

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA**



TESIS

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SEGUIDOR
SOLAR PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA CARGA EN UN
ACUMULADOR DE ENERGÍA, USANDO PANELES SOLARES,
2022”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:

Bach. ALVARO YOEL ARMAS JULCA

Bach. ANYHELO JOEL COTRADO CHARA

TACNA – PERÚ

2023

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

TESIS

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SEGUIDOR
SOLAR PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA CARGA EN UN
ACUMULADOR DE ENERGÍA, USANDO PANELES SOLARES,
2022”**

Tesis sustentada y aprobada el 18 de marzo del 2023; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : Mag. ANIBAL JUAN ESPINOZA ARANCIAGA

SECRETARIO : Mtro. MARKO JESÚS POLO CAMACHO

VOCAL : Mag. JOSÉ MARCIAL SUMARRIVA BUSTINZA

ASESOR : Mag. TITO LEONCIO CÓRDOVA MIRANDA

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo Alvaro Yoel Armas Julca, en calidad de bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 73009712.

Yo Anyhelo Jhoel Cotrado Chara, en calidad de Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 70210636.

Declaramos bajo juramento que:

1. Somos autores de la Tesis titulada: "*Diseño e implementación de un sistema seguidor solar para la optimización de la carga en un acumulador de energía, usando paneles solares, 2022*". La misma que presentamos para optar el: Título Profesional de *Ingeniero Electrónico*.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumimos frente a *La universidad* cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra.

En consecuencia, nos hacemos responsables frente a *La universidad* y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumimos las consecuencias y

sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 18 de marzo de 2023



Bach. Alvaro Yoel Armas Julca
DNI: 73009712



Bach. Anyhelo Joel Cotrado Chara
DNI: 70210636

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios, a mi padre, mi madre y a mi hermana. Sin ellos no habría lograda nada de esto. Agradezco porque me convirtieron en la persona de bien que soy ahora, mis metas y logros se hacen posible gracias a ustedes, incluso este.

Alvaro Yoel Armas Julca

Dedico esta tesis a mis padres, Sergio Cesar Cotrado Sosa y Lucia Chara Carita, a mis docentes y a todos aquellos que creen en las energías renovables como solución al problema energético y medioambiental de nuestro planeta.

Anyhelo Joel Cotrado Chara

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento va dirigido a mi padre Hebert Armas quien fue mi gran fuente de inspiración para estudiar ingeniería. Siempre me cuidas y me brindas las herramientas para poder cumplir mis metas. A mi madre quien con sus consejos y apoyo incondicional logré esto.

A mi hermana Alexia Armas quien me enseñó que no hay imposibles en la vida y que todo lo puedes lograr con perseverancia y disciplina.

Alvaro Yoel Armas Julca

Quiero agradecer a mis padres a quienes les debo la vida y son la razón de vivirla, a mis profesores que me guiaron por el camino del método científico y no por el de la pseudociencia.

A dios por darme la conciencia y la capacidad de aprender de su obra y sus propiedades y a la ciencia por permitirme ser parte de ella, un enorme trabajo en equipo de la humanidad en busca del entendimiento de la verdad

Anyhelo Jhoel Cotrado Chara

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DEL JURADO.....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Descripción del problema.....	2
1.2. Formulación del problema.....	3
1.2.1. Problema general.....	3
1.2.2. Problemas específicos	3
1.3. Justificación e importancia	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo General	4
1.4.2. Objetivos Específicos.....	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes	5
2.2. Bases teóricas	6
2.2.1. Energía solar.....	6
2.2.2. Radiación solar	7
2.2.3. Irradiancia solar	8
2.2.4. Irradiación solar	9
2.2.5. Factores que afectan la radiación incidente en la tierra con respecto a la atmosfera	10
2.2.6. Movimiento terrestre al rededor del sol	12
2.2.7. Coordenadas geográficas	13
2.2.8. Sistema de coordenadas horizontales	14
2.2.9. Carta solar cilíndrica	14
2.2.10. Energía fotovoltaica	15
2.2.11. Efecto fotovoltaico.....	16
2.2.12. Elementos de una Instalación Solar Fotovoltaica (ISF)	16

2.2.13. Seguidor solar	22
2.2.14. Sensores	23
2.2.15. Actuadores	24
2.2.16. Placa de desarrollo	25
2.2.17. NodeMCU Esp32	25
2.2.18. Internet de las cosas	27
2.2.19. Arquitectura de la IoT	27
2.2.20. Protocolos de la IoT	28
2.2.21. Base de datos	28
2.2.22. Plataforma IoT	28
2.3. Definición de términos	29
2.3.1. Paneles solares:	29
2.3.2. Optimización	29
2.3.3. Seguidor solar	29
2.3.4. Energía renovable	29
2.3.5. Protocolo MQTT	29
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	30
3.1. Diseño de la investigación	30
3.2. Acciones y actividades	30
3.3. Determinación de requerimientos	30
3.4. Desarrollo del hardware y software	31
3.4.1. Panel solar	40
3.4.2. Regulador de carga	47
3.4.3. Batería	49
3.4.4. Angulo de orientación	50
3.4.5. Sensores:	52
3.4.6. Actuadores:	59
3.4.7. Placa de desarrollo	59
3.4.8. Plataforma IoT	62
3.4.9. Estructura del seguidor solar	62
3.4.10. Diagrama del sistema fotovoltaico	63
3.4.11. Diagrama del sistema de seguimiento solar	64
3.4.12. Diagrama de conexión del sistema de seguimiento solar y sistema fotovoltaico	64
3.5. Implementación	65
3.5.1. Implementación de software	65
3.5.2. Implementación de hardware	93

3.6. Pruebas.....	101
3.7. Materiales y/o instrumentos	105
3.8. Operacionalización de variables	106
3.9. Procesamiento y análisis de datos.....	107
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	112
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....	114
CONCLUSIONES	115
RECOMENDACIONES.....	116
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117
ANEXOS	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas de los tipos de módulos fotovoltaicos	21
Tabla 2. Características principales del sensor DHT22.....	23
Tabla 3. Características principales del sensor de corriente ACS712-05A	24
Tabla 4. Características del servomotor TD8130MG	25
Tabla 5. Características técnicas del Esp32.....	26
Tabla 6. Torque del motor	40
Tabla 7. Determinación de ángulo óptimo	52
Tabla 8. Comparación panel solar vs Módulo LDR con foco de 70W	56
Tabla 9. Valores para altura de la estructura.....	58
Tabla 10. Requerimiento para el módulo de desarrollo.....	60
Tabla 11. Elección de módulos de desarrollo.....	61
Tabla 12. Servo motor TD8130MG	105
Tabla 13. Fluke 375.....	105
Tabla 14. Operacionalización de variables.....	106
Tabla 15. Datasheet del Sistema de Seguimiento Solar	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Atlas de energía del Perú (2018).....	7
Figura 2. Radiación discreta, difusa y albedo.....	8
Figura 3. Representación metafórica de la Irradiancia y la Irradiación.....	9
Figura 4. Irradiancia solar incidente	10
Figura 5. Radiación incidente sobre la tierra	11
Figura 6. Movimiento terrestre alrededor del sol	12
Figura 7. Declinación solar	13
Figura 8. Latitud y longitud	13
Figura 9. Altitud y acimut	14
Figura 10. Carta solar cilíndrica.....	15
Figura 11. Producción de energía en el Perú (2018).....	16
Figura 12. Capas de un módulo fotovoltaico	17
Figura 13. Capas p y n de una célula fotovoltaica.....	18
Figura 14. Circuito equivalente de una célula fotovoltaica.....	18
Figura 15. Curva I-V	19
Figura 16. Curva Potencia-Tensión (P-V)	20
Figura 17. Bloques funcionales del Esp32	26
Figura 18. Caja negra del sistema.....	31
Figura 19. Flujo de información del sistema.....	32
Figura 20. Diagrama de software de conexión a internet y plataforma IoT	33
Figura 21. Diagrama de flujo de escaneo al momento de encender el seguidorsolar	34
Figura 22. Diagrama de flujo de los datos que se enviará a la plataforma IoT	35
Figura 23. Diagrama de flujo de control de orientación elevación	37
Figura 24. Desplazamiento solar acimutal.....	38
Figura 25. Diagrama de flujo de control de orientación acimut	39
Figura 26. Panel Solar de 20 W.....	41
Figura 27. Curvas voltaje, corriente y potencia	43
Figura 28. Curva regulador PWM y MPTT	48
Figura 29. Regular de Carga.....	48
Figura 30. Batería VRLA de 18Ah	50
Figura 31. Nasa Meteorology	50
Figura 32. Coordenadas obtenidas en Nasa Meteorology	51

Figura 33. Sensor de corriente ACS712.....	53
Figura 34. Representación del divisor de tensión.....	54
Figura 35. Divisor de tensión calculado.....	55
Figura 36. Sensor panel	57
Figura 37. Representación de estructura	57
Figura 38. Estructura diseñada	59
Figura 39. Esp32	62
Figura 40. Seguidor solar	63
Figura 41. Diagrama de sistema fotovoltaico	63
Figura 42. Diagrama de conexión del controlador.....	64
Figura 43. Diagrama completo del sistema embebido y fotovoltaico	64
Figura 44. Acceso a la página Ubidots.....	66
Figura 45. Selección del uso que daremos a la plataforma.....	66
Figura 46. Suscripción a Ubidots.....	67
Figura 47. Cuenta y plataforma en Ubidots creadas	67
Figura 48. Cuadro de mando	68
Figura 49. Ingreso a devices parte 1	68
Figura 50. Ingreso a devices parte 2	69
Figura 51. Creando variable	69
Figura 52. Creando variable LED	70
Figura 53. Creación de todas las variables	70
Figura 54. Ingresando a Dashboard.....	71
Figura 55. Ingresando a Widget	71
Figura 56. Estableciendo widget	72
Figura 57. Estableciendo variable	72
Figura 58. Selección de variable 1	73
Figura 59. Seleccionando variable 2	73
Figura 60. Widget creado	74
Figura 61. Configuración de Arduino IDE para trabajar con Esp32	74
Figura 62. Adición de URLs en Arduino IDE	75
Figura 63. Declaración de librerías.....	75
Figura 64. Declaración del nombre de red wifi y su contraseña	76
Figura 65. Declaración del token, tiempo de publicación y variables creadas enUbidots.	76
Figura 66. Declaración de nombres y puertos de salida servos.....	77
Figura 67. Declaración de nombres y puertos de entrada.....	77
Figura 68. Declaración de vectores y variables.....	78

Figura 69. Declaración de tareas	78
Figura 70. Conexión del esp32 con Ubidots	79
Figura 71. Confirmación de una conexión bilateral entre el esp32 y Ubidots.....	79
Figura 72. Baudios del esp32 e inicialización del sensor DHT22.....	80
Figura 73. Declaración de núcleo de trabajo.....	80
Figura 74. Orden de colocar servos en ángulo de 0° y 90°	81
Figura 75. Código escaneo intensidad luminosa en elevación	81
Figura 76. Sentido de escaneo en elevación	82
Figura 77. Elección de elemento máximo	82
Figura 78. Ubicación de los motores en ángulo de mayor radiación solar	83
Figura 79. Modo sleep en caso de neblina.....	83
Figura 80. Código escaneo intensidad luminosa en acimut.....	84
Figura 81. Sentido de escaneo en acimut	84
Figura 82. Elección de elemento máximo	85
Figura 83. Ubicación de los motores en ángulo de mayor radiación solar	85
Figura 84. Habilidad de red wifi	86
Figura 85. Control de seguimiento elevación	86
Figura 86. Lectura de sensores para acimut.....	87
Figura 87. Control de seguimiento parte 1	87
Figura 88. Control de seguimiento parte 2	88
Figura 89. Control de seguimiento parte 3	89
Figura 90. Control de seguimiento parte 3	90
Figura 91. Conexión y/o reconexión a Ubidots.....	91
Figura 92. Cálculo de datos parte 1	91
Figura 93. Lectura de temperatura y pre carga de datos	92
Figura 94. Carga de datos al Ubidots.....	92
Figura 95. Toma de muestras para corriente y cálculo	93
Figura 96. Base para desplazamiento en elevación (vista 1).....	94
Figura 97. Base para desplazamiento en elevación (vista 2).....	94
Figura 98. Base para desplazamiento en acimut (vista 1)	95
Figura 99. Base para desplazamiento en acimut (vista 2)	95
Figura 100. Unión de la estructura para elevación y para acimut (vista 1).....	96
Figura 101. Unión de la estructura para elevación y para acimut (vista 2)	96
Figura 102. Pistas del circuito	97
Figura 103. Vista previa de la placa	98
Figura 104. Diseño de la pista.....	99
Figura 105. Resultado final de la placa de conexión	100

Figura 106. Diseño final.....	100
Figura 107. Conexión a la red wifi y Ubidots	101
Figura 108. Datos de la temperatura en Ubidots (Inicio)	102
Figura 109. Datos de la temperatura en Ubidots (fin).....	102
Figura 110. Datos del voltaje en Ubidots (inicio)	103
Figura 111. Datos del voltaje en Ubidots (fin).....	103
Figura 112. Potencia obtenida (inicio)	104
Figura 113. Potencia obtenida (fin)	104
Figura 114. Potencia seguidor solar vs panel estático día soleado.....	107
Figura 115. Potencia del seguidor solar en día soleado.....	109
Figura 116. Potencia del panel estático día soleado	109
Figura 117. Potencia del seguidor solar vs panel estatico día parcialmente nublado.....	109
Figura 118. Generación energética	109

RESUMEN

El objetivo de la tesis es el de diseñar e implementar un circuito electrónico de seguimiento solar que permita optimizar la carga de acumuladores de energía usando paneles fotovoltaicos. El método de diseño que se aplicó para el desarrollo del sistema de seguimiento solar se hizo en base a la metodología adaptada del ciclo de vida de un producto. El componente principal del sistema de seguimiento solar de dos ejes es el módulo de desarrollo Esp32, se usó paneles solares de 3.3 v como sensores para poder captar la luz solar, para poder calcular el voltaje que brinda el panel solar de 20 W se usó un divisor de tensión, para el censado de corriente se usó el sensor ACS712 y para el censado de temperatura se usó el sensor DHT22. Como actuador se usó servos motores de alto torque modelo TD8130MG. Teniendo como resultado un sistema de seguimiento capaz de censar la luz solar cada 5 segundos y teniendo un tiempo posicionamiento angular en elevación y acimut de 5 segundos. El sistema está programado para enviar datos a una plataforma de almacenamiento IoT cada 5 minutos. Los datos enviados a la plataforma corresponden a la temperatura, voltaje y potencia del sistema. Tras un análisis de los datos almacenados en la plataforma se compara con los datos que se obtiene de un sistema de panel solar estático, teniendo como resultado que el sistema de seguimiento solar genera un 43 % más de energía durante un día soleado con respecto a un panel estático, además de un 27 % más de energía en un día parcialmente nublado.

Palabras clave: Paneles solares; optimización; seguidor solar; Esp32; plataforma Ubidots.

ABSTRACT

The objective of the thesis is to design and implement an electronic solar tracking circuit to optimize the charging of energy accumulators using photovoltaic panels. The design method applied for the development of the solar tracking system was based on the methodology the design method applied for the development of the solar tracking system was based on the methodology adapted from the life cycle of a product. The main component of the two-axis solar tracking system is the Esp32 development module, 3.3 v solar panels were used as sensors to capture sunlight, a voltage divider was used to calculate the voltage provided by the 20 W solar panel, the ACS712 sensor was used for current sensing and the DHT22 sensor was used for temperature sensing. High torque servo motors model TD8130MG were used as actuators. The result is a tracking system capable of sensing sunlight every 5 seconds and having an angular positioning time in elevation and azimuth of 5 seconds. The system is programmed to send data to an IoT storage platform every 5 minutes. The data sent to the platform corresponds to the temperature, voltage and power of the system. After an analysis of the data stored in the platform, it is compared with the data obtained from a static solar panel system, with the result that the solar tracking system generates 43 % more energy during a sunny day with respect to a static panel, in addition to 27 % more energy on a partly cloudy day.

Keywords: Solar panels; optimization; solar tracker; Esp32; Ubidots platform.

INTRODUCCIÓN

La investigación se realizó con el afán de fomentar e implementar el uso de energía renovable en el Perú, beneficiando al ambiente y a las personas, para contar con mayor energía eléctrica debido al aumento de la potencia eléctrica generada durante el día.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo general diseñar e implementar un circuito electrónico de seguimiento solar para optimizar la carga de acumuladores de energía usando paneles fotovoltaicos.

La estructura de la tesis consta de los siguientes capítulos:

En el capítulo I, denominado planteamiento del problema, presenta la descripción del problema, la formulación del problema, justificación, los objetivos y por ultimo las hipótesis.

El capítulo II, denominado Marco Teórico, presenta los antecedentes y fundamentos teóricos que se usará para el diseño del sistema de seguimiento solar.

El capítulo III, denominado Marco Metodológico, presenta la metodología a seguir para el desarrollo de la investigación, además de la implementación y las pruebas.

El capítulo IV, denominado Resultado, muestra los resultados obtenidos en la investigación.

El capítulo V, denominado Discusión, se lleva a cabo la discusión con los antecedentes del estudio.

Finalmente se presenta las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

El uso indiscriminado de recursos naturales no renovables como combustibles fósiles para la producción de energía eléctrica se ha visto popularizado en los últimos 100 años, lo cual no solo produjo su escasez cada vez mayor en la última década, sino que también viene deteriorando el medio ambiente y el ecosistema que nos rodea. Ante ello el uso de las energías renovables surgió como una solución para la producción de energía eléctrica.

Según un informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), las energías renovables podrían cubrir el 80 % de la demanda energética mundial para el año 2050, además en el año 2011 las energías renovables cubrieron el 12,9 % del suministro mundial de energía esto debido a que se registró un aumento del 53 % de la capacidad instalada en el 2009.

Perú incrementó el uso de paneles solares durante el 2019, la empresa Ergon Perú fue el encargado de instalar más de 87 000 sistemas fotovoltaicos, este proyecto masivo llegó a beneficiar a más de 320 mil personas de diversas zonas del territorio nacional.

A través del proyecto del 2019 varias zonas rurales del sur de Perú cuentan con energía fotovoltaica debido a que es uno de los lugares con más irradiancia solar, proyecto que satisface las necesidades básicas como postas, locales comunales, colegios y centros médicos de las personas de campo.

No obstante, estos sistemas son estacionarios, teniendo solo como parámetro la orientación del panel, con respecto al hemisferio que estén (hemisferio sur - norte), esto quiere decir que no siguen el movimiento del sol, siendo solo eficiente cuando se encuentra próximo o en el cenit del día, generando un desaprovechamiento de luz solar por ende una menor cantidad de producción de energía eléctrica.

Para poder mejorar de estos sistemas fotovoltaicos se propone desarrollar un sistema de rotación para los paneles solares.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿En qué medida el seguimiento solar automatizado optimizará la carga de un acumulador de energía usando paneles fotovoltaicos?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Qué parámetros son requeridos para el diseño de un sistema de seguimiento solar?
- b. ¿Qué tecnología será la más adecuada para la optimización de la carga del sistema de seguimiento solar?
- c. ¿De qué manera se podría almacenar los datos proporcionados por el sistema de seguimiento solar para su análisis posterior?

1.3. Justificación e importancia

El presente diseño propone una solución para un mayor aprovechamiento de la irradiancia a través de un sistema solar, utilizando tecnología de información.

Desde el punto de vista ambiental, el agotamiento de los combustibles convencionales debido a las prácticas humadas ha generado un mundo de contaminación y ante la pronta escasez de energía y de su fuente, nos ha llevado al enfoque optimista de utilizar los recursos alternativos que se le han otorgado a la humanidad, la energía solar, por ende, este diseño es una alternativa ecológica lo cual lo convierte en un activo valioso.

Desde el punto de vista social, Pese al gran esfuerzo de electrificación rural en el Perú, mediante instalaciones eléctricas convencionales aún quedan más de tres millones de peruanos que no tienen la posibilidad de acceder a la energía electricidad y casi un tercio de la población usa aun velas como principal fuente de iluminación, por lo que con la implementación de paneles fotovoltaicos con seguimiento solar no solo será posible satisfacer sus necesidades básica sino que también brindarles una buena calidad de vida.

Desde el punto de vista tecnológico, el mayor rendimiento de los sistemas de paneles solares estacionarios se da al estar al cenit con respecto al sol, eso hace que no tenga un voltaje constante por lo tanto se obtiene una carga más lenta de los acumuladores de energía, además todos los paneles comerciales tienen una eficiencia muy baja, siendo entre los 15 a 20 % de eficiencia. Es por ello el presente trabajo está

principalmente enfocado al desarrollo de un sistema de seguimiento solar para optimizar la carga de acumuladores de energía.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar e implementar el circuito electrónico de seguimiento solar para optimizar la carga de acumuladores de energía usando paneles fotovoltaicos.

1.4.2. Objetivos Específicos

- a. Determinar los parámetros requeridos para el seguimiento solar.
- b. Diseñar el circuito de control del sistema de seguimiento solar usando tecnología basada en microcontroladores, sensores y actuadores para optimizar la carga en acumulador de energía.
- c. Desarrollar una base de datos para el almacenamiento de los datos proporcionados por el sistema de seguimiento solar para su análisis posterior.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Villela et al. (2018), en el artículo titulado “Control difuso de un seguidor solar”, Diseñaron un seguidor solar de eje polar controlado mediante lógica difusa, esperaron aumentar un 30 % de la eficiencia, para ello usaron como herramientas principales el módulo NI ELVIS a través de la plataforma de LabView. Como resultado solo obtuvieron una eficiencia del 20 % en la generación de energía eléctrica con respecto a un panel solar fijo.

Caba (2019), en su trabajo de tesis “Mejora del sistema de orientación de seguidor solar”, mejoró un sistema de seguimiento solar obtenido del mercado comercial que presentaba pérdidas debido a un mal seguimiento solar a consecuencia de la interrupción que generaban nubes en los sensores LDR's. Para la mejora usó posicionamiento solar de forma horaria mediante un calendario solar, sus principales herramientas fueron un esp32 y un módulo de reloj; además implemento un sistema de control bluetooth, este sistema inalámbrico hacía la función de un control remoto que permitía dar una serie de ordenes como: girar los motores a la derecha o izquierda, subir o bajar el seguidor, detener los motores, reiniciar el reloj, iniciar la función de seguimiento automático, plegar el seguidor y mostrar información de sensores.

Jamal (2020), en su trabajo de fin de grado de titulación “Sistema de adquisición de datos con esp32”, su principal objetivo fue el de diseñar un sistema de adquisición de datos empleando el microcontrolador esp32, con el fin de realizar medidas a variables eléctricas como voltaje, corriente. Los datos serán enviados a otro esp32 que se encuentra fuera del lugar, este segundo esp32 recibirá los datos y lo mostrará a través de un ordenador. Resultando en un sistema aislado eléctricamente.

De la Gala (2018), en su trabajo titulación “Implementación de un seguidor solar para la evaluación energética comparativa de paneles fotovoltaicos”, su objetivo principal fue implementar un seguidor solar para la evaluación energética comparativa de paneles fotovoltaicos bajo las condiciones meteorológicas de la ciudad de Tacna, con el uso de motores DC, sensores LDR, Arduino uno y una tarjeta SD para el almacenamiento de datos, obteniendo una ganancia energética del 38 % del panel seguidor con respecto al panel estático, incrementando su eficiencia de un panel solar fotovoltaico policristalino en un 2.45 %.

Vilcanqui (2020), en su trabajo de titulación “Estudio para el desarrollo de un seguidor solar de dos ejes auto configurable para paneles fotovoltaicos”, realizó una investigación del estado del arte de las tecnologías estudio posteriormente logra un diseño teórico de un sistema de seguimiento solar capaz de orientar un panel fotovoltaico de manera perpendicular al sol, además presenta diversas opciones de tecnología para que el seguimiento que pueda óptimo tanto en días soleados como en nublados, por tanto teóricamente, asegura una eficiente generación energética. Su sistema de control presenta una operatividad en microcontroladores, PLC's y microcomputadoras.

Gonzales et al. (2019), en el artículo científico “Diseño de un sistema de seguimiento solar de un eje para el aprovechamiento de la energía solar en sistemas fotovoltaicos”, proponen el diseño e implementación de un sistema de seguimiento solar de un eje, basado en el microcontrolador PIC 16F54 el cual a través de pulsos digitales envía secuencias al motor el cual tiene un desplazamiento angular de $1,2^\circ$. La monitorización de la radiación lo realizan a través de una tarjeta de adquisición de datos USB conectado a un computador, estos datos obtenidos son almacenados en un archivo de en formato Excel. Teniendo como resultado una eficiencia de entre un 15 a 20 % en comparación de un panel estático.

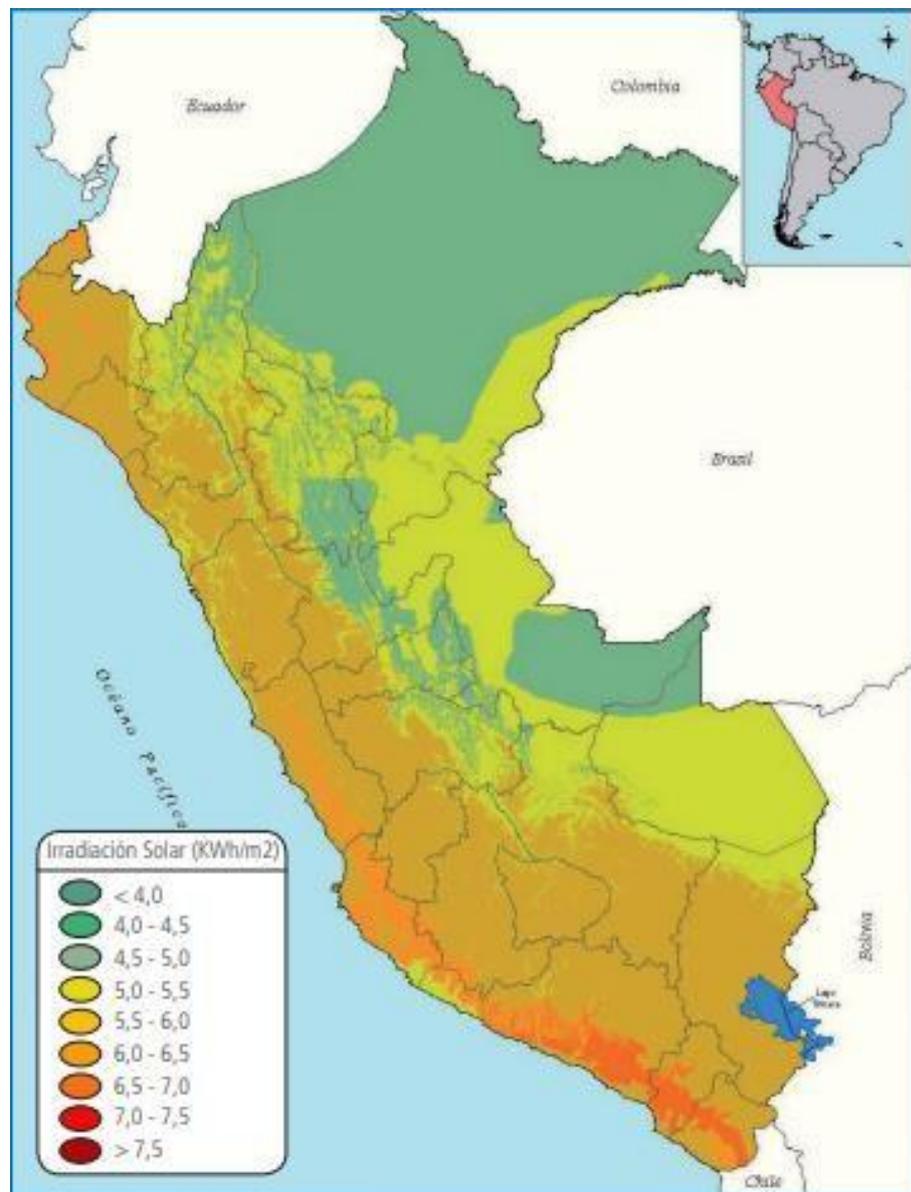
2.2. Bases teóricas

2.2.1. Energía solar

Según Ministerio de Energía y Minas (MINEM) (2018) la energía solar es un tipo de energía renovable que se obtiene tras absorber radiación. Todos los sistemas de recolección se dividen en sistemas pasivos y activos. Los sistemas pasivos no necesitan dispositivos para captar la energía proveniente del sol. Por otro lado, los sistemas activos requieren dispositivos para captar la radiación solar, como los paneles fotovoltaicos o colectores solares térmicos.

2.2.1.1. Atlas de la irradiancia solar en el Perú

Desarrollado por el SENAMHI, nos permitirá evaluar y calcular la producción de energía solar (radiación solar) en cualquier parte del mundo y diseñar adecuadamente sistemas fotovoltaicos de acuerdo con la ubicación (MINEM, 2018).

Figura 1*Atlas de energía del Perú (2018)*

Nota. Adaptado de *Energías renovables*, MINEM, 2018.

2.2.2. Radiación solar

El Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicaciones [COIT] (2007) menciona que la radiación después de salir del sol y viajar a través del espacio, entra en la atmósfera y una cierta cantidad de la radiación solar son absorbidos por la misma. Además, las nubes, las partículas en la atmósfera y la superficie de la tierra refleja cierta cantidad hacia el espacio.

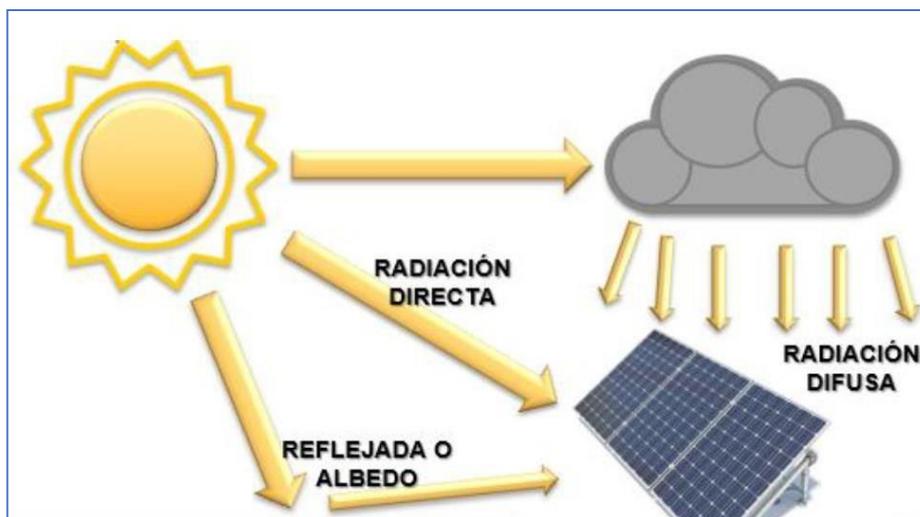
2.2.2.1. Componentes de la radiación solar

- Radiación discreta: radiación que llega directamente del sol, dependiendo mucho de la densidad de las nubes y de la estación del año (COIT, 2007).
- Radiación difusa: esta es la que se ve reflejada sobre las partículas de nubes, vapores o el mismo aire, en los días soleados solo se ve reflejado un 10 % y en días nublados casi en su totalidad (COIT, 2007).
- Albedo o reflejada: esto debido a la reflexión que sufre en la tierra, como la luz que se refleja en las montañas nevadas o estructura creadas por el hombre, a este fenómeno también se le llama radiación reflejada (COIT, 2007).

En la Figura 2 se observa los diferentes componentes de la radiación en donde la radiación directa es la que llega sin ninguna interrupción al panel solar, albedo es la que llega al panel solar después de una reflexión en alguna superficie y la difusa es la que sufrió una refracción parcial en la nube.

Figura 2

Radiación discreta, difusa y albedo



Nota. Adaptado de *La energía fotovoltaica* (p.32), por Perez, B. y Academia de Energía Solar, 2020.

2.2.3. Irradiancia solar

Perez, B. y Academia de Energía Solar (2020) dicen que irradiancia es un término que es usado para determinar la cantidad de la energía que se capta por unidad de área,

eso indica que, es la magnitud utilizada para describir la potencia que incidente por superficie. Su unidad de medida son los kW/m^2 .

2.2.4. Irradiación solar

Es la energía que se capta por unidad de superficie a lo largo de un tiempo. Su unidad de medida son los kWh/m^2 (Perez, B. y Academia de Energía Solar, 2020).

En la Figura 3, observamos una imagen metafórica en donde el caudal del agua representa la irradiancia y el volumen del agua representa la irradiación.

Figura 3

Representación metafórica de la Irradiancia y la Irradiación

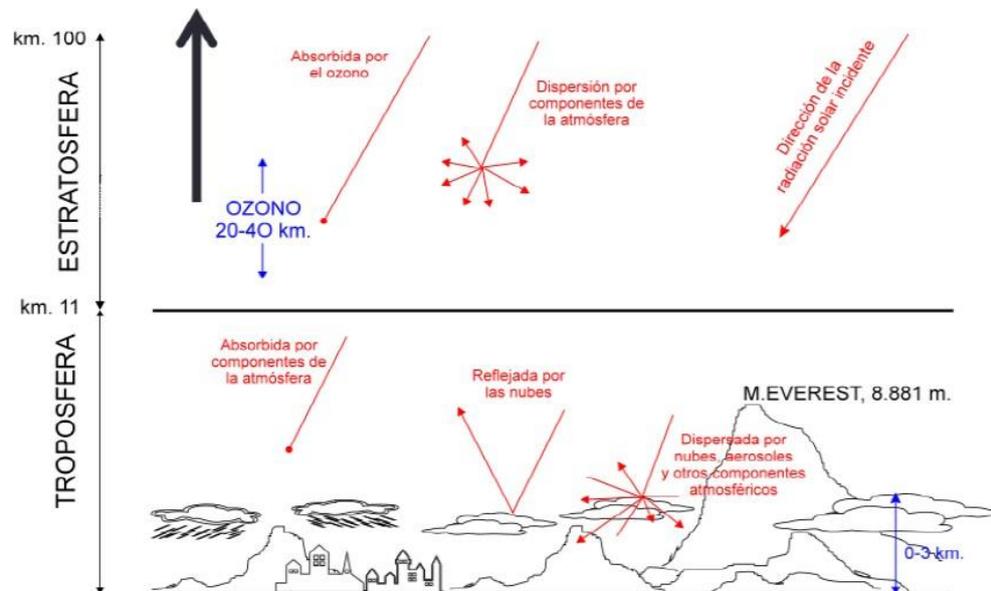


Nota. Adaptado de *La energía fotovoltaica* (p.31), por Perez, B. y Academia de Energía Solar, 2020.

En la Figura 5 se observa que la constante solar es menor debido a la dispersión, absorción y la reflexión que sufre en la estratosfera y la troposfera.

Figura 5

Radiación incidente sobre la tierra



Nota. Adaptado de *La energía fotovoltaica* (p.26), por Perez, B. y Academia de Energía Solar, 2020.

2.2.5.2. Ángulo de incidencia

Department of Energy (2005) expresa que, a una mayor perpendicularidad de la radiación sobre la superficie terrestre, existe una menor reflexión, por consiguiente, la cantidad de energía absorbida es mayor.

2.2.5.3. Air Mass

La radiación que incide de una forma tangencial sobre la tierra tiende a atravesar una cantidad de masa mucho mayor a la de la radiación que incide perpendicularmente, produciéndose una mayor dispersión (Department of Energy, 2005).

2.2.6. Movimiento terrestre al rededor del sol

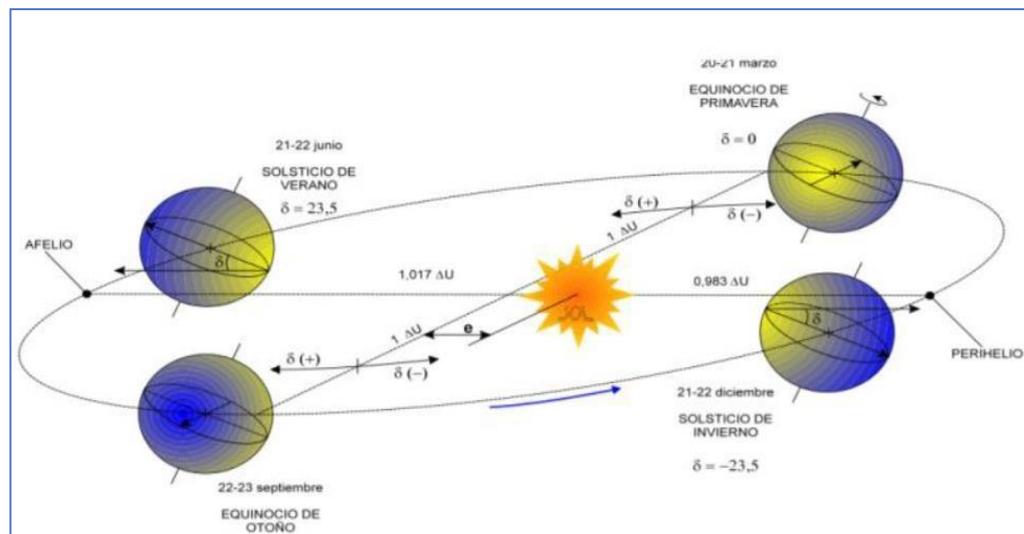
La tierra orbita de forma periódica alrededor del sol de forma elíptica y produce ciertas variaciones entre la distancia de la tierra y el sol a lo largo de un año (Roldan et al., 2019).

En la Figura 6, se observa el movimiento terrestre alrededor del sol y sus respectivas declinaciones a lo largo del año.

No obstante, las variaciones no influyen en el cambio de las estaciones astronómicas (otoño, invierno, primavera y verano); sino que la variación de radiación que se produce en la tierra a lo largo del año es debido a que el plano elíptico de la tierra no está ubicado de forma perpendicular al eje de rotación terrestre, en cambio existe un ángulo conocido como Ángulo de Declinación Solar que varía de -24.45° a $+23.45^\circ$ y cuyo valor se hace 0° en los equinoccios de primavera y otoño (Department of Energy, 2005).

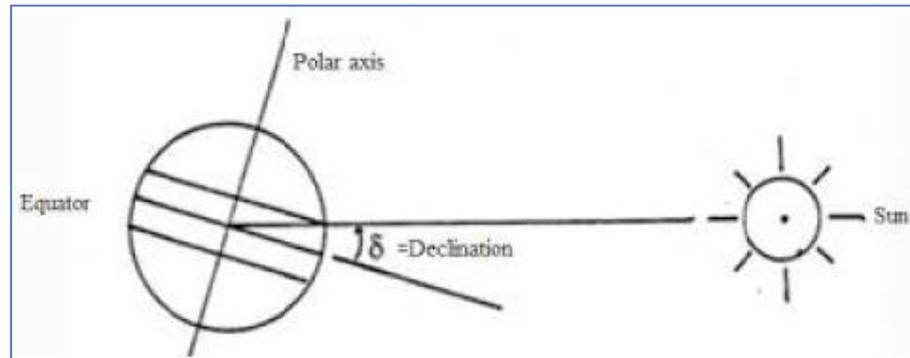
Figura 6

Movimiento terrestre alrededor del sol



Nota. Adaptado de *Basic Research Needs for Solar Energy Utilization* (p.126), Department of Energy (2005)

En la Figura 7, se observa que la tierra presenta una declinación debido a que su eje no se ubica de manera perpendicular con respecto a la radiación del sol.

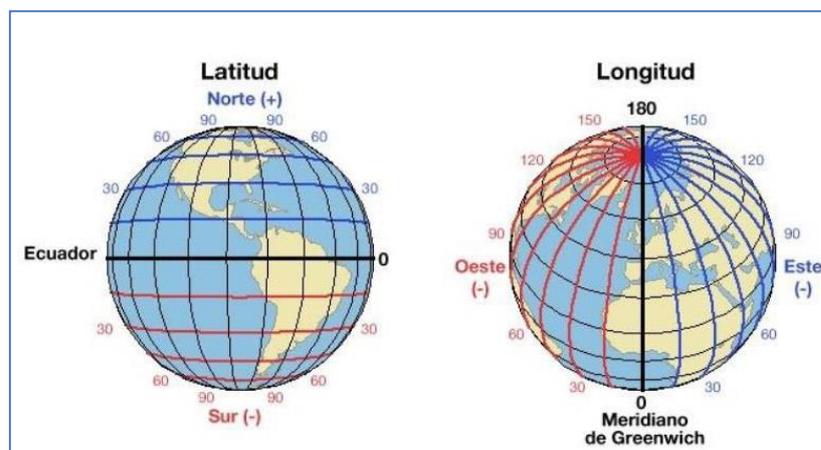
Figura 7*Declinación solar*

Nota. Adaptado de *La energía fotovoltaica* (p.36), por Perez, B. y Academia de Energía Solar, 2020

2.2.7. Coordenadas geográficas

Estos son un conjunto de líneas imaginarias que permiten ubicar con mucha exactitud un lugar sobre la superficie terrestre, estas coordenadas están representadas por la latitud y la longitud, teniendo sus medidas expresadas en grados ($^{\circ}$) (Departament of Energy, 2005).

En la Figura 8 se observa que latitud representa la distancia norte-sur con respecto al ecuador, sus valores van desde 0° en el ecuador al 90° hasta los polos. A su vez longitud representa la distancia este-oeste respecto al meridiano, sus valores van desde el 0° hasta 180° .

Figura 8*Latitud y longitud*

Nota. Adaptado de *La energía fotovoltaica* (p.28), por Perez, B. y Academia de Energía Solar, 2020

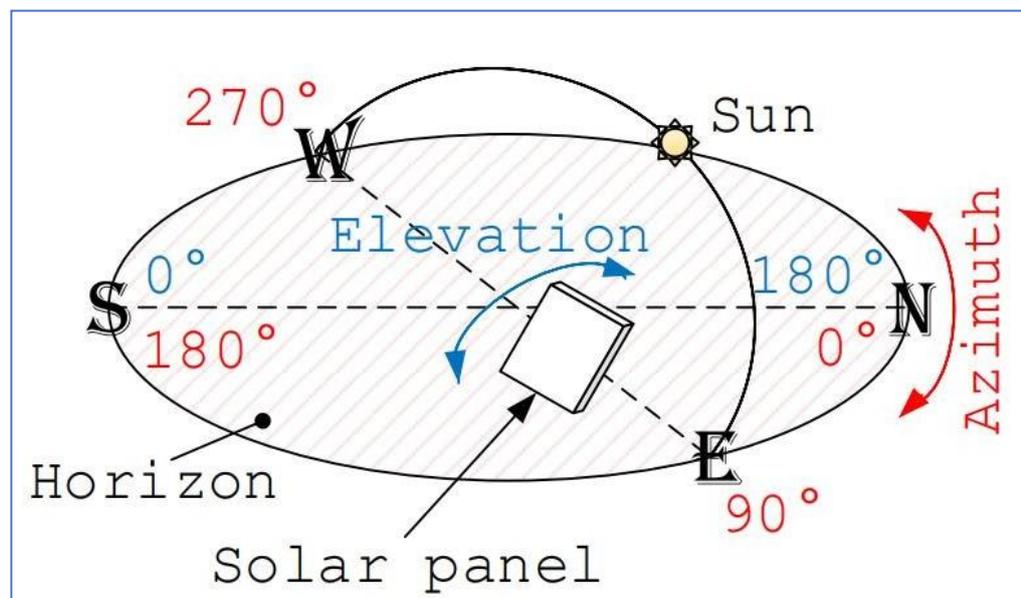
2.2.8. Sistema de coordenadas horizontales

El origen de este sistema de coordenadas está en un observador ubicado en la superficie de la tierra, este observador tiene un campo de visión que cubre un hemisferio de la esfera celeste considerada. En esto, tiene aproximadamente la esfera celeste como plano de referencia horizontal local y está orientado en función de los puntos cardinales. Las principales coordenadas para determinar la ubicación de un cuerpo celeste son la altitud y el acimut (COIT, 2007).

En la Figura 9, se observa que el ángulo acimut se forma entre la dirección de referencia que sería el norte y una línea entre el observador y su punto de interés alojado en el mismo plano que la dirección de referencia. Y el ángulo de altitud, es la altura angular del sol en el cielo medido desde la horizontal.

Figura 9

Altitud y acimut



Nota. Adaptado de *PID Control for two-Axis Orientable Solar Panel System* (p.2), Roldan et al. (2019)

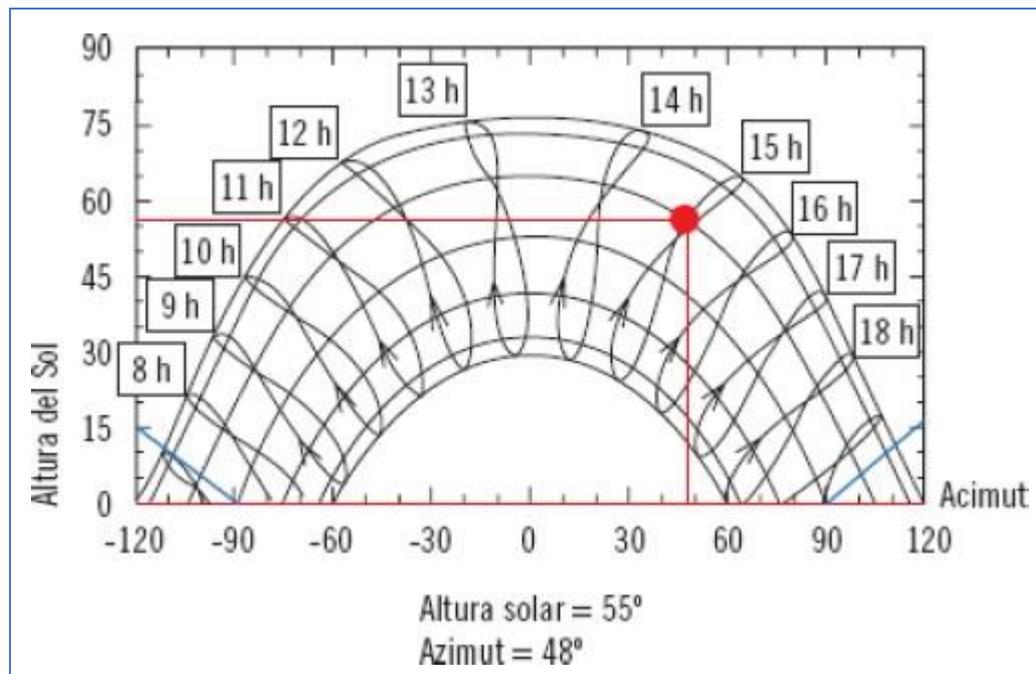
2.2.9. Carta solar cilíndrica

Este es un elemento que se utiliza para conocer la posición exacta del sol a una determinada hora del día.

En la Figura 10, se observa que la carta cilíndrica puede ser muy útil para conocer la posición del sol, en este caso para las 15h la posición del son en altura vendría ser 55° y en acimut 48° .

Figura 10

Carta solar cilíndrica

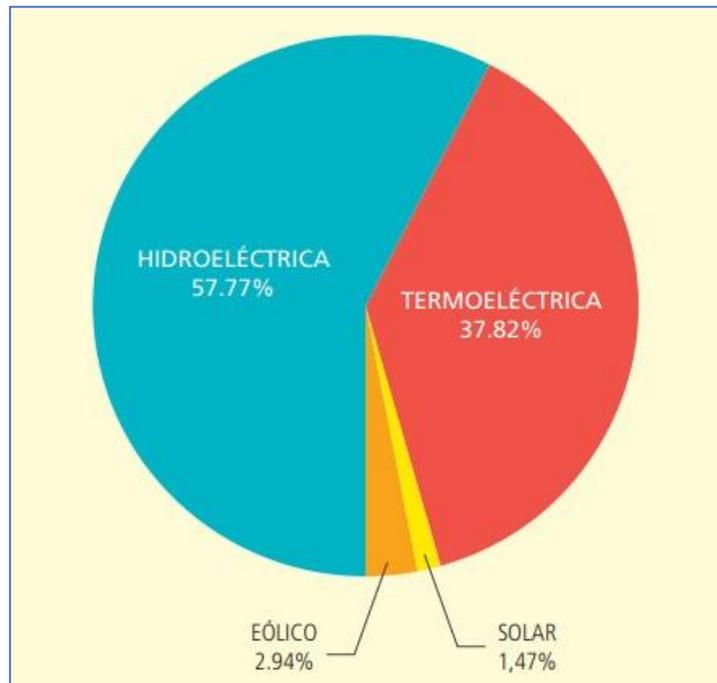


Nota. Adaptado de *La energía fotovoltaica* (p.29), por Perez, B. y Academia de Energía Solar, 2020

2.2.10. Energía fotovoltaica

Es la conversión de la radiación proveniente del sol, en energía eléctrica, a partir de materiales semiconductores como celdas fotovoltaicas, los cuales están hechos a partir de silicio. Las partículas de la luz del sol, llamada fotones, golpean en un lado de la celda fotovoltaica generando corriente eléctrica que se usa como fuente de energía y se le conoce como el efecto fotoeléctrico. Un conjunto de células fotovoltaicas de características idénticas al estar conectadas en serie o paralelamente generan electricidad en corriente continua (MINEM, 2018).

En la Figura 11, se observa las fuentes de producción de energía eléctrica actualmente en el Perú, siendo en primer lugar la hidroeléctrica, seguido de la termoeléctrica y por último la eólica y la solar.

Figura 11*Producción de energía en el Perú (2018)*

Nota. Adaptado de Energías renovables, MINEM, 2018.

2.2.11. Efecto fotovoltaico

El efecto fotovoltaico es la conversión de energía luminosa proveniente del sol en energía eléctrica, esto se da cuando la radiación solar llega a incidir sobre la unión de tipo P-N del material semiconductor, donde se rompen los enlaces y el campo eléctrico orienta las cargas del electrón y el hueco, estableciendo una diferencia de potencial dando lugar a un corriente eléctrica, cuya intensidad y tensión van a depender de las características técnicas del panel fotovoltaico y el número usado de los mismos (Perez y Academia de Energía Solar, 2020).

2.2.12. Elementos de una Instalación Solar Fotovoltaica (ISF)

Una instalación solar fotovoltaico (ISF) está conformado por:

- Módulo fotovoltaico o arreglo de módulos
- Regulador de batería
- Acumuladores de energía
- Inversor

2.2.12.1. Módulo fotovoltaico

Los módulos fotovoltaicos son los encargados de transformar la energía del sol en energía eléctrica (corriente continua) por medio del efecto fotoeléctrico diseñado para valores concretos de tensión (6 v, 12 v, 24 v), los módulos pueden ser conectados en serie y/o paralelo, donde cada módulo fotovoltaico está conformado por células fotovoltaicas, estos módulos deben de estar conectados a un banco de baterías a través de un regulador de carga (Departament of Energy, 2005).

Las dimensiones de un módulo solar dependerán del número de células, y si se analiza la composición de un módulo fotovoltaico como se observa en la figura 12 se tendrá que las dos primeras capas son de protección entre la placa y el medio que lo rodea, su función es mantenerla hermética (Roldan et al., 2019).

La tercera capa se encargará de proteger las células y por el tipo de material hará que sea resistente al calor y a la radiación UV, también se comporta como un aislante eléctrico, además controla y elimina la humedad. La siguiente capa está compuesta por las células y finalmente se tendrá una capa opaca (Roldan et al., 2019).

Figura 12

Capas de un módulo fotovoltaico



Nota. Adaptado de *La energía fotovoltaica* (p.53), por Perez, B. y Academia de Energía Solar, 2020

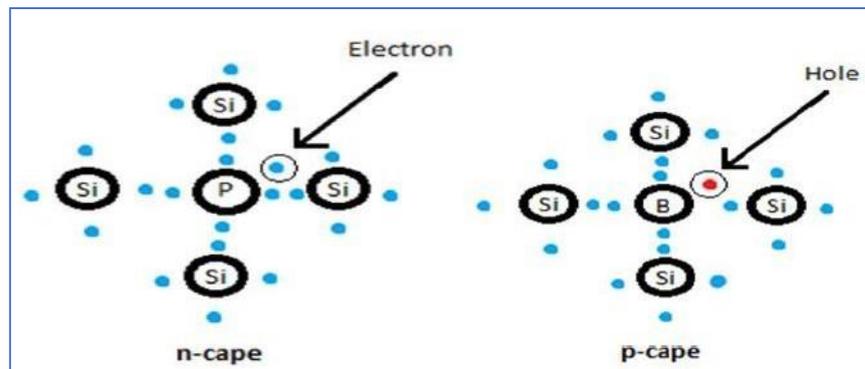
Las células solares están compuestas por dos capas, las cuales son:

- Capa P: cargada de forma positiva y compuesto por boro y silicio, de modo que se queda un hueco electrónico libre.
- Capa N: cargada de forma negativa y compuesto de silicio y fósforo, de forma que se tiene un electrón libre (Roldan et al., 2019).

En la figura 13 se observa desde el punto de vista atómico la capa n del lado izquierdo y la capa p del lado derecho, para un mejor entendimiento de su composición.

Figura 13

Capas p y n de una célula fotovoltaica

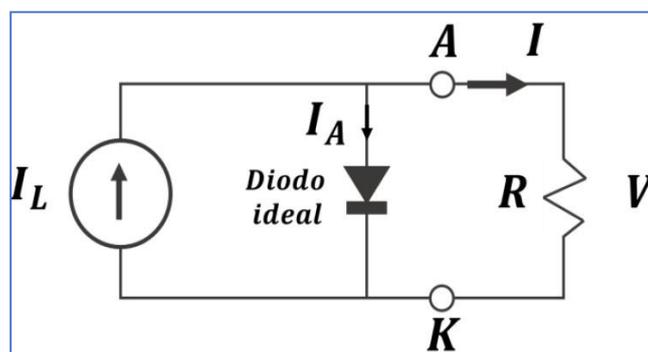


Nota. Adaptado de *La energía fotovoltaica* (p.54), por Pérez, B. y Academia de Energía Solar, 2020

La curva característica de un módulo fotovoltaico define sus puntos de operación, siendo la corriente representada en el eje Y, y la tensión sobre el eje X. Para definir la curva se necesita es importante conocer la ecuación característica por lo tanto se necesita analizar el circuito equivalente a un panel solar como se observa en la figura 14 (Pérez, B. y Academia de Energía Solar, 2020).

Figura 14

Circuito equivalente de una célula fotovoltaica



Nota. Adaptado de *La energía fotovoltaica* (p.68), por Pérez, B. y Academia de Energía Solar, 2020

De la anterior figura podemos definir la curva I-V del panel la siguiente ecuación.

$$I = I_L - L_A = I_L - I_0(T) * \left(e^{\frac{V \cdot q}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) \quad (1)$$

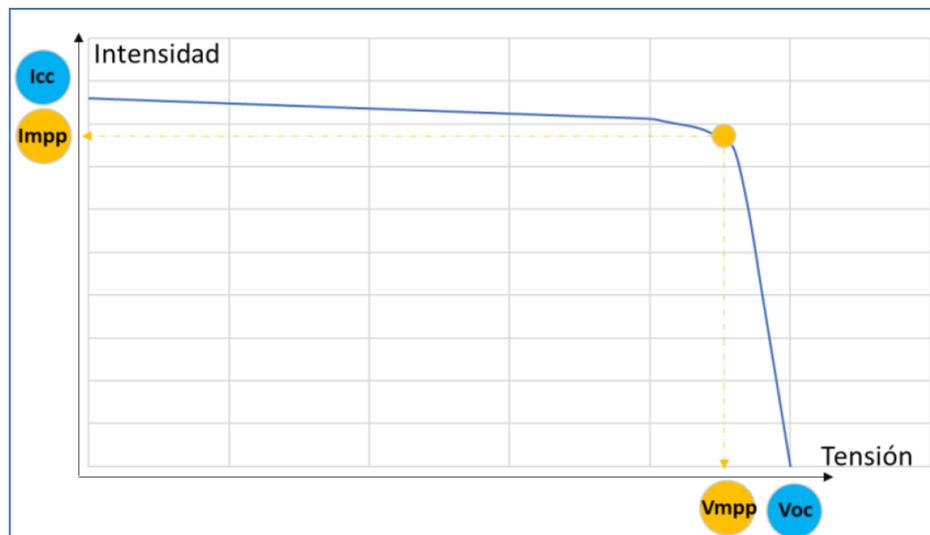
Donde:

- $I_L = I_{SC}$ siendo la corriente proporcional a la irradiancia, llegando a aumentar cuando incrementa el rendimiento del módulo.
- I_A es la corriente del ánodo por el diodo ideal. Su valor depende de la tensión y la temperatura.
- K es la constante de Boltzman, su valor equivalente es $1.38E-23$ J/K.
- n es el factor de identidad del diodo. (Pérez, B. y Academia de Energía Solar, 2020)

De forma que la figura 15 representa la curva típica de un panel:

Figura 15

Curva I-V



Nota. Adaptado de *Energía Solar Fotovoltaica* (p,35), COIT (2007)

Parámetros fundamentales

- Intensidad e cortocircuito (**Icc**): Producido por un lapso pequeño de tiempo en que su resistencia es muy cercana a 0. La intensidad de corto circuito

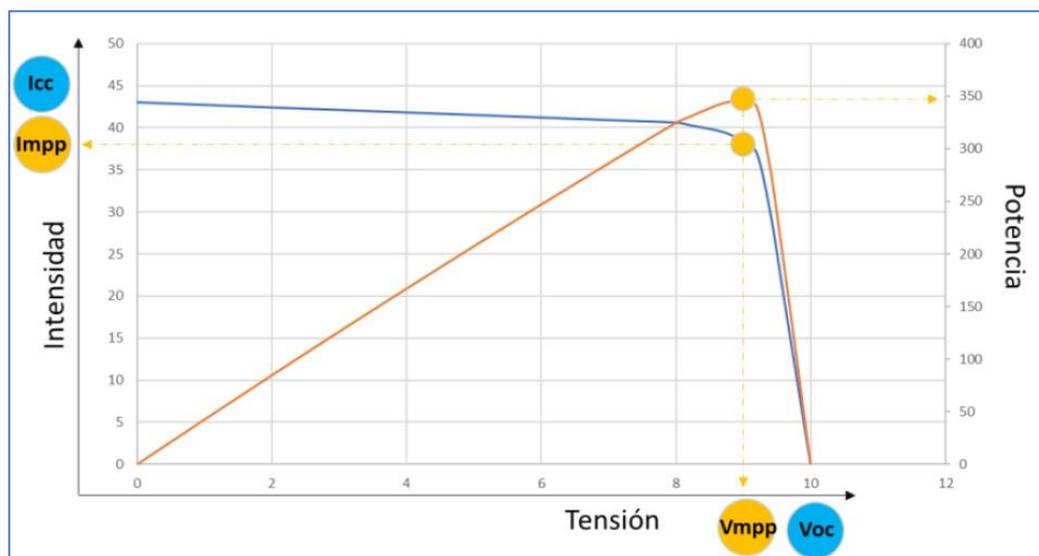
corresponde con su intensidad máxima y se produce cuando la tensión del módulo tiende a 0 (COIT, 2007).

- Tensión de circuito abierto (V_{oc}): se da debido a que no hay corriente circulando por él debido a una interrupción o no tienen ningún conductor eléctrico. Esto por lo general se produce cuando no hay carga conectada y cuando se conecte una carga la tensión del panel disminuirá, pero la intensidad de salida aumenta (COIT, 2007).
- Potencia máxima del módulo (P_{mpp}): El punto de la curva donde la potencia de panel sea el máximo, se le conoce como MPP (maxim power point), y los valores de intensidad y tensión, en ese punto, se conocen como I_{mpp} y V_{mpp} (COIT, 2007).
- Intensidad en el punto de máxima potencia (I_{mpp})
- Tensión en el punto de máxima potencia (V_{mpp})

De esta manera, el producto de la intensidad y la tensión de la figura anterior, se puede encontrar una curva como la siguiente:

Figura 16

Curva Potencia-Tensión (P-V)



Nota. Adaptado de *Energía Solar Fotovoltaica* (p,38), COIT (2007)

La curva naranja nos representa la potencia entre todos los puntos de operación del módulo fotovoltaico.

Con los datos de tensión de circuito abierto, tensión y corriente en el punto de potencia máxima y corriente de corto circuito, se puede obtener el factor de forma (FF):

$$FF = \frac{V_{mp} * I_{mp}}{V_{oc} * I_{sc}} \leq 1 \quad (2)$$

Este factor mide la calidad en la unión de un panel, de modo que el valor ideal será igual a 1, siendo la curva de operación totalmente rectangular (Department of Energy, 2005).

Tipos de módulos fotovoltaicos

En la tabla 1 se muestran los módulos más comunes que se pueden encontrar en el mercado.

Tabla 1

Ventajas de los tipos de módulos fotovoltaicos

Tipo de módulo	Ventajas	Desventajas
Monocristalino	Bajo costo	Rendimiento medio
Policristalino	Rendimiento medio	Coste medio
Amorfo	Bajo costo	Rendimiento bajo

Nota. Adaptado de *Instalación de sistemas fotovoltaicos* (p.18), Proyecto EnDev/GIZ.

2.2.12.2. Regulador de carga

El regulador de carga se encarga de prevenir la descarga por debajo del su nivel mínimo de la batería, la otra función es impedir que la batería continúe recibiendo energía de los módulos solares una vez que ha alcanzado su máxima carga. El regulador de carga debe de estar perfectamente coordinado con las características de la batería a controlar (Roldan et al., 2019).

2.2.12.3. Acumulador de energía

Los acumuladores fotovoltaicos o bancos de batería se utilizan principalmente para almacenar energía, las baterías deben de tener un regulador de carga, para así evitar sobrecargas y la descarga total de las baterías. Este provee el régimen de carga más apropiado de acuerdo con el tipo de batería, la vida útil de las baterías oscila entre los 20 años a más, solo si tiene una buena alimentación de carga y si se evita las sobrecargas (Roldan et al., 2019).

2.2.13. Seguidor solar

Los seguidores solares solo tienen el objetivo de asegurar la mayor captación de la radiación solar, para lo tanto, los paneles se orientan en todo momento de forma perpendicular al sol durante las horas útiles de captación (Arrieta y Pueblo, 2015).

2.2.13.1. Seguidor solar de dos ejes

Los seguidores de dos ejes permiten un libre desplazamiento con respecto al eje horizontal y vertical hasta donde el sistema lo permita, por lo cual, la superficie colectora puede permanecer de forma perpendicularmente a los rayos del sol, lo que asegura la máxima captación de energía (Lacasa, 2012).

2.2.13.2. Funcionamiento y control del seguidor solar

El seguidor solar tiene que ir comandado y monitorizado por un centro de control el cual puede servir para uno o para varios seguidores. La forma por el cual el centro de control puede guiar el seguidor solar es a través de la posición solar y por sensores. (Arrieta y Pueblo, 2015)

Un seguidor solar está compuesto por sensores, los cuales detectan si la intensidad luminosa del sol incide perpendicularmente sobre las placas. Mediante la lectura de los datos de estos sensores, el centro de control va dictando la orden a los actuadores (motores) los cuales servirán, en caso lo requiera, para desplazar las placas solares, para que estas estén todo el tiempo perpendicular a los rayos de sol (Lacasa, 2012).

2.2.14. Sensores

Un sensor es un dispositivo que percibe información requerida del mundo físico externo y lo transforma en señal eléctrica, para poder ser manipulado o modificado por un circuito controlador o transductor. En esta implementación se usará un sensor de temperatura y corriente (Sans y Torres, 2017).

Sensor de temperatura y humedad DHT22: es un sensor de alta fiabilidad debido a su señal digital calibrada. En la tabla 2 se muestran características principales del sensor.

Tabla 2

Características principales del sensor DHT22

Características	Dht22
Alimentación	3,5 a 5 v
Consumo	2,5 mA
Salida de señal	Digital
Temperatura de operación	
Rango	0°C a 50°C
Resolución	1°C (8-bit)
Humedad	
Rango	20 % RH a 90 % RH
Resolución	1 % RH

Nota. Adaptado de *Sensores de Temperatura DHT22*, Prometec (2019).

Sensor de corriente modelo ACS712-05A: funciona por efecto hall que detecta el campo magnético producido por la inducción de la corriente que circula a través de un circuito. El voltaje entregado siempre será proporcional a la corriente. En la tabla 3 se muestran alguna de sus características.

Tabla 3*Características principales del sensor de corriente ACS712-05A*

Características	Acs712-05a
Rango de operación	-5 a 5 A
Sensibilidad	185 mV/A

Nota. Adaptado Sensor Corriente ACS712, Naylmap (2016).

Este sensor proporciona 2.5 voltios para una corriente de 0 amperios, incrementando de forma proporcional a la sensibilidad, se tendrá una relación lineal entre la salida de voltaje del sensor y la corriente. La relación resultará ser una recta en una gráfica voltaje por corriente donde la pendiente del sensor viene a ser la sensibilidad y su intersección en el eje Y es 2.5 v. resultando la siguiente ecuación:

$$V = mI + 2 \quad (3)$$

Si despejamos la ecuación anterior, podremos hallar la corriente a partir de la lectura del sensor, resultando la siguiente ecuación:

$$I = \frac{V - 2,5}{\text{sensibilidad}} \quad (4)$$

2.2.15. Actuadores

Son los encargados de convertir las señales eléctricas de control en señales de mayor potencia eléctrica u otro tipo de señales (Sans y Torres, 2017).

Servomotor TD8130MG: es un actuador rotativo que permite el control preciso de la posición angular, velocidad y aceleración. En la tabla 4 se muestra las características del servomotor TD8130MG.

Tabla 4*Características del servomotor TD8130MG*

Características	Servomotor TD8130MG
Voltaje de operación	4,8 a 7,2 v
Torque	28,5 KG.cm/4,8v; 33,8 KG.cm/7,2v
Modo de control	PWM
Ángulo de giro	180°

Nota. Adaptado de *Servos TD8130MG*. SmartElements (2022).

2.2.16. Placa de desarrollo

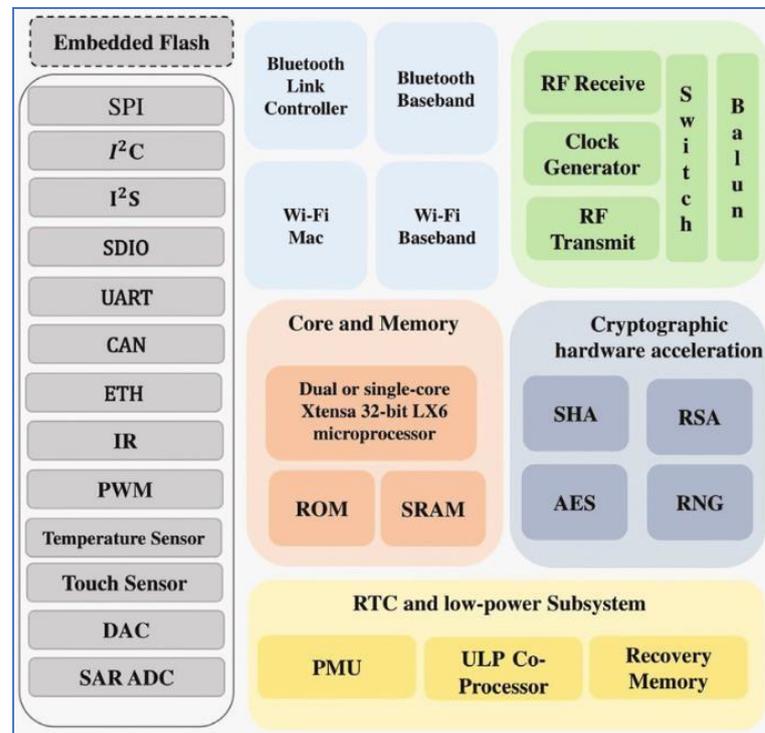
Aguilera (2020) menciona que una placa de desarrollo es un ordenador construido completamente sobre una placa de circuito único, compuesto por microcontroladores, memorias, puertos de entradas y salidas (E/S) analógicas y/o digitales además de las características necesarias para un ordenador funcional. Esta tecnología está revolucionando al mundo por su forma de interactuar con ella a través de una gran cantidad de proyectos, tanto como automatización de hogares, monitorización, robótica, entre otros. La programación del microcontrolador puede variar de lenguaje de programación, esto dependerá del fabricante. Los principales modelos de placa de desarrollo son: Arduino, Raspberry Pi, Adafruit, Jetson, Onion y Espressif.

2.2.17. NodeMCU Esp32

El Esp32 es un sistema de bajo costo y consumo en un chip SoC (System On Chip) que fue creado por Espressif Systems. Su aplicación en electrónica, en el diseño de equipos móviles, IoT, entorno de desarrollo de código abierto y su gran diversidad de bibliotecas la hacen perfectamente adecuada para los desarrolladores Bruno (2019).

El Esp32 incluye wifi y modo dual con bluetooth, integrando un microprocesador Tensilica Xtensa LX6 de doble núcleo con un reloj de 240MHz. A su vez tiene acoplado una antena balun para RF, amplificadores de potencia, amplificador de recepción con bajo nivel de ruido, módulos de administración de energía y filtros, totalmente integrado dentro del mismo chip (Bruno, 2019).

En la figura 17 se observa la composición y partes funcionales que componen al esp32.

Figura 17*Bloques funcionales del Esp32*

Nota. Adaptado de *Fuctional Block Diagram* (p. 12), Espressif Systems (2021).

En la Tabla 5, se muestra las características técnicas principales del Esp32.

Tabla 5*Características técnicas del Esp32*

Características	Esp32
Procesador	Tensilica Xtensa X36
Nº bits	32 bits
Nº núcleos	Dual core
Velocidad	160 MHz hasta 240 MHz
SRAM	512kB
Alimentación	Hasta 16 MiB
Rango de temperatura	2,2 a 3,6 v
Consumo de corriente	-40°C a 125°C
Wifi	802,11 b/g/n (hasta + 20dBm) WEP, WAP
Soft-AP (router virtual)	Si

Encriptación por hardware	si
Bluetooth	V4,2 BR/EDR + BLE
Ethernet MAC interface	10/100Mbps
GPIO	36
Hardware software PWM	1/16
ADC	18 (12 bits)
ADC con pre amplificador	Sí
DAC	2 (8 bits)
UART	4
I2C	2
SPI	4
I2S	2
CAN BUS	1 x 2.0
Sensor touch	10
Sensor temperatura	Si
Sensor hall	Si
IR	Si
Temporizador	4 (64 bits)
Encriptación de la flash	Si

Nota. Adaptado de *Functional Description* (p. 22), Espressif Systems (2021).

2.2.18. Internet de las cosas

La IoT por sus siglas en inglés Internet of Things, hace referencia a la interconexión en red de los objetos electrónicos cotidianos, que por lo general cuentan con algún tipo de dispositivo inteligente, en este contexto, internet puede ser una plataforma para aquellos dispositivos que comunican electrónicamente y puedan compartir información o datos específicos del y con el mundo que los rodea. (Evans, 2011)

2.2.19. Arquitectura de la IoT

Su arquitectura se divide en 3 capas: la capa de interacción de objetos, es donde se encuentran los sensores, los objetos físicos y la obtención de datos: la capa de red, es la encargada de la interconexión de los sensores de la capa 1 con los servidores y procesar los datos recogidos por estos, por último, la capa 3 es la de aplicación es cual da servicios de contenido a los usuarios (Salazar y Silvestre, 2017).

2.2.20. Protocolos de la IoT

Evans (2011) los protocolos que tienen el potencial de conectar dispositivos con plataformas IoT, son:

- OPC UA
- HTTP
- MQTT
- CoAP
- DDS
- AMQP

2.2.21. Base de datos

Es el conjunto de datos almacenados y organizados de forma que un programa del ordenador pueda acceder y seleccionarlos de manera rápida además de ser capaces de ser recobrados, actualizados o borrados.

Existe la base de datos SQL en el cual la información está escrita en el lenguaje de consulta estructurado donde se dispone de una relación predefinida entre sus elementos, además de una base de datos NoSQL, esta es una base de datos no relacional, no cuenta con un identificador que relacione un conjunto de datos con otro, donde la información es organizada como documentos y no requieres que los datos estén estructurados para poder ser manipulados (Ricardo, 2009).

2.2.22. Plataforma IoT

La plataforma IoT es un software que interconecta sensores, operadores, dispositivos o equipos industriales en un entorno digital y crea un medio para la comunicación.

La plataforma IoT puede ir desde plataformas simples utilizadas para almacenar datos y ofrecer interfaces simples para un usuario, hasta sistemas más complejos que permitan el uso de herramientas para realizar predicciones, análisis o crear interfaces más complejas. Una plataforma IoT permite la recopilación de datos enviados desde varios dispositivos interconectados.

Ademas, debería facilitar la creación de aplicaciones, tanto para móviles como para otros dispositivos, que muestren de forma clara los datos recibidos de los dispositivos IoT conectados a la plataforma, además de los datos sobre los que se está trabajando (Evans, 2011).

Alguna de las plataformas de IoT disponibles en el mercado, son: Ubidots, Thingspeak, Xively o Adafruit IO.

2.3. Definición de términos

2.3.1. Paneles solares

Los paneles solares son los encargados de transformar la energía solar en energía eléctrica. Estas, poseen potencias eléctricas típicas de 1.5 W (0.5 V, 3 A) (Morelo y Puello, 2015).

2.3.2. Optimización

Es la capacidad de hacer o resolver alguna cosa de la manera más eficiente posible y, en el mejor de los casos, utilizando la menor cantidad de recursos, en este caso todo en función de la recolección de carga en nuestra batería por medio del panel fotovoltaico (Ebel y Nestel, 2016).

2.3.3. Seguidor solar

Sistema que posiciona los paneles solares de forma perpendicular al sol para la una mayor captación de la luz solar (Lacasa, 2012).

2.3.4. Energía renovable

Son recursos disponibles en cualquier parte del mundo de forma abundante o inagotable porque se renuevan constantemente además no producen gases de efecto invernadero (MINEM, 2018).

2.3.5. Protocolo MQTT

Es un protocolo de comunicación máquina a máquina basado en la pila TCP/IP como base para la comunicación, donde la conexión se mantiene abierta y se reutiliza en cada comunicación (Salazar y Silvestre, 2017).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diseño de la investigación

Debido a que el objetivo de la tesis se enfocó en la optimización de la carga en acumuladores de energía usando paneles fotovoltaicos, se recurrió a un diseño de tipo experimental, una vez culminada la implementación se realizarán pruebas en campo durante las horas de sol, para determinar la optimización de los acumuladores, en comparación a otros trabajos de investigación similares.

3.2. Acciones y actividades

El método de diseño para desarrollar el sistema de seguimiento solar se hará en base a la metodología adaptada del ciclo de vida de un producto (Royce, 1970), en el cual se seguirá las etapas siguientes:

- Determinación de requerimientos
- Desarrollo de un diseño lógico
- Desarrollo de un diseño físico
- Implementación
- Pruebas y optimización

3.3. Determinación de requerimientos

Para la determinación de los requerimientos para el sistema seguidor solar se desarrollarán las siguientes actividades:

La lista de requerimientos del sistema es:

a. funcionalidades

- Adquisición de datos a partir de sensores.
- Procesamiento, transferencia y almacenamiento de datos.
- Detección de la señal de error y corrección del sistema de seguimiento para una mayor obtención de potencia.
- Envío y visualización de los datos en una plataforma IoT.

b. Parámetros de operación

- Tiempo de respuesta del sistema de seguimiento solar para su posicionamiento en elevación y acimut.

- Tiempo de muestreo de la posición del sol.

c. Requerimientos para el diseño del algoritmo de control

Para poder obtener un diseño funcional se debió seguir una metodología de top-down, partiendo desde una caja negra e ir disgregando hasta poder obtener diseños muchos más complejos y precisos sobre lo que se buscaba hacer.

Considerando que el sistema de seguimiento solar de 2 ejes debe contar con una placa de desarrollo capaz de recibir señales de los sensores de luz, para que así pueda procesar los datos y determinar si dictará instrucciones a los actuadores, también existirán señales procedentes de un sensor de corriente, tensión y temperatura que llegarán al placa para que este a través de un red wifi y un protocolo máquina-máquina (M2M) pueda enviarlos a una plataforma IoT para su almacenaje de los datos para su posterior análisis.

d. Requerimientos para el diseño mecánico

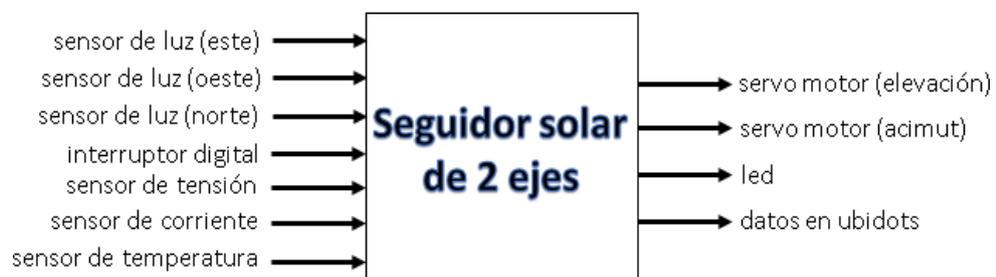
Para el diseño mecánico del sistema se requirió de una estructura que pueda dar soporte a un panel solar, esta estructura debe ser mecánicamente capaz de desplazarse a lo largo de acimut y elevación. También debe ser capaz de soportar el peso de los actuadores y sensores. Tener en cuenta que las pruebas se realizan en campo por lo tanto también debe ser resistente a las condiciones climáticas de la ciudad de Tacna.

3.4. Desarrollo del hardware y software

Tomando en cuenta a lo descrito en las funcionalidades y requerimientos, la concepción del sistema va a partir de un diagrama de caja negra como se observa en la figura 18 esta establece de manera general nuestras entradas y salidas para todo el sistema.

Figura 18

Caja negra del sistema

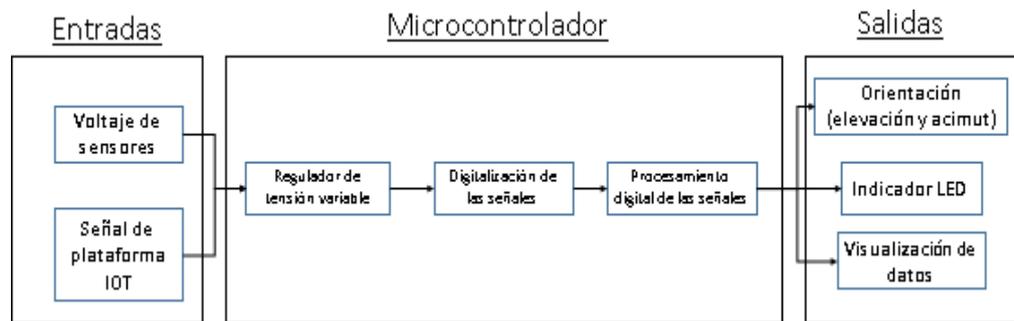


Ahora podemos deducir el flujo de información a través del sistema.

La Figura 19, ya denota de forma más específica cuales son las señales de entradas y cuáles serán los actuadores

Figura 19

Flujo de información del sistema

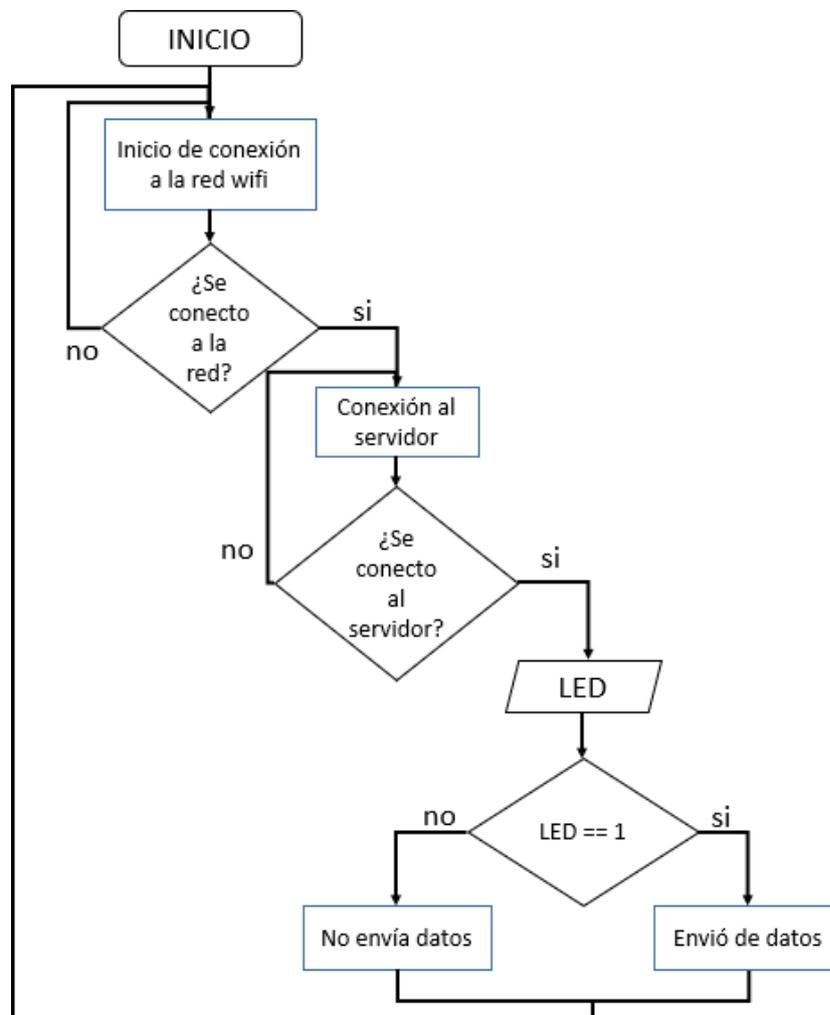


Ahora en la figura 20 se verá un diagrama de software del sistema de conexión a internet que tendrá que realizar la placa de desarrollo.

Solicitará acceso a una red wifi, en caso de no conectarse volverá a enviar la petición, una vez conectado al wifi se procederá con la conexión a la plataforma IoT, en caso de no lograrlo se volverá a enviar la petición; por último, dentro de la plataforma de habilitará un botón, en caso de estar accionado mandará una señal de HIGH al módulo el cual encenderá un led, una vez que se encienda el led, recién se procederá a enviar los datos a la plataforma.

Figura 20

Diagrama de software de conexión a internet y plataforma IoT



Para poder conseguir un buen posicionamiento inicial del seguidor solar, se realizó la figura 21 la cual procederá a hacer un escaneo con respecto al ángulo de elevación y luego al de acimut para determinar el punto con mayor incidencia solar, esto solo se realizará las veces que se encienda el seguidor solar.

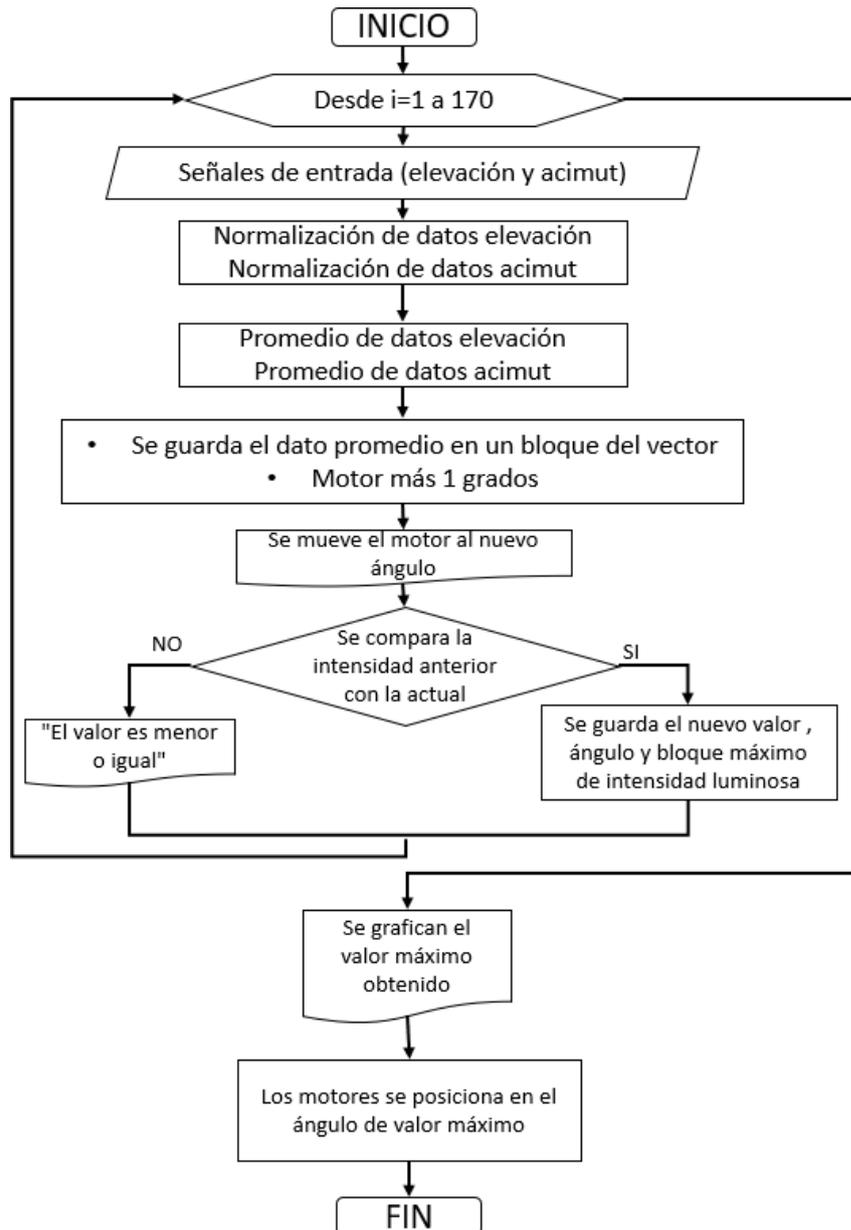
El escaneo comenzará con la normalización de la señal de los sensores de luz, cabe recalcar que se está normalizando para poder evitar las lecturas falsas y así aumentar la precisión, el valor al cual se va a normalizar se calcula a través del método prueba-error, el valor se detallará más adelante.

Una vez normalizado la señal se guardará su valor en un vector junto al ángulo en que se leyó la señal, que para el primer caso sería ángulo de 0° , es ahí cuando el

motor gira $+1^\circ$ y de la misma manera en el vector se guarda el valor de la luz censada y el ángulo, se hará lo mismo hasta llegar al ángulo de 140° . Posteriormente se seleccionará el ángulo en donde se obtuvo mayor lectura de luz y se ordenará a los motores colocarse en ese ángulo. En este punto termina el escaneo.

Figura 21

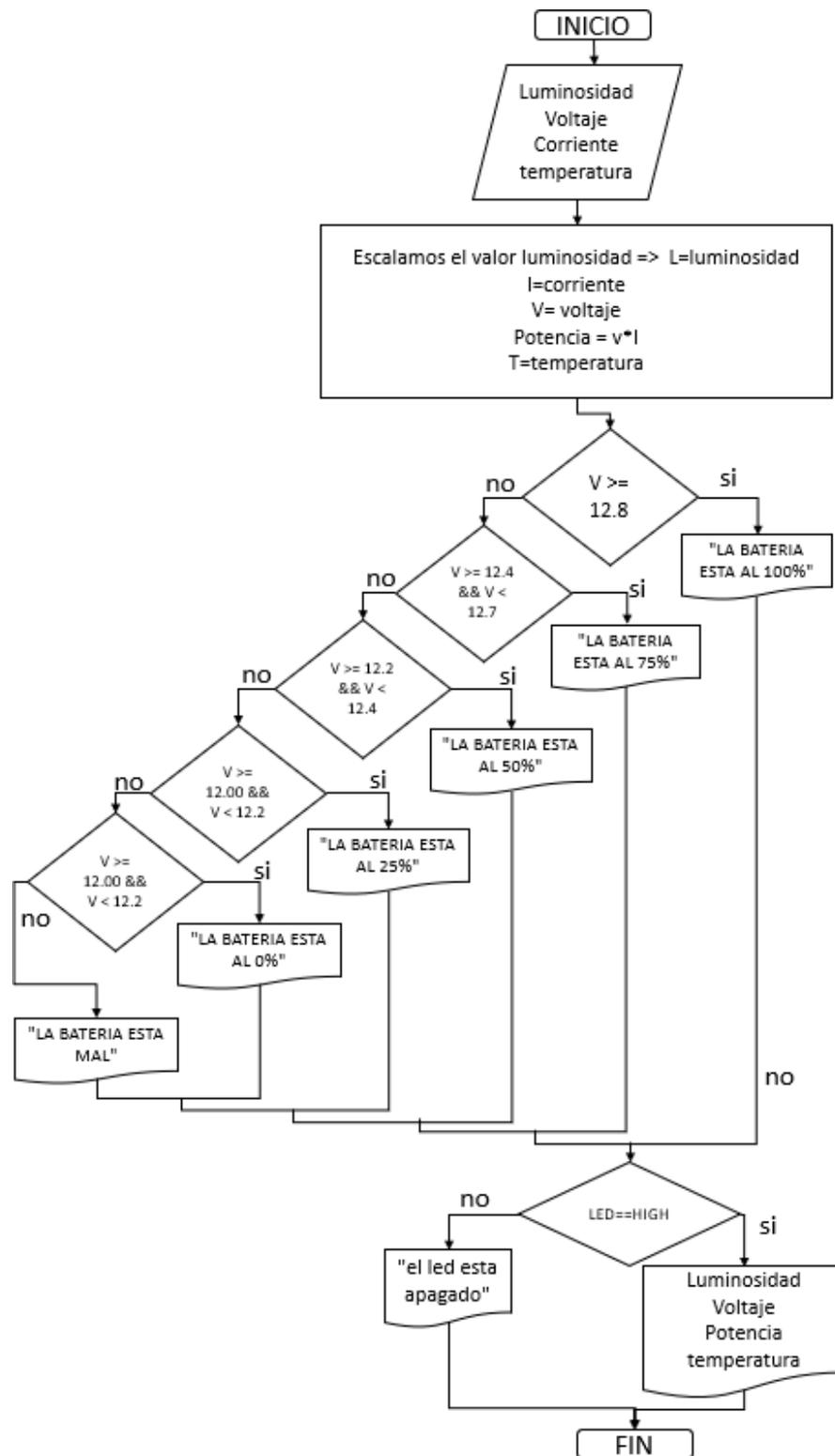
Diagrama de flujo de escaneo al momento de encender el seguidor solar



En la figura 22 se muestra el diagrama de flujo de los datos que se enviarán a la plataforma IoT, pero antes de enviar los datos debemos leer los datos que nos dan los sensores de luz, el de voltaje, el de corriente y el de temperatura, la lectura de voltaje nos ayudará a saber cuánta carga tiene la batería que está conectada al regulador de voltaje, si el valor es $\geq 12,8$ v imprimirá un mensaje que diga "la batería está al 100 % de su capacidad", cuando esté entre 12,7 v y 12,4 v se imprimirá un mensaje que diga "la batería está al 75 %", cuando el voltaje esté entre 12,4 v y 12,2 v mostrará un mensaje que diga "la batería está al 25 %", cuando el voltaje esté entre 12,2 v y 12,0 v mostrará un mensaje que diga "la batería está al 0 %" y cuando sea menor a 12 v el mensaje a imprimir será "la batería está mal". Aparte de ello se calculará la potencia que se está generando, para ello se multiplicará el voltaje por la corriente, por último, si el interruptor de la plataforma está en modo HIGH se procederá a enviar los datos a la plataforma IoT.

Figura 22

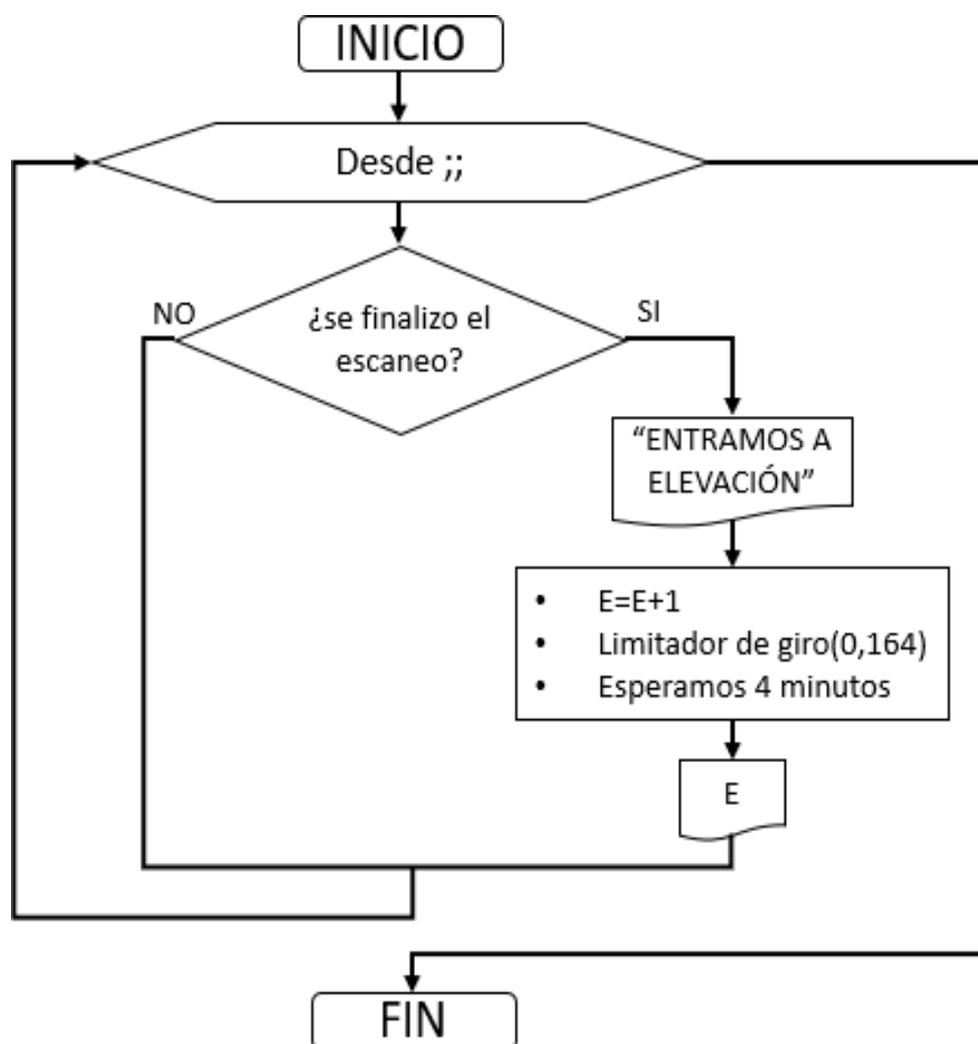
Diagrama de flujo de los datos que se enviará a la plataforma IoT



En paralelo la figura 23, se estará ejecutando el control de orientación solar. El sistema de control de orientación tanto para elevación como acimut no serán las misma. La página web SunEarthTools nos permitió determinar que el sol se desplaza 1° cada 4 minutos, por lo cual después de hacer el escaneo y conseguir un ángulo óptimo de incidencia solar, este se desplazará 1° cada 4 minutos.

Figura 23

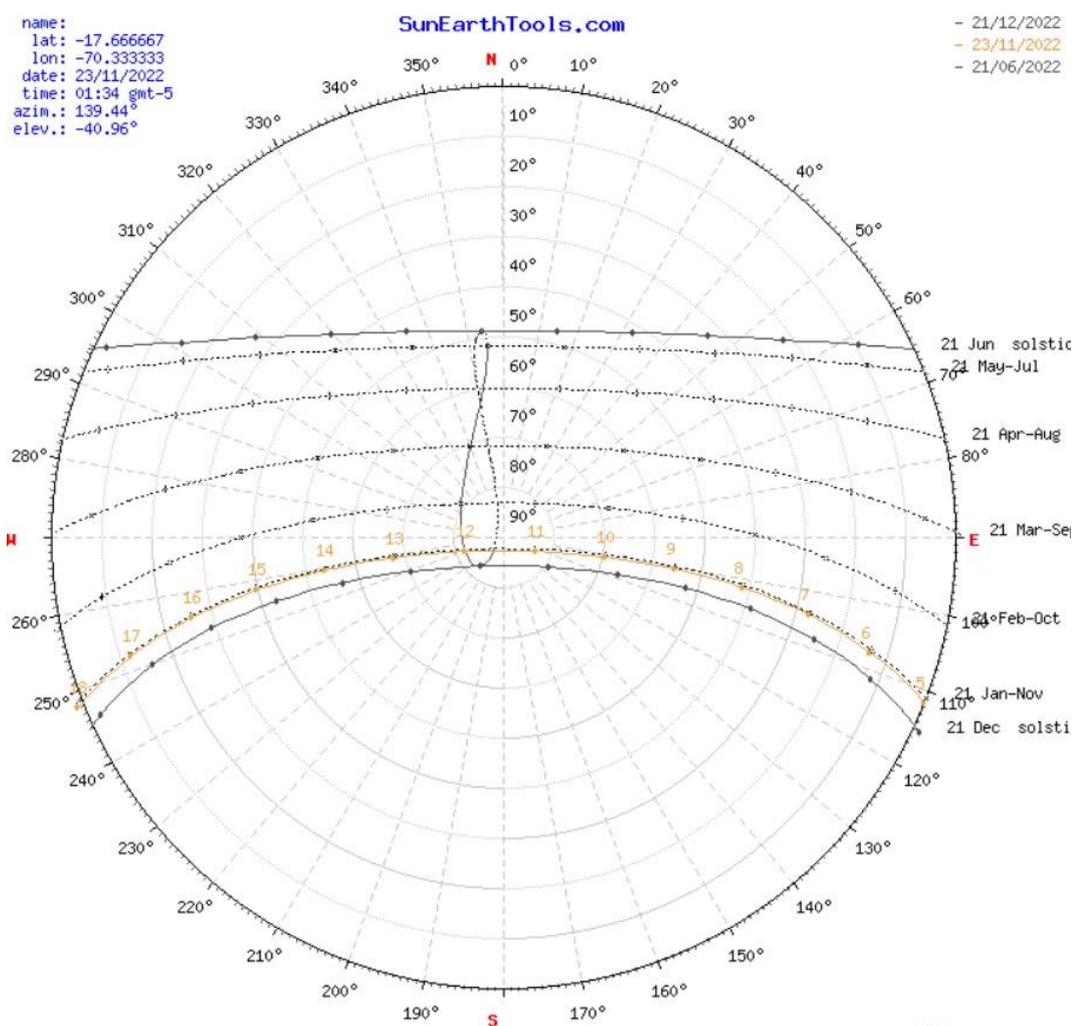
Diagrama de flujo de control de orientación elevación



Y para acimut se hará un seguimiento solar a través de la comparación de la lectura de los sensores de luz solar, debido a que el desplazamiento del sol en acimut varía de acuerdo a los meses del año y también durante el día, esto lo podemos notar en la figura 24, el cual es una carta solar proporcionada por la página web SunEarthTools.

Figura 24

Desplazamiento solar acimutal

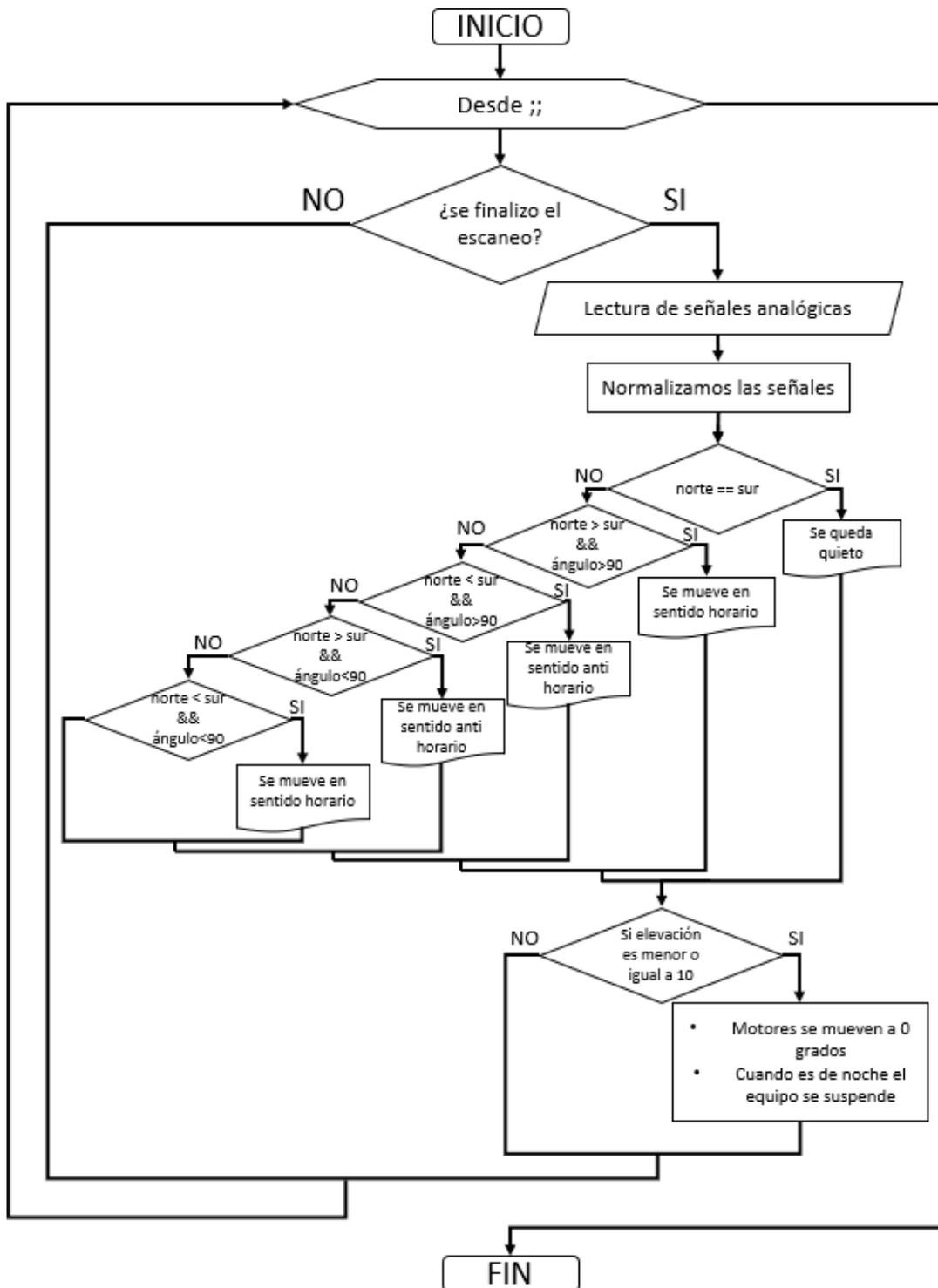


Nota. Adaptado de SunEarthTools (2022)

En la figura 25 se observa el diagrama de flujo de control de orientación en acimut, el cual nos indica que una vez que se finalice el escaneo, se procederá a realizar lecturas de las señales analógicas normalizadas de los 2 paneles en acimut, posterior a esto se compararan en caso sean iguales en panel se quedara quieto, en caso sean distintos, se moverá al que tenga mayor valor y por último en caso tengan valores muy bajos, el equipo se apagara para ahorrar energía.

Figura 25

Diagrama de flujo de control de orientación acimut



3.4.1. Panel solar

Para este equipo tan fundamental se tomó como requisitos

Tamaño: Debido a que el motor va a girar el equipo tendrá que ser de un peso menor o igual al que soporte el torque del motor

En este caso Compramos el servomotor (TD-8130MG), este tiene un torque de 32 kg/cm.

Esto nos quiere decir que a 1 cm de distancia este puede cargar 32 kg.

Teniendo en cuenta que ningún panel mide 1cm y menos uno comercial, se calculara el peso con respecto a la distancia:

$$\text{Peso que soporta} = \frac{\text{peso}}{\text{distancia}} \quad (5)$$

En la tabla 6 se muestra la relación entre el peso que soporta el motor y la distancia con respecto a su eje.

Tabla 6

Torque del motor

Distancia	Peso que soporta
2 cm	16 kg
3 cm	10,6 kg
5 cm	6.4 kg
10 cm	3,2 kg
17 cm	1,88 kg
20 cm	1,6 kg

El panel escogido es el panel más grande proporcional al torque como se observa en la figura 26, el cual tiene una medida de 17 cm respecto al motor, tiene un peso de 1.8kg; por tanto, está dentro del rango de peso que soporta el servo motor.

Figura 26*Panel Solar de 20 W*

A continuación, en la tabla 7 se muestra los datos técnicos del panel solar:

Tabla 7*Standard Test Condition (STC)*

Standard Test Condition (SCT) panel solar 20 W

G	1000 w/m ²
Temperature	25°C
Pmax	20 W
Isc	1,27 amp
VOC	22,5 v
Imp	1,14 amp
Vmp	17,5 v

El STC del panel solar son datos obtenidos en un laboratorio bajo ciertas condiciones las cuales no se acomodan a nuestra realidad por tanto se hizo pruebas al panel en campo (ciudad de Tacna), para adquirir datos de acuerdo a nuestra realidad. Los datos que se obtuvieron fueron los siguientes:

- V_{mp} : 17 v
- I_{mp} : 2,2 amp
- V_{oc} : 24,1 v
- I_{sc} : 2,73 amp
- Temperatura: 21°C

Calculamos el factor de forma:

$$FF = \frac{V_{mp} * I_{mp}}{V_{oc} * I_{sc}} \quad (6)$$

Reemplazamos valores:

$$FF = \frac{17 * 2,2}{24,1 * 2,73} = 0,57$$

Calculamos la potencia máxima:

$$P_m = V_{mp} * I_{mp} \quad (7)$$

$$P_m = 17v * 2,2amp = 37,4W$$

Calculamos la eficiencia:

Área del panel solar: 47cm*34,7cm

G (irradiancia): 1000 W/m²

$$\eta = \frac{FF * V_{oc} * I_{sc}}{G * Area} \quad (8)$$

$$\eta = \frac{0,57 * 24,1v * 2,73A}{1000w/m^2 * 0,1631m^2} = 0,23$$

Representación en porcentaje de la eficiencia:

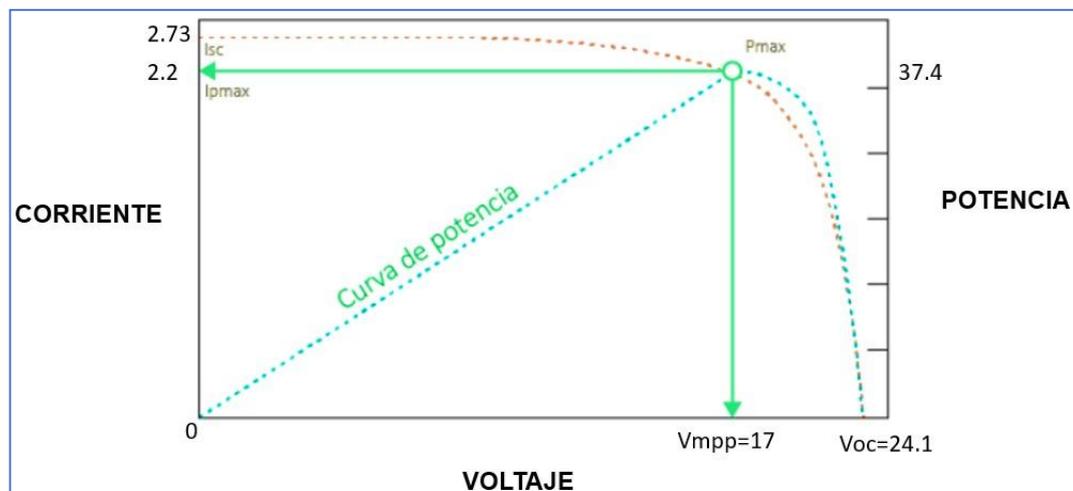
$$\eta = 0,23 * 100 = 23 \%$$

Esto da a entender que de la irradiación de un metro cuadrado solo estamos aprovechando el 23 % esto debido al tamaño del panel solar.

Da los datos anteriores podemos determinar las curvas de corriente, voltaje y potencia como se representa en la figura 27 y se deduce que los equipos conectados al panel solar máximo deben consumir 17 v DC debido a que si supera este voltaje ocurrirá una caída de voltaje.

Figura 27

Curvas voltaje, corriente y potencia



Teniendo en cuenta que la temperatura en Tacna es fluctuante teniendo un mínimo de 9°C y un máximo de 26,3°C, tenemos que calcular el voltaje, corriente y potencia del circuito abierto y con carga. Para ello comenzaremos a calcular el Nominal Operating Cell Temperature (NOCT) para la temperatura mínima y máxima de Tacna y su ecuación es:

$$T_{\text{módulo}}(^{\circ}\text{C}) = T_{\text{ambiente}}(^{\circ}\text{C}) + G \left(\frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \right) * \frac{\text{NOTC} - 20^{\circ}\text{C}}{0,8 \left(\frac{\text{KW}}{\text{m}^2} \right)} \quad (9)$$

Cálculo de la temperatura de operación del panel solar a 26.3°C:

$$T_{\text{módulo}}(^{\circ}\text{C}) = T_{\text{ambiente}}(^{\circ}\text{C}) + G \left(\frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \right) * \frac{\text{NOTC} - 20^{\circ}\text{C}}{0,8 \left(\frac{\text{KW}}{\text{m}^2} \right)}$$

Donde:

- $T_{\text{ambiente}}(^{\circ}\text{C}): 26,3^{\circ}\text{C}$
- $G \left(\frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \right) = 1 \left(\frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \right)$
- $\text{NOTC}: 47^{\circ}\text{C}$

$$T_{\text{módulo}}(^{\circ}\text{C}) = 26,3^{\circ}\text{C} + 1 \left(\frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \right) * \frac{47^{\circ}\text{C} - 20}{0,8 \left(\frac{\text{KW}}{\text{m}^2} \right)} = 59,85^{\circ}\text{C}$$

Se obtiene que, a una temperatura ambiente en Tacna de 26,3°C, el panel solar tendrá una temperatura de 59,85°C

Cálculo de la temperatura de operación del panel solar a 9°C:

$$T_{\text{módulo}}(^{\circ}\text{C}) = T_{\text{ambiente}}(^{\circ}\text{C}) + G \left(\frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \right) * \frac{\text{NOTC} - 20^{\circ}\text{C}}{0,8 \left(\frac{\text{KW}}{\text{m}^2} \right)}$$

$$T_{\text{módulo}}(^{\circ}\text{C}) = 9 + 1 \left(\frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \right) * \frac{47^{\circ}\text{C} - 20}{0,8 \left(\frac{\text{KW}}{\text{m}^2} \right)} = 42,75^{\circ}\text{C}$$

Se obtiene que, a una temperatura ambiente en Tacna de 9°C, el panel solar tendrá una temperatura de 42.75°C

Cálculo de voltaje de corto circuito a 26.3°C:

$$V_{oc(Tmin)} = V_{oc-T_{STC}} + V_{oc-T_{STC}} * \beta * (T_{max} - 21^{\circ}) \quad (10)$$

Donde:

- $V_{oc-T_{STC}}: 24,1v$
- $\beta: \frac{(-0,33)\%}{100^{\circ C}}$
- $T_{max}: 26,3^{\circ C}$

$$V_{OC(T_{max})} = 24,1v + 24,1v * (-0,33) \frac{\%}{100^{\circ C}} * (26,3^{\circ C} - 21^{\circ})$$

$$V_{OC(T_{max})} = 23,6v$$

Se obtiene que, el voltaje de corto circuito a una temperatura de $26,3^{\circ C}$ será $23,6 v$.

Cálculo de voltaje de corto circuito a $9^{\circ C}$:

$$V_{OC(T_{min})} = V_{oc-T_{STC}} + V_{oc-T_{STC}} * \beta * (T_{min} - 21^{\circ})$$

Donde:

- $T_{min}: 9^{\circ C}$

$$V_{OC(T_{min})} = 24,1 + 24,1 * (-0,33) \frac{\%}{100^{\circ C}} * (9 - 21^{\circ})$$

$$V_{OC(T_{min})} = 25,1 v$$

Se obtiene que, el voltaje de corto circuito a una temperatura de $9^{\circ C}$ será $25,1 v$.

Cálculo de voltaje con carga a $26,3^{\circ C}$:

$$V_{mpp(T_{mod-max})} = V_{MPP-T_{STC}} + V_{MPP-T_{STC}} * \beta * (T_{modulos-max} - 21^{\circ C})$$

Donde:

- $T_{modulos-max} : 59,85^{\circ C}$

$$V_{mpp(T_{mod-max})} = 17 + 17 * (-0,33) \frac{\%}{100^{\circ C}} * (59,85^{\circ C} - 21^{\circ C})$$

$$V_{mpp(T_{mod-max})} = 14,8v$$

Se obtiene que, el voltaje con carga a una temperatura ambiente de $26,3^{\circ C}$ será $14,8 v$

Cálculo de voltaje con carga a 9°C:

$$Vmpp_{(T_{mod-min})} = V_{MPP-T_{STC}} + V_{MPP-T_{STC}} * \beta * (T_{modulos-min} - 21^{\circ}C)$$

Donde:

- $T_{modulos-min}: 42,75^{\circ}C$

$$Vmpp_{(T_{mod-min})} = 17 + 17 * (+0.33) \frac{\%}{^{\circ}C} / 100 * (42,75^{\circ}C - 21^{\circ}C)$$

$$Vmpp_{(T_{mod-min})} = 18,2v$$

Se obtiene que, el voltaje con carga a una temperatura ambiente de 9°C será 18,2 v.

Cálculo de voltaje con carga a 26,3°C:

$$Vmpp_{(T_{mod-max})} = V_{MPP-T_{STC}} + V_{MPP-T_{STC}} * \beta * (T_{modulos-max} - 21^{\circ}C)$$

Donde:

- $T_{modulos-max}: 59,85^{\circ}C$

$$Vmpp_{(T_{mod-max})} = 17 + 17 * (-0.33) \frac{\%}{^{\circ}C} / 100 * (59,85^{\circ}C - 21^{\circ}C)$$

$$Vmpp_{(T_{mod-max})} = 14,8v$$

Se obtiene que, el voltaje con carga a una temperatura ambiente de 26,3°C será 14,8 v.

Cálculo de la potencia máxima del panel a 9°C:

$$Pmpp_{(T_{mod-max})} = P_{MPP-T_{STC}} + P_{MPP-T_{STC}} * \gamma * (T_{modulos-min} - 21^{\circ})$$

Donde:

- $T_{modulos-min}: 42,75^{\circ}C$

$$P_{mpp(T_{mod-min})} = 37.4w + 37.4w * (+0.45) \frac{\%}{^{\circ}C} / 100 * (42.75^{\circ}C - 21^{\circ}C)$$

$$P_{mpp(T_{mod-min})} = 41w$$

Se obtiene que, la potencia máxima que se conseguirá a una temperatura ambiente de 9°C será 41w.

Cálculo de la potencia máxima del panel a 26.3°C:

$$P_{mpp(T_{mod-max})} = P_{MPP-T_{STC}} + P_{MPP-T_{STC}} * \gamma * (T_{modulos-max} - 21^{\circ})$$

Donde:

- $T_{modulos-max} : 59.85^{\circ}C$

$$P_{mpp(T_{mod-max})} = 37,4w + 37,4w * (-0,45) \frac{\%}{^{\circ}C} / 100 * (59,85^{\circ}C - 21^{\circ}C)$$

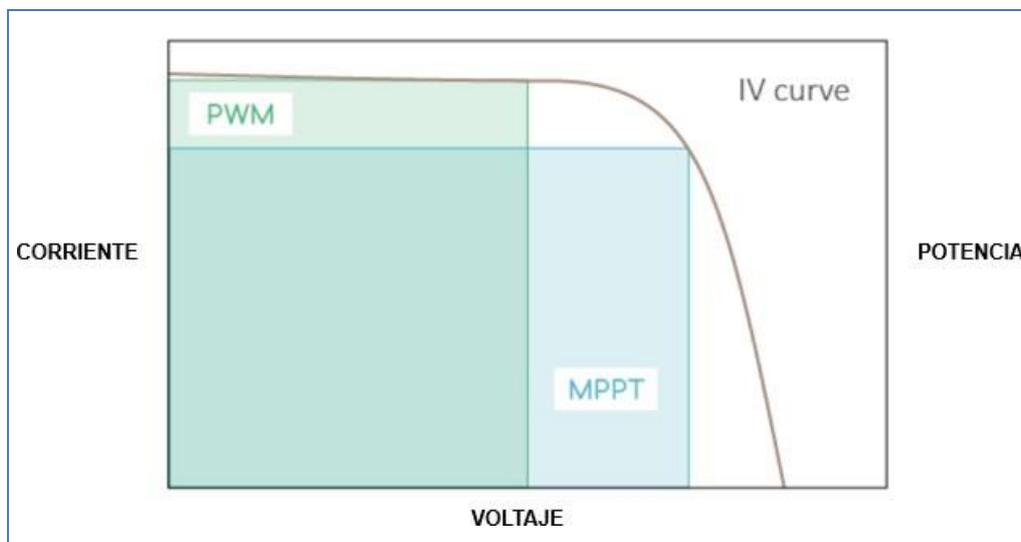
$$P_{mpp(T_{mod-max})} = 30,8w$$

Se obtiene que, la potencia máxima que se conseguirá a una temperatura ambiente de 26,3°C será 30,8 w.

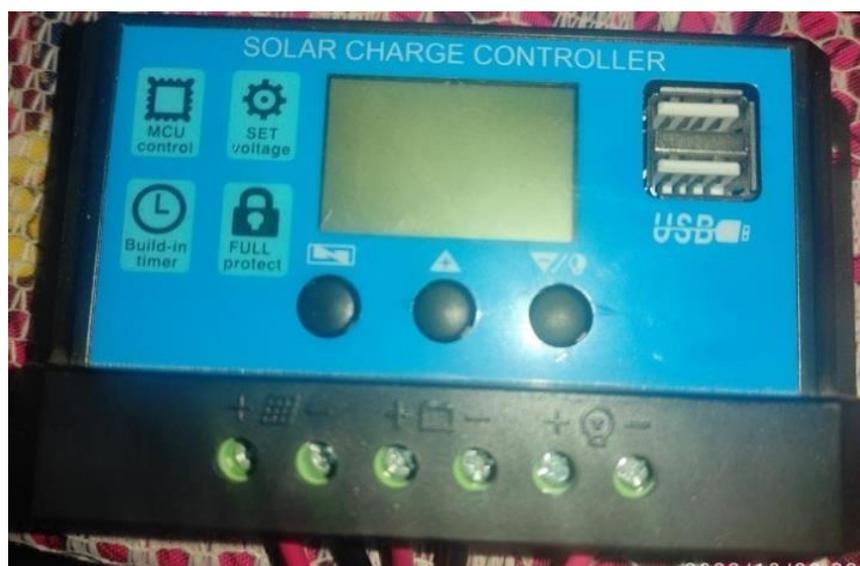
3.4.2. Regulador de carga

Considerando la curva anterior se elige un regulador capaz de mantener el voltaje de consumo por debajo de los 17 v para evitar la caída de potencia. Para ello existen 2 tipos de reguladores el PWM y el MPTT, los cuales se comportan según la siguiente curva.

De la Figura 28, el regulador MPPT es el más efectivo, pero económicamente resulta muy caro, a cambio del regulador PWM el cual disminuye el voltaje hasta un 20 % con respecto al voltaje máximo que en nuestro caso sería 17 v pasando a 12 v. Para nuestro sistema de seguimiento solar usaremos el regulador PWM debido a su bajo precio, pero nos limitará a usar un acumulador de energía de 12 v.

Figura 28*Curva regulador PWM y MPPT*

En la figura 29, se puede observar nuestro regulador de carga comparado para nuestro panel solar, sus 2 primeras entradas con del panel, las 2 siguientes son de la batería y los 2 últimos son para una carga, también contando con 2 puertos entrada USB para cargar dispositivos.

Figura 29*Regular de Carga*

3.4.3. Batería

La batería actuará como la carga en nuestro sistema fotovoltaico, el cual tendrá el propósito de permitirnos hacer la lectura en todo el día, para esto tendrá que llenarse en 12 horas y sabiendo que nuestro panel es de 20 W (12 v y 1,5 A), podremos hallar cuantos Ah deberá almacenar nuestro panel como mínimo.

$$\text{Horas} = \frac{I_{\text{bateria}}}{I_{\text{panel}}} \quad (11)$$

despejamos la corriente de batería

$$I_{\text{bateria}} = \text{Horas} * I_{\text{panel}}$$

Reemplazamos los valores:

$$I_{\text{bateria}} = 12 \text{ h} * 1,5 \text{ A}$$

$$I_{\text{bateria}} = 18 \text{ Ah}$$

Esto nos permite saber que necesitamos como mínimo una batería de 18 Ah.

Con respecto a los tipos de baterías se decantó por la VRLA (Valve Regulated Lead Acid), debido a que, a diferencia de otras baterías, esta es sellada, desde el aspecto de la salud es muy importante, pues muchas de las baterías contienen ácido sulfúrico (tóxico), como las baterías de plomo, además la VRLA no requiere de mantenimiento alguno, lo cual nos facilita la instalación y lectura del sistema fotovoltaico, aunque tenga un costo muy elevado.

En la figura 30 se observa la batería VRLA que se compró, el cual es de la marca Kazo y tiene las características requeridas, como la corriente de 18 Ah.

Figura 30*Batería VRLA de 18Ah*

3.4.4. Angulo de orientación

Este aspecto se mencionará debido a que el panel al ser estático, no tendrá un aprovechamiento continuo de la luz solar, es por ello que entidades como la nasa, indican los ángulos más óptimos de cada mes en el año con respecto a:

- Coordenadas
- Temperatura

En la figura 31 se observa la página de la Nasa que nos proporciona un conjunto de datos solares y meteorológicos recolectados desde el 2001 al 2020.

Figura 31*Nasa Meteorology*

En la figura 32 se observa el ingreso de las coordenadas de mi domicilio, que es lugar donde se realizan las pruebas.

Figura 32

Coordenadas obtenidas en Nasa Meteorology

servicio mundial de geocodificación de ArcGIS

POTENCIA Punto único

1. Elija una comunidad de usuarios
Energía renovable

2. Elija un Promedio Temporal
Diariamente

3. Ingrese Lat/Lon o agregue un punto al mapa

Lat: -17.9965 (-90 a +90 grados decimales) (-180 a +180 grados decimales)

Claro: -70.2353

4. Seleccione Fecha de inicio de extensión de tiempo

Luego nos entregaran las coordenadas y al final de la página podremos seleccionar los parámetros que queramos descargar, en este caso:

- Temperatura máxima
- Temperatura mínima
- Radiancia
- Radiación
- Ángulo más óptimo

Una vez seleccionados los parámetros se procedió a descargar los archivos, los cuales la nasa los entrega en un Excel.

En la tabla 8 se muestra el ángulo más óptimo para el panel solar con respecto a los diferentes meses del año calendario.

Tabla 8*Determinación de ángulo óptimo*

Parámetros	Ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Temperatura máxima	28,32	25,78	27,68	26,55	28,04	27,23	27,29	28,12	27,51	28,55	26,66	26,87
Temperatura mínima	8,33	8,29	8,21	7,4	5,22	5,64	3,5	4,13	5,33	4,97	6,87	7,29
Irradiación solar optima	6,73	6,28	6,7	7,05	7,34	6,86	7,25	7,43	7,42	7,71	8,04	7,75
Angulo mas óptimo	0	1	14,5	30,5	43	46,5	46,5	37,5	23	7	0	0
Orientación de las superficies inclinadas de la radiación solar	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N

Al observar la anterior tabla se podrá concluir lo siguiente:

- El mes con mayor temperatura es octubre con 28,55 °C y este supera la temperatura de pruebas del fabricante, el cual es 25 °C, entonces al tener una diferencia del 3,55 °C, se estaría probando con respecto a la temperatura, en la peor situación presente en Tacna.
- Con respecto a las temperaturas bajas, no influyen según datos del fabricante, siendo el mes más frío julio con 3,5 °C
- La irradiación mayor se obtiene en los meses de octubre, noviembre y diciembre, debido a que el sol esta perpendicular a la tierra en esos meses
- Al realizar las pruebas en campo, en el mes de octubre, se colocó al panel estático en un ángulo de 7 grados como se indica en el gráfico.
- La orientación es al norte debido a que estamos en el hemisferio sur, el panel siempre tiene que apuntar al ecuador.

3.4.5. Sensores

Al declarar como uno de nuestros objetivos la comparación entre un panel estático y uno móvil (tracker solar), se decidió hacer la comparación por medio de la variable de potencia, pues esta variable es la que produce cualquier panel solar, en nuestro caso hicimos la prueba con un panel con potencia de 20 W.

Y para el cálculo de esta variable potencia se depende por ley de ohm del voltaje y la corriente.

$$\text{Voltaje} = \text{Corriente} * \text{resistencia} \quad (12)$$

Es por ello que utilizamos un sensor de corriente y un sensor de voltaje.

Para el seguimiento del sol, un sensor de intensidad luminosa.

Y ya que la temperatura en el panel es un factor muy importante también, usamos un sensor de temperatura.

Ahora detallaremos a más profundidad cada uno:

- Sensor de corriente:

Para la medición de corriente, existen 2 maneras para medirlo:

- Efecto hall
- Resistencia Shunt

Se probó con ambos, por parte de la resistencia shunt, el cual usan los multímetros para medir la corriente, donde se tuvo un conflicto pues la corriente entrega al esp32 era demasiado

Es por ello que se utilizó el sensor de efecto hall, del cual existen 3 modelos:

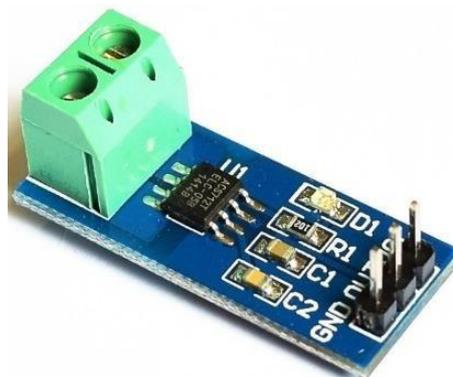
- 30A
- 10A
- 5A

Debido a que, en nuestro sistema fotovoltaico, se cuenta con un panel que entrega máximo una corriente de 1.5 A.

como se observa en la figura 33 se utilizó el sensor de efecto hall de 5 A.

Figura 33

Sensor de corriente ACS712



- Sensor de voltaje:

Para medir el voltaje existen 2 tipos de sensores:

- Módulo de voltaje
- Divisor de tensión

Con respecto al módulo de voltaje, este requiere de alimentación, presenta problemas con las señales enviadas, pues está diseñado para convertir 12 v a 5 v, siendo que el esp32, solo puede recibir como máximo en su ADC 3,3 v, al analizar mejor este módulo, se observó que solo contaba con 2 resistencias, haciendo un divisor de tensión.

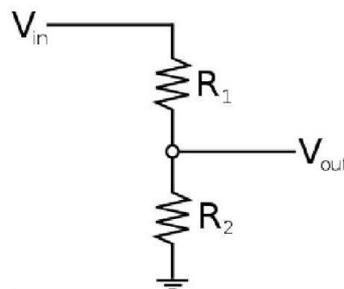
Es por ello que se decidió realizar un divisor de tensión para una entrada de 13 v (entregado por el panel solar) a 3,3 v (recibe el esp32).

Para ello tendremos que calcular que resistencias necesitamos para estos requisitos.

En la figura 34 se observa una representación de nuestro sistema divisor de tensión, para ello necesitamos hallar R1 y R2.

Figura 34

Representación del divisor de tensión



Formula del divisor de tensión:

$$V_{salida} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{entrada}$$

Probaremos valores para la resistencia,

R1=30 kohm y R2=10 kohm

$$V_{salida} = \frac{10 \text{ kohm}}{30 \text{ kohm} + 10 \text{ kohm}} * 13v$$

$$V_{salida} = \frac{10 \text{ kohm}}{40 \text{ kohm}} * 13v$$

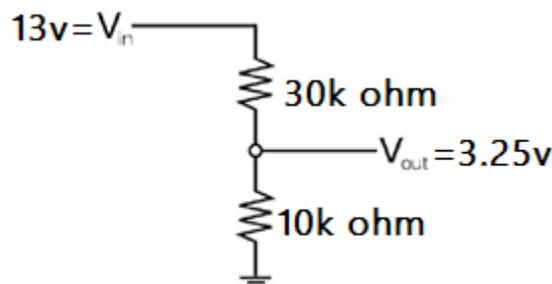
$$V_{salida} = 0,25 * 13v$$

$$V_{salida} = 3,25v$$

Como podemos observar en la figura 25, con esas resistencias se consigue un valor muy próximo a 3,3 v, además que son resistencias que se pueden encontrar y conseguir, para evitar el uso de potenciómetros.

Figura 35

Divisor de tensión calculado



- **Sensor solar**

Este sensor nos permitirá hacer el seguimiento solar, donde en todas las tesis observadas se recurrieron a LDRs o módulos de LDR, pero para nuestro caso se considera el uso de Mini paneles solares, Para lo cual se realizó una comparación de sus lecturas que se muestran en la tabla 9.

En esta tabla se puede observar el comportamiento de los sensores.

Empezando por el módulo LDR, este presenta problemas tales como: requiere alimentación de 5 v, puede llegar a entregar una señal mayor a 4,5 v, lo cual puede dañar la entrada analógica del esp32, pues este solo aguante una señal de entrada de 3,3 v y la sensibilidad del mismo es muy grande, pues con el foco ya quiere tomar valores próximos al 0, en caso del sol, que tiene un área mucha más amplia, será menos preciso en el censado del sol.

Con respecto al LDR este también requiere una alimentación de 5 v, y es mucho menos preciso, presentando una variación fluctuante de sus señales, como si estuviera con mucho ruido.

Con respecto al Mini panel solar, es un elemento pasivo (no requiere alimentación), entrega una señal de 3,3 v el cual no dañara el ADC del esp32, tiene una sensibilidad menor, pues se observa a que con el foco no toma la mitad del valor máximo del panel (1,5 v).

Es por ello que se recurrió al uso del Mini panel solar como sensor de Luz.

Tabla 9

Comparación panel solar vs Módulo LDR con foco de 70 W

Panel solar	Voltaje (v)	Módulo Ldr	Voltaje(v)
Angulo		Angulo	
0	0,2	0	3,6
10	0,2	10	3,34
20	0,3	20	2,85
30	0,7	30	2,31
40	1	40	2,12
50	1,2	50	1,55
60	1,3	60	0,67
70	1,5	70	0,49
80	1,6	80	0,45
90	1,6	90	0,36
100	1,6	100	0,48
110	1,5	110	0,58
120	1,5	120	0,9
130	1,4	130	1,72
140	1,2	140	2,17
150	0,9	150	2,81
160	0,7	160	3,29
170	0,4	170	3,84
180	0,3	180	4,04

En la figura 36, se observa en sensor panel que se compró uno para cada coordenada.

Figura 36

Sensor panel

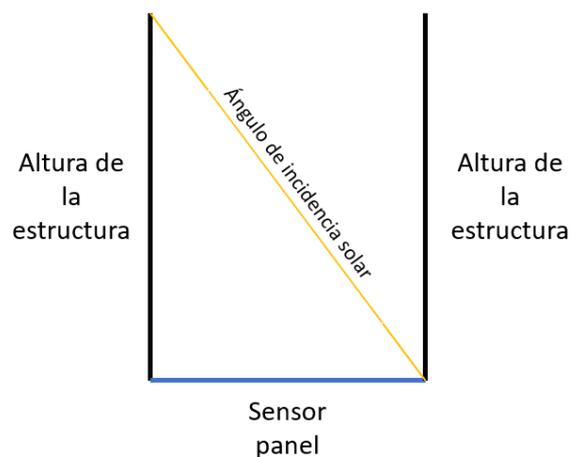


Para reducir la sensibilidad aún más del equipo, pues en campo se observó que, debido a la reflexión de la luz del sol, tomaba valores más altos, se recurrió a realizar un arreglo, una estructura de cierto tamaño de alto, para que así solo ingrese la luz directa del sol y no la reflejada por las superficies.

Como se observa en la figura 37, para realizar esto tendremos que establecerle una altura a la estructura, esto lo realizaremos usando las razones trigonométricas en específico la tangente.

Figura 37

Representación de estructura



Observando la gráfica, se cuenta con un Mini panel solar de 6cm de largo, y un ángulo del sol que dependerá de la altura de la estructura, pues entre más alto sea este, el ángulo será menor, por ende, más preciso en seguir al sol.

$$\tan(\text{ángulo del sol}) = \frac{x}{6} \quad (13)$$

Despejando x:

$$x = \tan(\text{ángulo del sol}) * 6$$

Probando diferentes ángulos del sol obtenemos los datos que se muestra en la tabla 10.

En esta tabla 10 mostramos la altura de la estructura escogida, la cual es 16,5 cm, tratando de escoger una altura no muy exagerada, con un buen ángulo con respecto al sol el cual es de 70°, eso nos quiere decir que a 70° el panel estará totalmente oscuro, permitiendo al seguidor solar buscar el sol.

Tabla 10

Valores para altura de la estructura

Tamaño de panel	cm	Angulo del sol	X (altura de la estructura)
6	cm	64	12,30182305
6	cm	65	12,86704152
6	cm	66	13,47622064
6	cm	67	14,13511419
6	cm	68	14,85052112
6	cm	69	15,63053439
6	cm	70	16,48486452
6	cm	71	17,42526527
6	cm	72	18,46610122
6	cm	73	19,62511571
6	cm	74	20,92448666
6	cm	75	22,39230485
6	cm	76	24,0646856

En la figura 38 se muestra la estructura ya concluida y colocado con los sensores paneles.

Figura 38

Estructura diseñada



- Sensor de temperatura

Se usó el sensor DHT22 debido a su alta fiabilidad a la hora de hacer lecturas y a su bajo costo.

3.4.6. Actuadores

Servo motor TD8130MG: Se hizo el uso de 2 de estos servos debido a que entrega el torque suficiente como para desplazar tanto en elevación y acimut el panel solar y su estructura.

3.4.7. Placa de desarrollo

Antes de escoger el módulo se tuvo que hacer una elección entre todos los que se encuentran en el mercado actualmente y para ello primero se hizo un cuadro de lo mínimo que debe tener el módulo de desarrollo, considerando el tipo de sensores y actuadores que se usaran. En la tabla 11 se muestra los requerimientos para el módulo de desarrollo.

Tabla 11*Requerimiento para el módulo de desarrollo*

Equipos	Tipo de señal	Tipo y cantidad de puertos
Sensor presencia de luz	analógicos	Input: 4
Divisor de voltaje	Analógico	Input: 1
Sensor de amperaje	analógico	Input: 1
Sensor temperatura	Analógico	I2C: 1
Actuador	PWM	Output: 2
Protocolo de red	MQTT	
Protocolo wifi	802,11 b/g/n (2,4 Ghz)	
Bajo costo		

Considerando todos los requisitos, se muestra en la tabla 12 con los posibles equipos que podemos encontrar en el mercado:

Tabla 12*Elección de módulos de desarrollo*

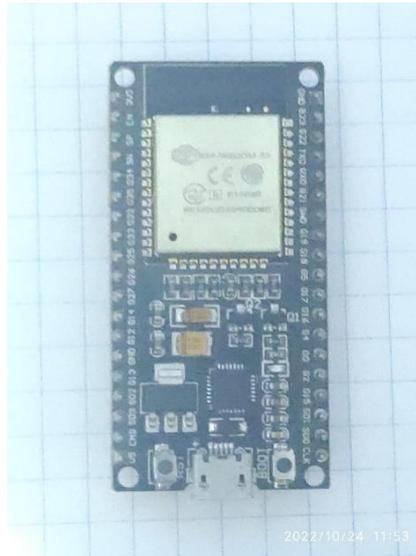
Módulos de desarrollo									
Requerimientos	Arduino Uno	Arduino Nano Pro	Arduino Mega	ESP32	ESP8266	Psoc 4200DS	RaspBerry Pi 3		
Bits	8bits	8bits	10bits	32bits Dual Core A: 6 con uso wifi	32 Single Core A: 1	32bits	64bits		
GPIO	D: 14 A:6	D: 14 A:6	D: 54 A:16	A: 16 sin uso wifi PWM:6 D:10	PWM: 4 D: 17	36	40		
Interfaces de comunicación y protocolos	SPI y I2C	SPI, UART y I2C	SPI y I2C	SPI, I2C, UART WIFI BLUETOOTH IPv4, IPv6, SSL, TCP/UDP/HTTP/FTP/MQTT	SPI, I2C, UART WIFI IPv4, TCP/UDP/HTTP/MQTT	I2C, SPI y UART	WIFI: 2.5-5GHZ BLUETOOTH Ethernet USB CSI DSI		
Voltaje de operación	5 V	3,3 – 5 V	7 -12 V	3.3 – 5 V (ULP)	3.3 – 5 V (ULP)	1.71 - 5.5 V	5.1 V		
PRECIO	S/ 23,00	S/ 19,00	S/ 38,00	S/ 32,00	S/ 26,00	S/ 90,00	S/ 243,00		

De la tabla mostrada anteriormente, teniendo en cuenta que el microcontrolador cumple con los requisitos que necesitamos se eligió el Esp32.

Como se observa en la figura 39, se observa el Esp32 ya comprado.

Figura 39

Esp32



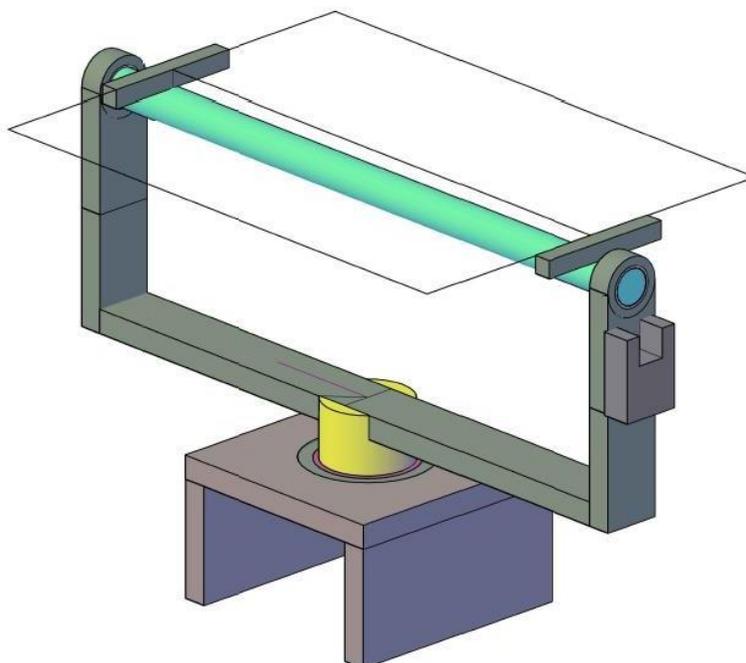
3.4.8. Plataforma IoT

Para almacenar y monitorizar nuestro sistema de seguimiento solar se hará uso de la plataforma Ubidots, ya que permite el envío de datos de sensores, la configuración de tableros y alertas, además cuenta con una capacidad de recepción de 30 000 datos mensuales.

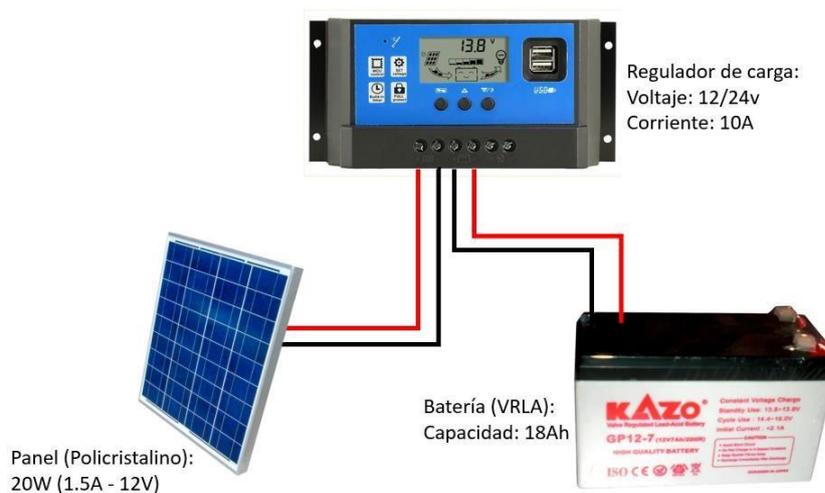
3.4.9. Estructura del seguidor solar

La estructura del seguidor solar se diseñó en base a modelos que ya se realizaron pruebas de desempeño.

En la figura 40, se observa el diseño que se escogió y se diseñó en AutoCAD.

Figura 40*Seguidor solar***3.4.10. Diagrama del sistema fotovoltaico**

En la figura 41, se observa el diagrama de conexiones que se realizan para nuestro sistema fotovoltaico.

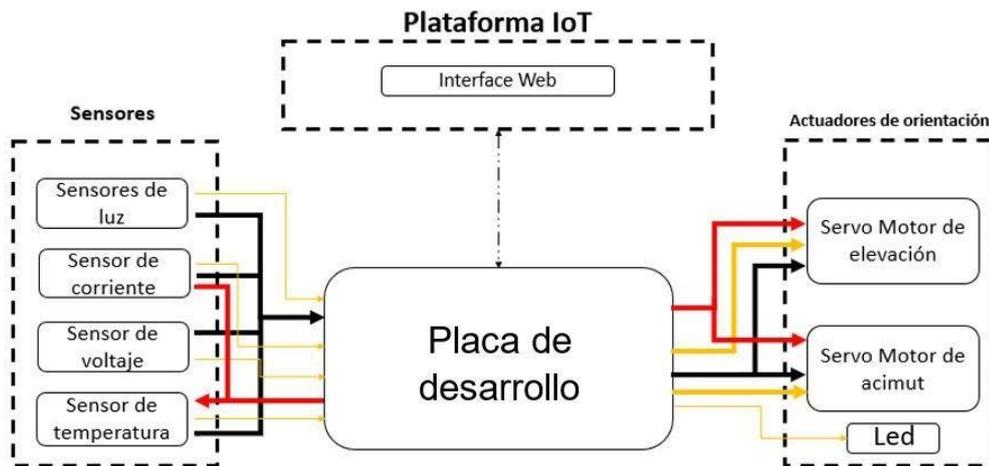
Figura 41.*Diagrama de sistema fotovoltaico*

3.4.11. Diagrama del sistema de seguimiento solar

En la figura 42, se observa el diagrama de conexiones con las que contara nuestra placa de desarrollo (Esp32) con los sensores de entrada, Ubidots y los actuadores.

Figura 42

Diagrama de conexión del controlador

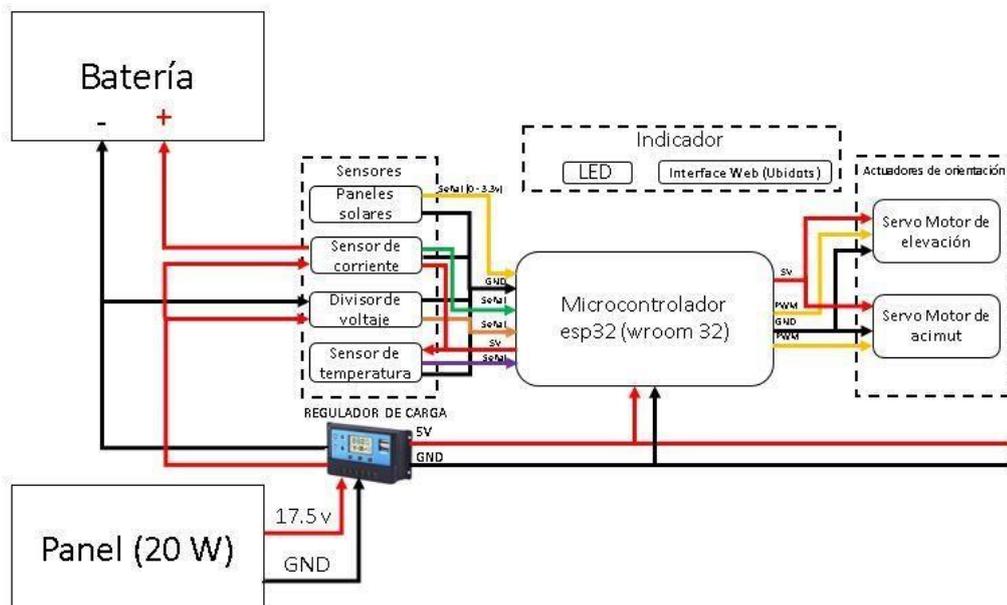


3.4.12. Diagrama de conexión del sistema de seguimiento solar y sistema fotovoltaico

En la figura 43, se observa el diagrama de conexiones completo, tanto del sistema fotovoltaico como el del controlador.

Figura 43

Diagrama completo del sistema embebido y fotovoltaico



3.5. Implementación

3.5.1. implementación de software

En esta parte de la tesis explicaremos paso a paso la configuración y la programación del sistema de seguimiento solar y la plataforma IoT. Para la implementación del software del sistema de seguimiento solar se usó el Arduino IDE y la plataforma Ubidots.

Arduino IDE permite elaborar y subir programas a microcontroladores compatibles con Arduino. Este admite lenguajes C y C++ basándose en reglas especiales para la estructuración del código. Este software se empleó para la programación del sistema que permitirá el seguimiento solar además de la conexión y envío de datos al Ubidots.

El Ubidots es una plataforma dedicada a la IoT y se aloja en la nube proporcionando una base de datos en tiempo real.

Los pasos para la configuración y programación del sistema de IoT son los siguiente:

3.5.1.1. Configuración de Ubidots

Para la configuración en Ubidots se dividirá en los siguientes pasos:

1. Creación de una cuenta y plataforma en Ubidots
2. Creación de las variables
3. Creación de Widget

A continuación, explicaremos cada uno:

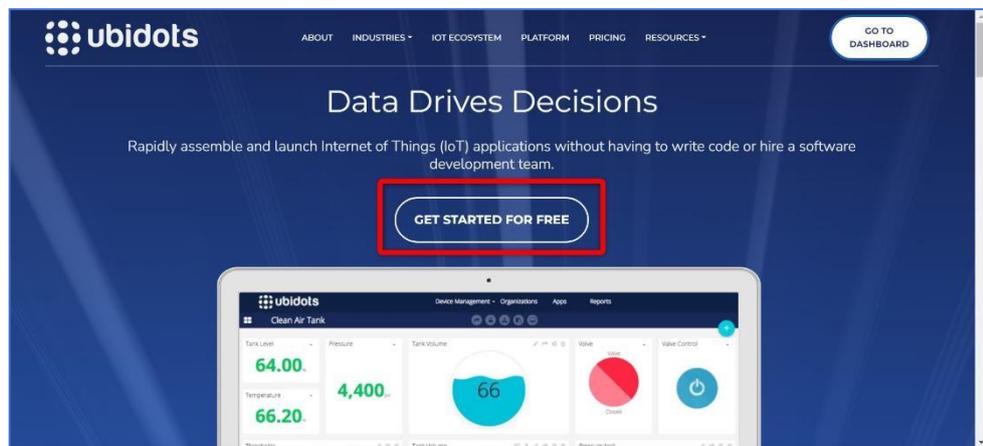
1. Creación de una cuenta y plataforma en Ubidots

Primero accederemos a la página de Ubidots en el navegador como se observa en la figura 44.

Luego le damos clic a “GET STARTED FOR FREE”, para poder crearnos una cuenta y plataforma en Ubidots.

Figura 44

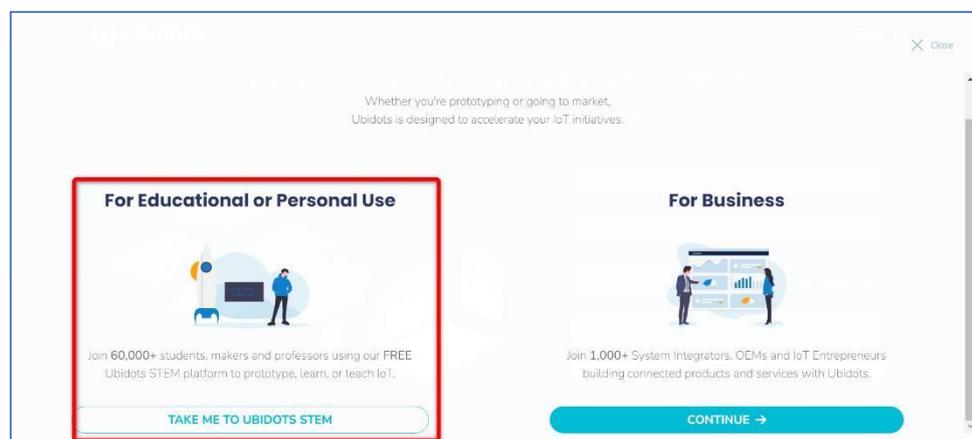
Acceso a la página Ubidots



Como se observa en la figura 45, luego Ubidots nos da 2 tipos de plataforma, en este caso al ser una tesis el enfoque que se escogió es un IoT de uso educativo o personal.

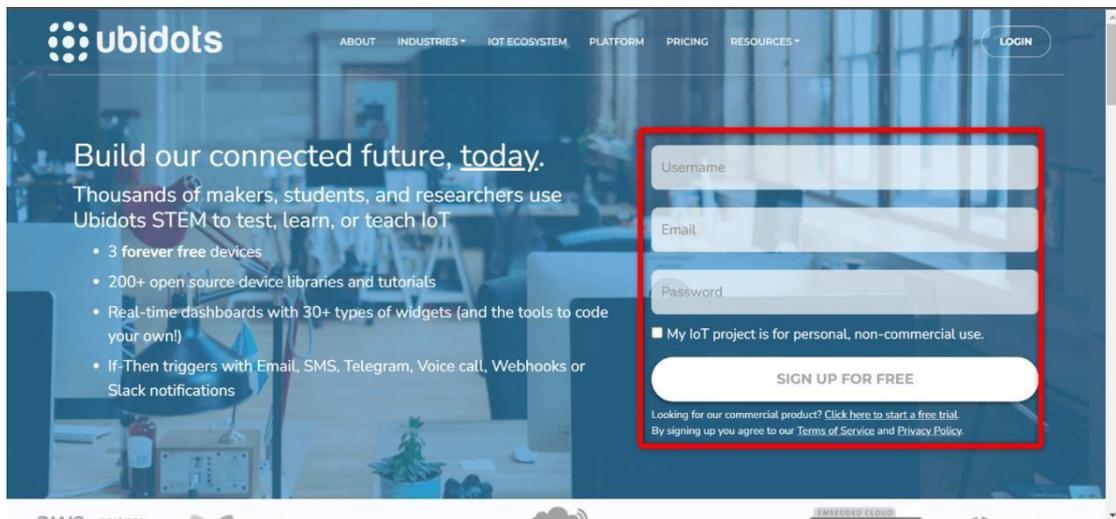
Figura 45

Selección del uso que daremos a la plataforma

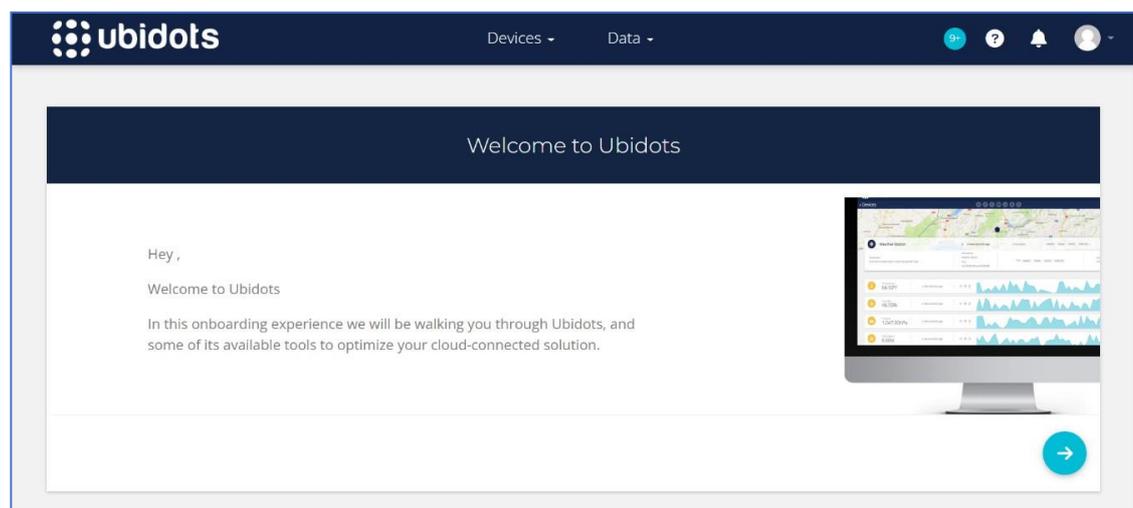


En la figura 46, se observa la creación de una cuenta, la cual se ingresa un nombre, correo electrónico y contraseña.

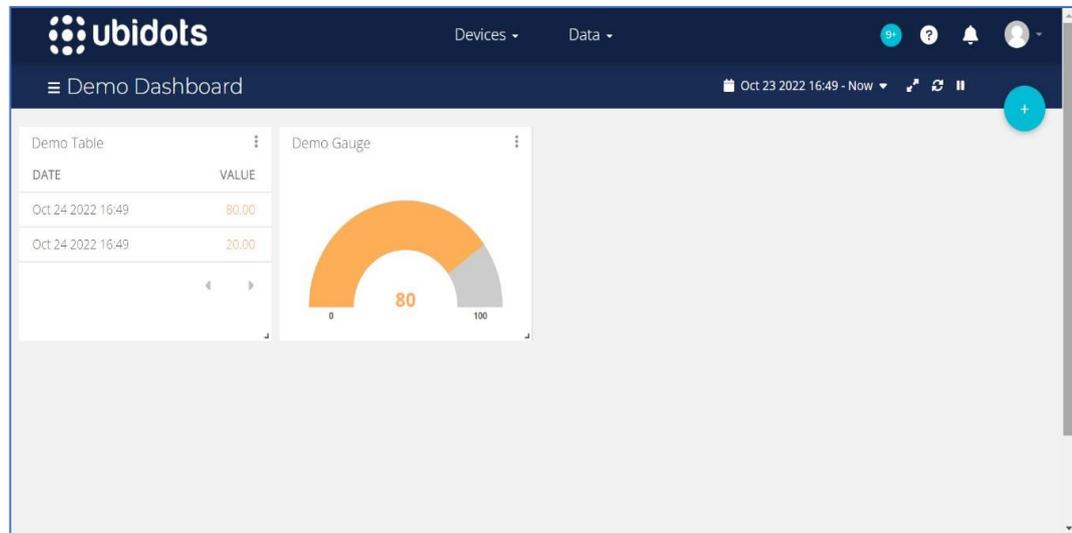
Al llenar los datos se da clic en "SIGN UP FOR FREE", entonces ya se abra creado la cuenta y plataforma en Ubidots

Figura 46*Suscripción a Ubidots*

En la figura 47, se observa como nos sale una introducción y resumen de usos en nuestra cuenta Ubidots y con nuestra cuenta y plataforma creada, terminas la introducción.

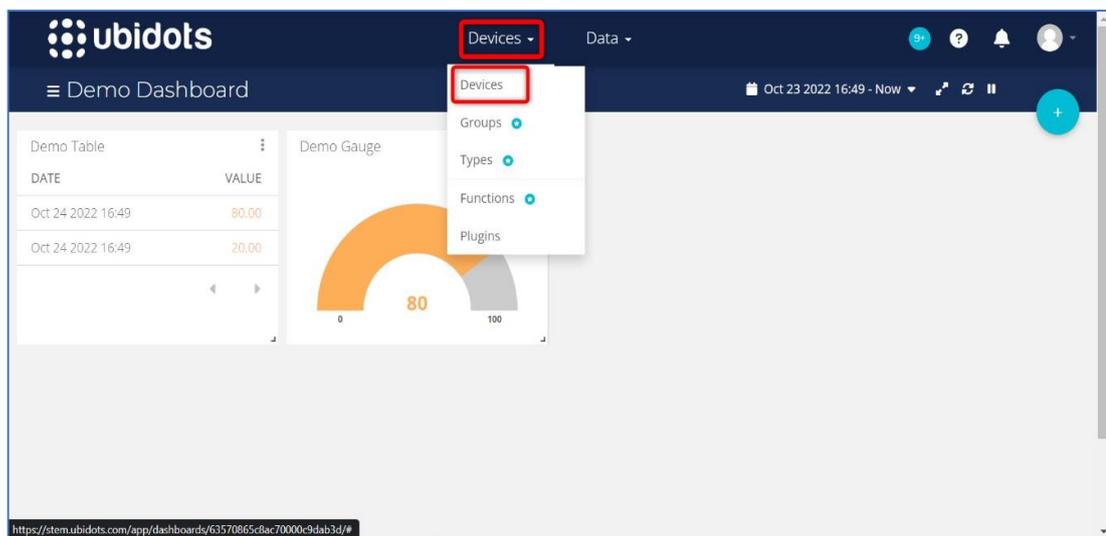
Figura 47*Cuenta y plataforma en Ubidots creadas*

Como se observa en la figura 48, Ubidots nos llevara a nuestro cuadro de mando (dashboard), lugar principal de nuestra plataforma, donde podremos ver todas nuestras variables en funcionamiento.

Figura 48*Cuadro de mando*

2. Creación de variables

En la figura 49, se observa la creación de las variables, ingresaremos primero a "Devices".

Figura 49*Ingreso a devices parte 1*

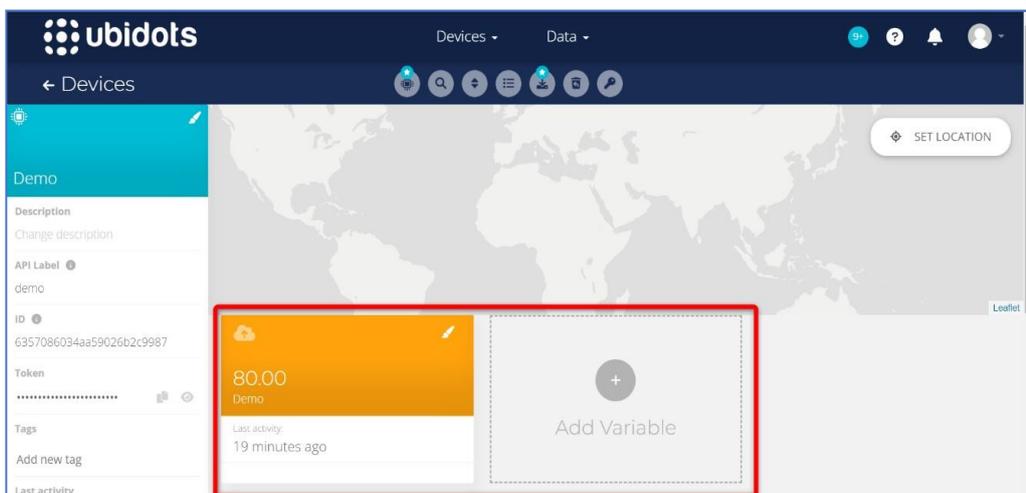
Luego en la figura 50, se encuentran las variables como Demo y al costado se pueden agregar más.

En donde nosotros ya tenemos nuestras variables establecidas las cuales son:

- Botón de encendido (led)
- Nivel de voltaje en la batería (batería)
- temperatura
- potencia

Figura 50

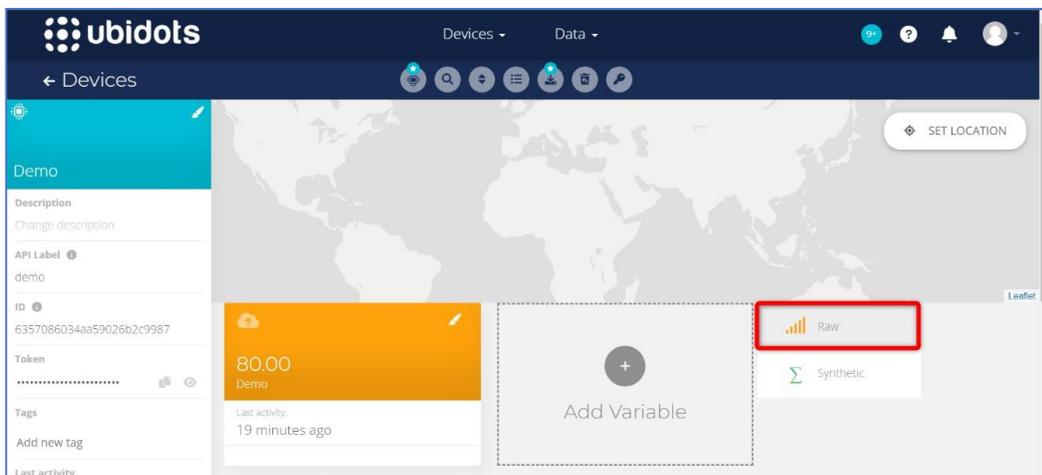
Ingreso a devices parte 2



En la figura 51, procederemos a agregar, dando clic en "Add variable" y luego en "Raw"

Figura 51

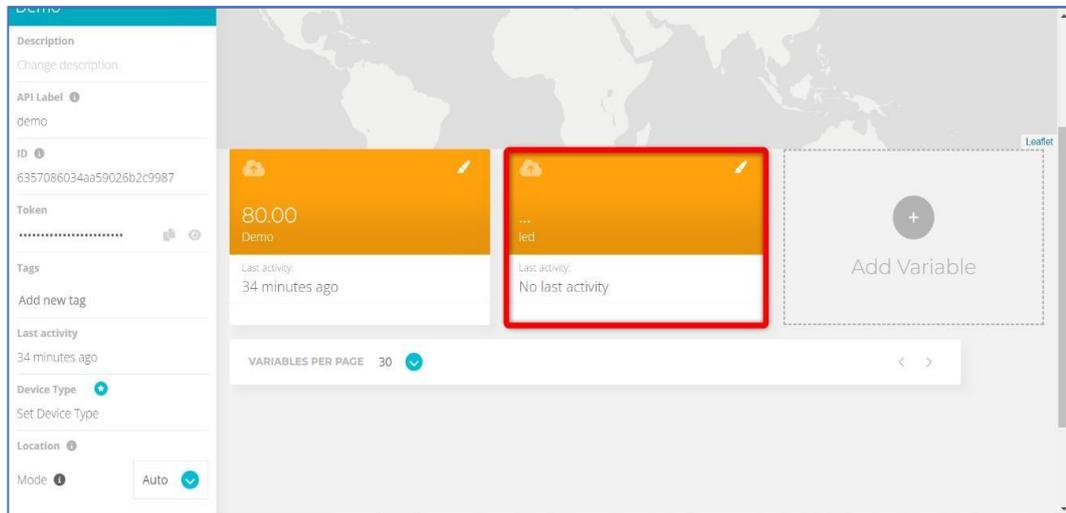
Creando variable



En la figura 52, le asignamos un nombre a la variable en este caso empezamos con "led".

Figura 52

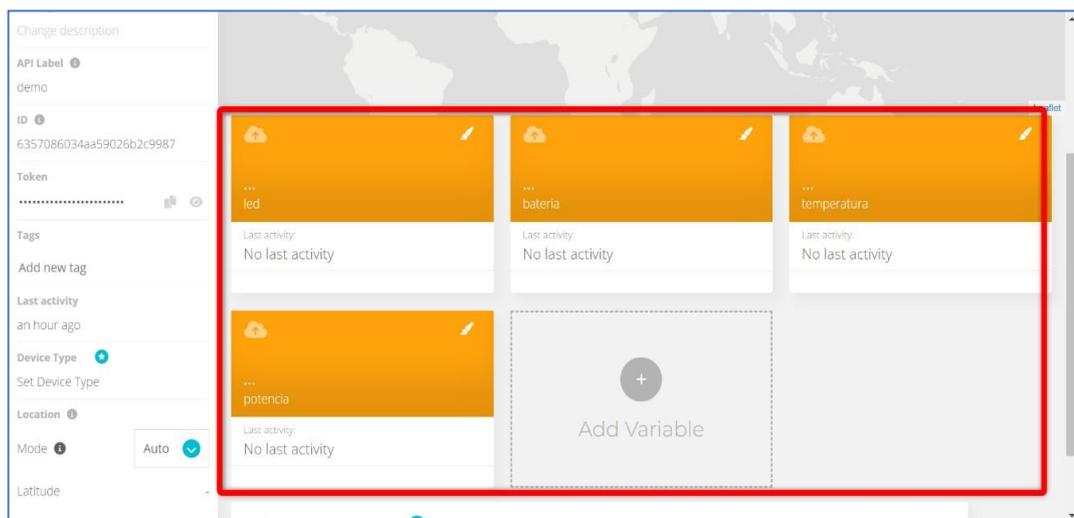
Creando variable LED



En la figura 53, procederemos a hacer eso con cada una de nuestras variables establecidas:

Figura 53

Creación de todas las variables



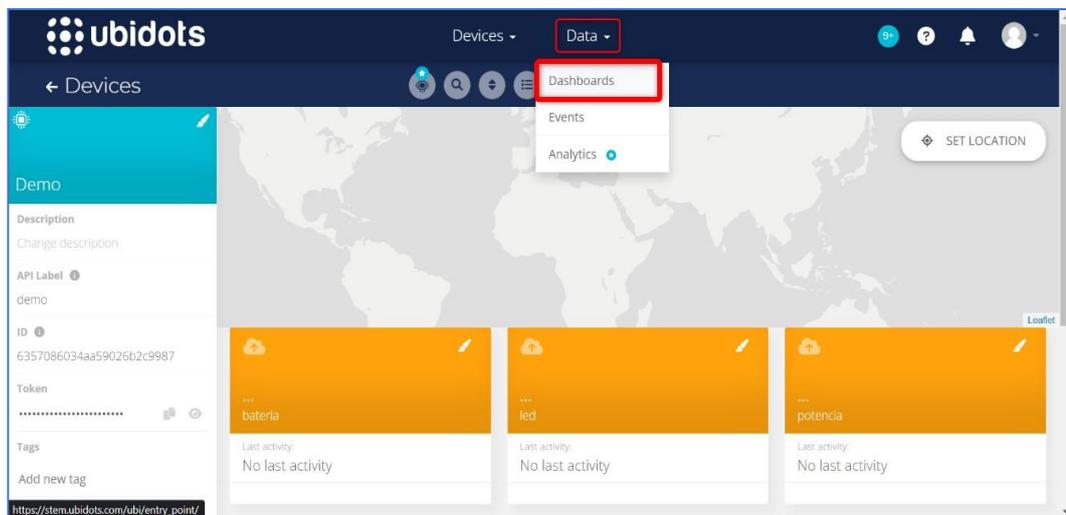
3. Creación de widget

Esta parte es necesario, pues nos permitirá visualizar el comportamiento de la variable en la plataforma de Ubidots.

Como se observa en la figura 54, tendremos que dar clic en "Data " y luego en cuadro de mando ("Dashboard ").

Figura 54

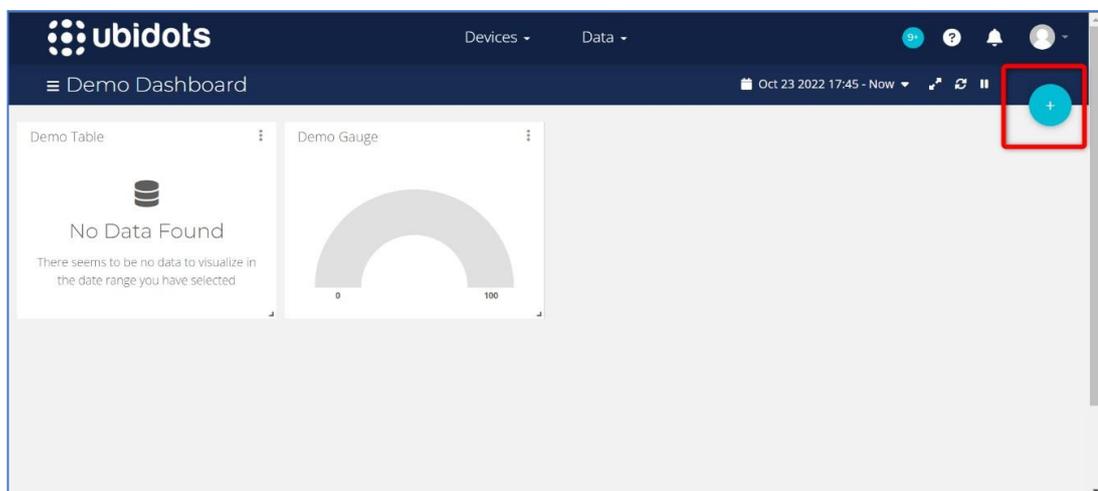
Ingresando a Dashboard



En la figura 55, luego nos llevara al cuadro de mando, donde tendremos que dar clic en el símbolo "+ " .

Figura 55

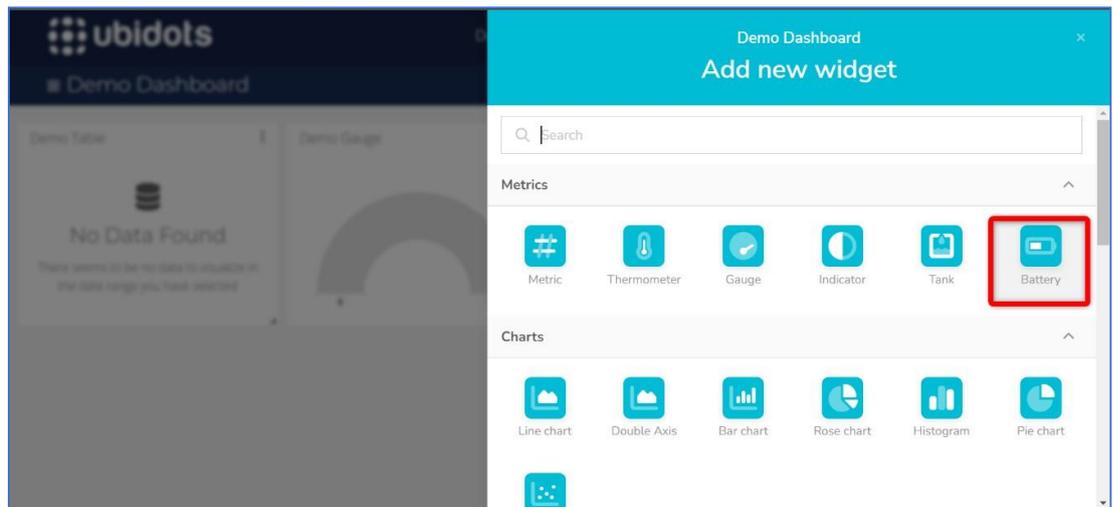
Ingresando a Widget



En la Figura 56, ahora en este menú, podremos seleccionar la forma en que queremos que se represente nuestra variable, en este ejemplo realizaremos el de la batería, ya que todo los demás son iguales, solo cambiando la variable.

Figura 56

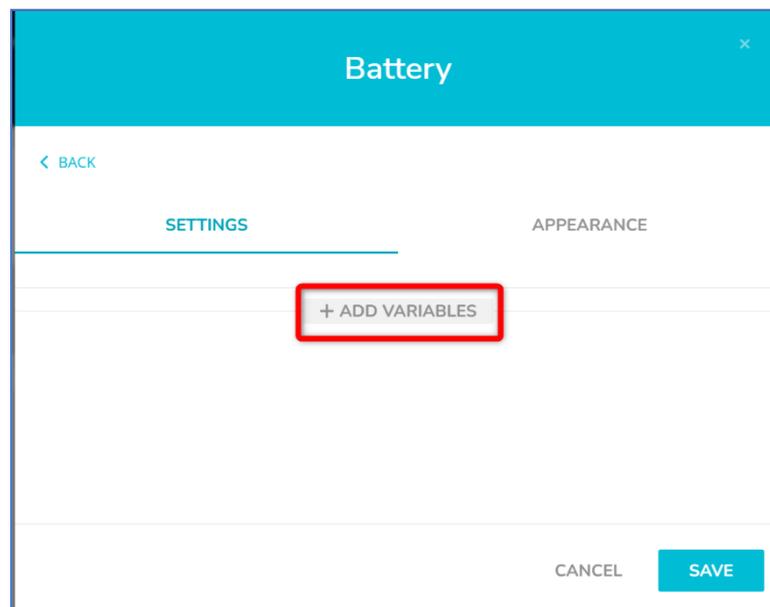
Estableciendo widget



En la figura 57, ahora establecemos la variable para este Widget, el cual es "batería".

Figura 57

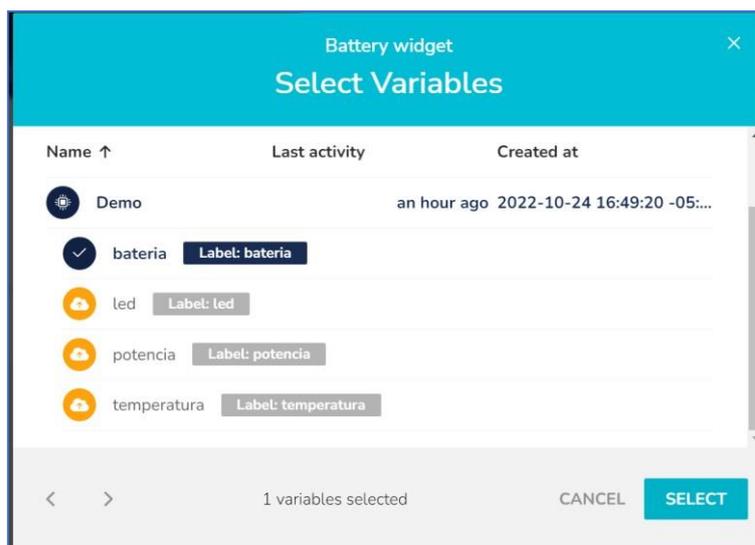
Estableciendo variable



En la figura 58, se observa la selección de la variable que se requiere, en este caso es la variable “batería”.

Figura 58

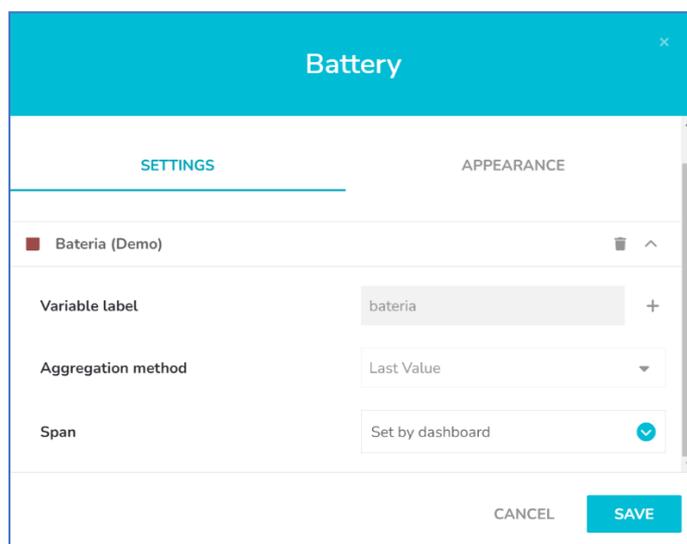
Selección de variable 1



En la figura 59, le damos a “Select”, para confirmar la variable escogida y por último a “save”, para guardar los cambios.

Figura 59

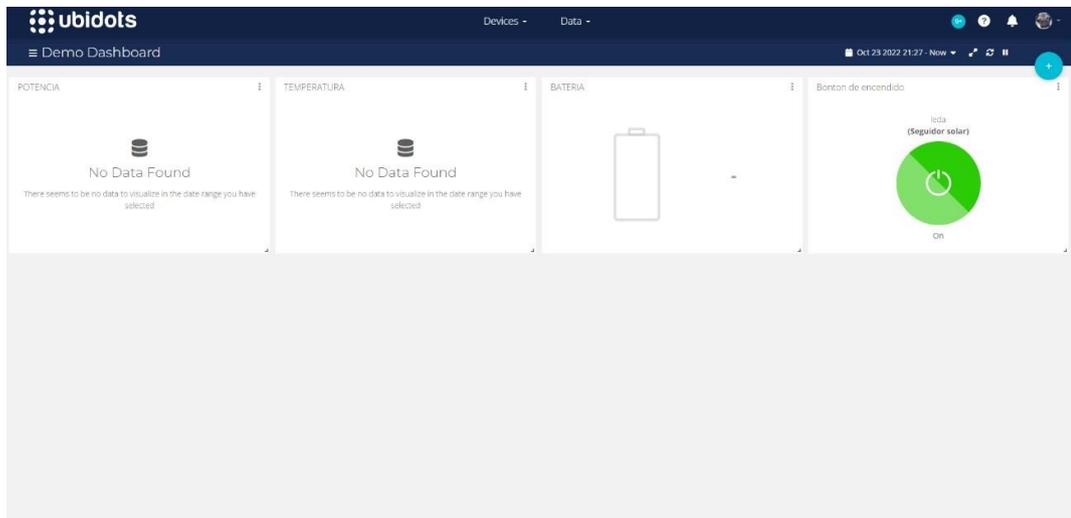
Seleccionando variable



Luego en la figura 60, finalmente podemos ver la variable agregada en nuestro Dashboard.

Figura 60

Widget creado



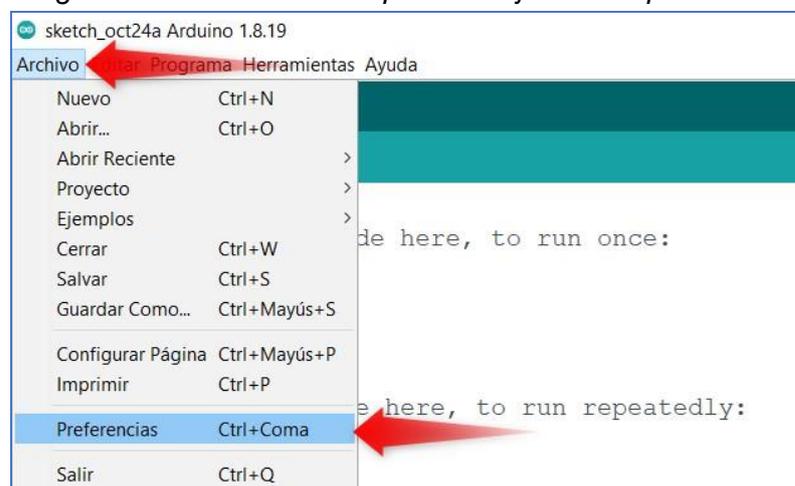
3.5.1.2. Programación del funcionamiento del sistema de seguimiento solar

La programación del funcionamiento del sistema se basó en lo descrito en los requerimientos para el diseño lógico.

Antes de comenzar con la programación como se observa en la figura 61, se configuró Arduino IDE para poder trabajar con el microcontrolador Esp32, para esto se ejecutó el programa de Arduino y se accedió al menú de archivo/preferencia.

Figura 61

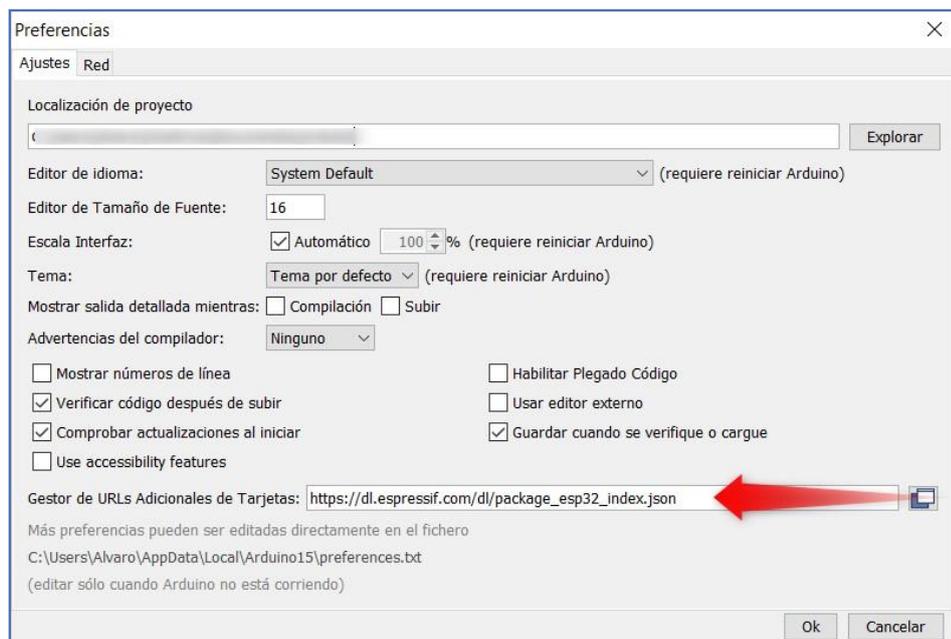
Configuración de Arduino IDE para trabajar con Esp32



En la figura 62, se ingresa a ventana ajustes en la sección de gestor de URL's adicionales de tarjes se agregó https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json. La adición de este permitió trabajar sin ningún problema con el microcontrolador Esp32.

Figura 62

Adición de URLs en Arduino IDE



Una vez que se realizó los pasos anteriores se procedió a codificar. Como se observa en la figura 63, se comenzó con la declaración de librerías correspondientes al protocolo MQTT, actuadores que vendrían a ser los servomotores y el sensor DHT22.

Figura 63

Declaración de librerías

```

-----// LIBRERIAS //-----
#include "UbidotsEsp32Mqtt.h" // LIBRERIA PARA EL PROTOCOLO MQTT
#include <ESP32Servo.h> // LIBRERIA PARA LOS SERVO MOTORES
#include <DHT.h> // LIBRERIA PARA EL SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD

```

En la figura 64, para que el módulo pueda conectarse a la plataforma Ubidots, primero necesita conectarse a la red wifi que se tenga disponible, por lo cual primero se necesitó declarar el nombre de la red wifi a usar y su contraseña.

Figura 64

Declaración del nombre de red wifi y su contraseña

```
//Definimos SSID y PASSWORD de nuestra red WiFi
const char *WIFI_SSID = "WifiSlax"; // *Variará de acuerdo a la wifi que se tenga disponible
const char *WIFI_PASS = "alvaroramos"; // *Variará de acuerdo a la wifi que se tenga disponible
```

En la figura 65, después para que el módulo se conecte a la base de datos se procedió a declarar el TOKEN que la plataforma de Ubidots nos brinda cuando se crea la cuenta, también se declara el tiempo (en milisegundos) en que se debe enviar los datos para su almacenamiento y los nombres de las variables que se creó en la plataforma Ubidots. El tiempo mínimo debe ser 10 minutos para no saturar de datos el servidor, además tener en cuenta que la plataforma Ubidots máximo nos permite almacenar 30000 datos mensuales.

Figura 65

Declaración del token, tiempo de publicación y variables creadas en Ubidots

```
//Definimos primero el Token que nos brinda la plataforma Ubidots para hacer la conexión
const char *UBIDOTS_TOKEN = "BBFF-VXQOpFtVziw5C58kHPFiTzf2azoxf4";

//Definimos la frecuencia de publicación de 5 segundos
const int PUBLISH_FREQUENCY = 300000;
unsigned long timer;

//Definimos el nombre de nuestro dispositivo, el cual aparecerá en la plataforma Ubidots
const char *DEVICE_LABEL = "Seguidor-solar";
//Definimos las variables que se medirán y que serán publicadas en la plataforma Ubidots
const char *VARIABLE_LABEL_01 = "leda";
const char *VARIABLE_LABEL_02 = "bateria";
const char *VARIABLE_LABEL_03 = "potencia";
const char *VARIABLE_LABEL_04 = "temperatura";
const char *VARIABLE_LABEL_05 = "motorelevacion";
const char *VARIABLE_LABEL_06 = "motoracimut";
```

En la figura 66, se declaró el nombre de cada servo motor que se usó, como se usaron dos se los llamó ELEVACION y ACIMUT respectivamente, seguido del número de puerto que del módulo al cual se conectará.

Figura 66

Declaración de nombres y puertos de salida servos

```
//DECLARAMOS NOMBRES A LOS SERVOS
Servo ELEVACION;           //SERVO MOTOR USADO PARA ELEVACIÓN
Servo ACIMUT;              // SERVO MOTOR USADO PARA ACIMUT

// DECLARAMOS EL NUMERO DE PUERTO DE ESP DE SALIDA PARA LAS SEÑALES AL MOTOR
#define ServElevación 26    // NUMERO PUERTO OUT PWM
#define ServAcimut 27      // NUMERO PUERTO OUT PWM
```

En la figura 67, se declaró los puertos que se usaron para el sensor de temperatura, sensores paneles, sensor de voltaje y sensor de corriente junto a su sensibilidad. Esta sensibilidad variará dependiendo del modelo en nuestro caso el valor es de 0.185.

Figura 67

Declaración de nombres y puertos de entrada

```
//LIBRERIA PARA EL SENSOR DE TEMPERATURA
#include <DHT.h>
#define DHTPIN 21 // Pin donde está conectado el sensor
#define DHTTYPE DHT22 // Sensor DHT22
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
// DECLARAMOS PUERTO DE ENTRADA PARA LOS PANELES SEGUIDORES
int analogPin01 = 33; //sensor de elevacion este
int analogPin02 = 32; //sensor de elevacion oeste
int analogPin03 = 39; //sensor de acimut norte
int analogPin04 = 36; //sensor de acimut sur
// DECLARAMOS PUERTO DE ENTRADA PARA VOLTAJE DE LA BATERIA
int analogPin05 = 34;
// DECLARAMOS PUERTO DE ENTRADA PARA LA CORRIENTE DE LA BATERIA
int analogPin06 = 35;
//VARIABLE SENSOR DE CORRIENTE
float Sensibilidad=0.185; //sensibilidad en Voltios/Amperio para sensor de 5A
```

En la figura 68, se creó dos vectores cada uno correspondiente al ángulo de elevación y acimut, estos vectores guardan los valores que se obtienen al momento de hacer el escaneo, recordar que este escaneo se realiza solo las veces que se encienda el sistema de seguimiento. También se declararon variables que se usaran a lo largo de la programación.

Figura 68*Declaración de vectores y variables*

```

//VECTOR PARA GUARDAR VALORES DEL PANEL SENSOR
int radiancia[150];
int radianciay[170];
int norte;// valor normalizado de este en loop
int sur;// valor normalizado de este en loop
int normalizacion = 1000; // variable de normalizacion
int b = 0; // retrocesos de pasos al mejor angulo elevacion
int k = 0;// retrocesos de pasos al mejor angulo azimuth
int f = 0;// para habilitar el nucleo 0
int elevacion; // señal de setup
int azimuth; // señal de setup
int E = 0; //pasos en ELEVACION
int P; // mayor de nivel de voltaje sentido
int valorMaximo=0; // angulo del mayor valor de elevacion
int este; // valor normalizado de este en loop
int oeste; // valor onormalizado de oeste en loop
int elementoMaximo = 0; //bloque del mayor valor
int Q = 0; //pasos en AZIMUTH
int R; // mayor de nivel de voltaje sentido
int valorMaximoy; // angulo del mayor valor de elevacion
int elementoMaximoy = 0; //bloque del mayor valor
//VARIABLE PARA NIVEL DE BATERIA CON DECIMALES
float voltaje;
//VARIABLE PARA NIVEL DE POTENCIA
float potencia;
int LED = 22;
int g = 0;

```

En la figura 69, este punto de la codificación fue uno de los más importantes, esto debido a que se separó el código que se encarga de enviar datos a la plataforma Ubidots en el núcleo 1 del ESP32 y el código encargado de hacer el seguimiento solar se colocó en el núcleo 0. Esto debido a que no queremos estresar un solo núcleo con dos procesos, además, no queremos que en caso de perderse la conexión con el Ubidots o la red wifi el sistema de control sea afectado. En este caso el núcleo 1 es el que se usa por defecto por tanto habilitamos el núcleo 0. Para este último se declarará 2 tareas que va a realizar para el seguimiento solar permitiendo hacerlas asincronas.

Figura 69*Declaración de tareas*

```

// DECLARAMOS EL TAREAS PARA EL NUCLEO 0
TaskHandle_t Task1;
TaskHandle_t Task2;

```

En la figura 70, el esp32 procede a conectarse con el Ubidots a través del token generado a la hora de crear la cuenta.

Figura 70

Conexión del esp32 con Ubidots

```
// HACEMOS QUE EL ESP32 SE CONECTE CON EL UBIDOTS
Ubidots ubidots(UBIDOTS_TOKEN);
```

En la figura 71, se declaró un Void callback el cual se encarga de recibir un mensaje del Ubidots de nombre “topic” con una carga “payload” esta carga contiene el estado del botón ya sea HIGH o LOW, en caso de ser HIGH el led del circuito se encenderá y en caso contrario se mantendrá apagado el led.

Figura 71

Confirmación de una conexión bilateral entre el esp32 y Ubidots

```
void callback(char *topic, byte *payload, unsigned int length)
{
  Serial.print("Message arrived [");
  Serial.print(topic);
  Serial.print("] ");
  for (int i = 0; i < length; i++)
  {
    Serial.print((char)payload[i]);
    if ((char)payload[0] == '1')
    {
      digitalWrite(LED, HIGH);
      Serial.print("EL SISTEMA ESTA ENCENDIDO");
    }
    else
    {
      digitalWrite(LED, LOW);
      Serial.print("EL SISTEMA ESTA APAGADO");
    }
  }
  Serial.println();
}
```

En la figura 72, en Setup declaramos los baudios con los que trabaja el esp32 en este caso es de 115200 baudios además inicializamos el sensor DHT22.

Figura 72

Baudios del esp32 e inicialización del sensor DHT22

```
void setup() {  
    //DECLARACION DE BAUDIOS DE TRABAJO  
    Serial.begin(115200);  
    dht.begin();  
}
```

En la figura 73, declaramos el nombre de la tarea, el loop al que pertenece y el núcleo en el cual se ejecuta. Siendo loop 2 para elevación y loop 3 para acimut.

Figura 73

Declaración de núcleo de trabajo

```
//DECLARAMOS LA TAREA PARA EL NUCLEO 0  
xTaskCreatePinnedToCore(  
    loop2,  
    "Task_1",  
    1000,  
    NULL,  
    1,  
    &Task1,  
    0);  
//DECLARAMOS LA TAREA 2 PARA EL NUCLEO 0  
xTaskCreatePinnedToCore(  
    loop3,  
    "Task_2",  
    1000,  
    NULL,  
    1,  
    &Task2,  
    0);
```

En la figura 74, se iniciará el proceso único de escaneo, para esto primero necesitamos que los servos motores estén en su mínimo ángulo, por ello hacemos que se coloquen en un ángulo de 0° para elevación y 90° para acimut.

Figura 74

Orden de colocar servos en ángulo de 0° y 90°

```
//DECLARACION DE PIN ASIGNADO A LOS MOTORES Y ANGULO DE INICIO
angelevacion.attach(elevacion);
angelevacion.write(0);
angacimut.attach(acimut);
angacimut.write(85);
delay (7000);
```

En la figura 75, en esta sección de código, dentro del void setup, realizaremos el escaneo de elevación, por medio de un vector de una trama de 165 bloques cada 1 paso de desplazamiento del servo motor, sacando un promedio de los valores obtenidos de sus 2 sensores mientras se compara la variable actual y anterior en busca del valor mayor.

Figura 75

Código escaneo intensidad luminosa en elevación

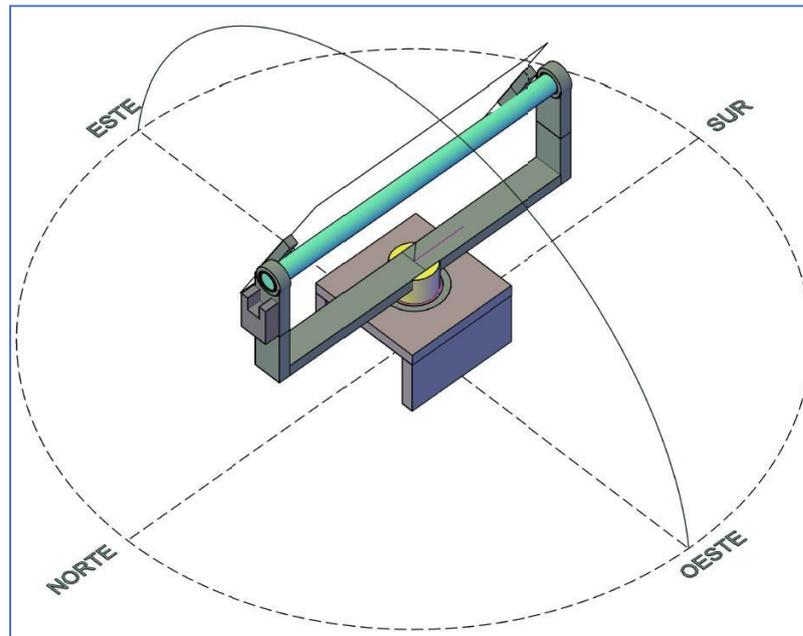
```
for(int i=0; i<164; i++){
    float x = analogRead(analogPin02);
    elevacion = (x*normalizacion/4095);
    float x2 = analogRead(analogPin01);
    int elevacion2 = (x2*normalizacion/4095);
    int elevacion3 = ((elevacion+elevacion2)/2);
    radiancia[i] = elevacion3;

    E=E+1;
    E=constrain(E, 0, 164);
    angelevacion.write(E);
```

En la figura 76, de todos los valores que se guardaron en el vector se procede a elegir el ángulo donde se consiguió el mayor valor.

Figura 76

Sentido de escaneo en elevación



En la figura 77, se guarda la variable de mayor valor obtenida comparando todos los valores del vector.

Figura 77

Elección de elemento máximo

```
if (radiancia[i] > valorMaximo) {  
    valorMaximo = radiancia[i];  
    P=E;  
    elementoMaximo = i;  
  
}  
else  
{  
    delay (100);  
}
```

En la figura 78, se procede a dar la orden a los servomotores para que se coloquen en el ángulo respectivo.

Figura 78

Ubicación de los motores en ángulo de mayor radiación solar

```
int reubicacionelevacion = 164 - elementoMaximo;
for(int k=0; k<reubicacionelevacion; k++){
if (E > P) {
    Serial.println("RETROCEDIENDO");
    E=E-1;
    E=constrain(E,0,164);
    Serial.print("El angulo del motor es: ");
    angelevacion.write(E);
    Serial.println(E);
    Serial.print("El mejor angulo del motor es: ");
    Serial.println(P);
    delay (100);
}
else if (E == P){
    Serial.println("SON LO MISMO");
    E=constrain(E,0,164);
    angelevacion.write(E);
    Serial.print("El angulo del motor es: ");
    Serial.println(E);
    delay (100);
}
    delay (10);
}
```

En la figura 79, cuando la lectura de los sensores sea mayor a 16 pero menor a 35, entenderá que está nublado por tanto el sistema entrará en modo sleep o hibernación por 30 minutos. Haciendo que elevación vuelva a ángulo de 0°.

Figura 79

Modo sleep en caso de neblina

```
if (valorMaximo<=35 && valorMaximo>=16){
    int anguloelevacion=angelevacion.read();
    for(int k=0; k<=anguloelevacion; k++){
        E=E-1;
        E=constrain(E,0,164);
        angelevacion.write(E);
        delay (100);
    }
    esp_sleep_enable_timer_wakeup(3600000000);
    esp_deep_sleep_start();
}
```

En la figura 80, dentro del void setup, realizaremos el escaneo de acimut, por medio de un vector de una trama de 170 bloques cada 1 paso de desplazamiento del servo motor, sacando un promedio de los valores obtenidos de sus 2 sensores mientras se compara la variable actual y anterior en busca del valor mayor.

Figura 80

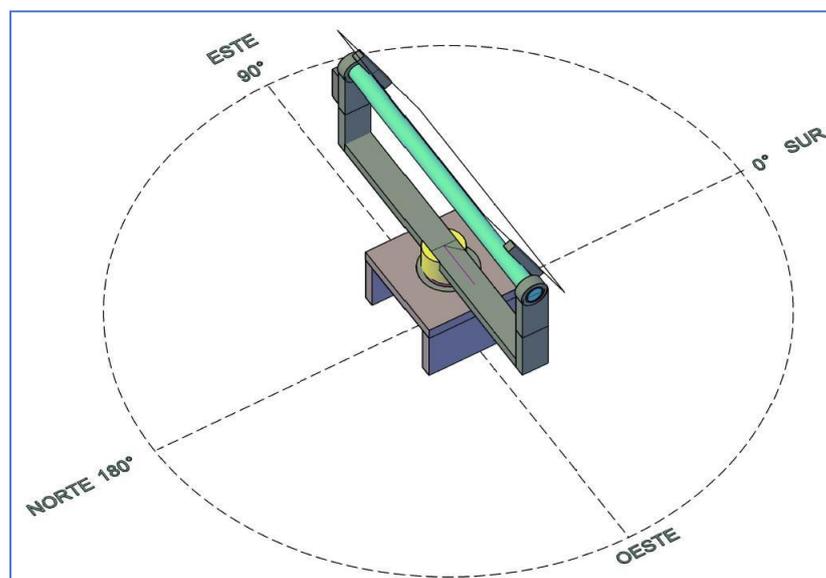
Código escaneo intensidad luminosa en acimut

```
for(int h=0; h<169; h++){
    float y = analogRead(analogPin03);
    azimuth = (y*normalizacion/4095);
    float y2 = analogRead(analogPin04);
    int azimuth2 = (y2*normalizacion/4095);
    int azimuth3 = ((azimuth+azimuth2)/2);
    radianciay[h] = azimuth3;
    Q=Q+1;
    Q=constrain(Q,0,169);
    angacimut.write(Q);
}
```

En la figura 81, se observa el posicionamiento del panel en su mejor angulo, realizado por AutoCAD.

Figura 81

Sentido de escaneo en acimut



En la figura 82, se ha obtenido el mayor valor de intensidad luminosa se procede a ordenar al servo motor colocarse en el ángulo correspondiente a ese máximo valor.

Figura 82

Elección de elemento máximo

```

if (radianciay[h] > valorMaximoy) {
    valorMaximoy = radianciay[h];
    R=Q;
    elementoMaximoy = h;
}
else
{
}
    delay (100);
}

```

En la figura 83, se observa una vez seleccionado el mejor ángulo, se procede a dar la orden a los servomotores para que se coloquen en el ángulo respectivo.

Figura 83

Ubicación de los motores en ángulo de mayor radiación solar

```

int reubicacionacimut = 169 - elementoMaximoy;
for(int k=0; k<reubicacionacimut; k++){
if (Q > R) {
    Q=Q-1;
    Q=constrain(Q,0,169);
    angacimut.write(Q);
    delay (100);
}
else if (Q == R){
    angacimut.write(Q);
    Q=constrain(Q,0,169);
    delay (100);
}
    delay (10);
}
}

```

En la figura 84, en este punto igualamos f a 1 para que puedan ejecutarse el loop 2 el cual se encarga de seguimiento en elevación y loop 3 se encarga de seguir en acimut, además se habilita la conexión a la red wifi.

Figura 84

Habilitación de red wifi

```
f=1;
ubidots.connectToWifi(WIFI_SSID, WIFI_PASS);
ubidots.setCallback(callback);
ubidots.setup();
ubidots.reconnect();
ubidots.subscribeLastValue(DEVICE_LABEL, VARIABLE_LABEL_01);
timer = millis();
}
```

En la figura 85, Void loop2 es el código que se ejecuta en el núcleo 0, de este modo es el encargado de hacer el seguimiento solar después de haberse hecho el escaneo inicial, desplaza elevación en dirección al oeste cada 4 minutos. Teniendo un límite mínimo y máximo de giro de 0° a 164°.

Figura 85

Control de seguimiento elevación

```
void loop2(void *parameter){
  for(;;){
    if (f == 1){
      // comparacion en elevacion
      E=E+1;
      E=constrain(E,0,164);
      angelevacion.write(E);
      delay (240000);
    }
    vTaskDelay(10);
  }
}
```

En la figura 86, el void loop 3 se encarga del seguimiento en el ángulo de acimut, usando los sensores ubicados en norte y sur.

Figura 86

Lectura de sensores para acimut

```
void loop3(void *parameter){
  for(;;){
    if (f == 1){
      // comparacion en acimut
      float u = analogRead(analogPin02);
      oeste = (u*normalizacion/4095);
      float n = analogRead(analogPin04);
      norte = (n*normalizacion/4095);
      float z = analogRead(analogPin03);
      sur = (z*normalizacion/4095);
```

En la figura 87, se compara los valores de los sensores y el ángulo en elevación para decidir si el panel se mantendrá en su posición o tendrá que girar al norte o sur.

Figura 87

Control de seguimiento parte 1

```
if (norte == sur)
{
  Q=Q;
  Q=constrain(Q,0,169);
  angacimut.write(Q);
  val = map(Q, 60, 120, 300, 240);
  delay (100);
}
else if (norte > sur && E>=100){
  Q=Q+1;
  Q=constrain(Q,0,169);
  angacimut.write(Q);
  val = map(Q, 60, 120, 300, 240);
  delay (100);
}
else if (norte < sur && E>=100){

  Q=Q-1;
  Q=constrain(Q,0,169);
  angacimut.write(Q);
  val = map(Q, 60, 120, 300, 240);
  delay (100);
}
```

En la figura 88, se compara los valores de los sensores y el ángulo en elevación para decidir si el panel se mantendrá en su posición o tendrá que girar al norte o sur.

Figura 88

Control de seguimiento parte 2

```
else if (norte > sur && E<=80) {  
  
    Q=Q-1;  
    angubiachimut = Q;  
    Q=constrain(Q, 0, 169);  
    angachimut.write(Q);  
    val = Q;  
    delay (100);  
    }  
else if (norte < sur && E<=80) {  
    Q=Q+1;  
    angubiachimut = Q;  
    Q=constrain(Q, 0, 169);  
    angachimut.write(Q);  
    val = Q;  
    delay (100);  
    }  
    else{  
  
    Q=Q;  
    angubiachimut = Q;  
    Q=constrain(Q, 0, 169);  
    angachimut.write(Q);  
    val = map(Q, 60, 120, 300, 240);  
    delay (100);  
    }
```

En la figura 89, se compara los valores de los sensores y el ángulo en elevación para decidir si el panel se mantendrá activo o en caso contrario, proceda a apagarse.

Figura 89

Control de seguimiento parte 3

```
//correccion de posicion en cenit
if(E<100 && E>80){

    Q=90;
    angubiachimut = Q;
    Q=constrain(Q,0,169);
    angachimut.write(Q);
    val = map(Q, 60, 120, 300, 240);
    delay (100);
}
//VOLVER A CERO (SE HIZO DE NOCHE) ACIMUT
if (oeste <= 15)
{
    int anguloelevacion=angelevacion.read();
    int anguloachimut=angachimut.read();
    for(int k=0; k<=anguloelevacion; k++){
        E=E-1;
        E=constrain(E,0,164);
        angelevacion.write(E);
        delay (00);
    }
}
```

En la figura 90, se compara los valores de los sensores y el ángulo en elevación para decidir si el panel se mantendrá activo o en caso contrario, proceda a apagarse.

Figura 90

Control de seguimiento parte 4

```
for(int m=0; m<=anguloacimut; m++){
  if(Q<85){

    Q=Q+1;
    Q=constrain(Q, 0, 169);
    angacimut.write(Q);
  }
  else if (Q>85){
    Q=Q-1;
    Q=constrain(Q, 0, 169);
    angacimut.write(Q);
  }
  delay (100);
}
esp_sleep_enable_timer_wakeup(4680000000);
esp_deep_sleep_start();
}
}
delay (10000); //180000
}
vTaskDelay(10);
```

En la figura 91, el void loop es el código encargado de enviar los datos a la plataforma de Ubidots.

Figura 91

Conexión y/o reconexión a Ubidots

```
void loop() {  
  
  if (!ubidots.connected())  
  {  
    ubidots.reconnect();  
    ubidots.subscribeLastValue(DEVICE_LABEL, VARIABLE_LABEL_01);  
  }  
}
```

En la figura 91, en este punto del código el "if" define la frecuencia con la que se publicará en el Ubidots los datos que se calcularan dentro del mismo. Para esto el primer dato que calcula es la corriente para ello se toma 400 muestras y el promedio de todos esos datos será el promedio. Seguido del voltaje, se lee los datos del puerto analógico para calcular el voltaje, lo que sigue es el cálculo de potencia el cual resulta del producto de corriente por voltaje.

Figura 92

Cálculo de datos parte 1

```
if (abs(millis() - timer) > PUBLISH_FREQUENCY)  
{  
  //DECLARACION DE RESISTENCIA SHUNT PARA EL SENSADO DE CORRIENTE  
  float I=get_corriente(400);//obtenemos la corriente promedio de 500 muestras  
  
  delay(100);  
  
  //DECLARACION DE SENSOR DE VOLTAJE CON DIVISOR DE TENSION VOLTAJE  
  float v = analogRead(analogPin05);  
  voltaje = ((v*13.00)/4095);  
  
  //DECLARACION DE POTENCIA DEL SISTEMA  
  float po = voltaje * I;  
  float potencia = abs (po);  
}
```

En la figura 93, se hace la lectura de la temperatura, por defecto el resultado se da en grados Celsius, se pre-cargan los datos a enviar al Ubidots, guardándolos en sus variables correspondientes.

Figura 93

Lectura de temperatura y pre carga de datos

```
//DECLARACION DE SENSOR DE TEMPERATURA
float t = dht.readTemperature(); //Leemos la temperatura en grados Celsius

//IMPRESION DE LOS VALORES DE LAS VARIABLES EN EL SERVIDOR

    ubidots.add(VARIABLE_LABEL_04, voltaje);
    ubidots.add(VARIABLE_LABEL_06, potencia);
    ubidots.add(VARIABLE_LABEL_05, t);
```

En la figura 94, en este punto donde recién envía los datos al servidor de Ubidots, no sin antes confirmar que el botón en el servidor esté en un estado de HIGH. Esto se repetirá dependiendo al tiempo que se estableció en “timer” que para nuestro caso es de 4 minutos.

Figura 94

Carga de datos al Ubidots

```
//LECTURA DE LED
g = digitalRead (LED);
if (g == HIGH){

    ubidots.publish(DEVICE_LABEL);
    /*Para mostrar los datos, los imprimimos en el terminal Serial*/
    timer = millis();
    //delay (1000);
}
else{
    Serial.println("el led esta apagado");
}
//delay(1000);
}
    ubidots.loop();
}
```

En la figura 95, por último, se muestra el código correspondiente al cálculo de corriente. Se hace la lectura la señal de entrada correspondiente, luego se normaliza y se divide con respecto a la sensibilidad del sensor de corriente que es 0,185. Esta operación se repite 400 veces.

Figura 95

Toma de muestras para corriente y cálculo

```
float get_corriente(int n_muestras)
{
    float voltajeSensor;
    float corriente=0;
    for(int i=0;i<n_muestras;i++)
    {
        float rufus = analogRead(analogPin06);
        voltajeSensor = analogRead(analogPin06) * (5.08/ 4095.0);
        corriente=corriente+(voltajeSensor-3.5578)/Sensibilidad;
    }
    corriente=corriente/n_muestras;
    return(corriente);
}
```

3.5.2. Implementación de hardware

Para el diseño de la estructura del sistema de seguimiento solar se hizo uso de programas como Autocad, también se hizo una placa de conexiones para el esp32, el circuito de esta placa se realizó en el programa Kidcad.

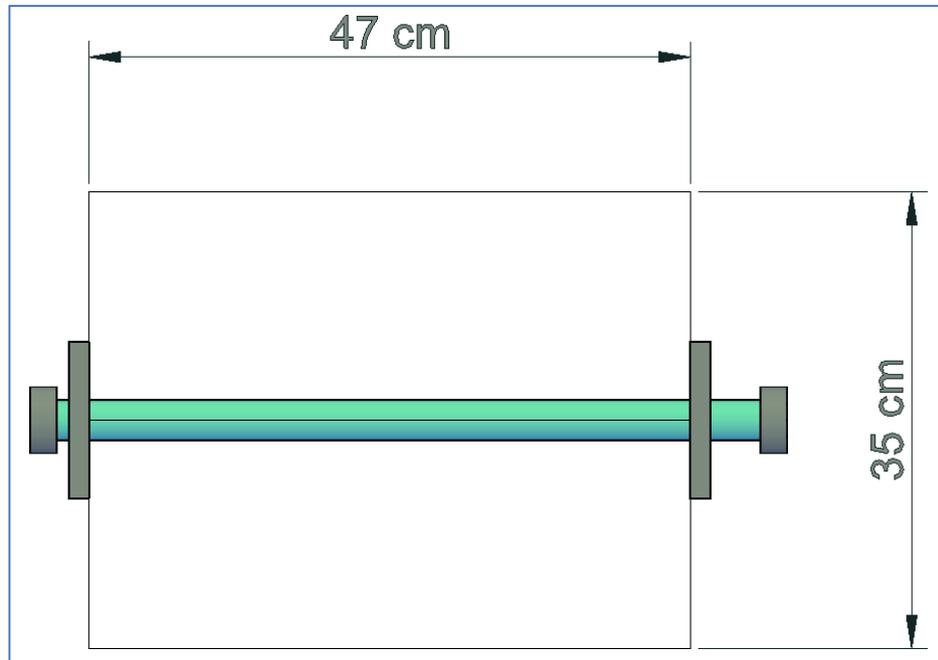
Para poder tener una perspectiva clara de cómo será el modelo de la estructura del seguidor solar, se hizo uso del programa de autocad ya que este nos permitió hacer un modelamiento de la estructura en 2D y 3D en base al tamaño del panel solar que se usa que es este caso es de 47 cm x 35 cm.

Primero tuvimos que desarrollar una base de apoyo y sujeción para el panel solar, ante ello se eligió un objeto tubular acoplado a unos rodamientos en sus extremos para que tenga la libertad de desplazamiento en el ángulo de elevación.

En la figura 96, se establece las medidas del panel y acorde a ello hacer las medidas para la base de desplazamiento en elevación.

Figura 96

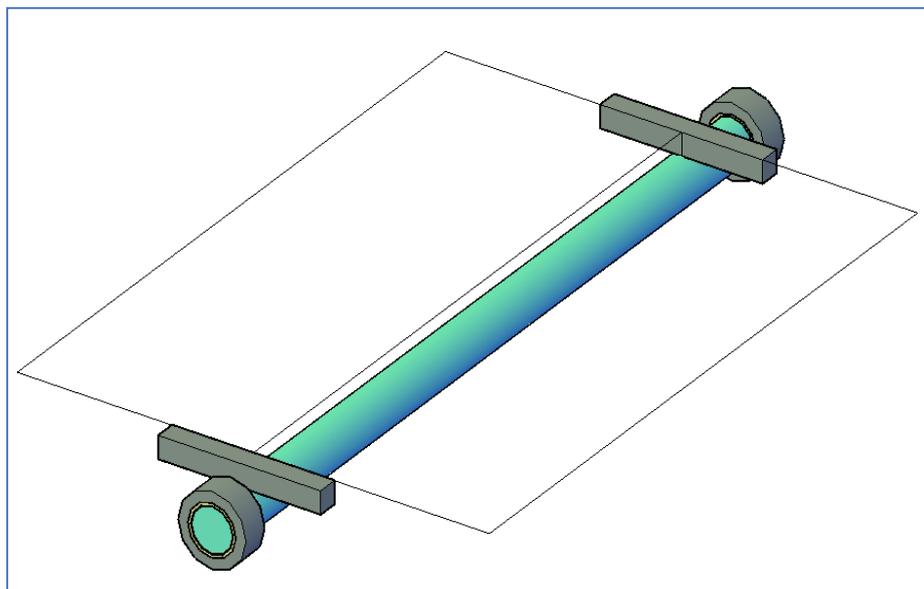
Base para desplazamiento en elevación (vista 1)



En la figura 97, se colocó desde otro punto de vista la base de desplazamiento en elevación.

Figura 97

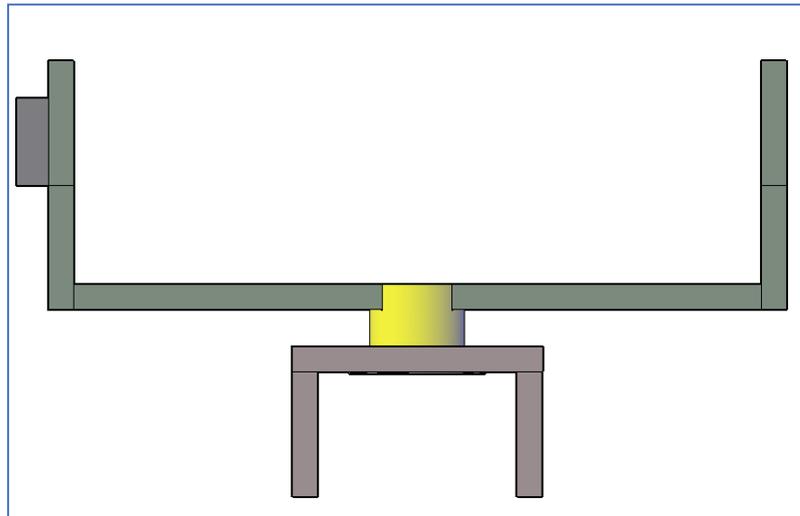
Base para desplazamiento en elevación (vista 2)



En la figura 98, ya teniendo una estructura que permite el desplazamiento en elevación, se procederá a diseñar una que permita a esta estructura desplazarse a lo largo de acimut. De la misma manera que en elevación se usó un rodamiento para permitir el giro en elevación, se usará un rodillo para permitir el giro en acimut.

Figura 98

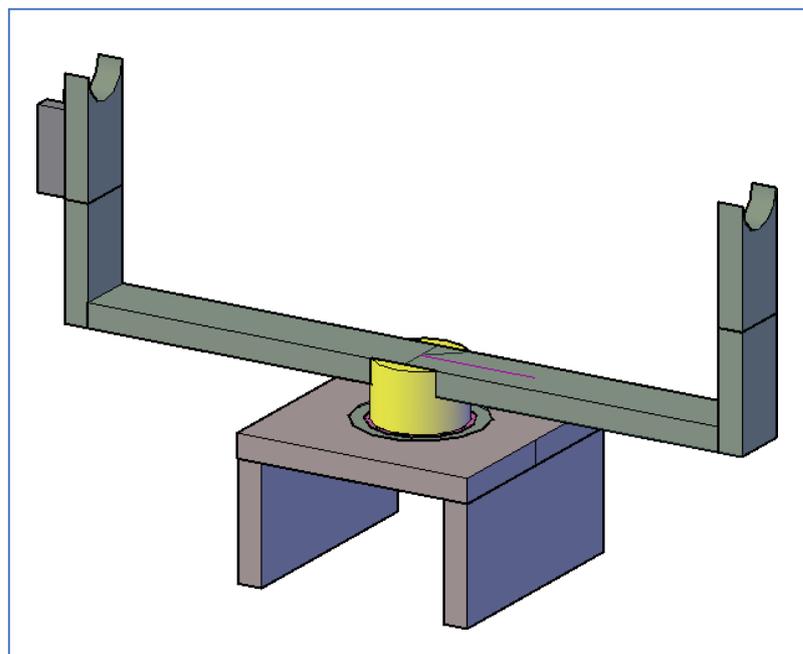
Base para desplazamiento en acimut (vista 1)



En la figura 99, se observa otro punto de vista de la base de desplazamiento en acimut.

Figura 99

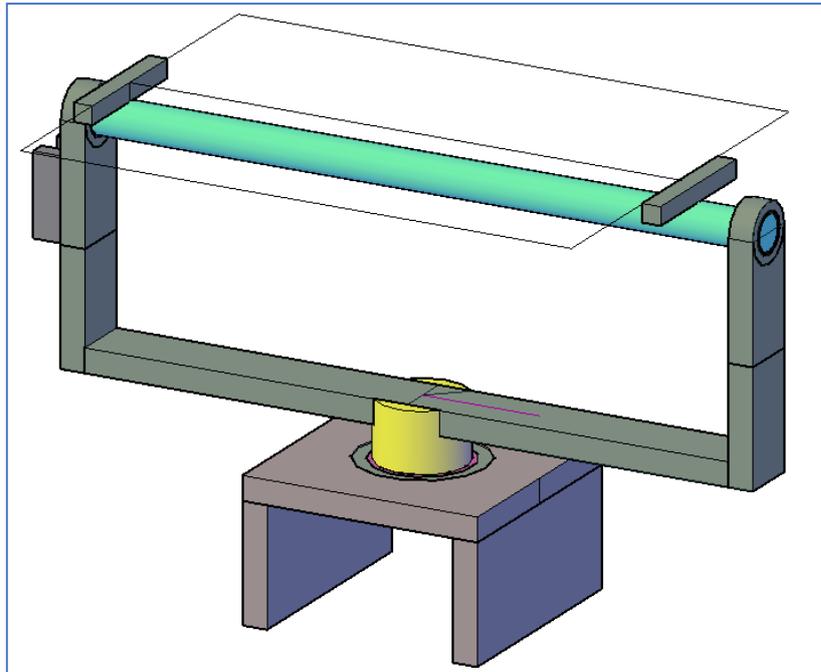
Base para desplazamiento en acimut (vista 2)



En la figura 100, se observa la unión de las estructuras tanto en elevación como acimut, siendo el diseño completo.

Figura 100

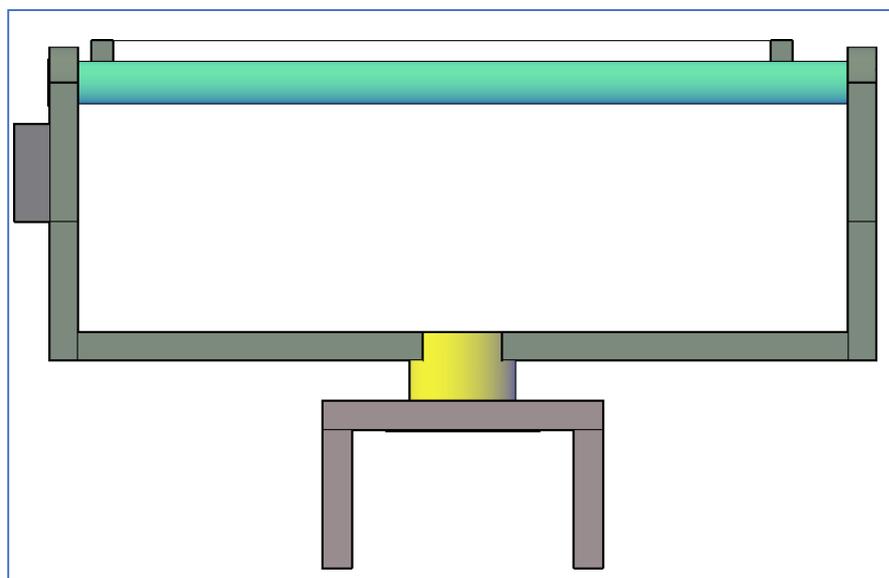
Unión de la estructura para elevación y para acimut (vista 1).



En la figura 101, se observa otro punto de vista del sistema completo.

Figura 101

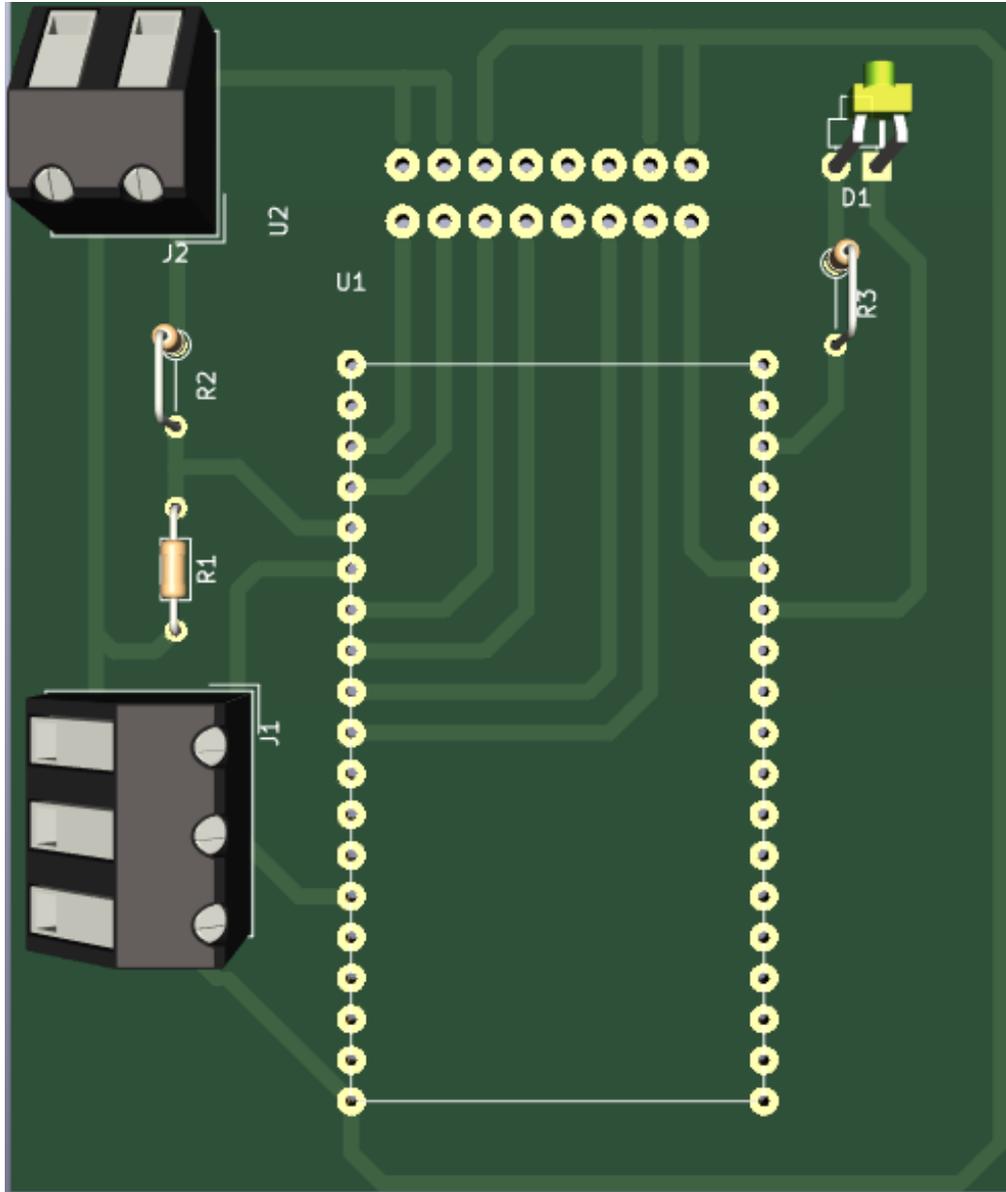
Unión de la estructura para elevación y para acimut (vista 2)



En la figura 103, se observa que una vista previa de cómo quedará el circuito.

Figura 103

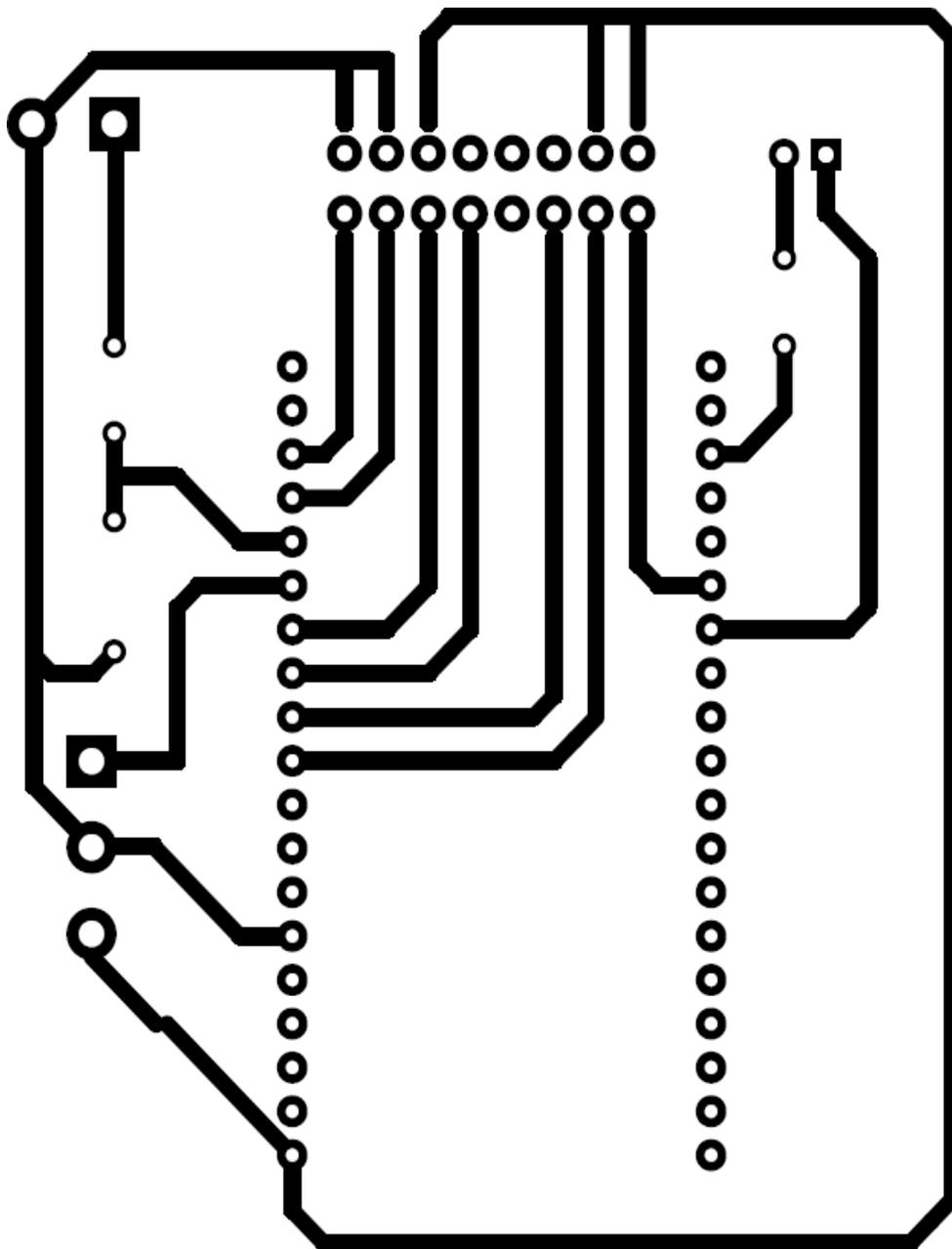
Vista previa de la placa



En la figura 104, se observa la pista de nuestro sistema de seguimiento solar proporcionado por el programa Kicad.

Figura 104

Diseño de la pista



Como se observa en la figura 105, una vez diseñado las pistas se tendrá un esquema el cual se podrá imprimir en papel couche con la ayuda de una impresora láser. Para luego poder plasmarlo en una placa de baquelita con ayuda de una plancha. Posterior a ello se hace el lavado en acido férrico para que quite el exceso de cobre y solo queden las pistas.

Figura 105

Resultado final de la placa de conexión



En la figura 106, se observa el resultado final del diseño.

Figura 106

Diseño final



Figura 108

Datos de la temperatura en Ubidots (Inicio)



- En la figura 109, como se observa se verifica que el sensor de temperatura está enviando los datos al Ubidots en la tarde (19:10). Esto lo verificaremos en la plataforma de Ubidots.

Figura 109

Datos de la temperatura en Ubidots (fin)



- En la figura 110, como se observa se verifica que el sensor de voltaje está enviando los datos al Ubidots en la mañana (06:37). Esto lo verificaremos en la plataforma de Ubidots.

Figura 110

Datos del voltaje en Ubidots (inicio)



- En la figura 111, como se observa se verifica que el sensor de voltaje está enviando los datos al Ubidots en la tarde (16:48). Esto lo verificaremos en la plataforma de Ubidots.

Figura 111

Datos del voltaje en Ubidots (fin)



Como se observa en la figura 112, es preciso comprobar que el sistema hizo el seguimiento solar, para esto se tomó como referencia la potencia obtenida en el transcurso del día. Se toma como referencia la potencia debido a que, al ser un sistema de seguimiento solar, este (la potencia) por teoría debería mantenerse casi constante hasta antes de que el sol se oculte.

Figura 112

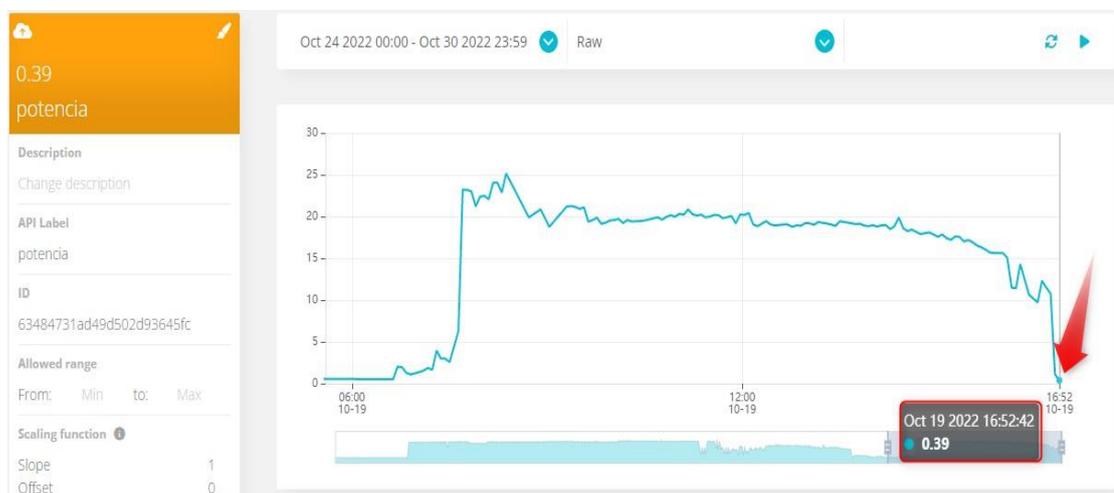
Potencia obtenida (inicio)



En la figura 113, se observa la caída de la potencia en la tarde (16:52), lo cual concuerda con el desplazamiento solar, debido a que en el atardecer el sol se va y por tanto la potencia que recibe el panel disminuye.

Figura 113

Potencia obtenida (fin)



3.7. Materiales y/o instrumentos

Materiales: servo motor TD-8130MG, véase la tabla 12.

Tabla 13

Servo motor TD8130MG

Servo motor modelo TD-8130MG	
Voltaje de operación	4.8 V a 7.2 V
Ángulo límite	180°
Temperatura de operación	-25°C a 70°C
Señal de comando	Modificación de ancho de pulso
Rango de ancho de pulso	500 a 2500 usec
Torque	29 kg.cm a 32.5 kg.cm

Instrumento: Multímetro Fluke 375, véase la tabla 13.

Tabla 14

Fluke 375

Fluke 375	
Resolución en corriente continua	0.1 A
Resolución en corriente alterna	0.1 A
Resolución en tensión continua	0.1 V
Resolución en tensión alterna	0.1 V
Resolución en resistencia	0.1 Ω

3.8. Operacionalización de variables

Para poder entender los requerimientos generales de nuestro trabajo de investigación, se procede a realizar un resumen de las variables de estudio, así como su definición, dimensión y los indicadores. Véase la tabla 14.

Tabla 15

Operacionalización de variables

Variable Independiente	Definición	Dimensión	Indicador	Unidades
Optimización de la energía solar	Mejorar la captación de la energía solar para reducir el tiempo de carga de un acumulador de energía	Acimut	Grados de desplazamiento en el eje horizontal	Grados (°)
			Grados de desplazamiento en el eje vertical	Grados (°)
Variable dependiente	Definición	Dimensión	Indicador	Unidad
El seguimiento solar	Máxima captación de la luz solar durante la carga de acumuladores de energía.	Intensidad luminosa	Luz (onda electromagnética que incide sobre el panel)	V

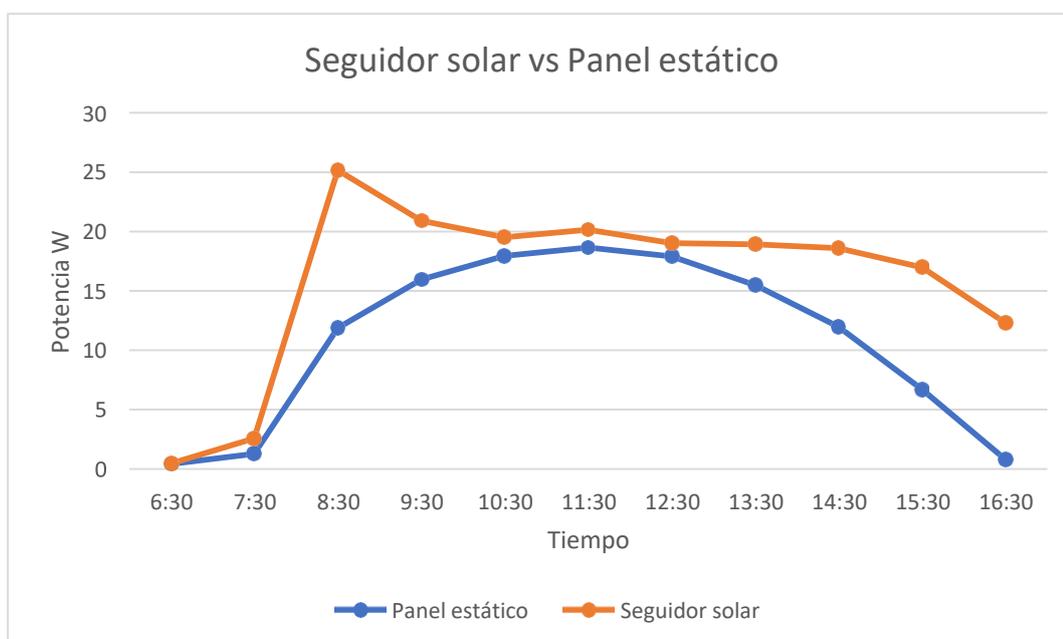
3.9. Procesamiento y análisis de datos

Una vez obtenidos los datos del seguidor solar que habían sido alojados en la plataforma de Ubidots, se procede a analizarlos en una hoja de Excel. En la tabla que se presenta a continuación la potencia y la temperatura. Donde se observa que en cierto lapso la mañana se tiene una baja temperatura por ende se obtiene una mayor potencia, sin embargo, a medida que la temperatura aumenta la potencia va decreciendo hasta que logra mantenerse en un rango de 18 W a 20 W, para al final decaer debido a que el sol ya se está ocultando.

En la Figura 114 se muestra la potencia obtenida del panel estático vs seguidor solar.

Figura 114

Potencia seguidor solar vs panel estático día soleado



Para poder calcular cuánta potencia generó el seguidor solar con respecto al panel estático necesitamos aplicar la integración numérica para obtener el área para ambas curvas de datos, dicha área corresponde a la energía total que se capta por cada tipo de sistema.

Para la integración número se aplicará la regla del trapecio compuesto, eso se refiere a la suma de todas las áreas bajo las rectas que unen dos valores de potencia consecutivos. Este método es equivalente a la media de los resultados.

Esta regla del trapecio deriva de la fórmula de Newton-Cotes de primer grado y es la siguiente:

$$\int_a^b f(x)dx \cong \frac{h}{2} * (f(x_0) + 2 * f(x_1) + 2 * f(x_2) + \dots + 2 * f(x_{n-1}) + f(x_n)) \quad (14)$$

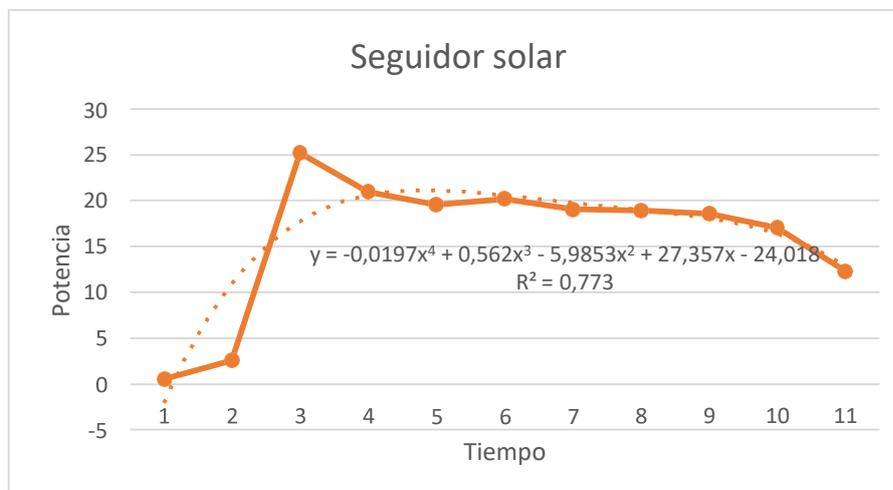
Donde se cumple:

$$h = \frac{b - a}{n} \quad (15)$$

Para aplicar el método del trapecio primero con la ayuda de Excel obtenemos la función correspondiente a la curva del seguidor solar y del panel estático; las cuales son las que se observan en la figura 115 para el seguidor solar en un día soleado, el cual se observa tiene un comportamiento logarítmico al inicio y luego se comporta como una constante, esto nos da a entender un seguimiento mejor en comparación al panel estático, pues mantiene una potencia mayor por más tiempo.

Figura 115

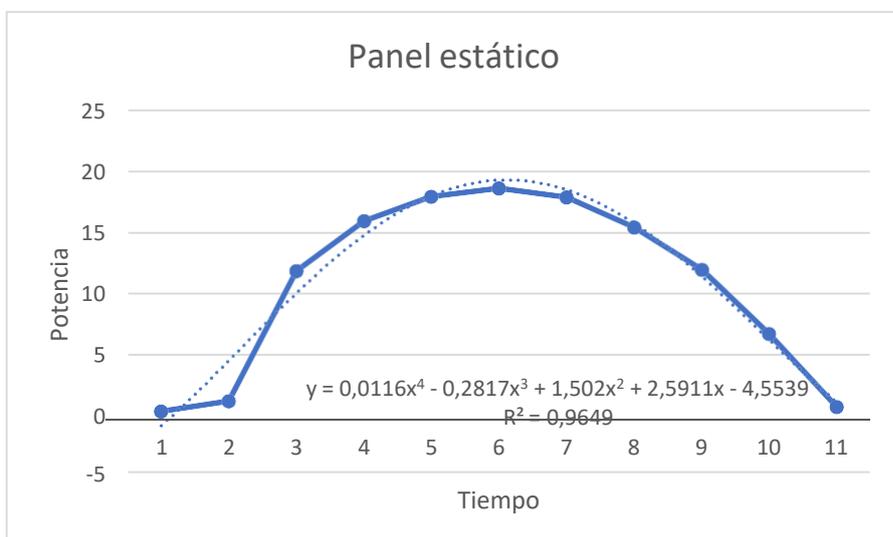
Potencia del seguidor solar en día soleado



En la figura 116, se observa la función del panel estático en un día soleado, el cual se observa tiene un comportamiento de una función cuadrática negativa, por ende tiene picos de potencia solo al medio día y el resto con valores muy bajos.

Figura 116

Potencia del panel estático día soleado



Tras la integración de la función del seguidor solar se obtiene un valor de: 168.61 y del panel estático es: 117.75.

Para poder calcular el porcentaje de potencia que se produjo el panel solar con respecto al panel estático se aplica la siguiente fórmula:

$$\Delta_n = \frac{\text{energía del seguidor}}{\text{energía panel fijo}} * 100 - 100 \quad (16)$$

Reemplazamos con nuestros valores obtenidos:

$$\Delta_n = \frac{168.42}{117.75} * 100 - 100$$

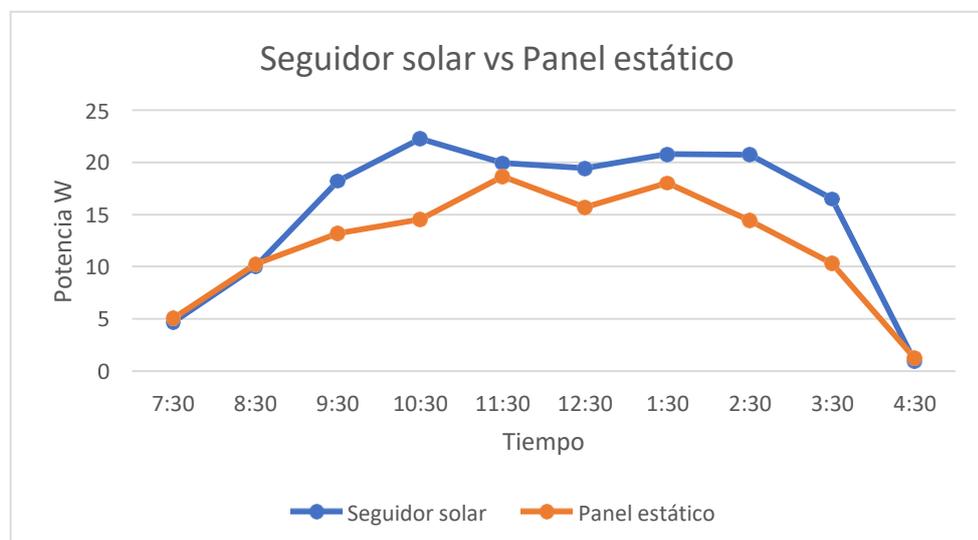
$$\Delta_n = 43.03\%$$

De la misma manera lo hacemos para los datos que se obtuvo en un día parcialmente nublado.

Como se observa en el grafico 117, donde se observa que incluso en un día nublado el seguidor solar tiene valores más altos de potencia en el transcurso del día.

Gráfico 117

Potencia del seguidor solar vs panel estático día parcialmente nublado



Tras la integración de la función del seguidor solar se obtiene un valor de: 151,6 y del panel estático es: 119,2

Para poder calcular el porcentaje de potencia que se produjo el panel solar con respecto al panel estático se aplica la siguiente formula:

$$\Delta_n = \frac{\text{energía del seguidor}}{\text{energía panel fijo}} * 100 - 100$$

Reemplazamos con nuestros valores obtenidos:

$$\Delta_n = \frac{151,6}{119,2} * 100 - 100$$

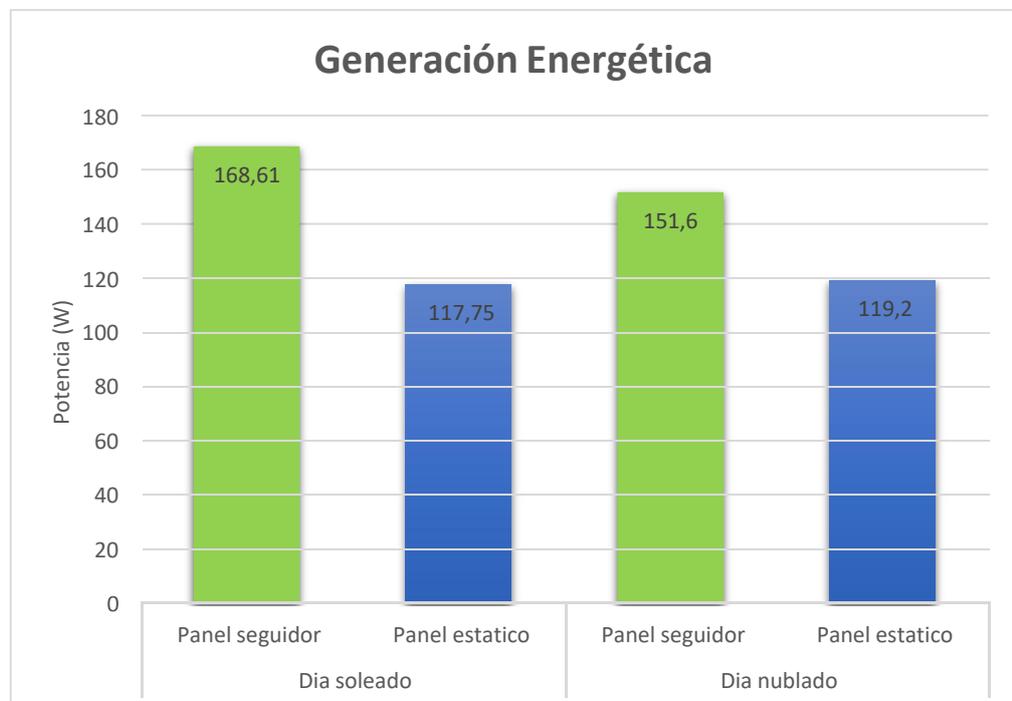
$$\Delta_n = 27,18 \%$$

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

Tras el procesamiento y análisis de los datos obtenidos del sistema de seguimiento solar y el panel solar estático, se obtiene que para un día soleado el sistema de seguimiento genera un 43 % más de energía con respecto a un panel solar estático, de la misma manera para un día parcialmente nublado genera un 27,18 % más de energía con respecto a un panel estático. Tal como se observa en el gráfico 118.

Gráfico 118

Generación energética



La datasheet del sistema final se muestra en la tabla 15.

Tabla 16

Datasheet del Sistema de Seguimiento Solar

Sistema de seguimiento solar	
Alimentación	5 VDC
Tiempo de lectura de intensidad luminosa	Cada 10 segundos en acimut
Tiempo de respuesta	10 segundos en acimut 4 minutos en elevación
Tiempo de envío de datos a plataforma Ubidots	Cada 10 minutos
Generación de energía en día soleado	+43 % con respecto a un panel estático
Generación de energía en día parcialmente nublado	+27 % con respecto a un panel estático
Temperatura ambiente de operación	Máximo: 26,3 °C Mínimo: 9 °C

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

El sistema de seguimiento solar desarrollado es similar en cuanto a los resultados hallados por De la Gala (2018), utilizando un Arduino uno, sensores LDR, motores DC y un sistema de almacenamiento de datos local (una tarjeta SD) y usando un panel solar policristalino, concluyó que el sistema de seguimiento solar le permitió una generación de energía del 43 % más, con respecto a un panel solar estático.

Por otra parte, el sistema de seguimiento solar de dos ejes demuestra tener una superioridad en ganancia energética frente a un seguidor solar de un solo eje, esto lo podemos notar comparando nuestros resultados frente a lo hallado por Villela, Reyes, López, Beltrán, Martínez y Chacón (2018) en donde pretenden obtener una ganancia energética del 30 % con respecto a un panel estático, concluyendo que a pesar de usar un control de lógica difusa solo logran una ganancia energética de entre un 15 % al 20 % de la misma manera que Gonzales, Cohaila, y Paredes (2019).

La buena elección de tecnología fue fundamental para el buen seguimiento del sistema, y no presentó fallas como en comparación a lo expuesto por Caba (2019) en donde tiene que mejorar un sistema de seguimiento solar debido a que sus sensores LDR's presentan fallas en ciertas condiciones climáticas.

CONCLUSIONES

Los parámetros que se determinaron como necesarios para el sistema de seguimiento solar son dos, siendo el primero el tiempo de respuesta para el posicionamiento en el ángulo acimutal, así como en el de elevación, viniendo a ser 10 segundos y 4 minutos respectivamente; y el segundo parámetro es el tiempo de muestro de la posición del sol el cual se hace cada 10 segundo solo en el ángulo de acimut.

El sistema de seguimiento solar está compuesto por la placa de desarrollo ESP32, empleado como una unidad de captación, procesamiento y análisis datos obtenidos a partir de sensores solares, de voltaje, corriente y temperatura. También se aprovecha el módulo WIFI integrado en la placa de desarrollo para enviar y almacenar datos en una plataforma IoT a través del protocolo MQTT.

La plataforma IoT que se usa para almacenar los datos del sistema de seguimiento solar es Ubidots ya que cuenta con la capacidad de usar el protocolo *Machin to Machin*, además de brindar una capacidad de envío de 30 mil datos mensuales y un almacenamiento de datos de forma permanente. Por último, permite al usuario un fácil acceso a sus datos almacenados a través de archivos descargables en formato Excel.

RECOMENDACIONES

Dado que el sistema de seguimiento solar ha demostrado ser más eficiente que un panel solar estático, es importante seguir mejorando el diseño del circuito. Puedes explorar diferentes configuraciones de sensores y actuadores para mejorar aún más la precisión y eficiencia del sistema de seguimiento solar.

Se debe asegurar que el sistema de seguimiento solar sea lo suficientemente estable y robusto para resistir diferentes condiciones climáticas y entornos. La durabilidad es crucial para garantizar que el sistema funcione de manera confiable durante largos períodos de tiempo.

Se debe revisar la eficiencia energética del sistema, tanto en términos de consumo de energía del circuito electrónico como de la energía que se está generando y almacenando. Busca formas de reducir el consumo de energía del sistema para maximizar la cantidad de energía disponible para su uso.

En vista que el sistema envía datos a una plataforma de almacenamiento IoT, considera implementar un sistema de monitoreo y mantenimiento remoto. Esto permitirá realizar ajustes y solucionar problemas de manera más eficiente sin la necesidad de una intervención física.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arrieta y Pueblo (2015). *Diseño y construcción de un seguidor solar para aumentar el rendimiento energético en paneles fotovoltaicos de un sistema de bombeo*. [Trabajo del fin de grado. Universidad de Córdoba, España]. Repositorio de Universidad de Córdoba: <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/700/Documento%20final%20Seguidor%20solar%20correcciones%20impresion.pdf?sequence=1>
- Bruno, A. (2019). *esp32 node mcu*. [Archivo PDF]. https://www.microelectronicash.com/downloads/ESP32_MANUAL.pdf
- Caba, J. (2019). *Millora del sistema d'orientació en un seguidor solar*. [Trabajo de grado, Universitat de Lleida]. Repositorio de Universitat de Lleida. <https://repositori.udl.cat/handle/10459.1/67980>
- Canal ignacio aguilera. (12 de octubre del 2020). *esp32 ¿qué es esta palca de desarrollo?* [Archivo de video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=_YUVmPVzpSM
- De la Gala, A. (2018). *Implementación de un Seguidor Solar para la Evaluación Energética Comparativa de Paneles Fotovoltaicos*. [Trabajo de fin de grado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. Repositorio UNJBG. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/3255>
- Department of Energy (2005). *Basic Research Needs for Solar Energy Utilization*. [Archivo PDF]. <https://www.infobooks.org/pdfview/465-basic-research-needs-for-solar-energy-utilization-department-of-energy/>
- Ebel, F y Nestel, S. (2016). *Sensores para la técnica de procesos y manipulación*. [Archivo PDF]. https://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/094342_leseprobe_es.pdf
- El Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicaciones (2007). *Energía Solar Fotovoltáica*. [Archivo PDF]. <https://www.coit.es/file/4245/download?token=F3kPOsFh>
- Espressif Systems (2021). *ESP32 Series Datasheet v.3.5*.
- Evans, D. (2011). *Internet de las cosas*. [Archivo PDF]. https://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/solutions/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf

- Gonzales, M., Cohaila, A. y Pararedes, E. (2019). *Diseño de un sistema de seguimiento solar de un eje para el aprovechamiento de la energía solar en sistemas fotovoltaicos*. *Ciencia & Desarrollo*, (10), 43-46.
<https://doi.org/10.33326/26176033.2006.10.196>
- Jamal, I. (2020). Sistema de Adquisición de Datos Con Esp32. [Trabajo final de grado, Universidad Politécnica de Catalunya]. Repositorio de Universidad Politécnica de Catalunya.
https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/344400/Sistema-de-adquisicion-de-datos-con-ESP32_Jamal-Ikiss.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Para%20este%20trabajo%20se%20utilizan,est%C3%A1%20conectada%20a%20un%20ordenador.
- Lacasa, E. (2012). *Diseño y fabricación de un seguidor solar de un eje*. [Trabajo del fin de grado. Universidad de Zaragoza, España]. Repositorio de Universidad de Zaragoza: <https://zaguan.unizar.es/record/8798?ln=es#>
- Meza R. y Cota C. (2006). *El efecto fotoeléctrico*. Universidad Autónoma de la Ciudad de México Toluca, 13, 303 – 31. <https://www.redalyc.org/pdf/104/10413309.pdf>
- Ministerio de Energía y Minas (2018). *Energía Renovables, Experiencia y Perspectivas en la Ruta del Perú Hacia la Transición Energética*. [Archivo PDF].
https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energias-Renovables-Experiencia-Perspectivas.pdf
- Naylamp (2016). *Sensor de corriente ACS712*.
https://naylampmechatronics.com/blog/48_tutorial-sensor-de-corriente-ac712.html
- Osorio J., Escobar A. y Holguín M. (2010). *Diseño e implementación de un seguidor solar para la optimización de un sistema fotovoltaico*. *Scientia et Technica*, 44, 245-250. <https://n9.cl/8w53>
- Pérez, B. y Academia de Energía Solar (2020). *La Energía Fotovoltaica*. [Archivo PDF].
- Promotec (2019). *Sensores de Temperatura DTH22*.
<https://www.promotec.net/sensores-dht22/>
- Roldán, J., Fernandez, A. y Beltran, J. (2019). *PID Control for a two-axis orientable solar panel system*. [Archivo PDF].
- Royce, W. (1970). *Managing the Development of large software systems*. [Archivo PDF].
https://leadinganswers.typepad.com/leading_answers/files/original_waterfall_paper_winston_royce.pdf

- Salazar, J. y Silvestre, S. (2017). *Internet de las cosas*. [Archivo PDF]. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100921/LM08_R_ES.pdf
- Sancho A. (2015-2016). *Estudio y prototipado de la eficiencia energética de un panel solar auto-ajustable low-cost*. (Trabajo del fin de grado. Universidad Politécnica de Valencia. España). <https://n9.cl/g6a19>
- Sans, A. y Torres, L. (2017). *Sensores y Actuadores*. [Archivo PDF]. https://www.sanzytorres.es/static/pdf/31104089_By72kYL.pdf
- SmartElements (2022). *Servos TD8130MG*. <https://smartelements.ru/collection/motory-dravery-shassi/product/servoprivod-td8130mg>
- Vilcanqui, J. (2020). *Estudio para el desarrollo de un seguidor solar de dos ejes auto configurable para paneles fotovoltaicos*. [Trabajo del fin de grado. Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú]. Repositorio de Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://n9.cl/acmh>
- Villela, M., Reyes, C., López, F., Beltrán, A., Martínez, A. y Chacón, A. (2018). *Control difuso de un seguidor solar*. <http://ricaxcan.uaz.edu.mx/jspui/handle/20.500.11845/1625>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADOR	ÍNDICE	METODOLOGÍA
¿En qué medida el seguimiento solar automatizado optimizara la carga de un acumulador de energía usando paneles fotovoltaicos?	Diseñar e implementar un prototipo de circuito electrónico de seguimiento solar para optimizar la carga de acumuladores de energía usando paneles fotovoltaicos.	El diseño e implementación de un prototipo de circuito electrónico de seguimiento solar permitirá optimizar la carga de acumuladores de energía usando paneles fotovoltaicos.	Variable independiente: Optimización de la energía solar	Acimut	(°)	Tipo de investigación: Aplicada Diseño de la investigación: Investigación experimental Metodología del diseño: Diseño basado en el ciclo de vida de un producto
				Elevación		
			Variable dependiente: El seguimiento solar	Intensidad luminosa	V	

Anexo 2. Datasheet del ESP32

Características técnicas del módulo ESP32		
No.	Nombre de parámetros	Valor de parámetros
1	Operación de frecuencia maximo	240 MHz
2	Microprocesador	Tensilica Xtensa LX6
3	Voltaje de operación	3,3V
4	Pines DAC	8 bits, 2 canales
5	Pines de entrada analogica	12 bits, 18 canales
6	Corriente en Pins DC I/O	40 mA
7	Pines digitales I/O	39 (24 son GPIO)
8	Corriente que entrega Pin de 3,3v	50 mA
9	Comunicación	SPI(4), I2C (2), I2S(2), CAN, UART(3)
10	SRAM	520 KB
11	Bluetooth	V4.2- soporta BLE y bluetooth clásico
12	Wi-fi	802,11 b/g/n