



UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ

Título:

Protocolo de seguidor solar de un eje con control automático para prácticas de optimización de generación

Autores:

Arteaga Espinal Kevin René
Veloz Choez Brandon Joel

Tutor(a)

ING. JONATHAN JIMÉNEZ GONZÁLES Msc

Unidad Académica:

Unidad Académica de Formación Técnica y Tecnológica, Educación Virtual y Otras Modalidades

Carrera:

Tecnología Superior en Electromecánica.

El Carmen, Febrero de 2026.

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-05-IT-001-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE LAS CARRERAS TÉCNICAS Y TECNOLÓGICAS	VERSIÓN: 3
		Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Extensión El Carmen de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Titulación bajo la autoría del estudiante a Arteaga Espinal Kevin Rene, legalmente matriculado/a en la carrera de Tecnología Superior en Electromecánica, período académico 2025-2, cumpliendo el total de 144 horas, cuyo tema del proyecto es "Protocolo de seguidor solar de un eje con control automático para prácticas de optimización de generación".

El presente trabajo de titulación ha sido desarrollado en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Lugar, El Carmen, 30 de enero de 2026.

Lo certifico,


 Ing. Jonathan Jiménez G. MSc.
 Docente Tutor(a) Área: Electromecánica

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-05-IT-001-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE LAS CARRERAS TÉCNICAS Y TECNOLÓGICAS	VERSIÓN: 3
		Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Extensión El Carmen de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

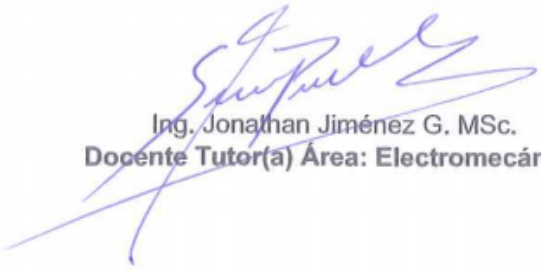
Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Titulación bajo la autoría del estudiante a Veloz Choez Brandon Joel, legalmente matriculado/a en la carrera de Tecnología Superior en Electromecánica, período académico 2025-2, cumpliendo el total de 144 horas, cuyo tema del proyecto es "Protocolo de seguidor solar de un eje con control automático para prácticas de optimización de generación".

El presente trabajo de titulación ha sido desarrollado en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Lugar, El Carmen, 30 de enero de 2026.

Lo certifico,


 Ing. Jonathan Jiménez G. MSc.
 Docente Tutor(a) Área: Electromecánica

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Quien suscriben la presente:

Arteaga Espinal Kevin René

Estudiante de la Carrera de Tecnología Superior en Electromecánica, declaro bajo juramento que el presente proyecto integrador cuyo título: "Protocolo de seguidor solar de un eje con control automático para prácticas de optimización de generación", previa a la obtención del Título de Tecnólogo Superior en Electromecánica, es de autoría propia y ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros y consultando las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

El Carmen, Febrero de 2026


Arteaga Espinal Kevin René

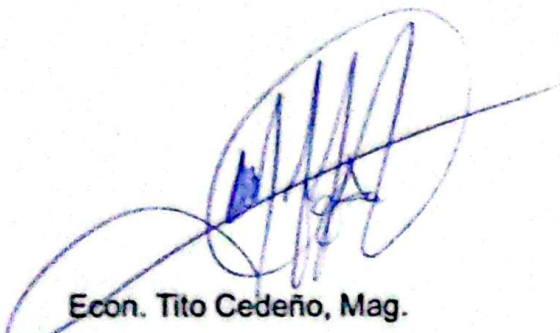

Veloz Choez Brandon Joel



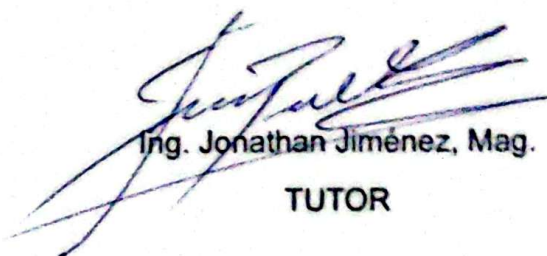
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el Trabajo de Titulación con modalidad Proyecto Integrador, titulado: "Protocolo de seguidor solar de un eje con control automático para prácticas de optimización de generación" de sus autores: Arteaga Espinal Kevin René, Veloz Choez Brandon Joel de la Carrera "Tecnología Superior en Electromecánica", y como Tutor del Trabajo el ING. JONATHAN JIMÉNEZ GONZÁLES Msc

El Carmen, Febrero de 2026



Econ. Tito Cedeño, Mag.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Ing. Jonathan Jiménez, Mag.
TUTOR



Ing. Clara Pozo, Mag.
PRIMER MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Ing. Marlon Serrano, Mag.
SEGUNDO MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por concederme la sabiduría, la salud y la perseverancia necesarias para culminar esta etapa de mi vida académica, igualmente expreso mi más profundo agradecimiento a mi abuela, que gracias a ella por creer en mí y por brindarme la oportunidad de estudiar, de igual manera, agradezco a la memoria de mi padre, quien, aun en la distancia, fue una motivación y esperanza, impulsando a confiar en mis capacidades y a seguir adelante y finalmente, agradezco a mi familia y a los docentes de la institución por el apoyo, la orientación y los conocimientos impartidos durante el desarrollo de este trabajo de titulación.

Kevin Arteaga

En primer lugar, agradezco a mi familia por el apoyo constante que fueron fundamentales durante todo el proceso de elaboración de este proyecto, igualmente, agradezco a la Universidad y a los ingenieros de la carrera, quienes mediante su conocimiento y acompañamiento aportaron el desarrollo y culminación de este trabajo de titulación, finalmente, se agradece a Dios por permitir alcanzar este objetivo académico y brindar la fortaleza necesaria para superar cada una de las etapas del proceso formativo

Brandon Veloz

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación lo dedico principalmente a Dios, por darme la vida, la fortaleza y la oportunidad de seguir adelante en los momentos más difíciles, también dedico este logro a la vida, que me dio las enseñanzas, pruebas y aprendizajes que me permitieron crecer como persona y n rendirme ante las dificultades, de igual manera, dedico este trabajo a mi abuela, quien me brindó su apoyo incondicional y me dio la oportunidad de ser alguien en la vida cumpliendo mis metas.

Kevin Arteaga

Este trabajo está dedicado a Dios, por brindarme la fortaleza y la sabiduría necesarias para culminar esta etapa de mi formación académica, a mi familia por su apoyo constante y motivación durante todo este proceso, y a los docentes de la universidad por su orientación y conocimientos impartidos, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo de este proyecto y mi crecimiento profesional.

Brandon Veloz

RESUMEN

El presente trabajo de titulación se desarrolló con la finalidad de implementar un seguidor solar de un eje permitiendo mejorar la captación de energía, a comparación de uno fijo, donde la necesidad del proyecto surge debido a que los sistemas al estar fijo, no aprovechan al máximo la eficiencia de la radiación solar, lo que limita su rendimiento energético. Para el desarrollo del proyecto se realizó primeramente un análisis de las condiciones climáticas del cantón El Carmen que sirvió como base para definir las características del sistema, ya sea mecánico, eléctrico y de control automático, integrando un microcontrolador ESP32, dos servomotores MG996R y las fotorresistencias, las cuales ayudaron en la verificación de la intensidad luminosa y orientar el panel fotovoltaico de forma automática hacia la posición del sol, finalmente se concluye que al realizar un seguidor solar a comparación de un sistema fijo aporta más y se aprovecha toda la energía solar.

PALABRAS CLAVE

Seguidor solar, energía solar, ESP32, panel fotovoltaico, control automático

ABSTRACT

The present degree project was developed with the purpose of implementing a single-axis solar tracker in order to improve energy capture compared to a fixed system. The need for this project arises because fixed systems do not fully take advantage of solar radiation efficiency, which limits their energy performance. For the development of the project, an analysis of the climatic conditions of El Carmen canton was first conducted, which served as the basis for defining the mechanical, electrical, and automatic control characteristics of the system. The system integrates an ESP32 microcontroller, two MG996R servo motors, and photoresistors, which helped verify light intensity and automatically orient the photovoltaic panel toward the sun's position. Finally, it is concluded that implementing a solar tracker, compared to a fixed system, provides greater energy utilization and improves the overall efficiency of solar energy capture.

KEYWORDS

Solar tracker, solar energy, ESP32, photovoltaic panel, automatic control

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	III
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	IV
AGRADECIMIENTO	V
DEDICATORIA.....	VI
RESUMEN	VII
PALABRAS CLAVE	VII
ABSTRACT	VIII
KEYWORDS	VIII
ÍNDICE	IX
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	X
ÍNDICE DE TABLAS	X
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. PROBLEMA	2
1.2. JUSTIFICACIÓN	3
1.3. OBJETIVOS	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. METODOLOGÍA	4
1.4.1. Procedimiento.....	4
1.4.2. Técnicas	5
1.4.3. Métodos.....	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. DEFINICIONES	7
2.2. ANTECEDENTES	11
2.3. TRABAJOS RELACIONADOS.....	12
CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA PROPUESTA	15
3.1. DESARROLLO	15
3.1.1. Descripción de la propuesta	15
3.1.2. Etapas.....	17

3.1.3. Presupuesto.....	19
3.2. RESULTADOS.....	20
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	26
4.1. CONCLUSIONES	26
4.2. RECOMENDACIONES.....	27
BIBLIOGRAFÍA	28
ANEXOS	30

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Nivel de insolación en noviembre.....	20
Ilustración 2. Nivel de insolación en enero	21
Ilustración 3. Diseño eléctrico del seguidor solar	23

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Presupuesto establecido.....	19
Tabla 2. Meses con mayor y menos potencial energético	22
Tabla 3. Corriente de los componentes	24

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	24
Ecuación 2	24
Ecuación 3	24
Ecuación 4	24
Ecuación 5	24
Ecuación 6	24

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El sistema electromecánico de seguimiento a partir de un panel solar está diseñado para optimizar la captación de energía solar, mediante el movimiento y ubicación de un panel fotovoltaico que se orienta automáticamente a la dirección del mismo o en la posición más favorable en la que capte mayor cantidad de luz. A diferencia de los sistemas fijos que se pueden observar en casas y otros sistemas, este proyecto permite mejorar la captación de energía teniendo una mayor eficiencia por un costo, su funcionamiento se basa en el uso de sensores y mecanismos de posición con motores DC que trabajan en conjunto para mantener un ángulo y posición paralelo al sol (Repsol, 2023).

Para el desarrollo del sistema de control automático de un seguidor solar de un eje, se utiliza un microcontrolador ESP32, el cual se destaca por su procesamiento, conectividad Wi-Fi y Bluetooth integrada, y su gran compatibilidad con sensores y actuadores, estas características lo hacen una herramienta muy útil para proyectos de automatización. En este proyecto, el ESP32 gestiona las lecturas por sensores de luminosidad, corriente y voltajes, ejecutando los algoritmos de seguimiento controlando así el sistema haciendo un funcionamiento eficiente y adaptable a diferentes condiciones solares. (Armas y Cotrado, 2022).

Un trabajo donde se relaciona mucho con el tema, es el diseño e implementación de un seguidor solar de un eje desarrollado en la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo. En dicho proyecto se aplicaron sensores de corriente, voltaje, irradiancia y HDR, con algoritmos de seguimiento solar basado en la programación astronómica, lo que pudo garantizar una incidencia más perpendicular de la radiación solar sobre un panel, llegando a dar un resultado en su eficiencia de entre 8,51% y 35,46%, demostrando la importancia del seguimiento mediante la optimización de la captación energética (Pacheco, 2020) .

La necesidad de abordar el diseño e implementación de un seguidor solar con un control automatizado, radica en la necesidad de incrementar la captación de luz solar mejorando la eficiencia energética en el sistema fotovoltaico, especialmente en el contexto de fuentes renovables y sostenibles. La optimización en la captación de luz solar con un panel en movimiento, no solo contribuye una mayor producción eléctrica en comparación de un sistema fijo, debido a que representa un aporte significativo en el aprovechamiento racional de la radiación solar captado por el mismo, generando soluciones prácticas que pueden aplicarse tanto en proyectos de pequeña escala o sistemas más complejos y grandes.

La realización del proyecto se vincula de manera directa con la carrera de Electromecánica, integrando diversas áreas como mecánica, electricidad, electrónica y control automatizado. El diseño en general del seguidor solar requiere fundamentos de resistencia de materiales y procesos de fabricación, mientras que la selección y programación de los dispositivos de control mezcla las competencias en circuitos eléctricos y automatización industrial, de esta forma refuerza la aplicación práctica y orgánica dando como evidencia las diferentes formas y aplicaciones que tiene la carrera de Electromecánica, contribuyendo al desarrollo de soluciones técnicas a problemas futuros o actuales.

1.1. PROBLEMA

En la actualidad, los sistemas fotovoltaicos o solares instalados en el cantón El Carmen suelen estar hechos para solo estar fijas, lo que limita su capacidad de captar de forma constante la energía solar a lo largo del día. Esta condición provoca que las primeras y últimas horas del día, la eficiencia se disminuye considerablemente, reduciendo su baja producción de energía y generando así un bajo aprovechamiento de la inversión realizada. Lo que provoca que muchos usuarios dependan de plantar más paneles solares para poder aprovechar toda la energía solar, requiriendo un gran costo de implementación.

Aprovechamiento ineficiente de la radiación solar debido al uso de sistemas fotovoltaicos de orientación fija.

1.2. JUSTIFICACIÓN

El estudio y desarrollo de un seguidor solar de un eje con control automático constituye una herramienta significativa para la formación académica de los estudiantes de la carrera de Electromecánica, ya que permite integrar conocimientos adquiridos en áreas como electricidad, electrónica, automatización y diseño mecánico. A través de este proyecto se consolidan competencias relacionadas con el análisis, diseño y control de sistemas electromecánicos aplicados a energías renovables. Además, fortalece la práctica experimental al permitir evaluar conceptos como eficiencia energética, control de procesos y aprovechamiento de la radiación solar.

Desde el punto de vista tecnológico, el desarrollo de un seguidor solar automatizado representa una alternativa eficiente frente a los sistemas fijos, debido a que permite orientar el panel fotovoltaico en función de la posición del sol, optimizando la captación de energía solar disponible. Para su funcionamiento se emplean sensores, actuadores y un sistema de control basado en un microcontrolador, lo que favorece la aplicación de metodologías modernas de programación y control automático. Asimismo, el prototipo puede ser utilizado como recurso didáctico para prácticas de laboratorio y análisis comparativos de eficiencia energética.

El proyecto se enmarca dentro de la línea institucional de investigación en ingeniería, industria y desarrollo sustentable establecida por la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, orientada al diseño e implementación de soluciones tecnológicas que contribuyan al desarrollo energético y la sostenibilidad ambiental. De igual manera, se vincula con los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo al promover el uso de energías renovables y la eficiencia energética como estrategias para reducir el impacto ambiental y fortalecer el desarrollo tecnológico del país (Consejo de Educación Superior, 2021).

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un seguidor solar de un eje con control automático para la optimización de energía de un panel solar de 40 W.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar un estudio previo de las condiciones de radiación solar en el cantón El Carmen como base para el diseño del sistema fotovoltaico.
- Diseñar el sistema eléctrico y de control automático del seguidor solar de un eje.
- Implementar el prototipo del seguidor solar de un eje con control automático

1.4. METODOLOGÍA

1.4.1. Procedimiento

Se recopiló información climatológica del cantón El Carmen, considerando variables como la radiación solar promedio, temperatura ambiente y la humedad relativa. Se utilizaron fuentes oficiales como el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, con estos datos se llega a determinar los parámetros principales como el ángulo de elevación para indicar el lugar correcto durante las diferentes horas del día y poder definir los parámetros óptimos de funcionamiento del seguidor solar de un eje.

Después de definir la base de información de los horarios solares, se elaboró el sistema de control automático en la página web Wokwi, que incluye sensores, actuadores y una unidad de control. Posteriormente, se programaron los algoritmos de control y seguimiento en base a los métodos de detección por luminosidad, asegurando la respuesta precisa del sistema.

Una vez finalizado el diseño, se procede a la construcción del prototipo del seguidor solar, ensamblando los componentes mecánicos y electrónicos. Se realizó el cableado, montaje de sensores, instalación de la unidad de control y

configuración del sistema. Posteriormente, se llevaron a cabo pruebas funcionales para que se verifique el desplazamiento del panel solar.

1.4.2. Técnicas

Técnica experimental

Las técnicas de investigación experimental se definen como procedimientos que permiten comprobar un fenómeno mediante la manipulación y control de variables en un entorno determinado, con el fin de obtener resultados verificables (Gayubas, 2025). La técnica experimental se utilizó para la implementación y prueba del prototipo del seguidor solar, evaluando como la radiación solar influye en la eficiencia energética del sistema, además permitió medir la iluminancia llegando con eso a reaccionar los servomotores haciendo que el panel solar gire dependiendo cual fotorresistor tenga más iluminancia.

Técnica documental

La investigación documental se define como una técnica que consiste en la recopilación, análisis e interpretación de información proveniente de fuentes bibliográficas, digitales y documentales, con el propósito de fundamentar teóricamente un estudio científico (García, 2025). En este proyecto, la técnica documental se empleó para obtener información sobre radiación solar, sistemas fotovoltaicos, microcontroladores y control automático, mediante revisiones de tesis y páginas web, donde permitió cumplir el objetivo específico 1 y fue aplicada para realizar los respectivos capítulos I y II.

1.4.3. Métodos

Método analítico

El método analítico se define como un procedimiento de investigación que consiste en descomponer un fenómeno o problema en sus partes esenciales para estudiarlas de manera individual y comprender sus relaciones dentro del conjunto, permitiendo obtener conclusiones fundamentadas (Orellana, 2020). El método analítico se aplicó en la fase de investigación mediante el análisis

detallado de las condiciones solares del cantón El Carmen, así como el estudio individual de cada componente del sistema, tales como el sistema eléctrico y el sistema de control automático con el microcontrolador ESP32, los servomotores MG996R y las fotorresistencias. Este análisis permitió comprender el funcionamiento de cada elemento por separado y su integración en el prototipo, garantizando una base técnica adecuada para su implementación.

Método sintético

El método sintético se define como un proceso de razonamiento que permite reconstruir un todo a partir de los elementos que han sido previamente analizados, organizándolos de forma coherente y concreta para obtener una comprensión global de dicho fenómeno (Mejia, 2020). El método sintético se aplicó en la etapa de integración de los resultados y conclusiones del diseño y funcionamiento del seguidor solar de un eje, donde se reunieron y sintetizaron los conocimientos obtenidos de la revisión bibliográfica, el análisis de las condiciones climáticas del cantón El Carmen y la evaluación de las pruebas experimentales del prototipo. De esta manera, se consolidó el entendimiento integral del sistema, uniendo cada componente analizado (estructura mecánica, sistema eléctrico, control automático y respuesta al comportamiento de la radiación solar) para presentar conclusiones globales sobre el desempeño y aporte del prototipo en comparación con un sistema fijo.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. DEFINICIONES

2.2.1. Energía solar

La energía solar es una de las mejores fuentes de energía renovables, puesto que es prometedora y muy usada en la actualidad, debido a su carácter inagotable y su bajo impacto ambiental. Esta energía proviene a que el sol manda una radiación electromagnética, la cual puede llegar a convertirse ya sea en energía térmica o eléctrica a través de diferentes tecnologías, siendo la fotovoltaica una de las más eficientes para generar electricidad limpia y sostenible, su uso puede ayudar a reducir la dependencia de los combustibles y las emisiones de gas invernadero.

La radiación solar que llega a la superficie terrestre varía según los factores geográficos y atmosféricos como la latitud, la estación del año y la hora del día dependiendo si hay nubes o no. Estos factores influyen directamente en la intensidad de la radiación, por eso, en el diseño de sistemas solares fotovoltaicos, resulta esencial analizar las condiciones solares del lugar en el que se instalará para mejorar y optimizar una mayor captación de energía y el rendimiento global del sistema fotovoltaico (Endesa, 2021).

2.1.2. Sistemas fotovoltaicos

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de componentes que trabajan para así convertir la radiación solar en energía eléctrica utilizable, está compuesto principalmente por módulos solares, una estructura de soporte, controladores de carga, inversores, cableado y en algunos casos un almacenador de energía. Los módulos solares están hechos por celdas de silicio que, mediante el efecto fotovoltaico, la convierten en corriente continua, la cual puede convertirse en corriente alterna mediante un inversor.

El rendimiento de un sistema fotovoltaico dependerá de múltiples factores, tales como la calidad del módulo, la temperatura ambiente, la orientación y la inclinación de los paneles. La eficiencia también se ve afectada por las pérdidas eléctricas en los conductores y las sombras que se encuentren en el entorno, en

este sentido, un diseño adecuado debe considerar tanto la ubicación y orientación óptima del conjunto para maximizar la captación de energía (Vivero, 2022) .

2.1.3. Seguidores solares

Los seguidores solares son dispositivos electromecánicos diseñados para la orientación de los paneles fotovoltaicos hacia la posición del sol en el transcurso del día. Su función principal es poder maximizar toda la captación solar y así mismo la generación de energía eléctrica. El principio de funcionamiento consiste en ajustar continuamente la posición del panel dependiendo el movimiento del sol en el cielo, asegurando así que el panel pueda recibir mejor la radiación solar.

El uso de seguidores solares mejora significativamente su eficiencia energética de los sistemas fotovoltaicos, pero también diferentes desafíos, tales como el diseño mecánico a prueba de cargas de viento, el consumo energético del sistema de control y la necesidad de mantenimiento periódico. Por ello, se requiere para su implementación un análisis técnico y económico que garantice que los beneficios que se obtuvo superen el costo asociado en su instalación y operación del seguidor (estudyando, 2025).

2.1.4. Parámetros solares

Los parámetros solares son variables que permiten determinar la posición del sol en un momento siendo muy importante para el diseño y su orientación de sistemas solares, entre ellos destaca la declinación solar, la altura solar, el ángulo horario y el de incidencia. Estos parámetros se calculan mediante fórmulas astronómicas dependiendo la latitud del lugar y la fecha del año, permitiendo así conocer la trayectoria solar.

La declinación solar varía entre los $+23,45^\circ$ y $-23,45^\circ$ a lo largo del año, siendo el verano donde existe más radiación solar. La altura solar representa el ángulo entre el sol y el horizonte, y varía mucho dependiendo el horario en el que se encuentre, siendo el mediodía su máximo esplendor. Por su parte el acimut solar

indica el lugar en el cual caen los rayos solares, medido desde el norte en sentido horario. Conocer estos valores es importante para poder programar y diseñar el sistema del seguidor solar, de esta forma hacer orientar de la mejor forma el panel (Herrera y Franco, 2022).

2.1.5. Microcontroladores en sistemas automatizados

Los microcontroladores son dispositivos electrónicos programables que en un solo chip integra la unidad central de procesamiento (CPU), la memoria y los periféricos de entrada y salida. Su función principal es ejecutar instrucciones para controlar procesos automáticos, lo que en algunos casos se le conoce como un sistema de automatización moderno. Gracias a su bajo costo y su bajo consumo de energía, se utilizan mucho en la industria, la robótica y los sistemas de control de energía.

Los microcontroladores permiten implementar algoritmos de control basados en la retroalimentación, lo que provoca un funcionamiento más eficiente, también pueden programarse en lenguajes de alto nivel, facilitando así el desarrollo de sistemas automáticos y optimizados para aplicaciones educativas, industriales o experimentales (Bismarks J.L, 2024).

2.1.6. Microcontrolador ESP32

Es un microcontrolador desarrollado por Espressif Systems, en el cual se utiliza en proyectos de automatización debido a su potencial, conectividad y el bajo consumo energético. Está diseñado con un procesador dual core, con una conectividad a Wi-Fi y Bluetooth, con múltiples pines de entrada y salidas, convertidores analógico-digital y comunicación serial, lo que lo convierte en una opción ideal para el control y el sistema electromecánico.

A diferencia de un microcontrolador Arduino UNO, el ESP32 ofrece un mejor rendimiento y una gran capacidad de procesamiento, además que permite el envío y recepción de datos de forma inalámbrica. Esto normalmente lo hace útil en proyectos de monitoreo remoto, registro de datos en la nube o control

mediante interfaces gráficas desde dispositivos o computadoras (Marketing Edcodisseny, 2023).

2.1.7. Sensores en sistemas de seguimiento solar

Los sensores son componentes muy esenciales en los sistemas de seguimiento solar considerando la información necesaria para que el microcontrolador tome decisiones, los más comunes en este tipo de sensores son el sensor de luz, corriente, voltaje y temperatura, generalmente el sensor de luz es de tipo LDR, lo cual detectan variaciones en la intensidad luminosa y permite identificar la dirección con mayor irradiancia.

Los sensores de corriente y voltaje se usan para la medición de energía generada por el panel solar, permitiendo así la evaluación del rendimiento a tiempo real. Estos datos son fundamentales para determinar la eficiencia de la captación solar y poder realizar comparaciones en diferentes tiempos, por su parte, el sensor de temperatura ayuda en el monitoreo de las condiciones ambientales y prevenir sobrecalentamiento o pérdidas de eficiencia en el panel (Bueno y Santos, 2022).

2.1.8. Algoritmos y control automático

Es la disciplina encargada de diseñar sistemas que puedan operar sin alguna intervención humana, manteniendo ciertos límites mediante la retroalimentación de información, en el caso del seguidor solar, el control automático se aplica para poder orientar el panel solar mediante las mediciones de luminosidad o en cálculos astronómicos, buscando siempre la mejor posición óptima del sol.

El diseño del algoritmo de control implica poder definir las condiciones de activación y la frecuencia de ajuste, donde el sistema bien programado puede mejorar y garantizar una orientación perfecta y maximizar la captación de energía solar. La utilidad de usar un ESP32 es aprovechar su capacidad de procesamiento y sus módulos de comunicación para poder revisar el control y el monitoreo en un solo sistema (JLCPCB, 2025).

2.2. ANTECEDENTES

La Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), sede El Carmen, es una institución pública de educación superior comprometida en la formación de futuros profesionales, ya sea en áreas técnicas o científicas sosteniendo su innovación tecnológica. El propósito de la universidad es fortalecer las capacidades de investigación y la vinculación con la sociedad, llevando a impulsar proyectos a poder solucionar las necesidades energéticas e industriales de la región, por eso la carrera Electromecánica se destaca por poder lograr buscar soluciones integrando conocimientos de electricidad, mecánica, automatización y control, formando en sus estudiantes un conocimiento que los puede llevar a hacer prácticas en buscas de soluciones de las problemáticas que se encuentran.

En la sede El Carmen se han implementado muchos proyectos interesantes que buscan un mejoramiento en la optimización y el uso eficiente de la energía eléctrica, entre ellos, los paneles solares con un seguidor solar controlados por un microcontrolador ESP32, con un fin académico e investigativo. Esto es llevado a cabo en los laboratorios de la carrera, donde se aplica conocimientos de diseño mecánico, programación y control eléctrico. De acuerdo con informes y de proyectos similares, este tipo de implementaciones ha fortalecido la capacidad de llevar la teoría a la práctica con el fin de buscar una solución a la deficiencia energética sin hacerle daño al medioambiente (Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, 2023).

En los últimos años, diversas universidades o institutos han desarrollado proyectos enfocados en la optimización de la captación solar mediante seguimientos solares automáticos. Por ejemplo, en la Universidad Técnica de Ambato (UTA) se elaboró el proyecto “Sistema electrónico de control de un prototipo de seguidor solar fotovoltaico en la facultad de ingeniería, electrónica, e industrial”, con el propósito de mejorar la eficiencia energética con un módulo fotovoltaico. En este proyecto se ocuparon servomotores para poder ajustar la orientación del panel en un 25% en su captación de energía comparado a un sistema fijo, estos tipos de proyectos ha logrado validar en el entorno académico

la efectividad de poner un seguidor solar, impulsando así una solución sostenible y de bajo costo para las comunidades (Noboa, 2021). A diferencia del proyecto desarrollado en la UTA, la presente investigación se enfoca en el diseño e implementación de un seguidor solar de un eje adaptado a las condiciones climáticas específicas del cantón El Carmen, considerando un análisis previo de radiación solar y parámetros ambientales propios de la zona. Además, esta tesis integra el uso de un microcontrolador ESP32 como sistema de control principal, junto con sensores fotorresistores para la detección automática de la intensidad luminosa, permitiendo una orientación autónoma del panel fotovoltaico.

De forma similar, la Universidad Privada de Tacna presentó el proyecto “Diseño e implementación de un sistema de seguimiento solar de un eje con control automático mediante microcontroladores ESP32”, donde se aplicaron sensores de irradiancia y motores DC controlados por señales PWM. El sistema fue diseñado con conectividad Wi-Fi para que tenga un monitoreo remoto, demostrando así la gran importancia de usar un ESP32 como una plataforma de automatización y gestión de datos en la vida real (Armas y Cotrado, 2022). No obstante, la propuesta desarrollada en el presente proyecto se diferencia en el tipo de actuadores empleados y en el enfoque de control del sistema. Mientras el estudio citado utiliza motores DC para el movimiento del panel, la presente investigación implementa servomotores, los cuales permiten un posicionamiento angular más preciso y un control más directo del movimiento. Además, el proyecto actual se orienta principalmente a la optimización del seguimiento solar mediante control automatizado del ángulo de inclinación del panel, priorizando la estabilidad mecánica y la eficiencia energética del sistema.

2.3. TRABAJOS RELACIONADOS

En Asia, específicamente en Vietnam, se realizó un proyecto titulado “Grid-Connected Photovoltaic Systems with Single-Axis Sun Tracked: Case Study for Central Vietnam” en el que se diseñó un dispositivo de un seguidor solar de un eje aun sistema fotovoltaico de 250 W, integrando en el sistema un actuador

lineal y un controlador para evaluar el aumento de captación energético en tiempo real. Los resultados llevaron a una conclusión de que el sistema de seguimiento logró incrementar la generación eléctrica a un 30,4% en días soleados con respecto a un sistema fijo, este trabajo evidencia como la combinación de la automatización de control y el monitoreo pueden mejorar la eficiencia y sirve como referente para proyectos de seguidores solares en pequeños sistemas fotovoltaicos (Cuong, 2020).

En la ciudad de Aguascalientes, México se desarrolló el proyecto titulado "Development and Testing of a Single-Axis Photovoltaic Sun Tracked through the Internet of Things", en el que se diseñó y se realizó un seguidor solar de un eje conectado a un sistema IoT para poder monitorear el rendimiento del panel, donde el estudio tuvo resultados donde hubo una mejora significativa en la captación solar a mantener el módulo viendo a la dirección del sol, donde la integración de sensores, actuadores y conectividad aporta mucho valor técnico al seguidor solar (Gutierrez et al., 2020).

En la provincia de Cotopaxi, la Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC) desarrolló el proyecto titulado "Diseño estructural para seguidor solar de un eje en una estación fotovoltaica de 1KW", donde tuvo como objetivo el diseño mecánico y la evaluación de un seguidor solar de un eje para el mejoramiento de la eficiencia del sistema fotovoltaico de pequeña escala, donde el estudio dio un análisis de esfuerzos, torsión y factores de seguridad de los componentes principales, considerando la radiación solar, también se propuso un sistema de control automático que permite mover automáticamente el panel, con base a estudios y cálculos astronómicos de posición solar diaria. Los resultados permitieron un incremento del rendimiento energético entre un 12 y 20% con respecto a sistemas fijos (Caisatoa y Condor, 2022).

En la provincia de Manabí, en la ciudad de Manta, se desarrolló el proyecto titulado "Análisis comparativo técnico-económico entre paneles solares estáticos y paneles con sistema de seguimiento de dos ejes instalados en la ciudad de Manta", se realizó este trabajo en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí

(ULEAM) como trabajo de titulación en la facultad de ingeniería eléctrica, este estudio hizo el montaje, diseño y la evaluación de un seguidor de dos ejes y uno fijo, donde se realizaron ensayos experimentales y análisis económicos que permitieron verificar las ganancias en producción eléctrica. Los autores reportaron incrementos relevantes al usar un seguidor solar de dos ejes y discutieron las implicaciones del costo, consumos de los actuadores y el mantenimiento (Reyes y Salvador, 2021).

CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA PROPUESTA

El presente proyecto se basó en el diseño y construcción de un prototipo funcional de un seguidor solar de un eje, considerando las etapas necesarias para la correcta implementación. El diseño metodológico ayudó para la organización del análisis del sistema, la selección de componentes y el diseño del conjunto mecánico, eléctrico y de control.

Durante el desarrollo se realizaron cálculos y análisis técnicos que sirvieron como base para la selección de materiales, tales como los sensores y el microcontrolador ESP32, garantizando así que los elementos cumplan con su respectivo funcionamiento en el sistema.

3.1. DESARROLLO

En esta sección se describió la implementación de la propuesta planteada para la solución de la problemática, donde se enfocó en el diseño y construcción de un prototipo de seguidor solar de un eje, donde se detalla el proceso de ejecución en los objetivos específicos, considerando las etapas necesarias para el desarrollo del sistema, desde el análisis inicial, la construcción y puesto en función el prototipo.

Asimismo, se presenta la metodología planteada para la ejecución del prototipo, las fases principales de desarrollo, la selección de los componentes mecánicos, eléctricos, electrónicos y los recursos utilizados para garantizar un funcionamiento seguro. Los resultados obtenidos realizados a partir de las pruebas se presentan en la siguiente sección, permitiendo así validar el cumplimiento de los objetivos específicos planteados.

3.1.1. Descripción de la propuesta

Descripción 1: Actividades realizadas para el cumplimiento de la propuesta del Objetivo Específico 1.

El primer paso para el desarrollo de un prototipo estable consistió en el análisis de la radiación solar en el cantón El Carmen, ubicados en la provincia de Manabí, con la finalidad de determinar la viabilidad del uso de un sistema fotovoltaico con seguimiento solar. Para este análisis se considera los estudios y mapas de radiación solar a nivel provincial y nacional, los cuales indican la zona más favorecida, permitiendo así un aprovechamiento adecuado de la energía solar.

A partir de la información establecida, se determinó que el cantón El Carmen se encuentra en una región con condiciones solares adecuada para la implementación del sistema fotovoltaico. Estos niveles de radiación justifican técnicamente el diseño e implementación del seguidor solar de un eje, que, a comparación de un sistema fijo, sirven como base para las siguientes etapas de la construcción del prototipo.

Descripción 2: Actividades realizadas para el cumplimiento de la propuesta del Objetivo Específico 2.

El segundo paso del desarrollo del proyecto consistió en el diseño del sistema del seguidor solar, considerando sus aspectos mecánicos, eléctricos y de control automático necesarios para su funcionamiento. En esta etapa se define la estructura del sistema, el mecanismo de movimiento y la disposición de los componentes, con el propósito de establecer la precisión en el desplazamiento, la estabilidad y un adecuado soporte para el panel fotovoltaico.

Asimismo, se realizó la selección de los componentes electrónicos y de control, añadiendo sensores de luminosidad y el microcontrolador ESP32, que se encarga de procesar la información y ejecutar el movimiento del sistema. Este diseño permitió integrar de manera eficiente los elementos del seguidor solar, estableciendo una base técnica sólida para la construcción y puesta en funcionamiento.

Descripción 3: Actividades realizadas para el cumplimiento de la propuesta del Objetivo Específico 3.

El tercer paso del proyecto correspondiente a la implementación y construcción del prototipo del seguidor solar de un eje, donde se integró los componentes

mecánicos, eléctricos y de control, donde en esa etapa se realizó ensamblaje de la estructura, la instalación del panel solar y los sensores fotorresistores, asegurando así una correcta disposición y funcionamiento de cada elemento del sistema solar.

Posteriormente, se llevaron pruebas para que el panel solar quede estable y los servomotores no sufran daño, donde los resultados obtenidos permitieron comprobar el desplazamiento automático y el correcto desempeño del sistema de control, validando el cumplimiento de los requerimientos establecidos y demostrando la viabilidad técnica del prototipo desarrollado

3.1.2. Etapas

Etapas 1: Actividades realizadas para cumplir el Objetivo Específico 1.

El primer paso para el desarrollo consistió en la realización del estudio de la radiación solar en el cantón El Carmen, provincia de Manabí, con la finalidad de evaluar el recurso solar para la implementación del sistema fotovoltaico. Para ello, se analizaron datos técnicos y mapas de radiación solar, los cuales permitieron ver condiciones favorables para el aprovechamiento de la energía solar en la zona de estudio.

Posteriormente, la información recopilada fue analizada con el fin de crear criterios técnicos que sirvieran como base para el diseño del seguidor solar de un eje. A partir de los datos obtenidos se pudieron definir los parámetros relacionados con la orientación del panel fotovoltaico y el rango de movimiento. Este análisis permite sustentar el desarrollo del proyecto y sirve como referencia para las siguientes etapas de diseño, selección de componentes y construcción del prototipo.

Etapas 2: Actividades realizadas para cumplir el Objetivo Específico 2.

Se desarrolló el diseño del sistema eléctrico y de control del seguidor solar, llegando a considerar la luminosidad necesaria para el funcionamiento del sistema. Para este propósito se emplearon módulos de fotorresistencia, los cuales se le integraron dos fotorresistores y dos resistencias de mil ohmios, conformando un divisor de voltaje, que, con la resistencia se puede sacar uno

que va a la señal del ESP32, permitiendo así una lectura estable de la luminosidad presente en el entorno. La utilización de estos módulos permite el fácil acondicionamiento de la señal, evitando fallas bruscas y mejorando la precisión del sistema.

Las fotorresistencias empleadas cuentan con dos terminales, añadiendo otra entrada entrando en la resistencia junto con el sensor, donde una va a la alimentación 3,3 V del ESP32, conexión a tierra (GND) y una salida de señal analógica. Esta forma de configurar permite que el ESP32 reciba la señal, reduciendo la complejidad del cableado y mejorando la organización del sistema eléctrico. La señal que se obtiene del divisor de voltaje, se ocupa para la entrada del sistema de control, permitiendo comparar la señal que mandan los dos sensores y generar acciones necesarias para el movimiento del servomotor, de esa manera, se asegura una detección del movimiento dependiendo donde se ubica el sol, formando así que no falle al momento de armar el prototipo.

Etapas 3: Actividades realizadas para cumplir el Objetivo Específico 3.

Finalmente, se procedió a la implementación del prototipo de un seguidor solar de un eje, integrando los componentes mecánicos, eléctricos y de control previamente definidos, donde se realizó el montaje de la estructura, la instalación del panel fotovoltaico, los dos servomotores MG996R y los módulos de las fotorresistencias, de esa forma asegurando una correcta disposición. Asimismo, se añadió la conexión eléctrica del sistema, considerando que sean adecuados la alimentación, ya sea del ESP32, los servomotores y la correcta comunicación entre los sensores y el microcontrolador a través del código aplicado en el programa Arduino IDE, garantizando de esa forma la integridad y seguridad del prototipo durante su funcionamiento.

Posteriormente el prototipo fue llevado a pruebas su funcionamiento con la finalidad de evaluar su desempeño, donde durante estas pruebas se revisó a fondo la correcta lectura de los sensores de luminosidad o fotorresistores, la respuesta del sistema de control y el movimiento automático del panel fotovoltaico ante las distintas condiciones de la radiación solar, donde los resultados obtenidos permitieron comprobar la funcionalidad, y la estabilidad del

prototipo, validando el cumplimiento de los requerimientos establecidos y demostrando la viabilidad técnica del seguidor solar desarrollado.

3.1.3. Presupuesto

Para el desarrollo de la propuesta, fue importante la revisión de los materiales invertidos, donde el presupuesto ejecutado contempla los materiales que fueron adquiridos para la construcción del prototipo de un seguidor solar.

Tabla 1.
Presupuesto establecido

No	Materiales	precio
1	ESP32	\$15,00
2	2 servomotores	\$18,00
3	Panel solar 40W	\$28,00
4	Medio Plywood	\$8,00
5	Angulo de aluminio	\$6,00
6	100 tornillos	\$2,00
7	Batería	\$15,00
8	2 resistencias 1K	\$0,50
9	2 fotorresistores	\$1,00
10	2 Protoboard	\$10,00
11	Cable para protoboard	\$3,00
12	10m Cable 14 AWG	\$7,00
13	Plywood 12mm	\$5,00

Total:

\$118,50

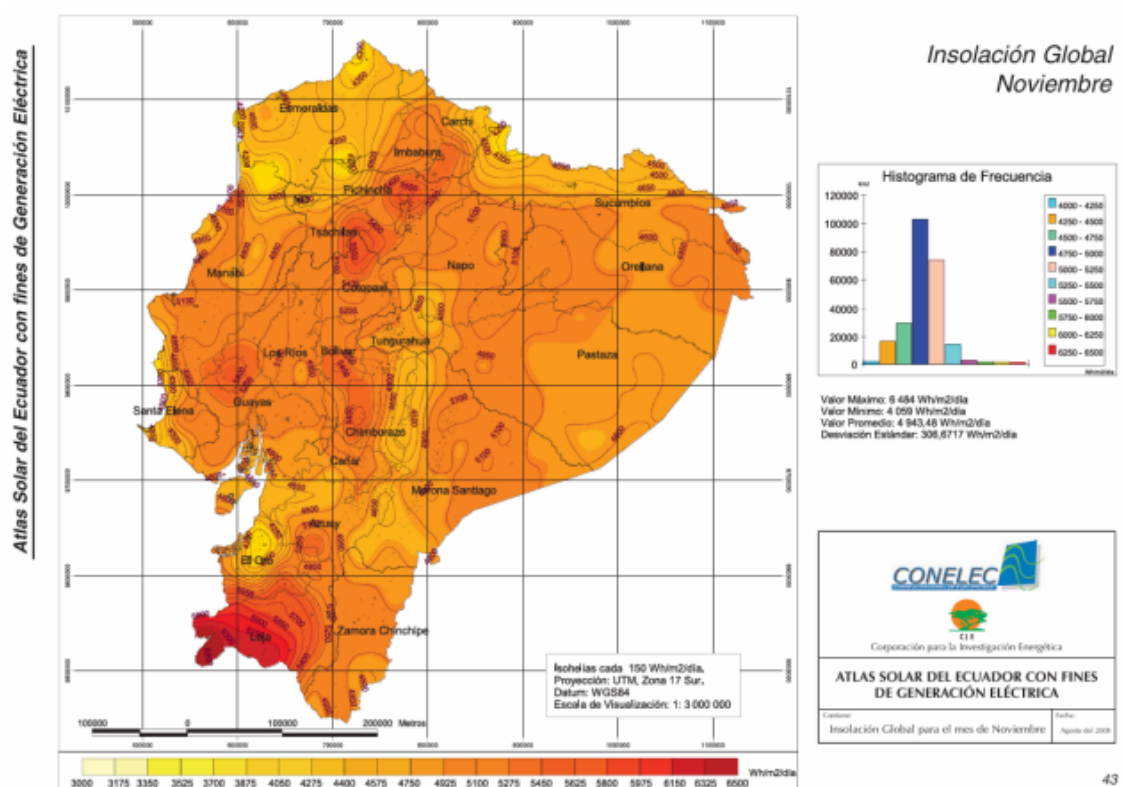
3.2. RESULTADOS

Objetivo 1: Logros obtenidos en el objetivo 1

Para la validación del primer objetivo específico se revisa la comprobación del estudio previo relacionado con la radiación solar y las condiciones del entorno del cantón El Carmen, donde se percata una variación estacional en la radiación solar a lo largo del año, influenciada por las condiciones climáticas propias de la región costa. De acuerdo con el análisis realizado, el mes con mayor nivel de radiación fue noviembre con $4.8 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$, donde fue la fecha con más cielos despejados y una menor presencia de precipitaciones, esto permite una mejor incidencia de radiación solar directa, lo que permite un mejor aprovechamiento energético.

Ilustración 1.

Nivel de insolación en noviembre



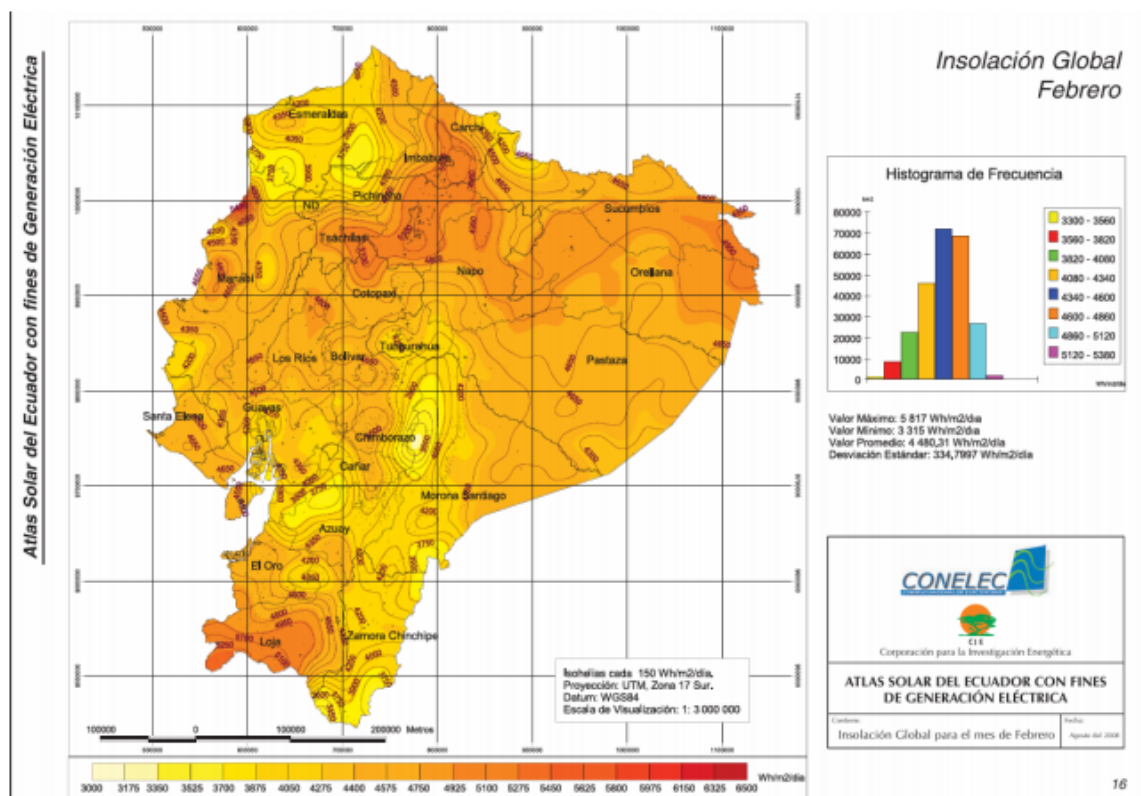
43

Fuente obtenida de: (CONALEC, 2008)

En contraste, el nivel más bajo de radiación solar se presenta principalmente durante el mes de enero con $3,9 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$, donde se debe a que coincide con el mes de época de lluvias, que durante ese periodo, el aumento de la nubosidad y la humedad reduce la cantidad de radiación solar, afectando temporalmente el rendimiento de los sistemas de captación solar, no obstante, a pesar de las variaciones, el cantón El Carmen mantiene un potencial solar adecuado durante todo el año, lo que justifica la implementación de un seguidor solar de un eje como alternativa para optimizar la captación solar.

Ilustración 2.

Nivel de insolación en enero



Fuente obtenida de: (CONALEC, 2008)

Con el fin de complementar el análisis de la radiación solar en el cantón El Carmen, se realizó una estimación de los valores promedio expresados en kWh/m^2 , lo que permite visualizar de manera cuantitativa la variación de la

energía solar, donde resulta importante para identificar los meses con mayor y menor potencial energético.

Tabla 2.
Meses con mayor y menos potencial energético

No	Mes	kWh/m₂
1	Enero	4.0
2	Febrero	3.9
3	Marzo	4.75
4	Abril	4.35
5	Mayo	4.2
6	Junio	3.75
7	Julio	4.2
8	Agosto	4.35
9	Septiembre	4.65
10	Octubre	4.5
11	Noviembre	4.8
12	Diciembre	4.35

Objetivo 2: Logros obtenidos en el objetivo 2

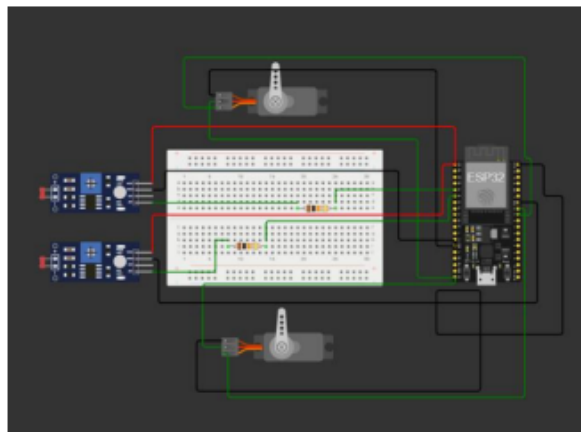
Para la validación del segundo objetivo específico se realizó la verificación del sistema mecánico, eléctrico y de control del seguidor solar, evaluando la correcta selección e implementación de cada componente utilizado en el desarrollo del proyecto, donde en esa etapa se comprobó que el microcontrolador ESP32, los

servomotores MG996R y los módulos de fotorresistencia cumplan con el requerimiento técnico necesario para así garantizar el funcionamiento adecuado del seguidor solar, considerando aspectos como compatibilidad y niveles de alimentación.

Posteriormente, se realizaron pruebas preliminares mediante simulación empleada en la plataforma Wokwi, lo que le permitió analizar el comportamiento del sistema antes de su implementación física, donde se verificó la correcta adquisición de las señales de luminosidad, el procesamiento de la información del ESP32 y la respuesta de los servomotores antes los cambios en la intensidad de la radiación solar. Los resultados obtenidos permitieron validar que el diseño propuesto responda de manera que las condiciones planteadas aseguren que el diseño teórico y el funcionamiento práctico sean coherentes. De esta forma, se confirma el cumplimiento del segundo objetivo específico, consolidando el diseño del sistema como una solución técnica viable.

Ilustración 3.

Diseño eléctrico del seguidor solar



Para el sistema de seguimiento solar se utilizó una batería de plomo-ácido sellada de 12 V y 2.5Ah, comúnmente empleada en motocicletas y aplicaciones electrónicas, donde la batería fue seleccionada por su disponibilidad, bajo costo y fácil de recargar, siendo adecuado para el funcionamiento de prototipo, donde

la energía total almacenada en la batería se calculó mediante la siguiente expresión:

$$E_{bat} = V_{bat} * C_{bat} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$E_{bat} = 12 * 2.5 = 30Wh \quad \text{Ecuación 2}$$

Obteniendo un valor de 30 Wh, sabiendo ese valor, se podrá alimentar el microcontrolador ESP32 y los servomotores del sistema.

El consumo eléctrico del sistema se determinó de la siguiente expresión:

$$P = V * I \quad \text{Ecuación 3}$$

Tabla 3.
Corriente de los componentes

No	Componente	Corriente aproximada
1	ESP32	0.08 A
2	2 servomotores	2 A
	Total	2.08 A

$$P = 12 * 2.08 = 24.96W \text{ o } 25W \quad \text{Ecuación 4}$$

Además, se realiza la dimensión teórica de la capacidad de batería requerida para una aplicación fotovoltaica real mediante la expresión:

$$C_{bat} = \frac{E_{carga} * N}{V_{bat} * DOD * \eta} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$\begin{aligned} C_{bat} &= \frac{100 * 1}{12 * 0.5 * 0.85} \\ &= 19.6 Ah \text{ o } 20Ah \end{aligned} \quad \text{Ecuación 6}$$

Demostrando que, para la aplicación en tiempo real, se requiere una mejor batería, mientras que la batería utilizada en este proyecto es adecuada para fines experimentales y de validación del sistema.

Objetivo 3: Logros obtenidos en el objetivo 3

Para la validación del tercer objetivo específico se realizó la implementación del prototipo puesto en funcionamiento, integrando de manera conjunta los componentes mecánicos, eléctricos y de control previamente definidos en el desarrollo del proyecto, donde se verificó la correcta disposición y fijación de la estructura del sistema, la adecuada instalación del panel fotovoltaico y la correcta conexión de los servomotores.

Adicionalmente, se realizaron pruebas para verificar que no exista algún fallo al momento de evaluar el comportamiento del sistema de seguimiento solar, donde durante las pruebas se comprobó la correcta lectura de las señales provenientes de los sensores, donde al momento de recibir la información el ESP32, manda la señal a los servomotores haciendo que reaccionen y vayan, ya sea al oeste o este. Los resultados obtenidos permitieron verificar la continuidad operativa del sistema y su capacidad de adaptación a las condiciones del entorno.

Finalmente, los ensayos realizados permitieron evidenciar que el prototipo cumple con los requerimientos técnicos y funcionales, donde el correcto desempeño durante las pruebas se confirmó el tercer objetivo específico y demostrando que el seguidor solar de un eje desarrollado es una solución funcional y aplicable en un entorno real.

Ilustración 4.

Trabajo realizado del seguidor solar



CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

El análisis de las condiciones solares en el cantón El Carmen logro establecer de manera clara y fundamental los parámetros ambientales necesarios para el desarrollo de un seguidor solar requerido para el cantón. La recopilación e información encontradas en páginas web, tales como la radiación solar y las características del entorno, facilitó la definición de la orientación óptima y el rango calculado para el movimiento del panel fotovoltaico a lo largo del día. Estos datos fueron útiles para garantizar el diseño solar de un eje para que se adapte a las condiciones reales de operación, proporcionando que sea confiable y que cumpla con el propósito planteado.

El diseño del sistema mecánico, eléctrico y de control automático se realizó considerando ciertos criterios técnicos orientados a la estabilidad y la confiabilidad del seguidor solar, La selección adecuada de los componentes mecánicos y electrónicos, junto con la implementación del ESP32 como unidad de control, permitió integrar sensores y actuadores de manera coordinada para así asegurar un seguimiento solar adecuado. Asimismo, el diseño contempló una alta resistencia estructural, tales como la ubicación de los servomotores, la distribución de carga y la precisión, consolidando una propuesta técnica coherente y funcional para así satisfacer los requerimientos establecidos por el sistema.

La implementación del prototipo permitió validar de manera práctica el funcionamiento del seguidor solar de un eje con control automático, donde durante las prácticas realizadas, el sistema demostró una respuesta adecuada ante las variaciones de luminosidad, ajustando la posición del panel fotovoltaico de forma automática y continua. Los resultados evidencian una mejora en la captación de energía solar a comparación de un sistema fijo, confirmando así que el prototipo cumple con los objetivos funcionales propuestos. Además, el correcto uso del seguidor solar demuestra lo viable que puede ser y usado para futuros proyectos académicos, experimentales o de optimización energética.

4.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda a los docentes y estudiantes de la carrera de Tecnología Superior en Electromecánica emplear el prototipo como un recurso didáctico o en prácticas de laboratorio, con la finalidad de fortalecer los conocimientos en automatización, control y el buen uso de la energía solar.

Se sugiere mantener el prototipo en buen estado dándole mantenimientos preventivos a los componentes mecánicos y eléctricos, especialmente a los sensores y conexiones, para así garantizar su correcto funcionamiento y prolongar la vida útil del seguidor solar.

Se recomienda a futuros trabajos la incorporación de mejoras tecnológicas, como sistemas de monitoreo fijo, registro de datos o el análisis comparativo del rendimiento de un seguidor solar con un sistema fotovoltaico fijo.

Se aconseja a instituciones o alguna empresa relacionada a proporcionar energía renovable, la implementación de este tipo de sistemas en proyectos de pequeña escala, para así garantizar un conocimiento sobre la captación de la energía solar y fomentar el uso eficiente de fuentes renovables.

BIBLIOGRAFÍA

- Armas, A., & Cotrado, J. (2022). *Diseño y implementación de un sistema seguidor solar para la optimización de la carga en un acumulador de energía, usando paneles solares*. Tacna: Universidad privada de Tacna.
- Bismarks J.L. (13 de Febrero de 2024). *ElectrónicaOnline*. ElectrónicaOnline: <https://electronicaonline.net/componentes-electronicos/microcontrolador/>
- Bueno, J., & Santos, L. (2022). *Implementación de un sistema fotovoltaico con seguimiento solar para optimización de cosecha energética en la ciudad de Guayaquil durante el ciclo escolar*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Caisatoa, C., & Condor, D. (2022). *Diseño estructural para seguidor solar de un eje en una estación fotovoltaica de 1 kw*. Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- CONALEC. (2008). *CONALEC*. CONALEC: <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00041.pdf>
- Consejo de Educación Superior. (2021). *Informe final de la carrera de Educación Inicial presentada por la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí*. Consejo de Educación Superior.
- Cuong, X. (2020). *Photovoltaic Systems with Single-Axis Sun Tracker: Case Study for Central Vietnam*. Da Nang: MDPI.
- endesa. (11 de noviembre de 2021). *endesa*. endesa: <https://www.endesa.com/es/la-cara-e/energias-renovables/energia-solar>
- estudyando. (13 de Julio de 2025). *estudyando*. estudiando: <https://estudyando.com/seguidores-solares-trackers-tipos-y-beneficios/>
- García, C. (2025). *Guía didáctica de investigación documental*. Universidad de Cadiz. <https://doi.org/Recuperado> de https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/36110/Gu%C3%ADa%20did%C3%A1ctica_Investigaci%C3%B3n%20documental_M%C3%A1ster%20IEDPD.pdf?isAllowed=y&sequence=1&utm_source=chatgpt.com
- Gayubas, A. (12 de septiembre de 2025). *concepto.de*. concepto.de: <https://concepto.de/tecnicas-de-investigacion/>
- Gutierrez, S., Acero, A., & Montoya, A. (2020). Development and Testing of a Single-Axis Photovoltaic Sun Tracker through the Internet of Things. *Energies*, 1-19.
- Herrera, M., & Franco, D. (2022). *Evaluación del rendimiento de paneles fotovoltaicos bajo las condiciones ambientales de Guayaquil*. Universidad Politécnica Salesiana.

- JLCPCB. (24 de Junio de 2025). *JLCPCB*. JLCPCB: <https://jlcpcb.com/es/blog/comprehensive-guide-to-the-esp32-microcontroller/>
- Lifeder. (7 de abril de 2022). *Lifeder*. Lifeder: <https://www.lifeder.com/metodo-cientifico-experimental/>
- Marketing Edcodisseny. (22 de Noviembre de 2023). *Edcodisseny*. Edcodisseny: <https://www.edcodisseny.com/esp32-potencial-y-aplicaciones-en-proyectos-electronicos-e-iot/>
- Noboa, M. (2021). *Sistema electrónico de control de un prototipo de seguidor solar fotovoltaico en la facultad de ingeniería, electrónica, e industrial*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Pacheco, M. (2020). *Diseño e implementación de un seguidor solar de un eje para la optimización de un sistema fotovoltaico de 100 W aplicando cálculos matemáticos y automatización industrial*. Riobamba: ESPOCH.
- Repsol. (15 de septiembre de 2023). *Repsol*. https://www.repsol.com/es/energia-avanzar/energia/seguidores-solares/index.cshtml?utm_campaign=rep-botoncompartirrepsolcom-all_2311_corpl&utm_medium=social&utm_source=copy
- Reyes, M., & Salvador, I. (2021). *Análisis comparativo técnico-económico entre paneles solares estáticos y paneles con sistema de seguimiento de dos ejes instalados en la ciudad de Manta*. Manta: Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.
- Salomão, A. (15 de Septiembre de 2023). *Mindthegraph*. Mindthegraph: <https://mindthegraph.com/blog/es/que-es-un-estudio-descriptivo/>
- Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. (2023). *Plan Estratégico de Desarrollo Institucional*. Manta: Ulearn. ulearn.
- Vivero, M. (2022). *Sistema fotovoltaico con seguimiento solar para el centro de cómputo del GADPR Tabiazo en Esmeralda*. Universidad Tecnológica Israel.

ANEXOS

Anexo 1:

```
#include <Servo.h>

Servo servoIzq;
Servo servoDer;

// Pines LDR
int ldrEstePin = 34;
int ldrOestePin = 35;

// Pines servos
int servoIzqPin = 18;
int servoDerPin = 19;

// Variables
int posicion = 90;
int tolerancia = 120;

void setup() {
    Serial.begin(115200);

    servoIzq.attach(servoIzqPin);
    servoDer.attach(servoDerPin);

    servoIzq.write(posicion);
    servoDer.write(180 - posicion);

    delay(1000);
    Serial.println("Seguidor solar 1 eje con 2 servos");
}

void loop() {
    int ldrEste = analogRead(ldrEstePin);
    int ldrOeste = analogRead(ldrOestePin);
    int error = ldrEste - ldrOeste;

    // Monitor para tesis
    Serial.print("Este: ");
    Serial.print(ldrEste);
    Serial.print(" | Oeste: ");
    Serial.print(ldrOeste);
    Serial.print(" | Error: ");
    Serial.print(error);
    Serial.print(" | Pos: ");
```

```
Serial.println(posicion);

if (abs(error) > tolerancia) {
  if (error > 0) {
    posicion++;
  } else {
    posicion--;
  }

  posicion = constrain(posicion, 0, 180);

  servoIzq.write(posicion);
  servoDer.write(180 - posicion);
}

delay(20);
}
```



SeguidorSolarUnEje

6%
Textos sospechosos

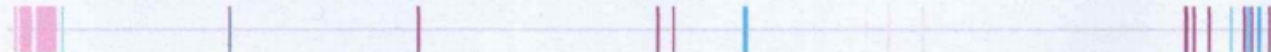
6% Similitudes
1% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
0% Idiomas no reconocidos
6% Textos potencialmente generados por IA (ignorado)

Nombre del documento: SeguidorSolarUnEje.docx
ID del documento: d7ab901eb99d0541482f9cd870a5480178b1e934
Tamaño del documento original: 1019,62 kB

Depositante: JONATHAN PAÚL JIMENEZ GONZALES
Fecha de depósito: 3/2/2026
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 3/2/2026

Número de palabras: 8105
Número de caracteres: 55.649

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	PRISCILA Y EMELY.docx EM-2025-1-42 b64bd Viene de de mi grupo 19 fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 3% (217 palabras)
2	Viene de de mi grupo 17 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (152 palabras)
3	repositorio.uleam.edu.ec https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/9179/1/ULEAM-ELECTIM-032.pdf 15 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (143 palabras)
4	repositorioacademico.upc.edu.pe https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/674823/Cazari_RA.pdf?seq... 15 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (49 palabras)
5	repositorio.uleam.edu.ec ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO-ECONÓMICO ENT... https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/3632	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (43 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	doi.org Diseño e implementación de un seguidor solar de un eje para la optimiz... https://doi.org/10.33262/cienciaigital.v4i3.1359	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (37 palabras)
2	repositorio.uleam.edu.ec https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/7542/1/ULEAM-ELECTIM-020.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (30 palabras)
3	dx.doi.org Implementación de un sistema de generación fotovoltaica con seguid... http://dx.doi.org/10.18779/ingenio.v7i2.773	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (36 palabras)
4	repositorio.uleam.edu.ec ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO-ECONÓMICO ENT... https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/3632	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)
5	repositorio.uta.edu.ec Sistema electrónico de control de un prototipo de segui... https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/33498	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (30 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- https://electronicaonline.net/componentes-electronicos/microcontrolador/
- https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00041.pdf
- https://www.endesa.com/es/la-cara-e/energias-renovables/energia-solar
- https://estudyando.com/seguidores-solares-trackers-tipos-y-beneficios/
- https://doi.org/Recuperado