



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

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

CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

Tema:

**OPTIMIZACIÓN Y MONITOREO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA EN SISTEMA ELECTRONICA E INDUSTRIAL**

Trabajo de titulación modalidad Proyecto de Investigación, presentado previo a la
obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones

ÁREA: Electrónica

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Tecnología de la información y Sistemas de
control

AUTOR: Juan Elias Quinapanta Villares

TUTOR: Dr. Mg. Freddy Geovanny Benalcázar Palacios.

Ambato - Ecuador

febrero – 2024

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del trabajo de titulación con el tema: OPTIMIZACIÓN Y MONITOREO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA EN SISTEMA ELECTRONICA E INDUSTRIAL, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por el señor Juan Elias Quinapanta Villares, estudiante de la Carrera de Telecomunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que el estudiante ha sido tutorado durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 17 del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 6.3 del instructivo del reglamento referido.

Ambato, febrero 2024.

Dr. Mg. Freddy Geovanny Benalcázar Palacios
TUTOR

AUTORÍA

El presente trabajo de titulación titulado: OPTIMIZACIÓN Y MONITOREO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA EN SISTEMA ELECTRONICA E INDUSTRIAL, es absolutamente original, auténtico y personal y ha observado los preceptos establecidos en la Disposición General Quinta del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, febrero 2024.



Juan Elias Quinapanta Villares

C.C. 1803807815

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato para que reproduzca total o parcialmente este trabajo de titulación dentro de las regulaciones legales e institucionales correspondientes. Además, cedo todos mis derechos de autor a favor de la institución con el propósito de su difusión pública, por lo tanto, autorizo su publicación en el repositorio virtual institucional como un documento disponible para la lectura y uso con fines académicos e investigativos de acuerdo con la Disposición General Cuarta del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, febrero 2024.



Juan Elias Quinapanta Villares

C.C. 1803807815

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del informe final del trabajo de titulación presentado por el señor Juan Elias Quinapanta Villares, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado OPTIMIZACIÓN Y MONITOREO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA EN SISTEMA ELECTRONICA E INDUSTRIAL, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 19 del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 6.4 del instructivo del reglamento referido. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidente del Tribunal.

Ambato, febrero 2024.

Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Mg. Franklin Salazar Logroño
PROFESOR CALIFICADOR

Ing. Mg. Geovanni Brito Moncayo
PROFESOR CALIFICADOR

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico a Dios por la vida y por saberme guiar por el buen camino, a mi madre, Myriam Villares por ser un pilar fundamental brindándome su apoyo incondicional, su amor y por creer en mis habilidades, a mi padre Juan Quinapanta que es un ejemplo de superación, me ha enseñado a ser la persona que hoy soy con buenos valores y principios. Ellos que a pesar de todo siempre me han brindado la fuerza para afrontar los desafíos y superar los obstáculos. Este logro también es de ustedes, su apoyo ha sido una parte integral de mi éxito.

A mi hija Abigail Quinapanta, que es mi motor, la razón principal para seguir esforzándome y así alcanzar mis metas. Cada paso que doy ha sido pensando en ella con la certeza de ser un ejemplo de superación y comprenda que, así como yo alcance uno de mis sueños ella también va a lograrlo con mi apoyo y el de todos los que la amamos. A mi hermano Christian Quinapanta por animarme en los momentos difíciles por ser un soporte de tranquilidad en mi vida.

A mi Familia, mis abuelitos, tíos, tías y a todos los que me apoyaron especialmente a Olmedo Quinapanta y Antonio Quinapanta que por circunstancias adversas ya no están presentes les estoy agradecidos porque siempre han estado pendientes de mi futuro. Cada reunión, llamada y gesto de apoyo ha sido un recordatorio constante de que nunca he estado solo en este viaje.

Juan

AGRADECIMIENTO

Agradezco a los docentes que me han impartido su conocimiento en todo este camino, para poder alcanzar uno de mis objetivos.

Al Dr. Mg. Freddy Benalcazar mi tutor que me guio y que ha contribuido en mi crecimiento académico con el fin de desarrollar un trabajo eficaz.

A mi familia que ha sacrificado muchas cosas por ver cumplir mis sueños y por siempre estar presentes dándome fuerzas y ánimos para no desmayar en este proceso.

A mis amigos con los que he compartido gratos momentos, agradezco sinceramente por cada momento que dedicaron para brindarme ánimo, por escuchar mis ideas y contribuir con sus perspectivas. Su presencia ha sido fundamental, y estoy agradecido por la conexión y camaradería que hemos construido a lo largo de este viaje.

Al concluir esta etapa académica, no puedo dejar de reflexionar sobre las diversas influencias que han moldeado mi camino. Entre esas influencias, hay recuerdos y experiencias compartidas que llevan una impronta. Cada desafío superado y cada momento compartido lleva una huella de manera única.

Juan

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA	¡Error! Marcador no definido.
APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
RESUMEN EJECUTIVO	xvii
ABSTRACT	xviii
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	1
1.1 Tema de investigación	1
1.1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Antecedentes investigativos	3
1.3 Fundamentación teórica	6

1.3.1 Generación de Energía Eléctrica	6
1.3.2 Redes Eléctricas Inteligentes (Smart Grid)	7
1.3.3 Sistemas de almacenamiento energético	7
1.3.4 Energías renovables	8
1.3.5 Trayectoria Solar	11
1.3.6 Radiación Solar	11
1.3.7 Radiación Solar en el Ecuador	12
1.3.8 Paneles fotovoltaicos.....	13
1.3.9 Dispositivos de sensorización	17
1.3.10 Seguidor Solar	18
1.3.11 Algoritmo de seguimiento solar	18
1.3.12 Componentes de una instalación solar generadora de electricidad.....	19
1.4 Objetivos	21
1.4.1 Objetivo general.....	21
1.4.2 Objetivos específicos	21
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	22
2.1 Materiales.....	22
2.2 Métodos.....	22

2.2.1 Modalidad de la investigación	22
2.2.2 Población y muestra	23
2.2.3 Población.....	23
2.2.4 Muestra.....	23
2.2.5 Recolección de información.....	24
2.2.6 Procesamiento y análisis de datos	24
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
3.1 Desarrollo de la Propuesta	25
3.2 Implementación del sistema fotovoltaico dinámico.....	27
3.3 Descripción del Panel Solar	29
3.4 Controlador de carga	30
3.5 Batería	30
3.6 Propuesta de microcontroladores	32
3.7 Conductores.....	34
3.8 Selección del material adecuado para la construcción de la estructura.....	38
3.9 Diseño de la estructura mecánica.....	40

3.9.1	Diseño del Poste.....	41
3.9.2	Diseño de la Parrilla.....	42
3.9.3	Diseño de la caja reductora	43
3.9.4	Cálculo del tornillo sin fin.....	44
3.9.5	Cálculo del piñón o corona	50
3.10	Número de horas de Luz en Ambato.....	54
3.11	Dimensionamiento del Angulo.....	55
3.11.1	Orientación.....	55
3.11.2	Angulo de giro.....	55
3.12	Fuerza que debe necesita el motor.....	56
3.13	Cálculo de la potencia del motor	57
3.14	Selección del Motor.....	58
3.15	Diseño del Sistema	59
3.16	Sensores.....	61
3.17	Reloj de tiempo real.....	62
3.18	Sensor de corriente	63
3.19	Módulo reductor de voltaje Step Down Buck Ajustable.....	63
3.20	Placa de conexiones.....	64
3.21	Tablero de control.....	67
3.22	Consumo de Potencia	68
3.23	Interfaz gráfica.....	68

3.24	Análisis de los datos	70
3.24.1	Datos con el sistema fotovoltaico dinámico.....	70
3.24.2	Datos con el sistema fotovoltaico fijo.	72
3.24.3	Comparación entre el sistema fotovoltaico dinámico y el fijo.....	75
3.25	Costos	76
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		79
4.1	Conclusiones	79
4.2	Recomendaciones.....	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		¡Error! Marcador no definido.
ANEXOS		85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros Eléctricos del Panel Solar SUN-HE-325	29
Tabla 2. Parámetros del regulador de carga SHS-6	30
Tabla 3. Parámetros de la Batería TB12-18	31
Tabla 4. Detalles de los microcontroladores más utilizados en la Industria.	33
Tabla 5. Capacidad de corriente permisible de conductores sencillos aislados para 0 a 2000 V nominales al aire libre y temperatura ambiente de 30°	37
Tabla 6. Selección del Material.....	39
Tabla 7. Datos Calculados para el tornillo sin fin	49
Tabla 8. Datos calculados para la elaboración del piñón o corona.	53
Tabla 9. Masa total de los elementos del sistema.	54
Tabla 10. Salida y puesta del Sol en la Ciudad de Ambato 2023	54
Tabla 11. Elementos que van en el interior de la caja de distribución.....	67
Tabla 12. Potencia consumida diaria de los elementos del sistema.....	68
Tabla 13. Promedio de variables de Corriente Voltaje adquiridas en 15 días con el sistema dinámico.....	70
Tabla 14. Promedio de variables de Corriente Voltaje adquiridas en 15 días con el sistema fijo	73
Tabla 15. Eficiencia del sistema fotovoltaico dinámico en días.	75
Tabla 16. Eficiencia en días del sistema fotovoltaico fijo.	75
Tabla 17. Comparación de la eficiencia y aumento energético.	75
Tabla 18. Costo total de los materiales utilizados.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Panémonas	9
Figura 2. Esquema de un SFCR.	10
Figura 3. Mapa de Irradiación Solar Anual.....	13
Figura 4. Paneles Solares Instalados en el Garaje de un Hotel	13
Figura 5. Diagrama de bloques de un sistema electrónico de comunicaciones.	14
Figura 6. Esquema de un sistema fotovoltaico general.....	25
Figura 7. Estructura de un sistema fotovoltaico monitorizado.	26
Figura 8. Arquitectura de un sistema fotovoltaico de un eje con monitorización.....	27
Figura 9. Fase de implementación del sistema dinámico.....	28
Figura 10. Panel Solar SUN-HE-325	29
Figura 11. Controlador de carga CMTP02.....	30
Figura 12. Batería Tb-Plus TB12-18.....	31
Figura 13. ESP32	34
Figura 14. Cable solar Fotovoltaico 10 AWG.	34
Figura 15. Conector MC4.	35
Figura 16. Diseño de la estructura mecánica	41
Figura 17. Diseño del poste.....	42
Figura 18. Diseño de la Parrilla.....	43
Figura 19. Diseño del Tornillo sin fin.....	44
Figura 20. Partes del tornillo sin fin.....	45

Figura 21. Diseño del piñón o corona	50
Figura 22. Orientación del sistema fotovoltaico	56
Figura 23. Diagrama de fuerzas ejercidas en el eje.....	56
Figura 24. Gearmotor MR76.....	59
Figura 25. Diagrama de conexión del sistema fotovoltaico dinámico.	60
Figura 26. Fotorresistencia (LDR)	61
Figura 27. Real Time Clock.....	62
Figura 28. Reloj Time Clock (pila).....	62
Figura 29. Sensor de Corriente tipo Hall	63
Figura 30. Módulo reductor de voltaje 20A 6V-40V a 1.2V-36V Step Down Buck Ajustable	64
Figura 31 Diseño de la placa electrónica	65
Figura 32. Placa electrónica	66
Figura 33. Caja de distribución instalada en el poste de la estructura	67
Figura 34. Interfaz gráfica para el monitoreo del sistema.....	69
Figura 35 Variable de potencia en 6 días sistema dinámico.	71
Figura 36. Variable de potencia en 6 días sistema fijo.	73

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Datasheet del motorreductor Gearmotor MR76	85
Anexo B. Datasheet de la batería TB-Plus-12-18	86
Anexo C. Diagrama de flujo del sistema dinámico.....	87
Anexo D. Datasheet de la ESP32	88
Anexo E. Construcción del tornillo sin fin.....	89
Anexo F. Construcción de la estructura.	90
Anexo G. Instalación del cableado para el control	92
Anexo H. Instalación del sistema fotovoltaico en el edificio de los talleres tecnológicos.....	93
Anexo I. Puesta en funcionamiento el sistema fotovoltaico dinámico	95
Anexo J. Planos de las partes de la estructura.....	94
Anexo K. Enlace del Código.....	97

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de titulación estudia la forma de mejorar la eficiencia del panel solar mediante la implementación de un sistema dinámico que mejora la adquisición de la radiación solar, la propuesta que se ha implementado es un sistema solar que rota sobre un solo eje, para ello se realizó un análisis de los factores como el lugar donde se ha de instalar el sistema, los tipos de movimientos o seguidores solares, el motor que se ha utilizado para realizar el giro, el mismo que sigue la trayectoria solar en todo el día.

En el diseño electrónico se han integrado dispositivos de detección de luminosidad, un reloj digital, un microcontrolador y un regulador de voltaje especializado para proporcionar energía al controlador, que actúa como el componente central del seguidor. El funcionamiento de este último se describe mediante un diagrama de flujo. Para la toma de datos se ha usado un sensor de corriente del tipo Hall, el cual envía la información a una base de datos para después ser analizada. El módulo relé que forma parte del diseño del circuito de potencia es el que controla la dirección del giro del motor; además, se ha realizado los cálculos correspondientes para el diseño de un sistema de caja reductora que es parte del sistema mecánico. Finalmente, se ha llevado a cabo un análisis estadístico de la eficacia del sistema, concluyendo que el sistema fotovoltaico dinámico supera en eficiencia a un sistema estático de captación de energía fotovoltaica.

Palabras clave: Radiación, Sistema Fotovoltaico dinámico de un eje, energías alternativas, controlador, eficiencia.

ABSTRACT

The present graduation thesis examines the method of improving the efficiency of the solar panel through the implementation of a dynamic system that enhances the acquisition of solar radiation. The proposed implementation is a solar system that rotates about a single axis. An analysis was conducted on factors such as the installation location, types of movements or solar trackers, and the motor used for rotation, which follows the solar trajectory throughout the day.

In the electronic design, devices for luminosity detection, a digital clock, a microcontroller, and a specialized voltage regulator have been integrated to provide power to the controller, which acts as the central component of the tracker. The operation of the latter is described through a flowchart. For data collection, a Hall-type current sensor has been employed, sending information to a database for subsequent analysis. The relay module, a part of the power circuit design, controls the motor's rotation direction. Additionally, calculations have been performed for the design of a gearbox system, which is part of the mechanical system. Finally, a statistical analysis of the system's efficiency has been carried out, concluding that the dynamic photovoltaic system outperforms a static photovoltaic energy capture system in terms of efficiency.

Keywords: Radiation, single-axis dynamic photovoltaic system, alternative energy, controller, efficiency.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1 Tema de investigación

OPTIMIZACIÓN Y MONITOREO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA EN SISTEMA ELECTRONICA E INDUSTRIAL

1.1.1 Planteamiento del problema

La actual crisis energética impulsa la búsqueda de sustituir diferentes fuentes de energía que se usan hoy en día, cuyos altos niveles de contaminación hacen imperativa la búsqueda de alternativas respetuosas con el entorno, Se busca especialmente fuentes de energía renovable con bajos o nulos niveles de contaminación. Una de las alternativas a la solución de este problema es la energía solar. Esta forma de generación de energía se basa en la captación de la radiación solar y se distingue por su reducido impacto ambiental durante su ciclo de funcionamiento.

Uno de los objetivos de desarrollo sostenible establecidos por las Naciones Unidas se enfoca en asegurar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna. Actualmente, más de 1.200 millones de personas (una de cada cinco personas a nivel mundial) viven sin acceso a electricidad. La mayoría se concentra en una docena de países de África y Asia [1]. En contraste, de los más de 10.000 teravatio/hora (TWh) de electricidad generada por los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), la energía solar contribuye únicamente 8 TWh. No obstante, las tecnologías relacionadas con la energía solar, que incluyen la energía fotovoltaica, la energía solar de concentración y la energía térmica solar, representan la fuente de energía de mayor crecimiento en todo el mundo. Con claras indicaciones de los gobiernos impulsando el mercado, se proyecta que estas tecnologías de bajas emisiones de carbono podrían abastecer más del 30% del suministro total de energía a nivel mundial para el año 2040 [2].

El mercado de energías sostenibles en América Latina se recuperó en 2021, después de los impactos causados por la pandemia. A medida que países y empresas intensifican sus esfuerzos para reducir las emisiones de carbono y abordar el cambio

climático, la demanda de fuentes de energía limpia y sostenible experimenta un notable aumento. En gran medida impulsada por los considerables proyectos de energía verde en Brasil y Chile, se estima que la capacidad eólica y solar en la región aumentó un 50% en 2021. Se prevé que la expansión de las energías renovables en América Latina continúe, ya que los gobiernos se esfuerzan por alcanzar sus metas de energía limpia. De acuerdo con el informe "Panorama del Mercado de América Latina" de Bloomberg New Energy Finance (NEF), se incorporaron en total 17,5 GW de capacidad en energía eólica y solar en toda la región durante 2021, con una inversión total de 18.000 millones de dólares destinados a proyectos de energía renovable en América Latina. [3].

Según la ARCONEL (Agencia de Regulación y Control de la Electricidad), la contribución de la energía fotovoltaica en la matriz energética de Ecuador apenas alcanza el 0,14%. A pesar de un creciente interés en las energías renovables en los últimos años, la participación de este sector en la oferta energética sigue siendo mínima, sin llegar siquiera al 1%. Esto pone de manifiesto un limitado compromiso por parte del gobierno en impulsar proyectos de energías renovables en el país. La falta de funcionamiento de las granjas solares planificadas puede interpretarse como un indicio de que las autoridades están buscando capital extranjero para impulsar la implementación de iniciativas de energías renovables en Ecuador, considerando casos exitosos como el de las Islas Galápagos. Este lugar ha sido reconocido internacionalmente por la exitosa implementación de proyectos que suministran electricidad a toda una población mediante paneles solares, así como la inauguración de un aeropuerto totalmente sostenible con energía solar fotovoltaica y eólica [4]. El Ministerio de Energía y Minas estima que Ecuador cuenta con un potencial aprovechable de 660 MV fotovoltaicos (a partir de la energía solar), que se identificó, con un "análisis multicriterio y con información secundaria disponible, considerando lugares con alto nivel de irradiación, factibilidad de conexión y zonas que no presenten limitaciones ambientales, sociales, etc. [5].

Un panel solar estático, es decir, un panel solar que no se mueve y está orientado hacia una dirección fija, tiene una mayor incidencia de la luz solar durante ciertas horas del día, dependiendo de la orientación del panel y la latitud en la que se encuentra. Durante el mediodía solar, cuando el sol está en su punto más alto en el cielo, el ángulo de

incidencia de los rayos solares es más perpendicular al panel, lo que significa que el panel recibe la máxima cantidad de energía solar posible. Sin embargo, fuera de este intervalo, la cantidad de energía solar que llega al panel disminuye a medida que el ángulo de incidencia se vuelve más oblicuo.

Cuando las condiciones climáticas, como la nubosidad, la neblina o la lluvia, disminuyen la incidencia de luz solar en un panel solar, esto resulta en una disminución en su capacidad para generar energía. La producción de energía del panel se ve afectada negativamente cuando no recibe suficiente luz solar debido a estas circunstancias. Un panel solar está diseñado para capturar la radiación de luz solar y convertirla en energía eléctrica, por lo que cualquier condición climática que reduzca la cantidad de luz solar que llega al panel disminuye su capacidad de producción de energía. Cuanta menos luz solar reciba el panel, menos energía generará. En algunos casos, una baja incidencia de luz solar puede ser temporal y el panel solar comienza a producir energía nuevamente una vez que las condiciones climáticas mejoren.

La ubicación del panel solar es un factor crítico en su capacidad para generar energía eléctrica a partir de la luz solar. Si el panel solar está ubicado en un lugar donde recibe luz solar indirecta durante todo el día, es posible que no esté aprovechando al máximo su capacidad de generación de energía. Si el panel solar está ubicado en un lugar donde solo recibe luz solar indirecta durante todo el día, es posible que no esté aprovechando al máximo su capacidad de generación de energía. En este caso, puede ser necesario mover el panel a una ubicación más adecuada.

Lo que se pretende examinar es un sistema de energía solar que emplea paneles solares móviles diseñados para rastrear la trayectoria del sol a lo largo del día. Esta funcionalidad facilita una mayor captación de energía solar, resultando en una producción de energía más significativa.

1.2 Antecedentes investigativos

Tras una búsqueda en varias bases de datos universitarias y repositorios de información a nivel nacional e internacional, así como artículos relacionados con los sistemas

móviles de energía fotovoltaica, se dispone el detalle de esas investigaciones a continuación:

José Daniel Betancourt Arteaga en el año 2020, con la investigación realizada en Colombia titulado “PRODUCCIÓN Y RECOLECCIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES: COSECHA ENERGÉTICA”, se enfoca en los sistemas de recolección de energía sostenible a partir de señales eléctricas, y se llevará a cabo una simulación de una propuesta de generador de señales periódicas utilizando el lenguaje de programación Python. El objetivo principal es optimizar la eficiencia y potencia del generador mediante la aplicación de modelos matemáticos, como resultado la actividad minera y la utilización de combustibles fósiles han causado daños ambientales significativos y es evidente la necesidad de transformar la manera en que se genera energía, así como la importancia de crear conciencia sobre este tema. Actualmente, existen diversas fuentes de energía alternativas que permiten abastecer de manera más sostenible y en armonía con el entorno [6].

Brian Guillermo Prado Bermeo y Sergio Vinicio Arpi Pugay, en la ciudad de Cuenca en el año 2022, en su investigación: “DISEÑO DE UN SEGUIDOR SOLAR DE DOBLE EJE PARA UN SISTEMA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EN EL CENTRO DE SALUD DE LA COMUNIDAD DE YAAPI” proponen un diseño considerando aspectos mecánicos, eléctricos y electrónicos para garantizar su eficiencia y confiabilidad, En el diseño mecánico, se ha considerado la ergonomía y se ha llevado a cabo un análisis de los puntos más críticos de la estructura, abordando aspectos como los ejes de transmisión. Se ha calculado el torque necesario del motor y se ha dimensionado adecuadamente para garantizar un movimiento suave y preciso del seguidor. Dentro del ámbito del diseño eléctrico y electrónico, se plantea la integración de sensores de luminosidad, tomando como referencia aquellos empleados en instalaciones industriales destinadas al seguimiento fotovoltaico. Como resultado, en este tipo de sistemas de seguimiento se puede emplear un control más simple en el diseño del sistema. Esto se debe a que los movimientos del sol son relativamente lentos a lo largo del día, lo que permite que el sistema tenga un margen de tiempo suficiente para ajustar la posición del seguidor de manera gradual. En cambio, se puede utilizar un enfoque más sencillo que tome en cuenta la posición actual del sol y realice ajustes periódicos para mantenerlo orientado hacia la posición óptima [7].

En la investigación de Francisco Ruperto Riccio Anastacio realizado en el año 2022 en la ciudad de Guayaquil, titulado: “SEGUIDOR SOLAR A DOS EJES CUYA POSICIÓN SE CALCULA UTILIZANDO LOS ÁNGULOS DE ELEVACIÓN Y AZIMUT DEL SOL EN GUAYAQUIL” tuvo como finalidad desarrollar una opción a la utilización de seguidores solares basados en la búsqueda activa del punto máximo de potencia a través de un algoritmo de búsqueda es elegir un sistema que ajuste la posición del panel solar de manera activa. Este sistema de seguimiento modificará su orientación utilizando el azimut y el ángulo de elevación solar, prescindiendo de un mecanismo automático de corrección de posición. En cambio, la posición se ajustará de manera predeterminada a lo largo del día mediante cálculos que determinan la posición del sol. Como resultado del proyecto, el algoritmo diseñado calcula el azimut y el ángulo de elevación solar los cuales permiten ajustar de manera precisa la posición del sistema fotovoltaico [8].

En el artículo realizado por Andrés Padilla Romero, Sayda Cecilia Chamba Melo, Erika Marisol Sarango Loor y Marjorie Estefanía Jiménez Loor en el año 2022, en Ecuador con el tema: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR PARA AUMENTAR EL RENDIMIENTO DE GENERACIÓN”, se procedió a realizar el diseño y la construcción de un prototipo de seguidor solar con la finalidad de optimizar la eficiencia en la generación fotovoltaica y facilitar el almacenamiento de energía para su posterior utilización en cargas de corriente alterna. El prototipo está compuesto por un panel solar de 50W montado sobre un soporte equipado con dos ejes móviles. Estos ejes son controlados por dos motores DC que reciben la información de los sensores foto resistivos ubicados en los cuatro cuadrantes del sistema. Estos sensores detectan la intensidad de la luz solar y determinan la posición óptima del panel solar para maximizar la captación de energía. Como resultado el desarrollo de un controlador lógico programable con entradas analógicas para el control de un seguidor solar es un avance significativo. Este tipo de controlador agrega una mayor robustez al sistema, ya que permite una programación personalizada y adaptable a las necesidades específicas de la instalación. Además, al contar con entradas analógicas, se puede obtener una mayor precisión en la lectura de sensores y en el control de los actuadores [9].

El proyecto de investigación “FACTIBILIDAD ENERGÉTICA Y ECONÓMICA DE SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A RED ELÉCTRICA CON SEGUIDOR SOLAR PARA UN CLIENTE INDUSTRIAL EN LA REGIÓN DE PIURA” de Daniel Luis Parrilla Prado y Javier Francisco Prieto Coronel en el 2023 en la ciudad de Piura la meta de este estudio consiste en realizar un análisis de la viabilidad tanto energética como económica de un sistema fotovoltaico conectado a la red. Para llevar a cabo esta evaluación, se utiliza el software PVSyst, que permite simular dos tipos distintos de sistemas de montaje. Esto facilita la comparación de la producción estimada de energía entre el sistema fotovoltaico instalado en una estructura fija y el sistema fotovoltaico que incorpora un seguidor solar. Como resultado, se llegó a la conclusión de que el sistema fotovoltaico con seguidor solar capta una mayor radiación solar, lo que se traduce en una mayor intensidad de corriente en comparación con el sistema fotovoltaico en estructura fija. Además, el software permitió validar los cálculos realizados en este proyecto, y el análisis arrojó un rendimiento del sistema y un rango de módulos fotovoltaicos a instalar en serie que resultaron similares en ambos escenarios de cálculo. La conclusión es que, a pesar de la idea general de que los sistemas de seguimiento solar mejoran la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos en comparación con las instalaciones de estructura fija, este beneficio está sujeto a otros factores, como la latitud y la potencia de la instalación [10].

1.3 Fundamentación teórica

1.3.1 Generación de Energía Eléctrica

Hoy en día, la generación de energía eléctrica a nivel mundial está altamente vinculada a los combustibles fósiles, tales como el carbón, el petróleo y el gas natural. Estas fuentes de energía son extensamente empleadas gracias a su elevada densidad energética y su eficiencia para producir grandes cantidades de electricidad.

En aquel momento, estas centrales térmicas representaban la principal fuente de generación eléctrica debido a la disponibilidad y eficiencia de estos combustibles.

En 1999, una considerable proporción de la electricidad a nivel global se generaba mediante centrales térmicas que empleaban combustibles fósiles, incluyendo gas natural y carbón. Estas centrales térmicas representaban la vital fuente de generación eléctrica debido a la disponibilidad y eficiencia de estos combustibles. Las centrales nucleares también contribuyeron significativamente a la generación de electricidad, representando aproximadamente el 17.2% de la producción total. Estas centrales utilizan la energía nuclear para generar electricidad a través de la fisión nuclear. Las centrales hidroeléctricas, que aprovechan el movimiento del agua, representaron aproximadamente el 17.5% de la producción de electricidad. El 1.6% restante de la generación eléctrica proviene de otras fuentes de energía, como la energía eólica, la energía solar, biomasa y geotérmica. En aquel entonces, estas fuentes de energía aún tenían una participación relativamente pequeña en comparación con las centrales térmicas y las hidroeléctricas [11].

1.3.2 Redes Eléctricas Inteligentes (Smart Grid)

Una red Smart Grid, también conocida como red eléctrica inteligente en español, es un sistema de infraestructura eléctrica que integra tecnología avanzada de comunicación, control y automatización para mejorar la seguridad, la eficiencia y sostenibilidad del suministro energético. En una red eléctrica inteligente, se utilizan dispositivos de medición avanzados, sensores, comunicación bidireccional, sistemas de análisis de datos y gestión de información para optimizar la generación, distribución y consumo de electricidad.

Una red eléctrica inteligente incorpora tecnologías avanzadas de monitoreo, operación, medición, y comunicación con el único objetivo de lograr una mejora en la calidad, la confiabilidad, la eficiencia y la seguridad del sistema eléctrico en una determinada área. [12].

1.3.3 Sistemas de almacenamiento energético.

El acumulador eléctrico o también conocido como batería es un dispositivo que almacena la energía eléctrica que ha sido producida por un panel solar a partir de la radiación solar. Los acumuladores eléctricos o baterías son fundamentales para

aprovechar al máximo la energía producida por el sol y garantizar un suministro constante de electricidad en sistemas autónomos o para su uso como respaldo en sistemas conectados a la red eléctrica [13].

1.3.4 Energías renovables

Las energías renovables se caracterizan por provenir de fuentes naturales que son prácticamente inagotables o que se renuevan de forma natural. Estas fuentes de energía, como la solar, eólica, hidroeléctrica, geotérmica y de biomasa, no se agotan con su uso y no generan una acumulación de residuos perjudiciales para el medio ambiente. Actualmente, la conversación sobre el uso de energía alternativa no se limita a una mera clasificación de las fuentes de energía; más bien, representa un cambio que inevitablemente debe tener lugar a lo largo del presente siglo [14].

La energía renovable desempeña un papel fundamental en la economía mundial y en el bienestar de las generaciones actuales y futuras. Estas fuentes de energía, como la solar, eólica, hidroeléctrica, biomasa y geotérmica, son cruciales para alcanzar un equilibrio en el suministro eléctrico y disminuir la dependencia de los combustibles fósiles. Además, la energía renovable tiene un impacto ambiental considerablemente menor en comparación con los combustibles fósiles. La producción de energía a partir de fuentes renovables genera bajas emisiones de gases de efecto invernadero, ayudando de esa forma a mitigar el cambio climático y a reducir la contaminación atmosférica [14].

a. Sistema de energía Eólica

El calentamiento por la radiación solar es desigual sobre la superficie terrestre es uno de los elementos que ayudan a la formación de los vientos. El calentamiento intenso en las regiones ecuatoriales provoca que el aire se caliente y se expanda, volviéndose menos denso y más propenso a elevarse. Esto crea una zona de baja presión atmosférica cerca del Ecuador [15].

El uso de la energía eólica con fines de locomoción es uno de los usos más antiguos documentados. Se han encontrado evidencias de que las antiguas civilizaciones, como los egipcios, utilizaban velas en sus embarcaciones para aprovechar la fuerza del

viento y desplazarse por ríos y mares. Los dibujos egipcios, muestran naves con velas triangulares que permitían aprovechar la energía del viento para impulsar los barcos a lo largo del río Nilo. Las primeras máquinas eólicas datan del siglo VI D.C., Estas contaban con un eje vertical, como se muestra en la Figura 1. Este diseño de eje vertical permitía que las aspas se movieran con el viento sin necesidad de orientar la máquina hacia la dirección del viento [15].

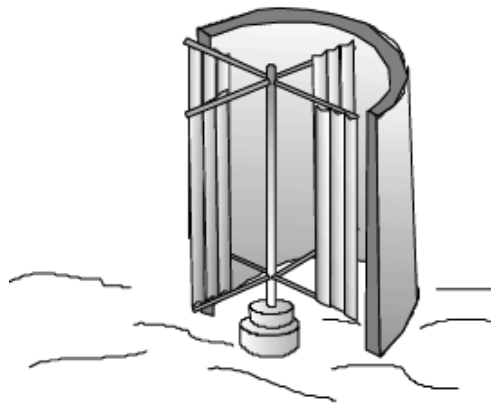


Figura 1. Panémonas [16]

b. Sistema de energía Geotérmica

La energía geotérmica hace referencia al calor contenido en el interior de la Tierra. Este calor se produce debido a procesos geológicos y actividades volcánicas en el subsuelo. La energía geotérmica se puede aprovechar para la generación eléctrica y calefacción, mediante la utilización de pozos geotérmicos y métodos de intercambio de calor. Este tipo de energía renovable proviene de fuentes naturales y su suministro es continuo [16].

c. Sistema de energía Solar

Un sistema de energía solar se refiere a un conjunto de componentes y dispositivos diseñados para captar, convertir y utilizar la energía solar para generar electricidad o calor. Este sistema incluye típicamente paneles que capturan la radiación solar y la convierten en electricidad mediante el efecto fotovoltaico. La tecnología fotovoltaica ha experimentado avances significativos en eficiencia y reducción de costos a lo largo de los años, lo que ha llevado a un aumento en su adopción y a su creciente importancia como fuente de energía limpia [16].

- **Sistemas conectados a la red (grid-tied)**

Un Sistema Fotovoltaico que está conectado a la red es un sistema que genera electricidad mediante el uso de paneles solares fotovoltaicos en condiciones óptimas y luego inyectarla en la red eléctrica convencional. Figura 2.

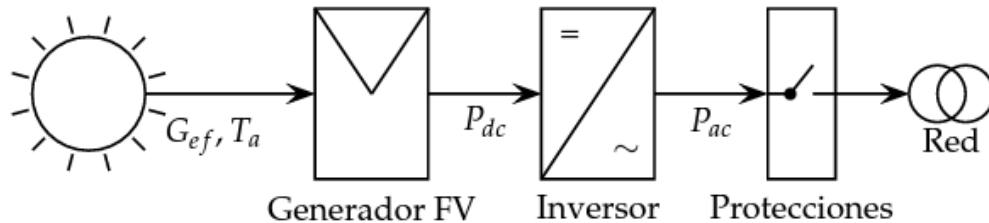


Figura 2. Esquema de un SFCR. [17]

El SFCR opera de manera sincronizada con la red eléctrica, de modo que la energía generada se utiliza primero para cubrir las necesidades de consumo local y el exceso se envía a la red. En momentos en que la generación solar es insuficiente, se puede utilizar la electricidad proveniente de la red para satisfacer la demanda [17].

Este tipo de sistemas proporciona beneficios tanto para los propietarios como para la red eléctrica en general. Los propietarios pueden aprovechar la energía solar para reducir su consumo de electricidad de la red, ahorrar en costos de energía y, en ciertos casos vender el exceso de energía generada a la compañía de red pública. [17].

- **Sistemas Autónomos (off-grid):** Un sistema fotovoltaico autónomo (SFA) es un sistema de generación de energía eléctrica que trabaja de manera aislada es decir que no está conectada a la red eléctrica pública. También se conoce como sistema fotovoltaico aislado o sistema off-grid. En un SFA, la radiación solar es captada por el panel y la convierten en energía eléctrica de corriente directa (DC). Esta energía pasa a unas baterías en donde será almacenada para su uso posterior, ya sea inmediato o durante períodos de baja radiación solar. Las baterías actúan como un banco de energía, permitiendo que el sistema funcione durante la noche o en días nublados. La ventaja de los sistemas fotovoltaicos autónomos es que permiten generar energía eléctrica en lugares donde pareciera que no es factible o económicamente viable acceder a la red eléctrica convencional. También ofrecen una fuente de energía renovable y limpia, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental [17].

1.3.5 Trayectoria Solar

La trayectoria solar en Ecuador es particular debido a la ubicación geográfica de la región. La posición ecuatorial conlleva una trayectoria solar más directa y una duración relativamente constante del día a lo largo del año. Esto se traduce en una incidencia solar más uniforme a lo largo de las estaciones, lo que a su vez influye en la generación de energía solar y en otros aspectos relacionados con la exposición a la radiación solar. La cercanía al ecuador también impacta en la duración del día, con una relativa constancia a lo largo del año, lo que contrasta con las variaciones más marcadas en latitudes más alejadas del ecuador.

1.3.6 Radiación Solar

La radiación solar hace referencia a la energía radiante que es emitida por una fuente luminosa en este caso el Sol. Es la principal fuente de energía para la vida en nuestro planeta y desempeña un papel crucial en los procesos climáticos y en la generación de una energía renovable [17].

La irradiancia solar es la magnitud que mide la cantidad de energía solar que alcanza a la Tierra por unidad de tiempo y área. Su unidad es W/m^2 . La irradiancia solar puede variar a lo largo del día y a lo largo del año debido a la posición relativa del sol, la duración del día, la presencia de nubes u otras condiciones atmosféricas [18].

a. Radiación directa

Se refiere a la parte de la radiación que llega directamente a la tierra desde la fuente, es decir, sin haber sido reflejada o dispersada por la atmósfera o por otros objetos. Esta radiación proviene del sol y sigue una trayectoria recta hasta alcanzar una superficie determinada. La radiación solar directa es la más intensa y concentrada, ya que no ha sido atenuada por las partículas en la atmósfera [18].

b. Radiación Difusa

Es la parte de la radiación solar que ha sido desperdigada en la atmósfera y llega al área terrestre desde todas las direcciones. No sigue una trayectoria recta, sino que se

dispersa y se refleja en las moléculas de la atmósfera, las nubes, los aerosoles y otros objetos presentes en el entorno. Es importante tener en cuenta que la radiación difusa puede llegar a todas las partes de una superficie, incluso en áreas sombreadas o con obstáculos que impiden la llegada directa de la radiación solar [18].

1.3.7 Radiación Solar en el Ecuador

Ecuador, debido a su ubicación geográfica experimenta niveles significativos de radiación solar a lo largo del año. La radiación se refiere a la energía que llega a la superficie de la Tierra. La cantidad de radiación solar recibida puede variar según factores como la ubicación, la estación del año y las condiciones climáticas locales. En general, Ecuador experimenta altos niveles de radiación solar debido a su proximidad a la línea ecuatorial. La radiación solar directa es más intensa en la región ecuatorial en comparación con otras latitudes. Esto hace que el país sea particularmente propicio para el aprovechamiento de la energía solar, como la generación eléctrica a través de paneles solares.

Para determinar los niveles específicos de radiación solar en una ubicación particular en Ecuador, se pueden utilizar datos históricos y mediciones realizadas por estaciones meteorológicas o satélites especializados. Los factores geográficos, como la altitud y la presencia de obstáculos, también pueden afectar los niveles de radiación solar en una ubicación específica.

El modelo propuesto por el NREL (National Renewable Energy Laboratory) fue comparado por 41 estaciones meteorológicas que son de la secretaria de Medio Ambiente del distrito Metropolitano de Quito (DMQ), el Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE) y del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) [19]. En la Figura 3. Se puede observar el mapa de radiación solar de Ecuador.

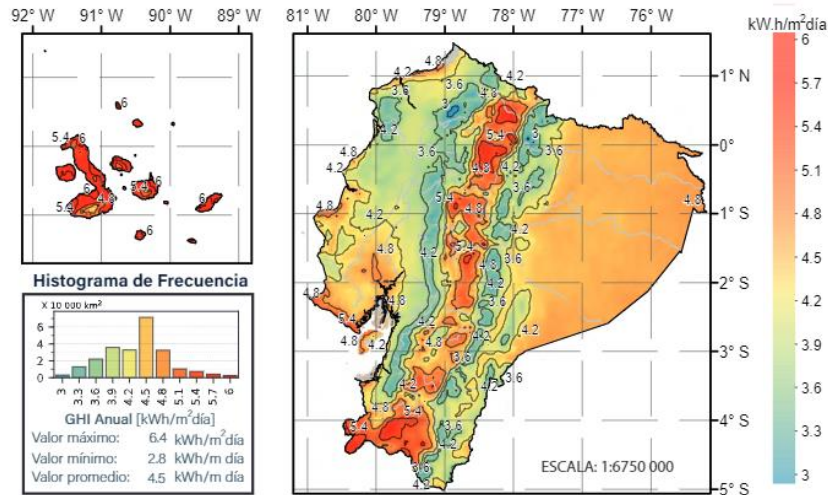


Figura 3. Mapa de Irradiación Solar Anual [19].

1.3.8 Paneles fotovoltaicos

También denominados módulos fotovoltaicos, los paneles son instrumentos que transforman la energía solar en electricidad mediante el fenómeno conocido como efecto fotovoltaico. Están compuestos por celdas solares, que son dispositivos semiconductores generalmente hechos de silicio, que producen electricidad cuando la radiación solar cae sobre ellos. Cada celda solar está formada por capas de materiales semiconductores, generalmente dopados con impurezas para crear una estructura de tipo p-n (unión pn). Cuando los fotones de la luz solar chocan con la celda solar, los electrones en la capa de valencia se excitan y se liberan, creando una corriente eléctrica [20]. Figura 4.



Figura 4. Paneles Solares Instalados en el Garaje de un Hotel [20]

Los paneles solares por lo general están constituidos por [20]:

- Caja de recubrimiento de aislante posterior y lateral

- Placa Absorbente
- Cubierta transparente
- Parilla de tubos
- Diodo de protección

a. Sistemas Electrónicos

Los sistemas electrónicos digitales son aquellos que se basan en el procesamiento de información en formato digital, es decir, utilizando representaciones numéricas. Estos sistemas se componen de circuitos electrónicos diseñados para realizar operaciones lógicas y aritméticas, almacenar y manipular datos, y controlar el flujo de información [21].

Los sistemas digitales permiten la implementación de algoritmos complejos, el control de datos y la integración con otros sistemas mediante la comunicación digital. Su flexibilidad y capacidad de procesamiento los convierten en una herramienta fundamental en la actualidad para una amplia gama de aplicaciones tecnológicas [21].

b. Sistemas de Comunicaciones

Como se observa en la Figura 5 un sistema de comunicaciones se puede expresar como un diagrama de bloques que consta de un elemento transmisor, un medio o canal de transmisión y un elemento receptor.

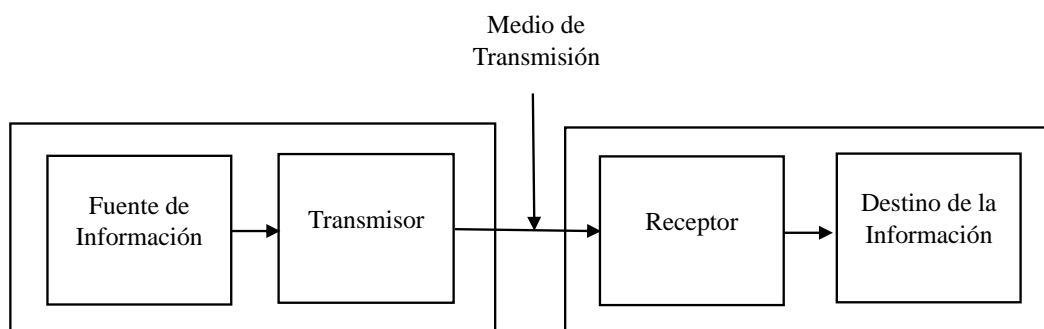


Figura 5. Diagrama de bloques de un sistema electrónico de comunicaciones.

Un emisor consiste en un conjunto de dispositivos o circuitos electrónicos cuya función es transformar la información de la fuente original en una señal adecuada para ser transmitida a través de un medio de transmisión específico. Este medio de transmisión constituye el canal físico por el cual las señales son transportadas desde el emisor hasta el receptor, pudiendo ser, por ejemplo, un par de conductores de cobre, cables de fibra óptica o el espacio libre para la transmisión de ondas electromagnéticas. En contraste, un receptor se compone de dispositivos y circuitos electrónicos encargados de recibir las señales transmitidas mediante el medio de transmisión y revertirlas a su forma original, permitiendo así su interpretación y utilización por parte del dispositivo o sistema receptor. Para mejorar la calidad de la señal recibida y extraer la información original, el receptor puede incorporar amplificadores, filtros y otros componentes. [22].

Sistemas embebidos

Es un sistema computacional diseñado para realizar tareas específicas dentro de un dispositivo o producto más amplio. Está compuesto por hardware de computadora (como microcontroladores, microprocesadores, memoria, interfaces de entrada y salida, etc.) y software embebido, que es el conjunto de programas diseñados para controlar y operar el hardware de manera precisa y eficiente. A diferencia de una computadora de propósito general, un sistema embebido está dedicado a una función específica y suele tener recursos limitados en términos de capacidad de procesamiento, memoria y energía [23].

El software embebido en un sistema embebido está diseñado para interactuar directamente con el hardware y realizar las tareas necesarias para el funcionamiento del dispositivo. Puede incluir sistemas operativos en tiempo real, controladores de dispositivos, algoritmos de procesamiento de señales, interfaces de usuario y cualquier otra funcionalidad específica requerida por la aplicación [23].

Sistemas de control

Los sistemas de control son dispositivos o procesos que se utilizan para regular, gestionar o manipular el comportamiento de otros sistemas o procesos. Estos sistemas se basan en la retroalimentación, lo que significa que monitorean continuamente el

estado o la salida del sistema y realizan ajustes o correcciones para mantenerlo en un estado deseado o lograr un objetivo específico [24].

Control abierto

Es un tipo de control en el cual la acción de control se realiza sin tener en cuenta la respuesta del sistema o proceso controlado. En este tipo de sistema, la acción de control se aplica sin considerar la salida o el resultado del proceso. El control se basa en la información de entrada y en un modelo predefinido del sistema. Esto significa que cualquier perturbación o variación en el sistema no se tiene en cuenta ni se compensa automáticamente. Por lo tanto, los sistemas de control en lazo abierto son considerados más susceptibles a errores y no garantizan una respuesta precisa y estable. Este tipo de sistemas se utiliza en situaciones donde no es necesario un control preciso o cuando se conocen de antemano las condiciones de operación y las perturbaciones son mínimas o fácilmente compensables [25].

Control cerrado

También conocido como control retroalimentado, es un tipo de control en donde la acción de control se basa en la retroalimentación del sistema o proceso controlado. Se comparan las salidas del sistema con las entradas deseadas y se ajusta la acción de control para minimizar la diferencia. Un sistema de control retroalimentado o también llamado control cerrado, se utiliza una señal de error, que es la diferencia entre la señal que ingresa y la señal de realimentación, para ajustar y corregir la salida del sistema. El objetivo del control en lazo cerrado es disminuir el error entre la salida anhelada y la salida real del sistema, asegurando que la salida se acerque lo más posible al valor deseado [25].

Control Eléctrico (Optimización)

Se precisa como un conjunto de elementos que trabajan en conjunto para regular y manipular otros componentes o sistemas con el objetivo de lograr un funcionamiento predeterminado. Al implementar estrategias de control eficientes, se busca optimizar el uso de la energía eléctrica, minimizar las pérdidas y maximizar la productividad. Implica la aplicación de algoritmos y técnicas de control para ajustar y regular los

parámetros de los dispositivos eléctricos de manera óptima. Esto puede incluir un control de la velocidad, un control de la temperatura, un control de la potencia, entre otros aspectos [26].

Algunas aplicaciones comunes del control eléctrico en la optimización incluyen [27]:

- Control de la generación de energía: optimizar el funcionamiento de los generadores eléctricos para maximizar la eficiencia y minimizar el consumo de combustible.
- Control de la demanda de energía: regular y gestionar el consumo energético en función de la demanda, evitando picos de consumo y optimizando el uso de la energía disponible.
- Control de la iluminación: implementar sistemas de control de iluminación inteligente que se ajusten la intensidad de la luz en función de las circunstancias ambientales y las necesidades específicas.
- Control de la climatización: regular los sistemas de ventilación, aire acondicionado y calefacción para optimizar el confort térmico y reducir el consumo energético.

1.3.9 Dispositivos de sensorización

El uso de sensores es crucial en el control del sistema fotovoltaico dinámico. Algunos de los sensores comunes utilizados son [30]:

- Sensor de luminosidad: Este sensor mide la intensidad lumínica producida por el sol y se utiliza para determinar la posición óptima del panel solar en relación con la fuente de luz. Puede ser un sensor de luz ambiental o un fotodiodo.
- Sensor de voltaje: Este sensor mide el voltaje generado por el panel solar y se utiliza para controlar la carga de la batería o para optimizar la eficiencia del sistema. Puede ser un sensor de voltaje analógico o un conversor analógico-digital (ADC) para leer el voltaje.

- Sensor de corriente: Este sensor mide la corriente generada por el panel solar y se utiliza para monitorear el rendimiento del sistema y detectar posibles fallos. Puede ser un sensor de corriente analógico o un circuito de medición de corriente.

Además de estos sensores, se puede utilizar un reloj digital para controlar el horario de trabajo del sistema, permitiendo activar o desactivar el seguimiento solar en determinados momentos del día [28].

1.3.10 Seguidor Solar

Se refieren a un dispositivo o sistema que permite orientar de manera automática los paneles para seguir la trayectoria del sol en todo el trayecto a lo largo del día y así maximizar la recepción de energía solar. Según el tipo de movimiento se tienen los siguientes tipos de seguidores solares [29]:

- Seguidor solar de un eje polar, la superficie designada para la captación de energía solar rota alrededor de un eje orientado hacia el sur y se encuentra inclinada a un ángulo igual a la latitud del lugar.
- Seguidor solar de un eje azimutal, la superficie de captación de energía solar gira alrededor de un eje vertical. El ángulo de inclinación de la superficie es constante y se establece igual a la latitud del lugar.
- Seguidor solar de un eje horizontal, la superficie destinada a la captación de energía solar gira alrededor de un eje horizontal y se encuentra orientada en dirección norte-sur. El movimiento de rotación se ajusta de tal manera que la normal a la superficie permanece alineada en todo momento con el meridiano terrestre que contiene al sol.

1.3.11 Algoritmo de seguimiento solar

La práctica del Seguimiento del Punto de Máxima Potencia (SPMP) en un sistema fotovoltaico consiste en operar continuamente el sistema con la máxima relación entre

la tensión y la corriente de salida. Este enfoque permite aprovechar al máximo la energía generada por los paneles solares. [30].

En la simulación del sistema, se emplean diferentes algoritmos SPMP para comparar y analizar el rendimiento bajo condiciones climáticas específicas. Tres de los métodos de control más comunes son [30] [31]:

- Método de "Perturbación y Observación" (PyO): consiste en realizar pequeñas perturbaciones en la tensión o corriente de salida del panel solar y observar el efecto que tienen en la potencia generada. Con base en esta observación, se ajusta la tensión o corriente en la dirección que maximice la potencia hasta alcanzar el punto de máxima potencia.
- Método de "Conductancia Incremental" (CondInc): Este método utiliza la relación entre la variación de la potencia generada y la variación de la tensión o corriente de salida para determinar el punto de máxima potencia. Se calcula la conductancia incremental y se realiza un seguimiento continuo ajustando la tensión o corriente de salida en función de esta conductancia hasta alcanzar el punto de máxima potencia.

Algoritmo de control ON-OFF: es uno de los métodos más simples y ampliamente utilizados en sistemas de control. También se conoce como control de encendido y apagado o control binario. Este algoritmo se basa en la idea de que un actuador se activa o desactiva dependiendo de si la variable controlada está por encima o por debajo de un valor de referencia predefinido

1.3.12 Componentes de una instalación solar generadora de electricidad

Un sistema fotovoltaico solar se compone de diversos elementos cruciales para la captación, conversión y utilización de la energía solar. De manera resumida, estos elementos pueden clasificarse en el sistema captador, sistema regulador de energía, sistema de acumulación y controladores de carga.

- Paneles Solares (Módulos Fotovoltaicos): están diseñados para captar la energía solar y convertirla en electricidad. Están compuestos por células

fotovoltaicas que generan corriente continua (CC) cuando la luz solar incide sobre ellas.

- Inversor: desempeña un papel fundamental en un sistema solar fotovoltaico al transformar la corriente continua (CC) generada por los paneles solares en corriente alterna (CA), que es la forma de electricidad comúnmente utilizada en la mayoría de los hogares y empresas.
- Sistema de Rastreo Solar: Algunas instalaciones solares incorporan dispositivos de seguimiento solar que modifican la orientación de los paneles a lo largo del día con el objetivo de optimizar la captación de luz solar directa.
- Baterías: Si el sistema solar se utiliza en un lugar sin acceso a la red pública o si se requiere almacenar la energía generada para su uso posterior, es necesario incluir baterías para almacenar la electricidad generada por el sistema fotovoltaico.
- Controlador de Carga: regula el flujo de la energía entre los paneles solares, las baterías y otros componentes para garantizar que las baterías se carguen de manera segura y eficiente.
- Cableado y Conexiones: son los cables que se utilizan en las conexiones eléctricas para interconectar todos los elementos del sistema, desde el panel solar hasta el inversor a su vez a las baterías y la carga eléctrica.
- Medidores y Dispositivos de Protección: Se pueden incluir medidores de energía para monitorear la producción y el consumo de electricidad, así como dispositivos de protección, como interruptores automáticos y fusibles, para garantizar la seguridad del sistema.
- Monitorización y Sistema de Control: Los sistemas de monitorización y control permiten supervisar el rendimiento del sistema y ajustar su funcionamiento según sea necesario.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Optimizar y establecer un sistema de monitoreo del sistema fotovoltaico existente en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

1.4.2 Objetivos específicos

- Generar un sistema fotovoltaico de seguimiento solar adaptable al sistema fotovoltaico existente en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.
- Establecer un sistema de monitoreo continuo del nivel de captación de energía solar para el sistema fotovoltaico de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.
- Generar una base de datos del monitoreo realizado del rendimiento del sistema fotovoltaico de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1 Materiales

La realización de este proyecto implicó la incorporación de diversos elementos y tecnologías para asegurar su adecuado funcionamiento. La estructura fue construida utilizando una combinación de materiales, como el acero galvanizado para brindar solidez estructural, el acero dulce en la fabricación del sistema de caja reductora, y el perfil de aluminio para la parrilla. La operación del sistema se logró mediante un motorreductor que, a través de una cadena, una catalina y un piñón, transmitió el movimiento a la caja reductora. La recopilación de datos se llevó a cabo con la ayuda de un sensor de corriente, mientras que la tarjeta ESP32 se encargó de procesar la información recopilada. Los datos procesados se almacenaron en una base de datos gestionada por MQTT. Es esencial destacar que todas estas aplicaciones y tecnologías están alojadas en un servidor, proporcionando así un entorno robusto y escalable para asegurar la eficiencia operativa del sistema. Este enfoque completo y tecnológicamente avanzado demuestra la meticulosa atención y consideración hacia la infraestructura y los componentes empleados en la ejecución del proyecto.

2.2 Métodos

2.2.1 Modalidad de la investigación

En el desarrollo de este proyecto de investigación se aplicó la Investigación Aplicada, que implica la aplicación de conocimientos teóricos en la implementación y programación de la parte de control para un sistema de seguimiento solar fotovoltaico. Para recopilar información y evaluar las ventajas del uso de un seguidor solar en comparación con un sistema fotovoltaico fijo, se utilizó una Investigación Bibliográfica. Esta metodología implica el examen de artículos científicos, libros, tesis y recursos en línea relacionados con el tema. La investigación bibliográfica también facilitó la obtención de conocimientos acerca de los requisitos y especificaciones de los sistemas electrónicos de control en seguidores solares.

La investigación también fue de carácter experimental, debido a que se llevó a cabo pruebas para recopilar datos concretos y medibles relacionados con el rendimiento de captación de energía obtenido a través de las modificaciones realizadas al sistema fotovoltaico existente.

Además, esta investigación fue de Campo, ya que se obtuvo datos reales sobre el rendimiento del sistema fotovoltaico con la implementación del seguidor solar.

2.2.2 Población y muestra

2.2.3 Población

Las posiciones solares cambian permanentemente entre los días por lo que la ubicación del panel solar en las que puede alinearse con el sol constituye el universo abordado en este trabajo de investigación. Por lo tanto, la población de interés está comprendido por los 365 días del año. Es relevante señalar que, aunque el sol experimenta leves cambios en sus coordenadas solares de un año a otro, dado su carácter insignificante, se considera un año como la población de estudio.

2.2.4 Muestra

Se obtuvieron lecturas diarias a lo largo de todo el día, con intervalos de aproximadamente 1 minuto, durante un período de 15 días de los cuales los datos más favorables por las condiciones climatológicas son 6 de ellos. Durante este lapso, se registraron datos mientras el sistema dinámico estaba en funcionamiento. Además, se recopilaron datos adicionales en un periodo de 15 días de igual forma se usaron los datos de 6 de ellos, pero en este caso, el sistema fotovoltaico se encontraba detenido a una hora específica del día. Estas mediciones se llevaron a cabo en los exteriores de los Laboratorios Tecnológicos de la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial.

2.2.5 Recolección de información

Para la recolección de información, se realizó un análisis exhaustivo de diversos recursos académicos y científicos. Se revisaron libros, artículos, estudios y tesis desarrolladas en los últimos años, todos ellos relacionados con sistemas electrónicos de control en seguidores solares. Estos recursos proporcionaron información actualizada sobre los avances, técnicas y metodologías utilizadas en el diseño y control de seguidores.

Además, se recopiló información de radiación específica de la ciudad de Ambato. Esto permitió tener datos precisos sobre las condiciones climatológicas y la disponibilidad de radiación solar en la ubicación donde se lleva cabo el proyecto. Estos datos son fundamentales para comprender el entorno en el que se implementó el sistema fotovoltaico dinámico y ajustar adecuadamente los parámetros de diseño y control.

2.2.6 Procesamiento y análisis de datos

Para el análisis y procesamiento de los datos recopilados, se siguen los siguientes pasos:

- Lectura comprensiva de la información recabada, una lectura minuciosa y exhaustiva de los datos disponible sobre el tema de estudio y sistemas similares. Esto nos permitió adquirir un conocimiento profundo sobre las diferentes metodologías, enfoques y resultados obtenidos en investigaciones previas.
- Clasificación e interpretación de la información recopilada en el proceso de monitoreo del funcionamiento del sistema fotovoltaico optimizado.
- Presentación de resultados que fueron obtenidos a partir del análisis de la información recopilada. Estos resultados se presentan de manera clara y concisa, de acuerdo con los objetivos que fueron planteados en la investigación. Se utiliza gráficas, tablas y otros recursos visuales para facilitar la comprensión y el entendimiento de los hallazgos.

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Desarrollo de la Propuesta

Basándonos en el análisis llevado a cabo sobre los distintos tipos de seguidores solares propuestos por varios autores, se avanza con el diseño de un seguidor solar específico, un seguidor solar de un solo eje que trabaja en conjunto con una interfaz gráfica para el monitoreo y medición de la eficiencia del sistema.

ETAPA DE GENERACION ELECTRICA

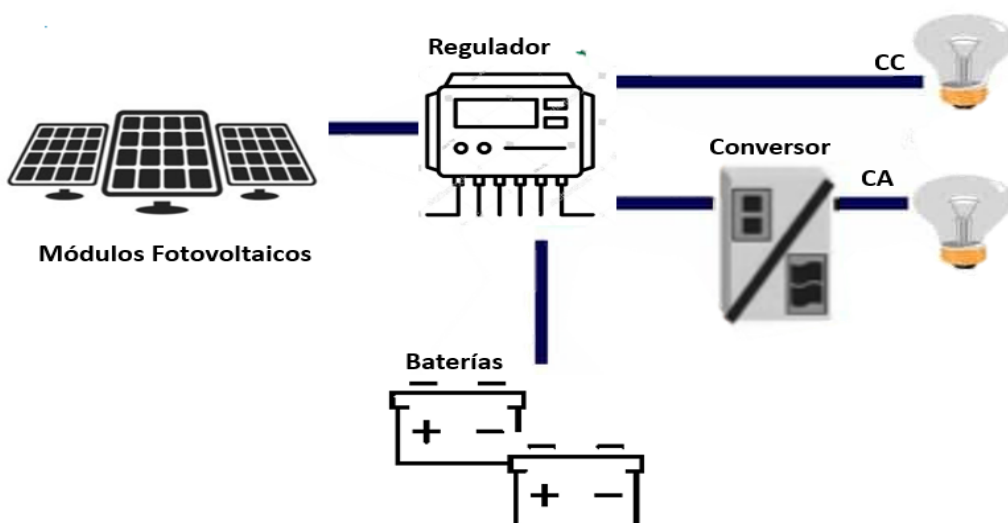


Figura 6. Esquema de un sistema fotovoltaico general.

Un sistema fotovoltaico está formado por un conjunto de componentes y dispositivos diseñados para convertir la energía solar en energía eléctrica como se ve en la Figura 6. Aquí hay una descripción general de los componentes típicos de un sistema fotovoltaico:

Módulos Fotovoltaicos

O también conocidos como paneles solares, están formados por células fotovoltaicas que transforman la luz solar en electricidad.

Regulador

Controlan la carga y descarga de corriente que fluye hacia las baterías evitando un sobrecarga debido a que la tensión y la corriente puede variar según las condiciones de luz solar. De igual forma cuando los dispositivos o cargas conectados al sistema están en funcionamiento, el regulador supervisa el nivel de carga de las baterías y desconecta las cargas cuando la tensión de la batería alcanza un nivel predeterminado.

Baterías

Las baterías forman parte del sistema de acumulación, aquí se almacena el excedente de energía generado durante el día se almacena para su utilización durante la noche o en jornadas nubladas.

Convertor

La electricidad producida por los módulos fotovoltaicos es inicialmente corriente continua (CC). En esta fase, se convierte en corriente alterna (CA), dado que la mayoría de los dispositivos y electrodomésticos funcionan con corriente alterna. Además, los inversores solares desempeñan una función crucial en la gestión y supervisión del sistema al monitorear el rendimiento de los paneles y administrar la energía generada.

ETAPA DE MONITORIZACION DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO ESTATICO

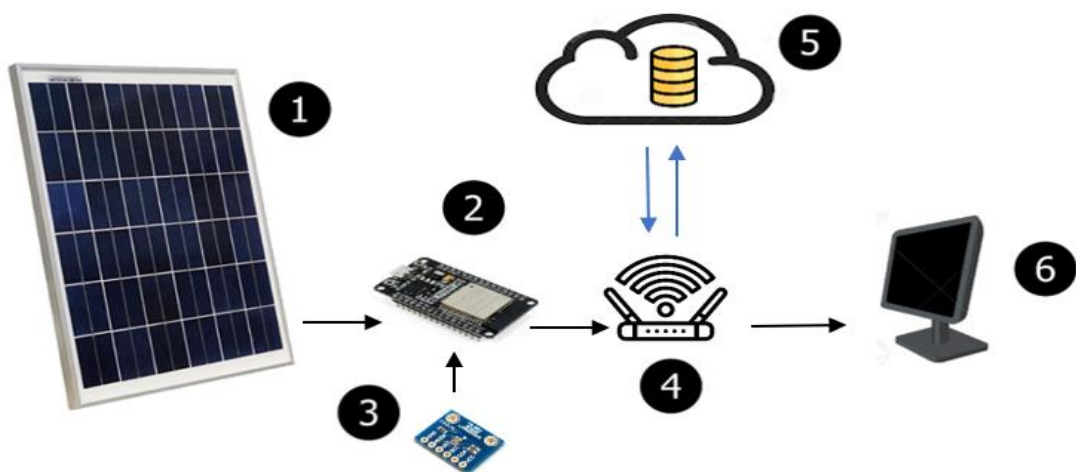


Figura 7. Estructura de un sistema fotovoltaico monitorizado.

(1) Celda solar. (2) Placa microcontrolador. (3) Sensor luminosidad. (4) Modem. (5) Servicios en la nube. (6) Computador.

ETAPA DE CONTROL Y MONITORIZACION DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DINAMICO

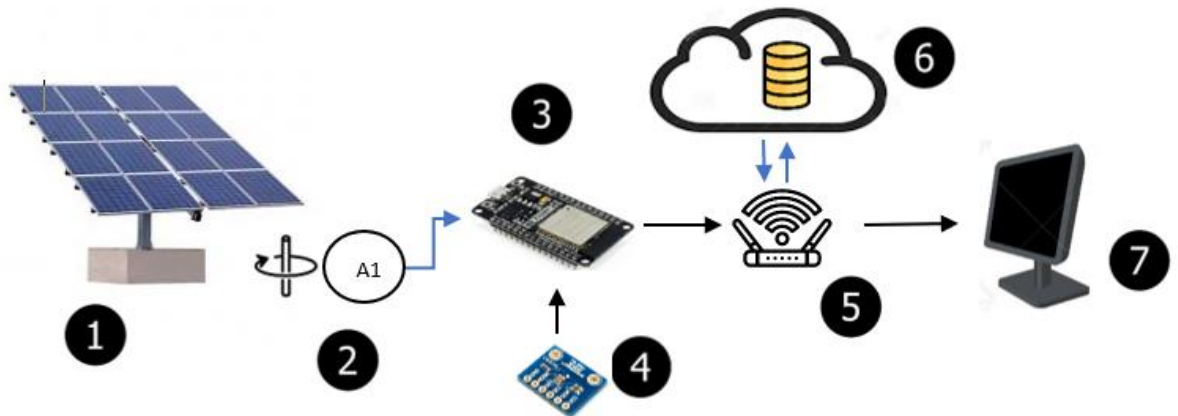


Figura 8. Arquitectura de un sistema fotovoltaico de un eje con monitorización.

(1) Celda Solar (2) Actuator control de giro. (3) Placa microcontrolador. (4) Sensor luminosidad. (5) Modem. (6) Servicios en la nube. (7) Computador.

3.2 Implementación del sistema fotovoltaico dinámico.

La implementación de un sistema fotovoltaico dinámico implica la combinación de tecnologías solares con un seguidor de luz, lo que permite optimizar la captura de energía a lo largo de todo el día. Este proyecto aborda la recopilación de información sobre sistemas fotovoltaicos, el diseño de la estructura física del sistema dinámico, el armado de dicha estructura, el diseño y construcción del sistema electrónico, el monitoreo del rendimiento y la creación de una base de datos en donde se almacena la información.

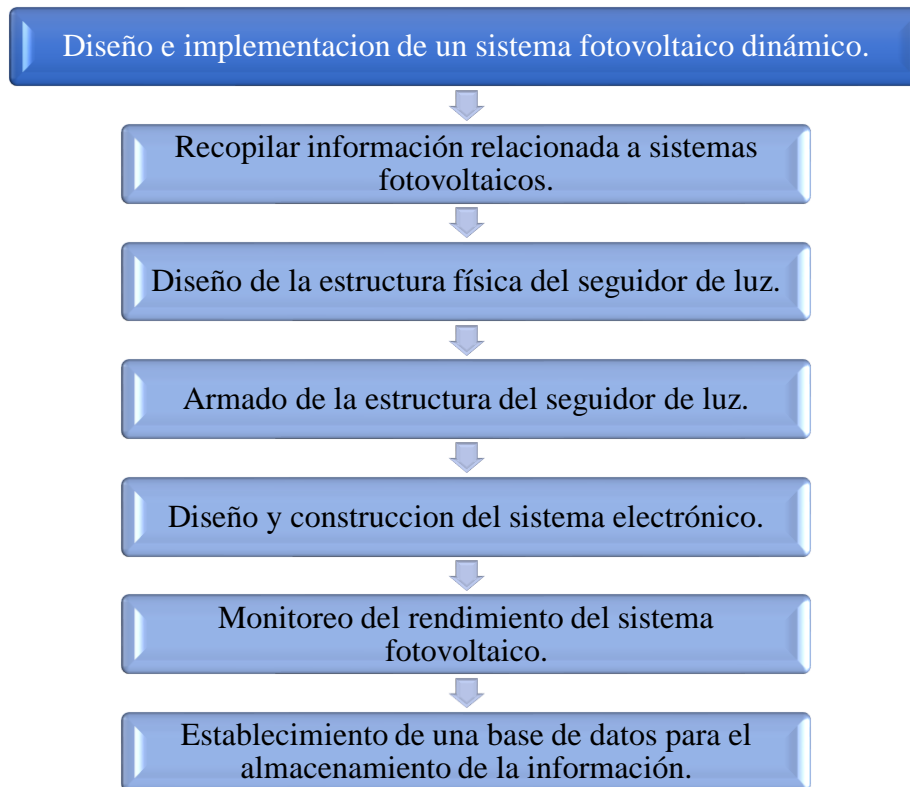


Figura 9. Fase de implementación del sistema dinámico

El diseño de un sistema fotovoltaico dinámico implica varias fases como se muestra en la Figura 9 en donde se encuentra detallada cómo se implementó en el trabajo de titulación, como primera fase tenemos recopilación de información relacionada a sistemas fotovoltaicos es decir, obtener una comprensión completa de los sistemas fotovoltaicos, seguidamente del diseño físico de la estructura para proceder a la construcción del mecanismo y del sistema de control, una vez culminado con las fases anteriores continuamos con el desarrollo de un sistema de monitoreo para evaluar el rendimiento del sistema fotovoltaico en tiempo real, luego se crea una base de datos que almacena y analiza los datos recopilados durante el monitoreo del sistema.

Cada fase del diseño del sistema fotovoltaico dinámico es crucial para garantizar su eficacia y eficiencia a lo largo del tiempo. La iteración y la mejora continua son prácticas importantes para optimizar el rendimiento del sistema a medida que se recopila más información y se realizan ajustes.

3.3 Descripción del Panel Solar

En el mercado tanto nacional como internacional existe una gran variedad de paneles fotovoltaicos de diferentes marcas y modelos, con características de potencia pico que van desde los 5Wp hasta los 300Wp para uso industrial y con voltajes nominales estandarizados de 6V, 12V, 24V y 48V. Para el desarrollo de este proyecto está disponible el modelo SUN-HE-325 como se ve en la Figura 10. proporcionado por Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato. En la Tabla 1 podemos ver las características del panel.



Figura 10. Panel Solar SUN-HE-325

Tabla 1. Parámetros Eléctricos del Panel Solar SUN-HE-325

Parámetros		
Potencia Máxima	Pp	325 Watts
Tensión a Máxima potencia	Vmp	55.1 Volts
Corriente en Potencia Máxima	Imp	5.9 Amps
Voltaje de Circuito	Voc	64.5 Volts
Corriente en Cortocircuito	Isc	6.5 Amps
Eficiencia	%	20 %
Dimensiones	mm	1045mm x 1555mm
Peso	Kg	17

3.4 Controlador de carga

Este dispositivo también llamado regulador de carga, es el elemento que controla el voltaje y la corriente que es entregada a las baterías de forma correcta con el fin de prolongar la vida útil del elemento almacenador estableciendo límites en la carga y la descarga. De igual manera este es dispositivo es puesto a disposición por la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial el cual es el controlador modelo CMPT02 que se ve en la Figura 11.



Figura 11. Controlador de carga CMTP02

En la Tabla 2, detallamos los parámetros del controlador de carga.

Tabla 2. Parámetros del regulador de carga SHS-6

Parámetros	
Voltaje Nominal	12V 24V
Corriente Máxima	20A
Número del modelo	CMTP02-20A

3.5 Batería

La energía generada por un panel solar es intermitente y depende de factores externos como la luz solar y las condiciones climáticas. Una batería en un sistema fotovoltaico desempeña un papel crucial al almacenar la energía producida durante los períodos de máxima generación y suministrarla cuando la generación es baja o nula. En este caso la batería proporcionada es el modelo TB12-18 de la marca Tb-Plus. Figura 12.



Figura 12. Batería Tb-Plus TB12-18

En la Tabla 3 esta detallado los parámetros de la batería TB12-18. Los parámetros fueron extraídos del Anexo B

Tabla 3. Parámetros de la Batería TB12-18

Parámetros	
Tensión nominal	12V
Capacidad nominal (20 tasa de Horas)	18AH
Peso Aproximado	5Kg
Capacidad máxima de descarga	270A
Largo mm	181
Ancho mm	76

La batería TB12-18 son baterías AGM sellada de ciclo profundo, libre de mantenimiento para aplicaciones de propósito general y en aplicaciones para Ups, contiene material toxico (electrodos de plomo) y acido sulfúrico corrosivo que pueden producir gases explosivos durante la recarga. Además este dispositivo está formado por varias celdas capaces de almacenar energía eléctrica para su uso posterior [32].

Propiedades principales





- Alta resistencia a altas temperaturas y humedad.
- Buena eficiencia de carga a altas temperaturas.
- Alta eficiencia entre carga y descarga, con muy poca pérdida de energía.
- Altas corrientes de carga que permite acortar tiempos de carga.
- Vida útil hasta 5 años.

- Alta retención de energía.
- Sencilla instalación.
- Reduce el porcentaje de evaporación.
- Batería libre de mantenimiento - Valve Regulated Lead Acid (VRLA), Batería de plomo - ácido regulada por Válvula).

3.6 Propuesta de microcontroladores

La base del sistema de control y monitoreo es el microcontrolador razón por la cual se necesita un microcontrolador que pueda gestionar las tareas de control del sistema, adquisición de datos y comunicación en línea. Los microcontroladores son dispositivos electrónicos altamente integrados que se utilizan para controlar sistemas y realizar tareas específicas. Están diseñados para ser compactos, eficientes y versátiles. En la Tabla 4. podemos encontrar detallado las características de los controladores más utilizados en la industria.

Tabla 4. Detalles de los microcontroladores más utilizados en la Industria.

	NodeMCU	Rasperry Pi	UDOO	Participle Photon
				
Descripción	Basado en el ESP8266, el NodeMCU es otra opción económica que proporciona conectividad Wi-Fi. Es compatible con el entorno de desarrollo de Arduino y es adecuado para aplicaciones sencillas de IoT.	Rasperry Pi puede ser una opción poderosa. Con su capacidad de ejecutar sistemas operativos completos, se puede implementar soluciones más complejas para el monitoreo y la gestión de datos.	UDOO es una plataforma de desarrollo de hardware que combina las capacidades de una computadora de placa única (SBC) con las características de un microcontrolador. Su objetivo es proporcionar una solución versátil para proyectos que requieren potencia de procesamiento y capacidades de entrada/salida.	Particle Photon es una placa de desarrollo IoT con Wi-Fi incorporado. También es compatible con el entorno de desarrollo de Arduino.
Modelo	ESP32	3B	Quad	Particle PØ Wi-Fi
Costo	\$20	\$80	\$89	\$60
Tensión	2,3 – 3,6V	5 – 2,5V	6 – 15V	3 – 5V
RAM	520 KB	1 GB	1 GB	128KB RAM
E/S Digitales	32	40	76	18
E/S analógicas	18	40	12	10

Según la Tabla 4, el microcontrolador más adecuado y que cumple con las necesidades planteadas para el sistema fotovoltaico dinámico es el NodeMCU. Este microcontrolador es el encargado de almacenar el código para leer los sensores y enviar los pulsos al motor para posicionar el panel solar. En la Figura 13 se observa la placa ESP32. Nos guiamos del Anexo D para saber cuáles son los pines de conexión disponibles.

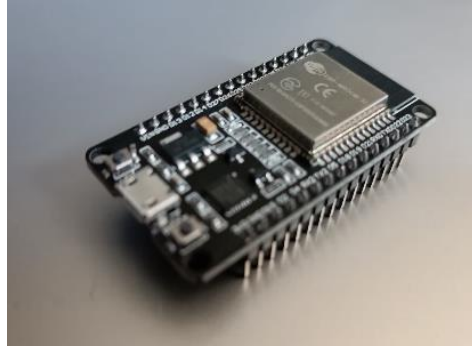


Figura 13. ESP32

3.7 Conductores

Los cables eléctricos utilizados para transportar la energía eléctrica que es generada por el panel fotovoltaico deben estar diseñados específicamente para su uso en exteriores y deben ser capaces de resistir la humedad y al agua. A continuación, se calcula el conductor adecuado para cada tramo. A excepción del tramo del panel solar al regulador, ya que existe un tipo de cable especial para este tramo como se ve en la Figura 14 que es calibre 10AWG. Y para la adecuada conexión entre el panel solar y la caja de distribución se ha utilizado su respectivo conector MC4 que es el apropiado para sistemas fotovoltaicos Figura 15.



Figura 14. Cable solar Fotovoltaico 10 AWG.



Figura 15. Conector MC4.

Para realizar el cálculo de la selección del cable conductor usamos la Ecuación (1) y Ecuación (2)

$$S = \frac{200 * P * L}{K * V^2 * \%V} \quad (1)$$

$$P = V * I \quad (2)$$

Donde:

S Sección del conductor (mm²)

P Potencia de la instalación (W)

L Longitud (m)

K Conductividad del cable (cobre: 54m/(Ω [(mm)] ^2) 25°C)

V Voltaje de la instalación (V)

I Intensidad (A)

%V Caída de tensión (%)

Sección Regulador-Batería

$$S = \frac{200 * P * L}{K * V^2 * \%V}$$

$$S = \frac{200 * 330 * 0.25}{54 * 12^2 * 1}$$

$$S = 2.12 \text{ mm}^2$$

Sección Regulador-StepDown

$$S = \frac{200 * P * L}{K * V^2 * \%V}$$

$$S = \frac{200 * 330 * 0.15}{54 * 12^2 * 1}$$

$$S = 1.27 \text{ mm}^2$$

Sección Regulador-Motor

$$S = \frac{200 * P * L}{K * V^2 * \%V}$$

$$S = \frac{200 * 18 * 0.5}{54 * 12^2 * 1}$$

$$S = 1.31 \text{ mm}^2$$

Con los resultados obtenidos optamos por elegir una sola medida de cable conductor dependiendo la sección del conductor más crítica, la cual es de 2.31 mm², basados en la Tabla 5.

Tabla 5. Capacidad de corriente permisible de conductores sencillos aislados para 0 a 2000 V nominales al aire libre y temperatura ambiente de 30° [32].

Sección Transversal	Temperatura nominal del conductor						Calibre
	60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C	
	Tipo S, TW, UF	Tipos FEPW*, RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*, ZW*	Tipos TBS, SA, SIS, FEP*, FEPB*, MI, RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*, THW-2*, THWN-2*, USE-E, XHH, XHHW*, XHHW-2, ZW-2	Tipos TW*, UF*	Tipos RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*	Tipos TBS, SA, SIS, THHN*, THW-2, RHH*, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
mm2	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			AWG o kcmils
0,82	....	....	14	....	....	....	18
1,31	....	....	18	....	....	....	16
2,08	20*	20*	25	....	....	....	14
3,3	25*	25*	30*	20*	20*	25*	12
5,25	30	35*	40*	25	30*	35*	10
8,36	40	50	55	30	40	45	8
13,29	55	65	75	40	50	60	6
21,14	70	85	95	55	65	75	4
26,66	85	100	110	65	75	85	3
33,62	95	115	130	75	90	100	2
42,2	110	130	150	85	100	115	1
53,5	125	150	170	100	120	135	1/0
67,44	145	175	195	115	135	150	2/0
85,02	165	200	225	130	155	175	3/0
107,21	195	230	260	150	180	205	4/0
126,67	215	255	290	170	205	230	250
152,01	240	285	320	190	2530	255	300
177,34	260	310	350	210	250	280	350
202,68	280	335	380	225	270	305	400
253,35	320	380	430	260	310	350	500

Teniendo en cuenta la potencia que va a circular por los cables del sistema dinámico para la selección del calibre nos basamos en un análisis cuidadoso de las características técnicas y normativas. La Tabla 5 proporciona información crucial al indicar que, para una sección de 2.2 mm², el calibre AWG-12 es la opción recomendada. Esta elección se justifica por varios motivos: en primer lugar, el calibre AWG-12 es capaz de manejar eficientemente la corriente asociada con la sección del conductor, asegurando una transmisión de energía adecuada. Además, se ha tenido en cuenta que este calibre

cumple con las normativas y códigos eléctricos locales, lo que garantiza la conformidad con los estándares de seguridad y rendimiento. Aunque la sección del conductor podría admitir otros calibres, la elección del calibre AWG-12 también puede facilitar la instalación y el manejo práctico del sistema. En resumen, la elección del calibre AWG-12 se basa en su capacidad para cumplir con los requisitos de corriente, cumplir con las normativas locales y proporcionar una solución práctica y eficiente para la transmisión de energía en el sistema específico.

3.8 Selección del material adecuado para la construcción de la estructura.

En esta sección detallamos las características de los materiales más utilizados para la creación de la estructura del seguidor solar, se compara sus peculiaridades como la densidad del material, su resistencia frente a las diferentes variaciones climáticas, sus funciones y su valor. La elección de materiales resistentes a la corrosión es fundamental, especialmente en entornos donde hay exposición a la humedad.

Es importante considerar las condiciones específicas del entorno al seleccionar materiales. Además, en el contexto de un sistema solar, se debe prestar atención a la resistencia mecánica de los materiales, su capacidad para soportar cargas de viento y su eficacia en términos de disipación de calor para los paneles solares.

Un punto significativo a la hora de seleccionar el tipo de material adecuado para la construcción de la estructura es el peso del panel solar juntamente con la parrilla, por tal razón el pedestal debe soportar el peso de aproximadamente 17 Kg.

Con la información recabada y organizada en la Tabla 6 se considera que, el acero galvanizado es el material adecuado para la fabricación de la estructura de nuestro sistema fotovoltaico, debido a su resistencia a la corrosión y también se debe a que tiende a ser más asequible en comparación con algunos otros materiales, lo que puede influir en la decisión, también es conocido por su resistencia y durabilidad, lo que lo hace adecuado para soportar cargas y resistir tensiones.

Tabla 6. Selección del Material

Material	Corrosión	Costo	Densidad	Aplicaciones
Acero Galvanizado	Es un acero cubierto de una capa de zinc para proporcionar protección contra la corrosión. El recubrimiento de zinc es una barrera protectora, ayudando a prevenir la oxidación del acero y prolongando su vida útil.	1670\$/T	7.8g/cm ³	Construcción Infraestructuras de Transporte Industria Automotriz Industria Energética Construcción Naval Equipos Agrícolas Sistemas de Almacenamiento Cercas y Vallas Electrodomésticos Tuberías y Conductos Muebles de Exterior
Acero Inoxidable	Conocido por su resistencia excepcional a la corrosión, lo que lo convierte en un material ampliamente utilizado en diversas aplicaciones. La capacidad del acero inoxidable para resistir la corrosión se debe a la formación de una capa pasivante de óxido de cromo en su superficie. Esta capa actúa como una barrera protectora que previene la acción de agentes corrosivos.	6680\$/T	8.03g/cm ³	Industria Alimentaria Construcción y Arquitectura Electrodomésticos Industria Química y Petroquímica Automoción Energía y Generación de Energía Electrónica Salud y Ciencias de la Vida Mobiliario Urbano Marina y Construcción Naval Arte y Diseño Aeroespacial Sistemas de Transporte
Aluminio	El aluminio es reconocido por su destacada resistencia a la corrosión, en gran parte gracias a la formación de una capa delgada de óxido de aluminio en su superficie. Esta capa de óxido actúa como una barrera protectora que ayuda a prevenir la corrosión adicional del metal.	2645\$/T	2.7g/cm ³	Industria del Transporte Construcción Embalaje Electrónica Industria Aeroespacial Industria Naval Equipos Deportivos Electrodomésticos Industria de la Construcción Naval Industria del Espacio Industria Química Sistemas de Energía Renovable Mobiliario Urbano

A pesar de esto también se tuvo en cuenta el tamaño del panel que se utilizó y el peso que tiene que soportar la estructura, entonces para la fabricación de la parrilla se optó por elegir el aluminio esto gracias a su baja densidad, su fácil manufactura dando como resultado una parrilla más liviana pero igual de resistente.

3.9 Diseño de la estructura mecánica.

Después del estudio que se realizó sobre los diferentes sistemas seguidores de luz se procede a diseñar la estructura, este se basa en un poste que es el principal soporte para la estructura el cual está fabricado por un tubo cuadrado galvanizado 20*20*1.5 cm. Es importante que el tubo de soporte esté diseñado teniendo en cuenta la carga total del sistema, las condiciones climáticas locales y los requisitos específicos del proyecto.

Hay que tener en cuenta que este debe estar sujeto a la superficie en donde se va a colocar, además hemos considerado que el peso de la estructura no debe ser muy alta ya que puede ocasionar un sobredimensionamiento del motor es decir utilizar un motor mucho más grande con un torque más fuerte y con una potencia más alta esto también conlleva gastos innecesarios y la estructura tampoco debe ser muy liviana para evitar movimientos ocasionados por ráfagas de viento.

En la fabricación de la parrilla que es la armadura donde se va a colocar el panel solar, como se vio en la sección 3.8 en la selección del material se optó por utilizar aluminio, esto es porque se buscó que la parte móvil sea liviana para evitar utilizar un motor excesivamente grande. Además, se utilizó un tipo de pintura resistente a la corrosión, evitando que la estructura se oxide. En el Anexo F se aprecia la estructura ya construida

El diseño del sistema mecánico de la estructura se la realizó en el software AUTOCAD, con el objetivo de tener una idea precisa de la estructura que a la vez sea ventajoso a la hora de la construcción Anexo J, y además es útil para evitar cometer errores a la hora de la fabricación, como se ve en la Figura 16, en donde se encuentra detallado las partes de la estructura del sistema fotovoltaico dinámico: (1) Base, es la parte que está sujeta al suelo con pernos y tornillos, (2) Poste, es el elemento que sostiene toda la parte móvil y los elementos de control además del panel solar, (3) caja reductora, aquí es donde se encuentra ubicado el piñón y el tornillo sin fin, en esta parte gracias al diseño realizado se transmite el movimiento del motor a la parrilla que sostiene el panel solar, (4) tornillo sin fin, (5) piñón o corona, (6) Parrilla, (7) Panel Solar.

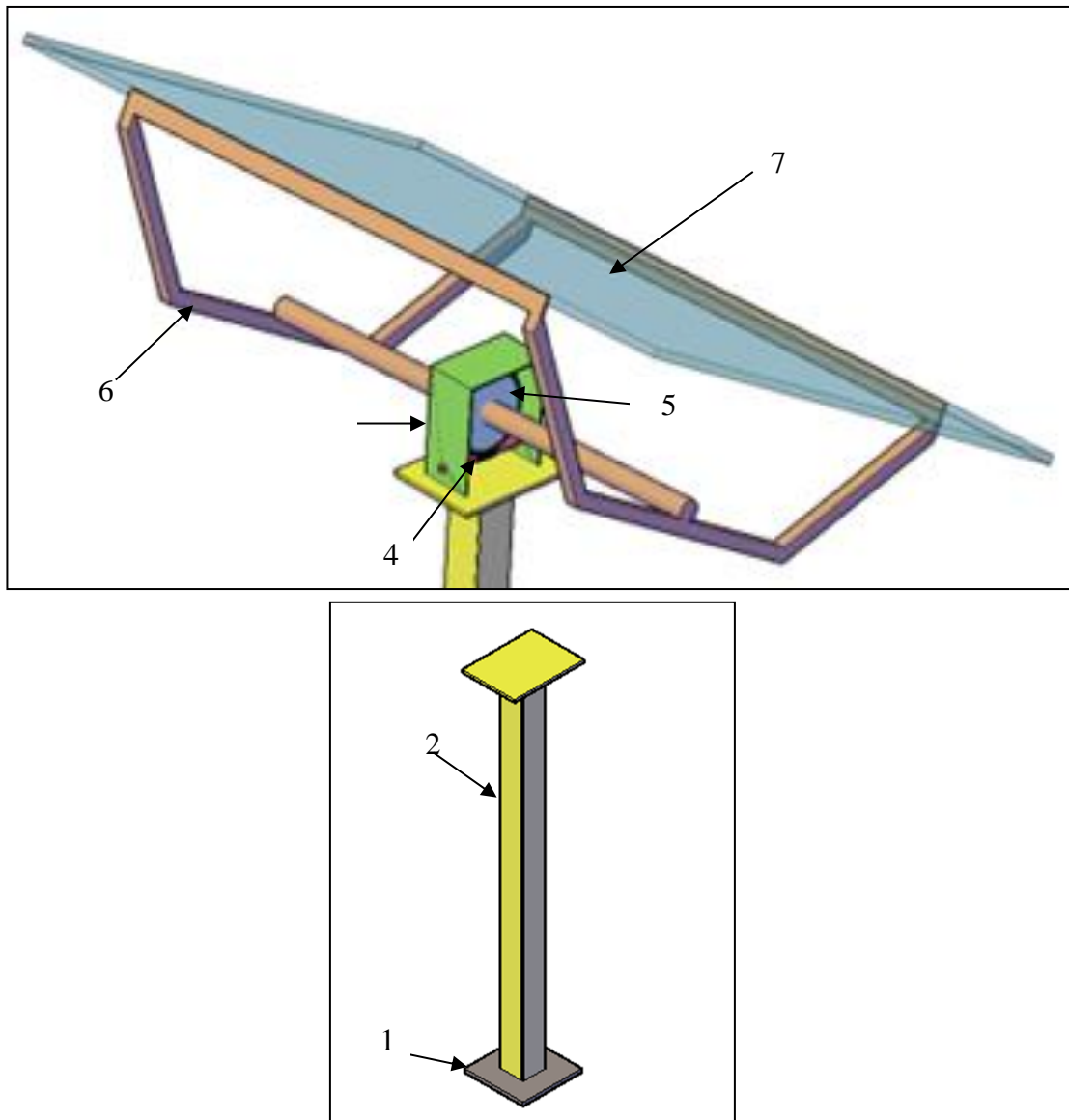


Figura 16. Diseño de la estructura mecánica

3.9.1 Diseño del Poste

En el sistema fotovoltaico dinámico el poste soportar todo el peso de la estructura móvil: la caja reductora (piñón, tornillo sin fin), el motor, la parrilla, además el panel solar de 17 kg. y la caja de distribución, entonces el poste tendrá que ser capaz de soportar un peso aproximado de 19 kg.

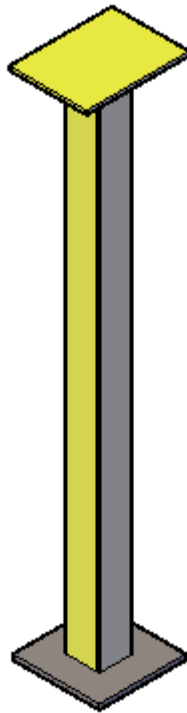


Figura 17. Diseño del poste

Como se ve en la Figura 17 el poste está soldado a dos placas cuadradas una de 20*20 cm. la cual está sujeta al suelo por tornillos y pernos de 2 ½ in. y la otra placa es la base en donde está ubicada la caja reductora.

El poste elaborado con acero galvanizado se distingue por su durabilidad y resistencia a la corrosión. Este tipo de poste garantiza una mayor vida útil y requiere un mantenimiento mínimo. Además de su resistencia a la corrosión, el acero galvanizado ofrece una robustez estructural significativa, lo que es esencial para soportar las condiciones climáticas cambiantes y las cargas dinámicas asociadas con el seguimiento solar. Este material también es conocido por su capacidad para resistir impactos y tensiones mecánicas.

3.9.2 Diseño de la Parrilla

En el sistema fotovoltaico contamos con un panel solar de aproximadamente 17 kg, por tal motivo en la fabricación de la parrilla se utilizó perfil cuadrado de aluminio de 1 ½ plg. esto porque este material es más liviano, también es capaz de soportar las ráfagas de viento y por su resistencia a la corrosión.

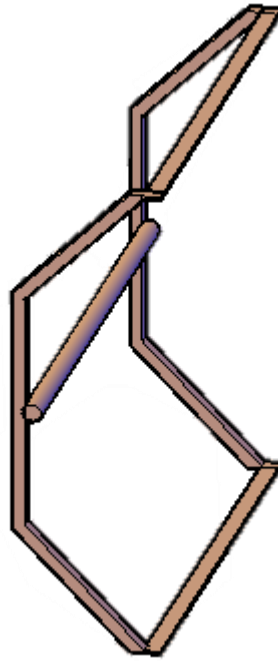


Figura 18. Diseño de la Parrilla

Para la construcción de la parrilla, se ha colocado en la parte posterior un tubo de acero galvanizado de 2 pulgadas el cual está unido en sus extremos a la parrilla y al mismo tiempo está sujeto al piñón que se encuentra en el interior de la caja reductora y mediante el tornillo sin fin se transmite el movimiento generado del motor Figura 18. Y en el lado frontal está ubicado el panel SUN-HE 330 W. de 17kg.

3.9.3 Diseño de la caja reductora

El sistema de transmisión consta de un conjunto de elementos mecánicos que trabajan conjuntamente y los cuales son los responsables de transferir el movimiento que se da desde el motor. En este contexto, el giro se transmite hacia el tubo redondo que está sujeto al piñón o corona, y que a su vez está conectada al eje del motor mediante un tornillo sin fin, todo este sistema es también conocido como caja reductora.

Este elemento desempeña un papel crucial en el diseño y fabricación del sistema dinámico. Su función principal radica en establecer una relación que reduzca la velocidad de giro del motor. Este punto es fundamental para evitar movimientos no deseados del sistema debido a factores externos antes mencionados. El tornillo sin fin se encuentra vinculado al actuador y gira a una velocidad constante. Mediante la caja reductora, se logra reducir las revoluciones que el motor genera.

Para la fabricación del tornillo sin fin y la corona o piñón se consideró algunos factores como las velocidades de operación, el entorno y los requisitos de durabilidad, los materiales utilizados y recomendados para su fabricación son el acero dulce y el cobre, en este caso según el diseño se decidió elegir acero dulce debido a su mayor resistencia mecánica, resistencia al desgaste y menor costo en comparación con otros materiales.

3.9.4 Cálculo del tornillo sin fin

Como se revisó anteriormente el tornillo sin fin estará dentro de la caja reductora y será parte clave en la transmisión de movimiento que viene desde el motor. Este tornillo sin fin es esencial para el sistema de transmisión, ya que desempeña un papel esencial en la disminución de la velocidad y aumento del torque. Este componente está conectado al motorreductor y gira a la misma velocidad que su eje. La presencia de este tornillo sin fin permite ajustar las revoluciones del motor, contribuyendo así al funcionamiento eficiente y controlado. En la Figura 19 se puede observar el diseño hecho en AutoCAD, con esto se procedió a realizar los cálculos necesarios para la construcción del tornillo sin fin:

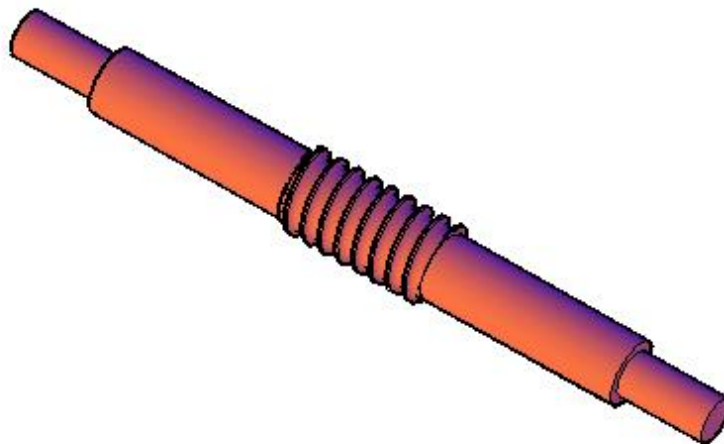


Figura 19. Diseño del Tornillo sin fin

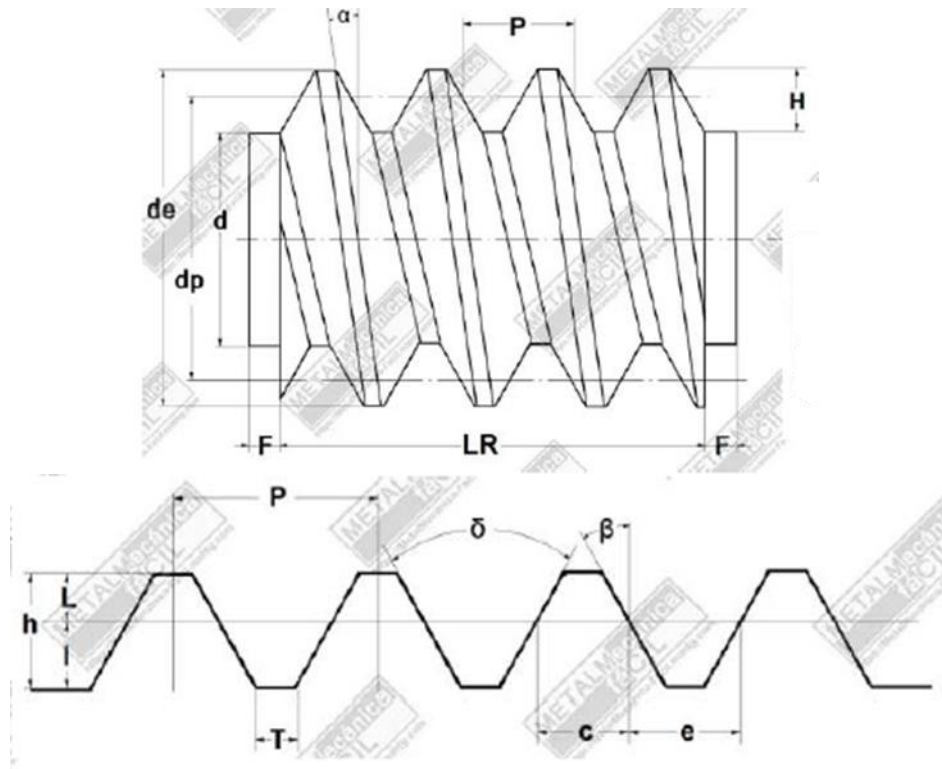


Figura 20. Partes del tornillo sin fin

Datos

$$M = 2, N = 70, n = 5, H = 2.17, B = 20^\circ, l = 2$$

$$p = \pi * M \quad (3)$$

$$p = 3.1416 * 2$$

$$p = 6.27 [mm]$$

Donde

π pi

p paso

M Módulo

Diámetro Primitivo (dp)

$$dp = (8 a 12) * M \quad (4)$$

$$dp = 8 * 2$$

$$dp = 16 [mm]$$

Donde

M Módulo

dp diámetro primitivo

Altura del Diente (H)

$$H = 2.16 * M \quad (5)$$

$$H = 2.16 * 2$$

$$H = 4.32 [mm]$$

Donde

H altura del diente

M módulo

Diámetro exterior (de)

Para calcular (de) usamos la Ecuación 6 y reemplazamos el valor de (dp) calculado anteriormente.

$$de = dp + 2 * (M) \quad (6)$$

$$de = 16 + 2 * (2)$$

$$de = 20 [mm]$$

Donde

de diámetro exterior

dp diámetro primitivo

Diámetro Interior (d)

Para el cálculo del diámetro interior usamos la Ecuación 7 y reemplazamos los valores del diámetro primitivo y de la altura del diente calculados anteriormente con la Ecuación 4 y 5.

$$d = d_e - 2 * (H) \quad (7)$$

$$d = 20\text{mm} - 2 * (4.34)$$

$$d = 11.32 \text{ [mm]}$$

Donde

d Diámetro interior

d_e Diámetro exterior

H Altura del diente

Ángulo del filete (α)

Reemplazamos valores de M y (dp) en la Ecuación 8

$$\alpha = \cot \frac{M * n}{dp} \quad (8)$$

$$\alpha = \cot \frac{2 * 5}{16}$$

$$\alpha = \cot \frac{5}{8}$$

$$\alpha = 32.00^\circ$$

Donde

dp diámetro primitivo

n número de entradas

Espesor del filete (e)

Para hallar el espesor del filete (e) reemplazamos los valores de p (paso) en la Ecuación (9)

$$e = \frac{p}{2} \quad (9)$$

$$e = \frac{6.28\text{mm}}{2}$$

$$e = 3.14 \text{ [mm]}$$

Donde

p Paso

e Espesor del filete

Ancho del fondo del filete (T)

Para el cálculo de T reemplazamos el valor de B , P y l en la Ecuación 10.

$$T = \left(p * \frac{\cot B}{4} - l \right) * (2 \tan B) \quad (10)$$
$$T = \left(6.28 * \frac{\cot 20^\circ}{4} - 2 \right) * (2 \tan 20)$$
$$T = 1.68 [mm]$$

Donde

T Ancho del fondo del filete

B ángulo del filete (20°)

Longitud (L)

$$L = H - l \quad (11)$$
$$L = 4.33mm - 2mm$$
$$L = 2.33 [mm]$$

Datos

l Altura del pie del diente

H Altura del diente

L Longitud

Longitud parte roscada (LR)

Para el cálculo de la LR que es la sección donde se ubica los dientes reemplazamos los valores de p y N en la Ecuación 12

$$LR = p * \left[4.5 + \left(\frac{N}{50} \right) \right] \quad (12)$$

$$LR = 6.28 * \left[4.5 + \left(\frac{70}{50} \right) \right]$$

$$LR = 37.05 [mm]$$

Donde

LR Longitud de la parte roscada

N dientes

Radio cabeza (R)

$$R = 0.05 * p \quad (13)$$

$$R = 0.05 * 6,28$$

$$R = 0.31 [mm]$$

Donde

R Radio de la cabeza

En la Tabla 7 se resume los datos calculados para el tornillo sin fin, útiles para la fabricación de este. Y en el Anexo E podemos observar cómo queda el tornillo sin fin en la caja reductora.

Tabla 7. Datos Calculados para el tornillo sin fin

Detalle	Tornillo sin fin
Módulo	2
Paso	6.22 mm
Diámetro Primitivo	16 mm
Diámetro exterior	20 mm
Diámetro interior	11.32 mm
Número de entradas	5
Altura del diente	4.34 mm
Angulo del filete	32°
Espesor del filete	3.14 mm
Ángulo para el filete reforzado	20°
Ancho del fondo del filete	1.68 mm
Longitud	2.33 mm
Longitud de la parte roscada	37.05 mm
Radio de la cabeza	0.31 mm

3.9.5 Cálculo del piñón o corona

Para el diseño del piñón o corona, un dato que se obtiene es el del diámetro primitivo $DP = 146 \text{ mm}$ esto porque el espacio que se busca ocupar de nuestra caja reductora es muy pequeño, en la

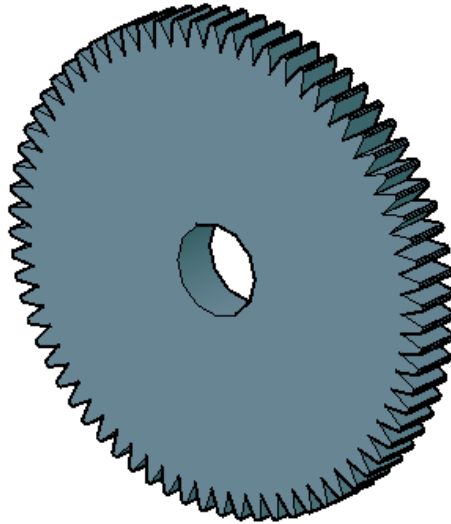


Figura 21. Diseño del piñón o corona

Datos

El Módulo para el piñón en este caso debe ser el mismo Módulo del tornillo sin fin

$M=2$

Diámetro exterior

$$DE = DP + 2 * M \quad (14)$$

$$DE = 146mm + 2 * 2$$

$$DE = 150mm$$

Donde

M Módulo

DE Diámetro exterior

DP Diámetro primitivo

Paso (P)

$$\begin{aligned} p &= \pi * M & (15) \\ p &= 3.14 * 2 \\ p &= 6.28 [mm] \end{aligned}$$

Donde

p paso

M Módulo

Altura del diente (H)

$$\begin{aligned} H &= 2.17 * M & (16) \\ H &= 2.17 * 2 \\ H &= 4.34 [mm] \end{aligned}$$

Donde

H Altura del diente

M Módulo

Diámetro de la arista (D1)

$$\begin{aligned} D1 &= DE + 0.47 * p & (17) \\ D1 &= 150mm + 0.47 * 6.28 \\ D1 &= 153.19 [mm] \end{aligned}$$

Donde

D1 Diámetro mayor sobre la arista

DE Diámetro exterior

p paso

Ancho de la rueda dentada (A)

$$\begin{aligned} A &= 6 + 0.38 * p & (18) \\ A &= 6 + 0.38 * 6.28 \\ A &= 20.95 [mm] \end{aligned}$$

Donde

A Ancho de la rueda

Radio de la cabeza (r)

$$\begin{aligned} r &= 0.25 * p & (19) \\ r &= 0.25 * 6.28 \\ r &= 1.57 [mm] \end{aligned}$$

Donde

p paso

r Radio de la Cabeza

Distancia entre centros (E)

$$\begin{aligned} E &= \frac{(DP + dp)}{2} & (20) \\ E &= \frac{(146 + 16)}{2} \\ E &= 81 [mm] \end{aligned}$$

Donde

DP Diámetro primitivo del piñón o corona

E Distancia entre centros

dp Diámetro primitivo del tornillo sin fin

Numero de Dientes

$$N = \frac{DP}{M} \quad (21)$$

$$N = \frac{146}{2}$$

$$N = 73$$

Donde

DP Diámetro primitivo

N Número dientes

En la Tabla 8 se resume los datos calculados para la elaboración del piñón o corona.

Tabla 8. Datos calculados para la elaboración del piñón o corona.

Detalle	Piñon o Corona
Módulo	2
Diámetro Primitivo (DP)	146 mm
Diámetro exterior (DE)	150 mm
Paso (p)	6.28 mm
Altura diente	4.34 mm
Diámetro de la arista	153.19 mm
Ancho de la rueda dentada (A)	20.95 mm
Radio cabeza	1.57 mm
Distancia entre centros (E)	78 mm
Número de dientes	73

El material seleccionado de tipo de acero galvanizado para la estructura de soporte, aluminio para la parrilla debido a su peso y el acero dulce para el sistema de transmisión por sus ventajas se realiza la Tabla 9 para obtener el peso y la masa cada uno de los elementos que conforma la estructura del sistema fotovoltaico dinámico, de esa manera se conoce el peso total.

Tabla 9. Masa total de los elementos del sistema.

Descirpción	Cantidad	Densidad del material	Masa total Kg.
Poste	1	7.85 g/cm ³	4.06 kg.
Perfil de aluminio	3	2.7 g/cm ³	0.121 kg
Placas de refuerzo	2	7.85 g/ cm ³	2.7 kg
Caja reductora	1	9.2 g/ cm ³	3.55 kg
Total			10.431kg

3.10 Número de horas de Luz en Ambato

Para definir las horas de luz en la ciudad de Ambato se toman los datos de la estación meteorológica que está ubicado en el Aeropuerto de Izamba del año 2023 Tabla 10, se optó por tomar los valores cada 6 días de cada mes para sacar un promedio de salida del sol y puesta del mismo, por último se sacó un promedio anual y se pudo determinar la hora promedio en la que sale el sol y la hora en la que el sol se esconde en la ciudad de Ambato, dando como resultado 12 horas con 12 minutos de horas luz en el día.

Tabla 10. Salida y puesta del Sol en la Ciudad de Ambato 2023

Mes	Salida del Sol	Puesta del Sol
Enero	6:17	18:28
Febrero	6:22	18:31
Marzo	6:20	18:27
Abril	6:12	18:16
Mayo	6:10	18:13
Junio	6:12	18:15
Julio	6:19	18:22
Agosto	6:12	18:17
Septiembre	6:10	18:14
Octubre	6:00	18:05
Noviembre	5:58	18:04
Diciembre	5:57	18:09
Promedio Anual de Salida y puesta del Sol	6:04	18:16
Promedio de número de horas luz por día		12:12

3.11 Dimensionamiento del Angulo

3.11.1 Orientación

En días con condiciones de luminosidad reducida, los paneles solares continúan generando electricidad gracias a la radiación difusa, destacando así su capacidad para producir energía de manera constante. La orientación de estos paneles se determina de acuerdo con la ubicación geográfica; en áreas del hemisferio sur, como Ambato con su latitud de 1.26 grados al sur, se orientan en dirección norte para maximizar la recepción de radiación solar. Si la ubicación se encuentra sobre la línea ecuatorial los paneles serán orientados hacia el sur. Este enfoque estratégico se basa en la posición relativa a la línea ecuatorial. La eficiencia del sistema se ve directamente afectada por esta orientación específica, lo que subraya la importancia de ajustar los ángulos de los paneles para optimizar aún más la captura de energía solar.

3.11.2 Angulo de giro

Para establecer el ángulo de giro del sistema fotovoltaico, se ha tenido en cuenta la cantidad de horas durante las cuales el sistema estará en funcionamiento. El ángulo de elevación experimenta cambios a lo largo del día y en distintos meses del año, abarcando un rango de valores entre 0° y 180° . El sistema se moverá de este hacia el oeste, y el periodo de operación se extenderá desde las 6:00 a.m. hasta las 6:00 p.m., aproximadamente 12 horas.

Se sabe que el sistema trabajara aproximadamente 12 horas al día y el ángulo de giro es de 180° , por lo tanto, se establece que el ángulo de giro será de $15^\circ/h$, es decir el controlador ESP32 enviara un pulso para que el actuador gire cada 4 minutos para que se mueva 1° , de esa forma llegar al girar 180° para permanecer en esa posición por un lapso de tiempo y así seguir aprovechando la radiación solar. Después de esto el reloj enviara una señal al controlador, para que regrese a la posición inicial y quede listo para trabajar al día siguiente.

El seguidor solar opera al girar alrededor del eje que apunta en dirección hacia el norte como se ve en la Figura 22 y el panel fotovoltaico se posiciona de manera paralela al

eje de rotación. La trayectoria trazada por este sistema generalmente sigue la dirección de este hacia al oeste, ubicándose en una posición perpendicular al plano horizontal. Esta trayectoria difiere a la del sol debido a la inclinación específica del sistema.



Figura 22. Orientación del sistema fotovoltaico

3.12 Fuerza que debe necesita el motor

Para determinar la fuerza que el motor necesita, se procedió a calcular el torque y el esfuerzo que se genera en el sistema dinámico. Como se mencionó previamente, el peso total del panel, la parrilla y los accesorios instalados asciende a 17 kg.

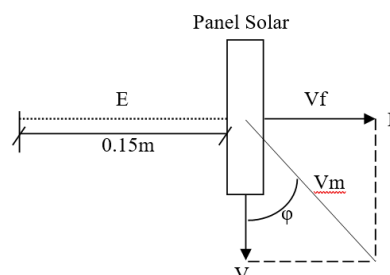


Figura 23. Diagrama de fuerzas ejercidas en el eje

En primera instancia calculamos el peso total del panel y de la parrilla, aplicando la Ecuación (22).

$$W = W_p * g \quad (22)$$

Donde

W_p Peso del panel

W Peso total del panel

g Constante de gravedad

$$W = 17kg * 9.78 m/s^2$$

$$W = 166.6 N$$

Una vez calculado el peso total del panel, reemplazamos este valor en la Ecuación (23) para hallar el torque que se necesitara para poder mover el panel.

$$\tau = r_w * W \quad (23)$$

$$\tau = -0.15m * 166.6N$$

$$\tau = -24.99 Nm$$

Donde

τ torque

r_w Distancia desde la caja reductora - E

3.13 Cálculo de la potencia del motor

Como sabemos los 15°/h será considerada como la velocidad angular mínima, es decir que el sol se moverá 15° cada hora, llegando a girar 180° en el transcurso de 12 horas.

$$P = \tau * \omega \quad (24)$$

Donde:

P Potencia del motor

τ Torque del motor

w Velocidad angular

La velocidad angular tenemos que transformar en rad/seg

$$w_{min} = 15^{\circ} * \frac{\pi}{180} * \frac{1h}{3600s}$$

$$w_{min} = 7.2 * 10^{-5} \frac{rad}{seg}$$

Una vez echo el cálculo de la velocidad angular aplicamos la Ecuación (24) reemplazamos el valor encontrado para encontrar la potencia mínima que requiere el sistema

$$P_{min} = 24.9 Nm * 0.000072778 rad/s$$

$$P_{min} = 0.00181W$$

El valor hallado es la potencia mínima que requiere el sistema para poder mover en óptimas condiciones la parrilla en donde se encuentra ubicado el panel solar

3.14 Selección del Motor

Con base en los cálculos realizados, se determinó que se necesita un motor con una torsión superior a 55 Nm y una velocidad de 1 rpm. Entre las opciones disponibles, se decidió explorar catálogos de motores de limpiaparabrisas, ya que estos motores son conocidos por tener un alto torque, ser compactos y funcionar con 12V o 24V, lo cual es ideal para la alimentación mediante la batería.

Finalmente, se eligió el motorreductor Gearmotor MR76, que presenta un torque de funcionamiento en el rango de 50 Nm a 100 Nm y gira a una velocidad de 10 a 350 rpm. Es crucial señalar que el torque nominal de 5 Nm indica que el motor por sí solo no podría sostener el peso del módulo solar, la parrilla y sus componentes cuando no esté energizado. Para abordar este problema, se incorporó una caja reductora que como se revisó anterior mente trabaja con un tornillo sin fin instalado junto al piñón haciendo que la velocidad se reduzca y al mismo tiempo aumenta su torque. Anexo A



Figura 24. Gearmotor MR76

3.15 Diseño del Sistema

En el desarrollo del sistema, es esencial considerar la duración del día para garantizar que el panel solar se posicione de manera óptima, perpendicular a la radiación solar. Además, se debe implementar un método que permita poner en pausa el sistema, facilitando la realización de tareas como mantenimientos o calibraciones necesarios para el correcto funcionamiento a largo plazo. La placa ESP32, que desempeña un papel central en esta tarea, genera los pulsos necesarios para dirigir el motorreductor en sentido horario o antihorario. Estos pulsos están directamente relacionados con las lecturas de los sensores LDR, encargados de medir la intensidad de luz recibida y ajustar la posición del panel solar en consecuencia. En el Anexo G se aprecia como fue la instalación del cableado para el sistema de control. En el Anexo H. se observa la instalación de la estructura, sobre el edificio de ciencia y tecnología.

Como se detalló anteriormente, el sistema está diseñado para realizar un giro de 15 grados por hora, lo que suma un total de 180 grados al final del día, coincidiendo con el atardecer. Posteriormente, el sistema permanece en esa posición por un tiempo determinado y de esa forma aprovechar la radiación solar disponible. Luego, se envía un pulso al motor para que gire en sentido contrario, reposicionando el panel solar en su orientación inicial. Este ciclo asegura que el sistema esté listo para el próximo día,

mientras que, durante la noche, el sistema se encuentra en pausa, conservando energía y optimizando su eficiencia operativa. Este enfoque integral garantiza una gestión eficiente de la energía solar captada, maximizando así el rendimiento del sistema a lo largo de diferentes condiciones ambientales y ciclos diarios.

En una primera fase, se procedió a la concepción de la estructura mecánica, ajustando cuidadosamente las dimensiones de esta a la de los componentes electrónicos. Los elementos que conforman el seguidor solar se pueden observar en el diagrama de la Figura 25, comprenden sensores (LDR), la tarjeta ESP32, un motorreductor de 12 voltios DC, un regulador de voltaje destinado a adecuar la energía proveniente de la batería para alimentar al controlador con la tensión adecuada, y un módulo de relé, que desempeña la función de invertir el giro del motorreductor. Anexo I se observa a la estructura ya instalada y puesta en funcionamiento. Este meticuloso proceso de diseño asegura una integración eficaz y armoniosa de los componentes electrónicos con la estructura mecánica, garantizando la funcionalidad y eficiencia del seguidor solar en su conjunto.

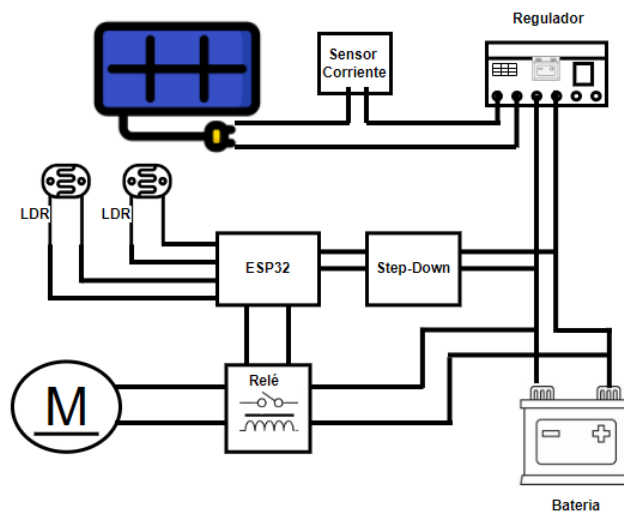


Figura 25. Diagrama de conexión del sistema fotovoltaico dinámico.

En el Anexo C. se encuentra detallado cómo funciona el sistema de control mediante un diagrama de flujo para una mejor comprensión.

3.16 Sensores

Los Light Dependent Resistor (LDR), también conocida como fotorresistor, es un tipo de resistencia que varía con la cantidad de luz que incide sobre la resistencia. La cual disminuye a medida que incrementa la intensidad de la luz y viceversa. El sensor LDR, o Resistencia Dependiente de la Luz, tiene un papel vital en un sistema seguidor de luz diseñado para paneles solares. La función principal del LDR en este contexto es detectar la intensidad de la luz ambiental. Montado estratégicamente en el sistema, el LDR monitorea continuamente la luminosidad del entorno. La ESP32, actuando como el cerebro del sistema, recibe las lecturas del sensor LDR y procesa la información para determinar la dirección en la que la luz solar es más intensa. Con base en estas lecturas, la ESP32 envía señales al motorreductor para orientar los paneles solares hacia la posición óptima que maximiza la captación de la luz solar. En la Figura 26 podemos observar cómo es el elemento y el motivo por el que se decidió utilizar este elemento es su pequeño tamaño y su bajo precio.



Figura 26. Fotorresistencia (LDR)

En otras palabras, el sensor LDR permite que el sistema siga la fuente de luz, en este caso, el sol, para asegurar que los paneles solares estén constantemente orientados hacia la posición más favorable para la captación de energía solar. Este enfoque de seguimiento automático mejora significativamente la eficiencia de la generación de energía solar al adaptar dinámicamente la orientación de los paneles a lo largo del día, maximizando así la exposición a la luz solar directa.

3.17 Reloj de tiempo real

Para controlar el tiempo de funcionamiento de nuestro sistema se incorporó el elemento Reloj de tiempo real, Figura 27 que trabajara como un temporizador haciendo que el sistema trabaje 12 horas cada día, además está compuesto de una pila circular como se muestra en la Figura 28. Este elemento trabaja como temporizador dando la orden de activación del Sistema.

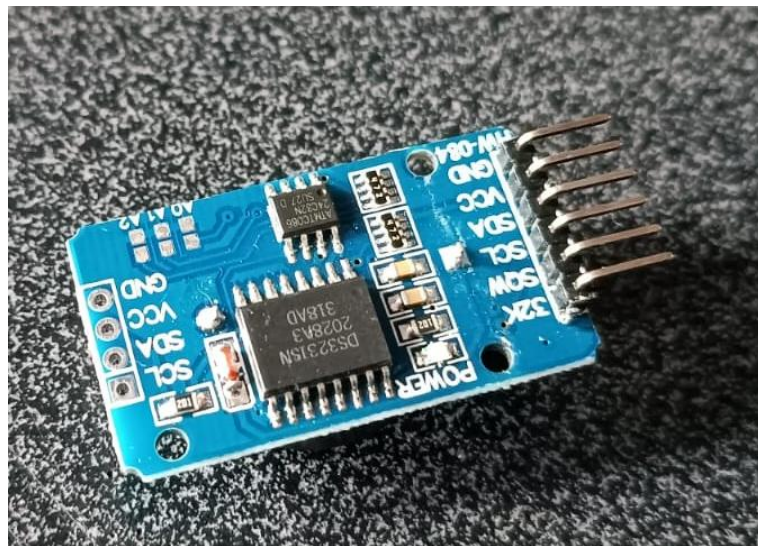


Figura 27. Real Time Clock



Figura 28. Reloj Time Clock (pila)

Incorpora un circuito integrado que gestiona las funciones de reloj y calendario, y se comunica con otros componentes del sistema, como microcontroladores, a través de

interfaces estándar como I2C. Se comunica con un microcontrolador de manera simple a través de tres cables.

3.18 Sensor de corriente

En este trabajo nos planteamos monitorear la generación de energía, por tal motivo se incorporó un sensor de corriente tipo hall como se ve en la Figura 29. Un sensor de corriente tipo Hall es un componente electrónico que detecta la intensidad de la corriente que atraviesa un conductor mediante el efecto Hall. Cuando fluye corriente por este sensor y se expone a un campo magnético, genera un voltaje proporcional a la fuerza del campo magnético y al valor de la corriente. Estos sensores son rápidos y se utilizan para medir corrientes continuas sin interrumpir el circuito. Fabricados con placas semiconductoras delgadas, los sensores Hall son versátiles y se aplican en la adquisición y retroalimentación en diversas áreas como baterías, inversores y dispositivos eléctricos.

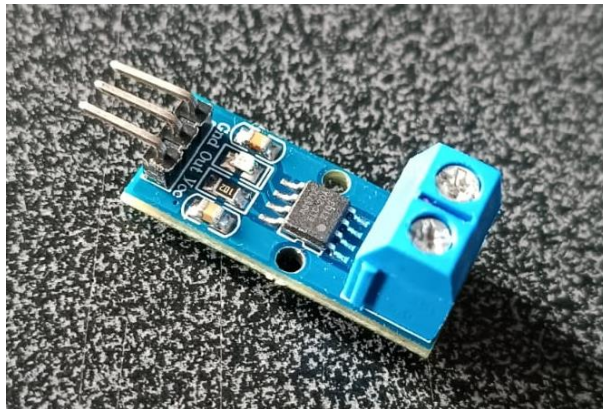


Figura 29. Sensor de Corriente tipo Hall

3.19 Módulo reductor de voltaje Step Down Buck Ajustable

El Módulo reductor de voltaje Step Down Buck Ajustable desempeña un papel fundamental al ajustar el voltaje proveniente de la batería para alimentar de manera eficiente a dispositivos como la ESP32. Este Modulo se puede observar en la Figura 30. Su función principal es reducir la tensión de entrada a un nivel deseado, garantizando que el suministro eléctrico sea compatible con los requisitos de funcionamiento de la ESP32. Este módulo utiliza la topología Buck, que es un

convertidor de corriente continua a corriente continua (CC-CC). El proceso comienza con la entrada de una tensión más elevada, como la proveniente de la batería, y mediante un interruptor de alta frecuencia, se logra reducir esta tensión a un nivel ajustable mediante la modulación del ancho de pulso (PWM). La salida resultante, que es el voltaje reducido, se filtra y estabiliza para proporcionar un suministro de energía constante y regulado a la ESP32. La capacidad ajustable del módulo permite adaptarse a diferentes tensiones requeridas por la ESP32, brindando flexibilidad en el diseño de sistemas alimentados por batería y asegurando un rendimiento óptimo del dispositivo. Este enfoque eficiente en la gestión de voltajes es crucial para optimizar la duración de la batería y garantizar un suministro de energía estable para el correcto funcionamiento de la ESP32.



Figura 30. Módulo reductor de voltaje 20A 6V-40V a 1.2V-36V Step Down Buck Ajustable

3.20 Placa de conexiones

Es un proceso crucial en el desarrollo de dispositivos electrónicos. En primer lugar, se comienza con el esquemático del circuito, identificando los componentes y sus interconexiones. Luego, se traslada este diseño a un software de diseño asistido por computadora (CAD) para PCB que fue realizado en Proteus. En esta etapa, se colocan

los componentes en la placa y se trazan las rutas de conexión eléctrica, teniendo en cuenta consideraciones como la eficiencia del diseño, la minimización de interferencias electromagnéticas y la optimización del espacio. Además, se definen parámetros como el tamaño y grosor de las pistas, la ubicación de orificios de montaje y la disposición de las capas de la PCB como se ve en la Figura 31. Una vez completado el diseño, se genera el archivo, que contiene información útil para la creación de la placa, se prepara la placa de cobre mediante el lijado para garantizar una superficie limpia. Luego, el diseño impreso se coloca boca abajo sobre la placa y se aplica calor con una plancha doméstica. Después de enfriar, el papel se humedece y se retira, revelando el diseño transferido en la placa. La placa se somete al proceso de grabado químico, utilizando sustancias como el ácido férrico para eliminar el cobre no protegido por el diseño impreso. Finalmente, se limpia la placa para eliminar cualquier residuo químico y se inspecciona para garantizar la precisión y claridad de las conexiones.

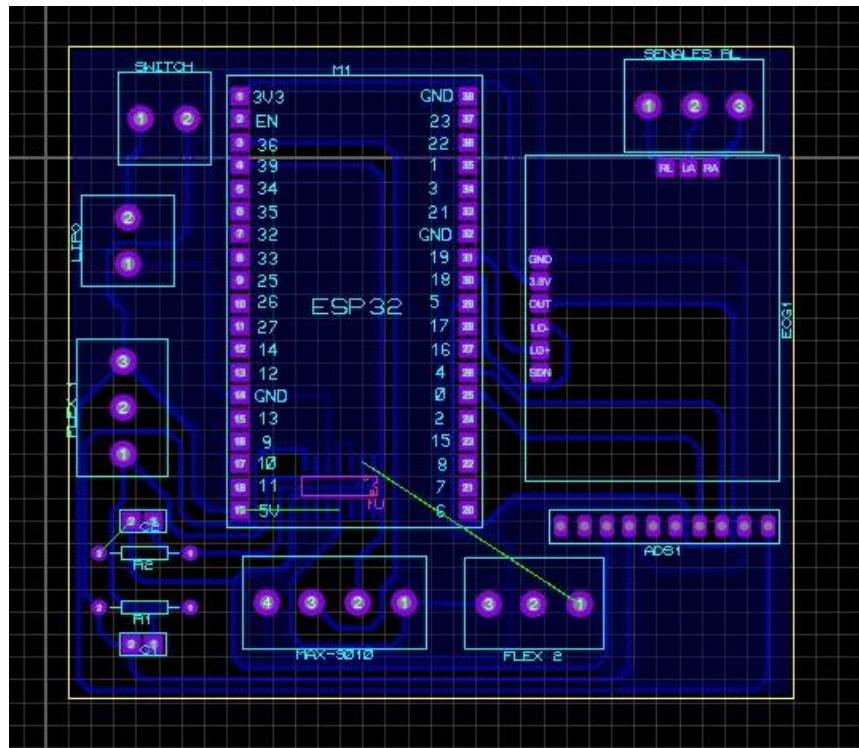


Figura 31 Diseño de la placa electrónica

Después de la transferencia del diseño y la preparación de la placa, el siguiente paso es la colocación de los componentes electrónicos sobre la PCB. Este proceso implica cuidadosamente ubicar y soldar los elementos. Es esencial seguir las especificaciones

del esquemático y el diseño de la placa para garantizar una conexión eléctrica correcta. La soldadura se realiza aplicando calor a los terminales de los componentes y añadiendo soldadura fundida para asegurar una conexión eléctrica firme y duradera. Durante este paso, se debe tener en cuenta la orientación correcta de los componentes y la distancia adecuada entre ellos para evitar cortocircuitos. Una vez que todos los componentes están correctamente colocados y soldados como se ve en la Figura 32, la placa está lista para ser probada y, en caso necesario, ajustada para asegurar un funcionamiento óptimo del circuito electrónico. Este proceso meticuloso y preciso es fundamental para la construcción exitosa de dispositivos electrónicos hechos a medida.

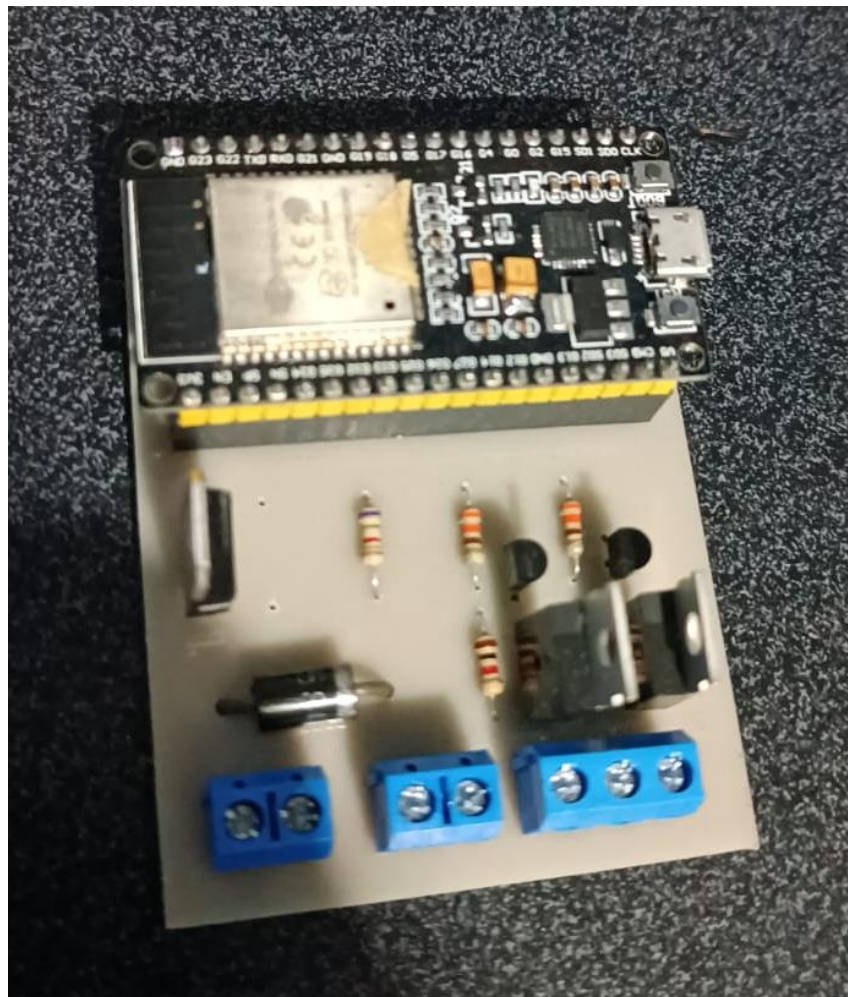


Figura 32. Placa electrónica

3.21 Tablero de control

En la caja de distribución eléctrica se ubican todos los dispositivos de control electrónico. Se adquirió para acomodar la batería y el sistema electrónico que se utiliza para el control, con dimensiones de 54 * 42 *25 cm de alto ancho y profundidad respectivamente. En la Tabla 11 se describen los elementos instalados en la caja de distribución.

Tabla 11. Elementos que van en el interior de la caja de distribución

Elemento	Lugar de Instalación
ESP32	Interior
Bateria	Interior
Sensor	Interior
Módulo relay	Interior
Regulador	Interior
Borneras	Interior
Step-Down	Interior

Como ya se revisó anteriormente, para la conexión de los elementos de cada sección se utilizó cable de calibre AWG 12. Los circuitos electrónicos se encuentran ubicados en la caja de distribución la cual está instalada en el poste de la estructura del sistema Figura 33.

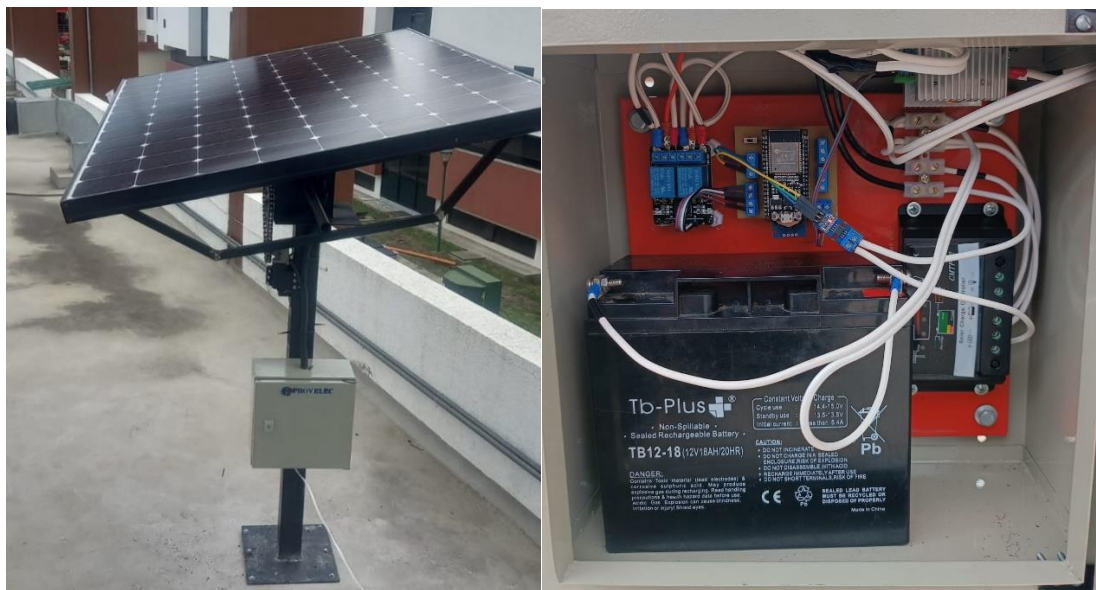


Figura 33. Caja de distribución instalada en el poste de la estructura

3.22 Consumo de Potencia

En este apartado se hizo el cálculo de consumo de corriente de los elementos que conforman el sistema fotovoltaico, en primero caso nuestro motor M1. Se asume que el motor 1 debe girar 480 veces al día y la potencia de consumo es de aproximadamente 180W este se activa por 0.250 segundos es decir el motor se activara 120 segundos, este es el tiempo de ida, entonces el tiempo de regreso será el mismo, por lo tanto, el tiempo total de activación del motor será de 4 min.

Tabla 12. Potencia consumida diaria de los elementos del sistema

Componente	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Uso (h/24)	Potencia consumida diaria (Wh/d)
Motor de 12 V a 15 A	12 V	15 A	180 W	0.02/24	0.15 Wh/d
ESP32 DevKit V1	3,3 V	200 mA	660 mW	12/24	0.33 Wh/d
RTC1302	5 V	10 mA	50 mW	12/24	0.025 Wh/d
Módulo reductor de voltaje de 20 A	12 V	20 A	50 mW	24/24	0.05 Wh/d
ACS712	5 V	200 mA	2.1 mW	24/24	0.001 Wh/d
Módulo relé Arduino	5 V	100 mA	500 mW	12/24	0.25 Wh/d
Módulo LDR	5 V	10 mA	50 mW	12/24	0.025 Wh/d
Total					0.806 Wh/d

El componente que consume más potencia es el motor de 12 V a 15 A, con una potencia de 0.806 kWh/d. El segundo componente que más consume es el módulo reductor de voltaje de 20 A, con una potencia de 86.4 kWh/d. El resto de los componentes consumen una cantidad relativamente pequeña de potencia como se puede ver en la Tabla 12.

Es importante tener presente que los consumos de potencia de los componentes electrónicos al diseñar un sistema. Si el consumo de potencia es demasiado alto, puede requerir una fuente de alimentación de gran tamaño o puede agotar la batería del dispositivo rápidamente.

3.23 Interfaz gráfica

La interfaz gráfica del sistema recopila datos de voltaje generados por los paneles solares en intervalos horarios a lo largo de un periodo de 12 horas, comenzando desde

las 6:00 a. m. hasta las 6:00 p. m. Esta representación visual proporciona una visión detallada del rendimiento del sistema fotovoltaico durante todo el día, permitiendo una observación precisa de las variaciones en la generación de energía solar. Además de su función de monitoreo continuo, la interfaz cuenta con botones de control que posibilitan la pausa del sistema como se ve en la Figura 34. Estos controles ofrecen la flexibilidad necesaria para gestionar el funcionamiento del sistema de manera eficaz, permitiendo pausas estratégicas cuando sea necesario y facilitando la administración del rendimiento del sistema fotovoltaico en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.



Figura 34. Interfaz gráfica para el monitoreo del sistema.

1. Eficiencia del Panel Solar:

El voltaje medio producido por el panel solar es de 41.79 voltios, lo cual indica una eficiencia relativamente buena en la conversión de la energía solar en electricidad. Este dato es esencial para evaluar el rendimiento general del panel, ya que un voltaje más alto suele ser indicativo de una mejor capacidad para generar energía. En este caso, la eficiencia del panel se refleja en el voltaje medio, lo que sugiere que el sistema está operando de manera efectiva en la conversión de la radiación solar en energía eléctrica.

2. Consideración de Pérdida de Voltaje:

La pérdida de voltaje por error relativo, estimada en 1.017 voltios, destaca la importancia de gestionar y minimizar las pérdidas en un sistema solar. Estas pérdidas pueden deberse a varios factores, como conexiones deficientes o componentes desgastados. La reducción de las pérdidas de voltaje es crucial para optimizar la eficiencia global del sistema y garantizar un rendimiento constante. Identificar y

abordar las causas de estas pérdidas contribuirá a mejorar la fiabilidad y durabilidad del sistema solar, maximizando así su capacidad para generar energía.

3.24 Análisis de los datos

Para examinar la información recopilada mediante la interfaz gráfica durante el proceso de monitoreo. La radiación exhibe variaciones dependientes de las condiciones climáticas; en días completamente soleados, se registra una radiación elevada, mientras que, en jornadas nubladas, la radiación disminuye. Es importante destacar que estos datos son susceptibles a cambios, ya que el entorno puede experimentar modificaciones abruptas que inciden directamente en los niveles de radiación, creando así una fluctuación en la información recopilada.

3.24.1 Datos con el sistema fotovoltaico dinámico

En la Tabla 13 se observa un promedio de la información adquirida de corriente y de voltaje en 15 días con el sistema dinámico en funcionamiento.

Tabla 13. Promedio de variables de Corriente Voltaje adquiridas en 15 días con el sistema dinámico.

Fecha	Corriente (A)	Voltaje (V)	Potencia (W)
17/12/2023	5.87 A	45.90 V	269,4
18/12/2023	5.88 A	47.62 V	280
19/12/2023	5.86A	43.64 V	255,7
20/12/2023	5.88 A	48.33 V	284,2
21/12/2023	5.87 A	45.07 V	264,6
22/12/2023	5.86 A	42.90 V	251,4
23/12/2023	5.88 A	49.45 V	290,8
24/12/2023	5.89 A	52.45 V	308,9
25/12/2023	5.86 A	44.76 V	262,3
26/12/2023	5.85 A	42.73 V	250
27/12/2023	5.88 A	48.39 V	284,5
28/12/2023	5.87 A	44.78 V	262,9
29/12/2023	5.85 A	43.70 V	255,6
30/12/2023	5.86 A	43.58 V	255,4
31/12/2023	5.88 A	48.64 V	286

Los datos adquiridos por día son de 666, eso quiere decir que en cada hora se registró 55.5 datos. Con estos datos se procede a graficar la variable de potencia en los 6 días en donde se presentó un punto máximo de potencia Figura 35.

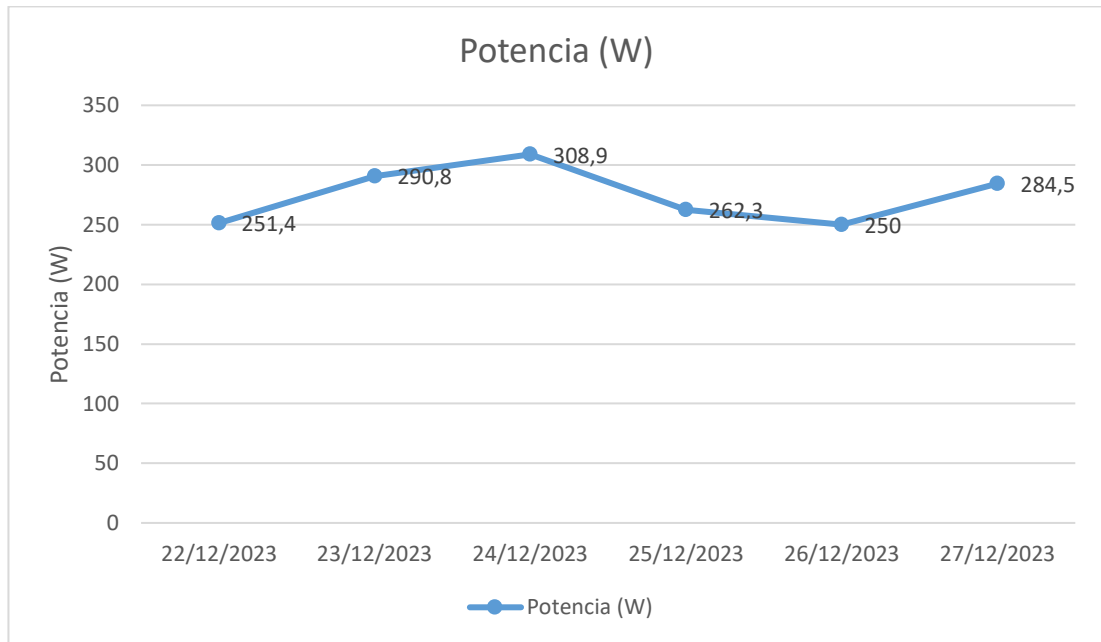


Figura 35 Variable de potencia en 6 días sistema dinámico.

Como se puede ver en la Tabla 13 del promedio de potencia más bajo es el día 26 de diciembre del 2023, el promedio más alto de potencia es el 24 diciembre del 2023 y la potencia media es el 25 de diciembre del 2023.

Con estos tres parámetros, procedemos a calcular la eficiencia en estos tres días.

El punto más bajo de potencia es de 250W registrado el 26 de diciembre del 2023, sabiendo que 325W es el máximo valor de potencia, por lo tanto, ese valor será el 100% de eficiencia, aplicamos la Ecuación (25) para encontrar la eficiencia de potencia de ese día.

$$\begin{aligned}
 325 \text{ W} &= 100\% \\
 250 \text{ W} &= x \\
 x &= \frac{250 * 100}{325} & (25) \\
 x &= 76.92\%
 \end{aligned}$$

Según la Tabla 13 sabemos que el punto máximo de potencia es el 24 de diciembre con un valor de 308.9W. Aplicamos la Ecuación (26) y encontramos la eficiencia de potencia en ese día.

$$\begin{aligned}325 W &= 100\% \\308.9 W &= x \\x &= \frac{308.9 * 100}{325} \\x &= 95.05\%\end{aligned}\tag{26}$$

Por último, calculamos la eficiencia con la Ecuación (27) en el punto medio de potencia que según la Tabla 13 es el día 25 de diciembre del 2023

$$\begin{aligned}325 W &= 100\% \\262.3 W &= x \\x &= \frac{262.3 * 100}{325} \\x &= 80.71\%\end{aligned}\tag{27}$$

El valor porcentual 80.71% de la eficiencia obtenido con el sistema fotovoltaico dinámico en un día donde la potencia es media, representa una respuesta aceptable.

3.24.2 Datos con el sistema fotovoltaico fijo.

En la Tabla 14 se puede ver el promedio de los datos adquiridos en 15 días los valores de voltaje, corriente y potencia con el sistema dinámico fijo.

Tabla 14. Promedio de variables de Corriente Voltaje adquiridas en 15 días con el sistema fijo

Fecha	Corriente (A)	Volataje (V)	Potencia (W)
01/01/2024	5,1	47,63	242,91
02/01/2024	4,95	46,23	228,83
03/01/2024	4,98	46,51	231,61
04/01/2024	5,01	46,79	234,41
05/01/2024	5,26	49,12	258,39
06/01/2024	5,08	47,44	241,01
07/01/2024	5,24	48,94	256,43
08/01/2024	5,2	48,56	252,53
09/01/2024	5,12	47,82	244,82
10/01/2024	5,01	46,79	234,41
11/01/2024	5,19	48,47	251,56
12/01/2024	5,01	46,79	234,41
13/01/2024	5,11	47,72	243,86
14/01/2024	4,98	46,51	231,61
15/01/2024	5,01	46,79	234,41

Para el análisis valoramos los 6 días en donde se generó el promedio más alto de potencia, y graficamos la variable de Potencia Figura 36.

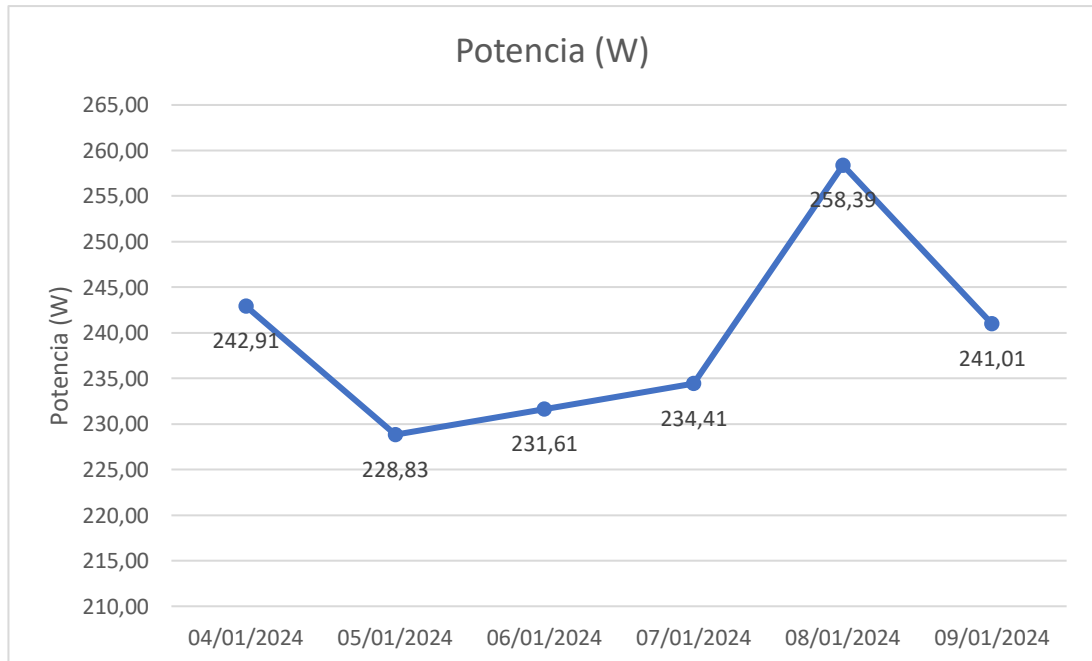


Figura 36. Variable de potencia en 6 días sistema fijo.

Para realizar la comparación analizamos de la misma forma los datos de 6 días que, por condiciones favorables, se dio el punto máximo de potencia generada. Como se ve en la siguiente gráfica podremos determinar el punto máximo, mínimo y medio de potencia. Estos valores se dieron el 8 de enero el punto más alto de potencia, 5 de enero el punto más bajo de potencia y el punto medio fue el día 4 de enero del 2024.

Calculamos la eficiencia de la potencia el día en donde se generó la más baja, que fue el día 5 de enero con una potencia de 228.83W, y como se sabe teóricamente la eficiencia al 100% será con el máximo valor de potencia que es de 325W, y aplicamos la Ecuación (28) para hallar este valor.

$$\begin{aligned}
 325 W &= 100\% \\
 228.83 W &= x \\
 x &= \frac{228.83 * 100}{325} & (28) \\
 x &= 70.41\%
 \end{aligned}$$

En la Tabla 14 se observa que el punto de potencia máxima se dio el 8 de enero del 2024 con un valor de 258.39W Aplicamos la Ecuación (29) y encontramos la eficiencia de potencia en ese día.

$$\begin{aligned}
 325 W &= 100\% \\
 258.39 W &= x \\
 x &= \frac{258.39 * 100}{325} & (29) \\
 x &= 79.50\%
 \end{aligned}$$

La potencia media generada fue el día 4 de enero del 2024 como se ve en la Tabla 14 calculamos la eficiencia con la Ecuación (30) con el valor de potencia en el punto medio que es de 242.91W

$$\begin{aligned}
 325 W &= 100\% \\
 242.91 W &= x \\
 x &= \frac{241.91 * 100}{325} & (27) \\
 x &= 74.74\%
 \end{aligned}$$

Una vez calculado la eficiencia en un periodo de 6 días, procedemos a realizar una comparación entre los datos generados cuando el sistema fotovoltaico estaba encendido y el sistema fotovoltaico pausado a cierta hora del día.

3.24.3 Comparación entre el sistema fotovoltaico dinámico y el fijo.

Realizamos una tabla con los puntos analizados anteriormente para el estudio y la interpretación de los datos, Como se puede ver en la Tabla 15 el valor de máxima potencia fue el 24 de diciembre con una eficiencia de 95.50%, el día 26 de diciembre fue cuando se dio el valor mínimo de potencia, con una eficiencia de 76.92%, y el 25 de diciembre se presentó el punto medio de potencia con un valor porcentual de eficiencia de 80.71%.

Tabla 15. Eficiencia del sistema fotovoltaico dinámico en días.

Puntos de Interés	Día	Corriente (A)	Voltaje (V)	Potencia (W)	Eficiencia
Mínimo	26/12/2023	5.85 A	42.73 V	250	76.92%
Máximo	24/12/2023	5.89 A	52.45 V	308,9	95.50%
Medio	25/12/2023	5.86 A	44.76 V	262,3	80.71%

De igual forma podremos encontrar los datos de eficiencia en días generado con el sistema fotovoltaico pausado a cierta hora del día, en la Tabla 16.

Tabla 16. Eficiencia en días del sistema fotovoltaico fijo.

Puntos de Interés	Día	Corriente (A)	Voltaje (V)	Potencia (W)	Eficiencia
Mínimo	05/01/2024	5,26	49,12	258,39	70.41%
Máximo	08/01/2024	5,2	48,56	252,53	79.50%
Medio	04/01/2024	5,01	46,79	234,41	74.74%

De la Tabla 15 y Tabla 16 realizamos una comparación de la eficiencia calculada entre el sistema fotovoltaico dinámico y el sistema fotovoltaico fijo. Y así obtener el valor del aumento energético en los tres puntos analizados.

Tabla 17. Comparación de la eficiencia y aumento energético.

Punto de Interés	Eficiencia del sistema fotovoltaico dinámico	Eficiencia del sistema fotovoltaico fijo	Aumento energético
Mínimo	76.92%	70.41%	6.51%
Máximo	95.50%	79.50%	16%
Medio	80.71%	74.74%	5.97%
		Promedio	9.49%

En el análisis detallado de la Tabla 17, se concluye de manera contundente que el sistema fotovoltaico dinámico se posiciona como el más eficiente en términos de captación de energía. Con una eficiencia que abarca desde el 5.97% hasta el 16%, este sistema supera notablemente al sistema de posicionamiento fijo. Los datos recopilados a lo largo de varios días revelan esta superioridad, aunque es crucial reconocer la posible variabilidad en la eficiencia de captación en función de las condiciones diarias y climáticas.

3.25 Costos

Se llevo a cabo dos análisis fundamentales en el proceso de determinar el presupuesto para la implementación del sistema dinámico: la consideración del presupuesto de construcción y del presupuesto de diseño. En la estimación del presupuesto de diseño, se ponderaron las horas dedicadas a la fase de diseño y construcción del sistema, junto con el salario asociado a un Ingeniero en Telecomunicaciones, establecido por el Ministerio de Trabajo en la cifra de 858 dólares. Al contemplar un promedio de 21 días hábiles al mes, se aplicó una Ecuación específica para calcular el salario diario del ingeniero. Este método exhaustivo de evaluación financiera garantizó una asignación precisa de recursos económicos durante la fase de diseño del sistema fotovoltaico dinámico, permitiendo así una planificación efectiva y transparente de los costos. La meticulosa consideración de estos elementos esenciales no solo respalda una gestión financiera eficiente, sino que también contribuye significativamente a la viabilidad y prosperidad general del proyecto.

Presupuesto de los materiales

Para el desarrollo del sistema fotovoltaico se emplearon varios elementos electrónicos los cuales se encuentran detallados en la Tabla 18.

Tabla 18. Costo total de los materiales utilizados

Item	Detalle	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Tubo Estructural Cuadrado 20*20*1.5	1	\$30	\$30
2	Tubo cañería 3/4	1	\$2.45	\$2.45
3	Tubo acero Dulce 20*2	1	\$20	\$20
4	Tubo acero dulce 2*30	1	\$25	\$25
5	Impresión 3D case para dispositivos	4	-	\$25
6	Borneras	6	\$0.25	\$1.50
7	Aluminio 2 pulgadas * 3m	1	\$6.02	\$6.02
8	Placa de acero galvanizado	2	\$15	\$30
9	Tornillo sin fin	1	\$80	\$80
10	Piñón	1	\$140	\$140
11	Esp32	1	\$13	\$13
12	Sensor Tipo Hall	1	\$4	\$4
13	Regulador	1	\$14.99	\$14.99
14	Modulo LDR	2	\$2.50	\$5.00
15	Módulo de relé de 2 Canales con regulador a 5V	1	\$3.50	\$3.50
16	Motor Gearmotor MR76	1	\$45	\$45
17	Cable AWG 10	1	\$1.30	\$1.30
18	Cable AWG 12	5	\$1.28	\$6.40
19	Conectores MC4	2	\$5.10	\$10.20
20	Pintura	1	\$7.00	\$7.00
21	Tubo corrugado	1	\$1.50	\$1.50
22	Cadena	1	\$11.00	\$11.00
23	Catalina	1	\$9.00	\$9.00
24	Tuerca y Tornillos	6	\$0.25	\$1.50
26	Tornillos de expansion	6	\$0.45	\$2.70
25	Baquelita	1	\$8.00	\$8.00
26	Caja de distribución	1	\$45	\$45
			Subtotal	\$549.06
			IVA (12%)	\$65.89
			Total	\$614.65

Costos mano de obra

La estimación del presupuesto de diseño se basa en el número de horas que se ha dedicado al diseño y construcción más el salario de un Ingeniero en Telecomunicaciones, según el Ministerio de Trabajo del Ecuador es de \$858 con los datos mencionados aplicamos la Ecuación (23) para encontrar el salario de diario.

$$Salario_{diario} = \frac{Salario_{Mensual}}{Diaro_{diario}} \quad (23)$$

$$Salario_{diario} = \frac{858}{21}$$

$$Salario_{diario} = 40.86 \text{ [dolares]}$$

Como se sabe la jornada laboral es solo de 8 horas al día según el Ministerio de Trabajo, entonces el valor hallado del $Salario_{diario}$ remplazamos en la Ecuación (24) para hallar el salario de un ingeniero en Telecomunicaciones por hora.

$$Salario_{hora} = \frac{Salario_{diario}}{Horas Laborales} \quad (24)$$

$$Salario_{diario} = \frac{40.86}{8}$$

$$Salario_{diario} = 5.10 \text{ [dolares]}$$

Una vez obtenido estos datos. Procedemos a realizar un estimado de tiempo de horas que se emplearon para realizar las actividades de investigación, la construcción y el diseño de la estructura, programación, la puesta en funcionamiento y calibración del sistema; Dando con resultado un estimado de 130 horas. Para hallar el presupuesto de diseño aplicamos la Ecuación (25)

$$Presupuesto_{diseño} = Horas_{investigadas} * Salario_{hora} \quad (25)$$

$$Presupuesto_{diseño} = 130 * 5.10$$

$$Presupuesto_{diseño} = 663 \text{ [dolares]}$$

Con los valores calculados obtenemos el presupuesto total, utilizando la Ecuación (26)

$$Presupuesto_{Total} = Presupuesto_{diseño} + Presupuesto_{materiales} \quad (26)$$

$$Presupuesto_{Total} = 663 + 614.65$$

$$Presupuesto_{Total} = 1277.65 \text{ [dolares]}$$

El presupuesto total alcanzo los 1277.65 dólares.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- La creación del sistema fotovoltaico dinámico es adaptable al sistema fotovoltaico preexistente en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial representa un logro significativo y una contribución destacada hacia la sostenibilidad en el ámbito académico. La implementación de este sistema de seguimiento solar, diseñado con la capacidad de adaptarse y complementar la infraestructura solar existente, marca un paso decisivo hacia la maximización de la captación de energía solar disponible en el campus universitario. La adaptabilidad del sistema permite ajustarse de manera dinámica a las variaciones en la posición del sol a lo largo del día y las estaciones del año, optimizando así la eficiencia de conversión de energía solar en electricidad. Además, este proyecto no solo se limita a la mejora cuantitativa de la generación de energía, sino que también sirve como un caso de estudio valioso para futuros desarrollos en el campo energético.
- En términos prácticos, este proyecto demuestra que la implementación de sistemas fotovoltaicos de seguimiento solar no solo es viable, sino que también puede integrarse de manera efectiva en entornos ya establecidos. El impacto potencial de esta iniciativa va más allá de los límites de la facultad, sirviendo como modelo replicable para otras instituciones educativas y organizaciones interesadas en optimizar sus sistemas de energía solar. En resumen, la generación exitosa de un sistema fotovoltaico de seguimiento solar adaptable representa una contribución tangible hacia la sostenibilidad, la investigación académica y la aplicación práctica de tecnologías verdes en el contexto universitario.
- El establecimiento de un sistema de monitoreo continuo implica la implementación de sensores que registran datos cruciales. Estos datos son recopilados y procesados mediante tecnologías avanzadas, permitiendo una evaluación detallada del rendimiento del sistema en diferentes condiciones

climáticas y temporales. La capacidad de realizar un seguimiento en tiempo real de la producción de energía solar no solo ofrece una visión instantánea del rendimiento.

- La implementación exitosa de este sistema de monitoreo continuo refuerza el compromiso de la facultad con la sostenibilidad, la investigación aplicada y el avance tecnológico. Al proporcionar una visión detallada y en tiempo real del rendimiento del sistema fotovoltaico, se establece un marco que promueve la toma de decisiones basada en datos para la gestión eficiente de recursos y el desarrollo sostenible.
- La creación de esta base de datos representa un hito clave en la gestión inteligente de la energía solar en la facultad. Al proporcionar una estructura organizada o interfaz para la visualización, el almacenamiento y análisis de datos, no solo respalda la toma de decisiones informadas, sino que también impulsa la investigación y la innovación en el ámbito de la energía renovable. La implementación exitosa de este objetivo refuerza el compromiso de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial con la eficiencia operativa, la sostenibilidad y la aplicación práctica de tecnologías avanzadas en el campo de las energías renovables.
- El análisis detallado de los datos ha revelado que el sistema fotovoltaico dinámico demuestra ser significativamente más eficiente en comparación con un sistema fotovoltaico fijo. Con una mejora del 16.05% en la eficiencia de captación de energía, el sistema dinámico ha demostrado su capacidad para adaptarse de manera óptima a las variaciones en la posición del sol.

4.2 Recomendaciones

- Para facilitar la construcción del sistema y ahorrar tiempo existe la opción de considerar el uso de componentes prefabricados o kits disponibles en el mercado. En lugar de fabricar el piñón y el tornillo sin fin desde cero, se puede buscar proveedores que ofrezcan estos elementos como parte de kits de cajas reductoras diseñados específicamente para aplicaciones solares. Al optar por

componentes prefabricados, se puede reducir en gran medida el tiempo y los costos adicionales con la fabricación personalizada de la caja reductora.

- Se puede aprovechar el sistema fotovoltaico dinámico y adaptarlo a un sistema controlado por lógica difusa para mejorar la eficiencia y adaptabilidad del sistema en entornos variables. Al aprovechar la capacidad de la lógica difusa para controlar la incertidumbre y la variabilidad en la intensidad de la luz solar, este enfoque proporciona una solución robusta y eficiente. Esta recomendación se respalda en la capacidad de la lógica difusa para modelar relaciones complejas y adaptarse a las variaciones ambientales.
- Se recomienda investigar otras posibilidades para el control de un seguidor solar en lugar de depender exclusivamente de sensores LDR. Se pueden explorar diversas tecnologías que podrían brindar ventajas. Una alternativa a considerar sería la utilización de sensores de posición solar o de inclinación, los cuales pueden suministrar datos directos acerca de la ubicación del sol en el cielo.
- Antes de llevar a cabo la ejecución del sistema, se aconseja un análisis exhaustivo de los niveles de voltaje y corriente que el panel solar puede generar. Esto se debe a que el análisis preliminar realizado no presenta un modelo concreto de paneles solares, lo cual podría generar complicaciones en relación con la generación y almacenamiento de energía en la batería. La falta de un modelo específico podría representar un obstáculo al diseñar las secciones de control y potencia para el sistema fotovoltaico dinámico. Por lo tanto, es fundamental realizar una evaluación detallada de las características eléctricas del panel solar elegido.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Naciones Unidas, «ENERGÍA ASEQUIBLE Y NO CONTAMINANTE: POR QUÉ ES IMPORTANTE,» p. 2, 2022.
- [2] R. Resch, «La promesa de la energía solar: Estrategia energética para reducir las emisiones de carbono en el siglo XXI,» *Naciones Unidas*, 2022.
- [3] C. Dempsey, «Energía renovable en América Latina revive tras la pandemia,» *BizLatinHub*, 2022.
- [4] J. Plaza, «EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA FOTOVOLTAICA EN ECUADOR RESPECTO A LATINOAMÉRICA EN LA ÚLTIMA DÉCADA,» Universidad Tecnológica Empresarial de Guayaquil, Guayaquil, 2018.
- [5] J. Palma, «Ecuador invierte en energías renovables pero no deja de lado a los combustibles fósiles,» *Dialogo*, 13 Junio 2022.
- [6] J. Arteaga Betancourt, «PRODUCCIÓN Y RECOLECCIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES: COSECHA ENERGÉTICA,» Neiva-Huila, 2020.
- [7] Sergio Arpi, Brian Prado, «DISEÑO DE UN SEGUIDOR SOLAR DE DOBLE EJE PARA UN SISTEMA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EN EL CENTRO DE SALUD DE LA COMUNIDAD DE YAAPI,» Cuenca, 2022.
- [8] R. Anastacio, «Seguidor solar a dos ejes cuya posición se calcula utilizando los ángulos de elevación y Azimut del sol en Guayaquil.,» *RECIMUNDO*, Guayaquil, 2022.
- [9] Andrés Padilla, Sayda Chamba, Erika Sarango, Marjorie Jiménez, «Diseño e Implementación de un Seguidor Solar para Aumentar el Rendimiento,» *Polo del Conocimiento*, vol. VII, nº 4, pp. 232-263, 2022.
- [10] Luis Parrilla Prado, Francisco Prieto Coronel, «Factibilidad energética y económica de sistema fotovoltaico conectado a red eléctrica con seguidor solar para un cliente industrial en la región de Piura,» Universidad de Piura, Piura, 2023.
- [11] I. Laguna, «La generación de energía eléctrica y el Ambiente,» *Gaceta Ecológica*, vol. II, nº 65, pp. 53-62, 2002.
- [12] N. Vélez, «Diseño de Redes Eléctricas Inteligentes para una Gestión Energética,» de *Novena Conferencia Iberoamericana de Complejidad, Informática y Cibernética*, 2019.
- [13] C. Vazquez, «Identificación de elementos de las instalaciones de energía solar fotovoltaica,» *Energía solar fotovoltaica*, pp. 19-22, 2018.
- [14] Fausto Garcia, «Renewable Energies Business Outlook 2050,» Springer, España, 2018.

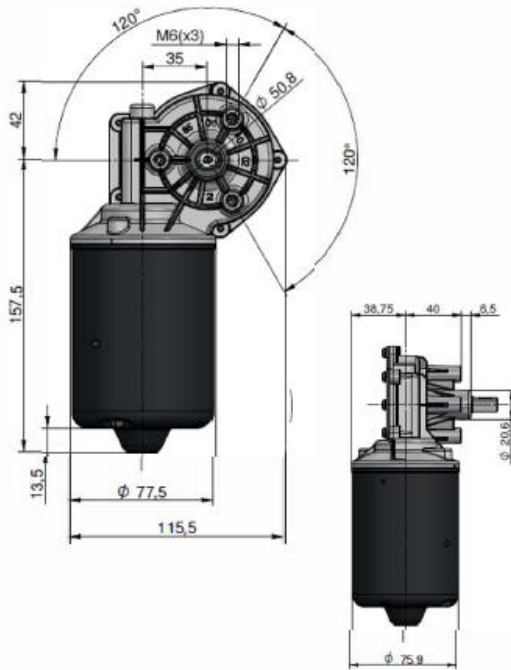
- [15] J. Moragues, *Energía eólica*, Buenos Aires: Instituto Argentino de la Energía General Mosconi, 2003.
- [16] M. Pep Puig, «Energía solar fotovoltaica.» Iberdrola, 2007.
- [17] L. Perpiñán, «Energía solar fotovoltaica,» Creative Commons ebook, España, 2013.
- [18] C. A. Duque Tejada, «Posicionamiento de paneles solares usando lógica difusa para prácticas de Laboratorio de control neumático,» Guayaquil, 2012.
- [19] Diego Vaca, Freddy Ordoñez, «Mapa solar del Ecuador,» SCINERGY, Quito, 2019.
- [20] J. Viloria, *Instalaciones Fotovoltaicas*, Madrid: Cengage Learning Paraninfo, 2008.
- [21] E. Sanchez, *Sistemas Electronicos Digitales*, Valencia: Maite Simon, 2002.
- [22] W. Tomasi, *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*, Mexico: Prentice Hall, 2003.
- [23] D. Perez, *Sistemas Embebidos y Sistemas Operativos Embebidos*, Caracas: Lecturas en Ciencias de la Computación , 2009.
- [24] R. Medina, «Sistema de control basado en el método de lógica difusa para optimizar el funcionamiento de un horno eléctrico utilizado en el proceso de ensuelado para la fabricación artesanal de calzado.,» Ambato, 2020.
- [25] K. Ogata, *Ingeniería de control Moderno*, Madrid: Pearson: Prentice Hall, 2003.
- [26] T. López Sánchez, «Sistema de control para la regulación y monitoreo de la temperatura en una incubadora avícola,» México, 2015.
- [27] Guzmán-Escoto, P, Lozano García, J, Pizano-Martínez, P, «Control de Generación de una Micro-Red Eléctrica Conformada por Fuentes Renovables de Energía,» Guanajuato.
- [28] A. E. Medina Córdova, «Emulación de un Sistema Solar Fotovoltaico en un Dispositivo de Ejecución en Tiempo Real de Bajo Costo Mediante "Hardware in the Loop",» Cohorte, Quito, 2021.
- [29] N. B. Blandon Aimacaña, «IMPLEMENTACIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR DE UN EJE PARA UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 100 W EN EL CEEA - ESPOCH,» Riobamba, 2018.
- [30] Marcelo Gustavo Molina, Pedro Enrique Mercado, Pablo Ezequiel Wiernes, «ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE ALGORITMOS DE CONTROL PARA EL SEGUIMIENTO DEL PUNTO DE MÁXIMA POTENCIA DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A LA RED ELÉCTRICA,» *Avances en energías renovables y medio ambiente*, vol. 11, pp. 153-160, 2011.
- [31] F. Rosa Morales, «Análisis comparativo del consumo de energía de servomecanismos de seguidores solares de dos ejes aplicando el control on-off, PI y PID,» *Congreso Internacional de Mecatrónica Control e Inteligencia Artificial*, pp. 89-95, 2022.

- [32] TB Plus Energy, «TB Plus Manual Bateria,» TB Plus, Bogota.
- [33] Ing. Adrian Sandoya, Arq Leonel Martinez, Arq Gustavo Ordoñez, «NEC Instalaciones Eléctricas,» Quito, 2018.
- [34] L. Pérez, «Repositorio Universidad Tecnica de Ambato,» 2016. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/20282>. [Último acceso: 27 Mayo 2023].
- [35] P. Jaramillo, «DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DIFUSO DE SEGUIMIENTO SOLAR DE DOS EJES,» Riobamba, 2017.

ANEXOS

Anexo A. Datasheet del motorreductor Gearmotor MR76

Gearmotor MR76



TECHNICAL DATA

DESCRIPTION	VALUE
Supply Voltage (VDC)	12, 24, 36, 48
No Load speed (RPM)	10÷350
Starting Torque (Nm)	< 65
Gear ratio	1:49, 1:61, 2:47, 4:71
Gearwheel material	Pom, Bronze
Duty Type	S1, S2, S3
Max output power (W)	< 120
Weight (Kg)	< 2.2
Accessories:	<ul style="list-style-type: none">• Standard EMC filter• Single channel Hall sensor with 1, 2, 4, 8 pulses/revolution
Customizations:	<ul style="list-style-type: none">• EMC filter• Thermal protection• Output shaft• Connector and wiring



DOWNLOAD
GEARMOTOR MR76
TECHNICAL SKETCH

OSLV ITALIA

En la Anexo A se muestra información importante que se tomó en cuenta a la hora de elegir este motorreductor, como el componente actuador de nuestro sistema, que realizara el movimiento para que nuestro panel se posicione de acuerdo con la ubicación del sol.

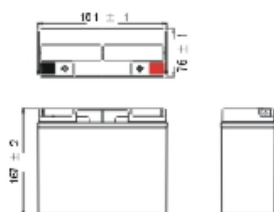
Anexo B. Datasheet de la batería TB-Plus-12-18

Referencia

TB12-18 (12V18AH)



Dimensiones y Características



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

Temperatura de funcionamiento

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

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

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

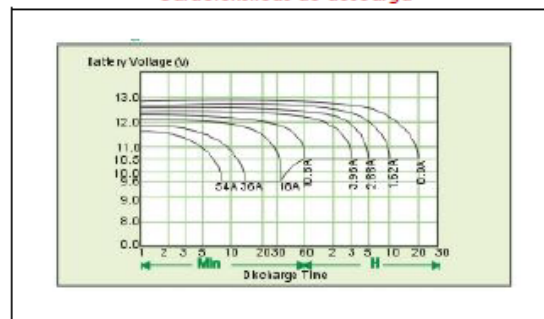


Tb Plus

Especificación

Capacidad 25 C (77 F)	20 Tasa de horas (0,9A)	18,0AH
	10 Tasa de horas (1,62A)	16,2AH
	5 Tasa de horas (2,88A)	14,4AH
	1 Tasa de horas (10,8A)	10,8AH
Capacidad afectada por la temperatura	40 C (104 F)	103%
	25 C (77 F)	100%
	0 C (32 F)	86%
Auto-descarga en 25 C (77 F) (Antes de recargar)	-15 C (5 F)	65%
	Cap. después de 3 meses	91%
	Cap. después de 6 meses	82%
Carga de tensión constante	Cap. después de 12 meses	64%
	Ciclo	Corriente de carga inicial <5,4A 14,4V ~ 15V at 25 C (77F)
En espera	13,5V ~ 13,8V at 25 C (77 F)	
	Capacidad máxima de descarga	270A

Características de descarga

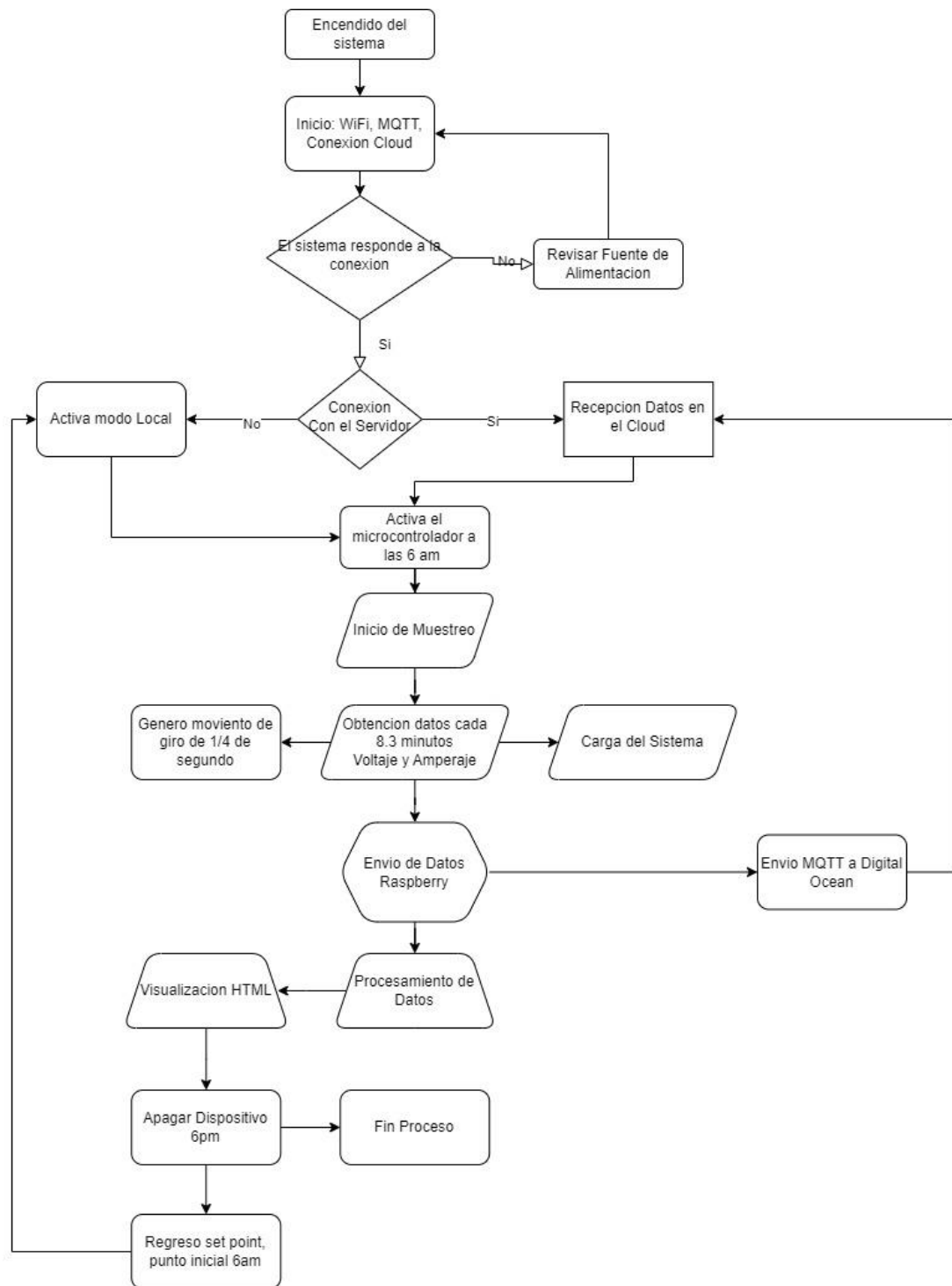


Nota : Descarga será de corte de 10.5V si la descarga en <1 C y en 9.6V si en >1 C

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

En el Anexo B podemos encontrar información necesaria de la batería, que nos ayudó a seleccionar el regulador de voltaje adecuado para alimentar nuestro circuito electrónico para que funcione nuestro sistema.

Anexo C. Diagrama de flujo del sistema dinámico



Como se puede observar en el Anexo C el diagrama de flujo explica cómo funciona la etapa de control y monitoreo del sistema fotovoltaico.

Anexo D. Datasheet de la ESP32



DOIT ESP32 DevKit v1

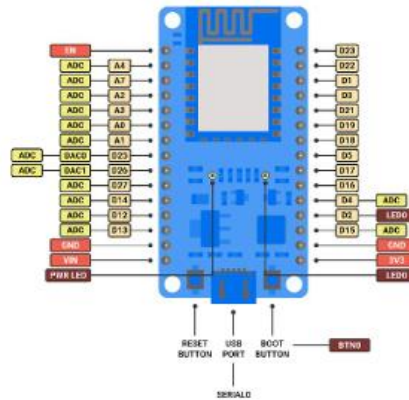


DO NOT USE D6 TO D11

PWM IS ENABLED ON EVERY DIGITAL PIN

ICU NOT SUPPORTED

ADC ON PINS D4, D12, D13, D14, D15, D25, D26, D27
CAN BE READ ONLY WITH WI-FI NOT STARTED



Device Summary

- Microcontroller: Tensilica 32-bit Single-/Dual-core CPU Xtensa LX6
- Operating Voltage: 3.3V
- Input Voltage: 7-12V
- Digital I/O Pins (DIO): 25
- Analog Input Pins (ADC): 6
- Analog Outputs Pins (DAC): 2
- UARTs: 3
- SPIs: 2
- I2Cs: 3
- Flash Memory: 4 MB
- SRAM: 520 KB
- Clock Speed: 240 Mhz
- Wi-Fi: IEEE 802.11 b/g/n/e/i:
 - Integrated TR switch, balun, LNA, power amplifier and matching network
 - WEP or WPA/WPA2 authentication, or open networks

En el Anexo D hay información relevante útil para poder conectar los diferentes elementos para que el controlador trabaje de forma eficiente.

Anexo E. Construcción del tornillo sin fin



El Anexo E muestra el resultado de la fabricación del tornillo sin fin.

Anexo F. Construcción de la estructura.





Para la construcción de la estructura fue necesario recurrir a un mecánico con las medidas para la fabricación de cada parte del sistema.

Anexo G. Instalación del cableado para el control



Después de construir la estructura se procedió con la instalación del cableado y de la caja de distribución como se ve en el Anexo G.

Anexo H. Instalación del sistema fotovoltaico en el edificio de los talleres tecnológicos





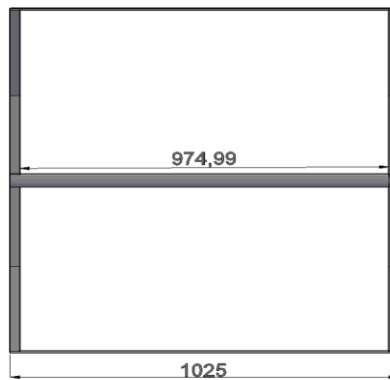
Una vez lista la estructura el siguiente paso es instalar la estructura en el lugar planificado para poder proceder con la calibración del sistema. Además, se puede observar en el Anexo H como es el mecanismo que transmite el movimiento.

Anexo I. Puesta en funcionamiento el sistema fotovoltaico dinámico

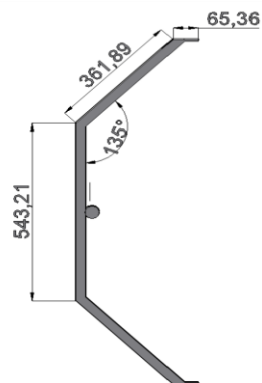


Por último, después de instalar la estructura y sujetar el panel se procede a poner en funcionamiento el sistema y revisar los errores que se pueden presentar.

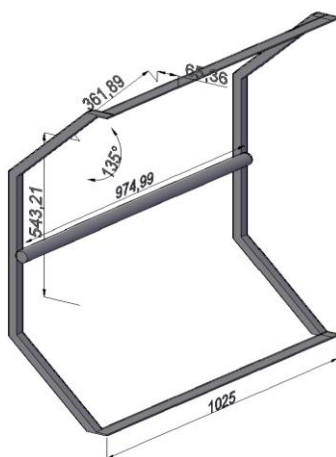
Anexo J. Planos de las partes de la estructura



PARRILLA DE LA ESTRUCTURA VISTA FRONTAL

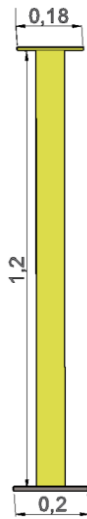


PARRILLA DE LA ESTRUCTURA VISTA LATERAL

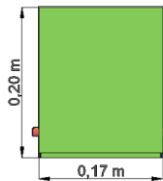


PARRILLA DE LA ESTRUCTURA VISTA 3D

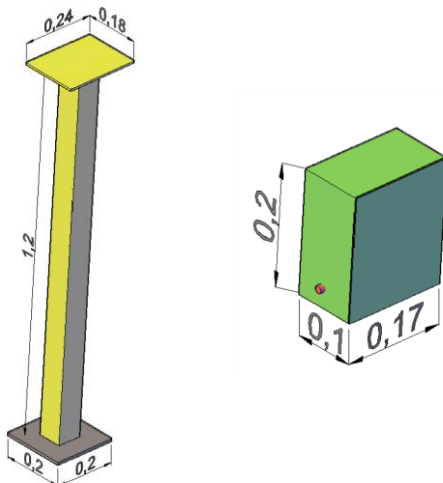
PROYECTO: OPTIMIZACIÓN Y MONITOREO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA EN SISTEMA ELECTRONICA E INDUSTRIAL	
NOMBRE: JUAN ELIAS QUINAPANTA VILLARES	
DOCENTE: DR. MG. FREDDY BENALCÁZAR	
CONTIENE: - Parrilla de Estructura del Sistema Fotovoltaico, vista frontal, lateral y 3D.	Fecha: Enero - 2024
	LAMINA: 1 /
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES	



POSTE DE LA ESTRUCTURA VISTA FRONTAL

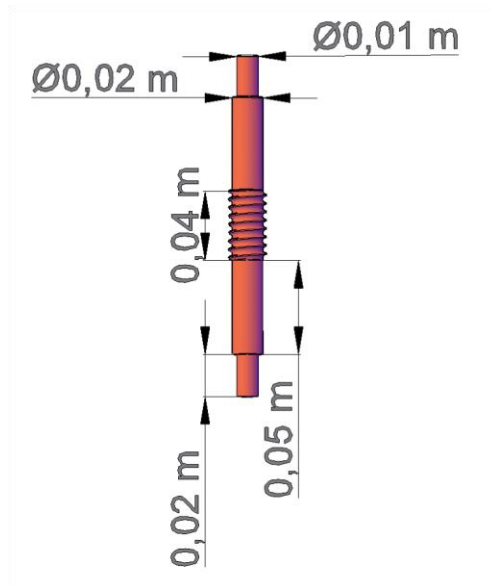


CAJA REDUCTORA DE LA ESTRUCTURA VISTA FRONTAL

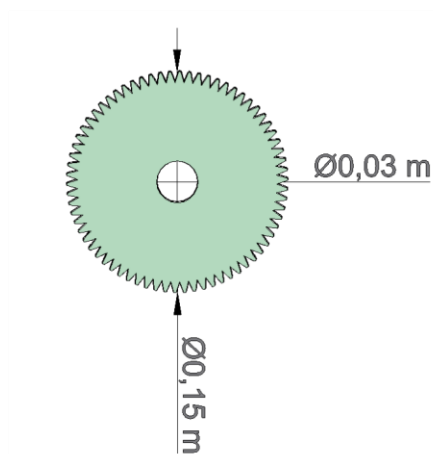


POSTE Y CAJA REDUCTORA DE LA ESTRUCTURA VISTA 3D

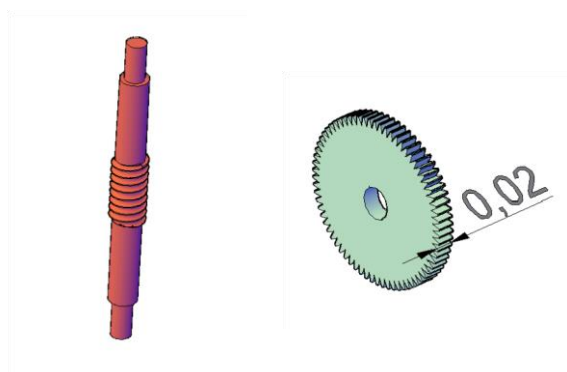
PROYECTO: OPTIMIZACIÓN Y MONITOREO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA EN SISTEMA ELECTRONICA E INDUSTRIAL	
NOMBRE: JUAN ELIAS QUINAPANTA VILLARES	
DOCENTE: DR. MG. FREDDY BENALCÁZAR	
CONTIENE: - Poste de la Estructura del Sistema Fotovoltaico. - Caja Reductora de la Estructura del Sistema Fotovoltaico.	Fecha: Enero - 2024 LÁMINA: 2/3
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES	
 	



TORNILLO DE LA ESTRUCTURA VISTA FRONTAL



TORNILLO DE LA ESTRUCTURA VISTA FRONTAL



TORNILLO Y PIÑÓN DE LA ESTRUCTURA VISTA 3D

PROYECTO: OPTIMIZACIÓN Y MONITOREO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA EN SISTEMA ELECTRONICA E INDUSTRIAL	
NOMBRE: JUAN ELIAS QUINAPANTA VILLARES	
DOCENTE: DR. MG. FREDDY BENALCÁZAR	
CONTIENE: - Tornillo Sin Fin de la Estructura del Sistema Fotovoltaico. - Piñón de la Estructura del Sistema Fotovoltaico.	Fecha: Enero - 2024
LAMINA:	3/3

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES



Anexo K. Enlace del Código

Enlace: [Código Fuente](#)