



**SISTEMA AUTÓNOMO Y PORTÁTIL DE MONITOREO Y ANÁLISIS
DE LA IRRADIANCIA SOLAR PARA ZONAS RURALES O
URBANAS**

**Lis Dayanara Rojas Guzmán
Andrés Felipe Morales Cardoso**

**Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Electrónica
Ibagué, 2019**

SISTEMA AUTÓNOMO Y PORTÁTIL DE MONITOREO Y ANÁLISIS DE LA IRRADIANCIA SOLAR PARA ZONAS RURALES O URBANAS

**Lis Dayanara Rojas Guzmán
Andrés Felipe Morales Cardoso**

Trabajo de grado que se presenta como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero/a Electrónico/a

Director (a):

MSc. William Alexander Londoño Marín
Vicedecano Facultad Ingeniería Universidad de Ibagué

Co-director (a)s:

PhD. Oswaldo López Santos
Profesor Universidad de Ibagué

**Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Electrónica
Ibagué, junio de 2019**



Contenido

Tabla de Figuras	5
Contenido de tablas	7
3. Resumen	8
3.1 Abstract.....	8
4. Capítulo 1: Introducción al proyecto.....	10
4.1 Introducción	10
4.2 Planteamiento del Problema	11
4.3 Justificación del problema	11
4.4 Marco Teórico	14
4.5 Estado del Arte	19
4.6 Objetivos.....	24
4.6.1 Objetivo General.....	24
4.6.2 Objetivos específicos.....	24
4.7 Alcance	25
5. Capítulo 2: Alternativas de Solución	26
5.1 Diagrama de bloques de ejecución del proyecto	26
5.1.1 Metodología del proyecto	26
5.2 Análisis de las Posibles Alternativas de Solución	27
5.3 Alternativa Escogida	28
5.4 Diagrama de Bloques y de Conexiones	39
5.4.1 Diagrama de Bloques del Maestro.....	40
5.4.2 Diagrama de Bloques del Esclavo	41
5.4.3 Diagrama de Conexiones del Maestro.....	41
5.4.4 Diagrama de los Conexiones del Esclavo.....	42
6. Capítulo 3. Diseño y construcción	44
6.1 Sistema de Alimentación.....	45
6.2 Medición de Voltaje del Panel Solar.....	46
6.3 Construcción Prototipo.....	47
6.4 Aplicación móvil	49
6.5 Caracterización del panel.....	51



7. Capítulo 4: Resultados	54
7.1 Datos del monitoreo	54
8. Cronograma de actividades	57
9. Conclusiones y Recomendaciones	58
9.1 Conclusiones	58
9.2 Recomendaciones	59
10. Referencias	60
11. Anexos	63
11.1 Anexo 1. Hoja de datos módulos de RF [19]	63
11.2 Anexo 2. Datasheet Panel Solar [20]	66
11.3 Anexo 3. Datasheet módulo de Micro SD para Arduino [21].....	68
11.4 Anexo 4. Datasheet Pantalla LCD 16x2 con I2C [22]	70
11.5 Anexo 5. Diagrama de bloques módulos de Reloj DS1302 [23]	72
11.6 Anexo 6. Proceso de ensamblaje módulos maestro y esclavos	72
11.7 Anexo 7. Código Maestro	75
11.8 Anexo 8. Código esclavo.....	79
11.9 Anexo 9. Código Android	82
11.10 Anexo 10. Costo del proyecto	83
11.11 Anexo 11. Implementación de estaciones meteorológicas del IDEAM .	83
11.12 Anexo 12. Manual de usuario	84
11.13 Anexo 13. Datos de Monitoreo.....	89
11.14 Anexo 14. Caracterización del Panel Solar	90



1. Tabla de Figuras

Figura 1. Comparación de las energías consumidas entre el 2005 al 2015. Fuente: [3][4]	12
Figura 2. Principales consumidores de la energía solar años 2013 y 2014. Fuente: [5]	13
Figura 3. Tipos de radiación. Fuente: [13]	15
Figura 4. Espectro de irradiancia solar en la tierra. Fuente: [18]	16
Figura 5. Niveles de radiación solar en la zona central de Colombia. Fuente: [7]	17
Figura 6. Niveles de irradiación en el Tolima. Fuente: [7]	17
Figura 7. Promedio mensual de radiación global en Ibagué. Fuente: [7]	18
Figura 8. Puntos del IDEAM en la ciudad de Ibagué. Fuente: [7]	18
Figura 9. Sistema de monitoreo de radiación solar. Fuente: [14]	20
Figura 10. Sistema Enarsol. Fuente: [9]	21
Figura 11. Estación solar en Nigeria. Fuente: [10]	21
Figura 12. Montaje realizado para la elaboración de curvas I-V del fotodiodo. Fuente: [29]	22
Figura 13. Curvas de radiación solar medidas con el piranómetro patrón (PSP y el piranómetro fotovoltaico construido. Fuente: [29]	23
Figura 14. Componentes del solarímetro casero. Fuente: [30]	23
Figura 15. Diagrama de bloques de etapas de ejecución. Fuente: Autores	26
Figura 16. Módulo transmisor de frecuencia referencia (FS1000A). Fuente: [31]	33
Figura 17. Modulo receptor de frecuencia referencia (XY-RF-5V). Fuente: [31]	33
Figura 18. Diagrama de flujo ilustrativo del proceso del sistema de monitoreo. Fuente: Autores	35
Figura 19. Panel solar Ada Fruit Medium 6V 2W. Fuente: [20]	37
Figura 20. Esquema general del sistema de monitoreo. Fuente: Autores	40
Figura 21. Diagrama de Bloques del Maestro. Fuente: Autores	40
Figura 22. Diagrama de Bloques del Esclavo. Fuente: Autores	41
Figura 23. Diagrama de conexiones del maestro. Fuente: Autores	42
Figura 24. Diagrama de conexiones del módulo esclavo. Fuente: Autores	43
Figura 25. Diseño de estructura física para módulos maestro y esclavos, Fuente: Autores	44
Figura 26. Divisor de Voltaje. Fuente: Autores	47
Figura 27. Diseño PCB modulo maestro Tomado de diseño realizado en el programa Fritzing. Fuente: Autores	48
Figura 28. Diseño PCB módulo esclavo Tomado de diseño realizado en el programa Fritzing. Fuente: Autores	49
Figura 29. Proceso diseño de interfaz en Android Studio. Fuente: Autores	50
Figura 30. Interfaz en el dispositivo Android para el ingreso de los datos en la aplicación. Fuente: Autores	51
Figura 31. Punto máximo de potencia del Panel solar V vs I. Fuente: [24]	52
Figura 32. Caracterización del panel. Fuente: Autores	53
Figura 33. Gráfica comparativa entre las medidas realizadas y los valores aproximados. Fuente: Autores	55
Figura 34. Monitoreo Esclavo 1. Fuente: Autores	56



Figura 35. Monitoreo Esclavo 2. Fuente: Autores.	56
Figura 36. Diagrama de la LCD. Fuente: [22].	71
Figura 37. Diagrama de Bloques del Módulo de Reloj DS 1302. Fuente: [23]	72
Figura 38. Proceso quema de circuitos PCB. Fuente: Autores.	72
Figura 39. Proceso ensamble módulos y dispositivos electrónicos. Fuente: Autores.	73
Figura 40. Pruebas de funcionamiento módulos. Fuente: Autores.	73
Figura 41. Interior del módulo esclavo con sistemas de alimentación, comunicación, microcontrolador y panel solar implementado. Fuente: Autores.	74
Figura 42. Dispositivo Maestro. Fuente: Autores.	84
Figura 43. Dispositivo Esclavo. Fuente: Autores.	84
Figura 44. LCD Esclavo 1. Fuente: Autores.	85
Figura 45. LCD Maestro. Fuente: Autores.	85
Figura 46. Ubicación interruptor. Fuente: Autores.	86
Figura 47. Memoria SD. Fuente: Autores.	86
Figura 48. Ubicación Batería. Fuente: Autores.	87
Figura 49. App para el cálculo del número de paneles.	88



2. Contenido de tablas

Tabla 1. Comparación de Microcontroladores. Fuente: Autores.	29
Tabla 2. Tabla de Comparación de Arduinos. Fuente: Autores.	31
Tabla 3. Comparación Sistemas de Comunicación. Fuente: Autores.....	32
Tabla 4. Comparación de los Sensores de Irradiancia. Fuente: Autores.	36
Tabla 5. Conexiones del Módulo Micro SD de Arduino. Fuente: Autores.	38
Tabla 6. Consumo de Potencia del Sistema. Fuente: Autores.....	39
Tabla 7. Consumo total de potencia del módulo maestro del sistema de monitoreo. Fuente: Autores.....	45
Tabla 8. Consumo total de potencia de módulos esclavos del sistema de monitoreo. Fuente: Autores.....	45
Tabla 9. Comparación datos Experimentales. Fuente: Autores.	54
Tabla 10. Cronograma del proyecto	57
Tabla 11. Costo del proyecto	83
Tabla 12. Datos de Monitoreo	89
Tabla 13. Caracterización del Panel Solar	90



3. Resumen

Actualmente en Colombia, la información sobre los parámetros ambientales es suministrada por dos instituciones líderes en el país, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM y la Unidad de Planeación Minero-Energética UPME; a nivel regional se presenta información sobre alertas por cambios climáticos y específicamente en Ibagué se presentan los valores de temperaturas máximas, mínimas, niveles de evaporación, humedad, brillo del sol y precipitación, a los cuales puede accederse mediante las páginas web oficiales o por medio de solicitudes de datos vía correo electrónico. Sin embargo, en las estaciones de monitoreo que el IDEAM tiene implementadas en la ciudad de Ibagué, no se realizan mediciones con respecto a la radiación solar o los cambios que pueda llegar a tener ésta en relación con variaciones climáticas, efectos naturales como nubosidades, sombras o alguna otra perturbación que pueda afectarla. Esto último hace que surja la necesidad de tener un dispositivo o sistema que sea capaz de realizar este monitoreo que permita conocer los valores de radiación solar en diferentes momentos del día; datos que resultan significativamente importantes para el desarrollo de otras prácticas en áreas como la agricultura, la ingeniería o la investigación en distintas ramas como la medicina para la prevención de enfermedades por efectos de radiación solar como, por ejemplo, el cáncer de piel.

En este trabajo se presenta el proceso de diseño e implementación de un sistema capaz de medir y monitorear la radiación solar mediante una topología maestro-esclavo, la cual mediante una comunicación bidireccional, permite conocer los valores de radiación solar de una zona ya sea urbana o rural, y posteriormente se presentan los resultados de medición obtenidos.

Palabras clave: radiación solar, sistema de monitoreo, topología maestro-esclavo, irradiancia

3.1 Abstract

Currently in Colombia, information on environmental parameters is provided by two leading institutions in the country, the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies IDEAM and the UPME Mining-Energy Planning Unit; at the regional level information on climate change alerts is presented and specifically in Ibagué the maximum and minimum temperature values are presented, evaporation, humidity, sun gloss and precipitation, which can be accessed through official websites or through requests data via email. However, in the monitoring stations that IDEAM has implemented in the city of Ibagué, no measurements are made with respect to solar radiation or changes that it may have in relation to climatic variations, natural effects such as clouds, shadows or some other disturbance that may affect it. The latter causes the need to have a device or system that it is able to perform this monitoring that allows to know the solar radiation values at different times of the day; significantly important for the development of other practices in areas such as



agriculture, engineering or research in different branches such as medicine for the prevention of diseases by solar radiation effects such as skin cancer.

This work presents the process of designing and implementing a system capable of measuring and monitoring solar radiation using a topology master-slave, which, through two-way communication, allows to know the solar radiation values of an area either urban or rural, and then the measurement results obtained are presented.

Keywords: solar radiation, monitoring system, master-slave topology, irradiance.



4. Capítulo 1: Introducción al proyecto

4.1 Introducción

Este proyecto se desarrolla a partir de los cuestionamientos e inquietudes que surgen de la investigación sobre los efectos de la radiación solar en ramas de la ingeniería, la agricultura, la medicina o la investigación. Por ejemplo, el conocimiento de los niveles de radiación incidente sobre un cultivo, permiten perfeccionar las técnicas de sembrado o realizar acciones pertinentes tales como la interrupción de la incidencia directa de la luz solar o la realización de riegos en horas más exactas, por lo que cada agricultor debería tener conocimientos sobre las cantidades de sombra y luz solar requeridas por cada especie, y la cantidad de estas ofrecida por el área en la que se desee cultivar. Por otra parte, los niveles de radiación que hoy en día inciden sobre el cuerpo humano son materia de investigación para la prevención de enfermedades como el cáncer de piel. Todo lo anterior se relaciona entonces con un sistema que sea capaz de medir y monitorear esta radiación solar y hacer que estos valores sean herramientas confiables para el desarrollo de otras áreas relacionadas con la energía solar.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, el presente proyecto expone el diseño e implementación de un sistema de monitoreo con una topología maestro-esclavo que permite la expansión del número de los módulos esclavos, es decir, se permite aumentar o disminuir el número de estos módulos dependiendo de las necesidades de monitoreo. El sistema realizará varias mediciones al día mediante los módulos esclavos que darán a conocer las variaciones de la radiación solar que pueden ser producidas por efectos de nubosidad, obstáculos u otras perturbaciones que generen algún tipo de sombreado sobre un panel solar.

Además, el sistema brindará la posibilidad de calcular con exactitud la cantidad de paneles según la potencia y la radiación en la zona monitoreada. De esta manera se permite una interfaz más intuitiva y no tan técnica entre el usuario y el dimensionamiento de un arreglo fotovoltaico, lo que genera versatilidad, economía y aumento en el uso de la energía solar por la accesibilidad a herramientas que permitan el aprovechamiento de la misma, lo cual se espera con el desarrollo de este aplicativo móvil.

Este documento presenta el desarrollo del proyecto organizado en cuatro capítulos. El primero hace referencia a la introducción del proyecto y en él se presentan la introducción, la bibliografía, el estado del arte y se enumeran los objetivos tanto general, como específicos. En el segundo capítulo se exponen las alternativas de solución para el diseño e implementación adecuada del dispositivo, el análisis de cada una de ellas, haciendo énfasis en la escogencia del microcontrolador, el diseño del sistema de comunicación, alimentación y almacenamiento. Por su parte el tercer capítulo detalla la alternativa escogida y presenta precisamente las decisiones tomadas acerca de los sistemas ya mencionados anteriormente. Por último, en el cuarto capítulo se muestran los resultados obtenidos de la construcción del sistema



de monitoreo, así como las pruebas de funcionamiento y los datos de radiación solar adquiridos.

4.2 Planteamiento del Problema

Al investigar sobre qué tan asequibles y económicos son los dispositivos para medir y monitorear la radiación solar, se encuentra con la necesidad de tener en Colombia, específicamente en Ibagué-Tolima, un equipo versátil, autónomo, económico e intuitivo para su manejo, que permita monitorear la radiación solar ya que la medida de esta variable resulta ser de suma importancia para el desarrollo más eficiente de áreas como la agronomía, la ingeniería o la investigación. De esta manera se plantea una pregunta investigativa que permita dar un punto de partida para el desarrollo y la implementación de este dispositivo.

¿Es posible encontrar datos de niveles de radiación solar de un lugar específico en el departamento del Tolima?, y si no, ¿Es posible desarrollar un sistema versátil, de fácil manejo y económico, que realice la medición, análisis y monitoreo de la radiación solar?

4.3 Justificación del problema

El petróleo ha sido por muchos años la fuente de energía más utilizada por los humanos para suplir sus necesidades de producción de energía eléctrica, combustibles u extracción de otras materias primas. Sin embargo, para nadie es un secreto que a el petróleo le queda poco tiempo, la reservas mundiales cada vez son más pequeñas y el consumo de este material producido por la naturaleza ha aumentado a través de los años de manera descomunal, para la fecha el valor del barril de petróleo aumentó a 66 dólares [1]. Se estima que quedan alrededor de 1.707 billones de barriles de petróleo extraíble que proporcionarían un abasto para aproximadamente unos 50 años, esto si el consumo actual se mantiene igual durante medio siglo, algo que no parece muy cerca a la realidad. Cabe resaltar que aún queda más petróleo pero este se encuentra en depósitos que hasta el momento no son extraíbles [2].

Por ello lo más viable para el planeta, el medio ambiente y la humanidad es empezar a hacer una transición a las energías renovables y con ello dejar de depender de un suministro finito y supremamente contaminante, como lo es el petróleo. Pero ¿Cómo se encuentra el panorama energético a nivel mundial? Para las energías renovables el panorama es favorable, ya que cada día son más aceptadas y estudiadas. Según World Economic Forum el rendimiento de la arquitectura energética mundial del 2017 clasificaba a 127 países con capacidad de producir energía segura, asequible para la población y de recursos sostenibles [3].

A nivel mundial el petróleo se mantiene en el primer puesto de los combustibles más usados, cubriendo un tercio de la demanda mundial, seguido del carbón. En el tercer



puesto se posiciona el gas, pero ¿Como se encuentran posicionadas las energías renovables? Según el gráfico entregado por World Energy Council[3][4] que se presenta en la figura 1, se puede determinar que la energía eólica, solar y otras, abastecen una pequeña parte del consumo mundial y se ha visto un incremento pequeño del consumo de estas y un decremento del uso del petróleo. Aun así, como se habló previamente, se debe buscar un cambio del consumo de energía, pero este cambio debe ser progresivo y transitorio.

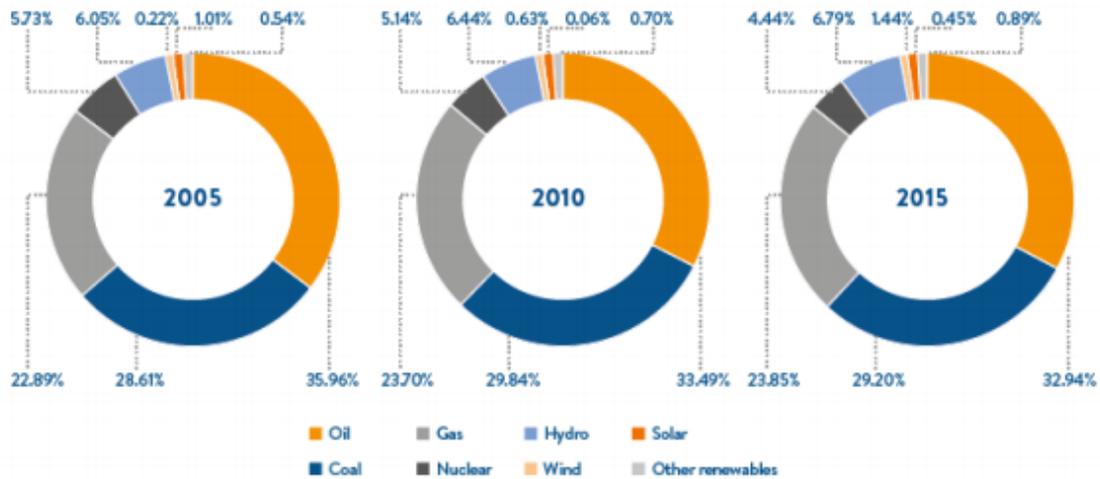


Figura 1. Comparación de las energías consumidas entre el 2005 al 2015. Fuente: [3][4]

Analizando, por ejemplo, la producción de energía solar del año 2014, se tiene que el incremento de la misma fue del 38% a nivel mundial, pues se consumieron alrededor de 185,9 TWh con 51,4 TWh más que en el año 2013, donde Alemania estaba a la cabeza con una producción del 19% que representan unos 35,24 TWh del total mundial de Watts producidos con este tipo de energía. Para este mismo año, China se posicionaba en segundo lugar de producción con 29,1 TWh, que representa el 16% a nivel mundial, y por último, en tercer lugar se situaba Italia con el 11% de producción representado en unos 23,7 TWh para el mismo año [5]. En el gráfico mostrado en la figura dos, se ven representados las principales ciudades consumidoras de energía solar durante los años 2013 y 2014.

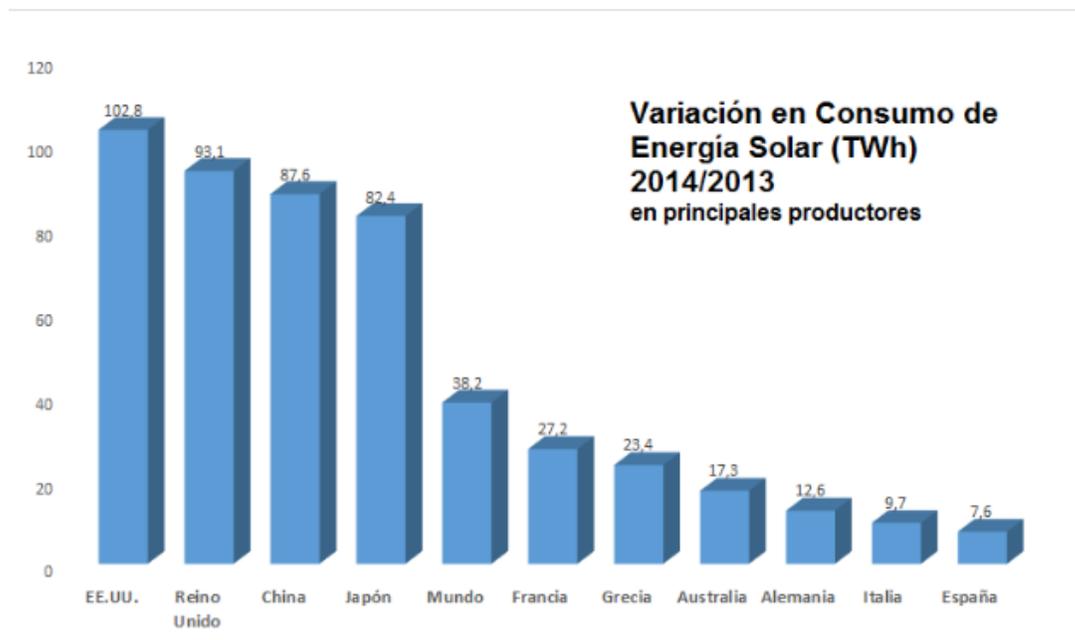


Figura 2. Principales consumidores de la energía solar años 2013 y 2014. Fuente: [5]

En la figura 2 se muestran los principales productores de energía solar, Estados Unidos está en el primer lugar de los países que incrementaron su producción de este tipo de energía con un 102,8%, seguido por el Reino Unido con un 93,1% y muy cerca se encuentran China y Japón que también tuvieron una fuerte alza en la producción de energía solar. Además, se puede determinar que hace ya un tiempo este tipo de energía se vuelve cada vez más popular a nivel mundial y con tecnologías cada vez más eficientes, por lo que no es de extrañar que este se convierta en uno de los métodos más populares de producción de energía [6].

Ahora haciendo énfasis en la producción y el consumo de energía solar en Colombia, se puede evidenciar según la Unidad de Planeación Minero Energética UPME, que el número de proyectos o iniciativas radicadas para generar energía ha incrementado y 9 de cada 10 propuestas tienen como principal tecnología productora de energía, los paneles solares [25]. Además de esto, se espera que para el 2030 el 10% de la energía que consumen los colombianos sea abastecida por módulos o arreglos fotovoltaicos [25].

Cabe resaltar que Colombia por su ubicación geográfica en la tierra cuenta con hasta 8 horas de brillo solar diarias, lo cual en este caso resulta ser un dato beneficioso para el desarrollo de este proyecto pues comparado, por ejemplo, con Alemania que diariamente tiene un promedio de 3 horas de brillo solar, se encuentra que podría tenerse un mayor aprovechamiento por la cantidad de tiempo en el que diariamente se expone el sol. Según la investigación realizada por la Universidad Santo Tomás "La energía solar fotovoltaica en Colombia: potenciales, antecedentes



y perspectivas”, se tiene que Colombia presenta un nivel de radiación solar promedio de 4,5 kWh/m² al año, dato que también puede corroborarse en el sitio web del IDEAM, el cual supera el valor promedio mundial de 3,9 kWh/m²/d [26].

Como se puede ver, las energías alternativas y puntualmente la energía solar, están en su auge de expansión y los niveles de aceptación de las tecnologías para la producción de estas energías están en constante crecimiento.

Como se mencionaba anteriormente, la información que actualmente se encuentra acerca de niveles de radiación solar en Colombia, está suministrada por el IDEAM quien presenta datos entregados en diferentes rangos de medida, y posiciona dentro de estos a los principales departamentos y ciudades del país [7], pero ¿es posible encontrar datos de niveles de radiación de algún municipio o un lugar más específico? Y si no, ¿se tiene la posibilidad de acceder fácilmente a un dispositivo que mida esta variable? Por medio de este proyecto se quiere lograr dar una respuesta positiva a estos interrogantes, teniendo en cuenta que el conocimiento preciso de la radiación solar que incide sobre una superficie terrestre es de suma importancia para una variedad de aplicaciones en áreas como la medicina, la agricultura, la ingeniería o la investigación, y además de esto, se encuentra que no hay suficientes fuentes bibliográficas que demuestren que en Colombia se estudia a fondo la radiación solar.

4.4 Marco Teórico

La luz solar produce una radiación electromagnética hacia la tierra que es conocida como irradiancia. Ésta se denota con la letra I y se mide en W/m^2 , pero cuando la irradiancia se mide solo en un intervalo de tiempo, recibe el nombre de radiación (Wh/m^2). La correcta medición de esta irradiancia es de vital importancia pues se logra un mejor aprovechamiento de la energía solar que incide sobre la superficie terrestre, que es 10.000 veces mayor a toda la energía que consume actualmente la población humana [13].

Existen dentro de este término diferentes variaciones de la radiación, tales como la radiación solar directa, la radiación solar difusa, la radiación reflejada y la radiación solar global. La diferencia básica entre ellas es la manera en que los rayos del sol inciden sobre la tierra, como se representa en la figura 3. La radiación solar directa es aquella en la que los rayos del sol inciden de forma más fuerte y sin obstáculos a la tierra o el instrumento a radiar. Por ejemplo, en épocas en donde el sol se encuentra iluminando más como en el verano, hay radiación directa comparada con la radiación en la época de invierno. En esta última, los rayos del sol se dispersan en cierto momento cuando atraviesan nubes o sombras, esto es lo que se conoce como la radiación difusa. Por otra parte, la radiación reflejada es aquella en la que, como su nombre lo indica, los rayos del sol llegan hasta el suelo y se reflejan hasta el elemento a radiar. A su vez, la radiación global es el tipo de unión entre la radiación directa, la difusa y la reflejada.



Figura 3. Tipos de radiación. Fuente: [13]

La radiación solar como se mencionaba anteriormente se puede medir de tres maneras diferentes dependiendo de la manera en la que inciden los rayos del sol y como se posicione el instrumento de medida. Por ejemplo, si se desea medir la radiación que se recibe directamente desde los rayos del sol, se utiliza un sensor denominado pirheliómetro. Por otra parte, si se quiere medir la radiación que se obtiene reflejada desde la atmosfera, se utiliza un piranómetro que usa una banda sombreadora que elimina la componente directa, y es la que conocemos como radiación difusa. Así mismo, al realizar la medición de estas dos componentes juntas, se obtiene la medición de la radiación solar global que se hace mediante un sensor llamado piranómetro. Es por esto que resulta importante el punto o la forma en cómo se ponga un sensor, puesto que, dependiendo del ángulo de medida, se obtendrán diferentes datos de radiación y se interpretan de diferente manera.

La irradiancia varía dependiendo de la zona y la hora del día en la que se analice por la posición en la que se encuentra el sol irradiando a la tierra, por eso la Organización Meteorológica Mundial (WMO), define esta variación de la radiación entre un punto máximo y mínimo anualmente como Constante Solar. Esta organización recomienda poner a esta constante un valor de 1367 W/m^2 [16].

Mediante consideraciones teóricas en estudios de la WMO, se pudo llegar a una expresión aproximada para calcular esa variación de la cantidad de energía solar por unidad de área en un punto exacto de la atmosfera de la tierra.

$$dG = I_o \cdot \varepsilon \cdot \cos\theta_z dt$$

Donde:

I_o = Constante Solar (unidades de potencia por unidad de área).

ε = Factor de corrección (modulación) debido a la excentricidad de la órbita terrestre.

θ_z = Ángulo cenital (ángulo de observación del Sol) [16]

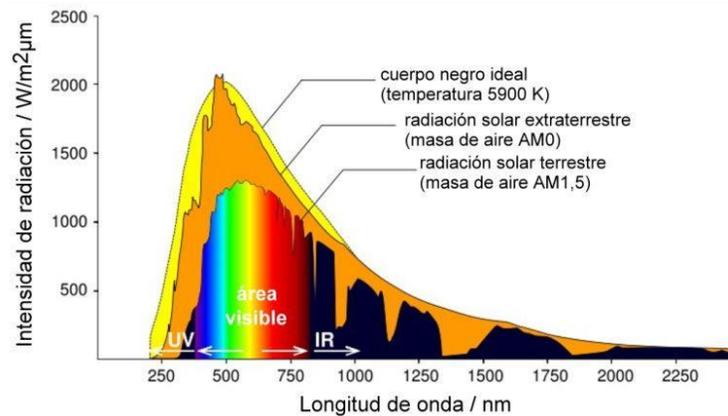


Figura 4. Espectro de irradiancia solar en la tierra. Fuente: [18]

En la figura 4 se muestra el espectro de la radiación solar en el universo, en la parte amarilla se puede ver el nivel de irradiancia ideal en el cuerpo negro, la parte naranja, es la irradiancia en la parte extraterrestre, los colores hacen referencia al espectro visible de la luz, es decir que en este espacio se encuentra la irradiancia solar en la tierra y va disminuyendo de izquierda a derecha, en donde se encuentra la irradiancia a nivel de mar. La banda de frecuencia se proporciona en estas partes con ciertos porcentajes según la radiación solar que incide en cada una de las regiones así: Ultravioleta: 7% Luz visible: 43% Infrarrojo: 49% El resto: 1% [12].

En Colombia actualmente el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) se encarga de estudiar, medir y dar a conocer los principales indicadores ambientales como el nivel de brillo solar, humedad, irradiancia, entre otros. La Unidad de Planeación Minero Energética se encarga principalmente de dar información sobre mapas de brillo solar mensual en Colombia. Estos institutos hacen parte de los centros oficiales del Gobierno de Colombia y del Ministerio de Ambiente encargadas de entregar esta información ambiental.

Según los estudios y mediciones que ha realizado el IDEAM, Colombia se encuentra en un rango de irradiación entre $1,5 \text{ KWh/m}^2$ y 6 KWh/m^2 , en donde los niveles más altos se encuentran en las zonas costeras del Mar Caribe como Cartagena, Santa Marta, Valledupar, Riohacha y La Guajira, tal como se puede observar en el mapa de calor representado en la figura 5. En el departamento del Tolima, la irradiación varía dependiendo de la zona, pero generalmente se encuentra entre 4 KWh/m^2 y $5,5 \text{ KWh/m}^2$ [7], como se muestra en la figura 6.

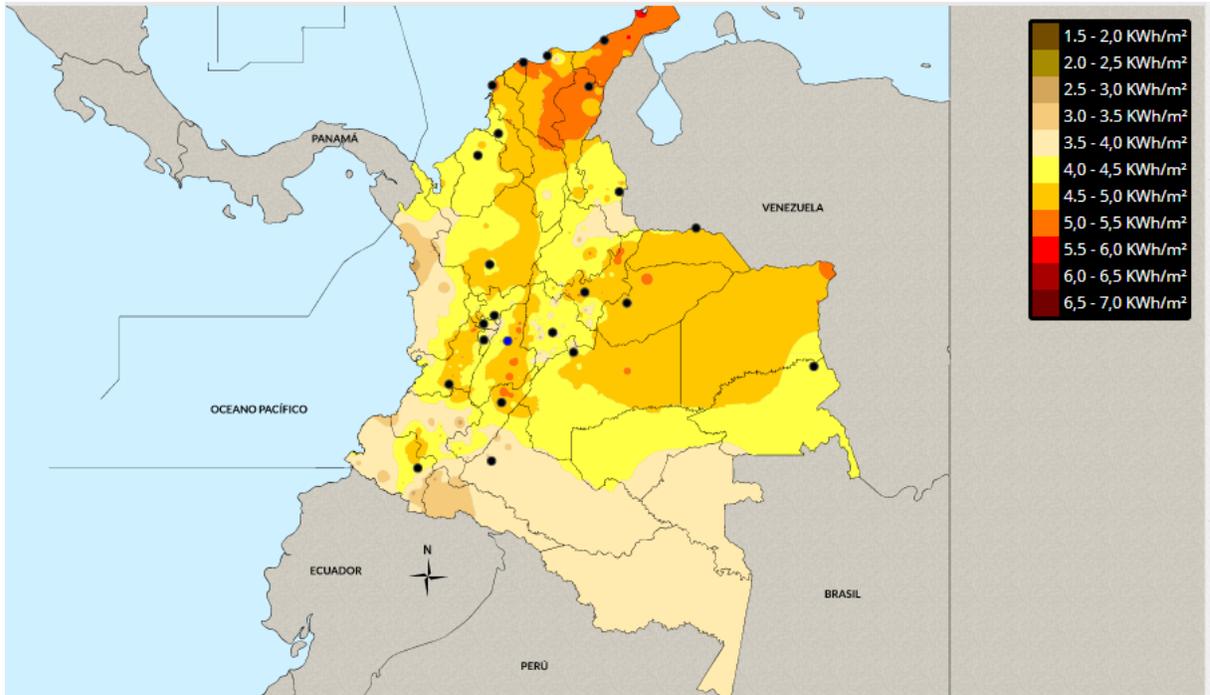


Figura 5. Niveles de radiación solar en la zona central de Colombia. Fuente: [7]

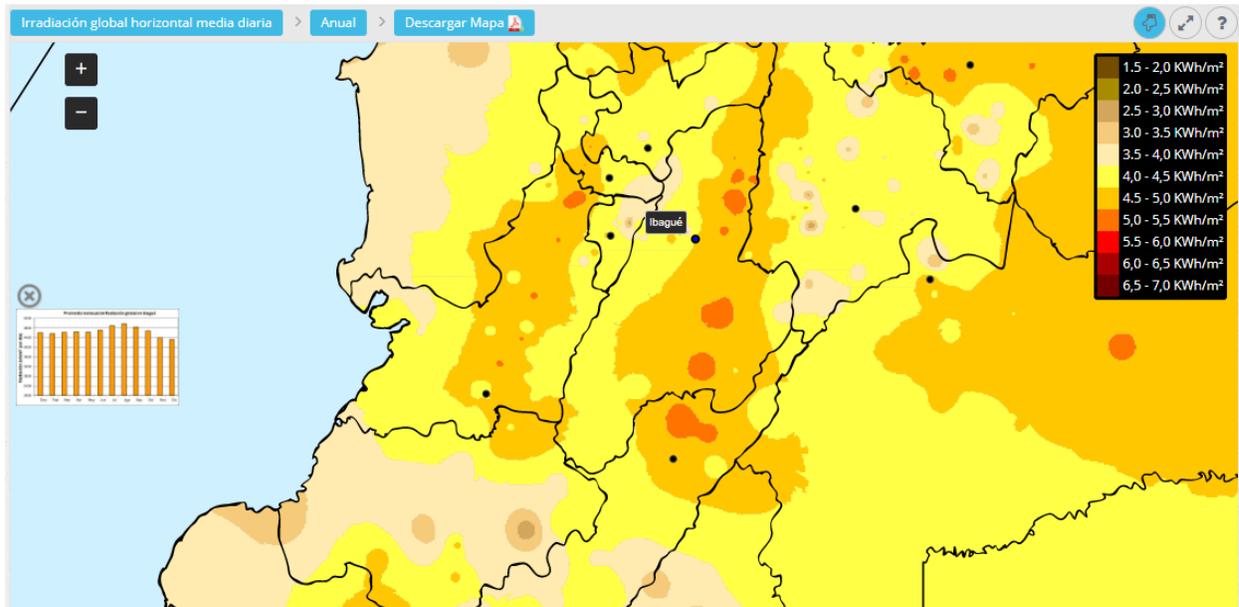


Figura 6. Niveles de irradiación en el Tolima. Fuente: [7]

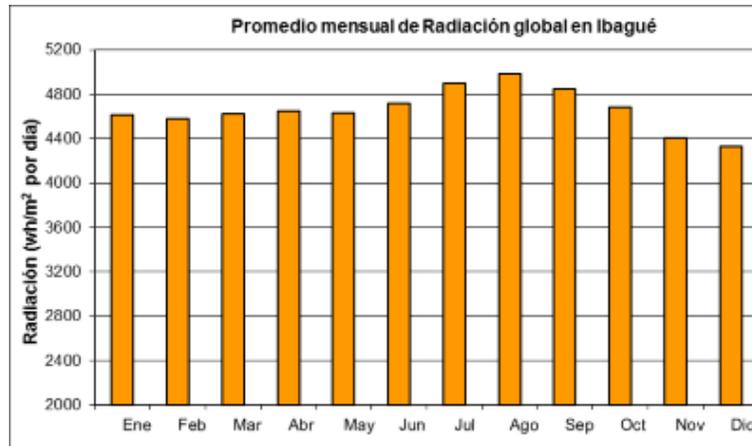


Figura 7. Promedio mensual de radiación global en Ibagué. Fuente: [7]

En el Atlas del IDEAM se presenta información sobre los niveles típicos de radiación solar en la zona central de Colombia. Como se puede observar en la figura 7, Ibagué presenta en promedio una radiación global mensual de 4,5 KWh/m². El punto máximo de radiación en Ibagué es en el mes de agosto con 5 KWh/m², y el mínimo en el mes de diciembre con aproximadamente 4,3 KWh/m².

En Ibagué, el IDEAM ha realizado mediciones de los niveles de radiación global mensual y cuenta con tres puntos meteorológicos ubicados en la zona del Aeropuerto Perales y la Cruz Roja Colombiana, los cuales se muestran en la figura ocho y miden variables como precipitación, brillo solar, entre otros. A pesar de esto, no se encuentra información detallada sobre los niveles de radiación global diaria en Ibagué y tampoco se cuenta con un mapa solar específico de la ciudad.

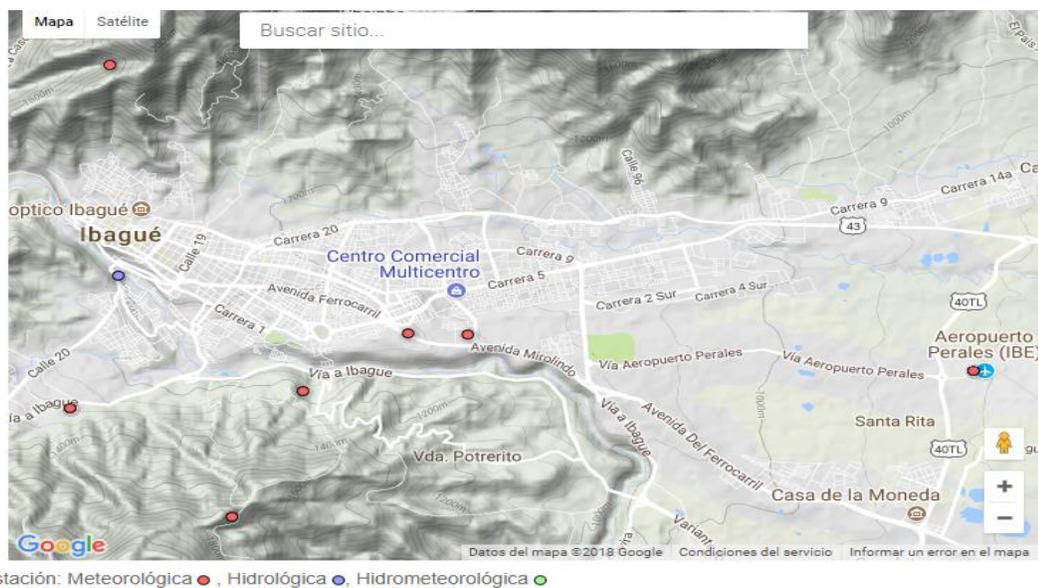


Figura 8. Puntos del IDEAM en la ciudad de Ibagué. Fuente: [7]



Cabe resaltar que estas estaciones meteorológicas cuentan con sensores que miden variables climáticas como la humedad, temperatura, niveles de agua y algunas miden las componentes del sol como los rayos UV o infrarrojos. Como se puede observar en la figura 8, Ibagué cuenta con pocas estaciones meteorológicas dentro del casco urbano, en sectores aledaños existen otros puntos de medición, pero en este caso no son de ayuda debido a que el estudio se realizará al interior de la ciudad.

El diseño de un arreglo fotovoltaico requiere del conocimiento de la potencia de carga, es decir, la potencia que consumen los dispositivos que van a ser alimentados. Esto es necesario ya que los paneles solares varían dependiendo de sus características técnicas como, por ejemplo, el voltaje, la corriente y la potencia que puedan generar; de esta manera si se desean utilizar módulos de mayor capacidad de potencia se esperaría entonces que el número de módulos sea menor y se aumente la efectividad del sistema. Teniendo en cuenta esto, la potencia de carga se halla realizando una lista de las potencias que consumen los dispositivos que vayan a ser alimentados con la energía solar obtenida por los paneles. Además de esto, también es de vital importancia tener conocimiento de la que sería la ubicación de los módulos, para corroborar que sea un espacio adecuado, con buena incidencia de los rayos solares y sin perturbaciones como sombras por arboles u otras condiciones del ambiente.

4.5 Estado del Arte

El estudio de la irradiancia solar comienza desde hace siglos cuando se partió estudiando el efecto fotovoltaico. El físico francés Edmound Becquerel en 1839, descubrió por primera vez este efecto al ver que había algunos materiales que producían corriente eléctrica cuando eran expuestos al sol. Cinco años más tarde en 1844 Willoughby Smith descubrió el efecto fotovoltaico en cuerpos sólidos y W. G. Adams y R.E. Day produjeron la primera célula fotovoltaica de selenio. A pesar de esto, este efecto no fue explicado teóricamente sino hasta principios del siglo XX cuando Einstein con ayuda de los estudios previos sobre cuantos de energía formulados por Max Planck. Posteriormente en 1955 y 1975 se crean las primeras empresas que comercializaban en ese entonces las células basadas en semiconductores de silicio para aplicaciones destinadas principalmente al ámbito espacial o militar. Estas células eran de muy bajo rendimiento alrededor del 10% y su costo kW/h muy elevado. Luego de varios años, la tecnología fotovoltaica se fortaleció mucho y fue cuando se empezó a aplicar en la industria y poco a poco en aplicaciones domésticas. En 1980 la producción de paneles fotovoltaicos fue de 1500 kW anuales y en 2007 de más de 2000 MW [14].

La mayoría de los sistemas desarrollados para hacer mediciones de radiación solar global utilizan un tipo de sensores denominados piranómetros. En algunas ocasiones estos sistemas también utilizan otro tipo instrumentos especiales para medir la energía que tiene la luz en sus diferentes espectros, esto debido a que la radiación se distribuye en distintos porcentajes dependiendo del ancho de banda



que tenga la onda [14]. Un ejemplo de un sistema de monitoreo se puede observar en la figura 9. En este, el encargado de hacer la medida de radiación solar es un piranómetro que es cubierto por una banda rotatoria, lo que permite hacer la medición de la radiación solar difusa al eliminar la componente de luz directa sobre el sensor.

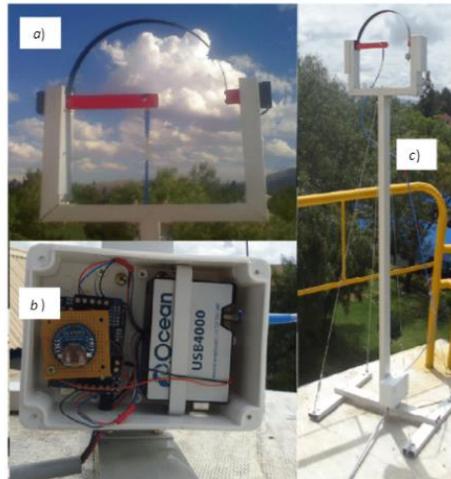


Figura 9. Sistema de monitoreo de radiación solar. Fuente: [14].

- **Red para medir la radiación solar y convertirla en electricidad para el campo**

Enarsol es una red que consta de 30 estaciones que miden la radiación del sol en tiempo real. Este proyecto elaborado por INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), la empresa Y-TEC, el Conicet (El Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas) y la Universidad Nacional de Luján (UNLu) en Argentina, tiene como objetivo abastecer con sistemas fotovoltaicos y utilizando la energía solar, a las comunidades rurales aledañas a esta población que no cuentan con acceso a la red eléctrica. Está elaborado con sensores de radiación que siguen la posición del sol y toman datos que son almacenados para posteriormente ser analizados y utilizados para generar los sistemas fotovoltaicos.

Actualmente se encuentran diferentes puntos instalados de este sistema en ciudades como Buenos Aires, Entre Ríos, Córdoba, Río Negro, Corrientes y Misiones, uno de estos se muestra en la figura 10 [9].



Figura 10. Sistema Enarsol. Fuente: [9]

- **Estación solar en Nigeria**

Dentro del marco de la instalación del parque solar de 50MW en Nigeria, se instaló en febrero del año 2016 la estación de medición solar que entrega parámetros como radiación solar, la velocidad del viento entre otras. Para medir la radiación solar esta estación cuenta con un Piranómetro Thies, por otra parte, un anemómetro NRG Max 40, con calibración MEASNET que permite conocer las velocidades medias del viento y se tiene en cuenta debido a que estas afectan las pérdidas por temperatura de los paneles solares. También dentro de la estación solar se encuentra un termo higrómetro Galtec KPC para conocer datos de temperatura y humedad [10]. En la figura 11 puede observarse la instalación de esta estación meteorológica.



Figura 11. Estación solar en Nigeria. Fuente: [10].



Los datos tomados de radiación solar en esta estación se guardan en internet gracias a la conexión con un modem que permite enviar los datos a la red y accederlos remotamente. Además, la estación está alimentada por un panel solar que permite que sea autónoma y portátil [10].

- **Diseño y construcción de un medidor de radiación solar**

Dentro de los grupos de investigación GIAUD (Grupo de Investigación en Energías Alternativas) y CEM (Compatibilidad Electromagnética) de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas de Bogotá, Colombia, se realizó en el año 2007 el desarrollo de un medidor de radiación solar compuesto por un Sistema integrado por un fotodiodo PIN OP910W de silicio comercial, con el fin de permitir la calibración de un sensor piranómetro de tipo PSP capaz de medir la radiación solar.

El sistema se realizó basado en las características sensibles que tienen los fotodiodos a los cambios de temperatura, es por esto se tuvieron en cuenta la corriente de corto circuito y el voltaje de circuito abierto cuando el fotodiodo es iluminado con una radiación constante y se varía gradual y controladamente la temperatura. El montaje se realizó en una caja negra con una luz incandescente para realizar las medidas con el fotodiodo, como se muestra en la figura 12. Este sistema busca hacer la comparación entre las medidas del sistema construido basado en el fotodiodo y las medidas tomadas por sensor especializado, y así lograr definir si es posible construir un sistema medidor de radiación solar que disminuya los costos de uno convencional que use sensores [29].



Figura 12. Montaje realizado para la elaboración de curvas I-V del fotodiodo. Fuente: [29].

En la figura 13 se pueden ver las curvas resultantes de los datos tomados con el sistema construido a base del fotodiodo y el piranómetro, de donde los grupos investigativos pudieron concluir que el sistema diseñado e implementado resulto ser eficiente y que la respuesta fue la esperada, de esta manera se logró conseguir un dispositivo eficaz y económico para medir la radiación solar sin hacer uso de sensores industriales.

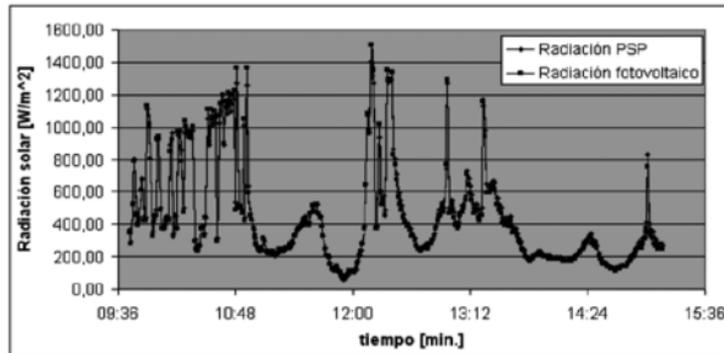


Figura 13. Curvas de radiación solar medidas con el piranómetro patrón (PSP y el piranómetro fotovoltaico construido. Fuente: [29].

- **Estimación de la radiación solar con solarímetro casero**

Un estudio realizado en el año 2003 en Lima, Perú por la Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento Básico del Área Rural y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, demostró la manera de realizar una medida de radiación solar utilizando un solarímetro casero, que básicamente consiste en un cuerpo opaco hueco, lleno de agua, que en uno de sus extremos cuenta con un termómetro, además el cuerpo es sostenido en el interior de una capsula transparente para así eliminar la influencia del viento, tal como se muestra en la figura 14 [30].

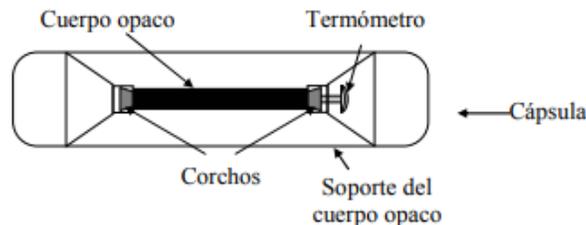


Figura 14. Componentes del solarímetro casero. Fuente: [30]

Este solarímetro casero está diseñado para medir la radiación solar total, en plano horizontal, plano inclinado o plano perpendicular a los rayos solares, todas tiene diferentes aplicaciones. Este instrumento se basa en medir el tiempo que demanda un incremento de la temperatura y los datos son ingresados en una ecuación denominada “ecuación del solarímetro” para obtener el valor de radiación solar.4

$$R = \frac{J \times \Delta T}{t}$$

En donde:

R: Radiación solar (W/m²)

J: Constante del solarímetro (Se define con ayuda de un solarímetro patrón Haeni Solar 130)



ΔT : Delta de temperatura en °C del agua después de tiempo “t” de exposición

T: Tiempo de exposición en segundos [30]

De esta manera, el solarímetro debe llenarse con 62ml de agua destilada, ubicarse según la ubicación del plano deseada, exponer el solarímetro al sol y esperar a que el agua alcance la temperatura del aire ambiental, este tiempo de espera debe ser medido y luego introducido en la ecuación del solarímetro para así conocer el valor de la radiación solar [30].

4.6 Objetivos

4.6.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema de monitoreo basado en una topología maestro-esclavo que realice varias mediciones de radiación solar sobre una zona específica, con el fin de recopilar diferentes datos del área y así tener en cuenta los efectos de nubosidad, sombreado o alguna otra perturbación para posteriormente determinar el sistema fotovoltaico requerido en esta zona según los niveles de radiación medidos.

4.6.2 Objetivos específicos

- Estudiar las diferentes arquitecturas que puedan ser usadas en el sistema planteado. - Ambos estudiantes.
- Diseñar el circuito electrónico que mediante una arquitectura maestro-esclavo permita establecer la irradiancia de una zona determinada. - estudiante: Lis Dayanara Rojas Guzmán.
- Diseñar, construir e implementar un sistema de comunicación bidireccional que permita el envío de los datos recopilados al punto maestro del sistema de monitoreo. - estudiante: Andrés Felipe Morales Cardoso.
- Construir e implementar una forma de alimentación independiente a la red eléctrica convencional, que se adapte al sistema de monitoreo construido. - estudiante: Andrés Felipe Morales Cardoso.
- Diseñar una aplicación móvil que pueda dimensionar el tamaño del sistema fotovoltaico necesario para implementar en la zona monitoreada. - estudiante: Lis Dayanara Rojas Guzmán.



4.7 Alcance

El sistema está diseñado para que mediante la topología maestro-esclavo se realicen varias mediciones de la radiación solar en un área que el usuario determina, teniendo en cuenta la distancia posible de comunicación entre cada módulo (18 metros entre esclavo y maestro). En este caso, el sistema contará con un maestro y dos esclavos, aunque cabe resaltar que éste sería modular, es decir que tendría la posibilidad de expandirse con la implementación de hasta 30 dispositivos de tipo esclavos por maestro. Adicional al sistema de monitoreo de la radiación, se dispondrá de una aplicación para sistema operativo Android o un sistema similar, para que elabore los cálculos requeridos para la implementación del montaje fotovoltaico.



5. Capítulo 2: Alternativas de Solución

5.1 Diagrama de bloques de ejecución del proyecto

En el diagrama de bloques presentado en la figura 12, se muestra el proceso de desarrollo que tuvo el proyecto, el cual se desarrolló en tres etapas, la primera hace referencia a la parte de consulta sobre la problemática, el análisis de las posibles alternativas y la documentación. Seguido a esto, se desarrolló la segunda etapa que corresponde al diseño electrónico de lo que sería el sistema, haciendo uso de herramientas de software para la elaboración de los esquemas y el diseño de los circuitos impresos. Por último, la tercera etapa consiste en el ensamblaje de todo el sistema de monitoreo y las pruebas de funcionamiento de cada una de las partes que a este lo componen. Adicional a esto, en esta última etapa también se hace la recolección de datos resultantes del monitoreo, y el diseño de la aplicación móvil que usando estos datos obtenidos, realiza el cálculo del número de paneles solares requeridos para el abastecimiento de energía a la zona monitoreada.

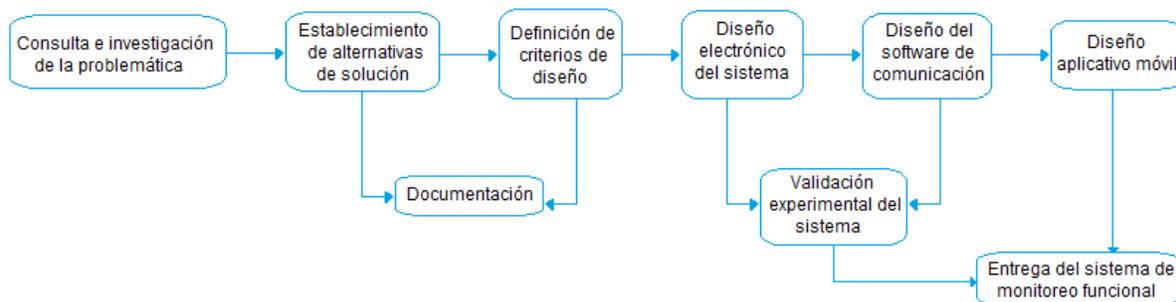


Figura 15. Diagrama de bloques de etapas de ejecución. Fuente: Autores.

5.1.1 Metodología del proyecto

La metodología escogida se basó en ensayo y error donde se analizó de forma deductiva y experimental los diseños tanto de hardware y software, el desarrollo del proyecto fue realizado en distintas fases:

- Definición del Problema (Fase 1): en esta fase se analizó y estudió la problemática que empujó al desarrollo del proyecto, adicionalmente se llega a la solución más adecuada de dicho problema (el desarrollo de la fase se puede apreciar en las secciones 5.1 y 5.2).
- Diseños globales (Fase 2): es la fase donde se obtiene la visión general del sistema, en ella se aprecian los diagramas de bloques que lo conforman y se hacen los diseños esquemáticos del mismo (dichos diagramas se encuentran en la sección 5.4 del libro).



- Diseños detallados (Fase 3): Como su nombre lo indica en esta fase se hizo el diseño detallado de cada bloque propuesto en la fase 2, y se puso en funcionamiento cada uno de los bloques pero de forma separada (en el capítulo 3 se ve la elaboración, los cálculos matemáticos y estimaciones para el diseño de cada bloque que conforma el sistema).
- Integración de los bloques (Fase 4): Es el proceso de ensamblaje que consiste en unir todos los bloques desarrollados en la fase 3 y con ello se obtuvo el sistema completo (en el anexo 6 se encuentra este desarrollo).
- Operación del sistema (Fase 5): Se realizaron las pruebas del sistema en el escenario real, se anotaron los datos y resultados obtenidos del funcionamiento (dicho procedimiento se evidencia en el capítulo 4).

5.2 Análisis de las Posibles Alternativas de Solución

Para la solución del problema ya planteado se tienen tres posibles soluciones:

1. Hacer uso de paneles solares para que a través de estos se pueda realizar la medición de la radiación de la luz de sol en varios momentos del día:

En este caso, el sistema contará con paneles solares en los esclavos que obtendrán los valores de radiación solar, el sistema de alimentación tendrá baterías recargables independientes al panel solar que proporcionará la autonomía suficiente para cumplir con la jornada de monitoreo. Esta alternativa descendería los costos del proyecto en gran proporción, pero le restaría un poco de precisión a las lecturas de radiación solar.

2. Utilizar un sensor de radiación solar teniendo en cuenta las características y parámetros que se desean medir en diferentes momentos del día:

El sistema dispondrá de sensores de radiación solar que tomaran las lecturas durante la jornada de monitoreo dándole al sistema gran efectividad y precisión en la toma de los datos logrando así resultados más exactos, pero subirá el costo del proyecto en gran proporción. Además, contará con baterías recargables para brindar la alimentación necesaria a todos los componentes que conformen al maestro y los esclavos.

3. Utilizar un sistema mixto entre sensores de radiación y paneles solares.



El sistema contará con la implementación de sensores de radiación solar para hacer la toma de los datos lo que le proporciona al sistema una gran precisión, además contará también con un sistema de alimentación con baterías que serán recargadas por medio de los paneles solares, esta alternativa le proporciona mayor autonomía al sistema permitiendo más hora seguidas de monitoreo pues el sistema se vuelve totalmente autónomo, pero así mismo el coste del proyecto se incrementa en gran medida.

5.3 Alternativa Escogida

Para escoger una alternativa adecuada y dar la mejor solución al problema ya planteado, se tienen en cuenta criterios como el costo final del proyecto, accesibilidad de los dispositivos, capacidad para trabajar en exteriores, confiabilidad de los instrumentos, efectividad para la medida de la radiación solar, autonomía (no depender de la red eléctrica), una capacidad de almacenamiento lo suficientemente grande para guardar los datos adquiridos en el monitoreo, teniendo en cuenta que el sistema puede funcionar en zonas rurales no siempre se dispondrá de redes de Wifi, por ello el sistema debe poder comunicarse sin la necesidad de dicha tecnología.

Las alternativas de solución anteriores tienen puntos a favor, por ejemplo, en la alternativa número 1 se disminuye la precisión en las medidas de la radiación al usar un panel solar y se tiene una autonomía limitada, pero la inversión económica es más baja comparada con la inversión de las demás alternativas. En la alternativa número 2 se tiene una gran precisión, pero la autonomía del sistema es baja y el costo aumenta debido a la utilización del sensor de radiación solar. Por último, la alternativa 3 representa un aumento considerable de los costos para la construcción del proyecto, a cambio de esto se tendría una autonomía que permitiría monitorear por varios días seguidos y la efectividad para la adquisición de los datos sería mayor gracias al uso de un sensor de radiación.

Teniendo en cuenta los criterios mencionados anteriormente la alternativa 2 es descartada, porque, aunque presenta un gran costo teniendo en cuenta que son dos módulos los que deberán contener los sensores de radiación, esto incrementa por mucho el precio del proyecto y limita uno de los objetivos del proyecto de conseguir un dispositivo económico y versátil para la medición de la radiación solar. La alternativa 3 es la opción con mayor autonomía y su efectividad en el momento de tomar una medición es muy buena, pero al igual que la alternativa 2, es descartada ya que los costos de construcción son los más altos al tener un sistema mixto entre paneles, para la alimentación autónoma de las baterías, y sensores para la medida de la radiación solar ya que contiene una combinación de panel solar para cargar las baterías.

Por todo lo mencionado anteriormente, la alternativa que se escogió para desarrollar el sistema de monitoreo es la número 1, que consiste en captar la energía solar por



medio de módulos fotovoltaicos para obtener los valores de radiación. El sistema de alimentación cuenta con la adecuación de baterías para almacenar la energía necesaria para una jornada de monitoreo y así mismo lograr la autonomía y portabilidad al no requerir de la conexión a la red eléctrica para su funcionamiento. Esta última característica permite que el sistema pueda ser utilizado en cualquier zona ya sea rural o urbana, lo que garantiza la capacidad de adaptación del sistema a distintas funciones y diferentes lugares.

Para lograr definir la mejor solución para el diseño y construcción de cada uno de los sistemas que componen en la totalidad el sistema de monitoreo, se presentan a continuación una serie de comparaciones más detalladas entre las posibles soluciones que se pueden dar para la implementación de cada sistema.

- **Microcontrolador**

Se tienen tres posibles soluciones para la elección del microcontrolador, la primera es hacer uso de un PIC, la segunda es utilizar algún tipo de Arduino y la última es utilizar la Raspberry Pi. El análisis de características y criterios de funcionalidad se presentan las cuales se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Comparación de Microcontroladores. Fuente: Autores.

MICROCONTROLADOR			
PARÁMETRO	PIC	ARDUINO	RASPBERRY PI
# Puertos	35	27	26
Memoria RAM	368 bytes	8 KB	1 GB
Modularidad	Si	Si	Si
Velocidad de trabajo	8 MHz	16 MHz	1.4 GHz - 64 bit
Accesibilidad	Alta	Alta	Alta
Costo	\$11.700	\$23.000	\$165.000
Puerto USB	no	si	si



Conocimiento de uso	Medio	Alto	Alto
---------------------	-------	------	------

Como se observa en la tabla 1, los criterios que se tuvieron en cuenta para el análisis de la mejor opción son el número de puertos, capacidad de memoria, modularidad de conexión con otros dispositivos, velocidad de procesamiento, accesibilidad al producto, costo, puertos de acceso y conocimiento de uso y programación. Como primera opción se tiene la utilización de un PIC, la cual resulta ser una alternativa viable; sin embargo, el número de pines es exagerado para este uso, puesto que el maestro y los esclavos usan aproximadamente 12 pines cada uno. Además de esto, la mayoría de pics que podrían ser utilizados en esta aplicación, manejan lenguajes de programación como Assembler, que resultan ser buenos, pero el manejo de estos dispositivos y lenguajes es más tedioso que el uso de otras plataformas de programación, teniendo en cuenta que son lenguajes antiguos y menos eficientes.

Por otra parte, la Raspberry Pi tiene muchas ventajas en cuanto a funcionamiento, puesto que, al tener gran versatilidad y modularidad con un lenguaje de programación asequible y sencillo, permite la realización de una buena cantidad de aplicaciones de todo tipo; sin embargo, tiene un costo muy elevado para ser usada en esta aplicación teniendo en cuenta que son varios módulos los que deberán construirse. Además de esto, la velocidad de procesamiento es demasiada para el sistema y el costo de la Raspberry Pi supera considerablemente el valor del PIC y del Arduino.

El Arduino por su parte, resulta ser el sistema basado en microcontrolador más viable por su facilidad de programación, puertos de acceso y modularidad de conexión con los diferentes módulos que se utilizan para la comunicación y el envío de datos, módulo de reloj, entre otros. Además, su confiabilidad es reconocida mundialmente, la velocidad de procesamiento es suficiente para cumplir con los procesos del sistema y el costo del microcontrolador es bastante bajo en relación con su eficiencia y su robustez. De igual manera, Arduino es una de las herramientas más utilizadas en la actualidad para un sin fin de aplicaciones, lo que garantiza una buena variedad de referencias bibliográficas confiables y verificadas para soportar el código utilizado. Adicional a esto, es un microcontrolador al que la mayoría de la población puede acceder y al utilizarlo en el sistema, hace que este también sea alcanzable para la mayoría de público interesado en proyectos de energía solar. Por todo lo anterior, se define que Arduino será el microprocesador a usar.

Ahora bien, Arduino tiene gran variedad de modelos o referencias las cuales tienen diferentes características según su número de puertos, tamaño, velocidad de procesamiento, costo, entre otras. Dentro de las principales referencias comerciales de Arduino se encuentran Arduino Uno, Leonardo, Due, Yún, Mega, Ethernet, Pro mini y Pro-micro. Para analizarlas cada una, se realizó la tabla que se presenta a continuación en la que se especifican las particularidades de cada una de ellas.



Para escoger el tipo de Arduino adecuado, se tuvo en cuenta principalmente la relación entre el número de pines requeridos tanto digitales como análogos y el costo de la tarjeta, teniendo en cuenta que generalmente las demás características no tienen variaciones importantes y estas son las más relevantes en este caso. Como se puede analizar en la tabla 2, el Arduino Uno, que es el mayormente más utilizado en el mercado, contiene un número de pines análogos y digitales suficientes para las conexiones necesarias para el desarrollo de este proyecto y es de un precio razonable y asequible. De esta manera, se definió que el Arduino Uno es la plataforma basada en microcontrolador que se usa en este proyecto.

Tabla 2. Tabla de Comparación de Arduinos. Fuente: Autores.

Referencia	# pines Digital	# pines Analog	P W M	Mem Flash	S R A M	EE P R O M	Velocidad Reloj	Ether net	U S B	Lec tor de Tarjeta	Precio (pesos)
Arduino uno	14	6	6	32 KB	2KB	1KB	16 MHz	no	no	no	25.000
Arduino Leonardo	20	12	7	32 KB	2 KB	1KB	16 MHz	no	no	no	27.000
Arduino due	54	12	12	512K B	96KB		84 MHz	no	no	no	70.000
Arduino yún	20	12	7	16M B	2.5K B	1KB	16M Hz	si	si	si	145.000
Arduino Mega 2560	54	16	15	256K B	8KB	4KB	16M Hz	no	no	no	45.000
Arduino Ethernet	14	6	4	32KB	2KB	1KB	16M Hz	si	no	si	25.000
Arduino pro mini	14	8	6	16KB	1KB	512B ytes	8MH z	no	no	no	18.000
Arduino pro micro	12	4	5	32KB	2.5K B	1KB	16M Hz	no	no	no	23.000

- **Sistema de Comunicación**

Para el sistema de comunicación, se identificaron cuatro posibles alternativas de solución, las cuales se presentan en la tabla 3. Se tuvieron en cuenta diferentes parámetros para la elección de la mejor alternativa, tales como la facilidad de acceso al producto, el conocimiento de uso, el alcance de transmisión, el costo, el consumo de energía, el tiempo de transmisión de datos y el voltaje de alimentación requerido.



Tabla 3. Comparación Sistemas de Comunicación. Fuente: Autores.

SISTEMA DE COMUNICACIÓN					
PARAMETRO	MODULO WIFI	MODULO BLUETOOTH	MODULO TX Y RX		MODULO GPRS
Accesibilidad	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil
Conocimiento de uso	8	8	9	9	7
Alcance	100 m	18 m	8 m	8 m	>200 m
Costo	\$ 12.000	\$ 16.500	\$ 4.000	\$ 4.000	\$ 97.000
Consumo de energía	200 mA	40 mA	4 mAh	4 mAh	2 A
Tiempo de transmisión de datos	54 Mbit/s	3 Mbit/s	4 KB/s	-105 db	850 - 1950 MHz
Alimentación	3.3 V	3.3 V	3.5 V	5 V	9 - 20 V

Al realizar el respectivo análisis a cada una de las alternativas presentadas en la tabla 3, se pudo determinar que el uso de módulos para conexión Wifi es una buena alternativa para el envío y recepción de datos, pero para el caso específico de esta aplicación, se encuentra un parámetro importante y es la accesibilidad a internet, puesto que el dispositivo está diseñado para usarse tanto en zonas urbanas como rurales. En este último caso, la conexión a internet generalmente presenta fallas o en algunos casos no existe una red disponible, lo que hace que el dispositivo pierda efectividad.

Por otro lado, el módulo Bluetooth presenta un impedimento importante y es su alcance. Debido a que los módulos maestro y esclavos cuentan con baterías de alimentación y se permite la portabilidad de ellos, la forma de comunicación entre ellos debe permitir una distancia considerable entre sí mismos y no debe afectar que los módulos sean portátiles. Como se muestra en la tabla 3, los módulos Bluetooth pueden alcanzar teóricamente una distancia de transmisión de hasta 18 metros en un área abierta, pero en la práctica real, las transmisiones se hacen en áreas que contienen obstáculos como paredes o muebles pueden reducir el alcance disminuyendo la efectividad de funcionamiento [11].

El módulo GPRS/GMS en este caso se analizó por costo, ya que según los proveedores que se consultaron, el precio es considerablemente mayor que el de los otros módulos y teniendo en cuenta que son tres módulos los que contienen microcontrolador, se aumentan los costos en gran proporción sin contar el valor de sim cards y planes de datos que se deben adquirir para el correcto funcionamiento del dispositivo y del sistema.



Analizando y comparando todo lo anterior, se decide que la opción más viable por costos, alcance, facilidad de uso y consumo de energía, es la de usar módulos de radiofrecuencia utilizando un receptor y un transmisor en cada esclavo y maestro, y así lograr una comunicación bidireccional en la que el maestro puede solicitar la información que requiera a un esclavo específico y así evitar el solapamiento de datos. Esto también representa que el sistema pueda usarse sin ningún problema en las zonas rurales y urbanas.

Para este caso se utilizan los módulos aptos para Arduino con banda libre de frecuencia de 433 MHz, las especificaciones técnicas se detallan en el Anexo 1.



Figura 16. Módulo transmisor de frecuencia referencia (FS1000A). Fuente: [31]

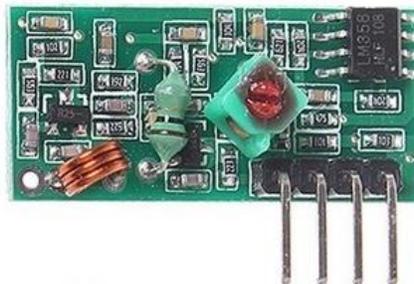


Figura 17. Modulo receptor de frecuencia referencia (XY-RF-5V). Fuente: [31]

Como se puede observar en la figura 13, el módulo transmisor cuenta con tres pines de los cuales dos de ellos hacen parte de la alimentación y el otro es el pin DATA, por el cual se realiza la programación para la transmisión de los datos, además de esto, cuenta también con la entrada para la conexión de la antena que en este caso se diseñó haciendo pruebas para saber que tanto afectaba la longitud del cable. Se llegó a la conclusión de poner unos 16 cm aproximadamente de cable de cobre para la antena y realizarla de manera helicoidal. Las antenas de tipo helicoidal tienen una gran ventaja ya que al ser polarizadas circularmente aumentan la banda de frecuencia y omnidireccionales.

Por su parte el módulo receptor tiene dos de estos pines DATA, pero ambos cumplen exactamente la misma función que en el módulo transmisor, como se puede ver en la figura 14.



La comunicación se logra mediante la librería Virtual Wire, que tiene varias funciones que permiten el envío y recepción de datos, como las siguientes:

vw_set_tx_pin(#pin);

Esta función permite que se inicialice el pin digital en el cual estará conectado en transmisor.

vw_set_rx_pin(#pin);

Con esta función, se inicializa el módulo receptor en el pin que se defina.

Unit8_t vw_send(uint8_t * buf, uint8_t len);

Se envía el mensaje. BUF hace referencia al puntero para transmitir y LEN al número de bytes.

Unit8_t vw_get_message(uint8_t * buf, uint8_t * len);

Aquí se obtiene el mensaje y se almacena en el buffer con la cantidad de bytes que se le transmitió.

Como se mencionaba anteriormente, la comunicación que se implementó se basó en una de tipo bidireccional, como en este caso este tipo de módulos manejan comunicación unidireccional, se instaló al módulo maestro y los módulos receptores, un transmisor y un receptor a cada uno de ellos. De esta manera, el maestro pide la información mediante el transmisor a alguno de los esclavos que están a la espera de recibir la solicitud de envío de información, en este momento los receptores de cada esclavo se encuentran encendidos y los transmisores apagados. Cuando uno de los esclavos recibe el comando de envío, su transmisor se enciende para poder transmitir la información solicitada por el maestro, mientras que el transmisor del otro esclavo permanece en estado off. El dato se envía mientras que el receptor del módulo maestro permanece encendido constantemente durante un minuto. Al minuto siguiente, el maestro vuelve a su estado inicial por un minuto más para volver a solicitar información de otro esclavo. Este proceso se encuentra relacionado con el diagrama de flujo mostrado a continuación.

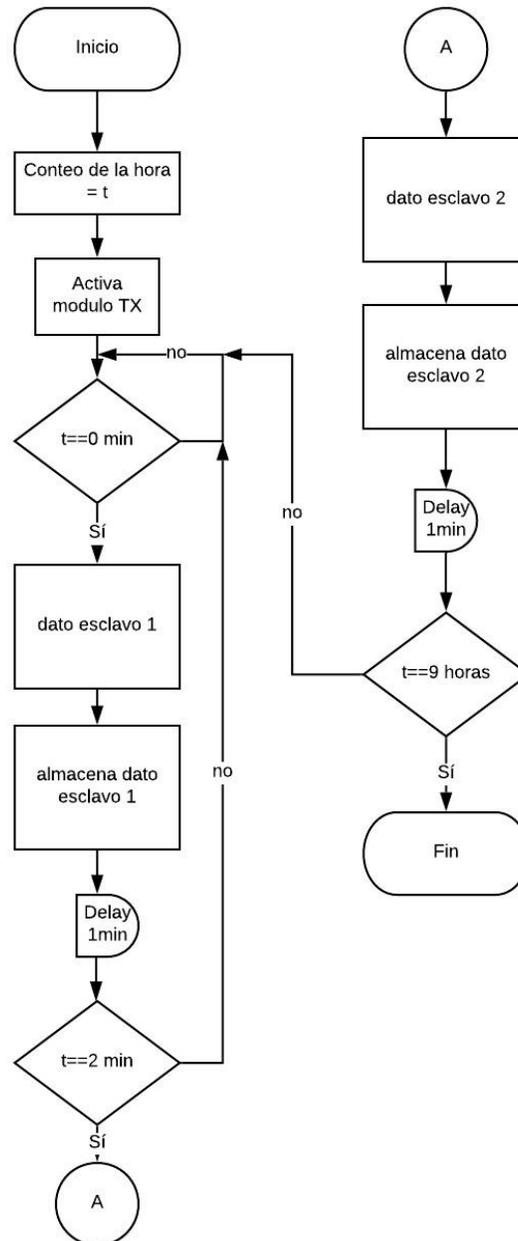


Figura 18. Diagrama de flujo ilustrativo del proceso del sistema de monitoreo.
Fuente: Autores.

El hecho de que la radiación no sea una variable que presente cambios bruscos con facilidad y rapidez, determina entonces que al tener cada esclavo un minuto para enviar datos, se cumple con el número de esclavos definidos anteriormente para hacer efectiva la modularidad y expansión del proyecto. Por lo tanto, si por un minuto se envían datos de un esclavo, y durante el siguiente minuto el maestro tiene el tiempo para volver a su estado inicial y evitar el solapamiento de datos, se puede entonces analizar que en una hora habría 30 minutos para envío de datos y 30 minutos intermedio de cada envío. De esta manera, la capacidad total de esclavos



posibles para un maestro sería de 30 esclavos y así se garantiza que cada esclavo tenga un minuto de envío en cada hora de monitoreo.

Estos cambios de estado del transmisor se hicieron mediante un interruptor, utilizando un transistor 2N2222 que permite que cuando a alguno de los módulos le llegue una instrucción de envío o recibo, este se encienda o se apague. Esto se hizo conectando el colector del transistor al pin GND del módulo transmisor, la base a una resistencia de 10KΩ que a su vez se conecta a un pin digital que en este caso sería el 4 y, por último, el emisor se conecta a tierra. Estas conexiones se muestran en los diseños realizados para el maestro y el esclavo, que se encuentran en las figuras 23 y 24.

- **Sensor de radiación solar**

Para el sensor de radiación, se identificaron 5 posibles alternativas. En cada una de ellas se analizan el tipo de radiación que miden, el rango espectral, el consumo de energía, ángulo de visión, como se pueden apreciar en la tabla 4.

Tabla 4. Comparación de los Sensores de Irradiancia. Fuente: Autores.

Tipo de sensor	Rad. global	Rad. difusa	Rad. directa	Rango espectral	Salida	Sensibilidad	Consumo de energía	Angulo de visión
Piranómetro	si	si	si	285 a 3000 nm	mV	5 – 20 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$	<2.3 W a 12 VDC	180°
Pirheliómetro	no	no	si	200 a 4000 nm	mV	10 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$	12 VCC, 2 W	5°
Pirgeómetro	no	no	si	4.5 a 40 x 10-6 m	mV	17 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$	12 VCC, 1.5 W	150°
Radiómetro	no	no	si	4.5 a 50.0 nm	mV	0,1 W/m ²	12 VCC, 1.6 W	180°
Panel solar	no	no	si	NA	V	NA	Entrega 6v, 2 W	180°

Teniendo en cuenta los conocimientos mencionados en el marco teórico, la radiación que con este proyecto se midió fue la radiación global, es decir la suma total de las radiaciones directa y difusa. Como alternativa inicial se tenía la de usar un sensor que midiera esta radiación que en este caso sería un piranómetro. Se había pensado inicialmente en hacer uso de un piranómetro para un solo módulo, con el fin de reducir costos, y para los demás utilizar paneles solares, es decir utilizar la alternativa número tres que se basa en un sistema mixto de paneles solares y sensores; pero una de las falencias que presentó esta alternativa fue la accesibilidad que se tiene a estos sensores de radiación global, dado que en Colombia existen pocos distribuidores autorizados y confiables para adquirir este tipo de instrumentos e internacionalmente conseguirlos resulta demasiado costoso para el presupuesto con el que se contó para el proyecto. De esta manera, se decidió hacer uso de la alternativa uno, tomando medidas de radiación con paneles solares con ayuda de



valores patronados realizados con las curvas características de cada panel y comparando las medidas con el instrumento de medida de radiación solar perteneciente a la Universidad de Ibagué. Cabe resaltar también que esta elección le da al proyecto un valor agregado al disminuir los costos y así mismo permitir que más público acceda a proyectos de energía solar y al aprovechamiento de la misma.

La elección de los paneles solares usados para la medición de la radiación solar se hizo considerando los valores de potencia y voltajes que se presentan más adelante en el capítulo de diseño, de esta manera, los paneles solares que se van a utilizar para la medida de la radiación solar son los de la marca Ada Fruit con referencia Medium 6V 2W - 2.0 Watt.



Figura 19. Panel solar Ada Fruit Medium 6V 2W. Fuente: [20].

- **Sistema de almacenamiento**

Para el almacenamiento de los datos de radiación que se obtienen con el panel solar, inicialmente se tenía como alternativa de solución cargar los datos a un servidor web mediante un módulo de Sim Card que permitiera la conexión a internet por medio de datos móviles, pero debido a la dificultad que se tiene en algunas zonas, generalmente en las rurales o de campos abiertos, para acceder a internet o para lograr captar la señal de las antenas del teléfono móvil, se descartó esta opción llegando a la conclusión de que la alternativa más eficiente para poder tener los datos de una manera segura, fácil y rápida en el dispositivo móvil, es guardando los datos de radiación en una memoria extraíble mediante un módulo SD Card para Arduino. Para el sistema de almacenamiento de los datos, se utiliza un módulo SD que mediante la librería `#include <SD.h>`, hace la creación, lectura y escritura de un fichero. Esta librería viene ya con los pines de conexión definidos desde el lenguaje C, lo que se puede observar en la tabla 5.



Tabla 5. Conexiones del Módulo Micro SD de Arduino. Fuente: Autores.

Pines modulo SD	Pines Arduino
GND	GND
+5V	5V
CS	4
MOSI	11
SCK	13
MISO	12

Los principales comandos utilizados para el uso de esta librería son los siguientes:

File myFile;

Esta función lo que hace es crear el fichero con el nombre “myFile”

myFile = SD.open("archivo.txt", FILE_WRITE);

Con este comando, se abre el fichero creado anteriormente.

file.available ();

Determina si hay bytes disponibles para poner en el fichero.

file.close;

Se cierra el fichero.

Este módulo SD tiene la posibilidad de hacer uso de memorias micro, mini o de tamaño normal mediante un adaptador al socket. Lo positivo de este módulo es la capacidad de expandir la memoria, y esto a su vez conlleva a la capacidad de expansión del número de esclavos por maestro puesto que podrían almacenarse mayor cantidad de datos.

Cabe resaltar que solo el maestro conlleva un módulo de almacenamiento SD, pues es el encargado de la recepción y almacenamiento de los datos, entonces cada vez que el maestro reciba un dato de un esclavo, lo guarda en el fichero que se creó. Las conexiones de dicho módulo se muestran en el esquema del maestro que se encuentra en la figura 23.



- **Sistema de alimentación**

Se tomó la decisión de hacer uso de baterías recargables tipo LI-PO para alimentar el dispositivo, que cuentan también con un regulador para adaptar el voltaje y la corriente necesarios según el sistema. Las baterías se escogen teniendo que deben tener la capacidad para alimentar los módulos y el microcontrolador que poseen un consumo de potencia que se puede apreciar en la tabla 6.

Tabla 6. Consumo de Potencia del Sistema. Fuente: Autores

CONSUMO TOTAL DE POTENCIA DEL SISTEMA				
PARAMETRO	CANTIDAD	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	CONSUMO (W)
Arduino UNO	3	5	0,15	2,25
Módulo TX	3	5	0,004	0,06
Módulo RX	3	5	0,004	0,06
Pantalla LCD	3	5	0,025	0,375
Módulo SD	1	3,3	0,2	0,66
TOTAL		5	0,383	3,405
% ERROR (20%)		6	0,4596	4,086

Los valores exactos de las baterías y la forma de escogerlos, se presente en el capítulo 3 de diseño y construcción del prototipo.

5.4 Diagrama de Bloques y de Conexiones

Ahora bien, teniendo la especificación de los componentes que se van a utilizar, se realizan unos esquemas para tener una primera visualización de los sistemas anteriormente definidos y de la implementación en general del sistema de monitoreo. En la siguiente figura, se puede ver un diagrama de la totalidad del sistema, en el que se ilustran los componentes que contendrá cada bloque de funcionamiento, teniendo en cuenta que solo se implementó en el diagrama el bloque de un módulo esclavo.

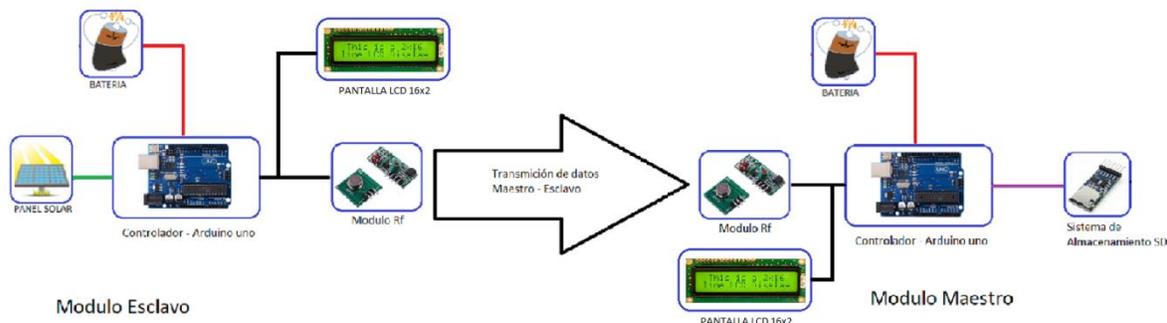


Figura 20. Esquema general del sistema de monitoreo. Fuente: Autores.

5.4.1 Diagrama de Bloques del Maestro

El sistema del módulo maestro está compuesto por varios bloques. El primero es el de alimentación, que se encarga de entregarle la autonomía para que cumpla con su monitoreo perfectamente y sin sobresaltos. Por otra parte, el bloque de comunicación permite el control del envío de datos de los módulos esclavos al módulo maestro y así se evita la saturación del buffer o el solapamiento dado el caso de que más de un esclavo esté enviando su dato. Otro bloque que compone al módulo de tipo maestro es el de almacenamiento, que contiene el módulo SD card para Arduino. Además, el bloque de reloj que es el encargado de llevar los tiempos del monitoreo de cada esclavo y por último, pero no menos importante, el microcontrolador que es el cerebro de todo el sistema, encargado de que los módulos funcionen correctamente a los tiempos indicados. Este diagrama de los componentes se muestra en la figura 21.

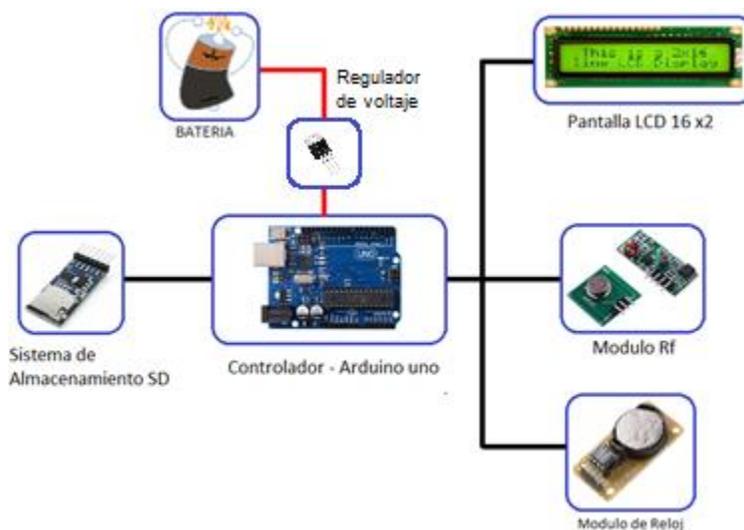


Figura 21. Diagrama de Bloques del Maestro. Fuente: Autores.



5.4.2 Diagrama de Bloques del Esclavo

El sistema de los esclavos consta de un sistema de alimentación que le proporciona la autonomía necesaria para poder cumplir con su tarea de censar la radiación solar todo el día, un sensor que en este caso es un panel solar caracterizado que tomará la energía del sol y entregará un voltaje correspondiente a una radiación, y el sistema de comunicación que está encargado de hacer que estos esclavos reciban la instrucción del maestro y procedan con el envío de la información que se está registrando. Cabe resaltar que los esclavos siempre están a la espera de las instrucciones del maestro, y para finalizar, el componente de mayor importancia que es el controlador que se encarga de ordenar todas los procesos necesarios para llevar a cabo el monitoreo de la radiación solar de una forma correcta. Este diagrama de los componentes se muestra en la figura 22.

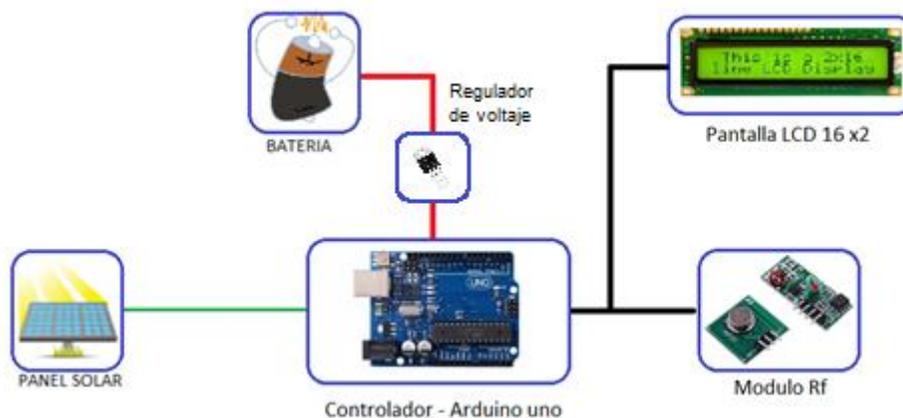


Figura 22. Diagrama de Bloques del Esclavo. Fuente: Autores.

5.4.3 Diagrama de Conexiones del Maestro

En la figura 23 puede observarse como se realizaron las conexiones del módulo transmisor que está conectado al pin digital 10, el módulo receptor conectado al pin digital 11, el módulo SD que tiene los pines CLK, MISO, MOSI y CS conectados a los pines digitales 5, 4, 3 y 2 respectivamente, el módulo reloj conectado a los pines 6, 7 y 8 y por último, la pantalla LCD con los pines SCL y SDA en los pines análogos A5 y A4 respectivamente.

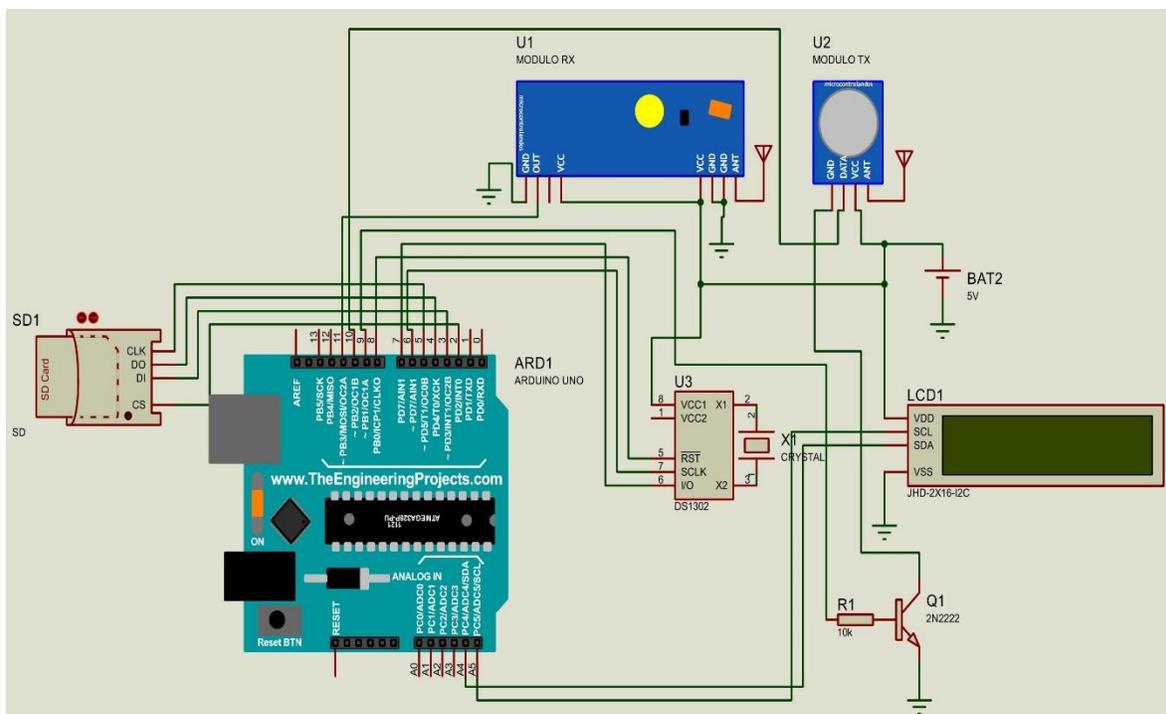


Figura 23. Diagrama de conexiones del maestro. Fuente: Autores.

5.4.4 Diagrama de los Conexiones del Esclavo

En la figura 24 puede observarse como se realizaron las conexiones del módulo transmisor que está conectado al pin digital 7, el módulo receptor conectado al pin digital 6, el sistema de interrupción con transistor conectado al pin 4 y por último, la pantalla LCD con los pines SCL y SDA en los pines analógicos A5 y A4 respectivamente.

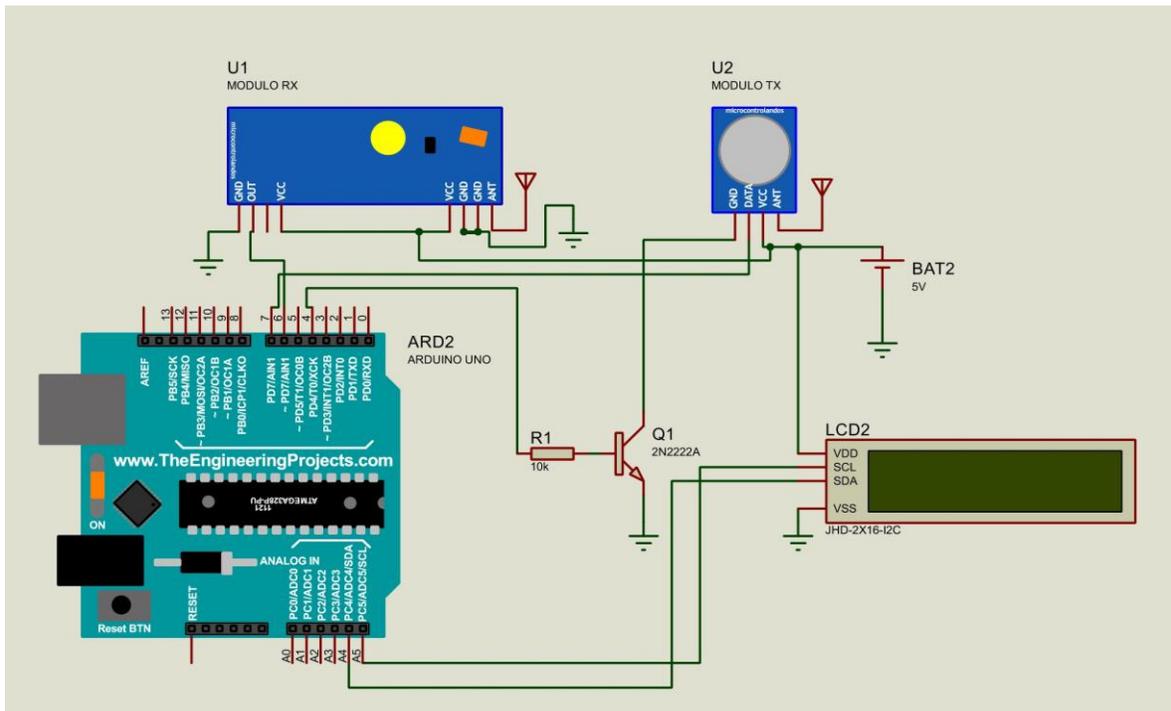


Figura 24. Diagrama de conexiones del módulo esclavo. Fuente: Autores.



6. Capítulo 3. Diseño y construcción

Para el diseño y construcción del prototipo se inició la elaboración del esquema de la estructura física de cada módulo en el programa SolidWorks, teniendo en cuenta el tamaño de los dispositivos electrónicos del sistema de comunicación, sistema de alimentación y el microcontrolador los cuales se escogieron teniendo en cuenta los niveles de corriente y voltaje requeridos y permitidos, el conocimiento de uso, la facilidad de acceso y otras características que se especificaron en el capítulo dos.

El diseño de la estructura se puede observar en la figura 25. En este diseño, para ambos módulos, se tiene la posibilidad de la apertura de la tapa superior. En el caso específico del módulo maestro, en el orificio de la parte delantera está ubicada la pantalla LCD de 16x2 que se encarga de mostrar los datos de radiación transmitidos por los esclavos. Por otra parte, los esclavos tienen en su parte superior, los paneles solares instalados de tal forma que puedan recibir la radiación de manera más directa, igualmente cuentan con la pantalla LCD y el interruptor de encendido y apagado.

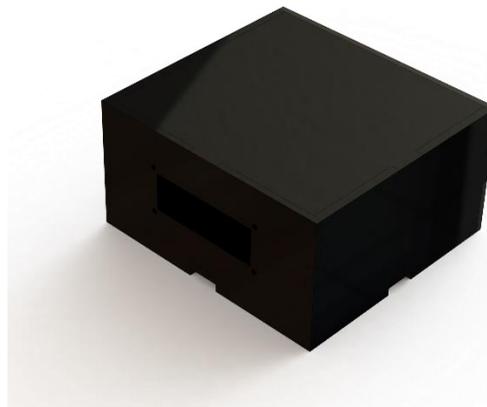


Figura 25. Diseño de estructura física para módulos maestro y esclavos, Fuente: Autores.

Esta estructura tiene medidas de 15 cm x 15 cm, elaborada en material MDF de 5 mm de color negro, ajustada en el diseño teniendo en cuenta las ranuras y espacios para la ubicación de los componentes que previamente ya se eligieron. Cuenta también con una tapa que permite ser abierta y cerrada, ajustada por bisagras para permitir la visualización del montaje electrónico y la extracción de las baterías en el caso que necesiten ser recargadas.



6.1 Sistema de Alimentación

Para escoger las baterías adecuadas que le entreguen la autonomía necesaria al sistema para trabajar durante 12h en las que normalmente se tiene luz solar en Colombia, se consideraron los consumos más significativos de voltaje y corriente de cada módulo.

Tabla 7. Consumo total de potencia del módulo maestro del sistema de monitoreo. Fuente: Autores

CONSUMO MAESTRO		
Dispositivo	Cantidad	Consumo (W)
Arduino UNO	1	0,75
Módulo TX	1	0,02
Módulo RX	1	0,04
Módulo SD	1	0,66
Pantalla LCD	1	0,125
TOTAL		1,595

Tabla 8. Consumo total de potencia de módulos esclavos del sistema de monitoreo. Fuente: Autores.

CONSUMO ESCLAVO		
Dispositivo	Cantidad	Consumo (W)
Arduino UNO	1	0,75
Módulo TX	1	0,04
Pantalla LCD	1	0,125
Módulo RX	1	0,08
TOTAL		0,995

En la tabla 7 se aprecian los consumos de potencia de los módulos del maestro los cuales dan un total de 1,595W por hora, y en la tabla 8 se encuentran los consumos de los módulos del sistema esclavo con un total de 0,995W por hora, el consumo que tendrá el maestro y los esclavos durante la jornada de monitoreo son:

$$1,595 \times 12h = 19,14 W$$

ec1 Consumo del Maestro.

$$0,995 \times 12h = 11,94 W$$

ec2 Consumo del Esclavo.

La profundidad de descargue de las baterías se establece del 50% como criterio de diseño para evitar recortar la vida útil de las mismas, por tal razón se agrega un 50% más de autonomía a las baterías:

$$1,5 \times 19,14 w = 28,71 w$$

ec3 Batería Maestro.

$$1,5 \times 11,94 w = 17,91 w$$

ec4 Batería Esclavo.



Para calcular los valores de las baterías también es necesario considerar la temperatura ya que estas varían el valor que entregan dependiendo de los niveles de temperatura, por ejemplo a 0°C entrega un 85% de su capacidad y a 25°C entrega el 100% de su capacidad (es la temperatura ideal para su funcionamiento). Como en Ibagué las temperaturas oscilan entre de los 28 °C a los 32°C, la batería entrega el 100% de su capacidad.

Finalmente se dividen los valores de potencia obtenidos entre el valor del voltaje de las baterías. En este caso, las baterías se escogen por un valor de 7,4 voltios por ser comercialmente el valor por encima más cercano a los 5 voltios nominales del Arduino y requeridos por todos los módulos para su funcionamiento. Este valor posteriormente se adapta con un regulador de voltaje.

$$\frac{28,71 \text{ w}}{7,4 \text{ Vol}} = 3,88 \text{ A/h} \quad \text{ec5. Capacidad Batería Maestro.}$$

$$\frac{17,91 \text{ w}}{7,4 \text{ Vol}} = 2,42 \text{ A/h} \quad \text{ec6. Capacidad Batería Esclavo.}$$

Ahora se busca un valor comercial por encima del valor obtenido en los cálculos, para el maestro se requiere una batería de 4000mah a 7,4vol y para el esclavo es necesaria una batería de 2500mah a 7,4vol, cabe resaltar que se puede utilizar baterías con mayor capacidad, esto implicaría una mayor inversión económica, pero le brindaría mucha más autonomía al sistema.

6.2 Medición de Voltaje del Panel Solar

Para calcular el voltaje del panel es necesario implementar un divisor de tensión, como esto es una lectura análoga se hace por un pin del mismo tipo en el Arduino, la figura 26 representa el circuito implementado para el divisor de voltaje utilizado para medir el voltaje del panel solar, las resistencias se ponen de un valor alto para que en el momento de medir un voltaje sobre una resistencia, el valor del paralelo de esta tienda a ser el valor de la resistencia medida y no se tenga una lectura errónea, cuanto más alta sea la impedancia del voltímetro es menos probable que influya en los parámetros del circuito.

Como criterio de diseño se suponen las dos resistencias R6 y R7 con valores de 1MΩ y 100KΩ respectivamente. De esta manera se tiene una resistencia de 1.1MΩ en total, cumpliendo con la condición de una impedancia alta en la entrada y reduciendo el voltaje a un nivel adecuado para que el Arduino no sufra algún daño por una tensión alta no deseada.

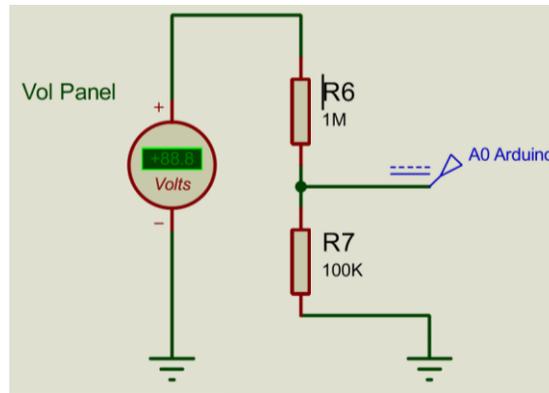


Figura 26. Divisor de Voltaje. Fuente: Autores.

El valor de V_{in} se obtiene de la multiplicación de la señal obtenida en el pin análogo y el voltaje de alimentación del Arduino (5 voltios), La ecuación para calcular el nivel de tensión que hay en el panel solar es:

$$V_{in} = A0 \times 5 \text{ Vol} \quad \text{ec7}$$

$$V_{ol \text{ panel}} = V_{in} \times \frac{R7}{R7+R6} \quad \text{ec8}$$

$$V_{ol \text{ panel}} = V_{in} \times \frac{100k\Omega}{100k\Omega+1M\Omega} \quad \text{ec9}$$

6.3 Construcción Prototipo

Los circuitos impresos traen grandes ventajas en el diseño de equipos electrónicos tales como el ahorro de espacio, se disminuye significativamente la posibilidad de malos contactos entre los componentes, si es bien diseñado el PCB la posibilidad de un corto circuito es casi nula, se reduce el peso y volumen de circuito, facilita la visualización de erros al tener mejor organización que los circuitos con cableado, además de tener los componentes fijos evitando que el movimiento u otras perturbaciones afecten el funcionamiento de estos.

Es importante calcular el ancho de las pistas del PCB, si se sobre pasa el límite de corriente que puede circular por dicha pista se tendrá un sobre calentamiento del circuito y se corre el riesgo de que se pueda quemar, para calcular el ancho de una pista en el PCB es necesario conocer la corriente máxima que circulará por ese tramo de la pista, la temperatura que soporta la pista (ejemplo si la temperatura ambiente es de 20°C y no queremos que la temperatura de la pista sobre pase los 25°C, el incremento máximo de temperatura será de 5°C) y el grosor de la pista que tiene una medida imperial de onzas por pie cuadrado (oz/ft²); Una Onza pie cuadrado equivale a 35 micras [27] [28].



La ecuación para el cálculo del ancho de las pistas es la siguiente:

$$Ancho = [I/(k1 * \Delta T k2)]^{1/k3} / (L * 1,378) \quad ec10$$

Donde I es la corriente máxima (A), K1 es una constante establecida y su valor es 0,0647 cuando la pista es externa (placas con una capa), ΔT es la diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura máxima de la placa ($^{\circ}C$), K2 y k3 son otras constantes y sus valores para cuando son pistas externas son 0,4281 y 0,6732 respectivamente y L es el grosor de la pista (oz/ft^2) [27].

De lo dicho anteriormente para el grosor de las pistas en el PCB diseñado para el proyecto se tiene:

- I = 0,383 A, este valor se obtiene de la tabla con los valores de voltajes y corrientes.
- Temperatura Máxima = $40^{\circ}C$
- Temperatura Ambiente = $30^{\circ}C$
- L = 1 oz/ft^2

Reemplazando en la ecuación el ancho es:

$$Ancho = 11,04 \text{ Mils}$$

Después de tener ya definidas las características de los dispositivos, la cantidad de pines, y los esquemas de conexiones, se procedió a diseñar los circuitos en PCB. PCB se realizaron en el programa de acceso libre Fritzing®. Las figuras 27 y 28 muestran los resultados de las caras posteriores de lo que serían los impresos.

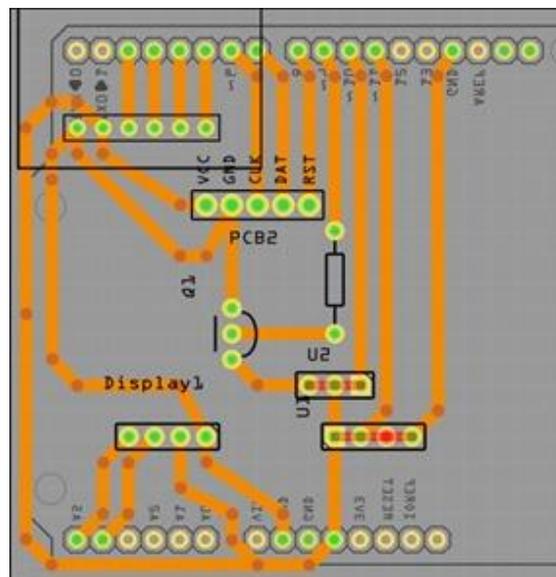


Figura 27. Diseño PCB modulo maestro Tomado de diseño realizado en el programa Fritzing. Fuente: Autores.

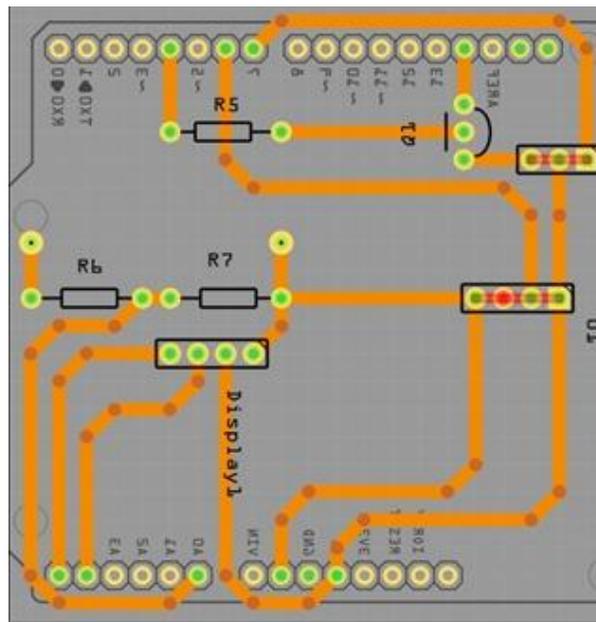


Figura 28. Diseño PCB módulo esclavo Tomado de diseño realizado en el programa Fritzing. Fuente: Autores.

La fabricación de estos impresos se hizo manualmente utilizando ácido férrico y placas de fibra de vidrio, las imágenes del resultado final se encuentran en el Anexo 6.

Posteriormente, se procedió a hacer el ensamble de todos los componentes, realizar pruebas de continuidad y de funcionamiento de todos los módulos, este proceso de ensamblaje también se encuentra detallado en el Anexo 6.

6.4 Aplicación móvil

Disponer de un aplicativo para el sistema, se hace necesario debido a que los datos de radiación solar van a quedar almacenados en la memoria extraíble SD, se quiso realizar una aplicación móvil que permitiera al usuario tener acceso a estos datos desde su Smartphone y así mismo calcular el número de módulos fotovoltaicos que requiera la zona que fue monitoreada según el consumo de energía que tenga y el valor de radiación promedio total, esto es de gran importancia, pues se tiene a la mano una herramienta que permite a las personas saber que tantos paneles debe utilizar si quiere, por ejemplo, energizar su casa haciendo uso de la energía solar.

El usuario puede ingresar los datos de la potencia del panel que quiere utilizar, el consumo de energía al día, y la potencia total. La aplicación entonces se encarga de tomar los datos de radiación de la memoria SD luego de ser puesta en el celular, realizar el promedio de estos datos al día para así obtener un valor de radiación total



en promedio diario y calcular el número de paneles requeridos según las características ingresadas.

Los cálculos se desarrollaron de la siguiente manera:

$$potencia\ real = potencia\ del\ panel * irradiancia \quad ec11.$$

$$número\ de\ paneles = \frac{potencia\ total}{potencia\ real} \quad ec12.$$

La interfaz se desarrolló en el programa Android Studio, y permite al usuario de una manera fácil conocer el número de paneles necesario para suplir la energía según la radiación monitoreada en esa área. Estos cálculos se hicieron basados en conocimientos teóricos aprendidos, ecuaciones de relación de consumo de potencia y capacidad de los paneles, y se espera que la eficiencia de estos sea de aproximadamente un 95%, teniendo en cuenta variaciones en las medidas que afecten los datos ingresados a la aplicación. El código de programación que se utilizó se encuentra en el Anexo 9.

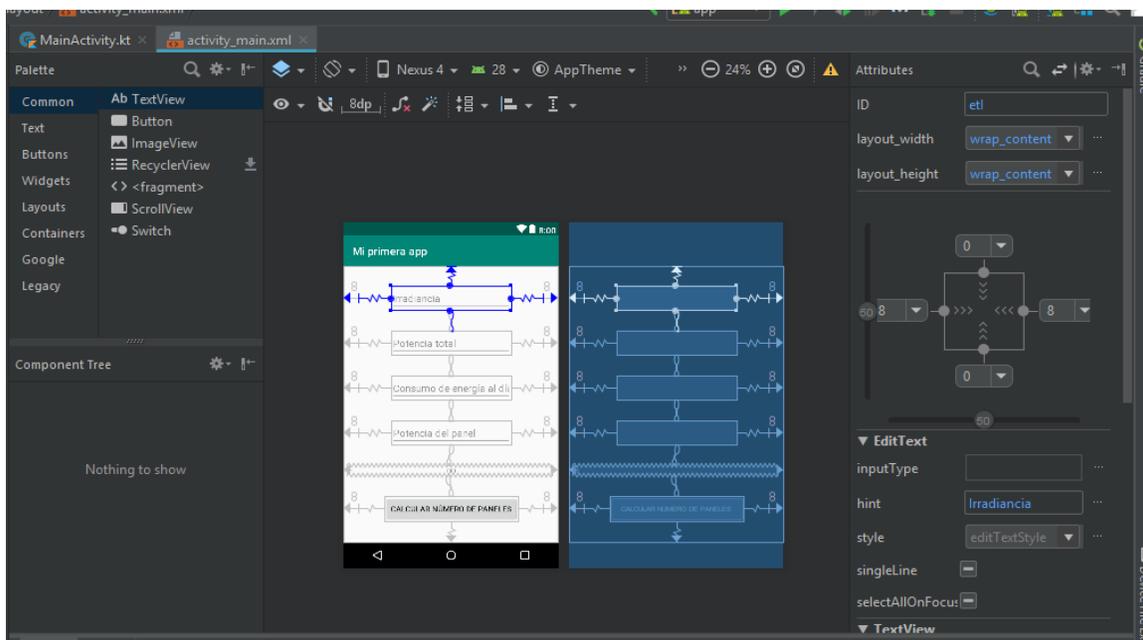


Figura 29. Proceso diseño de interfaz en Android Studio. Fuente: Autores.



Figura 30. Interfaz en el dispositivo Android para el ingreso de los datos en la aplicación.
Fuente: Autores.

6.5 Caracterización del panel

La caracterización de panel se llevó a cabo primero calculando un valor de resistencia con el voltaje de circuito abierto y la corriente en corto circuito medidos en el panel solar, utilizando la Ley de Ohm. En el Datasheet del panel [20] (que se encuentra en anexos 2) utilizado el voltaje de circuito abierto es de $V_{oc} = 7,7$ el voltaje cuando fue medido experimentalmente es de $7,3$ V. Por su parte, la corriente según el Datasheet es de 370 mA, pero medida experimentalmente es de $I_{sc} = 333$ mA

$$R \text{ del panel} = \frac{7,7 \text{ v}}{333 \text{ mA}} \text{ ec13.}$$

$$R = 21,92 \Omega \approx 22\Omega$$

Esta resistencia representa que el punto de medición se moverá linealmente entre las curvas del panel solar, como se puede apreciar en la figura 31 donde la línea transversal que se logra ver representa el punto donde se mide el voltaje con un nivel de radiación cualquiera, en la tabla 9 se muestran los datos obtenidos de la caracterización de panel solar.

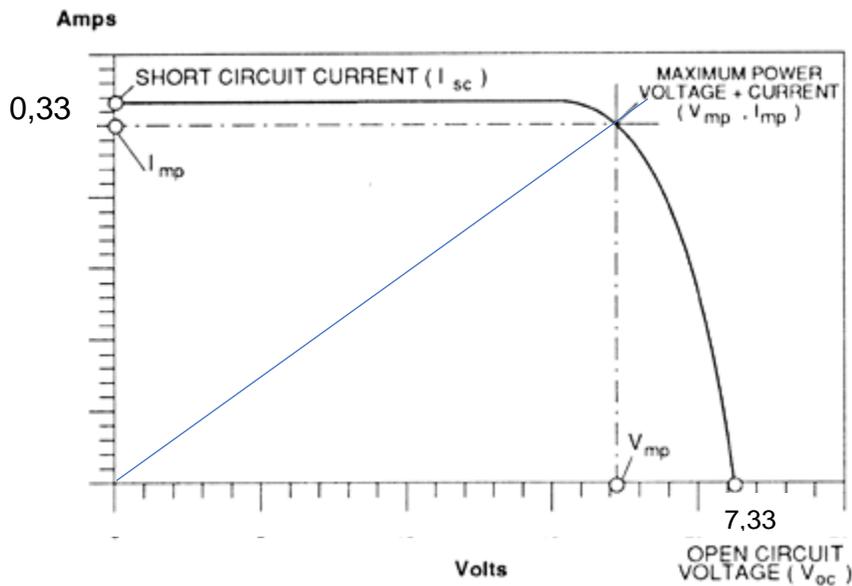


Figura 31. Punto máximo de potencia del Panel solar V vs I. Fuente: [24]

De esta manera, se procede a realizar la caracterización teniendo como referencia el punto máximo de la curva al que se espera llegar, que en este caso se define como 1000 W/m^2 , entonces en este caso, el voltaje también correspondería al máximo medido que sería $7,33 \text{ V}$. Es importante tener en cuenta que se tomaron valores cada 10 W/m^2 como criterio de diseño para realizar esta caracterización. Con esto, se calculan los demás valores teóricamente con ayuda de reglas de tres de la siguiente manera:

Por ejemplo:

Si 1000 W/m^2 de radiación corresponden al voltaje máximo de $7,33 \text{ V}$, ¿A qué voltaje corresponden 990 W/m^2 ?

$$\begin{aligned} 1000 \text{ W/m}^2 &\rightarrow 7,33 \text{ V} \\ 990 \text{ W/m}^2 &\rightarrow \text{Voltaje?} \\ \text{Voltaje} &= \frac{990 \cdot 7,33}{1000} = 7,2567 \text{ V} \quad \text{ec14.} \end{aligned}$$

En figura 32 se observa la gráfica que se obtiene de la ecuación utilizada para la caracterización del panel, la tabla con los valores de Voltaje vs Radiación se encuentra en los anexos. Como se puede ver, la resistencia calculada hace que se tenga valores aumenten de forma lineal entre las curvas del panel comprobando así, que los cálculos de dicha resistencia son acertados.

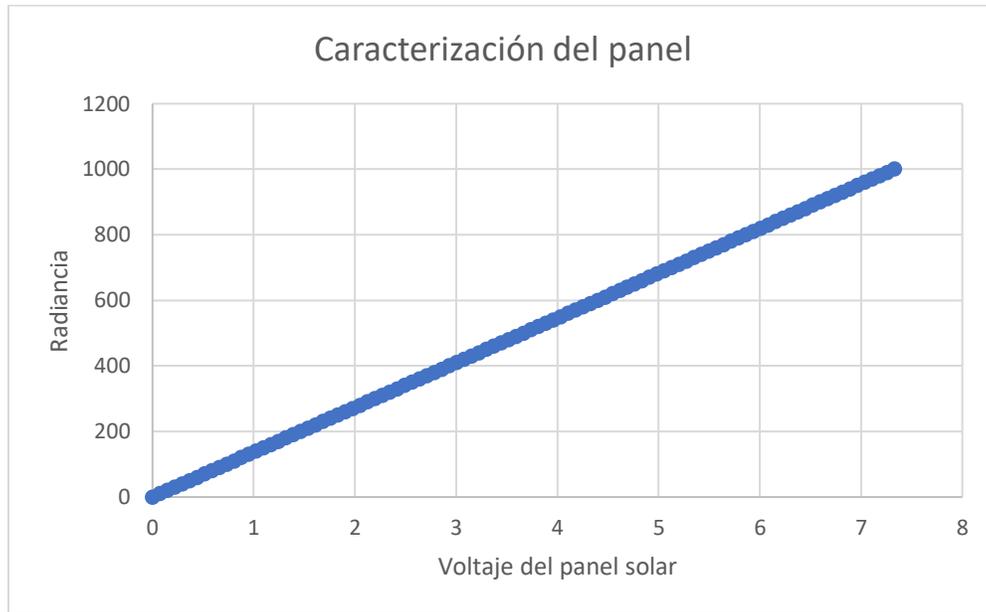


Figura 32. Caracterización del panel. Fuente: Autores.



7. Capítulo 4: Resultados

7.1 Datos del monitoreo

Los primeros datos de monitoreo que se obtuvieron se muestran en la tabla 9. El procedimiento se basó en la caracterización del panel solar, la obtención de diferentes valores de voltajes a diferentes momentos del día. Estos datos se tomaron en varios momentos del día para tener una referencia inicial de valores y notar si las medidas si estaban acorde con la caracterización del panel realizada anteriormente. Para estos cálculos se tomó un criterio de diseño el cual consiste en hacer una aproximación de los valores medidos, esto para determinar por código el valor de radiación que corresponde al voltaje medido. De esta manera la aproximación se hace teniendo en cuenta los números decimales, estando entre 1 y 4 la aproximación al valor anterior más cercano terminado en cero y de 5 a 9 al valor siguiente más cercano terminado en cero. Estos datos fueron tomados en la Universidad de Ibagué como primer punto de monitoreo el día viernes 31 de mayo. Es importante resaltar que este fue un día mayormente nublado y la luz solar no estaba expuesta al 100%.

Los datos fueron tomados tanto con el panel solar, como el medidor de radiación solar ES-2000 con el fin de verificar si la caracterización del panel quedo bien realizada, por eso se tiene la tercera columna de la tabla que corresponde al valor aproximado del medido para poder comparar con la tabla de la caracterización.

Tabla 9. Comparación datos Experimentales. Fuente: Autores.

Tabla Comparación de datos		
Voltaje (V) (Panel solar)	Radiación (W/m ²) (Medidor ES-2000)	Aproximación
1,55	218	220
1,74	264	260
2,24	238	240
1,53	214	210
1,69	231	230
1,42	198	200
2,5	351	350
1,75	238	240
2,11	291	290
4,89	668	670
5,59	755	760
6,19	852	850
1,51	213	210



2,8	283	280
1,88	258	260
2,28	315	310
1,22	162	160
5,45	745	750
0,93	127	130
0,99	143	140

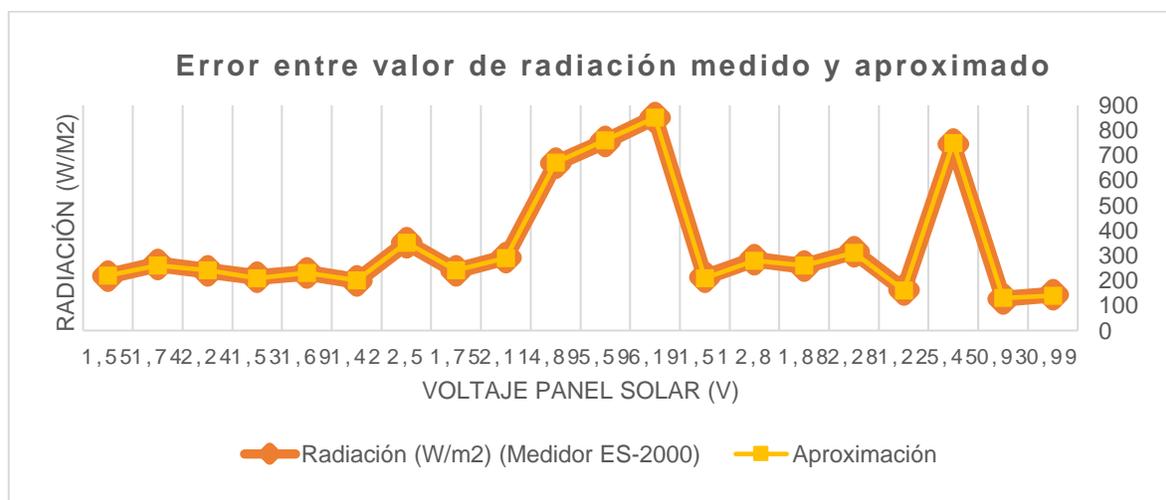


Figura 33. Gráfica comparativa entre las medidas realizadas y los valores aproximados.
Fuente: Autores.

Como se puede apreciar en la gráfica de la figura 33, la línea de datos con la aproximación realizada (línea amarilla) se encuentra prácticamente sobre puesta a la línea de datos tomados con el medidor patrón ES-2000 (línea naranja). Aquí se puede apreciar que el error entre los datos no es un valor que afecte considerablemente las medidas que van a ser patronadas.

A continuación se muestran los datos obtenidos el día 01 de Junio, el sistema se configuró para monitorear cada media hora para mostrar con más detalle los cambios de radiación que se tienen a lo largo del día. El monitoreo se realizó desde las siete de la mañana hasta las seis de la tarde en el mismo punto.

En la figura 34 se puede ver el gráfico que se obtiene con los datos monitoreados del esclavo número 1, el pico más alto se registró a las 11 de la mañana con una radiación de 800 W/m². Se puede analizar también que las lecturas bajas que se observan concuerdan con nubosidades que se registraron a esa hora de la medición. En la figura 35 se puede ver el gráfico que se obtiene del esclavo número dos, y se puede analizar que este sigue casi los mismos patrones del esclavo 1 con unos cambios pequeños, dando a entender que la radiación varía con una distancia de 8 metros entre esclavo y esclavo. Adicionalmente se puede observar que los picos más altos de radiación se pueden encontrar cerca al medio día, pero entre las



9 am y 3 pm los índices de radiación superan los 700 W/m². Cabe resaltar que los dos esclavos monitorearon en la misma zona y a las mismas horas para poder comparar las medidas y llegar a concluir en que se ven afectadas por la distancia, ya que estuvieron separados aproximadamente a 8 metros.

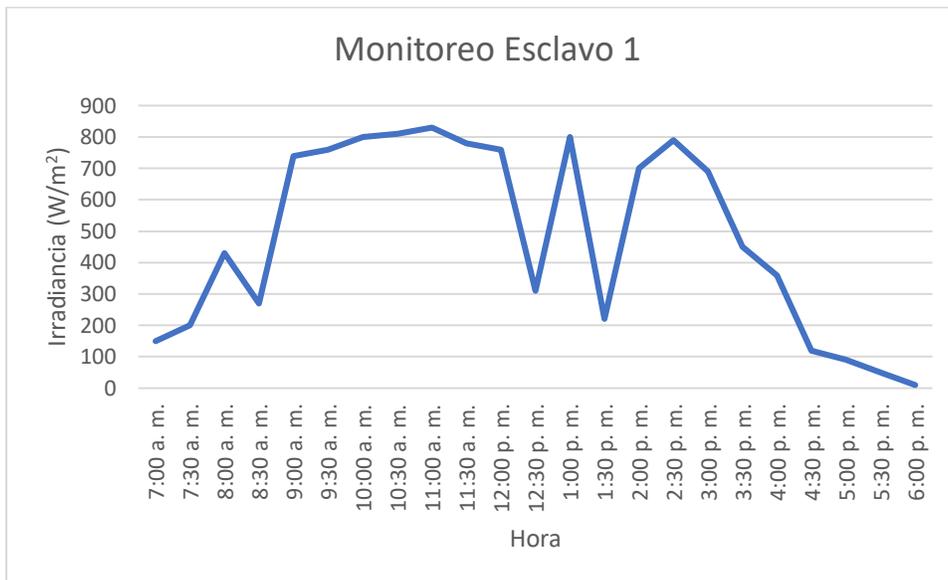


Figura 34. Monitoreo Esclavo 1. Fuente: Autores.

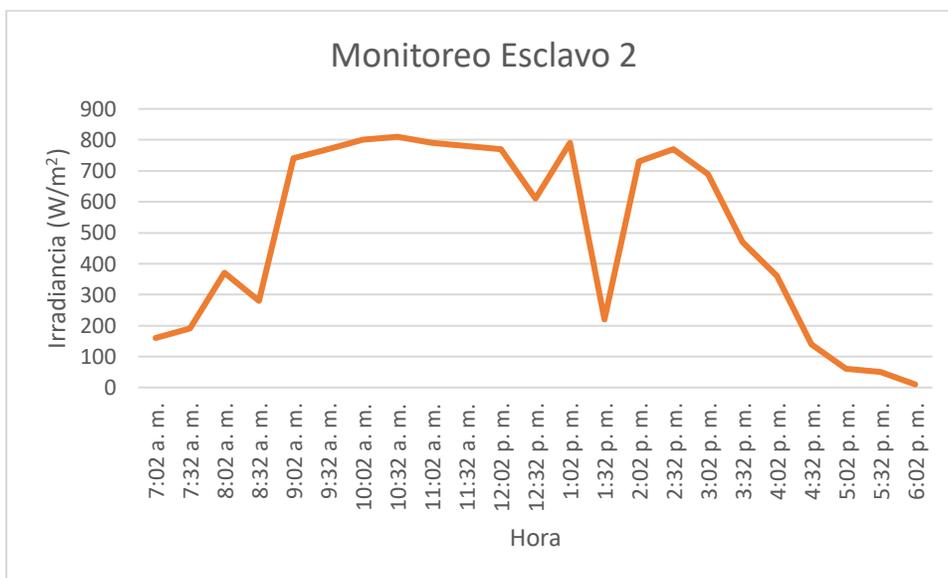


Figura 35. Monitoreo Esclavo 2. Fuente: Autores.



8. Cronograma de actividades

La tabla 10 representa de una manera generalizada, el proceso que se llevó a cabo durante los 6 meses reglamentarios para el desarrollo del proyecto que iniciaron el 01 de Octubre de 2018 y finalizaron el 01 de Mayo de 2019, y el mes de prórroga establecido que corresponde al mes 7, es decir del 02 de Mayo hasta el 04 de Junio de 2019. De esta manera se organizó el cronograma con las actividades principales del proyecto, las cuales se pudieron culminar con satisfacción, la tabla esta expresada en meses.

Tabla 10. Cronograma del proyecto

ACTIVIDADES	1	2	3	4	5	6	7
Investigación y documentación	■						
Diseño del sistema		■					
Cotizaciones		■	■				
Compra materiales				■			
Construcción del sistema de monitoreo					■	■	■
Programación del sistema de comunicación				■	■	■	■
Ensamblaje del sistema						■	
Recolección de datos							■
Elaboración del aplicativo móvil					■	■	■
Escritura informe final	■	■	■	■	■	■	■
Presentación del proyecto							■



9. Conclusiones y Recomendaciones

9.1 Conclusiones

Los sistemas de monitoreo resultan ser una opción muy viable para conocer el cambio y comportamiento de diferentes variables. En este caso, monitorear la radiación solar permitió conocer los niveles de la irradiancia que existen en puntos focalizados, lo cual es un dato demasiado importante que permite el aprovechamiento de la energía solar para aplicaciones en la ingeniería, agricultura u otros, además de que incentiva el estudio de las energías alternativas que hoy en día no son comúnmente aprovechadas.

La radiación solar en Ibagué tiene cambios importantes debido a la variación del clima que se presentan en la Ciudad. Como se sabe, Ibagué cuenta con diferentes alturas sobre el nivel del mar, desde la zona del barrio El Salado hasta la altura de la zona del Cañón del Combeima. A pesar de que los datos se tomaron en puntos no tan al extremo de la ciudad como la Universidad de Ibagué, y el sector de Mirolindo, se pudo notar que los datos si se ven afectados por la altura sobre el nivel del mar en la que se encuentran los puntos de medida. Es por esto, que hacer que el sistema de monitoreo sea autónomo y portátil, resultó ser una gran ventaja puesto que puede ser trasladado a cualquier zona ya sea urbana o rural para que ésta sea monitoreada y además permite que más personas tengan acceso a estos datos, que como anteriormente se dijo, son de suma importancia para hacer que algunas prácticas de ingeniería, del campo o simplemente de investigación, hagan uso de los recursos naturales como lo es la energía del sol.

Una segunda conclusión, se refiere al valor agregado que se logró con el desarrollo de este proyecto al obtener un sistema de monitoreo de bajo costo capaz de medir la radiación solar, ya que los sistemas de monitoreo convencionales hacen uso de sensores de tipo industrial, lo cual hace que se aumenten de manera considerable los costos y por ende se disminuya la posibilidad de que más personas puedan acceder a este tipo de herramientas que permitan hacer uso y aprovechamiento de los recursos naturales, en este caso de la energía solar, para aplicarlos en diferentes ramas teniendo en cuenta que el recurso solar es un gran y, probablemente, un inagotable recurso natural. De esta manera se logró elaborar un sistema intuitivo, económico y versátil que cuenta con varios puntos de monitoreo de la misma variable lo cual hace que se tengan en cuenta efectos como nubosidad, sombreado u otros ya sean naturales o del entorno, que puedan afectar la medida de la radiación solar. Por esto el sistema escogido de topología maestro – esclavo fue una elección apropiada.

De esta manera se puede concluir que se logró el objetivo general planteado inicialmente y se consiguió solucionar de una manera positiva la pregunta de investigación planteada.



9.2 Recomendaciones

Como recomendación para hacer más eficiente este sistema de monitoreo, se propone mejorar el sistema de comunicación, puesto que los módulos de radio frecuencia que se utilizaron presentan la limitación de la cobertura y la disminución de velocidad de envío de datos cuando se presentan obstáculos como paredes, puertas o algún otro tipo de objeto capaz de interferir en la transmisión. Con una inversión económica un poco mayor, se podría tener un sistema mucho más robusto que permitiera el monitoreo de zonas más amplias como barrios, fincas, o ciudades, teniendo la posibilidad de tener un mecanismo que permanentemente monitoree y obtenga datos de radiación solar bajo todas las condiciones climáticas, naturales y del entorno que se presentan al momento de tomar una medida.

Además de esto, el alcance del proyecto podría aumentar en la medida en que se añadan al sistema otras variables que son importantes al momento de hacer el monitoreo como fecha, hora, altitud, posición geográfica, entre otras.

Una opción viable y muy acertada para el posible uso de estos datos, sería el levantamiento de un mapa solar que finalmente detalle la zona monitoreada. La elaboración de esta herramienta haría que este sistema fuera totalmente innovador y mucho más robusto y se podría con lograr con softwares ya existentes para la creación de estos mapas solares.



10. Referencias

- [1] Precio Petróleo, la industria petrolera, el precio del petróleo hoy, 2019.
- [2] El definido ¿Cuánto tiempo queda antes de que se acabe el petróleo?, 05 de enero 2018.
- [3] World Economic Forum, Informe del índice de rendimiento de la arquitectura energética mundial 2017, 22 de marzo 2017.
- [4] World energy, World Energy Scenarios, 2019
- [5] Ecopost, Consumo Mundial de Energía Solar sube un 38% en 2014. 3 julio 2015.
- [6] El Periódico de la Energía, Goldman Sachs espera un fuerte crecimiento de la energía solar en el mundo en 2019-2020, 18 de marzo 2019.
- [7] Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. Clima: Cromatografía de las principales ciudades. Cartas climatológicas - medias mensuales aeropuerto perales (Ibagué), 4 de octubre de 1999.
- [8] Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG. Estimación horaria de la irradiación solar total extraterrestre. Edson Plasencia S., Lidio Matos C., Adolfo Posadas, Carlos Cabrera, 2007.
- [9] Clarín rural. Rural. Tecno campo. Arman una red para medir la radiación solar y convertirla en electricidad para el campo, 01 de octubre 2015.
- [10] Alromar energías del futuro. Instalación de estación solar en Nigeria, 20 de febrero de 2016.
- [11] Techlandia, ¿Cuáles son las limitaciones del Bluetooth?
- [12] Agencia Estatal de Meteorología AEMET. Gobierno de España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- [13] Pontificia Universidad Católica de Chile. Estado del arte y perspectivas de la tecnología CSP y de sistemas de almacenamiento en baterías. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Eléctrica.
- [14] ProyectoFSE. ¿Cómo es una estación de medición solar?, 11 de noviembre de 2015.
- [15] World Climate Research Program, Baseline Surface Radiation Network Operations Manual, WMO/TD No. 1274, 2005.



- [16] World Meteorological Organization, WMO Guide to meteorological instruments and methods of observation, Part 7.
- [17] Instrumentos de medida, S.L. Equipos y sistemas para pruebas electrónicas. Sensores de radiación solar, 2017.
- [18] Universidad del Norte Barranquilla, Colombia. Elmar Uherek. Energía del sol, 2013.
- [19] Robodacta. Robótica didáctica. módulos RF 433 MHz.
- [20] Verical. Adafruit. Medium solar 6V 2W Panel.
- [21] Datalogger. Micro SD Card Micro SDHC Mini TF Card Adapter Reader Module For Arduino.
- [22] Orientlcd. Orientar LCD. Módulo LCD 16x2 Caracteres – Interfaz I2C.
- [23] Maxim Integrated. Trickle – Charge TimeKeepin Chip. Modulo de reloj DS 1302 para Arduino.
- [24] Eliseo Sebastian. Ejemplo cálculo eficiencia de paneles. I-V curve.
- [25] Periodico El Tiempo. Nueve de cada 10 proyectos para generar energía usarán paneles solares. 2017.
- [26] La energía solar fotovoltaica en Colombia: potenciales, Antecedentes y perspectivas. Jhonnatan Gómez-Ramírez, Jairo D. Murcia-Murcia, Ivan Cabeza-Rojas. Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Santo Tomás
- [27] Gamboa, M. (2011a, 1 septiembre). CALCULO DE CAPACIDAD de CORRIENTE en PISTAS de Circuitos Impresos [Documento técnico]. Recuperado 25 junio, 2019
- [28] Alexandre, F. J. (2015, 3 julio). Algoritmo para calcular el ancho de una pista de una PCB. Recuperado 4 julio, 2019
- [29] Chacón Cardona, César Alexander, Cely, Óscar Eduardo, Guerrero, Fernando, Diseño y construcción de un medidor de radiación solar. Tecnura 2008
- [30] Estimación de la Radiación Solar. Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento Básico del Área Rural. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental. Lima 2003.



[31] Robodacta. Sistemas RF. Módulos RF. Módulos transmisor y receptor RF 433 Mhz. Mexico.



11. Anexos

11.1 Anexo 1. Hoja de datos módulos de RF [19]

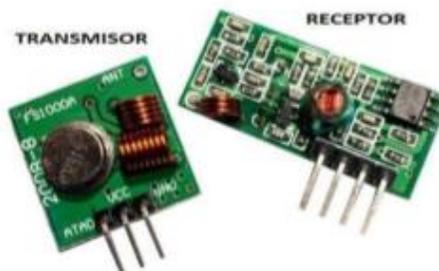
MÓDULOS RF 433 Mhz.

www.robodacta.mx



MÓDULOS RF 433 MHz

Este par de módulos RF, funcionan como un enlace de datos simple, es decir, solamente transmiten información en un solo sentido; por lo que resultan extremadamente útiles en aplicaciones sencillas que no requieren una comunicación bidireccional. Los módulos se conectan fácilmente a cualquier microcontrolador y/o circuitos codificadores y decodificadores, permitiendo tener un enlace de radio frecuencia funcional en muy poco tiempo.



En la imagen se muestran los módulos RF. El módulo más pequeño es el transmisor TX, mientras que el dispositivo de forma alargada es el receptor RX.

Las características de los módulos son:

Módulo TX:

- Voltaje de Operación: 3.5V~12V
- Entrada de datos: TTL
- Corriente de trabajo: Máximo $\leq 40\text{mA}$ (12V), mínimo $\leq 9\text{mA}$ (3.5V);
- Alcance: 20 metros~200 metros (a mayor voltaje, mayor potencia de transmisión)
- Potencia de transmisión: 10 mW (5V);
- Frecuencia de transmisión: 433MHz
- Tasa de transferencia de datos: 4KB/seg
- Baud Rate recomendado: 2400
- Modulación: ASK/OOK
- Antena (no incluida): Alambre de cobre de 25cm (recomendado)
- Pines de salida: DATA(TX)/VCC/GND.

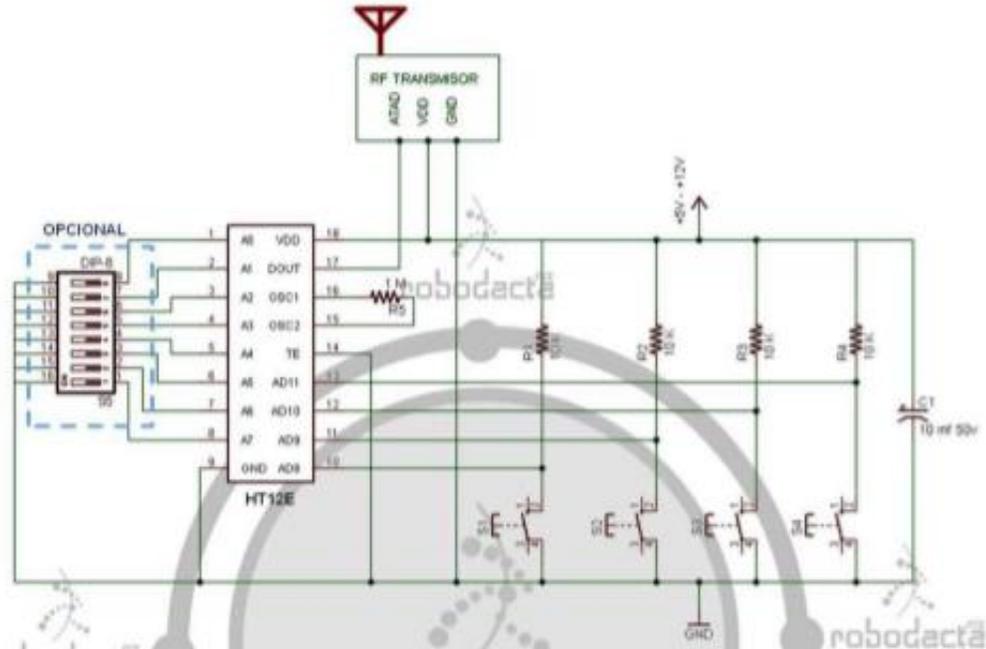
Módulo RX:

- Voltaje de Operación: 5V DC
- Consumo de corriente: 4mA
- Sensibilidad del receptor: -105dB
- Frecuencia de recepción: 433MHz
- Modulación: ASK/OOK
- Principio de funcionamiento: Receptor, Súper-regenerativo (sensible a señales débiles)
- Antena (no incluida): Alambre de cobre de 25cm~32cm (recomendado en forma de espiral)
- Pines: GND/DATA(RX)/VCC

Un ejemplo del funcionamiento de éstos módulos se muestra en los siguientes diagramas de conexión para el transmisor y el receptor, utilizando un circuito codificador y un circuito decodificador. En cada diagrama se indica la lista de material a utilizar.



Diagrama Transmisor RF 433 Mhz.



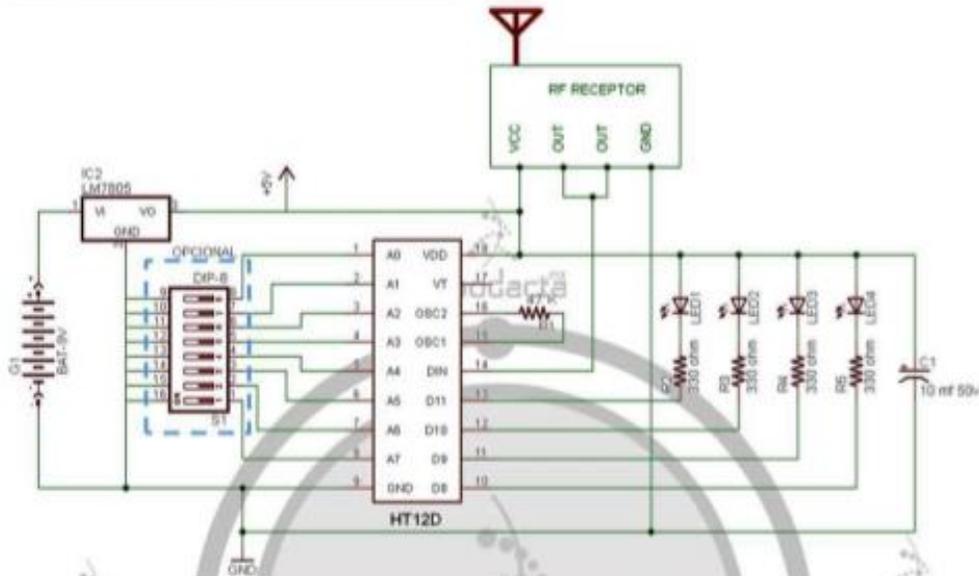
Lista de Material:

- 4 Resistencias 10 K ohms.
- 1 Resistencia 1 Mega ohm.
- 4 Push Button.
- 1 Capacitor de 10 microf.
- 1 CI HT12E.
- 1 Broche para pila 9V (CAB1113)
- 1 DipSwitch 8 vías. (opcional)
- 1 Protoboard.

El módulo transmisor tiene un rango de alimentación de 5VDC hasta 12VDC, por lo anterior se puede utilizar una batería de 9 VDC.

Observa que la resistencia que se utiliza en los pines del oscilador (15 y 16) del CI HT12E es una resistencia de 1 Mega ohm.

Diagrama Receptor RF 433 Mhz.



MATERIAL:

- 4 Resistencias 330 ohms.
- 1 Resistencia 47 K ohms.
- 4 Diodos Led.
- 1 Capacitor 10 microf.
- 1 CI HT12D
- 1 Regulador de voltaje 7805.
- 1 Broche para pila 9V (CAB1113).
- 1 DipSwitch 8 vías. (opcional).
- 1 Protoboard.

El receptor se debe alimentar con 5VDC. Al utilizar una batería de 9VDC, se deberá usar un regulador de Voltaje 7805.

La resistencia que se utiliza en los pines (15 y 16) del oscilador del CI HT12D, deberá ser menor a la usada en el CI HT12E del transmisor. En este caso se coloca una resistencia de 47 K ohms.

Arma y prueba estos diagramas. Si tienes alguna duda, contáctanos.

Atentamente:

ROBODACTA.MX



11.2 Anexo 2. Datasheet Panel Solar [20]



Medium 6V 2W Solar panel - 2.0 Watt

PRODUCT ID: 200



. Description

These panels come to us from Voltaic Systems, makers of fine solar-powered bags and packs. These are waterproof, scratch resistant, and UV resistant. They use a high efficiency monocrystalline cell. They output 6V at 330 mA via 3.5mm x 1.1mm DC jack connector. The substrate is an aluminum / plastic composite, specifically designed to be strong and lightweight. They can easily stand up to typical outdoor use including being dropped and leaned on. They're very high quality and suggested for projects that will be exposed to the outdoors.

New! These now come with 4 plastic mounting screws which makes it easy to attach the panel, even to fabric!

To connect, we suggest a 3.5mm OD/1.1mm ID DC jack or you can use this handy 2.1mm adapter cable which will turn it into a standard 5.5mm/2.1mm DC plug

If you want to use this to charge a battery or run your project, check out our optimized Solar Lithium Ion/Polymer charger!



Please note: Depending on availability, we may stock 'charcoal' or 'silver' colored panels. They have the same size and efficiency, just a slightly different look. If you order multiple panels you may receive a mix! Some of these panels may also have a different colored cable. They also work just the same - just have a slightly different look!

Technical Details

- Size: 4.4" x 5.4" / 110mm x 140mm
- Weight: 3 ounces / 90 grams
- Cell type: Monocrystalline
- Cell efficiency: 19%+
- 2.27 Watts Peak Power

Dimensions:

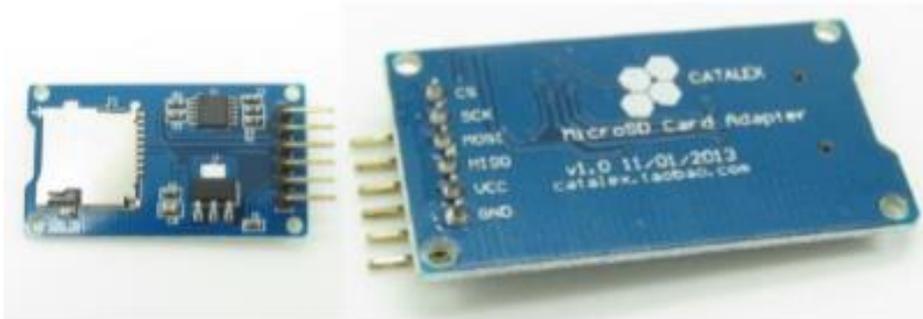
- Length: 111.86mm/4.40in
- Width: 135.83mm/5.34in
- Thickness (without screws): 4.72mm/0.18in
- Thickness (with screws): 9.82mm/0.38in



11.3 Anexo 3. Datasheet módulo de Micro SD para Arduino [21]

eBay Search:

Micro SD Card Micro SDHC Mini TF Card Adapter Reader Module for Arduino



Description

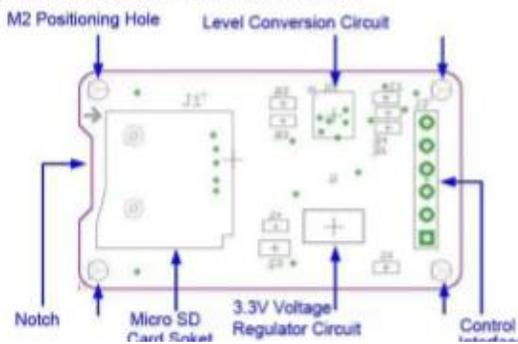
- The module (MicroSD Card Adapter) is a Micro SD card reader module for reading and writing through the file system and the SPI interface driver, SCM system can be completed within a file MicroSD card
- Support Micro SD Card, Micro SDHC card (high speed card)
- Level conversion circuit board that can interface level is 5V or 3.3V
- Power supply is 4.5V ~ 5.5V, 3.3V voltage regulator circuit board
- Communications interface is a standard SPI interface
- 4 M2 screws positioning holes for easy installation
- Control Interface: A total of six pins (GND, VCC, MISO, MOSI, SCK, CS), GND to ground, VCC is the power supply, MISO, MOSI, SCK for SPI bus, CS is the chip select signal pin;
- 3.3V regulator circuit: LDO regulator output 3.3V for level conversion chip, Micro SD card supply;
- Level conversion circuit: Micro SD card to signal the direction of converts 3.3V, MicroSD card interface to control the direction of the MISO signal is also converted to 3.3V, general AVR microcontroller systems can read the signal;
- Micro SD card connector: self bomb deck, easy card insertion.
- Positioning holes: 4 M2 screws positioning holes with a diameter of 2.2mm, so the module is easy to install positioning, to achieve inter-module combination.



Interface Parameters:

Items	Min	Typical	Max	Unit
Power Voltage VCC	4.5	5	5.5	V
Current	0.2	80	200	mA
Interface Electrical Potential	3.3 or 5			V
Support Card Type	Micro SD Card(<=2G), <u>Mirco</u> SDHC Card(<=32G)			—
Size	42X24X12			mm
Weight	5			g

Mirco SD Card Interface Module:





11.4 Anexo 4. Datasheet Pantalla LCD 16x2 con I2C [22]

Descripción

Un módulo LCD de 16x2 puntos y matriz de puntos en el modo LCD negativo de STN, dirección de visión de las seis en punto, amplio rango de temperaturas (temperatura de funcionamiento: -20 ° C a 70 ° C, temperatura de almacenamiento: -30 ° C a 80 ° C) , y retroiluminación LED blanca. Tiene un polarizador transmisivo adecuado para ambientes más oscuros. Este producto se ensambla Chip On Board con 1/16 Duty y un controlador IC AC780S o equivalente. El tipo de interfaz es Serial con compatibilidad I2C o IIC. Este es un producto compatible con ROHS fabricado con normas y procedimientos ISO.

El producto de mayor calidad al precio más bajo.

- Pantalla LCD de 16x2 caracteres
- STN Negativo Azul
- Dirección de visualización de las 6 en punto
- Temperatura de funcionamiento: -20 ° C a 70 ° C
- Temperatura de almacenamiento: -30 ° C a 80 ° C
- Polarizador transmisivo
- Retroiluminación LED blanca
- Tipo COB (Chip on Board)
- Interfaz I2C
- RoHS

Descargar referencias de productos a continuación

Hoja de datos del producto: [AMC1602A I2C](#)

Hoja de datos del controlador: [AC780S](#)

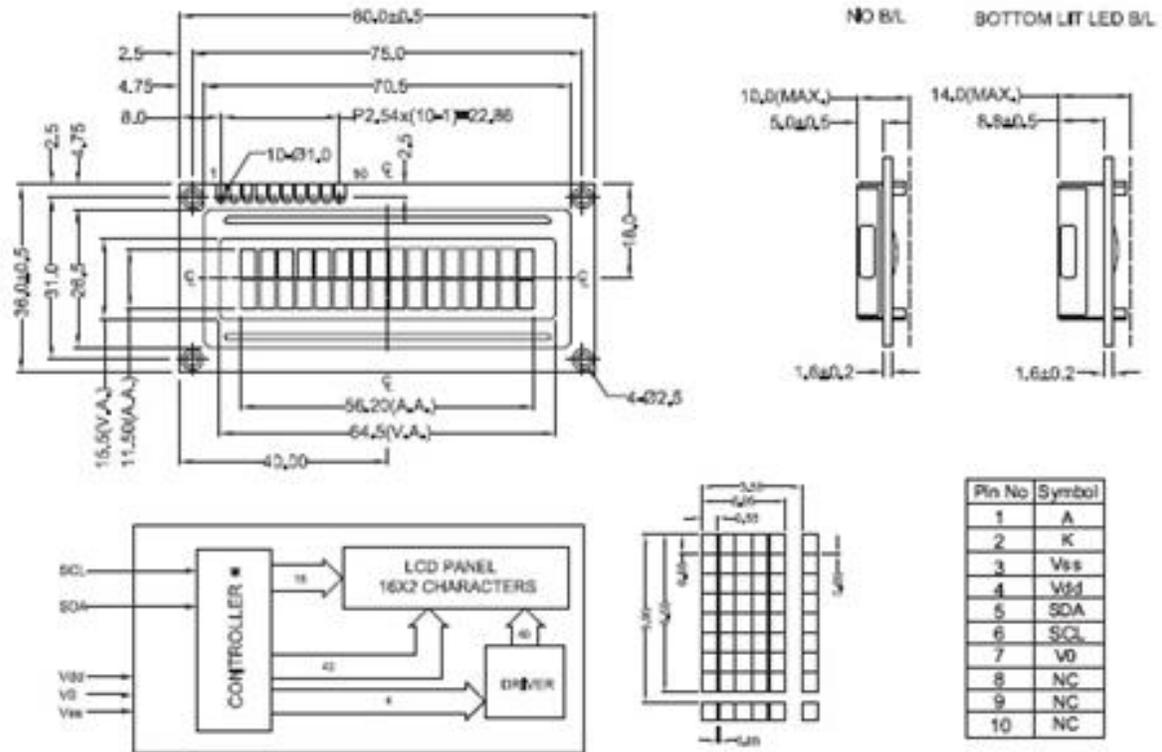
Nombre del modelo / serie	AMC1602A I2C
Caracteres mostrados x líneas	16 x 2
Modo LCD	STN Negativo Azul
Tipo de polarizador	Transmisivo
Tamaño del módulo WxHxT max (mm)	80.0 x 36.0 x 14.0
Ver Área WxH (mm)	64.5 x 15.5
Tamaño del personaje WxH (mm)	2,95 x 5,55
Iluminar desde el fondo	LED blanco
Controlador	AC780S o equivalente
Tipo de interfaz	Serial I2C o IIC
Asamblea LCD	COB (Chip a bordo)

Por favor, visite [Orient visualización](#) para ver la gama completa de *módulos LCD de caracteres* , *módulos gráficos LCD* , *COG Carácter y módulos gráficos* , *paneles LCD de cristal* , y *completa color TFT módulos* que podemos ofrecer.

Por favor envíe sus consultas a info@orientdisplay.com



AMC1602A I2C



AMC1602A I2C

Figura 36. Diagrama de la LCD. Fuente: [22].



11.5 Anexo 5. Diagrama de bloques módulos de Reloj DS1302 [23]

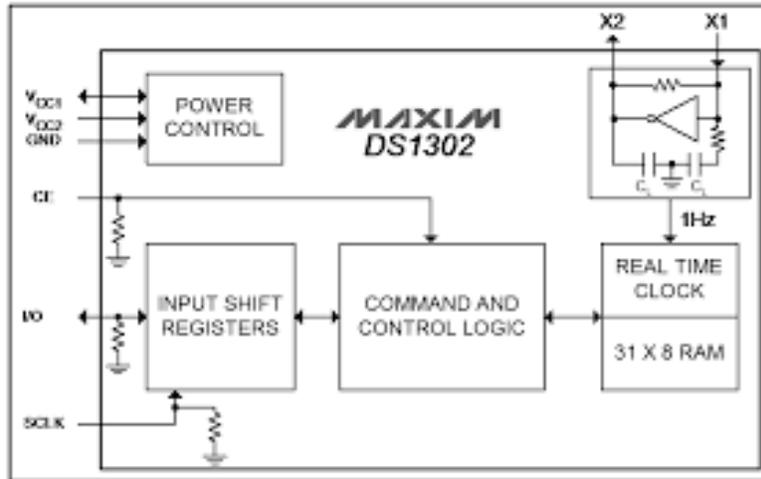


Figura 37. Diagrama de Bloques del Módulo de Reloj DS 1302. Fuente: [23]

11.6 Anexo 6. Proceso de ensamblaje módulos maestro y esclavos

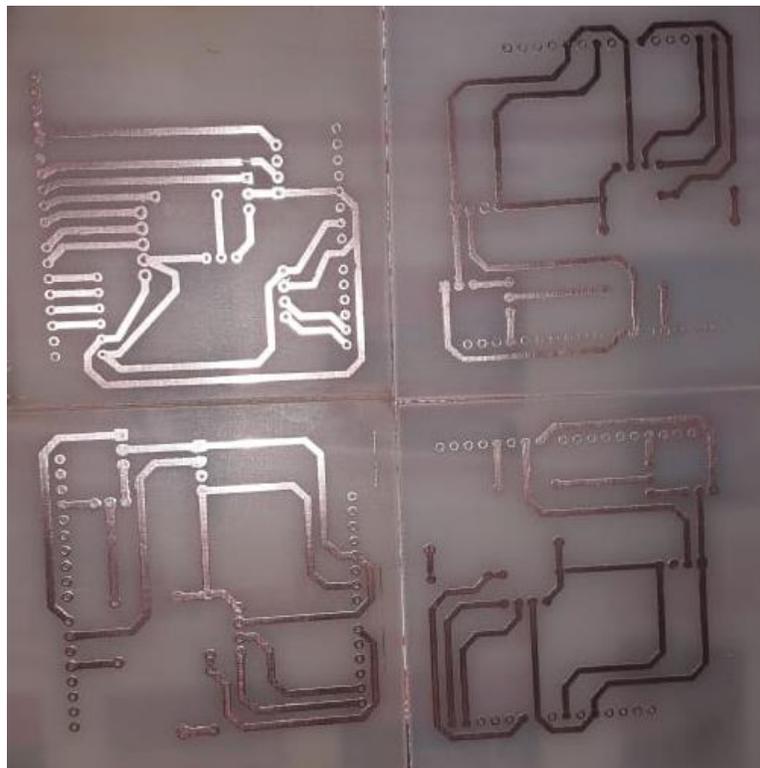


Figura 38. Proceso quemado de circuitos PCB. Fuente: Autores.

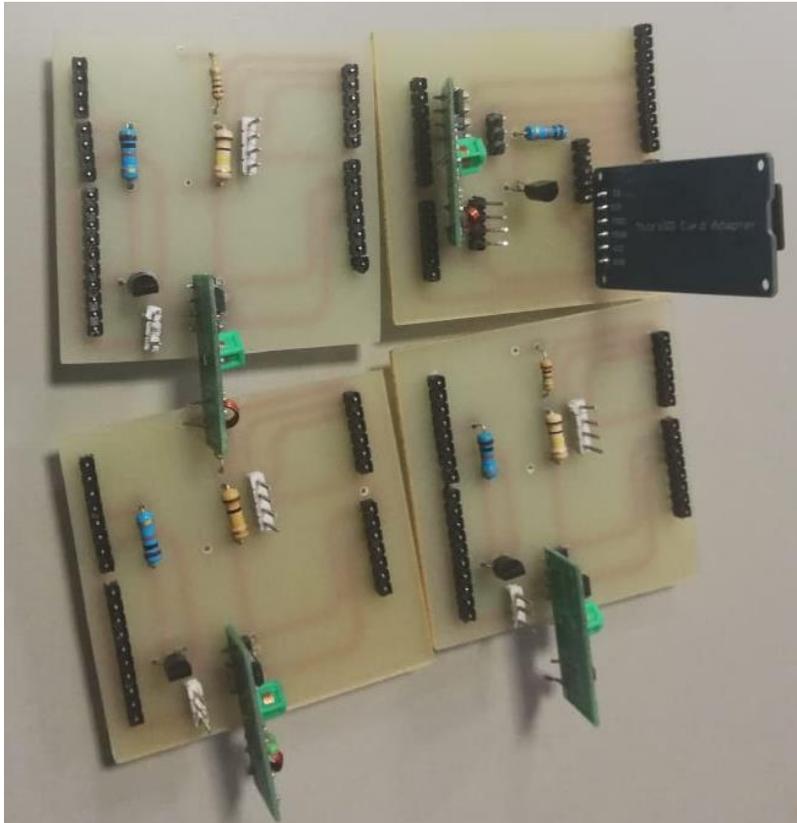


Figura 39. Proceso ensamble módulos y dispositivos electrónicos. Fuente: Autores.

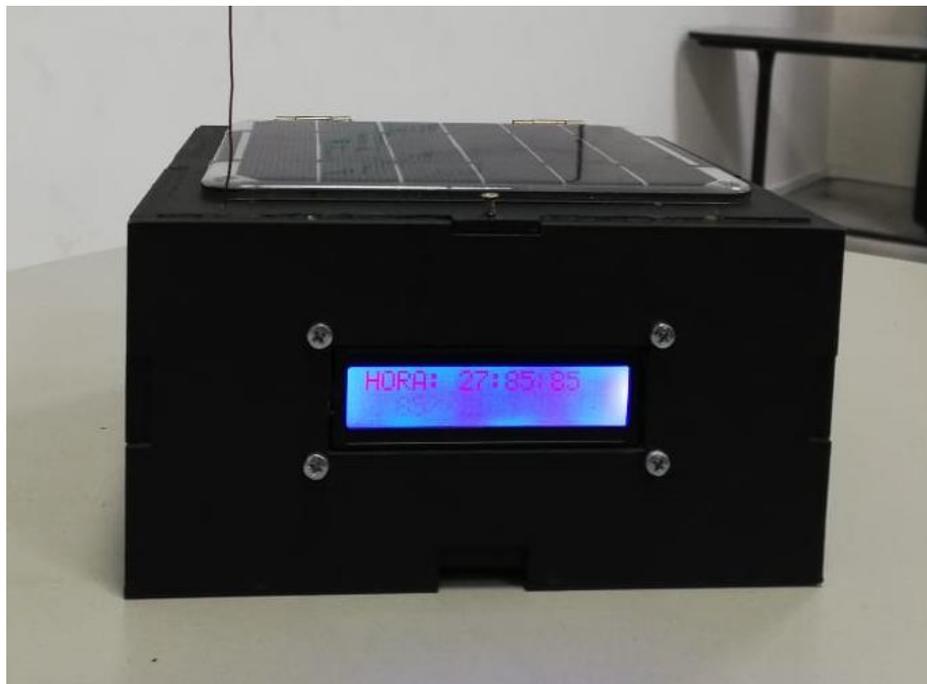


Figura 40. Pruebas de funcionamiento módulos. Fuente: Autores.

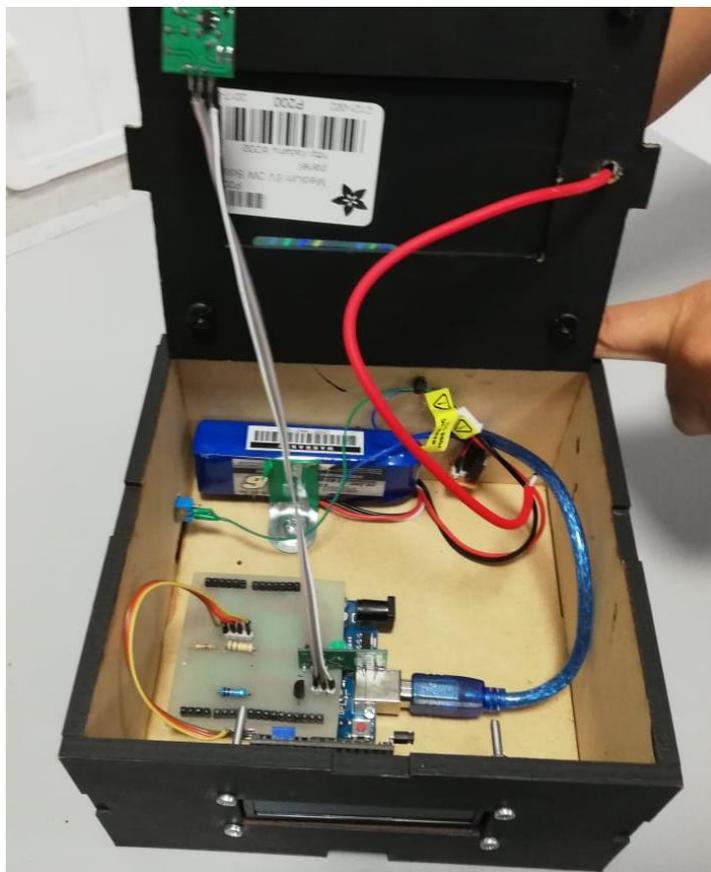


Figura 41. Interior del módulo esclavo con sistemas de alimentación, comunicación, microcontrolador y panel solar implementado. Fuente: Autores.



11.7 Anexo 7. Código Maestro

```
//-----
// PROYECTO TRABAJO DE GRADO SEMESTRE 2019A //
// //
// SISTEMA AUTÓNOMO Y PORTÁTIL DE MONITOREO //
// Y ANÁLISIS DE LA IRRADIANCIA SOLAR PARA ZONAS RURALES O URBANAS //
// //
// DISEÑADO POR: ANDRÉS FELIPE MORALES CARDOSO 2420131015 //
// LIS DAYANARA ROJAS GUZMAN 2420131017 //
//-----

//----- LIBRERIAS DEL PROGRAMA -----

#include <SD.h> // Librería Modulo de Micro SD
#include <VirtualWire.h> // Librería Modulo RF 433 MHz
#include <DS1302.h> // Librería Modulo de Reloj DS1302
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Librería LCD con I2C

//----- INICIALIZACIÓN DEL MODULO LCD -----

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); // si no te sale con esta dirección puedes usar (0x3f,16,2) || (0x27,16,2) ||(0x20,16,2)

//----- INICIALIZACIÓN DEL MODULO DE RELOJ -----

DS1302 rtc(8, 7, 6); // Pines de entrada del Módulo de Reloj (clk=6, data=7, rst=8)
Time t;

//----- VARIABLES PARA EL ENVÍO Y RECEPCIÓN DE DATOS -----
int esclavo=0;
int valor=0;
int dataInt=0;
int recibir=0;
int seleccionar = 0;
float valor2 =0;

//-----INICIALIZACIÓN DEL MODULO DE RF -----

uint8_t buf[VW_MAX_MESSAGE_LEN];
uint8_t buflen = VW_MAX_MESSAGE_LEN;
uint8_t buf2[VW_MAX_MESSAGE_LEN];
uint8_t buflen2 = VW_MAX_MESSAGE_LEN;

const int dataPin = 10; // pin digital del módulo transmisor
const int dataPinRx = 2; // pin digital del módulo receptor
const int transistor = 9; // pin digital del transistor

char leer;
//----- INICIALIZACIÓN DEL MODULO MICRO SD -----

File Esclavo;
const int chipSelect = 4; // pin de CS de la SD

//-----

void setup()
{
```



```
Serial.begin(9600); // Comunicación serial del Arduino.

pinMode(transistor, OUTPUT); // se apaga el pin del transistor y se apaga el módulo transmisor

lcd.begin(16,2); // Inicializa la interface para el LCD screen determina sus dimensiones (ancho y alto) del display
analogWrite(10, 255); //Encendido.
lcd.init(); // Inicializa la pantalla de la LCD
lcd.backlight(); // Enciente los LEDs de la pantalla LCD
lcd.clear(); // Limpia la pantalla de la LCD

vw_setup(2000); // se inicializa el software VirtualWire, velocidad de operación, velocidad por bits por segundo para la
transmisión
vw_set_tx_pin(dataPin); // Establece el pin digital por donde se va a transmitir los datos
vw_set_rx_pin(dataPinRx); // Establece el pin digital por donde se va a recibir los datos
vw_rx_start(); // Activa los módulos para transmitir o recibir

//----- SE COMPRUEVA LA INICIALIZACIÓN CORRECTA DE LA SD -----

pinMode(chipSelect,OUTPUT); // se apaga el Pin CS de la SD
Serial.print(F("iniciando SD "));

if (!SD.begin(chipSelect))
{
  Serial.println("Se ha producido un fallo al iniciar la comunicación");
  return;
}

Serial.println(F("Se ha iniciado la comunicación correctamente"));

}

void loop()
{

//----- IMPRIME LA HORA EN LA PATALLA LCD -----
lcd.clear();
lcd.setCursor(4,0);
lcd.print("Maestro");
lcd.setCursor(2,1);
t = rtc.getTime();
lcd.print("HORA: ");
lcd.print(t.hour, DEC);
lcd.print(":");
lcd.print(t.min, DEC);
lcd.print(":");
lcd.print(t.sec, DEC);

//-----

leer = Serial.read();
Serial.println("maestro");
digitalWrite(transistor, HIGH); // Se activa el módulo de transmisor
enviar (4); // se envia un 4 a los esclavos el cual indica que ninguno transmite en ese momento
delay(300);

digitalWrite(transistor, LOW); // se apaga el módulo transmisor para evitar una saturación en el buffer

//----- SE ADQUIERE LOS DATOS DEL ESCLAVO NUMERO 1 -----
```



```

if (leer=='1')
{
digitalWrite(transistor, HIGH);

for (int i=0; i <=10; i++)
{
enviar (1); // Se envia el número uno para indicar que el esclavo 1 debe enviar
recibir=dato(); // se recibe los datos del esclavo 1
esclavo =(recibir/1000);
float valor =(recibir%1000);
//float valor2 = valor/100;

lcd.setCursor(4,0);
lcd.print("Recibiendo");
lcd.setCursor(1,1);
lcd.print("esclavo 1: ");
lcd.print(valor);

Serial.print(esclavo);
Serial.print("\t");
Serial.println(valor);
delay(200);

Esclavo = SD.open("dato.csv", FILE_WRITE); // se abre el archivo de la SD
Esclavo.println(valor); // se guardan los datos en la SD
Esclavo.close(); // se cierra el archivo de la SD
}
}
//----- SE ADQUIERE LOS DATOS DEL ESCLAVO NUMERO 2 -----

if (leer=='2')
{

digitalWrite(transistor, HIGH);

for (int i=0; i <=10; i++)
{
enviar (2); // Se envia el número uno para indicar que el esclavo 1 debe enviar
recibir=dato(); // se recibe los datos del esclavo 2
esclavo =(recibir/1000);
float valor =(recibir%1000);
//float valor2= valor/100;

lcd.clear();
lcd.setCursor(1,0);
lcd.print("Recibiendo dato");
lcd.setCursor(1,1);
lcd.print("Esclavo 2: ");
lcd.print(valor);

Serial.print(esclavo);
Serial.print("\t");
Serial.println(valor);
delay(200);

Esclavo = SD.open("dato.csv", FILE_WRITE); // se abre el archivo de la SD
Esclavo.println(valor); // se guardan los datos en la SD

```



```

    Esclavo.close(); // se cierra el archivo de la SD

}
}
//----- SE ADQUIERE LOS DATOS DEL ESCLAVO NUMERO 3 -----

if (leer=='3')
{

    digitalWrite(transistor, HIGH);

    for (int i=0; i <=10; i++)
    {
        enviar (3); // Se envia el número uno para indicar que el esclavo 1 debe enviar
        recibir=dato();// se recibe los datos del esclavo 3
        esclavo =(recibir/1000);
        float valor =(recibir%1000);
        //float valor2= valor/100;

        lcd.clear();
        lcd.setCursor(1,0);
        lcd.print("Recibiendo dato");
        lcd.setCursor(1,1);
        lcd.print("Esclavo 2: ");
        lcd.print(valor);

        Serial.print(esclavo);
        Serial.print("\t");
        Serial.println(valor/100);
        delay(200);

        Esclavo = SD.open("dato.csv", FILE_WRITE); // se abre el archivo de la SD
        Esclavo.println(valor2); // se guardan los datos en la SD
        Esclavo.close(); // se cierra el archivo de la SD

    }
}

//----- FUNCIÓN PARA ENVIAR LAS INSTRUCCIONES A LOS ESCLAVOS-----
int enviar(int nombre)
{
    String str;
    int data = nombre*1000;
    str = "i" + String(data); /// Convertir a string
    str.toCharArray(buf,sizeof(buf)); // Convertir a char array
    vw_send((uint8_t *)buf, strlen(buf));
    vw_wait_tx();

}

//----- FUNCIÓN PARA RECIBIR LOS DATOS DE LOS ESCLAVOS-----

int dato()
{

    vw_wait_rx();
}

```



```

if (vw_get_message((uint8_t *)buf2,&buflen2))
{
    String dataString;
    if((char)buf2[0]!='i')
    {
        for (int i = 1; i < buflen2; i++)
        {
            dataString.concat((char)buf2[i]);
        }
        delay(100);
        dataInt = dataString.toInt(); // Convertir a int
    }

    return dataInt;
}
}
}

```

11.8 Anexo 8. Código esclavo

```

//-----
// PROYECTO TRABAJO DE GRADO SEMESTRE 2019A //
// //
// SISTEMA AUTÓNOMO Y PORTÁTIL DE MONITOREO //
// Y ANÁLISIS DE LA IRRADIANCIA SOLAR PARA ZONAS RURALES O URBANAS //
// //
// DISEÑADO POR: ANDRÉS FELIPE MORALES CARDOSO 2420131015 //
// LIS DAYANARA ROJAS GUZMAN 2420131017 //
//-----

//----- LIBRERIAS DEL PROGRAMA -----

#include <VirtualWire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Libreria LCD_I2C

//----- INICIALIZACIÓN DEL MODULO LCD -----

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); // si no te sale con esta direccion puedes usar (0x3f,16,2) || (0x27,16,2) || (0x20,16,2)

//----- VARIABLES PARA EL ENVIO Y RECEPCIÓN DE DATOS -----

int esclavo=0;
int valor=300;
int dataInt=0;
int recibir=0;

//-----INICIALIZACIÓN DEL MODULO DE RF -----

uint8_t buf[VW_MAX_MESSAGE_LEN];
uint8_t buflen = VW_MAX_MESSAGE_LEN;

const int dataPin = 7; // pin digital del modulo transmisor
const int dataPinRx = 6; // pin digital del modulo receptor
const int transistor = 4; // pin digital del transistor

//----- VARIABLES CALCULO DEL VOLTAJE -----

```



```

float v1 = 4.98; // valor real de la alimentacion de Arduino, Vcc
float r1 = 1000000; // 1M
float r2 = 100000; // 100K

//-----

void setup()
{

    pinMode(transistor,OUTPUT); // se pone como salida el pin del transistor y se apaga el modulo transmisor
    Serial.begin(9600); // Comunicación serial del arduino.

    vw_setup(2000); // se inicializa el software VirtualWire, velocidad de operación, velocidad por bits por segundo para la
    transmisión
    vw_set_tx_pin(dataPin); // Establece el pin digital por donde se va a transmitir los datos
    vw_set_rx_pin(dataPinRx); // Establece el pin digital por donde se va a recibir los datos
    vw_rx_start(); // Activa los modulos para transmitir o recibir

    lcd.init(); // Inicializa la pantalla del la LCD
    lcd.backlight(); // Enciente los LEDs de la pantalla LCD
    lcd.clear(); // Limpia la pantalla de la LCD
}

void loop()
{

    while(true)
    {
//----- MIDE EL VOLTAJE DEL PANEL -----

        float v = (analogRead(0) * v1) / 1024.0;
        float v2 = v / (r2 / (r1 + r2));
        float v3 = v2 + 0.1;

//-----IMPRIME POR LCD LOS DATOS QUE RECIBE -----
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(4,0);
        lcd.print("Esclavo 1");
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print("Radiancia:");
        lcd.setCursor(10,1);
        lcd.print(v3);

//----- RECIBE INSTRUCCIÓN DEL MESTRO PARA ENVIAR LOS DATOS -----

        while (esclavo == 1000)
        {
            lcd.clear();
            digitalWrite(transistor, HIGH);
            Serial.println("Esclavo 1 envia");
            lcd.setCursor(1,0);
            lcd.print("Esclavo 1 envia");
        }

//----- Ecuacion para el calculo de radiancia -----

        int v4 = v3 * 1000;
        float radiancia1 = v4 / 7.33;
    }
}

```



```
//----- NO RECIBE INSTRUCCIÓN DEL MAESTRO -----  
  
while (esclavo != 1000 or esclavo != 2000)  
{  
    digitalWrite(transistor, LOW);  
    recibir= dato();  
    esclavo =recibir;  
    delay(200);  
    break;  
  
}  
}  
}  
  
//----- FUNCIÓN PARA ENVIAR LOS DATOS AL MAESTRO -----  
  
int enviar(int nombre,int numero)  
{  
    String str;  
    int data = nombre*1000 + numero;  
    str = "i" + String(data); /// Convertir a string  
    str.toCharArray(buf,sizeof(buf)); // Convertir a char array  
    vw_send((uint8_t *)buf, strlen(buf));  
    vw_wait_tx();  
}  
  
//----- FUNCIÓN PARA RECIBIR LAS INSTRUCCIONES DEL MAESTRO-----  
  
int dato()  
{  
    if (vw_get_message((uint8_t *)buf,&buflen))  
    {  
        String dataString;  
        if((char)buf[0]=='i')  
        {  
            for (int i = 1; i < buflen; i++)  
            {  
                dataString.concat((char)buf[i]);  
            }  
            dataInt = dataString.toInt(); // Convertir a int  
        }  
        return dataInt;  
    }  
}
```



11.9 Anexo 9. Código Android

```

package com.example.lis.miprimeraapp

import android.support.v7.app.AppCompatActivity
import android.os.Bundle
import android.util.Log
import android.view.View
import android.widget.Toast
import kotlinx.android.synthetic.main.activity_main.*

class MainActivity : AppCompatActivity() {
    val TAG:String="MainActivity"
    override fun onCreate(savedInstanceState: Bundle?) {
        super.onCreate(savedInstanceState)
        setContentView(R.layout.activity_main)

        /*bNumeroPaneles.setOnClickListener {
            numeropaneles()
        }*/

        fun numeropaneles(view: View) {
            //var irradiancia:Int=Integer.valueOf(etI?.text.toString())
            var irradiancia=etI?.text.toString()

            var irradiancia2:Double=irradiancia.toDouble()
            Log.d(TAG,irradiancia.toString())

            var a:Int=Integer.valueOf(etA?.text.toString())
            Log.d(TAG,a.toString())

            var b:Int=Integer.valueOf(etB?.text.toString())
            var c:Int=Integer.valueOf(etC?.text.toString())
            Log.d(TAG,c.toString())

            var potenciareal= (c*irradiancia2).toDouble()
            Log.d(TAG,potenciareal.toString())

            var numeropaneles:Double= (a.toDouble()/potenciareal)
            Log.d(TAG,numeropaneles.toString())

            tvPrueba.text = numeropaneles.toString()

            //etResultado.setText(numeropaneles.toString())

            Toast.makeText(this,"El resultado es:
            $numeropaneles",Toast.LENGTH_SHORT).show()
        }
    }
}

```



11.10 Anexo 10. Costo del proyecto

Tabla 11. Costo del proyecto

Costo del proyecto			
Componente	cantidad	valor unitario	valor total
Arduino uno	3	\$ 23.000	\$ 92.000
LCD	4	\$ 12.000	\$ 48.000
Baquelas de acrílico 10x10	4	\$ 4.600	\$ 18.400
Modulo RF Tx	4	\$ 4.000	\$ 16.000
Modulo RF Rx	4	\$ 4.000	\$ 16.000
modulo Micro SD	1	\$ 5.000	\$ 5.000
Baterías 1600 mAh LI-PO	4	\$ 59.000	\$ 236.000
Modulo Reloj DS 1302	1	\$ 6.000	\$ 6.000
panel solar Medium 6v 2W	3	\$ 97.469	\$ 292.407
Corte MDF (cajas)			\$ 35.000
Total			\$ 764.807

11.11 Anexo 11. Implementación de estaciones meteorológicas del IDEAM

El anexo se puede encontrar en la web como IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Anexo técnico ADQUISICIÓN, INSTALACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE SIETE (7) ESTACIÓN HIDROMETEOROLÓGICAS AUTOMÁTICA EN LA JURISDICCIÓN DEL AO – 06 CON SEDE EN DUITAMA – ÁREA DE INFLUENCIA LAGO DE TOTA, DE ACUERDO CON LOS REQUERIMIENTOS TÉCNICOS ESTABLECIDOS POR EL IDEAM.



11.12 Anexo 12. Manual de usuario

Manual de Usuario

Título	SISTEMA AUTONOMO Y PORTATIL DE MONITOREO Y ANALISIS DE LA IRRADIANCIA SOLAR PARA ZONAS RURALES O URBANAS Manual de usuario
Versión	01.00
Realizado	Lis Dayanara Rojas Guzmán Andrés Felipe Morales Cardoso
Fecha:	15/07/2019

CONTROL DE VERSIONES		
Versión	Descripción / Motivo versión	Fecha de presentación
01.00	Documento inicial	15/07/2019

- Vista rápida del dispositivo

El dispositivo cuenta con un módulo maestro y dos módulos esclavos se aclara que la forma de diferenciar el dispositivo maestro de los dispositivos esclavos es sencilla, bastará con identificar que dispositivo no posee panel solar este será el maestro en la siguiente figura 42 y 43 se muestran esta diferencia claramente.



Figura 42. Dispositivo Maestro. Fuente: Autores.



Figura 43. Dispositivo Esclavo. Fuente: Autores.



En la parte frontal de la caja se encuentra una pantalla LCD 16x2 para visualizar la actividad que este ejecutando cada dispositivo, además tendrá impreso el rango que posee cada dispositivo (por ejemplo si es “esclavo 1” este tendrá impreso en la pantalla dicho mensaje)

En la figura 44 se puede visualizar la impresión que ejecuta el esclavo 1, en la parte superior imprime su rango y en la inferior me imprime en tiempo real la medición de radiación que se obtiene del panel solar.



Figura 44. LCD Esclavo 1. Fuente: Autores.

En la figura 45 se muestran las impresiones de la pantalla LCD del dispositivo Maestro al igual que en el esclavo su nombre es impreso en la parte superior y la inferior se imprime la hora con la que se controla el tiempo de envío de los datos.



Figura 45. LCD Maestro. Fuente: Autores.



- Encendido y apagado del sistema

Para encender el dispositivo, mueva el interruptor que se aprecia en la figura 46 ubicado en el costado izquierdo de la caja (el encendido es el mismo tanto en el dispositivo maestro como en los dispositivos esclavo), para apagar los dispositivos simplemente devuelva el interruptor a su posición inicial. Al accionar el interruptor y encender los módulos automáticamente el maestro mediante el reloj empezará a llevar el tiempo de monitoreo y por código ya se encuentra definido el minuto en que cada esclavo va a hacer el envío del dato que esté midiendo en ese momento.

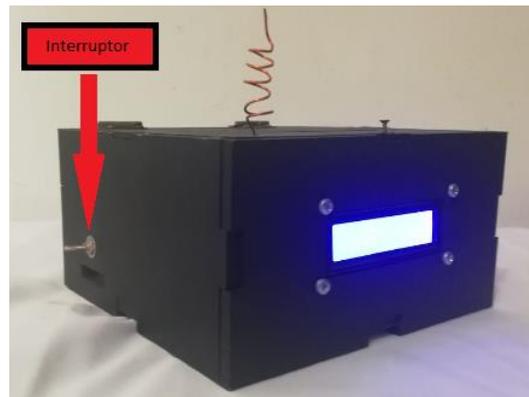


Figura 46. Ubicación interruptor. Fuente: Autores.

- Almacenamiento de los datos.

Los datos van a quedar guardados en la tarjeta SD que se encuentra en el maestro y para que el usuario pueda ver estos datos en su celular y hacer uso del aplicativo móvil, deberá extraer esta tarjeta e insertarla en su Smartphone. La aplicación deberá ya estar cargada en el dispositivo móvil al cual se le vaya a ingresar la tarjeta SD para la extracción de los datos. Posteriormente la interfaz da la opción de ingresar los demás valores requeridos para el cálculo. En la figura 47 se muestra la ubicación de la micro SD dentro del maestro.

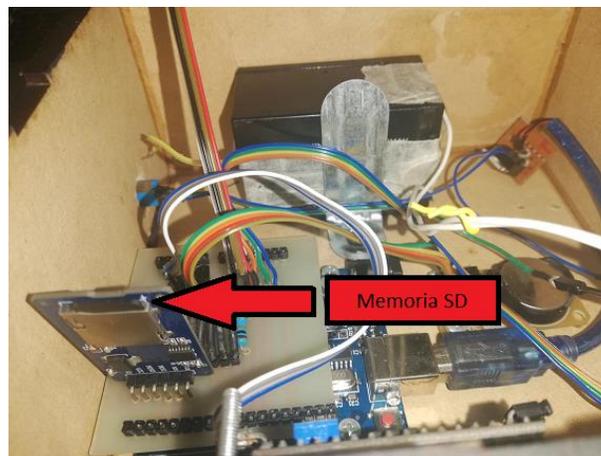


Figura 47. Memoria SD. Fuente: Autores.



- Baterías

En la figura 48 se muestra la ubicación de la batería cabe resaltar que la posición de las baterías es la misma tanto en el maestro como en los esclavos, Para cargar las baterías se deberá hacer uso de un cargador para baterías LIPO y tener las recomendaciones y cuidados necesarios según la hoja de datos. Es importante tener en cuenta las conexiones de la batería si por algún motivo se desconectan, para no ocasionar ningún incidente con los otros módulos o realizar algún corto circuito en el montaje, en este caso el cable rojo hace referencia al positivo y el cable negro al negativo.

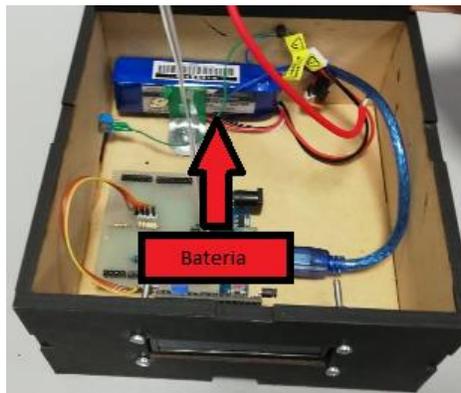


Figura 48. Ubicación Batería. Fuente: Autores.

- Uso de la Aplicación Móvil

Para que la aplicación ejecute la operación del número de paneles solares requeridos se deben ingresar datos tales la radiación, la potencia total que tendrá el sistema que desea alimentar, la potencia de paneles y el consumo de potencia diario, la figura 49 enseña donde se deben posicionar los datos requeridos para efectuar un cálculo correcto, los cálculos obtenidos en la App siempre se deben aproximar por encima del valor entregado ejemplo 2,1 será aproximado a 3.

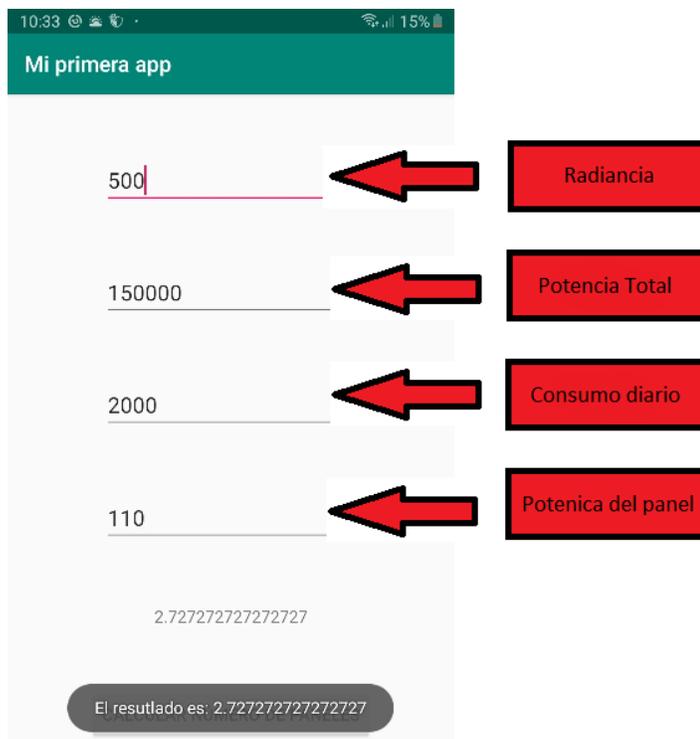


Figura 49. App para el cálculo del número de paneles.

- Mas Información

- Es importante considerar la posición de la antena pues ésta afecta la cobertura de los módulos de radio frecuencia. Además, debe estar en buen estado sin ningún tipo de doblez en el alambre.
- Antes de la jornada de monitoreo se debe verificar si el nivel de carga de las baterías se encuentre cargadas al 100%.
- Se recomienda que las baterías sean cargadas después la jornada de monitoreo
- Por ningún motivo los módulos deben exponerse al agua, condiciones demasiado húmedas o con temperaturas exageradamente altas, o espacios con obstáculos de gran tamaño como paredes, puertas, vidrios u otros objetos que afecten la transmisión.



11.13 Anexo 13. Datos de Monitoreo

Tabla 12. Datos de Monitoreo

Esclavo 1			Esclavo 2		
Hora	Voltaje (V)	Irradiancia (W/m ²)	Hora	Voltaje (V)	Irradiancia (W/m ²)
7:00 a. m.	1,07	150	7:02 a. m.	1,17	160
7:30 a. m.	1,45	200	7:32 a. m.	1,35	190
8:00 a. m.	3,12	430	8:02 a. m.	2,69	370
8:30 a. m.	1,91	270	8:32 a. m.	2,04	280
9:00 a. m.	5,38	740	9:02 a. m.	5,4	740
9:30 a. m.	5,52	760	9:32 a. m.	5,62	770
10:00 a. m.	5,8	800	10:02 a. m.	5,8	800
10:30 a. m.	5,91	810	10:32 a. m.	5,91	810
11:00 a. m.	6,04	830	11:02 a. m.	5,78	790
11:30 a. m.	5,66	780	11:32 a. m.	5,65	780
12:00 p. m.	5,51	760	12:02 p. m.	5,58	770
12:30 p. m.	2,21	310	12:32 p. m.	4,44	610
1:00 p. m.	5,86	800	1:02 p. m.	5,72	790
1:30 p. m.	1,6	220	1:32 p. m.	1,65	220
2:00 p. m.	5,1	700	2:02 p. m.	5,32	730
2:30 p. m.	5,75	790	2:32 p. m.	5,59	770
3:00 p. m.	5,01	690	3:02 p. m.	4,99	690
3:30 p. m.	3,25	450	3:32 p. m.	3,44	470
4:00 p. m.	2,58	360	4:02 p. m.	2,62	360
4:30 p. m.	0,86	120	4:32 p. m.	1,01	140
5:00 p. m.	0,69	90	5:02 p. m.	0,64	60
5:30 p. m.	0,32	50	5:32 p. m.	0,35	50
6:00 p. m.	0,04	10	6:02 p. m.	0,04	10



11.14 Anexo 14. Caracterización del Panel Solar

Tabla 13. Caracterización del Panel Solar

Voltaje (v)	Irradiancia (w/m2)
7,33	1000
7,2567	990
7,1834	980
7,1101	970
7,0368	960
6,9635	950
6,8902	940
6,8169	930
6,7436	920
6,6703	910
6,597	900
6,5237	890
6,4504	880
6,3771	870
6,3038	860
6,2305	850
6,1572	840
6,0839	830
6,0106	820
5,9373	810
5,864	800
5,7907	790
5,7174	780
5,6441	770
5,5708	760
5,4975	750
5,4242	740
5,3509	730
5,2776	720
5,2043	710
5,131	700
5,0577	690
4,9844	680

4,9111	670
4,8378	660
4,7645	650
4,6912	640
4,6179	630
4,5446	620
4,4713	610
4,398	600
4,3247	590
4,2514	580
4,1781	570
4,1048	560
4,0315	550
3,9582	540
3,8849	530
3,8116	520
3,7383	510
3,665	500
3,5917	490
3,5184	480
3,4451	470
3,3718	460
3,2985	450
3,2252	440
3,1519	430
3,0786	420
3,0053	410
2,932	400
2,8587	390
2,7854	380
2,7121	370
2,6388	360
2,5655	350
2,4922	340
2,4189	330
2,3456	320
2,2723	310
2,199	300



2,1257	290
2,0524	280
1,9791	270
1,9058	260
1,8325	250
1,7592	240
1,6859	230
1,6126	220
1,5393	210
1,466	200
1,3927	190
1,3194	180
1,2461	170
1,1728	160
1,0995	150

1,0262	140
0,9529	130
0,8796	120
0,8063	110
0,733	100
0,6597	90
0,5864	80
0,5131	70
0,4398	60
0,3665	50
0,2932	40
0,2199	30
0,1466	20
0,0733	10
0	0