Frecuencia se puede observar todas las frecuencias incluida las indeseadas sin filtrar.

## CASO 2.

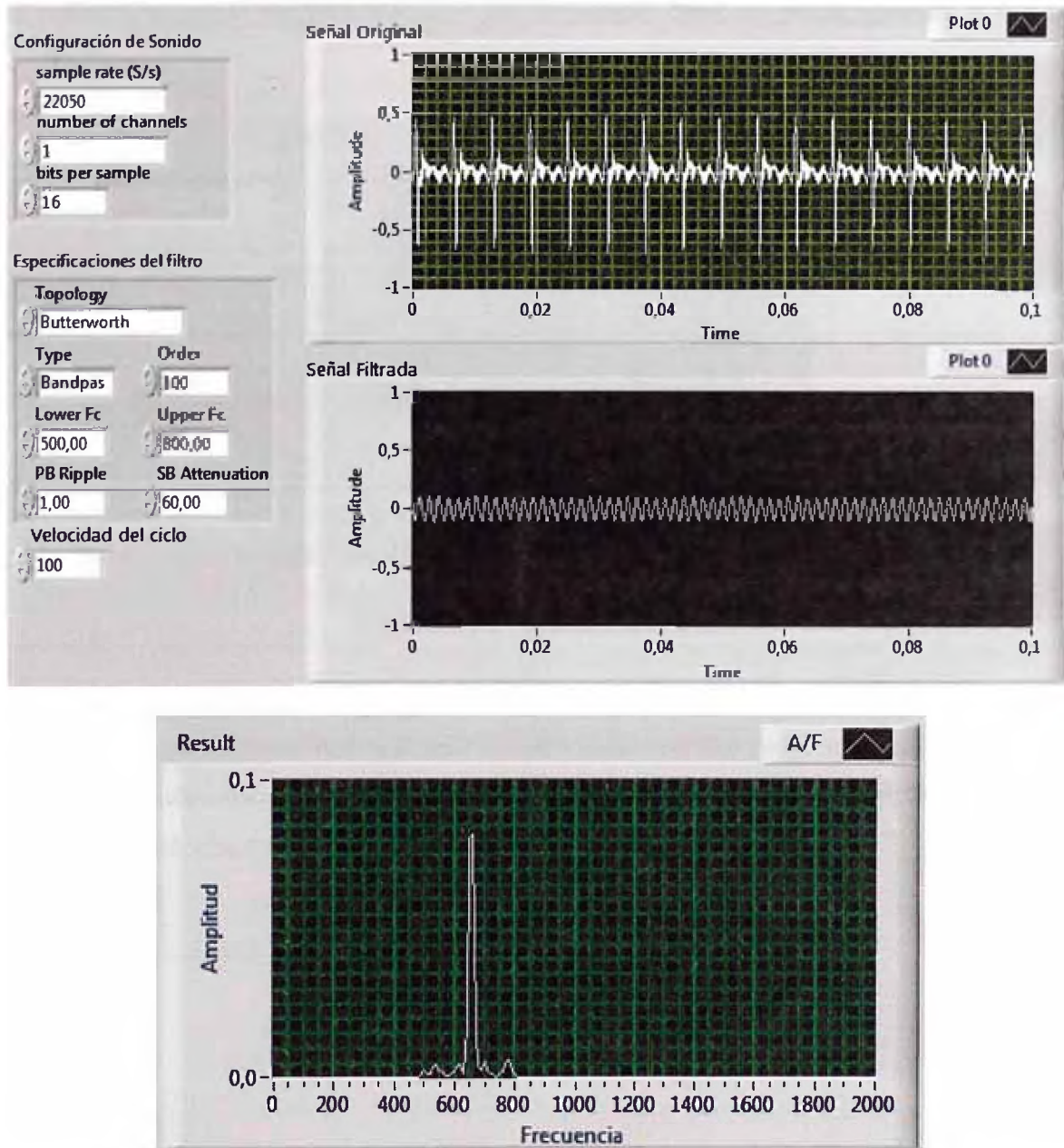


**Figura 3.8.** Señal muestreada con filtro pasabanda de 500 Hz a 1 kHz.

**Comentario de la Figura 3.8:** En éste caso se activó el Filtro Butterworth cuyo ancho de banda se limitó a las frecuencias de corte de 500 Hz inferior y 1 kHz superior. Se puede observar que la segunda gráfica tenemos la señal filtrada. En el tercer gráfico se puede observar que las demás frecuencias han sido eliminadas y se han tomado algunas de ellas para observar la evolución.



### CASO 3.



**Figura 3.9.** Señal muestreada con filtro pasabanda de 500 Hz a 800 Hz.

**Comentario de la Figura 3.9:** En éste caso con el mismo filtro activo de Butterworth de ha modificado las frecuencias de corte de 500 Hz a 800 Hz y se tiene la señal filtrada mejorada y con su periodo definida. En el tercer gráfico se puede ver el resultado de una sola frecuencia significativa con su máxima amplitud.

Bajo esas condiciones de señal muestreada y filtrada en ancho de banda se procedió a elegir la máxima amplitud correspondiente a esa frecuencia como se puede apreciar la Figura 3.10.

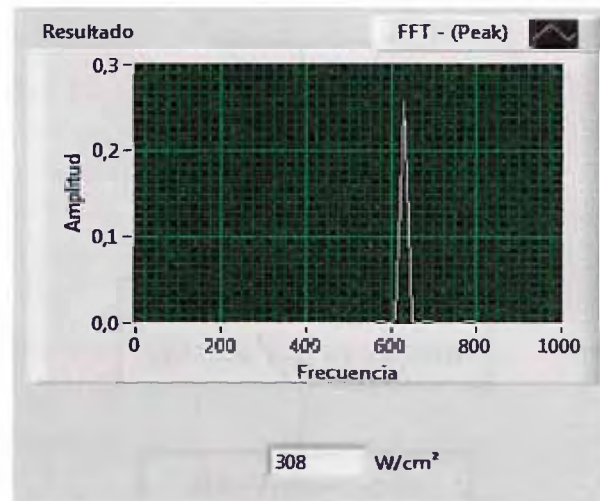


Figura 3.10. Presentación Final

Finalmente la idea principal es **reportar el valor de irradiancia solar ( $W/m^2$ )** utilizando un factor de proporcionalidad al dividir la señal entre 0,00084 (ver Figura 3.11) al calibrar con un piranómetro patrón mientras se comparaba con el sistema implementado, la calibración del sistema y el patrón se explica en las páginas 47 – 49.

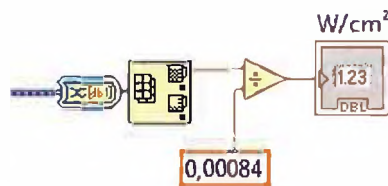


Figura 3.11. Esquema de la señal, es dividida por factor conveniente.

Resumiendo las secuencias y los pasos del proceso descrito hacemos el diagrama de flujo de la Figura 3.12:

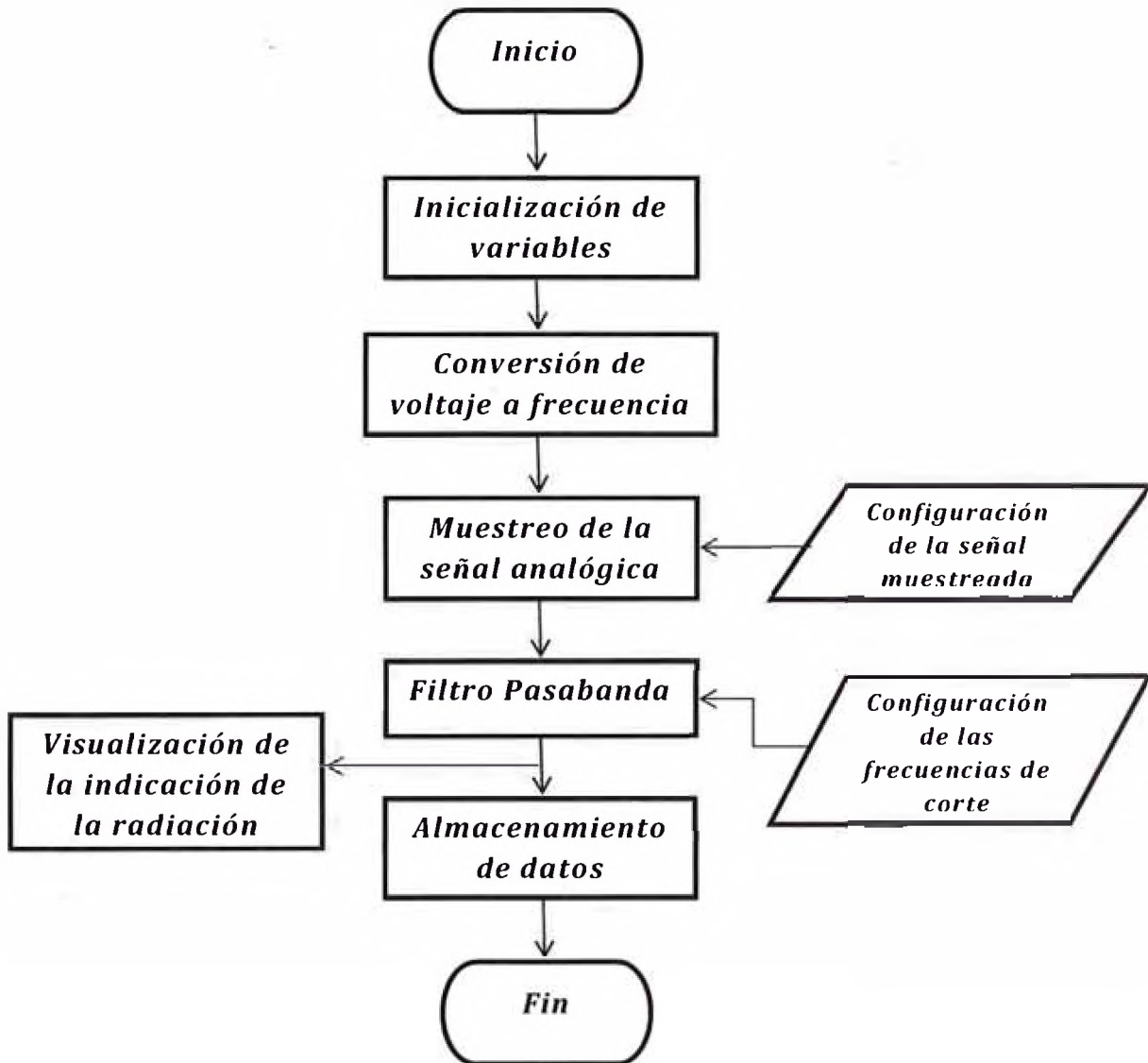
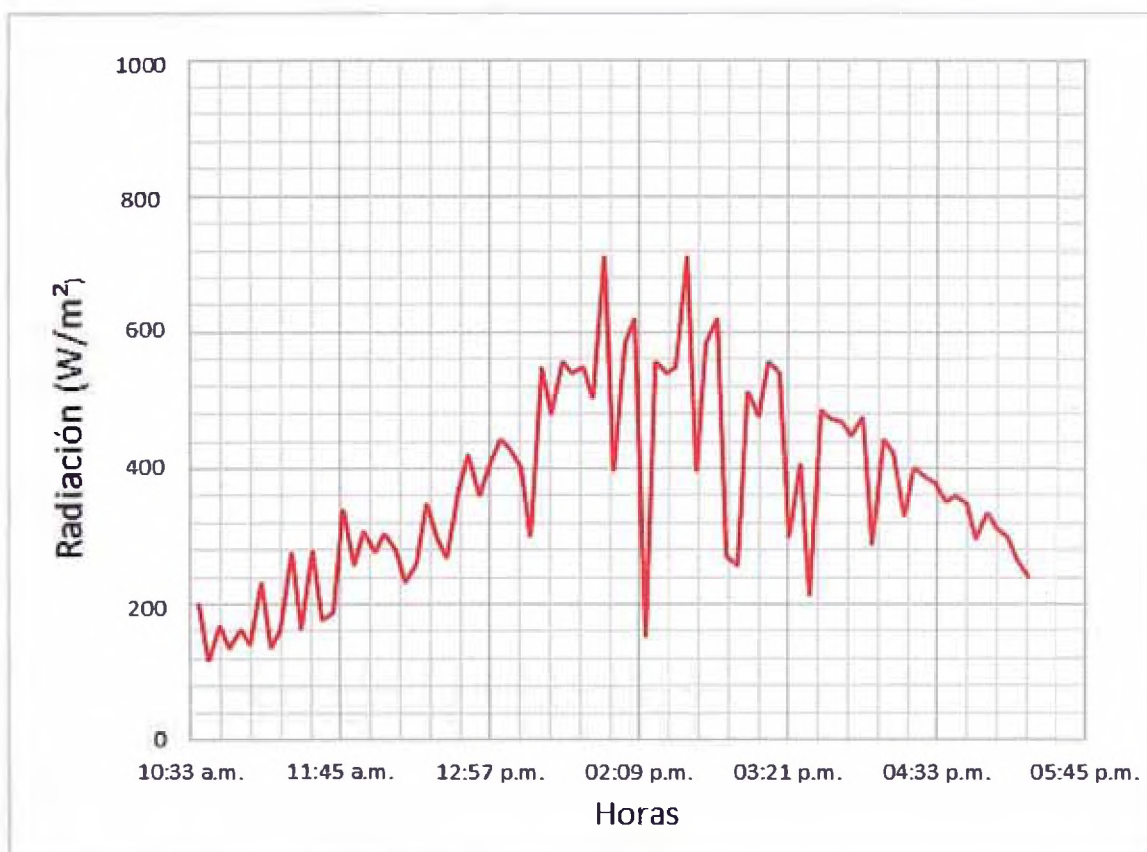


Figura 3.12. Diagrama de Flujo del sistema implementado.

#### 4. RESULTADOS EXPERIMENTALES

En el mismo software generamos los datos tabulados en Excel y hacemos las siguientes dos gráficas reportadas en dos zonas distintas, en ambos casos el cielo relativamente nublado y un día claro.

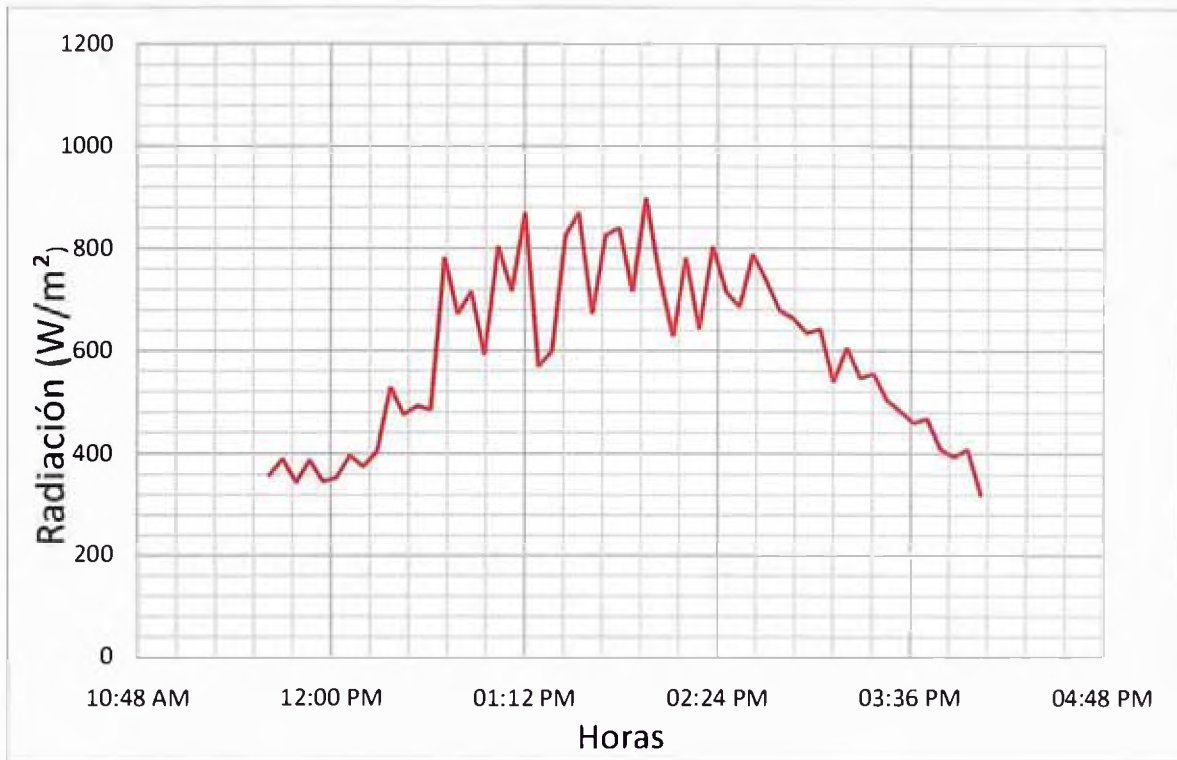
En la Figura 4.1 se reportó aproximadamente desde las 10:30 am hasta las 5:45 pm cerca al Aeropuerto Internacional Jorge Chavez, la máxima radiación fue de 710 W/m<sup>2</sup> alrededor de las 2 p.m.



**Figura 4.1.** Perfil de radiación solar global correspondiente al día 23 de octubre, cerca al Aeropuerto Internacional Jorge Chavez.



En la Figura 4.2, se reportó aproximadamente desde las 11:30 am hasta las 4:00 pm en la azotea de la Facultad de Ciencias, la máxima radiación fue de 900 W/m<sup>2</sup> alrededor de las 1 p.m.



**Figura 4.2.** Perfil de radiación solar global correspondiente al día 8 de noviembre, en la Universidad Nacional de Ingeniería, relativamente nublado y sol alrededor de la 1 a 2 pm.

Los resultados generados, en Labview, son almacenados en variables de memoria en arreglos o matrices de dos dimensiones (tiempo y radiación) y posteriormente guardados en archivos de datos tipo Excel. La función Write Spreadsheet File que permite guardar datos numéricos en forma de tabla.

En este informe no se colocará las tablas correspondientes para cada Figura 4.1 y 4.2 debido a la extensión de los datos almacenados. Pero cabe señalar que a partir de las tablas se reconstruyen las gráficas mencionadas en el programa Excel.

## 5. DISCUSIÓN

Antes de discutir el tema de las gráficas es importante mencionar que para garantizar los resultados del sistema implementado se calibró utilizando un piranómetro patrón (cortesía de la Facultad de Ciencias) con las siguientes características:

Marca: KIPP & ZONEN

Sensibilidad de  $13,69 \times 10^{-6} \text{ V/Wm}^{-2}$

Serial: 080120

Como indicador se utilizó un multímetro marca: UNITEST, modelo: Hexagon 110 con resolución de 0.1 mV que se utilizó para medir el voltaje del sensor. El factor de corrección fue de  $73,0468 \times 10^3 \text{ V}$ , luego la ecuación utilizada para el cálculo de la radiación en  $\text{W/m}^2$ :

$$\text{Irradiación} = 73,0468 * \text{V}[\text{mV}] \dots\dots\dots (5)$$

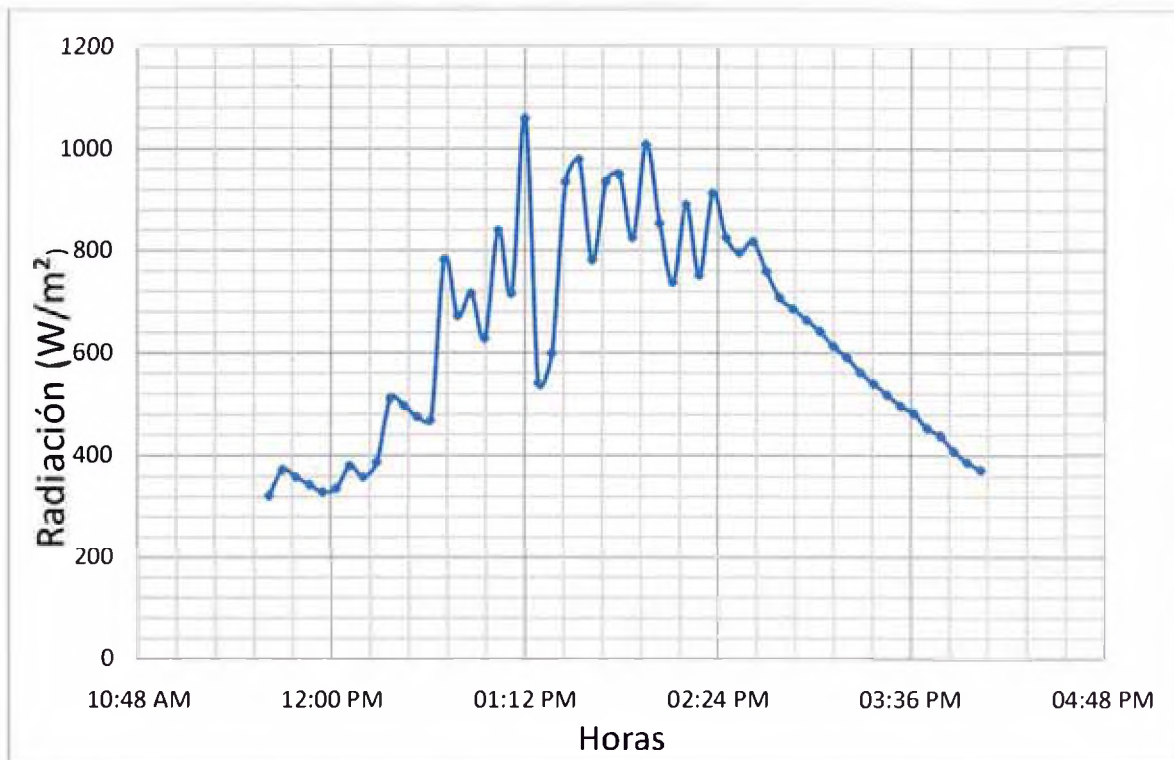
Este instrumento patrón fue utilizado para calibrar el sistema implementado, para lo cual se compararon las medidas de radiación solar, en las mismas condiciones de humedad y temperatura ambiental y teniendo en cuenta el acercamiento entre sensores con tal de no tener gradientes significativos, realizada el día 8 de Noviembre en las condiciones en que se estaba realizando las pruebas de ese día, ver Tabla 5.1 en la toma de mediciones.

**Tabla 5.1.** Registro manual del tiempo y voltaje cada 5 minutos.

TIEMPO	VOLTAJE (mV)	RADIACIÓN (W/m <sup>2</sup> )
11:37 a.m.	4,4	321,41
11:42 a.m.	5,1	372,54
11:47 a.m.	4,9	357,93
11:52 a.m.	4,7	343,32
11:57 a.m.	4,5	328,71
12:02 p.m.	4,6	336,02
12:07 p.m.	5,2	379,84
12:12 p.m.	4,9	357,93
12:17 p.m.	5,3	387,15
12:22 p.m.	7,0	511,33
12:27 p.m.	6,8	496,72
12:32 p.m.	6,5	474,80
12:37 p.m.	6,4	467,50
12:42 p.m.	10,7	781,60
12:47 p.m.	9,2	672,03
12:52 p.m.	9,8	715,86
12:57 p.m.	8,6	628,20
01:02 p.m.	11,5	840,04
01:07 p.m.	9,8	715,86
01:12 p.m.	14,5	1059,18
01:17 p.m.	7,4	540,55
01:22 p.m.	8,2	598,98
01:27 p.m.	12,8	935,00
01:32 p.m.	13,4	978,83
01:37 p.m.	10,7	781,60
01:42 p.m.	12,8	935,00
01:47 p.m.	13,0	949,61
01:52 p.m.	11,3	825,43
01:57 p.m.	13,8	1008,05
02:02 p.m.	11,7	854,65
02:07 p.m.	10,1	737,77
02:12 p.m.	12,2	891,17
02:17 p.m.	10,3	752,38
02:22 p.m.	12,5	913,09
02:27 p.m.	11,3	825,43
02:32 p.m.	10,9	796,21
02:37 p.m.	11,2	818,12
02:42 p.m.	10,4	759,69
02:47 p.m.	9,7	708,55
02:52 p.m.	9,4	686,64
02:57 p.m.	9,1	664,73
03:02 p.m.	8,8	642,81
03:07 p.m.	8,4	613,59
03:12 p.m.	8,1	591,68
03:17 p.m.	7,7	562,46
03:22 p.m.	7,4	540,55
03:27 p.m.	7,1	518,63
03:32 p.m.	6,8	496,72
03:37 p.m.	6,6	482,11
03:42 p.m.	6,2	452,89
03:47 p.m.	6,0	438,28
03:52 p.m.	5,6	409,06
03:57 p.m.	5,3	387,15
04:02 p.m.	5,1	372,54

Para determinar la relación de datos que existe entre el piranómetro patrón y el sistema implementado se realizó el ajuste lineal por mínimos cuadrados obteniendo un **factor de correlación de 0,96**.

En la Figura 5.1 tenemos la gráfica de acuerdo a la Tabla 5.1.



**Figura 5.1.** Perfil de radiación del patrón con una radiación máxima de 1060 W/m<sup>2</sup>.

La discusión que podría aportar es que la diferencia entre la Figuras 4.2 y 5.1 se observa que el patrón llega a una radiación máxima de 1060 W/m<sup>2</sup> mientras que el sistema implementado llega a 900 W/m<sup>2</sup> en éste caso podría ser la limitancia del método elegido porque aquí involucra el circuito LM3909 y la tarjeta de sonido.

Las mediciones reportada según las Figuras 4.1 y 4.2 fueron a partir de aproximadamente de 150 W/m<sup>2</sup> debido a la limitancia del Integrado LM3909 que opera desde 1 V hasta 5 V según las características del fabricante mencionada en el apartado 2.6.1.1.

El otro punto importante es que no se realizó una buena calibración entre patrón y sistema implementado ya que las condiciones climáticas del ambiente es por lo general nublado presentado inestabilidad en las mediciones de radiación a demás teniendo en cuenta el tiempo de respuesta de los instrumentos es importante la estabilidad del medio ambiente. Por lo que sugiero hacer las comparaciones a lo largo de un día y en distintas épocas o estaciones.

## 6. CONCLUSIONES

Se desarrolló e implementó un sistema de medición y monitoreo de la radiación solar utilizando como sensor la celda solar y una interface la tarjeta de sonido de manera accesible y portátil de bajo consumo.

Se logró implementar y desarrollar un software filtrando las señales indeseables llegando obtener una precisión en la medición de  $\pm 10 \text{ W/m}^2$  utilizando una lámpara de iluminación constante.

En concreto, se logró desarrollar el sistema de medición de manera satisfactoria bajo ciertas limitaciones del circuito, y es importante mencionarlo ya que es parte de la mejora, que la ventaja de dicho circuito es que es alimentada por la propia celda solar.

## 7. REFERENCIAS

- [1] J. J. Carr, "Sensors and Circuits", Prentice Hall, 1993.
- [2] R. Mukaro, X.F Carelse, L. Olumekor, Solar Energy 63 (1998) 313–321.
- [3] STEREN, El ABC de la Electronica, pag 61-73.
- [4] <http://www.depi.itchihuahua.edu.mx/electro/archivo/electro2001/mem2001./articulos/mon4.pdf>
- [5] [http://revcolfis.org/publicaciones/vol41\\_1/4101151.pdf](http://revcolfis.org/publicaciones/vol41_1/4101151.pdf)
- [6] <http://www.enalmex.com/docpdf/libro/ch01.pdf.pdf>
- [7] [http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/80bib\\_arch.pdf](http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/80bib_arch.pdf)
- [8] <http://e-md.upc.edu/diposit/material/27349/27349.pdf>
- [9] <http://www.gii.upv.es/personal/gbenet/IIN/treballs%20cursos%20anteriors/treballs%200607/ecualizador%20VI-Ripoll%20Esteve-%20Uroz%20Moreira/TRABAJO%20FINAL/ecualizador.pdf>