

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

*Trabajo de titulación previo a
la obtención del título de
Ingeniero Eléctrico*

PROYECTO TÉCNICO CON ENFOQUE INVESTIGATIVO:

**“ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA
MEDIANTE EL USO DE ESPEJOS EN CONFIGURACIÓN DINÁMICA”**

AUTORES:

JAIME ANDRES SANCHO TADAY
PAULO CESAR TOALONGO PAIDA

TUTORA:

ING. NATALIA XIMENA GONZÁLEZ ALVAREZ

CUENCA - ECUADOR

2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Jaime Andres Sancho Taday con documento de identificación N° 0106481104 y Paulo Cesar Toalongo Paidá con documento de identificación N° 0302401344, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA MEDIANTE EL USO DE ESPEJOS EN CONFIGURACIÓN DINÁMICA”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Eléctrico*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, marzo del 2021



Jaime Andres Sancho Taday
C.I. 0106481104



Paulo Cesar Toalongo Paidá
C.I. 0302401344

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA MEDIANTE EL USO DE ESPEJOS EN CONFIGURACIÓN DINÁMICA”**, realizado por Jaime Andres Sancho Taday y Paulo Cesar Toalongo Paidá, obteniendo el *Proyecto Técnico con enfoque investigativo*, que cumple con todos los requerimientos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, marzo del 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Natalia', is written over a horizontal line. The signature is enclosed within a large, loopy oval shape.

Ing. Natalia González A.

C.I. 1205860974

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Jaime Andres Sancho Taday con documento de identificación N° 0106481104 y Paulo Cesar Toalongo Paida con documento de identificación N° 0302401344, autores del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA MEDIANTE EL USO DE ESPEJOS EN CONFIGURACIÓN DINÁMICA”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico con enfoque investigativo*, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoria.

Cuenca, marzo del 2021



Jaime Andres Sancho Taday

C.I. 0106481104



Paulo Cesar Toalongo Paida

C.I. 0302401344

DEDICATORIA

Dedico este proyecto:

A Dios

Por darme sabiduría y fortaleza para poder cumplir mis sueños y metas que me he propuesto, por sostenerme cada momento que sentía desfallecer.

A Madre Olga Paida por siempre estar ahí apoyándome de manera incondicional por enseñarme a luchar por mis sueños y sobre todo corregirme con amor cuando me equivoco por ser ese pilar fundamental en mi vida y a mis hermanos Tania, Juan, Jenny, Carlos por darme su apoyo en cada momento y motivarme a cada día dar lo mejor de mí.

A mis tíos Julio, Nelson, Santiago por el apoyo incondicional en todo momento y ayudarme a cumplir este sueño infinitas gracias.

Paulo Cesar Toalongo Paida.

DEDICATORIA

A mis padres Rosa Taday y José Sancho por enseñarme lo valioso que es la vida y que hay que superar cualquier problema apoyándonos uno al otro como una familia unida.

A mi hermano Patricio por apoyarme incondicionalmente y a mis hermanas Gabriela y Michelle por alegrarme los días y ser una fuente de inspiración y superación.

A Dios por permitirme existir y a toda mi familia que confió y me ayudo.

Jaime Andrés Sancho Taday.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por llenarnos de sabiduría en todo este lapso de vida estudiantil por llenarnos de bendiciones cada día.

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana por habernos formado como profesionales, enseñándonos el camino correcto del respeto y el amor a nuestra profesión, y a cada uno de los docentes por habernos impartido sus conocimientos día a día motivándonos a ser unos profesionales de calidad.

A nuestra tutora Ing. Natalia González por su motivación y enseñanzas impartidas con nosotros, por el tiempo dedicado durante todo el lapso para llevar acabo este proyecto, por siempre querer la excelencia que Dios le bendiga inmensamente por ser excelente persona.

A todos nuestros familiares, amigos por estar presente en todo momento y por las palabras de motivación infinitas gracias.

Paulo Cesar Toalongo Paida, Jaime Andrés Sancho Taday.

INDICE GENERAL

ABSTRACT	14
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	15
1.1 ENERGÍA SOLAR	15
1.2 RADIACIÓN SOLAR.....	15
1.2.1 Radiación directa.....	15
1.2.2 Radiación difusa	16
1.2.3 Radiación reflejada.....	16
1.3 MAGNITUDES Y UNIDADES	16
1.3.1 Irradiancia.....	16
1.3.2 Irradiación.....	16
1.3.3 Declinación Solar	17
1.5 PANEL SOLAR	19
1.5.1 Tipos de paneles	19
1.5.2 Elementos principales del módulo fotovoltaico	20
1.5.3 Principios de la célula fotovoltaica	20
1.5.4 Características de los paneles solares.....	21
1.6 GENERADOR FOTOVOLTAICO	22
1.7 SEGUIMIENTO SOLAR	23
1.7.1 Seguidor de un solo eje.....	23
1.7.2 Seguidor de dos ejes	24
1.8 ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN DE LOS PANELES	25
1.8.1 Ángulo de declinación	25
1.8.2 Ángulo de la hora solar	25
1.8.3 Ángulo cenital solar.....	26
1.8.4 Ángulo de elevación solar.....	26
1.8.5 Ángulo acimutal, Ψ	27
1.8.6 Inclinación del panel, β	27
1.8.7 Ángulo de incidencia, θ	27
1.8.8 Declinación.....	28
1.9 LATITUD.....	29
CAPITULO II.....	30
2.1 DISEÑO Y CÁLCULOS PARA LA INSTALACIÓN DEL PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO.	30
2.1.1 Ubicación.....	30
2.1.2 Hora solar en la ciudad de cuenca	30
2.2 INCLINACIÓN Y POSICIÓN ÓPTIMA DEL PANEL SOLAR EN CUENCA.....	31
2.3 MATERIALES PARA LA IMPLEMENTACIÓN	31
2.4 CARACTERISTICAS DEL PANEL SOLAR	31

2.4.1 Características físicas del panel solar fotovoltaico.....	31
2.4.2 Características eléctricas del panel solar fotovoltaico.....	32
2.4.3 Curva característica de I-V del panel fotovoltaico.....	33
2.5 DESCRIPCIÓN DEL MOTOR EMPLEADO PARA EL PROYECTO.....	33
2.5.1 Características del motor Nema23.....	34
2.6 ARDUINO MEGA 2560.....	34
2.6.1 Características del Arduino.....	35
2.7 DRIVER TB6600.....	36
2.7.1 Características del driver TB6600:.....	36
2.8 SENSOR DE CORRIENTE ACS712.....	37
2.8.1 Características del sensor de corriente ACS712.....	37
2.9 SENSOR DE TEMPERATURA.....	37
2.9.1 Características del sensor de temperatura.....	38
2.10 SENSOR MEDIDOR DE VOLTAJE FZ0430.....	39
2.10.1 Características del sensor de voltaje FZ0430.....	39
2.11 CÁLCULO DE PARÁMETROS QUE INTERVIENEN EN UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO.....	39
2.12 ESTIMACIÓN DE LOS ÁNGULOS DE POSICIONAMIENTO HORARIA DE LOS ESPEJOS.....	42
2.13 DISEÑO DEL PROGRAMA PARA EL MOVIMIENTO DE LOS ESPEJOS Y RECOLECCIÓN DE DATOS.....	46
2.14 ESQUEMAS DE CONEXIÓN DE LOS DISPOSITIVOS.....	47
2.15 CONSTRUCCIÓN MECÁNICA Y ENSAMBLAJE DE DISPOSITIVOS PARA EL PROTOTIPO.....	50
CAPITULO III.....	53
3.1 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS.....	53
3.2 COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA OBTENIDA DE LOS SISTEMAS CON Y SIN ESPEJOS.	58
3.3 ANÁLISIS DIARIO DEL SISTEMA CON Y SIN ESPEJOS.....	59
3.3.1 Energía vs Tiempo.....	59
3.3.2 Potencia vs Tiempo.....	60
3.3.3 Temperatura vs Tiempo.....	61
3.3.4 Voltaje vs Tiempo.....	62
3.3.5 Corriente vs Tiempo.....	63
3.4 ANÁLISIS MENSUAL DEL SISTEMA CON ESPEJOS.....	64
3.4.1 Energía vs Tiempo.....	64
3.4.2 Potencia vs Tiempo.....	65
3.4.3 Temperatura vs Tiempo.....	66
3.4.4 Voltaje vs Tiempo.....	67
3.4.5 Corriente vs Tiempo.....	68
3.5 ANÁLISIS MENSUAL DEL SISTEMA SIN ESPEJOS.....	69
3.6.1 Energía vs Tiempo.....	69
3.6.2 Potencia vs Tiempo.....	70
3.6.3 Temperatura vs Tiempo.....	71
3.6.4 Voltaje vs Tiempo.....	72
3.6.5 Corriente vs Tiempo.....	73

3.7 COMPARACIÓN MENSUAL DE LOS DOS SISTEMAS.....	75
3.6 CONSUMO DE LOS MOTORES.....	80
CAPITULO IV.....	81
4.1 ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO DEL SISTEMA DINÁMICO DE ESPEJOS PROPUESTO.	81
4.1.1 <i>Inversión inicial del proyecto.</i>	81
4.2 ESTUDIO ECONÓMICO DEL PROYECTO.	82
4.3 RETORNO DE LA INVERSIÓN DE LOS DOS SISTEMAS.	82
4.4 POSIBLES ESCENARIOS MÁS RENTABLES.....	84
4.4.1 <i>Retorno de la inversión sin considerar el consumo de energía del sistema.</i>	84
4.4.2 <i>Retorno de la inversión considerando solo consumo de energía del movimiento del motor.</i>	85
4.5 VAN Y TIR DEL PROYECTO.	85
5. CONCLUSIONES	88
6. RECOMENDACIONES.....	89
7. BIBLIOGRAFÍA	90
ANEXOS	92

INDICE DE FIGURAS

Ilustración 1:Tipos de Radiación	16
Ilustración 2:Movimiento del Sol en distintas épocas [7].	17
Ilustración 3:Rotación de la Tierra con respecto a la eclíptica [7].	18
Ilustración 4:Posición de la Tierra en los solsticios y equinocios[7]	18
Ilustración 5: Partes de un panel solar. [8]	20
Ilustración 6:Curva de C - V de una celda. [10]	21
Ilustración 7:Curvas según la irradiancia en una celda solar. [10]	22
Ilustración 8: Curvas de potencia. [10]	22
Ilustración 9: Generador Fotovoltaico. [19].	23
Ilustración 10: Seguidor de 1 eje [12]	24
Ilustración 11: Seguidor de dos ejes [12].	24
Ilustración 12: Seguidor de un solo eje[13].	25
Ilustración 13:Ángulo de incidencia.	28
Ilustración 14:Radiación, Geometría, Recorrido óptico, Irradiancia y HSP. [16]	29
Ilustración 15:Latitud de Ecuador.[17]	29
Ilustración 16: Ubicación de los paneles solares.[18]	30
Ilustración 17: Dimensiones del panel solar fotovoltaico. [22]	32
Ilustración 18: Curva de V-I del panel. [22]	33
Ilustración 19:Motor paso a paso nema23. [22].	34
Ilustración 20: Características del motor Nema 23. [22]	34
Ilustración 21: Arduino Mega 2560[20].	35
Ilustración 22:Controlador de motores paso a paso 3.5A (TB6600)[22].	36
Ilustración 23:Sensor de Corriente ACS712[23].	37
Ilustración 24:Sensor de temperatura[24]	38
Ilustración 25:Sensor medidor de Voltaje FZ0430[24]	39
Ilustración 26: Grafica polar de la posición del sol con sus respectivos ángulos del mes de marzo [18]. ...	41
Ilustración 27:Grafico cartesiano de la elevación y azimut del mes de marzo. [18].	42
Ilustración 28:Posiclanamiento de los espejos a considerar para las 11 a.m	43
Ilustración 29: Posiclanamiento de los espejos a considerar para las 11 a.m	43
Ilustración 30: Posicioanamiento de los espejos a considerar a las 3 p.m	45

Ilustración 31: Digrama de flujo del programa principal.....	46
Ilustración 32: Diagrama de flujo de subprocesos de los datos recolectados de los paneles.....	47
Ilustración 33: Conexión del circuito de conexión de fuerza para los motores a paso.....	48
Ilustración 34: Conexión del circuito de visualización y almacenamiento de datos.....	48
Ilustración 35: Conexión del sistema de detección y recolección de datos.....	50
Ilustración 36: Estructura para el panel con espejos dinámicos.....	51
Ilustración 37: Montaje de los paneles con y sin espejos.....	51
Ilustración 38: Prueba de los sensores de corriente y voltaje con el vatímetro.....	52
Ilustración 39: Niveles de energía vs tiempo del día 5/3/2020.....	60
Ilustración 40: Niveles de potencia vs tiempo del día 5/3/2020.....	61
Ilustración 41: Niveles de temperatura vs tiempo del día 5/3/2020.....	62
Ilustración 42: Niveles de voltaje vs tiempo del día 5/3/2020.....	63
Ilustración 43: Niveles de corriente vs tiempo del día 5/3/2020.....	64
Ilustración 44: Niveles de Potencia vs tiempo.....	66
Ilustración 45: Niveles de temperatura vs tiempo.....	67
Ilustración 46: Niveles de voltaje vs tiempo.....	68
Ilustración 47: Niveles de corriente vs tiempo.....	69
Ilustración 48: Niveles de Energía vs tiempo.....	70
Ilustración 49: Niveles de Potencia vs tiempo.....	71
Ilustración 50: Niveles de temperatura vs tiempo.....	72
Ilustración 51: Niveles de voltaje vs tiempo.....	73
Ilustración 52: Niveles de corriente vs tiempo.....	74
Ilustración 53: Niveles de Energía Marzo.....	77
Ilustración 54: Niveles de Energía Abril.....	78
Ilustración 55: Niveles de energía mayo.....	79
Ilustración 56: Niveles de energía Junio.....	80

INDICE DE TABLAS

Tabla 1:Características Eléctricas del panel.....	32
Tabla 2:Coeficientes de riesgo del panel	33
Tabla 3:Tabla de ángulos de elevación solar del mes marzo	40
Tabla 4:Datos totales a analizar para 4 meses del año 2020	53
Tabla 5:Base de datos correspondientes a día 1-03-2020 del panel 1 sometido a espejos.....	53
Tabla 6:Base de datos correspondientes a día 1-03-2020 del panel 2 sin espejos	55
Tabla 7:Resultados de datos correspondientes al día 1-03-2020 del panel 1 sometido a espejos.....	56
Tabla 8:Resultados de datos correspondientes al día 1-03-2020 del panel 2 sin espejos.	57
Tabla 9:Datos procesados durante un día 5/3/20.	58
Tabla 10: Análisis de la producción durante 1 día 5/3/2020.....	59
Tabla 11: Generación mensual del panel 1y 2	75
Tabla 12:Generación semanal del panel	76
Tabla 13: Consumo de energía de los motores del proyecto.	80
Tabla 14:Costo del sistemacon espejos.....	81
Tabla 15: Costo del sistema sin espejos.....	82
Tabla 16: Costo total del proyecto.	82
Tabla 18: Resumen de retorno de la inversión.....	84
Tabla 19:Resumen de retorno de la inversión.....	84
Tabla 20: Resumen de retorno de la inversión solo con pérdidas de moviemtos.	85
Tabla 21: Flujo de Caja del proyecto.	86
Tabla 22: VAN y TIR del proyecto.	87

RESUMEN

En el presente proyecto se realiza un análisis de la producción de energía fotovoltaica mediante el uso de espejos en configuración dinámica propuesta por los autores para mejorar la producción del panel solar mediante el uso de hojas reflectantes o espejos, los cuales serán capaces de aumentar la incidencia de los rayos solares sobre el panel ya que contarán con un mecanismo dinámico que les permitirá alinearse de acuerdo con la posición del sol dependiendo de la hora del día y se realizara un análisis y comparación del comportamiento de los paneles en cuanto a sus condiciones estándares como eficiencia, potencia y temperatura.

Cada espejo se accionará de acuerdo con la hora de manera que el panel siempre tenga la mayor incidencia de luz. Debido a que la posición del sol cambia a lo largo del día, los espejos u hojas reflectantes deben alinearse de acuerdo con la posición del sol para que las placas no causen efecto de sombreado.

ABSTRACT

In this project, an analysis of the production of photovoltaic energy is carried out through the use of mirrors in dynamic configuration proposed by the authors to improve the production of the solar panel through the use of reflective sheets or mirrors, which will be able to increase the incidence of the solar rays on the panel since they will have a dynamic mechanism that will allow them to align themselves according to the position of the sun depending on the time of day and an analysis and comparison of the behavior of the panels will be carried out in terms of their standard conditions such as efficiency, power and temperature.

Each mirror will be activated according to the time so that the panel always has the highest incidence of light. Because the position of the sun changes throughout the day, the mirrors or reflective sheets must be aligned according to the position of the sun so that the plates do not cause shading.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1 Energía solar

La energía solar es una energía renovable obtenida a partir de la radiación electromagnética del Sol se trata de una energía renovable porque se obtiene de una fuente natural e inagotable, en este caso el Sol es una fuente de energía limpia que tiene un potencial enorme, este astro proporciona energía para la conservación de la vida en el planeta. Además, es de vital importancia la luz solar ya que llega continuamente a la superficie del planeta y no contamina. Por lo tanto, es importante aprovechar la energía que llega directamente y ayuda a resolver problemas energéticos. [1], [2].

1.2 Radiación Solar

La radiación es la transmisión de energía por ondas electromagnéticas emitidas directamente desde el Sol hacia fuera en todas las direcciones. Estas ondas no requieren un medio material para propagarse, pueden atravesar el espacio interplanetario y lograr llegar a la Tierra desde el Sol. La longitud y la frecuencia de las ondas electromagnéticas son vitales para calcular su energía, su visibilidad y su poder de penetración. Todas las ondas electromagnéticas se mueven en el vacío a una velocidad de 299.792 km/s [3]. Para calcular la energía contenida se aplicará la fórmula de Planck [4].

$$E = hv \quad (1)$$

Donde

E = energía de los fotones

h = constante de Planck es $6,625 \times 10^{-34} Js$.

v = frecuencia a la que oscila los fotones o la frecuencia de las ondas de luz.

1.2.1 Radiación directa

La radiación solar directa es aquella que incide sobre cualquier superficie con un ángulo único y preciso en línea recta. [3].

1.2.2 Radiación difusa

La radiación difusa es la que proviene de diversas direcciones debido a la reflexión y difusión de la atmósfera [3].

1.2.3 Radiación reflejada

Es la unión de la radiación directa y difusa que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies próximas [4].

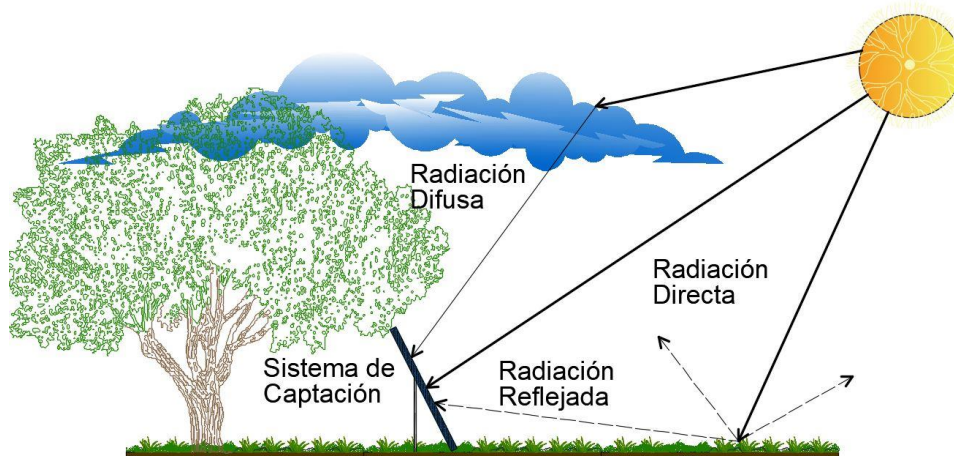


Ilustración 1: Tipos de Radiación

1.3 Magnitudes y unidades

1.3.1 Irradiancia

Es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética. Deben incluirse todas las direcciones comprendidas en el ángulo sólido hemisférico por encima o por debajo del punto en la superficie. Se mide W/m^2 [5].

1.3.2 Irradiación

Es la magnitud utilizada para describir la energía incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética. En este caso corresponde a radiación proveniente del sol, la cual se puede percibir en forma de calor o luz (visible o no visible, lo cual dependerá de cada longitud de onda en particular). Su unidad de medida en el sistema internacional es Wh/m^2 [6].

1.3.3 Declinación Solar

La tierra no se encuentra inmóvil si no que está sometida a movimientos de diversa índole, en la ilustración 2 se puede observar como el sol no se mueve igual durante todo el año, sino que dependiendo de la época el sol amanece y se pone en puntos distintos y alcanza más o menos altura. Esto se debe principalmente a la inclinación del eje de rotación terrestre. Este eje tiene una inclinación de 23.45° lo que hace que el Sol no incida de igual manera en el trayecto de la Tierra alrededor del sol.

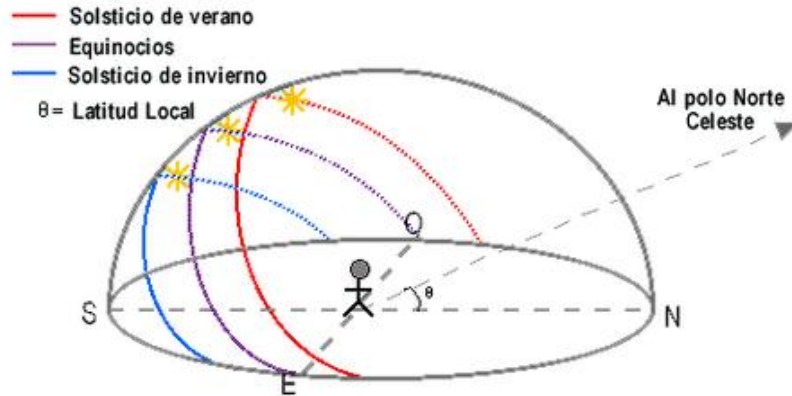


Ilustración 2: Movimiento del Sol en distintas épocas [7].

La Tierra básicamente realiza dos movimientos: de traslación alrededor del Sol y de rotación sobre su eje, que resulta que esta inclinado 23.45°

En la ilustración 2 se puede ver la Tierra, en ella se ve la inclinación de su eje de rotación con respecto a la elíptica. Como vemos la eclíptica coincide en dos puntos con el ecuador celeste, una vez en otoño y otra en primavera. Esto da lugar a los equinoccios, momento en que el Sol sale por el este y se pone por el oeste exactamente. Por otro lado, existen otros dos puntos críticos en el movimiento de traslación de la Tierra, estos son los solsticios, que coinciden con los puntos de mayor desfase entre la elíptica y el ecuador celeste.



Ilustración 3: Rotación de la Tierra con respecto a la eclíptica [7].

En la ilustración 4 se ve la posición de la Tierra durante los solsticios y equinoccios, así como la diferencia de la declinación (δ) entre los distintos puntos. El equinoccio es aquel instante en que, por hallarse el Sol sobre el Ecuador, los días y las noches son iguales en toda la Tierra; esto ocurre anualmente el 21 de marzo, equinoccio de primavera y del 22 al 23 de septiembre, equinoccio de otoño.

El solsticio es aquel instante en que el Sol se halla en uno de los trópicos. Esto sucede el 21 de junio para el Trópico de Cáncer (solsticio de verano) y el 21 de diciembre para el Trópico de Capricornio (solsticio de invierno).

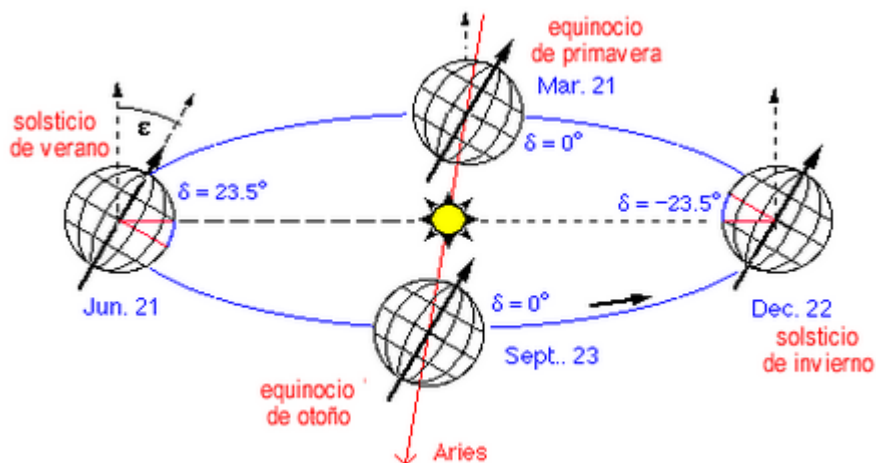


Ilustración 4: Posición de la Tierra en los solsticios y equinoccios [7]

1.5 Panel solar

Es un grupo de células fotovoltaicas conectadas entre sí ya sea en serie o en paralelo que forman el panel solar. Es necesario una conexión en serie para obtener una salida de voltaje mayor, mientras que una conexión en paralelo nos facilita una salida de corriente mayor. La mayoría de las células de polisilicona se utilizan en la fabricación de células solares, aunque se está investigando mucho en otros materiales como el Arseniuro de Galio para aumentar la eficiencia de la célula. Todos estos materiales utilizan la energía del fotón para producir un flujo de corriente con los materiales respectivos produciendo diferentes niveles de eficiencia en la conversión de energía lumínica en electricidad [7] [8].

1.5.1 Tipos de paneles

Los tipos de paneles son los siguientes:

Silicio puro monocristalino: Están basados en secciones de una barra de silicio cristalizado en una sola pieza. El rendimiento en laboratorio es de 24.7% y 16% de rendimiento en panel comercial. [9]

Silicio puro policristalino: Los materiales tienden a ser semejantes a los paneles solares de silicio puro monocristalino, aunque en esta ocasión el proceso de cristalización es diferente. Se basan en secciones de una barra de silicio que se ha estructurado de forma desordenada en forma de pequeños cristales. El rendimiento en laboratorio es de 19.8% y 14% de rendimiento en un panel comercial. [9]

Silicio amorfo: Son paneles basados en silicio, pero este material no sigue una estructura cristalina. Este tipo de paneles son empleados habitualmente para pequeños dispositivos electrónicos y en pequeños portátiles. [9]

El rendimiento en laboratorio es de 13% y 8% de rendimiento en un panel comercial.

Arseniuro de galio: Se trata de uno de los materiales más eficientes ya que tiene 25.7% de rendimiento en laboratorio y 20% de rendimiento en un panel comercial. [9]

Teluro de Cadmio: El rendimiento es de 16% en laboratorio y 8% de rendimiento en un panel comercial.

Diseleniuro de cobre de indio: Su rendimiento es 17% en laboratorio y 9% de rendimiento en un panel comercial.

Tándem: Combina dos tipos de materiales semiconductores y con esta combinación se ha llegado a un rendimiento de 35% y con unión de tres materiales podría llegarse a un rendimiento de 50%. [9]

1.5.2 Elementos principales del módulo fotovoltaico

Una celda solar típica posee una superficie de 243 centímetros cuadrados y produce aproximadamente una potencia cercana a los 4 vatios (w), con una tensión de 0,5V y una intensidad entre 7 y 8 amperios. El escaso valor de la tensión y la potencia hace necesario la conexión de varias celdas en serie formando así lo que se conoce como "panel solar o módulo solar fotovoltaico". La mayor parte de los paneles solares o módulos solares fotovoltaicos poseen entre 36 y 96 celdas conectadas en serie. Si se une en serie varias celdas solares, la tensión de cada una de estas celdas se sumarán para dar la tensión total del panel solar fotovoltaico. La intensidad será la misma que la proporcionada por una de las celdas. La potencia total del panel será la suma de las potencias de cada una de las celdas del panel.

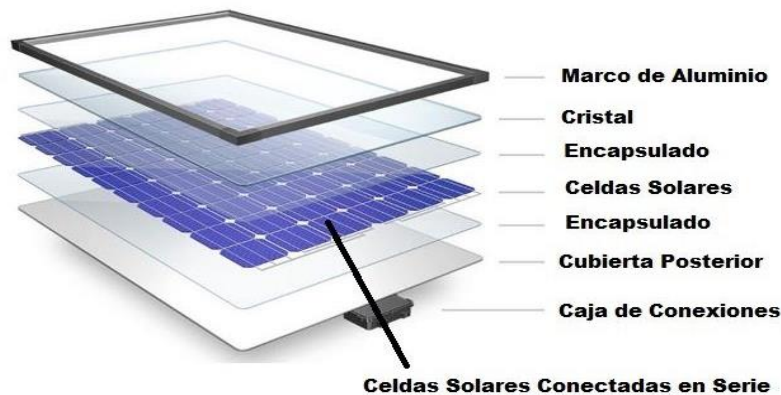


Ilustración 5: Partes de un panel solar. [8]

En la ilustración 5 podemos ver que el panel solar está compuesto de marco de aluminio, cristal, encapsulado, celdas solares, cubierta posterior y caja de conexiones.

1.5.3 Principios de la célula fotovoltaica

Cuando un fotón cuya energía es mayor que el intervalo de banda del silicio golpea una célula de silicio, el electrón en la banda de valencia de silicio se excita a la banda de conducción. Como resultado de esto se tiene la creación de pares de agujeros-electrones y este efecto se propaga a través de la estructura del silicio. Esto resulta en la generación de una diferencia de potencial y un flujo de electrones que producen corriente. Este es el principio del efecto fotovoltaico [7].

1.5.4 Características de los paneles solares.

1.5.4.1 Curva I-V de una Celda Solar

La curva I-V de una célula fotovoltaica representa pares de valores de tensión e intensidad de corriente en los que puede encontrar funcionando la misma y representa el comportamiento típico en la salida de un dispositivo fotovoltaico (célula, módulo, panel o sistema).

La curva puede ser tanto de una sola célula, como la curva de una placa solar entera o sistema.

La corriente y la tensión de trabajo de un dispositivo fotovoltaico dependen de:

- Radiación solar incidente: Se mide con una unidad llamada irradiancia que viene en W/m^2 . Es la energía de la luz solar.
- Temperatura ambiente.

En la curva característica de una célula o un panel fotovoltaico, para una irradiancia y una temperatura dada, normalmente $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ y $25 \text{ }^\circ\text{C}$, se definen los siguientes parámetros:

- Intensidad de cortocircuito = I_{cc} (tensión cero).
- Tensión de circuito abierto = V_{ca} (intensidad cero).
- Intensidad en el punto de máxima potencia. I_{pm} o I_{mpp} .
- Tensión en el punto de máxima potencia. V_{pm} o V_{mpp} .
- Punto de máxima potencia. $W_p = I_{pm} \times V_{pm}$.

En la ilustración 6 se muestra una curva I – V para una irradiancia y temperatura determinada.

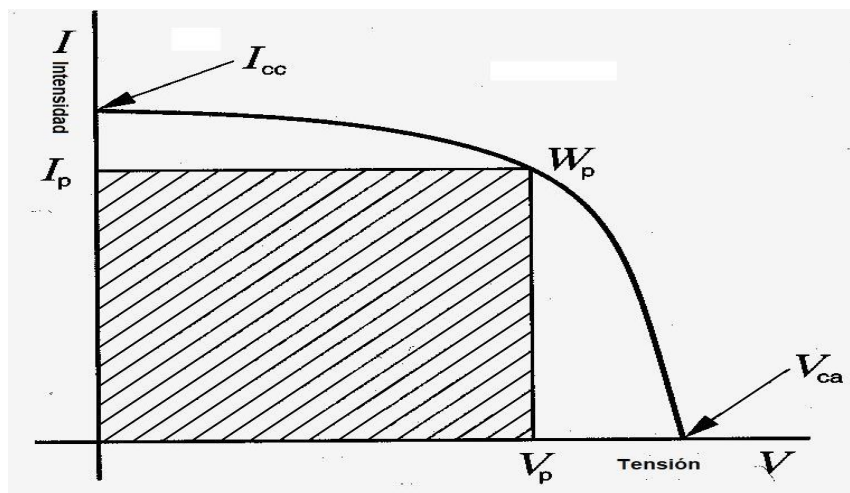


Ilustración 6: Curva de C - V de una celda. [10]

En la ilustración 7 se puede ver, las diferentes curvas según la irradiancia en una celda solar.

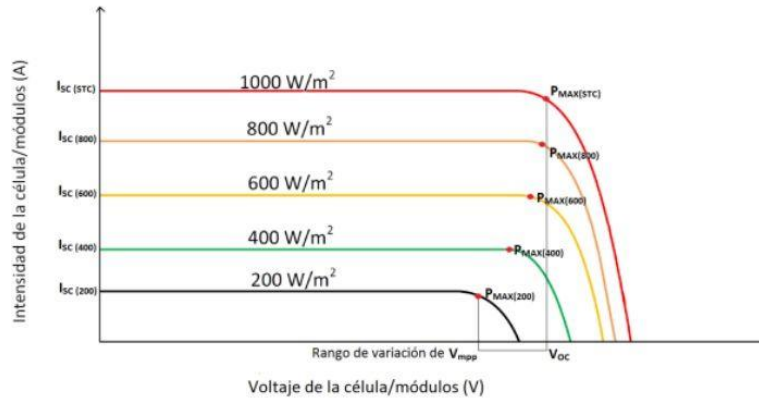


Ilustración 7: Curvas según la irradiancia en una celda solar. [10]

Como la potencia es la tensión por la corriente o intensidad, se puede incluir en la ilustración 8 una curva de las potencias.

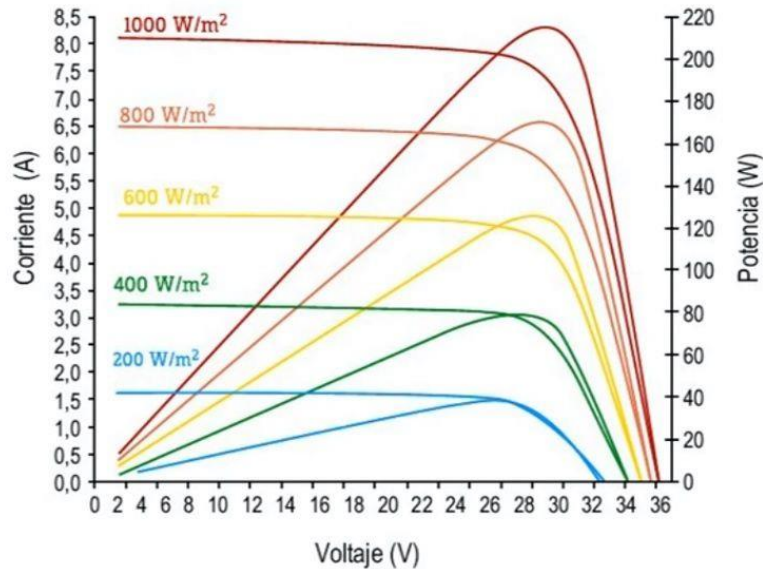


Ilustración 8: Curvas de potencia. [10]

1.6 Generador Fotovoltaico

Es una célula con dos zonas diferenciadas:

Zona P. Las impurezas de boro de silicio generan la zona P, que es positiva por tener un electrón menos que el silicio.

Zona N. Las impurezas de fósforo en el silicio generan la zona P, que es negativa por tener un electrón más que el silicio.

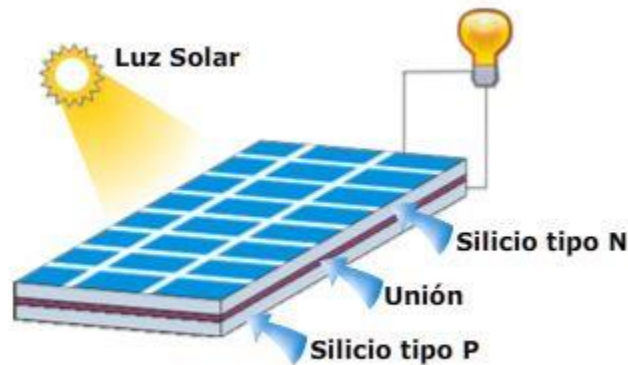


Ilustración 9: Generador Fotovoltaico. [19]

1.7 Seguimiento solar

La generación de energía que utiliza la fuente solar varía de la mañana a la noche, según el ángulo en el que la luz del sol incida en el panel. En la mayoría de los casos, se aprovecha más la potencia durante las horas del mediodía cuando el sol está perpendicular al panel.

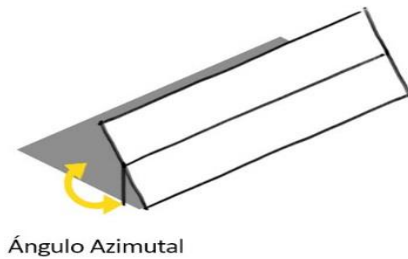
El sistema de seguimiento solar se utiliza para rastrear la dirección de la luz solar en distintas horas del día. Pero esto no se limita al panel solar solo, ya que incluso los reflectores o lentes también pueden hacer lo mismo para aumentar la irradiancia en la superficie del panel [7].

Los seguidores solares se dividen en dos tipos:

1.7.1 Seguidor de un solo eje

La rotación de la superficie de captación se hace sobre un solo eje, este puede ser horizontal, vertical u oblicuo. Este tipo de seguimiento representa un mínimo grado de complejidad y su costo es menor en comparación con otros tipos de seguidores. La limitación de este tipo de seguidor consiste en que no puede realizar un seguimiento completo del sol [10].

Seguidor de 1 Eje



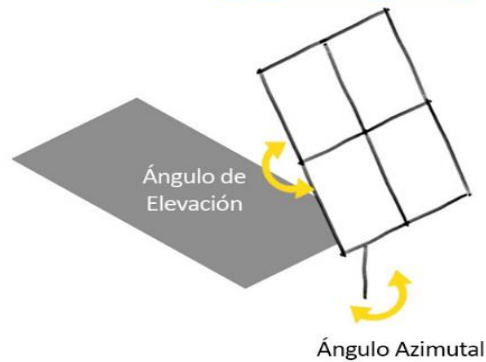
Ángulo Azimutal

Ilustración 10: Seguidor de 1 eje [12]

1.7.2 Seguidor de dos ejes

Este tipo de seguidor cuenta con dos grados de libertad y está en capacidad de realizar un seguimiento total del sol, tanto en inclinación como en azimut, aunque el rendimiento de la instalación puede ser superior en comparación con los de un solo eje, es importante mencionar que el de dos ejes resulta ser más costoso[10].

Seguidor de 2 Ejes



Ángulo de Elevación

Ángulo Azimutal

Ilustración 11: Seguidor de dos ejes [12].

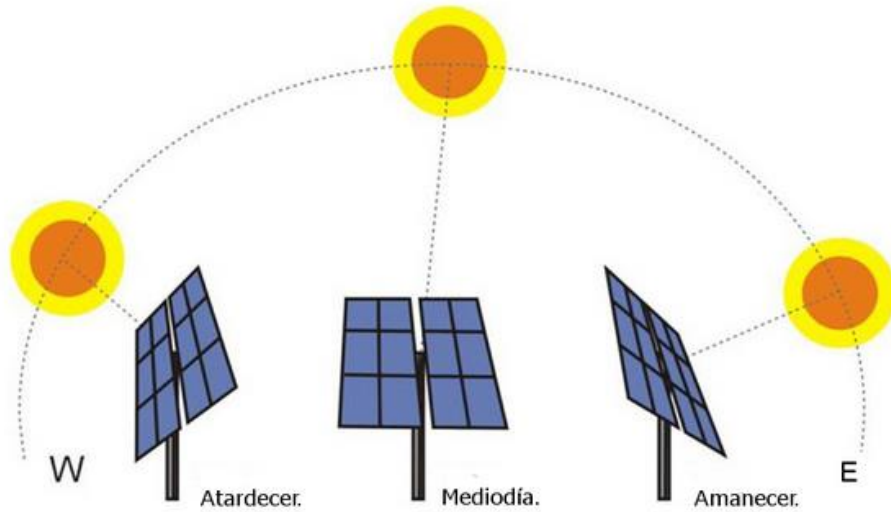


Ilustración 12: Seguidor de un solo eje[13].

1.8 Orientación e inclinación de los paneles

Es importante determinar los ángulos formados entre la luz del sol y la superficie afectada de la Tierra, causados por la geometría de la órbita del sol [11].

Los ángulos que se deben tener en cuenta son los siguientes:

1.8.1 Ángulo de declinación

Es el ángulo formado por el plano ecuatorial y la línea que une el centro del sol con el centro de la Tierra y se puede calcular de forma aproximada con la ecuación [2].

$$\delta = 23.45 * \text{sen} \left(360 * \left(\frac{284 + d}{365} \right) \right) \quad (2)$$

δ : declinación, en grados sexagesimales.

d : día del año juliano.

1.8.2 Ángulo de la hora solar

Es un arco de Ecuador contado desde el punto de intersección del Ecuador con el meridiano del observador hasta el círculo horario del astro, en sentido horario.

$$w = 15 * (HS - 0.5) - 12 \quad (3)$$

w: distancia angular entre el círculo de la hora del sol y el meridiano local

HS: Hora solar pico

1.8.3 Ángulo cenital solar

Es el ángulo formado por la trayectoria del sol y el eje vertical, indicando el ángulo de complemento que corresponde a la altura del sol. La cual se la calcula de la siguiente ecuación :

$$\theta_{ZS} = \arccos(\text{sen}(\varnothing) * \text{sen}(\delta) + \text{cos}(\varnothing) * \text{cos}(\omega)) \quad (4)$$

θ_{ZS} : ángulo cenital solar

\varnothing : Latitud

δ : declinación solar

ω : ángulo horario

la fórmula corta para calcular el ángulo cenital es la siguiente:

$$\theta_{ZS} = (90 - \alpha) \quad (5)$$

α : altura del sol.

En la ilustración 13 se puede observar cada uno de los ángulos

1.8.4 Ángulo de elevación solar

Es el ángulo que forma los rayos del sol con respecto a la horizontal

$$\gamma = 90^\circ - \varphi + \delta \quad (6)$$

Siendo φ la latitud del lugar y δ la declinación solar

1.8.5 Ángulo acimutal, Ψ

Es el ángulo formado por la proyección del sol sobre el plano del horizonte con sentido Sur positivo 0° a 180° hacia el Oeste y negativo hacia el Este 0° a -180° .

$$\text{Azimut} = \cos^{-1} \left(\frac{\sin \delta \cos \varphi - \cos \delta \sin \varphi \cos(\text{HRA})}{\cos \alpha} \right) \quad (7)$$

1.8.6 Inclinación del panel, β

Es el ángulo que forma la superficie del generador y plano del horizonte.

Se debe colocar en posición perpendicular a los rayos emitidos por el sol; y así se obtendrá mayor energía, pero cuando el sol cambie su rotación en el trayecto del día, la posición óptima de la superficie incluso tendrá que ser variable [12].

1.8.7 Ángulo de incidencia, θ

Es el ángulo que está formado entre la superficie de la tierra y la radiación directa [13].

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta * \sin \varphi * \cos \beta - \sin \delta * \sin \varphi * \cos \gamma + \cos \delta * \cos \varphi * \cos \beta * \cos \omega \\ & + \cos \delta * \sin \varphi * \sin \beta * \cos \gamma * \cos \omega + \cos \delta * \sin \beta * \sin \gamma * \sin \omega \end{aligned} \quad (8)$$

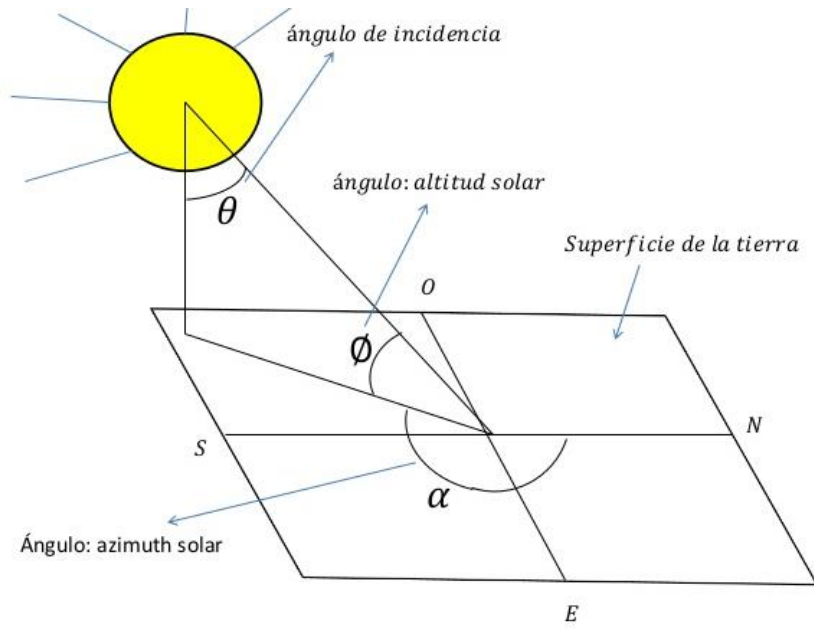


Ilustración 13: Ángulo de incidencia.

1.8.8 Declinación

Es el ángulo que forma el plano Ecuador de la tierra con rayos incidentes del sol[13].

$$\delta = 23.45 \operatorname{sen} \left[\left(\frac{360}{365} \right) (n + 284) \right] \quad (9)$$

donde n = numero de vueltas

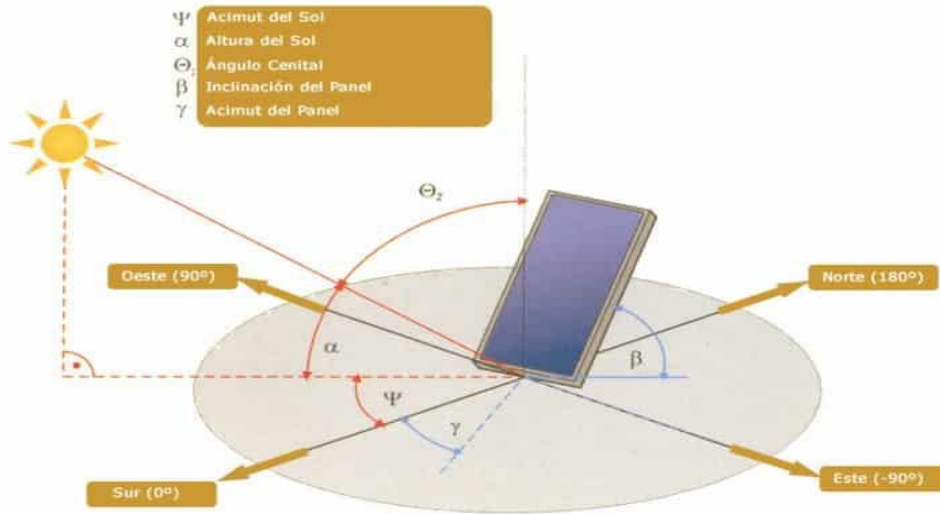


Ilustración 14: Radiación, Geometría, Recorrido óptico, Irradiancia y HSP. [16]

1.9 Latitud

Es la distancia angular entre la línea ecuatorial y un punto determinado de la tierra, medida a lo largo del meridiano en el que se encuentra dicho punto.

Los rayos inciden con menos radiación a medida que aumenta la latitud del lugar, sabemos que en el ecuador la latitud es igual a 0° y que en un punto en el trópico de cáncer equivale a 23.45° , mientras que en el trópico de capricornio es de -23.45° y en polo norte la latitud es de 90° , en cambio en el polo sur la latitud es de -90° [13].

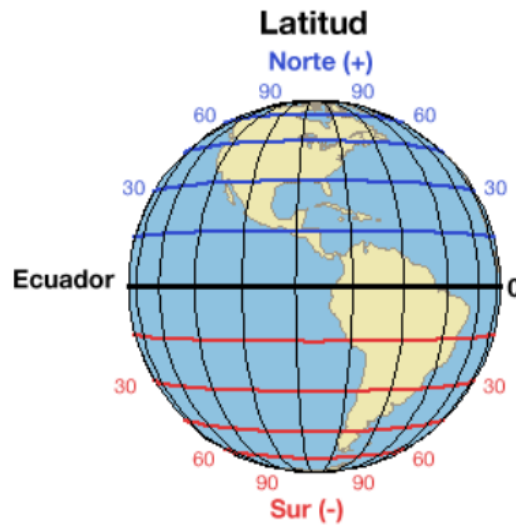


Ilustración 15: Latitud de Ecuador. [17]

CAPITULO II

2.1 Diseño y cálculos para la instalación del panel solar fotovoltaico.

Para la implementación del panel solar se toma en cuenta los siguientes parámetros:

- Horas pico en la ciudad de cuenca
- Inclinación y posición óptimos del panel solar

2.1.1 Ubicación

La implementación se realizará en las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana en el edificio Cornelio Merchan en la terraza del departamento de Pastoral.

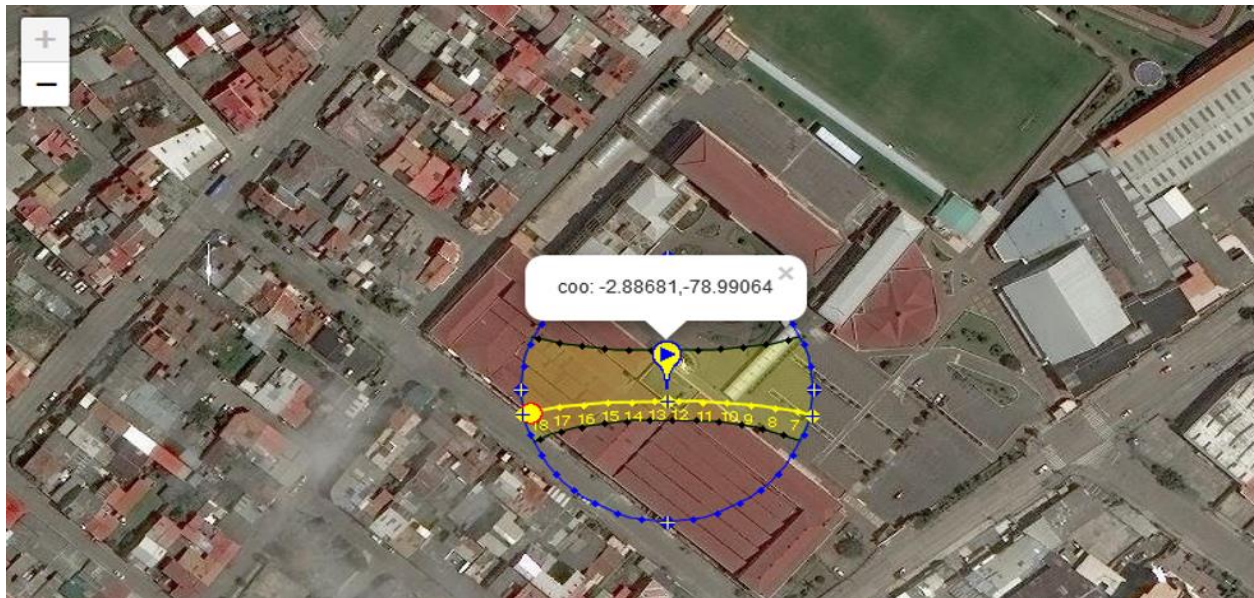


Ilustración 16: Ubicación de los paneles solares.[18]

2.1.2 Hora solar en la ciudad de cuenca

Para determinar la hora pico en esta zona se solicitó la base de datos de la estación meteorológica ubicada en la Universidad Politécnica Salesiana cuyas coordenadas son las siguientes: -2.88619, -78.98858,2556

Y la hora solar pico (HSP) en un día soleado da como resultado 4.761 h/día[14].

2.2 Inclinación y posición óptima del panel solar en Cuenca

Tomando en cuenta los estudios ya realizados en proyectos de grado anteriores determinaron que la orientación óptima es de 30 grados al norte-este y una inclinación de 15 grados para la captación de la irradiancia solar anual. [14]

2.3 Materiales para la implementación

- 2 Motor Stepping SY-17HS440I
- 2 Espejos de ancho 35cm, largo 67cm, espesor 2mm
- 2 Paneles Solares GP-030P-36
- 2 Acoples Diametro 12mm
- 6 Metros de Perfil de Aluminio
- 6 Metros de Perfil de Hierro
- Arduino Mega 2560
- Drive TB6600
- Sensor de Corriente ACS712
- Sensor de Voltaje FZ0430
- Sensor de Temperatura DTH11

2.4 Características del panel solar

En esta sección se revisará las características físicas y eléctricas de los paneles fotovoltaicos que se emplearon en el proyecto.

2.4.1 Características físicas del panel solar fotovoltaico

El panel solar es de marca GI POWER modelo GP-030P-36 este panel solar esta compuesto de 36 celdas en serie.

- Peso del panel 2.7kg.

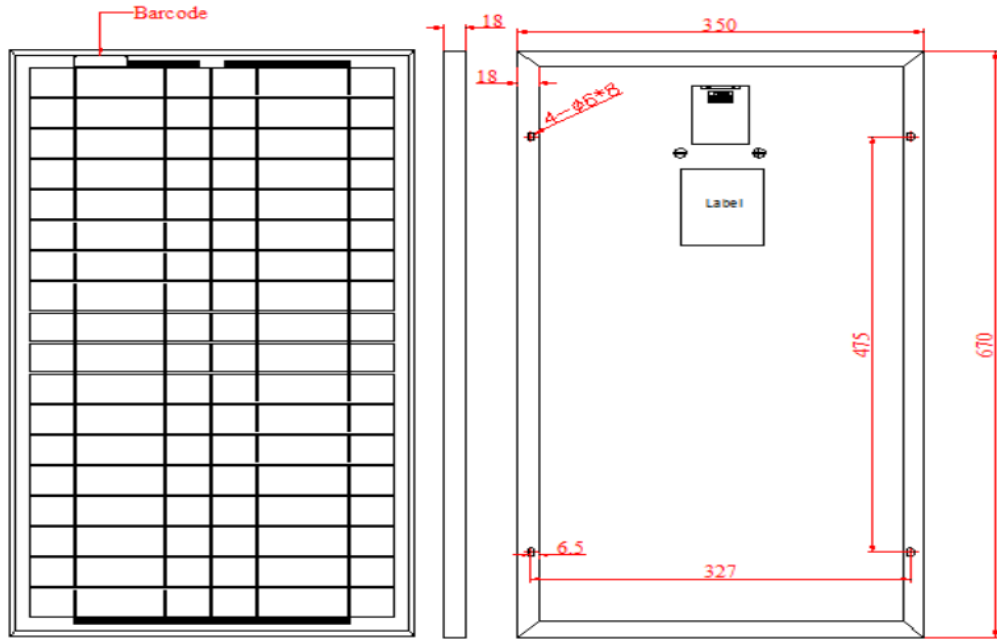


Ilustración 17: Dimensiones del panel solar fotovoltaico. [22]

2.4.2 Características eléctricas del panel solar fotovoltaico

La potencia máxima que entrega el panel es 30W. el voltaje en el punto de máxima potencia es de 18.7 V y la corriente en el punto de máxima potencia es de 1.61 A, con una irradiancia de 1000 W/m² en este punto la potencia máxima sería 30.107Wp [22].

Tabla 1:Características Eléctricas del panel.

Electrical Specifications	
Model type	GI POWER
Peak power (Pmax)	30W
Cell Efficiency	17.63%
Maximum power voltage (Vmp)	18.7V
Maximum power current (Imp)	1.61A
Open circuit voltage (Voc)	22.3V
Short circuit current (Isc)	1.71A
Power Tolerance	±3%
Maximum system voltage	600V
Series fuse rating (A)	0
Number of bypass diode	0

Los coeficientes de temperatura del panel son de gran importancia ya que afectan directamente a la corriente generada por cada celda del panel.

Tabla 2: Coeficientes de riesgo del panel

Temperature Coefficients	
Current Temperature Coefficient $\alpha(I_{sc})$	0.08%/°C
Voltage Temperature Coefficient $\beta(V_{oc})$	0.32%/°C
Power Temperature Coefficient	0.38%/°C
Nominal Temperature Of Cells(NOTC)	46±2°C
Application Temperature Range	-40~+85°C

2.4.3 Curva característica de I-V del panel fotovoltaico.

A continuación en la ilustración 18 se muestra las curvas I-V del panel para distintas irradiancias.

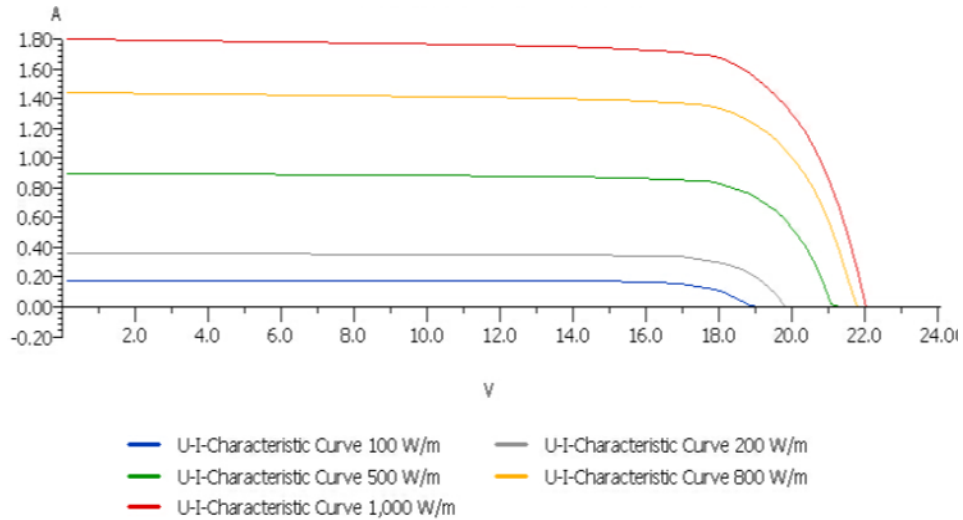


Ilustración 18: Curva de V-I del panel. [22]

2.5 Descripción del motor empleado para el proyecto

Para la implementación se usa el motor Nema23 Bipolar Stepper, modelo 23HS22-2804S-PG15; el motor tiene un paso de 0.12°, requiere 400mA por bobina y un voltaje de polarización de 24V, la resistencia en sus devanados es de 20Ω, para más detalles referirse a la hoja de datos en el Anexo 1. En la ilustración 19, se muestra una imagen del motor a pasos.



Ilustración 19: Motor paso a paso nema23. [22]

2.5.1 Características del motor Nema23.

Name:	Nema23 Bipolar Stepper
Model:	23HS22-2804S-PG15
Step Angle:	0.12°
Rated Current/phase:	2.8A
Recommended Voltage:	24-48V
Max. Permissible Torque:	30Nm(4248oz-in)
Moment Permissible Torque:	5Nm(708oz-in)
Shaft Maximum Axial Load:	100N
Shaft Maximum Radial Load :	200N
Weight:	1.5kg

Ilustración 20: Características del motor Nema 23. [22]

2.6 Arduino Mega 2560

El Arduino Mega/2560 es una placa electrónica que está basada en el microcontrolador Atmega 2560. Tiene 256 KB de memoria flash para almacenar código de los cuales 8 KB se utiliza para el gestor de arranque, 8 KB de SRAM y 4 KB de EEPROM. Tiene 54 pines digitales de entrada / salida, 15 de ellos se pueden utilizar como salidas PWM, además 16 entradas analógicas, 4 puertos seriales, un oscilador de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP y un botón de reinicio. Para empezar a trabajar con el microcontrolador basta con conectarlo a un ordenador con un cable USB o el poder con un adaptador AC-DC o batería. A diferencia de las demás tarjetas Arduino esta puede funcionar con un suministro externo de 6 a 20 voltios. [15].



Ilustración 21: Arduino Mega 2560[20].

2.6.1 Características del Arduino.

- Microcontrolador ATmega2560
- Voltaje de operación: 5V
- Voltaje de entrada recomendado: 7-12V
- Voltajes de entrada mínimo y máximo: 6-20V
- Pines de E/S digital: 54 (de los cuales 15 son salida PWM)
- Pines de entrada analógica: 16
- Corriente CC por cada pin E/S: 20mA
- Corriente CC para el pin de 3,3V: 50mA
- Memoria Flash: 256 KB, de los cuales 8 KB son usados por el gestor de arranque (bootloader)
- SRAM: 8 KB
- EEPROM: 4 KB
- Frecuencia de reloj: 16MHz
- Longitud: 101,52 mm
- Ancho: 53,3 mm
- Peso: 37g.[16]

2.7 Driver TB6600

Este controlador de motores paso a paso bipolares está basado en el chip TB6600 y permite controlar motores de hasta 3.5A por canal (4A max). Este driver tiene limitación de corriente ajustable, protección contra sobre corriente y 7 resoluciones diferentes de microstepping.

Es compatible con microcontroladores como Arduino y otros que puedan generar señales de pulsos de 5V. El TB6600 soporta una gran variedad de voltajes de entrada de 9 a 42V DC. Es capaz de proporcionar hasta 3.5A de corriente de forma continuada y 4A de pico por cortos periodos de tiempo. De esta forma puede controlar una gran variedad de motores[17].



Ilustración 22: Controlador de motores paso a paso 3.5A (TB6600)[22].

2.7.1 Características del driver TB6600:

- Corriente de entrada: 0 a 5A
- Salida de corriente: 0.5 a 4A (ajustable)
- Señales de control: 3.3 a 24V
- Potencia máxima: 160W
- Micro Step: 1, 2/A, 2/B, 4, 8, 16, 32
- Temperatura de funcionamiento: -10 a 45°C

- Humedad: Sin condensación
- Dimensiones: 96x56x33 mm
- Peso: 200 gramos

2.8 Sensor de Corriente ACS712.

El dispositivo consta de un circuito preciso, bajo offset, sensor Hall lineal con una pista de cobre conductor ubicado cerca de la superficie de la matriz. La corriente aplicada que fluye a través de esta pista de conducción de cobre genera un campo magnético que es detectado por el IC integrado Hall y convertida en una tensión proporcional. La exactitud de los dispositivos se optimiza a través de la proximidad de la señal magnética al transductor Hall. Una tensión precisa, es proporcionada por el bajo offset, chopper-estabilizado IC BiCMOS Hall, que está programado para la exactitud después del encapsulado[18].



Ilustración 23: Sensor de Corriente ACS712[23].

2.8.1 Características del sensor de corriente ACS712

- Sensor de corriente: ACS712 -30A
- Tensión de alimentación, de la placa al pin 5V del Arduino.
- Este módulo es bidireccional, puede medir desde -30 a + 30A (equivalente a 66mV / A).
- Tiene una corriente de 0A cuando entrega una tensión de salida de $VCC / 2$, es decir, 2,5V.

2.9 Sensor de temperatura

El DHT11 es un sensor digital de temperatura y humedad relativa de bajo costo y fácil uso. Integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no posee salida analógica). Utilizado en aplicaciones académicas

relacionadas al control automático de temperatura, aire acondicionado, monitoreo ambiental en agricultura y más.[19].



Ilustración 24: Sensor de temperatura[24]

2.9.1 Características del sensor de temperatura

- Voltaje de Operación: 3V - 5V DC
- Rango de medición de temperatura: 0 a 50 °C
- Precisión de medición de temperatura: ± 2.0 °C
- Resolución Temperatura: 0.1°C
- Rango de medición de humedad: 20% a 90% RH.
- Precisión de medición de humedad: 5% RH.
- Resolución Humedad: 1% RH
- Tiempo de sensado: 1 seg.
- Interface digital: Single-bus (bidireccional)
- Modelo: DHT11
- Dimensiones: 16*12*5 mm
- Peso: 1 gr.
- Carcasa de plástico celeste

2.10 Sensor medidor de Voltaje FZ0430

El medidor de voltaje FZ0430 es un simple divisor de tensión con resistencias de $30K \Omega$ y $75K \Omega$, lo que supone que la tensión percibida por el módulo se divida para un factor de 5 ($7.5/(30+7.5)$).

La tensión máxima que podemos medir será 25V para un procesador de tensión de alimentación 5V (V_{cc}), y 16,5V para un procesador de 3,3V (V_{cc}). Superar esta tensión máxima en la entrada del FZ0430 dañará el pin analógico de Arduino. La resolución de la medición del módulo es de 24,45mV[20].



Ilustración 25: Sensor medidor de Voltaje FZ0430[24]

2.10.1 Características del sensor de voltaje FZ0430

- Rango de entrada de voltaje: 0v a 25v DC.
- Voltaje detección entrada máximo: 25v ($5v \times 5 = 25v$) o 16,5v ($3,3v \times 5 = 16,5v$).
- Rango de detección de voltaje: 24,41mV – 25v.
- Resolución analógica de tensión: 0,00489v DC.
- Voltaje detección entrada mínimo: 24,45mV ($4,89mV \times 5 = 24,45mV$).

2.11 Cálculo de parámetros que intervienen en un sistema solar fotovoltaico.

Para el estudio de los ángulos de elevación del sol se utilizó la página SunEarthTools.com que permite buscar o seleccionar la localización geográfica de la zona de estudio y así obtener los ángulos de elevación durante cada hora del día. El programa también proporciona la hora de amanecer y puesta de sol con estos datos se realiza las secuencias de movimientos de los espejos; además el software digital entrega gráficas de la trayectoria del sol en coordenadas polares y cartesianas.

Se consiguen los datos de elevación del mes de marzo con un intervalo de tiempo de media hora desde el amanecer hasta la puesta de sol, en la Tabla 3 se observa los datos de posición del sol: **Azimut** y **Elevación**, que posteriormente se utilizarán para la estimación de los ángulos de inclinación horaria de los espejos.

Tabla 3: Tabla de ángulos de elevación solar del mes marzo

Hora	Elevación (Grados)	Azimut (Grados)
6:23:21	-0.833	97.36
6:30:00	0.81	97.28
7:00:00	8.24	96.96
7:30:00	15.68	96.77
8:00:00	23.12	96.69
8:30:00	30.56	96.75
9:00:00	38	96.97
9:30:00	45.43	97.42
10:00:00	52.86	98.21
10:30:00	60.26	99.57
11:00:00	67.62	102.05
11:30:00	74.88	107.24
12:00:00	81.76	121.97
12:30:00	85.65	186.01
13:00:00	80.97	241.13
13:30:00	74.01	253.78
14:00:00	66.73	258.47
14:30:00	59.36	260.77
15:00:00	51.95	262.05
15:30:00	44.53	262.79
16:00:00	37.09	263.21
16:30:00	29.65	263.42
17:00:00	22.21	263.46
17:30:00	14.77	263.38
18:00:00	7.33	263.18
18:32:55	0.833	262.83

El parámetro **Azimut** mide la dirección angular del Sol. Podrá presentar valores desde los 0° a los 360°. Es el equivalente a indicar la situación del Sol respecto a los puntos cardinales Norte, Sur, Este y Oeste. Estos valores aumentan en sentido de las agujas del reloj.

El parámetro **Elevación** o altitud mide al ángulo de inclinación del Sol respecto al horizonte. Por tanto, podrá adquirir como máximo un valor de 90° pudiéndose situar en la zona más alta del cielo dependiendo

de la zona geográfica y el momento temporal del año. Un valor de 0° será el correspondiente a la posición del sol en el horizonte en cualquier parte del territorio[21].

En la Ilustración 26 se puede ver el comportamiento de la trayectoria sol en coordenadas polares durante el mes de Marzo.

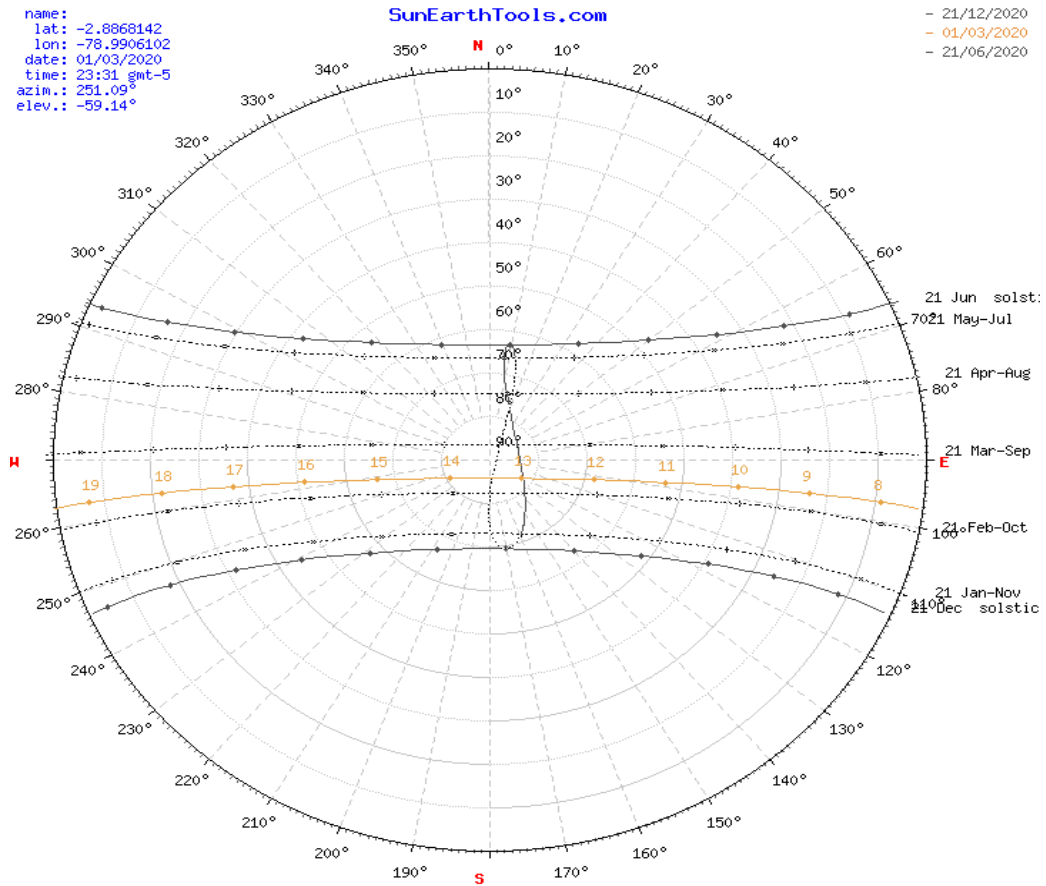


Ilustración 26: Grafica polar de la posición del sol con sus respectivos ángulos del mes de marzo [18].

En la Ilustración 27 tenemos la gráfica de la trayectoria del sol en coordenadas cartesianas durante el mes de Marzo.

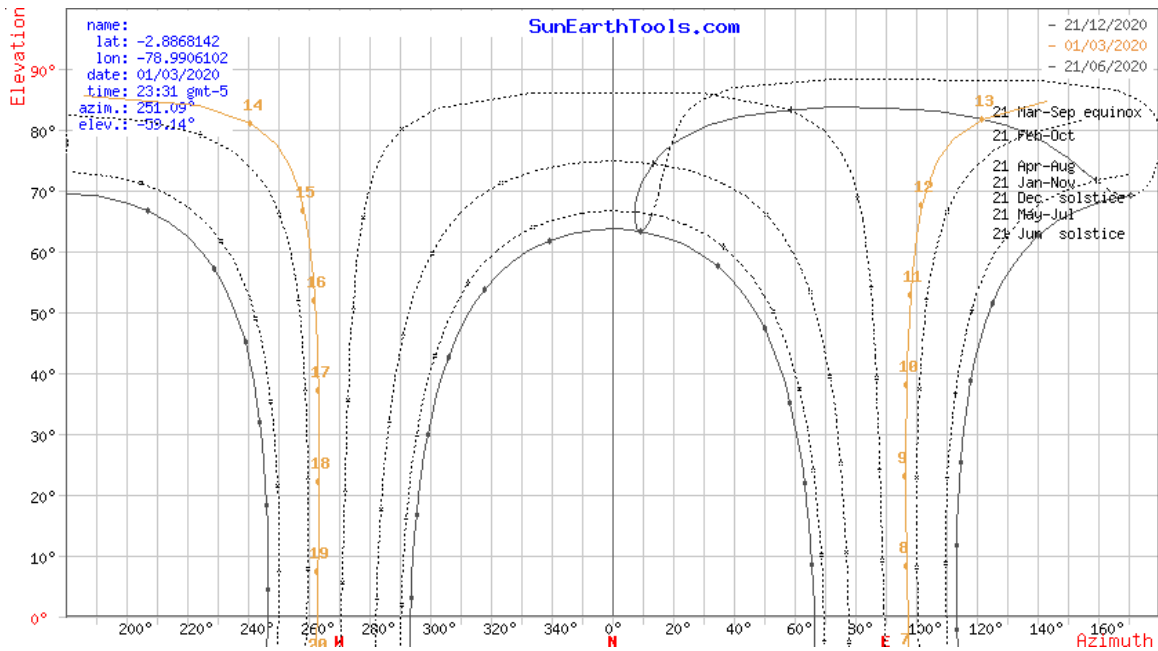


Ilustración 27: Grafico cartesiano de la elevación y azimut del mes de marzo. [18].

En el Anexo 2 se puede observar las gráficas de la trayectoria del sol en coordenadas cartesianas y polares de los meses de abril, mayo y junio y además las tablas horarias de los ángulos de elevación solar.

2.12 Estimación de los ángulos de posicionamiento horaria de los espejos

Una vez que se tiene ya los datos de elevación solar se procede a estimar los distintos ángulos de posicionamiento de los espejos durante todo el día desde el amanecer hasta la puesta del sol, tomando en cuenta los datos de la tabla 3 se analiza el movimiento desde las 6:00 am hasta las 6:00 pm.

Para las gráficas que se muestran a continuación se debe tener en cuenta que cada uno de los espejos E1 y E2 deben estar en el ángulo óptimo para incidir en la mayor área del panel.

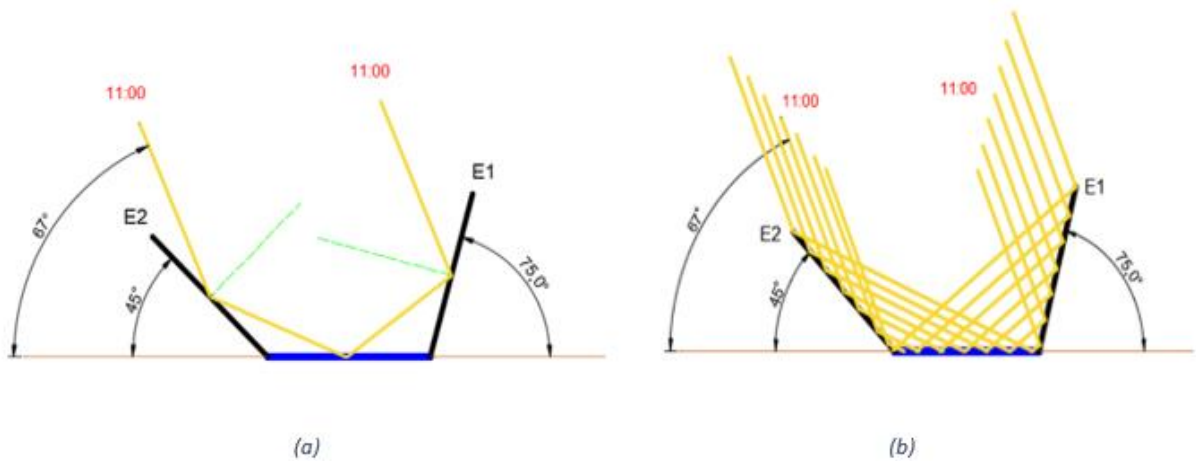


Ilustración 28: Posicionamiento de los espejos a considerar para las 11 a.m

En la ilustración 28(a) se puede observar el ángulo de incidencia solar está en 67° cuando es a las 11 a.m., y el espejo E1 se localizará en 75° , el espejo E2 en 45° , para esto se tiene en cuenta la normal del espejo y el ángulo de reflexión de salida que dé en el centro del panel solar, ya que este sería el punto de análisis óptimo para su mayor reflexión.

Para la ilustración 28(b) se observa cómo afectaría la incidencia solar en todo el espejo y luego como refleja en todo el panel solar.

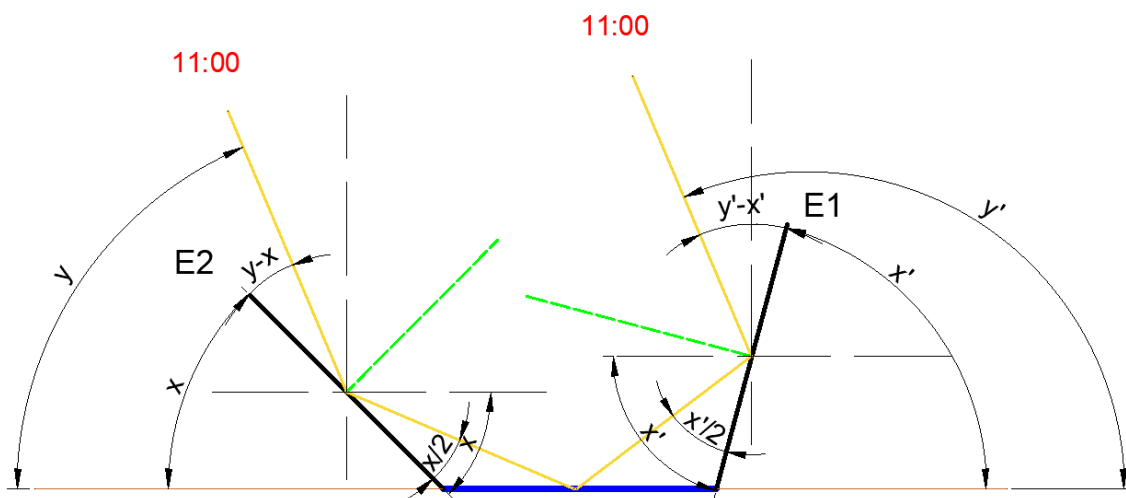


Ilustración 29: Posicionamiento de los espejos a considerar para las 11 a.m

En la ilustración 29 se observa los ángulos de elevación solar; representados por la línea amarilla, las líneas negras representan los espejos E1 y E2 mientras que la línea azul representa el panel solar. A

continuación se realiza un análisis geométrico para obtener el ángulo de inclinación de los espejos E1 y E2, de tal manera que los rayos reflejados por los espejos incidan en el panel.

Para el espejo E2 se tiene:

$$\frac{x}{2} = y - x \quad (10)$$

$$x = \frac{2}{3}y \quad (11)$$

Para el espejo E1 se tiene:

$$y' = 180^\circ - y \quad (12)$$

$$\frac{x'}{2} = y' - x'$$

$$x' = \frac{2}{3}y'$$

Siendo:

x : Ángulo del espejo 2

x' : Ángulo del espejo 1

y : Ángulo de elevación solar medido en sentido horario

y' : Ángulo de elevación solar medido en sentido antihorario

En la ilustración 28(a) se puede observar que el ángulo de incidencia solar está en 67° cuando son las 11 a.m. para que los espejos E1 y E2 reflejen los rayos del sol sobre el panel deberán colocarse el espejo E1 a 75° y el espejo E2 a 45° respecto a la horizontal. Para realizar los cálculos se debe tomar en cuenta la normal del espejo y el ángulo de reflexión de salida que dé en el centro del panel solar.

Comprobando para un ángulo de elevación solar medido en sentido horario:

y : 67° para las 11:00 de la mañana.

$$x = \frac{2}{3}(67^\circ) = 44.67^\circ \approx 45^\circ$$

$$y' = 180^\circ - 67 = 113^\circ$$

$$x' = \frac{2}{3}(113^\circ) = 75.33^\circ \approx 75^\circ$$

Como resultado para el espejo E1 debe estar a un ángulo de 75° medido en sentido antihorario y el espejo E2 a 45° medido en sentido horario.

Para la ilustración 28(b) se observa cómo afectaría la incidencia solar en todo el espejo y luego como refleja en todo el panel solar.

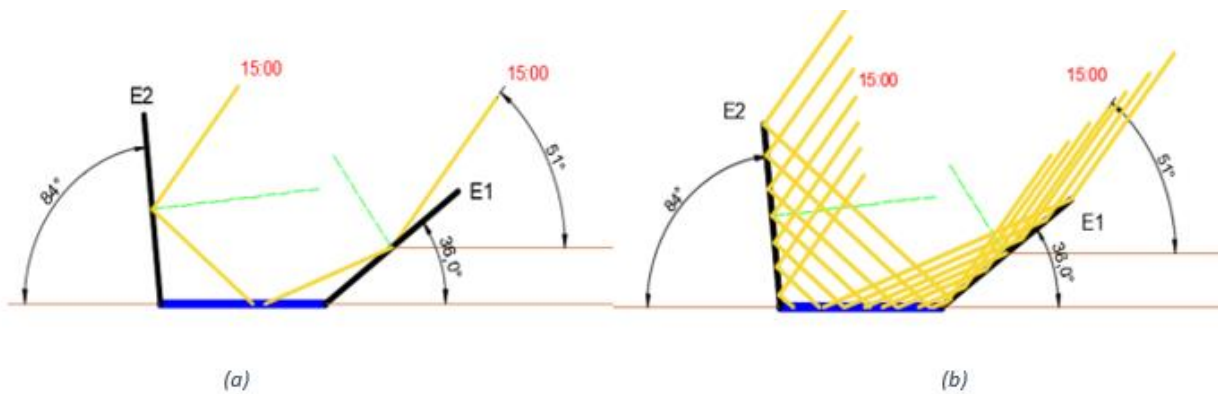


Ilustración 30: Posicionamiento de los espejos a considerar a las 3 p.m

En la ilustración 30(a) se puede observar el ángulo de incidencia solar que está en 51° para las 3 p.m. para este caso el espejo E1 se localizará en 36° y el espejo E2 en 84° respecto a la horizontal.

Para la ilustración 30(b) se observa cómo afectaría la incidencia solar en todo el espejo y luego como refleja en todo el panel solar.

Se realizan las estimaciones de los ángulos de inclinación horaria de los espejos a partir de las 7 de mañana, y se analiza que cada hora el ángulo de elevación solar varía 15° , hasta la puesta del sol, se estudia el ángulo de posicionamiento de los espejos E1 y E2 para cada hora, se puede observar las gráficas en el ANEXO 3.

2.13 Diseño del programa para el movimiento de los espejos y recolección de datos .

Teniendo en cuenta los datos ya analizados en la sección anterior como el amanecer, puesta de sol y posicionamiento de los espejos en cada hora, se procede a realizar el programa para la lectura de los datos de corriente, voltaje, temperatura y movimientos de los espejos. Para la lectura y procesamiento de datos se realiza un muestreo de cada media hora a partir de las 6 de la mañana hasta las 18:30, se toman 2 muestras cada media hora y se almacena en una base de datos. Para obtener el dato de cada muestra de la corriente y voltaje se tomó 500 valores y así tener el valor promedio aproximado final.

Para el movimiento de los espejos se programa cada hora que suba o baje respectivamente cada espejo por medio de un tren de pulsos, cada pulso mueve al motor 0.12 grados para tener una mayor exactitud en el posicionamiento. Para más detalles refiérase al diagrama de flujo de la ilustración 31.

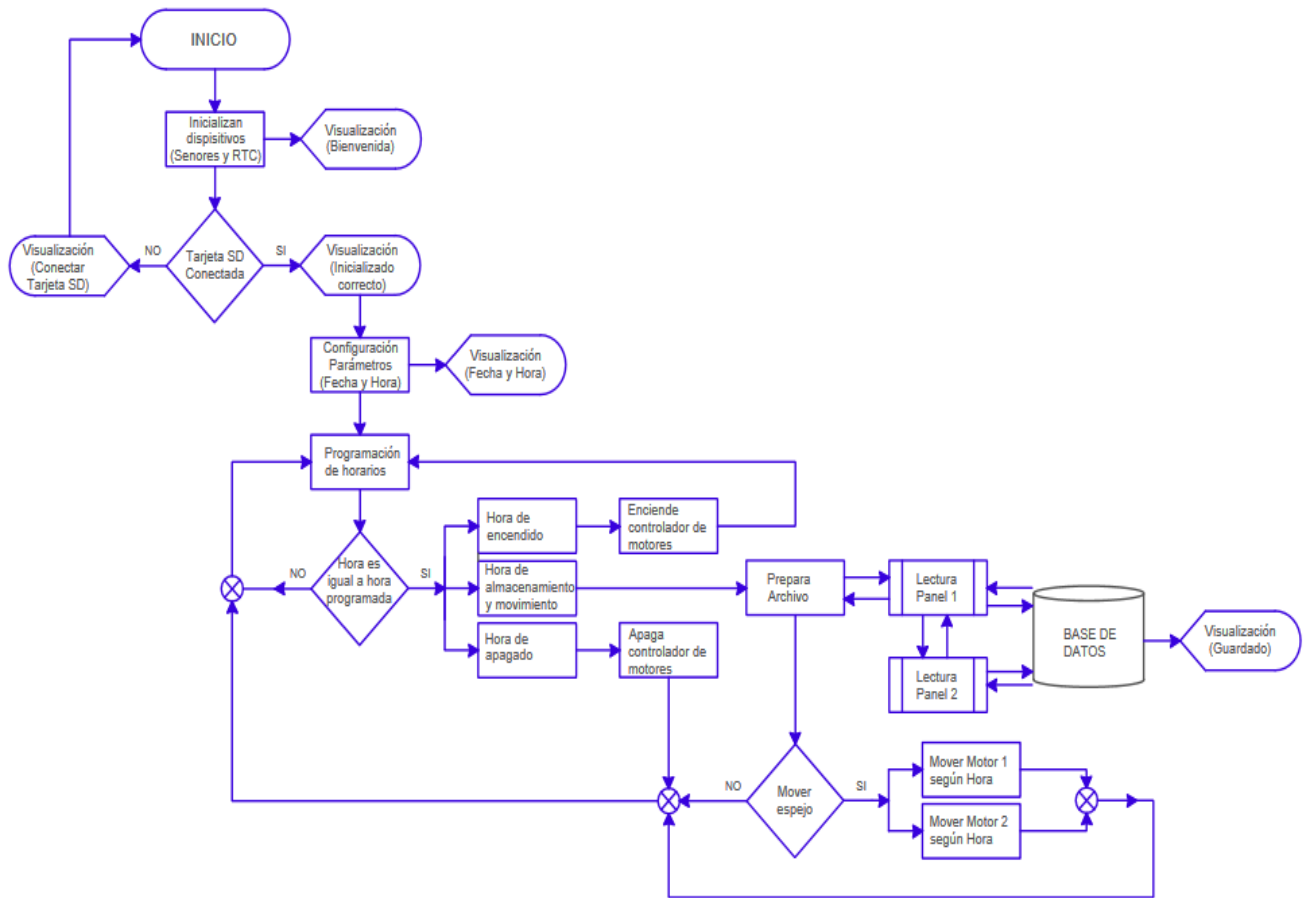


Ilustración 31: Diagrama de flujo del programa principal.

En la ilustración 32 se puede observar el diagrama de flujos de los subprocesos para la lectura y recolección de datos (temperatura, corriente y voltaje) de cada uno de los paneles.

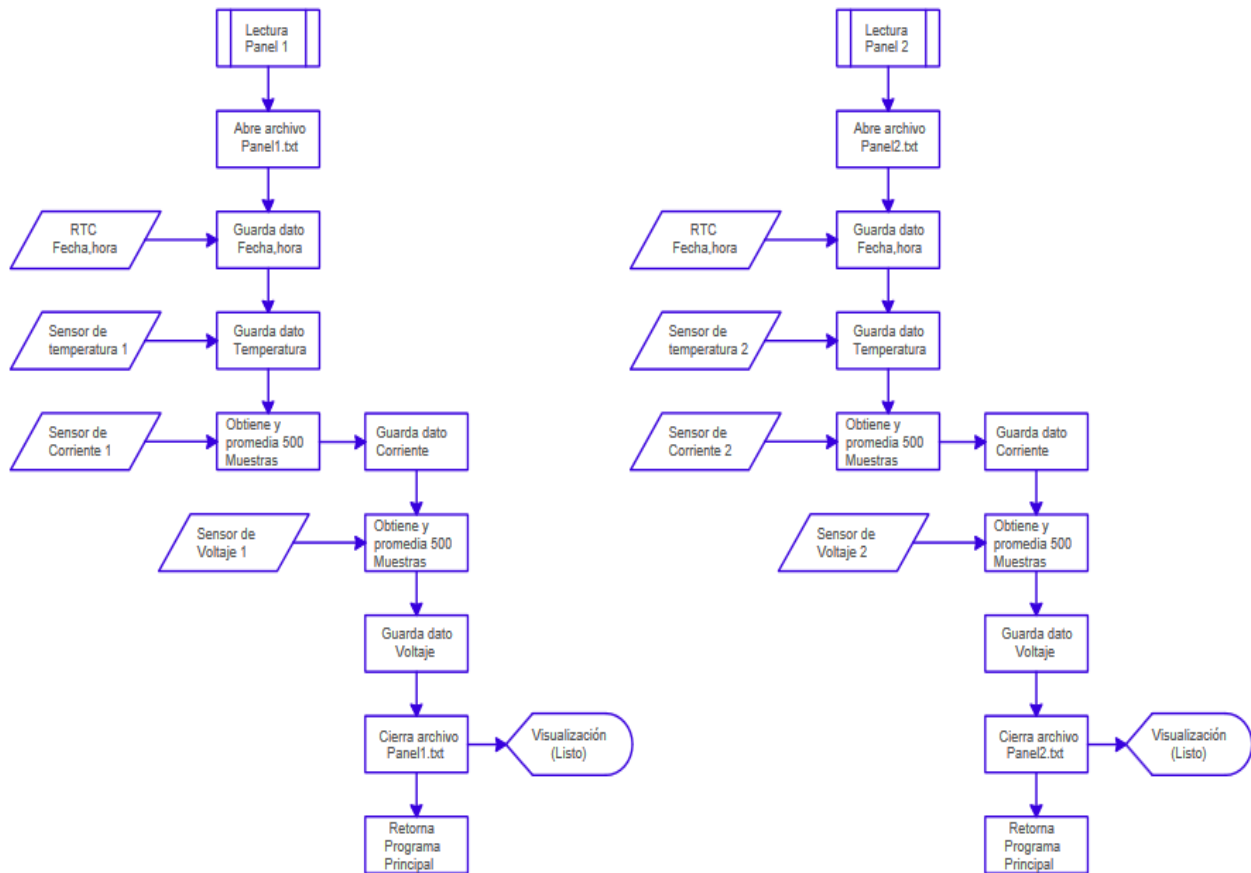


Ilustración 32: Diagrama de flujo de subprocesos de los datos recolectados de los paneles.

2.14 Esquemas de conexión de los dispositivos.

Se divide en tres circuitos: circuitos de conexión de fuerza para los motores a pasos, circuitos de visualización y almacenamiento de datos y circuitos detección y recolección de datos, todos éstos se conectan al microcontrolador Arduino.

En el circuito de conexión de fuerza para los motores, se tiene dos controladores de potencia cuyo voltaje para los motores se suministra externamente con una fuente de voltaje DC de 24V, para el movimiento se controla con un tren de pulsos de los pines 2,3,4,5 y para la dirección a través de los pines 8,9 para cada controlador respectivamente.

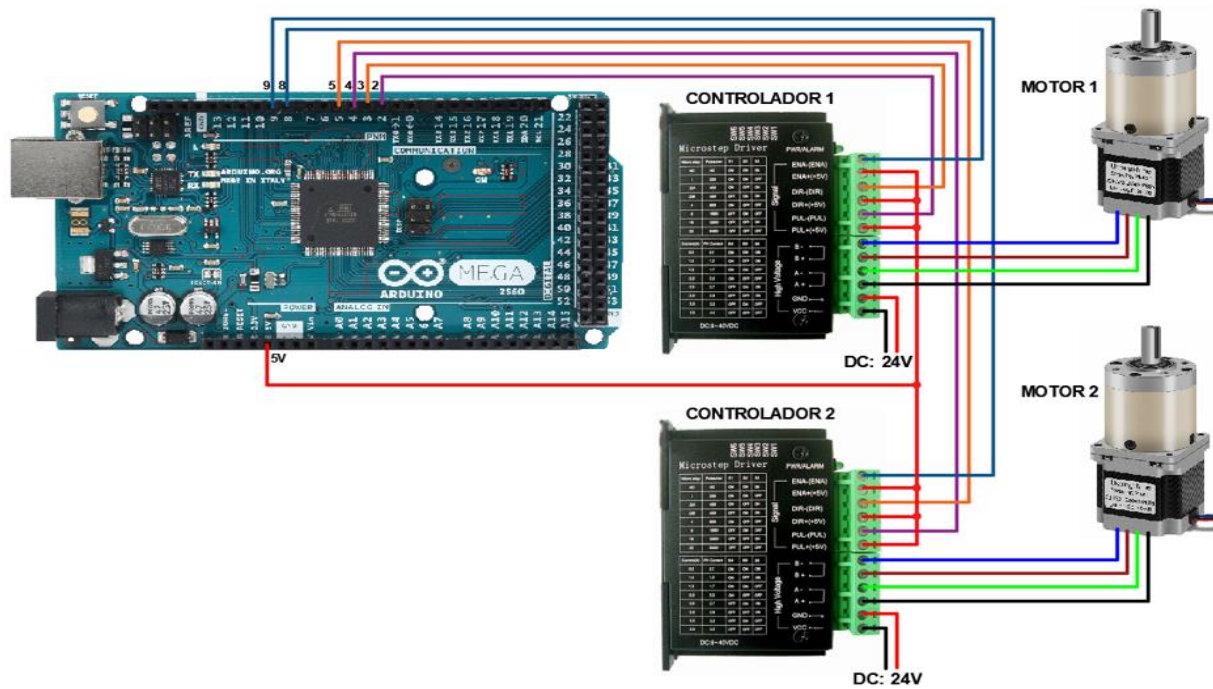


Ilustración 33: Conexión del circuito de conexión de fuerza para los motores a paso.

Para el circuito de visualización se tiene una pantalla LCD 16x2 en la cual se va a mostrar la hora y fecha en todo momento, y cada media hora se mostrará que el dato del panel 1 o panel 2 se guarda, para el almacenamiento se tiene un lector de microSD con una memoria de 4 GB para generar una base de datos que se guardarán.

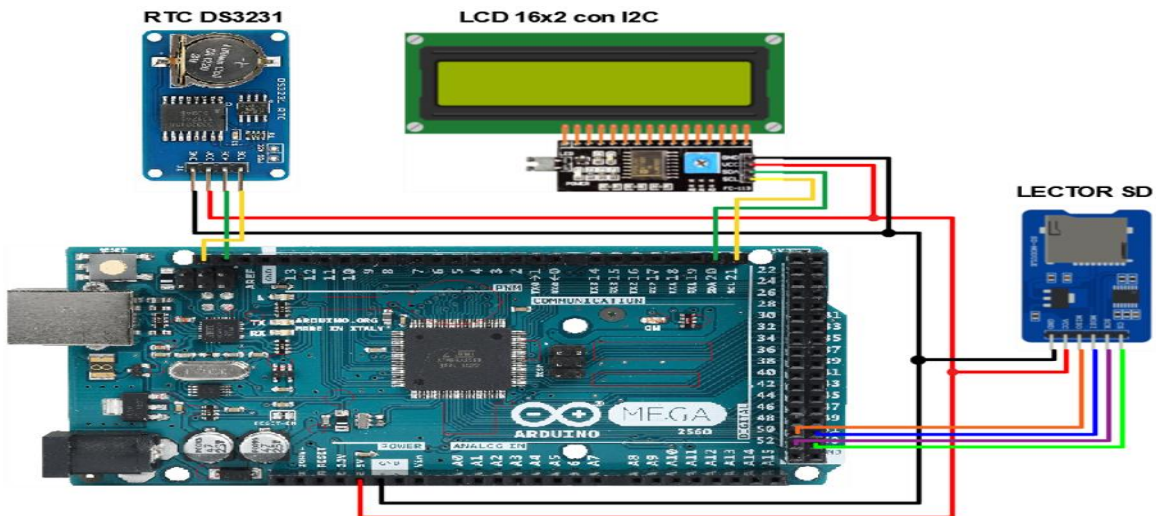


Ilustración 34: Conexión del circuito de visualización y almacenamiento de datos.

Para el sistema de detección y recolección de datos se tiene un sensor de temperatura, corriente y de voltaje para cada panel, en los terminales de los paneles se conecta una resistencia (carga lineal) que consume toda la producción de energía del panel, el cálculo para la resistencia se muestra a continuación:

A partir de la ley de ohm se sabe que:

$$V = I \times R \quad (13)$$

Según las especificaciones técnicas del panel solar:

$$I_{max} = 1,61A$$

$$V_{max} = 18,7V$$

Reemplazando los datos en la ecuación 8 se obtiene:

$$R_{Carga} = \frac{V}{I} = \frac{V_{max}}{I_{max}} \quad (14)$$

$$R_{Carga} = \frac{18,7}{1,61} = 11.61\Omega$$

De acuerdo con los resultados obtenidos se opta por conectar una resistencia comercial de 10 Ω a una potencia de 30W.

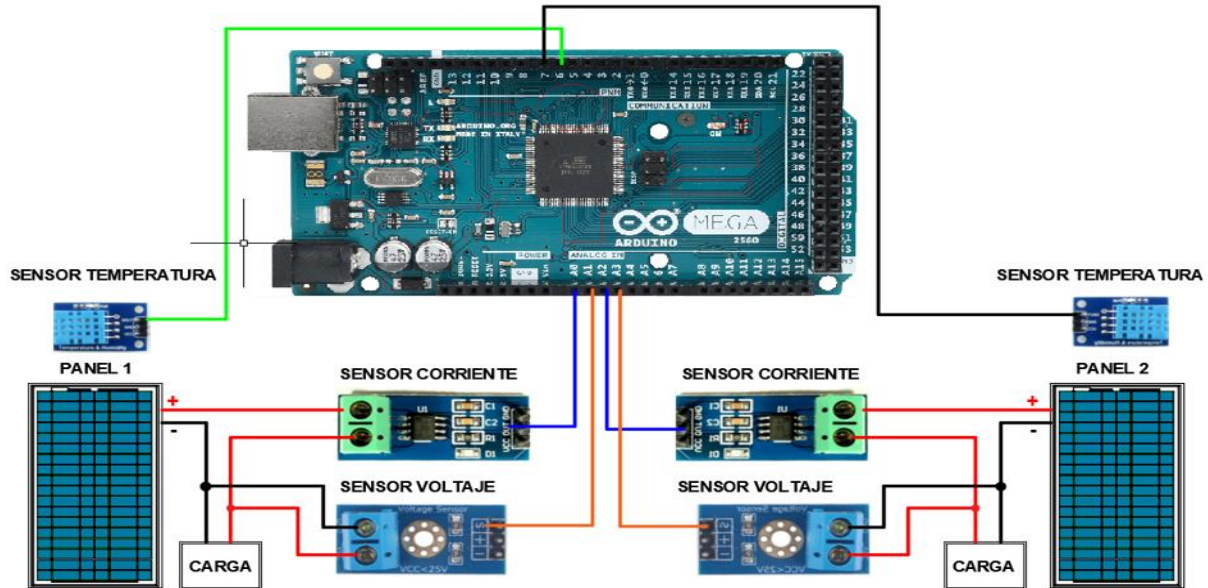


Ilustración 35: Conexión del sistema de detección y recolección de datos.

2.15 Construcción mecánica y ensamblaje de dispositivos para el prototipo.

Para la implementación de los paneles fotovoltaicos se tiene que utilizar una estructura de hierro, tomando en cuenta un aspecto importante que es la capacidad de soportar velocidades de vientos elevados, el peso de los paneles y espejos. El diseño de la estructura de soporte debe facilitar la limpieza de los paneles.

Para este caso se ha hecho dos estructuras individuales para los dos paneles, cada una tiene 35cm de ancho por 67cm de largo.

Los soportes de hierro tienen una inclinación de 15° , en uno de los soportes se le adicionó unos perfiles de aluminio a cada lado para los espejos, se eligió el material de aluminio por ser más liviano que el hierro para que los motores no generen exceso de par, se construyó una base para los motores acoplados al eje una bisagra que une la estructura del panel con la estructura del espejo, esto se puede observar en la ilustración 36.

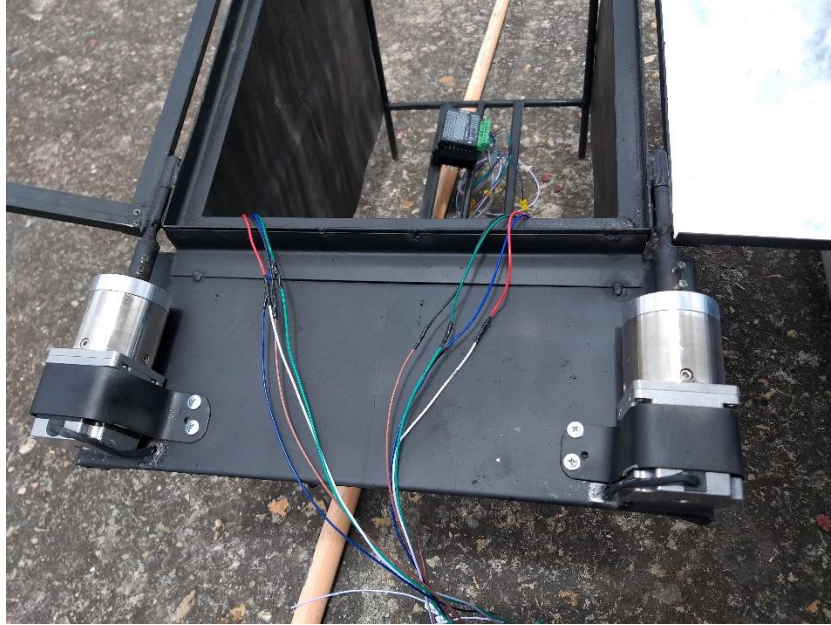


Ilustración 36: Estructura para el panel con espejos dinámicos.

Con los soportes terminados se montaron los paneles y los espejos, debajo del soporte de panel con espejos se instaló el circuito eléctrico con los respectivos controladores de motores y sensores para la recolección de datos. Todos estos dispositivos y fuente de alimentación se localizan debajo del panel para protegerlos de las condiciones climáticas y otros agentes externos esto se puede observar en la ilustración 37.



Ilustración 37: Montaje de los paneles con y sin espejos.

Los sensores de corriente y voltaje se calibraron con la ayuda de un vatímetro, se conectó este dispositivo en serie al circuito de recolección de datos del Arduino y por medio de la programación se ajustó la sensibilidad de los sensores de corriente y voltaje, se realizaron diferentes pruebas durante todo el día, para conocer el valor de corriente mínima en la mañana y tarde, y corriente máxima en el pico del día.



Ilustración 38: Prueba de los sensores de corriente y voltaje con el vatímetro.

CAPITULO III

En este capítulo se da a conocer los datos obtenidos por el estudio realizado en el edificio Cornelio Merchán en la terraza del departamento de pastoral de la Universidad Politécnica Salesiana sede de Cuenca en un periodo de 4 meses, todos los datos analizados se obtuvieron de los sensores de corriente, voltaje y temperatura presentados en el capítulo 2.14, esquema del circuito ilustración 35.

3.1 Procesamiento y análisis de los datos obtenidos.

Cada media hora se toma 2 muestras para analizar la eficiencia de la recolección de datos, se hace una diferencia de los dos datos para saber cuánto varía y después se hace un promedio de los datos para obtener uno solo.

Se analizarán los datos de cuatro meses: marzo, abril, mayo y junio con un resultado de 6344 muestras de voltaje, corriente y temperatura en total son procesados y validados 3172 datos para analizar tomados del año 2020.

Tabla 4: Datos totales a analizar para 4 meses del año 2020

MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO	
DIAS:	31	DIAS:	30	DIAS:	31	DIAS:	30
MUESTRAS	MUESTRAS/2	MUESTRAS	MUESTRAS/2	MUESTRAS	MUESTRAS/2	MUESTRAS	MUESTRAS/2
1612	806	1560	780	1612	806	1560	780
MUESTRAS TOTALES:		6344					
MUESTRAS/2 TOTALES:		3172					

Tabla 5: Base de datos correspondientes a día 1-03-2020 del panel 1 sometido a espejos

Fecha	Hora	Temperatura (°C)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Diferencia T	Diferencia I	Diferencia V
1/3/2020	6:0:1	18	-0.0332	0.00			
1/3/2020	6:0:36	14	-0.0344	0.00	-4	-0.0012	0
1/3/2020	6:30:1	15	-0.0209	0.07			
1/3/2020	6:30:35	14	-0.0228	0.05	-1	-0.0019	-0.02
1/3/2020	7:0:1	14	0.0404	0.67			
1/3/2020	7:0:28	15	0.0422	0.69	1	0.0018	0.02
1/3/2020	7:30:1	15	0.1031	1.28			
1/3/2020	7:30:36	16	0.0972	1.26	1	-0.0059	-0.02
1/3/2020	8:0:1	16	0.1263	1.57			

1/3/2020	8:0:27	18	0.1305	1.59	2	0.0042	0.02
1/3/2020	8:30:1	15	0.1756	1.83			
1/3/2020	8:30:36	16	0.1697	1.83	1	-0.0059	0
1/3/2020	9:0:1	16	0.2233	2.33			
1/3/2020	9:0:27	17	0.2299	2.35	1	0.0066	0.02
1/3/2020	9:30:1	21	0.4750	4.87			
1/3/2020	9:30:35	21	0.4749	4.85	0	-1E-04	-0.02
1/3/2020	10:0:1	27	0.8617	8.60			
1/3/2020	10:0:28	34	0.8308	8.31	7	-0.0309	-0.29
1/3/2020	10:30:1	30	1.4243	14.06			
1/3/2020	10:30:35	46	1.3610	13.40	16	-0.0633	-0.66
1/3/2020	11:0:1	45	1.5409	15.08			
1/3/2020	11:0:28	49	1.5708	15.39	4	0.0299	0.31
1/3/2020	11:30:1	49	0.9005	9.03			
1/3/2020	11:30:35	38	0.9006	8.98	-11	1E-04	-0.05
1/3/2020	12:0:1	40	0.3945	4.09			
1/3/2020	12:0:27	42	0.3903	4.11	2	-0.0042	0.02
1/3/2020	12:30:2	42	0.7099	7.13			
1/3/2020	12:30:36	43	0.7498	7.51	1	0.0399	0.38
1/3/2020	13:0:1	41	0.7497	7.55			
1/3/2020	13:0:27	33	0.7915	7.98	-8	0.0418	0.43
1/3/2020	13:30:1	33	1.2786	12.68			
1/3/2020	13:30:35	39	1.5392	15.01	6	0.2606	2.33
1/3/2020	14:0:1	39	0.9198	9.22			
1/3/2020	14:0:27	36	0.9256	9.41	-3	0.0058	0.19
1/3/2020	14:30:1	36	1.7856	17.58			
1/3/2020	14:30:36	36	1.8936	18.55	0	0.108	0.97
1/3/2020	15:0:1	40	0.7026	7.05			
1/3/2020	15:0:28	38	0.7032	7.13	-2	0.0006	0.08
1/3/2020	15:30:1	38	0.5601	5.77			
1/3/2020	15:30:35	38	0.5721	5.80	0	0.012	0.03
1/3/2020	16:0:1	38	0.2755	2.87			
1/3/2020	16:0:27	28	0.2720	2.90	-10	-0.0035	0.03
1/3/2020	16:30:1	28	0.2505	2.59			
1/3/2020	16:30:35	27	0.2574	2.71	-1	0.0069	0.12
1/3/2020	17:0:1	27	0.6715	6.79			
1/3/2020	17:0:27	34	0.6534	6.63	7	-0.0181	-0.16
1/3/2020	17:30:1	34	0.3121	3.16			
1/3/2020	17:30:36	30	0.2890	2.97	-4	-0.0231	-0.19
1/3/2020	18:0:1	30	0.0900	1.02			
1/3/2020	18:0:28	24	0.0813	0.95	-6	-0.0087	-0.07
1/3/2020	18:30:1	24	-0.0098	0.05			
1/3/2020	18:30:27	21	-0.0190	0.02	-3	-0.0092	-0.03

Tabla 6: Base de datos correspondientes a día 1-03-2020 del panel 2 sin espejos

Fecha	Hora	Temperatura (°C)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Diferencia T	Diferencia I	Diferencia V
1/3/2020	6:0:14	17	-0.0625	0.00			
1/3/2020	6:0:49	12	-0.0617	0.00	-5	0.0008	0
1/3/2020	6:30:14	12	-0.0538	0.07			
1/3/2020	6:30:48	12	-0.0488	0.07	0	0.0005	0
1/3/2020	7:0:15	12	0.0097	0.66			
1/3/2020	7:0:41	13	0.0140	0.69	1	0.0043	0.03
1/3/2020	7:30:14	13	0.1186	1.66			
1/3/2020	7:30:49	14	0.1129	1.68	1	-0.0057	0.02
1/3/2020	8:0:14	14	0.1797	2.39			
1/3/2020	8:0:40	15	0.1805	2.22	1	0.0008	-0.17
1/3/2020	8:30:14	15	0.2128	2.53			
1/3/2020	8:30:49	16	0.2117	2.44	1	-0.0011	-0.09
1/3/2020	9:0:14	16	0.2502	2.82			
1/3/2020	9:0:40	16	0.2593	2.82	0	0.0091	0
1/3/2020	9:30:14	16	0.5223	5.49			
1/3/2020	9:30:48	20	0.5284	5.46	4	0.0061	-0.03
1/3/2020	10:0:14	20	0.8555	8.61			
1/3/2020	10:0:41	24	0.8358	8.45	4	-0.0197	-0.16
1/3/2020	10:30:14	24	1.3583	13.39			
1/3/2020	10:30:49	28	1.2693	12.54	4	-0.089	-0.85
1/3/2020	11:0:14	28	1.5451	15.07			
1/3/2020	11:0:41	34	1.5963	15.59	6	0.0512	0.52
1/3/2020	11:30:14	34	0.8970	9.13			
1/3/2020	11:30:48	27	0.8889	9.01	-7	-0.0081	-0.12
1/3/2020	12:0:14	28	0.4133	4.45			
1/3/2020	12:0:41	27	0.4165	4.40	-1	0.0032	-0.05
1/3/2020	12:30:15	27	0.7006	7.12			
1/3/2020	12:30:49	27	0.7516	7.69	0	0.051	0.57
1/3/2020	13:0:14	27	0.7297	7.48			
1/3/2020	13:0:40	24	0.7575	7.74	-3	0.0278	0.26
1/3/2020	13:30:14	25	1.5167	14.78			
1/3/2020	13:30:48	27	1.5390	15.02	2	0.0223	0.24
1/3/2020	14:0:14	27	0.8902	9.04			
1/3/2020	14:0:40	26	0.9058	9.15	-1	0.0156	0.11
1/3/2020	14:30:14	26	1.7774	17.41			

1/3/2020	14:30:49	29	1.7665	17.22	3	-0.0109	-0.19
1/3/2020	15:0:15	30	0.6864	7.00			
1/3/2020	15:0:41	26	0.6837	7.05	-4	-0.0027	0.05
1/3/2020	15:30:14	27	0.5508	5.70			
1/3/2020	15:30:49	25	0.5529	5.65	-2	0.0021	-0.05
1/3/2020	16:0:14	25	0.2479	2.77			
1/3/2020	16:0:40	22	0.2438	2.82	-3	-0.0041	0.05
1/3/2020	16:30:14	22	0.3098	3.26			
1/3/2020	16:30:48	21	0.3089	3.38	-1	-0.0009	0.12
1/3/2020	17:0:14	21	0.6068	6.32			
1/3/2020	17:0:40	24	0.5817	6.01	3	-0.0251	-0.31
1/3/2020	17:30:14	24	0.2663	2.98			
1/3/2020	17:30:49	22	0.2607	2.89	-2	-0.0056	-0.09
1/3/2020	18:0:14	22	0.0603	0.92			
1/3/2020	18:0:41	20	0.0611	0.88	-2	0.0008	-0.04
1/3/2020	18:30:14	20	-0.0414	0.05			
1/3/2020	18:30:41	18	-0.0376	0.00	-2	0.0038	-0.05

Diariamente se recolecta 52 datos de temperatura, corriente y voltaje de los cuales se procesa y se obtienen 26 datos para analizar, en la tabla 5 se puede observar ya los 26 datos y se calcula la potencia y energía para cada media hora, se realiza este proceso para los dos escenarios, para el panel normal y el panel sometido a espejos.

Para calcular la potencia y energía se emplean las fórmulas $P = V \times I$ y $E = P \times t$, respectivamente. El análisis de esas magnitudes se realiza cada media hora, por lo tanto $t = 0.5h$.

Tabla 7: Resultados de datos correspondientes al día 1-03-2020 del panel 1 sometido a espejos.

Fecha	Hora	Temperatura (°C)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Potencia (W)	Energía (kWh)
1/3/2020	6:0:1	16.0	0.0000	0.00	0.000	0.00000
1/3/2020	6:30:1	14.5	0.0000	0.06	0.000	0.00000
1/3/2020	7:0:1	14.5	0.0413	0.68	0.028	0.00001
1/3/2020	7:30:1	15.5	0.1002	1.27	0.127	0.00006
1/3/2020	8:0:1	17.0	0.1284	1.58	0.203	0.00010
1/3/2020	8:30:1	15.5	0.1727	1.83	0.316	0.00016
1/3/2020	9:0:1	16.5	0.2266	2.34	0.530	0.00027
1/3/2020	9:30:1	21.0	0.4750	4.86	2.308	0.00115
1/3/2020	10:0:1	30.5	0.8463	8.46	7.155	0.00358
1/3/2020	10:30:1	38.0	1.3927	13.73	19.121	0.00956
1/3/2020	11:0:1	47.0	1.5559	15.24	23.703	0.01185
1/3/2020	11:30:1	43.5	0.9006	9.01	8.109	0.00405

1/3/2020	12:0:1	41.0	0.3924	4.10	1.609	0.00080
1/3/2020	12:30:2	42.5	0.7299	7.32	5.343	0.00267
1/3/2020	13:0:1	37.0	0.7706	7.77	5.984	0.00299
1/3/2020	13:30:1	36.0	1.4089	13.85	19.506	0.00975
1/3/2020	14:0:1	37.5	0.9227	9.32	8.595	0.00430
1/3/2020	14:30:1	36.0	1.8396	18.07	33.232	0.01662
1/3/2020	15:0:1	39.0	0.7029	7.09	4.984	0.00249
1/3/2020	15:30:1	38.0	0.5661	5.79	3.275	0.00164
1/3/2020	16:0:1	33.0	0.2738	2.89	0.790	0.00039
1/3/2020	16:30:1	27.5	0.2540	2.65	0.673	0.00034
1/3/2020	17:0:1	30.5	0.6625	6.71	4.445	0.00222
1/3/2020	17:30:1	32.0	0.3006	3.07	0.921	0.00046
1/3/2020	18:0:1	27.0	0.0857	0.99	0.084	0.00004
1/3/2020	18:30:1	22.5	0.0000	0.04	0.000	0.00000

Tabla 8: Resultados de datos correspondientes al día 1-03-2020 del panel 2 sin espejos.

Fecha	Hora	Temperatura (°C)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Potencia (W)	Energía (kWh)
1/3/2020	6:0:14	14.5	0.0000	0.00	0.000	0.00000
1/3/2020	6:30:14	12.0	0.0000	0.07	0.000	0.00000
1/3/2020	7:0:15	12.5	0.0119	0.68	0.008	0.00000
1/3/2020	7:30:14	13.5	0.1158	1.67	0.193	0.00010
1/3/2020	8:0:14	14.5	0.1801	2.31	0.415	0.00021
1/3/2020	8:30:14	15.5	0.2123	2.49	0.527	0.00026
1/3/2020	9:0:14	16.0	0.2548	2.82	0.718	0.00036
1/3/2020	9:30:14	18.0	0.5254	5.48	2.876	0.00144
1/3/2020	10:0:14	22.0	0.8457	8.53	7.213	0.00361
1/3/2020	10:30:14	26.0	1.3138	12.97	17.033	0.00852
1/3/2020	11:0:14	31.0	1.5707	15.33	24.079	0.01204
1/3/2020	11:30:14	30.5	0.8930	9.07	8.099	0.00405
1/3/2020	12:0:14	27.5	0.4149	4.43	1.836	0.00092
1/3/2020	12:30:15	27.0	0.7261	7.41	5.377	0.00269
1/3/2020	13:0:14	25.5	0.7436	7.61	5.659	0.00283
1/3/2020	13:30:14	26.0	1.5279	14.90	22.765	0.01138
1/3/2020	14:0:14	26.5	0.8980	9.10	8.167	0.00408
1/3/2020	14:30:14	27.5	1.7720	17.32	30.681	0.01534
1/3/2020	15:0:15	28.0	0.6851	7.03	4.812	0.00241
1/3/2020	15:30:14	26.0	0.5519	5.68	3.132	0.00157
1/3/2020	16:0:14	23.5	0.2459	2.80	0.687	0.00034
1/3/2020	16:30:14	21.5	0.3094	3.32	1.027	0.00051
1/3/2020	17:0:14	22.5	0.5943	6.17	3.664	0.00183
1/3/2020	17:30:14	23.0	0.2635	2.94	0.773	0.00039

1/3/2020	18:0:14	21.0	0.0607	0.90	0.055	0.00003
1/3/2020	18:30:14	19.0	0.0000	0.03	0.000	0.00000

3.2 Comparación y análisis de la producción energética obtenida de los sistemas con y sin espejos.

Ya procesado los datos de un día del mes marzo

Tabla 9: Datos procesados durante un día 5/3/20.

Fecha:	5/3/2020	PANEL 1 CON ESPEJOS				PANEL 2 SIN ESPEJOS					
Hora	Temperatura °C	Corriente A	Voltaje V	Potencia W	Energía kWh	Temperatura °C	Corriente A	Voltaje V	Potencia W	Energía kWh	
6:00	18.5	0.0000	0.00	0.000	0.00000	16.0	0.0000	0.00	0.000	0.00000	
6:30	15.0	0.0000	0.04	0.000	0.00000	12.5	0.0000	0.02	0.000	0.00000	
7:00	15.5	0.0316	0.60	0.019	0.00001	13.0	0.0079	0.58	0.005	0.00000	
7:30	22.5	0.9442	9.64	9.097	0.00455	14.5	0.4940	5.39	2.663	0.00133	
8:00	26.0	0.3275	3.58	1.171	0.00059	16.5	0.3219	3.69	1.188	0.00059	
8:30	32.5	1.3173	12.99	17.112	0.00856	20.5	1.0650	10.58	11.262	0.00563	
9:00	43.5	0.7266	7.28	5.290	0.00264	23.5	0.8950	8.88	7.947	0.00397	
9:30	41.5	1.5034	14.82	22.280	0.01114	23.5	1.2290	12.21	15.000	0.00750	
10:00	37.0	0.8575	8.65	7.413	0.00371	22.0	0.7926	8.10	6.420	0.00321	
10:30	34.0	0.8536	8.61	7.349	0.00367	22.5	0.8016	8.14	6.525	0.00326	
11:00	39.5	1.6768	16.47	27.609	0.01380	27.0	1.5455	15.14	23.391	0.01170	
11:30	37.0	0.4772	4.88	2.329	0.00116	26.5	0.4660	4.91	2.288	0.00114	
12:00	30.5	0.6294	6.39	4.022	0.00201	22.5	0.6372	6.58	4.193	0.00210	
12:30	34.0	0.7598	7.58	5.755	0.00288	24.0	0.7674	7.67	5.882	0.00294	
13:00	34.0	0.7676	7.71	5.918	0.00296	23.5	0.7555	7.71	5.825	0.00291	
13:30	35.0	1.8562	18.25	33.865	0.01693	26.0	1.8041	17.60	31.751	0.01588	
14:00	36.5	0.7273	7.34	5.338	0.00267	27.5	0.8804	8.89	7.822	0.00391	
14:30	37.0	0.9472	9.49	8.988	0.00449	25.5	0.8810	8.94	7.876	0.00394	
15:00	34.5	0.6763	6.89	4.656	0.00233	26.5	0.6598	6.79	4.480	0.00224	
15:30	33.0	0.3688	3.88	1.429	0.00071	25.0	0.3964	4.23	1.675	0.00084	
16:00	31.0	0.3184	3.36	1.070	0.00053	23.5	0.2678	3.05	0.817	0.00041	
16:30	27.5	0.0857	1.06	0.091	0.00005	21.5	0.1183	1.59	0.187	0.00009	
17:00	24.0	0.0822	0.99	0.081	0.00004	20.5	0.0866	1.25	0.108	0.00005	
17:30	23.5	0.0208	0.38	0.008	0.00000	20.0	0.0121	0.52	0.006	0.00000	
18:00	22.5	0.0000	0.13	0.000	0.00000	19.0	0.0000	0.19	0.000	0.00000	
18:30	21.0	0.0000	0.00	0.000	0.00000	18.0	0.0000	0.00	0.000	0.00000	
Total de energía al día (kWdia):					0.08544	Total de energía al día (kWdia):					0.07366

Tabla 10: Análisis de la producción durante 1 día 5/3/2020

Análisis del día				5/3/2020
	PANEL 1	PANEL 2	DIFERENCIA	16.01 % AUMENTO DE PRODUCCIÓN
ENERGIA:	0.08544 kWh	0.07366 kWh	0.01179 kWh	

Los datos fueron recopilados en una MicroSD y luego procesados en Excel. Las curvas que se obtuvieron después del procesamiento de los datos tomados durante 4 meses se muestran en la sección 3.3, 3.4 y 3.5.

3.3 Análisis diario del sistema con y sin espejos.

3.3.1 Energía vs Tiempo.

En la ilustración 39 se muestra los resultados del 5/3/2020, donde se puede observar que el panel con espejos (curva celeste) alcanza una máxima energía de 16.93Wh, en el panel sin espejos (curva naranja) se obtiene la máxima energía de 15.87Wh tomando en cuenta que la mayor radiación del sol se da a la 13H30 para los dos paneles.

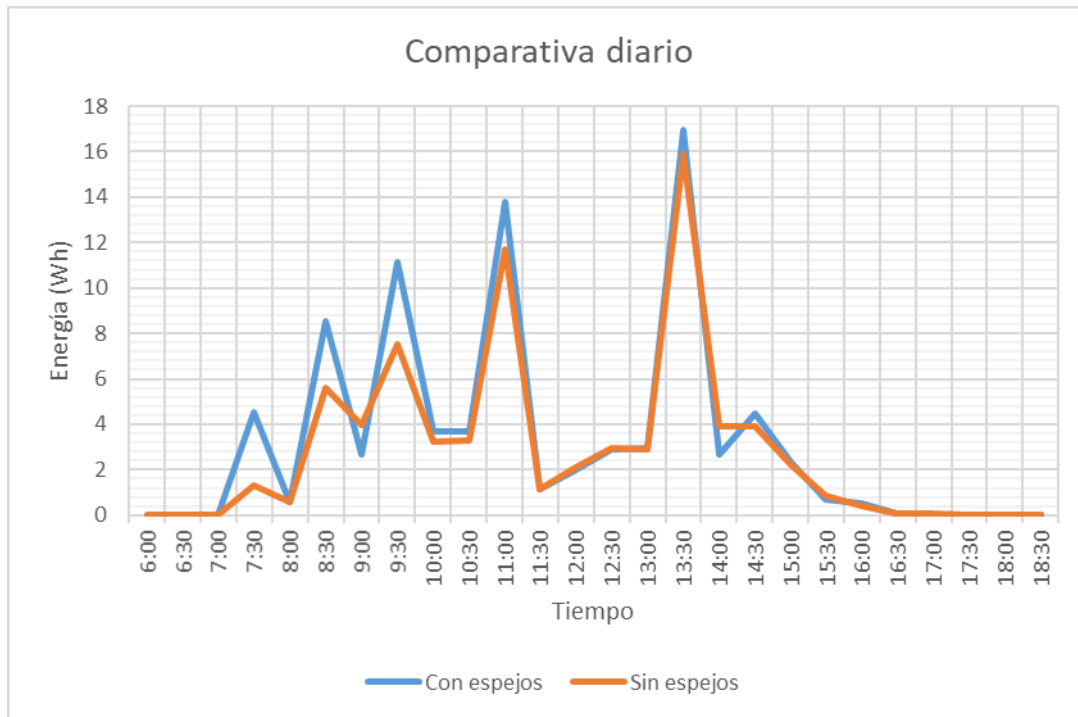


Ilustración 39: Niveles de energía vs tiempo del día 5/3/2020.

3.3.2 Potencia vs Tiempo.

En la ilustración 40 se muestra los resultados del 5/3/2020, donde se puede observar que el panel con espejos (curva celeste) alcanza una máxima potencia de 33.86W, en el panel sin espejos (curva naranja) se obtiene la máxima potencia de 31.75W tomando en cuenta que la mayor radiación del sol se da a la 13H30 para los dos paneles.



Ilustración 40: Niveles de potencia vs tiempo del día 5/3/2020.

3.3.3 Temperatura vs Tiempo.

En la ilustración 41 se muestra los resultados del 5/3/2020, donde se puede observar que el panel con espejos (curva celeste) alcanza una máxima temperatura de 43.50°C , en el panel sin espejos (curva naranja) se obtiene la máxima temperatura de 27.50°C tomando en cuenta que la mayor radiación del sol se da a la 11H30 para los dos paneles.



Ilustración 41: Niveles de temperatura vs tiempo del día 5/3/2020.

3.3.4 Voltaje vs Tiempo.

En la ilustración 42 se muestra los resultados del 5/3/2020, donde se puede observar que el panel con espejos (curva celeste) alcanza un máximo voltaje de 18.24V, en el panel sin espejos (curva naranja) se obtiene el máximo voltaje de 17.60V tomando en cuenta que la mayor radiación del sol se da a la 13H30 para los dos paneles.



Ilustración 42: Niveles de voltaje vs tiempo del día 5/3/2020.

3.3.5 Corriente vs Tiempo.

En la ilustración 43 se muestra los resultados del 5/3/2020, donde se puede observar que el panel con espejos (curva celeste) alcanza una máxima corriente es de 1.85A, en el panel sin espejos (curva naranja) se obtiene la máxima corriente es de 1.80A tomando en cuenta que la mayor radiación del sol se da a la 13H30 para los dos paneles.

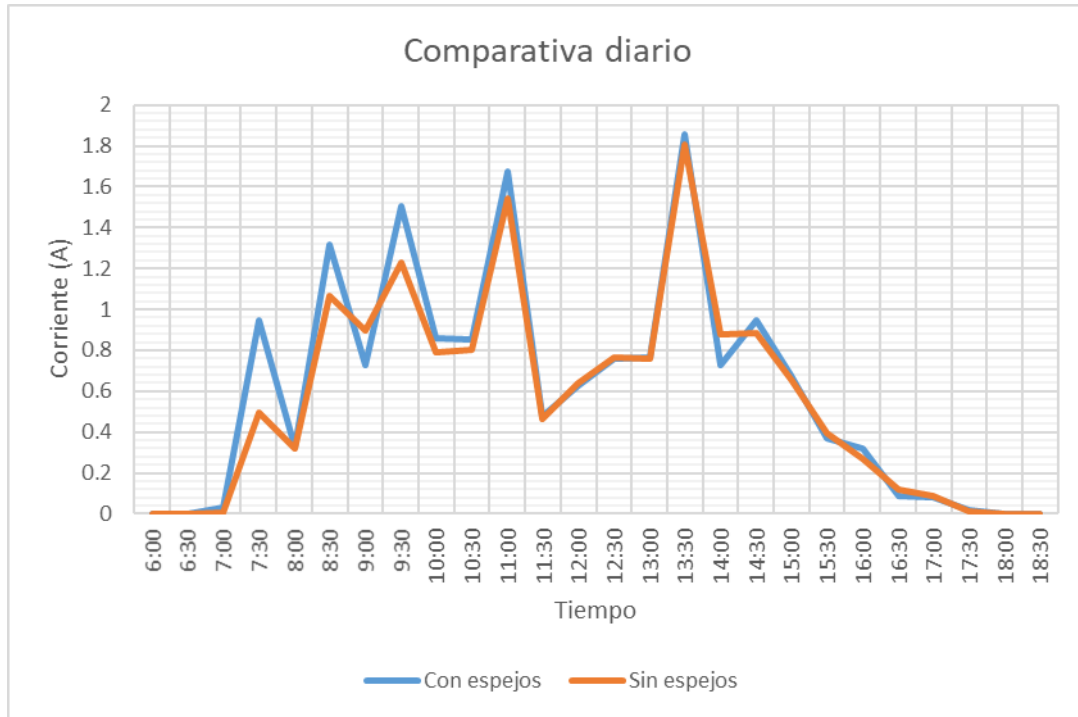


Ilustración 43: Niveles de corriente vs tiempo del día 5/3/2020.

3.4 Análisis mensual del sistema con espejos

3.4.1 Energía vs Tiempo.

En la ilustración 49 se puede observar los resultados obtenidos del panel 1 donde la máxima energía se dio en el mes de marzo, llegando a pico de 250Wh, tomando en cuenta que la mayor radiación de sol se da entre las 11H00 a 12H00, en el mes de abril se observa que la energía máxima llega 215Wh cerca del mediodía, en mayo se puede ver como la máxima energía es de 250Wh a las 13H30, en el mes junio se observa la máxima energía 230Wh a las 11H00.

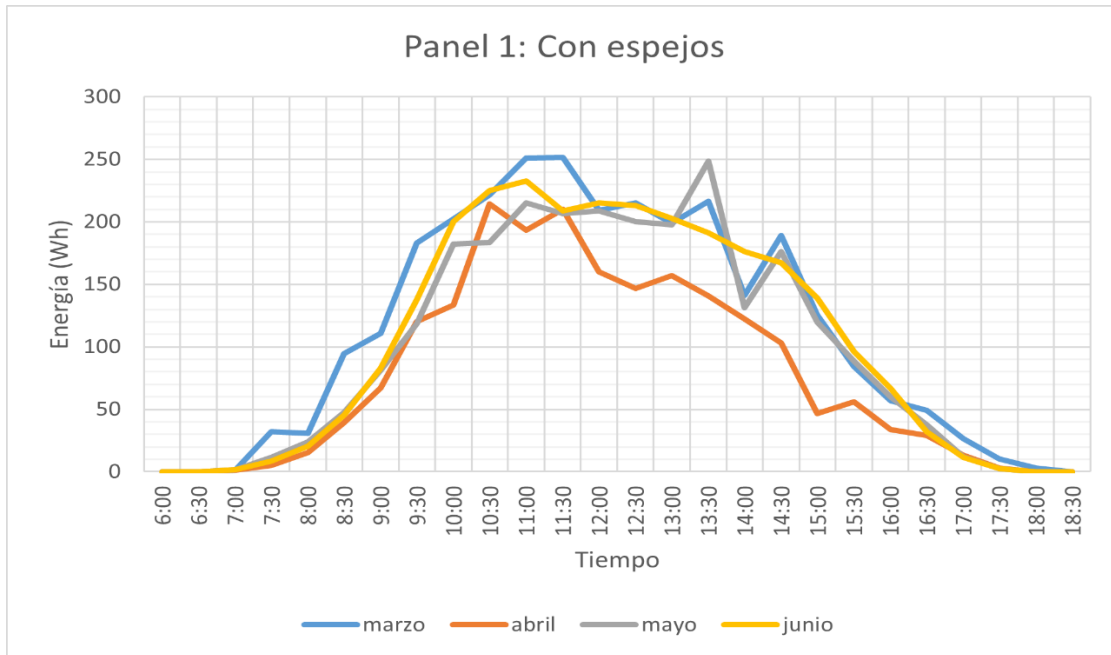


Ilustración 44: Niveles de Energía vs tiempo.

3.4.2 Potencia vs Tiempo

Según los resultados obtenidos con las pruebas realizadas se observa que en el mes de marzo la máxima potencia es 500W a las 11H00, en mes de abril se observa que la máxima potencia llega 430W en la hora 10H30, en el mes de mayo se puede ver como la máxima potencia es de 500W a las 13H30, en el mes junio se observa la máxima potencia es 450W a las 11H00.

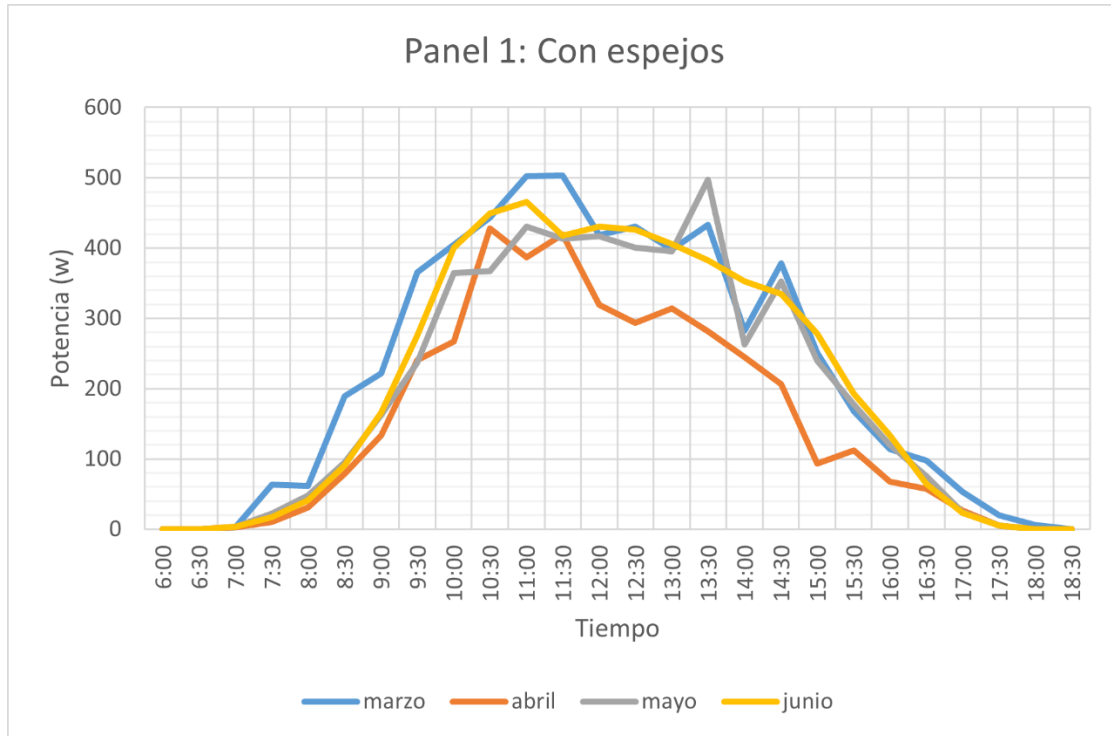


Ilustración 44: Niveles de Potencia vs tiempo

3.4.3 Temperatura vs Tiempo

Según los resultados obtenidos con las pruebas realizadas se observa que durante el mes de marzo existe una máxima temperatura 45°C a las 11H30, en mes de abril se observa que la máxima temperatura llega 41°C en la hora 11H00, en el mes de mayo se puede ver como la máxima temperatura es de 35°C a las 12H00, en el mes junio se observa la máxima temperatura 35°C a las 12H00.

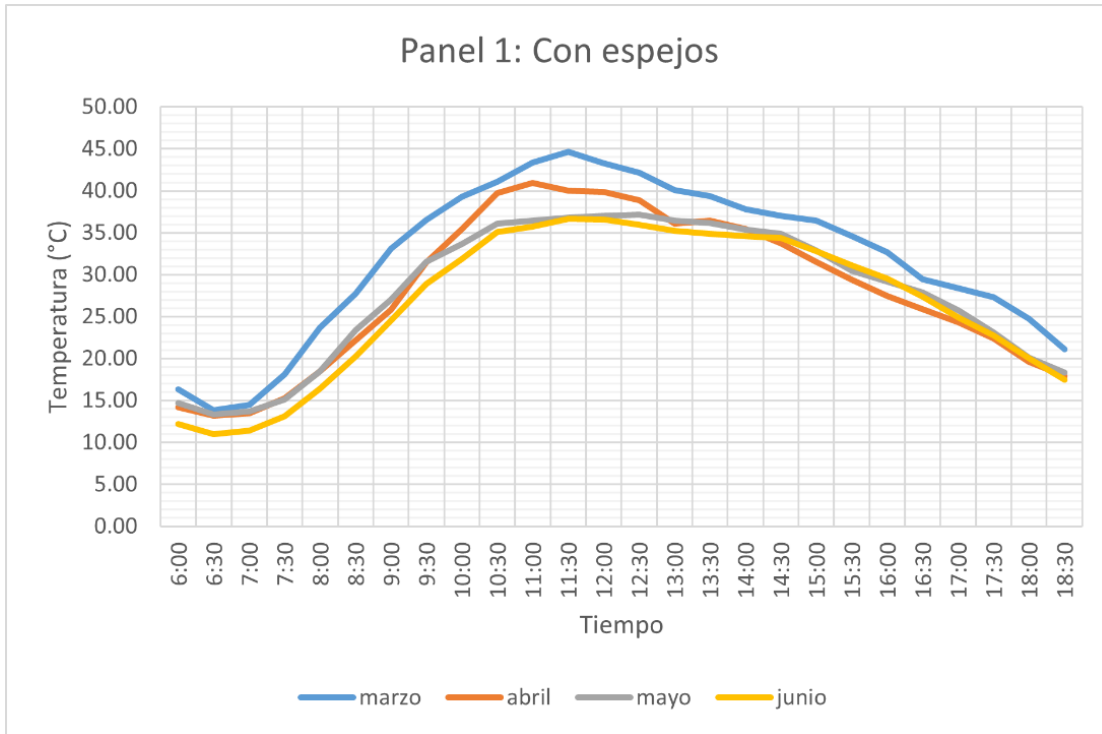


Ilustración 45: Niveles de temperatura vs tiempo.

3.4.4 Voltaje vs Tiempo

Según los resultados obtenidos con las pruebas realizadas en el mes de marzo se observa que existe un máximo voltaje 11.86V a las 11H00, en el mes de abril se observa que el máximo voltaje llega 11.26V a las 11H00, en el mes de mayo se puede ver como el máximo voltaje es de 11.55V a las 13H30, en el mes junio se observa el máximo voltaje 11.26V a las 11H00.

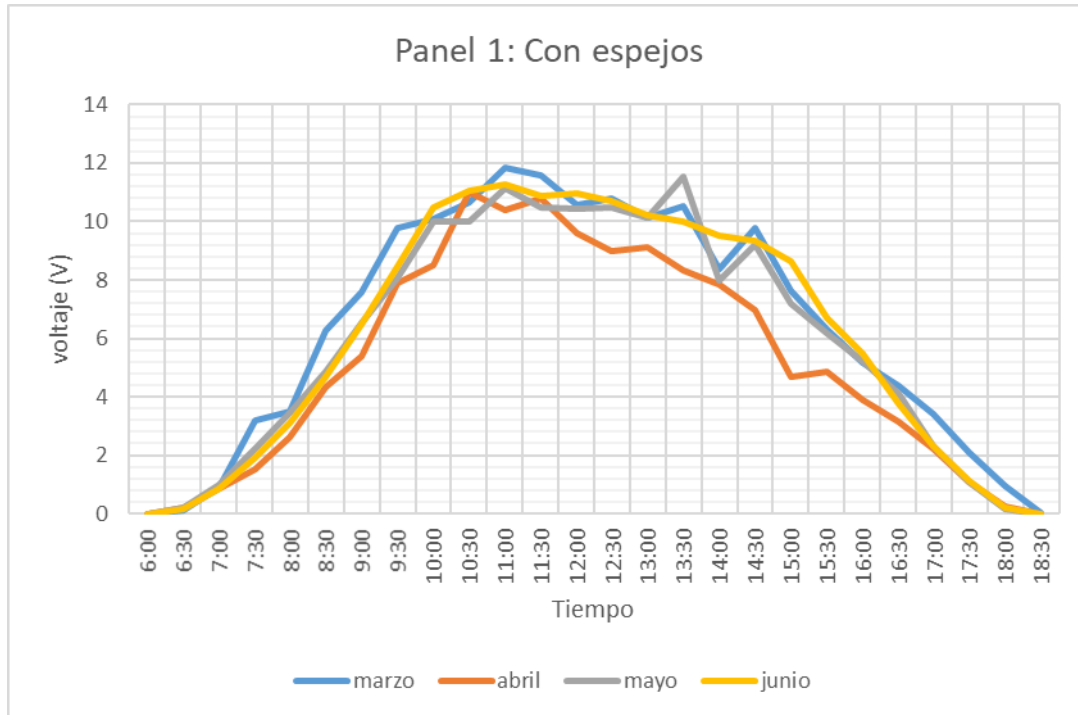


Ilustración 46: Niveles de voltaje vs tiempo.

3.4.5 Corriente vs Tiempo

Según los resultados obtenidos con las pruebas realizadas se observa que existe una máxima corriente en el mes de marzo de 1.19A a las 11H30, en mes de abril se observa que la máxima corriente llega 1.09A en la hora 11H30, en el mes de mayo se puede ver como máxima corriente es de 1.17A a las 13H30, en el mes junio se observa la corriente máxima 1.14A a las 11H00.

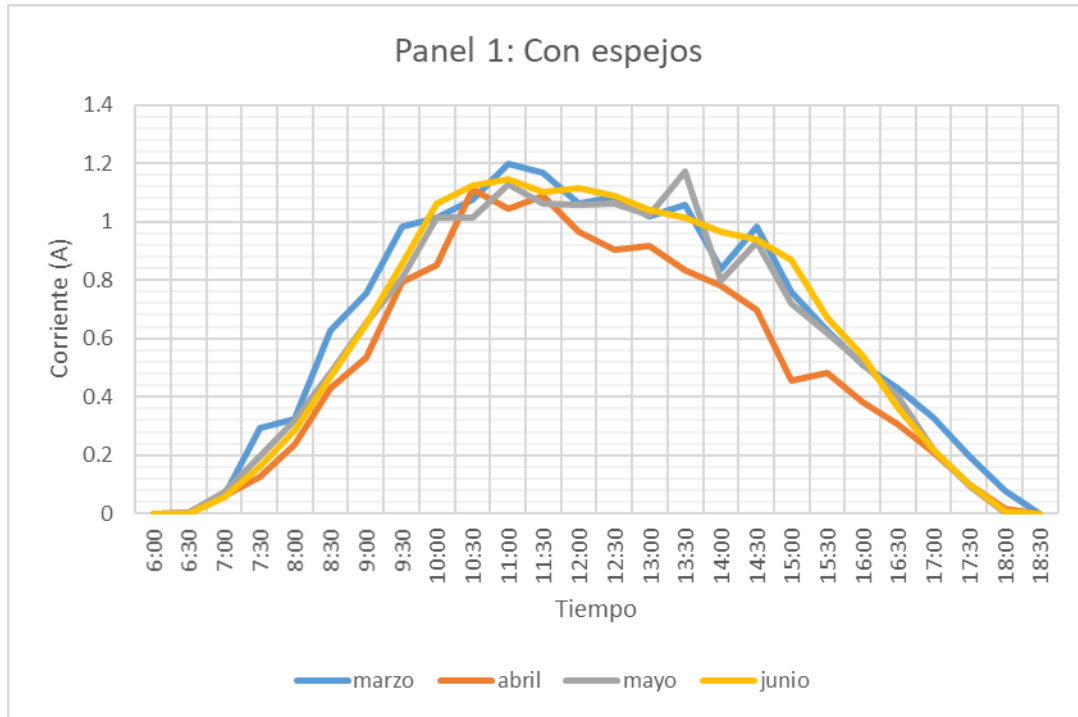


Ilustración 47: Niveles de corriente vs tiempo.

3.5 Análisis mensual del sistema sin espejos

3.6.1 Energía vs Tiempo

En la ilustración 54 se puede observar los resultados obtenidos del panel 2 que la máxima energía se dio en el mes de marzo ya que llega a un máximo de 250Wh, tomando en cuenta que la mayor demanda de sol se da durante el horario de 11H00 a 14H00, en el mes de abril se observa que la energía máxima llega 200Wh en la hora 11H00, en el mes de mayo se puede ver como la energía máxima es de 220Wh a las 11H00, en el mes junio se observa la energía máxima 230Wh a las 11H00 cada uno de los meses varia debió a los cambios climáticos.

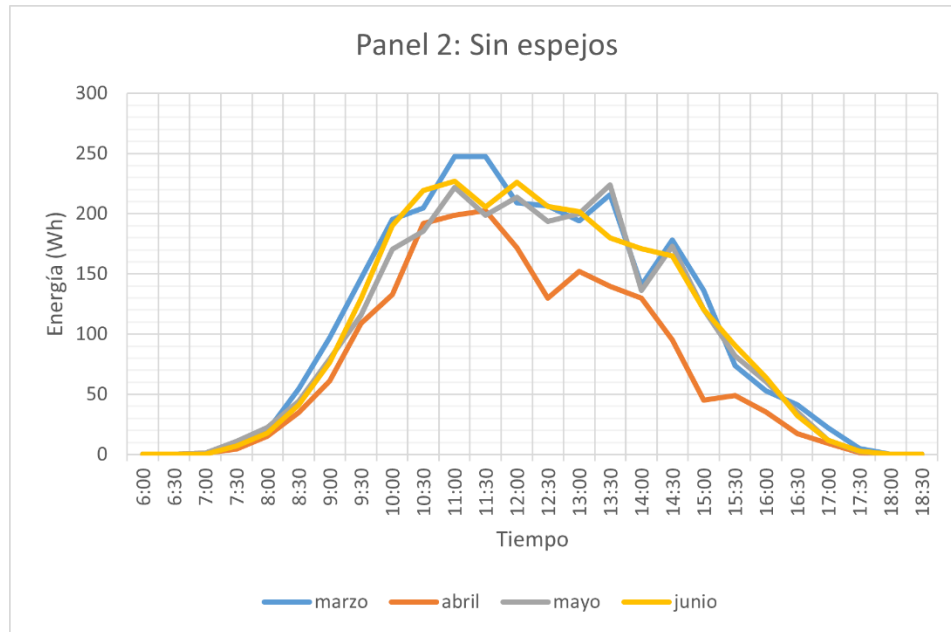


Ilustración 48: Niveles de Energía vs tiempo

3.6.2 Potencia vs Tiempo

Según los resultados obtenidos con las pruebas realizadas se observa que en el mes de marzo existe un aumento considerable a las 10H30 A 11H30 podemos ver como los datos van aumentando hasta llegar a un punto máximo que es 500 W, en mes de abril se observa que la máxima potencia llega 400W en la hora 11H30, en el mes de mayo se puede ver como la máxima potencia es de 450w a las 10H30, en el mes junio se observa la potencia máxima 450W a las 10H30.

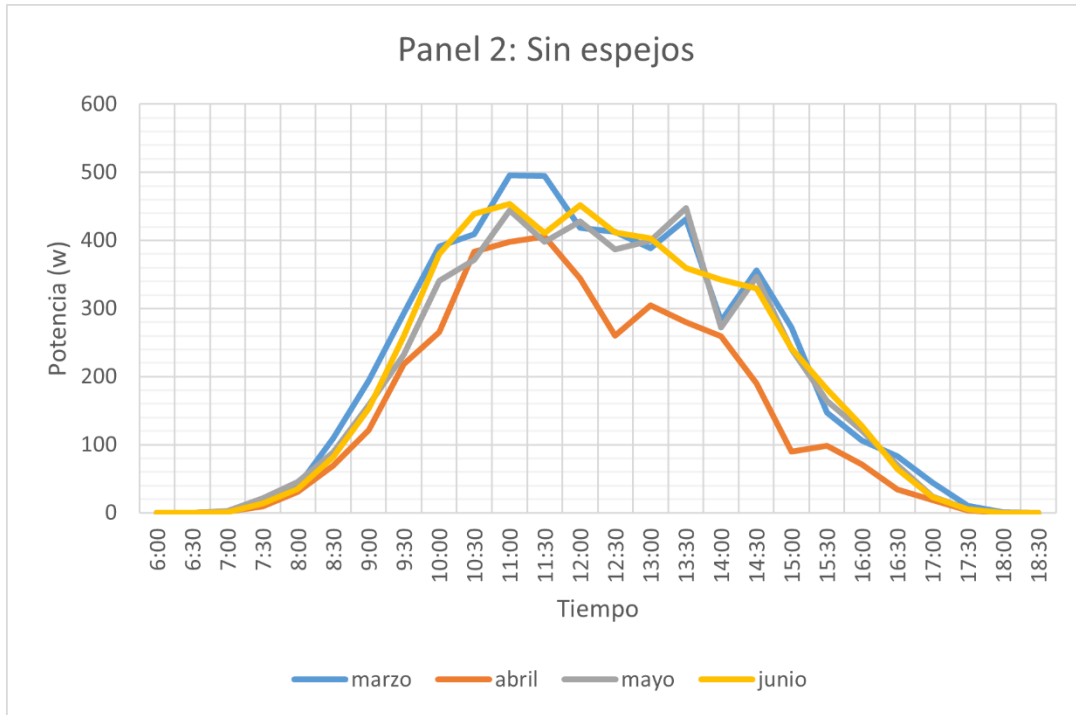


Ilustración 49: Niveles de Potencia vs tiempo

3.6.3 Temperatura vs Tiempo

Según los resultados obtenidos con las pruebas realizadas se observa que durante el mes de marzo existe una temperatura máxima 30°C a las 11H30, en mes de abril se observa que la temperatura máxima llega 27°C en la hora 11H00, en el mes de mayo se puede ver como la temperatura máxima es de 27°C a las 11H00, en el mes junio se observa la temperatura máxima 27°C a las 12H00.

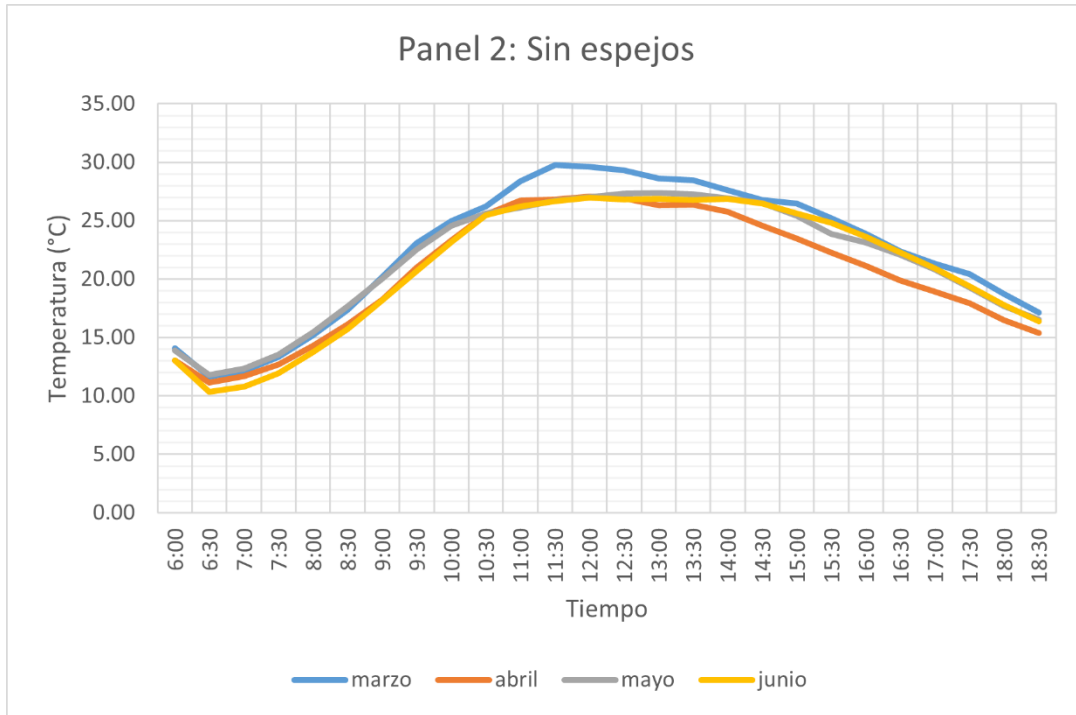


Ilustración 50: Niveles de temperatura vs tiempo.

3.6.4 Voltaje vs Tiempo

Según los resultados obtenidos con las pruebas realizadas en el mes de marzo se observa que existe un aumento considerable a las 11H00 podemos ver como los datos van aumentado hasta llegar a un punto máximo que es 11.79V, en el mes de abril se observa que el voltaje máximo llega 10.92V en la hora 10H30, en el mes de mayo se puede ver como el voltaje máxima es de 11.13V a las 11H00, en el mes junio se observa el voltaje máxima 11.20V a las 12H00.

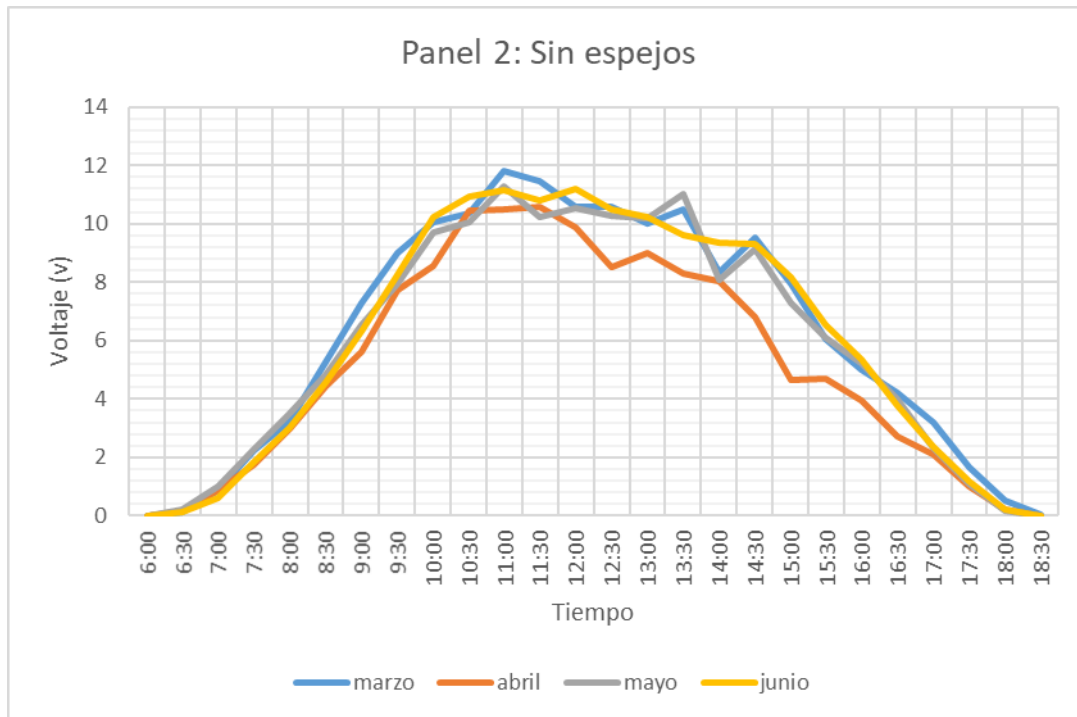


Ilustración 51: Niveles de voltaje vs tiempo.

3.6.5 Corriente vs Tiempo

Según los resultados obtenidos con las pruebas realizadas se observa que existe un aumento considerable a las 11H30 podemos ver como los datos van aumentando hasta llegar a un punto máximo que es 1.19A, en mes de abril se observa que la corriente máxima llega 1.09A en la hora 12H00, en el mes de mayo se puede ver como corriente máxima es de 1.11A a las 11H30, en el mes junio se observa la energía máxima 1.13A a las 12H00.

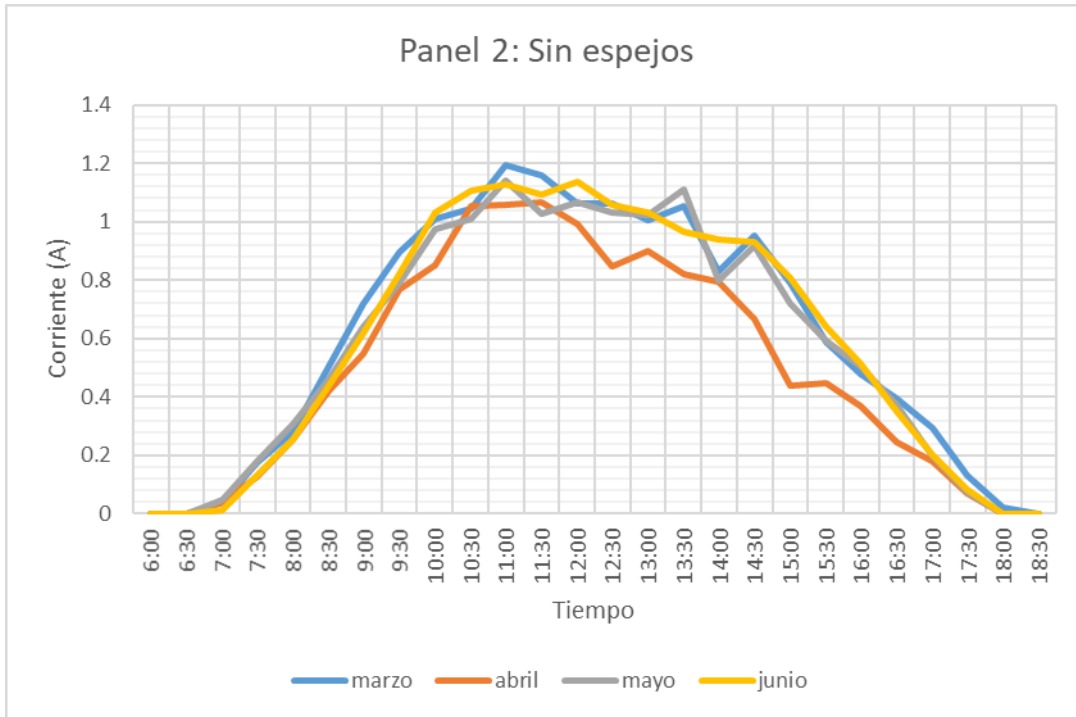


Ilustración 52: Niveles de corriente vs tiempo.

3.7 Comparación mensual de los dos sistemas

En la tabla 11 se puede observar la generación de la energía de los paneles solares en cada mes en kWh se puede verificar como en el mes de marzo tenemos una ganancia de energía de 0,2068 kWh, en el mes de abril una ganancia de 0,0827 kWh, en el mes de mayo una ganancia de 0,0516 kWh y en el mes de junio una ganancia de 0,0948 kWh, en total se tiene una ganancia de 0,4359 kWh.

Tabla 11: Generación mensual del panel 1y 2

Generación Mensual del Panel

	Con espejo	Sin espejo
	Energía (kWh)	Energía (kWh)
Marzo	2,9045	2,6977
Abril	2,0104	1,9277
Mayo	2,5550	2,5034
Junio	2,6787	2,5839
Total	10,1486	9,7127

En la tabla 12 se observa el comportamiento de los paneles durante cada semana del 10 al 27 del año 2020, y se obtiene un total de energía del panel con espejo de 10,1486 kWh y sin espejo de 9,7127 kWh

Tabla 12: Generación semanal del panel

Generación Semanal del Panel

	Con espejo	Sin espejo
	Energía (kWh)	Energía (kWh)
Marzo	2,9045	2,6977
10	0,3961	0,3712
11	0,5032	0,4735
12	0,9964	0,9232
13	0,8921	0,8104
14	0,1166	0,1193
Abril	2,0104	1,9277
14	0,1715	0,1616
15	0,5270	0,4866
16	0,4469	0,4323
17	0,6064	0,5956
18	0,2587	0,2516
Mayo	2,5550	2,5034
18	0,0887	0,0848
19	0,6121	0,6010
20	0,6171	0,6204
21	0,5682	0,5383
22	0,6093	0,5975
23	0,0597	0,0613
Junio	2,6787	2,5839
23	0,5643	0,5483
24	0,8832	0,8523
25	0,3966	0,3673
26	0,5745	0,5656
27	0,2602	0,2505
Total	10,1486	9,7127

En la ilustración 53 se observa el comportamiento de la curva de la energía del panel 1 y panel 2 del mes de marzo, el panel con espejo tiene ganancia mínima desde las 7H00 hasta 11h00.

En este mes se obtuvo un incremento de producción de energía de 7.67 % más con respecto al panel sin espejos.

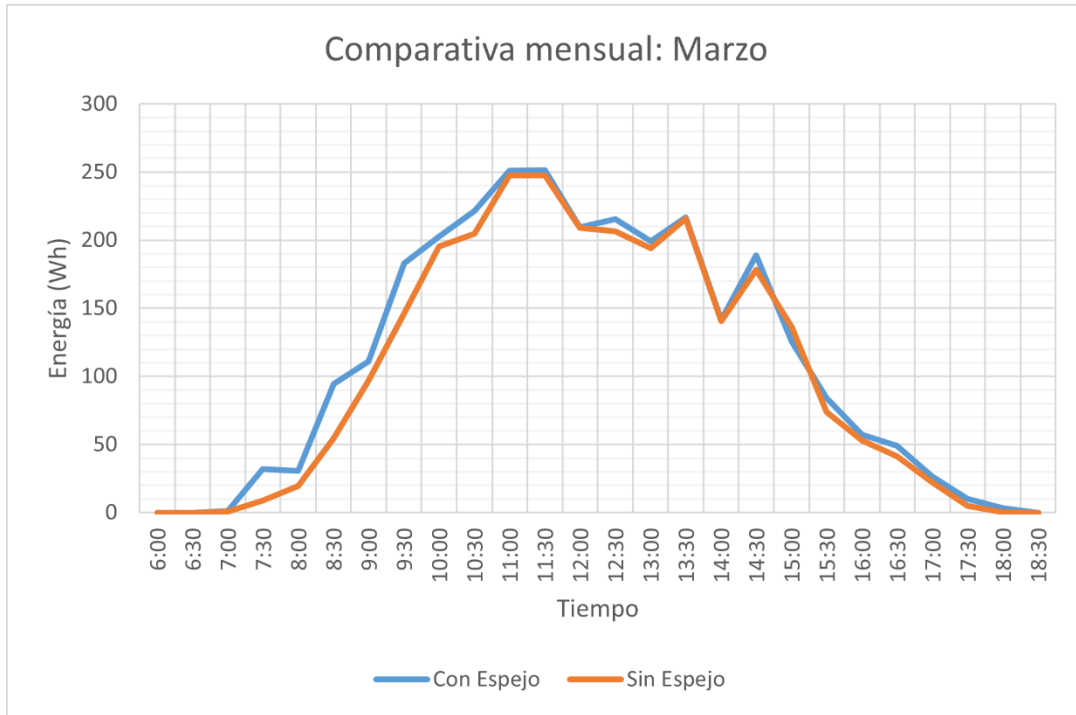


Ilustración 53: Niveles de Energía Marzo.

En la ilustración 54 se observa el comportamiento de la curva de la energía del panel 1 y panel 2 del mes de abril, visualizamos que el pico mayor de energía es de 10H00 a 12H00 ya que en ese momento tenemos más influencia del sol.

En este mes se obtuvo un incremento de producción de energía de 4.29% más con respecto al panel sin espejos.

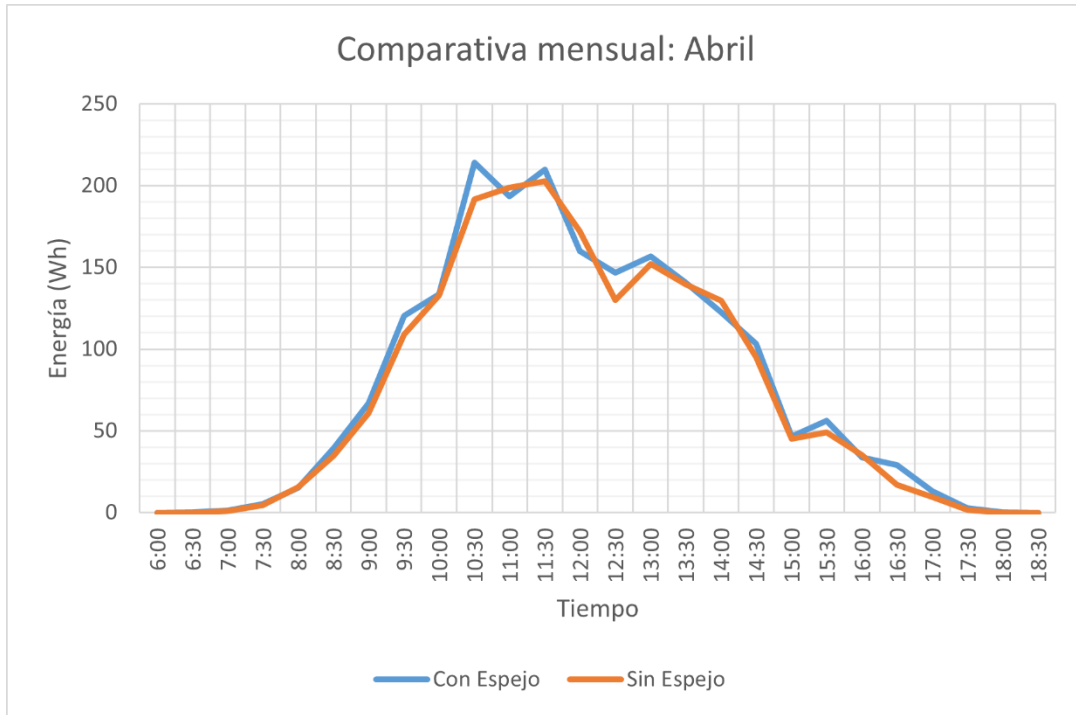


Ilustración 54: Niveles de Energía Abril

En la ilustración 55 se observa el comportamiento de la curva de la energía del panel 1 y panel 2 del mes de mayo, visualizamos que el pico mayor de energía es de 12H30 a 13H30 ya que en ese momento hay más radiación solar.

En este mes se obtuvo un incremento de producción de energía de 2.06 % más con respecto al panel sin espejos.

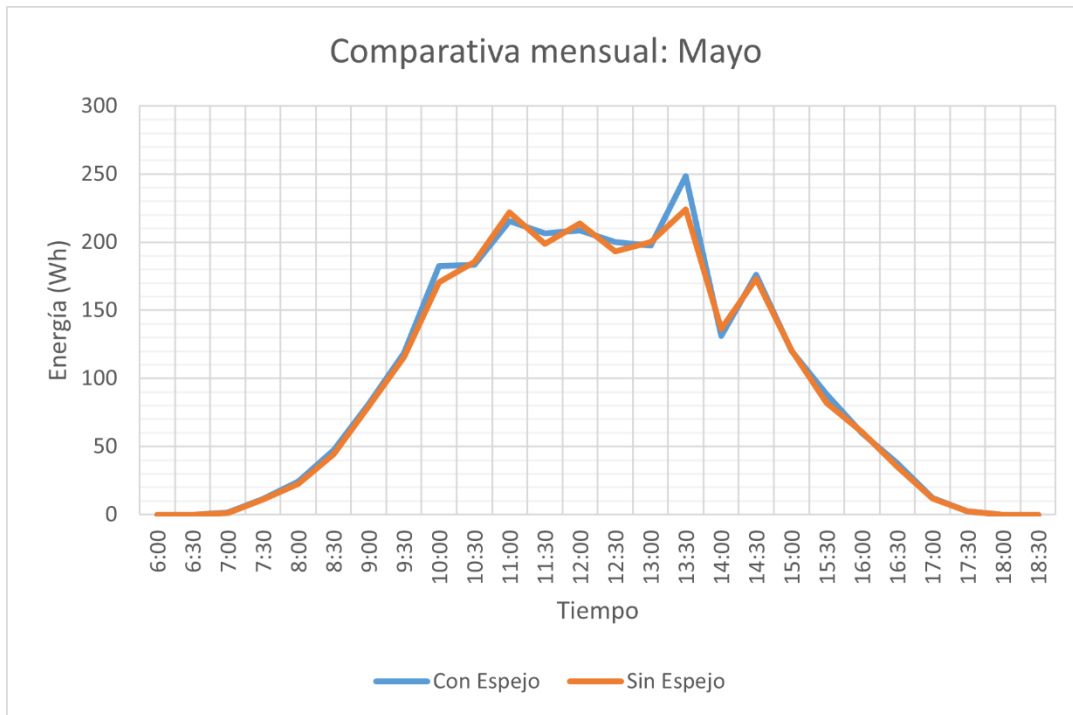


Ilustración 55: Niveles de energía mayo

En la ilustración 56 se observa el comportamiento de la curva de la energía del panel 1 y panel 2 del mes de junio, visualizamos que el pico mayor de energía es a las 11H30 ya que en ese momento hay más radiación solar.

En este mes se obtuvo un incremento de producción de energía de 3.67% más con respecto al panel sin espejos.

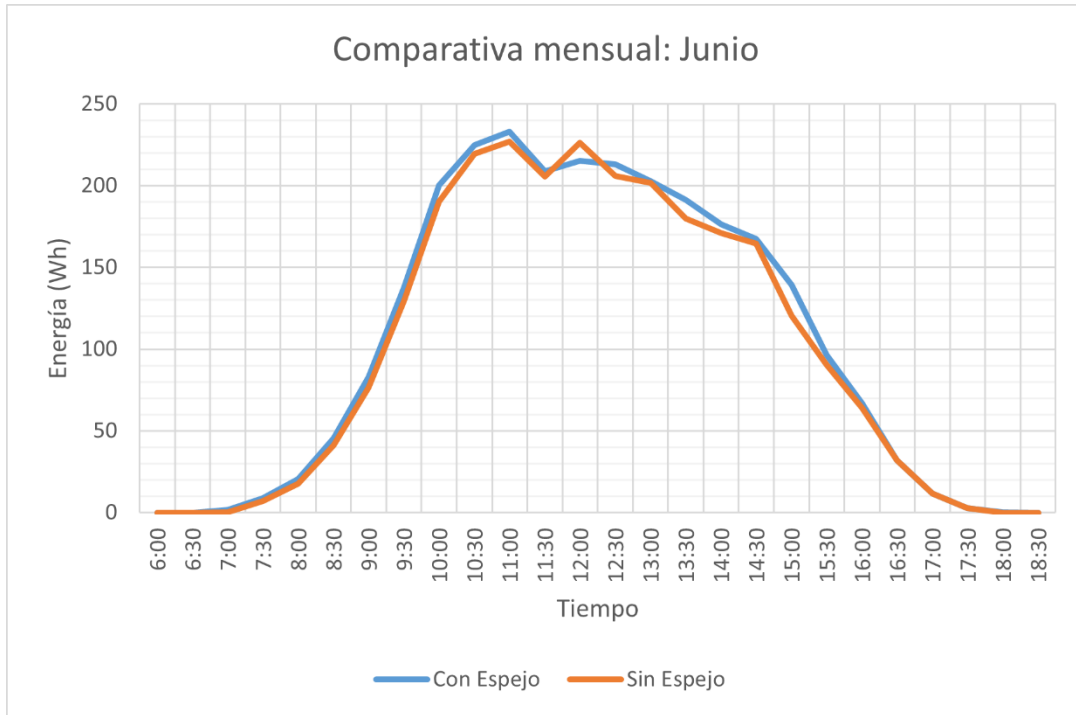


Ilustración 56: Niveles de energía Junio

3.6 Consumo de los motores

Según las características del motor usado en el proyecto se tiene que consume en movimiento 0.4 A con una tensión de 24V y en reposo 0.1 A con una tensión de 24V, con estos datos se obtiene el consumo diario de los dos estados del motor para así hacer el cálculo de la energía absorbida del sistema.

Tabla 13: Consumo de energía de los motores del proyecto.

		En movimiento	En reposo	
Tiempo diario		0.2639	21.2361	horas
Consumo diario		0.0025	0.0510	kWh
Análisis mensual				
Marzo	31	0.0785	1.5800	kWh
Abril	30	0.0760	1.5290	kWh
Mayo	31	0.0785	1.5800	kWh
Junio	30	0.0760	1.5290	kWh
SUBTOTAL:		0.3091	6.2179	kWh
TOTAL		6.5 kWh		

CAPITULO IV

A continuación, se realiza el estudio técnico económico de los dos sistemas y se analiza si es rentable o no y cuál es el tiempo del retorno de la inversión.

4.1 Estudio técnico económico del sistema dinámico de espejos propuesto.

4.1.1 Inversión inicial del proyecto.

La inversión del proyecto fue con financiación propia de los autores, en la tabla 14 se describe los costos tanto para el sistema con espejos y sin espejos y un resumen de los costos de los dos más costos de ensamblaje y programación.

Tabla 14: Costo del sistema con espejos.

Costo del sistema con espejos				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Panel solar 30W (350x670mm)	U	1	53.00	53.00
Espejo de 350x670x2	U	2	2.00	4.00
Motor de paso Nema 23 con engranaje planetario.	U	2	60.00	120.00
Controlador TB6600 4A 9-42V	U	2	8.00	16.00
Modulo Arduino Mega	U	1	12.00	12.00
Modulo MicroSD y memoria MicroSD 2GB	U	1	8.00	8.00
Sensor de Corriente ACS712	U	1	4.00	4.00
Sensor de voltaje FZ0430	U	1	3.00	3.00
Pantalla LCD y modulo 16x2	U	1	3.00	3.00
Sensor de temperatura TDH11	U	1	3.50	3.50
Estructura de soporte metálica			22.00	0.00
			Costo del sistema:	226.50

Tabla 15: Costo del sistema sin espejos

Costo del sistema sin espejos				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Panel solar 30W (350x670mm)	U	1	53.00	53.00
Sensor de Corriente ACS712	U	1	4.00	4.00
Sensor de voltaje FZ0430	U	1	3.00	3.00
Sensor de temperatura TDH11	U	1	3.50	3.50
Estructura de soporte metálica			18.00	0.00
Costo del sistema:				63.50

Tabla 16: Costo total del proyecto.

Costo del Proyecto				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Costo del sistema con espejos	Global	1	226.50	226.50
Costo del sistema sin espejos	Global	1	63.50	63.50
Costo de mano de obra ensamblaje	Global	1	150.00	150.00
Costo de programación y puesta en marcha	Global	1	60.00	60.00
Costo total del proyecto				500.00

4.2 Estudio económico del proyecto.

Se analiza los costos de la energía (kWh) que generaron los dos sistemas tanto para el panel sin espejos como para el panel con espejos, el costo se toma del pliego tarifario vigente para la categoría en el cual se encuentra la Universidad Politécnica Salesiana, tarifa comercial medio voltaje con demanda horaria.

4.3 Retorno de la inversión de los dos sistemas.

Para el cálculo del retorno de la inversión se considera los valores de energía total producida de la tabla 4 del capítulo III, la inversión inicial de la tabla 14 y 15, y el costo de la energía de la distribuidora para energía convencional siendo un costo de 0.095 USD/kWh.

Se considera los 6.5 kWh absorbidos por el sistema para el movimiento de los espejos, este valor tiene el consumo de movimiento y reposo de los motores.

Para el cálculo de periodo de retorno simple se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Periodo de retorno simple} = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Ingresos}} \quad (15)$$

Para el sistema sin espejos:

$$\text{Ingreso anual} = (\text{Energía Producida sin espejos}_{4 \text{ meses}} \times \text{Costo de Energía}) \times 3 \quad (16)$$

$$\text{Ingreso anual} = (9.713 \text{ kWh} \times 0.095 \text{ USD/kWh}) \times 3 = 2.77 \text{ USD}$$

$$\text{Periodo de retorno simple} = \frac{63.50}{2.77} = 22.924 \text{ Años}$$

Para el sistema con espejos:

Se considera el consumo de los motores con un costo de energía convencional de 0.095 USD/kWh.

$$\text{Costo de funcionamiento anual} = \text{Consumo de motores}_{4 \text{ meses}} \times \text{Costo de Energía} \times 3 \quad (17)$$

$$\text{Costo de funcionamiento anual} = 6.5 \text{ kWh} \times 0.095 \text{ USD/kWh} \times 3 = 1.85 \text{ USD}$$

$$\text{Ingreso anual} = (\text{Energía Producida con espejos}_{4 \text{ meses}} \times \text{Costo de Energía}) \times 3 \quad (18)$$

$$\text{Ingreso anual} = (10.149 \text{ kWh} \times 0.095 \text{ USD/kWh}) \times 3 = 2.89 \text{ USD}$$

$$\text{Periodo de retorno simple} = \frac{226.50}{2.89 - 1.85} = 217.788 \text{ Años}$$

Tabla 17: Resumen de retorno de la inversión

	Panel sin espejos	Panel con espejos
		Considerando consumo de energía
Tiempo de retorno	22.924	217.788
Años	22	217
Meses	11	9
Días	2	13

4.4 Posibles escenarios más rentables.

4.4.1 Retorno de la inversión sin considerar el consumo de energía del sistema.

Para este análisis no se considera los 6.5 kWh absorbidos por el sistema para el movimiento de los espejos, para el cual se tiene un retorno de la inversión en el año 78 con 4 meses.

$$\text{Energía aprovechada} = \text{Energía producida} \quad (19)$$

$$\text{Energía aprovechada} = 10.149 \text{ kWh}$$

$$\text{Ingreso anual} = (10.149 \text{ kWh} \times 0.095 \text{ USD/kWh}) \times 3 = 2.89 \text{ USD}$$

$$\text{Periodo de retorno simple} = \frac{226.50}{2.89} = 78.373 \text{ Años}$$

Tabla 18: Resumen de retorno de la inversión.

	Panel con espejos
	Sin considerar consumo de energía
	78.373
Años	78
Meses	4
Días	14

4.4.2 Retorno de la inversión considerando solo consumo de energía del movimiento del motor.

Para este análisis se considera solo el consumo de energía durante el funcionamiento del motor para mover los espejos, ya que el motor que se utilizó consume una cantidad mínima de energía en reposo y en este análisis se desprecia este parámetro, para el cual se tiene un retorno de la inversión en el año 14 con 8 meses.

Se considera el consumo de los motores con un costo de energía convencional de 0.095 USD/kWh.

$$\text{Costo de funcionamiento anual} = \text{Consumo de motores}_{4 \text{ meses}} \times \text{Costo de Energía} \times 3 \quad (20)$$

$$\text{Costo de funcionamiento anual} = 0.3091 \text{ kWh} \times 0.095 \text{ USD/kWh} \times 3 = 0.088 \text{ USD}$$

$$\text{Ingreso anual} = (\text{Energía Producida con espejos}_{4 \text{ meses}} \times \text{Costo de Energía}) \times 3 \quad (21)$$

$$\text{Ingreso anual} = (10.149 \text{ kWh} \times 0.095 \text{ USD/kWh}) \times 3 = 2.89 \text{ USD}$$

$$\text{Periodo de retorno simple} = \frac{226.50}{2.89 - 0.088} = 80.8351 \text{ Años}$$

Tabla 19: Resumen de retorno de la inversión solo con perdidas de movimientos.

	Panel con espejos
	Con consumo de energía solo de movimiento
	80.8351
Años	80
Meses	10
Días	0

4.5 VAN y TIR del proyecto.

Para el cálculo tanto del VAN (Valor actualizado neto) como el TIR (Tasa interna de retorno) se realiza el flujo de caja para una vida útil de 25 años de los paneles solares.

Tabla 20: Flujo de Caja del proyecto.

Flujo de caja				
Vida útil del panel	Panel sin espejos	Panel con espejos	Panel con espejos	Panel con espejos
		Sin consumo energía	Con consumo Energía	Solo consumo energía movimiento
	USD	USD	USD	USD
Año 0	-63.5	-226.5	-226.5	-226.5
Año 1	2.77	2.89	1.03	2.80
Año 2	5.54	5.78	4.54	5.73
Año 3	8.30	8.68	6.82	8.59
Año 4	11.07	11.57	9.09	11.45
Año 5	13.84	14.46	11.36	14.31
Año 6	16.61	17.35	13.63	17.18
Año 7	19.38	20.25	15.91	20.04
Año 8	22.15	23.14	18.18	22.90
Año 9	24.91	26.03	20.45	25.77
Año 10	27.68	28.92	22.72	28.63
Año 11	30.45	31.82	25.00	31.49
Año 12	33.22	34.71	27.27	34.36
Año 13	35.99	37.60	29.54	37.22
Año 14	38.75	40.49	31.81	40.08
Año 15	41.52	43.39	34.08	42.94
Año 16	44.29	46.28	36.36	45.81
Año 17	47.06	49.17	38.63	48.67
Año 18	49.83	52.06	40.90	51.53
Año 19	52.59	54.95	43.17	54.40
Año 20	55.36	57.85	45.45	57.26
Año 21	58.13	60.74	47.72	60.12
Año 22	60.90	63.63	49.99	62.99
Año 23	63.67	66.52	52.26	65.85
Año 24	66.44	69.42	54.53	68.71
Año 25	69.20	72.31	56.81	71.57

Se considera una tasa de interés de 21.52% tomando en cuenta para realizar el proyecto se podría realizar un microcrédito minorista para el sector de la economía popular y solidaria, dichos datos se obtienen de las tasas de interés referenciales del Banco Central del Ecuador para el año 2021[22].

Tabla 21: VAN y TIR del proyecto.

	Panel sin espejos	Panel con espejos	Panel con espejos	Panel con espejos
		Sin consumo	Con consumo energía	Solo consumo energía solo movimiento
Tasa interés	21.52%	21.52%	21.52%	21.52%
VAN	6.12	-153.76	-170.37	-154.54
TIR	22.74%	9.84%	7.87%	9.75%

Se obtiene un VAN positivo para el primer caso del sistema sin espejos y con un TIR mayor a la tasa de interés por lo que se considera que es rentable el proyecto. Pero para el caso de con espejos se obtiene un VAN negativo y con un TIR menor a la tasa de interés lo cual el proyecto no es rentable.

Considerando los escenarios sin consumo de energía y con solo consumo de energía de movimiento de los motores, se tiene en ambos casos un VAN negativo y una TIR menor a la tasa de interés por lo que el proyecto no es rentable en ningún caso.

5. CONCLUSIONES

La energía solar fotovoltaica es uno de los recursos con más futuro de las energías renovables en el mundo. Tiene ventajas como de que no es contaminante con el medio ambiente, no tiene muchos componentes y no necesita demasiado mantenimiento.

Los paneles solares pueden ser instalados sobre edificios o viviendas ya construidos, pueden producir su energía eléctrica de manera silenciosa y confiable. No produce residuos y no genera ruido

Al finalizar el experimento se obtuvo un total de energía acumulada de 10.148 kWh para el sistema con espejos y 9.712 kWh para el sistema sin espejos, obteniendo una ganancia de 0.436 kWh sin considerar el consumo de energía de los motores, en porcentaje se obtuvo el 4.48% más de producción de energía.

Considerando las pérdidas de energía debido al consumo de los motores para el sistema con espejos la energía aprovechable es de 3.621 kWh lo cual en porcentaje se consumió 62.71% de energía con respecto al sistema sin espejos, haciendo otro análisis despreciando el consumo de energía de los motores en reposo se tiene una ganancia de 0.126 kWh, en porcentaje se obtuviera el 1.30% más de producción de energía.

Al implementar el sistema de espejos, se afectó la temperatura de la superficie del panel, para el sistema sin espejos se registró una temperatura mensual máxima de 29.74°C y para el sistema con espejos de 44.65°C, teniendo un incremento de 14.91°C, en porcentaje 50.13% en el mes de marzo, y dentro de este mes en el análisis de temperatura diaria se registró el día 27/03/2020 una temperatura máxima de 58°C para el sistema con espejos y de 34°C para el sistema sin espejos, lo cual se tiene un incremento de 24°C siendo el 70% más, debido a esto bajo la potencia del panel en ese instante teniendo una decaída de 0.234 W que sería el 0.80 % de pérdida debido a la temperatura.

El sistema propuesto para el análisis de la producción de energía fotovoltaica mediante el uso de espejos en configuración dinámica no es rentable por tasa de retorno de la inversión es grande y un valor negativo del VAN, esto se debe a varios factores como a la pérdida de energía consumida por el sistema de motores para el movimiento de los espejos, al costo muy reducido del kWh de energía convencional, y también debido al incremento de la temperatura de la superficie del panel el cual reduce la producción de energía y con esto reduce la vida útil del panel que ya de fábrica viene de 25 años lo cual no favorece para la recuperación de la inversión a corto plazo del sistema con espejos.

6. RECOMENDACIONES

Antes de instalar los paneles solares se recomienda comprobar que funcionen correctamente, revisando su voltaje y corriente sean los dados por el fabricante en las especificaciones técnicas. Ya que cuando se instalan en el tejado de una vivienda se da más difícil el acceso para revisiones técnicas. Se recomienda revisar la instalación fotovoltaica y realizar mantenimiento preventivo. Considerar un motor de más torque o a su vez un motor con enclavamiento al apagado para que el eje no se mueva, con esto se evita pérdidas de energía en reposo.

Se podría implementar un sistema de enfriamiento para reducir el porcentaje de perdidas debido al incremento de la temperatura, pero se debe tener en cuenta que un método de enfriamiento también consume energía del sistema y va a incrementar la inversión inicial.

Los espejos se pueden reemplazar por algún tipo de material reflectante que sea de un material de menor peso al de un espejo para alivianar el torque de los motores.

Hay que tener en cuenta que en el Ecuador el costo de la energía convencional es muy barato y que actualmente no hay una regulación para los costos de energía con fuentes renovables, lo que afecta considerablemente el análisis económico que resulta no rentable el proyecto.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] I. N. G. Humberto, R. López, I. N. G. Rafael, and L. Puente, “Red Para El Area De Estacionamiento De La Universidad Tecnologica De Salamanca ” Para Obtener El Titulo De Maestría En Energías Renovables Presentan : Dr . José Alberto Duarte Moller Chihuahua , Chihuahua Octubre 2014,” 2014.
- [2] V. Mascarós, *Gestión de montaje de instalaciones solares fotovoltaicas*. 2016.
- [3] C. Alvarado, “Diseño y construcción de un sistema de iluminación autosustentable fotovoltaico para una parada de buses y su valla informativa del sistema integrado de transporte de Cuenca,” 2015.
- [4] M. Á. Sánchez Maza, *Energía Solar Fotovoltaica*. 2011.
- [5] E. Gómez González, “Campos Electromagnéticos – Óptica Guía Básica De Conceptos De Radiometría Y Fotometría,” pp. 1–41, 2006.
- [6] S. N. Willie, Y. Iida, and J. W. McLaren, “Determination of Cu, Ni, Zn, Mn, Co, Pb, Cd, and V in Seawater Using Flow Injection ICP-MS,” *At. Spectrosc.*, vol. 19, no. 3, pp. 67–72, 1998.
- [7] A. Bhuvanendran, V. Praful, B. S. Anjali, and J. Ramprabhakhar, “Efficient Photovoltaic Solar Panel with Mirror Actuation,” *2018 Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Informatics, ICACCI 2018*, pp. 1218–1221, 2018, doi: 10.1109/ICACCI.2018.8554453.
- [8] H. Wang, E. Oguz, B. Jeong, and P. Zhou, “Life cycle and economic assessment of a solar panel array applied to a short route ferry,” *J. Clean. Prod.*, vol. 219, pp. 471–484, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.02.124.
- [9] J. Roldan, *Necesidades energeticas y propuestas de instalaciones solares*, Paraninfo. 2011.
- [10] E. Mejia, H. Londoño, R. Osorio, and J. Carlos, “Design and Implementation of a Solar Tracking Prototype for optimize a PV system .,” 2010.
- [11] E. R. Zuhail and S. Marangozoglu, “New design for solar panel tracking system based on solar calculations,” *Midwest Symp. Circuits Syst.*, vol. 2018-Augus, pp. 1042–1045, 2019, doi: 10.1109/MWSCAS.2018.8624061.
- [12] MONAR HERRERA ANDRÉS ISRAEL, “DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA OPTIMIZANDO EL ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE LOS PANELES SOLARES,” 2015.
- [13] M. C. Tobajas, *Intalaciones Solares Fotovoltaicas*, 1era Edici. 2011.
- [14] C. D. E. I. Eléctrica, O. Vivar, and C. Israel, “Modelado matemático de una estructura reflectiva para incrementar la irradiancia sobre paneles solares,” 2019.
- [15] “Arduino Mega 2560 Rev3 | Arduino Official Store.” <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3> (accessed Feb. 26, 2020).
- [16] “▷ Arduino Mega 2560 Características, Especificaciones | Proyecto Arduino.” <https://proyectoarduino.com/arduino-mega-2560/> (accessed Feb. 26, 2020).
- [17] “Controlador de motores paso a paso 3.5A (TB6600) DFRobot DRI0043 | BricoGeek.com.” <https://tienda.bricogeek.com/controladores-motores/992-controlador-de-motores-paso-a-paso-35a-tb6600.html> (accessed Feb. 26, 2020).


- [18] “Sensor de Corriente ACS712. – Electrónica Práctica Aplicada.”
<https://www.diarioelectronicohoy.com/blog/sensor-de-corriente-ac712> (accessed Feb. 26, 2020).
- [19] H. E. U. López and T. E. R. González, “ANALISIS Y ESTUDIO DE LOS SENSORES APLICADOS A LA MECATRONICA PARA PRACTICAS EN EL LABORATORIO DE ELECTRONICA CONTROL Y AUTOMATISMO UTILIZANDO EL MODULO DE ENTRENAMIENTO NI-QNET-015”.”
- [20] “Sensor medidor de Voltaje hasta 25V - FZ0430 BricoGeek | BricoGeek.com.”
<https://tienda.bricogeek.com/sensores/1148-sensor-medidor-de-voltaje-hasta-25v-fz0430.html>
(accessed Feb. 27, 2020).
- [21] “Control de sombras en vuelos aéreos con drones - Gis&Beers.”
<http://www.gisandbeers.com/control-de-sombras-en-vuelos-aereos-con-drones/> (accessed Feb. 28, 2020).
- [22] Agencia de Regulación y Control de Electricidad, “Pliego Tarifario Para Las Empresas Eléctricas de Distribución - Servicio Público de Energía Eléctrica. Periodo: Enero-Diciembre 2020,”
Resolución Nro. ARCONEL – 035/19, vol. 19, p. 35, 2019.

ANEXOS

ANEXO 1.

CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE DISPOSITIVOS.

1. Panel solar policristalino 30Wp.



Gi-Power
Polycrystalline Module Models
GP-030P-36

Electrical Specifications

*STC : Irradiance 1000W/m², AM1.5 spectrum, module
temperature 25°C

Model type	GP-030P-36
Peak power (Pmax)	30W
Cell Efficiency	17.63%
Maximum power voltage (Vmp)	18.7V
Maximum power current (Imp)	1.61A
Open circuit voltage (Voc)	22.3V
Short circuit current (Isc)	1.71A
Power Tolerance	±3%
Maximum system voltage	600V
Series fuse rating (A)	0
Number of bypass diode	0

Temperature Coefficients

Current Temperature Coefficient $\alpha(Isc)$	0.08%/°C
Voltage Temperature Coefficient $\beta(Voc)$	-0.32%/°C
Power Temperature Coefficient	-0.38%/°C
Nominal Temperature Of Cells(NOTC)	46±2°C
Application Temperature Range	-40~+85°C

Mechanical Characteristics

Dimensions:	670x 350 x18mm (26.34x13.78x0.71 inch)
Weight:	2.7 kg (5.99 lbs)
Solar Cells:	36 cells in series(2 x 18)
Construction:	High-transmission low-iron tempered glass , EVA, TPT
Frame:	Anodized aluminum is mainly for improving corrosion resistance. Color: silver

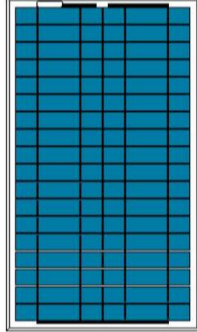
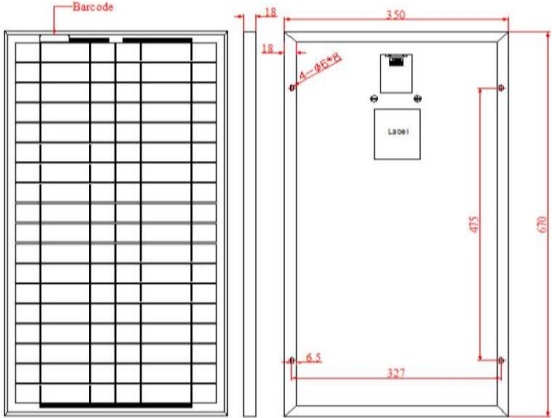
Output(Optional)

Cable	
Lengths	
Connector	

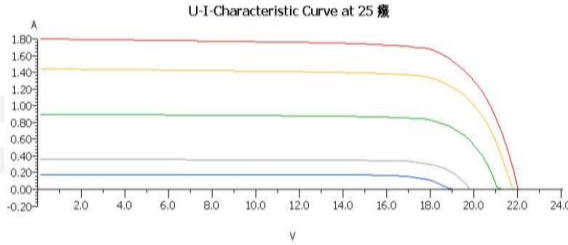
Module Warranty:

- 25-year limited warranty of 80% power output;
- 10-year limited warranty of 90% power output;
- 5-year limited warranty of materials and workmanship.

Note: This publication summarizes product warranty and Specifications which are subject to change without notice

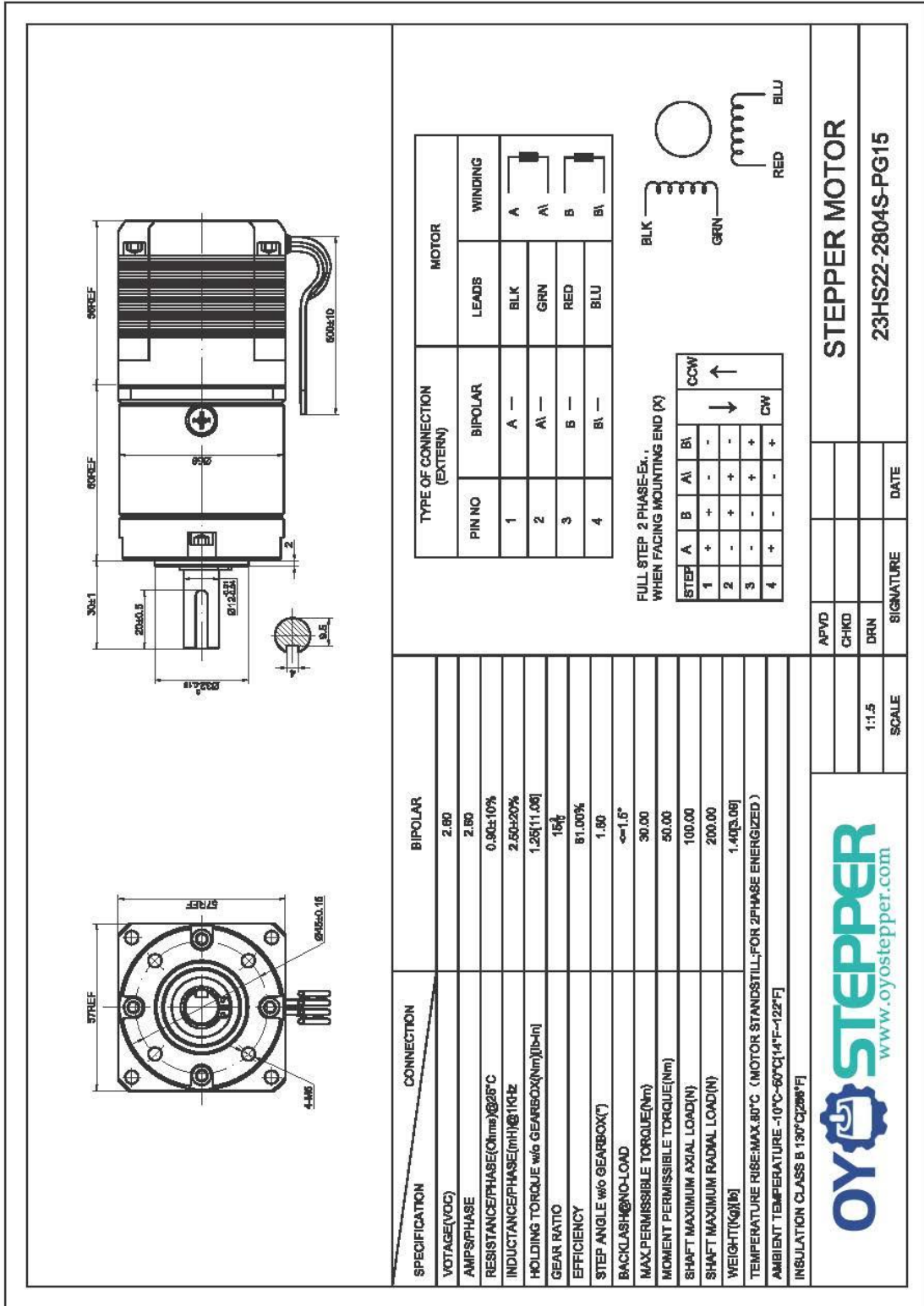
Module Diagram



Electrical Performance

www.gi-power.com

2. Motor a pasos Nema 23 con caja de engranaje planetario.



3. Modulo Controlador T6600.



TB6600

Stepper Motor Driver

Analog Driver Model TB6600

Analog Technology, max. 40 VDC / 4.0 A (PEAK)



Product Description:

The TB6600 single axis drive is a low cost microstepping drive. It is suitable for driving 2-phase and 4-phase hybrid stepper motors. Not for professional applications.

Features:

- Cost-effective
- Supply voltage up to +40 VDC, Output current up to 4.0 A (PEAK)
- Output current selectable in 8 steps via DIP-switch
- Automatic idle-current reduction (in standstill mode) to reduce motor heating
- Pulse input frequency up to 20 kHz
- Input suitable for 5 V signals
- Inputs are optically isolated
- 6 selectable microstep resolutions, up to 6400 steps/rev with standard 1.8° motors
- Suitable for 2-phase and 4-phase motors
- Supports PUL/DIR mode
- Over current and overheat protection

Electrical Specifications:

Parameters	Min	Typ.	Max	Unit
Output current	0.7	-	4.0 (3.5 RMS)	A
Supply voltage	+9	+36	+40	VDC
Logic signal current	8	10	15	mA
Puls input frequency	0	-	20 when duty cycle is 25 high / 75 low 13 when duty cycle is 50 / 50	kHz
Insulation resistance	500			MΩ

Further Specifications:

Microsteps / 1,8 °	200		6400
PUL / DIR		yes	
NEMA sizes	17		24
Motor type Mecheltron	42BYGH-XXXX		60BYGH-XXX

22.01.18

Right of techn. modifications is reserved

www.sorotec.de

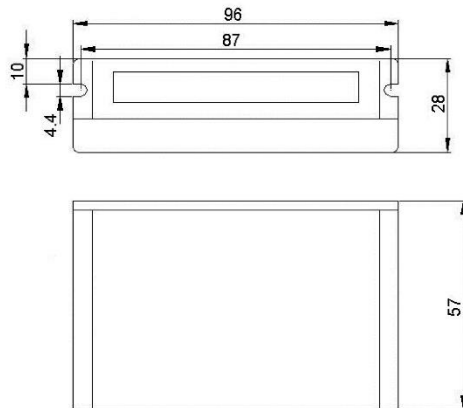
Technische Änderungen vorbehalten

TB6600

Stepper motor driver

**Analog Driver
 Model TB6600**

Mechanical Specifications: (Unit: mm)

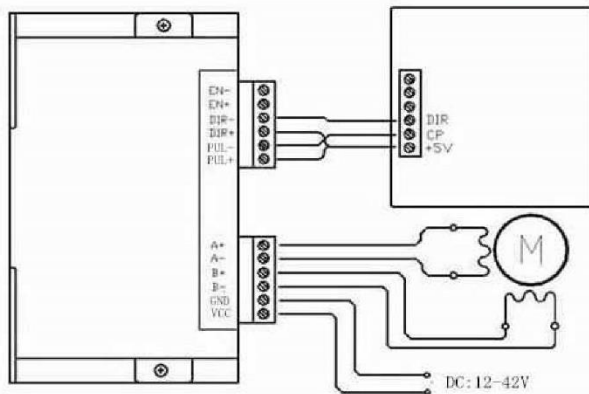


Applications:

Suitable for a wide range of stepping motors of NEMA sizes 17, 23 and 24 (42x42 mm to 60x60 mm). It can be used in various kinds of machines, such as X-Y tables, engraving machines, labeling machines, laser cutters, pick-place devices, and so on. Particularly well suited for applications where low noise levels, less heat development, high speed and high precision are desired.

Typical Connection Schematic:

A typical system consists of stepper motor, stepper motor driver, power supply and controller. The following image shows a typical connection schematic:



Logic control signals which have 5 V can be connected directly;
 R 1kΩ must be connected in line when control signal is 12V;
 R 2kΩ must be connected in line when control signal is 24V to ensure control signal current is 8mA to 15mA.

22.01.18

4. Sensor de corriente ACS712.

ACS712

Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

DESCRIPTION (continued)

the device at up to 5× overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the signal leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS712 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

SELECTION GUIDE

Part Number	Packing*	T _A (°C)	Optimized Range, I _P (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	66

*Contact Allegro for additional packing options.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V _{CC}		8	V
Reverse Supply Voltage	V _{RCC}		-0.1	V
Output Voltage	V _{IOUT}		8	V
Reverse Output Voltage	V _{RIOUT}		-0.1	V
Output Current Source	I _{IOUT(SOURCE)}		3	mA
Output Current Sink	I _{IOUT(SINK)}		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I _P	1 pulse, 100 ms	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T _A	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	T _{J(MAX)}		165	°C
Storage Temperature	T _{stg}		-65 to 170	°C

ISOLATION CHARACTERISTICS

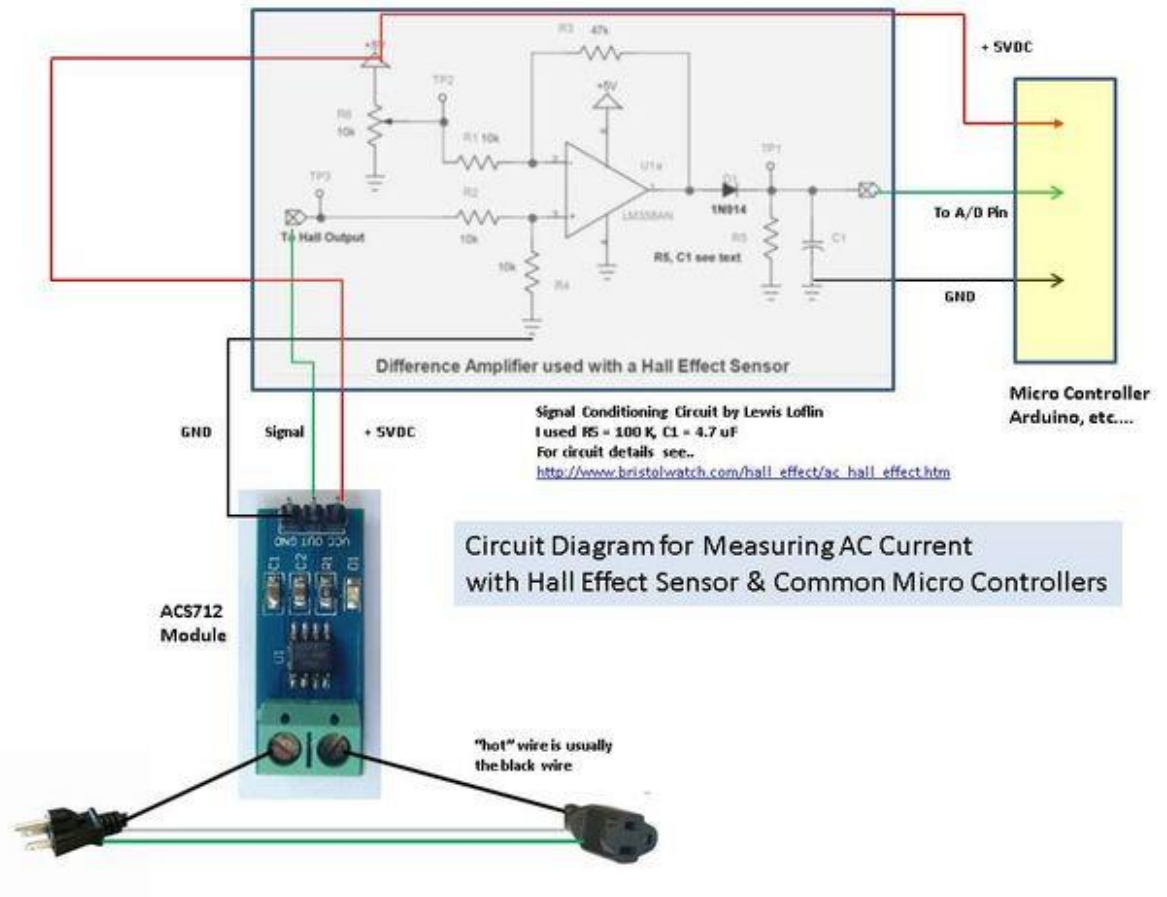
Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Unit
Dielectric Strength Test Voltage*	V _{ISO}	Agency type-tested for 60 seconds per UL standard 60950-1, 1st Edition	2100	VAC
Working Voltage for Basic Isolation	V _{WFSI}	For basic (single) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	354	VDC or V _{pk}
Working Voltage for Reinforced Isolation	V _{WRFI}	For reinforced (double) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	184	VDC or V _{pk}

* Allegro does not conduct 60-second testing. It is done only during the UL certification process.

Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001



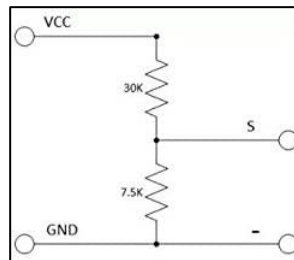
Allegro MicroSystems
955 Perimeter Road
Manchester, NH 03103-3353 U.S.A.
www.allegromicro.com



5. Sensor de Voltaje FZ0430.

Voltaje de DIYmall Sensor DC0 – 25 V para Arduino con código.

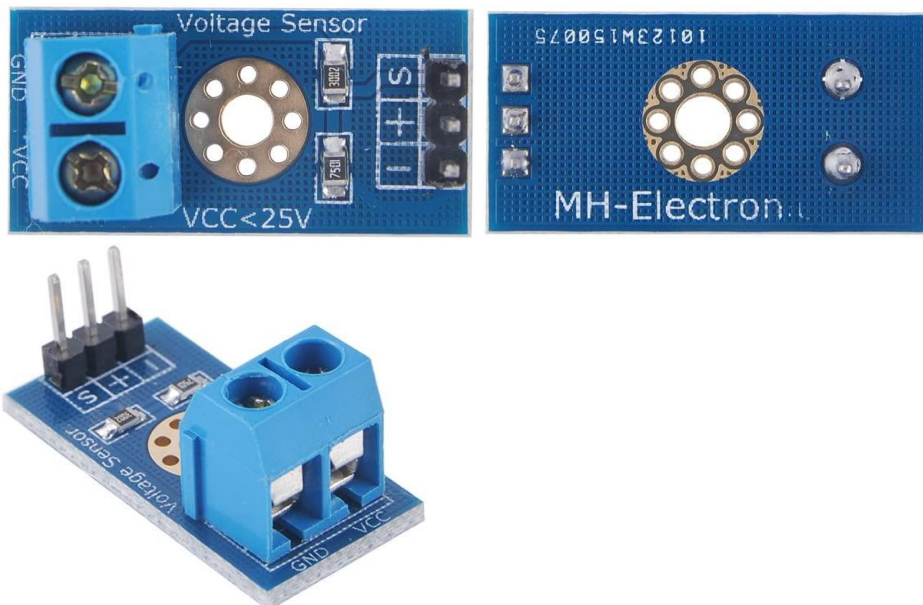
Descripción: Este módulo se basa en un principio de separador resistivo, hacen de la interfaz del terminal reducción de entrada de voltaje 5 veces, entrada de voltaje analógico Arduino de hasta 5 V, entonces el entrada de voltaje del módulo de detección de voltaje no puede ser mayor que $5\text{ V} \times 5 = 25\text{ V}$ (si se utiliza de sistema de 3,3 V, el entrada de voltaje no puede exceder de $3,3\text{ V} \times 5 = 16,5\text{ V}$). Debido a los chips de Arduino AVR utiliza en 10 ad, por lo que la resolución del módulo analógico es 0.00489 V ($5\text{ V}/1023$), de manera que el módulo de detección de voltaje detecta entrada de voltaje un mínimo de $0.00489\text{ V} \times 5 = 0.02445\text{ V}$.



Características:

Material	Compuesto	<ul style="list-style-type: none"> • Rango de entrada de voltaje: DC0 – 25 V • Rango de detección de voltaje: dc0.02445 V-25 V • Voltaje analógico resolución: 0.00489 V • Conector de entrada DC: Terminal cátodo conectada a Vcc, GND Polo Negativo • Interfaz de salida: "+" entonces 5 pines/3.3 V; "-", GND, "S, entonces el Arduino AD
Marca	DIYmall	
Dimensiones del artículo	0.98 x 0.08 x 0.59 pulgadas	
Largo x Ancho x Altura		

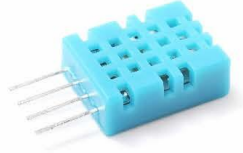
Vista:



6. Sensor Temperatura DTH11.

AOSONG

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors



Digital relative humidity & temperature sensor DHT11

1. Feature & Application:

- *Good precision
- *Resistive type
- *Full range temperature compensated
- *Relative humidity and temperature measurement
- *Calibrated digital signal
- *Outstanding long-term stability
- *Extra components not needed
- *Long transmission distance, up to 100 meters
- *Low power consumption
- *4 pins packaged and fully interchangeable

2. Description:

DHT11 output calibrated digital signal. It applies exclusive digital-signal-collecting-technique and humidity sensing technology, assuring its reliability and stability. Its sensing elements is connected with 8-bit single-chip computer.

Every sensor of this model is temperature compensated and calibrated in accurate calibration chamber and the calibration-coefficient is saved in type of programme in OTP memory, when the sensor is detecting, it will cite coefficient from memory.

Small size & low consumption & long transmission distance(100m) enable DHT11 to be suited in all kinds of harsh application occasions. Single-row packaged with four pins, making the connection very convenient.

3. Technical Specification:

Model	DHT11	
Power supply	3.3-5.5V DC	
Output signal	digital signal via Aosong 1-wire bus	
Sensing element	Polymer humidity resistor	
Operating range	humidity 20-90%RH;	temperature 0~50Celsius
Accuracy	humidity +-5%RH;	temperature +-2Celsius
Resolution or sensitivity	humidity 1%RH;	temperature 1Celsius
Repeatability	humidity +-2%RH;	temperature +-1Celsius
Humidity hysteresis	+-1%RH	
Long-term Stability	+-1%RH/year	
Interchangeability	fully interchangeable	

4. Dimensions: (unit----mm)

- 1 -

Aosong Electronics Co., Ltd.

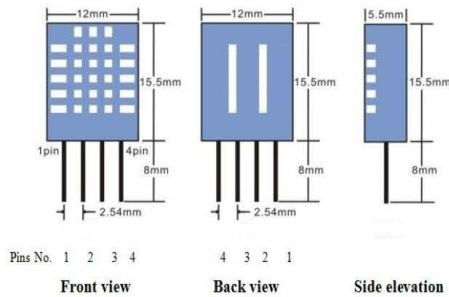
<http://www.aosong.com>

Thomas Liu (Sales Manager)

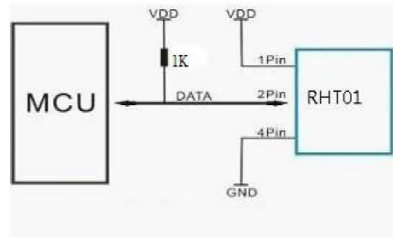
Email: thomasliu198518@aliyun.com , sales@aosong.com



Your specialist in innovating humidity & temperature sensors



5. Electrical connection diagram:



6. Operating specifications:

(1) Power and Pins

Power's voltage should be 3.3-5.5V DC. When power is supplied to sensor, don't send any instruction to the sensor within one second to pass unstable status. One capacitor valued 100nF can be added between VDD and GND for wave filtering.

(2) Communication and signal

Aosong 1-wire bus is used for communication between MCU and DHT11. (Aosong 1-wire bus is specially designed by Aosong Electronics Co., Ltd. , it's different from Maxim/Dallas 1-wire bus, so it's incompatible with Dallas 1-wire bus.)

Illustration of Aosong 1-wire bus:

DATA=16 bits RH data+16 bits Temperature data+8 bits check-sum

Example: MCU has received 40 bits data from DHT11 as

<u>0010 0001</u>	<u>0000 0000</u>	<u>0001 1010</u>	<u>0000 0000</u>	<u>0011 1011</u>
Integral part of RH	Decimal part of RH	Integral part of T	Decimal part of T	check sum

Remarks: The decimal part of RH and T is always 0000 0000.

Here we convert integral part of RH from binary system to decimal system,

0010 0001 → 33

Binary system Decimal system, **RH=33%RH**

Here we convert integral part of T from binary system to decimal system,

0001 1010 → 26

Binary system Decimal system, **T=26 Celsius**

Sum=0010 0001+0000 0000+0001 1010+0000 0000=0011 1011

Check-sum=the last 8 bits of Sum=0011 1011

When MCU send start signal, DHT11 change from standby-status to running-status. When MCU finishes sending the start signal, DHT11 will send response signal of 40-bit data that reflect the relative humidity and temperature to MCU. Without start signal from MCU, DHT11 will not give response signal to MCU. One start signal for one response data from DHT11 that reflect the relative humidity and temperature. DHT11 will change to standby status

- 2 -

Aosong Electronics Co., Ltd.

<http://www.aosong.com>

Thomas Liu (Sales Manager)

Email: thomasliu198518@aliyun.com , sales@aosong.com

ANEXO 2.

DATOS DE ÁNGULOS DE ELEVACIÓN Y POSICIÓN DEL SOL DE LOS MESES DE ABRIL MAYO Y JUNIO.

1. Datos para el mes de abril.

Fecha:	01/04/2020 GMT-5	
coordinar:	-2.8868192, -78.9906313	
ubicación:	-2.88681920,-78.99063130	
hora	Elevación	Azimut
06:17:20	-0.833°	85.21°
6:30:00	2.32°	85.05°
7:00:00	9.78°	84.59°
7:30:00	17.23°	84.02°
8:00:00	24.68°	83.32°
8:30:00	32.11°	82.43°
9:00:00	39.53°	81.28°
9:30:00	46.92°	79.72°
10:00:00	54.26°	77.53°
10:30:00	61.53°	74.22°
11:00:00	68.64°	68.68°
11:30:00	75.35°	57.89°
12:00:00	80.79°	32.19°
12:30:00	81.78°	341.66°
13:00:00	77.24°	307.76°
13:30:00	70.76°	293.95°
14:00:00	63.73°	287.29°
14:30:00	56.5°	283.46°
15:00:00	49.18°	281°
15:30:00	41.8°	279.29°
16:00:00	34.39°	278.04°
16:30:00	26.97°	277.08°
17:00:00	19.52°	276.33°
17:30:00	12.07°	275.74°
18:00:00	4.62°	275.27°
18:21:54	-0.833°	274.98°

Tabla horaria de ángulos de elevación solar del mes de abril.

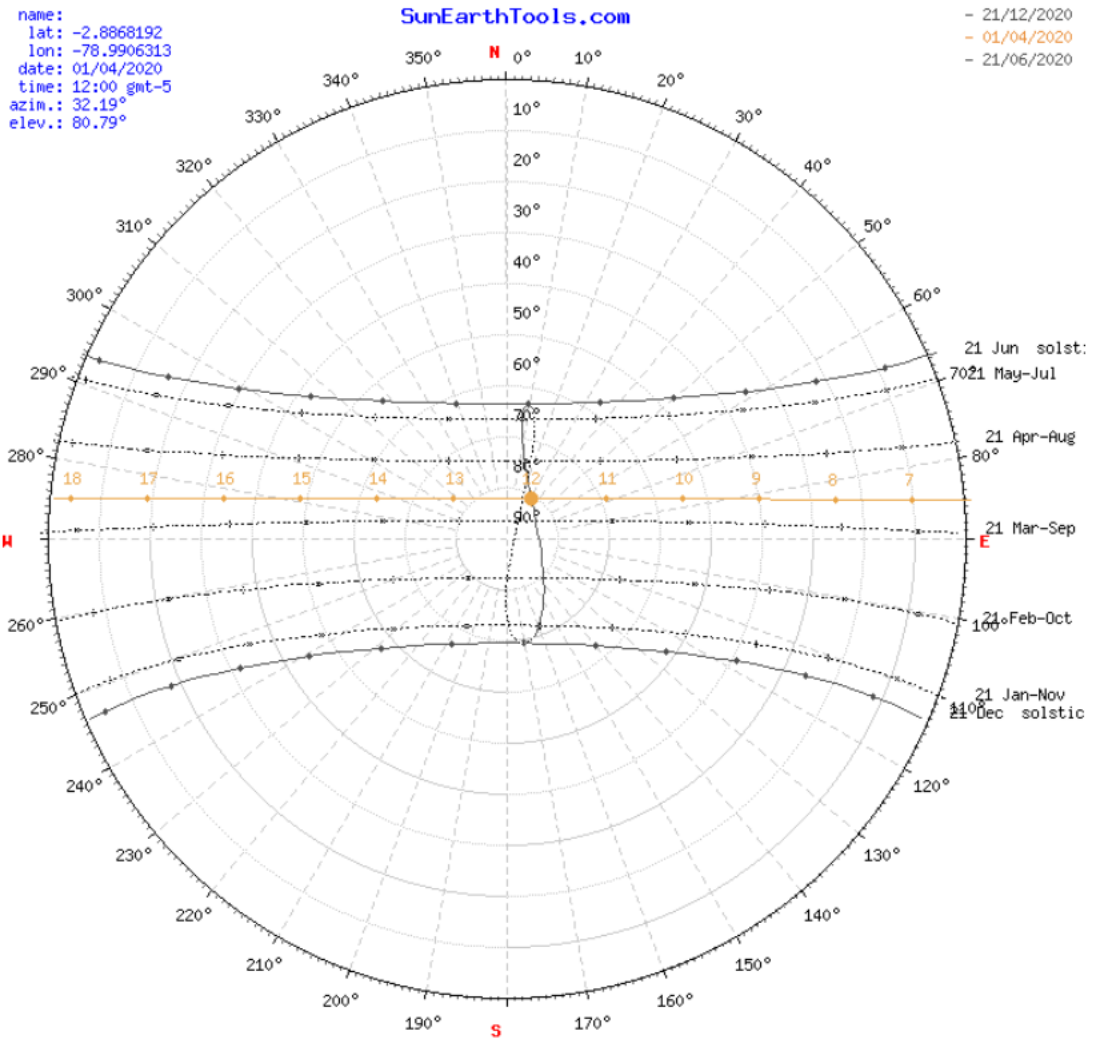


Gráfico polar de la posición del sol con sus respectivos ángulos del mes de abril.

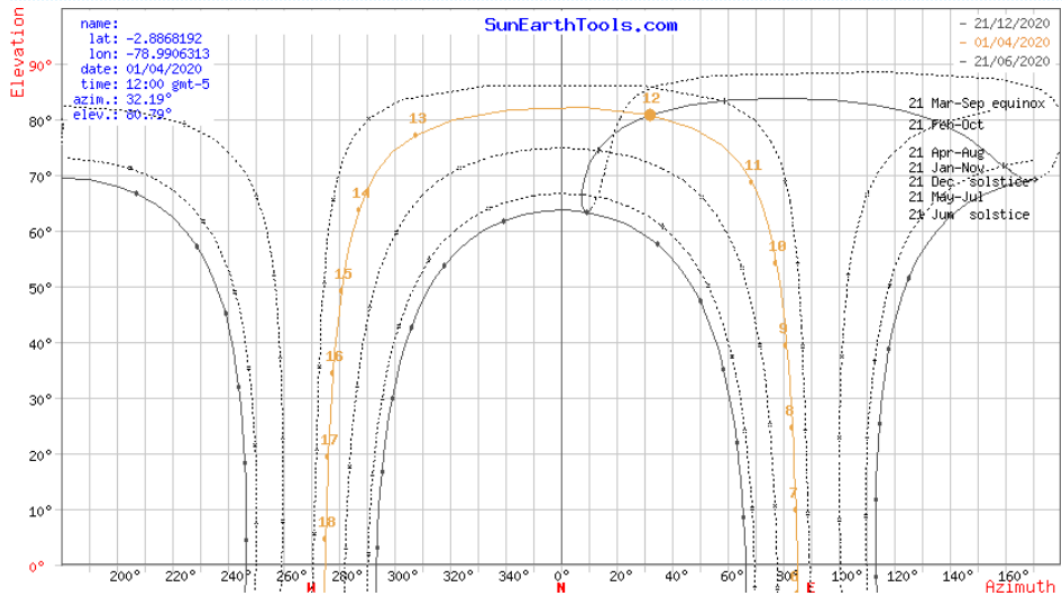


Gráfico cartesiano de la elevación y Azimut del mes de abril.

2. Datos para el mes de mayo.

Fecha:	01/05/2020 GMT-5	
coordinar:	-2.8868192, -78.9906313	
ubicación:	-2.88681920, -78.99063130	
hora	Elevación	Azimut
06:12:43	-0.833°	74.73°
6:30:00	3.32°	74.48°
7:00:00	10.53°	73.85°
7:30:00	17.71°	72.92°
8:00:00	24.84°	71.65°
8:30:00	31.92°	69.93°
9:00:00	38.9°	67.61°
9:30:00	45.75°	64.45°
10:00:00	52.38°	60.04°
10:30:00	58.66°	53.67°
11:00:00	64.33°	44.2°
11:30:00	68.88°	29.95°
12:00:00	71.46°	9.91°
12:30:00	71.26°	347.15°
13:00:00	68.35°	327.85°
13:30:00	63.6°	314.36°
14:00:00	57.83°	305.4°
14:30:00	51.49°	299.37°
15:00:00	44.82°	295.16°
15:30:00	37.96°	292.14°
16:00:00	30.96°	289.92°
16:30:00	23.88°	288.27°
17:00:00	16.74°	287.06°
17:30:00	9.56°	286.19°
18:00:00	2.35°	285.6°
18:13:15	-0.833°	285.42°

Tabla horaria de ángulos de elevación solar del mes de mayo.

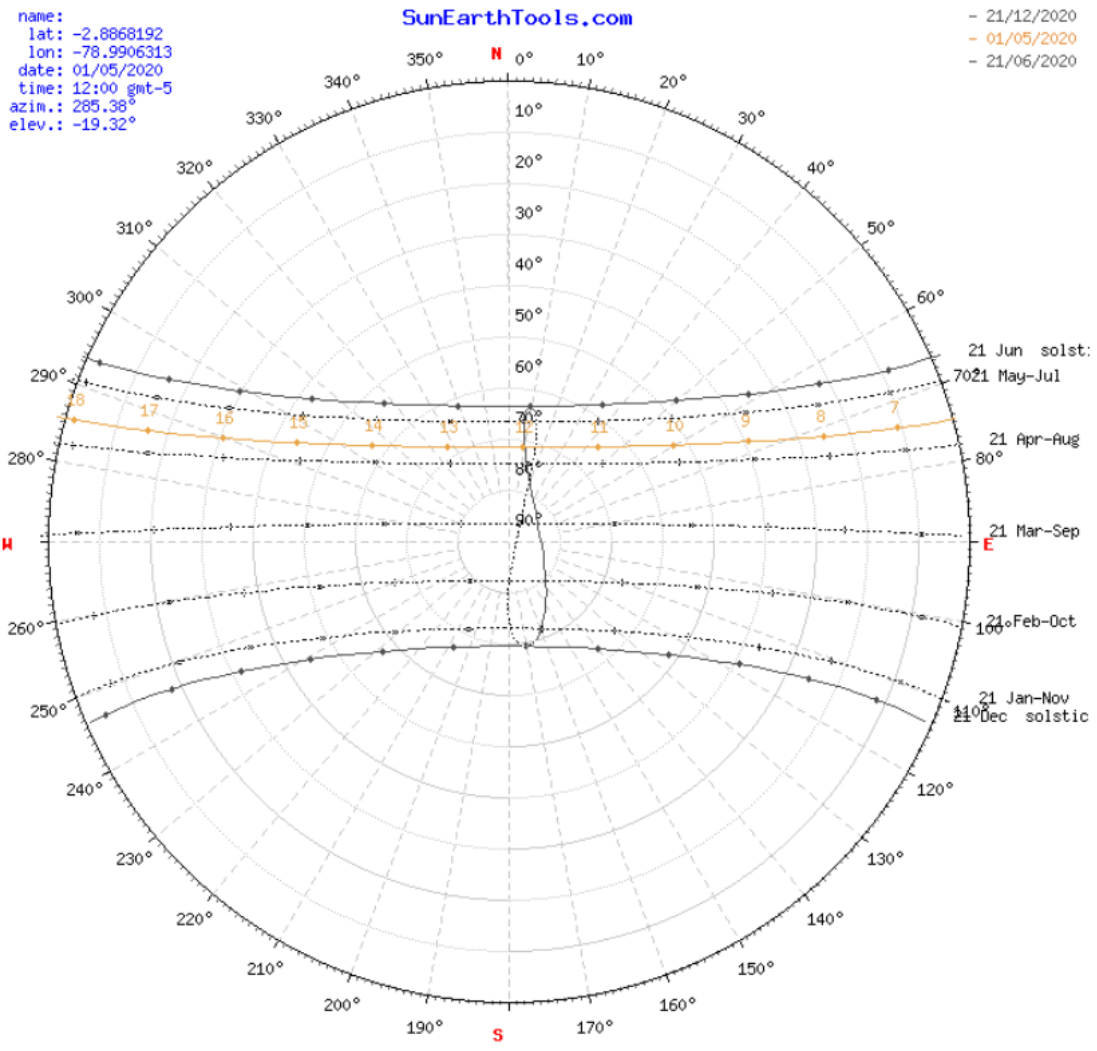


Gráfico polar de la posición del sol con sus respectivos ángulos del mes de mayo.

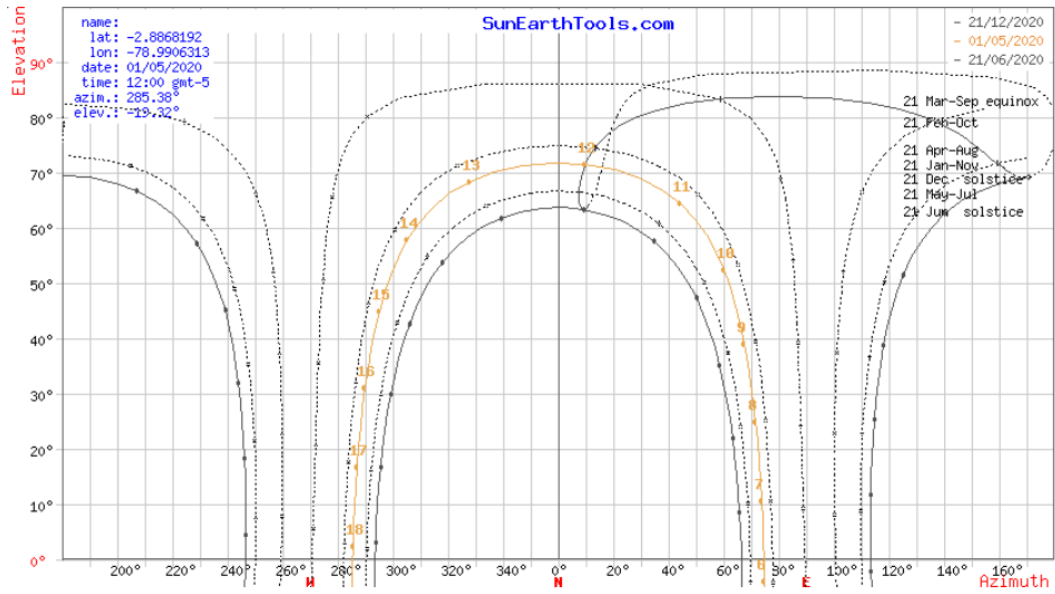


Gráfico cartesiano de la elevación y Azimut del mes de mayo.

3. Datos para el mes de junio.

Fecha:	01/06/2020 GMT-5	
coordinar:	-2.8868192, -78.9906313	
ubicación:	-2.88681920, -78.99063130	
hora	Elevación	Azimut
06:14:59	-0.833°	67.86°
6:30:00	2.63°	67.65°
7:00:00	9.54°	66.96°
7:30:00	16.41°	65.89°
8:00:00	23.2°	64.37°
8:30:00	29.9°	62.31°
9:00:00	36.45°	59.54°
9:30:00	42.78°	55.84°
10:00:00	48.8°	50.86°
10:30:00	54.33°	44.09°
11:00:00	59.11°	34.88°
11:30:00	62.73°	22.65°
12:00:00	64.7°	7.57°
12:30:00	64.62°	351.3°
13:00:00	62.52°	336.39°
13:30:00	58.79°	324.4°
14:00:00	53.95°	315.39°
14:30:00	48.38°	308.77°
15:00:00	42.33°	303.89°
15:30:00	35.98°	300.27°
16:00:00	29.42°	297.57°
16:30:00	22.72°	295.55°
17:00:00	15.92°	294.07°
17:30:00	9.05°	293.04°
18:00:00	2.14°	292.38°
18:12:52	-0.833°	292.2°

Tabla horaria de ángulos de elevación solar del mes de junio.

name:
lat: -2.8868192
lon: -78.9906313
date: 01/06/2020
time: 12:00 gm-5
azim.: 292.5°
elev.: -18.67°

SunEarthTools.com

- 21/12/2020
- 01/06/2020
- 21/06/2020

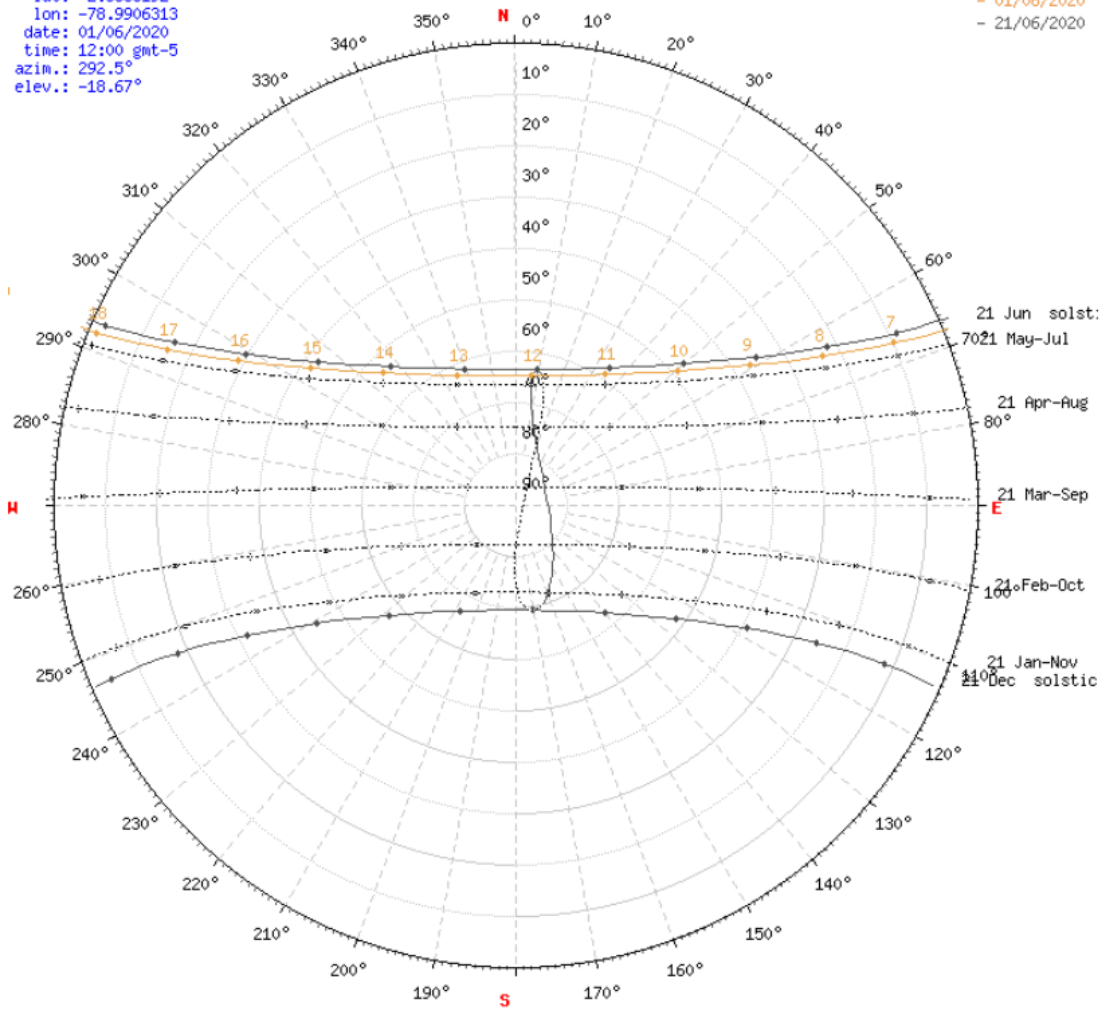


Gráfico polar de la posición del sol con sus respectivos ángulos del mes de junio.

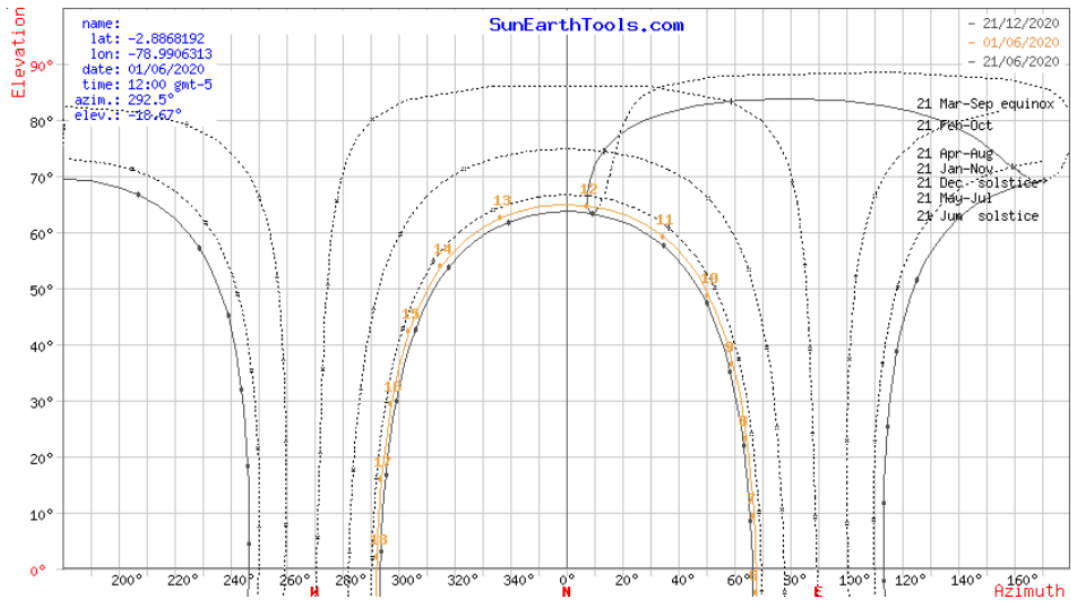


Gráfico cartesiano de la elevación y Azimut del mes de junio.

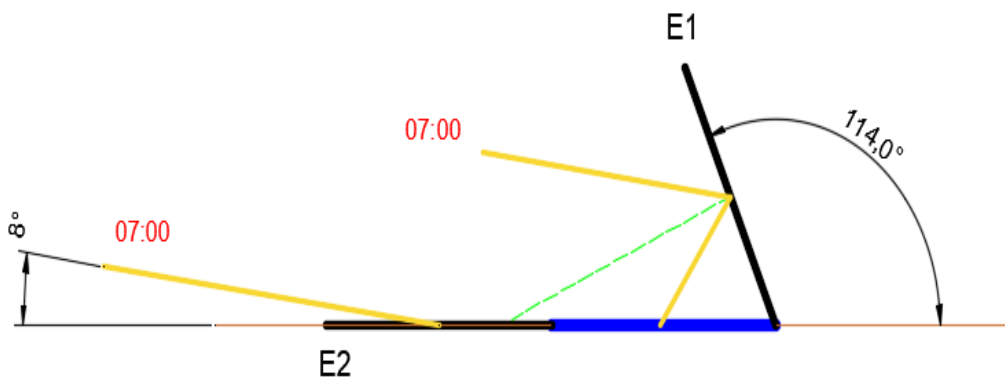
ANEXO 3.

ESQUEMAS DE POSICIONAMIENTO DE LOS ESPEJOS.

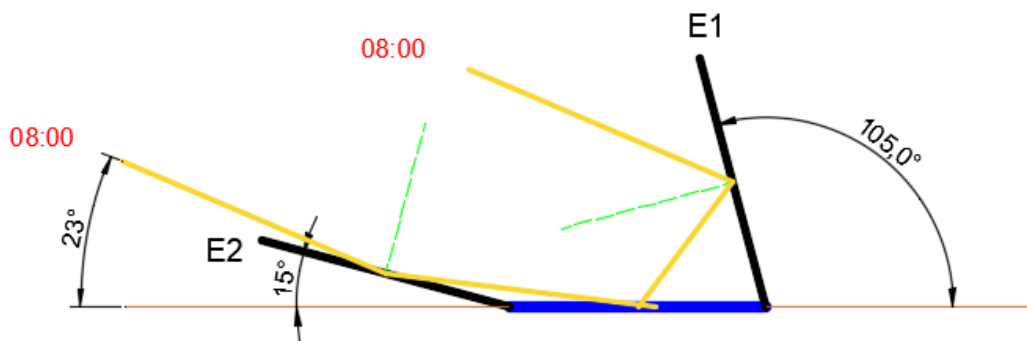
06:00



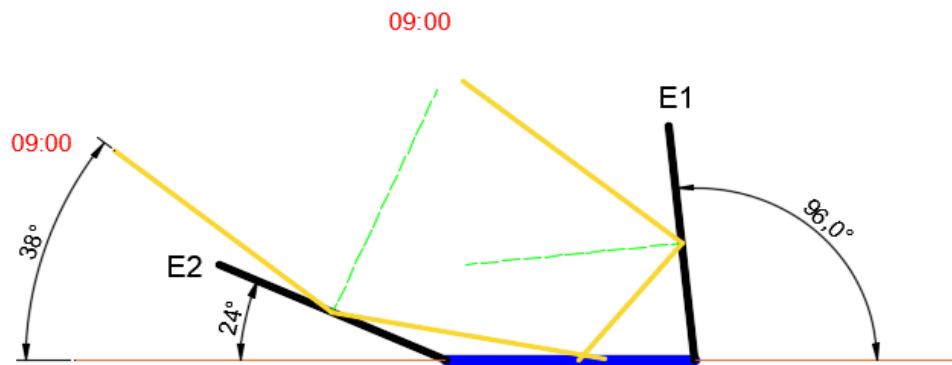
Posicionamiento del panel para las 06h00.



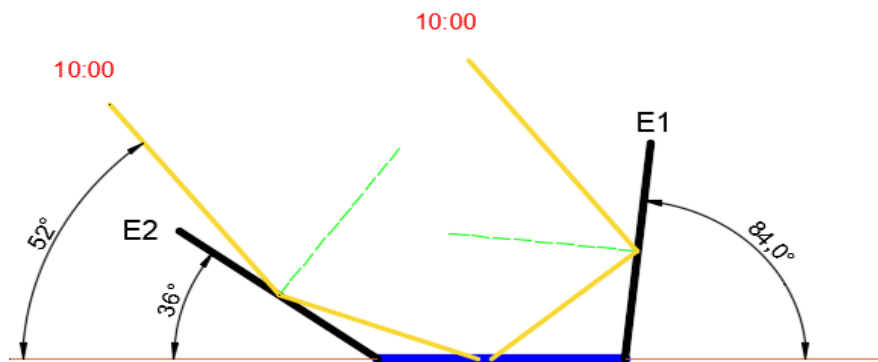
Posicionamiento del panel para las 07h00, ángulo solar a 8° .



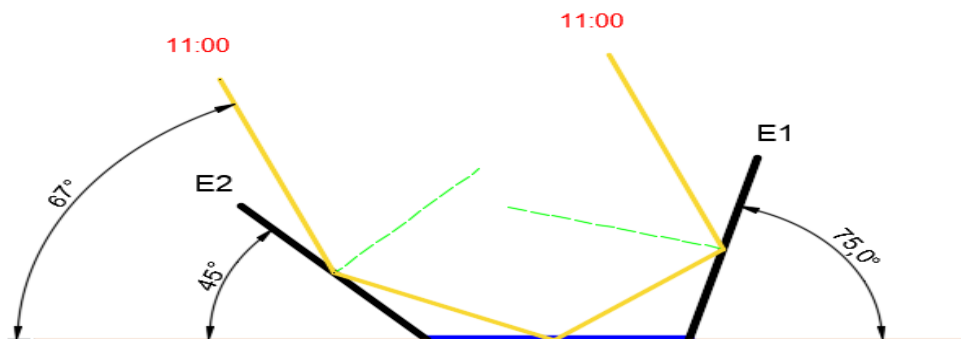
Posicionamiento del panel para las 08h00, ángulo solar a 23° .



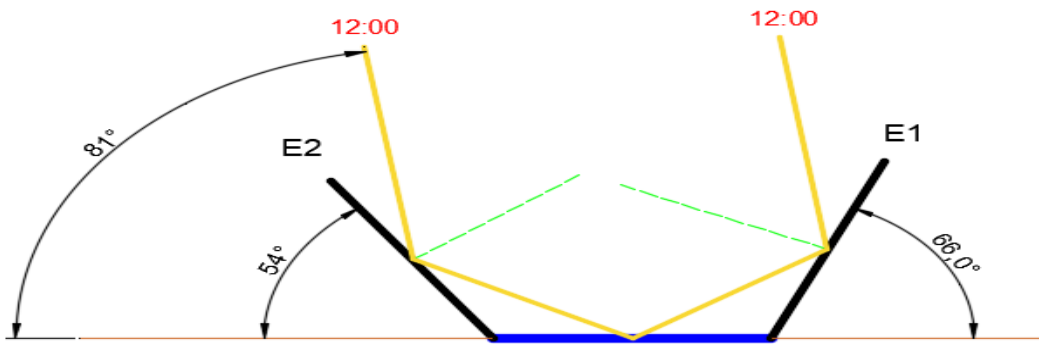
Posicionamiento del panel para las 09h00, ángulo solar a 38° .



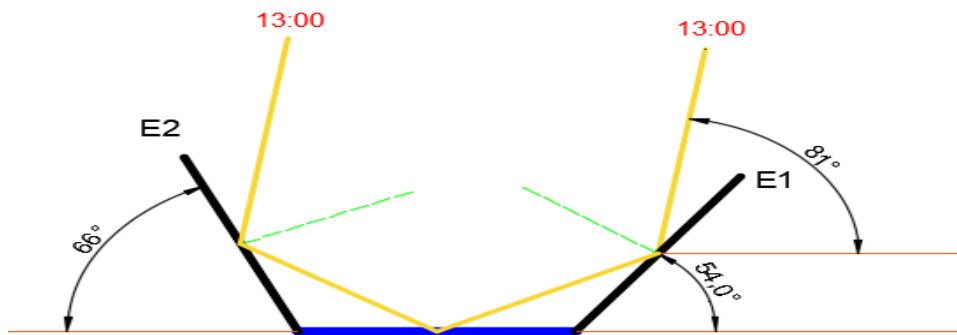
Posicionamiento del panel para las 10h00, ángulo solar a 52° .



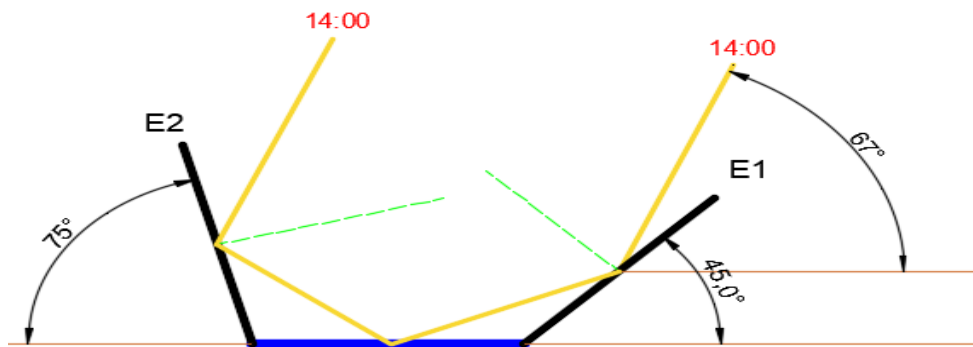
Posicionamiento del panel para las 11h00, ángulo solar a 67° .



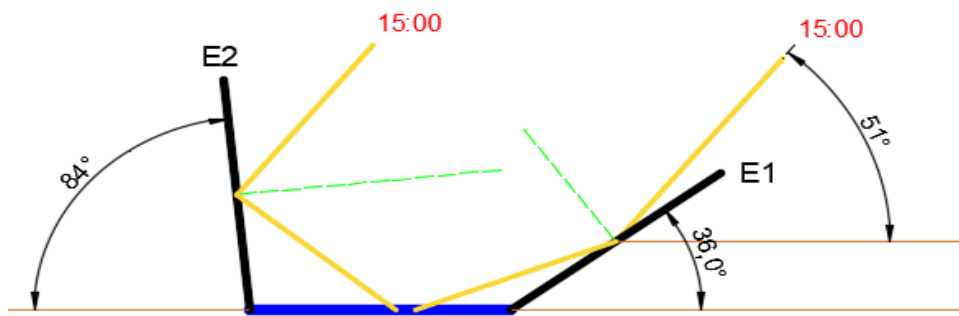
Posicionamiento del panel para las 12h00, ángulo solar a 81° .



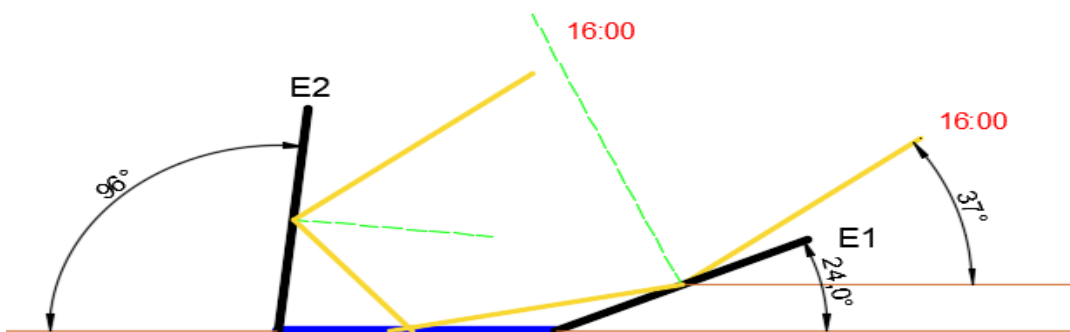
Posicionamiento del panel para las 13h00, ángulo solar a 81° .



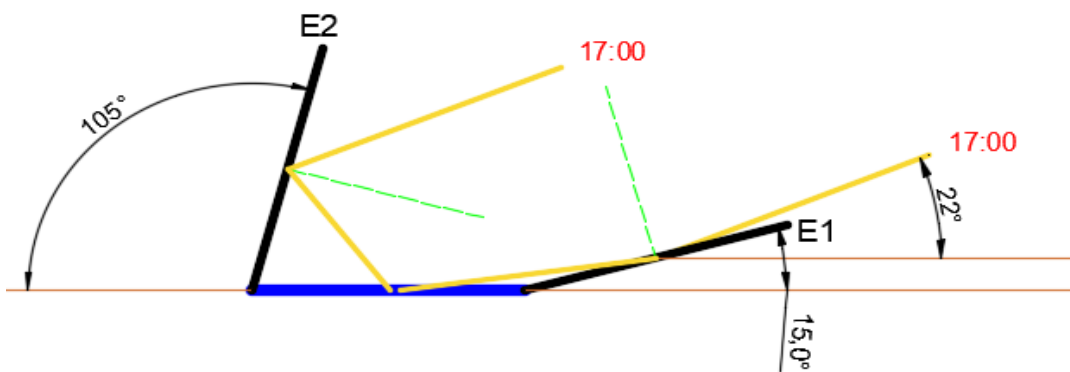
Posicionamiento del panel para las 14h00, ángulo solar a 67° .



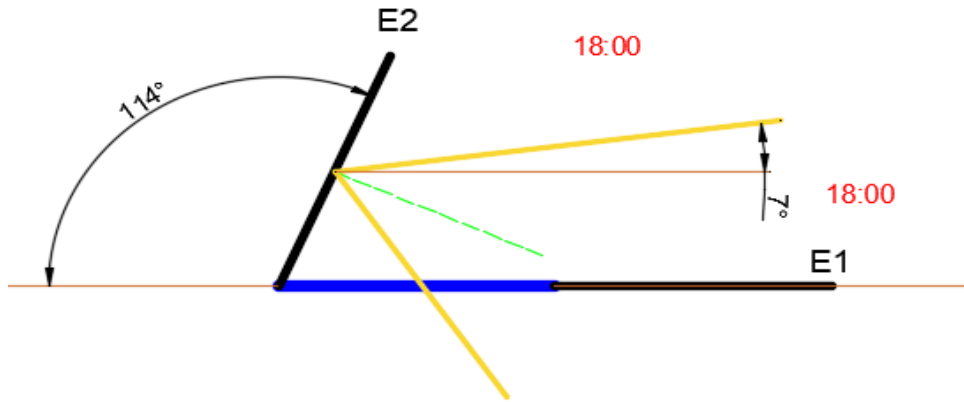
Posicionamiento del panel para las 15h00, ángulo solar a 51° .



Posicionamiento del panel para las 16h00, ángulo solar a 37° .



Posicionamiento del panel para las 17h00, ángulo solar a 22° .



Posicionamiento del panel para las 18h00, ángulo solar a 7° .



Posicionamiento del panel para las 19h00.