



Diseño De Un Dispositivo De Medida Que Permita Obtener Valores De Operación Y Poder Evaluar El Comportamiento De Los Sistemas Fotovoltaicos

Néider Steven Guerrero López

Trabajo De Grado Para Optar Por El Título De Ingeniero Eléctrico

M.S.C Luis David Pabón Fernández

Director

Ing. Jorge Alfredo Araque Vera

Co-Director

Universidad De Pamplona

Facultad De Ingenierías Y Arquitecturas

Programa De Ingeniería Eléctrica

Pamplona, Norte De Santander

2022

AGRADECIMIENTOS

ESTE TRABAJO VA DEDICADO PRIMERAMENTE A DIOS POR LLEGAR HASTA ESTE PUNTO,
A MIS PADRES QUIENES HAN SIDO LA MOTIVACION Y EL APOYO INCONDICIONAL PARA LOGRAR ESTE
SUEÑO, A CADA UNO DE MIS HERMANOS QUE TAMBIEN FUERON DE GRAN APOYO, A MI NOVIA
QUIEN A ESTADO EN LA PARTE FINAL DE ESTE PROCESO Y A IMPULSADO AUN MAS MIS
EXPECTATIVAS, A CADA UNO DE LOS INGENIEROS QUE ME APORTARON GRANDES ENSEÑANZAS
EN TODO ESTE CAMINO Y TODOS LOS AMIGOS QUE HICIERON DE ESTE PROCESO
ALGO MUY SATISFACTORIO E IMPORTANTE EN MI VIDA

Resumen

El propósito de este proyecto es realizar un dispositivo de medida, utilizando los elementos electrónicos que se encuentran en el mercado nacional, integrándolos de la mejor manera posible. con ayuda de los softwares de programación disponibles, realizar los algoritmos necesarios para incorporar cada una de las variables, además de esto establecer la forma específica de obtención de datos que nos permita guardarlos de forma permanente, y después de esto analizar los datos de los parámetros ambientales asociados, a la generación de energía eléctrica por medio de paneles solares.

El análisis de los datos obtenidos permitirá saber de qué manera están operando los paneles solares y bajo qué condiciones lo están realizando, los parámetros ambientales que mide el dispositivo son la temperatura de operación, la humedad y la radiación incidente en la superficie del panel solar. Por otro lado, proporciona datos de voltaje y corriente de salida del panel solar, al analizar estos datos la ventaja más importante que presenta el dispositivo, es facilitar en gran medida realizar dimensionamiento acerca de la cantidad de módulos que se requieren, para producir una potencia determinada.

Palabras clave: dispositivo, panel solar, operación, parámetros, temperatura, radiación, humedad.

Abstract

The purpose of this project is to make a measurement device, using the electronic elements found in the national market, integrating them in the best possible way. With the help of the available programming software, carry out the necessary algorithms to incorporate each of the variables, in addition to this, establish the specific way of obtaining data that allows us to save them permanently, and after that, analyze the parameter data. associated environmental factors, to the generation of electrical energy by means of solar panels.

The analysis of the data obtained will allow us to know how the solar panels are operating and under what conditions they are doing it, the environmental parameters that the device measures are the operating temperature, humidity and incident radiation on the surface of the solar panel. On the other hand, it provides output voltage and current data from the solar panel. When analyzing these data, the most important advantage of the device is to greatly facilitate sizing the number of modules that are required to produce a power determined.

Keywords: device, solar panel, operation, parameters, temperature, radiation, humidity.

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo I - Plan De Trabajo	9
1.1 Descripción de la empresa.....	9
1.2 Descripción del problema.....	10
1.3 Justificación	11
1.4 Objetivos	12
1.4.2 Objetivos específicos	12
1.4.3 Acotaciones.....	12
Capitulo II – Desarrollo.....	13
2.1. Descripción de los componentes electrónicos	13
2.1.1 Tarjeta de Arduino mega 2560.....	13
2.1.2 Sensor de corriente acs712	14
2.1.3 Sensor de temperatura y humedad dth11	16
2.1.4 Sensor de radiación uv guva-s12sd	17
2.1.5 Modulo sd de Arduino	18
2.1.6 Pantalla lcd de 20x4	19
2.1.1.7 Modulo con comunicación i2c	20
2.1.8 Teclado matriacial 3x4	21
2.1.9 Modulo rtc ds3231.....	22
2.2 Parámetros asociados de la generación de los sistemas fotovoltaicos	24
2.2.1 Radiación	24
2.2.2 Irradiancia	28
2.2.3 Geometría solar	30
2.2.4 Masa de aire	32
2.2.5 Temperatura.....	33
2.3 Estructuración de la simulación y del código de programación en el software de Arduino	37
2.3.1 Conexión del sensor de corriente.....	37
2.3.2 Conexión del sensor de humedad y temperatura.....	39
2.3.3 Conexión del sensor de radiación.	40
2.3.4 Conexión del sensor de voltaje.	42
2.3.5 Conexión de la pantalla lcd con modulo i2c para visualizar los datos.	42
2.3.6 Conexión del módulo sd para el guardado de los datos.	43
2.3.7 Conexión del teclado matricial.	44
2.3.8 Conexión del módulo rtc.	45

2.3.9 Montaje de la simulación.....	45
Capitulo III – Resultados	50
3.1 Instalación del dispositivo de medida.....	50
3.2 Análisis de los datos obtenidos.....	56
3.3 Impactos del proyecto.	62
Capitulo IV – Recomendaciones	64
4.1 Para El Programa De Ingeniería Eléctrica	64
4.1 Para Futuros Practicantes.....	64
Referencias	65

TABLA DE TABLAS

Ilustración 1. Tarjeta de Arduino mega con procesador ATmega2560.	14
Ilustración 2. Sensor de corriente acs712.....	15
Ilustración 3. Sensor de temperatura dht11.....	16
Ilustración 4. Sensor de radiación uv guva-s12sd.....	18
Ilustración 5. Módulo de tarjeta sd para Arduino.....	18
Ilustración 6. Pantalla lcd de 20x4 para conexión de Arduino.....	20
Ilustración 7. Módulo de comunicación I2C.	21
Ilustración 8. Teclado matricial de 3x4.	22
Ilustración 9. Modulo rtc para Arduino.	23
Ilustración 10. Radiación en promedio durante un año.	24
Ilustración 11. Representación de la distancia entre el sol y la tierra a lo largo del año.	25
Ilustración 12. Tipos de radiación en energía solar.	26
Ilustración 13. Tipos de radiación.	26
Ilustración 14. Espectro de las ondas de radiación solar.	28
Ilustración 15. Mapa de radiación solar en Colombia.	29
Ilustración 16. Curva característica del panel con respecto a la variación de radiación.	30
Ilustración 17. Geometría solar para cálculo paneles solares.	30
Ilustración 18. Orientación de los paneles según los ángulos de posición.	31
Ilustración 19. Valor de la masa de aire con respecto al Angulo cenital.	32
Ilustración 20. Efectos de la temperatura en la curva característica del panel.....	33
Ilustración 21. Afectación del rendimiento del panel con respecto a la temperatura.....	34
Ilustración 22. Comportamiento de la potencia del panel a diferentes temperaturas.	37
Ilustración 23. Conexión de un sensor de corriente a la tarjeta de Arduino.....	38
Ilustración 24. Valor de la sensibilidad de los sensores de corriente.....	38
Ilustración 25. Conexión del sensor dth 11 a la tarjeta de Arduino.	39
Ilustración 26. conexión del sensor de radiación a la tarjeta de Arduino.	40
Ilustración 27. Niveles de radiación.....	41
Ilustración 28. Conexión del divisor de voltaje para obtener el voltaje.	42
Ilustración 29. Conexión del módulo i2c con la tarjeta de Arduino.....	43
Ilustración 30. Conexión del módulo de tarjeta sd con la tarjeta de Arduino.....	44
Ilustración 31. Conexión del teclado matricial 3x4 con la tarjeta de Arduino.....	44
Ilustración 32. Conexión del módulo rtc con la tarjeta Arduino.....	45
Ilustración 33. Diseño del circuito en el software PROTEUS.	46
Ilustración 34. Algoritmo de programación final del dispositivo de medida.....	47
Ilustración 35. Montaje final del dispositivo de medida.....	50
Ilustración 36. Montaje de los sensores de radiación y temperatura.	51
Ilustración 37. Inversor conectado al panel de prueba.	51
Ilustración 38. panel de pruebas y sus características de fabricación.	52
Ilustración 39. Obtención de datos del dispositivo conectado a el panel.	53
Ilustración 40. Mediciones con pinza amperimétrica.....	54
Ilustración 41. Mediciones tomadas desde el inversor.	55
Ilustración 42. Análisis de la corriente y tensión con respecto a la temperatura.	58
Ilustración 43. Análisis de la corriente con a la incidencia de radiación en el panel.....	59
Ilustración 44. Análisis del voltaje y la corriente con respecto a la humedad.....	60
Ilustración 45. Análisis de la potencia generada con respecto al voltaje y la corriente.....	60

Ilustración 46. Analisis de la potencia generada con respecto a los parametros ambientales del lugar...61

TABLA DE TABLAS

Tabla 1. Rango de bits para cada nivel de radiación. 41

Tabla 2. Registro de datos obtenidos en las pruebas. 57

Tabla 3. Datos registrados en Excel. 57

TABLA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo de la temperatura de un módulo fotovoltaico 36

Ecuación 2. Cálculo de las tensiones, corrientes y potencia del módulo con respecto a la temperatura
..... 36

Ecuación 3. Obtención del valor real de la corriente..... 39

Capítulo I - Plan De Trabajo

1.1 Descripción de la empresa

DINGE S.A.S. es una empresa de actividades de ingeniería y otras actividades conexas de consultoría técnica, donde también se desarrollan instalaciones eléctricas

Entre la actividad principal de DINGE S.A.S., está diseñar y desarrollar proyectos de construcción y mantenimiento enfocados a la ingeniería eléctrica, aportando para ello la infraestructura adecuada y un personal capacitado; por tal motivo enfocamos la prestación de nuestros servicios teniendo como compromisos fundamentales:

- Cumplir con las necesidades y exigencias de nuestros clientes y partes interesadas.
- Aplicar controles para eliminar o minimizar los riesgos presentes en los sitios de trabajo, procurando con ello prevenir lesiones, incidentes y enfermedades laborales en nuestros trabajadores, contratistas y visitantes.
- Cumplir con los requisitos legales vigentes y requisitos de otra índole aplicables a las actividades desarrolladas por la organización.

Para el logro de estos compromisos DINGE S.A.S., dispone de talento humano competente, y los recursos económicos, tecnológicos y de infraestructura física necesarios para el desarrollo y mejora continua del Sistema de Gestión Integrado.

1.2 Descripción del problema

Con el actual cambio energético que se presenta en nuestros tiempos, se hace necesario promover e impulsar los sistemas que pueden otorgar energías renovables alternativas, las cuales se puedan implementar en los procesos productivos (Proyecto EnDev/GIZ, marzo del 2013). Una de estas alternativas son los proyectos que implementan sistemas fotovoltaicos, estos tienen una gran aplicabilidad debido a la forma con la que cuentan para obtener la energía de una fuente que es inagotable como lo es el sol. (Murcia, 2019)

Pero como todo sistema de generación de energía eléctrica tendrá sus diferentes limitaciones a la hora de entregar la potencia para la que está diseñado, esto depende bajo qué condiciones ambientales este operando. La eficiencia de estos sistemas es en lo que más se ha enfatizado, debido a que las zonas donde se obtiene una radiación alta (Murcia, 2019), a su vez presenta unos índices de temperatura de la misma manera elevada lo que afecta de forma considerable a potencia entregada por los paneles.

Por todo esto algunos países como España promueven y enfatizan que para el año 2050 se pueda tener una amplia aplicación de las energías limpias en todo el mundo. (Castro, 2010) Para lo cual se hace importante impulsar el diseño y planeación de proyectos con paneles solares en nuestro país, por esto se necesita tener datos precisos de los parámetros ambientales de lugares donde se requiera una instalación de los paneles, ya que no se tienen datos previos de cómo será el funcionamiento de dichos paneles en esa zona se realiza el dimensionamiento y planeación de los proyectos con los datos generales que se obtienen de los entes meteorológicos y climatológicos del país. (Cepeda, 2017)

1.3 Justificación

Es importante que las empresas cuenten con datos de los parámetros que influyen en la generación de los paneles solares, y que estos sean específicos de la zona donde se ejecutaran la instalación de los proyectos, ahí es donde tomara protagonismo el dispositivo de medida ya que podrá brindar cada uno de los valores en diferentes horas del día y fechas del año. (Murcia, 2019) con esto se puede establecer la cantidad de paneles solares necesaria a implementar para lograr generar la potencia que se requiera.

Para la parte del cálculo del banco de baterías sería de gran importancia, ya que se tendría los valores que entregara el conjunto de paneles, con eso se podrá garantizar que las descargas de las baterías no sean profundas y su vida útil sea la esperada. (Osorio, 2021) También se tendrán datos promedios de la cantidad de generación que se produce en los diferentes meses, esta información servirá para cuando se conecten cargas ocasionales necesarias de gran consumo y que no tenga que entrar a funcionar los sistemas de respaldo.

Lo anteriormente mencionado para instalaciones de gran escala, por lo que se podría también reducir el tiempo de ejecución de estos proyectos y significara reducir gastos significativos en el presupuesto de los mismos. A menor escala también tendría la misma forma de funcionamiento y podría generar un amplio beneficio e impacto. (García, 2021)

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar un dispositivo de medida el cual permita obtener parámetros necesarios en tiempo real de un sistema fotovoltaico y con esto poder establecer una mejor gestión de planeación para este tipo de proyectos

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar los dispositivos electrónicos necesarios para la obtención de los parámetros necesarios del entorno donde se ubicará el sistema fotovoltaico
- Generar la programación necesaria para poder acoplar la obtención de las medidas de los parámetros en tiempo real con una técnica específica de adquisición y seguimiento
- Implementar la programación y los componentes para la obtención del dispositivo de medida de los parámetros.

1.4.3 Acotaciones

- Los dispositivos electrónicos con los cuales se obtendrá las diferentes medidas de los parámetros serán los disponibles en el mercado nacional.

Capítulo II – Desarrollo

2.1. Descripción de los componentes electrónicos

2.1.1 Tarjeta de Arduino mega 2560

Arduino mega es una tarjeta programable que cuenta con un microprocesador ATmega2560, cuenta con distintas entradas como lo son las entradas analógicas y las entradas digitales. Esta tarjeta es programada en un entorno de desarrollo que implementa un lenguaje específico, Arduino puede utilizarse para desarrollar un sin número de aplicaciones en las que se permite automatizar los procesos, este cuenta con un puerto serial (conversión con USB) utilizando lenguajes como Flash, Processing, MaxMSP, etc. (electronic, s.f.). Las posibilidades de poder realizar desarrollos implementando Arduino no cuentan con límites en cuanto a que se podrá crear cualquier cosa que este en nuestra imaginación y hacerlo posible con el manejo de este.

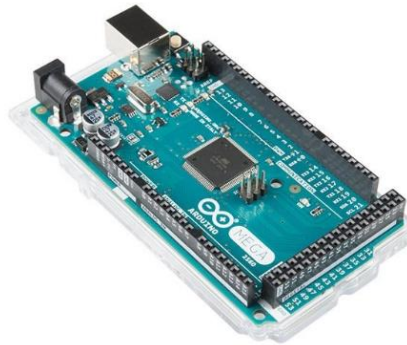
El Arduino Mega tiene 54 pines que permite tener entradas y salidas digitales (14 de las cuales pueden ser utilizadas como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 pines o puertos serial por hardware (electronic, s.f.), una velocidad de operación aproximadamente de 16MHz, conexión USB, puertos de alimentación, conector ICSP y botón de reset con el cual podremos reiniciar la tarjeta. Arduino Mega nos muestra todo lo necesario para que el microcontrolador trabaje; se conectara a tu PC por medio de un cable USB o en un rango de voltaje de 5 a 12 V con una fuente de alimentación. El Arduino Mega es compatible con la mayoría de los módulos diseñados para ser adaptados a estas tarjetas de Arduino.

Características

- Microcontrolador ATmega2560.
- Voltaje de entrada de – 5-12V.
- 54 pines digitales de Entrada/Salida (14 de ellos son salidas PWM).

- 16 entradas análogas.
- 256k de memoria flash.
- Velocidad del reloj de 16Mhz.
- Dimensiones: 102mm x 53mm

Ilustración 1. Tarjeta de Arduino mega con procesador ATmega2560.



Tomado de: (electronic, s.f.)

2.1.2 Sensor de corriente acs712

Este módulo permite realizar mediciones tanto para corriente en DC como corriente en AC, presenta una solución bastante económica y con una precisión muy acertada de los valores, a la vez es un dispositivo fácil de utilizar. para su manejo entrega 2 pines donde se conectará el conductor del cual censara la corriente, 3 pines de salida de los cuales, 2 serán la alimentación del módulo y el otro será la salida de voltaje que será la conexión del Arduino. Este dispositivo generalmente se utiliza para detectar y administrar una carga, switcheo de fuentes de alimentación, y protección contra sobre picos de corriente. (vistronica S.A.S., s.f.)

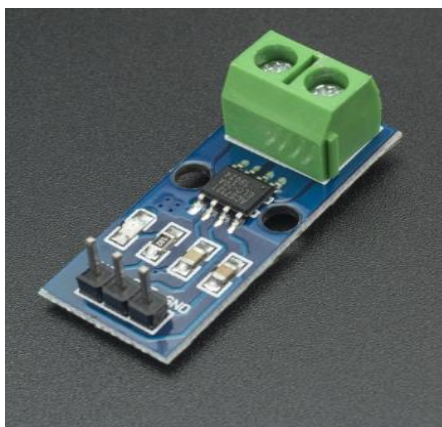
Este dispositivo trae el chip ACS712 el cual permite censar los niveles de corriente de hasta 5A. Este módulo cuenta con un LED, este se enciende para validar la alimentación que le llega al módulo sea la que este necesita y así funcione correctamente. (vistronica S.A.S., s.f.) Su funcionamiento es a base

del efecto Hall el cual funciona a partir de una bobina, la cual nos entrega un valor de voltaje al entrar en contacto con el campo electromagnético circundante. Este módulo es comúnmente usado para medición de corrientes en motores, resistencias, etc., o protección de sobrecargas o como retroalimentación de circuitos de control de potencia. (vistronica S.A.S., s.f.)

Características

• Voltaje de alimentación	5V
• Máximo voltaje inverso	0.1V
• Corriente de salida	3mA (Fuente) 10mA(inversa)
• Voltaje de salida	0V~5V
• Rangos disponibles (Capacidad de corriente)	20A
• Sensibilidad	20A (a una salida de 180mV/A)
• Salida cuando no detecta corriente	VCC / 2
• Error máximo de linealidad a la salida	1.5% a 25°C

Ilustración 2. Sensor de corriente acs712.



Tomada de: (vistronica S.A.S., s.f.)

2.1.3 Sensor de temperatura y humedad dth11

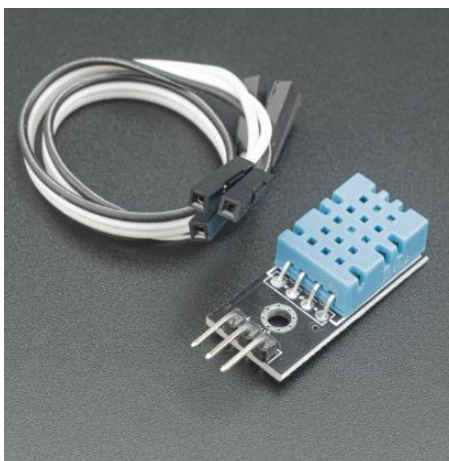
El sensor dth11 permite una amplia funcionalidad, ya que además de medir la temperatura del aire circundante del lugar donde se encuentre, por medio de un termistor proporciona la obtención de la humedad a través de un sensor capacitivo que trae internamente este dispositivo.

Este sensor funciona mediante 3 terminales de salida, 2 de estos pines de conexión son la alimentación con un rango de operación de 3.3 a 5 V, el tercero se obtiene la señal digital con la que se puede interconectar al Arduino. La implementación de este sensor es bastante sencilla, pero se requiere una cuidadosa sincronización para la toma de datos, es usado para aplicaciones en las que necesita medir los niveles de temperatura y humedad de ciertos ambientes. (vistronica S.A.S., s.f.) También proporciona un bajo consumo de energía debido a sus dimensiones que son relativamente pequeñas.

Características

• Sensor de temperatura	100K 1% termistor
• Sensor de humedad	HR202 resistencia a la humedad
• Voltaje de operación	3V~5.5V
• Corriente de operación	0.2mA~0.5mA
• Rango Humedad	20%~95% de Humedad Relativa
• Rango temperatura	0°C~50°C
• Resolución Humedad	1RH / 8 bits
• Resolución Temperatura	1°C / 8 bits
• Precisión de medición de humedad	0.5%RH
• Precisión de medición temperatura	2°C
• Tiempo de respuesta	< 5 segundos

Ilustración 3. Sensor de temperatura dht11.



Tomado de: (vistronica S.A.S., s.f.)

2.1.4 Sensor de radiación uv guva-s12sd

Este sensor analógico de un sencillo manejo, que cuenta con solo 3 pines de conexión, por 2 de estos se alimenta con un rango de 2.2 a 5 V. el tercer pin proporciona el voltaje del photodiodo cuando detecta un rango de 240-370nm, es decir todo el espectro UVB y la mayor parte del UVA. El voltaje de este lo multiplicamos la intensidad del photodiodo que se da en micro amperios por un valor de 4.3. así que si la intensidad del photodiodo es de 1uA (9 mW/cm²) el voltaje será de 4.3V. Para obtener el Índice UV dividimos el voltaje de salida entre 0.1V. (servotronic S.A.S., s.f.)

Características

- | | |
|------------------------------------|-------------------------------|
| • Dimensiones | 24 x 15 mm |
| • temperatura de funcionamiento de | -20 °C a +85 °C |
| • precisión | índice UV +/- 1 |
| • tensión de funcionamiento | de 3.3 V a 5 V |
| • tiempo de respuesta | 0.5 seg. |
| • consumo de corriente | 5 mA |
| • tensión de salida | de 0 V a 1 V (índice UV 0-10) |

- rango de la longitud de onda 240-370 nm

Ilustración 4. Sensor de radiación uv guva-s12sd.



Tomada de: (servotronik S.A.S., s.f.)

2.1.5 Modulo sd de Arduino

Este lector de memoria sd proporciona una gran ventaja a la hora de crear algún proyecto en el que se tenga la necesidad de guardar los datos obtenidos durante el funcionamiento del Arduino. Contiene 4 pines de conexión, de los cuales 4 son el medio donde se realiza la transferencia de datos desde la placa del Arduino, a el módulo de tarjeta sd por medio de un protocolo de comunicación determinada. Los 2 pines sobrantes son La tensión de alimentación de 3.3V, pero la mayoría de los módulos poseen un regulador de voltaje que permite alimentarlos directamente con 5V. (massimi, s.f.)

Ilustración 5. Módulo de tarjeta sd para Arduino.



Tomada de: (massimi, s.f.)

2.1.6 Pantalla lcd de 20x4

Esta pantalla LCD que proporciona 4 líneas donde se podrá incluir en cada una 20 caracteres, gracias a la graduación de su iluminación, por medio del módulo I2C o un potenciómetro a una entrada de esta podremos ver de manera clara los mensajes que se necesite mostrar en pantalla incluso si presentamos una total oscuridad.

Para su conexión proporciona 16 pines de conexión con lo cual al utilizar el módulo de comunicación para reducir considerablemente el cableado con la tarjeta de Arduino. quedará con 4 pines de conexión, 2 de estos serán la alimentación mientras los 2 restantes serán la comunicación con la tarjeta. Los dos colores disponibles para esta pantalla serian: texto negro sobre un fondo verde y el texto blanco sobre un fondo azul. El consumo que tiene esta pantalla es de unos 55 mA de corriente y para la pantalla verde estaría cerca de los 125 mA casi el doble de consumo para esta pantalla de fondo verde. (herrero, s.f.)

Características

- Pantalla – 20 caracteres por línea, 4 líneas
- Alimentación – 5v
- Consumo – 125mA con retroiluminación de pantalla encendida
- Comunicaciones – I2C o serie 9600bps
- Teclado – Escaneo automático de teclado matricial.

Ilustración 6. Pantalla lcd de 20x4 para conexión de Arduino.



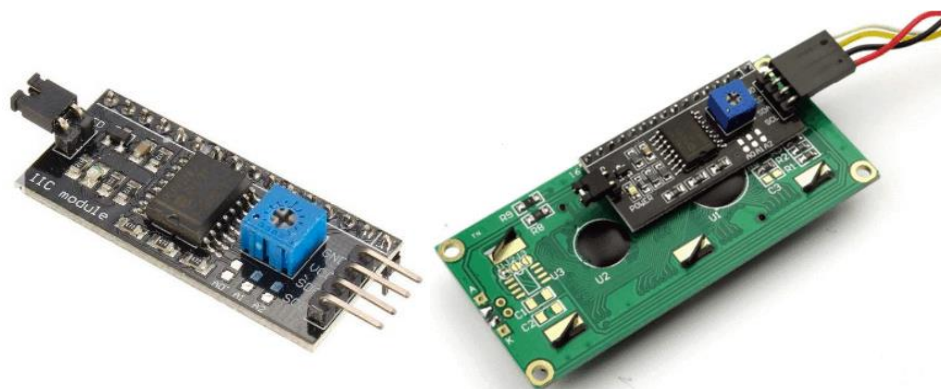
Tomado de: (herrero, s.f.)

2.1.1.7 Modulo con comunicación i2c

Este módulo presenta una importante ventaja en cuanto a implementación de cableado en distintos proyectos, al poder conectar cualquier modulo que presenta la comunicación I2C será posible reducir el cableado en un gran porcentaje, ya que se podrá hacer la comunicación con la tarjeta de Arduino directamente con los dos pines de conexión que proporciona.

Cuando realiza la conexión con las pantallas LCD, además de reducir el número de cables de conexión, ofrece un pin giratorio en la parte posterior con el cual se puede graduar la iluminación de las pantallas, Esta placa tiene un chip I2C PCF8574 que convierte datos en serie I2C a datos paralelos para la pantalla LCD. Este módulo puede trabajar en las siguientes direcciones (0x20 ~ 0x27); un total de 8 display LCD pueden ser conectados en el mismo bus I2C de 2 cables, teniendo cada placa una dirección diferente. La dirección por defecto es 0x27 y puede ser cambiada por los pines A0 A1 A2. (ENEKA, 2014)

Ilustración 7. Módulo de comunicación I2C.



Tomado de: (ENEKA, 2014)

2.1.8 Teclado matriacial 3x4

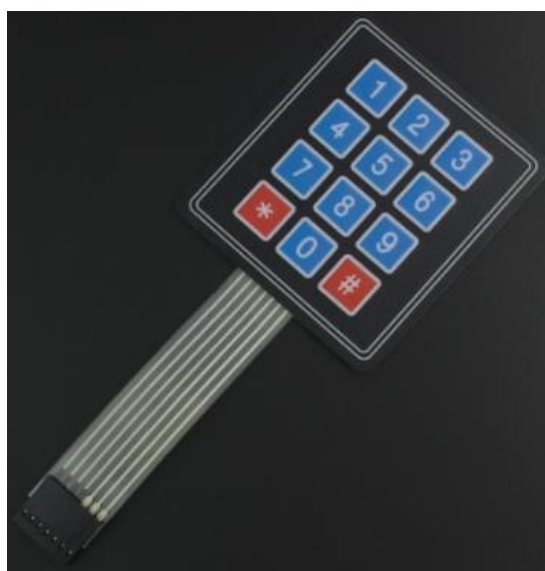
Este teclado tipo membrana de 3 columnas por 4 filas es un accesorio bastante util para los diseños e implementaciones de menus de selección, tambien ideal para cuando es necesario ingresar codigos o claves de acceso o entrada de algunos datos en sistemas embebidos, incorpora un cable con 7 pines de un material flexible ideal para la facilidad de conexión a la tarjeta de arduino. Tambien proporciona la facilidad de poder colocarse sobre cualquier superficie en la que se desee trabajar ya que contiene una pelicula de recubrimiento autoadherible para la necesidad especifica en la que se necesite implementarlo.

Características

- Voltaje de operación (máximo): 24VDC
- Resistencia de aislamiento: 100MΩ
- Longitud del cable: 8.5 cm
- Tipo membrana: Auto adherible
- Anti rebote: 5 ms

- Botones: 12
- Organización matricial: 3 columnas X 4 filas
- Conector: Tipo hembra
- Autoadhesivo: Parte posterior
- Protección: Polvo y agua
- Temperatura de operación: 0° C a 70° C
- Tamaño de la almohadilla: 77x70x0.8 mm

Ilustración 8. Teclado matricial de 3x4.



Tomado de: (Vistronica S.A.S., s.f.)

2.1.9 Modulo rtc ds3231.

Este modulo RTC (reloj de tiempo real), el cual funciona a partir de un circuito integrado donde esta alimentado por una bateria independiente de 3.3 V y permite registrar en todo instante desde que es programado la fecha, el dia de la semana y la hora actualizada en todo momento como si se tratara

de un reloj digital convencional. Lleva integrado un cristal de cuarzo de 32.768kHz, para contar segundos con excelente precisión.

Estos dispositivos son ampliamente utilizados. Ya que cualquier tipo de equipo electrónico cuenta internamente con un reloj de tiempo real. El DS3231 incorpora medición y compensación de la temperatura garantizando una precisión de al menos 2ppm, lo que equivale a un desfase máximo 172ms/día o un segundo cada 6 días. Se comunica con un microprocesador a través de una interfaz I2C. Es válido hasta el año 2100. (TECNOPURA S.A.S., s.f.)

Características

- Referencia: RTC DS3231
- Chip principal: DS3231
- Interface: I2C /IIC
- Memoria de almacenamiento: AT24C32 EEPROM (32KB)
- Voltaje de operación: 3.3V ~ 5.5V
- Temperatura de operación: 0°C ~ 40°C
- Resolución: horas: minutos: segundos: AM/PM
- Calendario: día, mes, año
- Batería requerida: LIR2032/CR2032 (no incluida)

Ilustración 9. Modulo rtc para Arduino.



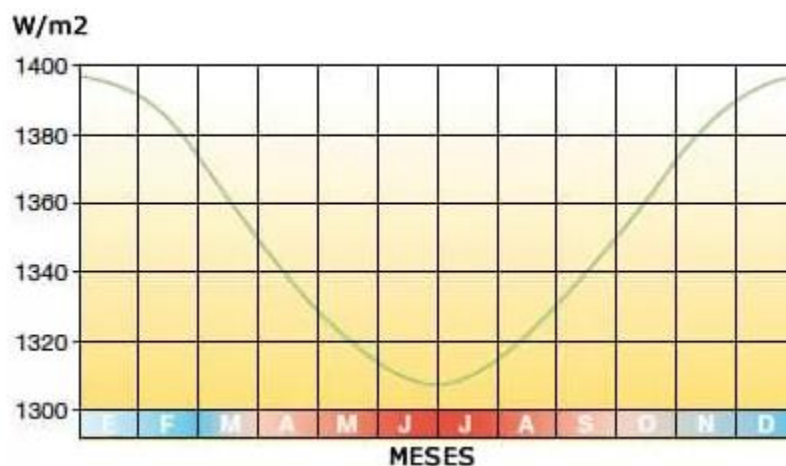
Tomado de: (TECNOPURA S.A.S., s.f.)

2.2 Parámetros asociados de la generación de los sistemas fotovoltaicos

2.2.1 Radiación

El sol es una fuente de energía inagotable la que trata de ser aprovechada en su mayoría para usos prácticos y diarios por el ser humano en su día a día. En el momento de incidir en la superficie terrestre esta se ve afectada por diferentes fenómenos atmosféricos los cuales atenúan en un porcentaje, la cantidad de potencia que proviene del sol. Esta tiene una medida estándar la cual se conoce como constante solar y su valor es de 1367 W/m^2 , pero esta no es la que finalmente llega a la superficie terrestre por fenómenos como la órbita elíptica de la tierra y la forma misma del planeta. Etc. (SUNFIELDS EUROPE, 2015)

Ilustración 10. Radiación en promedio durante un año.

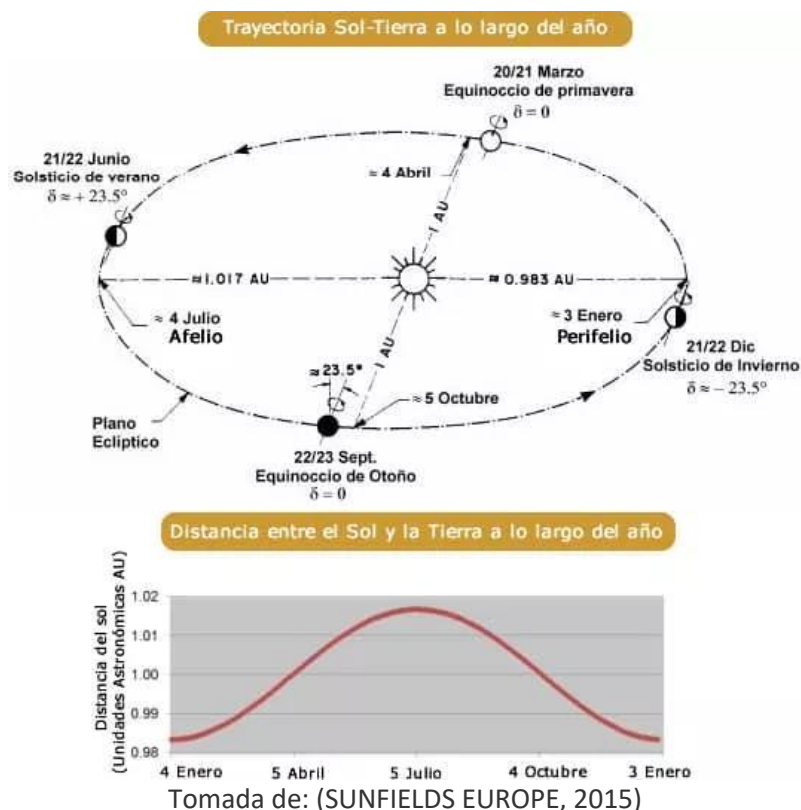


Tomado de: (SUNFIELDS EUROPE, 2015)

En la ilustración 10, se presenta la cantidad de radiación que según los entes o institutos que manejan todo el tema meteorológico y el clima del planeta, da a conocer este tipo de representaciones en las que se evidencia los meses en los cuales se recibe más radiación en la superficie de la tierra. Esto debido a la forma elíptica de la tierra, lo que hace que la superficie de la tierra se aleje o se acerque al

sol, donde se promedia los valores obtenidos en los diferentes meses y se obtiene el valor de la constante solar de 1367 W/m².

Ilustración 11. Representación de la distancia entre el sol y la tierra a lo largo del año.

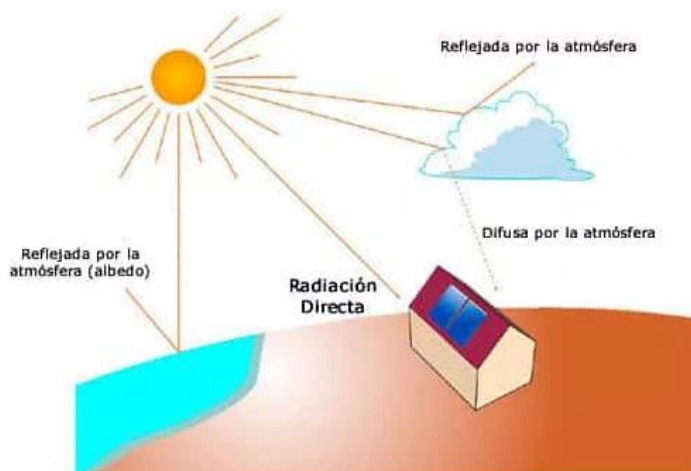


En la ilustración 11, se analiza la distancia que se presenta en los meses del año y en los que el sol se encuentra más lejos de la superficie de la tierra, para lo cual se evidencia que existen 4 estados que son 2 solsticios y 2 equinoccios. en los que se aleja o se acerca el sol esto debido a la trayectoria elíptica que tiene la tierra. (SUNFIELDS EUROPE, 2015)

Debido a la capa atmosférica que tiene el planeta y la cual contiene distintos componentes atmosféricos como los son moléculas de aire, ozono, vapor de agua, CO₂, aerosoles, etc. Debido a todos los componentes que se encuentran entre la fuente de energía que para el caso específico es el sol y el punto de incidencia que es la superficie terrestre. Donde esta no recibe directamente la radiación en toda su proporción sino en un porcentaje, ya que la atmosfera de cierta manera actúa como un

atenuador frente a la radiación y en casos puede hacer que la radiación sea directa, por otro lado, se pueda que se refleje, o también que pueda ser difusa como se muestra en la ilustración 12.

Ilustración 12. Tipos de radiación en energía solar.



Tomada de: (SUNFIELDS, 2015)

Como se muestra en la ilustración 12, debido a distintos factores existen diferentes tipos de radiación, por lo cual cada uno de estos influye de maneras diferentes a la producción de energía eléctrica. dependiendo del tipo de radiación que puedan recibir las células fotovoltaicas, en distintas épocas del año.

Ilustración 13. Tipos de radiación.



Tomada de: (SUNFIELDS, 2015)

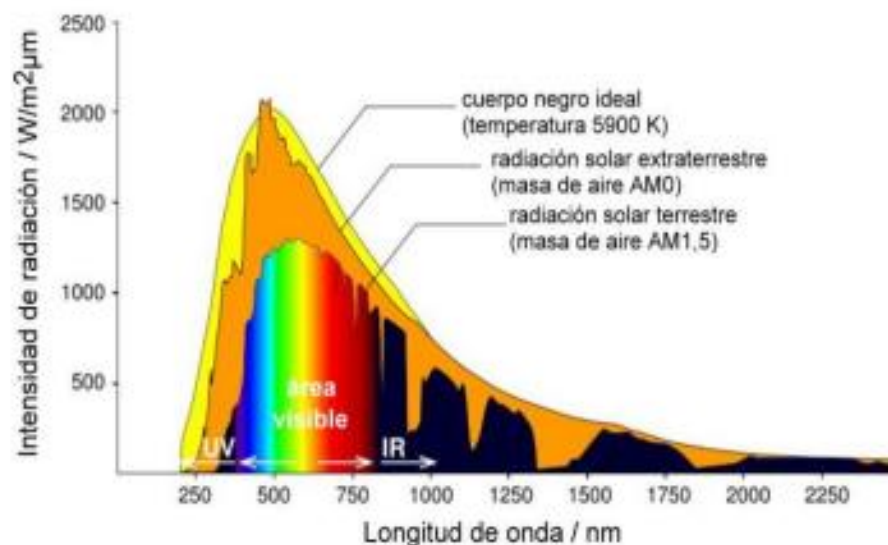
se observa en la ilustración 13, los tipos de radiación que se ven directamente relacionados con las células fotovoltaicas, como lo es la radiación directa: esta es la que se recibe cuando los rayos del sol inciden perpendicularmente en las células fotovoltaicas, Esta varía dependiendo de la nubosidad del momento y la estación del año.

Por otra parte, está la radiación reflejada, esta se presenta cuando los rayos del sol no inciden directamente en las células fotovoltaicas, sino que inciden en superficies cercanas que sean de algún color que no absorbe la luz, y la direcciona hacia los paneles. también se presenta cuando los rayos del sol no inciden perpendicularmente en el panel sino con cierto grado de inclinación lo cual produce que no sean captados lo que significa pérdidas por reflexión de los materiales que se encuentran antes de que el rayo toque la superficie de la célula como lo son: el vidrio, el encapsulante y la capa anti reflexiva.

Por último, está la radiación difusa, este fenómeno se puede producir por el polvo o la suciedad que se presenta en la atmósfera, depende de la contaminación presente en el aire de los lugares industriales y más poblados del planeta. Por otro lado, también se produce debido a los efectos meteorológicos del lugar como: la nubosidad, la lluvia, la nieve estos factores también influyen en que se produzca una radiación difusa. (Terrón, 2018)

Es necesario considerar y tener en cuenta las pérdidas que se presentan por la suciedad en la superficie de los paneles, también es importante analizar los efectos espectrales ya que las células fotoeléctricas generan una corriente determinada dependiendo de la longitud de onda de los rayos incidentes. para lo cual es necesario tener en cuenta como es el comportamiento del espectro electromagnético de las ondas como se muestra en la ilustración 14. (Terrón, 2018)

Ilustración 14. Espectro de las ondas de radiación solar.

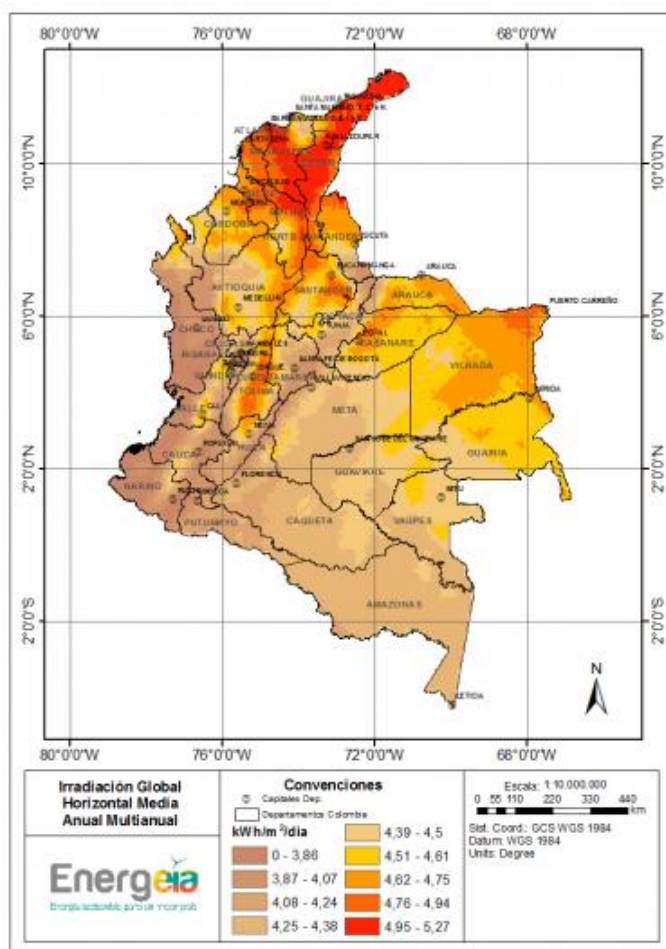


Tomado de: (Terrón, 2018)

2.2.2 Irradiancia

La irradiancia se describe como la cantidad de radiación o intensidad de rayos de sol que llegan hasta la superficie terrestre, esta se mide como una potencia por unidad de superficie; las unidades que maneja en el sistema internacional son W/m^2 . Teniendo en cuenta los distintos parámetros se obtiene que cuando la irradiancia incide en un plano horizontal de la superficie, el valor de esta será de 1000 W/m^2 aproximadamente. claro está que este sería el valor en un día despejado o claro y al medio día cuando se logra un valor máximo.

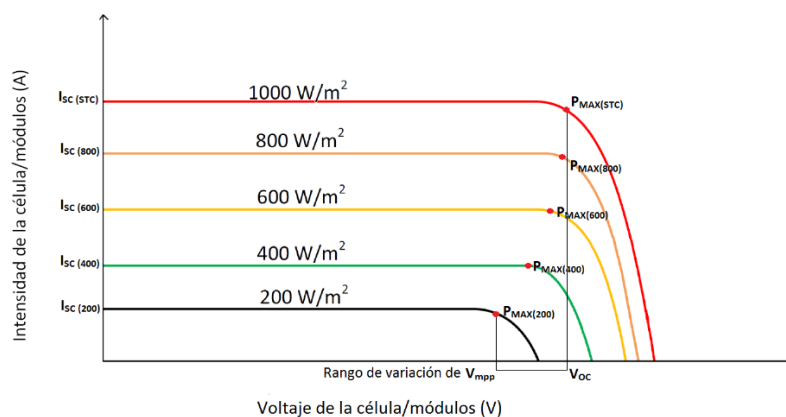
Ilustración 15. Mapa de radiación solar en Colombia.



Tomado de: (SUNFIELDS, 2015)

En la ilustración 15, se puede observar la cantidad de radiación que se obtiene de los diferentes lugares donde se tiene generación con paneles solares. Esta información es importante a la hora del diseño de los sistemas, ya que nos da el valor de la radiación de un lugar determinado en los diferentes periodos del año para lo cual lo podemos obtener de las tablas más actualizadas que nos entregan estos valores.

Ilustración 16. Curva característica del panel con respecto a la variación de radiación.



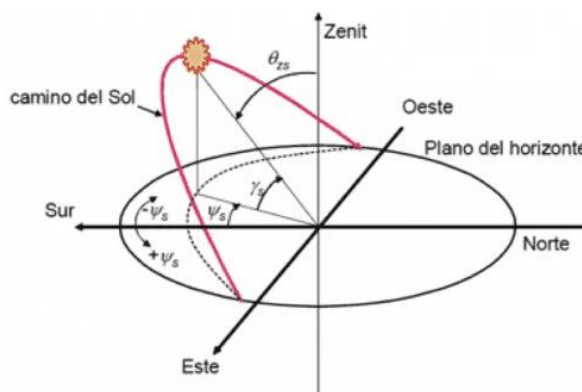
Tomado de: (TRITEC, 2020)

Para el caso de la ilustración 16, se define la forma que influye la irradiancia que incide sobre las células en correspondencia con el voltaje de salida de los módulos fotovoltaicos.

2.2.3 Geometría solar

Cuando se va a realizar una instalación de paneles solares es indispensable saber cómo deben de estar ubicados los paneles para la producción energética, y como actúa la irradiación solar en el plano correspondiente a la instalación, de igual manera la trayectoria solar del lugar en las diferentes épocas del año.

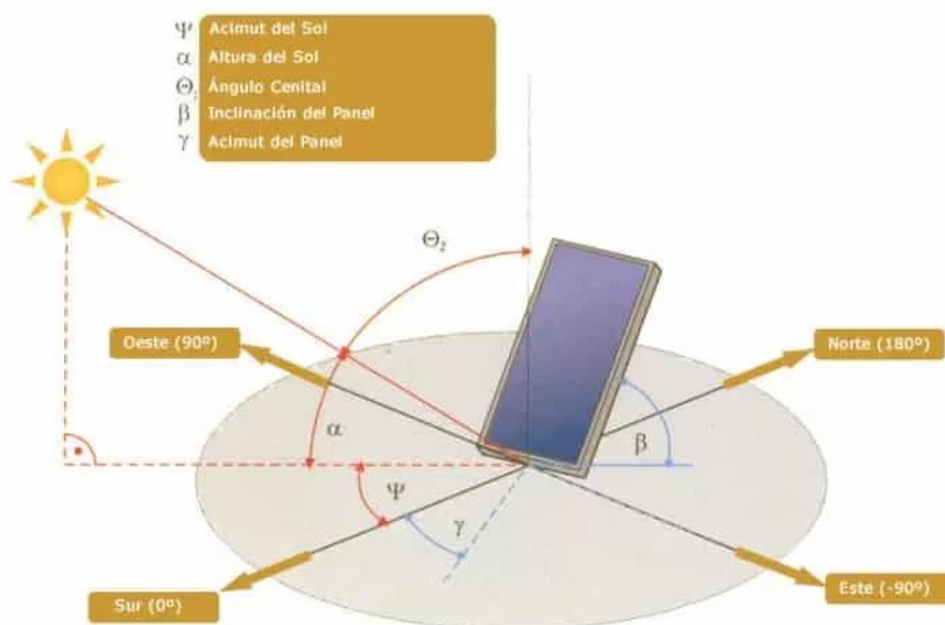
Ilustración 17. Geometría solar para cálculo paneles solares.



Tomado de: (SUNFIELDS, 2015)

Cuando hablamos de la ubicación perpendicular de los paneles hacia el sol, se debe tener en cuenta los ángulos respectivos como lo son los ángulos cenitales y los ángulos azimut. Cuanto menor es ángulo cenital, es decir; cuanto más se encuentra perpendicular el sol a la superficie terrestre, va a ser menor la trayectoria solar a través de la atmosfera.

Ilustración 18. Orientación de los paneles según los ángulos de posición.



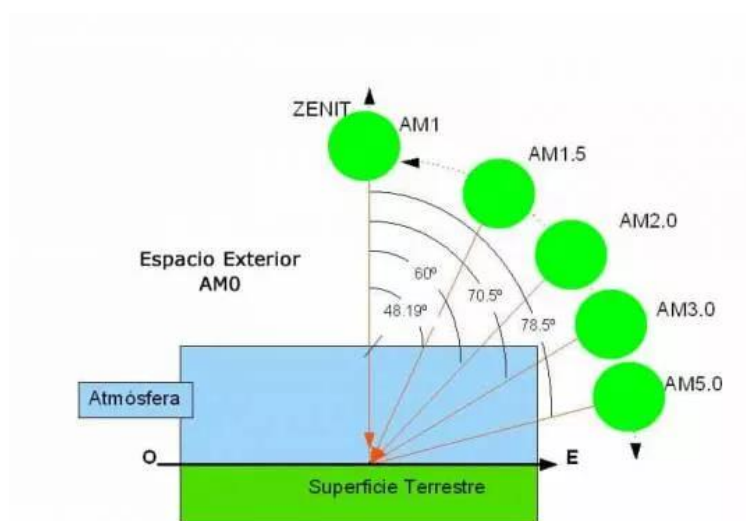
Tomado de: (SUNFIELDS, 2015)

En el caso del ángulo azimut, para el lado sur como lo sería para los países que se encuentran por debajo de la línea del ecuador, sería el ángulo negativo para la parte este y positivo para el oeste tomando como referencia el sur con 0 grados, por esto la ubicación de los paneles deberá estar en dirección al sur con una inclinación del panel de acuerdo a la latitud que tenga el lugar donde se vaya instalar, de manera análoga sería para los países del norte ellos tomando como referencia el norte con 0 grados. Esto para que el panel pueda tener una mejor absorción de la radiación en los periodos de luz y mejor aprovechamiento de las alturas del sol.

2.2.4 Masa de aire

Para establecer estas constantes como lo es la masa de aire y anteriormente mencionada la constante solar, se debe considerar un punto de referencia que será un punto por fuera de la atmosfera. para el caso de la irradiación que puede recibir en este punto seria considerablemente mayor a la que pudiera recibir en la superficie terrestre, ya que la atmosfera actúa como un filtro que atenúa la radiación solar. pero como lo es para la constante de la masa de aire no es el mismo caso ya que la masa de aire por fuera de la atmosfera tendría un valor de 0 y dentro de la atmosfera terrestre varía según distintos parámetros, es algo que es inevitable que se tenga en consideración.

Ilustración 19. Valor de la masa de aire con respecto al Angulo cenital.



Tomado de: (SUNFIELDS, 2015)

Como se puede observar en la ilustración 19, se relaciona el valor de la masa de aire con respecto a el ángulo cenital, donde se tiene que para un ángulo cenital de 90 el valor de masa de aire será de un valor de 1, Por lo que estaría entrando los rayos perpendicularmente al panel. Pero cuando este ángulo va cambiando se provoca un incremento de la misma manera proporcional para la masa de aire en un momento determinado, por esto la masa del aire se define como el cociente entre el

recorrido óptico que realiza un rayo solar y el correspondiente ángulo perpendicular a la superficie y la altura solar.

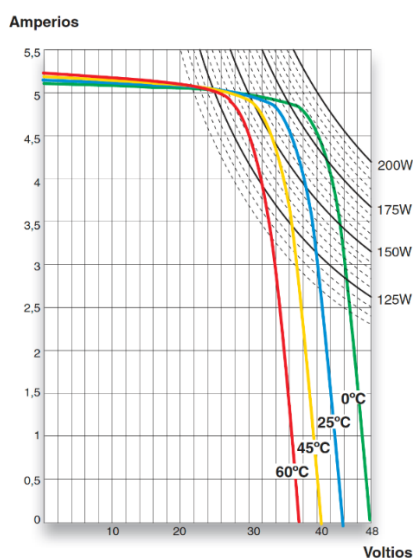
2.2.5 Temperatura

A la hora de la instalación de un panel se deben de tener en cuenta las condiciones ambientales de STC (estándar test conditions). Es decir, en curvas de voltaje vs corriente que se obtienen de los respectivos datasheet o hojas de características de los paneles solares, en donde se tendrá unas condiciones determinadas que son las siguientes:

- Temperatura ambiente de 25 grados centígrados
- Irradiancia de 1000 W/m²
- masa de aire de 1.5

cuando se requiera realizar una instalación en un lugar donde no cumpla con estas condiciones estándar de funcionamiento, se tendrá que analizar cómo será el comportamiento de los paneles ya que variaran considerablemente.

Ilustración 20. Efectos de la temperatura en la curva característica del panel.



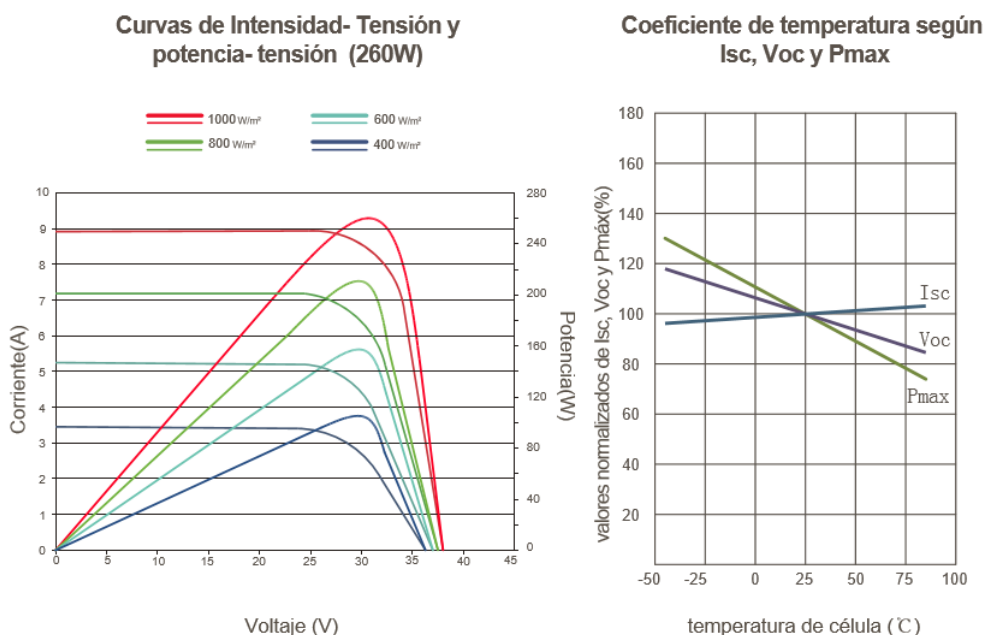
Tomado de: (ILUMIN, 2022)

La temperatura es uno de los factores que más afectan el rendimiento de los paneles solares y como se observa en la ilustración 20 el voltaje del módulo es el que se verá más afectado por el incremento en la temperatura.

De esta manera es como se presenta una de las desventajas en los lugares donde se creería que los paneles podrían tener una mayor eficiencia. ahí es donde hay que analizar el comportamiento del módulo frente a las temperaturas elevadas que presentan estos lugares, por lo general lo que pasa es que presentan una muy buena radiación solar pero no se tiene los estándares necesarios para el funcionamiento óptimo de los paneles.

Ilustración 21. Afectación del rendimiento del panel con respecto a la temperatura.

Rendimiento eléctrico y dependencia de la temperatura



Tomado de: (TRITEC, 2020)

Partiendo de la ilustración 21, donde se establece que la temperatura puede influir en gran medida tanto en la potencia como en el voltaje de salida que estará entregando el inversor, por lo tanto, a la hora de dimensionar un sistema se debe de tener las siguientes consideraciones:

- Se debe de sobredimensionar el campo de paneles fotovoltaicos para que este sea capaz de suministrar la potencia necesaria a la red, ya que la potencia disminuirá en un 20 a 25% de acuerdo a la ficha técnica por efecto de la temperatura.
- Debido que a las temperaturas por debajo de las condiciones STC tiende a aumentar el voltaje de salida de los paneles, el inversor que se conecta a estos tiene un voltaje el cual se conoce como una tensión admisible, por lo tanto, se tiene que garantizar que la tensión en vacío que nos proporciona el campo fotovoltaico sea siempre inferior a la tensión admisible del inversor.
- Otro punto importante es tener en cuenta que el inversor tendrá un rango de voltaje para garantizar el funcionamiento en un punto de potencia máxima, entonces tendremos que garantizar ese rango de voltaje para obtener el máximo rendimiento del dispositivo.
- Es importante tener en cuenta que cuando se presente aumentos en la temperatura la corriente que nos entregaran el campo de paneles también será alta, pero debemos garantizar que igual que el voltaje sea la corriente admisible del inversor.

Para poder establecer la temperatura de operación del panel que va a depender de la temperatura del entorno, es necesario realizar el cálculo con la máxima y mínima temperatura ambiente de la ubicación seleccionada, esto se hace para saber las condiciones de funcionamiento que tendrá el panel bajo cierta condición de temperatura con la siguiente ecuación realizamos el cálculo:

Ecuación 1. Cálculo de la temperatura de un módulo fotovoltaico.

$$T_{\text{modulo}}(^{\circ}\text{C}) = T_{\text{ambiente}}(^{\circ}\text{C}) + G \left(\frac{\text{KW}}{\text{m}^2} \right) * \frac{\text{NOTC} - 20^{\circ}\text{C}}{0.8 \left(\frac{\text{KW}}{\text{m}^2} \right)}$$

Donde:

- G es la irradiancia máxima del lugar y normalmente se estima en 1 KW/m².
- NOTC es la temperatura de operación del panel y este parámetro lo conseguimos de la hoja de características del mismo.

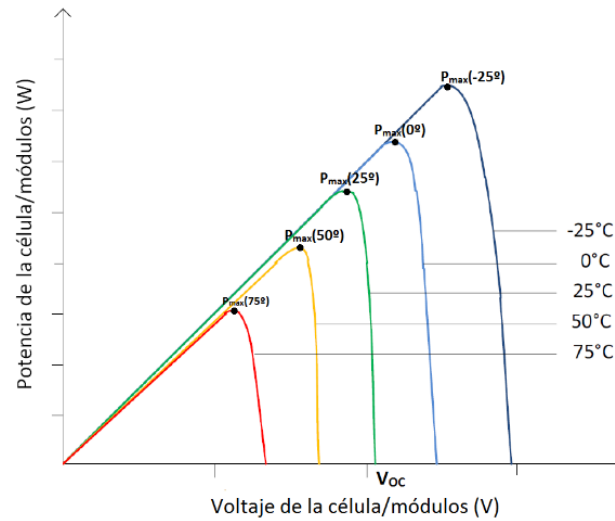
Una vez calculada la temperatura de operación del panel es necesario calcular el voltaje de vacío, la potencia en punto máximo de potencia, la corriente de cortocircuito y tensión en el punto máximo de potencia a cierta temperatura con las siguientes ecuaciones expresadas:

Ecuación 2. Cálculo de las tensiones, corrientes y potencia del módulo con respecto a la temperatura.

$$\begin{aligned} V_{oc}(T_{min}) &= V_{oc-Tstc} + \beta * (T_{min} - 25^{\circ}\text{C}) \\ V_{oc}(T_{mod-max}) &= V_{MPP-Tstc} + \beta * (T_{modulos-max} - 25^{\circ}\text{C}) \\ I_{sc}(T_{mod-max}) &= I_{sc-Tstc} + \alpha * (T_{modulos-max} - 25^{\circ}\text{C}) \\ P_{mpp}(T_{mod-max}) &= P_{MPP-Tstc} + \gamma * (T_{modulos-max} - 25^{\circ}\text{C}) \end{aligned}$$

Como se pudo evidenciar en las anteriores graficas donde tanto la intensidad como la tensión generada por el panel se ve afectada en gran medida, podemos verificar que la potencia siendo el producto de ambas, también estará afectada como se muestra en la siguiente grafica donde nos relaciona la potencia con respecto a la temperatura de operación del módulo fotovoltaico.

Ilustración 22. Comportamiento de la potencia del panel a diferentes temperaturas.



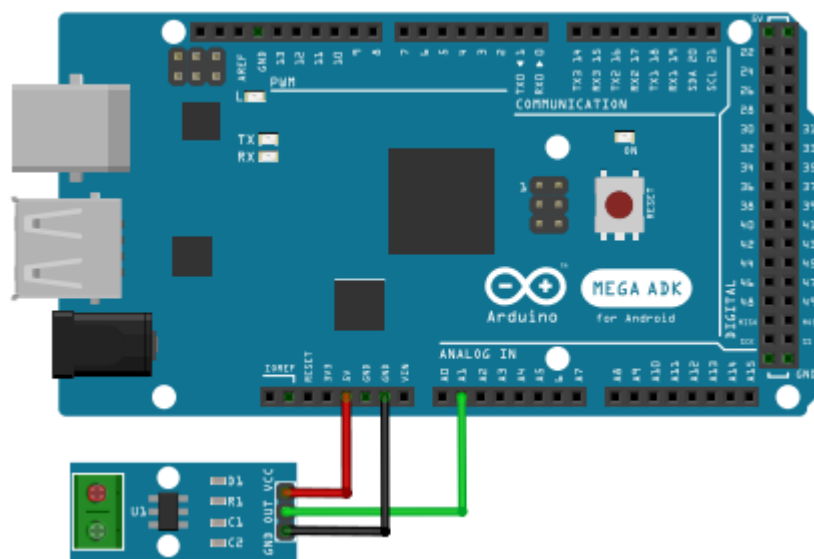
Tomado de: (INGELIBRE, 2015)

2.3 Estructuración de la simulación y del código de programación en el software de Arduino

2.3.1 Conexión del sensor de corriente

Para la instalación del sensor de corriente el acs712, se tiene 2 entradas para conectar el conductor al que se le medirá la corriente, para el caso del panel podrá ser cualquiera de los dos conductores de conexión del panel, como se muestra en la ilustración 23, serán los que están el color verde. Para la conexión al Arduino se alimentará desde el Arduino con una tensión de 5 V, y el pin del medio que proporciona el voltaje que arroja el sensor para conectarlo a uno de los pines analógicos del Arduino.

Ilustración 23. Conexión de un sensor de corriente a la tarjeta de Arduino.



Tomado de: autoría propia

Para la programación de este sensor debemos de tener en cuenta varios parámetros que tiene este sensor para que al acoplarlo con el Arduino nos dé una lectura adecuada de la corriente. El principio de funcionamiento de este sensor se basa en el efecto hall, donde al detectar un flujo de corriente por el conductor donde se va a realizar la medición, este detecta la corriente y la traduce en un pequeño voltaje, que finalmente es el voltaje que nos entrega en el pin de salida del sensor en un rango de 2.5 a 5 V.

Ilustración 24. Valor de la sensibilidad de los sensores de corriente.

Modelo	Rango	Sensibilidad
ACS712ELCTR-05B-T	-5 a 5 A	185 mV/A
ACS712ELCTR-20A-T	-20 a 20 A	100 mV/A
ACS712ELCTR-30A-T	-30 a 30 A	66 mV/A

El Arduino reconoce este valor de voltaje, pero lo traduce al nivel de bits que trabaja en un rango de 0 a 1023, es importante conocer la sensibilidad de este sensor como se muestra en la ilustración 24. Al conocer el valor de sensibilidad que maneja el sensor, con ayuda de la ecuación 3 calcularemos la corriente de la medición.

Ecuación 3. Obtención del valor la corriente.

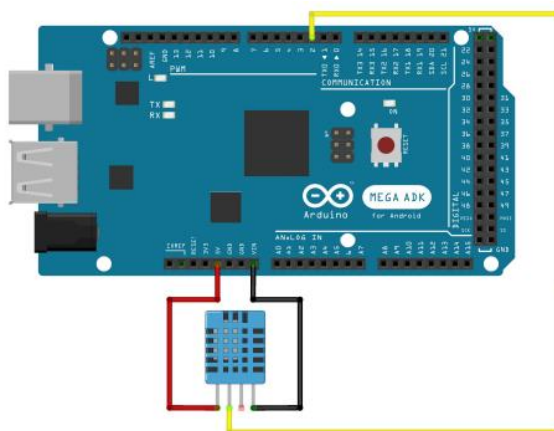
$$I = \frac{V - 2.5}{Sensibilidad}$$

Siendo I el valor que obtendremos de la corriente calculada, el Arduino toma este valor y lo convierte en el valor real multiplicándolo por la equivalencia del Arduino que sería de 1023/5.

2.3.2 Conexión del sensor de humedad y temperatura

Para este sensor que se muestra en la ilustración 25, donde se conecta a alimentación del Arduino la cual puede ser en un rango de 3.3 a 5 V. la conexión de color amarillo proporcionará las lecturas de humedad y temperatura. Para el caso de la humedad este tiene un rango del 20% al 95% dependiendo el entorno ambiental, de igual manera para la parte de la temperatura tendrá un rango de 1 a 50 °C. el pin de los datos de conectar a uno de los pines digitales del Arduino en este caso es el pin 2.

Ilustración 25. Conexión del sensor dth 11 a la tarjeta de Arduino.

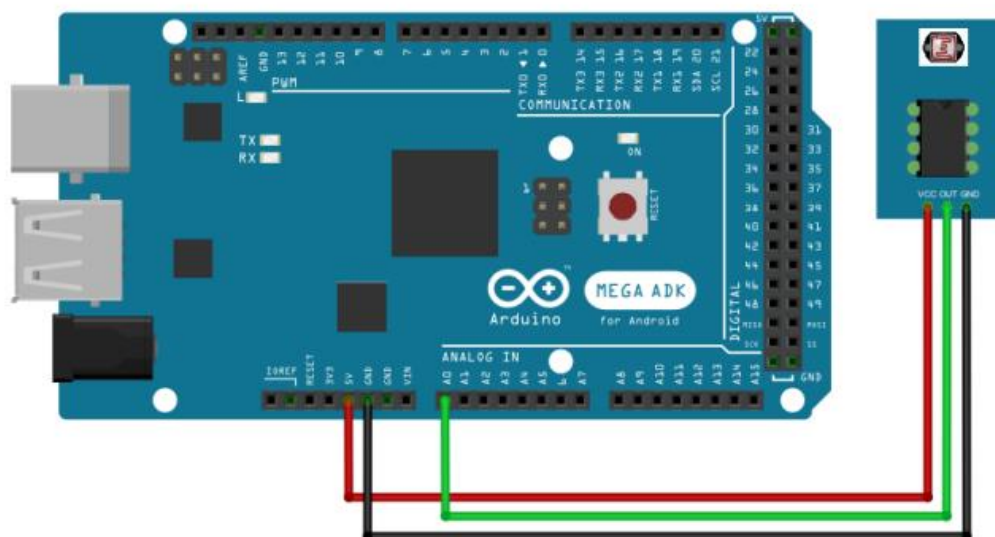


Tomado de: autoría propia

2.3.3 Conexión del sensor de radiación.

De la misma manera que los demás sensores este sensor nos presenta 3 pines de conexión, en los cuales 2 de ellos serán la alimentación de 3.3 a 5 V. el tercero será el que nos entregue la medida de voltaje, donde se obtiene a partir de un fotodiodo con el cual es capaz de captar un gran porcentaje del rango de espectro electromagnético que contienen los rayos de sol, el sensor lo reconocerá como una pequeña corriente, por medio de un circuito integrado se convertirá finalmente en la señal de voltaje. Este se conectará a la entrada analógica A4 del Arduino.

Ilustración 26. conexión del sensor de radiación a la tarjeta de Arduino.



Tomado de: autoría propia

Para la parte de la programación del sensor de radiación que entregara 11 niveles de radiación como se muestra en la ilustración 27, para lo que se debe establecer rangos en los bits del Arduino para obtener estos 11 niveles de radiación. Para el caso de Colombia el máximo nivel de radiación es alto que estaría en el nivel 7.

Ilustración 27. Niveles de radiación.



Tabla 1. Rango de bits para cada nivel de radiación.

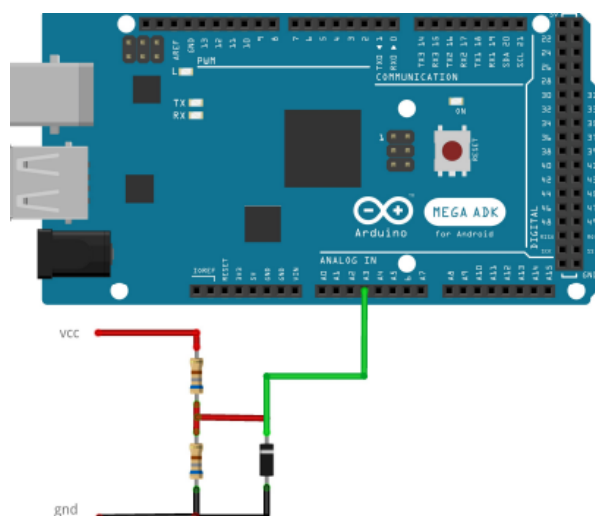
Índice	Tensión (bits)
0	<50
1	>50 y <=227
2	>227 y <=318
3	>318 y <=408
4	>408 y <=503
5	>503 y <=606
6	>606 y <=696
7	>696 y <=795
8	>795 y <=881
9	>881 y <=976
10	>976 y <=1079
11	>1079

En la tabla 1, se expresa los rangos que se podrán establecer para cada nivel de radiación en el número de bits que maneja el Arduino y dependiendo de esto no lo pueda mostrar en la pantalla LCD.

2.3.4 Conexión del sensor de voltaje.

Para esta parte tendremos que implementar la teoría de los circuitos básicos, como lo es el divisor de tensión, el cual nos permite por medio de una configuración de resistencias obtener una entrada de voltaje y a su vez una salida acorde con la aplicación que necesitemos. en este caso tendremos que reducir el voltaje de salida de los paneles a una tensión razonable para el Arduino que seria los 5 V, que es lo más comunes que se registre como voltaje máximo, con esto ya comprendido establecemos el circuito de la ilustración 28, la cual tendrá una entrada de voltaje máxima de 50 V y una salida máxima de 5 V, es importante mencionar que estos cálculos variaran en un cierto rango de error ya que las resistencias calculadas no son precisamente valores comerciales para tener un valor exacto.

Ilustración 28. Conexión del divisor de voltaje para obtener el voltaje.



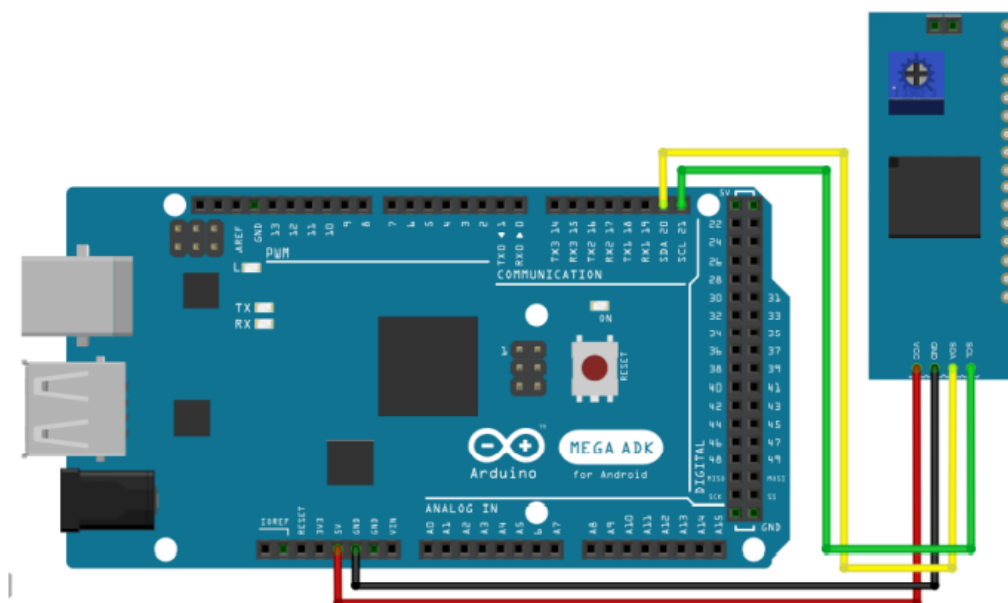
Tomado de: autoría propia

2.3.5 Conexión de la pantalla lcd con modulo i2c para visualizar los datos.

Ya que utilizamos el módulo de comunicación I2c, el cual nos permite reducir significativamente la cantidad de conexiones que se realizan normalmente con la pantalla LCD y para ello solo tenemos que

conectar la alimentación de la pantalla y los dos pines de comunicación al Arduino, para que realice la visualización de los mensajes y las medidas de cada uno de los sensores conectados al Arduino. cómo se representa en la ilustración 29, la pantalla que se utiliza es una pantalla de 20X4 lo que permite tener una mayor disposición de espacio de caracteres a mostrar en pantalla.

Ilustración 29. Conexión del módulo i2c con la tarjeta de Arduino.

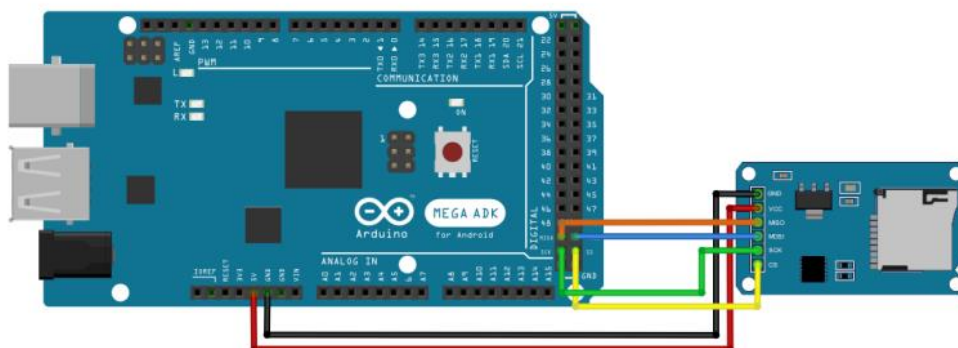


Tomado de: autoría propia

2.3.6 Conexión del módulo sd para el guardado de los datos.

Este módulo presenta una parte muy interesante e importante con la cual podemos manejar nuestra información, ya que permite crear un archivo de formato texto de la información que se esté capturando por el Arduino, lo primero es crear un archivo donde se pueda escribir cada uno de los datos que se requieran y de la misma forma se vayan guardando dentro del archivo. La conexión del módulo se realiza de la manera que se muestra en la ilustración 30, con 2 pines de alimentación a 5 V y los demás para la comunicación de los datos.

Ilustración 30. Conexión del módulo de tarjeta sd con la tarjeta de Arduino.

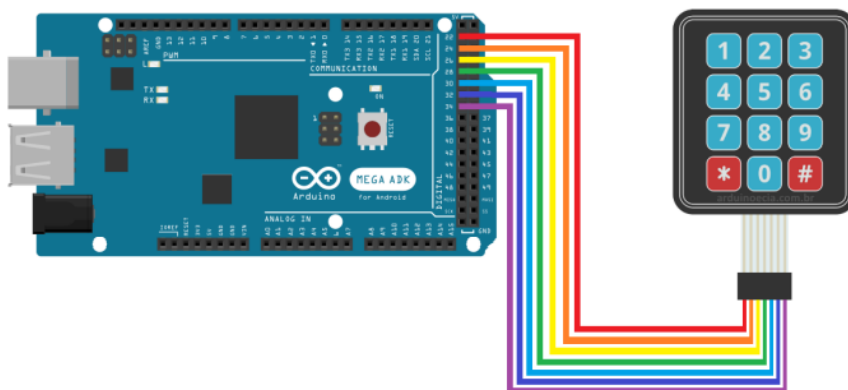


Tomado de: autoría propia

2.3.7 Conexión del teclado matricial.

Este teclado matricial está compuesto por 3 columnas y 4 filas para obtener 12 caracteres los cuales se activaran por medio de los pulsadores que contiene internamente cada una de las casillas de este teclado y para lo cual nos podrá dar la opción de darle una acción a cada una de estas casillas para el uso practico, como por ejemplo para este caso utilizaremos varios de estas números o casillas para darle una orden al Arduino para que nos ejecute una acción, la conexión se realiza de acuerdo a la ilustración 31.

Ilustración 31. Conexión del teclado matricial 3x4 con la tarjeta de Arduino.

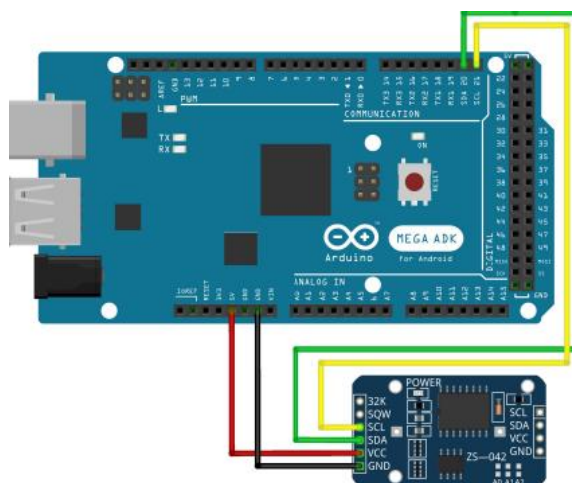


Tomado de: autoría propia

2.3.8 Conexión del módulo rtc.

Este módulo es el que nos permitirá obtener la hora y la fecha real en la que se están tomando los datos ya que cuenta con una pila adicional de 3.3 V, que lo respalda cuando no tiene alimentación directa del Arduino, este puede seguir con la fecha y hora actual gracias a la batería no perderá su funcionalidad, este módulo igual que la pantalla LCD trae la misma comunicación donde se conecta al Arduino por medio de dos pines y se alimenta por otros dos más como se ilustra en la ilustración 32.

Ilustración 32. Conexión del módulo rtc con la tarjeta Arduino.



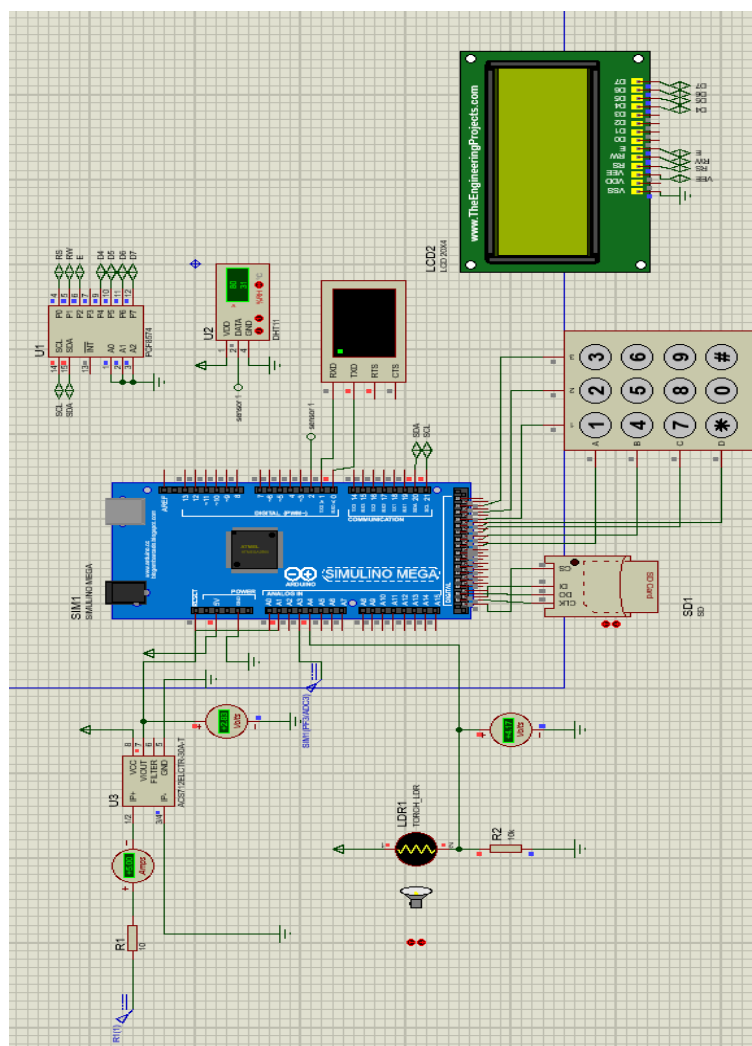
Tomado de: autoría propia

2.3.9 Montaje de la simulación

Antes de realizar el montaje para integrar cada uno de los sensores de forma real, se utiliza PROTEUS un software que permite la simulación de un sin número de dispositivos electrónicos. De esta manera se logra adecuar lo más similar a la realidad cada una de las conexiones de los sensores a implementar con la tarjeta de Arduino mega. De esta forma se tendrá una idea más clara de las conexiones que se deben realizar para que cada sensor actúe de la forma correcta como se muestra en la ilustración 33.

Una de las ventajas importantes que presenta este software de PROTEUS, es que se puede ingresar el código de programación en el Arduino virtual del programa, con esto se puede saber cómo será el funcionamiento del código realizado en el software de programación de Arduino (IDE Arduino). debido a que a que programa de Arduino nos permite exportar el código para simularlo en PROTEUS, se podrá saber cómo es el comportamiento de los sensores y ajustar cada línea en el código para obtener lo que se necesita.

Ilustración 33. Diseño del circuito en el software PROTEUS.



Tomado de: autoría propia

Ilustración 34. Algoritmo de programación final del dispositivo de medida.

```

// librerías necesarias para el programa
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <Wire.h>
#include <DHT.h>
#include <LiquidCrystal_12C.h>
#include <Keypad.h>
#include <RTClib.h>
#define DHTPIN 2
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
LiquidCrystal_12C lcd(0x27, 20, 4);
RTC_DS3231 rtc;

byte ene[8] = {
  B01110,
  B00000,
  B10001,
  B11001,
  B10101,
  B10011,
  B10001,
  B00000
};

byte brr[8] = {
  B00011,
  B00011,
  B00011,
  B00011,
  B00011,
  B00011,
  B00011,
  B00011
};

byte gra[8] = {
  B01100,
  B10010,
  B01100,
  B00000,
  B00000,
  B00000,
  B00000,
  B00000
};

}

Serial.print("buscando sd...");
if (!SD.begin(chipSelect)){
  lcd.setCursor(1, 0);
  lcd.print("no se encontro sd insertada:");
  while (1);
} else {
  Serial.println("sd encontrada:");
  lcd.setCursor(6, 1);
  lcd.print("Memoria ");
  lcd.setCursor(4, 2);
  lcd.print("SD Insertada");
  delay(3000);
  lcd.clear();
}

if (!rtc.begin()){
  lcd.setCursor(3, 0);
  lcd.print("module rtc no encontrado");
  while (1);
}

}

void loop(void) {
  lcd.setCursor(6, 1);
  lcd.print("PULSA #");
  lcd.setCursor(4, 2);
  lcd.print("PARA EMPEZAR");
  char key = keypad.getKey();
  if (key == '#') {
    lcd.clear();
    x = 0;
    while (x == 0)

    {
      reloj();
      Temperatura();
      Radiacion();
      Corriente();
      Voltaje();
      Pantalla();
    }
  }
}

File Fichero;
const int chipSelect = 53;
float sensibilidad = 0.066;
int indiceUV = 0;
int x = 0;
int s = 1;
float IPf = 0;
float VPf = 0;
float P = 0;
float temperatura = 0;
int primeras = 0;
float humedad = 0;
char pagina = '1';
char nombrefichero[14];
const byte ROWS = 4; //four rows
const byte COLS = 4; //three columns
char keys[ROWS][COLS] = {
  {'1', '2', '3'},
  {'4', '5', '6'},
  {'7', '8', '9'},
  {'*', '0', '#'}
};

byte rowPins[ROWS] = {36, 34, 32, 30};
byte colPins[COLS] = {28, 26, 24};
Keypad keypad = Keypad( makeKeymap(keys), rowPins, colPins, ROWS, COLS );

void setup() {
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  dht.begin();
  lcd.createChar(0, ene);
  lcd.createChar(1, brr);
  lcd.createChar(2, gra);
  while (!Serial) {
    ;
  }
  Escribir();
  P=VPf*IPf;
  s = 1;
  while (s <= 4900)
  {
    delay(1);
    Guardar();
    s++;
  }
  lcd.clear();
}

void reloj ()
{
  // rtc.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));
  DateTime fecha= rtc.now();
  Serial.print(fecha.day());
  Serial.print("/");
  Serial.print(fecha.month());
  Serial.print("/");
  Serial.print(fecha.year());
  Serial.print(" ");
  Serial.print(fecha.hour());
  Serial.print(":");
  Serial.print(fecha.minute());
  Serial.print(":");
  Serial.print(fecha.second());
}

//sensor de temperatura
void Temperatura()
{
  humedad = dht.readHumidity();
  temperatura = dht.readTemperature();
}

```

```

//declaracion de pantalla de la lcd
void Pantalla() {
  if (pagina == '1') {
    lcd.setCursor(2, 0);
    lcd.print("DATOS DEL PANEL ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Voc:");
    lcd.print(VPf);
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("Isc:");
    lcd.print(IPf);
    lcd.setCursor(0, 3);
    lcd.print("Pmax:");
    lcd.print(P);
    lcd.setCursor(12, 2);
    lcd.print("2 MAS");
    lcd.setCursor(12, 3);
    lcd.print("← GUARDAR"); }
  if (pagina == '2') {
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("HUMEDAD: ");
    lcd.print(humedad);
    lcd.print("%");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("TEMPERATURA: ");
    lcd.print(temperatura);
    lcd.write(2);
    lcd.print("C");
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("Indice UV: ");
    lcd.print(indiceUV);
    lcd.setCursor(0, 3);
    lcd.print("1 ATRAS");
    lcd.setCursor(12, 3);
    lcd.print("→ GUARDAR");
  }
}

if (primeraves == 0)
{
  Fichero.println("***** REGISTRO DATOS PANELES SOLARES *****");
  Fichero.println("");
  Fichero.println("Fecha | Hora | Indice UV | Temperatura | Humedad | Tensión | Corriente | Potencia");
  primeraves = 1;
}
Fichero.print(" ");
Fichero.print(fecha.day());
Fichero.print("/");
Fichero.print(fecha.month());
Fichero.print("/");
Fichero.print(fecha.year());
Fichero.print(" ");
Fichero.print(fecha.hour());
Fichero.print(":");
Fichero.print(fecha.minute());
// Fichero.print(":");
// Fichero.print(fecha.second());
Fichero.print(" ");
Fichero.print(indiceUV);
Fichero.print(" ");
Fichero.print(temperatura);
Fichero.print(" ");
Fichero.print(humedad);
Fichero.print(" ");
Fichero.print(VPf);
Fichero.print(" ");
Fichero.print(IPf);
Fichero.print(" ");
Fichero.print(P);
Fichero.println();
Fichero.close();
Serial.print(fecha.day());
Serial.print("/");
Serial.print(fecha.month());
Serial.print("/");
Serial.print(fecha.year());
Serial.print(" ");
Serial.print(fecha.hour());

```

```

//ESCRITURA DE DATOS EN ARCHIVO TXT//////////

```

```

void Escribir()
{
  DateTime fecha= rtc.now();
  if (primeraves == 0)
  {
    int i = 1;
    int exist = LOW ;
    while (exist == LOW)
    {
      sprintf(nombrefichero, "Datos_%d.txt", i);
      if (SD.exists(nombrefichero))
      {
        i = i + 1;
      }
      else
      {
        exist = HIGH;
      }
    }
    Fichero = SD.open(nombrefichero, FILE_WRITE);
    if (Fichero)
    {
      if (primeraves == 0)
      {

```

```

Serial.print(fecha.month());
Serial.print("/");
Serial.print(fecha.year());
Serial.print(" ");
Serial.print(fecha.hour());
Serial.print(":");
Serial.print(fecha.minute());
Serial.print(":");
Serial.print(fecha.second());
// Serial.print(temperatura);
// Serial.print(",");
// Serial.print(humedad);
// Serial.println(",");
}
else
{
    Serial.println("Error al crear el archivo");
}
}
//CONFIRMACION GUARDAR DATOS//
void Guardar()
{
    char key = keypad.getKey();
    if (key == 'A')
    {
        Fichero = SD.open(nombrefichero); //abrimos el archivo
        if (Fichero)
        {
            lcd.clear();
            lcd.setCursor(8, 1);
            lcd.print("DATOS");
            lcd.setCursor(6, 2);
            lcd.print("GUARDADOS");
            primeravez = 0;
            x = 1;
            Fichero.close(); //cerramos el archivo
        }
        else
        {
            else
            {
                lcd.clear();
                lcd.setCursor(6, 1);
                lcd.print("DATOS NO");
                lcd.setCursor(4, 2);
                lcd.print("GUARDADOS");
            }
        }
        if (key == '1' || key == '2')
        {
            lcd.clear();
            pagina = key;
            s = 5000;
        }
    }
}
//ADQUISICION CORRIENTES//
void Corriente()
{
    float auxc = 0;
    float t = 0;
    for (int c = 1; c <= 100; c++)
    {
        t = analogRead(A1);
        auxc = auxc + t;
    }
    t = auxc / 100;
    t = t * (5.0 / 1023.0); //lectura del sensor
    IPf = (t - 2.5) / sensibilidad; //Ecuación para obtener la
}
//ADQUISICION TENSIONES//
void Voltage()
{
    float auxV = 0;
    float auxv = 0;
    for (int v = 1; v <= 100; v++)
    {
        VPf = analogRead(A3);
        auxV = auxV + VPf;
    }
}

```

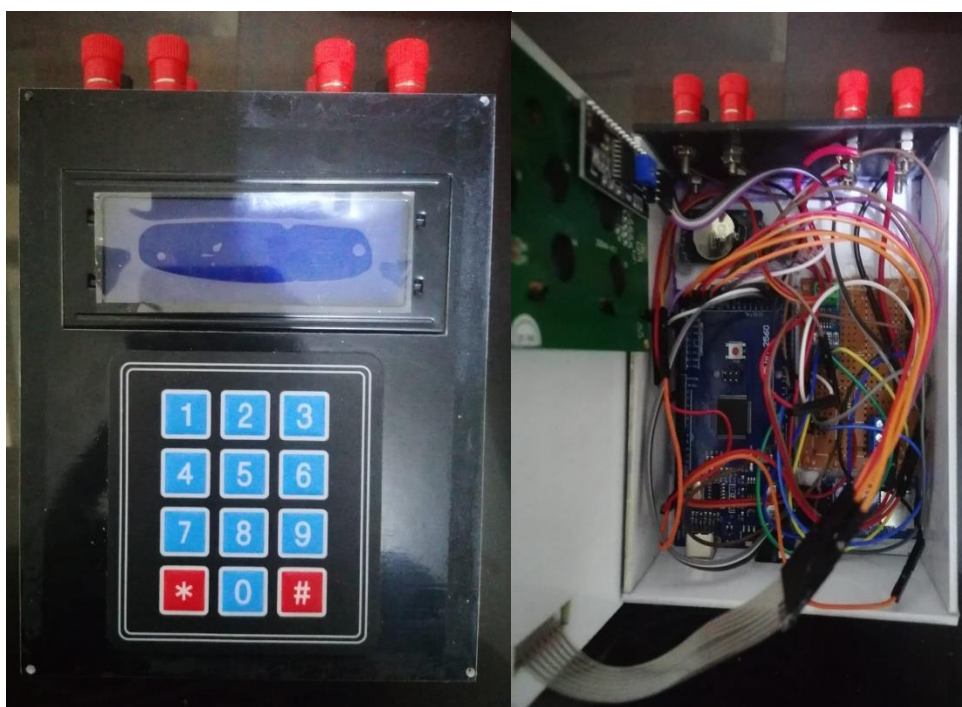
Tomado de: autoría propia

Capítulo III – Resultados

3.1 Instalación del dispositivo de medida

Al integrar cada una de las etapas anteriormente mencionadas finalmente obtenemos el dispositivo de medida, con el que podremos obtener los diferentes valores asociados a la generación de energía fotovoltaica. Frente a el costo que presenta este dispositivo es bastante bajo, debido a que todos los componentes son de fácil adquisición y no es necesario tener licencias oficiales para poder realizar la programación, en la ilustración 35 se muestra la manera como se adecuaron cada uno de los componentes y el producto final.

Ilustración 35. Montaje final del dispositivo de medida.

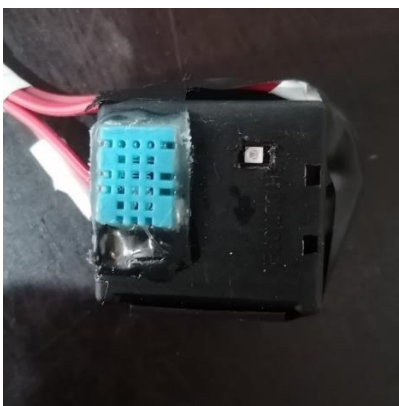


Tomado de: autoría propia

En la parte superior de la ilustración 35, se observan 8 pines de conexión los de la parte izquierda es donde conectaremos los sensores de temperatura, humedad y radiación, debido a que esos

sensores deben estar expuestos a la intemperie para recolectar los datos como se muestra en la ilustración 36, 2 pines de estos para alimentar los sensores y 2 pines para obtener los datos. Para la parte derecha estarán los pines para la medición del voltaje y la corriente que el panel solar está entregando conectado al inversor que se muestra en la ilustración 37.

Ilustración 36. Montaje de los sensores de radiación y temperatura.



Tomado de: autoría propia

Ilustración 37. Inversor conectado al panel de prueba.



Tomado de: autoría propia

El panel que se conectara al inversor y de donde obtendremos los datos se describe en la ilustración 38, donde se tiene las características específicas que entrega el fabricante que se muestra en la parte derecha de la ilustración, se tienen valores de la potencia máxima, voltaje de vacío, corriente de corto, voltaje de V_{mp} e I_{mp} . Donde serán tenidos en cuenta para el dimensionamiento de los sensores de corriente y de voltaje, así como también el inversor buscara obtener los valores de V_{mp} e I_{mp} para una mayor eficiencia.

Ilustración 38. panel de pruebas y sus características de fabricación.



Tomado de: autoría propia

Para la obtención los datos instalamos el dispositivo realizando las conexiones de los sensores y las del panel conectado al inversor, el dispositivo está conectado entre el panel solar y el inversor. En la ilustración 39 se observa que se está realizando la obtención de todos los parámetros correctamente.

Ilustración 39. Obtención de datos del dispositivo conectado a el panel.



Tomado de: autoría propia

Para saber que el funcionamiento del dispositivo sea el adecuado utilizamos una pinza amperimétrica, para saber si los valores de corriente y voltaje concuerden con los valores que está recibiendo el inversor como se observa en la ilustración 41 y los registre la pinza amperimétrica. En la ilustración 40 se observa las medidas realizadas y de esta manera calcular el porcentaje de error que tiene el dispositivo con respecto a la pinza.

Ilustración 40. Mediciones con pinza amperimétrica.



Tomado de: autoría propia

A continuación, para saber el porcentaje de error por medio de la ecuación 4, del dispositivo de medición con respecto a la pinza amperimétrica.

Ecuación 4. Calculo el porcentaje de error relativo del dispositivo de medición.

$$e_m = \frac{V_m - V_p}{V_p} * 100$$

Donde, em corresponde al error relativo en la medición, Vm será la tensión medida por el dispositivo y Vp la tensión medida por la pinza amperimétrica. Para este cálculo se tomarán los valores descritos en la ilustración 14, y de esta manera se obtendrá el porcentaje de error en la medición de la siguiente manera:

$$e_m = \frac{28.40 - 28.82}{28.82} * 100$$

$$e_m = 1.45 \%$$

De igual manera para la corriente obtenida se tiene:

$$e_m = \frac{1.59 - 1.53}{1.53} * 100$$

$$e_m = 3.9 \%$$

De esta manera se verifica el porcentaje de error en cada una de las mediciones, y se considera un porcentaje de error bajo, con lo que la confiabilidad de las mediciones del dispositivo serán seguras.

Ilustración 41. Mediciones tomadas desde el inversor.



Tomado de: autoría propia

3.2 Análisis de los datos obtenidos

para la prueba el dispositivo se deja conectado por un día completo, donde se obtendrá la captura de los datos con un intervalo alrededor de un 1 minuto, se considera este intervalo con respecto a que el dispositivo actuará en periodos largos y la cantidad de datos recopilados no serán tan exageradamente grandes para realizar el análisis, ya que el objetivo es facilitar el manejo de estos datos; además durante un minuto los parámetros no presentan cambios bruscos en su comportamiento. Estos datos obtenidos se guardarán en la tarjeta sd extraíble, esto nos permitirá insertarla en el computador y obtener el archivo txt como el que se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Registro de datos obtenidos en las pruebas.

DATOS_24: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

***** REGISTRO DATOS PANELES SOLARES *****

Fecha	Hora	Indice UV	Temperatura	Humedad	Tensión	Corriente	Potencia
10/12/2022	13:4	2	23.80	7.00	34.73	0.65	0.00
10/12/2022	13:4	2	23.80	7.00	33.83	0.41	22.56
10/12/2022	13:5	2	23.80	7.00	29.98	2.01	13.80
10/12/2022	13:6	2	23.70	7.00	28.31	2.22	60.12
10/12/2022	13:6	2	23.80	7.00	29.19	2.17	62.91
10/12/2022	13:7	2	23.90	7.00	27.83	2.37	63.45
10/12/2022	13:7	2	24.20	7.00	30.15	2.17	66.02
10/12/2022	13:8	2	24.40	7.00	28.14	2.41	65.34
10/12/2022	13:9	2	24.40	7.00	28.99	2.38	67.80
10/12/2022	13:9	2	24.30	7.00	29.57	2.35	69.14
10/12/2022	13:10	2	24.40	7.00	29.51	2.51	69.40
10/12/2022	13:10	2	24.50	7.00	28.66	2.71	73.95
10/12/2022	13:11	2	24.80	7.00	29.52	2.68	77.70
10/12/2022	13:11	2	24.90	7.00	28.46	2.91	79.06
10/12/2022	13:12	2	24.90	7.00	28.96	2.74	82.81
10/12/2022	13:13	2	24.90	7.00	29.21	2.65	79.47
10/12/2022	13:13	2	24.70	7.00	30.22	2.47	77.33
10/12/2022	13:14	2	24.80	7.00	29.37	2.69	74.59
10/12/2022	13:14	2	25.00	7.00	29.22	2.69	79.02
10/12/2022	13:15	2	25.20	7.00	29.87	2.57	78.68
10/12/2022	13:16	2	25.30	7.00	29.94	2.64	76.63
10/12/2022	13:16	2	25.40	7.00	30.43	3.16	78.90
10/12/2022	13:17	2	25.30	7.00	29.79	2.33	96.12
10/12/2022	13:17	2	25.50	6.00	28.63	2.05	69.54
10/12/2022	13:18	1	25.30	7.00	29.18	1.79	58.64
10/12/2022	13:19	1	24.90	7.00	28.57	1.77	52.25
10/12/2022	13:19	1	24.90	7.00	30.51	1.43	50.47
10/12/2022	13:20	1	24.60	7.00	28.77	1.67	43.63
10/12/2022	13:20	1	24.40	7.00	28.69	1.68	47.94

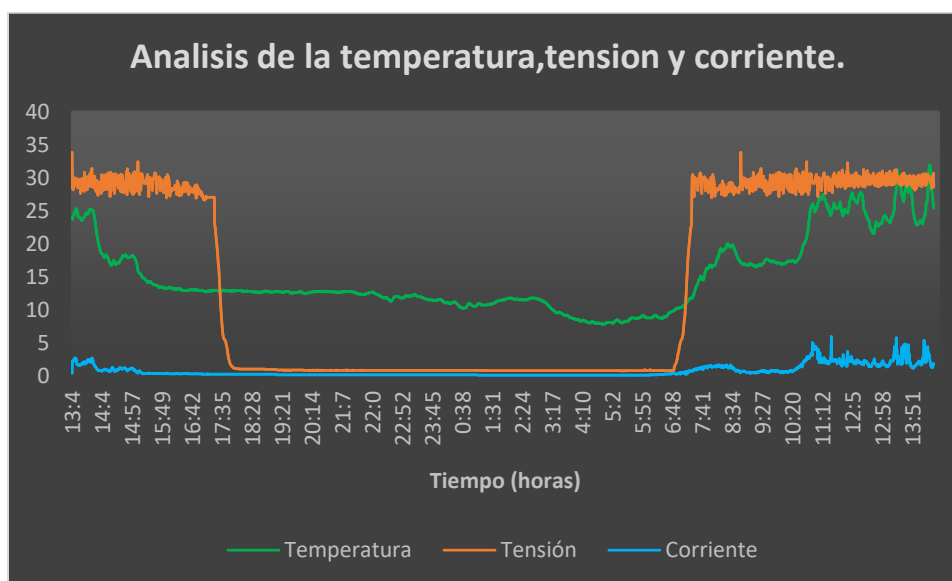
Teniendo el archivo de texto pasamos a la herramienta de Excel con la que podemos importar estos datos y convertirlos a archivos .csv para poder tener los datos como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Datos registrados en Excel.

***** REGISTRO DATOS PANELES SOLARES *****							
Fecha	Hora	Indice UV	Temperatura	Humedad	Tensión	Corriente	Potencia
10/12/2022	13:4	2	23,8	7	33,83	0,41	13,87
10/12/2022	13:5	2	23,8	7	29,98	2,01	60,26
10/12/2022	13:6	2	23,7	7	28,31	2,22	62,85
10/12/2022	13:7	2	24,2	7	30,15	2,17	65,43
10/12/2022	13:8	2	24,4	7	28,14	2,41	67,82
10/12/2022	13:9	2	24,4	7	28,99	2,38	69,00
10/12/2022	13:10	2	24,4	7	29,51	2,51	74,07
10/12/2022	13:11	2	24,8	7	29,52	2,68	79,11
10/12/2022	13:12	2	24,9	7	28,96	2,74	79,35
10/12/2022	13:13	2	24,9	7	29,21	2,65	77,41
10/12/2022	13:14	2	24,8	7	29,37	2,69	79,01
10/12/2022	13:15	2	25,2	7	29,87	2,57	76,77
10/12/2022	13:16	2	25,3	7	29,94	2,64	79,04
10/12/2022	13:17	2	25,3	7	29,79	2,33	69,41
10/12/2022	13:18	1	25,3	7	29,18	1,79	52,23
10/12/2022	13:19	1	24,9	7	28,57	1,77	50,57
10/12/2022	13:20	1	24,6	7	28,77	1,67	48,05
10/12/2022	13:21	2	24,2	7	28,43	1,74	49,47

Al tener los datos en la herramienta Excel, esta nos permite realizar los gráficos con los que se pueden observar cómo se comportan los parámetros medidos por el dispositivo, como se muestra en la ilustración 42. Donde se analizará las medidas obtenidas de temperatura, tensión y corriente.

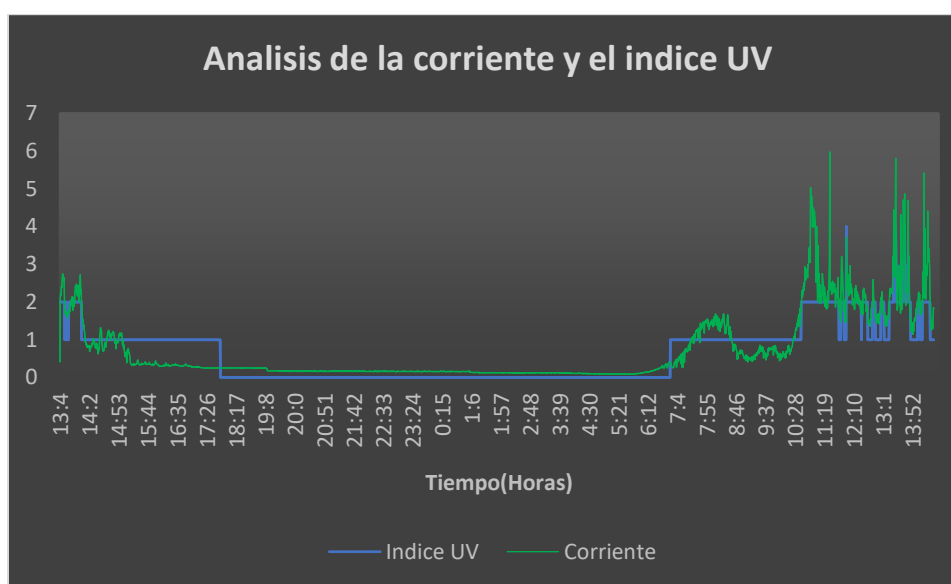
Ilustración 42. Análisis de la corriente y tensión con respecto a la temperatura.



Tomado de: autoría propia

Los valores medidos por el dispositivo como lo observamos en la ilustración 42, tienen un comportamiento normal ya que por la temperatura se establece que durante la prueba las condiciones del día fueron con frío y nubosidad ya que la temperatura de operación más alta se encuentra cerca de los 35 °C, por otro lado la tensión se mantiene en un rango de 28 V hasta un máximo de 35 V, para las horas de la noche se evidencia que la tensión cae a los valores más mínimos debido a la ausencia de luz y para el caso de la corriente se presenta lo mismo debido a la poca radiación adquirida por el panel donde el valor máximo obtenido es de 5 A, valor muy por debajo de la I_{mp} del panel.

Ilustración 43. Análisis de la corriente con a la incidencia de radiación en el panel.

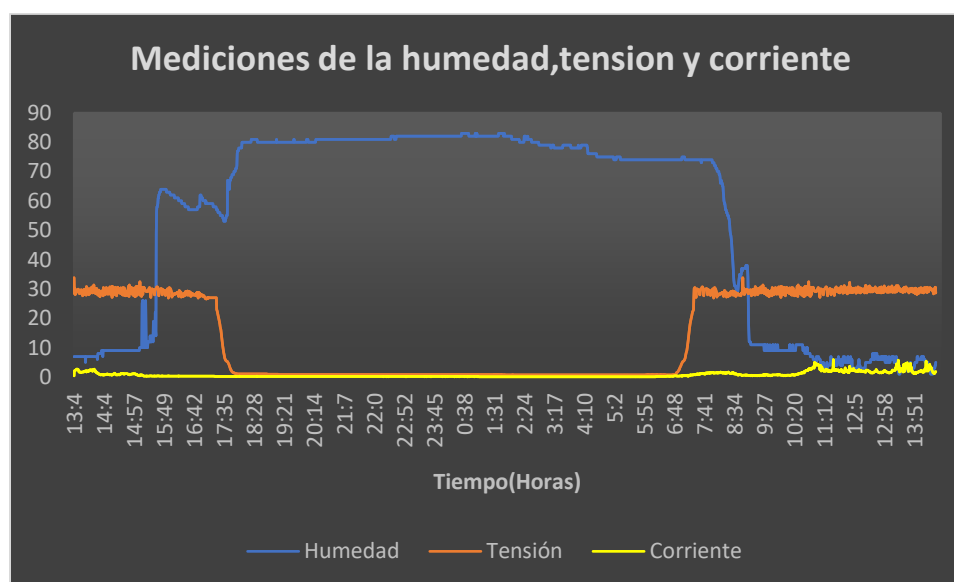


Tomado de: autoría propia

Para la ilustración 43, tenemos de qué manera influye la cantidad de radiación que incide sobre el panel, por una parte, el voltaje no presenta cambios abruptos ya que el siempre mantendrá su voltaje prácticamente en el mismo rango así la radiación baje a valores muy pequeños, ya que solo la tensión bajara a valores muy pequeños cuando se presente ausencia total de la luz solar como lo es en las noches. Por otra parte, al incidir más radiación hará que se presente una mayor circulación de corriente

generada por el panel como se muestra la línea verde, cuando se presentan los picos de máxima radiación proporcionalmente se presentan los mayores picos de corriente.

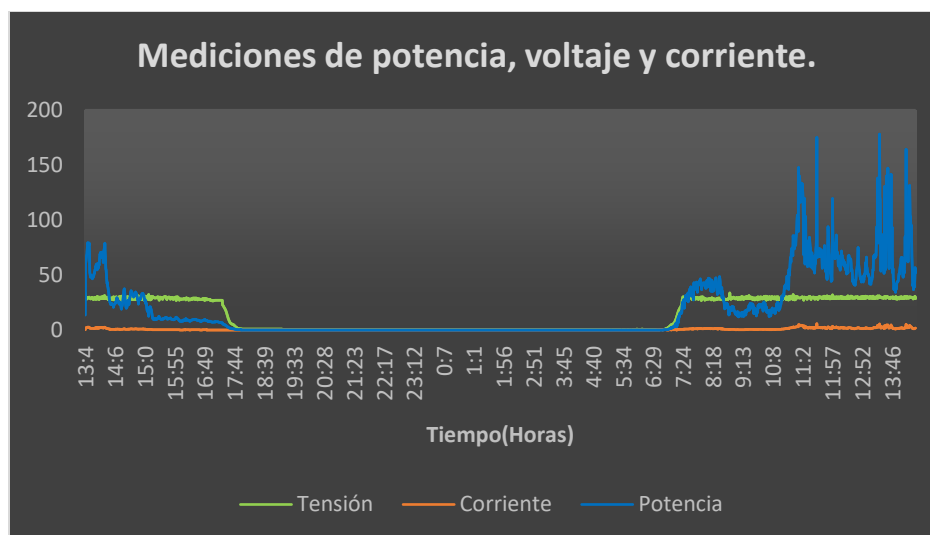
Ilustración 44. Análisis del voltaje y la corriente con respecto a la humedad.



Tomado de: autoría propia

En la ilustración 41 se determina el comportamiento de la humedad del lugar, obviamente esto depende de la temperatura, debido al presentar una gran humedad en el lugar es porque las temporadas de lluvia y nubosidad predominan en esta zona para estas fechas. Bajo estas condiciones es difícil que la corriente en el panel se mantenga en valores medios o máximos.

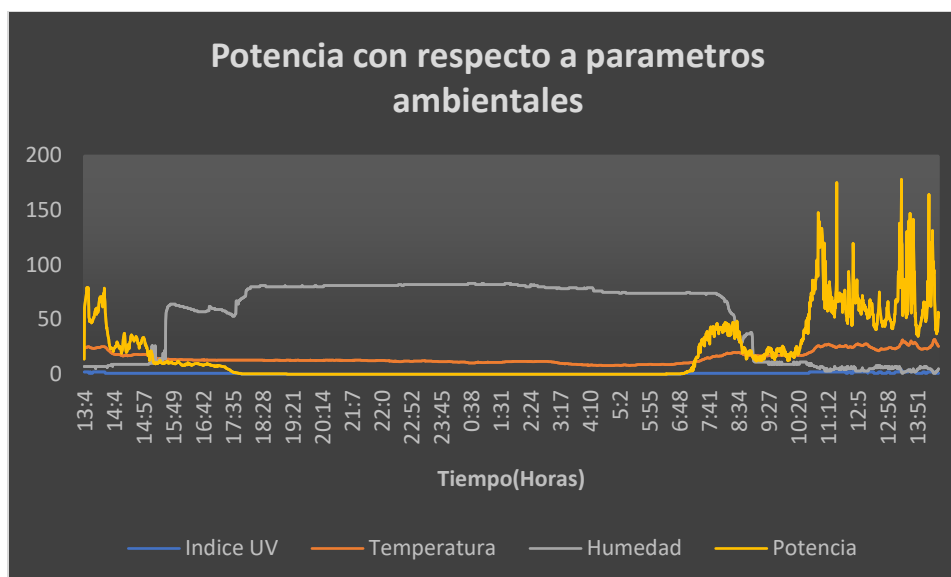
Ilustración 45. Análisis de la potencia generada con respecto al voltaje y la corriente.



Tomado de: autoría propia

En la ilustración 45, se presenta el comportamiento conjunto de la tensión, corriente y potencia, con la relación directa que existe entre estos tres parámetros. con la tensión variando en pequeñas proporciones, la producción de la potencia generada es directamente proporcional a la corriente producida por el panel solar. Para esta prueba la mayor generación de potencia se evidencia en las horas de la mañana, pero debido a la nubosidad del lugar no se mantiene en valores mayores a los 100 W por tiempos considerables.

Ilustración 46. Analisis de la potencia generada con respecto a los parametros ambientales del lugar.



Tomado de: autoría propia

En la ilustración 46, observamos la generación de potencia bajo los distintos parámetros ambientales, la temperatura al estar cerca de los valores de 25 °C donde es un valor estándar para la producción de potencia no tendrá una gran relevancia, la humedad nos determina que es un día con bastante nubosidad y por otra parte la radiación es la que hará una relación directa con la potencia, como se evidencia en las horas de la mañana donde se mantiene una mejor radiación es donde se presenta la mejor generación de potencia del panel.

3.3 Impactos del proyecto.

Para la parte económica este dispositivo de medida de bajo costo puede ser una oportunidad de ofrecer un producto útil para aquellas empresas que necesitan llevar a cabo grandes proyectos de energía solar fotovoltaica y que les proporcionaría la información necesaria de lograr un mejor dimensionamiento y planeación de estos proyectos.

En la parte ambiental es un gran aporte, al poder contribuir en el mejoramiento e implementación de las energías limpias, estamos cumpliendo con la labor de pensar en un futuro más amigable con el medio ambiente.

Desde el punto de vista empresarial este dispositivo podría ayudar a mejorar la rapidez de ejecución que requieren estos proyectos con instalación de sistemas fotovoltaicos, también les proporcionaría una reducción en la parte económica ya que al agilizar los procesos esto lo que reduce al final son los todos los tipos de gastos que se generan.

Capitulo IV – Recomendaciones

4.1 Para El Programa De Ingeniería Eléctrica

Tener una mejor profundización en el área de las energías renovables, debido a que son el futuro de la producción de energía eléctrica en el mundo. Estudiar mas a fondo su construcción, implementación y eficiencia de estos sistemas; es de vital importancia que los estudiantes interactúen con estos sistemas, conozcan y generen ideas con las cuales se pueda mejorar la producción de energía eléctrica a partir de este tipo de energías renovables.

Conocer la normativa es una parte esencial de la formación como ingenieros, debido a que cada instalación eléctrica con lleva una respectiva normativa y señalización de riesgo determinada. Es necesario profundizar de manera más exhaustiva sobre las normas que rigen las instalaciones en Colombia. ya que es esencial que los estudiantes las conozcan, debido a que van a estar presentes en cada trabajo que realicen y con esto lo este de una mejor manera y con la seguridad de cumplir con todo lo estipulado.

4.1 Para Futuros Practicantes

Para todos aquellos colegas que vienen a apoyar en todos los procesos de la ingeniería eléctrica, es importante que se apropien de la importancia y responsabilidad que tenemos con la sociedad. debido que somos los encargados de mantener la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica en el país. Incursionar con proyectos o ideas que puedan impulsar nuevos procesos de generación de energía eléctrica a partir de energías limpias y de esta manera ayudar con la gran problemática de estos tiempos que es cuidar nuestro medio ambiente no solo para nosotros, sino para las futuras generaciones.

Referencias

- Castro, A. J. (2010). *ANÁLISIS DEL POTENCIAL ENERGÉTICO SOLAR EN LA REGIÓN CARIBE PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO*. Barranquilla, Colombia: Revista Inge -CUC / Vol. 6 - No. 6.
- Cepeda, J. (2017). *Aspectos que afectan la eficiencia en los paneles*. Bogotá, Colombia : Facultad de Ingeniería Mecánica.
- electronic, M. (s.f.). *arduino.cl*. Obtenido de arduino.cl: <https://arduino.cl/producto/arduino-mega-2560/>
- ENKA. (2014). *ENKA LIDER EN ELECTRONICA*. Obtenido de Módulo interfaz serial I2C: <https://www.enka.com.uy/robotica/modulos-comunicacion/m%C3%B3dulo-interfaz-serail-i2c-detail.html>
- García, Y. K. (2021). *ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE GENERACIÓN DE ENERGÍA SOLAR EN EL NORTE DEL CARIBE COLOMBIANO*. Barranquilla, Colombia: Universidad del Norte Área de Ciencias Básicas, Departamento de Física y Geociencias.
- herrero, i. b. (s.f.). *IBEROBOTICS*. Obtenido de Pantalla LCD 20x4 con comunicaciones I2C y serie: <https://www.iberobotics.com/producto/pantalla-lcd-20x4-con-comunicaciones-i2c-y-serie/>
- ILUMIN. (2022). *ILUMIN CAPACITA*. Obtenido de Cómo Calcular la Temperatura de Operación del Módulo Fotovoltaico: <https://ilumin.online/como-calcular-la-temperatura-de-operacion-del-modulo-fotovoltaico/>
- INGELIBRE. (2015). *INGELIBRE PARA INGENIEROS*. Obtenido de POTENCIA DE UN MODULO FOTOVOLTAICO A DIFERENTES TEMPERATURAS: <https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/11/09/influencia-de-la-irradiacion-y-temperatura-sobre-una-placa-fotovoltaica/>
- massimi, m. (s.f.). *murky robot*. Obtenido de MÓDULO DE TARJETA SD: CÓMO USAR ESTE MODULO CON ARDUINO: <https://www.murkyrobot.com/guias/otros/modulo-de-tarjeta-sd>
- Murcia, H. R. (2019). *Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas*. bogota, colombia: Revista de Ingeniería.
- Osorio, G. R. (2021). *SITUACIÓN ACTUAL DE LA INDUSTRIA DE LA ENERGÍA*. Medellín, Antioquia: Tecnológico de Antioquia Institución Universitaria.
- Proyecto EnDev/GIZ. (marzo del 2013). *INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS*. Lima, Peru: Cooperación Alemana al Desarrollo - GIZ.
- servotronic S.A.S. (s.f.). *SENSOR GUVAS12SD UV (LUZ ULTRAVIOLETA)*. Obtenido de servotronic: <https://www.servotronic.com.co/index.php/producto/sensor-guva-s12sd-uv-luz-ultravioleta/#>
- SUNFIELDS. (2015). *SUNFIELDS*. Obtenido de Tipos de radiación en energía solar: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/>

- SUNFIELDS. (2015). *SUNFIELDS*. Obtenido de Mapa Solar España horas sol pico: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/>
- SUNFIELDS. (2015). *SUNFIELDS EUROPE*. Obtenido de Geometria solar para cálculo paneles solares: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/>
- SUNFIELDS EUROPE. (2015). Obtenido de <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/>
- SUNFIELDS EUROPE. (2015). *Energía Solar: Variación de la Radiación atmosférica solar mensual*. Obtenido de Energía Solar: Variación de la Radiación atmosférica solar mensual: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/>
- SUNFIELDS EUROPE. (2015). *Representación de la distancia entre el sol y la tierra a lo largo del año*. Obtenido de Representación de la distancia entre el sol y la tierra a lo largo del año: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/>
- TECNOPURA S.A.S. (s.f.). *TECNOPURA*. Obtenido de Módulo RTC DS3231 interface I2C / Reloj en tiempo real compatible Arduino: <https://www.tecnopura.com/producto/modulo-rtc-ds3231-interface-i2c-reloj-en-tiempo-real-compatible-arduino/>
- Terrón, S. R. (2018). *FABRICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE CELDAS*. Sevilla: Universidad de Sevilla .
- TRITEC. (2020). *TRITEC INTERVENTO*. Obtenido de EFECTOS DE IRRADIANCIA EN UN PANEL: <https://tritec-intervento.cl/comportamiento-electrico-de-un-panel-fotovoltaico/>
- vistronica S.A.S. (s.f.). *MÓDULO SENSOR DE CORRIENTE ACS712 DE 20A*. Obtenido de vistronica tienda virtual de electronica: <https://www.vistronica.com/sensores/modulo-sensor-de-corriente-ac712-de-20a-detail.html>
- vistronica S.A.S. (s.f.). *MÓDULO SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD DHT11*. Obtenido de VISTRONICA TIENDA VIRTUAL DE ELECTRONICA: <https://www.vistronica.com/sensores/modulo-sensor-de-temperatura-y-humedad-dht11-detail.html>
- Vistronica S.A.S. (s.f.). *VISTRONICA TIENDA VIRTUAL DE ELECTRONICA*. Obtenido de TECLADO MATRICIAL 3X4 TIPO MEMBRANA: <https://www.vistronica.com/conectores-cables-y-switches/teclado-matricial-3x4-tipo-membrana-detail.html#:~:text=Teclado%20Matricial%203x4%20de%20membrana,pr%C3%A1cticas%2C%20bien%20sea%20en%20protoboard%2C>