

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

Diseño y construcción de un medidor de radiación solar.

Tesis Profesional
que para obtener el título de

Ingeniero en Electrónica

Presenta:

Luis Sergio Martínez Villanueva.

Tesis presentada ante el siguiente jurado

M.C. Jose Antonio Moreno Espinoza.

M.C. Jacob Vásquez Sanjuan.

M.C. Enrique Guzmán Ramírez.

Candidato a M.C. Felipe de Jesús Rivera López.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres, Luis Miguel y Estela, por haberme guiado y educado para llegar hasta donde lo he hecho, por darme ese apoyo cuando siempre lo necesite y haber creído en mi esfuerzo y dedicación.

A mi esposa Lorena y a mi hijo Sergio, por darme su apoyo y ser la inspiración y el principal motivo y razón de este esfuerzo.

A mi hermana Laura Estela, de quien he querido ser un pequeño guía para su superación.

*A todos ustedes, gracias por brindarme todo su amor y paciencia, y nunca haberme dejado solo en este, **MUESTRO LOGRO.***

Los AMO.....

Luis Sergio Martínez Villanueva

U. T. U. 5451

Agradecimientos

Agradezco a TODOS mis maestros que durante mi educación me brindaron todos sus conocimientos sin esperar más recompensa que la satisfacción del deber cumplido.

Agradezco al M.C. Hiram Ochoa Arriaga por su valiosa guía en la realización de este trabajo, así como al Ing. Jorge de Dios Domínguez por ayudarme a concebir y darle aplicación a la idea.

También agradezco al M.C. Enrique Guzmán, al candidato a M.C. Felipe de Jesús Rivera, M.C. José Antonio Moreno y al M.C. Jacob Vásquez, por sus consejos y ayuda para la terminación de esta tesis.

A mis compañeros Miriam, Víctor, Sergio, Jhonny, Baltasar, Ricardo y José Luis, por ser mi equipo en esta difícil carrera de resistencia que todos terminamos.

A mis demás compañeros y amigos por su ayuda y consejo.

Mamá negrita, Pili, Alejandro, Tío José Luis gracias por su apoyo en los momentos difíciles.

Gracias a Alejandra Bernal por su ayuda para conseguir los materiales para este trabajo.

A las autoridades universitarias de la U.T.M. por la oportunidad de trabajo, y las facilidades para ocupar recursos necesarios en la elaboración de este trabajo.

U. T. M. 9445

Índice

	Página
Introducción.	i
1.- La energía solar y el efecto fotovoltaico.	1-1
1.1.- La energía solar.	1-1
1.1.1.- El sol fuente inagotable de energía.	1-1
1.1.2.- Energía solar.	1-2
1.1.3.- Historia del aprovechamiento de la energía solar.	1-3
1.1.4.- Aplicaciones de la energía solar.	1-5
1.1.4.1.- Aplicaciones térmicas.	1-5
1.1.4.2.- Transformación de la energía solar en energía eléctrica de forma indirecta.	1-8
1.1.4.3.- Conversión directa de energía solar en energía eléctrica.	1-10
1.1.5.- Perspectivas del uso de la energía solar.	1-12
1.2.- Efecto Fotovoltaico.	1-14
1.2.1.- Descripción del efecto fotovoltaico	1-14
1.2.2.- Células solares.	1-15
2.- El medidor de radiación solar.	2-21
2.1.- El medidor de radiación solar.	2-21
2.2.- Descripción general del medidor de radiación solar propuesto en este trabajo.	2-21
2.3.- Medidores y sensores actuales.	2-22
2.4.- Problemática de las mediciones de radiación solar.	2-23
2.5.- Cálculo de un sistema fotovoltaico.	2-24

3.- Diseño del medidor de radiación solar.	3-27
3.1.- Características del dispositivo.	3-27
3.2.- Descripción a partir del hardware.	3-28
3.2.1.- Etapa de control.	3-28
3.2.2.- Etapa de almacenamiento.	3-31
3.2.3.- Etapa de adquisición de datos.	3-34
3.2.3.1.- Convertidor analógico a digital.	3-34
3.2.3.2.- Convertidor de radiación solar a voltaje.	3-34
3.2.4.- Alimentación.	3-36
3.3.- Descripción a partir del software.	3-36
3.3.1.- Inicialización.	3-36
3.3.2.- Medidor autónomo.	3-37
3.3.3.- Medidor instantáneo.	3-37
3.3.4.- Cálculo y despliegue de la radiación media diaria de un periodo.	3-37
3.3.5.- Comunicación con la PC.	3-38
3.3.6.- Diagrama de flujo del programa.	3-38
4.- Conclusiones y perspectivas.	4-45
4.1.- Conclusiones.	4-45
4.1.1.- Construcción y prueba del prototipo.	4-45
4.1.2.- Conclusiones sobre el funcionamiento del prototipo.	4-46
4.1.3.- Conclusiones generales.	4-52
4.1.4.- Costo del prototipo.	4-53
4.2.- Perspectivas.	4-54

Apéndice A. Detalles del Hardware.	A-57
Apéndice B. Detalles del software.	B-63
Apéndice C. Manual de usuario.	C-81
Apéndice D. Calibración.	D-83
Glosario.	G-85
Bibliografía.	

Introducción

Es innegable la gran dependencia que nuestra cultura moderna tiene de la energía eléctrica, todo funciona en base a la electricidad. Desde máquinas para producción de pequeños útiles hasta sofisticados aparatos electrónicos que ayudan en la investigación y desarrollo de nueva tecnología. Simplemente no se puede hablar de un hogar moderno sino cuenta con energía eléctrica para encender una pequeña lámpara cuando la luz natural se ha ido. Pero toda la energía utilizada en todo el mundo se tiene que obtener de alguna otra clase de energía, y casi toda esa energía se obtiene de manera indirecta del sol. El quemar algún hidrocarburo es usar energía solar almacenada y que fue cambiando de una planta a llegar a ser petróleo, el quemar madera para utilizar el calor y la luz es obtener la energía que una planta almacenó, y la obtuvo del sol. Para liberar la energía se utilizan procesos que la naturaleza también usa, pero cuando excedemos en la cantidad de residuos tóxicos derivados de liberar esta energía y utilizarla, entonces provocamos un desequilibrio que provocara daños a todo el sistema terrestre.

Actualmente la obtención de energía eléctrica se lleva a cabo por procesos termodinámicos en los cuales se quema algún combustible, como el petróleo o derivados, carbón o combustibles radiactivos, el uso de hidroeléctricas y en pequeña escala las energía alternativas como la solar, eólica y otras. Los procesos termodinámicos generan residuos tóxicos, afortunadamente ya muchos países han empezado a desarrollar una cultura de ahorro y uso eficiente de la energía además de políticas como el cambio de horario y el uso de diferentes usos horarios pa-

ra cada región del país, ya que mientras más energía necesitemos más es la contaminación que se produce para generarla. Otras naciones ya han visto en el uso de energías alternas como una medida para evitar la contaminación y como una alternativa donde los procesos clásicos tienden a ser caros por falta de infraestructura.

Países como Israel con una gran exposición solar ya desarrollan sistemas para aprovechar la energía solar debido a las condiciones que prevalecen en su territorio.

Otra razón para desarrollar sistemas que utilicen fuentes alternativas de energía, es la reserva que ahora se tiene de petróleo que de consumirse al ritmo actual para el año 2050 no será posible cubrir las cantidades necesarias para esos años. Así las compañías petroleras más grandes del mundo ya han puesto los ojos y dinero en el desarrollo del uso de energías alternas para prolongar la vida de las reservas de petróleo. Principalmente en la energía solar cuyo aprovechamiento puede ser térmico o fotovoltaico. El térmico ayuda a obtener calor, calentar gases o líquidos para su uso industrial o doméstico, y para generar electricidad por medio de procesos termodinámicos. El fotovoltaico genera energía eléctrica a partir de la luz solar por medio de fotoceldas.

Para poder aprovechar la energía solar por cualquiera de los dos medios es necesario tener la cantidad de radiación solar que llega al lugar donde se va implementar el sistema y mientras más exacta sea esta información más eficientes serán los sistemas. Es por ello la necesidad de aparatos de medición que den la información requerida para el diseño de los sistemas de aprovechamiento de la energía solar, como son la radiación solar promedio y las horas de sol. Además que estos deben ser accesibles a los diseñadores para que el costo de sus desarrollos no

se vea incrementado, y les sea más conveniente utilizar estos aparatos que confiar en tablas de localidades aledañas y la mayoría de las veces con características diferentes a las del lugar donde operará el sistema.

El objetivo de este trabajo fue el de diseñar y construir un prototipo de instrumento para la medición de la radiación solar y las horas de sol, que fuese de bajo costo y de ayuda a los diseñadores de sistemas para aprovechar la energía del sol. El instrumento construido calcula la radiación promedio y las horas de sol promedio del periodo de tiempo que haya trabajado en el modo autónomo. Sirve como medidor instantáneo de la radiación solar. Guarda el promedio diario de la radiación y las horas sol y lo puede entregar a una computadora si algún usuario quisiera generar una base de datos con estas mediciones.

Este trabajo consta de 4 capítulos. El primer capítulo habla de la energía solar; que es, su historia, aplicaciones y futuro en sus aplicaciones; y de el efecto fotovoltaico con el cual trabaja la célula solar que sirve como transductor en el instrumento.

El segundo capítulo habla del medidor de radiación solar, de los que existen actualmente y del que se construyó.

El tercer capítulo toca el diseño del medidor de radiación solar desde el punto de vista hardware y del software.

El cuarto capítulo son las conclusiones sobre la construcción y el funcionamiento del prototipo, además de las posibles aplicaciones futuras del sistema con pequeñas modificaciones al hardware y/o al software.

La energía solar y el efecto fotovoltaico.

1.1 *La Energía Solar.*

1.1.1 El Sol, fuente inagotable de energía.

El sol como cualquier estrella es un potente emisor de radiación energética. Por su proximidad con la tierra, el Sol es capaz de hacer llegar a su superficie, tal cantidad de energía que ha sido el factor determinante en el establecimiento de las condiciones físicas que existen en el planeta desde su formación, incluyendo las que hacen posible la vida en ella [C83].

El sol es una estrella brillante que se encuentra a una distancia de 150 millones de kilómetros de la Tierra. La radiación que emite el Sol tarda un poco más de 8 segundos en llegar a nuestro planeta [C83].

Su diámetro es de aproximadamente 1,400,000 kilómetros y la masa que tiene es de aproximadamente 300,000 veces la de la tierra.

El Sol como cualquier otra estrella es un enorme horno nuclear, dentro del cual la masa se convierte en energía radiante y se prevé que durante 5,000 millones de años el Sol seguirá emitiendo energía, por lo que podemos asegurar que por mucho tiempo el Sol será una fuente inagotable de energía para la humanidad [C83].

La temperatura de la superficie solar es de aproximadamente 5,600 °C, esto es importante por que las características de la radiación de un cuerpo está en función de la temperatura de su superficie. En total la energía que llega a nuestra atmósfera es de aproximadamente 1.4 Kw por metro cuadrado y la que llega a la superficie de la Tierra es de 1 kw por metro cuadrado.

Debido a sus características el Sol puede llegar a ser una fuente de energía que podemos utilizar y estar seguros no se terminará en mucho

tiempo. Utilizándola correctamente le evitaremos al mundo grandes problemas como la contaminación y la deforestación.

1.1.2 Energía Solar.

Energía solar es toda la radiación electromagnética que llega a la Tierra procedente del Sol.

La energía radiada por el sol es transportada por ondas electromagnéticas. Estas son una perturbación que puede afectar zonas del espacio físico que habitamos cuya característica principal es su continuo cambio de manera oscilante [C83]. Las ondas electromagnéticas que nos llegan del Sol tienen diferentes frecuencias, y dentro del espectro se sitúan a lo largo de la región del infrarrojo, luz visible y luz ultravioleta. La radiación electromagnética del Sol está formada por un enorme número de agrupamientos energéticos discretos llamados fotones, que son considerados como las unidades naturales de transporte de energía [C83]. La intensidad del flujo de fotones es la que nos dará la intensidad de la radiación solar que llega a un área específica. La intensidad media de energía que llega a la estratosfera es de 1350 W/m^2 , mientras que en la superficie terrestre se tiene una media de entre 800 y 1200 W/m^2 la cual depende de la época del año, el lugar y las condiciones atmosféricas. La diferencia entre las dos medidas es debido a los fenómenos de absorción y difusión que sufren los rayos solares al pasar por la atmósfera. Dichos fenómenos son provocados por la capa de ozono que absorbe gran parte de la luz ultravioleta, y a las pérdidas energéticas que sufren los fotones al chocar con moléculas de vapor de agua o bióxido de carbono en su camino hacia la superficie de la Tierra.

La radiación que llega a la superficie de la tierra suele clasificarse en radiación directa, difusa y de albedo. La radiación directa es aquella que lle-

ga hasta la superficie sin sufrir desviaciones. La difusa es la que se difunde por la bóveda celeste aparentando que esta es quien la irradia hacia la tierra. La de albedo es la que se refleja en cuerpos que están en el suelo y por la misma corteza terrestre. Durante los días nublados la radiación directa en la zona es casi nula pues las nubes son un factor de difusión de la luz.

Los tres tipos de radiaciones pueden ser utilizados para producir energía. En la actualidad la tecnología permite aprovechar de manera sustancial la radiación directa y de manera circunstancial la radiación difusa y de albedo, esto debido a que todos los mecanismos de aprovechamiento de la energía solar requieren de un valor umbral para poder empezar a trabajar [C83].

1.1.3 Historia del aprovechamiento de la energía solar.

La historia del uso de la energía solar por el hombre comienza cuando el gran sabio griego Arquímedes destruyó barcos romanos, cuando estos asediaban la ciudad de Siracusa, usando los rayos solares y concentrándolos en cada barco mediante los brillantes escudos de sus soldados. Sócrates aconsejaba que las casas se construyeran con las fachadas al sur altas, para aprovechar el sol invernal, y las fachadas al norte bajas.

Después Leonardo Da Vinci creó un concentrador parabólico que nunca concluyó; en el siglo XVII F. W. Tschirnaus usó un espejo parabólico de cobre para hornear porcelana; en el siglo XVII un científico sueco llamado Sosses descubrió el efecto invernadero; en 1765 el físico Horace Bénédict proyectó una cocina solar con lentes y espejos que enfocaban la energía a una cámara; el físico Henry Becquerel descubrió el efecto fotovoltaico; en 1861 el profesor Agustín Mouchet patentó una máquina de vapor que utilizaba energía solar, él escribió el primer libro de energía solar y presentó un refri-

gerador accionado por energía solar y en 1872 se utilizó el primer sistema de destilación para obtener agua potable diseñado por el ingeniero inglés Charles Wilson. En casi todos los momentos de la vida del hombre se han desarrollado ingeniosos dispositivos para aprovechar la energía del Sol. La arquitectura ha sido una de las que mejor ha aprovechado la energía solar diseñando y construyendo casas correctamente orientadas y acristaladas para utilizar al máximo la duración de la radiación solar, además edificando casas que aprovechen el calor durante los fríos pero soleados días de invierno de las regiones del extremo norte y sur del planeta [C83].

Desafortunadamente para el desarrollo de la energía solar, cuando se dieron los primeros descubrimientos para su aprovechamiento, no se tenía la tecnología adecuada para hacerlo de una manera eficiente, esto aunado con la entrada de los combustibles fósiles que generan energía barata y de fácil transporte, así como de la introducción de la energía eléctrica a casi todos los rincones del mundo, se propició el olvido del gran potencial energético del Sol. No fue hasta los años sesenta en que resurge la posibilidad de usar esta energía, debido a la falta de abastecimiento del petróleo y del incremento en su precio. Se crean pequeños aparatos para calentar el agua y empieza la construcción de paneles solares a gran escala para lugares donde no llega la red eléctrica, pero al restablecerse el precio del petróleo y junto con los intereses de las grandes compañías petroleras se queda otra vez en el olvido el uso de la energía solar.

No es sino hasta finales de la década de los ochenta que empieza a surgir una conciencia ecológica y se manifiestan los grandes problemas de contaminación que tiene el planeta derivados del abuso en el uso de combustibles fósiles y derroche de recursos energéticos. Se necesitan ahora el desarrollo de energías limpias y renovables dentro de las cuales la energía

solar juega un papel preponderante. Así el desarrollo de la energía solar ha ido en aumento gracias al interés de algunas compañías y gobiernos y a los avances tecnológicos que se han obtenido en las últimas décadas. Aun así la energía solar sigue siendo de alto costo, por los dispositivos para aprovecharla, con respecto a las tradicionales fuentes de energía pero debemos considerarla como una importante opción dado que es gratuita y su utilización no genera contaminación alguna.

1.1.4 Aplicaciones de la energía Solar.

Las aplicaciones de la energía solar son muy variadas, podemos clasificarlas en tres grupos: aplicaciones térmicas o caloríficas, conversión indirecta a energía eléctrica y conversión directa a energía eléctrica.

1.1.4.1 Aplicaciones térmicas.

Son aquellas en las que se ocupa el calor que genera la radiación solar al incidir en diferentes cuerpos y materiales, es decir, dejar algo que se caliente bajo el sol, trasladar ese calor a otro material que sirva de vehículo para llevar el calor a donde se necesite.

Calentamiento de agua para uso doméstico. A través de colectores planos; que son láminas metálicas con un serpentín de tubos en el frente, cubiertos con una lámina de vidrio o plástico. Se colocan mirando al sur (si nos encontramos en el hemisferio norte como es el caso de México) con una inclinación obtenida experimentalmente y que depende de la latitud del lugar. Los tubos por donde circula el agua se colocan verticales, de manera que el agua fría entre por abajo y una vez caliente salga por la parte superior debido a su menor densidad.

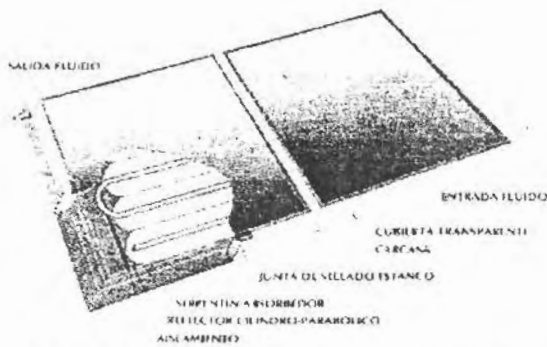


Figura 1.1. Partes de un colector solar.



Figura 1.2 Colector comercial.

Otras aplicaciones de este tipo son:

Agua caliente para piscinas, utilizando los mismos sistemas para calentamiento de agua de uso doméstico.

Calefacción doméstica, muy útil en regiones de clima frío pero de alta incidencia solar. Para esta aplicación encontramos dos tipos de sistemas los pasivos y los activos. Los pasivos son sistemas en los que interviene la arquitectura pues se diseñan con la construcción de la casa para orientarla correctamente y crear ventanas grandes que permitan la entrada de los rayos del sol, así como sistemas que en invierno mantengan el calor y en verano lo dejen escapar permitiendo la entrada de aire fresco. Los sistemas activos son iguales a los sistemas tradicionales de calefacción la diferencia es que el fluido que sirve de vehículo para transportar el calor a través de la red de calefacción se calienta mediante colectores solares como los usados para calentar el agua. Junto a este tipo de sistemas es muy recomendable agregar uno tradicional para los días nublados.

Obtención de agua potable, obtener agua potable a partir de agua de mar o de agua sucia usando energía solar es un proceso sencillo y muy interesante, esto se hace mediante los alambiques solares que son de fácil construcción ya que se basan solo en el efecto invernadero y producen un agua muy pura.

Secado de alimentos y materiales, este proceso llevado a cabo mediante energía solar puede ayudar a introducir industrias, en cuyos procesos se requiera de secar materiales o alimentos, a zonas donde por su localización es difícil llevar las actuales formas de energía como electricidad, gas, etc. El proceso consiste en captar el calor de la energía solar y transmitirlo al material a secar, esto se puede realizar con captadores solares planos que apunten directamente al material, o que se dirijan a un cuarto donde se encuentran los alimentos que se necesitan secar.

Cocina solar, esta aplicación es de gran interés pues puede llevar los medios para cocinar a regiones donde es difícil la obtención de otro tipo de energía, que no sea la madera, con lo cual se evita la deforestación de estas regiones.

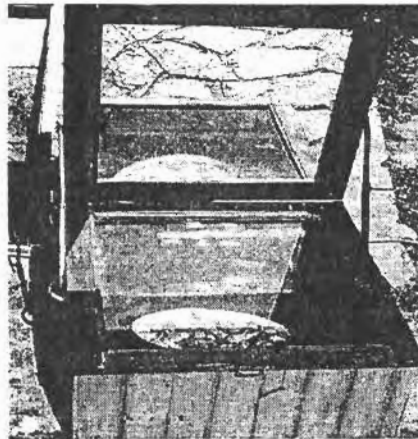


Figura 1.3. Cocina solar rústica.

Motores solares, son aparatos que transforman la energía radiante del sol en energía mecánica. Este es simplemente un motor de expansión, como el que utilizan las máquinas de vapor, donde el vapor es obtenido a partir de agua que se calienta con energía solar. Este tipo de motores es ideal para bombear agua de un pozo, o para un sistema de riego donde la utilización del agua coincide con las horas en que existe una intensa radiación solar. Este tipo de motores es de gran utilidad donde existe agua pero es difícil lle-

var cualquier tipo de energía convencional, además de ser muy económicos en su construcción y mantenimiento.

1.1.4.2. Transformación de la energía solar en energía eléctrica de forma indirecta.

Es una aplicación importante de la energía solar, para obtener a partir de ella, energía eléctrica. Debido a que en la vida moderna todo depende de la electricidad, o ¿quién puede imaginar en estos momentos un mundo sin luz artificial, computadoras, refrigeradores, televisión, radio, máquinas eléctricas, y todos los aparatos que vuelven más cómoda nuestra vida, o sin aparatos como los de los hospitales que ayudan a salvar tantas vidas?

Así una manera de obtener energía eléctrica es a través de helio centrales generadoras. Estas son idénticas a las actuales centrales termoeléctricas y núcleo eléctricas. Se basan en el ciclo Rankin, este ciclo consiste en calentar agua para obtener vapor, este se inyecta a presión sobre los álabes de una turbina, la cual moverá el rotor de un generador para que este produzca energía eléctrica; el agua que sale de la turbina se vuelve a calentar y se repite el proceso.

Las centrales termoeléctricas queman algún combustible; ya sea petróleo, gas, carbón, entre otros; para calentar el agua. Lo cual produce una nefasta contaminación ambiental que provoca el efecto invernadero, muerte de algunas especies animales y efectos nocivos sobre la salud. Las centrales nucleoelectricas utilizan reactores nucleares, donde se lleva a cabo la fisión nuclear, que genera la energía con la que se calienta el agua. Estas centrales también son de riesgo, pues la radioactividad que existe en ellas es peligrosa para la vida, y un descuido en ellas puede producir catástrofes como en Chernobyl. Además el desecho del combustible es sumamente peligroso y contaminante, y deja de serlo solo después de cientos de años. "Otra consi-

deración sobre las centrales nucleoelectricas es que son una fábrica en potencia, de bombas atómicas.”

Las centrales heliotérmicas calientan el agua en un gran recipiente que se encuentra en lo alto de una torre. La energía proveniente del sol se concentra en la torre a partir de un número elevado de helióstatos, espejos que se mueven para que en todo momento reflejen la luz del sol hacia la torre, para calentar el agua que se convierte en vapor. Después es transportado por medio de tuberías hacia la turbina del generador.

La manera en que funciona este tipo de centrales es sin contaminación, sin peligro de catástrofes, y permite seguir utilizando la corriente alterna, a la que tan acostumbrados estamos, que se utiliza actualmente por la facilidad con la que se puede transportar a grandes distancias de donde se genera.

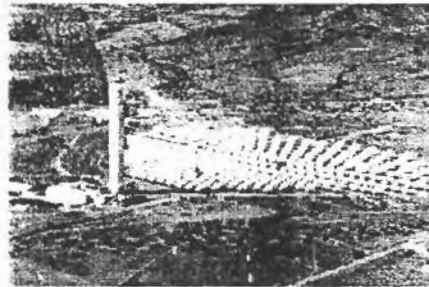


Figura 1.4



Figura 1.5. Fotos de la Central Heliotérmica de Almería en España, campo de helióstatos y torre central.

1.1.4.3 Conversión directa de la energía solar en energía eléctrica.

Es posible realizar la conversión de la energía solar a energía eléctrica, sin utilizar un ciclo termodinámico intermedio, por medio de los llamados paneles solares. Estos paneles son solo unos rectángulos planos sin partes móviles que están formados casi únicamente por células fotovoltaicas o solares, convenientemente conectadas para generar energía eléctrica de manera ininterrumpida; con la única condición de que estos sean expuestos a radiación electromagnética con longitudes de onda comprendidas en el espectro solar [C83].

La utilización de los paneles solares se complementa con el uso de un elevado número de acumuladores, debido a que la demanda de electricidad es mayor en las horas de menor o nula radiación solar, y la energía generada en los momentos de mayor iluminación solar se pueda guardar para la noche o días nublados.

Actualmente la utilización de este tipo de tecnología es cara y solo es ideal para cuando se requiera energía eléctrica y se tengan las siguientes condiciones:

- No existe red de distribución eléctrica en las cercanías del lugar donde se requiere de electricidad y el costo del tendido de una línea es elevado.
- Las necesidades de electricidad se limitan a cubrir aspectos primarios como iluminación, extracción de agua, aplicaciones donde no se requiere mucha potencia.
- Se necesita una completa autonomía de la red de distribución general con la intención de cubrirse de posibles fallas en el suministro de energía y el costo es un factor secundario.

- Electrificación de pequeños núcleos rurales como pueblos en zonas montañosas y de poca accesibilidad.
- Electrificación de granjas y pequeñas industrias rurales.
- Electrificación de campamentos, refugios de montaña y pequeños centros turísticos.
- Electrificación móvil de instalaciones temporales.
- Electrificación para iluminación de jardines y/o plazas públicas.
- Fuentes de alimentación para cargadores de baterías en lugares apartados.
- Iluminación de calles, carreteras y viales en general.
- Ventilación de espacios, mediante ventiladores de corriente continua.
- Refrigeración portátil para transporte de medicinas. [C83].

La aplicación de sistemas fotovoltaicos puede ser de gran difusión en las regiones rurales del país, donde sería de gran utilidad llevar unas horas más de luz a miles de personas, para que puedan elevar su nivel cultural lo que repercute en un mejor nivel de vida, también les ayudará a aprovechar mejor los recursos con los que cuentan.

En la actualidad construir los sistemas fotovoltaicos que pueden aprovechar la energía solar tienen un costo monetario elevado. Debido a ello se necesitan realizar buenos diseños para que al final los sistemas no sean inservibles o tengan un costo desproporcionado. Para que se realicen diseños eficientes, debe tenerse información del lugar donde se va a llevar a cabo la implementación de un sistema de aprovechamiento de energía solar, esta información importante es la de la cantidad de radiación solar que llega a ese lugar, con la cual se podrán diseñar sistemas eficientes en utilización y costo. El objetivo del medidor de radiación solar de este proyecto, es proporcionar

al diseñador de sistemas de aprovechamiento de energía solar un aparato que le proporcione una medición confiable, de un periodo de tiempo, de la radiación solar del lugar donde implementará el sistema.



Figura 1.6. Albergue rural electrificado.

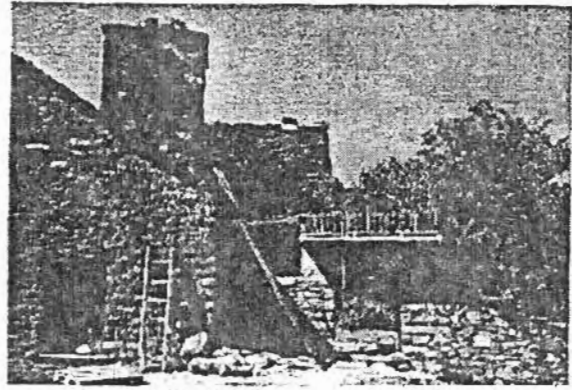


Figura 1.7. Casa rural electrificada

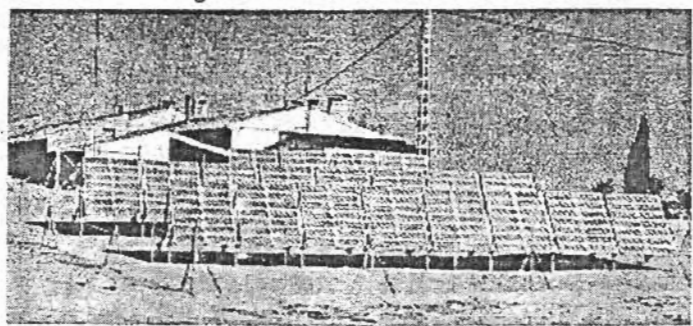
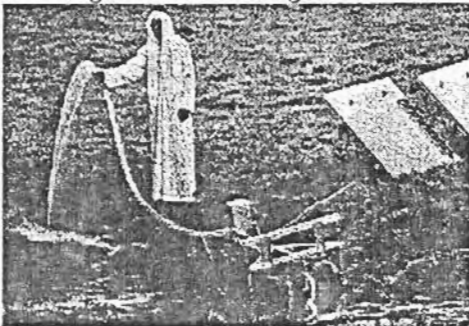


Figura 1.8 Riego en zonas rurales. Figura 1.9. Planta solar para una población rural.

1.1.5 Perspectivas del uso de la Energía Solar.

El uso de la energía solar posee un gran futuro debido a diversas razones.

Una razón es la conciencia ecológica que se ha ido despertando en la gente y que ha provocado una tendencia a aceptar el uso de esta energía alternativa, debido a que es efectiva y no contaminante.

Otra razón es que la energía del sol es gratuita y está disponible en casi toda la Tierra. En la actualidad las aplicaciones más simples como las térmicas no requieren de equipo costoso y pueden fácilmente sustituir al equipo convencional. Sistemas más caros como las centrales heliotérmicas y apli-

caciones fotovoltaicas, mediante esfuerzos en investigación y desarrollo de nueva tecnología su precio está tendiendo a reducirse. Esto genera la perspectiva de que en pocos años los medios para aprovechar la energía solar serán tan rentables como cualquier otro medio convencional de obtención de energía.

Una razón de influencia es que las grandes compañías con intereses en petróleo, gas, carbón, entre otros combustibles; se han dado cuenta que estos se terminarán algún día. Por lo que ahora han visto en la energía solar una oportunidad para alargar la vida de los combustibles que negocian y han invertido en la investigación para el desarrollo de la energía solar, así como, en la producción de componentes y dispositivos para su utilización.

Los gobiernos de países desarrollados también se han interesado por la energía solar y han promovido la investigación en este campo. Además los gobiernos de algunos países subdesarrollados (principalmente en África) también han visto en la energía solar una manera de remediar los problemas que tienen por la falta de infraestructura en carreteras, líneas de transmisión de energía eléctrica y otros medios para llevar la energía a donde se necesita.

Basándome en las tendencias mencionadas anteriormente, puedo arriesgarme a decir que para la segunda década del siglo XXI la energía solar va a ser la fuente de energía más utilizada en todo el mundo. Esto se deberá al desarrollo de la tecnología actual y la aparición de nuevas tecnologías para el aprovechamiento de la energía proveniente de nuestro Sol.

1.2 El efecto fotovoltaico.

1.2.1 Descripción del efecto fotovoltaico.

Para convertir la luz del sol en electricidad directamente se utiliza el efecto fotovoltaico, este efecto se da en materiales semiconductores. Este efecto consiste básicamente en que los fotones que componen la luz solar chocan con el material semiconductor y ceden su energía a los electrones de este, así, los electrones ganan energía y llegan hasta la banda de conducción del material, desafortunadamente al llegar a esta banda los electrones pierden energía y regresan a su sitio. Para que esto no suceda y se pueda formar una corriente, debe establecerse una diferencia de potencial en el material. Con el desarrollo de la tecnología de semiconductores se lograron materiales que pueden tener esta característica intrínseca.

Una unión de semiconductores tipo P y N, igual a un diodo, crea la diferencia de potencial necesaria para mantener la corriente de electrones que se genera al dejar expuesta la parte donde se encuentra el semiconductor tipo N a la radiación solar.

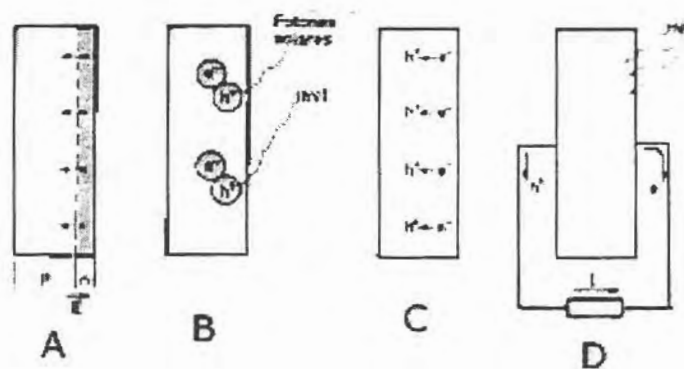


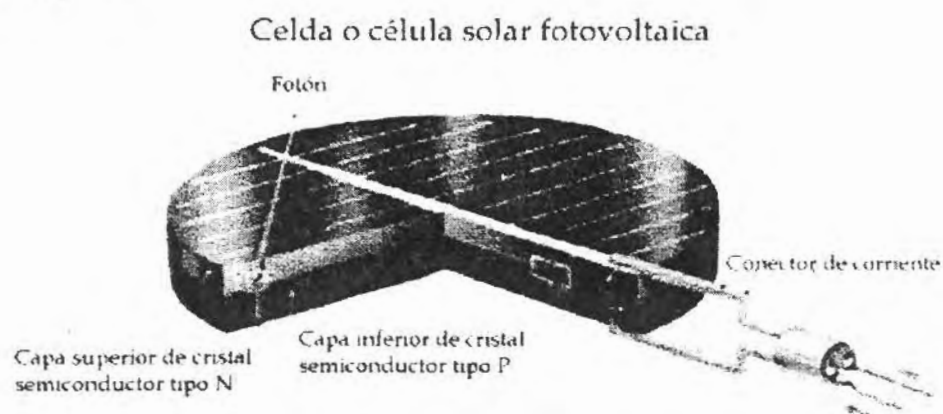
Figura 1.10. Descripción gráfica del efecto fotovoltaico. A).- Campo eléctrico interno derivado de la unión P-N. B).- Absorción de fotones solares. C).- Separación de cargas positivas y negativas. D).- Energía eléctrica en el circuito exterior.

1.2.2 Células Solares.

Al encapsular material semiconductor tipo N y tipo P; poner un contacto positivo, al semiconductor tipo P y un contacto negativo en forma de tiras para el material tipo N (para dejar que sea iluminado por los rayos del sol) cubierto por material antireflejante, obtenemos una célula solar.

Las células solares están hechas con materiales semiconductores la gran mayoría de silicio. En la actualidad se usan tres tipos de células de silicio: las monocristalinas, policristalinas y de silicio amorfo. En este orden de mayor a menor calidad y precio. Aunque se han logrado últimamente eficiencias elevadas con estos materiales, principalmente con células monocristalinas, se hacen investigaciones para desarrollar células de otros materiales como arseniuro de galio, indio arseniuro de galio, etc.

En la figura 1.11 se muestra como están hechas las celdas solares o fotovoltaicas, en la cual se aprecian las 2 diferentes capas de cristal semiconductor y la manera en como se hace la conexión en tiras para el lado del semiconductor tipo N.



Los electrones se producen cuando los fotones inciden en la célula. son atraídos al colector de corriente y entran al cto. después vuelven a la célula.

Figura 1.11. Esquema de una célula solar.

Las células de silicio generan un voltaje de 0.5 a 0.7 volts y una corriente directamente proporcional al área de la célula y la intensidad de radiación solar que le ilumine.

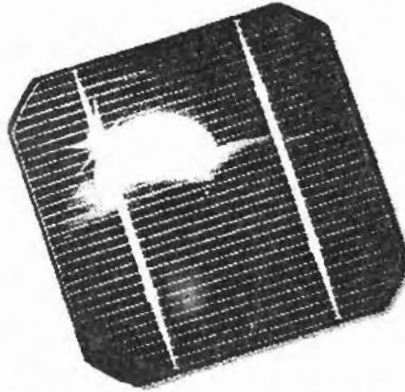


Figura 1.12. Fotografía de una celda solar comercial.

La unidad básica de los sistemas fotovoltaicos consiste en un arreglo de celdas conectadas en serie y en paralelo, que forman un módulo o panel para generar la corriente y voltaje necesarios para hacer funcionar un sistema eléctrico. Los sistemas fotovoltaicos tienen larga vida útil, su operación es sencilla y casi inexistente su mantenimiento. Su carácter modular permite un diseño para satisfacer requerimientos de energía de cualquier magnitud y aumentar la capacidad de modo gradual y flexible. [CH90].

Para hacer las celdas se dispone de diferentes tecnologías dando como resultado diferentes tipos de celdas debidos a la materia prima y al proceso con el que son construidas, así desde hace 25 años y hasta 1980, las celdas en el mercado habían sido las de silicio monocristalino. A principios de la década de los setenta varios países impulsaron su investigación y desarrollo con el propósito de bajar drásticamente el costo. Los resultados han sido notables, pues de 1976 a la fecha éstos se han reducido más de 7 veces. También se ha mejorado la eficiencia, incrementando la producción y se ha iniciado la comercialización de nuevas celdas que se fabrican con materiales más económicos y con procedimientos automatizados más eficaces. [CH90].

Las celdas de silicio monocristalino tienen un alto costo debido a 3 factores: el material base, silicio policristalino grado semiconductor; la producción de silicio monocristalino grado semiconductor; y la celda. [CH90].

Con la eliminación de impurezas en la arena de sílice, se ha obtenido silicio policristalino con pureza de grado semiconductor, cuyo costo en 1982 era de 70 dólares por kilogramo. En Estados Unidos los fabricantes se fijaron la meta de reducir este costo a 14 dólares para 1986. Varias instituciones trabajan con financiamiento público y privado para mejorar el producto. Union Carbide, por ejemplo, construyó una planta piloto para producir a 10 dólares el kilogramo. [CH90].

El costo del silicio monocristalino es mayor que el del policristalino y se obtiene con dos métodos: en el primero se somete el silicio policristalino a calentamiento en un crisol, añadiéndole una barra de silicio monocristalino para eliminar impurezas indeseables y al cual se le agregan impurezas deseables, como el boro, para la obtención de un tipo de silicio monocristalino. El segundo método es el de fusión zonal, que consiste en desplazar una bobina de radiofrecuencia a lo largo de un lingote de silicio policristalino. El silicio se funde, segrega las impurezas entre la fase sólida y la líquida y recristaliza como monocristal. En ambos métodos se han logrado avances significativos. [CH90].

La fabricación de celdas de silicio monocristalino parte del corte de lingotes en obleas, pero este proceso desperdicia de 40 a 60% del material, lo que aumenta costos económicos y energéticos. [CH90].

En 1984, los costos de las obleas de 300-400 micrómetros de espesor era de 500 a 800 dólares por metro cuadrado. El departamento de Energía de los Estados Unidos, se fijó el objetivo de reducirlo a 28 dólares el metro cuadrado para 1986. Esto da una idea del reto tecnológico que tenían que abatir

los fabricantes. Hace algunos años, la fabricación de celdas era prácticamente artesanal, lo que significaba un alto costo. Arco Solar y Solarex, dos de las compañías más importantes en esta actividad, han logrado grandes reducciones en los costos por el uso de procesos automatizados. Además de lograr eficiencia en la conversión de más del 15%.

Celdas de silicio policristalino, en estas la materia prima también es el silicio policristalino grado semiconductor. Estas celdas pueden manufacturarse empleando la tecnología del corte de lingote, por crecimiento de listones, o por la formación de una película en el sustrato. En cada caso las características cristalográficas y de impurezas varían, dando lugar a celdas con diferentes eficiencias de conversión. [CH90].

El silicio se funde en un molde y después se enfría, siguiendo un estricto control, de tal forma que se obtienen lingotes de silicio de alta pureza. De los lingotes se cortan obleas de 250 a 500 micrómetros de grueso y después se procesan en celdas, siguiendo los mismos métodos de fabricación de las celdas monocristalinas. Del lingote de mejor calidad se producen celdas con eficiencia de hasta 15% en condiciones normales; de las otras se fabrican semicristalinas, con eficiencia del 12%.

En cuanto a los otros 2 métodos, el crecimiento de listones permite extraer listones directamente del silicio fundido en el crisol, eliminando el corte de lingotes en obleas y la pérdida de material. El crecimiento de silicio policristalino se desarrolla mediante tres formas distintas cuyo elemento básico es el sustrato. [CH90].

Los precios de las celdas de silicio policristalino son altos porque el material base sigue siendo caro y porque su comercialización ha sido reciente, de 1981 a la fecha.

Las celdas de silicio amorfo. El silicio amorfo presenta una alta densidad de estados, lo que hace prácticamente inutilizable su uso fotovoltaico. No obstante, cuando una película de silicio se deposita en un sustrato, al pasar una descarga de radiofrecuencia a través de una atmósfera de silano a presión de 1 torr, se incorporan átomos de hidrógeno que se ligan a los de silicio, disminuyendo gradualmente la densidad de defectos estructurales. [CH90].

El silicio amorfo hidrogenado, descubierto en 1969 y utilizado por primera vez para hacer celdas de película delgada en 1974, presenta ventajas que hacen codiciable su desarrollo, entre ellas un bajo costo energético, la carencia de requerimientos de alta pureza, su gran coeficiente de absorción, diez veces mayor que el de silicio cristalino, su adaptabilidad a procesos de producción masiva y el bajo costo de los sustratos de acero y vidrio. Se han logrado eficiencias de más del 10%.

El centro de estudios en materiales de la Universidad Nacional de México desarrolla también la tecnología de las celdas de silicio amorfo y sus avances han sido considerables. Hasta la fecha, empero, no han realizado su comercialización. [CH90].

El medidor de radiación solar.

2.1 *El medidor de radiación solar.*

Este dispositivo mide la intensidad de la radiación solar en W/m^2 (watts por metro cuadrado).

Este instrumento de medición es de gran ayuda para el diseñador de sistemas de aprovechamiento de la energía solar, debido a que al conocer la radiación que en un momento llega a un lugar y medir las variables de su sistema, sabe la manera y la eficiencia con la que el sistema está trabajando; y ayuda a detectar posibles fallas o anomalías en el funcionamiento y/o en el diseño.

2.2 *Descripción general del medidor de radiación solar propuesto en este trabajo.*

El objetivo de este proyecto es diseñar y construir un medidor de radiación solar, cuya principal función sea la de tomar medidas de la radiación solar cada 5 minutos mientras exista una radiación superior a los $100 W/m^2$, calcular la radiación media del día, así como, las horas durante las que tomó muestras, y realizar este trabajo durante un periodo de varios días de manera autónoma (periodo que estará en función de la capacidad de la fuente de alimentación). Cuando el operador lo necesite se entrega la radiación media de los días que estuvo en funcionamiento el solarímetro. Contará con una interfaz compatible con un puerto RS-232, para conectarse con una microcomputadora y descargar los datos de radiación media diaria guardados. Podrá funcionar como un medidor instantáneo de radiación solar. Utiliza como sensor una célula solar.

El propósito de este dispositivo es el de dar al diseñador de sistemas de aprovechamiento de energía solar una herramienta para tener información confiable sobre la radiación solar en el lugar donde funcionará su sistema. Con la finalidad de que este sea más fiel a la realidad y no se creen sistemas de costo elevado debido a que se sobredimensione el proyecto por la falta de información confiable.

La propuesta de este proyecto se basa en que los lugares más propicios para la utilización de la energía solar son lugares apartados donde no se dispone de energía eléctrica como para llevar una computadora y además que el dispositivo funcione de manera autónoma evitando la presencia de un operador.

2.3 Medidores y sensores actuales.

Actualmente en el mercado existen medidores que solo dan la lectura instantánea y algunos tienen la opción de guardar estos valores en una memoria de manera manual, otros más tienen la opción de conectarse a una microcomputadora para ser parte de un sistema de control del rendimiento de instalaciones de energía solar.

Aunque este tipo de dispositivos es de ayuda al diseñador no son suficientemente completos para tener información confiable que ayude al diseño de los sistemas de aprovechamiento de energía solar. En la actualidad se basan en mediciones hechas en ciudades donde hay computadoras, que junto con los anteriores medidores generan información sobre la cantidad de radiación solar que llega a la zona. Esto provoca que para los lugares donde se harán las implementaciones de los sistemas, se usen valores de las ciudades cercanas y sean modificados según la experiencia del diseñador lo que

propicia sistemas normalmente sobredimensionados. Lo que resulta en proyectos de un innecesario alto costo.

Estos medidores utilizan como sensor un piranómetro que es un instrumento para medir la irradiancia global (directa más difusa), usualmente sobre una superficie horizontal. El tipo más común de piranómetros, consiste en dos sensores de temperatura, uno de ellos expuesto a la radiación solar y ennegrecido y el otro, protegido de la radiación. Si los dos sensores se encuentran en condiciones similares en todo, menos en el hecho de estar expuestos a la radiación, habrá una diferencia de temperatura entre ellos. La hipótesis de trabajo de un piranómetro, es que la irradiancia es directamente proporcional a la diferencia de temperatura entre ambos sensores. Para evitar ruido en las lecturas, causado por el viento y otros factores meteorológicos, el sensor expuesto a la radiación (y a veces también el otro) suelen estar protegidos por un hemisferio de vidrio. Este hemisferio, de características ópticas adecuadas, permite el paso de la radiación, pero evita el enfriamiento por viento, lo cual alteraría la lectura. Este es un instrumento de alto costo lo que encarece a los medidores de radiación solar comunes.

2.4 Problemática de las mediciones de radiación solar.

Existen datos que se han obtenido en las diferentes estaciones meteorológicas instaladas en las principales ciudades de la república. Para propósitos de análisis estos datos se consideran confiables, o bien de utilizar curvas de nivel para localidades intermedias. Como puede observarse, la irradiancia media anual en nuestro país, es del orden de los 5 kWh/m²-día.

En términos generales la problemática existente para la evaluación de la irradiancia solar, se plantea al nivel de los siguientes puntos:

- Mantenimiento y calibración de los equipos de medición.

- Control de calidad.
- Problemas asociados al manejo de datos.
- Falta de técnicos capacitados para la operación de las estaciones solarimétricas.
 - Falta de elaboración de manuales especializados.
 - Falta de un centro especializado para la concentración de datos de radiación solar.

Afortunadamente la tecnología satelital ha abierto, en la última década, la posibilidad de evaluar la radiación solar en la superficie terrestre por medio de imágenes de satélite. Se ha visto que los satélites estacionarios proporcionan información más confiable que la que se tiene en la actualidad, pero para contar con ella es necesario calibrar las imágenes con mediciones en tierra en diferentes puntos de la República Mexicana, esto con la finalidad de mejorar los algoritmos usados para la evaluación por medio de imágenes. Además esta información, en tiempo real, puede ser usada para analizar el funcionamiento de plantas termosolares y fotovoltaicas [CNAE].

2.5 Cálculo de un sistema fotovoltaico.

El cálculo del número de paneles necesarios se hace por medio de los siguientes pasos:

1. Partir de la potencia en watts de cada aparato de consumo y estimar el número medio de horas de funcionamiento de cada uno en el día medio del mes más desfavorable.
2. Calcular en $W \cdot h$ el consumo diario (E_T) en el mes más desfavorable.
3. Calcular la energía necesaria $E = E_T / R$. Donde $R = 1 - [(1 - k_b - k_c - k_v) * k_a * N / p_d] - k_b - k_c - k_v$.

- Los valores más usuales (a tomar en defecto de otros más precisos) son:

$$k_b=0.05, k_a=0.005.$$

$$\begin{array}{l}
 \left. \begin{array}{l}
 0 \text{ Si no existe convertidor o su rendimiento ya esta incluido.} \\
 0.2 \text{ Cuando existe un convertidor senoidal.} \\
 0.1 \text{ Cuando existe un convertidor de onda cuadrada}
 \end{array} \right\} k_c \\
 \left. \begin{array}{l}
 0.15 \text{ Si las potencias utilizadas son las teóricas de cada aparato.} \\
 0.1 \text{ Si no se dispone de información en detalle de los aparatos.} \\
 0.05 \text{ Si las potencias son las realmente consumidas por cada aparato.}
 \end{array} \right\} k_v
 \end{array}$$

4. Buscar la energía H, normalmente en tablas de libros u otros medios, para el mes más desfavorable y el sitio donde se implementará el sistema y si procede, corregir dicho valor según las condiciones de turbidez atmosférica u otros factores climatológicos debido a que no se tiene el valor exacto de la energía en la localidad. Este valor debe estar dado en Megajulios, si se obtiene de tablas. Mi medidor lo entregará en W/m^2 y del lugar donde se hará el proyecto para evitar las correcciones.
5. Hallar el número de Horas sol pico (H.S.P):

$H.S.P=0.2778*k*H$, de ser el caso en que se obtengan de tablas y H este en Megajulios.

$H.S.P=H*horas \text{ sol}*k$, como se obtendría este valor a partir de los resultados aportados por el solarímetro de este trabajo. Donde H está dado en W/m^2 , "horas sol" son las horas durante las cuales hubo energía solar, ambos valores los obtiene el medidor de radiación solar diseñado en este trabajo.

k = Un coeficiente de corrección por la inclinación de los paneles que está dado por : $k=1/\cos(\text{ángulo de inclinación} * 0.85)$.

6. Si los paneles son bifaciales y se montan con un fondo reflectante apropiado, multiplicar el número de H.S.P. por el factor 1.2 (a menos que en la potencia nominal de los paneles ya incluya la potencia absorbida por la cara dorsal).
7. La potencia E_p que deben producir los paneles es mayor que E , debido principalmente a las pérdidas por usar regulador. Se estima:
 $E_p=E/0.9$.
8. Calcular el número de paneles necesarios de potencia nominal P .
No. De paneles = $E_p / 0.9 * P * \text{H.S.P.}$

Con estos pasos se calcula correctamente el número de paneles y mientras mejor sea la información sobre la energía que incide en el lugar para el que se diseña el sistema fotovoltaico, más eficiente será el diseño en cuanto a la utilización de paneles, lo cual redundará en un menor costo del proyecto.

Diseño del Medidor de Radiación Solar.

3.1 Características del dispositivo.

Las características del medidor de radiación solar propuesto en este proyecto son:

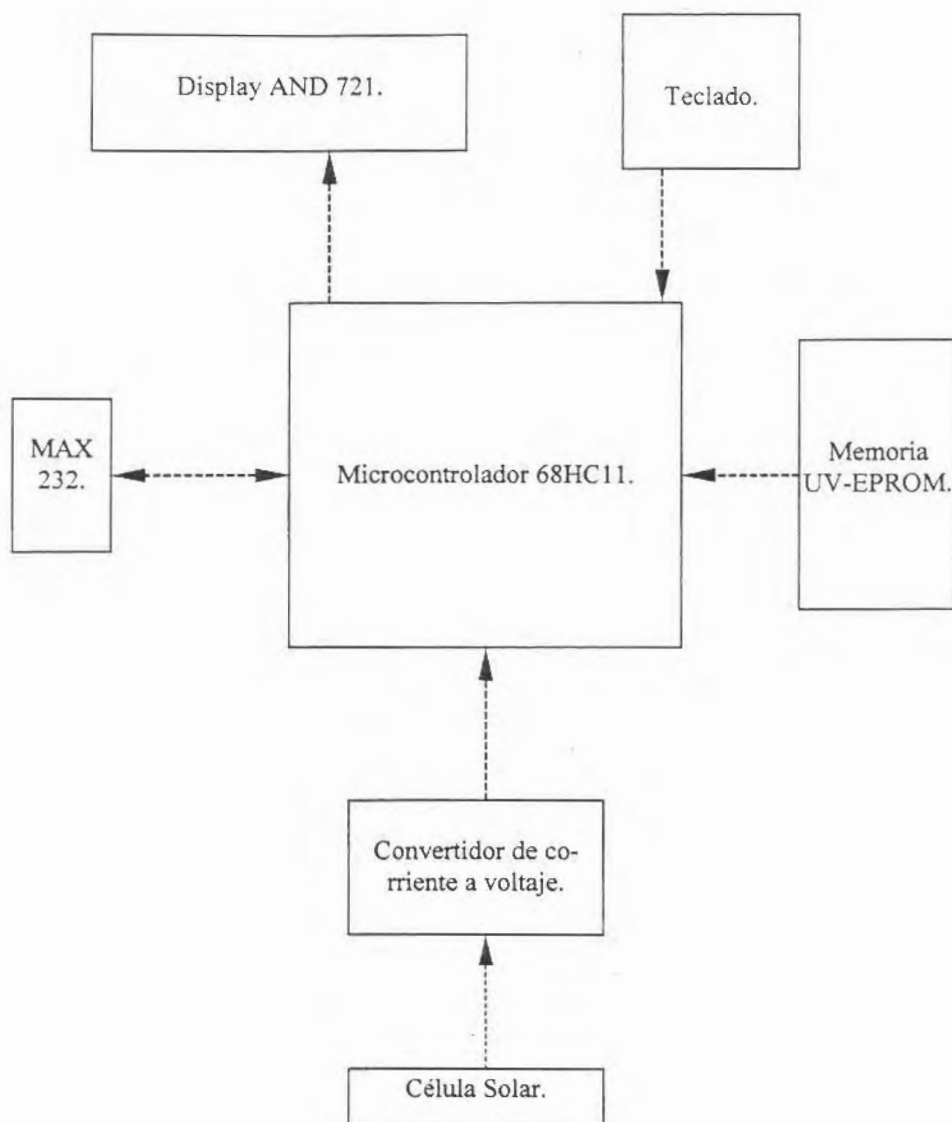
1. Tener la capacidad de medir la radiación solar.
2. Toma un número determinado de muestras de la radiación solar durante un periodo de tiempo cada día, obtiene la radiación promedio de estas muestras y las horas de sol, y guarda estos datos en una memoria EEPROM.
3. Obtiene la radiación media de los datos de la radiación media diaria, así como las horas de sol promedio.
4. Comunicación serial con una microcomputadora.

A consecuencia de las características que debe cubrir el dispositivo decidí utilizar un sistema basado en un microcontrolador. Para cubrir todas las funciones necesito un sensor de radiación solar, implementado con la célula solar. Un convertidor analógico digital para que el microcontrolador pueda manejar la información analógica del sensor. Un sistema de comunicación serial para comunicación con la microcomputadora. Un sistema de reloj en tiempo real para poder llevar a cabo las acciones en los tiempos necesarios.

Escogí para trabajar el microcontrolador MC68HC11E1 construido por Motorola, pues cuenta con subsistemas como el del convertidor analógico digital, sistema de comunicación serial, sistema de reloj de tiempo real, y memorias RAM y EEPROM construidos internamente. Y debido a la necesidad de tener un consumo mínimo de corriente, busco utilizar la menor cantidad de circuitos, que tendría que agregar si utilizara un microcontrolador diferente que no cuente con alguno de los sistemas que se necesitan, como convertidor analógico digital, sistema de comunicación serial, reloj de tiem-

po real, etc. Además conozco el funcionamiento y programación de este microcontrolador, lo que me facilita la implementación del sistema.

Diagrama a bloques del Medidor de Radiación solar.



3.2 Descripción del medidor a partir del Hardware.

3.2.1 Etapa de Control.

La etapa de control está basada en el microcontrolador 68HC11E1, que cuenta con una unidad central de procesamiento M68HC11. La unidad cen-

tral de procesamiento está diseñada para tratar los periféricos, entradas y salidas, y localidades de memoria de la misma manera, como direcciones del mapa de memoria de 64 kilobytes. Esto para evitar la pérdida de tiempo al acceder un operando en las localidades de memoria externa.

La unidad central de procesamiento cuenta con 7 registros: 2 registros acumuladores definidos como *A* y *B* de 8 bits cada uno, y que pueden utilizarse como un solo acumulador de 16 bits llamado *D*. Tiene 2 registros índices *IX* e *IY*, de 16 bits cada uno. Un registro que mantiene el apuntador de pila con una longitud de 16 bits. Un registro contador de programa con una longitud de 16 bits. Y un registro que tiene las banderas de condición de código de 8 bits de longitud.

La unidad central de procesamiento utiliza códigos de operación de 8 bits, cada uno de estos tiene asignada una sola instrucción y la asocia con un modo de direccionamiento de la unidad central de procesamiento. Con 8 bits, solo es posible tener 256 instrucciones. Para evitar esta restricción se tiene un mapa de códigos de operación de 4 páginas. Un byte adicional (llamado *prebyte*) ayuda al microprocesador a distinguir la página 0 de las otras 3 páginas, este byte se pone antes del byte del código de operación. La instrucción completa para el microprocesador tiene la siguiente estructura: *prebyte* (sí lo hay), *código de operación*, y *0,1,2, ó 3 operandos*. De esta forma existen instrucciones de 1 y hasta 5 bytes de longitud dentro de los cuales se tiene toda la información que requiere el microprocesador para ejecutar la instrucción.

La unidad central de procesamiento soporta 6 modos de direccionamiento para el manejo de datos y operaciones con las localidades de memoria. Todos los modos usan una dirección efectiva, excepto el inherente, con la cual es extraído o guardado en la memoria el dato utilizado. Esta dirección

efectiva puede ser especificada en la instrucción o calculada a partir de la dirección en la instrucción.

El modo de *direccionamiento inmediato* el argumento está contenido dentro de los bytes inmediatos a la instrucción. La dirección efectiva será la dirección del byte siguiente al del código de operación. El número de bytes del argumento es igual al número de bytes del registro o localidad de memoria con la que se está operando en la instrucción. Se generan instrucciones de 2 a 4 bytes de longitud.

El modo de *direccionamiento directo* en este modo la parte baja de la dirección del argumento está en el siguiente byte del código de operación y se asume que la parte alta de la dirección del argumento es 00 hexadecimal, lo que reduce el tiempo de ejecución para la parte alta del direccionamiento. Se utilizan instrucciones de 2 bytes de longitud.

En el modo de *direccionamiento extendido*, la dirección del argumento se encuentra completa en los 2 siguientes bytes del código de operación. Se puede direccionar cualquier localidad del mapa de memoria. Genera instrucciones de 3 a 4 bytes de longitud.

El modo de *direccionamiento indexado*, se utiliza como dirección efectiva la suma del contenido de un registro índice más un desplazamiento de 8 bits definido en la instrucción. Este modo puede acceder cualquier localidad de los 64 kilobytes del mapa de memoria. Genera instrucciones de 2 a 5 bytes de longitud.

El modo de *direccionamiento inherente*, en este modo toda la información necesaria para ejecutar la instrucción está en el código de operación. Operaciones que solo necesitan de los registros del microprocesador o instrucciones de control sin argumentos quedan dentro de este modo de direccionamiento. Genera instrucciones de 1 o 2 bytes de longitud.

Modo de direccionamiento relativo, este modo sólo se utiliza en las instrucciones de saltos condicionales, si la condición es verdadera un desplazamiento de 8 bits con signo se suma al contador de programa para realizar el salto a la dirección efectiva, si la condición es falsa se procesa la siguiente dirección. Son instrucciones de 1 ó 2 bytes.

La señal AS es una señal de control para demultiplexar las direcciones y los datos manejados por el puerto C. Cuando el puerto tiene señales de direcciones el nivel es alto y cuando se encuentran disponible para los datos el nivel es bajo.

La señal R/W es la señal que controla la lectura o escritura a memoria o a periféricos, cuando el microprocesador va a leer el nivel es alto (1 lógico) y cuando va a escribir el nivel es bajo (0 lógico).

El bus de datos lo constituyen los 8 pines del puerto C (PC0-PC7). También denominados AD (AD0-AD7).

El puerto C y el puerto B (PB o A) son los pines del bus de direcciones, el puerto C corresponde a los 8 bits menos significativos y el puerto B los 8 bits más significativos.

El microcontrolador cuenta con tres puertos más, que son el puerto A de 8 bits, el puerto D de 6 bits y el puerto E de 8 bits.

3.2.2 Etapa de Almacenamiento.

La etapa de almacenamiento está constituida por una memoria UV-EPROM de 2 kilobytes (2716) de capacidad de almacenamiento. La memoria contiene las instrucciones que ejecuta el microcontrolador. Se encuentra direccionada, dentro del mapa de memoria, entre las direcciones \$F800* y la \$FFFF. Esta colocación se debe a que el microprocesador maneja sus vectores de interrupción de la dirección FFC0 a la FFFF y el vector de interrupción del reset o inicialización direcciona a la localidad FFFE, en donde se en-

cuentra la dirección a donde debe saltar para empezar a ejecutar las instrucciones del programa.

Los datos y las variables del programa se manejan dentro de una memoria tipo RAM, con una capacidad de 512 bytes. La memoria está internamente construida en el microcontrolador. Y se encuentra entre las direcciones \$0000 y la dirección \$01FF del mapa de memoria.

Los datos de la radiación media diaria y las horas de sol se mantendrán guardados sin importar que el aparato quede sin alimentación, debido a que serán guardados dentro de las localidades de memoria de una EEPROM. Esta memoria se encuentra construida dentro del microcontrolador y tiene capacidad para almacenar 512 bytes. Ocupa las direcciones \$B600 a la \$B7FF del mapa de memoria. La programación de la memoria se realiza de manera sencilla utilizando comandos de software, ya que el microcontrolador genera automáticamente el voltaje que se necesita para borrarla y programarla.

Existen direcciones reservadas, de la dirección \$1000 a la \$103F, donde se encuentran los registros de control, registros para leer o escribir datos para los subsistemas, leer o escribir en los puertos de propósito general. Y estas direcciones tienen prioridad sobre la memoria externa por lo que cualquier memoria que esté posicionada en estas mismas localidades de memoria no será atendida y los datos usados serán los de los registros.

Debido a la decodificación de las direcciones se tiene que la Memoria UV-EPROM, el teclado y el display pueden accesarse con otras direcciones. Así la memoria UV-EPROM está mapeada en las direcciones \$F800 a la \$FFFF, el teclado responderá a las direcciones de \$3800 a la \$3FFF. El Display de cristal líquido, para datos tendrá todas las direcciones impares comprendidas entre las direcciones \$1801 y \$1FFF, y para instrucciones de con-

trol tendrá las direcciones pares comprendidas entre \$1800 y la \$1FFE. Además se pueden decodificar otras 5 secciones de direcciones que son de la dirección \$5800 a la \$5FFF, \$7800 a la \$7FFF, \$9800 a la \$9FFF, \$B800 a la \$BFFF, \$D800 a la \$DFFF. Los bloques de direcciones que no serán decodificados son de la \$0000 a la \$17FF excepto las direcciones de registros internos y RAM y EEPROM, y los bloques de direcciones entre \$2000 y \$37FF, \$4000 y \$57FF, \$6000 y \$77FF, \$8000 y \$97FF, \$A000 y \$B7FF, \$C000 y \$D7FF, \$E000 y \$F7FF.

Mapa de Memoria

Memoria RAM. 512 Bytes. \$0000 a la \$01FF
Localidades disponibles \$0200 a la \$0FFF.
Localidades reservadas para registros. \$1000 a la \$103F.
Localidades disponibles \$1040 a la \$17FF
Localidades para el Display \$1800 a la \$1FFF
Localidades disponibles \$2000 a la \$37FF
Dirección del Teclado \$3800 a la \$3FFF
Localidades disponibles \$4000 a la \$B5FF
Memoria EEPROM 512 bytes. \$B600 a la \$B7FF
Localidades disponibles \$B800 a la \$F7FF
Memoria UV-EEPROM \$F800 a la \$FFFF Vectores de interrupción de la \$FFC0 a la \$FFFF

3.2.3 Etapa de Adquisición de datos.

3.2.3.1 Convertidor Analógico-Digital.

Para la adquisición de los datos se utiliza el subsistema del convertidor analógico digital. Este subsistema se encuentra construido dentro del microcontrolador. Es un convertidor de 8 canales multiplexados de entrada. Esta compuesto de un multiplexor, del convertidor, de un control digital y la salida.

El multiplexor determina cual de las 8 entradas es la que será utilizada por el convertidor.

El convertidor analógico digital es del tipo de aproximaciones sucesivas.

El control digital controla el tipo de operación del subsistema. Las cuales pueden ser muestreo continuo o sencillo, y utilización de un solo canal o de varios canales.

La salida digital se escribe en registros específicos, que son los ADR[0-4], localizados en las direcciones \$1301-\$1034. La bandera de conversión completa indica que se encuentran datos válidos en los registros; por seguridad los datos se escriben en ciclos de reloj en los que no se pueden hacer lecturas por lo que se evita cualquier conflicto.

3.2.3.2 Convertidor de radiación solar a voltaje.

Para asegurar una respuesta lineal es necesario que la resistencia de carga conectada a la celda sea baja, por lo cual serán aceptables valores menores a 1Kohm [WJ90].

El convertidor consta de la celda solar conectada a dos resistencias de 1 ohm en serie, lo que asegura la linealidad, se conecta un seguidor de voltaje a la unión de las dos resistencias. La salida del seguidor se conecta a un amplificador no inversor de ganancia diez, con el fin de elevar el voltaje,

como se muestra en la figura 3.1. La célula solar genera a $1\text{Kw}/\text{m}^2$ una corriente de 0.39 amperes, que al pasar por la resistencia de 1 ohm genera una diferencia de potencial de 0.39 volts. El amplificador eleva este voltaje a 3.9 volts para realizar mejores mediciones con el convertidor analógico digital, generando una resolución de 5 watts/ m^2 . De esta manera tenemos una relación directa entre la cantidad de energía que llega a la célula y el voltaje como se aprecia en la siguiente tabla:

Voltaje	Watts/ m^2
3.9	1000
2.5	643
1.25	322
0.625	161
0.3125	80
0.156	40
0.078	20
0.039	10
0.019	5

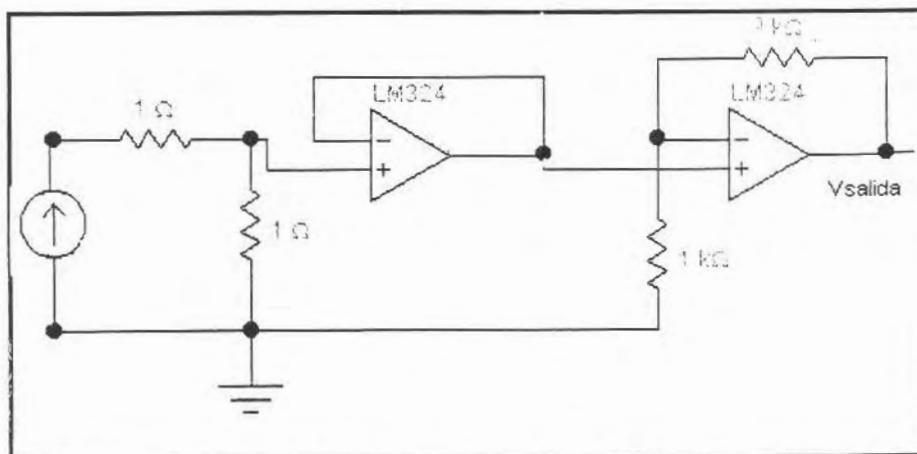


Figura 3.1.-Circuito convertidor de radiación a voltaje y etapa de amplificación.

3.2.4 Alimentación.

Debido a que a la entrada de alimentación se tendrá un regulador LM7805, la tarjeta puede ser alimentada con cualquier fuente de corriente directa con un voltaje de 6 a 35 V CD, y una corriente mínima de 40 mA. El regulador asegura que el sistema siempre este alimentado con 5 V CD con cualquier voltaje de entrada en el margen anterior.

3.3 Descripción del medidor a partir del software.

3.3.1 Inicialización.

La parte de inicio del programa consta de la rutina de inicialización del display, y del menú de inicio en donde se dan a conocer los 4 posibles modos de funcionamiento del medidor, y el usuario escoge cual de ellos es el que quiere utilizar, con solo pulsar la tecla correspondiente.

3.3.2 Medidor autónomo.

Parte del programa que controla el modo de funcionamiento en el que el medidor de radiación solar funciona de manera autónoma, tomando muestras cada 5 minutos durante las horas de sol en las que haya por lo menos 100 w/m². Almacena las muestras y al terminar el día calcula la radiación media diaria y la guarda, para futuros usos de esta información. También calcula las horas de sol durante las que tomó muestras y las guarda en la memoria EEPROM. Las horas de sol son el número de horas durante las cuales la radiación solar tuvo un valor mayor a 100 W/m².

Empieza a tomar las muestras cuando detecta una cantidad de energía por encima de 100 W/m² y termina de tomar muestras cuando se detecta un valor inferior a 100 W/m².

El sistema toma muestras hasta que haya una medición inferior a los 100 W/m², en ese momento el sistema calcula la radiación media a partir de

todas las muestras tomadas durante el día. La media diaria calculada se guarda en la memoria EEPROM así como las horas de sol, y además se guarda el contador de días durante los cuales se han tomado muestras y por lo tanto se tiene la correspondiente radiación media y las horas de sol que hubo en cada día.

La información del número de días durante los cuales trabajó el sistema y sus correspondientes radiaciones medias y horas sol, se tienen a salvo en la memoria EEPROM y pueden ser accedidos por los modos de funcionamiento de "cálculo y despliegue de la radiación media del periodo"; y del modo "Descargar a la PC" para bajar estos datos a un programa en la microcomputadora.

3.3.3 Medidor instantáneo.

Este modo de operación ejecuta una pequeña rutina en la que se toman muestras, se convierten de binario a Watts/m² y se despliegan en el display. Este modo muestra la radiación que existe en un instante en la zona donde se tiene expuesta la célula solar.

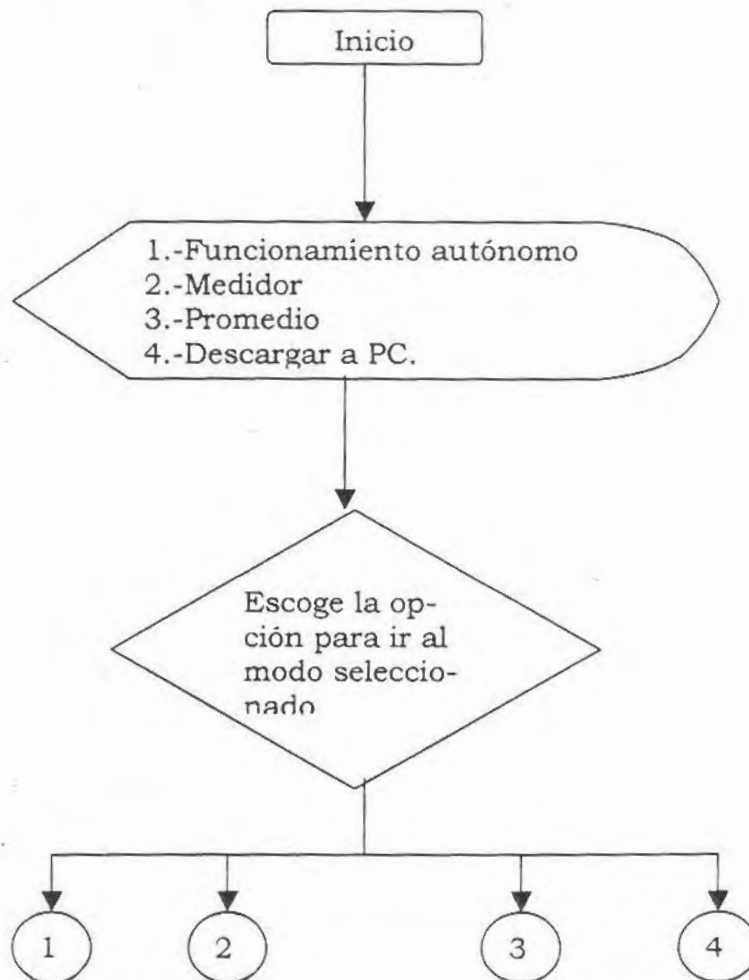
3.3.4 Cálculo y despliegue de la radiación media de un periodo (Promedio).

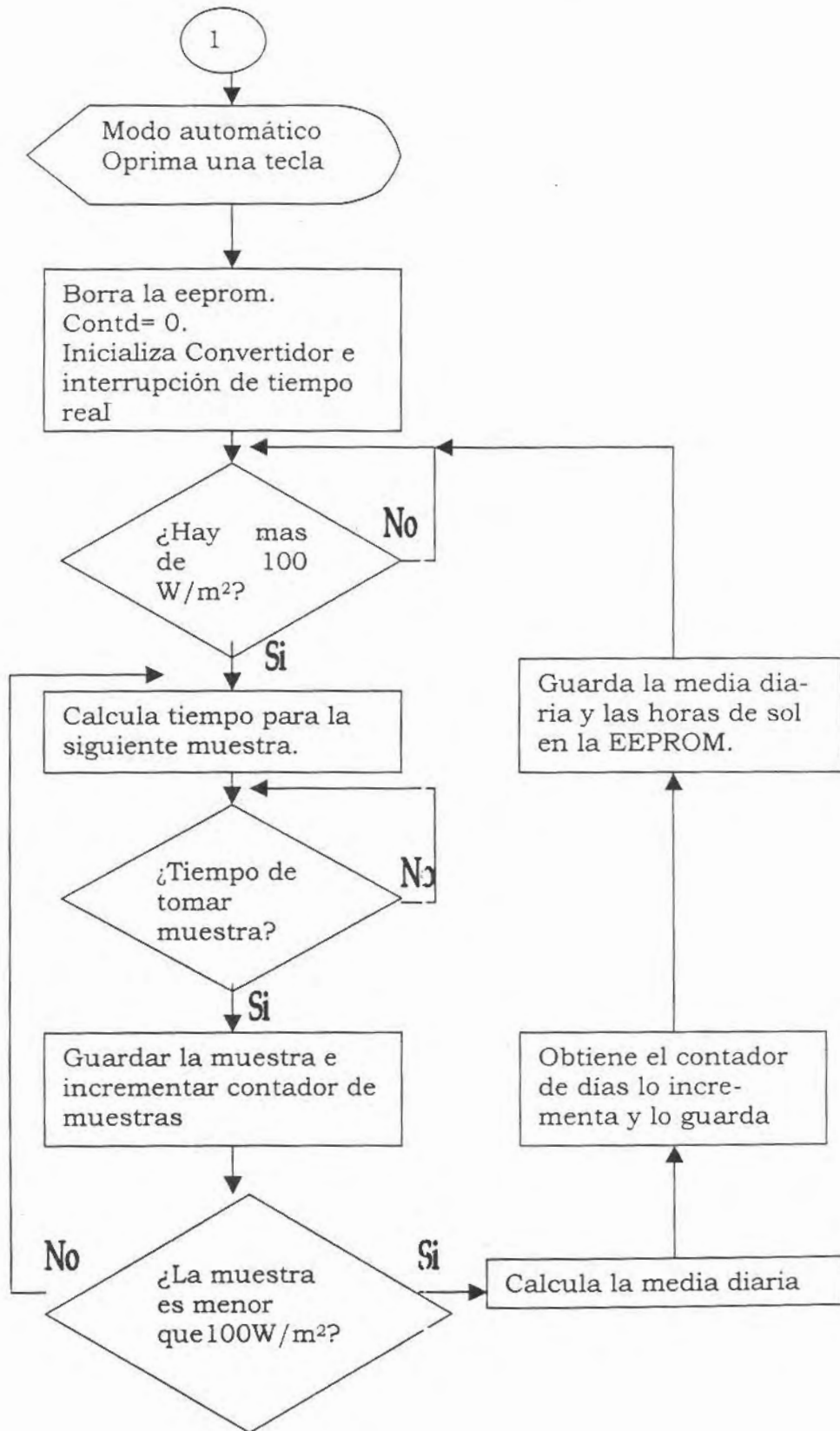
Este modo de funcionamiento utiliza la información guardada en la memoria EEPROM, por el modo de funcionamiento autónomo, para obtener la radiación media diaria del periodo capturado. Esta radiación media se obtiene sumando las radiaciones medias diarias y dividiéndolas entre el número de días almacenados, el resultado en binario se convierte a su valor en Watts/m² y es desplegada a través del display. También se calcula el número de horas de sol promedio durante el periodo de funcionamiento, se suman todas las horas de cada día y se divide entre el número de días trabajados. También este valor se muestra a través del display.

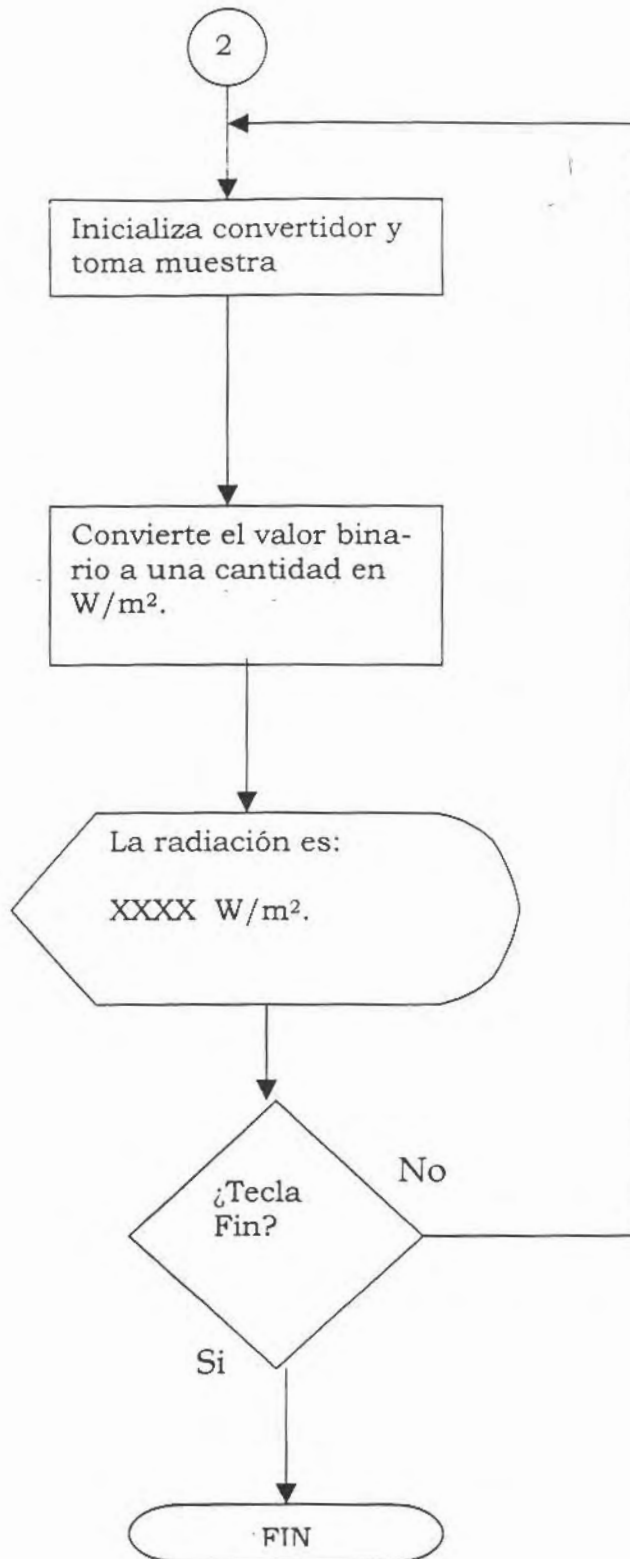
3.3.5 Descargar a la PC.

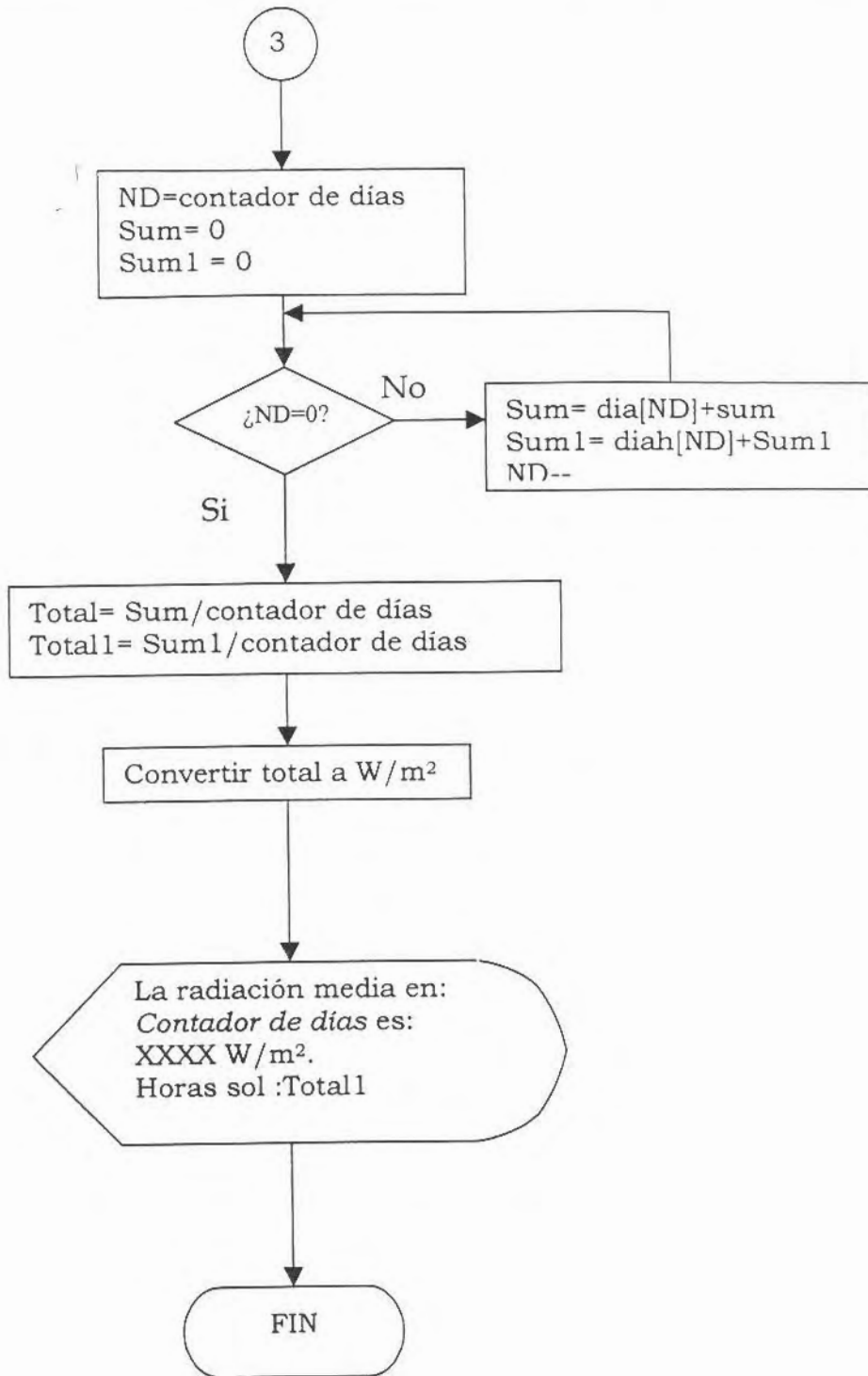
Al trabajar en este modo de funcionamiento; el sistema enviará, usando la comunicación serial asíncrona que soporta el puerto RS-232 de una PC, los datos almacenados dentro de la memoria EEPROM (obtenidos por la función de Medidor autónomo) que son los promedios diarios y las horas sol. Un programa en C será el encargado de recibir los datos proporcionados por el medidor, además los guardará en un archivo. Los datos ya en un archivo pueden ser utilizados por cualquier otro programa de aplicación que el usuario pueda crear, o algún programador interesado en generar una base de datos lo pueda hacer de una manera sencilla.

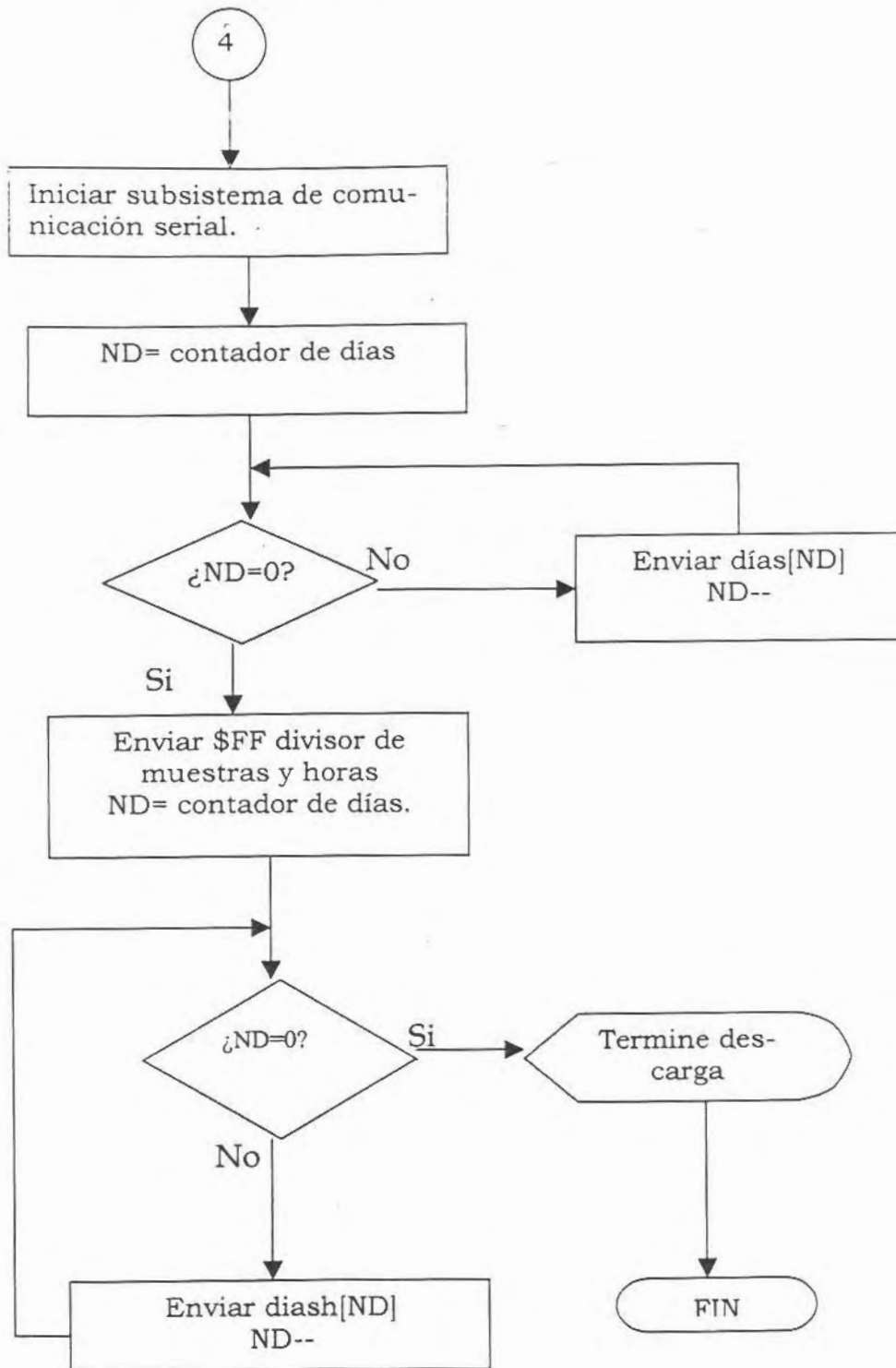
3.3.6 Diagrama de flujo del programa.











En los apéndices se tiene información más específica en cuanto al hardware y software que se utiliza en el medidor de radiación solar, para aquellos que deseen detalles técnicos de este trabajo.

Conclusiones y perspectivas

4.1 Conclusiones.

4.1.1 Construcción y prueba del prototipo.

Utilizando el esquemático resultado de la etapa de diseño procedí a realizar la elaboración de la tarjeta de circuito impreso para el prototipo. Utilizando la herramienta del OrCad, con la ayuda del PCB estructuré la posición de los componentes así como sus conexiones para que coincidieran con las conexiones desarrolladas durante la etapa de diseño. Al concluir la elaboración de la tarjeta en la computadora procedí a imprimir el circuito, este consta de las huellas para los circuitos integrados, de otros componentes y de las pistas; todo repartido en 2 caras. La impresión se traslada a la placa de cobre por medio de un proceso de serigrafía. Ya que se tiene en ambas caras del cobre las impresiones de las pistas y las huellas, la placa es atacada con cloruro férrico para eliminar el cobre sobrante y que solo quede el cobre que pertenece a las pistas y las huellas. Se comprueba con un multímetro que las conexiones estén completas. Los agujeros para las patillas de los integrados y de los componentes electrónicos, así como para los through holes se hacen con un taladro de banco con una broca de 7/64". Soldé los componentes y las bases de los circuitos integrados y con alambre se rellenan los through holes, se vuelve a comprobar la continuidad de las conexiones y que no existan cortos circuitos entre ellas.

Instale el microcontrolador y la parte de comunicaciones, mediante el funcionamiento del modo sencillo del microcontrolador se comprueba que el microcontrolador y la sección de comunicación serial funcionan correctamente, ya que existe comunicación entre el programa monitor BUFFALO del 68HC11 y el programa iasm11 que se ejecuta en una microcomputadora.

Durante este mismo periodo también escribí el programa que maneja el sistema y realicé simulaciones del programa en una tarjeta de pruebas.

La prueba de la totalidad de la tarjeta la realicé por medio de una versión de 2Kb del monitor BUFFALO, esta versión se grabó en la memoria UV-EPROM, y al haber comunicación con el programa iasm11 que se ejecuta en la microcomputadora queda comprobado que la tarjeta realiza sus funciones correctamente, el acceso a memoria y la comunicación serial principalmente. Por medio de este mini BUFFALO cargué programas prueba a la memoria RAM interna, con los que comprobé el funcionamiento del teclado, el display y el sistema de conversión de radiación solar a voltaje.

Finalmente grabé el programa BIOS en la memoria EEPROM y se probó el funcionamiento de todo el sistema (hardware y software).

4.1.2 Conclusiones sobre el funcionamiento del prototipo.

El prototipo fue probado en condiciones similares a las que podrá ser sometido, se probaron todas las funciones.

El funcionamiento autónomo se probó en una zona donde parte del día tenía sombra para simular condiciones nocturnas y verificar que durante este periodo no toma muestras, para ello se agregó una rutina al programa para que por medio del display se viera si el medidor tomaba o no las muestras. Mediante este mismo programa y durante la parte del día en que si tocaba sol al medidor se verificó que toma las muestras cada 5 minutos durante el tiempo que existan mediciones mayores a los 100 watts/m², por lo que al atardecer se verificó que el medidor graba el promedio de radiación y las horas además de llevar bien la cuenta de los días trabajados.

El prototipo tiene un consumo de corriente de 40 mA con lo que una batería durará según su capacidad en Amperes*hora, así utilizaremos la fórmula : Duración en horas = Amperes*hora / 40 mA.

El prototipo fue probado en un funcionamiento continuo por 3 días y se comprobó que toma las muestras a partir de que sensa una radiación mayor a 100 W/m², que deja de tomarlas cuando hay una radiación menor a la citada anteriormente y además realiza la grabación del promedio de radiación y de las horas durante las cuales hubo sol. Ya con esta información almacenada en la EEPROM interna, se pudo verificar el buen funcionamiento de la parte que calcula el promedio, parte que funcionó y desplegó tanto el promedio de la radiación como el promedio de horas de sol. Por como está diseñado el programa aseguramos que si funcionó bien para 3 días, funcionará bien para cualquier número de días que se le ponga a trabajar sin exceder los 255 días que sería el límite de almacenamiento de la memoria EEPROM. Por lo tanto el programa limita hasta este número de días trabajados para evitar que se lleguen a producir errores en la información. El programa con que se recibieron los datos genera un archivo de texto con un formato que puede ser leído por el programa de aplicación Excel y de esa manera realizar el manejo de los datos ya sea generando una base de datos o gráficas como las de las figuras 4.1. y 4.2. El programa en lenguaje C se muestra en el apéndice B.

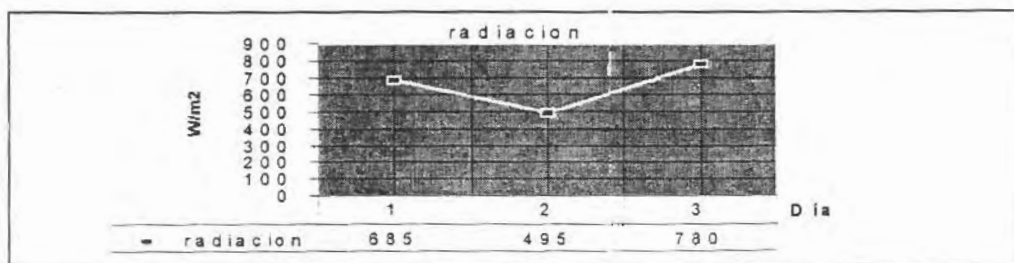


Figura 4.1.- Gráfica de radiación por día almacenado.

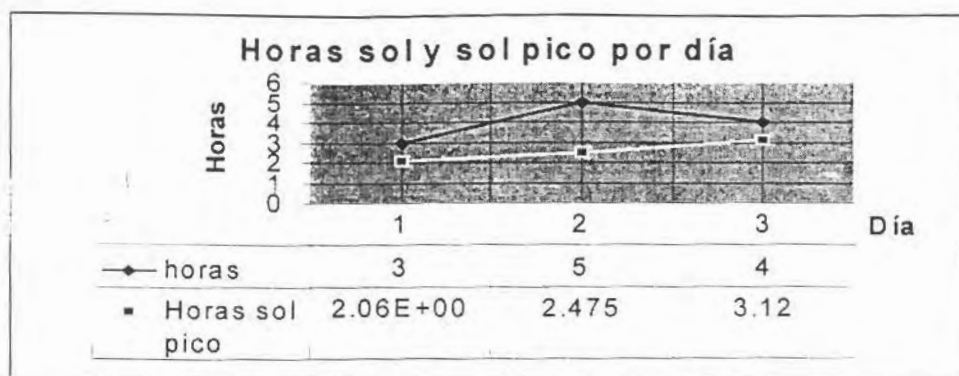


Figura 4.2.- Gráfica de las Horas sol y sol pico por día almacenado.

El cálculo de las horas sol pico se obtienen en el programa Excel, multiplicando las horas sol por el promedio de radiación y dividiendo el resultado entre 1000 W/m^2 , con lo que las horas sol pico son el número de horas de un día en las que hay 1000 W/m^2 , valor que se utiliza en el diseño de sistemas de energía solar.

El funcionamiento de medidor instantáneo fue probado bajo distintas condiciones de iluminación y se comprobó que da 1000 W/m^2 diferentes medidas que corresponden a las varias condiciones de radiación solar a las que fue expuesto.

Las pruebas se llevaron a cabo en condiciones similares y durante poco tiempo, debido a que no se cuenta con un chasis adecuado para que el prototipo pueda ser expuesto a las condiciones de intemperie. Debido a que no pudo ser calibrado ni caracterizado con aparatos especiales para tal fin, se realizaron pruebas con la finalidad de comprobar la linealidad del sistema. Se realizaron pruebas con una fuente de luz que fue un foco incandescente, se ocuparon un foco de 60 W y uno de 100 W , a una distancia de 20 cms. del sensor, los resultados se muestran en las gráficas siguientes.

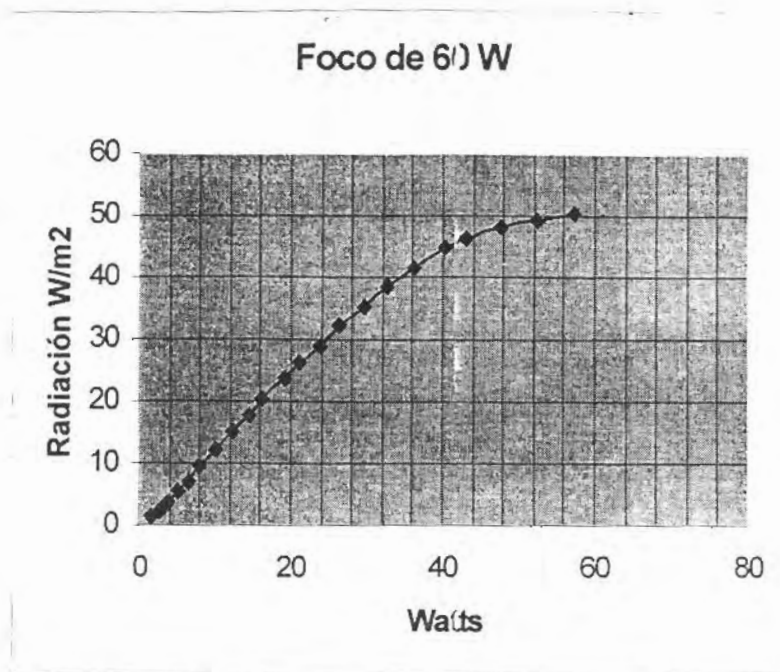


Figura 4.3.- Gráfica de resultados con un foco de 60W.

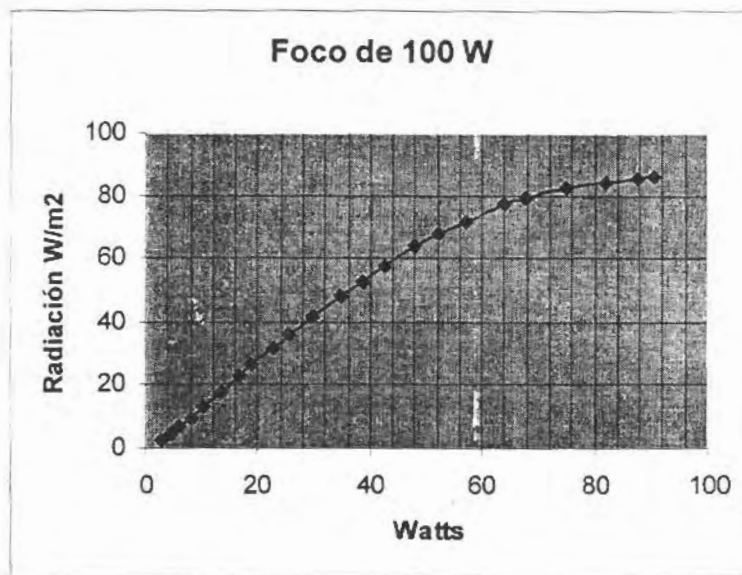


Figura 4.4.- Gráfica de resultados con un foco de 100W.

Se observa en las gráficas un comportamiento lineal en una región de la gráfica y una tendencia hacia una luminosidad constante aun con el aumento de la potencia que alimenta al foco, lo cual corresponde exactamente

al comportamiento de las lámparas incandescentes en cuanto a la cantidad de luz que emiten con respecto a la potencia suministrada[W86]. Así comprobamos que el sistema responde linealmente. También se respalda que el uso de una resistencia de carga mucho menor a 1 kilohm, asegura la linealidad[WJ90].

Se hizo una aplicación prueba, que consistió en exponer el medidor a luz roja, azul y amarilla, esto se consiguió a través de un foco y filtros hechos de papel celofán. Las condiciones de las pruebas fueron las siguientes: Un foco de 100 Watts situado a 9 cms. del sensor (celda solar) y se reguló la potencia mediante un dimmer, la luz de diferente color se consiguió al poner el papel celofán cubriendo el foco.

Los resultados se exhiben a continuación, se dan los valores de voltaje y corriente medidos en el foco y la potencia obtenida de la fórmula $P=V \cdot I$ (P =Potencia, I =corriente, V =voltaje), y la radiación medida con el instrumento de este proyecto:

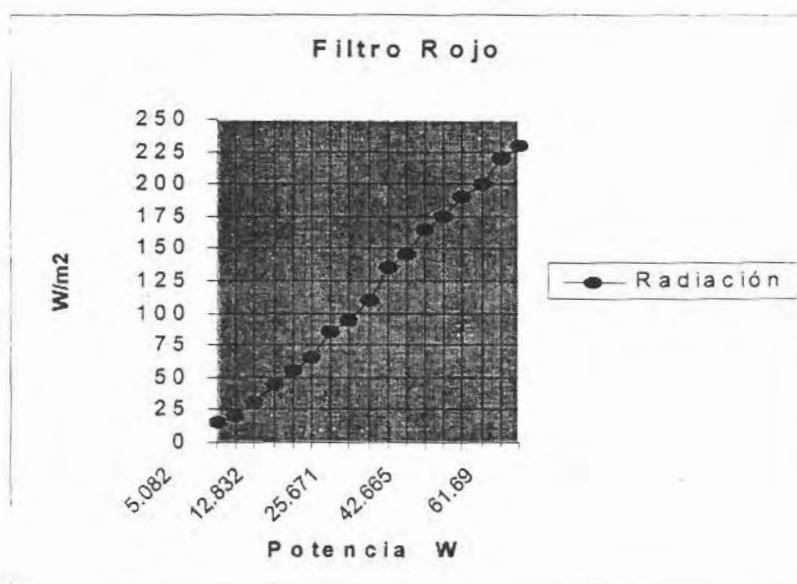


Figura 4.5.- gráfica de valores obtenidos con el filtro rojo.

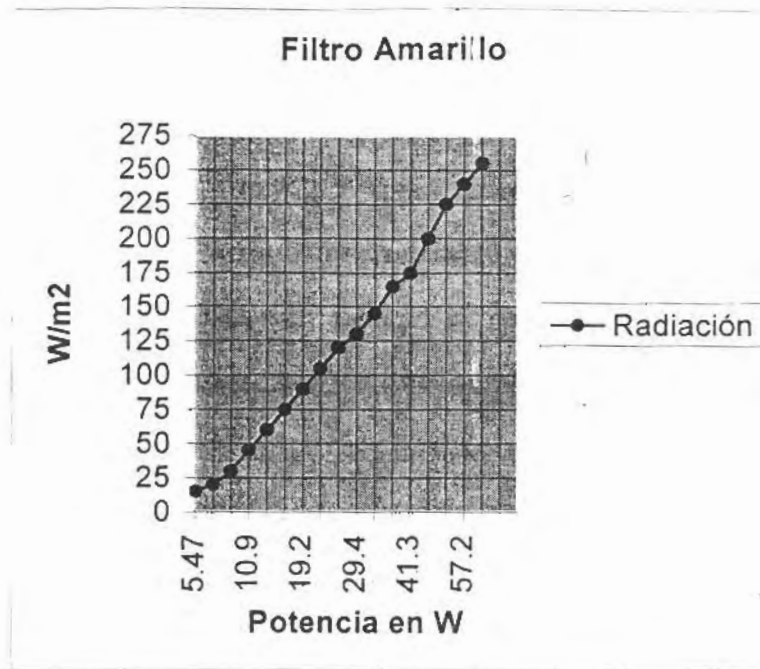


Figura 4.6.- Gráfica de valores obtenidos con el filtro amarillo.

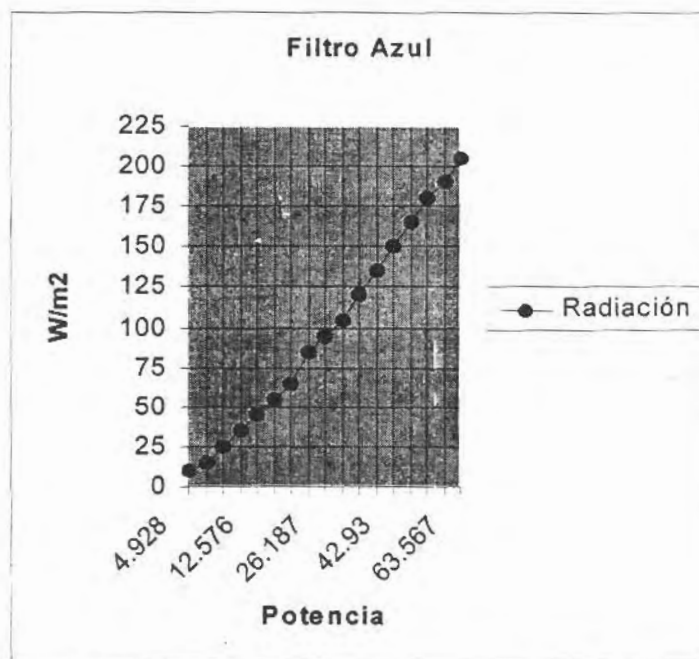


Figura 4.7.- Gráfica de valores obtenidos con el filtro azul.

Con los datos obtenidos con esta aplicación pudimos comprobar que hay una mayor intensidad de energía en las longitudes de onda del color amarillo y cercanas a este color, en los focos incandescentes.

4.1.3 Conclusiones generales.

El aparato construido es solamente un prototipo, sin embargo es una idea innovadora en la medición de radiación solar y es más económico que algún aparato con funciones parecidas y basado en un piranómetro. Por lo que se cumplió el objetivo de diseñar y construir un medidor de radiación solar que sirva de instrumento eficaz y de bajo costo, a los profesionistas que se dedican al diseño de sistemas de aprovechamiento de la energía solar.

El prototipo no pudo ser comparado con ningún otro aparato que realizara una función similar debido a que no conté con alguno; y como ya expliqué, normalmente son aparatos muy costosos. Existía la alternativa de calibrarlo con lámparas especiales pero el CINVESTAV, donde se realiza la construcción de celdas solares experimentales no cuenta con este equipo y los otros laboratorios no contestaron a las peticiones de información acerca de este mismo equipo. Con los experimentos explicados anteriormente podemos decir que el prototipo funciona correctamente y cuando se tenga la posibilidad de encontrar la medida patrón exacta su calibración será inmediata. Los pasos para la calibración se explican en el apéndice D.

El trabajo cumplió con mis objetivos personales debido a que durante su diseño y principalmente su construcción obtuve conocimientos y experiencia que desafortunadamente a lo largo de mis estudios no había podido obtener. El llegar a desarrollar mi diseño hasta construirlo en una tarjeta de circuito impreso y conocer todos los problemas y pasos para desarrollarlo, así como, las técnicas de prueba, ayudaron a terminar mi perfil de ingeniero en electrónica, desde mi punto de vista.

4.1.4 Costo del prototipo.

El costo del prototipo, se detalla en la siguiente tabla en cuanto al costo de cada componente:

Descripción	Cantidad	Total
Microcontrolador MC68HC11E1	1	180.00
Memoria UV-EPROM MN27C16Q	1	48.00
Circuito CMOS MC74HC245	1	6.00
Circuito CMOS MC74HC373	1	6.00
Circuito CMOS MC74HC138	1	4.50
Circuito CMOS 74C923	1	40.00
Circuito MAX232A	1	12.00
Circuito LM324	1	4.00
Circuito CMOS MC74HC00	1	6.00
Circuito CMOS MC74HC04	1	6.00
Circuito LM7805	1	5.00
Bases para circuitos integrados (DIP)	8	5.00
Base cuadrada de 52 pines	1	15.00
Resistencias de ½ watt	26	5.20
Capacitores de tantalio de 1microfaradio	6	30.00
Capacitores electrolíticos	11	7.70
Potenciómetro	1	3.00
Capacitores cerámicos	4	2.00
Tarjeta de cobre de 10x20 cms. Doble cara.	1	8.00
Celda solar de 0.390 A.	1	40.00
Interruptor tipo pulsador.	1	3.00
Cabezal doble recto.	1	5.00
Cristal de cuarzo de 8 Mhz.	1	15.00
Proceso de Serigrafía	1	300.00

Otros materiales		50.00
Display de cristal líquido AND721	1	850.00
Total		\$1656.40

4.2 Perspectivas.

Las perspectivas de este trabajo son las de seguirlo mejorando en cuanto a su calibración, cuando se cuente con algún piranómetro con el cual comparar las mediciones o una lámpara especial para realizar las pruebas y mediciones para lograr la exacta calibración del medidor de radiación solar.

Este trabajo se puede expandir debido a las características del microcontrolador como por ejemplo el uso de los 8 canales analógicos para el convertidor analógico-digital, que lo llevaría a poder ser una pequeña estación meteorológica donde se tengan hasta 8 diferentes transductores para medir un número igual de variables ambientales como temperatura, presión, humedad, radiación solar, etc. Esta conversión claro requeriría de algunas modificaciones al hardware como una memoria más grande para el programa controlador, y algunas adiciones al software para manejar la información de los transductores agregados, así como sus respectivas etapas de acoplamiento a las terminales del convertidor analógico-digital del microcontrolador.

La tarjeta diseñada en este trabajo se puede utilizar nuevamente para cualquier aplicación en la que solo se requiera de una memoria de 2Kb para el programa que controla al microcontrolador y requiera de direccionar 2 periféricos externos o usen un display de cristal líquido y un teclado de 20 teclas. Haciendo uso de la principal característica de los microcontroladores, poder usarse para distintas cosas con solo cambiar las instrucciones que se requieren para cada caso.

El hardware y el software del proyecto pueden utilizarse para otro transductor con solo una pequeña modificación en los valores de la tabla de conversión(ver apéndice B). Y tomando en cuenta que la etapa de acoplamiento consta de un seguidor de voltaje y un amplificador no inversor con ganancia de 10.

La perspectiva más ambiciosa es la de desarrollar un modelo comercializable, para dar una herramienta confiable y económica al diseñador de sistemas de aprovechamiento de la energía solar, para realizar diseños eficientes, con una mejor relación costo/beneficio, con la finalidad de ayudar al incremento del uso de sistemas de aprovechamiento de la energía solar, logrando beneficios principalmente para personas sin acceso a la energía eléctrica y la conservación del medio ambiente, entre muchos otros más.

Además de utilizarla en la aplicación que originó el desarrollo de este trabajo, que es la de realizar la caracterización de la radiación solar dentro de la región Mixteca, pues por sus características tiene un gran potencial en el uso de la energía solar.

Apéndice A.

Detalles del Hardware.

El hardware está basado en un sistema mínimo con el microcontrolador MC68HC11E1, trabajando en su configuración de modo extendido. La tableta está compuesta por el microcontrolador y circuitos integrados como 74HC373, 74HC245, 74HC138, NMC27C16Q, 74C923, 74HC04, 74HC00, MAX232 y un LM324.

El MC68HC11E1 cuenta con 5 puertos de propósito general, 4 de 8 bits y 1 de 6 bits, que pueden ser configurados para un propósito específico mediante software al programar los registros adecuados.

En modo extendido el puerto C (líneas PC0/AD0) es configurado automáticamente para manejar multiplexadas las líneas de datos (D0-D7) y las de direcciones bajas (A0-A7), así que este puerto se conecta al bus de datos y de direcciones. El puerto B (líneas PB0/A8 - PB7/A15) en modo extendido maneja las líneas de direcciones altas y está conectado al bus de direcciones. El puerto A no se utiliza por lo que sólo están conectados las patillas que funcionan como entradas a VCC por medio de resistencias para evitar problemas con corrientes producidas por alguna carga electrostática en sus patillas. El puerto E puede funcionar también como 8 entradas multiplexadas al convertidor analógico digital interno del microcontrolador; la patilla PE1/AN1 se configuró para ser la entrada única al convertidor ya que solo una señal será digitalizada y es el valor de voltaje que entregue el convertidor de radiación solar a voltaje. El puerto D puede ser configurado para manejar la comunicación serial asíncrona y síncrona. En este proyecto se utiliza la

comunicación serial asíncrona por lo que solo se usan las patillas PD0/RXD para la recepción y PD1/TXD para realizar la transmisión. Esta comunicación está configurada para ser a 9600 bauds, un bit de paro y sin paridad, además de 8 bits de longitud del dato.

El microcontrolador tiene 3 líneas de control para realizar la lectura y escritura en los periféricos mapeados dentro de los 64 Kb de direccionamiento con los que cuenta.

AS.- Señal que ayuda a demultiplexar las señales de datos y direcciones que maneja el puerto C, cuando tiene un nivel alto indica que las señales en el puerto C corresponden a direcciones y cuando es bajo corresponden a los datos.

R/W.- Señal que indica cuando el microcontrolador quiere escribir a una dirección o leer de ella, es alto cuando se desea una lectura y de nivel bajo cuando se va a escribir.

E.- Genera una señal igual a la de reloj del microcontrolador.

Se tienen otras patillas cuya utilización se describe a continuación:

MODB/V y MODA/LIR.- Definen el modo de funcionamiento en el cual el microcontrolador debe iniciar al iniciar su funcionamiento. Cuando ambos tienen un 1 lógico entonces el microcontrolador inicia en modo extendido.

VRH.- Voltaje de referencia máximo para el convertidor analógico digital. Conectado a 5.0 volts para esta aplicación.

VRL.- Voltaje de referencia mínimo para el convertidor analógico digital. Conectado a 0.0 volts. La diferencia de voltaje entre VRH y VRL no puede ser mayor a 5.0 volts.

IRQ.- Línea de la interrupción enmascarable, se activa con un nivel bajo. Se utiliza para control de las interrupciones del teclado.

XIRQ.- Línea de la interrupción no enmascarable, activa en nivel bajo. No se utiliza para este trabajo.

RESET.- Esta señal activa en bajo hace que el microcontrolador reinicie su funcionamiento.

El circuito 74HC373 tiene 8 flip-flops tipo D con salida en tercer estado. Los flip-flops están conectados a la señal de reloj G que es controlada con la señal AS del microcontrolador. La patilla OC está conectada a tierra para siempre tener activa la salida del circuito. Este circuito se utiliza para mantener la señal del bus de direcciones válida aún después de que el puerto C haya pasado a manejar las señales de datos.

El circuito 74HC245 es un buffer de tercer estado de 8 líneas bidireccional. Sus salidas y entradas de tercer estado se activan en bajo por medio de la patilla G que se conecta a la señal AS del microcontrolador. La dirección de entrada y salida está dada por el nivel lógico presente en la patilla DIR la cual esta conectada a la señal R/W del microcontrolador. La función de este circuito es mantener aislados el bus de datos y el de direcciones que están multiplexados por el puerto C. Así el circuito está activado cuando se encuentran datos válidos en el puerto C y deshabilitado cuando hay direcciones. Además la dirección del flujo de los datos coincide con las peticiones de lectura o escritura que realiza el microcontrolador.

El circuito 74HC138 es un decodificador de 3 a 8 líneas. Con las líneas A, B, C se selecciona cualquiera de las 8 salidas Y0-Y8 y la salida activa es un 0 lógico. Para que la salida se active correctamente debe haber un nivel alto en la patilla G1 y niveles bajos en las patillas G2A y

G2B. La línea A está conectada a la patilla A13, la línea B conectada con A14 y la línea C con A15. A12 está invertida y se conecta a G2B y A11 también invertida se conecta con G2A. G1 está conectado a Vcc para asegurar que se habilita cuando hay direcciones válidas. Con las conexiones tenemos que la UV-EPROM se habilita con las direcciones de la \$FB00 a la \$FFFF. El display se habilitaría en las direcciones de la \$1800 a la \$1FFF. Para los datos serían direcciones pares donde A0 es cero lógico y para control cuando A1 es uno lógico. Y el teclado con cualquiera de las direcciones de \$3800 a la \$3FFF.

Circuito 2716 es una memoria UV-EPROM, conectada al bus de direcciones de la A0 a la A10, se habilita con un nivel bajo en la patilla CE dado por el circuito 74138. La salida de datos se habilita con un cero lógico en la patilla OE tomada de la señal R/W haciendo una operación nand con la señal E, para que cuando haya una petición de lectura por parte del microcontrolador la memoria entregue el dato direccionado.

Circuito 74C923 es un decodificador de teclado de 20 teclas que realiza el muestreo en las teclas y activa una interrupción, por medio de la patilla DA, al microcontrolador cuando se oprime una tecla, guarda el dato correspondiente a la tecla hasta que se le pida habilitando con un nivel bajo la patilla OE, sus salidas están conectadas a los 5 bits menos significativos del bus de datos.

Circuito 74HC04, es un circuito con 6 inversores para adecuar el nivel lógico de algunas señales.

Circuito MAX232 este circuito es un inversor que cambia señales de niveles TTL a niveles manejados por los puertos RS-232 que controlan la comunicación serial asíncrona de una microcomputadora. Sirve

de interfaz para la comunicación entre el puerto serie de una microcomputadora y el microcontrolador.

Circuito LM324 tiene 4 amplificadores operacionales internamente compensados y alimentados con una fuente de polaridad sencilla. El primer amplificador funciona como un seguidor de voltaje y el segundo es un amplificador no inversor de ganancia 10 para adecuar la señal que se conecta a la entrada del convertidor analógico digital del microcontrolador.

El display es de cristal líquido y tiene un controlador AND721, tiene entrada para datos de 8 bits. La patilla RS registra si el dato en las patillas D0-D7 es un dato o una palabra de control. E habilita la entrada de datos o palabras de control, activo en alto. R/W identifica si se hace una petición de lectura o escritura.

El esquemático muestra las conexiones claramente establecidas.

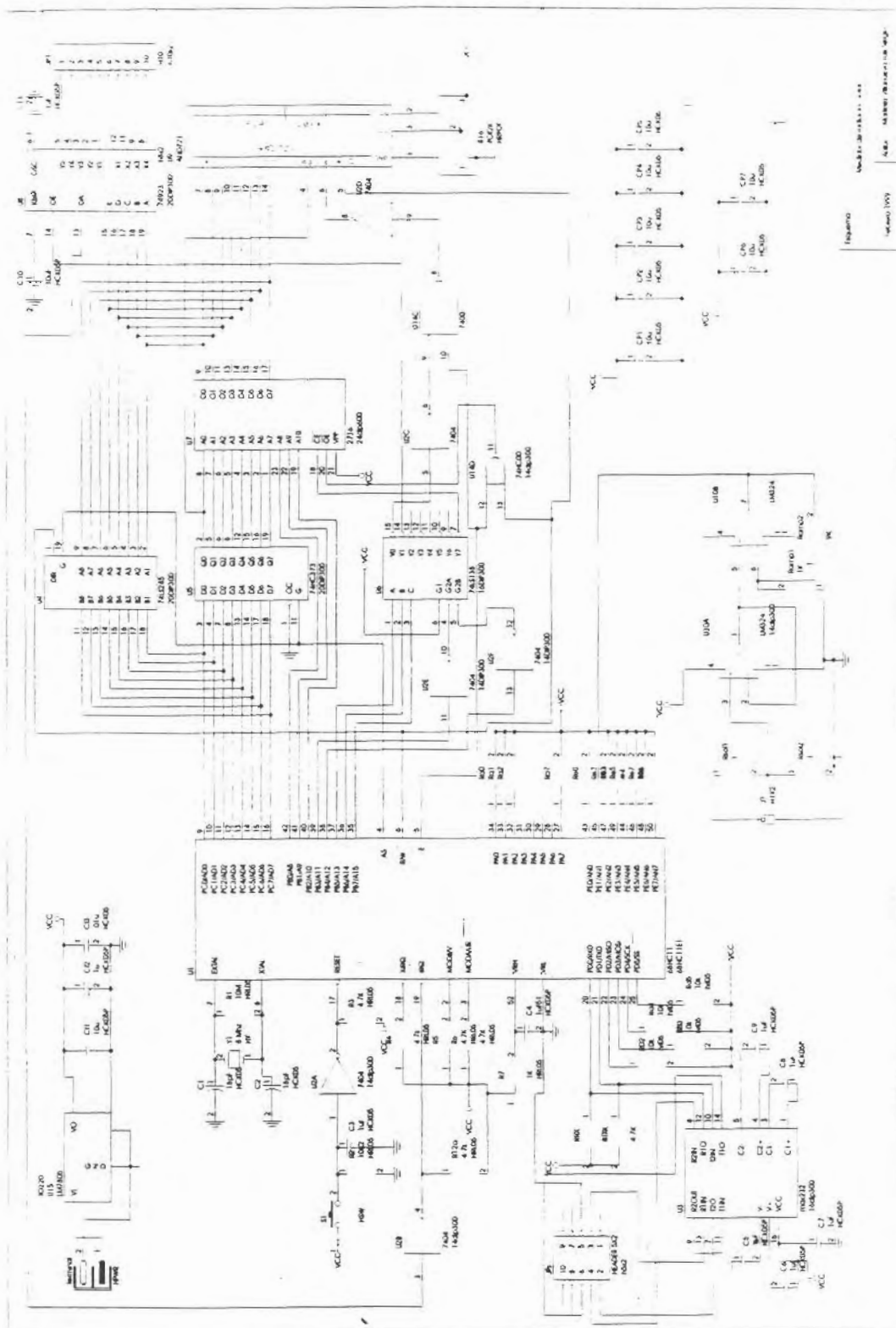


Figura A1.- Esquemático de componentes y conexiones del medidor.

Apéndice B

Programa del Bios para el medidor de radiación solar.

;PROGRAMA BIOS PARA EL MEDIDOR DE RADIACIÓN SOLAR

;***** /

;Definiciones de variables y constantes

```

ADC      equ $1030 ;Registro ADCTL
DCD      equ $1031 ;Registro ADR1
OPT      equ $1039 ;Registro OPTION
HPRIO    equ $103C ;Registro HPRIO
PRIO     equ $27  ;Define prioridad más alta para IRT
BAUDDAT  EQU $30;Define velocidad en BAUDS para el subsistema serial
CONF1    EQU $00  ;Define configuración para el sistema serial
CONF2    EQU $08  ;"      "      "      "      "
DISPC    EQU $1800 ;Dirección de control para Display
DISPD    EQU $1801 ;Dirección para datos al Display
TECLADO  EQU $3800 ;Dirección de acceso al teclado
RESET    EQU $F800 ;Dirección de inicio del programa
INIEE    equ $B600 ;Dirección de inicio de la EEPROM
INIHR    equ $B700 ;Dirección de guardar horas sol
CONTD    equ $B7FF ;Contador de días trabajados
VALINI   equ $14  ;100 W/m2
OFFSET   equ $01
FCNT     equ $F4

```

; Definición de variables

```

hrs      equ $100 ;Hora del reloj
min      equ $101 ;minutos del reloj
sec      equ $102 ;segundos del reloj
min1     equ $103 ;Minutos para tomar la sig. muestra
tem2h    equ $104 ;Horas para tomar la sig. muestra
tem2l    equ $105 ;Hora de Inicio
min2     equ $106 ;Hora de inicio de toma de muestras
hrsT     equ $108 ;la toma de muestras
tecla    equ $109 ;almacena el dato tecleado
temxh    equ $10A ;variable auxiliar para guardar
temxl    equ $10B ;registros de 16 bits
aux1     equ $10C ;variable de 8 bits
dato     equ $10D ;variable para datos de 8 bits
dato1    equ $10E ;"      "      "      "      "
mil      equ $10F ;Variables para
cen      equ $110 ;realizar la conversión de
dec      equ $111 ;datos binarios,
uni      equ $112 ;a una medida
aca      equ $113 ;en W/m2.
FSEC     EQU $114 ;Variable auxiliar para el
FSEC1    EQU $115 ;reloj de tiempo real de 16 bits

```



```

./*****/
; INICIO DEL PROGRAMA PRINCIPAL
    org $F800
    lds #$1ff      ;Carga el SP con la Dirección más alta de la RAM
    ldaa #$10
    staa $1035    ;Habilita la eeprom
    jsr esper
    JSR INIDISP    ; Rutina que inicializa el Display
;DESPLIEGA EL MENU
inicio ;jsr limdis
    ldy #TEXT01   ; Manda
    ldab #$13     ; desplegar
    ldaa #$80     ; el texto 1
    jsr impan     ; en el display
;Despliega Texto2
    ldy #texto2
    ldab #$0A
    ldaa #$C0
    jsr impan
;Despliega Texto3
    ldy #texto3
    ldab #$0B
    ldaa #$94
    jsr impan
;Despliega Texto4
    ldy #texto4
    ldab #$11
    ldaa #$d4
    jsr impan
menu  jsr espart  ;rutina que espera un caracter por el teclado
    ldaa tecla   ;carga en A el caracter
    cmpa #$01   ;checa la desiscion y salta a parte correspondiente
    beq auto
    cmpa #$02
    beq medin
    cmpa #$03
    beq promin
    cmpa #$04
    beq despchin
;bra menu
    swi
medin jmp medidor      ;saltos
promin      jmp prom   ;intermedios
despchin jmp despcc   ; a las rutinas de funcionamiento.

```

```

;*****
;INICIA LA PARTE DEL FUNCIONAMIENTO AUTONOMO
auto  jsr borraee ;BORRA TODA LA EEPROM
      ldaa #$00
      ldx #contd
      jsr EEPROM ;PROGRAMA EL CONTADOR DE DIAS A CERO
      ldaa #PRIO ;carga prioridad en A
      staa HPRIO ;Modifica registro HPRIO PSEB=0,PSEL2=1,PSEL1=1,PSEL0=1
      jsr LIMDIS ;Limpia el display
      ; despliega texto 5
      ldy #TEXT05
      ldab #$0F
      ldaa #$80
      jsr impan
      ldy #TEXT06
      ldab #$10
      ldaa #$C0
      jsr impan
      jsr espert
      jsr LIMDIS ; limpia el display.
      jsr initr ; inicialización de la interrupción de tiempo real
      jsr iniconv ;inicializa el subsistema de conversión analógica/digital
      cli ; activa interrupciones
; calcula los minutos en que se tomara la sig. muestra y lo guarda en min1
inim  jsr minuto
      jsr iniconv
      jsr datocon
      cmpb #VALINI ;DEFINE VALOR INICIAL PARA TOMAR MUESTRAS
      blo inim
      clr hrs
      clr min
      ldx #$0000
eti1  ldaa min
      adda #$4
      cmpa #$3B
      bis eti2
      suba #$3C
eti2  staa min1
;espera a que los minutos del reloj sean igual a min1 para tomar sig. muestra
eti3  ldaa min
      cmpa min1
      bne eti3
      pshx
      jsr iniconv
      jsr datocon ;toma dato del convertidor
      pulx
      stab 0,x ;Guarda el dato en la localidad donde apunta X

```



```

inx          ;incrementa X
tba
jsr minuto
cmpb #VALINI ;checa que la radiación este por arriba de 50W/m2
bhs eti1     ;si no lo es continua con el calculo de la media del día
ldaa hrs
staa hrsT
stx temxh   ;guarda el registro X con el número de muestras en temxh
ldy # $0000
;Calculo de la media del día
inimed dex
ldab 0,x    ;Se realiza
aby        ; la suma
cpx # $0000 ; de las muestras
bne inimed ; y el resultado queda en Y
pshy      ; Se obtiene
pula      ; el promedio
pulb      ; dividiendo
ldx temxh ; la suma de las muestras
idiv      ;entre el numero
stx temxh ;de muestras
ldd temxh ; hechas durante el
stab aux1 ; día
ldx #INIEE ; Calcula la Dirección en la EEPROM
ldab contd ; donde se guardara la
abx       ; media obtenida, la Dirección est en X.
cmpb # $FE
beq lleno ; salta a reiniciar en el caso de que este llena.
ldaa aux1 ; carga A con el valor de la media
jsr eeprom ; Graba la media diaria en la EEPROM
ldx #INIHR ; Calcula la Dirección en la EEPROM
ldab contd ; donde se guardará el número
abx       ; de horas de sol, la Dirección est en X.
ldaa hrsT ; carga A con el valor de las horas de sol
jsr eeprom ; Graba las horas de sol en la EEPROM
ldaa contd
ldx #contd ; carga en X la Dirección del contador de días
jsr BYTEE ; se borra el contador de días
ldx #contd ; se transfiere el contador de B a A
inca      ; se incrementa el contador
jsr EEPROM ; Graba el nuevo contador de días
jmp inim
lleno swi
; /***** FIN FUNCIONAMIENTO AUTONOMO *****/

```

```

;*****
;INICIA LA PARTE DEL MEDIDOR INSTANTANEO
medidor jsr limdis
        ldaa #$82
        ldab #$10
        ldy #TEXT012
        jsr IMPAN
        ldaa #$CD
        ldab #$4
        ldy #TEXT013
        jsr IMPAN
med1 jsr iniconv ;Inicializa el subsistema de conversión analógica/digital
     jsr datocon ; toma el dato del convertidor
     cli ; habilita interrupciones
     jsr convbw ; rutina que convierte de binario a W/m2
     ;despliega texto 12
     LDAA #$C4 ; Ubica el cursor
     STAA DISPC ; en la posición
     JSR ESPER ; 30 del display
     jsr despmm ; imprime los datos de W/m2
     ;despliega texto 14
     sei ; deshabilita interrupciones
     jmp med1 ; salta a repetir la rutina
;*****FIN DEL MEDIDOR INSTANTANEO*****
;*****
;INICIA LA PARTE DEL CALCULO DEL PROMEDIO DE LAS RADIACIONES
;MEDIAS DIARIAS
prom jsr limdis
     ldy #$0000 ;Prepara acumulador Y en 0
     ldab contd ;Carga B con el número de días guardados
     decb
     idx #INIEE ; Calcula la dirección del
     abx ; último dato guardado
prom1 ldab 0,x ; Se realiza
     aby ; la suma
     dex ; de los datos
     cpx #INIEE ; guardados
     bhs prom1 ; en la EEPROM
     sty temxh ; Obtiene
     ; el promedio
     idx #$0000 ; dividiendo
     ldab contd ; la suma de las muestras
     abx ; entre
     ldd temxh
     idiv ; el número de muestras tomadas
     stx temxh ; Pasa el resultado

```

```

Idd temxh    ; al registro B
jsr convbw   ; Convierte el resultado a W/m2
;despliega texto 14
ldy #TEXT014
ldaa #$80
ldab #$12
jsr IMPAN
LDAA #$C0    ; Coloca cursor en posición 21
STAA DISPC
JSR ESPER
ldaa contd   ; Imprime
impri daa     ; la
tab         ; cantidad
anda #$F0   ; de
lsra        ; días
lsra        ;
lsra        ;
jsr eco     ;
tba        ;
anda #$0F   ;
jsr eco     ; capturados
; despliega texto 15
ldaa #$C8   ;
ldab #$08   ;
ldy #TEXT015
jsr impan
LDAA #$99   ; Coloca cursor
STAA DISPC  ; en la posición
JSR ESPER   ; 36
jsr despm   ; manda imprimir los datos en W/m2
;imprime texto 13
ldaa #$9E
ldab #$4
ldy #TEXT013
jsr IMPAN
ldaa #$D6
ldab #$9
ldy #TEXT08
jsr IMPAN
LDAA #$DF   ; Coloca cursor en posición 43
STAA DISPC
JSR ESPER
Promhr ldy #$0000 ; Prepara acumulador Y en 0
ldab contd   ; Carga B con el número de días guardados
decB
ldx #INIHR   ; Calcula la dirección del

```

```

    abx                ; último dato guardado
    ;stx tem2h
promhr1 ldab 0,x      ; Se realiza
    aby                ; la suma
    dex                ; de los datos
    cpx #INIHR        ; guardados
    bhs promhr1 ;     en la EEPROM
    sty temxh         ; Obtiene
                    ; el promedio
    ldx #$0000        ; dividiendo
    ldab contd        ; la suma de las muestras
    abx                ; entre
    ldd temxh
    idiv               ; el número de muestras tomadas
    stx temxh         ; Pasa el resultado
    ldd temxh         ; al registro B
    tba
    daa
    tab                ;
    anda #$F0 ;
    lsra                ;
    lsra                ;
    lsra                ;
    lsra                ;
    jsr eco            ;
    tba                ;
    anda #$0F ;
    jsr eco            ;
    jsr espert         ; espera una tecla
    swi
;***** FIN DEL CALCULO DEL PROMEDIO DE LAS RADIACIONES*****
;*****
; INICIA LA PARTE DE DESCARGA A LA PC
despc equ *
    jsr limdis
    ; imprime texto 16
    ldaa #$C1
    ldab #$12
    ldy #TEXTO16
    jsr IMPAN
    jsr INICOM         ; Inicializa el subsistema de comunicación serial
    ldy #$1000
    ldx #INIEE        ; Calcula última
    ldab contd        ; Dirección de las
    decb
    abx                ; muestras
sigue ldab $102E      ; Espera para seguir transmitiendo

```

```

    BITB #$80
    BEQ sigue
    ldaa 0,X          ; Envía
    STAA $102F       ; todos
    jsr eco          ; los promedios
    dex              ; hacia
    cpx #INIEE       ; el puerto serial
    bhs sigue        ; de la PC.
pause ltab $102E
    BITB #$80        ; Espera para seguir transmitiendo
    BEQ PAUSE
    LDAA #$FF        ; Envía División de promedios y
    STAA $102F       ; horas sol
    ldx #INIHR       ; Calcula última
    ltab contd       ; Dirección de las
    decb
    abx              ; horas sol
sigue1 LDAB $102E
    BITB #$80
    BEQ SIGUE1
    ldaa 0,X          ; Envía
    STAA $102F       ; todos
    jsr eco          ; las horas
    dex              ; sol
    cpx #INIHR       ; el puerto serial
    bhs sigue1       ; de la PC.
    jsr limdis
    ;despliega el texto 17
    ldaa #$D4
    ltab #$13
    ldy #TEXT017
    jsr IMPAN
    jsr espt         ; espera una tecla
    swi
;*****FIN DE LA DESCARGA A PC*****

```

```

;*****
; INICIAN LAS SUBROUTINAS DE SERVICIO DEL PROGRAMA

;Rutina que imprime en el display, los valores convertidos de binario a W/m2
;y guardados en las variables uni,dec,cen,mil
despm      equ *
    ldx #uni
    ldab #$04
repit  ldaa 0,x
    pshx
    adda #$30
    STAA DISPD
    JSR ESPER
    pulx
    dex
    decb
    bne repit
    rts      ; regreso de subrutina

;-----*/
;Rutina que convierte un dato binario a un dato en W/m2, se realiza a través
;de la tabla de conversión, y deja guardada la conversión en las variables
;uni,dec,cen,mil. El dato a convertir debe estar en el registro B.

convbw     equ *
    clr uni      ; Prepara
    clr dec      ; las variables
    clr cen      ; para
    clr mil      ; realizar
    clr aca      ; la conversiøn
    clr dato     ; de binario
    clr dato1    ; a W/m2
    ldx #dato    ; Guarda dirección de variable dato en X.
    ldy #tabla   ; Carga Dirección de inicio
    stab dato    ; Carga dato a convertir en variable dato
comp  cmpb #$00 ; Prueba si B es 0
    beq salir    ; si lo es termina la conversiøn.
    brset 0,x,80,contar ;Verifica que el bit7 de la variable dato es 1 y salta a contar
    lsl dato     ; sino rota un bit de dato hacia la izq.
    iny          ; Incrementa Y
    iny          ; cuatro veces para
    iny          ; apuntar al siguiente valor
    iny          ; correspondiente al sig. bit de dato
    ldab dato    ; carga b con el valor de dato
    bra comp     ; regresa para seguir la conversiøn
contar  pshx     ; Guarda registro X en la pila
    ldx #mil     ; Realiza la conversiøn
    ldab #$04    ; utilizando a Y como apuntador al valor en la tabla

```

```

contar1 ldaa 0,y ; y a X como apuntador a las variables mil,cen,dec,uni
        adda 0,x ; Carga el valor al que apunta Y y lo suma a la variable
                ; a la que apunta X, si existe acarreo se guarda
        adda aca ; y se suma con la siguiente variable.
        daa      ; lo realiza 4 veces para tener la conversión en las
        staa dato1 ; variables mil,cen,dec,uni.
        anda #$0f
        staa 0,x
        ldaa dato1
        anda #$f0
        lsra      ;
        lsra      ;
        lsra      ;
        lsra      ;
        staa aca ;
        iny      ;
        inx      ;
        decb     ;
        bne contar1 ;
        pulx     ;
        lsl dato ;
        ldab dato ;
        jmp comp ;
salir   rts      ; regreso de subrutina
;-----*/
;Rutina que espera que tecleen un caracter y lo deja guardado en la variable
; tecla
espera equ *
        ldaa #$FF ; Carga bandera de espera en A
        staa tecla ; Carga la bandera en variable tecla
        cli      ; Habilita interrupción
salto3 cmpa tecla ; Comprueba que se haya

        beq salto3 ; introducido un dato por teclado
        sei      ; deshabilita interrupción
        rts      ; Retorno de subrutina
;-----*/
;Rutina que borra toda la EEPROM
borraee equ *
        ldab #$06 ; Modifica registro PPROG para
        stab $103b ; preparar el borrado, bits ERASE=1,EELAT=1.
        staa INIEE ; Manda un dato cualquiera al inicio de la EEPROM
        ldab #$07 ; Modifica registro PPROG para empezar a Borrar
        stab $103b ; bits ERASE=1, EELAT=1, EPGM=1.
        jsr dly10 ; rutina de espera de 10 segundos
        clr $103b ; limpia el registro PPROG.
        rts

```

```

;Rutina que limpia el display
LIMDIS equ *
    LDAA #$01      ; Carga comando de borrar
    STAA DISPC    ; Envía el comando al display
    JSR ESPER     ; rutina de espera de 40 ms.
    rts          ; regreso de subrutina
;-----*/
;Subrutina de inicialización del Display
INIDISP equ *
    LDAA #$38      ; Inicialización del display
    STAA DISPC    ; Function SET
    JSR ESPER     ; Se envía 4 veces.
    LDAA #$38 ;
    STAA DISPC
    JSR ESPER
    LDAA #$38
    STAA DISPC
    JSR ESPER
    LDAA #$38
    STAA DISPC
    JSR ESPER
    LDAA #$0C      ; Comando de encendido ON/OFF FUNCTON
    STAA DISPC    ; envía comando
    JSR ESPER
    LDAA #$01      ; Comando de limpieza CLEAR DISPLAY FUNCTION
    STAA DISPC    ; envía comando
    JSR ESPER
    LDAA #$14      ; Comando de poner curscr DISPLAY/ CURSOR MODE
    STAA DISPC    ; envía comando
    JSR ESPER
    LDAA #$06      ; comando de desplazamiento automático SET MODE ENTRY
    STAA DISPC    ; envía comando
    JSR ESPER
    RTS          ; Regreso de subrutina
;Rutina que realiza una espera de 40 ms para entren en función
;los comandos del display
ESPER equ *
    pshx
    LDX #$4E20
RESP NOP
    NOP
    DEX
    BGT RESP
    pulx
    RTS
;-----*/

```


; Rutina que despliega una cadena. El registro Y apunta al inicio de la cadena,
 ; B tiene el número de caracteres de la cadena, y A la posición en que se
 ; desplegará en el display

```
IMPAN equ *
    STAA DISPC
    JSR ESPER
IMPA LDAA 0,Y
    STAA DISPD
    JSR ESPER
    INY
    DECB
    BNE IMPA
    RTS
```

;/*-----*/

; Rutina que despliega un caracter numérico guardado en A, lo convierte
 ; a ASCII y lo envía al display

```
eco equ *
    adda #$30
    STAA DISPD
    JSR ESPER
    suba #$30
    rts
```

;/*-----*/

; rutina que inicializa la ITR

```
INITR equ *
    ldx #$1024 ; Registro X apunta al registro TMSK2
    bset 0,x,40 ; Modifica los bits RTII=1 , habilita ITR.
    clr FSEC ; limpia variable de apoyo para ITR de 2 bytes
    clr FSEC+1
    clr sec ; limpia variable sec de los segundos del reloj.
    rts
```

;/*-----*/

; rutina que inicializa el convertidor A/D

```
INICONV equ *
    pshx
    ldaa #$90 ; Modifica registro OPTION
    staa OPT ; bits ADPU=1, ADYL=1
CONV ldaa #$21 ; Modifica registro ADCTL
    staa $1030 ; bits SCAN=1, MULT=0, CA=1.
    pulx
    rts
```

;/*-----*/

; Rutina que toma un valor del convertidor, y lo devuelve en registro B

```
DATOCON equ *
    pshx
    ldx #ADC ; X apunta a registro ADCTL
    brclr 0,x,$80,* ; se asegura que haya un dato válido
```

```

    ldab $1031      ; carga B con el valor válido en el registro ADR1
    cmpb #OFFSET   ; Elimina el offset por software
    bhi offs
    ldab #$00
    pulx
    rts
offs  subb #OFFSET
    pulx
    RTS

```

```

;-----*/

```

```

; Rutina para programar un byte en la EEPROM
; el dato a grabar debe estar en el registro A y la Dirección
; en el registro X
EEPROM equ *

```

```

    ldab #$02      ; Modifica registro PPROG
    stab $103b     ; bits EELAT=1
    ldab $103B
    staa 0,x       ; Manda dato a Dirección en X
    ldab #$03      ; Comando de inicio de grabado EELAT=1 y EPGM=1
    stab $103b     ; Graba comando en PPROG
    ldab $103B
    jsr dly10      ; Rutina que espera 10 milisegundos para programar
    clr $103b     ; Limpia el registro PPROG
    rts

```

```

;-----*/

```

```

; rutina para borrar un byte en la eeprom con la Dirección a borrar
; en el registro X
BYTEE equ *

```

```

    pshb
    ldab #$16      ; Comando para el registro PPROG bit EELAT=1,BYTE=1,ERASE=1
    stab $103b     ; Programa registro PPROG
    stab 0,X       ; Indica Dirección a borrar
    ldab #$17      ; Comando para iniciar el borrado del byte
    stab $103b     ; en PPROG, bits BYTE=1,EELAT=1,ERASE=1,EPGM=1
    jsr dly10      ; rutina de espera de 10 milisegundos
    clr $103b     ; limpia registro PPROG
    pulb
    rts

```

```

; Subrutina de espera que dura 10 milisegundos.

```

```

DLY10    EQU *      ; delay 10ms
        PSHX
        LDX #$0D06
DLYLP    DEX
        BNE DLYLP
        PULX
        CLR $103B
        RTS

```

```

;Rutina para inicializar la comunicaciòn serial
INICOM equ *
    psha
    LDAA #BAUDDAT ;Carga configuración para bauds en registro BAUD
    STAA $102B ;envía configuración SCP1=1, SCP2=1
    LDAA #CONF1 ;Modo de funcionamiento para el subsistema serial
    STAA $102C ; en registro SCCR1
    LDAA #CONF2 ;Carga configuración para Registro SCCR2 bits TE=1,RE=0
    STAA $102D ; envía la configuración al registro
    pula
    rts

;Rutina que espera 1 minuto para evitar repeticiones en un mismo minuto al
;tomar las muestras,durante el funcionamiento autónomo.
Minuto psha
    ldaa min
minu1 cmpa min
    beq minu1
    pula
    rts

;RUTINAS DE SERVICIO A LAS INTERRUPCIONES
;Rutina de servicio a la interrupción del teclado.
ITECLA equ *
    ldaa teclado ;Carga A con el dato del teclado.
    staa tecla ;Guarda el dato A en la variable tecla
    cmpa #$0B ;Si se oprime la tecla 11
    bne ter ;se hace un reset por software
    swi
ter rti ;sino regresa a donde estaba antes de la interrupción

;Rutina de servicio para la interrupción de tiempo real
RRTII equ *
    ldaa #$40 ; Modifica registro TFLAG2
    staa $1025 ; pone bit RTIF=0
    ldy FSEC ; carga el valor de FSEC en Y
    iny ; lo incrementa
    sty FSEC ; y lo guarda
    cpy #FCNT ; compara si es igual a 244
    beq seco ; si es igual modifica el reloj
    rti ; sino termina la interrupción.
seco clr FSEC ; Modifica
    clr FSEC+1 ; el valor
    ldaa sec ; de los segundos

```

```

        adda #$1      ; del reloj de tiempo real
        cmpa #$3C    ; si ya son 60 segundos
        beq minu     ; salta a modificar minutos
        staa sec
        rti          ; si no termina interrupción
minu   clr sec      ; Modifica el
        ldaa min     ; valor de
        adda #$1     ; minutos del reloj de tiempo real
        cmpa #$3C    ; Si ya son 60 minutos
        beq hora     ; modifica horas
        staa min     ; sino guarda minutos
        rti          ; y termina interrupción
hora   clr min     ; Modifica
        ldaa hrs     ; el valor de
        adda #$1     ; horas en el
        daa          ; reloj de tiempo real
        staa hrs     ; guarda horas
        cmpa #$18    ; Si ya son 24 horas
        bne retur    ; si no salta
        clr hrs      ; si pone horas a 0
retur  rti          ; termina interrupción
;/*-----*/
; Rutina de servicio para interrupciones no utilizadas (Por Seguridad)
TODAIN EQU *
        NOP
        NOP
        RTI
;/*-----*/
;*****
;TABLA DE CONVERSION DE BINARIO A WATTS
tabla  db $03,$04,$06,$00,$01,$02,$03,$00,$00,$06,$01,$00
        db $00,$08,$00,$00,$00,$04,$00,$00,$00,$02,$00,$00
        db $00,$01,$00,$00,$05,$00,$00,$00
;*****
;SEGMENTO DE TEXTOS UTILIZADOS
TEXTO1 FCB '1.-Trabajo autonomo'
TEXTO2 FCB '2.-Medidor'
TEXTO3 FCB '3.-Promedio'
TEXTO4 FCB '4.-Descargar a PC'
TEXTO5 FCB 'Modo automatico'
TEXTO6 FCB 'oprima una tecla'
TEXTO8 FCB 'Horas Sol:'
TEXTO12 FCB 'La Radiacion es:'
TEXTO13 FCB 'W/m2'
TEXTO14 FCB 'La radiacion media'
TEXTO15 FCB 'dias es:'
TEXTO16 FCB 'Iniciando descarga'

```

TEXTO17 FCB 'Conclui la descarga'

./*****/

;SECCION DE VECTORES DE INTERRUPCION

./*****/

org \$FFC0

FDB TODAIN

FDB TODAIN

FDB TODAIN

FDB TODAIN

FDB TODAIN

FDB TODAIN

FDB TODAIN

FDB TODAIN

FDB TODAIN

FDB TODAIN

FDB TODAIN

FDB TODAIN

FDB TODAIN

FDB TODAIN

FDB TODAIN

FDB TODAIN

FDB TODAIN

FDB TODAIN

FDB TODAIN

FDB TODAIN

FDB TODAIN

FDB TODAIN

FDB TODAIN

FDB TODAIN

FDB TODAIN

FDB RRTII

;Rutina de servicio a la interrupción de tiempo real

FDB ITECLA

;Rutina de servicio a la IRQ, (Teclado).

FDB TODAIN

FDB RESET

;SWI interrupción por software.

FDB RESET

;Reset por detección de un código de operación ilegal

FDB RESET

;COP

FDB RESET

;Reset por la falla del reloj.

FDB RESET

;Reset y Power On Reset.

./*****/

./*****FIN DEL PROGRAMA DEL MEDIDOR DE RADIACION SOLAR*****/

./*****/

 Programa en C que captura la información enviada por el medidor
 a la computadora personal.

```
#include <bios.h>
#include <conio.h>
#include <stdio.h>
#define COM1      1 /* 0 =COM1, 1= COM2*/
#define DATA_READY 0x100 /*bandera de dato listo en puerto serial*/
#define TRUE      1
#define FALSE     0

#define SETTINGS ( 0xE0 | 0x00 | 0x00 | 0x03)
/*      (velocidad | paridad | bits de paro | # bits de datos)*/
/*      (9600 bauds| sin paridad | 1 bit de paro | 8 bits de datos) */
int main(void)
{
    FILE *inap;
    int out,status,DONE=FALSE,i=0,j,suma,f;
    char in;
    unsigned char k[255],array[255];
    clrscr();
    bioscom(0, SETTINGS, COM1);/* configura el puerto serial*/
    printf("oprime [ESC] al terminar la transmisión ... \n");
    while (!DONE)
    {
        status = bioscom(3, 0, COM1);
        if (status & DATA_READY)
            if ((out = bioscom(2, 0, COM1)) != 0) /*recibe la información*/
            {
                k[i]=out;i++;putch(out+0x30); /*guarda en array*/
            }
            if (kbhit())
            {
                if ((in=getch()) == '\x1B')
                    DONE = TRUE;
            }
        }
    printf ("\ncargue %d numeros ",i);
    if ((inap=fopen("\\base.txt", "wt"))== NULL) /* abre archivo*/
    {
        printf("Cannot open input file. \n");
        return 1;
    }
    fprintf(inap,"dia \tradiacion \thoras \n"); /* imprime encabezados*/
    f=0;
```

```
for (j=0;j<i;j++)
{
  if (k[j]!=255)/* detecta y quita la división entre radiación y horas*/
    {array[f]=k[j]; f++;}
}
f=f/2;
for (j=0;j<f;j++)
{
  fprintf(inap,"%d\t%d\t%d\n",j+1,(array[j]*5),array[j+f]);
} /* imprime la informacion en el archivo*/
fclose(inap);
getch();
return (0);
}
```

Apéndice C.

Manual de usuario del medidor de radiación solar.

El medidor de radiación solar está diseñado para tener un funcionamiento sencillo, y pueda ser usado por cualquier persona con conocimientos en la materia o sin ellos.

Al iniciar el funcionamiento aparece un menú de 4 opciones:

1. Funcionamiento autónomo.
2. Medidor.
3. Promedio.
4. Descargar a la Pc.

Cada función se activa al teclear el número que le corresponde.

Al seleccionar el funcionamiento autónomo este envía un mensaje de que ha sido activado este modo y al borrarse el display se puede proceder a desconectarlo, así como al teclado; para que no sufran daño al ser expuestos a la intemperie. La información almacenada se borra automáticamente.

La medición instantánea despliega el valor de la radiación que detecta el sensor en el instante, el valor se da en watts/m².

Promedio, el sistema toma los datos guardados durante el funcionamiento autónomo y muestra mediante el display de cristal líquido

el promedio de la radiación y las horas sol promedio del periodo en que funcionó el medidor de manera automática.

Comunicación con la Pc, antes de utilizar esta función debe estar conectado el medidor a la computadora, y en ella estar ejecutando un programa que capture los valores que serán enviados por el medidor. Se debe configurar el puerto serial para recibir datos con una velocidad de 9600 bauds (bits/segundo) una longitud de datos de 8 bits, un bit de inicio y uno de paro, y sin paridad.

Para terminar con cualquier función y regresar al menú principal se reinicia el sistema o se oprime la tecla FIN.

El sistema puede ser alimentado con cualquier fuente de corriente directa (batería, fuente de poder, etc.), capaz de dar 40 mA, y con un voltaje de entre 6 y 35 volts.

Apéndice D.

Calibración.

La calibración es fácil de realizar cuando ya se tenga un medidor o una lámpara para realizarla.

Se realizan las mediciones con el aparato que servirá de modelo y se compara con las de el medidor de este trabajo, la medida que de el medidor de este trabajo se convierte a volts, usando la tabla del capítulo 3. De la siguiente manera digamos que el medidor base dio 1000 W/m² y el nuestro dio 953 W/ m². Convertimos 954 a volts que serían 3.71 volts, debido a que 954 es la suma de 6.3+160+80+40+20+10 y que corresponden a los voltajes 2.5+.625+0.3125+0.156+0.078+0.039= 3.71 volts.

Así como la relación es lineal sabremos que los voltajes restantes de la tabla se pueden obtener con una simple regla de tres como se muestra a continuación:

$$\text{Radiación (2.5)} = (2.5 \cdot 1000) / 3.71 = 673.8 \sim 674.$$

$$\text{Radiación (1.25)} = (1.25 \cdot 1000) / 3.71 = 336.9 \sim 337.$$

$$\text{Radiación (0.625)} = (0.625 \cdot 1000) / 3.71 = 168.4 \sim 168.$$

$$\text{Radiación (0.3125)} = (0.3125 \cdot 1000) / 3.71 = 84.2 \sim 84.$$

$$\text{Radiación (0.156)} = (0.156 \cdot 1000) / 3.71 = 42.0.$$

$$\text{Radiación (0.078)} = (0.078 * 1000) / 3.71 = 21.0.$$

$$\text{Radiación (0.039)} = (0.039 * 1000) / 3.71 = 10.5 \sim 10.$$

$$\text{Radiación (0.019)} = (0.019 * 1000) / 3.71 = 5.1 \sim 5.$$

Estos valores se sustituyen en la tabla de conversión del programa bios, de manera que cada dígito ocupe un byte. Así la nueva tabla quedaría de la siguiente manera, del valor más grande correspondiente a 2.5 volts al menor y colocando en orden unidad, decena, centena, millar:

TABLA DE CONVERSION DE BINARIO A WATTS

tabla db \$04,\$07,\$06,\$00,\$07,\$03,\$03,\$00,\$08,\$06,\$01,\$00

db \$04,\$08,\$00,\$00,\$02,\$04,\$00,\$00,\$01,\$02,\$00,\$00

db \$00,\$01,\$00,\$00,\$05,\$00,\$00,\$00

Automáticamente quedan definidos los nuevos valores, y se puede volver a hacer mediciones ahora para encontrar el porcentaje de error y otros datos estadísticos necesarios.

Glosario.

§ Símbolo que indica que el número al que antecede esta en formato hexadecimal.

Acumulador. Registro principal de una unidad aritmético-lógica.

ADC de aproximaciones sucesivas Tipo de convertidor analógico-digital en el que se utilizan un registro paralelo interno y una lógica compleja para llevar a cabo la conversión. El tiempo de conversión para este tipo de convertidor siempre es el mismo, sin importar cual sea el valor de la señal de entrada analógica.

Adquisición de datos. Proceso mediante el cual una computadora adquiere datos analógicos digitalizados.

Antirreflectante. Tratamiento que se aplica sobre la superficie de los cuerpos en los que se desea reducir las pérdidas por reflexión.

Bioconversión. Conversión de la energía solar en energía química a través de un proceso biológico.

Bit. Dígito del sistema binario de numeración.

Bit(s) más significativo(s). Bit(s) que se encuentra(n) en el extremo izquierdo de una cantidad expresada en binario.

Bit(s) menos significativo(s). Bit(s) que se encuentra(n) en el extremo derecho de una cantidad expresada en binario.

Byte. Palabra de ocho bits.

Bus de control. Conjunto de líneas de señal que se emplean para sincronizar las actividades del cpu y los demás elementos periféricos de un sistema de cómputo.

Bus de datos. Líneas bidireccionales que llevan los datos entre el cpu y la memoria y los dispositivos periféricos.

Bus de direcciones. Líneas unidireccionales que llevan las direcciones del cpu hacia la memoria y dispositivos periféricos.

Ciclo de ejecución. Período durante el que la unidad de control de un procesador lleva a cabo la operación especificada por el código de operación obtenido de la memoria.

Código de operación. Parte de una instrucción de computadora que define el tipo de operación que ésta debe ejecutar sobre un dato específico.

Computadora digital. Sistema de circuitos que realiza operaciones aritméticas y lógicas, maneja datos y toma decisiones.

Concentrador solar. Colector solar que enfoca o concentra los rayos solares sobre un absorbente de área menor que la superficie total colectora, logrando de esta forma aumentar la intensidad de la radiación incidente.

Contador de programa. Registro del cpu que guarda la dirección donde se encuentra la siguiente instrucción.

Convertidor analógico-digital. Circuito que convierte una entrada analógica en su correspondiente salida digital.

Cuanto. Unidad elemental de energía.

Digitalización. Proceso mediante el cual una señal analógica es convertida en un dato digital.

Dirección. Número que identifica de manera única la ubicación de una palabra en una memoria.

Escritura. Término utilizado para describir la condición donde el cpu envía datos hacia otro elemento.

Eficiencia de una célula solar. Cociente entre la energía producida por la célula y la energía que incide sobre ella.

Fotón. Cuanto de energía luminosa.

Helióstato. Dispositivo capaz de orientarse automáticamente hacia el sol, o bien capaz de reflejar sus rayos constantemente hacia un mismo punto.

Heliotérmico. Proceso en el cual interviene la radiación solar y la energía térmica

LCD. Dispositivo de visualización de cristal líquido.

Lectura. Término utilizado para describir la condición donde el cpu recibe datos desde otro elemento.

Memoria. Habilidad de la salida de un circuito para permanecer en un estado después de que ha desaparecido la condición de entrada que lo originó.

Memoria de acceso aleatorio (RAM). Memoria en la que el tiempo de acceso a cualquier localidad es el mismo.

Memoria únicamente de lectura (ROM). Dispositivo de memoria diseñado para aplicaciones donde la relación de las operaciones de lectura y las de escritura es muy grande.

Programa. Secuencia de instrucciones codificadas en binario y diseñadas para realizar una tarea con la computadora.

Radiación o energía radiante. Energía que se propaga por medio de ondas electromagnéticas.

Registro. Grupo de flip-flops capaces de almacenar un dato.

Resolución. En un convertidor digital-analógico, el cambio más pequeño que se observa en una salida para un cambio en la entrada digital. También recibe el nombre de tamaño de piso. En un convertidor analógico-digital, la cantidad más pequeña de cambio en la entrada analógica que produce un cambio en la salida digital.

ROM programable y borrable eléctricamente (EEPROM). ROM que puede programarse, borrarse y volverse a programar eléctricamente.

ROM programable y borrable (UV-EPROM). ROM que puede ser programada eléctricamente por el usuario. Se puede borrar, en general con luz ultravioleta, y volverse a programar cuantas veces sea necesario.

Semiconductor. Una clase de materiales cuya resistencia eléctrica está comprendida entre la correspondiente a los conductores y aislantes.

Silicio. El elemento más abundante de la Tierra. Forma parte de la arena y de casi todas las rocas.

Sustrato. Pieza de material semiconductor que forma parte del bloque básico de cualquier circuito integrado.

Tiempo de acceso. En una operación de lectura, tiempo que transcurre entre el momento en que la memoria recibe como entrada una nueva dirección y el instante en que el dato se encuentra disponible en la salida.

Tipo N. Semiconductor impurificado con sustancias de valencia 5, por ejemplo fósforo, arsénico, etc.

Tipo P. Semiconductor impurificado con sustancias de valencia 3, por ejemplo boro.

Transductor. Dispositivo que convierte una variable física en una eléctrica. (Por ejemplo una fotocelda, termocople.)

Transmisión serial. Transferencia de información binaria de un lugar hacia otro un bit a la vez.

Unidad aritmético-lógica (ALU). Circuito digital utilizado en computadoras para efectuar varias operaciones aritméticas y lógicas.

Unidad central de procesamiento (CPU). Parte de una computadora que está compuesta por una unidad aritmético-lógica y una de control.

Unidad de control. Parte de una computadora que se encarga de decodificar las instrucciones de un programa y de proporcionar las señales de temporización necesarias para la ejecución de tales instrucciones.

Unión (en una célula). Una región a través de la cual las propiedades eléctricas del sistema cambian rápidamente; por ejemplo, de tipo P a tipo N.

Bibliografía.

- [GH84] Energía Solar.**
González Hurtado, Julia.
Editorial Alhambra S.A.
España 1984. Segunda Edición
- [C83] La energía solar. Aplicaciones prácticas.**
Censolar.
Editorial Progensa.
España 1983.
- [CH90] La energía solar.**
Covantes, Hugo.
Fondo de Cultura Económica.
México 1990.
- [CNAE] Comisión Nacional para el Ahorro de Energía**
www.conae.gob.mx/er/fotovolt.html.
- Energía Solar Fotovoltaica.**
Marcombo S.A.
Ediciones Orbis.
España 1986.
- Inventos que cambiaron al mundo.**
Selecciones del Reader's Digest.
Editora Mexicana.
México 1985.
- [WJ90] Optoelectrónica.**
Watson, J.
Traducción de Hugo Villagómez Velázquez.
Editorial Limusa.
México 1994.

[W86] Manual del alumbrado.

Westinghouse.

3ª. Edición 2ª. Reimpresión.

Editorial Dossat, S.A.

España 1986.

Gráfica de la pág. 33.

M68HC11 E series Technical Data.

Motorola. Inc.

Motorola. Inc.

U.S.A. 1995.

M68HC11 E Series Programming Reference Guide.

Motorola Inc.

Motorola Inc.

USA 1997

M68HC11 Reference Manual.

Motorola Inc.

Motorola Inc.

USA 1991.

M68HC11 EVBU Evaluation Board User's Manual.

Motorola Inc.

Motorola Inc.

USA 1997. 3rd Revision.

Microcontroller Technology.

Peter Spasov.

Editorial Regent/Prentice Hall.

U.S.A. 1993.

AND Liquid Crystal Display Catalog 1996.

Purdy Electronics Inc.

U.S.A. 1996

Sistemas Digitales.

Ronald J. Tocci.

Quinta Edición.

Editorial Prentice Hall. México 1993.