



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MECANISMO DE SEGUIMIENTO SOLAR
UTILIZANDO UN PROTOTIPO DE BRAZO ROBÓTICO PARA UN SISTEMA
FOTOVOLTAICO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Electrónica

AUTORES: CHRISTOPHER XAVIER HERAS BRIONES
SEBASTIAN SEGUNDO GRANJA BURGOS
TUTOR: ING. RAFAEL FRANCO REINA, MSc.

Guayaquil – Ecuador

2024

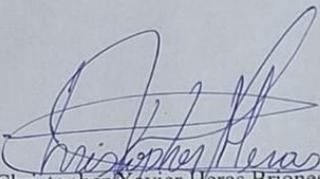
**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

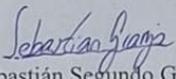
Nosotros, Christopher Xavier Heras Briones con documento de identificación N° 0951331727 y Sebastián Segundo Granja Burgos con documento de identificación N° 0931346159, manifestamos que:

Somos las autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación

Guayaquil, 19 de febrero del año 2025.

Atentamente,


Christopher Xavier Heras Briones
095133272-7


Sebastián Segundo Granja Burgos
093134615-9

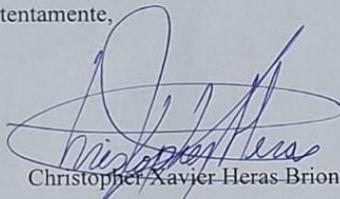
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

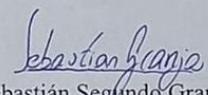
Nosotros, Christopher Xavier Heras Briones con documento de identificación N° 051331727 y Sebastián Segundo Granja Burgos con documento de identificación N° 0931346159, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autoras del Proyecto Técnico: "Diseño e implementación de un mecanismo de seguimiento solar utilizando un prototipo de brazo robótico para un sistema fotovoltaico", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Electrónica, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 19 de febrero del año 2025.

Atentamente,


Christopher Xavier Heras Briones
095133172-7

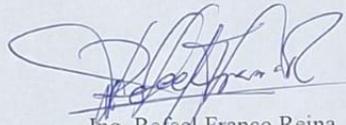

Sebastián Segundo Granja Burgos
093134615-9

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Rafael Franco Reina con documento de identificación N° 0923328629, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MECANISMO DE SEGUIMIENTO SOLAR UTILIZANDO UN PROTOTIPO DE BRAZO ROBOTICO PARA UN SISTEMA FOTOVOLTAICO, realizado por Christopher Xavier Heras Briones con documento de identificación N° 0951331727 y Sebastián Segundo Granja Burgos con documento de identificación N° 0931346159, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 19 de febrero del año 2025.

Atentamente,



Ing. Rafael Franco Reina, MSc.

C.I.: 0923328629

DEDICATORIA

Le dedico este trabajo a Dios, a mí familia y a mí mismo. Dedico esto en especial a mi padre, quién si no fuera por él, no estaría aquí. Y mi hermana quien no está aquí a mi lado, pero siempre está a mi conmigo para alentarme e inspirarme.

Christopher Xavier Heras B.

Le dedico este trabajo a Dios, a mis padres, a mis hermanos y a toda mi familia por ser la fuente de mi inspiración y por darme la fuerza, apoyo y sobre todo el amor incondicional para alcanzar cada una de mis metas que me he propuesto a lo largo de mi vida.

Sebastián Granja B.

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mi padre Isidro Faustino Heras Jara y a mi madre Jenny María Briones Gallegos, porque gracias a su ayuda y sacrificio he llegado a culminar mis estudios, a que nunca me falte nada, y a ser una mejor persona con sus enseñanzas del día al día. Me enseñaron que siempre se puede llegar a una solución, la paciencia y la perseverancia todo se logra. Que nunca estoy solo y que Dios siempre está a mi lado. Quiero dar gracias en especial a mi padre que, si no fuera porque me apoyo financieramente en la totalidad de mi carrera universitaria y en medio de transporte, yo no estaría en este punto de mi vida, papá te doy gracias y te amare siempre. quiero agradecer a mis hermanos Pablo Alberto Heras Briones y Robert Alexander Heras Briones quienes siempre me han escuchado, aconsejado y sobre todo reído conmigo. A mi hermana Andrea Carolina Heras Briones quien ha sido una fuerte de autosuperación, esfuerzo y ganas de sobresalir con positivismo y confianza en el mundo. Quiero agradecer a mis amigos Adrián Veliz, María Belén Aizaga y Arturo Reyes, quienes siempre apoyaron durante toda mi carrera universitaria.

Christopher Xavier Heras B.

Quiero agradecer a Dios, a toda mi familia y en especial a mis padres Segundo Granja y Carolina Burgos por creer en mí y darme siempre su apoyo y amor incondicional. Por inculcarme con buenos valores y a enseñarme que nunca hay que darse por vencido porque todo tiene una solución. A mis hermanos Nicolás Granja y Bárbara Granja por ser unos pilares en mi vida y ser la fuente de mi inspiración para darles el mejor ejemplo que un hermano mayor quisiera darles a sus hermanos. También a mis abuelos y a mis tíos que ya no me acompañan en vida, pero siempre en el corazón.

Sebastián Granja B.

RESUMEN

El presente trabajo de titulación se enfoca en el diseño e implementación de un mecanismo de seguimiento solar utilizando un prototipo de brazo robótico para un sistema fotovoltaico. El objetivo principal es proporcionar una mayor precisión y flexibilidad al momento de captar energía solar en comparación con los sistemas tradicionales fijos.

El sistema propuesto integra sensores de luz LDR para detectar la posición del sol, servomotores para el movimiento del brazo robótico, un módulo Arduino como unidad de control y un panel fotovoltaico para la captación de energía solar. Además, se implementará un algoritmo de control que ajustará la posición del panel en tiempo real, mejorando el rendimiento, comparándolo a un sistema de panel fijo.

Se implementará la creación y ensamblaje tanto de las piezas en 3D como de las conexiones para los servomotores, los sensores LDR e INA219 y la microSD, ya que con estos elementos se podrá obtener lectura y movimientos del prototipo e incluyendo el desarrollo de la cinemática directa para el movimiento de sus ejes .

Finalmente, el prototipo fue implementado en entornos reales, donde se evidenció la diferencia del desempeño del voltaje, la corriente y la potencia. Mostrando una mejora del 14.89% con respecto al voltaje, 77.8% de corriente y 85.71% de potencia del seguidor solar comparado con el panel fotovoltaico fijo.

Palabras claves: energía solar, panel fotovoltaico, brazo robótico, Arduino, sensores LDR.

ABSTRACT

This degree work focuses on the design and implementation of a solar tracking mechanism using a prototype robotic arm for a photovoltaic system. The main objective is to provide greater accuracy and flexibility when collecting solar energy compared to traditional fixed systems.

The proposed system integrates LDR light sensors to detect the position of the sun, servo motors for the movement of the robotic arm, an Arduino module as a control unit and a photovoltaic panel for solar energy collection. In addition, a control algorithm will be implemented that will adjust the position of the panel in real time, improving the performance compared to a fixed panel system.

The creation and assembly of the 3D parts and the connections for the servomotors, the LDR and INA219 sensors and the microSD will be implemented, since with these elements it will be possible to obtain readings and movements of the prototype, including the development of the direct kinematics for the movement of its axes.

Finally, the prototype was implemented in real environments, where the difference in voltage, current and power performance was evidenced. Showing an improvement of 14.89% with respect to voltage, 77.8% of current and 85.71% of power of the solar tracker compared to the fixed photovoltaic panel.

Keywords: solar energy, photovoltaic panel, robotic arm, Arduino, LDR sensors.

INDICE DE CONTENIDO

| | | |
|-------|---|----|
| I | INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II | PROBLEMA | 2 |
| III | OBJETIVOS..... | 3 |
| 3.1 | Objetivo general. | 3 |
| 3.2 | Objetivos específicos..... | 3 |
| IV | FUNDAMENTOS TEORICOS | 4 |
| 4.1 | Robótica..... | 4 |
| 4.1.1 | Tipos de robots | 5 |
| 4.2 | Energías renovables..... | 8 |
| 4.2.1 | Energía solar | 9 |
| 4.2.2 | Energía solar fotovoltaica..... | 10 |
| 4.2.3 | Energía solar térmica. | 10 |
| 4.2.4 | Energía solar pasiva | 11 |
| 4.2.5 | Energía solar hibrida. | 12 |
| 4.3 | Propiedades de la radiación solar | 12 |
| 4.3.1 | Radiación solar en guayaquil (Ecuador). | 12 |
| 4.1 | Seguidor solar | 13 |
| 4.2 | Panel solar..... | 16 |
| 4.2.1 | Panel solar de 4.2W y 18V..... | 17 |
| 4.3 | Arduino | 18 |
| 4.3.1 | Tipo de programación y entorno de desarrollo..... | 18 |
| 4.3.2 | Arduino Uno..... | 19 |
| 4.4 | Sensores | 19 |
| 4.4.1 | Sensor LDR. | 19 |
| 4.4.2 | Sensor INA219. | 20 |
| 4.5 | Servomotores | 21 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.5.1 | Servomotor MG996R..... | 21 |
| 4.5.2 | Servomotor MG995 | 22 |
| 4.6 | Cinemática | 23 |
| 4.6.1 | cinemática directa | 23 |
| 4.6.2 | Cinemática indirecta | 23 |
| V | MARCO METODOLÓGICO. | 24 |
| 5.1 | Análisis de identificación y selección de componentes..... | 24 |
| 5.2 | Análisis de la cinemática y grados de libertad del prototipo | 25 |
| 5.2.1 | Grados de libertad..... | 26 |
| 5.2.2 | Análisis de la cinemática directa | 26 |
| 5.3 | Diseño y ensamblaje del prototipo del brazo robótico. | 29 |
| 5.3.1 | Parte uno..... | 29 |
| 5.3.2 | Parte dos. | 30 |
| 5.3.3 | Parte tres. | 32 |
| 5.3.4 | Parte cuatro..... | 33 |
| 5.3.5 | Parte cinco. | 34 |
| 5.3.6 | Parte seis..... | 34 |
| 5.3.7 | Parte siete. | 36 |
| 5.4 | Diseño y ensamblaje del seguidor solar. | 37 |
| 5.4.1 | Integración de los servomotores a la placa sensor shield..... | 38 |
| 5.4.2 | Integración de los sensores fotovoltaicos al panel solar. | 39 |
| 5.4.3 | integración de los sensores fotovoltaicos a la placa sensor shield..... | 40 |
| 5.4.4 | Integración y comunicación del panel solar al sensor INA219. | 41 |
| 5.4.5 | Integración de microSD. | 42 |
| 5.5 | Programación del prototipo: implementación del algoritmo del control. | 44 |
| 5.5.1 | Código Arduino del panel solar fijo..... | 44 |
| 5.5.2 | Código Arduino del seguidor solar con el prototipo del brazo robótico.. | 46 |

| | | |
|------|--------------------------------|----|
| VI | RESULTADO | 49 |
| 6.1 | Resultados base fija | 49 |
| 6.2 | Resultado seguidor solar | 51 |
| VII | CRONOGRAMA..... | 53 |
| VIII | PRESUPUESTO | 54 |
| IX | CONCLUSIONES | 55 |
| X | RECOMENDACIONES | 56 |
| XI | Bibliografía..... | 57 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|------------------------|----|
| <i>Figura 1</i> | 5 |
| <i>Figura 2</i> | 6 |
| <i>Figura 3</i> | 6 |
| <i>Figura 4</i> | 7 |
| <i>Figura 5</i> | 7 |
| <i>Figura 6</i> | 8 |
| <i>Figura 7</i> | 9 |
| <i>Figura 8</i> | 10 |
| <i>Figura 9</i> | 11 |
| <i>Figura 10</i> | 11 |
| <i>Figura 11</i> | 12 |
| <i>Figura 12</i> | 13 |
| <i>Figura 13</i> | 14 |
| <i>Figura 14</i> | 15 |
| <i>Figura 15</i> | 16 |
| <i>Figura 16</i> | 17 |
| <i>Figura 17</i> | 19 |
| <i>Figura 18</i> | 20 |
| <i>Figura 19</i> | 20 |
| <i>Figura 20</i> | 21 |
| <i>Figura 21</i> | 22 |
| <i>Figura 22</i> | 24 |
| <i>Figura 23</i> | 26 |
| <i>Figura 24</i> | 27 |
| <i>Figura 25</i> | 28 |
| <i>Figura 26</i> | 28 |
| <i>Figura 27</i> | 28 |
| <i>Figura 28</i> | 29 |
| <i>Figura 29</i> | 29 |
| <i>Figura 30</i> | 30 |
| <i>Figura 31</i> | 30 |
| <i>Figura 32</i> | 31 |
| <i>Figura 33</i> | 31 |
| <i>Figura 34</i> | 32 |
| <i>Figura 35</i> | 32 |
| <i>Figura 36</i> | 33 |
| <i>Figura 37</i> | 33 |
| <i>Figura 38</i> | 34 |
| <i>Figura 39</i> | 35 |

| | |
|------------------------|----|
| <i>Figura 40</i> | 35 |
| <i>Figura 41</i> | 36 |
| <i>Figura 42</i> | 36 |
| <i>Figura 43</i> | 37 |
| <i>Figura 44</i> | 38 |
| <i>Figura 45</i> | 39 |
| <i>Figura 46</i> | 40 |
| <i>Figura 47</i> | 41 |
| <i>Figura 48</i> | 42 |
| <i>Figura 49</i> | 43 |
| <i>Figura 50</i> | 44 |
| <i>Figura 51</i> | 45 |
| <i>Figura 52</i> | 46 |
| <i>Figura 53</i> | 47 |
| <i>Figura 54</i> | 48 |
| <i>Figura 55</i> | 50 |
| <i>Figura 56</i> | 52 |
| <i>Figura 57</i> | 53 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|----------------------|----|
| <i>Tabla 1</i> | 17 |
| <i>Tabla 2</i> | 18 |
| <i>Tabla 3</i> | 21 |
| <i>Tabla 4</i> | 22 |
| <i>Tabla 5</i> | 25 |
| <i>Tabla 6</i> | 27 |
| <i>Tabla 7</i> | 49 |
| <i>Tabla 8</i> | 51 |
| <i>Tabla 9</i> | 54 |

I INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la demanda global de energías renovables ha impulsado el desarrollo de tecnologías óptimas para la captación de energía solar. Sin embargo, uno de los principales desafíos de los sistemas fotovoltaicos radica en la variabilidad de la radiación solar a lo largo del día, lo que afecta directamente su producción energética. Para mitigar este problema, se han implementado mecanismos de seguimiento solar, los cuales permiten que los paneles solares se orienten dinámicamente hacia la posición óptima del Sol, maximizando así la captación de energía.

En este contexto, el presente trabajo de titulación se centra en el diseño e implementación de un mecanismo de seguimiento solar utilizando un prototipo de brazo robótico, con el propósito de optimizar el aprovechamiento de la energía solar. A diferencia de los sistemas de seguimiento convencionales, que emplean estructuras mecánicas de uno o dos ejes, la integración de un brazo robótico aporta una mayor flexibilidad y precisión en el seguimiento del Sol, lo que puede traducirse en un aumento en la generación de energía.

El desarrollo de este sistema involucra la implementación de sensores de luz (LDRs) para la detección de la posición solar, servomotores para el movimiento del prototipo de brazo robótico, un módulo Arduino como unidad de control y un panel solar encargado de la captación de energía. Además, se desarrollará un algoritmo de control que permitirá ajustar la posición del panel en tiempo real con base en las mediciones obtenidas por los sensores.

Este prototipo busca evaluar la producción del sistema propuesto mediante la comparación del rendimiento energético entre un panel solar con seguimiento robótico y un panel solar fijo. Se espera demostrar que la implementación de un mecanismo de seguimiento basado en un brazo robótico no solo mejora la captación de energía, sino que también puede servir como una herramienta didáctica en el campo de la automatización y la robótica, poniéndolo en práctica en estas áreas.

Finalmente, se representa una contribución diferente dentro del campo de la automatización aplicada a las energías renovables, destacando su potencial para futuras aplicaciones en el sector energético y su impacto en la formación académica en ingeniería y tecnología.

II PROBLEMA

Hoy en día, la energía solar se destaca como una fuente inagotable, limpia y renovable que puede ser captada mediante paneles solares, transformando la radiación solar en electricidad. Esto contribuye a la reducción del uso de combustibles fósiles como el gas natural y el petróleo, principales responsables del cambio climático (National Geographic, 2022). En América Latina Brasil lidera la producción de energía solar, aportando el 40% de la capacidad instalada en la región. México ocupa el segundo lugar con un 28%, seguido por Chile con un 16%. Argentina está en el cuarto lugar con un 4%, y Honduras cierra el top cinco con un 3% de la capacidad instalada (The Climate Reality Project, 2022). Mientras en Ecuador, la alta dependencia de fuentes de energía no renovables impacta negativamente el medio ambiente y a la economía. Sin embargo, Ecuador posee un alto nivel de radiación solar durante todo el año, lo que representa un gran potencial para la captación de energía solar (IngenioWeb, 2024).

La inclinación óptima de los paneles está determinada por la latitud. En el caso de Ecuador, se recomienda una inclinación entre 0° y 5° . Sin embargo, una inclinación de cero grados no es práctica debido a la acumulación de suciedad, por lo que se requiere un mínimo de 5° en zonas ecuatoriales. Además de la inclinación, la orientación hacia el Sur es crucial para una mejor captación solar. Un sistema fotovoltaico ideal debería ajustar su inclinación y orientación a lo largo del día y del año para mantener los paneles siempre perpendiculares a la radiación solar incidente (Cordero, 2024).

En el Ecuador a pesar del crecimiento de empresas de paneles solares, la mayoría de los sistemas que hay en el mercado ofrecen sistemas de seguimiento solar fijos o de eje simple, los cuales, aunque sean efectivos, no exploran todo el potencial que ofrece la robótica en este campo, provocando que el rendimiento de los paneles solares se aproxima entre un 19% y 21% según la mayoría de los fabricantes e instaladores, pero no es el mismo en todos los casos ya que puede variar por diferentes factores: como su orientación, que es una de las principales de esta. (Francovich, 2024) (García, 2023).

En el ámbito académico, al explorar el repositorio de la Universidad Politécnica Salesiana, se pueden encontrar tesis y trabajos de titulación que abordan sistemas de seguimiento solar fijos. Sin embargo, no se ha identificado ningún proyecto que implemente un sistema de seguimiento solar utilizando un prototipo de brazo robótico para la captación de energía solar.

III OBJETIVOS

3.1 Objetivo general.

Diseñar e implementar un mecanismo de seguimiento solar utilizando un prototipo de brazo robótico para un sistema fotovoltaico.

3.2 Objetivos específicos.

- Desarrollar un mecanismo de seguimiento solar en un prototipo de brazo robótico.
- Desarrollar un algoritmo de control del brazo robótico para el seguimiento solar.
- Evaluar el mecanismo de seguimiento solar con un mecanismo fijo para sistema fotovoltaico.

IV FUNDAMENTOS TEORICOS

En este capítulo se examinará los elementos y conceptos esenciales para llevar a cabo con éxito la implementación del prototipo del brazo robótico conectado a un panel solar para recolectar energía solar. Se profundizará en los factores que inciden en la correcta captación de energía solar, teorías de un sistema fotovoltaico y de sus componentes claves.

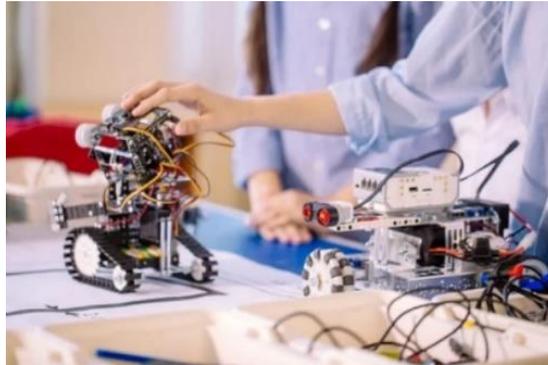
4.1 Robótica

Se define la robótica como ciencia que combina varios estudios o ramas de la tecnología, cuales buscan mejorar y evolucionar las maquinas al mejorar su código o ensamblaje. La palabra robótica proviene etimológicamente de la palabra checa robot que significa “trabajo forzado”, esta palabra se usó por primera vez, hace 100 años en una obra teatral del autor, Karel Capek, cual se estrenaba en 1921. Pero no fue que hasta la revolución Industrial y los avances tecnológicos impulsaron lo que hoy se conoce como robótica (ferrovial, 2021).

No fue hasta 1954 en EE. UU, que desarrolla e implementa lo que es considerado el primer robot industrial. Un brazo hidráulico llamado “Unimate”, cual fue usado para tareas que requerían un sobre esfuerzo como las cargas pesadas que vendieron a General Motors (robotnik, 2021). La creación de los brazos robóticos fue todo un éxito tanto así que gracias a su demanda fueron evolucionando con avances tecnológicos como la incorporación de cámaras y sensores. Tanto fue el éxito que 1966 por el Instituto de investigación de Stanford se creó “Sharkey”, el primer robot móvil del mundo, el cual podía percibir y comprender el mundo de forma limitada pero innovadora en su tiempo, gracias a su software y hardware, desde ese entonces los robots móviles han sido fuente de trabajo y estudio como se puede apreciar en la figura 1 (robotnik, 2021). Hoy en día la robótica se usa para muchos medios, desde trabajos simples como celulares o aparatos de limpieza automáticos a trabajos que requieren sobre esfuerzos o precisión y exactitud.

Figura 1

Prototipo robótico, diseño e implantación de un robot sensorial y móvil.



Nota. Se puede ver un proyecto de robot móvil con sensores (EDSrobotics, 2021).

4.1.1 Tipos de robots

En la actualidad, los robots desempeñan un papel fundamental en la automatización de procesos industriales, aumentando la eficiencia, la precisión y la seguridad en diversas aplicaciones. Existen diferentes tipos de robots diseñados para tareas específicas, cada uno con características y configuraciones que los hacen ideales para determinados entornos y funciones. Este apartado explora los principales tipos de robots utilizados en la industria y sectores, detallando sus características, aplicaciones y ventajas.

4.1.1.1 Robot Scada

Un robot SCARA, figura 2, es el acrónimo en inglés para “Selective Compliant Assembly o Articulated Robot Arm”, cual su traducción significa “Brazo de Robot de Montaje Selectivamente Adaptable”. Este tipo de robot de tamaño se caracteriza por realizar trabajos repetitivos y a grandes velocidades con mucha precisión. Por lo general tienen 4 grados de libertad, teniendo movimientos rotacionales en los ejes X e Y, y ser rígido en el eje Z (Robots, 2023).

Figura 2

Imagen de un modelo de robot Scada.



Nota. Imagen de un robot Scada haciendo su trabajo (Robots, 2023).

4.1.1.2 Robot Delta

Los robots delta son un tipo de robot industrial, cuales se usan principalmente para las tareas de pick and place. Se los apoda como robots araña o paralelos, figura 3, debido a como están ensamblados. Estos robots están diseñados para tareas de poca carga útil, por lo general se los usa para ensamblajes, encajados pick and place. Principalmente se utilizan en la industria alimentaria, electrónica o incluso en farmacéuticos (Peña m. , 2021).

Figura 3

Robot delta.



Nota. Se observa dos robots deltas haciendo un trabajo en la línea de ensamble (Peña m. , 2021).

4.1.1.3 Robot Cartesiano

Un robot cartesiano es un tipo de robot industrial que se desplaza a lo largo de los tres ejes principales de un sistema de coordenadas cartesianas: X,Y y Z, figura 4. Este diseño les permite realizar movimientos lineales precisos en trayectorias rectas, lo que lo hace ideal para tareas que requieren repetición y exactitud, como ensamblaje, soldadura y manipulación de materiales. (elecproy, 2024).

Lo mejor de estos robots son la alta precisión y repetibilidad. Estos pueden moverse con una precisión de hasta 0.1 mm, para lo cual los convierten la opción ideal para tareas de alta precisión (Muñoz, 2023).

Figura 4

Robot cartesiano.



Nota. Robot cartesiano realizando un desplazamiento en sus ejes (Muñoz, 2023).

4.1.1.4 Robot Cobot

El robot cobot, figura 5, es un tipo de robot diseñado para trabajar de manera segura y conjunta con humanos en entornos compartidos. A diferencia de los robots industriales tradicionales, que suelen operar de manera aislada y requieren barreras de seguridad, los cobots están equipados con sensores avanzados y tecnología que les permiten interactuar directamente con las personas, garantizando la seguridad y eficiencia en tareas compartidas (Universal Robots, 2025).

Una de las ventajas que tiene este robot, es que tienen un diseño ligero y compacto, figura 5, con varios ejes y una gran flexibilidad (cobots, 2021).

Figura 5

Robot cobots.



Nota. Robot cobot con sus diferentes ejes (omron, 2022).

4.1.1.5 Robot Antropomórfico.

Los robots antropomórficos son máquinas diseñadas para imitar la forma y, en algunos casos, el comportamiento humano, figura 6. Este diseño facilita la interacción entre humanos y robots, ya que una apariencia y movimientos similares a los humanos, pueden generar mayor empatía y comprensión. Además, al tener una estructura semejante a la humana, estos robots pueden desenvolverse eficientemente en entornos diseñados para personas, realizando tareas que requieren movimientos y destreza humana (Quiti Kites, 2023).

Dentro de uno de sus ejemplares más reconocibles, se encuentra el robot poli articulado. Este robot se caracteriza por tener múltiples articulaciones y gran flexibilidad, teniendo un rango de movimiento amplio y versátil (technical, 2024). Esto se debe ya que el trabajo requerido para este robot tiene que ser con precisión y adaptabilidad en su ambiente, ya que son ideales para trabajos de ensamblaje. Por lo tanto, estos robots son tan útiles que tienen un sistema de adaptabilidad al momento de programarlos y reprogramarlos para que sean utilizados el mayor tiempo posible, dando así que puedan seguir actualizándose para cubrir la demanda sin ninguna dificultad (technical, 2024).

Figura 6

Robot antropomórfico.



Nota: Robot humanoide con cara y torso (Gavilan, 2022).

4.2 Energías renovables

Son fuentes inagotables, que, a diferencia de las fuentes fósiles, como el carbón, el petróleo y sus derivados, cuales si son agotables y perjudicables para el medio ambiente. Estas provienen de los recursos naturales, figura 7, como el sol, el viento o la biomasa vegetal y animal. Dando así un impacto ambiente bajo (factorenergia, 2023).

Figura 7

Diferentes tipos de energías renovables.



Nota. Los 6 diferentes tipos de energías renovables (Quiroa, 2019).

4.2.1 Energía solar

La energía solar es una fuente de energía renovable que se obtiene al capturar la radiación electromagnética del sol, transformándola en electricidad o calor para su uso en diversas aplicaciones (National Geographic, 2022). Gracias a los avances tecnológicos no solo se ha vuelto menos costoso la instalación, operación y mantenimiento de la energía solar, también se ha multiplicado la capacidad de gestión mediante la monitorización a distancia para saber el rendimiento, las incidencias o la trazabilidad para obtener una mejor captación de la energía. Se ha certificado que su origen es 100% renovable. Esto es fundamental de cara al consumidor da una garantía de ser sostenible (BBVA, 2024).

La energía solar es unos de las principales fuentes de energía renovable y tiene un papel fundamental en la transición energética. Ayuda a impulsar economías más limpias cuales puedan ayudar a proteger el medio ambiente, dar un bienestar de las personas y garanticen la sostenibilidad del hogar o empresa. La energía solar ha ido evolucionando y cambiando a lo largo del tiempo gracias a los avances tecnológicos, volviéndose óptima y económico en sector de energías renovables. Dando así, esta fuente inagotable de energía una gran contribución a la sostenibilidad del planeta, además de que atrae la inversión, genera empleo y contribuye a las competencias entre empresas (repsol, 2024)

4.2.2 Energía solar fotovoltaica.

Este tipo de energía solar funciona gracias a un sistema fotovoltaico, figura 8, el cual funciona con una instalación que produce electricidad usando módulos fotovoltaicos, cuales son capaces de moldear y transformar la radiación solar para que sea directamente energía eléctrica. Los paneles solares tienen células fotovoltaicas que, al recibir la luz de forma directa, ionizan y liberan electrones que al interactuar entre sí generan corriente eléctrica (repsol, 2024). Este tipo de energía solar ha recibido un gran impulso en los últimos años con la llegada de las comunidades solares, la fácil instalación de los paneles y el bajo costo económico que ofrecen (repsol, 2024).

Figura 8

Panel solar.



Nota. Captación solar en un panel solar fijo (endesa, 2020).

4.2.3 Energía solar térmica.

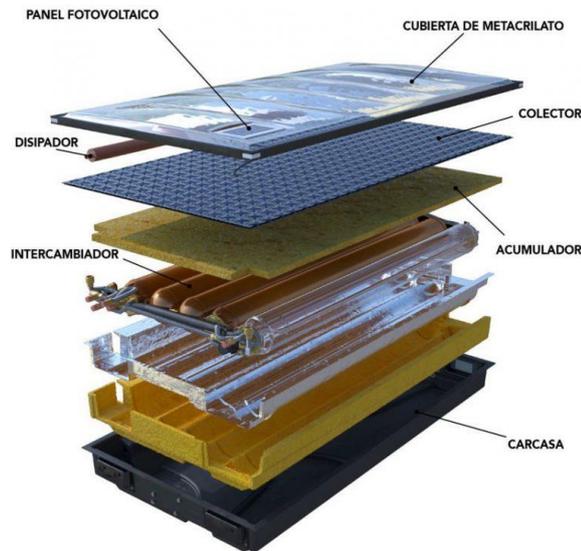
La energía solar térmica es una tecnología que aprovecha la radiación solar para generar calor, figura 9, el cual puede ser utilizado en diversas aplicaciones, como la producción de agua caliente sanitaria, calefacción de espacios y generación de electricidad. A diferencia de la energía solar fotovoltaica, que convierte la luz solar directamente en electricidad, la solar térmica se centra en capturar y utilizar el calor del sol (descubre la energía, 2021).

Dentro de esta rama, existe una variante llamada “energía termo solar de concentración”, también conocida por sus siglas en inglés “CPS” (concentrated Solar Power). Este tipo de energía solar usa una serie de espejos o lentes que concentran la energía solar en

un punto concreto, cual hace generar calor para que se hierva agua y esta produzca vapor y movilice, por ejemplo, las turbinas de un generador (repsol, 2024).

Figura 9

Partes dentro de un sistema solar térmico.



Nota. Diferentes capas que componen un panel solar térmico (EcoEnergías, 2024).

4.2.4 Energía solar pasiva

La energía solar pasiva es un sistema que usa la energía solar sin que sea almacenada, capturada o distribuida. Este tipo de energía usa la arquitectura de los edificios, este tipo de arquitectura aprovecha la infraestructura de manera eficiente la luz y el calor solares sin requerir componentes activos, figura 10 (Immodo Solar, 2023).

Figura 10

Energía solar pasiva.



Nota. Modelo arquitectónico con energía solar pasiva (Lobon, 2021).

4.2.5 Energía solar híbrida.

En este tipo de energía como dice la palabra, se combinan los diferentes tipos de energía renovables, para obtener mejor ganancia. Entre los más habituales, es la combinación de energía solar y eólica, figura 11, este tipo de combinación son empleados en superficies desérticas o en páramos, ya que son en estos lugares donde más se puede aprovechar el sol y el aire, sus sistemas usan equipos híbridos fotovoltaicos y eólicos cuales combinan paneles fotovoltaicos y aerogeneradores (repsol, 2024).

Figura 11

Energía híbrida.



Nota. Energía híbrida entre la solar y la eólica (repsol, 2024).

4.3 Propiedades de la radiación solar

La radiación solar es un fenómeno natural dado por el sol, ya que es la liberación de energía del sol en el espacio, esta energía llega a la tierra, provocando grandes beneficios a la vida en la tierra. Desde provocar la fotosíntesis a ser una gran fuente de nutrición de vitamina D, además de que es una fuente inagotable de energía renovable. (Nehuen, 2023).

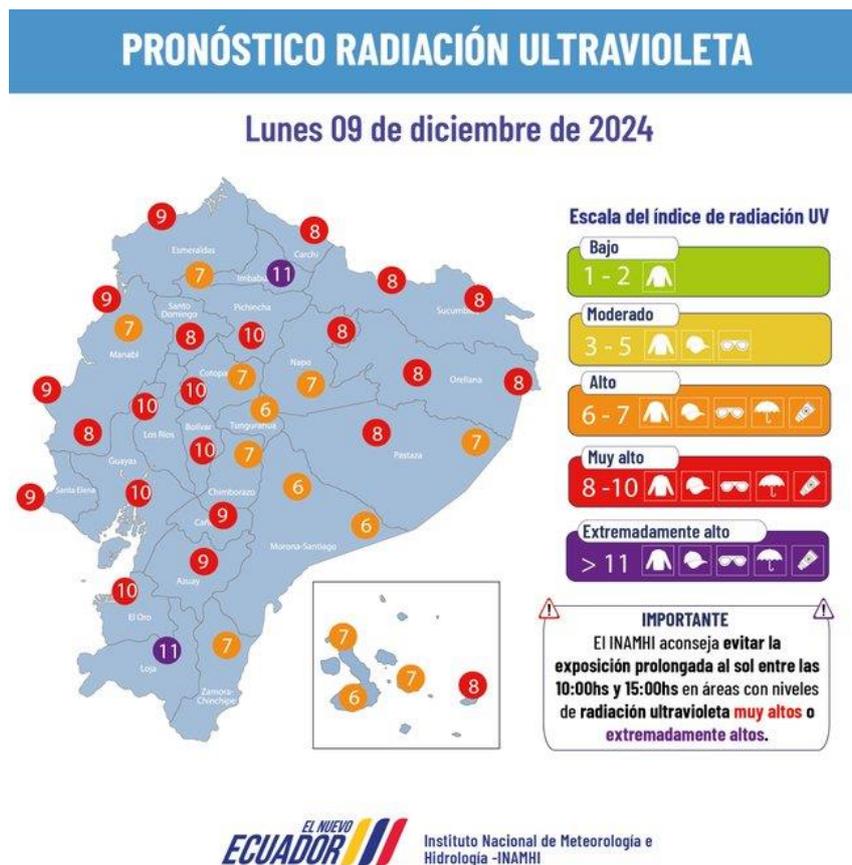
4.3.1 Radiación solar en guayaquil (Ecuador).

El medio por el cual se expresa la radiación solar es W/m^2 (Wattios por metro cuadrado), en términos generales, lo mismo en magnitudes cuando se convierte en irradiancia (W/m^2) o irradiación (Wh/m^2). para obtener el pronóstico de radiación solar se deben tener en cuentas muchas variables favorables como desfavorables en especial con el ángulo de incidencia de radiación solar, la inclinación, el horario, la latitud, etc (clima, 2025).

Según el Inamhi, Ecuador ha alcanzado temperaturas de 34° este 2024, provocando un aumento de índices de radiación ultravioleta en guayaquil y en toda la provincia, figura 12, debido a que el cielo no tendrá mucha nubosidad, los rayos solares estarán en toda su potencia. Esta situación dará a que el Guayas tendrá un índice ultravioleta de 10 niveles a lo que corresponde a “muy alto” (comercio, 2024).

Figura 12

Pronóstico de radiación solar.



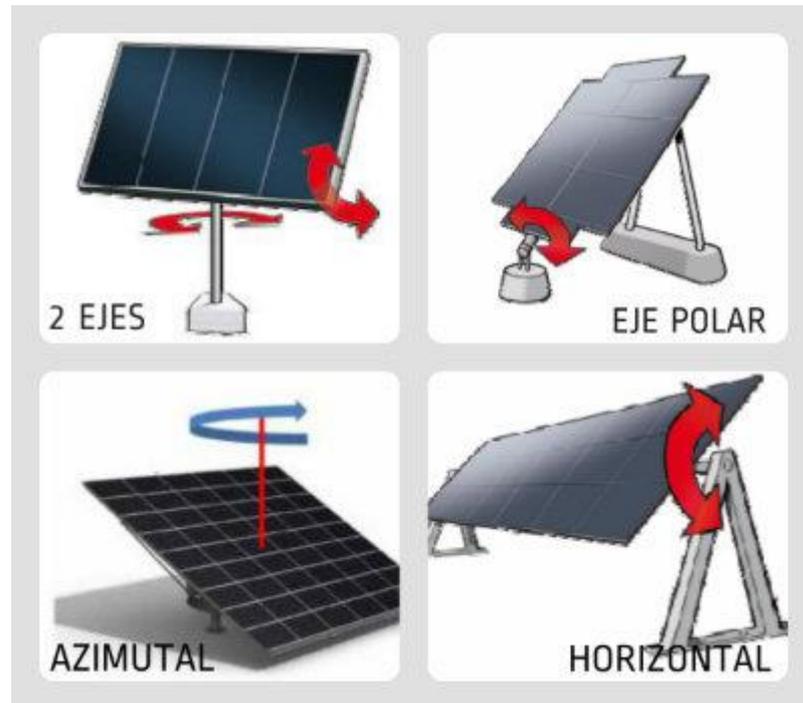
Nota. Diferentes niveles de radiación a lo largo del país (comercio, 2024).

4.1 Seguidor solar

Un seguidor solar, figura 13, es un dispositivo de rastreo fotovoltaico que según su trayectoria o programación, busca el mejor posicionamiento para captar lo que más pueda de energía solar por medio de sus paneles solares, cuales captan lo que más pueden de energía solar y almacenan en una batería (Lane, 2024).

Figura 13

Ejemplos de los tipos de seguidores solares con sus respectivos movimientos.



Nota. Diferentes tipos de seguidor solar (solar, 2025)

4.1.1.1 Funcionamiento de un seguidor solar

El funcionamiento de un seguidor solar es simple y eficiente. Los paneles fotovoltaicos estarán siempre en el ángulo de inclinación del sol para tener una recepción máxima del sol para así tener altas cantidades de energía solar. Esto es posible por los sensores y procesadores equipados con un código que permite el seguimiento solar en tiempo real durante el transcurso del día. De hecho, un panel solar tiene un mejor rendimiento cuando los rayos solares del sol lo impactan en un ángulo de 90° (Repsol, 2023).

4.1.1.2 Beneficios de los seguidores solares

Los seguidores solares son dispositivos que orientan los paneles fotovoltaicos hacia el sol a lo largo del día, maximizando la captación de energía solar (JIMIOT, 2024). Esta tecnología ofrece diversas ventajas en la gestión de activos y vehículos:

- Reducción de la dependencia de fuentes de energía tradicionales: al utilizar energía solar, los seguidores solares disminuyen la necesidad de electricidad de

la red o combustible fósiles, lo que se traduce en menores costos operativos y una menor huella de carbono.

- Mayor capacidad operativa: funcionan de manera continua, garantizando una supervisión interrumpida de activos y vehículos, lo que es esencial en sectores como la construcción, la logística y la industria marítima.
- Menos necesidad de recargas frecuentes: al aprovechar la energía solar, los seguidores solares reducen la necesidad de recargas periódicas, minimizando tiempos de inactividad y mejoran la eficiencia operativa.

Estas características hacen que los seguidores solares sean una solución práctica y sostenible para diversas aplicaciones en la gestión de activos y vehículos. Dado esto los seguidores solares pueden clasificarse en 3 tipos, según su posicionamiento y el número de ejes móviles

4.1.1.2.1 Seguidores solares manuales.

Para los seguidores solares manuales, figura 14, es indispensable la ayuda de alguien ya que se tienen que ajustar físicamente los paneles en diferentes horarios durante el transcurso del día. Es por eso por lo que no son tan prácticos, ya que sin que alguien los vaya controlando y calibrando, no dan mayor rendimiento al momento de captar la energía solar (UI, 2021).

Figura 14

Ejemplo de un seguidor solar manual dentro de una empresa.



Nota. Paneles solares en la planta (UI, 2021).

4.1.1.2.2 Seguidores solares pasivos.

Los seguidores pasivos contienen un líquido que al momento de llegar al punto de ebullición, su peso empieza a disminuir haciendo que su punto de equilibrio se desequilibre. Cuando se desequilibra, los paneles solares, figura 15, se empiezan a inclinar en la dirección de los rayos solares (UI, 2021).

Figura 15

Seguidor solar pasivo.



Nota. El panel solar tiene un desequilibrio para seguir el ángulo de inclinación del sol (UI, 2021).

4.1.1.2.3 Seguidores solares activos.

Estos tipos de seguidores solares se mueven gracias a los motores/servomotores o cilindros hidráulicos que se instalan para que cambie su posición. Los motores de los seguidores buscaran la posición para que el panel fotovoltaico siempre este de cara al sol. Este tipo de seguidor solar se divide en tres subtipos: los de un eje, doble eje y múltiples ejes. Si bien son más eficientes que los otros tipos de seguidores, estos tendrán mayor desgaste gracias a su continuo movimiento (UI, 2021)

4.2 Panel solar

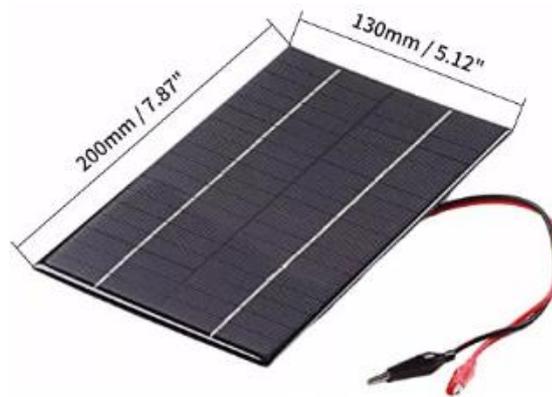
Un panel solar es un dispositivo diseñado para convertir la energía de la radiación solar en energía eléctrica o térmica. Está compuesto por múltiples celdas solares que, al recibir la luz del sol, genera un campo eléctrico mediante el efecto fotovoltaico (Etece, 2021).

4.2.1 Panel solar de 4.2W y 18V

El panel fotovoltaico seleccionado para el prototipo, figura 16, cuenta con una potencia de 4.2W y un voltaje nominal de 18V, lo que permite una carga eficiente en un tiempo reducido, este panel está compuesto por una celda de silicio policristalino, garantizando un buen rendimiento en la captación de energía solar.

Figura 16

Imagen del panel solar



Nota. Panel fotovoltaico con sus respectivas medidas (sawers, 2020)

Según las características que se muestran en la tabla 1, este panel es capaz de generar una potencia de 4.2 vatios con un voltaje de salida de 18V, proporcionando una fuente confiable de energía renovable, ya que, su eficiencia y especificaciones lo hacen ideal para proyectos en los que se requiere una fuente energética sustentable y portátil.

Tabla 1

Tabla de un panel solar

| Características | descripción |
|-------------------|------------------------|
| Máximo poder | 4.2W |
| Capacidad nominal | 230mAh |
| Numero de celdas | 1 |
| Material | Silicio policristalino |
| Número del modelo | SW4218 |
| Poder | 4.2 vatios |
| Voltaje | 18V |
| Tamaño | 200 mm * 130 mm |

Nota. Características del panel solar de 4.2W y 18V (sawers, 2020).

4.3 Arduino

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software fáciles de usar. Las placas Arduino, tabla 2, permiten la lectura de entradas para que puedan revisar la información así pudiendo analizarla y ejecutar la orden para convertirlas en una salida para que se activen y enciendan los diferentes equipos. Arduino ha sido el cerebro de miles de proyectos desde los cotidianos hasta elementos científicos complejos. Con el Arduino puedes diseñar un conjunto de ordenes o instrucciones al microcontrolador de la placa. Esto funciona debido al lenguaje que se utiliza, cuales serían el lenguaje de programación Arduino con base en Wiring y el software Arduino IDE con bases en procesing (carrillo, 2021).

Tabla 2

Placas de Arduino.

| Modelo de placa | Microcontrolador | Memoria flash |
|---------------------|------------------|---------------|
| Arduino Leonardo | ATmega 32U4 | 32Kb |
| Arduino Uno R3 | ATmega | 32Kb |
| Arduino Mega R3 | ATmega | 256Kb |
| Arduino Pro-3.3.V | ATmega | 256Kb |
| Arduino Mini 05 | ATmega 328 | 32Kb |
| Arduino Fio | ATmega 328P | 32Kb |
| Mega Pro Mini 3.3.V | ATmega 2560 | 56Kb |
| Arduino DUE | AT91SAM3X8E | 512Kb |

Nota. Diferentes tipos de Arduino con su microcontrolador y su memoria flash (N4, 2021)

4.3.1 Tipo de programación y entorno de desarrollo.

Para programar la placa Arduino junto con el circuito electrónico se requiere de un software IDE (Integrated Development Environment) su traducción en español sería, entorno desarrollo integrado, esto es un programa informático compuesto por un conjunto de herramientas de programación.

Se emplea un programa diseñado para ejecutar en el Arduino (sketch) cual se compone de tres secciones:

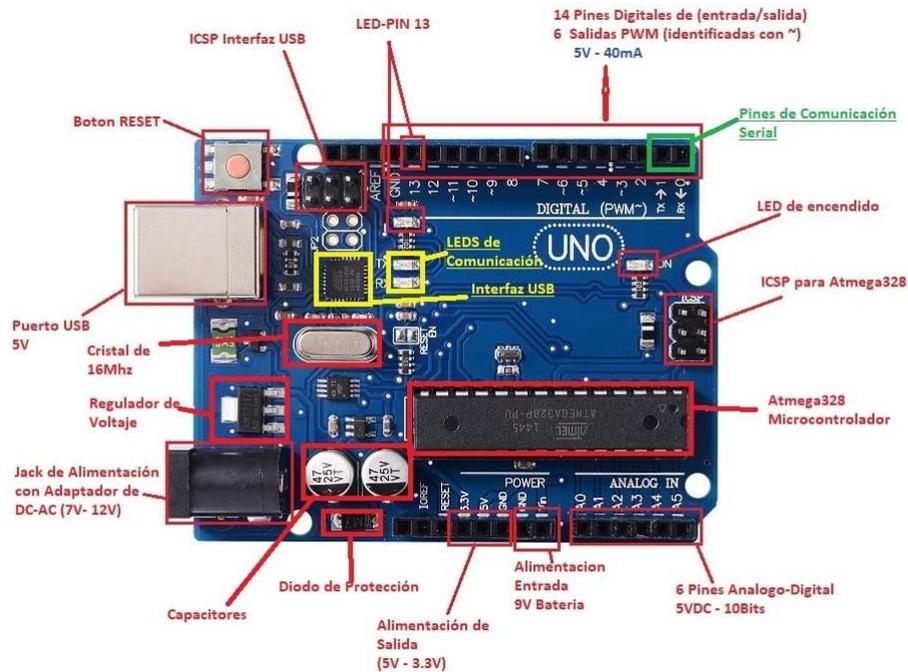
1. La primera sección cual es la de declaraciones de variables globales, esta parte se encuentra siempre en la parte superior del sketch
2. En la segunda sección se encuentra el “void setup()” cual se delimita por las llaves de apertura y cierre.

3. En la tercera sección se ubica el “void loop()”, la cual está delimitada por llaves de apertura y cierre.

4.3.2 Arduino Uno.

Para este proyecto se va a usar el Arduino Uno, figura 17, cual es una placa microcontrolador basada en el ATmega 328P. contiene 14 pines de entras/salidas digitales (6 se puede usar como salidas PWM). Este Arduino contiene todo lo necesario para dar soporte al microcontrolador.

Figura 17
Arduino UNO.



Nota. Plano de un Arduino con sus elementos señalados (tecmikro, 2020).

4.4 Sensores

Un sensor es un elemento o herramienta electrónica que detecta alguna alteración en su entorno, y responde enviando señales de salida a algún otro sistema para advertir y para la anomalía del problema (nibib, 2024).

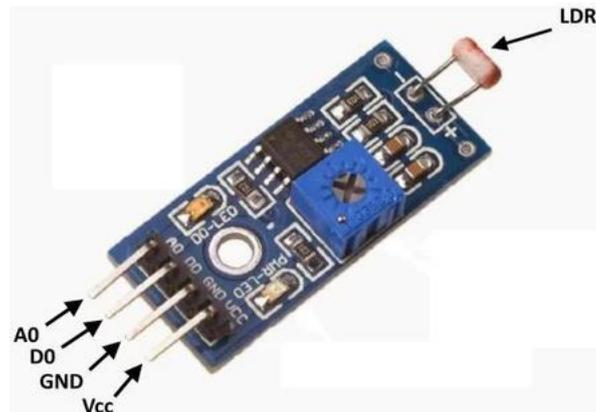
4.4.1 Sensor LDR.

El sensor LDR o sensor de luz, figura 18, es un sensor hecho por una resistencia eléctrica que se modifica según la cantidad de luz que lo atraviesa. Mientras más aumenta la

intensidad de luz que pase por su superficie menor será su resistencia y en cuanto menos luz pase por su superficie mayor será su resistencia (GSL, 2022).

Figura 18

Ejemplo de un sensor LDR



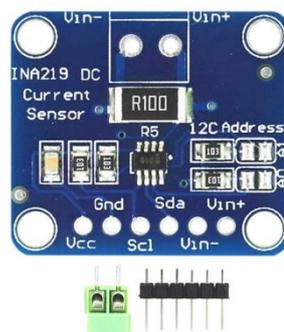
Nota. Sensor con sus diferentes puertos y con su modulo (Arrieta, 2019)

4.4.2 Sensor INA219.

El sensor INA219, figura 19, es un sensor que permite realizar medidas de tensión, intensidad y potencia en circuitos electrónicos. Este sensor puede medir tensiones de 0V a 26V. Este sensor es una elección buena para las mediciones eléctricas, que hace la medición simultanea de intensidad, tensión y potencia eléctrica (Lozano, 2021).

Figura 19

Sensor INA219



Nota. Sensor INA219 con sus partes (Lozano, 2021).

4.5 Servomotores

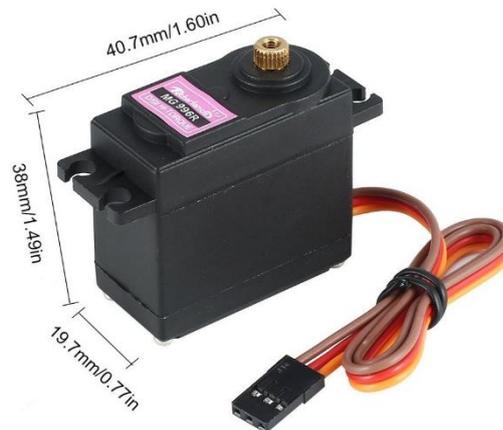
Un servomotor es un motor eléctrico que permite realizar acciones de una maquinaria con una gran eficiencia y exactitud. Los servomotores trabajan en conjunto con sensores llamados encoder, con el cual se retroalimenta, es decir que manda información para que pueda controlar la velocidad y posición contantemente.

4.5.1 Servomotor MG996R.

El servomotor MG996R, figura 20, es un servomotor que destaca por su gran torque, engranajes y gran robustez.

Figura 20

Ejemplo de un servomotor MG996R con sus dimensiones.



Nota. Dimensiones del servomotor MG996R

Funciona casi en su totalidad con la mayoría de los microcontroladores, se mostrarán las características del servomotor en la tabla 3.

Tabla 3

Características del servomotor MG996R

| Características | Descripción |
|---------------------------------------|---|
| Rotación continua | 360° |
| Torque en reposo | 13KG a 4.8V y 15KG a 6V |
| Velocidad de funcionamiento sin carga | 0.17seg/60 ³ a 4.8v y 0.13seg/60 ³ a 6v |
| Voltaje de funcionamiento | 4.8V a 7.2v |
| Dimensiones | 40 mm x 19 mm x 43 mm |
| Peso | 63 gramos |

Nota. Características del servomotor con su respectiva descripción (plexylab, 2021).

4.6 Cinemática

La cinemática del robot estudia es una rama de la mecánica o física que estudia el movimiento de los sistemas mecánicos sin considerar las fuerzas que lo producen. En el contexto de la robótica, la cinemática divide principalmente en 2 categorías: cinemática directa y cinemática inversa.

4.6.1 cinemática directa

Este enfoque se centra en determinar la posición y orientación del efecto final de un robot manipulador a partir de los ángulos o desplazamientos conocidos de sus articulaciones. Esencialmente, se trata de calcular la configuración espacial del extremo del robot basándose en las variables articulares. Este proceso implica el uso de transformaciones geométricas y de modelos matemáticos, como matrices de transformación homogénea, para describir las relaciones entre las articulaciones y el efecto final. La cinemática directa es fundamental para la programación y control de robots en diversas aplicaciones desde la manufactura hasta la cirugía robótica (Peña P. , 2024).

4.6.2 Cinemática indirecta

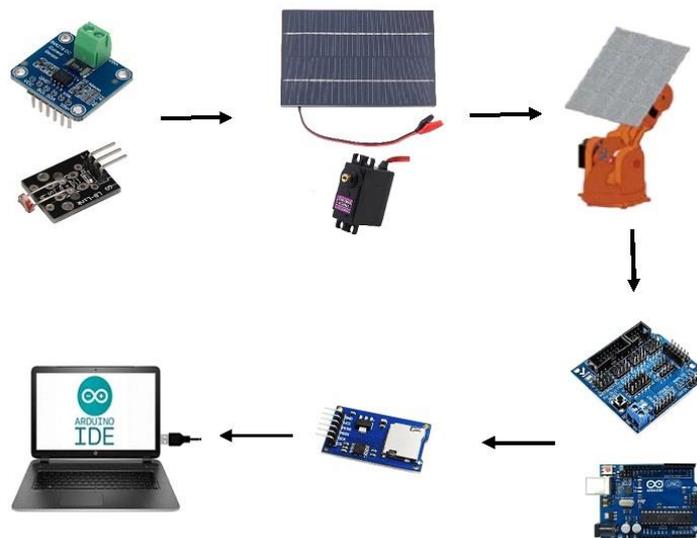
A diferencia de la cinemática directa, la cinemática inversa se ocupa de determinar los valores de las articulaciones necesarios para que el efector final alcance una posición y orientación específicas en el espacio. Este problema es más complejo debido a que puede haber múltiples soluciones o, en algunos casos, ninguna solución factible, dependiendo de las limitaciones físicas y geométricas del robot, cinemática inversa es esencial para aplicaciones donde se requiere que un robot llegue a un objetivo determinado, como en la manipulación de objetos (roboticoss, 2021).

V MARCO METODOLÓGICO.

El desarrollo de este prototipo, figura 22, seguirá una metodología experimental, basada en la recolección y análisis de datos obtenidos a través de sensores LDR y el módulo INA219, los cuales permitirán evaluar la eficiencia del seguimiento solar en comparación con un sistema fijo. Se utilizará Arduino UNO como unidad de control para procesar la información y actuar sobre los servomotores que orientarán el panel solar. A través de pruebas controladas, se validará la eficacia del mecanismo de seguimiento solar, optimizando su rendimiento mediante ajustes en el algoritmo de control.

Figura 22

Esquema general del prototipo



Nota. Representación del diseño del mecanismo de seguimiento solar utilizando un prototipo de brazo robótico para un sistema fotovoltaico.

5.1 Análisis de identificación y selección de componentes.

Para garantizar la funcionalidad y la eficacia del sistema se procedió a seleccionar los siguientes componentes se realizó una comparación en la tabla 5.

Tabla 5

Comparación de los elementos y del porque se ha seleccionado los siguientes elementos para que se utilicen en la implementación del proyecto.

| Elemento utilizado | Otra alternativa | Justificación |
|-----------------------------|--------------------------|--|
| Arduino Uno | Arduino Mega | Aunque el Mega posee más pines de conexión el Uno es suficiente para este proyecto además de que es más económico. |
| Servomotores MG996R y MG995 | Servomotor SG90 | El servomotor Sg90 es más pequeño y no puede soportar el panel con movimiento en precisión. |
| Panel solar de 4.2 W y 18 W | Paneles de menor voltaje | Un panel de menor voltaje no genera suficiente energía para las pruebas comparativas. |
| Sensor INA219 | Sensor ACS712 | El INA 219 es más precios y mide tanto voltaje como corriente, mientras que el ACS712 solo mide corriente. |
| Sensor de luz LDR KY-018 | Sensor BH1750 | El sensor de luz LDR KY-018 es muy fácil de maniobrar y se adapta bien. |
| Modulo microSD | microSDHC | Almacenamiento masivo, compatible con Arduino. |

Nota: Tabla con los equipos a usar para el prototipo.

5.2 Análisis de la cinemática y grados de libertad del prototipo

El seguidor solar conectado a un prototipo de brazo robótico tiene un sistema electrónico y mecatrónico de múltiples grados de libertad que ajusta la orientación del panel fotovoltaico para maximizar la captación solar. Este sistema utiliza 4 servomotores, una placa sensor shield y 4 sensores de luz LDR KY-018, usando un microcontrolador en Arduino Uno.

A continuación, se explicará la estructura cinemática, los grados de libertad, el modelo matemático y como calcular los movimientos del sistema.

5.2.1 Grados de libertad

Los grados de libertad determinan cuantos movimientos independientes puede realizar el sistema, dado por hecho el ensamblaje del prototipo se da por hecho de que tiene 4 grados de libertad por los 4 servomotores.

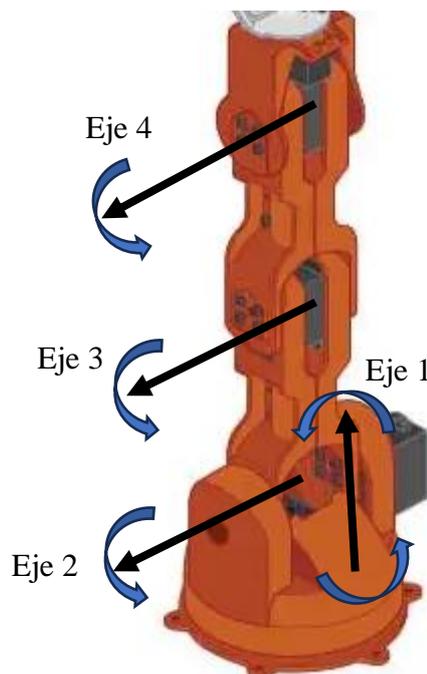
- Grado 1: permite un movimiento que imita la dirección del sol desde el este a oeste
- Grado 2: ajusta la inclinación del panel para seguir la variación del sol.
- Grado 3 y 4: se utilizan movimiento para dar un mejor posicionamiento.

5.2.2 Análisis de la cinemática directa

Seleccionando el braccio tinkerkit como referencia a seguir para el diseño, se creará y ensamblará el prototipo del brazo robótico de 4 grados de libertad. La implementación inicia con un modelo esquemático, figura 23, donde se indica los grados de libertad. Por medio de la cinemática directa permite calcular la posición y orientación del panel a partir de los ángulos de los servomotores, el método Denavit-Hartenberg (D-H) fue el método usado para analizar y representar la estructura del robot con matrices de transformación homogénea, tabla 6.

Figura 23

Modelo esquemático de un brazo robótico de 4 grados de libertad



Nota. Se puede ver los 4 grados de libertad que va a tener el prototipo

Para la cinemática directa del prototipo del brazo debe estar dentro de sus parámetros de articulación, se puede obtener desde su diseño, ya se puede obtener los ángulos de las articulaciones, las longitudes de los eslabones entre las articulaciones, la distancia del último eslabón a lo largo del eje z y los ángulos de torsión entre los ejes z consecutivos. Con los datos obtenidos se procede a realizar la tabla Denavit – Hartenberg (D-H), para cada articulación.

Tabla 6

Ejemplo de los 4 grados de libertad principales.

| Articulación | Angulo | Desplazamiento | Longitud | Inclinación |
|--------------|------------|----------------|----------|-------------|
| Base | θ_1 | 0 | 0 | 90 |
| Hombro | θ_2 | 0 | a_1 | 0 |
| Codo | θ_3 | 0 | a_2 | 0 |
| Muñeca | θ_4 | d_4 | 0 | 0 |

Nota. En la tabla del cálculo se muestran los parámetros D-H resultantes de la ubicación de los ejes en las articulaciones del prototipo del robot de 4 grados de libertad.

Una vez hecha la tabla ahora se puede calcular la matriz de transformación homogénea, figura 24. Ya que cada articulación tiene una matriz de transformación homogénea T_i , que se define como:

Figura 24

Matriz de la transformada homogénea T_i .

$$T_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i \cos \alpha_i & \sin \theta_i \sin \alpha_i & a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i \cos \alpha_i & -\cos \theta_i \sin \alpha_i & a_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Nota. Cada eslabón tiene una matriz de la transformada basada en los parámetros D-H.

Las figuras 25 y 26 se definen por los eslabones 1 y 2, ya que la base gira en torno al eje Z con un ángulo θ_1 , lo que permite la rotación horizontal del brazo. Luego el eslabón 2 (brazo) se extiende desde la base con un ángulo θ_2 sobre el eje X, calculando la elevación del sistema. la posición de este segmento se calcula considerando las transformaciones rotacionales y la longitud del brazo.

Figura 25

Matriz homogénea de la articulación 1 (Base).

$$T_1 = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & 0 & \sin \theta_1 & 0 \\ \sin \theta_1 & 0 & -\cos \theta_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Nota. Transformada de la base (articulación 1)

Figura 26

Formula de la matriz homogénea de la articulación 2 (hombro).

$$T_2 = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 & a_2 \cos \theta_2 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & a_2 \sin \theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Nota. Transformada del hombro (articulación 2).

El codo, figura 27, con ángulo θ_3 , permite una mayor flexión en la articulación, modificando la altura y alcance del brazo.

Figura 27

Fórmula para la obtención de la articulación 3 (codo).

$$T_3 = \begin{bmatrix} \cos \theta_3 & -\sin \theta_3 & 0 & a_3 \cos \theta_3 \\ \sin \theta_3 & \cos \theta_3 & 0 & a_3 \sin \theta_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Nota. Transformada del codo(articulación 3).

Finalmente, la muñeca, figura 28, controlada por θ_4 , ajusta la orientación y final respecto al sistema.

Figura 28

Matriz homogénea para la articulación 4 (muñeca).

$$T_4 = \begin{bmatrix} \cos \theta_4 & -\sin \theta_4 & 0 & a_4 \cos \theta_4 \\ \sin \theta_4 & \cos \theta_4 & 0 & a_4 \sin \theta_4 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Nota. Transformada de la muñeca (articulación 4).

Esto permite obtener la posición final del efecto, figura 29, cual se obtiene cuando se multiplica todas las matrices para obtener la posición (X,Y,Z) del efecto final.

$$T = A1 * A2 * A3 * A4$$

Figura 29

Fórmula para la posición final

$$x = L_1 \cos \theta_1 \cos \theta_2 + L_2 \cos \theta_1 \cos(\theta_2 + \theta_3) + d_4 \cos \theta_1 \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)$$

$$y = L_1 \sin \theta_1 \cos \theta_2 + L_2 \sin \theta_1 \cos(\theta_2 + \theta_3) + d_4 \sin \theta_1 \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)$$

$$z = L_1 \sin \theta_2 + L_2 \sin(\theta_2 + \theta_3) + d_4 \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)$$

Nota. La cinemática directa permite calcular la posición final del efecto en función de los ángulos θ_1 , θ_2 , θ_3 y θ_4 .

5.3 Diseño y ensamblaje del prototipo del brazo robótico.

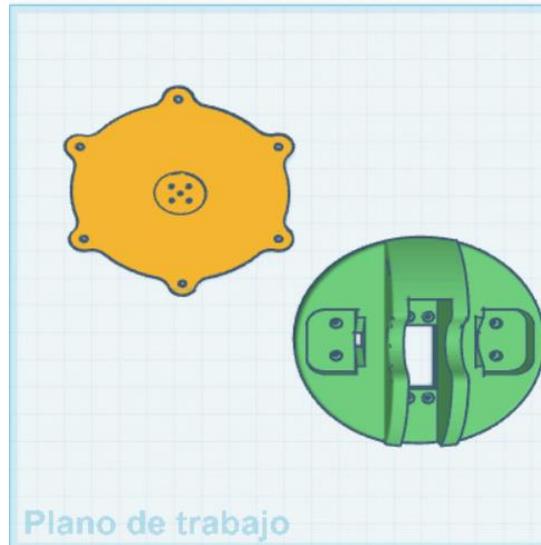
Se elaboró e imprimió en 3D el modelo del brazo robótico en el software CAD, asegurando una estructura robusta capaz de soportar el movimiento de los servomotores y sostener el panel solar.

5.3.1 Parte uno.

El primer elemento que se diseñó para el prototipo brazo robótico fue la base, cual se divide en 2 partes, figura 30, la primera parte de la base será una pieza plana donde el servo motor hará el movimiento rotativo y la segunda parte será la pieza será donde se pondrán los hombros y el servomotor.

Figura 30

Diseño de las 2 partes de la base

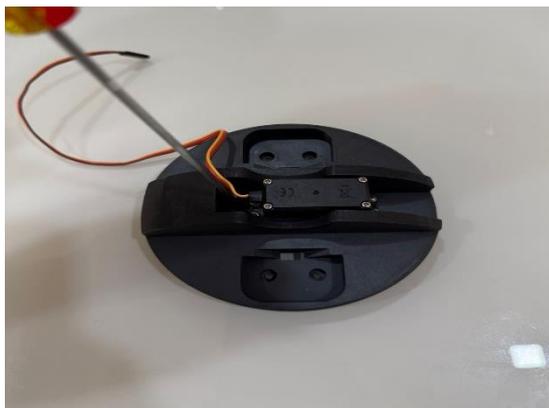


Nota: Diseño de las partes de la base en 3D para el prototipo del brazo robot.

Instalación del primer servomotor: Se comenzó instalando el primer servomotor en la base del brazo robótico, figura 31, este servomotor se encarga de proporcionar movimiento en la parte inferior del brazo, permitiendo que se mueva en dirección horizontal.

Figura 31

Base 3D del prototipo del brazo robótico siendo ensamblado con el servomotor MG996R.



Nota. Ensamblaje el servomotor en la base

5.3.2 Parte dos.

Para la segunda parte se diseñó dos hombros, figura 32 para el prototipo, un hombro está diseñado para que encaje el servomotor, y el otro hombro sostendrá la otra mitad del prototipo del brazo.

Figura 32

Diseño en 3D de los hombros.



Nota: Diseño de los 2 hombros que sostienen el brazo del prototipo.

Instalación del segundo servomotor: A continuación, se colocó el segundo servomotor en el hombro del prototipo, figura 33, para facilitar el movimiento de la parte superior del brazo, permitiendo un ángulo de movimiento vertical.

Figura 33

Ensamblaje del servomotor al hombro



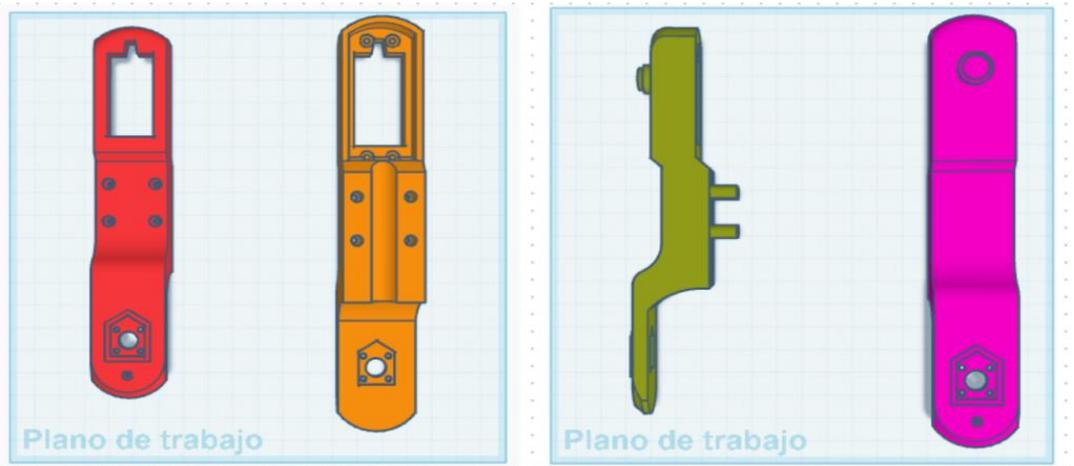
Nota. Ensamblaje de la impresión del hombro en 3D con el servomotor MG996R.

5.3.3 Parte tres.

Como tercer paso del diseño e impresión del prototipo del brazo robótico, se harán dos diseños que se conectarán en conjunto para formar el prototipo del brazo, figura 34, para este paso se tendrá que hacer 2 impresiones de cada pieza.

Figura 34

La pieza izquierda sostendrá el servomotor y la pieza del lado derecho servirá como apoyo al brazo



Nota. El lado izquierdo el servomotor hará el esfuerzo y del lado derecho sostendrá tanto el servomotor como el brazo.

Montaje de hombro y fijación en la base: Después de instalar el servomotor en el hombro, figura 35, se procedió a ensamblar la estructura completa del hombro del brazo robótico.

Figura 35

Ensamblaje del brazo robótico con el hombro



Nota. Unión de los 2 hombros con el brazo.

Una vez armado, el conjunto fue fijada a la base, asegurando su estabilidad, figura 36.

Figura 36

Ensamble del brazo y los hombros a la base



Nota. Ensamblaje el brazo y los hombros con la base.

5.3.4 Parte cuatro.

Instalación del tercer servomotor en el codo: Luego, se instaló el tercer servomotor en la zona correspondiente al codo del brazo robótico, figura 37, permitiendo al servomotor un movimiento de flexión y extensión del codo.

Figura 37

Ensamblaje del servomotor MG995



Nota. Ensamblaje del siguiente servomotor al eje del codo.

5.3.5 *Parte cinco.*

Se procedió a ensamblar la estructura del codo con el resto de las piezas, figura 38.

Figura 38

Unión entre las piezas ya armadas.



Nota. Ensamblaje del codo con el brazo y la base.

5.3.6 *Parte seis.*

Se creó como ultimo elemento en impresión 3D del prototipo del brazo una muñeca, figura 39, cual servirá como base y sostendrá el panel solar.

Figura 39

Diseño en 3D de la muñeca..



Nota. Plano de cómo va a ser la muñeca del brazo.

Instalación del cuarto servomotor: Se instaló el cuarto servomotor en el eje de la muñeca del brazo robótico, figura 40, permitiendo el movimiento de arriba y abajo del panel solar para ajustar su orientación para mejorar su captación de energía solar. Montaje del codo: Después de colocar el servomotor en el eje del codo, se procedió a ensamblar toda la estructura del brazo robótico.

Figura 40

Ensamblaje de la muñeca con el resto del brazo robótico



Nota. Resultado del ensamblaje de la muñeca al resto del brazo.

5.3.7 Parte siete.

Diseño final: Finalmente, se realizó una revisión para asegurarse de que todos los componentes estuvieran correctamente ensamblados. Se verificó que todos los tornillos estuvieran bien fijados y se comprobó que el brazo robótico estuviera completamente armado, figura 41, para su función.

Figura 41

Ensamblaje total de prototipo



Nota. Ensamblaje total y final con todas las piezas del prototipo del brazo robótico.

Una vez realizado y verificado todo lo anterior se procederá a fijar el panel solar en la muñeca del prototipo para la captación de energía solar, figura 42.

Figura 42

Ensamble del panel fotovoltaico



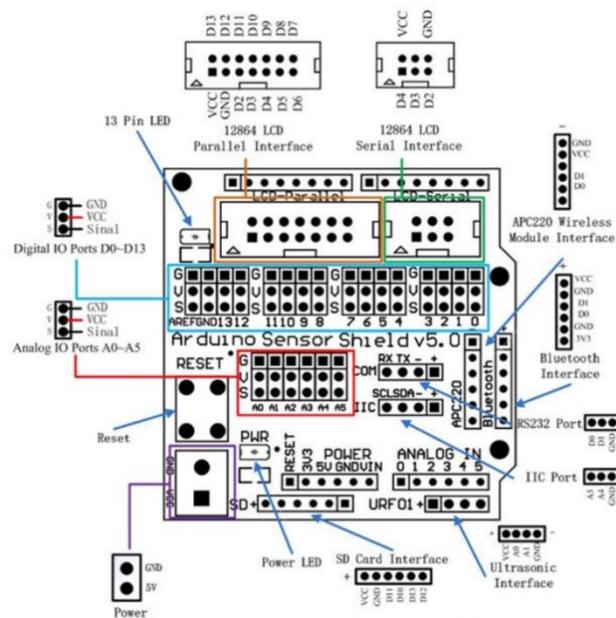
Nota. Ensamblaje del panel a la muñeca del prototipo del brazo robótico.

5.4 Diseño y ensamblaje del seguidor solar.

En este apartado se desarrollarán las etapas a seguir para el diseño y ensamblaje del esquema eléctrico con los sensores y módulos necesarios para el funcionamiento y visualización de datos del seguidor solar. Se usará como placa un sensor shield, figura 43, ya que se requiere una fuente externa para energizar los servomotores y sirve como medio de comunicación de los sensores con los servomotores.

Figura 43

Diagrama funcional de la placa sensor shield

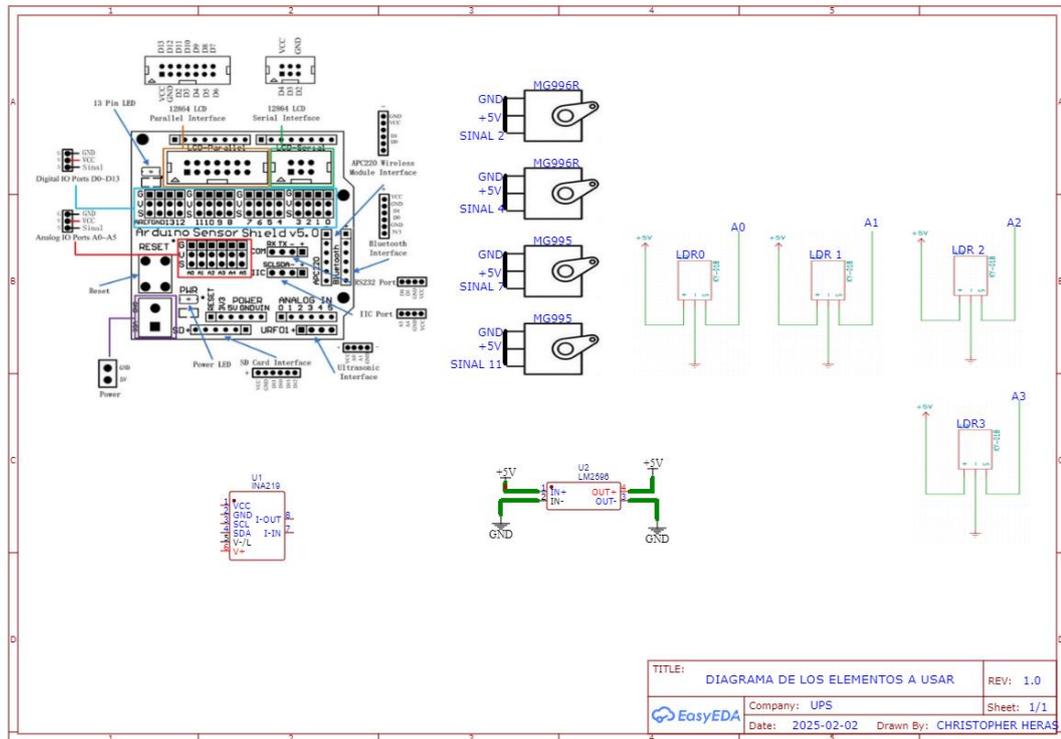


Nota. Partes de la placa sensor shield (Naylampmechatronics, 2021).

A continuación, en la figura 44, se visualizará un diagrama de la placa con los elementos que se usaran para el ensamblaje del seguidor fotovoltaico.

Figura 44

Diagrama de los elementos del panel y del brazo



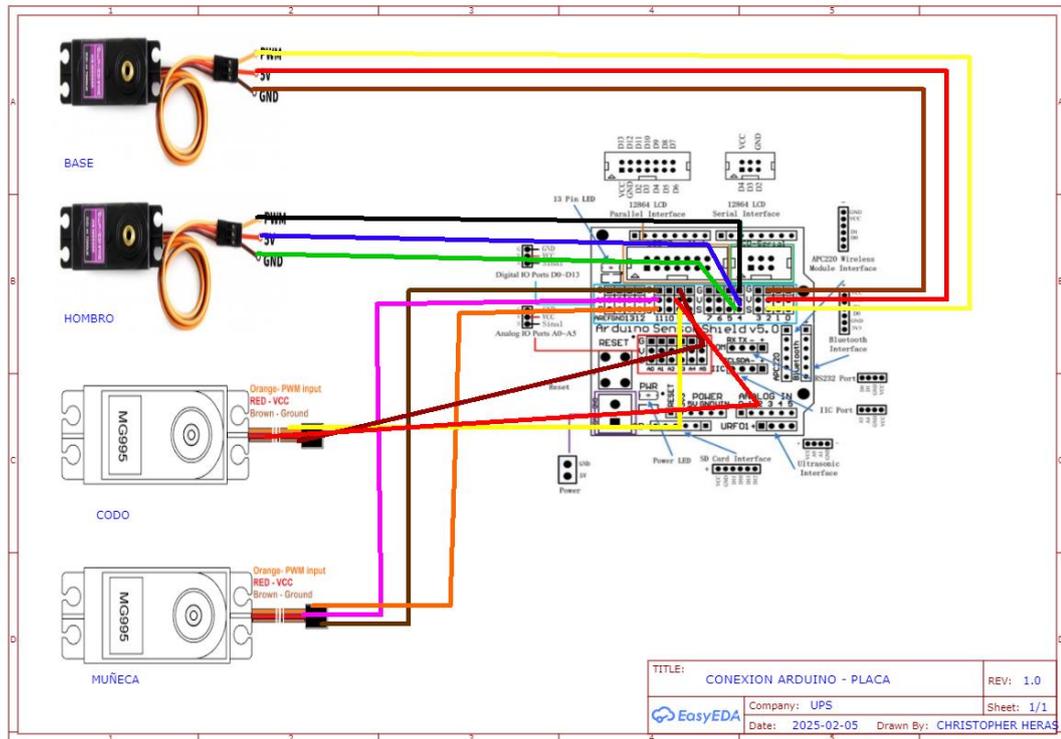
Nota. Elementos necesarios para el funcionamiento del prototipo.

5.4.1 Integración de los servomotores a la placa sensor shield.

En este subtema se definirán las entradas digitales por los cuales se usarán como medio de comunicación para los servomotores, figura 45, lo cual permitirá el movimiento del brazo de arriba abajo y de izquierda a derecha para la captación de energía solar.

Figura 45

Diagrama de los servomotores a la placa shield



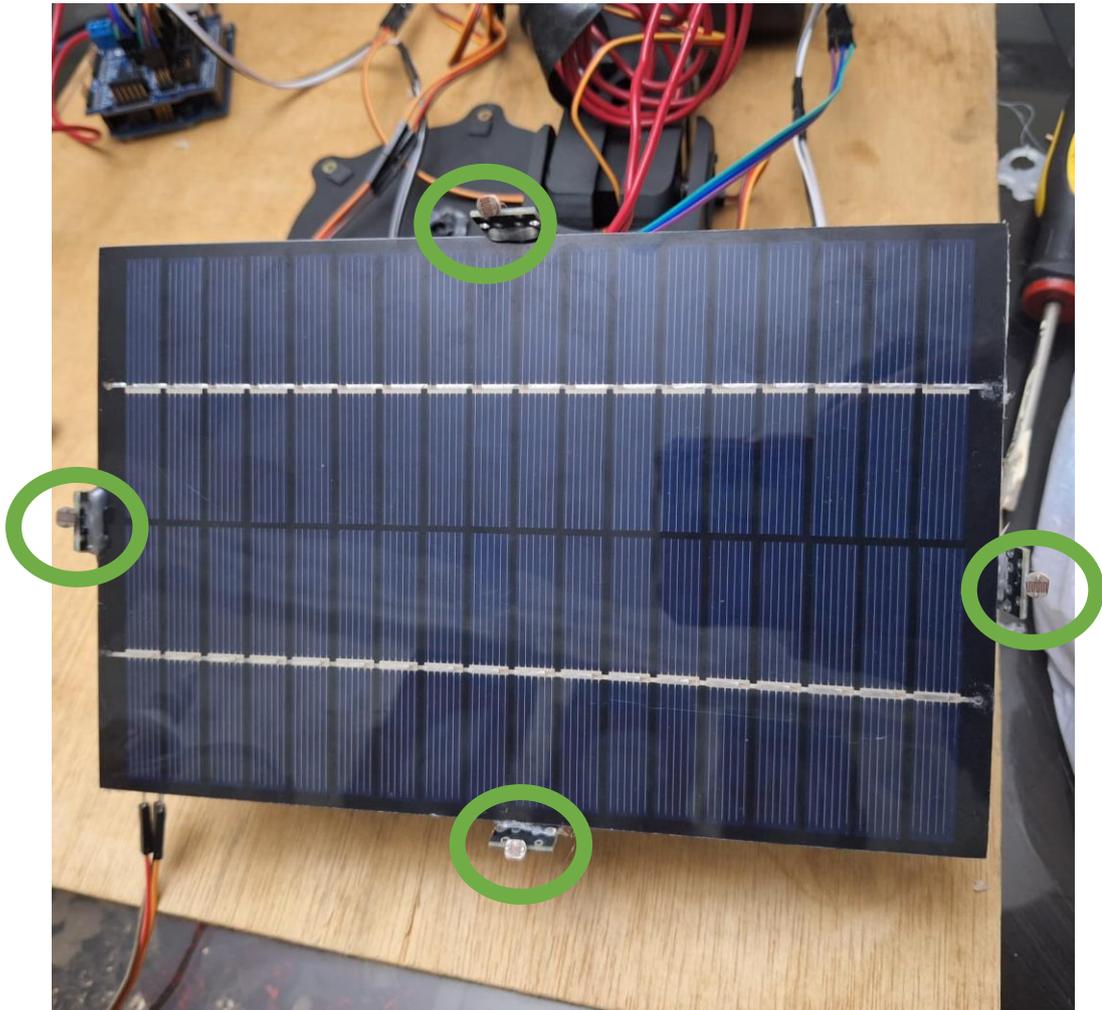
Nota. Conexiones de los servomotores a sus respectivos pines para su funcionamiento.

5.4.2 Integración de los sensores fotovoltaicos al panel solar.

Se ensamblarán las fotorresistencias al panel solar, figura 46, para su debido cableado y ubicación estratégica para que tengan una mejor captación y rastreo de la energía solar. Se ubicará 4 fotorresistencias: de izquierda a derecha y arriba abajo.

Figura 46

Ensamble de las fotorresistencias



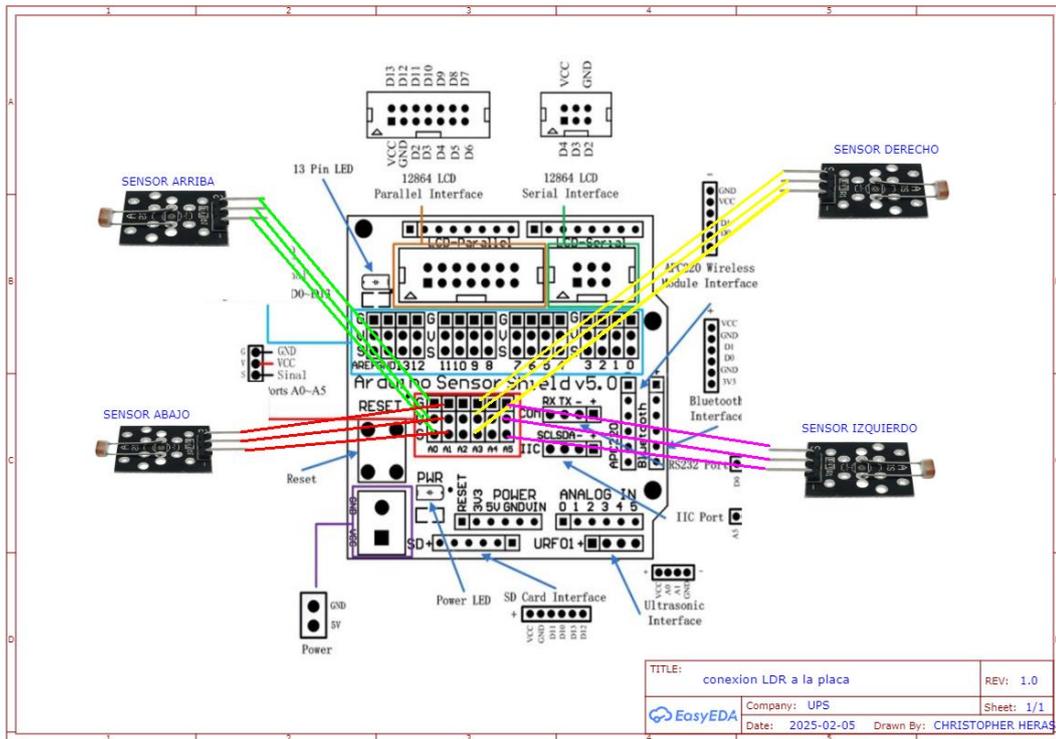
Nota. Ensamblaje de los sensores al panel y en que posición deben ir.

5.4.3 integración de los sensores fotovoltaicos a la placa sensor shield.

Apreciando la figura 47, se mostrará como se conectará las fotorresistencias a la placa para que su posterior ensamblaje al panel solar.

Figura 47

Diagrama de los sensores a la placa



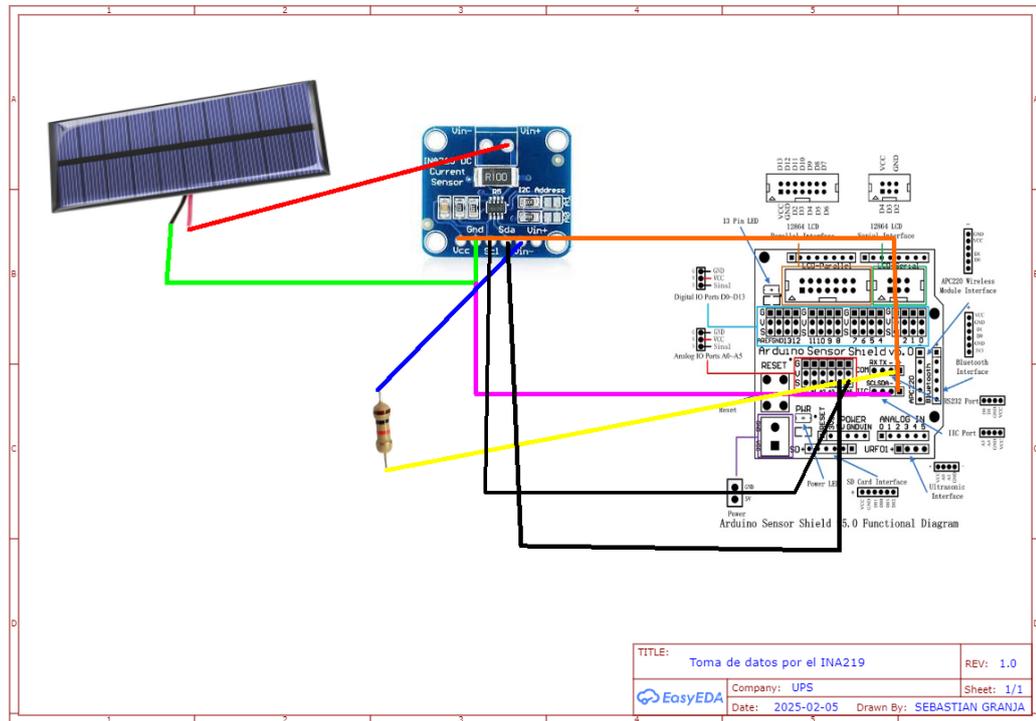
Nota. Diagrama de conexiones de los sensores a la placa.

5.4.4 Integración y comunicación del panel solar al sensor INA219.

Se utilizará un sensor INA219 para recolectar los datos de captación solar entre el panel estático y el seguidor solar con el prototipo del brazo robótico, , figura 48, esta conexión permitirá al sensor tener lecturas de la energía que ha sido captada por el panel solar

Figura 48

Conexión panel del panel sola, sensor INA219 y placa.



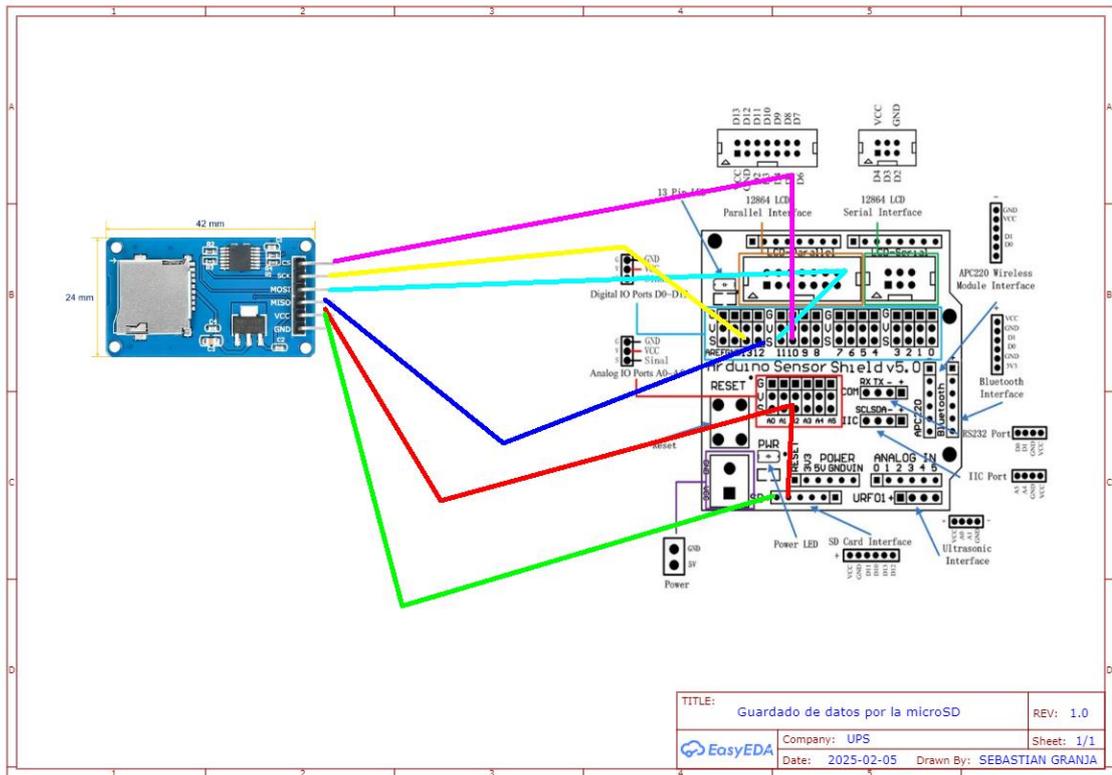
Nota. Diagrama de conexiones entre el panel solar y el sensor INA219 hacia la placa para su respectiva comunicación.

5.4.5 Integración de microSD.

Se ensambló una microSD para el almacenamiento de datos, figura 49, para almacenar y poder leer las lecturas de la captación solar para su posterior análisis y estudio.

Figura 49

Conexión de la microSD a la placa.

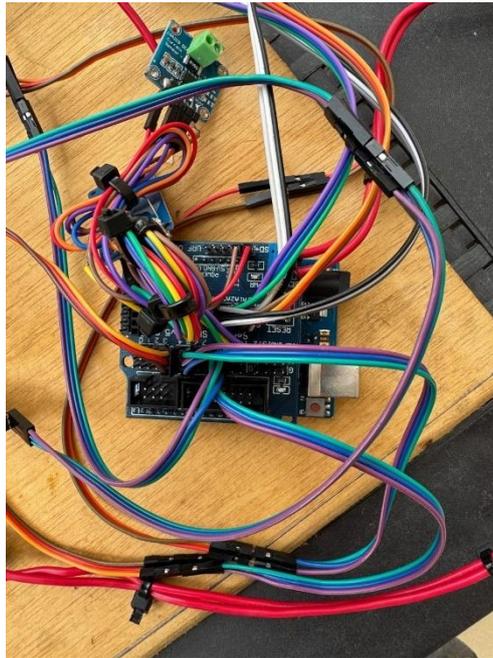


Nota. Cableado y conexión entre la microSD con la placa para el almacenamiento de la información.

Una vez ensamblado las conexiones del panel solar, los sensores y la microSD, figura 50, hacia la placa para establecer una comunicación y poder energizar los servomotores. Se creará un código en la aplicación Arduino para que se ejecute las órdenes a dar para el funcionamiento del prototipo del seguidor solar y poder obtener los datos del panel solar.

Figura 50

Conexiones del sensor shield



Nota. Se peino los cableados tanto del INA219 como de la microSD.

5.5 Programación del prototipo: implementación del algoritmo del control.

Se diseñó un esquema eléctrico que detalla la conexión de los sensores, actuadores y módulos electrónicos. También se estableció un circuito de control con el Arduino UNO, el cual recibe las señales de los LDRs, procesa la información y ajusta la posición del panel mediante los servomotores. Además, se incluyó el módulo INA219, permitiendo el monitoreo del rendimiento energético del sistema.

Se implementó un algoritmo, figura , en Arduino IDE que controla el seguimiento solar junto a la instalación de varias librerías para su procedimiento final.

5.5.1 Código Arduino del panel solar fijo.

El código del panel solar fijo permite la medición y registro de los valores eléctricos utilizando un sensor INA219 y una tarjeta microSD. Se obtiene información detallada sobre el voltaje, la corriente y la potencia generada por el panel solar, la cual es almacenada en un archivo de texto dentro de la microSD para su posterior análisis. Este sistema permite evaluar el rendimiento

El código comienza con la inclusión de las librerías necesarias para la gestión de la microSD, para la comunicación I2C y para la interacción con el sensor de medición, se define el pin de selección del chip para la microSD y se instancia un objeto del sensor INA219, figura 51. Una vez hecho eso, se iniciará el sistema, ya que, en la función set up se inicia la comunicación serial a 9600 baudios para permitir la visualización de los datos en el monito.

Figura 51

Librerías y setup del código

```
#include <SD.h>
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_INA219.h>

//Define el pin de seleccion del chip para la tarjeta microSD
const int chipSelect = 10; // Pin de la microSD (CS)
Adafruit_INA219 ina219; // Inicia el sensor INA219
```

Nota. Librerías para el correcto funcionamiento del algoritmo.

Posteriormente se verificará la correcta inicialización de la microSD, si la microSD no es detectada, se muestra un mensaje de error en el monitor serial. El sensor INA219 es iniciado con la función `ina219.begin()`, permitiendo la adquisición de datos eléctricos, a partir de ahí se abre o se crea un archivo de texto en la microSD para registrar las mediciones. Si el archivo abre correctamente se escriben los encabezados en formato CSV (voltaje, corriente, potencia).

La función `loop` se ejecuta de manera continua para realizar mediciones periódicas del sistema fotovoltaico. Con esto se realiza la adquisición de datos donde se obtienen el voltaje del bus mediante `ina219.getBusVoltage_V()`, la corriente utilizando `ina29.getCurrent_mA` y se calcula la potencia instantánea con `Ina219.getPower_mW`. Para obtener los valores en tiempo real y que sean mostrados en el monitor serial se escribe `serial.print`, figura 52.

Se abre nuevamente el archivo `data.txt` en la microSD con `SD.open("data.txt",FILE_WRITE)`, para que los valores medidos se escriban en formato CSV, separados por comas facilitando su posterior análisis en herramientas como Excel o Matlab, se cierra el archivó para asegurar la correcta escritura de datos y evitar corrupción de datos. Para finalizar se establece un retardo de 10 segundos entre cada medición para evitar sobrecarga de almacenamiento y proporcionar una frecuencia de muestreo adecuada para el análisis de la energía del panel solar fijo.

Figura 52

Parte 2 del código para el funcionamiento del panel solar fijo.

```
// Abre el archivo en la tarjeta microSD para que registre los valores
File dataFile = SD.open("data.txt", FILE_WRITE);

// Verifica si el archivo se ha abierto correctamente
if (dataFile) {
  // Escribe los valores de voltaje, corriente y potencia
  dataFile.print(voltage);
  dataFile.print(",");
  dataFile.print(current);
  dataFile.print(",");
  dataFile.println(power);
  dataFile.close(); // Cierra el archivo para guardar los cambios
} else {
  Serial.println("Error al abrir el archivo.");
}

// Pausa 1 segundo antes de hacer la siguiente medición
delay(10000);
```

Nota. En esta parte se redactará la sección del sensor INA219 cual hará la lectura de la energía solar para obtener los datos y almacenarlos en la microSD.

Este código permite el monitoreo continuo de la energía solar del panel de base fija. La implementación de sensores de medición y almacenamiento de datos posibilita un análisis detallado de la eficiencia del panel solar en diversas condiciones ambientales.

5.5.2 Código Arduino del seguidor solar con el prototipo del brazo robótico.

Este código implementará un sistema de seguimiento solar utilizando un Arduino uno, sensores LDR, servomotores y un sensor INA219 para medir el voltaje, la corriente y la potencia generada por el panel solar. Además, almacena los datos en una tarjeta microSD para su análisis

En la codificación del hardware comienza incluyendo las librerías necesarias para controlar los servomotores, la tarjeta microSD y el sensor INA219, figura 53. Se define las conexiones de los sensores LDR, los servomotores y el módulo microSD. Posteriormente, se crea objetos de tipo servo y se inicializan variables que almacenan las posiciones iniciales de los servomotores.

Figura 53

Primera parte del código

```
#include <Servo.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_INA219.h>

Adafruit_INA219 ina219;
const int chipSelect = 10; // Pin del módulo microSD
```

Nota. El código se dividirá en 2 partes, la primera parte será la instalación de las librerías y designaciones de los pines

Se definen los pines analógicos a los que se conecta los cuatro LDR , los servomotores se conectan a los pines digitales para controlar la base, el brazo, el codo y la garra respectivamente. Se establecen posiciones iniciales para cada servomotor y se definen los umbrales para determinar cuándo ajustar la posición del panel en función de las diferencias de luz detectadas.

En la función set up, se inicia la comunicación serial a 9600 baudios, el protocolo I2C para el sensor INA219 y la tarjeta SD para el almacenamiento de datos. Los servomotores se adjuntan a sus respectivos pines y se posicionan en sus ángulos iniciales para garantizar una configuración estable al encender el sistema, figura . se introduce un retraso de un segundo para asegurar que todo el hardware esté listo antes de comenzar el bucle principal.

Se escribe la función Loop, cual permite la lectura de los sensores LDR estos obtienen las lecturas analógicas de los cuatro LDR para determinar la intensidad de luz en cada dirección, la medición de los parámetros eléctricos ya que estos miden el voltaje y la corriente utilizando el sensor INA219, y se calcula la potencia como el producto de ambos, tener un registro de los datos permitiendo una lectura de los LDR y los valores eléctricos en el monitor serial. Además, se almacenan estos datos en un archivo llamado datos.txt en la tarjeta SD para su posterior análisis.

Para finalizar la codificación del Loop , se tiene el ajuste de la orientación del panel, figura 54. Como primer movimiento se tiene el movimiento horizontal este se da si a la diferencia de luz entre los LDR izquierdo y derecho supera el umbral definido, se ajusta la posición de la base del panel en incremento o decrementos de 5 grados, dentro de un rango seguro de 45 a 135 grados.

Figura 54

Parte 2 del algoritmo

```
int diferenciaH = abs(lecturaIzq - lecturaDer);
if (diferenciaH > umbralBase) {
  if (lecturaIzq > lecturaDer) {
    posicionBase = constrain(posicionBase + 5, 45, 135);
  } else {
    posicionBase = constrain(posicionBase - 5, 45, 135);
  }
  servoBase.write(posicionBase);
}

int diferenciaV = abs(lecturaSup - lecturaInf);
if (diferenciaV > umbralVertical) {
  if (lecturaSup > lecturaInf) {
    posicionBrazo = constrain(posicionBrazo - 3, 80, 120);
    posicionCodo = constrain(posicionCodo - 3, 70, 110);
  } else {
    posicionBrazo = constrain(posicionBrazo + 3, 80, 120);
    posicionCodo = constrain(posicionCodo + 3, 70, 110);
  }
  servoBrazo.write(posicionBrazo);
  servoCodo.write(posicionCodo);
}

if (posicionBrazo < 90) {
  posicionGarra = constrain(posicionGarra + 1, 50, 70);
} else {
  posicionGarra = constrain(posicionGarra - 1, 50, 70);
}
servoGarra.write(posicionGarra);

delay(1200);
```

Nota. Con esto se concluye la creación del algoritmo.

En cambio el movimiento vertical se ajusta si la diferencia de luz entre los LDR superior e inferior superan el umbral vertical, se ajustan las posiciones del brazo y el codo en incrementos o decrementos de 3 grados, asegurando que el panel mantenga una inclinación optima. Para la posición de la garra se ajusta ligeramente en función de la posición del brazo simulando, una adaptación adicional del sistema y por último se crea un retraso de 1.2 segundos al final de cada ciclo para evitar ajustes demasiado frecuentes y permitir una respuesta estable.

VI RESULTADO

6.1 Resultados base fija

.Los datos obtenidos a lo largo del día demuestran en la tabla 7, que el voltaje tiene valores mínimos de hasta 11.35V y valores máximos que llegan hasta 15.19V con un promedio de 14.09V a lo largo de las mediciones registradas, lo que indica una diferencia del 14.89%., ya que los valores máximos del panel fijo representan un 85.11% .

Tabla 7

Datos del panel solar fijo

| Hora | Voltaje (V) | Corriente (mA) | Potencia (mW) |
|--------------|-------------|----------------|---------------|
| 17:39:36.089 | 15.19 V | 0.30 mA | 4.00 mW |
| 17:39:37.083 | 15.19 V | 0.10 mA | 0.00 mW |
| 17:39:38.166 | 15.19 V | 0.00 mA | 4.00 mW |
| 17:39:39.206 | 15.19 V | 0.60 mA | 4.00 mW |
| 17:39:40.262 | 15.18 V | 0.00 mA | 0.00 mW |
| 17:39:41.281 | 15.18 V | 0.00 mA | 0.00 mW |
| 17:39:48.993 | 15.16 V | 0.20 mA | 4.00 mW |
| 17:42:39.482 | 14.58 V | 0.00 mA | 4.00 mW |
| 17:42:40.522 | 14.58 V | 0.10 mA | 0.00 mW |
| 17:42:41.518 | 14.57 V | 0.40 mA | 4.00 mW |
| 17:42:42.542 | 14.56 V | 0.20 mA | 4.00 mW |
| 17:42:43.578 | 14.56 V | 0.10 mA | 4.00 mW |
| 17:42:44.590 | 14.54 V | 0.10 mA | 4.00 mW |
| 17:42:45.617 | 14.54 V | 0.10 mA | 6.00 mW |
| 17:42:46.662 | 14.53 V | 0.10 mA | 0.00 mW |
| 17:42:47.666 | 14.53 V | 0.20 mA | 0.00 mW |
| 17:42:48.698 | 14.52 V | 0.40 mA | 6.00 mW |
| 17:42:49.734 | 14.52 V | 0.10 mA | 0.00 mW |
| 17:42:50.744 | 14.51 V | 0.30 mA | 4.00 mW |
| 17:42:51.798 | 14.50 V | 0.30 mA | 4.00 mW |
| 17:48:44.672 | 11.40 V | 0.10 mA | 0.00 mW |
| 17:48:45.719 | 1.38 V | 0.40 mA | 0.00 mW |
| 17:48:46.749 | 11.37 V | 0.40 mA | 4.00 mW |
| 17:48:47.818 | 11.36 V | 0.00 mA | 0.00 mW |
| 17:48:48.834 | 11.35 V | 0.20mA | 4.00 mW |
| Promedio | 14.09 V | 0.188mA | 2.56mW |

Nota: se obtuvieron los resultados obtenidos a lo largo del día, pero se plasmaron en el documento los mejores resultados.

Además, la corriente fluctúa entre 0.00mA y 0.60mA, lo que sugiere promedio de 0.188mA de conversión de energía debido a la falta de adaptación a los cambios en la posición del sol, representando un 22.22% con una diferencia del 77.78% con respecto al seguidor solar

La potencia generada presenta valores bajos, con registros de 0.00mW en múltiples instantes, y un máximo de 6.00mW con un promedio de 2.56mW. Esto demuestra que el panel de base fija, figura representa un 14.29% de potencia y que no puede optimizar su rendimiento en función de la disponibilidad de luz solar. Se evidencia una reducción progresiva del voltaje y la potencia conforme avanza el tiempo, dando una disminución en la captación debido a la posición estática del panel.

Figura 55

Panel solar base fija



Nota. El panel solar de base fija se fue cambiando de ángulos para una mejor captación de energía solar

Se evidencia una reducción progresiva del voltaje, y la potencia conforme avanza el tiempo, lo que significa una disminución en la captación solar debido a la posición estática del panel.

6.2 Resultado seguidor solar

Analizando y leyendo los datos se observa que hay un aumento del voltaje, la corriente y la potencia, ya que hay una mayor captación solar a lo largo del día. Esto se puede corroborar según la tabla 8, ya que, el voltaje tiene valores mínimos de 14.22V con valores máximos de hasta 17.85V, manteniendo un promedio de 16.79V. Esto significa un aumento positivo. Escriba aquí la ecuación de un 14.89% de voltaje entre el seguidor solar y el panel fijo.

Tabla 8

Datos del seguidor solar

| Hora | Voltaje (V) | Corriente(mA) | Potencia(mW) |
|--------------|-------------|---------------|--------------|
| 15:12:07.500 | 17.68 V | 2.50 mA | 42.00 mW |
| 15:12:08.239 | 17.61 V | 2.50 mA | 42.00 mW |
| 15:12:08.987 | 14.82 V | 1.90 mA | 26.00 mW |
| 15:12:09.746 | 16.40 V | 2.10 mA | 36.00 mW |
| 15:12:10.495 | 16.35 V | 1.90 mA | 30.00 mW |
| 15:12:11.253 | 14.22 V | 1.80 mA | 30.00 mW |
| 15:12:11.986 | 15.80 V | 2.00 mA | 32.00 mW |
| 15:12:12.744 | 17.38 V | 2.30 mA | 40.00 mW |
| 15:12:13.491 | 16.91 V | 2.30 mA | 40.00 mW |
| 15:12:14.234 | 16.01 V | 2.00 mA | 32.00 mW |
| 15:12:14.984 | 16.90 V | 2.30 mA | 32.00 mW |
| 15:12:15.750 | 16.94 V | 2.20 mA | 42.00 mW |
| 15:12:16.491 | 17.85 V | 2.10 mA | 36.00 mW |
| 15:12:17.253 | 17.66 V | 2.50 mA | 42.00 mW |
| 15:12:17.991 | 17.62 V | 2.70 mA | 36.00 mW |
| 15:12:18.732 | 17.70 V | 2.60 mA | 40.00 mW |
| 15:12:19.494 | 17.66 V | 2.30 mA | 40.00 mW |
| Promedio | 16.79 V | 2.24mA | 36.35mW |

Nota: se plasmaron los mejores resultados obtenidos del seguidor solar a lo largo del día

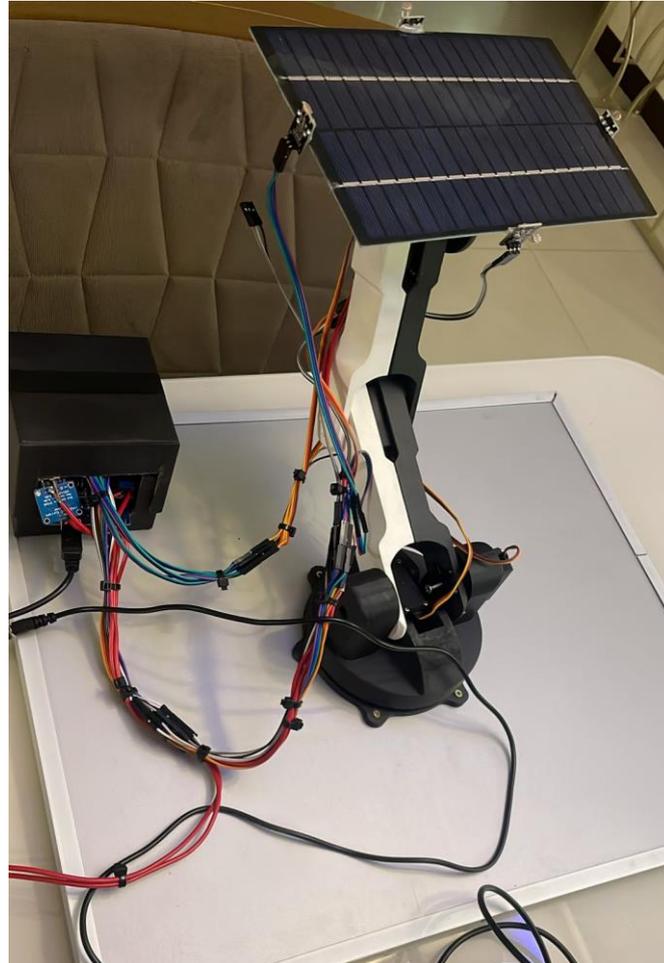
La corriente alcanza valores máximos de 2.70mA y valores mínimos de 1.8mA, lo que representa un aumento del 77.78% con respecto al sistema fijo. Este incremento de corriente está directamente relacionado con una mejor exposición al sol y una mayor generación de electrones en las celdas fotovoltaicas. La potencia generada es notablemente superior, con valores mínimos desde 26.00mW y máximos de 42.00mW, lo que representa un incremento del 85.71% comparado a un 14.29% del panel fijo.

Este aumento en la potencia confirma que el sistema de seguimiento solar, figura 56, permite un aprovechamiento más eficiente de la radiación solar durante el día. La estabilidad en los valores sugiere que el mecanismo de seguimiento solar optimiza la exposición a la

radiación solar, maximizando la generación de energía durante todo el periodo de pruebas. Esto es realmente importante para aplicaciones donde la energía generada debe mantenerse dentro de un rango óptimo de producción.

Figura 56

Seguidor solar conectado a un brazo robótico



Nota. El prototipo se fue moviendo a lo largo del día

VII CRONOGRAMA

El cronograma de actividades para el desarrollo del proyecto de titulación, distribuido a lo largo de aproximadamente 19 semanas, figura 57, abarca el periodo de trabajo desde noviembre a diciembre correspondiente al periodo académico 65.

Figura 57

Diagrama de Gantt de actividades para el desarrollo del Proyecto de Titulación

| ACTIVIDAD | INICIO | FIN | 30/1/2024 | 07/12/2024 | 07/12/2024 | 24/06/2024 | 26/12/2024 | 30/12/2024 | 31/12/2024 | 05/01/2025 | 06/01/2025 | 15/01/2025 | 16/01/2025 | 20/01/2025 | 22/01/2025 | 27/01/2025 | 28/01/2025 | 17/02/2025 |
|---|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1 Creación de los moldes en 3D del prototipo del brazo robótico | 30/11/2024 | 07/12/2024 | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 Compra de elementos para el prototipo del brazo robótico y del seguidor solar | 07/12/2024 | 24/12/2024 | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | |
| 3 Diseño del primer borrador del informe | 26/12/2024 | 30/12/2024 | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| 4 Diseño del segundo borrador | 31/12/2024 | 05/01/2025 | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | |
| 5 Ensamblaje del prototipo del brazo robot | 06/01/2025 | 15/01/2025 | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | |
| 6 Creación del código para el seguidor solar con el prototipo del brazo | 16/01/2025 | 20/01/2025 | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | |
| 7 Charla con el tutor sobre el informe de la tesis | 22/01/2025 | 27/01/2025 | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | |
| 8 Entrega final del prototipo con el informe de la tesis | 28/01/2025 | 31/01/2025 | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ |

Nota. El diagrama esta establecido desde noviembre hasta enero

VIII PRESUPUESTO

Tabla 9

Presupuesto estimado para el desarrollo del Proyecto de Titulación

| Cant. | Detalle | Valor unit | Valor total |
|--------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|
| 80 | Horas de ingeniería | \$2,81 | \$224,80 |
| 1 | Módulo de Corriente INA219 | \$6 | \$6 |
| 1 | Panel fotovoltaico | \$13,50 | \$13,50 |
| 1 | Arduino uno | \$18 | \$18 |
| 4 | Sensores LDR | \$1,50 | \$6 |
| 1 | Modulo y memoria microSD | \$8 | \$8 |
| 1 | Prototipo de brazo robótico | \$45 | \$45 |
| 2 | Servomotor MG996R | \$9 | \$18 |
| 2 | Servomotor MG995 | \$8 | \$8 |
| | | Valor total | \$340,30 |

Nota. Hubo cambios en el presupuesto para llegar a estos precios finales

IX CONCLUSIONES

El estudio comparativo entre un panel solar de base fija y un sistema de seguimiento solar ha permitido evidenciar la influencia del posicionamiento en la generación de energía fotovoltaica. Los resultados obtenidos demuestran que el sistema de seguimiento solar logra captar una mayor cantidad de energía a lo largo del día, optimizando la conversión de la radiación solar en electricidad.

En este análisis, se ha observado que el panel de base fija presenta una caída en la potencia generada a medida que la inclinación del sol cambia, debido a que su ángulo de exposición se aleja de una óptima captación solar. En contraste, el sistema de seguimiento solar permite mantener una orientación adecuada en todo momento, lo que se traduce en una mayor estabilidad y continuidad en la producción de energía.

Los datos recopilados muestran que el panel con seguimiento solar alcanza valores de voltaje superiores a 17.6V y corrientes de hasta 2.7mA, mientras que el panel fijo presenta fluctuaciones, llegando a valores tan bajos como 11.2V con una corriente máxima de 0.6mA, lo que evidencia periodos de baja energía solar. Además, la integración de los LDR y el microcontrolador Arduino Uno para el control de los servomotores ha permitido una automatización aceptable del sistema.

En conclusión, los resultados obtenidos validan la hipótesis de que un sistema de seguimientos solar mejora significativamente la captación de energía, aumentando la eficiencia del panel en comparación con un sistema de base fija. Esto es fundamental en aplicaciones donde se requiere maximizar la producción energética sin necesidad de aumentar el área de captación, representando una solución viable para la mejora del rendimiento de los sistemas.

X RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar un modelo de predicción basado en datos meteorológicos para anticipar la trayectoria solar y mejorar la respuesta del sistema en condiciones de lluvia, nublado o variaciones climáticas.

Utilizar servomotores con menor consumo y mayor torque, como los servos de corriente continua con reductora o motores paso a paso con drivers de eficiencia energética, para así implementar un sistema de retroalimentación y evitar movimientos innecesarios, asegurando que el seguidor solar solo se active cuando la ganancia de energía sea muy alta.

Implementar materiales de baja fricción en los ejes del sistema de seguimiento solar para reducir el desgaste mecánico, ya que se producen movimientos innecesarios, cuales provocan desgaste en las piezas del prototipo del brazo, dando averías innecesarias a futuro y afectando el rendimiento del seguidor solar.

La implementación de estas mejoras permitiría un aumento en la eficiencia energética del seguidor solar, optimizando tanto la captación de radiación solar. Además se reduciría el desgaste mecánico y se garantizaría una mayor autonomía y estabilidad en condiciones ambientales variables.

XI Bibliografía

- anonimo. (14 de noviembre de 2020). *que es un modulo de carga*. Obtenido de ribeter.org:
<https://ribeter.org/que-es-el-modulo-de-carga/>
- arduino. (s.f.). *arduino cl*. Obtenido de arduino.cl: <https://arduino.cl/arduino-uno/>
- Arrieta, v. (13 de febrero de 2019). *modulo fotorresistencia arduino sensor de luz*. Obtenido de arcaelectronica.com: <https://www.arcaelectronica.com/blogs/tutoriales/modulo-fotorresistencia-arduino-sensor-de-luz>
- BBVA. (12 de noviembre de 2024). *Energía solar: qué es y cómo se produce*. Obtenido de BBVA: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-energia-solar/>
- carrillo. (12 de abril de 2021). Obtenido de file:///C:/Users/Christopher/Downloads/6625-Manuscrito-34269-1-10-20201027.pdf
- Carrillo, M. V. (08 de Abril de 2021). Obtenido de <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa4/article/download/6625/7531/>
- clima, e. (30 de enero de 2025). *radiacion solar en Guayaquil*. Obtenido de tu tiempo: <https://www.tutiempo.net/radiacion-solar/guayaquil.html>
- cobots, c. (06 de 08 de 2021). *que es un cobot y cuales son sus ventajas*. Obtenido de cade cobots: <https://cadecobots.com/que-es-un-cobot/>
- comercio, e. (09 de diciembre de 2024). *Guayaquil tiene altas temperaturas y radiación 'muy alta'*. Obtenido de el comercio: <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/guayaquil-altas-temperaturas-radiacion-muy-alta-lunes-9-diciembre.html>
- Cordero, R. G. (2 de julio de 2024). *orientacion e inclinacion de las placas solares*. Obtenido de Sunfields Europe: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/como-varia-la-captacion-de-energia-solar-en-superficies-inclinadas/>
- descubre la energia. (12 de noviembre de 2021). *¿Qué es la energía solar térmica y en qué se diferencia de la fotovoltaica?* Obtenido de <https://descubrelaenergia.fundaciondescubre.es/>:
<https://descubrelaenergia.fundaciondescubre.es/sobre-la-energia/preguntas-y-respuestas/energias-renovables/que-es-la-energia-solar-termica>
- EcoEnergias. (15 de 12 de 2024). *que es un panel solar termico?* Obtenido de EcoEnergias: <https://casaecoenergias.com/que-es-un-panel-solar-termico/>
- EDSrobotics. (4 de 10 de 2021). *que es la robotica educativa*. Obtenido de EDSrobotics: <https://www.edsrobotics.com/blog/robotica-educativa-que-es/>

elecproy. (1 de octubre de 2024). *Robots Cartesianos: que son y como transforman la automatización*. Obtenido de elecproy.com: <https://elecproy.com/es/blog/robot-cartesiano-que-son-caracteristicas-tipos-aplicaciones/>

electronics, M. (20 de abril de 2021). *TOWER PRO MG995*. Obtenido de mcielectronics.com: https://mcielectronics.cl/shop/product/servomotor-mg995-180-grados/?srsltid=AfmBOoqQRlaCMwllvqZNTmwFJm8Vniwhb5qwJSRrGYKkv6_2MklMUTRw

Electronicsunit. (30 de junio de 2023). *tutorial LCD con I2C*. Obtenido de uelectronics.com: <https://uelectronics.com/producto/display-lcd-16x2-fondo-azul-amarillo-con-i2c/?srsltid=AfmBOorirocPJ1rfy9XGR3d8qLmh0YFjNm-kO7g6eqzI6fWlelEwkY7x>

endesa. (11 de diciembre de 2020). *como funcionan los paneles solares*. Obtenido de blog de endesa: <https://www.endesa.com/es/blog/blog-de-endesa/luz/como-funcionan-los-paneles-solares>

energia, e. d. (8 de septiembre de 2020). *baterias*. Obtenido de energyeducation: https://energyeducation.ca/Enciclopedia_de_Energia/index.php/Bater%C3%ADa

Esneca Business School. (7 de noviembre de 2022). Obtenido de esneca: https://www.esneca.lat/blog/brazo-robotico-aplicaciones-funciones/#%C2%BFQue_es_un_brazo_robotico

Etece, e. (5 de agosto de 2021). *panel solar*. Obtenido de concepto.de: https://concepto.de/panel-solar/?utm_source

factorenergia, e. t. (16 de mayo de 2023). *energias renovables: características, tipos y nuevos retos*. Obtenido de factorenergia: <https://www.factorenergia.com/es/blog/noticias/energias-renovables--tipos-nuevos-retos/>

fernandez, Y. (23 de septiembre de 2022). *xataka*. Obtenido de xataka.com: <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>

ferretonica. (15 de septiembre de 2020). *modulos de cargadores de baterias de litio*. Obtenido de ferretonica.com: https://ferretonica.com/collections/modulos?constraint=cargador-de-baterias-de-litio&srsltid=AfmBOoq_yIHeYnr97qCitm62nCcupAGrZlBJXaXNIXFE9nH-Tv-YGimi

ferrovial. (22 de mayo de 2021). *Robótica*. Obtenido de ferrovial.com: <https://www.ferrovial.com/es/innovacion/tecnologias/robotica/>

- Francovich, G. (2 de julio de 2024). *Apuesta al autoconsumo: KFC Ecuador inauguró la segunda fase de su planta solar en Quito*. Obtenido de Energiaestrategica: <https://www.energiaestrategica.com/apuesta-al-autoconsumo-kfc-ecuador-inauguro-la-segunda-fase-de-su-planta-solar-en-quito/>
- García, A. (29 de agosto de 2023). *Como maximizar el rendimiento de una placa solar ?* Obtenido de Cuervaenergía: <https://cuervaenergia.com/es/comunidad/construccion-e-instalacion/rendimiento-placa-solar/>
- Gavilan, I. G. (4 de ABRIL de 2022). *el precio del antropomorfismo en los robots*. Obtenido de Ignaciogavilan: <https://ignaciogavilan.com/el-precio-del-antropomorfismo-en-los-robots/>
- Gonzales, O. (12 de enero de 2023). *Todo lo que debes saber sobre las Baterías de Litio (LiPo)*. Obtenido de BricoGeek: <https://lab.bricogeek.com/tutorial/todo-lo-que-debes-saber-sobre-las-baterias-de-litio-lipo>
- GSL. (30 de ENERO de 2022). *SENSOR LDR*. Obtenido de industriasgsl.com: https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/sensor-ldr?srsltid=AfmBOorprrr_UZXQst0_slmOhtyBJSI4nMHF4Hn7Ucu0dagiyXudIp7r
- GSL, i. (30 de enero de 2022). *GSL Industrias*. Obtenido de industriasgls.com: https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/sensor-ldr?srsltid=AfmBOorUuOJ3wNzsnzknrK_o9CSUSE67AUsB_ywDhxYuy4EJjg-Gqn17
- HELLBOT. (13 de mayo de 2021). *Proyecto 24 – Display LCD 16×2 I2C*. Obtenido de Proyectos.hellbot.xyz: <https://proyectos.hellbot.xyz/proyecto-24-display-lcd-16x2-i2c/>
- Immodo Solar. (30 de septiembre de 2023). *Energía Solar Pasiva y Activa. ¿Qué son y en qué se diferencian?* Obtenido de immodo.es: <https://immodo.es/energia-solar-pasiva-y-activa-que-son-y-en-que-se-diferencian/>
- IngenioWeb. (4 de enero de 2024). *que es la energia solar y cual es su impacto en el medio ambiente?* Obtenido de Enercity: <https://enercitysa.com/blog/cual-es-la-importancia-de-los-paneles-solares-en-ecuador/>
- JIMIOT. (08 de 10 de 2024). *¿Cuáles son las ventajas del seguidor de energía solar?* Obtenido de sp.jimiiot.com: <https://sp.jimiiot.com/news/cuales-son-las-ventajas-del-seguidor-de-energia-solar.html>

Lane, C. (2 de febrero de 2024). *¿Qué es un seguidor solar? ¿Vale la pena hacer la inversión?* Obtenido de solarreviews: <https://www.solarreviews.com/es/blog/valen-seguidores-solares-la-inversion-adicional>

Lobon, s. (11 de mayo de 2021). *Energía solar pasiva: qué es, cómo funciona y cómo aprovecharla al máximo.* Obtenido de solarmente.es: <https://solarmente.es/blog/descubre-el-exitoso-diseno-de-un-hogar-solar-pasivo/>

Lozano, r. (21 de noviembre de 2021). *como medir corriente con un sensor INA219.* Obtenido de TalosElectronics.com: <https://www.taloselectronics.com/blogs/tutoriales/como-medir-corriente-con-sensor-ina219-arduino>

Muñoz, d. (23 de APRIL de 2023). *TECNOLOGIA DEL PLASTICO.* Obtenido de <https://www.plastico.com/es/noticias/robots-cartesianos-que-son-y-como-funcionan>

N4, v. c. (8 de abril de 2021). *introduccion de arduino.* Obtenido de <file:///C:/Users/Christopher/Downloads/6625-Manuscrito-34269-1-10-20201027.pdf>

National Geographic. (20 de abril de 2022). *la energia solar y su potencial para ayudar a reducir el calentamiento global.* Obtenido de National Geographic: [https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2022/04/la-energia-solar-y-su-potencial-para-ayudar-a-reducir-el-calentamiento-global#:~:text=No%20es%20de%20extra%C3%B1ar%20que,por%20sus%20siglas%20en%20ingl%C3%A9s\).](https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2022/04/la-energia-solar-y-su-potencial-para-ayudar-a-reducir-el-calentamiento-global#:~:text=No%20es%20de%20extra%C3%B1ar%20que,por%20sus%20siglas%20en%20ingl%C3%A9s).)

National Geographic. (26 de mayo de 2022). *que es la energia solar?* Obtenido de National geographic.es: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/que-es-la-energia-solar?>

Naylampmechatronics. (10 de marzo de 2021). *sensorshieldv5.* Obtenido de [naylampmechatronics.com: https://naylampmechatronics.com/ardusystem-shields/109-sensor-shield-v5.html](https://naylampmechatronics.com/ardusystem-shields/109-sensor-shield-v5.html)

Nehuen, T. (3 de noviembre de 2023). *radiacion solar.* Obtenido de definicion.de: <https://definicion.de/radiacion-solar/>

nibib. (21 de noviembre de 2024). *sensores.* Obtenido de [nibib.nih.gov: https://www.nibib.nih.gov/espanol/temas-cientificos/sensores#:~:text=la%20atenci%C3%B3n%20m%C3%A9dica%3F,%20BFQu%C3%A9%20son%20los%20sensores%3F,cantidades%20y%20caracter%C3%ADsticas%20que%20detectan.](https://www.nibib.nih.gov/espanol/temas-cientificos/sensores#:~:text=la%20atenci%C3%B3n%20m%C3%A9dica%3F,%20BFQu%C3%A9%20son%20los%20sensores%3F,cantidades%20y%20caracter%C3%ADsticas%20que%20detectan.)

omron. (2022). *omron.* Obtenido de [omron: https://industrial.omron.pt/pt/products/tm-cobot](https://industrial.omron.pt/pt/products/tm-cobot)

Peña, m. (22 de AUGUST de 2021). *INNOVACION Y TECNOLOGIA.*

- Peña, P. (28 de septiembre de 2024). *optimizacion de la cinematica directa en robotica*. Obtenido de robotica10.com: <https://robotica10.com/robotica/cinematica-directa-robotica/>
- Planas, O. (20 de Agosto de 2023). *reguladores de voltaje*. Obtenido de energiasolar.net: https://solar-energia.net/electricidad/circuito-electrico/regulador-de-voltaje#google_vignette
- plexylab. (16 de mayo de 2021). *mg996R* . Obtenido de plexylab.com: <https://www.plexylab.com/product-page/servomotor-servo-motor-mg996r-de-alto-torque-de-360-rotaci%C3%B3n-continua>
- Quiroa, M. (09 de noviembre de 2019). *energia renovable*. Obtenido de economipedia: <https://economipedia.com/definiciones/energia-renovable.html>
- Quití Kites. (31 de agosto de 2023). *antropomorfismo en los robots*. Obtenido de quitíweb: <https://www.quitíweb.com/antropomorfismo-en-los-robots/>
- repsol. (15 de septiembre de 2023). *innovacion bajo el sol*. Obtenido de repsol: <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/seguidores-solares/index.cshtml>
- Repsol. (14 de septiembre de 2023). *innovacion bajo el sol*. Obtenido de repsol.com: <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/seguidores-solares/index.cshtml>
- Repsol. (15 de septiembre de 2023). *innovacion bajo el sol*. Obtenido de repsol.com: <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/seguidores-solares/index.cshtml>
- repsol. (04 de junio de 2024). *todas las ventajas que ofrece la energia solar*. Obtenido de repsol: <https://www.repsol.es/particulares/asesoramiento-consumo/ventajas-de-la-energia-solar/>
- RoboDK. (2024). *RoboDK*. Obtenido de RobDK.COM: <https://robodk.com/robot/es/Mitsubishi/RV-2AJ#:~:text=El%20robot%20Mitsubishi%20RV%2D2AJ,2AJ%20incluye%3A%20Manipulaci%C3%B3n%20de%20materiales.>
- roboticoss. (12 de abril de 2021). *la cinematica en la robotica*. Obtenido de roboticoss.com: <https://roboticoss.com/la-cinematica-en-la-robotica/>
- robotnik. (2 de noviembre de 2021). *historia de los robots y la robotica*. Obtenido de robotnik: <https://robotnik.eu/es/historia-de-los-robots-y-la-robotica/>

Robots, R. d. (23 de 05 de 2023). *Revista de Robots*. Obtenido de Revista de Robots:
<https://revistaderobots.com/robots-y-robotica/robot-scara-articulados-caracteristicas-y-marcas/?cn-reloaded=1>

samsung. (13 de abril de 2022). *Descripcion de funcionamiento de un LCD*. Obtenido de samsung.com: <https://www.samsung.com/latin/support/tv-audio-video/how-does-the-lcd-display-work/>

sawers. (13 de agosto de 2020). *Panel Solar 4.2W 200*130mm 18V policristalino*. Obtenido de sawers.com: <https://tienda.sawers.com.bo/paneles-solares/panel-solar-18v-4-2w-200-130mm-policristalino>

Sicma21. (25 de octubre de 2021). *Sicma21*. Obtenido de sicma21.com:
<https://www.sicma21.com/robots-industriales-tecnologia-y-aplicaciones/>

solar, l. e. (30 de enero de 2025). *seguidor solar*. Obtenido de laenergiasolar.com:
<https://laenergiasolar.org/energia-fotovoltaica/seguidor-solar/>

sostenible, m. d. (12 de julio de 2020). *caracteristicas de la radiacion solar*. Obtenido de ideam.gov.co: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-solar>

sotysolar. (29 de diciembre de 2023). Obtenido de sotysolar.es: <https://sotysolar.es/placas-solares/que-son-y-como-funciona>

tecmikro. (15 de julio de 2020). *Arduino UNO R3: caracteristicas*. Obtenido de tecmikro.com: <https://tecmikro.com/content/17-arduino-uno-r3-caracteristicas>

tecnicat. (15 de 01 de 2024). *Intoducccion a los robots antropomorfos* . Obtenido de tecnicat: <https://tecnicat.cat/actualidad/introduccion-a-los-robots-antropomorfos/>

The Climate Reality Project. (20 de Abril de 2022). *PAISES DE AMERICA LATINA QUE YA USAN ENERGIA RENOVABLE*. Obtenido de The Climate Reality Project:
<https://www.climatereality.lat/paises-de-america-latina-que-ya-usan-energias-renovables/>

UI, k. (23 de agosto de 2021). *TIPOS DE SEGUIDORES SOLARES*. Obtenido de keeui.com:
<https://keeui.com/2021/08/23/tipos-de-seguidores-solares/>

Universal Robots. (28 de enero de 2025). *Cobots y Robótica Colaborativa - Que son, que funciones pueden realizar y sus ventajas*. Obtenido de Universal Robots:
<https://www.universal-robots.com/es/cobots-robots-colaborativos/>