



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL**

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES

Tema:

**SISTEMA ELECTRÓNICO DE CONTROL DE UN PROTOTIPO DE SEGUIDOR
SOLAR FOTOVOLTAICO EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA EN
SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA
DE AMBATO**

Trabajo de Titulación Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo a la
obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.

ÁREA: Electrónica

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Energía, Desarrollo Sostenible y Gestión de
Recursos Naturales

AUTOR: Mayra Alexandra Noboa Becerra

TUTOR: Ing. Percy Alberto Ríos Villacorta, Mg. PhD

Ambato – Ecuador

agosto - 2021

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del Trabajo de Titulación con el tema: SISTEMA ELECTRÓNICO DE CONTROL DE UN PROTOTIPO DE SEGUIDOR SOLAR FOTOVOLTAICO EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, desarrollado bajo la modalidad de Proyecto de Investigación por la señorita Mayra Alexandra Noboa Becerra, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que la estudiante ha sido tutorado durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 15 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y el numeral 7.4 del respectivo instructivo.

Ambato, agosto 2021.

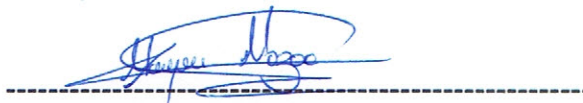
Ing. Percy Alberto Ríos Villacorta, Mg. PhD

TUTOR

AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado: SISTEMA ELECTRÓNICO DE CONTROL DE UN PROTOTIPO DE SEGUIDOR SOLAR FOTOVOLTAICO EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, es absolutamente original, autentico y personal. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, agosto 2021.



Mayra Alexandra Noboa Becerra

C.C 1600962730

AUTORA

APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del Informe Final del Trabajo de Titulación presentado por la señorita Mayra Alexandra Noboa Becerra estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad de Proyecto de Investigación, titulado SISTEMA ELECTRÓNICO DE CONTROL DE UN PROTOTIPO DE SEGUIDOR SOLAR FOTOVOLTAICO EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 17 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y al numeral 7.6 del respectivo instructivo. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidenta del Tribunal.

Ambato, agosto 2021.

Ing. Pilar Urrutia, Mg.
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL

Ing. Fabian Rodrigo Salazar, Mg. PhD
PROFESOR CALIFICADOR

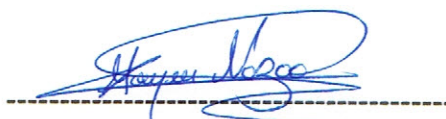
Ing. Geovanni Danilo Brito, Mg.
PROFESOR CALIFICADOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación en favor de la Universidad Técnica de Ambato, con fines de difusión pública. Además, autorizo su reproducción total o parcial dentro de las regulaciones de la institución.

Ambato, agosto 2021.



Mayra Alexandra Noboa Becerra

C.C. 1600962730

AUTORA

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto de titulación a mi padre Rodrigo a quien le debo la persona que soy, por su apoyo, tiempo, fortaleza; sobre todo su deseo de verme como profesional y que la vida no pudo permitirle.

Dios le pague por todo.

Mayra Alexandra Noboa Becerra

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme valor, paz y sabiduría para sobrellevar los momentos difíciles.

A mi madre Elvia por su amor, dedicación, sus noches en vela y su gran fortaleza para no dejarme vencer, a mis hermanas Verónica y Daysi por su apoyo incondicional y ánimos para culminar la carrera y seguir mis sueños.

A Edison Ibarra por su apoyo, cariño y conocimientos.

A la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial por todos los conocimientos impartidos, a sus docentes y quienes hicieron que la carrera sea grata y llena de recuerdos.

Al Dr. Alberto Ríos por su dedicación y su guía para la culminación de este proyecto de investigación .

Mayra Alexandra Noboa Becerra

Contenido

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA.....	iii
APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO.....	iv
DERECHOS DE AUTOR.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN EJECUTIVO.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Tema de investigación.....	1
1.2 Antecedentes Investigativos.....	1
1.2.1 Contextualización del problema.....	4
1.2.2 Fundamentación teórica.....	6
1.2.2.1 Energía solar.....	6
1.2.2.2 Energía solar fotovoltaica.....	7
1.2.2.3 Generador fotovoltaico.....	7
1.2.2.4 Célula fotovoltaica.....	7
1.2.2.5 Tipos de células fotovoltaicas.....	8
1.2.2.6 Panel solar.....	10
1.2.2.7 Seguidor solar.....	10
1.2.2.8 Seguidor activo.....	11
1.2.2.9 Orientación.....	12
1.2.2.10 Componentes de un sistema de seguimiento solar.....	14
1.2.2.11 Acumulador eléctrico.....	14
1.2.2.12 Tipos de acumuladores eléctricos.....	14
1.2.2.13 Reguladores.....	15
1.2.2.14 Convertidores.....	15
1.2.2.15 Algoritmo de seguimiento solar.....	16
1.2.2.16 Estrategia de seguimiento.....	20
1.2.2.17 Lenguaje de programación C ++.....	20
1.2.2.18 Lenguaje de programación python.....	20
1.2.2.19 Plataforma IOT thingSpeak.....	21
1.3 Objetivos.....	21
1.3.1 Objetivo General.....	21

1.3.2	Objetivos Específicos.....	21
CAPÍTULO II		23
METODOLOGÍA		23
2.1	Materiales.....	23
2.2	Métodos.....	23
2.2.1	Modalidad de investigación	23
2.2.2	Recolección de información.....	23
2.2.3	Procesamiento y análisis de datos	24
2.2.4	Desarrollo del proyecto	24
CAPÍTULO III		25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		25
3.1	Introducción	25
3.2	Análisis de la radiación solar en la ciudad de Ambato	25
3.3	Diagrama de bloques.....	27
3.4	Selección de Hardware y Software para el sistema	28
3.4.1	Mecanismo para el movimiento del sistema	28
3.4.2	Microcontrolador para el control del sistema.....	29
3.4.3	Dispositivos de sensorización	30
3.4.3.1	Sensor de luminosidad	30
3.4.3.2	Reloj digital.....	31
3.4.3.3	Sensor de voltaje	32
3.4.3.4	Sensor de corriente.....	33
3.4.4	Regulador de voltaje step down	33
3.4.5	Componentes de un sistema solar fotovoltaico	34
3.4.5.1	Panel solar	34
3.4.5.2	Regulador de carga solar.....	36
3.4.5.3	Batería TB Plus	37
3.4.6	Software para el control del sistema	37
3.4.6.1	Sistema operativo para UDOO QUAD	37
3.5	Esquema general del sistema	38
3.6	Diseño del algoritmo de control del seguidor solar fotovoltaico	39
3.6.1	Análisis geográfico del sistema.....	40
3.6.2	Factores que intervienen en el seguimiento solar	42
3.6.3	Desarrollo del algoritmo de control	43
3.7	Implementación del algoritmo de control del seguidor solar fotovoltaico	50
3.7.1	Instalación del sistema operativo	50
3.7.2	Programación del algoritmo de control.....	51
3.7.3	Comunicación del microcontrolador.....	56
3.8	Diseño de la estructura del seguidor solar fotovoltaico	59

3.8.1	Diseño del reductor mecánico.....	61
3.9	Implementación del sistema.....	62
3.9.1	Montaje de la estructura del prototipo de seguidor solar fotovoltaico.....	63
3.9.2	Ejecutar el sistema electrónico de control.....	64
3.10	Interfaz web para el monitoreo del sistema.....	68
3.11	Pruebas de funcionamiento del sistema solar fotovoltaico fijo.....	72
3.12	Pruebas de funcionamiento del sistema de seguimiento solar.	74
3.13	Comparación de los parámetros del sistema solar fijo y el prototipo del sistema de seguimiento solar fotovoltaico.	76
3.14	Presupuesto	82
CAPÍTULO IV.....		85
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		85
4.1	Conclusiones	85
4.2	Recomendaciones.....	86
BIBLIOGRAFÍA		87
ANEXOS		92
ANEXO A.....		92
	Código fuente del algoritmo de programación para el control del seguidor solar fotovoltaico.	92
ANEXO B		100
	Código fuente del script denominado “UdooServidor.py” para la comunicación del microcontrolador con el servidor ThingSpeak.....	100
ANEXO C.....		101
	Datos de energía de entrada y voltaje de la batería para la configuración fija del panel en el día 1.....	101
ANEXO D.....		102
	Datos de energía de entrada y voltaje de la batería para la configuración fija del panel en el día 2.....	102
ANEXO F		103
	Datos de energía de entrada y voltaje de la batería para la configuración fija del panel en el día 3.....	103
ANEXO G.....		104
	Datos de energía de entrada y voltaje de la batería para la configuración fija del panel en el día 4.....	104
ANEXO H.....		105

Datos de energía de entrada y voltaje de la batería para la configuración fija del panel en el día 5.....	105
ANEXO I	106
Datos de energía de entrada y voltaje de la batería para la configuración fija del panel en el día 6.....	106
ANEXO J	107
Datos de energía de entrada y voltaje de la batería para la configuración fija del panel en el día 7.....	107
ANEXO K.....	108
Gráficas de energía prevista y energía de entrada para la configuración fija del panel para el día 1.	108
ANEXO L	108
Gráficas de energía prevista y energía de entrada para la configuración fija del panel para el día 2.	108
ANEXO M	109
Gráficas de energía prevista y energía de entrada para la configuración fija del panel para el día 3.	109
ANEXO N.....	109
Gráficas de energía prevista y energía de entrada para la configuración fija del panel para el día 4.	109
ANEXO O.....	110
Gráficas de energía prevista y energía de entrada para la configuración fija del panel para el día 5.	110
ANEXO P	110
Gráficas de energía prevista y energía de entrada para la configuración fija del panel para el día 6.	110
ANEXO Q.....	111
Gráficas de energía prevista y energía de entrada para la configuración fija del panel para el día 7.	111
ANEXO R.....	112
Datos de energía de entrada y voltaje de la batería para la configuración móvil del panel para el día 8.	112
ANEXO S	113
Datos de energía de entrada y voltaje de la batería para la configuración móvil del panel para el día 9.	113
ANEXO T	114

Datos de energía de entrada y voltaje de la batería para la configuración móvil del panel para el día 10.	114
ANEXO U	115
Datos de energía de entrada y voltaje de la batería para la configuración móvil del panel para el día 11.	115
ANEXO V	116
Datos de energía de entrada y voltaje de la batería para la configuración móvil del panel para el día 12.	116
ANEXO W	117
Datos de energía de entrada y voltaje de la batería para la configuración móvil del panel para el día 13.	117
ANEXO X	118
Datos de energía de entrada y voltaje de la batería para la configuración móvil del panel para el día 14.	118
ANEXO Y	119
Gráficas de energía prevista y energía de entrada para la configuración móvil del panel para el día 8.	119
ANEXO Z	119
Gráficas de energía prevista y energía de entrada para la configuración móvil del panel para el día 9.	119
ANEXO AA	120
Gráficas de energía prevista y energía de entrada para la configuración móvil del panel para el día 10.	120
ANEXO AB	120
Gráficas de energía prevista y energía de entrada para la configuración móvil del panel para el día 11.	120
ANEXO AC	121
Gráficas de energía prevista y energía de entrada para la configuración móvil del panel para el día 12.	121
ANEXO AD	121
Gráficas de energía prevista y energía de entrada para la configuración móvil del panel para el día 13.	121
ANEXO AE	122
Gráficas de energía prevista y energía de entrada para la configuración móvil del panel para el día 14.	122
ANEXO AF	122
Especificaciones técnicas del panel solar SP050P	122

ANEXO AG	123
Datasheet del regulador de carga solar CMTP02.....	123
ANEXO AH	125
Datasheet de la Batería TPlus 12V-18AH	125
ANEXO AI	126
Datasheet de Motor a pasos NEMA 23.....	126
ANEXO AJ	127
Posición del panel fotovoltaico en horas de la mañana.....	127
ANEXO AK.....	128
Posición del panel fotovoltaico al medio día	128
ANEXO AL	129
Posición del panel fotovoltaico en horas de la tarde	129

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros técnicos de una célula fotovoltaica	8
Tabla 2 Tipos de células fotovoltaicas y sus características	9
Tabla 3 Características de motores	28
Tabla 4 Característica de los Microcontroladores.....	29
Tabla 5 Sensores de Luminosidad.....	30
Tabla 6 Características de relojes digitales	31
Tabla 7 Características de sensores de voltaje	32
Tabla 8 Características de sensores de corriente.....	33
Tabla 9 Características de regulador de voltaje step down	34
Tabla 10 Características del panel solar plus 50W	35
Tabla 11 Parámetros del regulador de carga solar CMTP02	36
Tabla 12 Parámetros de la batería TB Plus	37
Tabla 13 Comparación de sistemas operativos para UDOO QUAD	38
Tabla 14 Valores de energía solar esperada y de energía solar obtenida por un sistema fotovoltaico con configuración fija.	74
Tabla 15 Valores de energía solar esperada y de energía solar obtenida por un sistema fotovoltaico con configuración móvil.	76
Tabla 16 Comparación de los valores de energía solar esperada y de energía solar obtenida entre la configuración fija y la móvil.	77

Tabla 17 Valor de voltaje de carga de la batería en ambas configuraciones en los días de pruebas de funcionamiento.	78
Tabla 18 Valor promedio de voltaje de carga de la batería en ambas configuraciones en los días de pruebas de funcionamiento.	79
Tabla 19 Presupuesto de un sistema solar fotovoltaico.	82
Tabla 20 Presupuesto del sistema control y seguimiento solar	82
Tabla 21 Presupuesto de elementos de conexiones eléctricas y de comunicación. ...	83
Tabla 22 Presupuesto del sistema de sensorización y regulación de voltaje.	83
Tabla 23 Subtotal.	84
Tabla 24 Presupuesto Total de la implementación del sistema electrónico de control de seguimiento solar fotovoltaico.	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Partes de un panel solar	10
Figura 2 Seguidor solar activo	11
Figura 3 Ángulo acimut.	13
Figura 4 Ángulo de inclinación.	13
Figura 5 Ángulo de incidencia.	13
Figura 6 Ángulo de declinación	14
Figura 7 Diagrama de bloques bucle abierto	16
Figura 8 Diagrama de bloque bucle cerrado	17
Figura 9 Diagrama de bloque bucle híbrido	18
Figura 10 Datos geográficos de la ciudad de ambato	25
Figura 11 Datos de radiación solar en la ciudad de ambato.....	26
Figura 12 Radiación solar horizontal en ecuador.....	26
Figura 13 Diagrama de bloque.....	27
Figura 14 Panel solar plus energy 50 watts sp050p.....	34
Figura 15 Regulador de carga solar cmtp02	36
Figura 16 Batería tb plus	37
Figura 17 Esquema básico	39
Figura 18 Localización geográfica del sistema de seguimiento solar.....	41
Figura 19 Diagrama de flujo	44
Figura 20 Primer control	45

Figura 21 Primera condición.....	46
Figura 22 Segunda condición.....	47
Figura 23 Control de motor.....	48
Figura 24 Interfaz del sistema operativo oficial de udoo versión 2.2.0.	50
Figura 25 Procesador atmel sam3x8e del microcontrolador udoo.....	51
Figura 26 Comunicación serial entre el procesador imx6 y sam3x del microcontrolador udoo.	57
Figura 27 Trama de datos compuesta por los diferentes valores del sistema.	58
Figura 28 Script udooservidor.py en ejecución.	58
Figura 29 Eje de la estructura del seguidor solar fotovoltaico.....	59
Figura 30 Base principal de la estructura del seguidor solar fotovoltaico.	60
Figura 31 Base secundaria de la estructura del seguidor solar fotovoltaico.	60
Figura 32 Reductor mecánico de la estructura del seguidor solar fotovoltaico.	61
Figura 33 Estructura del reductor mecánico.	62
Figura 34 Montaje del prototipo de seguidor solar fotovoltaico en la azotea de la facultad de ingeniería en sistemas, electrónica e industrial.	64
Figura 35 Conexiones de la instalación fotovoltaica.	65
Figura 36 Conexiones del circuito de potencia a la fuente de alimentación y al circuito de control.	66
Figura 37 Conexiones del circuito de control.	67
Figura 38 Caja de conexiones del sistema electrónico de control.	68
Figura 39 Registro en la cuenta de thingspeak.	68
Figura 40 Servidor de thingspeak para el seguidor solar fotovoltaico.....	69
Figura 41 Luz indicadora del estado del sistema	69
Figura 42 Campo numérico de la posición del panel solar.	70
Figura 43 Gráfica tipo curva de la energía de entrada.	70
Figura 44 Gráfica tipo curva del consumo de la carga.....	71
Figura 45 Gráfica tipo curva de la carga y descarga de la batería.	71
Figura 46 Ubicación del seguidor solar fotovoltaico.	72
Figura 47 Sistema fijo encendido y en 0°.	73
Figura 48 Energía de entrada para un sistema fijo.	73
Figura 49 Energía de entrada para un sistema fijo.	75
Figura 50 Energía de entrada para un sistema fijo.	75
Figura 51 Energía de entrada para un sistema fijo.	80

Figura 52 Energía de entrada para un sistema fijo.	81
Figura 53 Consumo de la carga en las dos configuraciones.	81

RESUMEN EJECUTIVO

Los sistemas de seguimiento solar permiten ubicar un panel solar en dirección perpendicular a la posición del sol, en el transcurso del día, con el fin de aprovechar al máximo los niveles de mayor radiación solar que inciden en el panel solar. El presente proyecto se centra en el diseño de un sistema electrónico de control de un prototipo de seguidor solar fotovoltaico en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, que capta una mayor cantidad de energía solar para el consumo eléctrico o su almacenamiento, debido al máximo aprovechamiento de la radiación solar en comparación con instalaciones solares fijas. Además, cuenta con un sistema de monitoreo de los parámetros más importantes de la instalación de seguimiento solar como: voltaje, potencia, ángulo de inclinación, que son visualizados por el administrador con el objetivo de verificar el correcto funcionamiento del sistema.

El diseño del sistema de seguimiento se basa en un algoritmo de control de bucle híbrido, que utiliza sensores de luz o fotosensores para que el sistema disponga de una retroalimentación de los datos que detectan los sensores. Además, el sistema de seguimiento utiliza la posición geográfica, fecha y hora del lugar para conocer si el sistema está colocado en la posición adecuada. Por otro lado, para la comunicación, almacenamiento y procesamiento de los datos obtenidos por los sensores de corriente y voltaje, colocados en el sistema de seguimiento, se utiliza WIFI como tecnología de comunicación y protocolos de comunicación como HTTP, que permiten la monitorización de los datos mediante una interfaz web.

Finalmente, se comparan los parámetros técnicos obtenidos por los sensores en el sistema de seguimiento solar en comparación con un sistema fotovoltaico fijo. Los resultados obtenidos desvelan una mejora en la cantidad de energía captada por el sistema de seguimiento solar del 10,23% en relación con un sistema fotovoltaico fijo.

Palabras claves:

Seguidor, Solar, Energía, Radiación, Control, Algoritmo.

ABSTRACT

Solar tracking systems allow placing a solar panel perpendicular to the position of the sun, during the day, to take maximum advantage of the highest levels of solar radiation incident on the solar panel. This project focuses on the design of an electronic control system for a prototype photovoltaic solar tracker at the School of Systems, Electronics and Industrial Engineering of the Technical University of Ambato, which captures a greater amount of solar energy for electricity consumption or storage, due to the maximum use of solar radiation compared to fixed solar installations. In addition, it has a monitoring system of the most important parameters of the solar tracking installation such as: voltage, power, tilt angle, which are visualized by the administrator with the objective of verifying the correct operation of the system.

The design of the tracking system is based on a hybrid loop control algorithm, which uses light sensors or photosensors to provide the system with feedback from the data detected by the sensors. In addition, the tracking system uses the geographic position, date and time of the location to know if the system is placed in the right position. On the other hand, for the communication, storage and processing of the data obtained by the current and voltage sensors, placed in the tracking system, WIFI is used as communication technology and communication protocols such as HTTP, which allow the monitoring of the data through a web interface.

Finally, the technical parameters obtained by the sensors in the solar tracking system are compared to a fixed PV system. The results obtained reveal an improvement in the amount of energy captured by the solar tracking system of 10.23% compared to a fixed photovoltaic system.

Keywords:

Tracker, Solar, Energy, Radiation, Control, Algorithm.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Tema de investigación

Sistema electrónico de control de un prototipo de seguidor solar fotovoltaico en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato.

1.2 Antecedentes Investigativos

En los últimos años se han desarrollado varios trabajos de investigación con relación a los sistemas de control electrónico de seguidores solares fotovoltaicos, que representan una herramienta fundamental para incrementar la producción de energía de los módulos fotovoltaicos en comparación con los sistemas fijos, estableciendo un campo de gran interés para la comunidad científica.

En el año 2017 se publicó el artículo de investigación denominado “Neural Control for Photovoltaic Panel Maximum Power Point Tracking”, en la revista de Ingeniería Electrónica Automática y Comunicaciones, que propone la identificación y control fotovoltaico en línea, utilizando la combinación de redes neuronales con el Filtro de Kalman como algoritmo de entrenamiento, así como sensores de tensión y corriente en un convertidor DC-DC Buck, que permite medir los cambios paramétricos en un controlador. Como principal resultado, mediante simulaciones realizadas en Simscape Power Systems, software para modelar y simular sistemas de energía eléctrica, se comprobó que el controlador del panel solar permitió maximizar la cantidad de energía eléctrica, adaptándose a los cambios instantáneos de los valores de irradiación. Además, se demostró que el controlador propuesto presentó una alta precisión y reducido tiempo de convergencia, incluso cuando trabaja con un panel fotovoltaico cuyas características operativas se han visto significativamente afectadas, debido a factores ambientales y degradación de las células por el tiempo de uso, permitiendo que el sistema sea adaptable a los métodos utilizados fuera de línea [1].

En el trabajo investigativo titulado “New approach for solar tracking systems based on computer vision, low cost hardware and deep learning”, realizado por el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas CIEMAT en el año 2018, se presenta un nuevo enfoque de bajo costo mediante visión artificial, aprendizaje profundo y la implementación de un microprocesador versátil y económico para los sistemas de seguimiento solar. Las pruebas realizadas en la plataforma solar de Almería, da como resultado un buen rendimiento del sistema al predecir el movimiento de nubes, detección de bloques y sombras, atenuación atmosférica o medidas de radiación solar concentrada, además no se ve afectado por errores de puntería como inclinación del pedestal, cargas de viento o posición aparente del sol y evidencia una buena alternativa a los sistemas tradicionales de seguimiento solar en cuanto a costos y problemas operacionales [2].

El artículo científico titulado “Deep Learning for Photovoltaic Generation Forecast in Active Solar Trackers”, realizado por C. Kasburg y S. Frizzo, en el año 2019, describe la utilización de un método para la predicción solar, con la finalidad de maximizar la generación de energía en seguidores solares, mediante el empleo de algoritmos de una memoria LSTM, que representa una red neuronal artificial recurrente, utilizada en el aprendizaje profundo con la capacidad de manejar complejos problemas con alta no linealidad. Los resultados de la aplicación generaron un resultado adecuado, empleando la configuración del 90% datos para el entrenamiento de las neuronas y 100 unidades ocultas. La mayor energía almacenada fue de solo 16,619 mW, valor corresponde a solo el 1,66% de la capacidad de generación del panel 1000 mW, y por lo tanto, es aceptable para este sistema. Se concluyó que el algoritmo LSTM para previsión de generación fotovoltaica en seguidores solares activos es bastante prometedor, ya que se pueden utilizar para predecir la generación fotovoltaica [3].

En el artículo científico “Using P&O Based Sensorless Method In Single-Axis Solar Tracker”, publicado en la revista Internacional de Investigación en Energías Renovables IJRER, en el año 2019, por la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Formación de Profesores Shahid Rajaei de Irán, describe un método de seguimiento solar de un solo eje basado en perturbación y observación mediante un

motor paso a paso que cambia el ángulo de incidencia constantemente, mientras un controlador simultáneamente compara la potencia máxima recibida desde cada ángulo.

Como resultado, el sistema captura el valor máximo de energía solar en cualquier momento durante el día con un ángulo de error máximo de 1,5 grados, que es menor o igual en comparación con investigaciones similares. Su costo de fabricación es mucho menor que rastreadores solares, basado en sensores. El método propuesto no depende del azimut ni de ecuaciones geográficas y permite rastrear con precisión el sol en diferentes condiciones climáticas como el cielo nublado [4].

En el año 2020, en la revista internacional de Fotoenergía Hindawi, se publicó el artículo de investigación denominado “Evaluation and Design of Power Controller of Two-Axis Solar Tracking by PID and FL for a Photovoltaic Module”, que propone el diseño y evaluación de dos controladores, uno Proporcional Integral Derivado y el otro por Fuzzy Logic para un seguidor solar de dos ejes. El principio de funcionamiento del sistema de seguimiento solar es establecer las condiciones de orientación del módulo fotovoltaico que permita la generación de la máxima potencia disponible hasta alcanzar el valor nominal. El sistema de seguimiento dispone de un giroscopio en la superficie del módulo que determina su posición con respecto a la hora, ángulo y altitud del sol. El sistema de control propuesto implementa una tarjeta de adquisición de datos, basado en la integración de sensores de voltaje y corriente, que miden el valor de potencia de salida de producción eléctrica del módulo fotovoltaico durante todo el día y bajo cualquier condición climática. Los resultados de la implementación del sistema de control Fuzzy Logic para un seguidor solar de dos ejes evidencian que la potencia de salida del módulo fotovoltaico se mantenga en sus parámetros nominales durante las horas pico de sol [5].

1.2.1 Contextualización del problema

Los combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural) conforma el principal consumo de energía primaria mundial. En el año 2019, el consumo mundial de energía primaria superó los 13 mil 940 millones de toneladas equivalentes de petróleo, Mtep/año, que aproximadamente equivalen a 162 mil 194 Tera vatios-hora, TWh. En 2019, el consumo de energía primaria mundial experimentó un aumento de 1,3% con relación al año 2018, inferior al crecimiento del consumo de energía primaria mundial del año 2018, igual a 2,8%. En el año 2019, los recursos fósiles como el petróleo, carbón y gas natural suministraron el 33,1%, 27% y 24,2%, respectivamente, del consumo de energía primaria mundial. En tanto, las energías renovables apenas suministraron tan sólo el 5% del consumo de energía primaria mundial [6].

La combinación de un aumento más ralentizado de la demanda de energía, así como un cambio en la utilización de los recursos, debido a la sustitución del carbón por el gas natural y un importante incremento de la implementación de tecnologías renovables, proporcionó una disminución significativa en el crecimiento de las emisiones de carbono. Asimismo, las energías renovables aportaron el 40% del incremento de la demanda de energía eléctrica mundial en el año 2019, representando la mayor participación que cualquier otro combustible fósil [7]. Así, por ejemplo, la generación eólica proporcionó la mayor contribución al crecimiento de energía eléctrica con 3888,89 TWh, seguido de la energía solar con 3333,33 TWh. Uno de los países que más ha implementado el uso de energías renovables en el año 2019 fue China, donde la energía solar proporcionó la mitad del aumento del consumo de energía eléctrica de ese año [6].

En las últimas décadas, los sistemas renovables de generación de energía térmica y eléctrica se han convertido en una de las herramientas más importantes en la lucha contra el cambio climático y desarrollo sostenible de la humanidad. En este sentido, la energía solar ha cobrado especial interés, debido a su modularidad, elevado potencial y reducido costo de instalación, conformando una alternativa eficaz, limpia y económica, en comparación con otras formas de generación de energía eléctrica [8]. La energía solar ha aumentado constantemente su cuota de generación renovable y, en la actualidad, constituye el 26% del total de potencia renovable instalado, a diferencia del 14% de la capacidad de energía renovable instalada de hace cinco años [6].

En Latinoamérica, uno de los países que apunta a convertirse en una potencia solar es México, gracias a su ubicación en el cinturón solar, que representa una zona con una elevada radiación solar a escala global. México tiene como objetivo a largo plazo generar el 35% de la generación eléctrica, basada en energías limpias para el año 2024. Un ejemplo del desarrollado alcanzado por México en la integración de energías renovables es la construcción del central solar más grande de Latinoamérica, ubicado en Viesca en el estado de Coahuila, con una potencia instalada de 754 MW y una inversión de 650 millones de dólares [9]. Otros países como Chile, Brasil y Honduras poseen la mayor cantidad de plantas fotovoltaicas operativas que superan los 100 MW de potencia instalada, con 15, 5 y 3 centrales mayores a 100 MW, respectivamente, en el año 2018 y con proyecciones favorables para los próximos 5 años [10].

En los últimos años, la integración de sistemas solares fotovoltaicos ha adquirido una gran importancia, debido a los beneficios que ofrecen a la sociedad, asociados no sólo al factor medioambiental sino también al aspecto económico para aquellas empresas, que han optado por invertir en estas tecnologías. Los acuerdos internacionales exigen una mayor responsabilidad con el medioambiente y por ello se está impulsando el uso de tecnologías para la generación de energía limpia, por lo que en cada país se deberán generar los incentivos económicos y tributarios para motivar su integración en el sistema energético [11].

Ecuador, no es la excepción en la tendencia internacional de integración de sistemas renovables de generación eléctrica, y se han establecido incentivos económicos y tributarios para quienes hagan uso de estas tecnologías. Ecuador se encuentra en una ubicación privilegiada en cuanto al potencial uso del recurso solar, recibiendo una radiación prácticamente perpendicular, invariable durante el año y con un ángulo de incidencia constante. Unas características que otorgan a la energía fotovoltaica un enorme potencial de aprovechamiento en el país [12]. Entre los beneficios económicos que presenta la instalación de sistemas solares fotovoltaicos en el país son: reducidos costes en producción de energía eléctrica, reducción del consumo de energía tarifa regulada y la utilización de energía solar como tecnología de autoabastecimiento y ahorro energético. Por otro lado, entre los incentivos tributarios existentes en el país destacan: la liberación de aranceles al importar tecnología, los paneles solares gravan

tarifa 0% del IVA y deducción del 100% en depreciación y amortización de equipos para generación de energía solar [11].

A pesar del gran potencial solar del Ecuador y de los innegables beneficios, la participación de la energía solar en la matriz energética nacional es muy baja. En 2019, la energía entregada para servicio público de energía solar fotovoltaica fue apenas de 36,47 GWh, que representa tan solo el 0,14% de la energía eléctrica consumida en el país [13]. Según ARCONEL en su informe, denominado “Atlas del Sector Eléctrico Ecuatoriano”, en Ecuador, en el año 2018, se contabilizaron más 36 centrales solares fotovoltaicas, con una potencia nominal instalada igual a 27 MW [14]. Adicionalmente, pocos estudios se han hecho acerca del recurso solar o sobre el potencial de implementación de tecnologías solares en Ecuador [15].

El presente trabajo tiene como finalidad, implementar un sistema electrónico de control que permita ubicar un panel fotovoltaico en dirección perpendicular a la posición del sol, en el transcurso del día. Esto con el fin de aprovechar de la mejor manera los niveles de radiación que inciden en el panel solar, buscando obtener mayor energía para el consumo eléctrico o su almacenamiento, debido al máximo aprovechamiento de la radiación solar. Además, cuenta con un sistema de monitoreo de las variables más importantes como: voltaje, potencia, ángulo de inclinación, que se muestran al administrador y este pueda verificar el correcto funcionamiento del sistema.

1.2.2 Fundamentación teórica

1.2.2.1 Energía solar

La energía solar es aquella energía obtenida a partir de la radiación electromagnética proveniente del sol permitiendo transformarla en energía eléctrica o térmica. Tanto el calor como la luz del sol se aprovecha gracias al uso de diversos captadores como células fotovoltaicas, helióstatos o colectores térmicos [16].

Las formas de aprovechar la energía solar permiten determinar dos tipos de tecnologías solares [16]:

- Energía Solar Pasiva

- Energía Solar Activa, la misma que se subdivide en solar térmica y fotovoltaica.

1.2.2.2 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica consiste en la transformación directa de la radiación del sol en electricidad, conversión que se realiza a través de los módulos o generadores fotovoltaicos [16].

1.2.2.3 Generador fotovoltaico

El generador fotovoltaico permite transformar la energía del sol en energía eléctrica, está formado por varios módulos fotovoltaicos conectados en serie y/o paralelo que a su vez están formados por unidades básicas llamadas células fotovoltaicas o células solares [16].

1.2.2.4 Célula fotovoltaica

La célula fotovoltaica es la unión de dos materiales semiconductores de silicio dopado, la unión es de tipo P-N o unión diodo. Al incidir la luz solar sobre la célula surge un campo eléctrico que va desde la zona N, en la que están electrones libres, hasta la zona P, donde existen los huecos, permitiendo que al conectar una carga se establezca una corriente continua [17].

Las células solares o fotovoltaicas presentan diferentes parámetros técnicos que definen su funcionamiento tales como: corriente, tensión, eficiencia, entre otros [16].

En la Tabla 1 se muestra los principales parámetros de una célula fotovoltaica con sus respectivas descripciones.



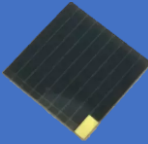


Tabla 1 Parámetros técnicos de una célula fotovoltaica [16].

Parámetros	Descripción
Corriente de corto circuito	Máxima corriente que se obtiene en la célula.
Tensión de circuito abierto	Máxima tensión que se puede extraer de una célula.
Potencia máxima	Producto de la tensión y corriente máximas.
Eficiencia	Relación entre la potencia de la célula y la potencia de la luz incidente en ella.
Factor de forma	Cociente de potencia máxima que se puede entregar a una carga entre el producto de la tensión de circuito abierto y la intensidad de cortocircuito.
Resistencia serie	Resistencia interna de la célula y se debe a la malla de metalización, a la resistencia de contactos y a la resistencia del semiconductor.
Resistencia paralelo	Resistencia que debida a las imperfecciones en la unión p-n, la cual permite la fuga de corriente.

1.2.2.5 Tipos de células fotovoltaicas

Existen diferentes tipos de células fotovoltaicas las cuales se pueden clasificar dependiendo de su composición y modo de fabricación. Entre las células fotovoltaicas más relevantes y sus principales características podemos detallarlas en la Tabla 2:

Tabla 2 Tipos de células fotovoltaicas y sus características [16] [17].

<p>Células de silicio monocristalino</p> 	<p>Células de silicio policristalino</p> 	<p>Células de arseniuro de galio AsGa</p> 	<p>Células bifaciales</p> 	<p>Células de silicio amorfo</p> 
<ul style="list-style-type: none"> • Diodo de unión P-N. • Sensible a la iluminación. • Rendimiento del 20%. • Posee buena relación rendimiento-precio. • Más usada en la actualidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Solidificación en múltiples cristales. • Rendimiento del 12-14%. • Fabricación simple. • Menor resistencia al calor. 	<ul style="list-style-type: none"> • Material raro y poco abundante. • Rendimiento del 27-28% versión monocristalina. • Elevado coeficiente de absorción. • Resistencia a temperaturas altas con menos pérdidas. • Costo de producción elevada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Unión doble (N+-P-P+). • Capta la radiación frontal y la reflejada en el suelo. • Costo de producción elevado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto coeficiente de absorción. • Espesores de material activo muy pequeño. • Rendimiento del 5-6%. • Bajo costos de producción.

1.2.2.6 Panel solar

Un panel solar o también llamado módulo fotovoltaico está constituido por un conjunto de células con características iguales, conectadas eléctricamente. Esta conexión puede ser en serie o en paralelo, para que tanto la tensión como la corriente puedan ajustarse a valores deseados. Para protegerse de agentes externos el panel dispone de otros elementos tales como [16]:

- Cubierta exterior de vidrio, permite al máximo el paso de la radiación solar. Encapsulante, de silicona o de EVA (etilen-vinil-acetato).
- Lámina de protección posterior, evita el ataque de los agentes meteorológicos.
- Marco metálico, le da rigidez e impermeabilidad al panel.
- Cableado y bornes de conexión, protegidos de la intemperie en cajas estancas.
- Diodo de protección, contra sobrecargas y circulación inversa de corriente.

En la Figura 1 se muestra las partes de un panel solar nombradas anteriormente.

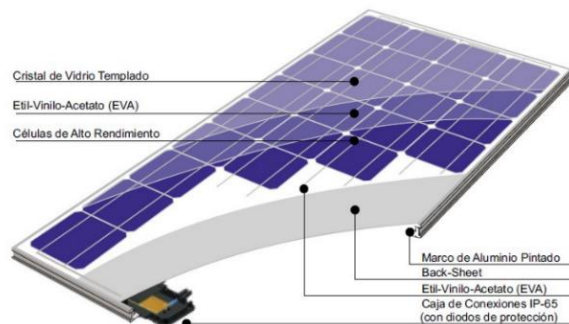


Figura 1 Partes de un panel solar [18].

1.2.2.7 Seguidor solar

El seguidor solar es un dispositivo que permite dirigir los módulos fotovoltaicos hacia el sol. Estos dispositivos cambian su orientación a lo largo del día para seguir la trayectoria del sol y así maximizar la captura de energía debido a que minimiza el ángulo de incidencia entre la luz entrante y el módulo fotovoltaico [4]. Los sistemas de seguimiento solar pueden clasificarse atendiendo a dos criterios: los ejes del plano que forma el módulo y que se mueven con el propósito de seguir la trayectoria del sol; y los sistemas de control que permiten el seguimiento del sol [19].

Respecto a los tipos de seguidores que existen en función del eje o ejes del plano que formarían los paneles y que son capaces de variar su posición en función del recorrido solar se tienen [19]:

- Seguimiento solar a un eje.
- Seguimiento solar a dos ejes.

En cuanto a los tipos de seguidores en función del sistema de control del seguimiento, se tienen los siguientes [19]:

- Pasivos: Se puede decir que son totalmente mecánicos.
- Activos: Su control es de tipo electrónico.

1.2.2.8 Seguidor activo

Los seguidores activos pueden clasificarse en función del sistema electrónico de control que se utilice. Así, se tienen seguidores controlados mediante un microprocesador y una unidad electroóptica, por células solares bifaciales auxiliares, por un ordenador en función de la hora y la fecha, y una combinación de estos tres sistemas. A continuación, se exponen algunas características que presentan cada uno de los sistemas electrónicos de control [19].

Un ejemplo de seguidor activo es el que se muestra en la Figura 2.

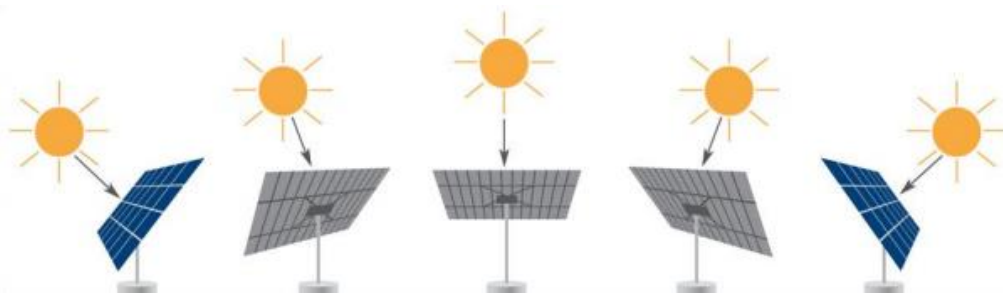


Figura 2 Seguidor solar activo [20].

Basados en un microprocesador y sensores electroópticos

En los seguidores basados en un microprocesador y un sensor electroóptico la señal de control se consigue gracias a la diferencia de iluminación en el sensor a lo largo del día. Un solo controlador es capaz de determinar la posición que deben adoptar un gran número de paneles. Se suelen utilizar sensores electroópticos para llevar a cabo la

autocalibración del sistema y requieren una instalación muy precisa y están destinados principalmente para centrales en las que se genera electricidad por concentración [19].

Basados en células solares bifaciales auxiliares

El primer seguidor solar controlado por células solares bifaciales auxiliares fue el propuesto por Poulek y Libra. Las mencionadas células solares bifaciales auxiliares están conectadas directamente a un motor de corriente continua que proporciona el movimiento. Su funcionamiento tiene serios problemas en los días nublados. Los paneles fotovoltaicos son conectados a un circuito puente similar al puente de Wheatstone. Si el voltaje de salida de los módulos no es el mismo, el voltaje aplicado al motor de corriente continua es distinto a cero y como resultado, el motor comienza a girar [19].

Astronómicos

Este grupo sería el formado por aquellos seguidores controlados a través de la posición solar que está en función de la fecha y hora. En estos, un ordenador calcula la posición del sol a partir de algoritmos a partir de la hora, fecha y coordenadas geográficas para enviar señales a un motor o motores eléctricos. No obstante, en muchas ocasiones se hace uso de sensores para definir una posición específica [19].

Basados en la combinación de sensores y astronómicos

Estos sistemas de seguimiento que utilizan sensores y la determinación de la fecha y hora de manera conjunta para definir la posición del seguidor o seguidores. Se utilizan sensores como pirheliómetro que es un instrumento para seguir el sol, potenciómetros y finales de carrera junto a cada eje para enviar la señal [19].

1.2.2.9 Orientación

Un módulo fotovoltaico debe ser colocado de tal manera que pueda obtener la máxima energía y para que esto suceda se debe orientar perpendicularmente al sol, y es así como debemos tener en cuenta algunos parámetros como:

- **Acimut (α):** El acimut es el ángulo medido en el horizonte de forma horaria de la desviación de un cuerpo celeste respecto a una referencia, en este caso el Norte, como se muestra en la Figura 3.

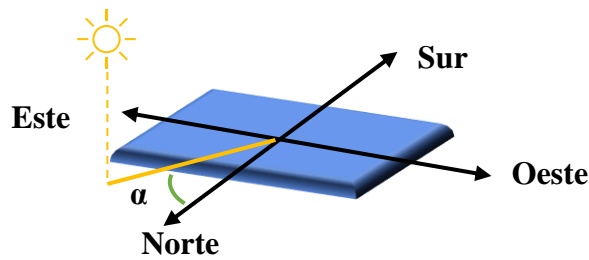


Figura 3 Ángulo Acimut.

Elaborado

por: El

investigador basado en [17].

- **Inclinación o elevación (β):** El ángulo de inclinación es el ángulo que forma la superficie del módulo y el plano horizontal, tal como se ve en la Figura 4.

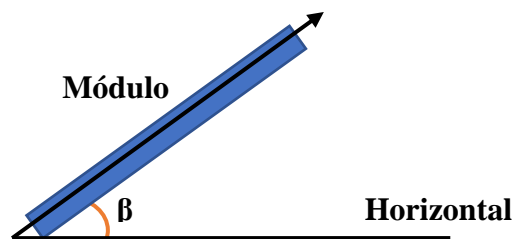


Figura 4 Ángulo de inclinación.

Elaborado por: El investigador basado en [17].

- **Incidencia (φ):** El ángulo de incidencia es el ángulo que forman la radiación directa sobre la superficie del módulo y la normal dicha superficie. Figura 5.

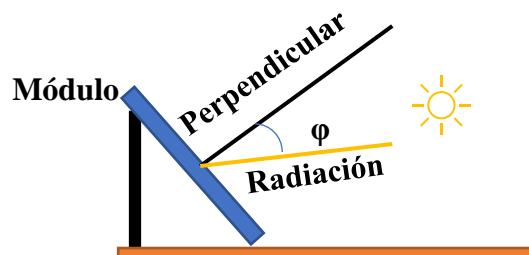


Figura 5 Ángulo de incidencia.

Elaborado por: El investigador basado en [17].

- **Declinación (δ):** El ángulo de declinación es el ángulo formado por el plano ecuador de la tierra con los rayos incidentes del Sol. Este ángulo varía con el día y su fórmula aproximada es la siguiente:

$$\delta(^{\circ}) = 23,45 \times \sin\left(360 \times \frac{(281+n)}{365}\right) \text{ (Ecuación 1)}$$

siendo n el número del día en el año.

La Figura 6 muestra el ángulo de declinación.

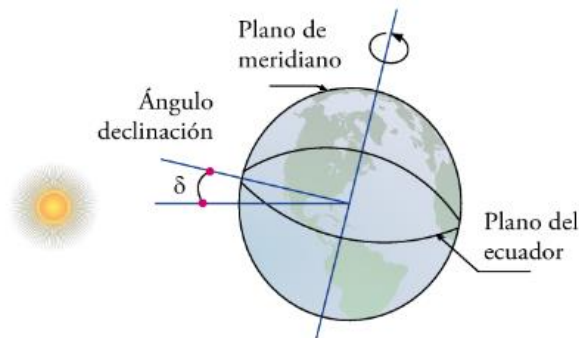


Figura 6 Ángulo de declinación [17].

- **Latitud ϕ :** La latitud es el ángulo que forma la vertical de un punto geográfico sobre la superficie terrestre y el plano del ecuador, el dato de la latitud es básico para poder conocer la posición solar.

1.2.2.10 Componentes de un sistema de seguimiento solar

Un sistema de seguimiento solar está compuesto por los siguientes elementos que son de gran importancia dentro de la generación de energía a partir de la radiación del sol.

- Módulo fotovoltaico o panel solar definido anteriormente,
- Acumuladores eléctricos,
- Reguladores,
- Convertidores o también llamados inversores, y algoritmo de control para el seguimiento solar.

1.2.2.11 Acumulador eléctrico

El acumulador eléctrico o batería permite almacenar la energía eléctrica producida por el panel una vez que haya incidido la radiación del sol en dicho panel solar [21].

1.2.2.12 Tipos de acumuladores eléctricos

Pueden clasificarse en dos grandes grupos ya sea por su uso o por su composición [21]:

Los acumuladores o baterías clasificadas por su uso pueden ser:

- Estacionarios, baterías que permanecen fijos en un lugar determinado, poseen corrientes permanentes, y no es necesario generar corrientes elevadas en periodos cortos de tiempo.
- De arranque, tipo baterías de automóvil, ya que están acondicionadas a suministrar una cantidad elevada de energía eléctrica en un corto de tiempo (segundos).

Acumuladores o batería según su composición [21]:

- Batería de plomo-ácido.
- Batería de plomo-antimonio.
- Batería de plomo-calcio.
- Batería de ciclo profundo gelatinosa.
- Batería de níquel-cadmio.
- Batería de níquel-hidruro metálico.
- Baterías herméticas.
- Baterías monoblock.

1.2.2.13 Reguladores

Los reguladores tienen como finalidad evitar las sobrecargas y descargas excesivas en los acumuladores, además asegura que el sistema trabaje con la máxima eficacia.

Básicamente existen dos tipos de reguladores [21]:

- Regulador shunt o paralelo: Utilizado en instalaciones pequeñas. Está dotado de un diodo Zener y un disipador de calor.
- Regulador serie: Utilizado en instalaciones que aplican intensidades más elevadas.

Aunque la misión de los dos es la misma, se diferencian en la forma de trabajo, en el funcionamiento y, por supuesto, en el precio.

1.2.2.14 Convertidores

Los convertidores o inversores como su nombre indica son dispositivos capaces de transformar la corriente eléctrica de manera que resulte apta para usos específicos. Los tipos más usuales en el mercado son [21]:

- Corriente continua-corriente continua (c.c.-c.c.).

- Corriente continua-corriente alterna (c.c.-c.a.).

1.2.2.15 Algoritmo de seguimiento solar

Los algoritmos de seguimiento solar se basan en estrategias de seguimiento solar que permiten que el sistema pueda captar la mayor cantidad de energía solar posible.

Estas estrategias se clasifican en:

- Estrategia de seguimiento solar en bucle abierto
- Estrategia de seguimiento solar en bucle cerrado
- Estrategia de seguimiento solar en bucle híbrido

Estrategia de seguimiento solar en bucle abierto

Se denomina de bucle abierto porque no hay retroalimentación de control de un sensor solar. Esta estrategia emplea un algoritmo de posición solar basado en las coordenadas solares para para estimar la posición aparente del sol con respecto a una ubicación geográfica en la Tierra. Este tipo de estrategia requiere conocer parámetros como la ubicación geográfica, la hora, la fecha, así como la orientación de sistema de seguimiento solar activo [22]. La Figura 7 se observa el diagrama de bloques de esta estrategia.

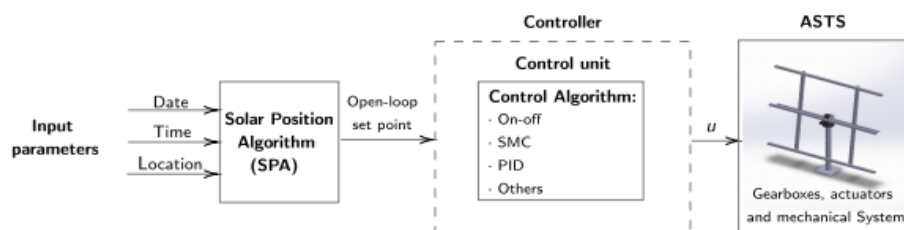


Figura 7 Diagrama de bloques bucle abierto [22].

Sus principales ventajas son [22]:

- No requiere un sensor solar.
- Facilidad y bajo coste de implantación.
- El funcionamiento es independiente de las perturbaciones meteorológicas.

Así también posee diferentes desventajas las cuales son [22]:

- Baja precisión de seguimiento.

- Requiere un algoritmo de posición solar con los datos geográficos y de tiempo de seguimiento solar.
- Puede requerir una calibración constante.
- Puede ser inestable ante una perturbación eléctrica o mecánica.

Estrategia de seguimiento solar en bucle cerrado

Se denomina de bucle cerrado debido a la retroalimentación de control de la posición aparente del Sol con un sensor solar. Su diagrama de bloques se ilustra en la Figura 8.

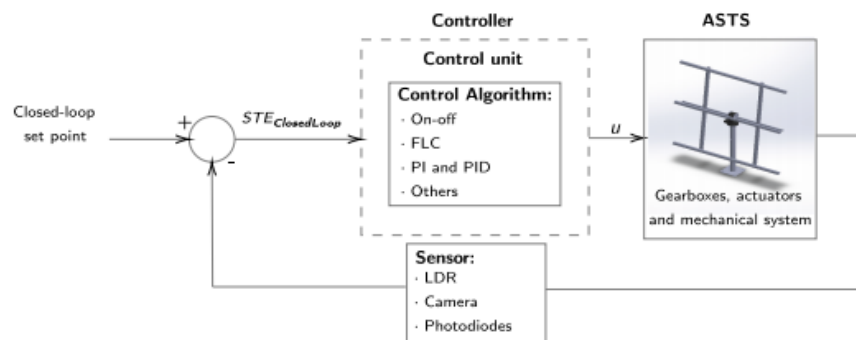


Figura 8 Diagrama de bloque bucle cerrado [22].

Es necesario establecer un punto de consigna en bucle cerrado, normalmente igual a 0 para los sistemas de seguimiento solar activo que utilizan sensores solares basados en matrices de fotosensores [22].

Las principales ventajas de la estrategia de bucle cerrado son [22]:

- No requiere un algoritmo de posición solar.
- Consigue una alta precisión de la ST.
- No restringe la ubicación geográfica.

Las desventajas que posee esta estrategia son [22]:

- Requiere un sensor solar.
- Su funcionamiento depende de perturbaciones meteorológicas como la nubosidad o la radiación difusa.
- La localización solar está limitada al campo de visión del sensor solar.
- La complejidad y los costes de implementación de un sistema de seguimiento solar activo de bucle cerrado son mayores que en un sistema de bucle abierto.

- La precisión del seguidor solar puede disminuir por el uso de codificadores o sensores solares de baja precisión.
- La mayoría de los fotosensores empleados en los sensores solares no tienen una respuesta lineal bajo diferentes temperaturas y valores de radiación.

Estrategia de seguimiento solar de bucle híbrido

Este tipo de estrategia permite obtener las ventajas de las estrategias de seguimiento solar en bucle abierto y en bucle cerrado combinándolas para un mejor resultado, lo que se conoce comúnmente como estrategia de seguimiento solar de bucle híbrido. Normalmente, esta estrategia se basa en dos lazos de control: un control grueso implementado en bucle abierto y un control fino realizado en bucle cerrado. Por lo general, ambos lazos no se activan al mismo tiempo [22].

En la Figura 9 se muestra el punto de consigna del sistema de control: una en modo de bucle abierto (línea roja) y otra en bucle cerrado (línea verde).

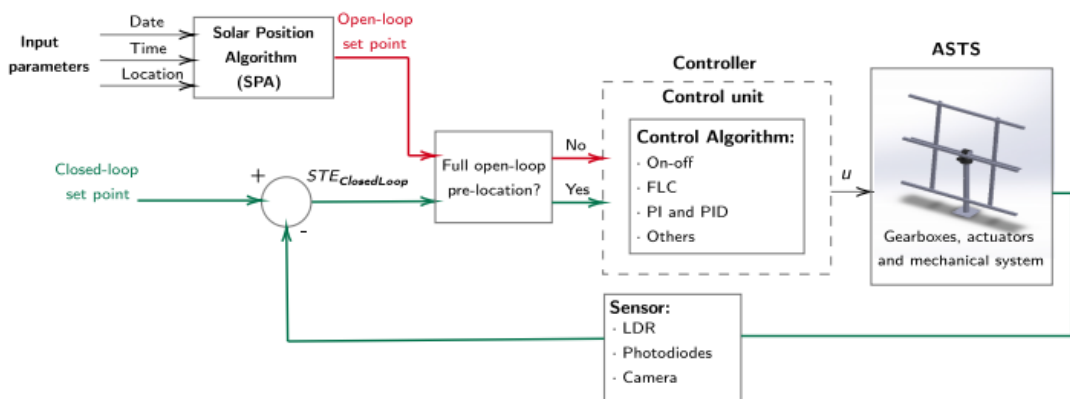


Figura 9 Diagrama de bloque bucle híbrido [22].

Las ventajas que se presenta en esta estrategia son [22]:

- La precisión y la exactitud del seguidor solar son generalmente altas.
- El seguidor solar puede realizarse incluso en condiciones de nubosidad.
- No requiere una calibración continua.

Las desventajas de este sistema son [22]:

- Requiere la localización, hora, fecha y orientación del sistema de seguimiento solar.

- Su implementación es más cara y compleja que los sistemas de seguimiento solar de lazo abierto y cerrado.
- Requiere un algoritmo de posición solar.
- Requiere un sensor solar.

Algunos de los algoritmos de seguimiento solar pueden ser On-Off, PID, algoritmo de control por modos deslizantes, lógica difusa, aprendizaje profundo, entre otros.

A continuación, se describe brevemente a cada algoritmo mencionado

Algoritmo de control ON-OFF

El algoritmo de control ON-OFF es un algoritmo sencillo y práctico donde el algoritmo revisa si la variable del proceso está por encima o por debajo del set point determinado para que pueda ejecutarse la acción preestablecida o no [22].

Algoritmo de control usando PID

El algoritmo de control PID utiliza la realimentación con una estructura simple con una entrada y una salida, pero también se utiliza en sistemas multivariable. El control PID presenta 3 acciones [5]:

Proporcional: es el control donde su salida es proporcional al error de la variable controlada.

Integral: La salida de este control es igual al error acumulado de la variable controlada a lo largo del tiempo.

Derivativo: Control predictivo y rápido, por este hecho puede amplificar el ruido dentro de la señal de error.

Algoritmo de control por modos deslizantes

El algoritmo de control por modos deslizantes es un algoritmo de control no lineal que necesita del modelo del sistema para generar el control, siendo un sistema robusto donde posee insensibilidad a la variación paramétrica y tiene buen seguimiento [22].

Algoritmo de control usando lógica difusa

El Algoritmo de control usando lógica difusa es algoritmo que permite obtener una acción basándose en datos inexactos o un grado de impresión elevada, siendo un

sistema no lineal, tratando a estos datos como valores de conjuntos borrosos que se combinan en reglas para definir acciones específicas en un sistema definido [5].

Algoritmo de control usando aprendizaje profundo

El algoritmo de control usando aprendizaje profundo es un algoritmo de aprendizaje automático en la que se modela abstracciones de alto nivel en datos usando procesadores robustos, mejorando el rendimiento del sistema al poder acceder a un mayor número de datos por si capacidad infinita de aprendizaje, o lo que es lo mismo, hacer que la máquina tenga más experiencia, y así pueda interpretar y escoger la acción más adecuado para que el sistema trabaje a su mayor capacidad [2].

1.2.2.16 Estrategia de seguimiento

1.2.2.17 Lenguaje de programación C ++

El lenguaje de programación C++ se lo denomina lenguaje de alto nivel debido a que es un lenguaje de programación fácil de entender y programar. Además, se lo considera un lenguaje de propósito general, debido a que se lo utiliza para implementar aplicaciones de tipo científico, como comercial.

Está basado en el lenguaje de programación C, añadiéndole al lenguaje derivado nuevos tipos de datos, mecanismos de excepciones, sistemas de espacios de nombres (namespace), sobrecarga de operadores, manejo de memoria persistente, nuevas librerías y un sistema de detección de errores más robusto que C, lo que permite detectar errores más rápidamente que en su antecesor [23].

1.2.2.18 Lenguaje de programación python

Python es un lenguaje de programación de propósito general, posee una sintaxis muy limpia y legible la que permite que uso sea sencillo. Posee tipado dinámico esto quiere decir que una variable puede poseer datos de varios tipos, Python es un lenguaje interpretado es decir no se necesita compilar el código fuente para poder ejecutarlo, lo que ofrece algunas ventajas. Es un lenguaje multiparadigma debido que se puede realizar programación orientada a objeto, funcional o estructurada, y es multiplataforma ya que puede ser utilizado por sistemas distintos [24].

1.2.2.19 Plataforma IOT thingSpeak

ThingSpeak es una plataforma de análisis de IoT que permite añadir, visualizar y comparar diversos datos en tiempo real a la nube, además de realizar el análisis y el procesamiento de los datos en tiempo real a medida que se incorpora, creando visualizaciones y alertas de dichos datos. ThingSpeak trabaja con Arduino, Matlab, Raspberry pi, módulos WIFI, LoRaWAN, entre otros. También utiliza protocolos más utilizados en IOT [25].

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

El objetivo general del proyecto de investigación es implementar un sistema electrónico de control para el seguimiento solar de un panel fotovoltaico, el cual permite incrementar eficientemente la obtención de energía solar en la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, con relación a un sistema fotovoltaico fijo.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar los sistemas más avanzados de control electrónico de seguidores solares fotovoltaicos.
 - Análisis, descripción y evaluación de los sistemas de control para el seguimiento solar fotovoltaico.
 - Identificación y selección del algoritmo para el sistema electrónico de control.
- Diseñar el sistema electrónico de control de seguimiento solar fotovoltaico.
 - Selección del hardware y software del sistema de control del seguidor solar.
 - Diseño e implementación del algoritmo adecuado para el control del sistema.
 - Diseño y construcción de la estructura física para el seguidor solar fotovoltaico.
 - Diseño y construcción del reductor mecánico para el motor a pasos.
- Validar el sistema de seguimiento solar fotovoltaico de la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato.
 - Montaje de la estructura y del sistema electrónico de control del seguidor solar, basado en las normas de construcción y montaje de sistemas fotovoltaicos.

- Elaboración de la interfaz web para el monitoreo del sistema.
- Realización de pruebas de funcionamiento del sistema.
- Comparación de los parámetros técnicos más relevantes entre el sistema fotovoltaico fijo y el sistema de seguimiento solar construido.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 Materiales

Para el diseño e implementación del presente proyecto de investigación se requirió información de la radiación solar de la ciudad de Ambato mediante un software de sistemas solares fotovoltaicos y radiación solar, además de artículos, revistas, tesis, libros y estudios realizados acerca de sistemas electrónicos de seguimiento solar.

2.2 Métodos

2.2.1 Modalidad de investigación

Para el desarrollo del presente proyecto de investigación se utilizó la técnica de investigación aplicada, debido a que se puso en práctica los conocimientos adquiridos para la implementación y programación de un algoritmo de control para un sistema de seguimiento solar fotovoltaico.

Para la recolección de información se empleó una investigación bibliográfica, debido a que se analizaron artículos científicos, libros, tesis relacionadas con el tema, e información web para conocer los requerimientos y especificaciones de los sistemas electrónicos de control en seguidores solares.

La presente investigación fue de carácter experimental, ya que a través de pruebas se analizaron las ventajas que tiene el uso del seguidor solar con respecto a un sistema fotovoltaico fijo.

Además, fue una investigación de campo debido a que se obtuvo datos reales sobre el incremento de energía que adquirió el sistema fotovoltaico utilizando el seguidor solar, lo que permitió validar la implementación del sistema.

2.2.2 Recolección de información

Para la recolección de la información se analizó artículos, libros, estudios y tesis desarrolladas en los últimos años, cada uno de estos relacionados a sistemas

electrónicos de control en seguidores solares. Además, se recopiló información meteorológica y de radiación solar en la ciudad de Ambato.

2.2.3 Procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento y análisis de datos se llevó a cabo los pasos descritos a continuación:

- Lectura comprensiva de la información recopilada sobre el tema y sistema similares.
- Interpretación y optimización de la información de la lectura realizada previamente.
- Presentación de resultados de acuerdo con los objetivos planteados.

2.2.4 Desarrollo del proyecto

Para cumplir con los objetivos planteados en el proyecto de investigación se llevó a cabo los siguientes pasos:

- Análisis, descripción y evaluación de los sistemas de control para el seguimiento solar fotovoltaico.
- Identificación y selección del algoritmo para el sistema electrónico de control.
- Selección del hardware y software del sistema de control del seguidor solar.
- Diseño y construcción de la estructura física para el seguidor solar fotovoltaico.
- Diseño y construcción del reductor mecánico para el motor a pasos.
- Diseño e implementación del algoritmo adecuado para el control del sistema.
- Montaje de la estructura y del sistema electrónico de control del seguidor solar, basado en las normas de construcción y montaje de sistemas fotovoltaicos.
- Elaboración de la interfaz web para el monitoreo del sistema.
- Realización de pruebas de funcionamiento del sistema.
- Comparación de los parámetros técnicos más relevantes entre el sistema fotovoltaico fijo y el sistema de seguimiento solar construido.
- Elaboración del informe final.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Introducción

Ecuador al estar ubicado en la latitud 0° posee un recurso energético solar mayor y constante, esto debido a que el ángulo de incidencia de luz solar es perpendicular a la superficie en todo el año, variando únicamente por el clima y que tan alejado o cerca del sol se encuentre el lugar.

La implementación de un sistema electrónico de control para seguimiento solar fotovoltaico nos permite aprovechar de manera eficiente los niveles de radiación que inciden en un panel solar, gracias a que, al controlar la posición del panel respecto al sol, este capta mayor energía durante las horas de sol que posee la ciudad de Ambato.

3.2 Análisis de la radiación solar en la ciudad de Ambato

La ciudad de Ambato posee una radiación solar pico de entre 4 y 4,5 horas diarias, para conocer estos datos existen gran cantidad de programas. Los datos obtenidos sobre la radiación solar horizontal de la ciudad de Ambato son realizados por el software RETScreen software desarrollado por el gobierno de Canadá, cuyos datos geográficos se presentan en la Figura 10.

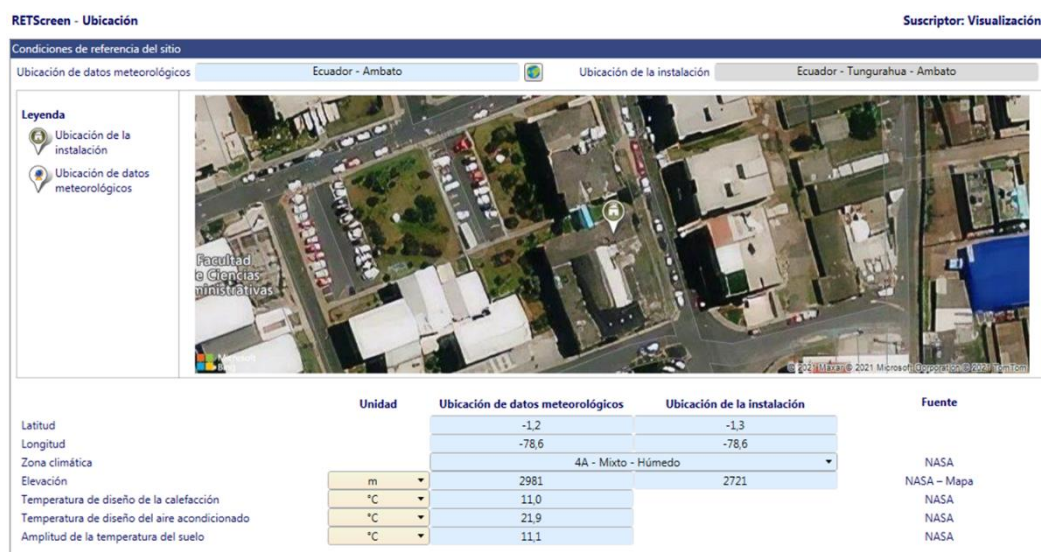


Figura 10 Datos geográficos de la ciudad de Ambato

La Figura 11 nos muestra los datos atmosféricos y de radiación solar diaria en la ciudad de Ambato tomados del software RETScreen.

Mes	Temperatura del aire °C	Humedad relativa %	Precipitación mm	Radiación solar diaria - horizontal kWh/m ² /d	Presión atmosférica kPa	Velocidad del Viento m/s	Temperatura del suelo °C	Grados-días de calefacción 18 °C °C-d	Grados-días de refrigeración 10 °C °C-d
Enero	11,4	84,9%	134,23	4,39	71,5	1,9	13,0	205	43
Febrero	11,4	86,3%	157,92	4,46	71,6	1,9	12,9	185	39
Marzo	11,4	86,6%	172,36	4,64	71,6	2,0	12,8	205	43
Abril	11,5	86,6%	174,30	4,45	71,6	2,0	12,8	195	45
Mayo	11,2	85,6%	130,51	4,26	71,6	2,6	12,3	211	37
Junio	10,4	84,0%	99,00	4,23	71,6	3,7	11,3	228	12
Julio	9,9	81,9%	75,95	4,32	71,6	4,2	10,9	251	0
Agosto	10,0	79,3%	63,24	4,64	71,6	4,2	11,2	248	0
Setiembre	10,7	78,5%	76,50	4,62	71,6	3,1	12,2	219	21
Octubre	11,2	80,5%	103,23	4,61	71,6	2,2	12,9	211	37
Noviembre	11,3	81,9%	105,60	4,70	71,5	2,1	12,9	201	39
Diciembre	11,4	83,5%	109,12	4,45	71,5	2,0	13,0	205	43
Anual	11,0	83,3%	1.401,96	4,48	71,6	2,7	12,3	2.562	361
Fuente	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA
Medido a					m	10	0		

Figura 11 Datos de radiación solar en la ciudad de Ambato.

Según los datos obtenidos mediante el software RETScreen, el promedio anual de radiación solar diaria-horizonta es de $4,48 \text{ kWh/m}^2$, también se conoce que el mes con mayor radiación solar es noviembre y el de menor radiación solar es junio con $4,70 \text{ kWh/m}^2$ por día y $4,23 \text{ kWh/m}^2$ por día respectivamente.

Según la información proporcionada por el ARCONEL, en colaboración con la Escuela Politécnica Nacional y la de la empresa ecuatoriana Ingeniería Verde por medio del Atlas Solar del Ecuador permite conocer que la radiación solar horizontal en el país. La Figura 12 muestra los valores promedio diario de esta radiación.

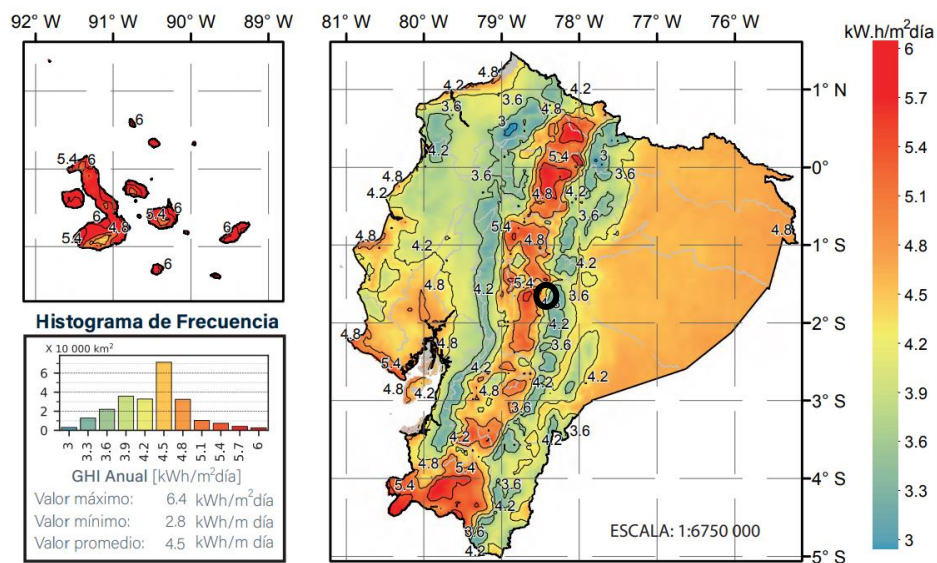


Figura 12 Radiación solar horizontal en Ecuador [14].

Al conocer la posición geográfica de la ciudad de Ambato se puede identificar en el mapa, y es así como se determina que la radiación solar horizontal diaria varía entre los $4,5 \text{ KWh}/\text{m}^2\text{día}$ y los $4,8 \text{ KWh}/\text{m}^2\text{día}$. Dándonos valores similares a los que muestra el software RETScreen.

3.3 Diagrama de bloques

El diagrama de bloques del sistema electrónico de control para el seguidor solar fotovoltaico está compuesto por cuatro etapas como se observa en la Figura 13. La primera etapa se encuentran los sensores, que permiten la obtención de las variables física de luminosidad, tiempo, voltaje y corriente que son enviadas a la siguiente etapa. La adquisición de datos se realiza través de un microcontrolador, que registra la información medida por los sensores para procesarlos y mediante un algoritmo de control decidir una acción a ejecutarse en la siguiente etapa. En la tercera etapa se encuentra el control del sistema electrónico que acciona a un motor a pasos que permite el movimiento del seguidor solar fotovoltaico en la dirección a la que el algoritmo de control haya determinado mediante los datos procesados en el microcontrolador. La última etapa es la de monitoreo mediante la conexión del sistema a un servidor para verificar la información en una interfaz web.

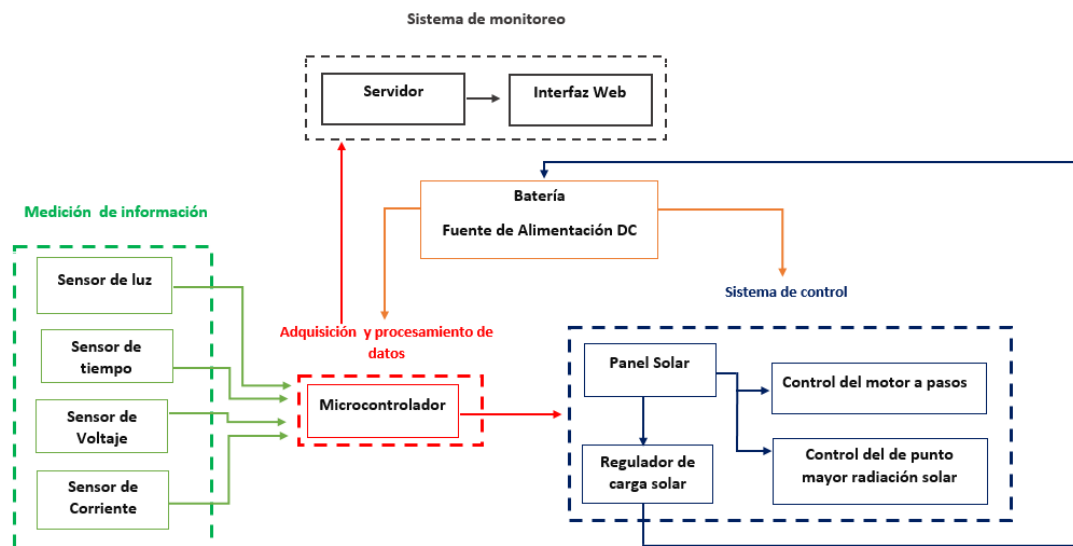


Figura 13 Diagrama de bloque.



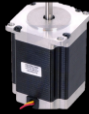
Elaborado por: El investigador.

3.4 Selección de Hardware y Software para el sistema

3.4.1 Mecanismo para el movimiento del sistema

Para el movimiento del sistema de seguimiento solar se necesita de un mecanismo rotatorio que permita el movimiento constante del panel en dirección al sol, para esto se necesita un motor que permita de manera precisa y rápida, mueva al sistema a las condiciones deseadas. En el mercado existen variedad de motores que pueden ser utilizados para este propósito como los motores de corriente continua, los servomotores y los motores a pasos. En la Tabla 3 se compara las características principales que poseen estos motores.

Tabla 3 Características de motores [26] [27] [28].




Característica	Motor DC 	Servomotor 	Motor a pasos 
Modelo	60ZY105	SUPER500	57HD6013-03
Torque	4,7Nm	49Nm	1.8Nm
Velocidad	26,80 RPM	60° cada 5 s	1,8° cada 10ms
Voltaje de entrada	12V-24V	12V-24V	12V-24V
Corriente	1,8 A	2 ^a	3A
Presupuesto	\$ 71,89	\$ 94,18	\$70,00
Peso	2kg	0,67kg	1.05kg

De acuerdo con las características que poseen cada uno de los motores se ha elegido al motor a pasos modelo 57HD6013-03 Nema 23 (Anexo AI) como el más adecuado, debido a que posee mayor precisión en un intervalo mínimo de 10 ms para realizar un movimiento incremental preciso. Además, el torque como característica sobresale entre los demás, puesto que permite una posición firme cuando este se detiene, evitando vibraciones o tener un mecanismo de freno. Asimismo, permite un mejor control de todo el sistema respecto a los otros motores, ajustando el movimiento del sistema para que sea más lento y con mayor exactitud durante las horas sol en el que funciona el seguimiento solar.

3.4.2 Microcontrolador para el control del sistema

En la actualidad existen un sin número de microcontroladores utilizados para el manejo de sistemas de control. En el presente caso, para el control de un sistema fotovoltaico de seguimiento solar destaca los siguientes controladores: la nodeMCU, la raspberry pi y la UDOO, que permiten el control electrónico del sistema de seguimiento. En la Tabla 4 se presentan las características principales de los microcontroladores anteriormente indicados.

Tabla 4 Característica de los Microcontroladores [29] [30] [31]

Características	NodeMCU 	Raspberry Pi 	UDOO 
Modelo	Esp 32	3B	Quad
Procesador	Tensilica Xtensa LX6	Broadcom BCM2837	NXP® i.MX6Quad
CPU	single-/dual-core 32 bits	Quad Core 1.2GHz 64bits	Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3
RAM	520 Kb	1GB	1 GB
Alimentación	2,3-3,6 V	5V/2.5A DC Micro USB/GPIO	6-15 V
Conectividad	802.11 b/g/n Bluetooth	2.4GHz y 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac Bluetooth Ethernet 10/100	Gigabit Ethernet 802.11 b/g/n
Entradas y salidas digitales	32	40	76
Entradas Analógicas	18	40	12
Costo	\$20	\$80	\$89

Según la Tabla 4, el microcontrolador que más se acerca a las condiciones que requiere el sistema electrónico de control es el UDOO modelo quad, debido a que permite tener a un arduino due y una placa raspberry pi en un solo dispositivo. La principal ventaja para el sistema propuesto, puesto que resulta conveniente programar mediante herramientas de software libre como el IDE de arduino, que permiten manejar pines digitales para el encendido y apagado del motor, así como los pines analógicos para las variables del sistema. Por otro lado, permite ejecutar un sistema operativo que crea un servidor en la nube de internet para el monitoreo del sistema de seguimiento.

3.4.3 Dispositivos de sensorización

La utilización de sensores es fundamental para que el control del sistema de seguimiento solar defina el estado del ambiente donde se encuentra, así como también el horario de trabajo del sistema mediante un reloj digital. Además de la cantidad de energía que genera el sistema de seguimiento. Los dispositivos dependiendo de lo que miden se clasifican en: sensor de luminosidad, voltaje, y corriente.

3.4.3.1 Sensor de luminosidad

Los sensores de luminosidad o fotoeléctricos dependen de la variación de la intensidad de la luz en este caso la luz solar, que detectan y convierten a una señal eléctrica que es reconocida por el sistema de control para ser comparada y permitir el movimiento del seguidor solar a una posición en la que se detecte mayor cantidad de luz solar o en su defecto permanecer en la posición actual. Los sensores de luminosidad de la Tabla 5 presentan los principales datos de los sensores de luminosidad más destacados.

Tabla 5 Sensores de Luminosidad [32] [33] [34]




Características	Fototransistor	Fotorresistencia	Fotodiodo
Modelo	SFH309-4	MJ11528	BPW21R
Espectros Detectados	Infrarrojo, Luz Visible, Ultravioleta	Luz Visible	Luz Visible
Diámetro	4mm	11 mm	8.13mm
Resistencia	-	0,01-100K	-
Polaridad	NPN	-	Directa
Tensión máxima	35V	250 V	10V
La temperatura de funcionamiento	-40 a +100 °C	-30 a +70°C	-40 a +125°C
Longitud de Onda	860 nm	560 nm	565nm
Costo	\$1.50	\$1.20	\$12.50

El sensor más adecuado para el sistema de control es la fotorresistencia, debido a que posee mayor diámetro en el que se puede abarcar mayor radiación solar, y esto mejora la eficiencia del sistema de control. La implementación del sensor es muy práctica al ser ubicado sobre el panel solar y es una alternativa económica que permite utilizar varios sensores en el sistema.

3.4.3.2 Reloj digital

Una manera de controlar que el sistema seguimiento solar trabaje de manera eficiente y en un horario adecuado es por medio de un reloj digital, que nos permita conocer la fecha y hora en tiempo real, buscando que el seguidor solar pueda trabajar solamente en las horas-luz del día. La Tabla 6 muestra los diferentes relojes digitales existentes en el mercado.

Tabla 6 Características de relojes digitales [35] [36] [37].




	RTC DS3231	RTC DS1307	RTC DS1302
Características			
Memoria	EEPROM AT24C32	RAM de propósito general de 56 bytes	RAM de propósito general de 31bytes
Voltaje de entrada	3.3V-5V	3.3V-5V	2V-5V
Oscilador	Interno de 32kHz	Externo de 32.768kHz	Externo de 32.768kHz
Sensor de temperatura	Si	-	-
Interfaz serial	Interfaz I2C rápida (400kHz)	Interfaz serie I2C	Interfaz simple de 3 hilos compatible con TTL
Alimentación externa	Si	Si	Si
Costo	\$ 4,00	\$ 5,00	\$ 4,50

El reloj digital RTC DS3231 es el adecuado para el proyecto, puesto que posee un oscilador interno y un sensor de temperatura, que permite conocer la temperatura del lugar en el lugar en el que se lo coloque. Este sensor permite conocer la fecha y hora en tiempo real, tomando siempre como referencia la fecha y hora del controlador que lo esté manejando, ayudando al sistema de seguimiento solar fotovoltaico a conocer desde y hasta que hora va a trabajar mediante un control en el algoritmo determinado.

3.4.3.3 Sensor de voltaje

Para el sistema de seguimiento solar fotovoltaico es importante conocer en qué nivel de carga se encuentra el acumulador eléctrico y eso se logra mediante un sensor de voltaje en el acumulador. El sensor de voltaje permite conocer el estado de carga o descarga del acumulador eléctrico, evitando que se descargue por debajo de lo recomendado o si se está produciendo una sobrecarga. La Tabla 7 presenta datos de los modelos que existen en el mercado.

Tabla 7 Características de sensores de voltaje [38] [39] [40].

	FZ0430 	Max471 	ZMPT101B 
Características			
Tipo de voltaje	DC	DC	AC
Voltaje de operación	3.3-5V	3.3-5V	3.3-5V
Resolución	0.00489 V	0.00489V	-
Tipo de sensor	divisor de tensión con resistencias	divisor de tensión con resistencias	Inductivo
Detección de voltaje máximo	16.50-25V	16.50-25V	250V
Salida	Analógica	Analógica	Analógica
Costo	\$7,00	\$ 8,00	\$8,75




Tanto el sensor de voltaje FZ0430 como el Max471 poseen las características necesarias para ser utilizadas en la sensorización de voltaje en el acumulador eléctrico, debido a que el voltaje máximo de carga es de 24V en DC. La comparación de costos indica que la mejor selección es el primer sensor FZ0430, además, el sensor Max471

posee una capacidad de medición de corriente de apenas 3A, lo cual es ineficiente para el nivel de corriente en el acumulador eléctrico. El acumulador que posee una corriente mínima de descarga de 5A y llega a una corriente de carga máxima de 18A.

3.4.3.4 Sensor de corriente

El sensor de corriente permite conocer en qué etapa de carga o descarga se encuentra el acumulador eléctrico, puesto que la intensidad de la corriente varía desde un valor máximo a un valor mínimo, durante el proceso de carga y descarga del acumulador. Para la elección adecuada del sensor se necesita conocer las características que poseen diversos sensores de corriente, Tabla 8.

Tabla 8 Características de sensores de corriente [41].

Características	ACS712 x05B 	ACS712 x20A 	ACS712 x30A 
Tipo de corriente	AC/DC	AC/DC	AC/DC
Rango de corriente	-5 a +5A	-20 a +20A	-30 a +30 ^a
Voltaje de operación	5V	5V	5V
Temperatura de trabajo	-40 a 85°C	-40 a 85°C	-40 a 85°C
Resolución	185 mV/A	100 mV/A	66 mV/A
Ruido	21mV	11mV	7mV
Error total de salida	±1.5%	±1.5%	±1.5%
Costo	\$4,75	\$ 7,00	\$ 8,00

Debido a que el acumulador eléctrico, empleado en el presente proyecto, puede alcanzar una capacidad de carga de 18Ah. Por esta razón, se decide emplear el sensor ACS712x20A, que puede medir corrientes de hasta 20A en corriente continua.

3.4.4 Regulador de voltaje step down

Un regulador de voltaje step down es necesario para poder dar alimentación autónoma al sistema de seguimiento solar fotovoltaico, ya que el acumulador eléctrico proporciona un voltaje de 12V en corriente continua y una capacidad de 18Ah, mientras que el sistema de sensorización trabaja en voltajes bajos de 5V y corrientes de 2 a 3A. Este tipo de regulador permite ajustar el voltaje del acumulador a voltajes

que pueden utilizar los sensores. La Tabla 9 presenta información de los diferentes reguladores que hay en el mercado y sus principales características.

Tabla 9 Características de regulador de voltaje step down [42] [43] [44].

Características	LM2596	LM317	LM7805
			
Regulable	Si	Si	No
Tipo de voltaje	DC	DC	DC
Voltaje de entrada	4.5V a 40V	3.75 – 40V	7.5 – 20V
Voltaje de salida	1.23 a 35V	1.25 - 37 V	5 V
Corriente de salida	2- 3 A	1.5 - 2.2 A	1.2 A
Temperatura de trabajo	-40 a +85°C	0° a +125°C	-40° a +125 °C
Costo	\$ 3,00	\$ 4,70	\$ 3.80

El regulador de voltaje LM2596 es la mejor opción por su costo económico. El rango en que varía el voltaje de salida y el ser regulable a través de un potenciómetro es óptimo para la propuesta del sistema de seguimiento. Además, dispone de un voltaje de salida ideal para el sistema de seguimiento que posee tanto sensores que trabajan con voltaje de 5V, como el controlador y motor a pasos que trabajan a 12V. En este sentido, el voltaje nominal de la batería a 12V se puede utilizar para la alimentación de los sensores.

3.4.5 Componentes de un sistema solar fotovoltaico

3.4.5.1 Panel solar

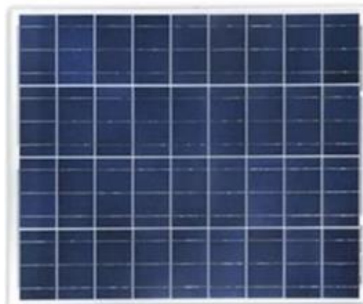


Figura 14 Panel solar plus energy 50 Watts SP050P [45].

El panel solar por utilizar es de la marca Solar plus energy de 50 W, Figura 14. Las principales características del panel fotovoltaico, empleado tomados del Anexo AF, se muestran en la Tabla 10:

Tabla 10 Características del panel solar plus 50W [45].

Características	Símbolo	Valor
Modelo	-	SP050P
Material	-	Policristalino
Número de celdas	-	36
Potencia máxima	$P_{m\acute{a}x}$	50 Watts
Corriente de potencia máxima	P_{mp}	2.778 A
Tensión de máxima potencia	V_{mp}	18V
Corriente de cortocircuito	I_{cc}	3.006 A
Tensión de circuito abierto	V_{cc}	22.10V
Tolerancia de potencia	-	±5%
Clase de aplicación	-	A
Eficiencia	-	16%
Peso	Kg	4.8
Dimensión	mm	670*535*30
Tensión máxima del sistema	V	750

3.4.5.2 Regulador de carga solar

El regulador de carga solar modelo CMTP02-20^a (Anexo AG), Figura 15, gestiona automáticamente el funcionamiento del panel solar, ya que regula a 20 A y 12/24V en DC la energía que recibe del panel solar. Asimismo, gestiona el funcionamiento de la batería, permitiendo alargar su vida útil, puesto que es un sistema de protección de sobrecargas, descargas y cortocircuito. Este regulador es de tipo PWM (Pulse Width Modulation). El regulador utiliza este tipo de modulación que permite controlar la cantidad de energía que se envía a la batería y que actúe como interruptor entre los dos, haciendo que el panel trabaje a la misma tensión de la batería. La Tabla 11 muestra los parámetros técnicos que posee el regulador de carga.



Figura 15 Regulador de carga solar CMTP02 [46].

Tabla 11 Parámetros del regulador de carga solar CMTP02 [46].

Parámetros	Valores
Peso y Tamaño	150g, 133*70*35mm
Tensión de la batería	12V/24V
Corriente de carga y descarga	20 A
Entrada solar máxima	42V
Caída de carga	<0.2V
Caída de descarga	<0,25V
Autoconsumo	<10mA
Temperatura de funcionamiento	-35 a +60 °C

3.4.5.3 Batería TB Plus

La batería de la marca TB Plus, Figura 16, permite almacenar un voltaje nominal de 12V y una capacidad nominal de 18 Ah, proporcionando energía al sistema de sensorización y de movimiento del seguidor solar. Asimismo, convierte al sistema electrónico de control de seguimiento solar en un sistema autónomo. Esta batería es una batería sellada de plomo ácido, con un nivel de descarga hasta en un 50%.



Figura 16 Batería TB Plus [47].

La Tabla 12 presenta los parámetros más importantes que posee la batería, tomados del Anexo AH.

Tabla 12 Parámetros de la batería TB Plus [47]

Parámetros	Valor
Modelo	TB 12V-18Ah
Peso	5Kg
Dimensiones	181/167/76 mm
Temperatura de funcionamiento	Carga 0° a 40°C Descarga -20° a 50°C Almacenamiento -20° a 40°C
Tensión Nominal	12V
Capacidad Nominal	18Ah
Capacidad máxima de descarga	20 A

3.4.6 Software para el control del sistema

3.4.6.1 Sistema operativo para UDOO QUAD

Los sistemas operativos oficiales para el controlador UDOO QUAD son dos: UDOObuntu y Android. En la Tabla 13 se comparan las características principales de cada sistema operativo para UDOO QUAD.

Tabla 13 Comparación de sistemas operativos para UDOO QUAD [48] [49].

Características	UDOOubuntu	Andriod
Versión	2.2.0	6.0.1
Basado en	Ubuntu 14.04 LTS	Android Marshmallow
Modelo de desarrollo	Código abierto	Código abierto
Kernel	3.14.56	3.14.52
Gestor de arranque	Das U-Boot v2015.10	Das U-Boot v2015.10
Aplicaciones preinstaladas	Arduino IDE 1.6.5. Navegador Chromium 48. Gstreamer. Panel de control web. Device Tree Editor.	Custom settings. SuperSU. ADBWireless. TWRP Recovery.

Comparando a los dos sistemas operativos oficiales para el UDOO QUAD, el que mejor conviene al sistema de seguimiento solar es UDOOubuntu 2.2.0. Este tipo de sistema operativo de software libre es conocido y utilizado a lo largo del periodo universitario, además dentro de sus aplicaciones por defeco ya viene instalado el arduino IDE, que permite la programación del Arduino Due, integrada a la placa. La programación se realiza mediante el puerto /dev/ttyMX3. Además, posee la versión 2.7.6 de Python instalada, que es utilizada para la comunicación serial del microcontrolador IMX6, y que actúa como ordenador de placa reducida y el microcontrolador Sam3X del arduino Due.

3.5 Esquema general del sistema

La implementación del sistema electrónico de control de seguimiento solar fotovoltaico permite aprovechar de manera eficiente los niveles de radiación que inciden en el panel solar, con el objetivo de obtener mayor energía para el consumo eléctrico, de forma sostenible, amigable con el ambiente, inagotable y sobre todo económica. El sistema consta de los elementos de la instalación fotovoltaica, el hardware del sistema de control electrónico y la interfaz web de monitoreo como se observa en la Figura 17. Los elementos de la instalación fotovoltaica están compuestos

por el panel solar, regulador de carga y batería, en el sistema electrónico de control se encuentra el microcontrolador, driver, regulador de voltaje y sensores que permitirán realizar el seguimiento del sol de este a oeste durante el día. Por otro lado, los datos obtenidos del sistema se envían a un servidor para su respectivo monitoreo a través de una interfaz web.



Figura 17 Esquema Básico

Elaborado por: El investigador.

3.6 Diseño del algoritmo de control del seguidor solar fotovoltaico

Para realizar el algoritmo de control del seguidor solar fotovoltaico mediante sensores y actuadores seleccionados anteriormente, con el fin de captar mayor energía solar y así aumentar la eficiencia del sistema en relación con sistemas fotovoltaicos fijos, se siguen los siguientes pasos explicados a continuación para el diseño del algoritmo de control del sistema propuesto.

- La identificación del algoritmo de control para el sistema electrónico de control, así como su elección, se debe a que existen diferentes formas de control para un sistema fotovoltaico de seguimiento solar. El algoritmo seleccionado es un modelo híbrido en la que se conjugan dos estrategias de control (bucle abierto y bucle cerrado).
- El control de bucle abierto se activa al inicio del seguimiento solar al amanecer y utiliza los datos de fecha y hora para su funcionamiento. Asimismo, detecta

la posición geográfica en la que se encuentra el sistema de seguimiento solar y también se activa cuando el dispositivo utilizado como sensor solar no es capaz de detectar la posición del Sol, por ejemplo, en días con altos niveles de nubosidad. Una vez que se realizó la relocalización mediante este bucle, el controlador pasa a un modo de seguimiento en bucle cerrado.

- Al iniciar el modo de bucle cerrado, el seguimiento se realiza con sensores de luz que retroalimentan con valores sobre la radiación solar en cierta posición. A partir de las señales del sensor solar, el sistema verifica que la radiación solar es suficiente y dirige al sistema de seguimiento solar hacia el punto donde existe mayor cantidad de radiación solar. La mayoría de los sistemas de seguimiento solar de bucle cerrado utilizan fotosensores como sensores de luz.
- Finalmente, se determina que el sistema de seguimiento dispone de un algoritmo de control con lógica sofisticada, basada en sistemas astronómicos y de sensorización. El sistema al conocer la fecha y hora del lugar se activa en horarios establecidos, comparando valores de radiación solar para que ejecute una acción, que ajuste el sistema hacia la posición con mayor radiación solar. El sistema de seguimiento dispone de rango máximo de radiación cuando la resistencia del sensor disminuye hasta 50 ohmios y un valor mínimo si dicha resistencia aumenta su valor hasta algunos megaohmios.

3.6.1 Análisis geográfico del sistema

La ubicación geográfica del sistema electrónico de control de seguimiento solar fotovoltaico se encuentra en la ciudad de Ambato, dentro de los predios de la Universidad Técnica de Ambato Campus Huachi, específicamente en la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial, Figura 18, con las siguientes coordenadas: $-1.2676949592321005^{\circ}$ en latitud y $-78.6241851939403^{\circ}$ en longitud.

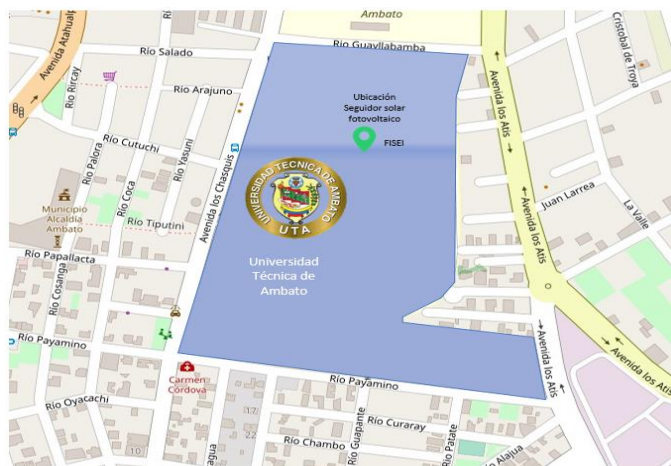


Figura 18 Localización Geográfica del sistema de seguimiento solar.

Elaborado por: El investigador.

La ciudad de Ambato se encuentra muy cerca de la línea del Ecuador, por tanto, la energía solar es prácticamente perpendicular a cualquier instalación fotovoltaica. El sistema de seguimiento dispone de un grado de libertad horizontal, manteniendo la posición Norte-Sur fija y colocando el sistema fotovoltaico a una inclinación de 10° ($\beta = 10^\circ$) y en dirección Norte. Dicha inclinación no afecta de gran manera a la obtención de energía fotovoltaica y esto permite a que el sistema no presente inconvenientes por acumulación de suciedad o agua. En la Universidad Técnica de Ambato se dispone de algunas instalaciones fotovoltaicas en las que se han realizado investigaciones sobre energía fotovoltaica.

El trabajo titulado “ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE UN PANEL FOTOVOLTAICO FIJO Y MÓVIL DE 50W POLICRISTALINO Y SU INCIDENCIA EN LA CAPTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR EN LA CIUDAD DE AMBATO”, desarrollado en la Universidad Técnica de Ambato, en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, en el 2016 tuvo el propósito de obtener parámetros como la intensidad de corriente suministrada por los paneles; la temperatura en la superficie de los módulos; la irradiación del sol que permitieron realizar una comparación entre el panel fotovoltaico fijo y el sistema móvil construido y se llegó a la conclusión que el sistema móvil capta mayor radiación solar, por lo que éste proporcionar más intensidad de corriente respecto a al sistema fijo [50].

Otro trabajo realizado en la Universidad Técnica de Ambato fue el proyecto denominado: “DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA ELECTROLINERA SOLAR

AISLADA EN EL CAMPUS HUACHI DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”, en el año 2015; la cual fue construida por el grupo Rewa-RD (Renewable Energy and Web Architecture – Research & Development) de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato (UTA).

Siendo la primera electrolinera del país con una instalación fotovoltaica aislada. Dando como resultado una potencia de 2,5 kilovatios, la energía que capta la instalación se acumula en unas baterías que están dimensionadas para trabajar tres días sin sol y permitiendo alimentar a dos vehículos eléctricos [51].

Estos estudios realizados sirven de antecedentes del comportamiento de los sistemas en el lugar y en las condiciones atmosféricas. La comparación de los resultados obtenidos con relación a los sistemas fijos, permiten caracterizar el nivel de mejoramiento en la obtención de energía fotovoltaica mediante un mecanismo de seguimiento solar.

3.6.2 Factores que intervienen en el seguimiento solar

Como se mencionó anteriormente, el sistema de control de seguimiento solar es de un solo eje, que permite al sistema fotovoltaico realizar un seguimiento permanente de la radiación solar en sentido Este-Oeste. El sistema de seguimiento permite captar mayores valores de energía solar con relación a un sistema fotovoltaico fijo. El seguimiento necesita comparar valores de energía en tiempo determinado y así poder seguir al sol durante las horas de luz solar, manteniendo al sistema fotovoltaico perpendicular a los rayos solares y por ende obtener la mayor cantidad de energía posible. Además, el nivel de captación solar depende del clima y la fecha, puesto a que en determinados meses del año la energía solar promedio diaria en la ciudad de Ambato pasa de tener $4,62 \text{ W/m}^2$ a $4,23 \text{ W/m}^2$ como valores máximos de radiación solar. El sistema de control determina el horario de funcionamiento del seguimiento solar por medio de un horario establecido por las horas-luz que posee la ciudad de Ambato, donde aproximadamente son 11 horas de luz solar, 4.55 horas de mayor radiación u horas solares pico, que se verifican entre las 11 de la mañana y las 4 de la tarde.

3.6.3 Desarrollo del algoritmo de control

Para el desarrollo del algoritmo de control electrónico del sistema de seguimiento solar es necesario obtener la fecha y hora actual mediante un sensor. En este caso, se emplea un reloj en tiempo real o RTC para poder definir las horas de trabajo en que el sistema funcione eficientemente durante las horas de luz del día. Así, se evita que el sistema trabaje en horas en la que la radiación solar no brinde un valor significativo respecto a los recursos utilizados para su movimiento, como en la noche. Una vez realizado dicho control de tiempo de funcionamiento es necesario definir los periodos de tiempo de mayor cantidad de energía solar, con ayuda de sensores denominadas fotorresistencias que detectan la luminosidad del lugar, para ser comparadas y poder ubicar al panel fotovoltaico en dicha posición mediante la activación del motor a pasos. El motor a pasos se encarga de mover la estructura mecánica en la que se encuentra ubicado el panel.

Teniendo este contexto se determinan las variables que controlan al sistema electrónico de seguimiento solar y las acciones que se va a ejecutar mediante el esquema general del algoritmo de control, que se muestra en las Figuras 19-23.

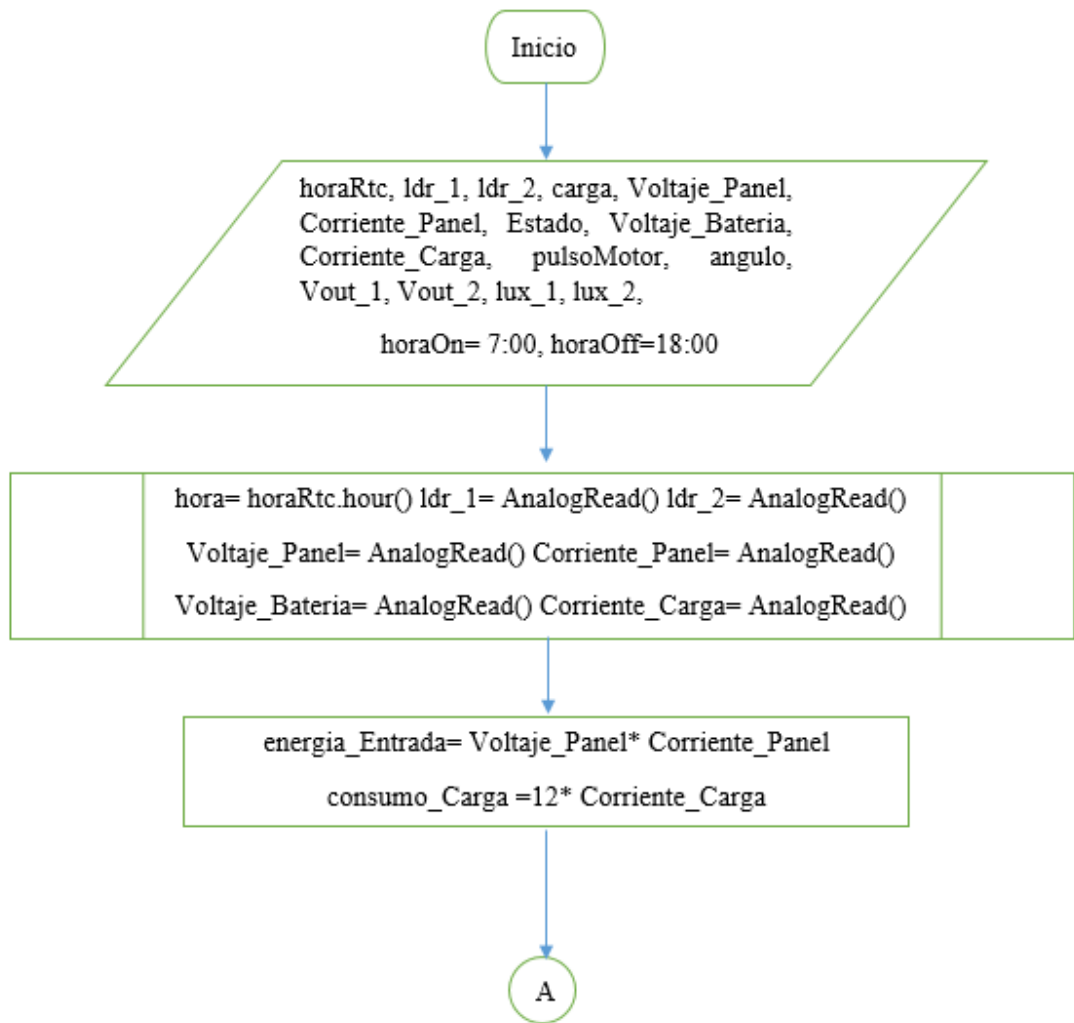


Figura 19 Diagrama de Flujo
Elaborado por: El investigador.

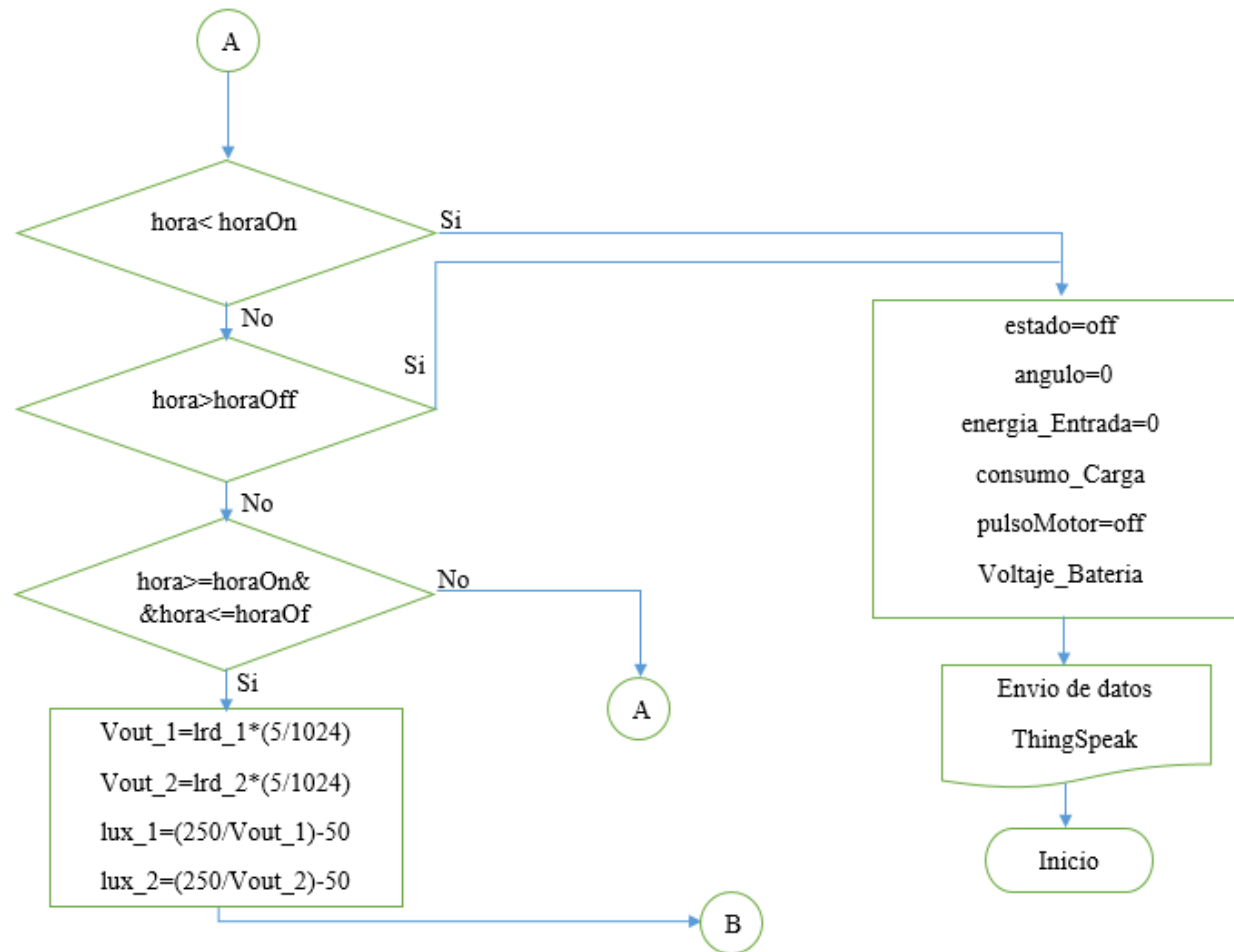


Figura 20 Primer control

Elaborado por: El investigador.

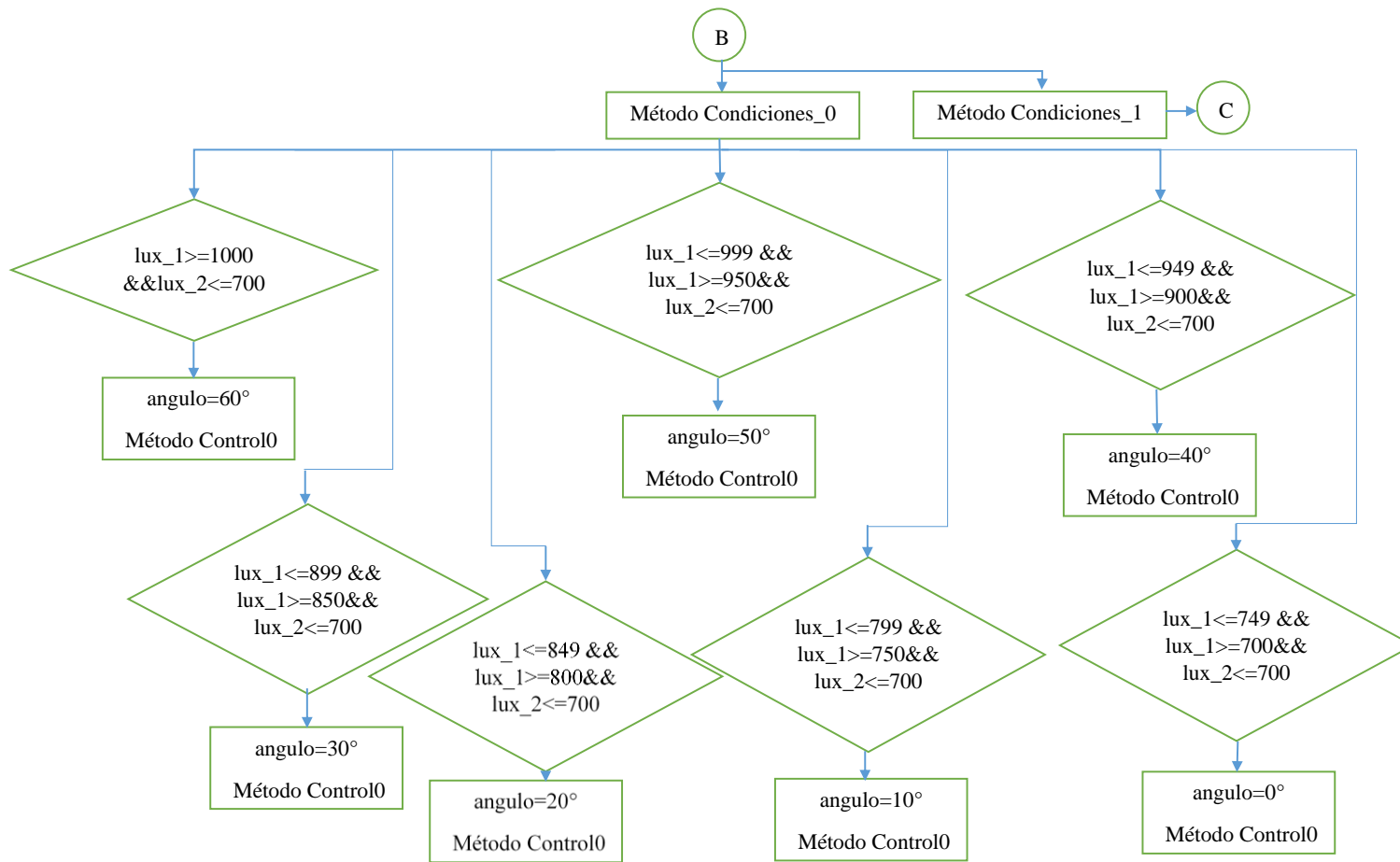


Figura 21 Primera Condición

Elaborado por: El investigador.

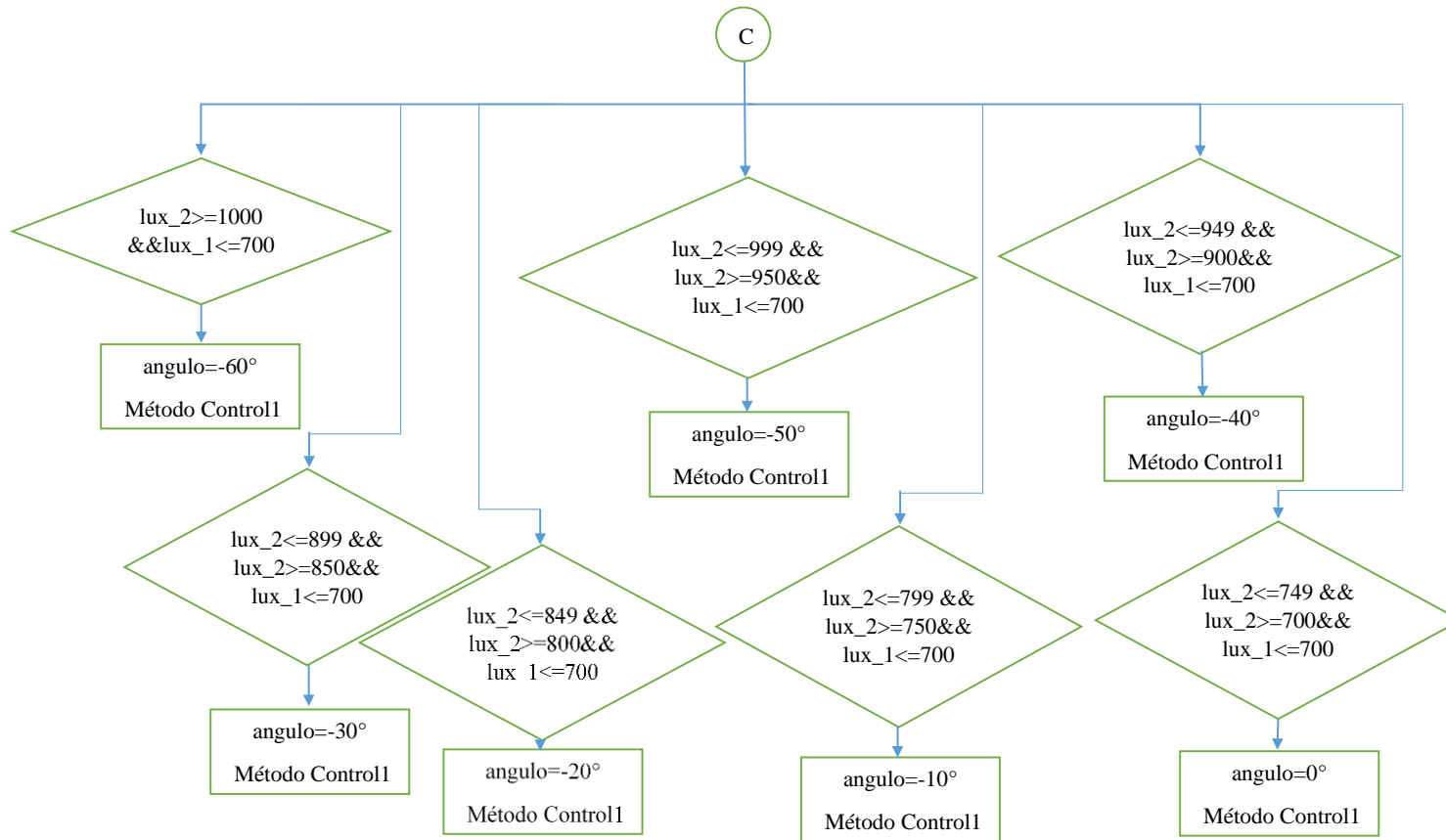


Figura 22 Segunda Condición

Elaborado por: El investigador.

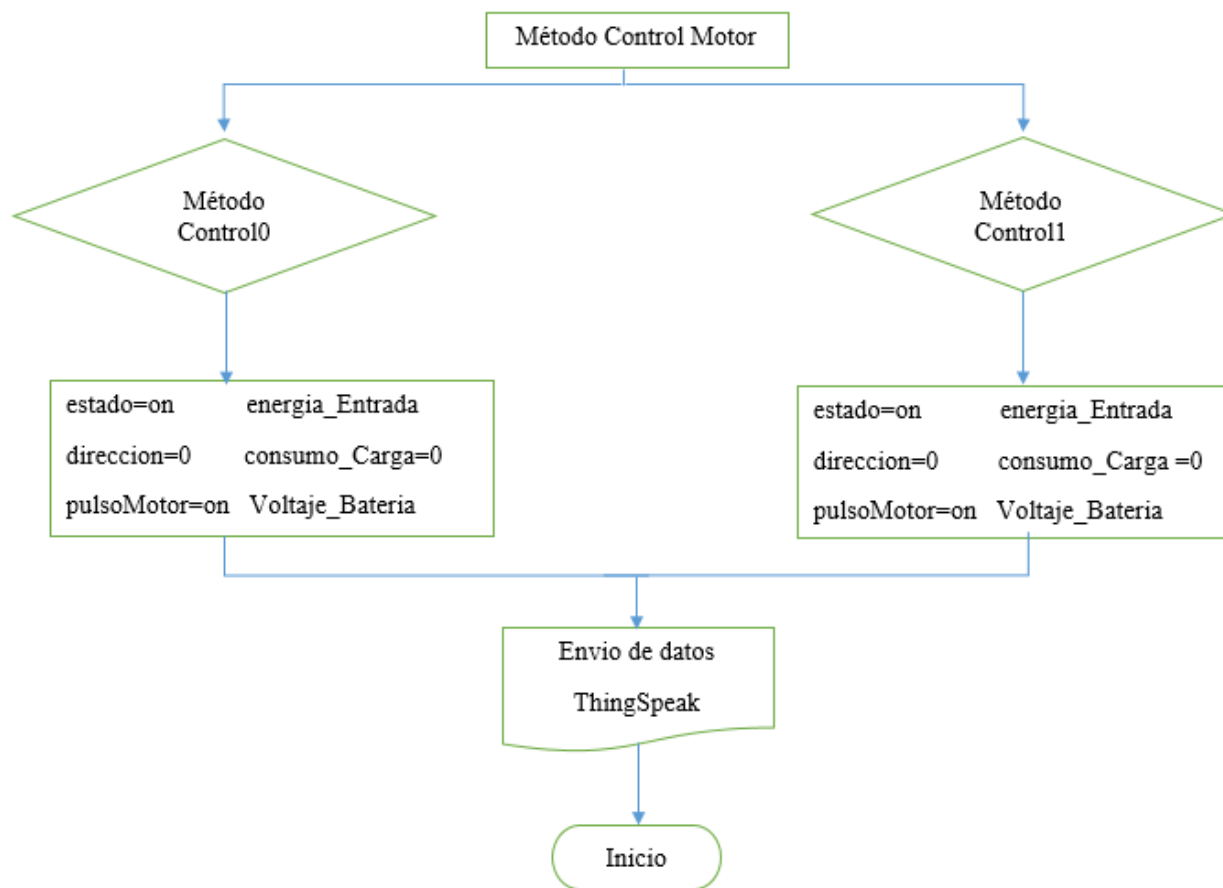


Figura 23 Control de Motor
Elaborado por: El investigador.

Como se muestra en el diagrama de bloques de la Figura 19, se definen los parámetros de fecha y hora para conocer los valores en tiempo real y empezar con la primera condición de funcionamiento del sistema, que se basa en las horas de funcionamiento del sistema: entre las 7 de la mañana y las 6 de la tarde. Además de inicializar las variables de voltaje, movimiento del motor y la lectura de los sensores solares en este caso los LDRs. Así como los sensores de voltaje y corriente tanto para el panel solar como para la batería y la carga.

En la Figura 20 se muestra la primera condición en la que el sistema se mantiene apagado si no se encuentra en las horas de funcionamiento establecidas anteriormente 7am-6pm. Como resultado se obtiene que la energía de entrada sea cero, además del ángulo y encendido del motor. A su vez se detecta el valor de voltaje que hay en la batería, así como la energía consumida por la carga, todo esto es mostrado en el sistema de monitoreo Tingspeak. Por otro lado, si el sistema se encuentra en el horario de trabajo empieza a leer los datos de los sensores de radiación solar. Esta lectura entrega los datos del controlador, que son convertidos en valores de luxes, medida de luz. Una vez realizado esto, el sistema identifica que método de condición ingresa ya sea al que permite que el sistema gire en sentido Este-Oeste es decir de 0° a 60° , grados que se moverán en el transcurso del día, o a su vez en sentido Oeste-Este si el caso lo amerita (regreso a su posición inicial). Dentro de esta condición se subdivide en siete posibles casos en el que los sensores realizaran una comparación de sus valores para determinar el grado en el que se obtenga la mayor radiación solar como se muestra en la Figura 21 para el caso de 0° a 60° . Moviéndose en el ángulo indicado en cada condición, se ejecuta una serie de acciones de control llamado MetodoControl0. En la Figura 22 se muestra el caso de -60° a 0° , que se ajusta al control con el método denominado MetodoControl1.

Los métodos de control, tanto el 0 como el 1, Figura 23, realizan similares funciones, definiendo el sentido gira el motor, su estado de activación, la energía de entrada y el voltaje en la batería. Estos datos se envían al sistema de monitoreo Tingspeak, para que finalmente regrese al inicio del algoritmo y vuelva a realizar el control del sistema y comprobar si el sistema continúa en el horario de funcionamiento o no.

3.7 Implementación del algoritmo de control del seguidor solar fotovoltaico

La implementación del algoritmo que permite programar las funciones del sistema electrónico de control para el seguidor solar fotovoltaico se siguen los siguientes pasos:

3.7.1 Instalación del sistema operativo

Se instaló el sistema operativo oficial de Udoos en la versión 2.2.0, Figura 24, que se ejecuta con Ubuntu 14.04 LTS. Además, se realizan las configuraciones iniciales para establecer la conexión inalámbrica mediante Wifi a la red de la Universidad Técnica de Ambato, asignando una dirección IP estática 10.5.19.172 y la puerta de enlace predeterminada por la dirección IP 10.5.19.254.



Figura 24 Interfaz del sistema operativo oficial de Udoos versión 2.2.0.

Elaborado por: El investigador.

3.7.2 Programación del algoritmo de control

La programación del algoritmo de control se realiza mediante el IDE de arduino instalado en el microcontrolador Udoo, que permite ejecutar el código en el procesador Atmel Sam3X, Figura 25:

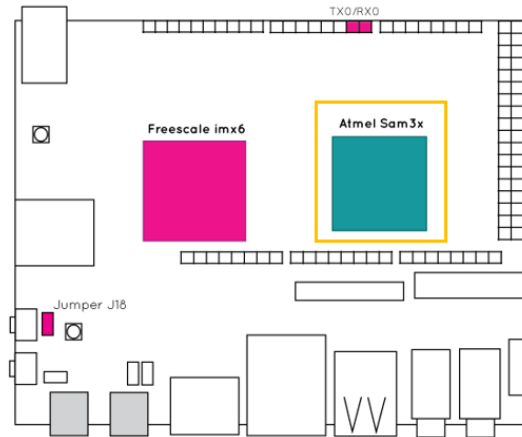


Figura 25 Procesador Atmel SAM3X8E del microcontrolador Udoo.

Elaborado por: El investigador basado en [31].

Las funciones especificadas en el algoritmo de programación diseñado anteriormente se realizan mediante las siguientes líneas de código:

- Importar las siguientes librerías:

Librería para la comunicación I2C del sensor de tiempo RTC

```
#include <Wire.h>
```

Librería para el manejo del sensor RTC

```
#include <RTClib.h>
```

- Se define las variables para controlar el encendido del sistema:

Hora de encendido del sistema

```
int hora_on = 7;
```

Minutos de encendido del sistema

```
int minutos_on = 0;
```

Segundos de encendido del sistema

```
int segundos_on = 0;
```

- Declarar las variables para controlar el apagado del sistema mediante el sensor de tiempo RTC:

Hora de apagado del sistema

```
int hora_off = 15;
```

Minutos de apagado del sistema

```
int minutos_off = 59;
```

Segundos de apagado del sistema

```
int segundos_off = 59;
```

- Realizar condiciones de apagado del sistema mediante las siguientes líneas de código:

Condición antes del horario de funcionamiento:

```
if (fecha.hour() < hora_on ) { sistema_de_control_off(); }
```

Condición luego del horario de funcionamiento:

```
if (fecha.hour() > hora_off ) { sistema_de_control_off(); }
```

- Establecer la única condición de encendido del sistema mediante las siguientes líneas de código:

```
if (fecha.hour() >= hora_on && fecha.hour() <= hora_off && fecha.minute() <= minutos_off && fecha.second() <= segundos_off) {sistema_de_control_on();}
```

- Declarar la variable que permite almacenar el estado del sistema encendido o valor 1 o apagado valor 0:

```
int valorEstado;
```

```
valorEstado = 1;
```

```
valorEstado = 0;
```

- Se definen las variables y los pines de conexión para las fotorresistencias LDR1 y LDR2 mediante las siguientes líneas de código:

Variable que almacena los datos recibidos del sensor LDR1 conectado en el pin analógico A0

```
int valorLDR_1 = 0;
```

```
int pinLDR_1 = A0;
```

Variable que almacena los datos recibidos del sensor LDR2 conectado en el pin analógico A1

```
int valorLDR_2 = 0;
```

```
int pinLDR_2 = A1
```

- Definir variables para generar el movimiento en grados del motor a pasos:

Variable que almacena el angulo del motor a pasos

```
int angulo = 0;
```

Operación matemática para establecer el angulo en grados para la relación transmisión de 1:40 del motor a pasos

```
angulo = (angulo * 22.22222222);
```

- Realizar condiciones para el control del ángulo de 0 a -60° según el valor de los sensores LDR_1 y LDR2:

Condición para mover el motor a pasos 60°:

```
if (valorLDR_1 >= 1000 && valorLDR_2 <= 700) { ángulo = 60; }
```

Condición para mover el motor a pasos 30°:

```
if (valorLDR_1 <= 899 && valorLDR_1 >= 850 && valorLDR_2 <= 700) {  
angulo = 30; }
```

Condición para mover el motor a pasos 0°:

```
if (valorLDR_1 <= 749 && valorLDR_1 >= 700 && valorLDR_2 <= 700) {  
  angulo = 0; }
```

Condición para mover el motor a pasos -30°:

```
if (valorLDR_2 <= 899 && valorLDR_2 >= 850 && valorLDR_1 <= 700) {  
  angulo = -30; }
```

Condición para mover el motor a pasos -60°:

```
if (valorLDR_2 >= 1000 && valorLDR_1 <= 700) { angulo = -60; }
```

- Declarar las variables para el control del motor a pasos:

Especificar el pin digital 7 del Udo0 para el pulso:

```
int driverPUL = 7;
```

Especificar el pin digital 6 del Udo0 para la dirección:

```
int driverDIR = 6;
```

- Controlar el movimiento del motor a pasos mediante las siguientes líneas de código:

Movimiento en sentido horario estableciendo el valor de 0 en la dirección y valor alto o High en el pulso a una velocidad de 2ms:

```
digitalWrite(driverDIR, 0);
```

```
digitalWrite(driverPUL, HIGH);
```

```
delay(2);
```

Movimiento en sentido antihorario estableciendo el valor de 1 en la dirección e igualmente un valor alto o High en el pulso a una velocidad de 2ms:

```
digitalWrite(driverDIR, 1);
```

```
digitalWrite(driverPUL, HIGH);
```



```
delay(2);
```

Control del apagado del motor estableciendo un valor bajo o Low en el pulso:

```
digitalWrite(driverPUL, LOW);
```

- Determinar las variables y los pines de conexión de los sensores de corriente y voltaje del sistema:

Definir las variables que almacenan el valor del voltaje y corriente del panel, pin analógico A2 y A3 al cual se conecta dichos sensores

```
float voltaje_Panel;
```

```
const int pinVoltaje_Panel = A4;
```

```
float corriente_Panel;
```

```
const int pinCorriente_Panel = A3;
```

Además se declara las variables que almacenan el valor del voltaje de la batería, corriente de la carga y el pin analógico de conexión

```
const int pinVoltaje_Bateria = A2;
```

```
float voltaje_Bateria;
```

```
const int pinCorriente_Carga = A5;
```

```
float corriente_Carga;
```

- Realizar operaciones matemáticas para obtener la energía de entrada y el consumo de la carga del sistema:

```
energia_Entrada = voltaje_Panel * (corriente_Panel, 3);
```

```
consumo_carga = 12 * (corriente_Carga, 3);
```

- Establecer la variable y el pin de conexión para el control de la lámpara halógena:

```
const int carga = 13;
```

- Condición para la carga y descarga de la batería mediante el encendido y apagado de la lámpara halógena.

```
if (voltaje_Bateria <= 10.5) { digitalWrite(carga, HIGH); } else  
{ digitalWrite(carga, LOW); }
```

- Envío de los datos del sistema mediante comunicación serial a una velocidad de transmisión de 115200 baudios:

Estado del sistema:

```
Serial.print(valorEstado);
```

Posición del panel solar:

```
Serial.print(angulo);
```

Energía de entrada

```
Serial.print(energia_Entrada);
```

Consumo de la carga:

```
Serial.print(consumo_carga);
```

Carga y descarga de la batería:

```
Serial.println(voltaje_Bateria);
```

En el Anexo A se muestra la programación completa del sistema de control de seguimiento solar.

3.7.3 Comunicación del microcontrolador

Para la comunicación del microcontrolador Udoo con el servidor Thing Speak se realiza un script programado en python denominado “UdooServidor.py”, cuya programación completa se puede observar en el Anexo B, este se ejecuta en el procesador Freescale imx6 para leer mediante comunicación serial los datos del procesador Sam3x, Figura 26, para posteriormente enviarlos al servidor mediante el protocolo de comunicación HTTP.

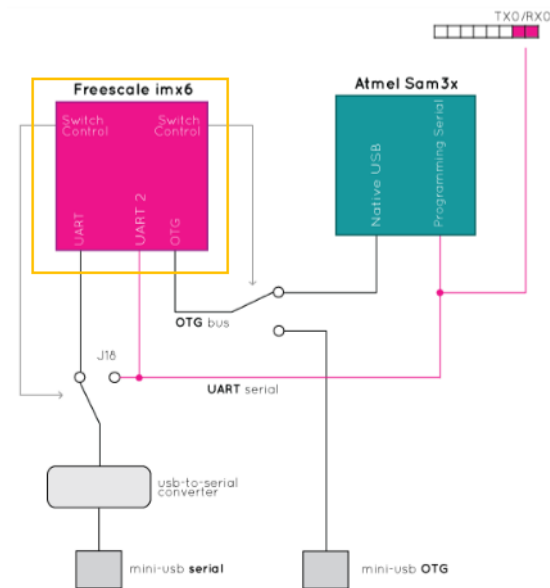


Figura 26 Comunicación serial entre el procesador imx6 y Sam3x del microcontrolador Udo0.

Elaborado por: El investigador basado en [31].

Para la programación del script de python, que se ejecuta en el procesador imx6, se realizan las siguientes líneas de código:

- Primero se importa las librerías para la comunicación serial y el protocolo HTTP.

```
import serial, httplib2
```

- Luego se especifica el puerto el puerto y la velocidad de transmisión para la comunicación serial.

```
arduino = serial.Serial('/dev/ttymx3', baudrate = 115200)
```

- Además se lee todos los datos en una cadena de caracteres y se los separa mediante el signo (,) coma:

```
datosString = str(arduino.readline())
```

```
dato = datosString.split(",")
```

- Después se define la clave del servidor de thingspeak y se crea la conexión http:

```
key = '7096HPECHYIOT9I'
```

```
conn = httplib2.Http()
```

- Finalmente se envía los datos al servidor de thingspeak mediante la siguiente línea de código:

```
conn.request("https://api.thingspeak.com/update?key=%s&field1=%s&field2=%s&field3=%s&field4=%s&field5=%s&field6=%s" % (key, valor1, valor2, valor3, valor4, valor5 ), "GET")
```

En la Figura 27, se detalla la trama de datos enviada al servidor de thingspeak compuesto por los diferentes valores del sistema:



Figura 27 Trama de datos compuesta por los diferentes valores del sistema.

Elaborado por: El investigador.

Además, en la Figura 28, se muestra el script “UdooServidor.py” en ejecución en el microcontrolador Udoo, que se envía la trama de datos especificada anteriormente:

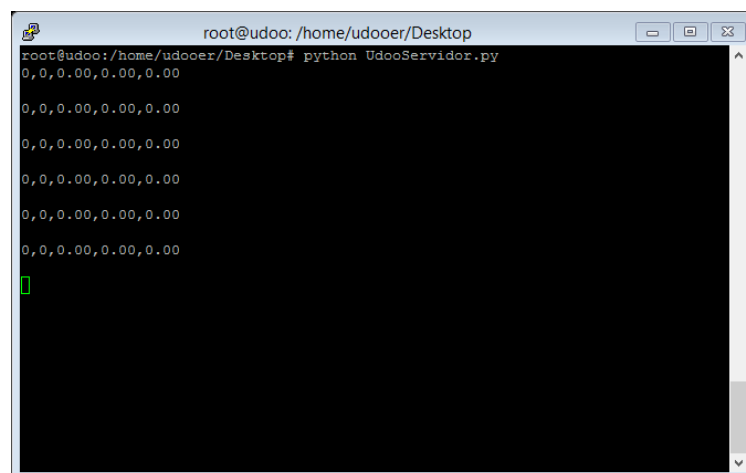


Figura 28 Script UdooServidor.py en ejecución.

Elaborado por: El investigador.

3.8 Diseño de la estructura del seguidor solar fotovoltaico

Para el diseño de la estructura del seguidor solar, que permite realizar el seguimiento en el sentido Este – Oeste, manteniendo la posición Norte-Sur fija, con una inclinación de 10° , se han construido las diferentes partes de la estructura. Para la construcción de la estructura se ha utilizado un material acero inoxidable por su peso, características para transmitir energía mecánica y durabilidad al requerir estar expuesto al aire y al agua.

- **Soportes:** Los soportes de la estructura del seguidor solar permiten sujetar al panel solar mediante tornillos y tuercas en los orificios de dichos soportes. Las dimensiones son de 30 cm de largo y 3 cm de ancho, Figura 24.
- **Eje:** El eje de la estructura se ubica entre los soportes, para poder realizar el movimiento del panel solar, previamente sujetado, tiene forma circular con las siguientes dimensiones: diámetro de 3 cm. y 70 cm. de largo, Figura 29. Además, tiene un orificio en la parte derecha de 8 mm para conectar al eje del motor a pasos.

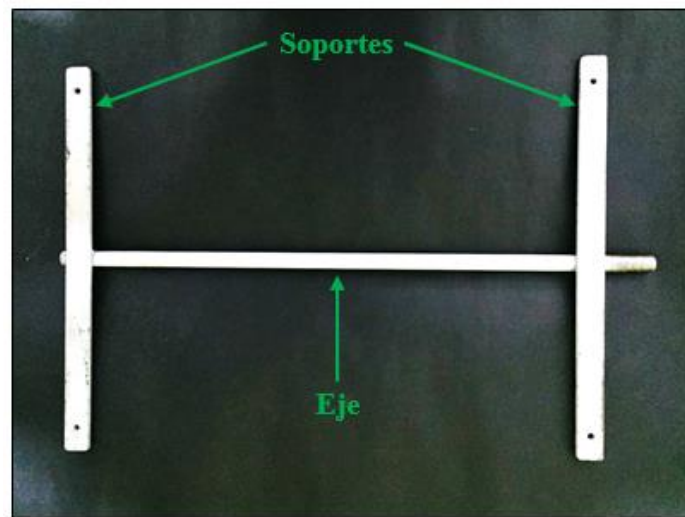


Figura 29 Eje de la estructura del seguidor solar fotovoltaico.

Elaborado por: El investigador.

- **Base principal:** La base principal de la estructura del seguidor solar permite sujetar al motor a pasos a una altura de 40 cm, además se encuentra unido a un soporte a nivel del piso para mantener su contrapeso. Tiene las siguientes dimensiones: 20 cm de largo y 3 cm de ancho, Figura 30.

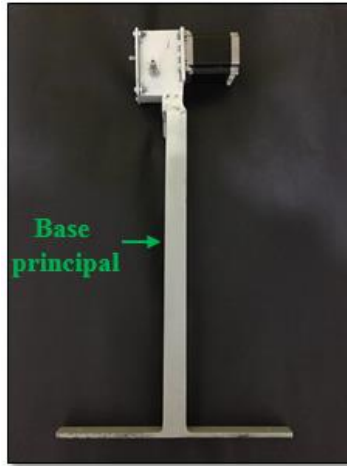


Figura 30 Base principal de la estructura del seguidor solar fotovoltaico.

Elaborado por: El investigador.

- **Base secundaria:** La base secundaria de la estructura del seguidor solar permite sujetar al eje mediante un orificio de diámetro de 3.5 cm. en una altura menor a la base principal, en este caso de 20 cm., con la finalidad de tener una inclinación de 10° . De igual manera, se encuentra unido a un soporte para mantener su contrapeso con dimensiones de 20 cm de largo y 3 cm de ancho, Figura 31.



Figura 31 Base secundaria de la estructura del seguidor solar fotovoltaico.

Elaborado por: El investigador.

- **Reductor mecánico:** El reductor mecánico de la estructura del seguidor solar, Figura 32, permite dar mayor torque al motor a pasos para un correcto movimiento

del panel a través del eje, previamente montado en la base principal de la estructura.

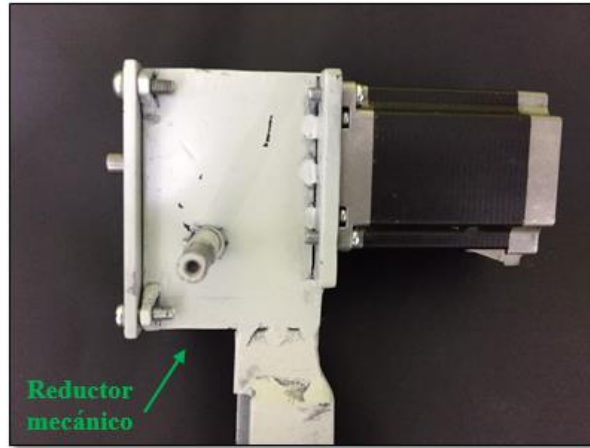


Figura 32 Reductor mecánico de la estructura del seguidor solar fotovoltaico.

Elaborado por: El investigador.

3.8.1 Diseño del reductor mecánico

Para el diseño del reductor mecánico se consideró varios parámetros con la finalidad de obtener mayor torque en el motor a pasos y garantizar el movimiento la estructura en la que se encuentra montado el panel solar:

- Peso del panel solar igual a 10.5822 libras.
- Peso de la estructura (eje y soportes) igual a 8.7225 libras.
- Peso total aplicado al eje del motor 19.03047 libras.
- Torque máximo estático del motor a pasos nema 23 de 1.8 Nm igual a 15.9314 libras – pulgadas.

Se determinó que el peso total, aplicado al eje del motor es mayor al torque máximo estático que soporta el motor, por esto es necesario realizar la reducción mecánica, mediante un tornillo sin fin y una corona de 40 dientes, Figura 33, que proporciona una relación de transmisión de 1:40, es decir, se aumenta 40 veces el torque máximo estático del motor nema 23 y así se evita que el peso o el mecanismo a mover no afecte el correcto funcionamiento del motor.



Figura 33 Estructura del reductor mecánico.

Elaborado por: El investigador.

A continuación, se presentan los cálculos necesarios para controlar el movimiento del motor a pasos con la reducción mecánica diseñada anteriormente:

Número de pasos para mover un grado $N1$ es igual a:

$$N1 = \frac{\text{Número total de pasos}}{\text{Vuelta en grados}} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

$$N1 = \frac{200}{360} = 0.5555555556$$

Por la relación 1:40 el número de pasos para mover un grado $N2$ es igual a:

$$N2 = N1 \times \text{Relación de transmisión} \quad \text{(Ecuación 3)}$$

$$N2 = 0.5555555556 \times 40 = 22.22222222$$

3.9 Implementación del sistema

Para la implementación del sistema electrónico de control mediante el algoritmo de programación diseñado y el prototipo construido para el seguidor solar fotovoltaico, ubicado en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato se siguen los siguientes pasos:

3.9.1 Montaje de la estructura del prototipo de seguidor solar fotovoltaico

El montaje adecuado de la estructura del prototipo se realiza mediante las normas de instalación de paneles fotovoltaicos:

- Norma Ecuatoriana de Construcción, NEC-10, 1996. Parte 14-2. Energía Renovable. Sistemas de Generación con Energía Solar Fotovoltaica para Sistemas Aislados y Conexión a Red hasta 100 kW en el Ecuador.
- Norma Técnica de Construcción, NTC 2883, 1991. Energía fotovoltaica. Módulos fotovoltaicos.
- IEC 60904: Dispositivos Fotovoltaicos. Parte 1: Medida de la característica corriente-tensión de dispositivos fotovoltaicos
- IEC 61173: Protección contra las sobretensiones de los sistemas fotovoltaicos productores de energía. Guía
- IEC61194: Parámetros característicos de los sistemas fotovoltaicos autónomos.
- IEC61829: Campos fotovoltaicos de silicio cristalino- Medida en el sitio de características I-V.
- IEC61836: Solar photovoltaic energy systems -Terms, definitions and symbols.

En base a las normas mencionadas anteriormente, se realiza la instalación del sistema de seguimiento solar fotovoltaico, conociendo sus parámetros característicos y el comportamiento de cada uno de los componentes que lo conforman, así como el posicionamiento del módulo fotovoltaico, las protecciones contra la sobrecarga de la batería, así como las sobretensiones en este tipo de dispositivos. Se toma en cuenta también las normas en las que se recomienda el procedimiento de medición de la corriente y tensión en este tipo de sistemas fotovoltaicos.

La Figura 34 muestra la ubicación del panel solar en la Universidad Técnica de Ambato, sobre la azotea de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. El módulo fotovoltaico o panel solar se coloca en dirección Norte, a 0°, la parte fija del sistema de seguimiento solar, mientras que el eje móvil se ubica en dirección Este-Oeste. En los anexos que van desde el Anexo AJ – AL, se muestra los cambios de posición durante el día.

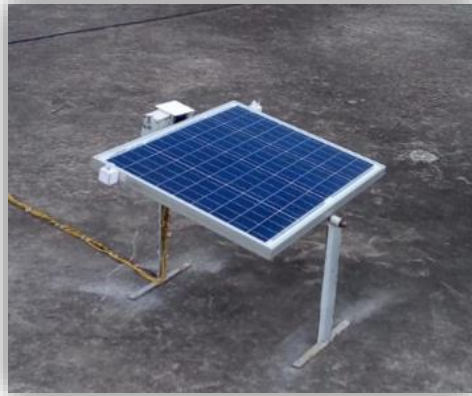


Figura 34 Montaje del prototipo de seguidor solar fotovoltaico en la azotea de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

Elaborado por: El investigador.

3.9.2 Ejecutar el sistema electrónico de control

Para ejecutar el sistema electrónico de control diseñado mediante el algoritmo de programación se realizan los esquemas de conexión de los elementos, divididos en la instalación fotovoltaica con la fuente de alimentación, el circuito de potencia y el circuito de control como se explica a continuación:

La instalación fotovoltaica está formada por el panel solar SP050P, el regulador de carga CMTP02-20A, y la batería TP Plus, conectados como se observa en la Figura 35, utilizando cable calibre AWG 12 y sección 4 mm^2 para valores máximos de 12 voltios y 20 amperios en corriente continua. En la salida del regulador de carga se obtiene la fuente de alimentación para el circuito de potencia.

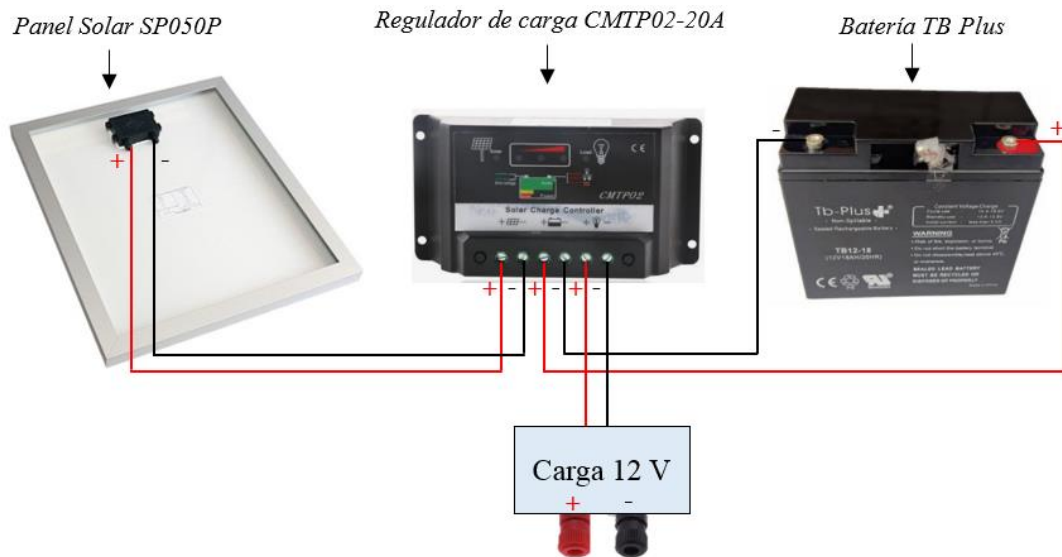


Figura 35 Conexiones de la instalación fotovoltaica.

Elaborado por: El investigador.

En el circuito de potencia se encuentra conectado el motor a pasos nema 23, el Driver Hy Div268n 5A, la lámpara halógena y el módulo relé, Figura 36, utilizando igualmente cable calibre AWG 12, el motor a pasos y la lámpara es controlado mediante el microcontrolador Udoq Quad, además se conecta un regulador de voltaje o step down para obtener 5 voltios en continua para la alimentación del circuito de control.

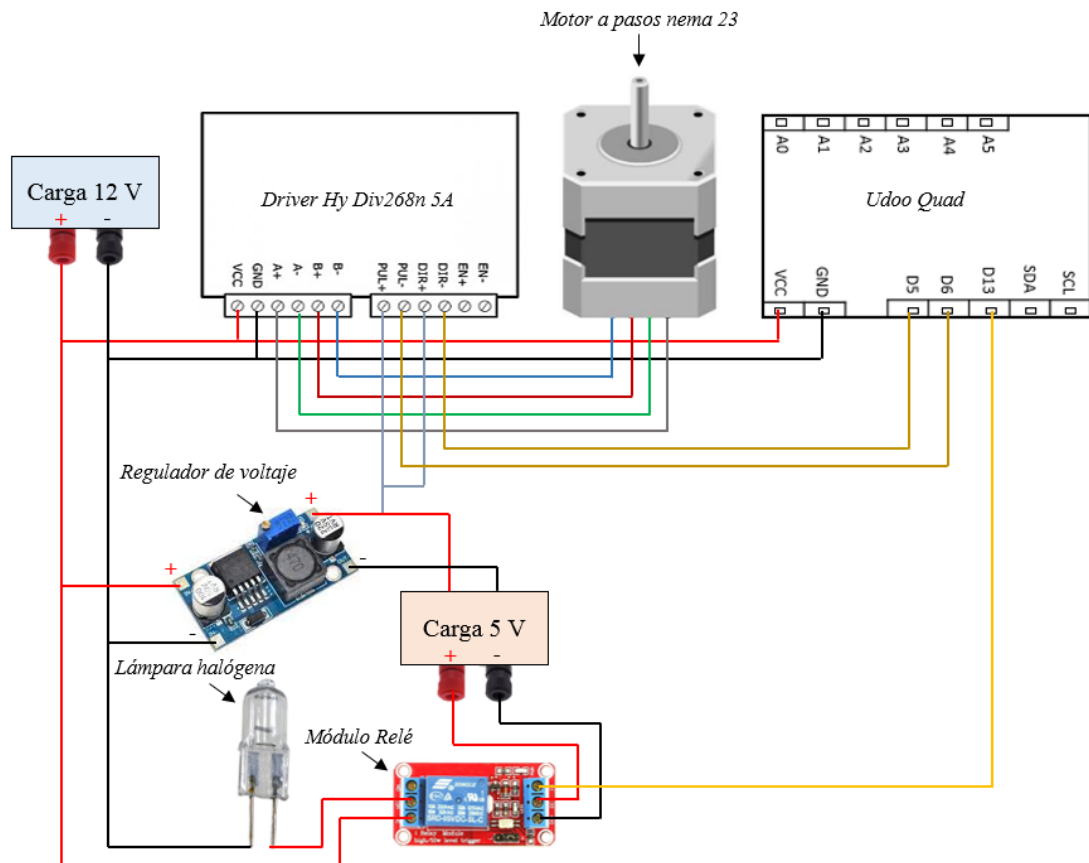


Figura 36 Conexiones del circuito de potencia a la fuente de alimentación y al circuito de control.

Elaborado por: El investigador.

Finalmente, el circuito de control está formada por las fotorresistencias o LDR conectadas en serie con las resistencias de $10\text{ k}\Omega$, sensores de voltaje FZ0430, sensores de corriente ACS712 x20A y un reloj digital DS3231 conectados al microcontrolador Udo Quad, Figura 37, utilizando cable de timbre calibre AWG 23.

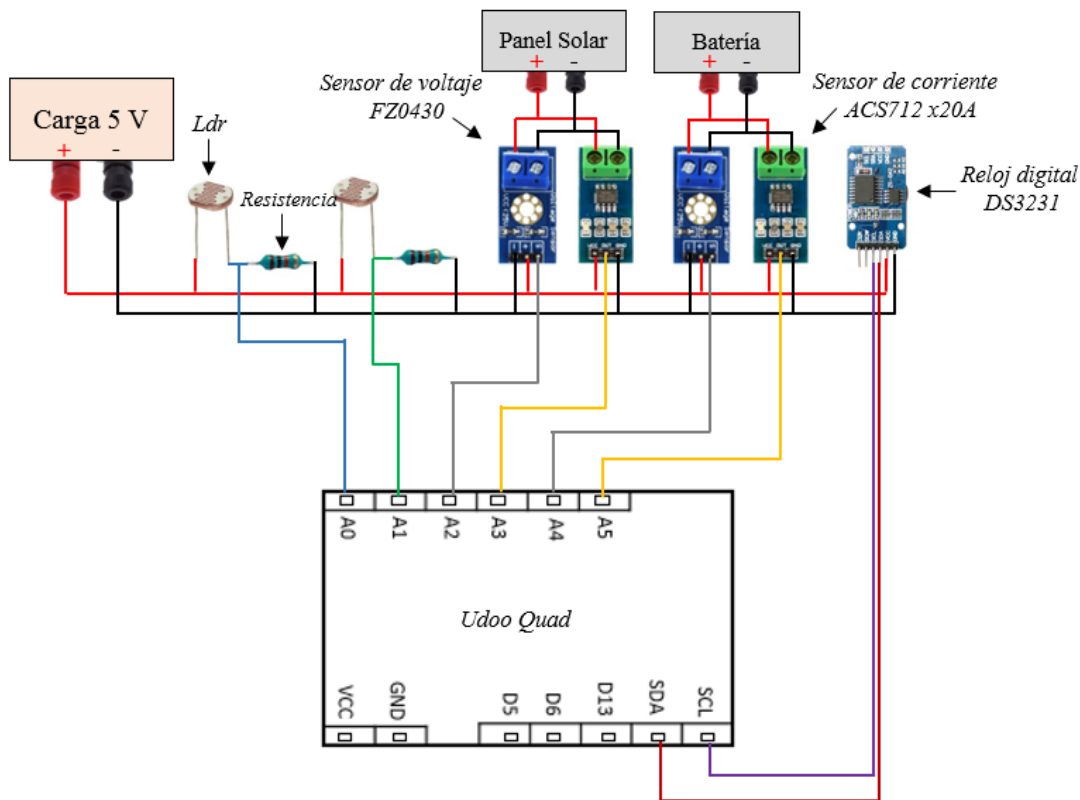


Figura 37 Conexiones del circuito de control.

Elaborado por: El investigador.

Una vez realizado las conexiones necesarias para que cada parte del sistema de control funcione adecuadamente, se coloca cada parte dentro de la caja de conexiones eléctricas y protección de equipo. La caja de conexiones se coloca en un área cubierta de los cambios de clima que se pueden presentar a lo largo del día para protección de los equipos. De esta caja de conexiones se obtienen las señales de control y sensorización que se conectan al sistema fotovoltaico.

En la Figura 38 se muestra el sistema de control y sensorización del seguidor solar fotovoltaico dentro de la caja de conexiones eléctricas y protección de equipos, formado por el microcontrolador, el regulador de carga solar, el controlador del motor a pasos Nema 23 y la parte de sensorización del sistema. Todas las salidas cada dispositivo mencionado se unen con el sistema solar fotovoltaico, ubicado en la azotea de la facultad, para que este cumpla con las acciones que el microcontrolador decida de acuerdo con los parámetros de condición que proporciona la parte de sensorización del sistema.

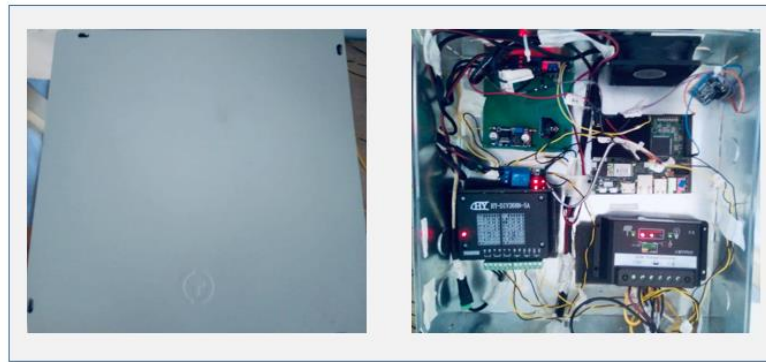


Figura 38 Caja de conexiones del sistema electrónico de control.

Elaborado por: El investigador.

3.10 Interfaz web para el monitoreo del sistema

La interfaz web tiene como objetivo monitorear el funcionamiento del sistema electrónico desde cualquier lugar mediante graficas que indican el estado del sistema encendido o apagado, la posición en grados del panel solar, la energía de entrada, el consumo de la carga y además el estado de la batería, mediante la plataforma ThingSpeak de Mathworks, Figura 39. La interfaz permite la visualización de los datos enviados por el microcontrolador Udo0 al servidor en la nube.

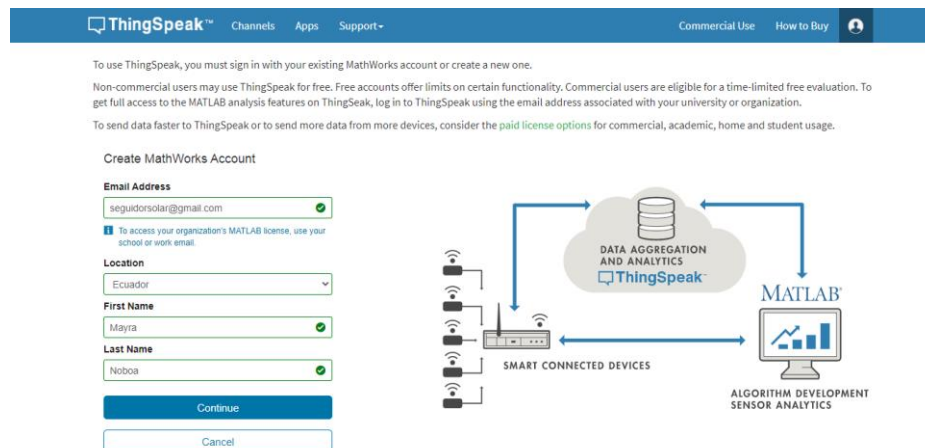


Figura 39 Registro en la cuenta de ThingSpeak.

Elaborado por: El investigador.

La Figura 40 se muestra la cabecera de la página web para el seguidor solar fotovoltaico, la descripción del canal y el ID público.

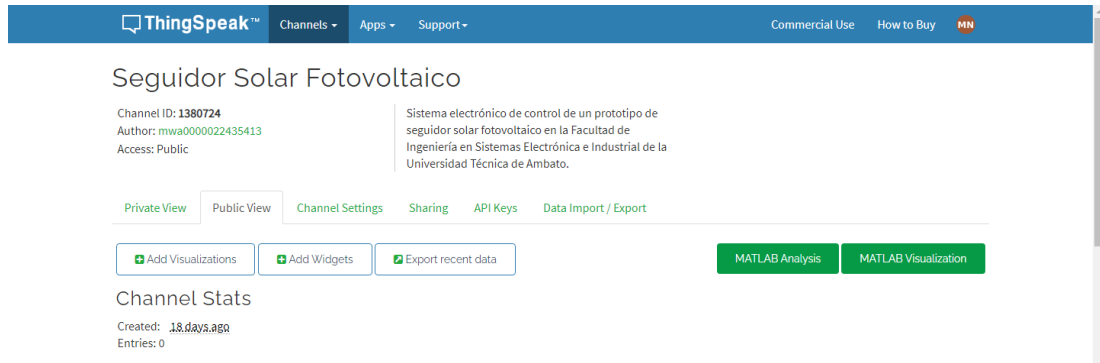


Figura 40 Servidor de ThingSpeak para el seguidor solar fotovoltaico.

Elaborado por: El investigador.

A continuación, se detalla el cuerpo de la página web que permite visualizar las gráficas de los diferentes datos recibidos en el servidor:

- El estado del sistema o dato 1 se obtiene en un gráfico en forma de luz indicadora color verde, Figura 41, que se enciende si el valor recibido es 1 o se apagada si el valor es 0.

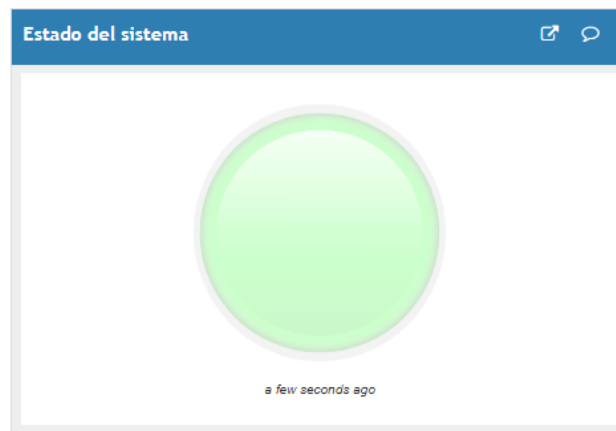


Figura 41 Luz indicadora del estado del sistema

Elaborado por: El investigador.

- La posición del panel solar o dato 2 se muestra en un campo numérico de tipo entero, Figura 42, para el valor recibido en grados.

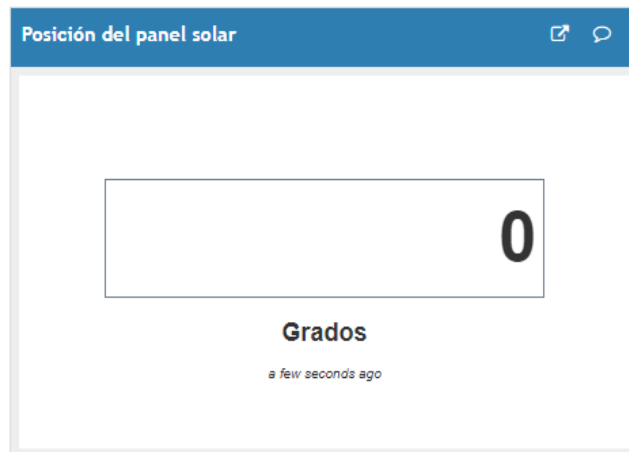


Figura 42 Campo numérico de la posición del panel solar.

Elaborado por: El investigador.

- La energía de entrada o dato 3 se visualiza mediante un gráfico de dos ejes (x, y) de tipo spline o curva. Específicamente en el eje x se muestra el tiempo en el que se obtuvo dicha energía, y en el eje y se muestra el valor en Watts recibido en una escala máxima de 50, Figura 43.

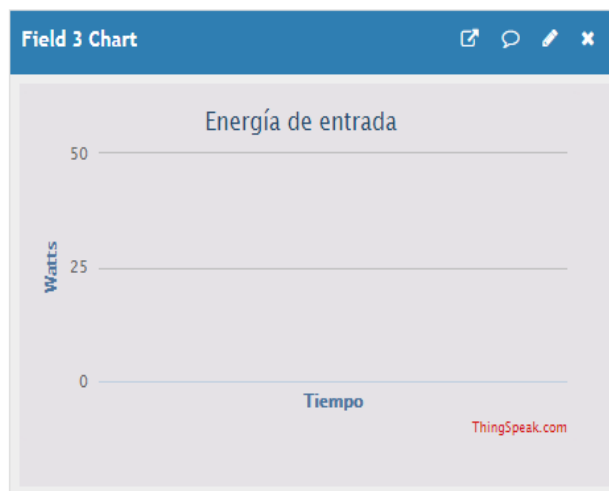


Figura 43 Gráfica tipo curva de la energía de entrada.

Elaborado por: El investigador.

- El consumo de la carga o dato 4 se visualiza de igual manera en un gráfico de dos ejes de tipo curva. En este caso, para el eje x se muestra el tiempo en el que se

obtuvo dicho consumo de energía, y en el eje y se muestra el valor en Watts en una escala máxima de 20, Figura 44.

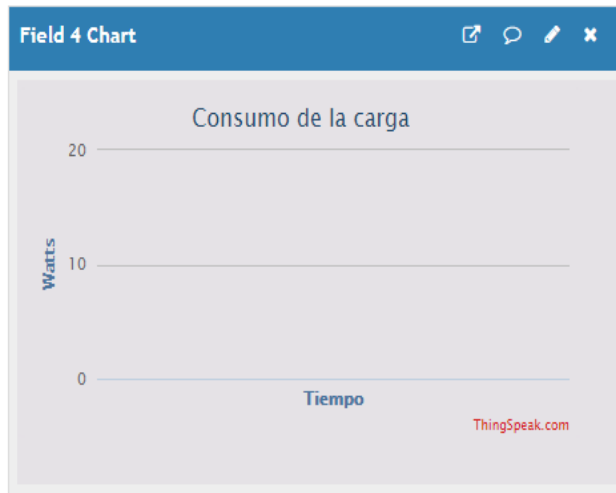


Figura 44 Gráfica tipo curva del consumo de la carga.

Elaborado por: El investigador.

- La carga y descarga de la batería o dato 5 se visualiza también en un gráfico de dos ejes de tipo curva. En el eje x se muestra el tiempo en el que se obtuvo dicho valor de carga o descarga, y en el eje y se muestra el valor en Vatios en una escala máxima de 15, Figura 45.



Figura 45 Gráfica tipo curva de la carga y descarga de la batería.

Elaborado por: El investigador.

- Adicionalmente se muestra la ubicación del seguidor solar fotovoltaico mediante un marcador en el mapa, Figura 46.



Figura 46 Ubicación del seguidor solar fotovoltaico.

Elaborado por: El investigador.

3.11 Pruebas de funcionamiento del sistema solar fotovoltaico fijo.

Para las pruebas de funcionamiento en modo de sistema fijo, se deja en la posición inicial de 0 grados con dirección al norte, esto debido a que en esa posición se obtiene el pico de energía solar del día en una determinada hora, permitiendo obtener la mayor cantidad de energía solar que se puede generar. Las condiciones climáticas siempre serán un factor que afecte al sistema ya sea fijo o de seguimiento. Los datos detallados de cada día se encuentran desde el Anexo C hasta el Anexo J. Además, la forma de onda que genera la energía obtenida cada día respecto a la energía esperada se observan desde el Anexo K hasta el Anexo Q.

En la interfaz web ThingSpeak se puede observar si el sistema ha entrado al ciclo de funcionamiento, permitiendo determinar si el sistema está encendido o apagado de acuerdo con la hora en la que se monitorice el sistema. Asimismo, se muestra la posición en la que permanecerá, que como se dijo anteriormente es de 0° . Además, se obtienen las curvas de radiación solar, dando como resultado una curva en la que se muestra las horas pico de radiación solar durante el tiempo de funcionamiento del sistema, la carga y descarga de la batería. Por otro lado, también se grafica el consumo de la carga, una vez que el sistema ha concluido su ciclo diario de trabajo. La carga entra en funcionamiento al concluir el proceso de captación de energía solar.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante los días de prueba del sistema fotovoltaico fijo en la interfaz web ThingSpeak:

La Figura 47 muestra que el sistema está encendido mediante el indicador en verde, así también se tiene la posición del panel en 0° , debido a que la configuración del panel es fijo el valor para cualquier hora es 0° .

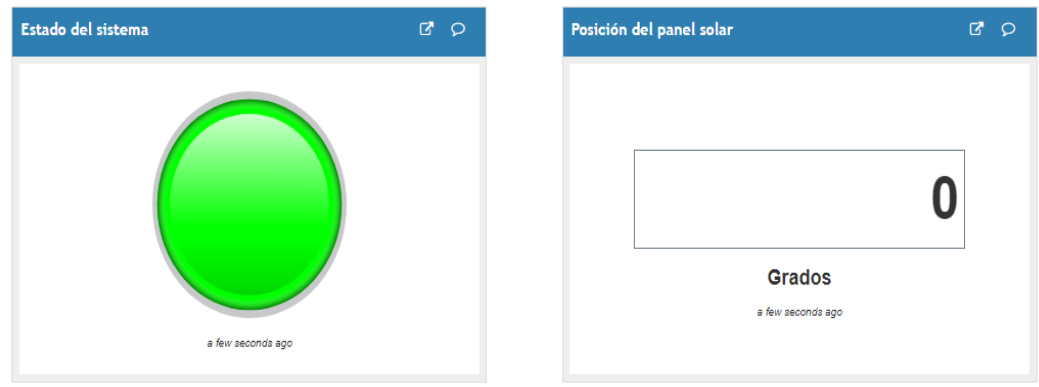


Figura 47 Sistema fijo encendido y en 0° .

Elaborado por: El investigador.

La potencia de entrada va incrementando a medida que se incrementa el nivel de radiación solar a lo largo del día, Figura 48.

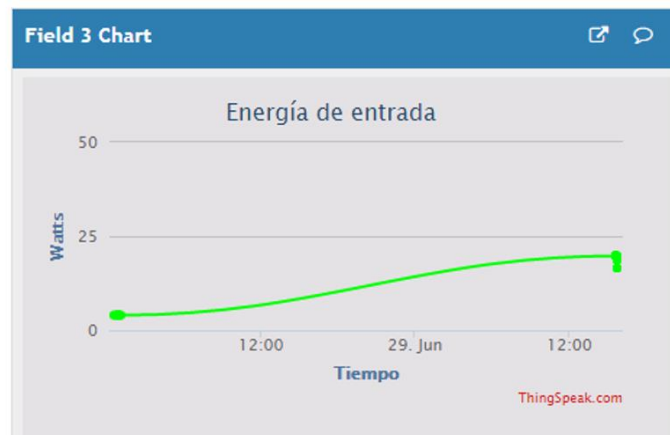


Figura 48 Energía de entrada para un sistema fijo.

Elaborado por: El investigador.

La Tabla 14 muestra los resultados y los valores obtenidos de softwares que predicen la cantidad de energía que se puede obtener en el lugar para cada día en que trabaja el sistema fotovoltaico, permitiendo realizar una comparación entre el funcionamiento

del sistema fotovoltaico fijo real con relación al sistema fotovoltaico ideal con el que se predice la cantidad de energía.

Tabla 14 Valores de energía solar esperada y de energía solar obtenida por un sistema fotovoltaico con configuración fija.

FIJO		
Fecha	Energía solar esperada (Wh)	Energía solar obtenida (Wh)
25/06/2021	537,19	78,46
26/06/2021	1356,88	197,46
27/06/2021	1572,50	215,37
28/06/2021	1309,69	192,52
29/06/2021	521,56	69,51
30/06/2021	513,44	70,93
01/07/2021	1215,31	180,91
Total	7026,56	1005,16
(%)	100%	14,31%

3.12 Pruebas de funcionamiento del sistema de seguimiento solar.

Para las pruebas de funcionamiento del sistema de seguimiento solar se ejecuta el algoritmo de control, descrito anteriormente, que inicia en la posición inicial de 0° en dirección al Norte, con ayuda del sensor de tiempo RTC, determina que ciclo de funcionamiento ejecuta el sistema en función a la hora, indicado por el sensor. Una vez que se inicia ciclo de funcionamiento, los sensores de luz, en este caso, los LDR's determinan el ángulo de inclinación o posición del panel para la mayor obtención de energía solar, estos ángulos varían durante el día y van desde los -60° hasta los 60° con saltos de 10° entre cada posición y con dirección Este-Oeste. Los datos detallados de cada día se encuentran desde el Anexo R hasta el Anexo X. Además, la forma de onda que genera la energía obtenida cada día respecto a la energía esperada se observan desde el Anexo Y hasta el Anexo AE.

En la interfaz web ThingSpeak se observa si el sistema ha entrado al ciclo de funcionamiento mediante un indicador de encendido o apagado de acuerdo con la hora en la que se monitorice el sistema. Asimismo, se muestra la posición en grados en la que el sistema de seguimiento se encuentre, en este caso la posición puede variar entre los -60° y 60° en el transcurso del día. Además, se muestran las gráficas de la energía

que se obtiene de la radiación solar captada por el seguidor solar, dando como resultado una curva en la que se muestra las horas pico de radiación solar durante el tiempo de funcionamiento del sistema, la carga y descarga de la batería, en función del voltaje almacenado. Por otro lado, también se grafica el consumo de la carga, una vez que el sistema ha concluido su ciclo diario de trabajo. La carga entra en funcionamiento al concluir el proceso de captación de energía solar.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante los días de prueba del sistema de seguimiento solar fotovoltaico. La Figura 49 muestra al sistema encendido y con un ángulo de inclinación para que el panel pueda obtener la mayor cantidad de energía al estar perpendicular a los rayos solares.

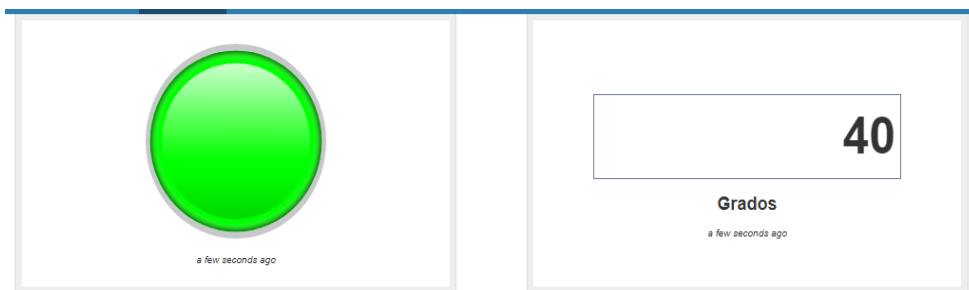


Figura 49 Energía de entrada para un sistema fijo.

Elaborado por: El investigador.

La energía de entrada se muestra en la Figura 50, se aprecia que la hora en que está funcionando el sistema tiene coherencia con el ángulo de inclinación del panel, en este caso igual a 40°.

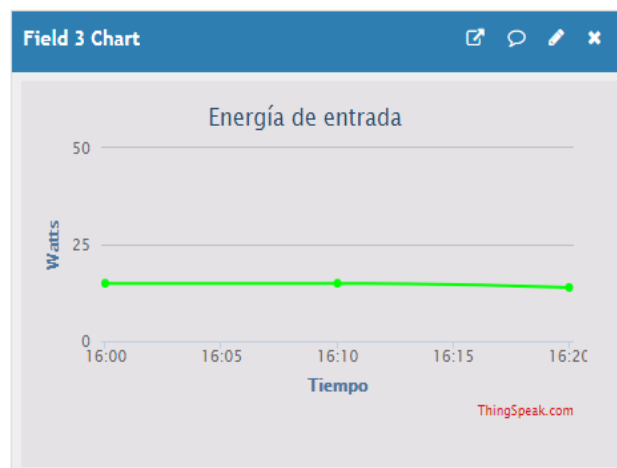


Figura 50 Energía de entrada para un sistema fijo.

Elaborado por: El investigador.

La Tabla 15 muestra los resultados y los valores obtenidos de softwares que predicen la cantidad de energía que se puede obtener en el lugar para cada día en que trabaja el sistema fotovoltaico de seguimiento solar, permitiendo realizar una comparación entre el funcionamiento del sistema fotovoltaico un sistema de seguimiento automatizado con relación a la energía esperada dada por softwares.

Tabla 15 Valores de energía solar esperada y de energía solar obtenida por un sistema fotovoltaico con configuración móvil.

MÓVIL		
Fecha	Energía solar esperada (Wh)	Energía solar obtenida (Wh)
02/07/2021	1232,19	199,07
03/07/2021	593,13	94,98
04/07/2021	1689,06	269,90
05/07/2021	1328,44	211,04
06/07/2021	509,69	80,14
07/07/2021	1715,63	273,85
08/07/2021	1590,94	251,43
Total	8659,06	1380,41
(%)	100%	15,94%

3.13 Comparación de los parámetros del sistema solar fijo y el prototipo del sistema de seguimiento solar fotovoltaico.

La comparación de estos sistemas se basa en parámetros técnicos de energía, como la potencia obtenida de la radiación solar que se obtiene en el módulo fotovoltaico, tanto para el sistema solar fijo como para el sistema de seguimiento solar fotovoltaico. Asimismo, se grafica la carga y descarga de la batería, basándonos en el voltaje que almacena la batería a lo largo del estado de funcionamiento y su descarga en el momento en el sistema deje de captar de energía solar. La descarga se realiza con una carga de 12V conformada por una lámpara halógena de 20 Watts. Otro parámetro importante es la mejora que puede tener de ambos sistemas respecto a los valores de pronosticados por softwares para cada día de funcionamiento.

Para conocer la energía que obtiene el panel solar se utiliza sensores de voltaje, como también de corriente, ubicados dentro del sistema de sensorización que se coloca entre

el panel y su regulador de carga solar. En la Tabla 16 se comparan los valores de energía entre el sistema fijo y el sistema con seguimiento automatizado.

Tabla 16 Comparación de los valores de energía solar esperada y de energía solar obtenida entre la configuración fija y la móvil.

TOTAL			
Configuración del panel	Energía solar esperada (Wh)	Energía solar obtenida (Wh)	Rendimiento(%)
Fijo	7026,5625	1005,16	14,31%
Móvil	8659,0625	1380,41	15,94%

La Tabla 16 muestra que mientras los primeros días en que el sistema funcionaba como un sistema fijo, la energía en determinadas horas era menor a la estimación. Mientras que los días en que se utiliza el sistema de seguimiento solar fotovoltaico los valores de energía que se obtiene son mucho más próximos a las estimaciones de energía. El sistema de seguimiento solar presenta una mejora en la captación de energía solar del 10,23% respecto a un sistema solar fijo. Este valor se obtuvo de la ecuación:

$$Me = \frac{\text{Lectura real de la producción en móvil en kWh} - \text{Lectura real de la producción en fijo en kWh}}{\text{Lectura real de la producción en móvil en kWh}}$$

(Ecuación 4)

Donde:

Me= Mejora en la captación de la energía solar.

$$Me = \left(\frac{15,94 - 14,31}{15,94} \right) * 100\%$$

$$Me = (0,1022584693) * 100\%$$

$$Me = 10,23\%$$

La Tabla 17 muestra como se ha ido cargando la batería, durante las horas en las que el sistema solar funciona. En el momento en que concluye su ciclo de trabajo se activa la carga de 12V durante el tiempo que la batería pueda descargarse a un valor determinado, sin afectar a la batería y nuevamente, en la mañana del día siguiente, el sistema de seguimiento solar pueda volver a cargar a la batería.

Tabla 17 Valor de voltaje de carga de la batería en ambas configuraciones en los días de pruebas de funcionamiento.

Fecha	Configuración del panel	HORA											
		7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
		Voltaje batería (V)											
25/06/2021	Fijo	10,50	10,67	11,39	12,26	12,78	13,16	13,44	13,49	13,67	13,92	14,25	14,59
26/06/2021		10,50	11,38	12,02	13,87	14,49	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
27/06/2021		10,50	11,52	12,31	12,97	14,03	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
28/06/2021		10,50	10,90	11,35	12,80	14,59	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
29/06/2021		10,50	10,85	11,43	12,15	12,90	13,57	13,62	13,72	13,83	13,98	14,03	14,12
30/06/2021		10,50	10,96	11,38	12,79	13,05	13,53	13,85	13,97	14,02	14,10	14,14	14,19
01/07/2021		10,50	11,43	12,67	13,24	13,98	14,36	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
02/07/2021		Móvil	10,50	10,67	11,39	11,99	12,61	12,89	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
03/07/2021	10,50		10,95	11,15	11,69	12,04	12,67	13,98	14,50	14,89	15,00	15,00	15,00
04/07/2021	10,50		11,52	12,31	12,97	14,03	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
05/07/2021	10,50		11,68	13,09	14,85	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
06/07/2021	10,50		11,67	12,03	12,72	13,21	13,56	13,95	14,02	14,29	14,47	14,65	14,67
07/07/2021	10,50		11,39	13,40	14,02	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
08/07/2021	10,50		11,43	12,67	14,01	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00

Los datos obtenidos en la Tabla 17 demuestran que al utilizar al sistema con seguimiento solar fotovoltaico se obtiene una carga completa de la batería en menor tiempo, en comparación con el sistema solar fijo o en su defecto, que la batería almacene mayor cantidad de voltaje con un sistema de seguimiento solar en condiciones climáticas desfavorables. Estos datos variaron debido a que no se realizó ambas configuraciones el mismo día y por las condiciones climáticas que se presentaron cada día en el que el sistema funcionó, teniendo en cuenta esto se determina que el sistema de seguimiento solar permite una carga de la batería en menor tiempo debido a que los días más favorables que se tuvo fueron en la configuración fija.

Tabla 18 Valor promedio de voltaje de carga de la batería en ambas configuraciones en los días de pruebas de funcionamiento.

Configuración del panel	Fecha	Tiempo de Carga de batería (H)
Fijo	25/06/2021	11
	26/06/2021	5
	27/06/2021	5
	28/06/2021	5
	29/06/2021	11
	30/06/2021	11
	01/07/2021	6
	Promedio	7,71
Móvil	02/07/2021	6
	03/07/2021	9
	04/07/2021	5
	05/07/2021	4
	06/07/2021	11
	07/07/2021	4
	08/07/2021	4
	Promedio	6,14

La Tabla 18 muestra que un sistema de seguimiento solar fotovoltaico permite que la batería se cargue en menor tiempo teniendo un promedio de 6,14 horas respecto a las 7,71 horas que se demora un sistema fotovoltaico fijo.

La Figura 51 presenta el proceso de carga de la batería en la configuración fija en la que se muestra que en los días en que se tuvo esta configuración el sistema almacenaba su valor máximo de voltaje a partir del mediodía, así como uno ciertos días en los que no alcanzó al completar su carga al 100%.

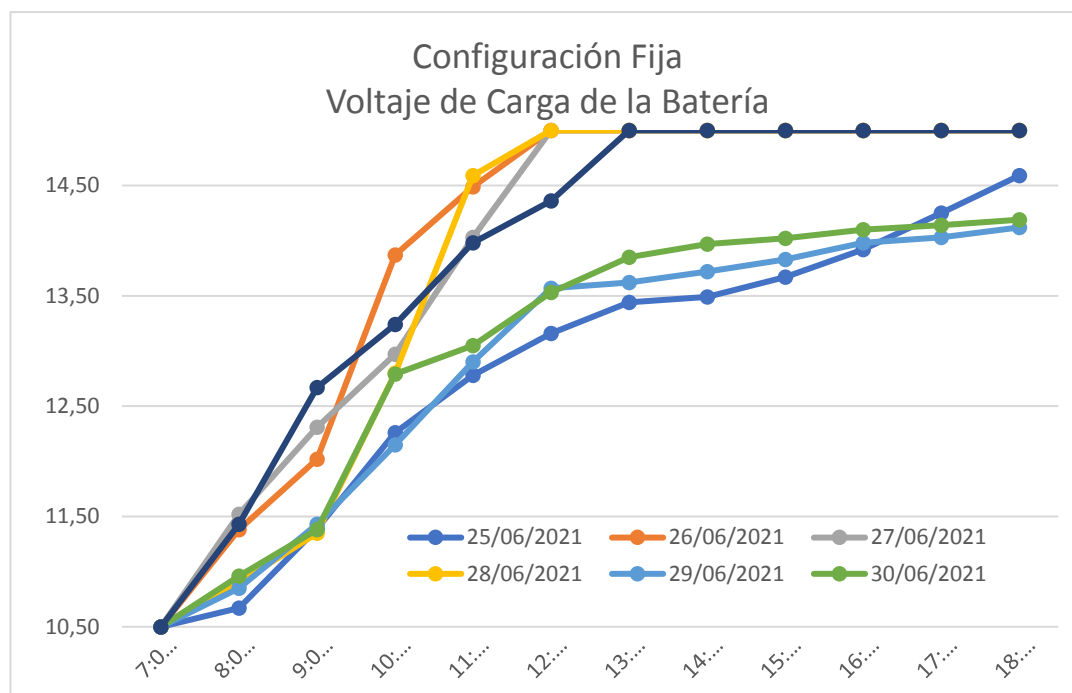


Figura 51 Evolución del voltaje de entrada para un sistema fijo.

Elaborado por: El investigador.

Por otro lado, la Figura 52 presenta el proceso de carga de la batería en la configuración móvil, en la que se observa que la carga de la batería es más rápida ya que logra obtener el valor máximo de voltaje entre las 10 de la mañana y el mediodía, teniendo solamente un día en el que no alcanzó a cargarse completamente.

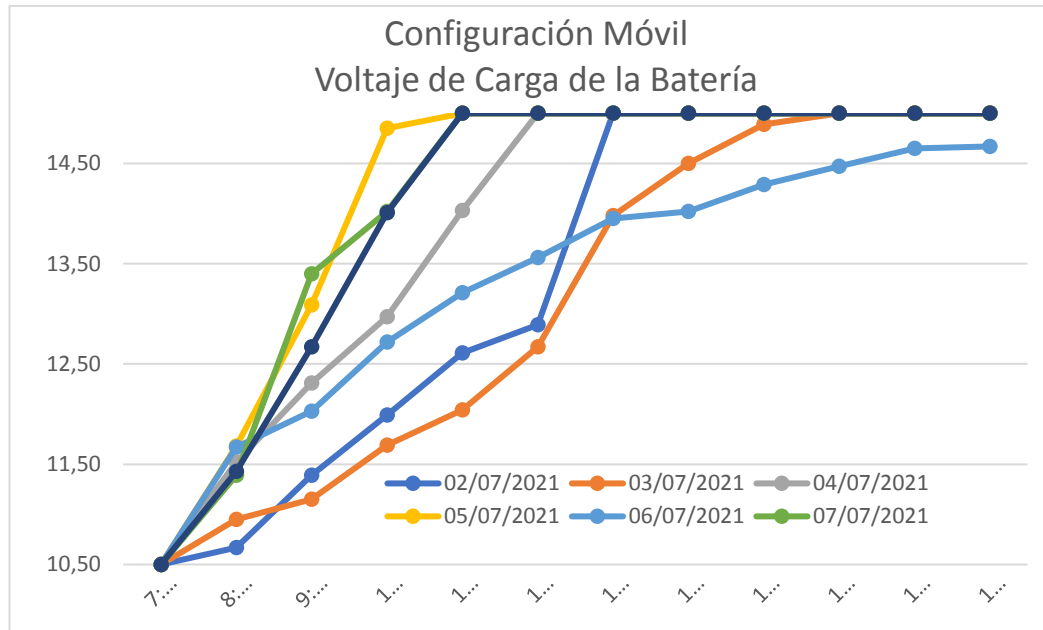


Figura 52 Evolución del voltaje de entrada para un sistema móvil.

Elaborado por: El investigador.

En la Figura 53 se muestra los valores de consumo en la carga, se puede notar que son muy similares debido a que en cualquier sistema ya sea fijo o con seguimiento, la carga va a encenderse a partir de la hora de apagado del sistema, la cual es a las 18:00 horas. Además, la carga permanecerá encendida el tiempo necesario hasta que el valor determinado en la programación que es de 10,50 Voltios indique que se alcanzó la máxima capacidad de descarga de la batería y así evitar el daño en la batería. Dando como valor constante 20 Watios durante este lapso.

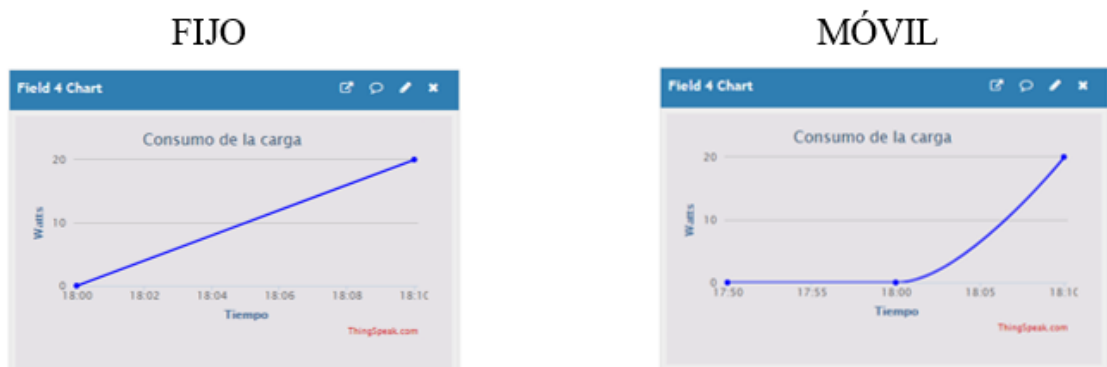


Figura 53 Consumo de la carga en las dos configuraciones.

Elaborado por: El investigador.

3.14 Presupuesto

A continuación, se define el costo del diseño e implementación que tiene el sistema, tomando en cuenta el costo de los implementos necesarios para el sistema electrónico de control de seguimiento solar y la construcción del sistema mecánico para el movimiento del sistema.

El costo corresponde a los implementos utilizados para el sistema fotovoltaico, los elementos del sistema de control de seguimiento solar, los elementos de sensorización y conexiones eléctricas, dando como total el valor de \$ 756,14 como se puede ver en las Tabla 19 -24.

Tabla 19 Presupuesto de un sistema solar fotovoltaico.

N°	Implemento	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1	Panel solar SP050P	c/u	1	50,00	50,00
2	Controlador de carga para panel solar PWM- MTP02	c/u	1	25,00	25,00
3	Batería TB-Plus 12V-18Ah	c/u	1	40,00	40,00
Total 1					115,00

Tabla 20 Presupuesto del sistema control y seguimiento solar .

N°	Implemento	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1	Microcontrolador Udoo-Quad	c/u	1	89,00	89,00
3	Memoria SD 16Gb	c/u	1	10,00	10,00
4	Motor a pasos 57HD6013-03	c/u	1	70,00	70,00
5	Driver de motor a pasos 57HD6013-03	c/u	1	40,00	40,00
6	Estructura	c/u	1	120,00	120,00
7	Reductor mecánico	c/u	1	80,00	80,00
Total 2					409,00

Tabla 21 Presupuesto de elementos de conexiones eléctricas y de comunicación.

N°	Implemento	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1	Caja de conexiones eléctricas	c/u	1	15,00	15,00
2	Cable calibre AWG 12	c/u	40	0,80	32,00
3	Cable calibre AWG 23	c/u	80	0,40	32,00
4	Placa para circuitos	c/u	1	6,00	6,00
5	Conector barril hembra	c/u	2	1,00	2,00
6	Ventilador 12v	c/u	1	6,00	6,00
7	Lámpara halógena	c/u	1	4,00	4,00
8	Router Wifi Tp-link Wr840n	c/u	1	25,00	25,00
Total 3					122,00

Tabla 22 Presupuesto del sistema de sensorización y regulación de voltaje.

N°	Implemento	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1	Reloj digital RTC DS3231	c/u	1	4,00	4,00
2	Fotorresistencia MJ11528	c/u	2	1,20	2,40
3	Sensor de corriente ACS712 x 20A	c/u	2	7,00	14,00
4	Sensor de voltaje FZ0430	c/u	2	7,00	14,00
5	Regulador de voltaje LM2596	c/u	1	3,00	3,00
6	Módulo relé SRD-06VDC-SL-C	c/u	1	4,00	4,00
Total 4					41,40

Tabla 23 Subtotal.

Subtotal	Costo
Sistema Fotovoltaico	115,00
Sistema de control y seguimiento solar	409,00
Elementos de conexiones eléctricas y de comunicación	122,00
Sistema de sensorización y regulación de voltaje	41,40
Total	687,40

Tabla 24 Presupuesto Total de la implementación del sistema electrónico de control de seguimiento solar fotovoltaico.

Presupuesto Total	Precio
Subtotal	687,40
Imprevistos (10% subtotal)	68,74
Total	756,14

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- El sistema de control de seguimiento solar permite la combinación de distintos sensores y de algoritmos para que el control del sistema tenga mayor precisión. Los sensores empleados como las fotorresistencia o sensores de luz y el reloj digital permiten que el control sea más sensible a los cambios que se presentan a lo largo del día y garantiza un tiempo de trabajo en el que se puede aprovechar de mejor manera la captación de energía solar. La optimización de la captación de energía se basa en algoritmos que permiten que el microcontrolador UDOO-Quad, con la capacidad de emplear software libre para el manejo del motor a pasos NEMA23 con caja reductora, asegura la ejecución del movimiento deseado. Asimismo, la adquisición y la transmisión se basa en el uso de tecnologías de comunicación inalámbrica, que utilizan el estándar WIFI, y el protocolo HTTP para almacenar datos en una interfaz web como ThingSpeak.
- La implementación del algoritmo para el control del sistema de seguimiento solar fotovoltaico en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial utiliza la comparación continua de los dos sensores de luz para que el panel se mueva a la posición donde exista mayor radiación solar, durante un determinado rango de horas de funcionamiento, controla la descarga de la batería en las horas en que el sistema está apagado. Todos estos resultados se pueden visualizar mediante una interfaz de monitoreo, que permite disponer de la información obtenida a lo largo del día.
- Al contrastar los resultados obtenidos de captación de energía solar entre un sistema fotovoltaico fijo y un sistema de seguimiento solar realizado mediante sensores de voltaje y corriente instalados dentro del sistema se comprueba que un sistema de seguimiento solar garantiza una mejora con relación a un sistema fotovoltaico fijo. La captación de energía solar en un sistema de seguimiento

solar presenta una mejora del 10,23% en relación con un sistema solar fijo. Esta mejora del 10,23% se debe a que al encontramos en la línea ecuatorial la radiación solar es perpendicular a la superficie, esto reduce la mejora que aporta el sistema de seguimiento solar; frente a zonas de alta latitud en donde se puede notar una variación mayor en la mejora del sistema de seguimiento que oscila entre los 25% y el 40 % , como en el caso de España o Alemania que se encuentran en latitudes de 27° y 50°.

4.2 Recomendaciones

- Para la implementación de un sistema electrónico de control con mayor sensibilidad es preciso obtener sensores de elevada sensibilidad de corriente y voltaje, que permitan obtener el valor real de potencia a suministrar por el sistema fotovoltaico. Además, los sensores de luz deberán ser capaces de detectar los cambios de radiación durante el día, así como de poder ser calibrados de manera adecuada, considerando los valores en que trabaja el sistema.
- Es preciso combinar algoritmos de aprendizaje para el control de seguimiento solar que permitan obtener una mayor precisión en casos en que el clima sea desfavorable, como son las redes neuronales, aprendizaje profundo, lógica difusa entre otros. En este sentido, el entrenamiento de los algoritmos exige largos periodos de tiempo. Un adecuado entrenamiento permite que el algoritmo identifique y establezca las acciones necesarias para que el controlador pueda realizar un seguimiento óptimo, maximizando la captación de energía solar.
- Es necesario poseer un sistema fotovoltaico con mayor capacidad, en especial que la batería tenga un mayor almacenamiento de voltaje y sea de litio u otro material con mejores prestaciones. La batería empleada tiene la limitación de descargarse a tan sólo a un 50%, valor típico de descarga de las baterías de plomo-ácido utilizada es de un máximo de 50%.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Loza, T. López, R. Ruíz y E. Sánchez, «Neural Control for Photovoltaic Panel Maximum Power Point Tracking,» *RIELAC*, 2017.
- [2] J. Carballo, J. Bonilla, M. Berenguel, J. Fernández y G. García, «New approach for solar tracking systems based on computer vision, low cost hardware and deep learning,» *Renewable Energy*, 2018.
- [3] C. K. y. S. Frizzo, «Deep Learning for Photovoltaic Generation Forecast in Active Solar Trackers,» *IEEE*, 2019.
- [4] S. Ghabusnejad, A. Majdi y A. Davari, «Using P&O Based Sensorless Method In Single-Axis Solar Tracker,» *INTERNATIONAL JOURNAL of RENEWABLE ENERGY RESEARCH*, 2019.
- [5] J. Ontiveros, C. Ávalos, F. Loza, N. Galán y G. Rubio, «Evaluation and Design of Power Controller of Two-Axis Solar Tracking by PID and FL for a Photovoltaic Module,» *Hindawi*, 2020.
- [6] BP p.l.c., «Statistical Review of World Energy 2020,» Londres, 2020.
- [7] REN21 Secretariat, «Renewables 2020 Global Status Report,» París, 2020.
- [8] R. Arreola, A. Quevedo, M. Castro, Á. Bravo y D. Reyes, «Diseño, construcción y evaluación de un sistema de seguimiento solar para un panel fotovoltaico,» *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. VI, nº 8, pp. 1715-1727, 2015.
- [9] Sopelia, «Sopelia Sollar Platform,» [En línea]. Available: <http://www.energiasolar.lat/solar-fotovoltaica-mexico/>. [Último acceso: 2020].
- [10] J. Roca, «Las 10 mayores plantas fotovoltaicas de Latinoamérica,» *El periódico de la energía*, 03 09 2018.
- [11] enercitysa, «<https://enercitysa.com/>,» [En línea]. Available: <https://enercitysa.com/blog/beneficios-economicos-y-tributarios-de-la-energia-solar-en-ecuador/>. [Último acceso: 2020].
- [12] energiasolar, «energiasolar,» [En línea]. Available: <http://www.energiasolar.lat/solar-fotovoltaica-ecuador/> . [Último acceso: 2020].
- [13] «Balance Nacional de Energía Eléctrica,» 2020.
- [14] ARCONEL, «Atlas del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2019,» 2019.
- [15] D. Vaca y F. Ordoñez, «Ingeniería Verde,» [En línea]. Available: <https://www.ingenieriaverde.org/wp->

- content/uploads/2020/01/Mapa_Solar_del_Ecuador_2019.pdf. [Último acceso: 2020].
- [16] Peláez, Manuel; Espinoza, Juan Leonardo, «Energía solar en el Ecuador,» de *Energías Renovables en el Ecuador: Situación Actual, Tendencias y Perspectivas*, Cuenca, Gráficas Hernández, 2015, pp. 330-383.
- [17] T. V. Carlos, «Fabricación de células solares,» de *Energía solar fotovoltaica*, Murcia, Cano Pina, 2018, pp. 9-12.
- [18] Cleanergysolar, «cleanergysolar,» [En línea]. Available: <http://www.cleanergysolar.com/2011/12/05/mantenimiento-de-los-diferentes-elementos-de-la-instalacion-solar-fotovoltaica/>. [Último acceso: 2020].
- [19] J. Reyes, «CORE,» [En línea]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/60900822.pdf>. [Último acceso: 2020].
- [20] QKSOL, «QKSOL,» [En línea]. Available: <https://qksol.com/deger/seguidores-solares-deger-tecnologia-mltd/sistema-seguimiento-solar-1/>. [Último acceso: 2020].
- [21] C. Tobajas Vázquez, «Identificación de elementos de las instalaciones de energía solar fotovoltaica,» de *Energía solar fotovoltaica*, Murcia, Cano Pina, 2018, pp. 19-22.
- [22] R. Fuentes-Morales, A. Diaz-Ponce, M. Peña-Cruz, P. Rodrigo, L. Valentín-Coronado, F. Martell-Chavez y C. Pineda-Arellano, «Control algorithms applied to active solar tracking systems: A review,» *Solat Energy*, vol. 212, p. 17, 24 Octubre 2020.
- [23] O. Efraín, C++ bajo Qt, Bogotá: Ediciones de la U, 2018.
- [24] J. Nolasco Valenzuela, Python: aplicaciones prácticas, Madrid: RA-MA, 2018.
- [25] The MathWorks, Inc., «ThingSpeak TM,» The MathWorks, Inc., 2021 . [En línea]. Available: <https://thingspeak.com/>.
- [26] Direct Industry, «<https://pdf.directindustry.es/>,» Virtual Group Expo, 2021. [En línea]. Available: <https://pdf.directindustry.es/pdf-en/dongyang-city-dongzheng-motor-co-ltd/dyd-motor-brushed-dc-motor-60zy105/209469-847339.html#open2189945>. [Último acceso: 2021].
- [27] Hobby Porter, «www.hobbyporter.com,» Hobby Porter, 2017. [En línea]. Available: https://www.hobbyporter.com/hobby-porter-super-500-high-torque-metal-robot-servo-12-to-24v-500kg-uav-education-industrial-motor_p1121.html. [Último acceso: 2021].
- [28] Carl Yi, «Carlyi.en.made-in-china,» Focus Technology Co., Ltd, 2021. [En línea]. Available: <https://carlyi.en.made-in-china.com/product/LdEmPcYyJQkV/China-57HD-Stepper-Motor-NEMA-23->

- 1-8-deg-57HD6013-03-CNC-Router-Kit-Bipolar-76mm-Hal.html. [Último acceso: 2021].
- [29] Espressif Systems, «Espressif Systems,» 2021. [En línea]. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf. [Último acceso: 2021].
- [30] terraelectronica, «terraelectronica,» 2021. [En línea]. Available: https://www.terraelectronica.ru/pdf/show?pdf_file=%252Fds%252Fpdf%252FT%252FTechicRP3.pdf. [Último acceso: 2021].
- [31] udoo.org, «udoo,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.udoo.org/docs/Introduction/Introduction.html>. [Último acceso: 2021].
- [32] OSRAM Opto Semiconductors GmbH, «OSRAM Opto Semiconductors,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.osram.com/os/>. [Último acceso: Abril 2021].
- [33] Shenzhen Haiwang Sensor Co., Ltd, «made-in-china,» Focus Technology Co., Ltd, 2021. [En línea]. Available: https://es.made-in-china.com/co_szhaiwang/product_Diameter-11mm-Ldr-Sensor-Photoresistor-for-Optical-Lamp_eoigyinig.html. [Último acceso: Abril 2021].
- [34] VISHAY, «VISHAY,» 2021. [En línea]. Available: <https://docs.rs-online.com/bda0/0900766b80e22c15.pdf>. [Último acceso: Abril 2021].
- [35] Maxim Integrated Products, Inc, «Maxim Integrated,» 2015. [En línea]. Available: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf>. [Último acceso: Abril 2021].
- [36] Maxim Integrated Products, Inc., «Maxim Integrated,» 2021. [En línea]. Available: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1307.pdf>. [Último acceso: Abril 2021].
- [37] Maxim Integrated Products, Inc. , «Maxim Integrated,» 2021. [En línea]. Available: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1302.pdf>. [Último acceso: Abril 2021].
- [38] ElectroCrea, «ElectroCrea,» ElectroCrea, 2021. [En línea]. Available: <https://electrocrea.com/products/fz0430-25v-sensor-de-voltaje>. [Último acceso: Abril 2021].
- [39] A. Nicola, «Electronica Pty,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.electronicapty.com/modulo-sensor-de-voltaje-y-corriente-max471-para-arduino-detail?tmpl=component&format=pdf>. [Último acceso: Abril 2021].

- [40] AV Electronics, «AV Electronics,» 2021. [En línea]. Available: <https://avelectronics.cc/producto/sensor-de-voltaje-zmpt101b/>. [Último acceso: Abril 2021].
- [41] Allegro MicroSystems, Inc, «Allegro MicroSystems,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.allegromicro.com/~media/Files/Datasheets/ACS712-Datasheet.ashx?la=es-ES&hash=7E468A7EDCE14C33A478352CB7FC2BA90965D6DDhx&usg=AOvVaw2tp3bP7IvTxKFLprnijRb>. [Último acceso: Abril 2021].
- [42] Texas Instruments Incorporated, «Texas Instruments,» 2021. [En línea]. Available: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf?ts=1619524653283&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FLM2596%253Futm_source%253Dgoogle%2526utm_medium%253Dcpc%2526utm_campaign%253Dapp-null-null-GPN_EN-cpc-pf-google-ww%2526utm_content%253DLM. [Último acceso: Abril 2021].
- [43] Texas Instruments Incorporated, «Texas Instruments,» 2021. [En línea]. Available: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm317.pdf?ts=1619542779135&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F#:~:text=The%20LM317%20device%20is%20an,to%20set%20the%20output%20voltage.. [Último acceso: Abril 2021].
- [44] Texas Instruments Incorporated, «Texas Instruments,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm340.pdf>. [Último acceso: Abril 2021].
- [45] Solar Plus Energy, «Solar Plus Energy,» 2018. [En línea]. Available: <https://solarplusonline.com/collections/paneles-solares/products/panel-solar-policristalino-50-watts-ps50-polycrystalline-solar-panel-50-watts-ps50>. [Último acceso: Abril 2021].
- [46] Yueqing JYINS Electric Technology Co.,Ltd., «JYINS,» 2021. [En línea]. Available: <http://www.jyinverter.com/upload/file/2016-01/20160113102738-0647-86701.pdf>. [Último acceso: Abril 2021].
- [47] Tb Plus Energy, «Tb Plus Energy,» [En línea]. Available: <https://www.tbplusenergy.com/wp-content/uploads/2019/06/Tb-Plus-12-18.pdf>. [Último acceso: Abril 2021].
- [48] Udo.org, «Udo.org,» SECO SPA, 2021. [En línea]. Available: https://www.udoo.org/docs/Software_&_OS_Distro/UDOOubuntu.html. [Último acceso: Abril 2021].

- [49] udoo.org, «udoo.org,» 2021. [En línea]. Available: https://www.udoo.org/docs/Cookbook_Android/UDOO_Android_Boot_Walkthrough.html. [Último acceso: Abril 2021].
- [50] L. Sánchez y A. Mayorga, «Repositorio Universidad Técnica de Ambato,» 2016. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/20282/1/Tesis%20I.M.%20316%20-%20S%C3%A1nchez%20P%C3%A9rez%20Leni%20Wilfrido.pdf>.
- [51] A. Ríos y S. Manzano, «DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA ELECTROLINERA SOLAR AISLADA EN EL CAMPUS HUACHI DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO,» Ambato, 2015.

ANEXOS

ANEXO A

Código fuente del algoritmo de programación para el control del seguidor solar fotovoltaico.

```
#include <Wire.h> // Incluir la librería para la comunicación I2C
#include <RTClib.h> // Incluir la librería para el manejo del módulo RTC
RTC_DS1307 rtc; // Crear el objeto del sensor de tiempo RTC_DS1307

int hora_on = 7; // Hora de encendido del sistema
int minutos_on = 0; // Minutos de encendido del sistema
int segundos_on = 0; // Segundos de encendido del sistema
int hora_off = 17; // Hora de apagado del sistema
int minutos_off = 59; // Minutos de apagado del sistema
int segundos_off = 59; // Segundos de apagado del sistema

int valorLDR_1 = 0; // Almacenar los datos recibidos del sensor LDR_1
int valorLDR_2 = 0; // Almacenar los datos recibidos del sensor LDR_2
int pinLDR_1 = A0; // Especificar el pin analógico A0 a cual se conecta el LDR_1
int pinLDR_2 = A1; // Especificar el pin analógico A1 a cual se conecta el LDR_2

const int pinVoltaje_Bateria = A2; // Especificar el pin analógico A2 a cual se conecta el sensor de
voltaje de la batería
int sensorVoltaje_Bateria; // Variable que almacena el valor de 0 a 1023 del sensor de la batería
float voltaje_Bateria; // Variable que almacena el voltaje de 0.0 a 18.0 del sensor de de la batería

const int pinCorriente_Panel = A3; // Especificar el pin analógico A3 a cual se conecta el sensor de
corriente del panel
float Sensibilidad = 0.100; // Sensibilidad en Voltios/Amperio para sensor de 30 A
float corriente_Panel; // Variable que almacena la corriente del sensor del panel

const int pinVoltaje_Panel = A4; // Especificar el pin analógico A4 a cual se conecta el sensor de
voltaje del panel
int sensorVoltaje_Panel; // Variable que almacena el valor de 0 a 1023 del sensor del panel
float voltaje_Panel; // Variable que almacena el voltaje de 0.0 a 20.0 del sensor del panel
```

```

const int pinCorriente_Carga = A5; // Especificar el pin analógico A5 a cual se conecta el sensor de
corriente de la carga

float corriente_Carga; // Variable que almacena la corriente del sensor de la batería

int angulo; // Valor en grados para cambiar la posición del panel

int numero_pasos = 0; // Valor del número de pasos del motor

int driverPUL = 6; // Especificar el pin digital 6 para el pulso del motor a pasos

int driverDIR = 5; // Especificar el pin digital 5 para la dirección del motor a pasos

int valorEstado; // Variable del estado del sistema

const int carga = 13; // Especificar el pin digital 8 para conectar la carga

// Variables Globales para el cálculo de energía y consumo de la carga
float energia_Entrada;
float energia_entrada_map;
float consumo_carga;
float consumo_carga_map;

void setup() {
  Serial.begin(115200); // Inicializar el puerto serie a una velocidad de 115200 baudios
  if (!rtc.begin()) { // Condición para determinar si falla la inicialización del módulo RTC
    while (1);
  }
  rtc.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__)); // Función para establecer la fecha y horario

  // Especificar los pines del microcontrolador como salida para la conexión con el driver del motor y
  la carga
  pinMode(driverDIR, OUTPUT);
  pinMode(driverPUL, OUTPUT);
  pinMode(carga, OUTPUT);
}

void loop() {
  // Sensorización
  DateTime fecha = rtc.now(); // Lectura del sensor de tiempo RTC

```

```

//Ldr_1
valorLDR_1 = analogRead(pinLDR_1); // Lectura del sensor LDR1
//Ldr_2
valorLDR_2 = analogRead(pinLDR_2); // Lectura del sensor LDR2
// Voltaje de la batería
sensorVoltaje_Bateria = analogRead(pinVoltaje_Bateria); // Lectura del sensor de voltaje en la
batería
voltaje_Bateria = fmapVB(sensorVoltaje_Bateria, 0, 1023, 0.0, 17.0); // Cambiar la escala de 0.0 a
25.0 del sensor de voltaje en la batería
// Corriente del panel
corriente_Panel = get_corriente_Panel(500); // Corriente promedio de 500 muestras del sensor del
panel
// Voltaje del panel
sensorVoltaje_Panel = analogRead(pinVoltaje_Panel); // Lectura de los sensores de voltaje en el
panel
voltaje_Panel = fmapVP(sensorVoltaje_Panel, 0, 1023, 0.0, 22.5); // Cambiar la escala de 0.0 a 25.0
del sensor de voltaje en el panel
// Corriente de la carga
corriente_Carga = get_corriente_Carga(500); // Obtenemos la corriente promedio de 500 muestras
del sensor de la carga

// Calculo de energía
energia_Entrada = voltaje_Panel * (corriente_Panel, 3);
energia_entrada_map = fmapEE(energia_Entrada, 0, 67.5, 0.0, 50.0);
// Calculo del consumo de la carga
consumo_carga = 12 * (corriente_Carga, 3);
consumo_carga_map = fmapCC(consumo_carga, 0, 20.5, 0.0, 20.0);

delay(1000); // Tiempo de actualización de los datos

// Condición de apagado antes del horario de funcionamiento
if (fecha.hour() < hora_on ) {
    sistema_de_control_off();
}
// Condición de encendido del sistema para el horario de funcionamiento

if (fecha.hour() >= hora_on && fecha.hour() <= hora_off && fecha.minute() <= minutos_off &&
fecha.second() <= segundos_off) {

```



```

    sistema_de_control_on();
}

// Condición de apagado luego del horario de funcionamiento
if (fecha.hour() > hora_off) {
    sistema_de_control_off();
}

}

// Método para el control del seguidor solar
void sistema_de_control_on() {

    DateTime fecha = rtc.now();

    // Condición para el control del ángulo de 0 a 60° según el valor de los sensores LDR_1 y LDR_2
    if (valorLDR_1 >= 1000 && valorLDR_2 <= 700) {
        angulo = 60;
        angulo = (angulo * 0.5555555556);
    }
    if (valorLDR_1 <= 999 && valorLDR_1 >= 950 && valorLDR_2 <= 700) {
        angulo = 50;
        angulo = (angulo * 0.5555555556);
    }
    if (valorLDR_1 <= 949 && valorLDR_1 >= 900 && valorLDR_2 <= 700) {
        angulo = 40;
        angulo = (angulo * 0.5555555556);
    }
    if (valorLDR_1 <= 899 && valorLDR_1 >= 850 && valorLDR_2 <= 700) {
        angulo = 30;
        angulo = (angulo * 0.5555555556);
    }
    if (valorLDR_1 <= 849 && valorLDR_1 >= 800 && valorLDR_2 <= 700) {
        angulo = 20;
        angulo = (angulo * 0.5555555556);
    }
    if (valorLDR_1 <= 799 && valorLDR_1 >= 750 && valorLDR_2 <= 700) {

```

```

    angulo = 10;
    angulo = (angulo * 0.5555555556);
}
if(valorLDR_1 <= 749 && valorLDR_1 >= 700 && valorLDR_2 <= 700) {
    angulo = 0;
    angulo = (angulo * 0.5555555556);
}

// Condición para el control del ángulo de 0 a -60° según el valor de los sensores LDR_1 y LDR_2
if(valorLDR_2 >= 1000 && valorLDR_1 <= 700) {
    angulo = -60;
    angulo = (angulo * 0.5555555556); // Ajuste de 200 pasos a los 360 grados
}
if(valorLDR_2 <= 999 && valorLDR_2 >= 950 && valorLDR_1 <= 700) {
    angulo = -50;
    angulo = (angulo * 0.5555555556);
}
if(valorLDR_2 <= 949 && valorLDR_2 >= 900 && valorLDR_1 <= 700) {
    angulo = -40;
    angulo = (angulo * 0.5555555556);
}
if(valorLDR_2 <= 899 && valorLDR_2 >= 850 && valorLDR_1 <= 700) {
    angulo = -30;
    angulo = (angulo * 0.5555555556);
}
if(valorLDR_2 <= 849 && valorLDR_2 >= 800 && valorLDR_1 <= 700) {
    angulo = -20;
    angulo = (angulo * 0.5555555556);
}
if(valorLDR_2 <= 799 && valorLDR_2 >= 750 && valorLDR_1 <= 700) {
    angulo = -10;
    angulo = (angulo * 0.5555555556);
}
if(valorLDR_2 <= 749 && valorLDR_2 >= 700 && valorLDR_1 <= 700) {
    angulo = 0;

```

```

    angulo = (angulo * 0.5555555556);
}

// Ciclo para generar el giro del motor en sentido horario
while (angulo > numero_pasos) {
    paso_horario();
    numero_pasos = numero_pasos + 1;
}

// Ciclo para generar el giro del motor en sentido anti horario
while (angulo < numero_pasos) {
    paso_antihorario();
    numero_pasos = numero_pasos - 1;
}

apagado();
digitalWrite(carga, HIGH);
valorEstado = 1;

// Envío serial de los valores del sistema
Serial.print(valorEstado);
Serial.print(angulo);
Serial.print(energia_Entrada);
Serial.print(consumo_carga);
Serial.println(voltaje_Bateria);
}

// Método para generar el movimiento de pasos en sentido horario
void paso_horario() {
    digitalWrite(driverDIR, 1);
    digitalWrite(driverPUL, HIGH);
    delay(2);
    digitalWrite(driverPUL, LOW);
    delay(2);
}

// Método para generar el movimiento de pasos en sentido antihorario
void paso_antihorario() {
    digitalWrite(driverDIR, 0);

```

```

    digitalWrite(driverPUL, HIGH);
    delay(2);
    digitalWrite(driverPUL, LOW);
    delay(2);
}
// Método del apagado del Motor
void apagado() {
    digitalWrite(driverPUL, LOW);
}
// Método para el apagado del seguidor solar
void sistema_de_control_off() {
    digitalWrite(carga, LOW );
    digitalWrite(driverPUL, LOW);
    valorEstado = 0;
    angulo = 0;
    // Condición para el encendido y apagado de la carga
    if (voltaje_Bateria <= 10.5) {
        digitalWrite(carga, HIGH);
    } else {
        digitalWrite(carga, LOW);
    }
    Serial.print(valorEstado);
    Serial.print(angulo);
    Serial.print(energia_Entrada);
    Serial.print(consumo_carga);
    Serial.println(voltaje_Bateria);
}

// Función para el cambio de escala de los valores flotantes del sensor de voltaje en la batería
float fmapVB(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float out_max)
{
    return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;
}

// Función para el cambio de escala de los valores flotantes del sensor de voltaje en el panel

```

```

float fmapVP(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float out_max)
{
    return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;
}

// Función para el cambio de escala de los valores flotantes de la energía de entrada
float fmapEE(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float out_max)
{
    return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;
}

// Función para el cambio de escala de los valores flotantes del consumo de la carga
float fmapCC(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float out_max)
{
    return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;
}

// Función para obtener la corriente muestreada del sensor del panel
float get_corriente_Panel(int n_muestras_Panel)
{
    float voltajeSensorCorriente_Panel;
    float corrienteMuestreada_Panel = 0;
    for (int i = 0; i < n_muestras_Panel; i++)
    {
        voltajeSensorCorriente_Panel = analogRead(pinCorriente_Panel) * (4.06 / 1023.0);
        corrienteMuestreada_Panel = corrienteMuestreada_Panel + (voltajeSensorCorriente_Panel - 2.5)
        / Sensibilidad;
    }
    corrienteMuestreada_Panel = corrienteMuestreada_Panel / n_muestras_Panel;
    return (corrienteMuestreada_Panel);
}

// Función para obtener la corriente muestreada del sensor de la carga
float get_corriente_Carga(int n_muestras_Carga)
{
    float voltajeSensorCorriente_Carga;

```

```

float corrienteMuestreada_Carga = 0;
for (int i = 0; i < n_muestras_Carga; i++)
{
    voltajeSensorCorriente_Carga = analogRead(pinCorriente_Carga) * (3.37 / 1023.0);
    corrienteMuestreada_Carga = corrienteMuestreada_Carga + (voltajeSensorCorriente_Carga -
2.5) / Sensibilidad;
}
corrienteMuestreada_Carga = corrienteMuestreada_Carga / n_muestras_Carga;
return (corrienteMuestreada_Carga);
}

```

ANEXO B

Código fuente del script denominado “UdooServidor.py” para la comunicación del microcontrolador con el servidor ThingSpeak.

```

#!/usr/bin/python

# -*- coding: utf-8 -*-

import httplib2 # Librería para clientes http

import serial # Librería serial para la comunicación del microcontrolador Sam3X y IMX6

arduino = serial.Serial('/dev/ttyMXC3', baudrate = 115200) # Especificar el puerto y la velocidad de
transimicion

arduino.readline() # Funcion para la lectura de datos seriales

key = '7096HPECIYIOT9I' # Definir la clave del canal de thingspeak

conn = httplib2.Http() # Crear la conexión http

while True:

    datosString = str(arduino.readline()) # Leer todos los datos en una cadena de caracteres

    dato = datosString.split(",")# Separar los datos mediante el signo coma

    valor1 = (dato[0]) # Variable que recibe el estado del sistema

    valor2 = (dato[1]) # Variable que recibe la posición en ángulos del panel solar

    valor3 = (dato[2]) # Variable que recibe la energía del sistema

    valor4 = (dato[3]) # Variable que recibe el consumo de la carga

    valor5 = (dato[4]) # Variable que recibe el voltaje de carga y descarga de la batería

```

print(valor1 + "," + valor2 + "," + valor3 + "," + valor4 + "," + valor5) # Obtener mediante consola de los valores

conn.request("https://api.thingspeak.com/update?key=%s&field1=%s&field2=%s&field3=%s&field4=%s&field5=%s" %

(key,valor1, valor2, valor3, valor4, valor5), "GET") # Enviar los valores al servidor de thingspeak

ANEXO C

Datos de energía de entrada y voltaje de la batería para la configuración fija del panel en el día 1.

Universidad Técnica de Ambato				
Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial				
Carrera de Ingeniería en Electrónica e industrial				
Datos Informativos				
Observador:	Mayra Noboa			
Informe N°	1			
Fecha:	25/06/2021			
Ubicación:	-1,26769° -78,62418°			
Configuración del panel		Fijo		
Registro de datos				
Hora (h)	Ángulo (°)	Energía solar esperada (Wh)	Energía solar obtenida (Wh)	Voltaje batería (V)
7:00:00	0°	10,00	0,76	10,50
8:00:00	0°	29,38	3,04	10,67
9:00:00	0°	48,44	7,43	11,39
10:00:00	0°	65,31	10,38	12,26
11:00:00	0°	68,13	10,89	12,78
12:00:00	0°	71,56	11,47	13,16
13:00:00	0°	67,19	10,76	13,44
14:00:00	0°	61,88	9,78	13,49
15:00:00	0°	51,88	6,87	13,67
16:00:00	0°	38,13	4,98	13,92
17:00:00	0°	22,19	2,03	14,25
18:00:00	0°	3,13	0,07	14,59
Total	0°	537,19	78,46	14,59

ANEXO D

Datos de energía de entrada y voltaje de la batería para la configuración fija del panel en el día 2.

Universidad Técnica de Ambato				
Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial				
Carrera de Ingeniería en Electrónica e industrial				
Datos Informativos				
Observador:	Mayra Noboa			
Informe N°	2			
Fecha:	26/06/2021			
Ubicación:	-1,26769° -78,62418°			
Configuración del panel	Fijo			
Registro de datos				
Hora (h)	Ángulo (°)	Energía solar esperada (Wh)	Energía solar obtenida (Wh)	Voltaje batería (V)
7:00:00	0°	14,69	1,08	10,50
8:00:00	0°	50,94	6,45	11,38
9:00:00	0°	92,81	10,53	12,02
10:00:00	0°	134,38	19,56	13,87
11:00:00	0°	170,00	26,91	14,49
12:00:00	0°	194,69	31,17	15,00
13:00:00	0°	204,69	32,75	15,00
14:00:00	0°	181,56	27,84	15,00
15:00:00	0°	146,88	21,40	15,00
16:00:00	0°	103,44	13,98	15,00
17:00:00	0°	55,63	5,79	15,00
18:00:00	0°	7,19	0,15	15,00
Total	0°	1356,88	197,46	15,00

ANEXO F

Datos de energía de entrada y voltaje de la batería para la configuración fija del panel en el día 3.

Universidad Técnica de Ambato				
Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial				
Carrera de Ingeniería en Electrónica e industrial				
Datos Informativos				
Observador:	Mayra Noboa			
Informe N°	3			
Fecha:	27/06/2021			
Ubicación:	-1,26769° -78,62418°			
Configuración del panel	Fijo			
Registro de datos				
Hora (h)	Ángulo (°)	Energía solar esperada (Wh)	Energía solar obtenida (Wh)	Voltaje batería (V)
7:00:00	0°	10,00	0,87	10,50
8:00:00	0°	42,81	4,72	11,52
9:00:00	0°	61,56	7,77	12,31
10:00:00	0°	212,19	10,45	12,97
11:00:00	0°	244,38	39,02	14,03
12:00:00	0°	215,31	34,78	15,00
13:00:00	0°	223,75	35,82	15,00
14:00:00	0°	197,19	31,41	15,00
15:00:00	0°	156,25	23,69	15,00
16:00:00	0°	126,56	17,86	15,00
17:00:00	0°	72,50	8,98	15,00
18:00:00	0°	10,00	0,79	15,00
Total	0°	1572,50	215,37	15,00

ANEXO G

Datos de energía de entrada y voltaje de la batería para la configuración fija del panel en el día 4.

Universidad Técnica de Ambato				
Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial				
Carrera de Ingeniería en Electrónica e industrial				
Datos Informativos				
Observador:	Mayra Noboa			
Informe N°	4			
Fecha:	28/06/2021			
Ubicación:	-1,26769° -78,62418°			
Configuración del panel	Fijo			
Registro de datos				
Hora (h)	Ángulo (°)	Energía solar esperada (Wh)	Energía solar obtenida (Wh)	Voltaje batería (V)
7:00:00	0°	11,56	0,67	10,50
8:00:00	0°	27,81	2,48	10,90
9:00:00	0°	45,31	5,93	11,35
10:00:00	0°	88,44	12,69	12,80
11:00:00	0°	207,81	32,48	14,59
12:00:00	0°	235,94	37,80	15,00
13:00:00	0°	179,69	28,40	15,00
14:00:00	0°	206,88	32,02	15,00
15:00:00	0°	173,13	24,30	15,00
16:00:00	0°	100,94	13,67	15,00
17:00:00	0°	28,13	2,05	15,00
18:00:00	0°	4,06	0,03	15,00
Total	0°	1309,69	192,52	15,00

ANEXO H

Datos de energía de entrada y voltaje de la batería para la configuración fija del panel en el día 5.

Universidad Técnica de Ambato				
Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial				
Carrera de Ingeniería en Electrónica e industrial				
Datos Informativos				
Observador:	Mayra Noboa			
Informe N°	5			
Fecha:	29/06/2021			
Ubicación:	-1,26769° -78,62418°			
Configuración del panel	Fijo			
Registro de datos				
Hora (h)	Ángulo (°)	Energía solar esperada (Wh)	Energía solar obtenida (Wh)	Voltaje batería (V)
7:00:00	0°	9,69	0,45	10,5
8:00:00	0°	27,50	2,31	10,85
9:00:00	0°	43,13	4,52	11,43
10:00:00	0°	55,63	6,57	12,15
11:00:00	0°	64,06	9,95	12,9
12:00:00	0°	80,63	12,95	13,57
13:00:00	0°	66,88	10,72	13,62
14:00:00	0°	61,25	9,02	13,72
15:00:00	0°	51,25	6,57	13,83
16:00:00	0°	37,81	4,98	13,98
17:00:00	0°	20,94	1,45	14,03
18:00:00	0°	2,81	0,02	14,12
Total	0°	521,56	69,51	14,12

ANEXO I

Datos de energía de entrada y voltaje de la batería para la configuración fija del panel en el día 6.

Universidad Técnica de Ambato				
Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial				
Carrera de Ingeniería en Electrónica e industrial				
Datos Informativos				
Observador:	Mayra Noboa			
Informe N°	6			
Fecha:	30/06/2021			
Ubicación:	-1,26769° -78,62418°			
Configuración del panel	Fijo			
Registro de datos				
Hora (h)	Ángulo (°)	Energía solar esperada (Wh)	Energía solar obtenida (Wh)	Voltaje batería (V)
7:00:00	0°	13,75	1,04	10,5
8:00:00	0°	27,50	2,39	10,96
9:00:00	0°	43,44	4,98	11,38
10:00:00	0°	55,63	7,35	12,79
11:00:00	0°	64,38	10,28	13,05
12:00:00	0°	67,81	10,85	13,53
13:00:00	0°	67,19	10,79	13,85
14:00:00	0°	61,25	9,03	13,97
15:00:00	0°	51,25	7,32	14,02
16:00:00	0°	37,50	4,87	14,1
17:00:00	0°	20,94	2,01	14,14
18:00:00	0°	2,81	0,02	14,19
Total	0°	513,44	70,93	14,19

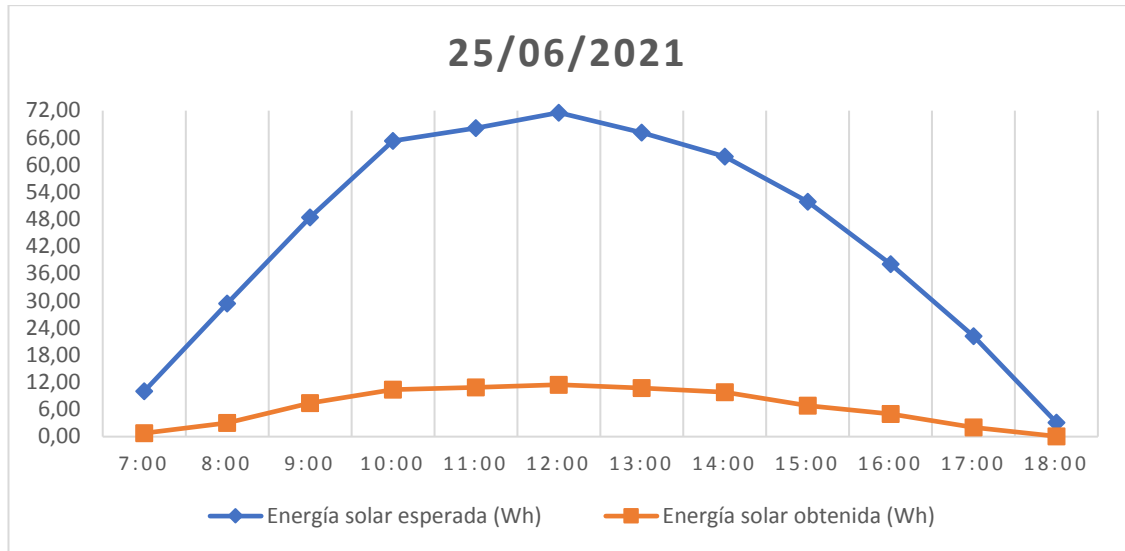
ANEXO J

Datos de energía de entrada y voltaje de la batería para la configuración fija del panel en el día 7.

Universidad Técnica de Ambato				
Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial				
Carrera de Ingeniería en Electrónica e industrial				
Datos Informativos				
Observador:	Mayra Noboa			
Informe N°	7			
Fecha:	01/07/2021			
Ubicación:	-1,26769° -78,62418°			
Configuración del panel	Fijo			
Registro de datos				
Hora (h)	Ángulo (°)	Energía solar esperada (Wh)	Energía solar obtenida (Wh)	Voltaje batería (V)
7:00:00	0°	9,69	0,73	10,50
8:00:00	0°	28,75	2,01	11,43
9:00:00	0°	44,69	5,12	12,67
10:00:00	0°	55,63	7,54	13,24
11:00:00	0°	70,63	10,78	13,98
12:00:00	0°	171,88	27,80	14,36
13:00:00	0°	215,00	34,46	15,00
14:00:00	0°	214,69	34,10	15,00
15:00:00	0°	191,56	29,14	15,00
16:00:00	0°	140,31	20,87	15,00
17:00:00	0°	65,31	7,94	15,00
18:00:00	0°	7,19	0,42	15,00
Total	0°	1215,31	180,91	15,00

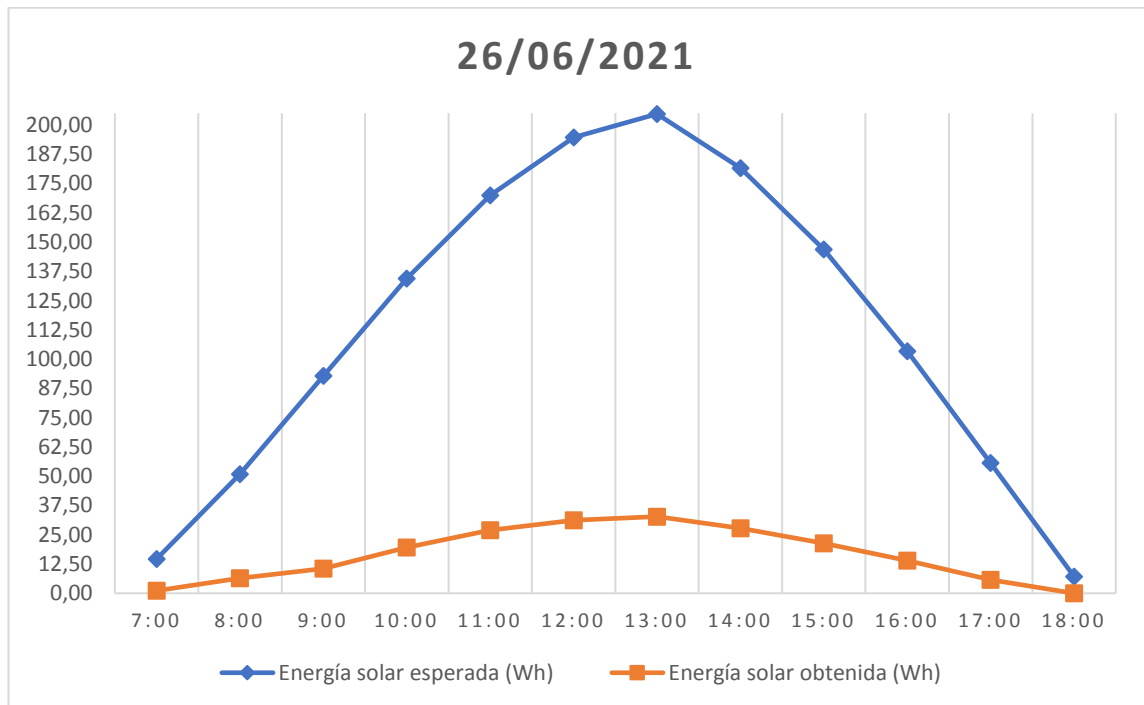
ANEXO K

Gráficas de energía prevista y energía de entrada para la configuración fija del panel para el día 1.



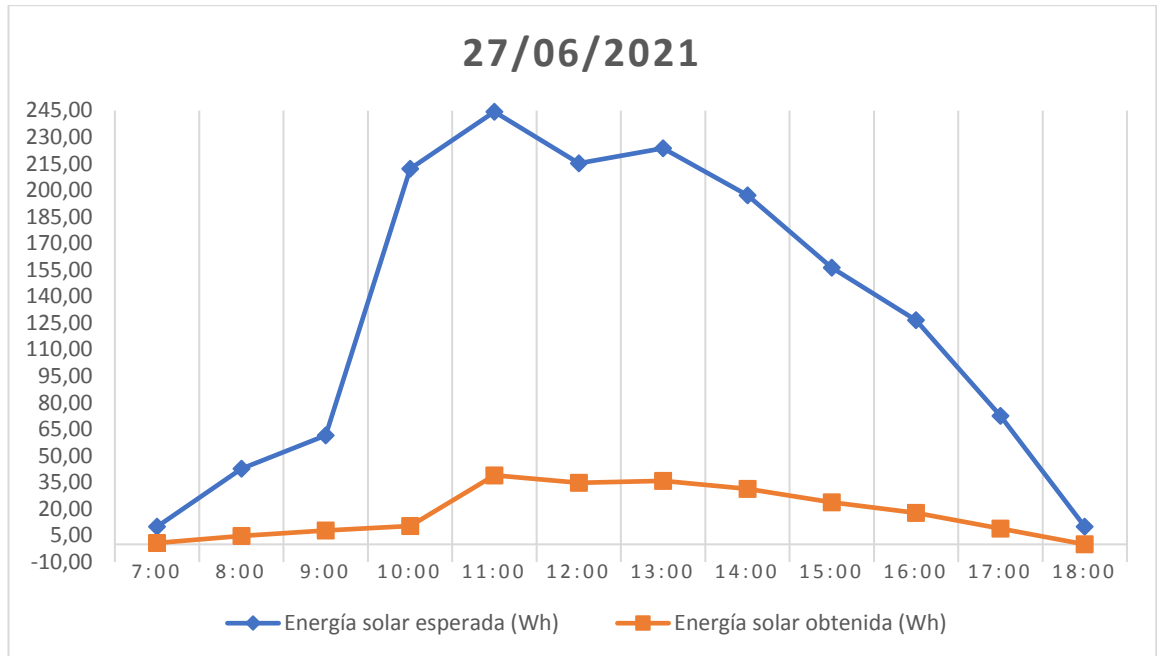
ANEXO L

Gráficas de energía prevista y energía de entrada para la configuración fija del panel para el día 2.



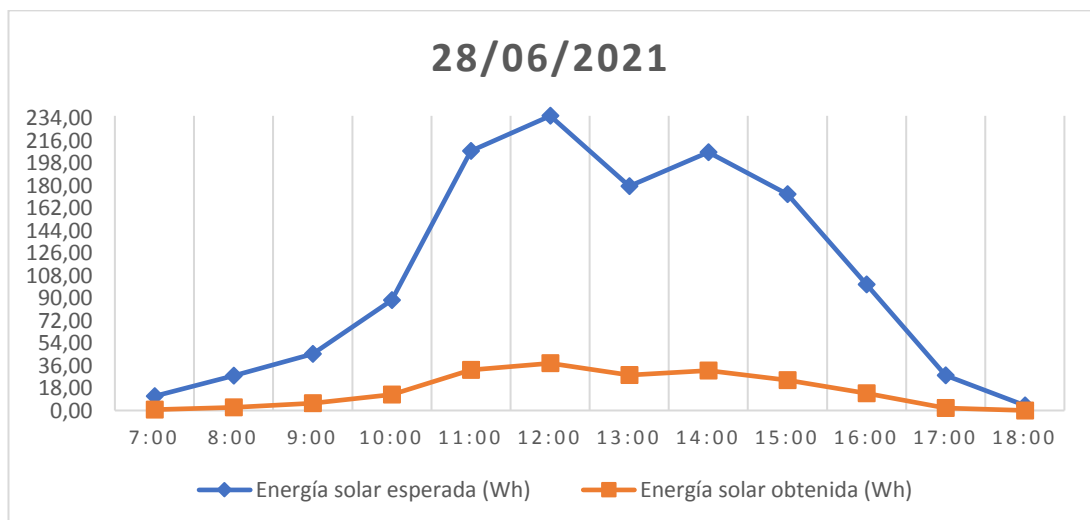
ANEXO M

Gráficas de energía prevista y energía de entrada para la configuración fija del panel para el día 3.



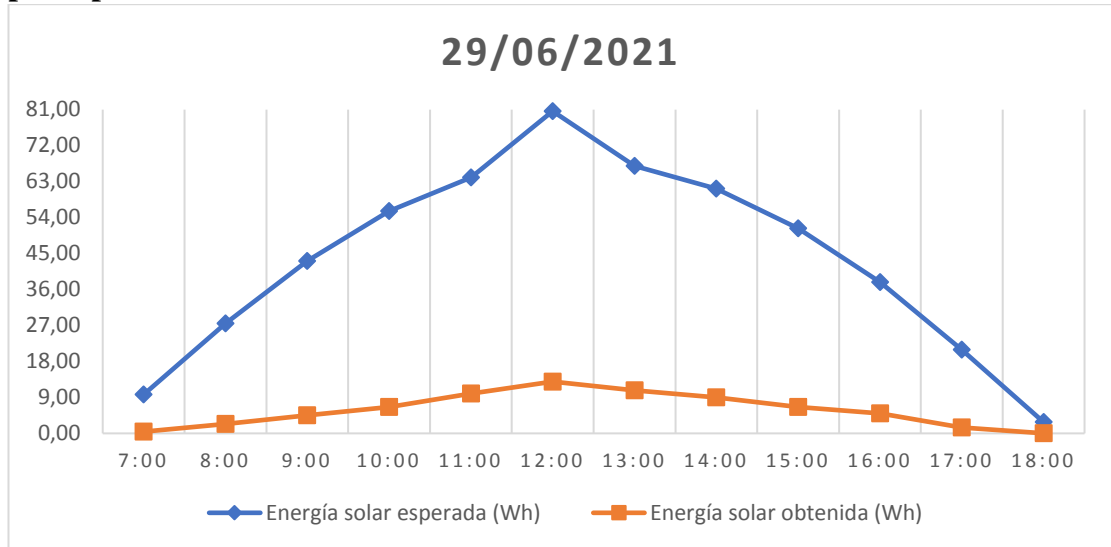
ANEXO N

Gráficas de energía prevista y energía de entrada para la configuración fija del panel para el día 4.



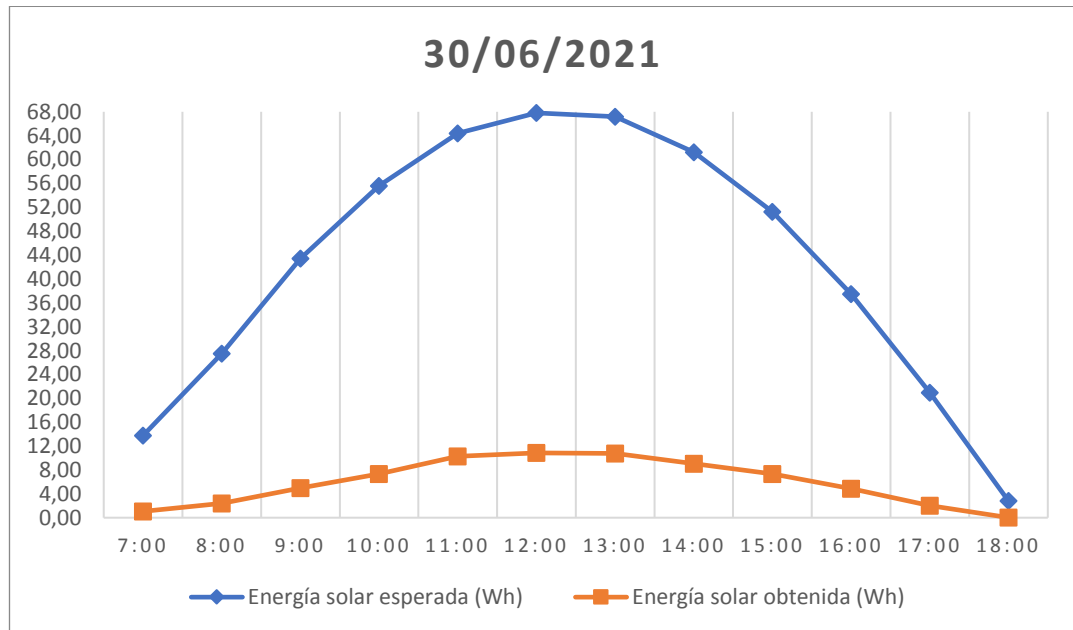
ANEXO O

Gráficas de energía prevista y energía de entrada para la configuración fija del panel para el día 5.



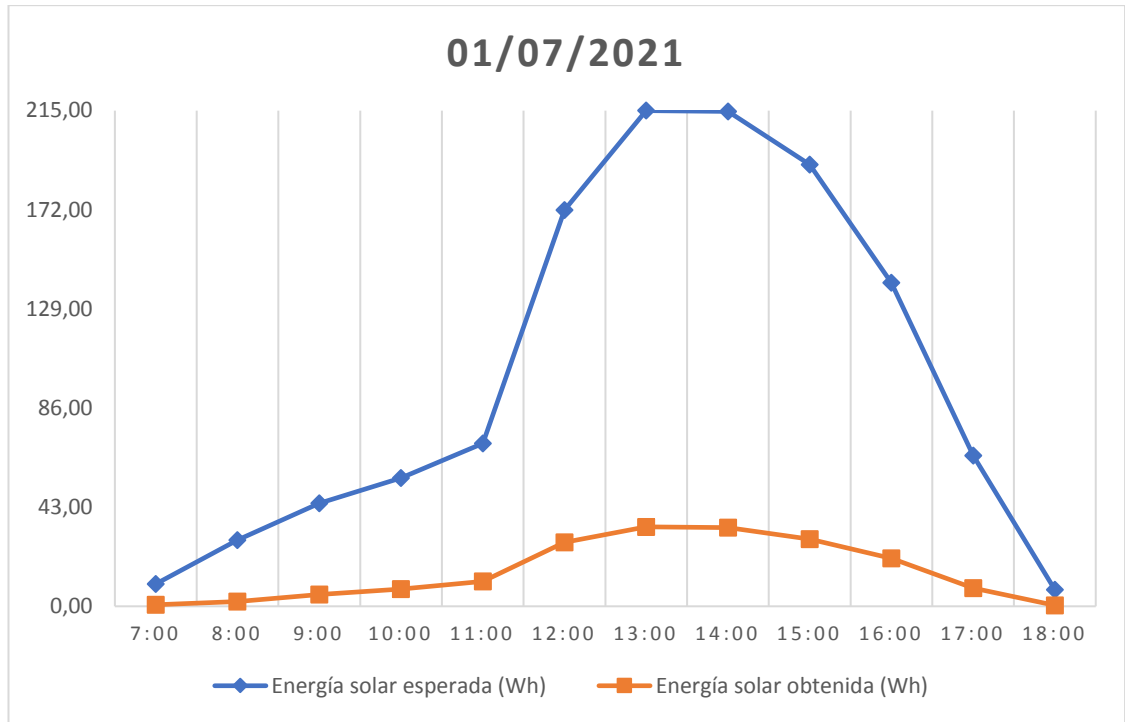
ANEXO P

Gráficas de energía prevista y energía de entrada para la configuración fija del panel para el día 6.



ANEXO Q

Gráficas de energía prevista y energía de entrada para la configuración fija del panel para el día 7.



ANEXO R

Datos de energía de entrada y voltaje de la batería para la configuración móvil del panel para el día 8.

Universidad Técnica de Ambato				
Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial				
Carrera de Ingeniería en Electrónica e industrial				
Datos Informativos				
Observador:	Mayra Noboa			
Informe N°	8			
Fecha:	02/07/2021			
Ubicación:	-1,26769° -78,62418°			
Configuración del panel	Móvil			
Registro de datos				
Hora (h)	Ángulo (°)	Energía solar esperada (Wh)	Energía solar obtenida (Wh)	Voltaje batería (V)
7:00:00	-60°	9,69	1,53	10,50
8:00:00	-50°	28,13	4,48	10,67
9:00:00	-30°	45,31	7,22	11,39
10:00:00	-20°	60,00	9,65	11,99
11:00:00	-10°	127,81	20,46	12,61
12:00:00	0°	182,81	30,00	12,89
13:00:00	10°	214,38	34,55	15,00
14:00:00	20°	198,75	31,85	15,00
15:00:00	40°	168,44	26,95	15,00
16:00:00	50°	125,00	21,00	15,00
17:00:00	60°	64,06	10,20	15,00
18:00:00	0°	7,81	1,18	15,00
Total	-	1232,19	199,07	15,00

ANEXO S

Datos de energía de entrada y voltaje de la batería para la configuración móvil del panel para el día 9.

Universidad Técnica de Ambato				
Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial				
Carrera de Ingeniería en Electrónica e industrial				
Datos Informativos				
Observador:	Mayra Noboa			
Informe N°	9			
Fecha:	03/07/2021			
Ubicación:	-1,26769° -78,62418°			
Configuración del panel	Móvil			
Registro de datos				
Hora (h)	Ángulo (°)	Energía solar esperada (Wh)	Energía solar obtenida (Wh)	Voltaje batería (V)
7:00:00	-60°	10,00	1,60	10,50
8:00:00	-50°	28,13	4,53	10,95
9:00:00	-30°	43,75	6,85	11,15
10:00:00	-20°	56,25	9,23	11,69
11:00:00	-10°	73,13	11,72	12,04
12:00:00	0°	85,94	13,85	12,67
13:00:00	10°	93,13	14,78	13,98
14:00:00	20°	77,81	12,47	14,50
15:00:00	40°	58,75	9,40	14,89
16:00:00	50°	38,13	6,09	15,00
17:00:00	60°	24,38	3,90	15,00
18:00:00	0°	3,75	0,56	15,00
Total	-	593,13	94,98	15,00

ANEXO T

Datos de energía de entrada y voltaje de la batería para la configuración móvil del panel para el día 10.

Universidad Técnica de Ambato				
Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial				
Carrera de Ingeniería en Electrónica e industrial				
Datos Informativos				
Observador:	Mayra Noboa			
Informe N°	10			
Fecha:	04/07/2021			
Ubicación:	-1,26769° -78,62418°			
Configuración del panel	Móvil			
Registro de datos				
Hora (h)	Ángulo (°)	Energía solar esperada (Wh)	Energía solar obtenida (Wh)	Voltaje batería (V)
7:00:00	-60°	19,69	3,12	10,50
8:00:00	-50°	69,69	11,16	11,52
9:00:00	-30°	126,88	20,25	12,31
10:00:00	-20°	161,88	25,70	12,97
11:00:00	-10°	224,06	35,88	14,03
12:00:00	0°	249,69	40,05	15,00
13:00:00	10°	255,00	41,35	15,00
14:00:00	20°	221,88	35,30	15,00
15:00:00	40°	170,63	27,15	15,00
16:00:00	50°	109,06	17,41	15,00
17:00:00	60°	69,69	10,98	15,00
18:00:00	0°	10,94	1,55	15,00
Total	-	1689,06	269,90	15,00

ANEXO U

Datos de energía de entrada y voltaje de la batería para la configuración móvil del panel para el día 11.

Universidad Técnica de Ambato				
Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial				
Carrera de Ingeniería en Electrónica e industrial				
Datos Informativos				
Observador:	Mayra Noboa			
Informe N°	11			
Fecha:	05/07/2021			
Ubicación:	-1,26769° -78,62418°			
Configuración del panel		Móvil		
Registro de datos				
Hora (h)	Ángulo (°)	Energía solar esperada (Wh)	Energía solar obtenida (Wh)	Voltaje batería (V)
7:00:00	-60°	36,25	5,70	10,50
8:00:00	-50°	106,25	16,89	11,68
9:00:00	-30°	170,00	27,17	13,09
10:00:00	-20°	221,25	35,42	14,85
11:00:00	-10°	244,06	39,12	15,00
12:00:00	0°	213,75	34,25	15,00
13:00:00	10°	104,69	16,15	15,00
14:00:00	20°	89,38	14,09	15,00
15:00:00	40°	68,75	10,98	15,00
16:00:00	50°	46,25	7,23	15,00
17:00:00	60°	24,38	3,54	15,00
18:00:00	0°	3,44	0,50	15,00
Total	-	1328,44	211,04	15,00

ANEXO V

Datos de energía de entrada y voltaje de la batería para la configuración móvil del panel para el día 12.

Universidad Técnica de Ambato				
Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial				
Carrera de Ingeniería en Electrónica e industrial				
Datos Informativos				
Observador:	Mayra Noboa			
Informe N°	12			
Fecha:	06/07/2021			
Ubicación:	-1,26769° -78,62418°			
Configuración del panel	Móvil			
Registro de datos				
Hora (h)	Ángulo (°)	Energía solar esperada (Wh)	Energía solar obtenida (Wh)	Voltaje batería (V)
7:00:00	-60°	9,38	1,45	10,50
8:00:00	-50°	27,19	4,33	11,67
9:00:00	-30°	42,81	6,74	12,03
10:00:00	-20°	55,63	8,68	12,72
11:00:00	-10°	64,06	10,35	13,21
12:00:00	0°	68,13	11,10	13,56
13:00:00	10°	67,19	10,73	13,95
14:00:00	20°	61,56	9,80	14,02
15:00:00	40°	51,56	7,83	14, 29
16:00:00	50°	37,81	5,92	14,47
17:00:00	60°	21,25	2,77	14,65
18:00:00	0°	3,13	0,44	14,67
Total	-	509,69	80,14	14,67

ANEXO W

Datos de energía de entrada y voltaje de la batería para la configuración móvil del panel para el día 13.

Universidad Técnica de Ambato				
Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial				
Carrera de Ingeniería en Electrónica e industrial				
Datos Informativos				
Observador:	Mayra Noboa			
Informe N°	13			
Fecha:	07/07/2021			
Ubicación:	-1,26769° -78,62418°			
Configuración del panel	Móvil			
Registro de datos				
Hora (h)	Ángulo (°)	Energía solar esperada (Wh)	Energía solar obtenida (Wh)	Voltaje batería (V)
7:00:00	-60°	26,56	4,21	10,50
8:00:00	-50°	80,94	12,89	11,39
9:00:00	-30°	134,69	21,53	13,40
10:00:00	-20°	181,88	29,11	14,02
11:00:00	-10°	217,81	35,00	15,00
12:00:00	0°	239,06	38,32	15,00
13:00:00	10°	242,50	38,96	15,00
14:00:00	20°	216,25	34,45	15,00
15:00:00	40°	175,63	28,09	15,00
16:00:00	50°	124,06	19,36	15,00
17:00:00	60°	66,88	10,54	15,00
18:00:00	0°	9,38	1,39	15,00
Total	-	1715,63	273,85	15,00

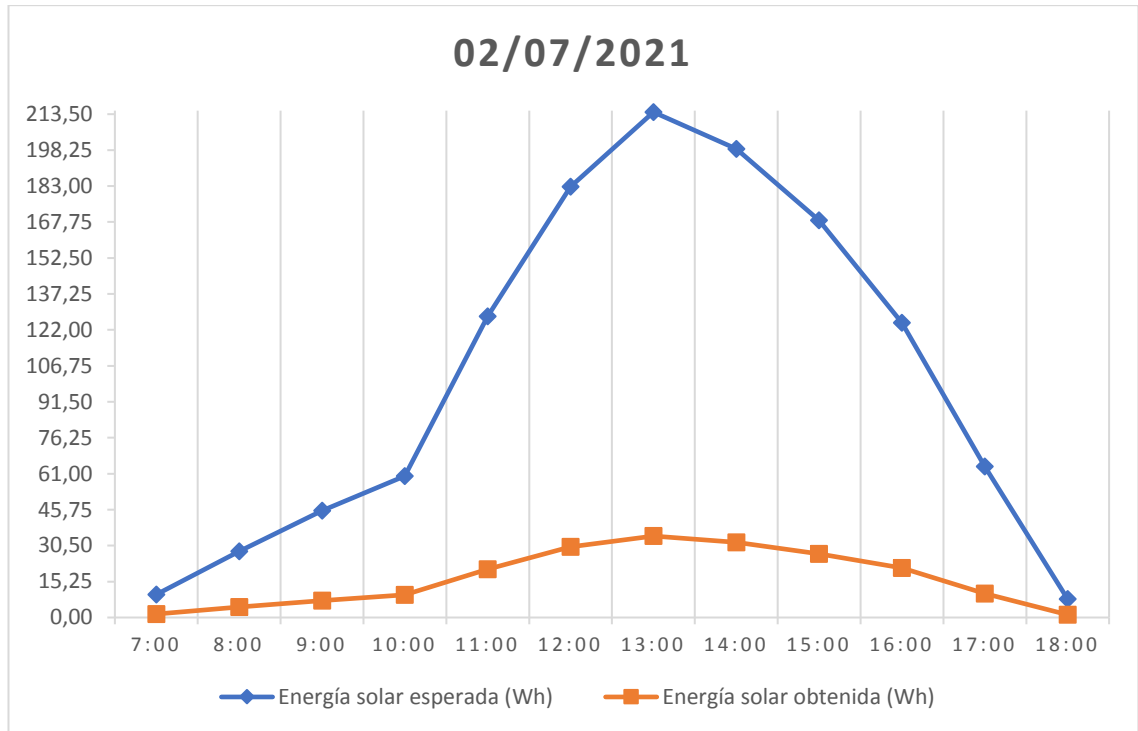
ANEXO X

Datos de energía de entrada y voltaje de la batería para la configuración móvil del panel para el día 14.

Universidad Técnica de Ambato				
Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial				
Carrera de Ingeniería en Electrónica e industrial				
Datos Informativos				
Observador:	Mayra Noboa			
Informe N°	14			
Fecha:	08/07/2021			
Ubicación:	-1,26769°-78,62418°			
Configuración del panel	Móvil			
Registro de datos				
Hora (h)	Ángulo (°)	Energía solar esperada (Wh)	Energía solar obtenida (Wh)	Voltaje batería (V)
7:00:00	-60°	28,44	4,50	10,50
8:00:00	-50°	83,75	13,28	11,43
9:00:00	-30°	134,38	21,36	12,67
10:00:00	-20°	176,56	28,26	14,01
11:00:00	-10°	207,19	33,21	15,00
12:00:00	0°	223,44	34,00	15,00
13:00:00	10°	223,75	35,98	15,00
14:00:00	20°	195,00	30,93	15,00
15:00:00	40°	153,44	24,02	15,00
16:00:00	50°	104,38	16,39	15,00
17:00:00	60°	53,44	8,47	15,00
18:00:00	0°	7,19	1,03	15,00
Total	-	1590,94	251,43	15,00

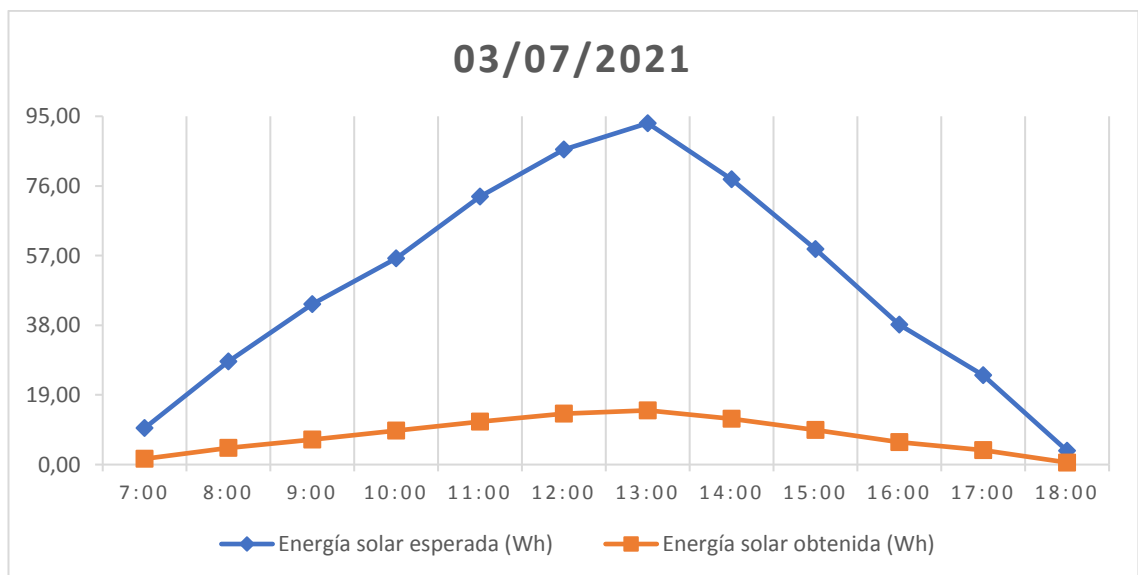
ANEXO Y

Gráficas de energía prevista y energía de entrada para la configuración móvil del panel para el día 8.



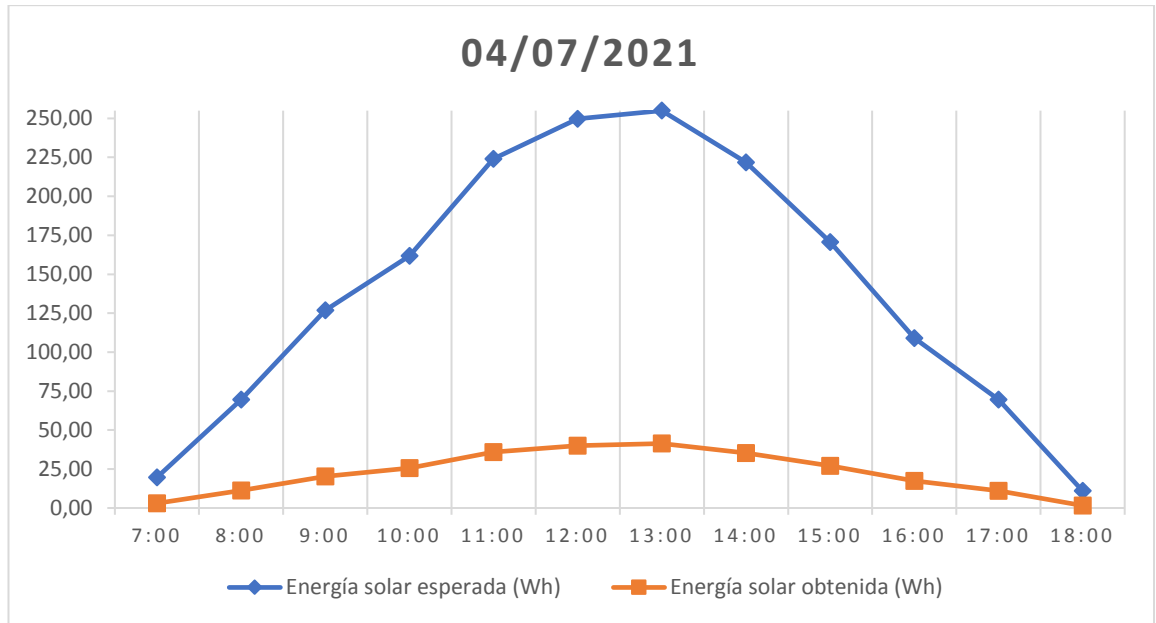
ANEXO Z

Gráficas de energía prevista y energía de entrada para la configuración móvil del panel para el día 9.



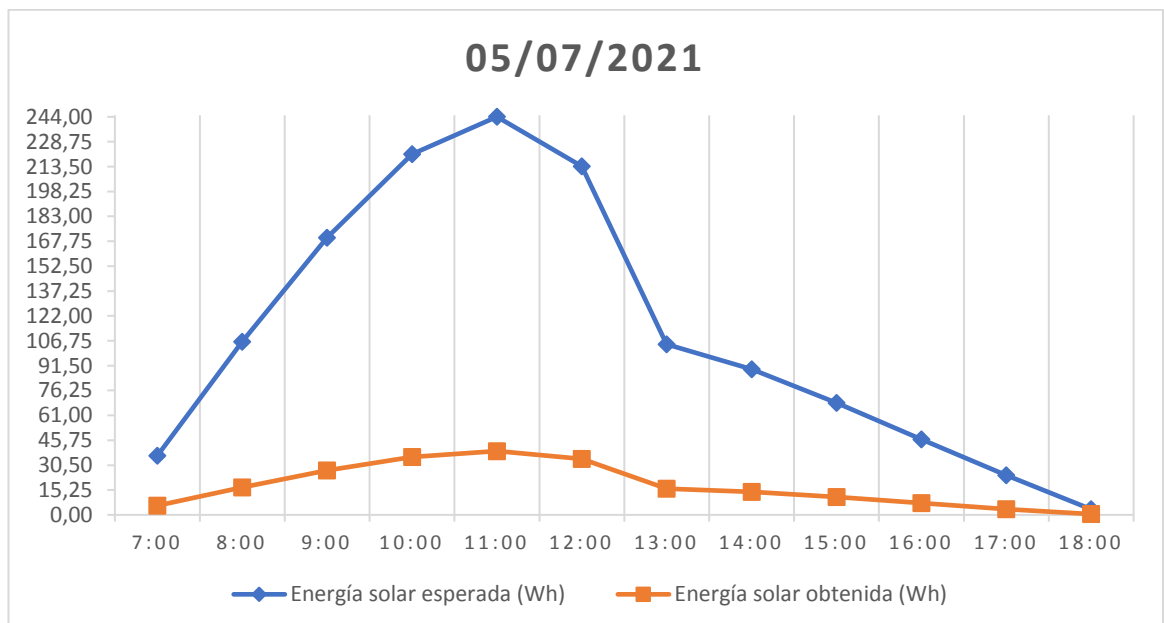
ANEXO AA

Gráficas de energía prevista y energía de entrada para la configuración móvil del panel para el día 10.



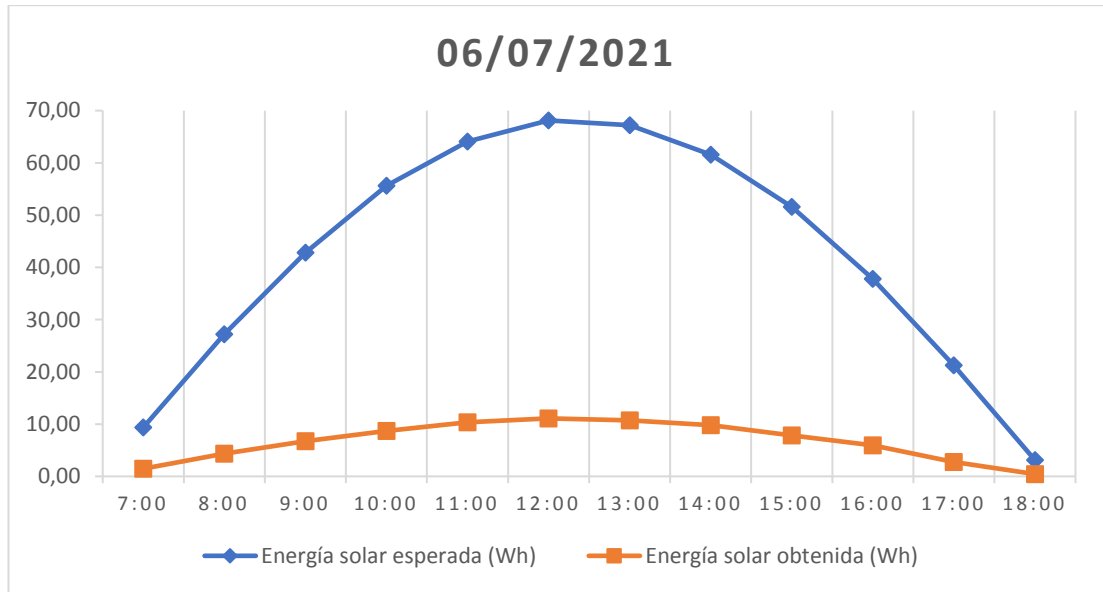
ANEXO AB

Gráficas de energía prevista y energía de entrada para la configuración móvil del panel para el día 11.



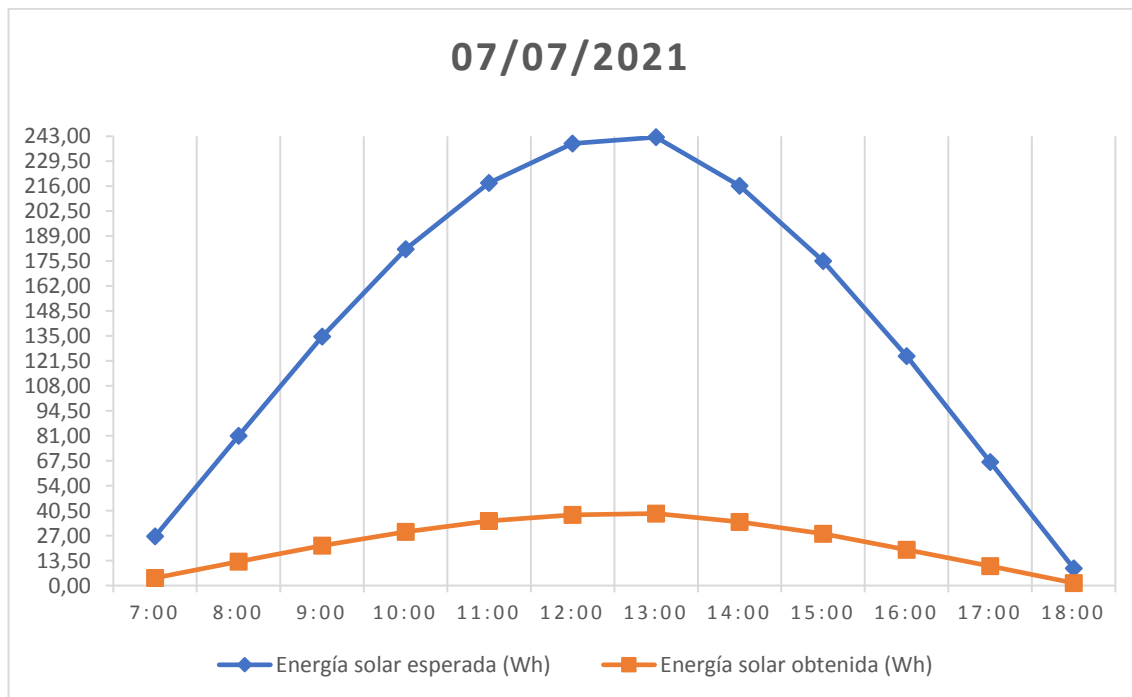
ANEXO AC

Gráficas de energía prevista y energía de entrada para la configuración móvil del panel para el día 12.



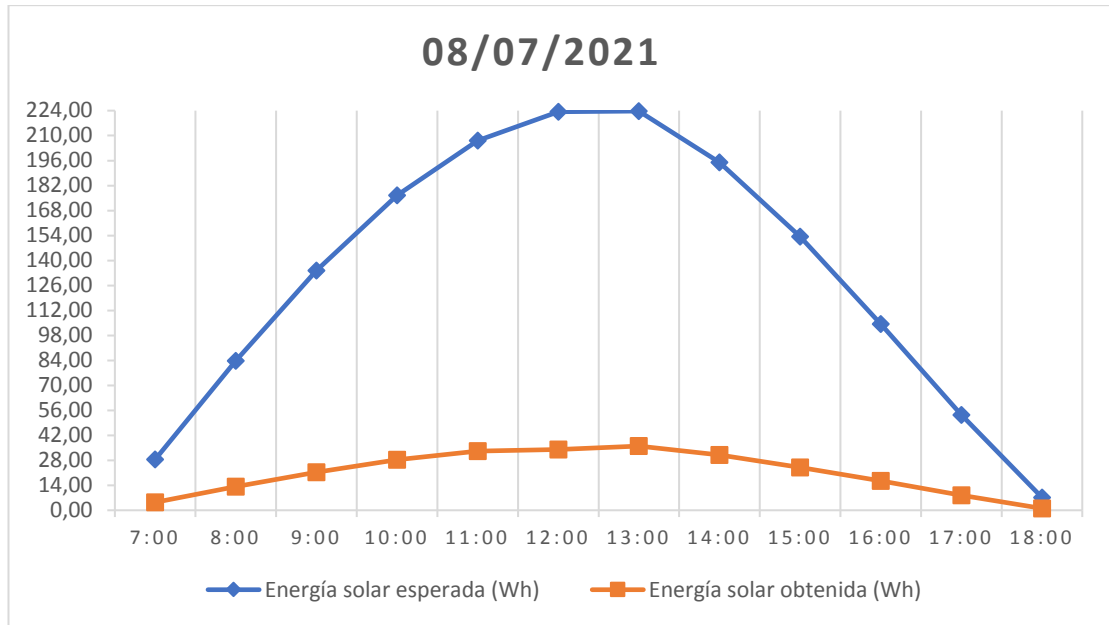
ANEXO AD

Gráficas de energía prevista y energía de entrada para la configuración móvil del panel para el día 13.



ANEXO AE

Gráficas de energía prevista y energía de entrada para la configuración móvil del panel para el día 14.



ANEXO AF

Especificaciones técnicas del panel solar SP050P

Electrical Specification		
Maximum Power	50W	Wp
Power Tolerance	(-1,+3)	%
Optimum operating voltage	18.5	V
Optimum operating current	2.71	A
Open circuit voltage	22.5	V
Short circuit current	2.87	A
Maximum system voltage	1000	V DC
Module efficiency	16.93	%
Voltage temperature coefficient	-155±10	mV/°C
Current temperature coefficient	+0.06±0.01	%/°C
Power temperature coefficient	-0.5±0.05	%/°C

ANEXO AG

Datasheet del regulador de carga solar CMTP02



Product overview

1. Use single-chip microcomputer as the core of the whole control system, which makes the controller has the advantages of intelligent, strong adaptability, reliable function etc.
2. Use the optimized design scheme, which can improve system efficiency and prolong the life span of the battery.
3. Use SMT chip production technology, industrial class chip, advanced technology, quality assurance.
4. With over charge, over discharge, electronic short circuit, overload and reverse polarity protection.
5. Use series connection PWM circuit, it is 3%-6% more effective than non-PWM circuit when charging.
6. With LED to show the current battery state, it is easy for the user to know the working condition of the controller right now.
7. Use industrial grade chip, it can work properly under environment such as cold, high temperature, humid.
8. Delicate shell design and compact circuit, the whole controller does not occupy too much space.
9. Use internal integration precision resistors and other components in order to improve the precision of controller parameters.

Installation Instructions

1. General Installation Notes

- Read through the entire installation section first before beginning installation.
- Never install the controller in a sealed enclosure with flooded batteries! Do not install in a confined area where battery gassed can accumulate.
- Be very careful when working with batteries. Wear eye protection. Have fresh water available to wash and clean any contact with battery acid.
- Use insulated tools and avoid placing metal objects near the batteries.
- Locate the controller on a vertical surface protected from direct sun, high temperature, and water. And make sure good ventilation.
- Loose power connections and/or corroded wires may result in resistive connections that melt wire insulation, burn surrounding materials, or even cause fire. Ensure tight connections and use cable clamps to secure cables and prevent them from swaying in mobile applications.
- Don't connect the loads with surge power exceeding the ratings of the controller.
- Risk of explosion or fire! Connect the positive (+) and negative (-) of loads to controller load terminals. The load terminal may exist voltage, connect carefully to avoid short circuit.
- Risk of electric shock! Exercise caution when handling solar wiring. The solar module(s) high voltage output can cause severe shock or injury. Be careful operation when installing solar wiring.

Fully protection against PV reverse polarity, no damage to the controller will result. Correct the miswire to resume normal operation.

2. Battery Reverse Polarity Protection

Fully protection against battery reverse polarity, no damage to the controller will result. Correct the miswire to resume normal operation.

3. Battery Overcharge Protection

When charging, once the battery voltage reaches the preset voltage, the controller will automatically cut off the charging circuit.

4. Battery Discharge Protection

When discharging, once the battery voltage reaches the preset voltage, the controller will automatically cut off the discharging circuit.

5. Output Over Current Protection

The current output, the controller will cut off the output circuit when the current 1.5 times exceeds the rated current.

6. Load Short Circuit Protection

When load short-circuit occurs, the controller will protect itself. And it will return to work automatically after finish trouble shooting for 3 seconds.

2. Mounting

Step 1: Choose Mounting Location

Locate the controller on a vertical surface protected from direct sun, high temperature, and water. And make sure good ventilation.

Step 2: Check for clearance

Place the controller in the location where it will be mounted. Verify that there is sufficient room to run wires and that there is sufficient room above and below the controller for air flow.

Step 3: Mark Holes

Use a pencil or pen to mark the four (4) mounting hole locations on the mounting surface.

Step 4: Drill Holes

Remove the controller and drill 4mm holes in the marked locations.

Step 5: Secure Controller

Place the controller on the surface and align the mounting holes with the drilled holes in step 4. Secure the controller in place using the mounting screws.

3. Wiring

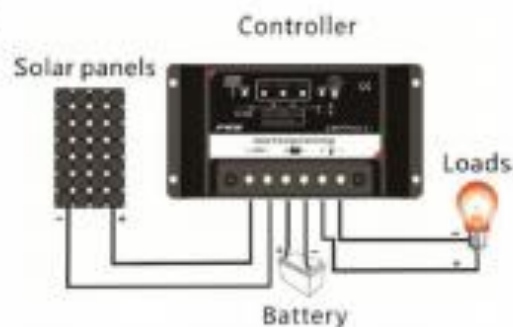
1. To fasten the controller well, the size is listed as follows:

The outside size: 133×70×27(mm)

The hole size: 126×50×φ4 (mm)

2. Prepare the cable.

To advise to use the cable with many copper strips, to assure the cable can meet the installation needs, keep it as short as possible so that to reduce extra power consumption. The cable should not bigger than 4A/mm², to strip 5mm for the controller side.



3. Connection Order: battery cable— load cable— solar panel cable

Connection of battery: Connect the battery cable to the output terminal of the controller, pay attention to the positive and negative charges protect from contrary connecting or short circuit (the positive and negative charges come together). If it is correct, the corresponding battery power indicator (Overflow, Normal, Full) will be bright. Otherwise, Check the connection is correct or not.

Connection of load: Connect the load cable to the output terminal of the controller, pay attention to the positive and negative protect from contrary connecting, otherwise, it may burn the appliance.

Connection of solar panel: Connect solar panel cable to the output terminal of the controller, pay attention to the positive and negative charges protect from contrary connecting. If there is sunshine (PV array voltage greater than 10V), The charge indicator will be bright. Otherwise, check the cable connection.

ANEXO AH

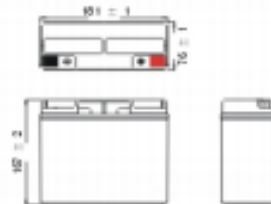
Datasheet de la Batería TPlus 12V-18AH

Referencia

TB12-18 (12V18AH)



Dimensiones y Características



Tensión nominal	12V
Capacidad nominal (20 tasa de horas)	18AH
Peso aproximado	5 kg
Terminal	Estándar B1 - M5 Opcional
Largo mm	181
Ancho mm	76
Alto sin terminal mm	167

Temperatura de funcionamiento

Carga	0 C (32 F) - 40 C (104 F)
Descarga	-20 C (-4 F) - 50 C (122 F)
Almacenamiento	-20 C (-4 F) - 40 C (104 F)

Energía de corriente constante (Amp) y constante (Watt) Tabla de descarga a 25 C (77 F)

		Tiempo (in it)									
		5	10	15	20	30	60	120	180	300	600
1,80 VPC	A	73,24	47,05	35,24	29,43	20,19	12,10	6,71	4,90	3,19	1,76
	W	769,00	494,00	370,00	309,00	212,00	127,00	70,50	51,50	33,50	18,50
1,75 VPC	A	73,62	47,52	35,52	29,71	20,48	12,38	7,01	5,10	3,35	1,81
	W	773,00	499,00	373,00	312,00	215,00	130,00	73,66	53,57	35,21	19,00
1,70 VPC	A	73,71	47,71	35,71	29,90	20,67	12,57	7,20	5,23	3,44	1,90
	W	774,00	501,00	375,00	314,00	217,00	132,00	75,60	55,19	36,18	20,00
1,65 VPC	A	73,90	47,90	35,90	30,09	20,86	12,76	7,28	5,30	3,48	1,92
	W	776,00	503,00	377,00	316,00	219,00	134,00	76,46	55,62	36,60	20,20
1,60 VPC	A	74,10	48,00	36,00	30,19	20,95	12,86	7,33	5,33	3,50	1,97
	W	778,00	504,00	378,00	317,00	220,00	135,00	77,00	56,00	36,83	20,60

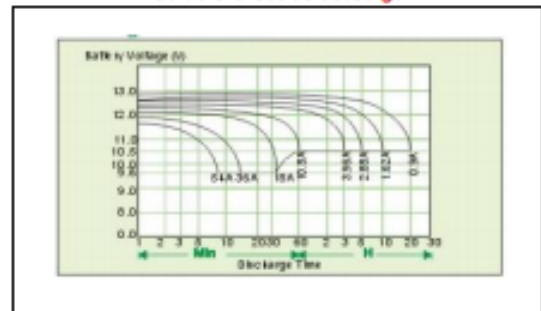


Tb Plus

Especificación

Capacidad 25 C (77 F)	20 Tasa de horas (0.9A)	18,0AH
	10 Tasa de horas (1.62A)	16,2AH
	5 Tasa de horas (2.88A)	14,4AH
	1 Tasa de horas (10.8A)	10,8AH
Capacidad afectada por la temperatura	40 C (104 F)	103%
	25 C (77 F)	100%
	0 C (32 F)	86%
Auto-descarga en 25 C (77 F) (Antes de recargar)	Cap. después de 3 meses	91%
	Cap. después de 6 meses	82%
	Cap. después de 12 meses	64%
Carga de tensión constante	Ciclo	Corriente de carga inicial <5.4A 14.4V - 1.5V at 25 C (77F)
	En espera	13.5V - 13.8V at 25 C (77 F)
Capacidad máxima de descarga		270A

Características de descarga

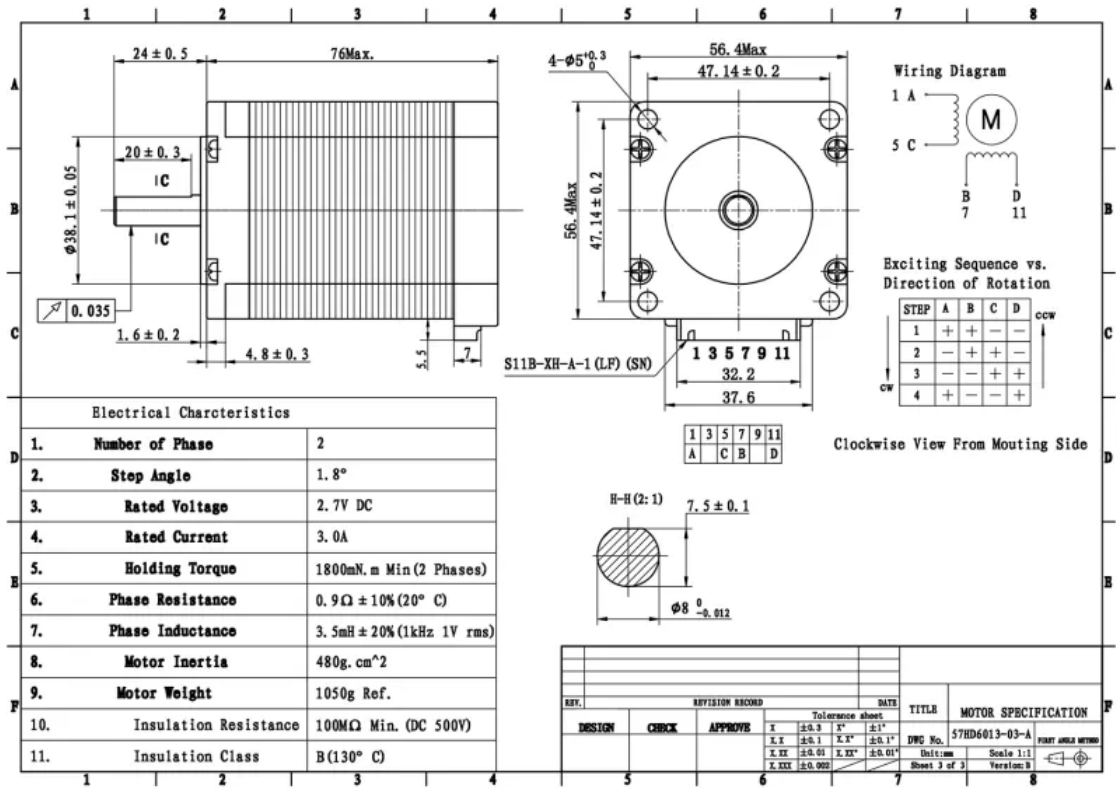


Nota : Descarga será de corte de 10.5V si la descarga en <1 C y en 9.6V si en >1 C

Se recomienda recargarla batería a voltaje constante cargar inmediatamente después de su uso

ANEXO AI

Datasheet de Motor a pasos NEMA 23



ANEXO AJ

Posición del panel fotovoltaico en horas de la mañana



ANEXO AK

Posición del panel fotovoltaico al medio día



ANEXO AL
Posición del panel fotovoltaico en horas de la tarde

