

Estudio de un sistema seguidor electrónico solar de dos ejes para incrementar el tiempo de operación fotovoltaico en laboratorios de la carrera de tecnología superior en electricidad.**Study of a two-axis electronic solar tracking system to increase the operation time of photovoltaic panels in laboratories of the higher technology program in electricity**

Tnglo. Ruiz Jiménez Jean Carlos, Tnglo. Latacunga Reyes Luis Ricardo, Ing. Alex Fabián Estrella, Mgs.

**CONFLUENCIA DE
INNOVACIONES CIENTÍFICAS
Enero - junio, V°5-N°1; 2024**

- ✓ **Recibido:** 16/02/2024
 - ✓ **Aceptado:** 23/02/2024
 - ✓ **Publicado:** 30/06/2024
- PAIS**

- Ecuador, Santo Domingo
- Ecuador, Santo Domingo
- Ecuador, Santo Domingo

INSTITUCIÓN

- Instituto Superior Tecnológico Tsachila
- Instituto Superior Tecnológico Tsachila
- Instituto Superior Tecnológico Tsachila

CORREO:

- ✉ luislatacungareyes@tsachila.edu.ec
- ✉ jeanruizjimenez@tsachila.edu.ec
- ✉ alexestrella@tsachila.edu.ec

ORCID:

- 🌐 <https://orcid.org/0009-0006-0980-2909>
- 🌐 <https://orcid.org/0009-0009-5054-0615>
- 🌐 <https://orcid.org/0009-0006-0980-2909>

FORMATO DE CITA APA.

Ruiz, J. Latacunga, L. Estrella, F. (2024). *Estudio de un sistema seguidor electrónico solar de dos ejes para incrementar el tiempo de operación fotovoltaico en laboratorios de la carrera de tecnología superior en electricidad*. Revista G-ner@ndo, V°5 (N°1), 361 – 383.

Resumen

La energía fotovoltaica es una tecnología que transforma la luz solar en energía eléctrica. Una de sus aplicaciones es el seguimiento solar para mejorar la eficiencia energética, logrado a través de dispositivos llamados seguidores solares. Estos equipos se crearon para superar la limitación de que los paneles solares no pueden ajustar automáticamente su orientación según el movimiento del sol de este a oeste. Para mantener la óptima orientación hacia el sol, los seguidores solares incorporan fotocélulas que sincronizan su movimiento con la posición solar. Durante un periodo de 12 horas, la fotocélula guía el desplazamiento del seguidor solar y ajusta el panel en consecuencia mediante instrucciones al motor. Este seguimiento continuo maximiza la exposición del panel al sol, generando así la máxima potencia posible al concentrar la luz solar de manera efectiva. Los seguidores solares, operando como seguidores activos, se adaptan a la posición del sol y se controlan mediante un sistema que también considera la puesta de sol. Como resultado, estos dispositivos contribuyen al ahorro de electricidad al aprovechar al máximo la generación de energía solar mediante un mayor tiempo de exposición directa del panel fotovoltaico con el sol, el mismo es una fuente renovable y sostenible de energía.

Palabras Clave: Energía fotovoltaica, paneles solares, energía renovable, seguidor solar, orientación.

.Abstract

Photovoltaic energy is a technology that converts sunlight into electrical power. One of its applications is solar tracking to enhance energy efficiency, achieved through devices known as solar trackers. These systems were developed to overcome the limitation that solar panels cannot automatically adjust their orientation according to the sun's east-to-west movement. To maintain optimal alignment with the sun, solar trackers incorporate photocells that synchronize their movement with the solar position. Over a 12-hour period, the photocell guides the solar tracker's movement, adjusting the panel accordingly through instructions to the motor. This continuous tracking maximizes the panel's exposure to the sun, generating the maximum possible power by effectively concentrating solar light. Solar trackers, functioning as active followers, adapt to the sun's position and are controlled by a system that also takes sunset into account. As a result, these devices contribute to electricity savings by maximizing solar energy generation through an extended direct exposure time of the photovoltaic panel to the sun. It is a renewable and sustainable source of energy.

Keywords: Photovoltaic energy, solar panels, renewable energy, solar tracker, orientation.

Introducción

La electricidad es un conjunto de sucesos físicos asociados por el desplazamiento de electrones en los átomos que componen cualquier tipo de sustancia (Areategnologia, 2022).

La búsqueda de fuentes alternativas de energía es un tema controvertido en todo el mundo. Teniendo en cuenta su impacto ambiental, los combustibles fósiles son la mayor fuente de consumo de energía del mundo para motores térmicos y otros sistemas utilizados en la vida diaria, como automóviles, vehículos de aviación y marinos, etc. (Larrea, 2018). La potencia solar es la transformación inmediata de la irradiación solar en electricidad. Este proceso ocurre en dispositivos conocidos como módulos solares. Dentro de estos módulos, la radiación solar estimula los electrones en los componentes semiconductores, generando una mínima disparidad de voltaje. La unión en serie de estos componentes facilita una disparidad de voltaje más amplia (Renovables, 2021).

Para prevenir la contaminación, se recurre a fuentes alternativas de energía, entre las que se incluyen la energía eólica, la energía solar, entre otras. La energía alternativa se caracteriza por no depender de la extracción de combustibles fósiles. Su objetivo primordial consiste en reducir el consumo de energía proveniente de fuentes fósiles y mitigar las emisiones de dióxido de carbono. Aunque su propósito principal es servir como sustituto, es importante señalar que la energía alternativa se emplea en diversas aplicaciones, y, en algunos casos, los resultados pueden ser comparables con los obtenidos mediante fuentes convencionales (Larrea, 2018). El presente proyecto se enfoca en el estudio de un sistema seguidor electrónico solar de dos ejes para incrementar el tiempo de operación fotovoltaico en laboratorios de la carrera de Tecnología Superior en Electricidad, el cual optimizará la captura de energía. Inicialmente, se va realizar el estudio y el cálculo de los siguiente aspectos, cuantos fotones se puede obtener con el movimiento que se va conseguir gracias a su dos ejes que va a implementar en el panel solar esto va a tener una atracción solar durante los 12 hora que el sol estará en su bajo y alto esplendor, estos ejes van a tener dos movimiento, uno de 180 y otro 360 grados, para una mejor

recolección de radiación solar esto ayudara para obtener una mejor recolección y una mayor cantidad de fotones para una mejor carga de las baterías.

La implementación del seguidor solar de dos ejes va a beneficiar a los usuarios ya que el tener un panel estático en un lugar fijo no recolectaría la energía que se podría obtener en todo el día, con el seguidor solar estaría captando la energía de un 80 % - 90 % aproximadamente que se podrá tener durante todo el día carga del panel fotovoltaico. En los últimos años, el uso de energías renovables se ha generalizado cada vez más estable y progresivo, no solo por los beneficios ambientales, sino también por las condiciones de operación su costo, disponibilidad ilimitada e impacto social.

Es relevante empezar considerando que se ha calculado que la cantidad de energía solar recibida en la superficie terrestre equivale a 178000 teravatios por año. Se estimaba que esta cantidad era 15.000 veces superior al consumo global en 1990. No obstante, aproximadamente el 30% de esta energía se devuelve al espacio, mientras que el otro 50% es absorbido, transformado en calor y devuelto a la superficie terrestre. De esta última porción, 49.000 teravatios-año se reemiten como radiación electromagnética, como energía térmica, y 40.000 teravatios-año como energía térmica en sí misma (CONELEC, 2008). A nivel nacional e internacional, la energía solar fotovoltaica se ha empleado para transformar la radiación solar directamente en electricidad mediante una tecnología fundamentada en el efecto fotovoltaico (Agencia Internacional de la Energía , 2018).

Según la normativa ARCERNNR 001-2021, en vigor desde abril de 2021, se permite a cualquier individuo instalar paneles solares en su residencia o establecimiento comercial para generar electricidad destinada a su propio consumo. La autorización de dichas instalaciones solares debe gestionarse mediante el proveedor de energía (empresa eléctrica) de la zona correspondiente, quien examinará los aspectos técnicos antes de otorgar su aprobación (Airis, 2021). Cuando la radiación solar incide sobre la superficie de una celda fotovoltaica (que

constituye el panel), se genera una disparidad de voltaje entre las dos superficies, lo que ocasiona el desplazamiento de electrones de un punto a otro, originando así una corriente eléctrica. La relevancia de este estudio reside en el análisis estructural inicial, el cual ha permitido identificar la fuente de energía alternativa más adecuada para este proyecto, en este caso la energía solar mediante el uso de seguidores fotovoltaicos, considerando sus ventajas y sus posibles aplicaciones. Teniendo en cuenta aspectos relacionados, como los perfiles metálicos; Máximo y mínimo esfuerzo y resistencia para quienes buscan construcciones livianas y económicas, situación que muchos proyectos y publicaciones anteriores no contemplan porque su enfoque se basa en evaluar la eficiencia energética y su desempeño frente a otras fuentes de energía (Coelho, 2014).

El correcto análisis estructural y diseño de sistemas como seguidores solares podrán aportar un beneficio económico al proyecto, ya que la comparación y el análisis permiten seleccionar el material más adecuado en términos de peso, resistencia y coste de desarrollo. De esta forma, se reduce el esfuerzo estructural además de determinar su función aplicativa. Además, reduce la energía requerida en el actuador, lo que a su vez disminuye el consumo de energía de la batería y el costo de compra del actuador. Además, a partir del diseño y las dimensiones en función de los productos del mercado, se pueden crear modelos y simulaciones más precisos, asignando materiales, preseleccionados y determinando posibles errores y choques no definidos y tomando en consideración en los cálculos utilizados en estos análisis previos (Areategnologia, 2022).

Métodos y material

La modalidad de la investigación adoptó un enfoque cualitativo, ya que este método era el más adecuado para el estudio en cuestión. Los métodos cualitativos permiten al investigador observar más directamente el fenómeno en estudio en su campo de trabajo y en su entorno natural, al estar más relacionado con la parte social, se estima que no tiene métodos predeterminados de recogida de información, salvo la resolución de perfiles más subjetivos.

Al haber aplicado este método en la investigación, el objetivo no se limitaba únicamente al diagnóstico del problema, sino que también buscaba ofrecer diversas alternativas para su solución. En el estudio del sistema seguidor electrónico solar de dos ejes para prolongar el tiempo de operación de los paneles fotovoltaicos en laboratorios de la carrera de Tecnología Superior en Electricidad, se diseñó mediante análisis y cálculos para maximizar el alcance de los paneles y garantizar una mayor recolección eléctrica en dichos laboratorios. Este proyecto tuvo un enfoque exploratorio basado en la investigación de varios criterios de tesis previamente realizadas. Como resultado, se buscó proporcionar una comprensión más clara del comportamiento de los paneles solares en los laboratorios, con el objetivo de mejorar el sistema fotovoltaico presente en las instalaciones del Instituto Tsa'chila y resolver las dudas de los estudiantes sobre este tema.

La investigación se llevó a cabo en el área de laboratorio del Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila, que disponía de paneles solares en el laboratorio de la carrera de tecnología superior en electricidad, ubicado en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. Se obtuvo previamente la autorización de las autoridades de la institución. El proceso de recolección de datos se extendió a lo largo de cuatro meses. Teniendo en cuenta que el objetivo consistía en el diseño de un seguidor solar de dos ejes para sistemas fotovoltaicos mediante paneles solares en el Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila, el proyecto de investigación contribuirá a la mejora los laboratorios de la carrera tecnológica superior en Electricidad y

asegurar la eficiencia de los actuadores solares. En consecuencia, se procedió a realizar el diseño para garantizar la funcionalidad adecuada del panel.

Análisis de resultado

Eficiencia Energética Mejorada

Se observó un aumento significativo en la eficiencia de captación de energía solar en comparación con sistemas estáticos. Los paneles solares pudieron ajustar dinámicamente su posición para maximizar la exposición a la luz solar directa a lo largo del día.

Incremento en la Producción de Energía

Los ajustes continuos en los ejes horizontal y vertical permitieron un aumento en el tiempo de exposición de los paneles solares a la luz solar. Esto resultó en una mayor producción de energía eléctrica en comparación con sistemas estáticos no optimizados.

Adaptabilidad a Condiciones Cambiantes

El sistema demostró ser adaptable a las variaciones en la intensidad luminosa debido a cambios climáticos y estacionales. Los ajustes dinámicos permitieron una respuesta efectiva a las condiciones ambientales cambiantes.

Aplicación Educativa Exitosa

En entornos educativos, el proyecto demostró ser una herramienta valiosa para la enseñanza práctica de conceptos relacionados con la energía solar, sensores de luz y control de servomotores. Los estudiantes lograron comprender los principios detrás del seguimiento solar y su impacto en la eficiencia energética.

Impacto en la Eficiencia Operativa

Los resultados confirman la eficacia del sistema de seguimiento solar de dos ejes en la mejora de la eficiencia operativa de los paneles solares. El ajuste continuo optimiza la orientación, minimizando las pérdidas por sombras y maximizando la captación de luz solar.

Sostenibilidad y Responsabilidad Ambiental

El proyecto destaca la contribución a la sostenibilidad al aprovechar de manera más eficiente la energía solar disponible. Reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables refleja un compromiso con la responsabilidad ambiental.

Desafíos y Oportunidades de Mejora

Durante la implementación, se identificaron desafíos como la necesidad de una alimentación eléctrica constante para los servomotores y la importancia de un control preciso. Estos desafíos ofrecen oportunidades para futuras mejoras en términos de eficiencia energética y robustez del sistema.

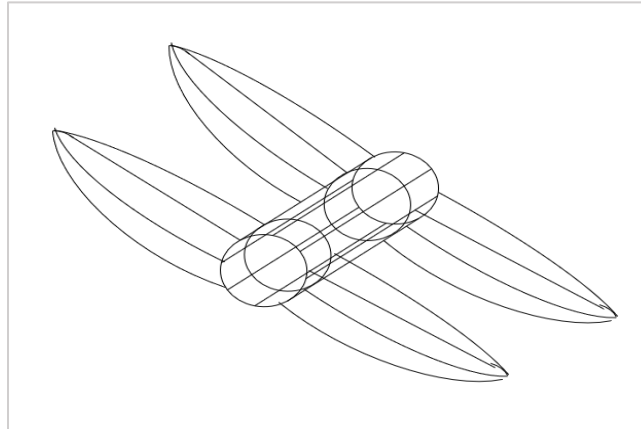
Validación de la Investigación Anterior

Los resultados obtenidos son coherentes con investigaciones anteriores que respaldan la eficacia de los sistemas de seguimiento solar en entornos variables. Este proyecto valida la aplicabilidad de dichos conceptos en un contexto educativo y práctico.

Dimensionamiento del soporte del panel

En esta sección, se persigue establecer un peso y tamaño uniforme para el soporte, ya que hay diversos paneles solares con dimensiones variables según sus especificaciones técnicas. El objetivo es asegurar que el soporte del panel pueda ajustarse a la variedad de paneles solares disponibles en el mercado.

Figura 1. Boceto de soporte del panel



Nota. Elaboración propia.

Dimensiones:

Radio exterior (R_{ext}): 10 cm

Altura (h): 70 cm

Grosor (d): 1.4 cm

Cálculos:

Calculamos el radio interior (R_{int}): $R_{int} = R_{ext} - \frac{d}{2}$ $R_{int} = 10 - \frac{1.4}{2} = 9.3$ cm

Calculamos el volumen (V) utilizando la fórmula del cilindro hueco:

$$V = \pi h (R_{ext}^2 - R_{int}^2)$$

$$V \approx \pi \times 70 \times (10^2 - 9.3^2)$$

$$V \approx \pi \times 70 \times 13.51$$

Calculamos el peso (P) utilizando la relación $P = \rho V$, donde ρ es la densidad del aluminio (2.7 g/cm³):

$$P = 2.7 \times \pi \times 70 \times 13.51$$

Convertimos el peso de gramos a kilogramos (1 kg = 1000 g).

Convertimos el peso de gramos a libras (1 lb = 453.592 g).

Cálculos:

$$P \approx 2.7 \times \pi \times 70 \times 13.51$$

Calculando este valor y realizando las conversiones:

$$P \approx 2.7 \times 3.1416 \times 70 \times 13.51$$

$$P \approx 8021.73 \text{g}$$

Ahora, convertimos a kilogramos:

$$P_{\text{kg}} = \frac{8021.73 \text{g}}{1000} \approx 8.021 \text{ kg}$$

Y convertimos a libras:

$$P_{\text{lb}} = x = \frac{8021.73 \text{g}}{453.592} \approx 17.68 \text{ lb}$$

Por lo tanto, el peso aproximado del cilindro hueco de aluminio es de aproximadamente 2.79 kg o 6.15 lb

CALCULO DOS:**Dimensiones:**

Lado del cuadrado exterior (a_{ext}): 2.5cm

Grosor (d): 1.4 cm

Longitud (L): 70 cm

Cálculo:

Calculamos el lado del cuadrado interior (a_{int}): $a_{\text{int}} = a_{\text{ext}} - d$

$$a_{\text{int}} = 2.5 - 1.4 = 1.1 \text{cm}$$

Calculamos el volumen (V) utilizando la fórmula del tubo cuadrado:

$$V = L \times (a_{\text{ext}}^2 - a_{\text{int}}^2)$$

$$V \approx 75 \times (2.5^2 - 1.1^2)$$

$$V \approx 75 \times (6.25 - 1.21)$$

$$V \approx 75 \times 5.04$$

$$V \approx 378 \text{cm}^3$$

Calculamos el peso (P) utilizando la relación $P = \rho V$, donde ρ es la densidad del aluminio (2.7 g/cm^3):

$$P = 2.7 \times 352.8$$

Conversión a libras y kilogramos:

Convertimos el peso de gramos a kilogramos ($1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$).

Convertimos el peso de gramos a libras ($1 \text{ lb} = 453.592 \text{ g}$).

Vamos a realizar estos cálculos:

$$P \approx 2.7 \times 352.8$$

Calculando este valor y realizando las conversiones:

$$P \approx 952.56 \text{ g}$$

Ahora, convertimos a kilogramos:

$$P_{\text{kg}} = \frac{952.56 \text{ g}}{1000} \approx 0.95 \text{ kg}$$

Y convertimos a libras:

$$P_{\text{lb}} = \frac{952.56 \text{ g}}{453.592} \approx 2.10 \text{ lb}$$

Por lo tanto, el peso aproximado del tubo cuadrado de aluminio es de aproximadamente 0.95 kg o 2.10 lb.

Cálculo del peso de la estructura del segundo eje:

El cilindro hueco tiene un radio exterior de 10 cm y un grosor de 1.20 mm.

Calcularemos el radio interior restando el grosor del radio exterior:

Para mantener las unidades consistentes, convertiremos el grosor a centímetros (ya que $1 \text{ cm} = 10 \text{ mm}$):

Ahora, calcularemos el volumen del cilindro hueco el volumen de un cilindro se calcula con la fórmula:

$$V = \pi \times h \times (r_{ext}^2 - r_{int}^2)$$

Donde:

V es el volumen.

π es aproximadamente 3.14159.

h es la altura del cilindro.

r_{ext} es el radio exterior.

r_{int} es el radio interior.

Calculamos el volumen

$$V = \pi \times 120 \text{ cm} \times (10 \text{ cm}^2 - 9.88 \text{ cm}^2)$$

$$V = \pi \times 120 \text{ cm} \times (100 \text{ cm}^2 - 97.4544 \text{ cm}^2)$$

$$V = \pi \times 120 \text{ cm} \times 2.5456 \text{ cm}^2$$

$$V = 964.67\pi \text{ cm}^3$$

La densidad del aluminio es aproximadamente 2.7 g/cm³ 2700 kg/m³.

Ahora, calculamos la masa utilizando la fórmula

$$\text{Masa} = \text{Volumen} \times \text{Densidad}$$

$$\text{Masa} = 964.67\pi \text{ cm}^3 \times 2.7 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Masa} = 2603.36\pi \text{ g}$$

Para convertir la masa a libras o kilogramos, utilizando $\pi = 3.14159$

En libras:

$$\text{Masa (libras)} = 2603.36\pi \text{ g} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \times \frac{2.20462 \text{ lbs}}{1 \text{ kg}}$$

$$\text{Masa (libras)} = 14.42 \text{ lbs.}$$

En kilogramos:

Por lo tanto, el cilindro hueco de aluminio tiene aproximadamente un peso de 14.42

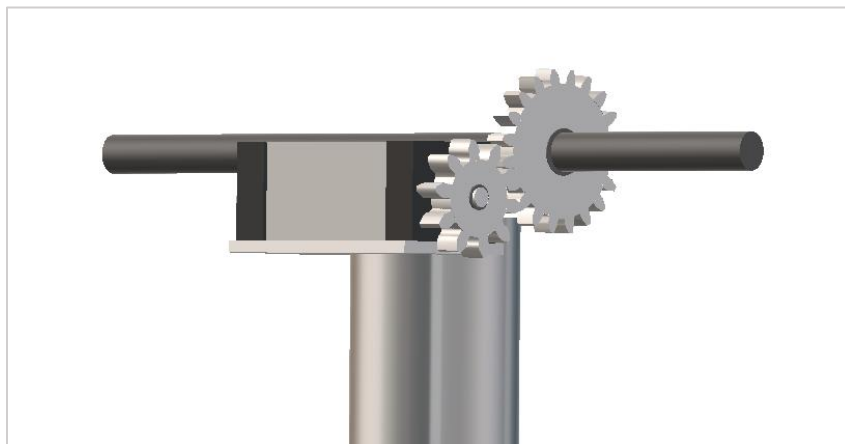
libras o 2.60336

Tabla 1 Paneles solares más eficientes del 2021

Fabricante	Modelo	Eficiencia del panel	Potencia del panel	Tamaño (Largo x ancho) mm	Peso kg
SunPower	MAX3-400	22.6%	400W	1.690 x 1.046	19
SunPower	MAX3-390	22.1%	390W	1.690 x 1.046	19
Futura	FU360M Zebra	21.28%	350W	1.685 x 1.004	19.5
SunPower	MAX3-370	20.9%	370W	1.690 x 1.046	19
LG Neon R	LG360Q1C-A5	20.8%	360W	1.700 x 1.016	17.5
Futura	FU350M Zebra	20.69%	350W	1.685 x 1.004	19.5
LG	LG355Q1C-A5	20.6%	355W	1.700 x 1.016	17.5
AUO	SunForte PM096B00	20.6%	335W	1.559 x 1.046	18.6
SunPower	MAX2-360	20.4%	360W	1.690 x 1.046	19
AUO	SunForte PM096B00	20.3%	330W	1.559 x 1.046	18.6
SunPower	MAX3-350	19.8%	327W	1.690 x 1.046	19
Panasonic	VBHN330SJ53	19.7%	330W	1.590 x 1.053	18.5
Panasonic	VBHN325SJ53	19.4%	325W	1.590 x 1.053	18.5
Eco green energy	EGE-375M	19.3%	375W	1.956 x 992	22.8

Nota. Datos tomados de Alonso (2021)

Figura 2. Dimensionamiento de eje 1



Nota. Elaboración propia

En el cálculo de la fuerza necesaria en el eje 1 de un seguidor solar de dos ejes, se utilizaron varias fórmulas para tener en cuenta el peso del panel solar y la fuerza adicional generada por un motor de paso a paso. Inicialmente, se convirtió el par de torsión proporcionado

por el motor a una fuerza lineal utilizando la relación entre el par de torsión y el radio del brazo de palanca. Este paso se realizó mediante la fórmula $F_{\text{soporte}} = \frac{T}{r}$, donde soporte F_{soporte} es la fuerza adicional debida al soporte, T es el par de torsión y r es el radio del brazo de palanca.

Luego, se incorporó esta fuerza adicional en la fórmula principal que tiene en cuenta el peso del panel solar. La fórmula utilizada fue $F_{\text{eje1}} = m \cdot g \cdot \cos(\theta) \cdot \cos(\phi) + F_{\text{soporte}}$, donde eje F_{eje1} representa la fuerza en el eje 1, m es la masa del panel solar, g es la aceleración debida a la gravedad, θ es el ángulo de inclinación del panel y ϕ es la latitud del lugar. Esta ecuación considera tanto la componente gravitacional como la fuerza adicional generada por el motor, brindando así una estimación integral de la fuerza requerida para mantener el panel solar en posición óptima.

Cálculo del par de torsión en newton-metros (Nm):

$$T = 40 \text{ kg} \cdot 0.0981 \text{ Nm/kg}$$

$$T \approx 3.924 \text{ Nm}$$

Cálculo de la fuerza adicional debida al soporte (F_{soporte}):

$$F_{\text{soporte}} = \frac{T}{r}$$

$$F_{\text{soporte}} = \frac{3.924 \text{ Nm}}{10 \text{ m}}$$

$$F_{\text{soporte}} \approx 0.3924 \text{ N}$$

Cálculo de la fuerza en el eje 1 (eje1) (F_{eje1}):

$$F_{\text{eje1}} = m \cdot g \cdot \cos(\theta) \cdot \cos(\phi) + F_{\text{soporte}}$$

$$F_{\text{eje1}} = (12 \text{ kg}) \cdot (9.81 \text{ m/s}^2) \cdot \cos(90^\circ) \cdot \cos(60^\circ) + 0.3924 \text{ N}$$

$$F_{\text{eje1}} \approx 117.72 \text{ N} + 0.3924 \text{ N}$$

$$F_{\text{eje1}} \approx 118.1124 \text{ N}$$

Por lo tanto, la fuerza necesaria en el eje 1, considerando el peso del panel y la fuerza adicional del motor de paso a paso, es aproximadamente 118.1124 N 118.1124N.

Fuerza que va a ejercer el segundo eje

Las fórmulas utilizadas para calcular el peso del primer eje y de una pieza adicional, que actúan sobre el segundo eje, están fundamentadas en el concepto básico de peso como el producto de la masa y la aceleración debida a la gravedad. Para el primer eje, la fórmula $P=m \cdot g$ se aplica, donde P es el peso, m es la masa del primer eje y g es la aceleración debida a la gravedad (9.8 m/s² 9.8m/s²). Convertimos la masa a peso multiplicando por la gravedad. Similarmente, para la pieza adicional, la fórmula $P_{pieza}=m_{pieza} \cdot g$ se emplea, donde m_{pieza} es la masa de la pieza. Estas fórmulas se expresan matemáticamente como $P= m \cdot g$ y $P_{pieza}=m_{pieza} \cdot g$, proporcionando los pesos en newtons que luego se suman para obtener la carga total actuando sobre el segundo eje.

Para calcular la fuerza en el segundo eje durante un movimiento de 0 a 90 grados, necesitamos tener en cuenta tanto el trabajo mecánico realizado por el motor como los pesos involucrados.

Primero, calculemos el trabajo realizado por el motor al moverse de 0 a 90 grados. Utilizamos la fórmula del trabajo:

$$W=\text{Fuerza} \cdot \text{Desplazamiento}$$

Donde:

La fuerza (Fuerza) es la fuerza generada por el motor de paso a paso (que se calcula como $= \frac{\text{Torque}}{\text{Radio}}$).

El desplazamiento (Desplazamiento) es la distancia radial que se mueve el motor durante el movimiento angular (que se calcula como $r \cdot \theta$).

Calcular el trabajo realizado por el motor

$$\text{Fuerza} = \frac{40\text{kg} \cdot \text{cm}}{10\text{cm}} \times 9.8\text{m/s}^2$$

$$\text{Desplazamiento} = 0.1\text{m} \times \frac{\pi}{2}$$

$$W_{\text{motor}} = \text{Fuerza} \cdot \text{Desplazamiento}$$

Calculando esto:

$$W_{\text{motor}} \approx 12.32\text{J}$$

Sumar el trabajo realizado por el motor al trabajo realizado contra la gravedad

$$W_{\text{total}} = W_{\text{motor}} + (P_{\text{primer eje}} + P_{\text{pieza}}) \cdot \text{Desplazamiento}$$

Donde $P_{\text{primer eje}}$ y P_{pieza} son los pesos convertidos a newtons como se hizo anteriormente.

Calculando esto:

$$W_{\text{total}} \approx 12.32 + (204.142 + 64.073) \cdot 0.1 \times \frac{\pi}{2}$$

Calcular la fuerza necesaria para realizar ese trabajo

$$\text{Fuerza total} = \frac{W_{\text{total}}}{\text{Desplazamiento}}$$

$$\text{Fuerza total} \approx \frac{37.46}{0.1 \times \frac{\pi}{2}}$$

$$\text{Fuerza total} \approx 238.93$$

Cálculos de los engranajes de dientes rectos.**Rueda conductora**

Se realiza el cálculo de los factores esenciales para la elaboración de la rueda. Se define el diámetro $d_p = 164$ mm con la intención de reducir al mínimo el espacio utilizado en la estructura del diseño, y se establece el módulo m como 1.10. A partir de estos valores, se identifican los

factores necesarios para el diseño y producción de la rueda, los cuales se especifican a continuación:

Numero de dientes:

$$N = \frac{d_p}{m}$$

$$N = \frac{164}{10}$$

$$N = 16.4$$

Diámetro exterior:

$$d_e = d_p + 2m$$

$$d_e = 264 + 2(10)$$

$$d_e = 184\text{mm}$$

Altura de diente:

$$h = 2.2 * m$$

$$h = 2.2 * 10$$

$$h = 22 \text{ mm}$$

Paso:

$$p = 3.1416 * m$$

$$p = 3.1416 * 11$$

$$p = 31.416\text{mm}$$

Diámetro Interior:

$$d_i = d_e - 2h$$
$$d_i = 184 - 2(22)$$
$$d_i = 140 \text{ mm}$$

Espesor del diente:

$$e = \frac{P}{2}$$
$$e = \frac{31.41}{2}$$
$$e = 15.705 \text{ mm}$$

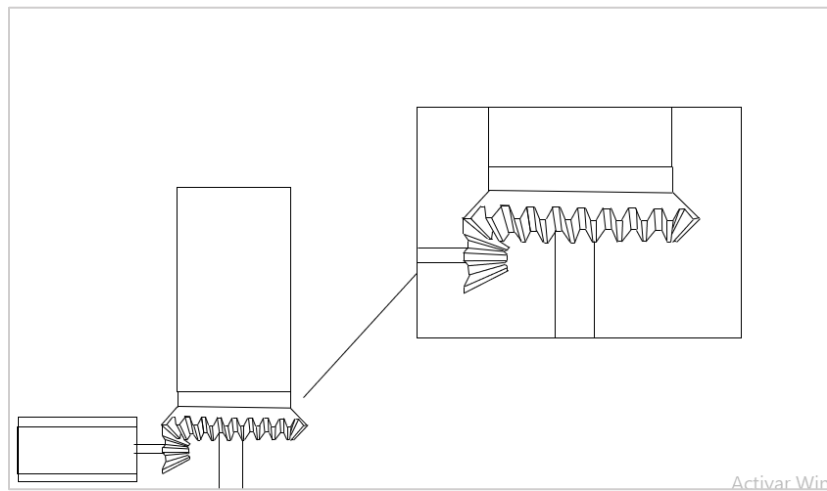
Addendum

$$a = m$$
$$a = 10 \text{ mm}$$

Dedendum

$$d = m * 1.25$$
$$d = 10 * 1.25$$
$$d = 12.5 \text{ mm}$$

Figura 1 Boceto de segundo Eje (Engranaje Cónico)



Nota. Elaboración propia

Cálculo del Piñón

Utilizando los datos obtenidos anteriormente en los cálculos de la rueda, es posible definir las dimensiones requeridas para el diseño del piñón. Se establece un punto de partida estándar, que consiste en un módulo m de 10, el cual debe ser uniforme tanto para el engranaje conducido como para el piñón conductor. Del mismo modo, se adopta un diámetro primitivo de 104 mm, con el propósito de mantener un sistema de engranajes compacto. A continuación, se presentan las distintas ecuaciones utilizadas:

Numero de dientes.

$$N = \frac{d_p}{m}$$
$$N = \frac{104}{10}$$
$$N = 10,4$$

Diámetro exterior:

$$d_e = d_p + 2m$$
$$d_e = 104 + 2(10)$$
$$d_e = 124 \text{ mm}$$

Altura de diente:

$$h = 2.2 * m$$
$$h = 2.2 * 10$$
$$h = 22 \text{ mm}$$

Paso:

$$p = 3.1416 * m$$
$$p = 3.1416 * 10$$
$$p = 31.41 \text{ mm}$$

Diámetro Interior:

$$\begin{aligned}d_i &= d_e - 2h \\d_i &= 124 - 2(22) \\d_i &= 80 \text{ mm}\end{aligned}$$

Espesor del diente:

$$\begin{aligned}e &= \frac{P}{2} \\e &= \frac{31.41}{2} \\e &= 15.705 \text{ mm}\end{aligned}$$

Addendum

$$\begin{aligned}a &= m \\a &= 10 \text{ mm}\end{aligned}$$

Dedendum

$$\begin{aligned}d &= m * 1.25 \\d &= 10 * 1.25 \\d &= 12.50 \text{ mm}\end{aligned}$$

CÁLCULO DEL PRIMER ENGRANAJE

Numero de dientes.

Numero de dientes.

$$N = \frac{dp}{m}$$

$$N = \frac{229}{25}$$

$$N = 9.19$$

Diámetro exterior:

$$de = dp + 2m \text{ (6)}$$

$$de = 229 + 2(25)$$

$$de = 279 \text{ mm}$$

Altura de diente:

$$h = 2.25 * 25(7)$$

$$h = 2.25 * 25$$

$$h = 56.75 \text{ mm}$$

Paso:

$$p = 3.1416 * 25$$

$$p = 3.1416 * 25$$

$$p = 77.79 \text{ mm}$$

CÁLCULO DEL SEGUNDO ENGRANAJE

Diámetro Interior:

$$\begin{aligned} d_i &= d_e - 2h \\ d_i &= 279 - 2(56.75) \\ d_i &= 165.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Espesor del diente:

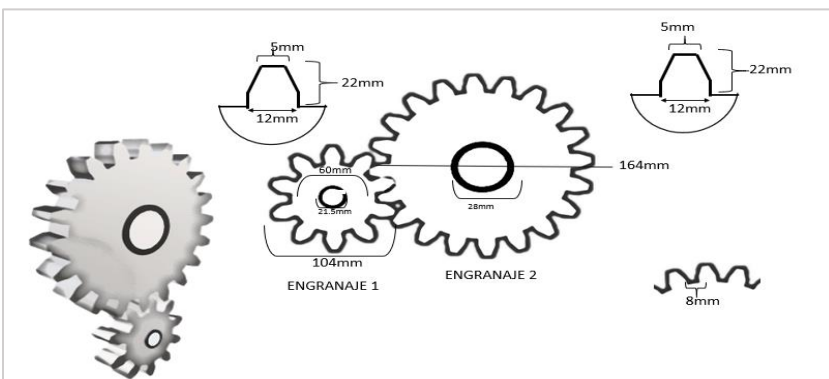
$$\begin{aligned} e &= \frac{p}{2} \\ e &= \frac{77.79}{2} \\ e &= 38.895 \text{ mm} \end{aligned}$$

Addendum

$$\begin{aligned} a &= m \\ a &= 11 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dedendum

$$\begin{aligned} d &= m * 1.25 \\ d &= 25 * 1.25 \\ d &= 30.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Figura 3. Modelos Engranajes

Nota. Elaboración propia

Conclusión

La implementación del sistema de seguimiento solar de dos ejes en el laboratorio de la carrera de Tecnología Superior en Electricidad ha arrojado resultados altamente positivos al mejorar sustancialmente la eficiencia operativa del sistema de generación fotovoltaico. El seguimiento dinámico de los paneles solares, logrado mediante el ajuste continuo de su orientación, ha demostrado ser una estrategia efectiva para maximizar el tiempo de exposición directa a la luz solar. Este aumento en el tiempo de exposición se ha traducido directamente en un incremento significativo en la producción de energía eléctrica, superando considerablemente a sistemas estáticos no optimizados.

La propuesta de diseño para la estructura mecánica y el control del seguidor solar de doble eje en el Instituto Superior Tecnológico Tsá'chila ha alcanzado el éxito esperado durante su implementación. La combinación integrada de sensores de luz (LDR), servomotores y la plataforma Arduino ha permitido un ajuste dinámico de la orientación de los paneles solares, optimizando de manera eficaz la captación de energía solar. Este diseño no solo ha cumplido con los objetivos específicos de determinar parámetros de funcionamiento y proponer una estructura mecánica, sino que también ha servido de manera destacada como una herramienta educativa, proporcionando a los estudiantes una comprensión práctica y profunda de los principios de seguimiento solar y energía renovable. Es posible concluir que la evaluación del análisis costo-beneficio será un componente crítico para determinar la viabilidad económica del proyecto. La eficiencia operativa mejorada del sistema de generación fotovoltaico, a través del uso del seguidor solar de doble eje, sugiere un aumento potencial en la producción de energía eléctrica y, por ende, podría justificar los costos asociados con la construcción y mantenimiento del sistema.

Referencia bibliográfica

- Abdalon, J. (2020). VILCANQUI_APAZA_JASSIR_ESTUDIO. Obtenido de VILCANQUI_APAZA_JASSIR_ESTUDIO:
file:///C:/Users/luir/Downloads/VILCANQUI_APAZA_JASSIR_ESTUDIO_DESARROLLO_SEGUIDOR.pdf
- Airis. (2021). Airis. Obtenido de Airis: ¿Cómo funciona la normativa legal para el uso de paneles solares en Ecuador? - Airis Ecuador. (2021, October 6). Airis Ecuador.
<https://airis.ec/como-funciona-la-normativa-legal-para-el-uso-de-paneles-solares-en-ecuador/#:~:text=octubre%202021-,%C2%BFC%C3>
- Areatecnologia. (2022). areatecnologia. Obtenido de areatecnologia.:
<https://www.areatecnologia.com/TUTORIALES/ELECTRICIDAD.htm>
- Cervantes, P. (2015). repositorioinstitucional. Obtenido de repositorioinstitucional:
<https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/798/1/Juan%20Pedro%20Cervantes%20de%20la%20Rosa%20Maestr%C3%ADa%20en%20Ciencias%20en%20Energ%C3%ADas%20Renovables.pdf>
- Coelho, F. (2014). significados. Obtenido de significados:
<https://www.significados.com/metodologia/>
- CONELEC. (2008). Obtenido de
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21948/1/UPS-CT009593.pdf#page=21&zoom=100,92,96>
- fotovoltaica, E. s. (2018). acciona. Obtenido de acciona: https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/fotovoltaica/?_adin=02021864894
- Guillermo, F. (2022). repositorio. Obtenido de repositorio:
<https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3469/1/ESTRUCTURA%20SEGUIDOR%20SOLAR.pdf>
- GUILLERMO, V. (2022). dspace. Obtenido de dspace:
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21948/1/UPS-CT009593.pdf#page=21&zoom=100,92,96>
- Larrea, F. G. (2018). UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK. Obtenido de UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK:
<https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3469/1/ESTRUCTURA%20SEGUIDOR%20SOLAR.pdf>
- Renovables, A. (2021). appa. Obtenido de appa: <https://www.appa.es/appa-fotovoltaica/que-es-la-energia-fotovoltaica/>
- urany. (01 de 02 de 2023). urany. Obtenido de urany: <https://urany.net/blog/conoce-el-funcionamiento-de-los-servomotores#:~:text=%E2%80%99Un%20servomotor%20es%20un%20servomecanismo,%2C%20aceleraci%C3%B3n%2C%20torque%20y%20posici%C3%B3n.>
- Vinicio, G. (Febrero de 2022). Universidad Politecnica Saleciana Sede Cuenca. Obtenido de Universidad Politecnica Saleciana Sede Cuenca:
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21948/1/UPS-CT009593.pdf>