

BIOMIMETIZACIÓN EN PÁNELES SOLARES A TRAVÉS DE UN SISTEMA TRACKER

CRISTHIAN CAMILO CASTAÑEDA GUTIÉRREZ

UNIVERSIDAD EAN

Nota del autor

Proyecto de grado

RESUMEN EJECUTIVO

El crecimiento de implementar sistemas solares a pequeña escala se ha visto afectado ya que la rentabilidad no es óptima, aunque la tecnología evoluciona muy rápido, aún los paneles solares no son lo suficientemente eficientes, según Herrera Figueroa de el Universal (2019), generando así que sea costosa la implementación de esta tecnología sea de difícil alcance para las familias del común.

Diana de conciencia eco (2017), define lo siguiente: La biomimetización se basa en las acciones que realizan las plantas o animales en un momento determinado y la tecnología está utilizando este comportamiento para usarlo en avances tecnológicos, como por ejemplo, los seguidores solares o solar tracker, este sistema posiciona un objeto en un ángulo relativo al sol, como lo describe Pes (2020), director de ventas de soluciones de Trina Solar Brasil, esta forma de simular la conducta de elementos de la naturaleza, permite avanzar en nuevas soluciones que beneficien al hombre con su entorno. Aunque los solar tracker están implementándose cada vez más, resulta costoso implementar esta tecnología requerida para el funcionamiento del sistema, además de su mantenimiento, así lo describe Dagny user (2021), ante la dificultad de implementar un solar tracker en un panel solar fijo por lo costoso que es, se busca una forma más económica de integrar un sistema de seguidor solar más accesible.

Palabras clave: Biomimetización, Sistema solar fotovoltaico, eficiencia, seguidor solar.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	2
INTRODUCCIÓN	5
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	6
1.1. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	7
2. OBJETIVO GENERAL.....	7
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
3. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS.....	8
3.1. MÓDULO SOLAR.....	9
3.1.1. Cálculo de la energía generada por un panel solar.	10
3.2. POTENCIAS DE UN PANEL.....	10
3.3. ELEMENTOS ADICIONALES PANEL SOLAR.....	11
3.4. ENFOQUE PANEL SOLAR	12
4. MARCO DE REFERENCIA.....	13
4.1. CLASIFICACIÓN	16
4.2. TIPOS DE PANELES	16
4.3. TIPOS DE SEGUIDORES	18
5. ANÁLISIS DE RESTRICCIONES.....	18
5.1. AMBIENTALES:.....	19
5.2. SOCIALES	19
5.3. CAPACIDAD DE FABRICACIÓN	20
5.3.1. Impresora Maxbot, una gran impresora en Kit	20

5.4.	ÉTICAS.....	23
5.5.	SALUD Y SEGURIDAD	24
5.6.	POLÍTICA	25
6.	GENERACIÓN DE POSIBLES SOLUCIONES.....	25
7.	SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA	26
8.	ESPECIFICACIONES DE INGENIERÍA PARA LA SOLUCIÓN.....	28
8.1.	ESPECIFICACIONES DE HARDWARE.....	28
8.2.	ESPECIFICACIONES DE SOFTWARE	29
9.	DIMENSIONAMIENTO DE LOS COMPONENTES	30
10.	ANÁLISIS DE COSTOS DEL DISEÑO	31
11.	PROTOTIPADO O DISEÑO CONCEPTUAL	33
11.1.	DISEÑO CONCEPTUAL	33
12.	CONCLUSIONES.....	36
13.	RECOMENDACIONES	37
14.	LISTA DE REFERENCIAS	38

INTRODUCCIÓN

La generación de energías alternativas en nuestros hogares aún se encuentra en un desarrollo constante, ¿Cuán eficientes son los paneles solares?, Vivint solar (2021) afirma: “La mayoría de las cifras indica que los paneles solares tienen una eficiencia de entre 15% y 18%, aproximadamente, lo cual significa que de 15% a 18% de la luz solar que absorben los paneles solares es convertida a electricidad, mientras que el resto se pega al panel solar y calienta su superficie, como lo hace con toda otra cosa.”, en ese sentido, la biomimetización es un elemento importante para mejorar esa eficiencia de paneles solares, descrita anteriormente. Se está haciendo un gran esfuerzo para encontrar nuevas formas de mejorar esos rendimientos para generar más electricidad.

La implementación de seguidores solares es una forma de aumentar la eficiencia en los paneles, sin embargo, resulta muy costoso ejecutar esta tecnología en paneles fijos, enfocados en conjuntos residenciales que cuentan con sistemas fotovoltaicos. El solar tracker está costando aproximadamente \$2.998 US o en pesos colombianos \$11.196.031 COP, según el sitio de comercio electrónico alibaba (2021), los precios pueden aumentar dependiendo de los componentes adicionales que se requieran. Es una oportunidad de mercado muy importante implementar sistemas tracker alcanzable para un público que no se pueden permitir un seguidor solar, ya que resulta poco práctico en términos económicos, porque no se puede justificar una inversión tan grande para uno o varios paneles que no generan la suficiente electricidad para equilibrar la inversión.

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La energía solar fotovoltaica es una gran fuente renovable, su principal origen es la radiación solar para generar energía eléctrica, su efecto se llama fotoeléctrico y para esto se deben disponer de materiales con particularidades específicas, que deben ser capaces de absorber partículas lumínicas y posteriormente liberar electrones para producir energía eléctrica. Esta fuente es limpia e inagotable que favorece el desarrollo sostenible, siendo así, considerada una tecnología importante el sector energético, según Celsia (2021), “Está disponible en todo el planeta, por lo que se convierte en la mejor forma de proveer electricidad a lugares aislados, donde el costo de instalar líneas de distribución de electricidad es demasiado alto.”. Existe un afán por aprovechar la radiación solar, ya que está disponible todos los días, depende de las ubicaciones geográficas, puede haber mayor o menor incidencia.

Uno de los elementos más importantes de composición de un sistema solar fotovoltaico es el panel solar, “La superficie del panel oscila entre 0,5 y 1,3 m², donde las células están ensambladas entre dos estratos, uno superior de cristal de silicio y otro inferior de material plástico. Estos dos productos se colocan en un horno de alta temperatura resultando un bloque único laminado, donde se añaden marcos que normalmente son de aluminio.”, (Tobajas, 2018), los tipos de células fotovoltaicas que se encuentran actualmente en el mercado son: Policristalino, monocristalino, monocristalino alta eficiencia, silicio alta eficiencia y silicio amorfo semitransparente.

La fotovoltaica es la tecnología que se posiciona como una fuente potencial inagotable y lo ha demostrado en los últimos años, “La energía solar fotovoltaica se considera la tecnología energética de más rápido crecimiento en el mundo y se utiliza para generar electricidad en más de 100 países. Sin embargo, a pesar de este tremendo crecimiento, la energía solar todavía representa una participación de menos del 0.1% de la generación de energía global debido a su alto costo de producción.”, (Jayarama, 2012). A pesar de los grandes avances y el crecimiento

de esta tecnología, aún no son lo suficientemente eficientes, esto es un proceso de avance constante en los sistemas fotovoltaicos, es un efecto físico común por interacción con la radiación solar. Adicionalmente a ello, el costo es más alto que estar conectado a una red y comparado como costo – beneficio, esos motivos dificultan la implementación de un próspero avance en contar con sistemas solares en cada hogar.

El problema de investigación se enfoca en disponer de un sistema adecuado y accesible de seguidor solar, para paneles fijos a pequeña escala, ya que resulta costoso implementar solar tracker a este tipo de soluciones. La población seleccionada y que tiene potencial de implementación, está enfocada en residencias de la ciudad Bogotá que cuentan de un sistema de alimentación de paneles solares fotovoltaicos fijos.

1.1. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Como generar el máximo aprovechamiento de la radiación solar, que recibe un sistema fotovoltaico fijo a pequeña y mediana escala, residencias de la ciudad de Bogotá?

2. OBJETIVO GENERAL

Reproducir la funcionalidad de un tracker de panel solar con un sistema de bajo costo adaptable a sistemas fotovoltaicos fijos para residencias en la ciudad de Bogotá.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Replicar la estructura de un seguidor solar
- Identificar materiales resistentes y de menor costo de un seguidor solar
- Analizar la radiación solar de un día en la ciudad de Bogotá.
- Establecer las configuraciones correctas para el óptimo funcionamiento de un tracker
- Utilizar un algoritmo que permita controlar el sistema completo de paneles

3. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

Se procede a analizar una solución que sea factible y cumpla con todas las especificaciones técnicas.

La biomimetización representa el comportamiento animal y/o vegetal en un proceso de innovación tecnológico para el beneficio del ser humano, “Estos objetivos incluyen la humectabilidad del agua (energía superficial), la química de la superficie, los patrones químicos de la superficie y las texturas de la superficie, y la presentación de los motivos biomiméticos en la superficie.” (Lakhtakia y Palma, [2013](#)). Estas especificaciones tienen un impacto muy grande en la ingeniería, incluyendo la de materiales y es el eje central del proyecto de investigación. Mucha de la tecnología actual usada y futuras energías renovables está fundada en la propia naturaleza y también en animales. (enlaceic, [2021](#)), algunos ejemplos clave son; Helechos: Almacenan la energía del sol, ballena jorobada: Ágil nadando pese a su gran tamaño, colibrí: Caracteriza por su pequeño tamaño y gran velocidad, bancos de peces, algas marinas: Se ha estudiado para generar energía mediante el movimiento de las olas. (ambientum, [2017](#)).

Usar seguidores solares en plantas fotovoltaicas es una práctica cada vez más común, la industria ha comprobado las ventajas que representan estos sistemas (Valldoreix, [2015](#)). Donde permite el aumento de producción de energía, una ventaja de implementar solar tracker es el siguiente: “cuando las placas solares están expuestas a la luz solar, el ángulo con el que los rayos llegan a la superficie de la placa solar es directamente proporcional a la cantidad de energía generada” (SotySolar, [2020](#)), también conocido como ángulo de incidencia, permitiendo que la placa solar pueda convertir toda la radiación recibida en electricidad, “Las aplicaciones más comunes para seguidores solares son el posicionamiento de paneles fotovoltaicos (PV, por sus siglas en inglés) para que permanezcan perpendiculares a los rayos del sol” (energialimpiaparatodos, [2020](#)), al perpendicular el panel al sol, este recibe más radiación solar, gracias al tracker.

Sustento la solución ingenieril, con la reproducción funcional de un tracker, simulando el movimiento de los girasoles al seguir la dirección del sol, pero más accesible. Los seguidores solares actuales son costosos y empresas con gran capacidad económica cuentan con este tipo de soluciones, sin embargo, las implementaciones en residencias suelen ser muy costosas y poco viables en términos de eficiencia y rentabilidad.

Los cálculos que se deben contemplar desde el punto de vista de ingeniería son los siguientes:

3.1. MÓDULO SOLAR

$$V_{cel} = (V_{oc}) / (\# \text{ de células})$$

Donde V_{oc} : Tensión en circuito abierto

V_{cel} : Tensión de la celda

$$\text{Eficiencia} = (\text{Potencia máxima}) / (\text{potencia de radiación solar})$$

Niveles de radiación:

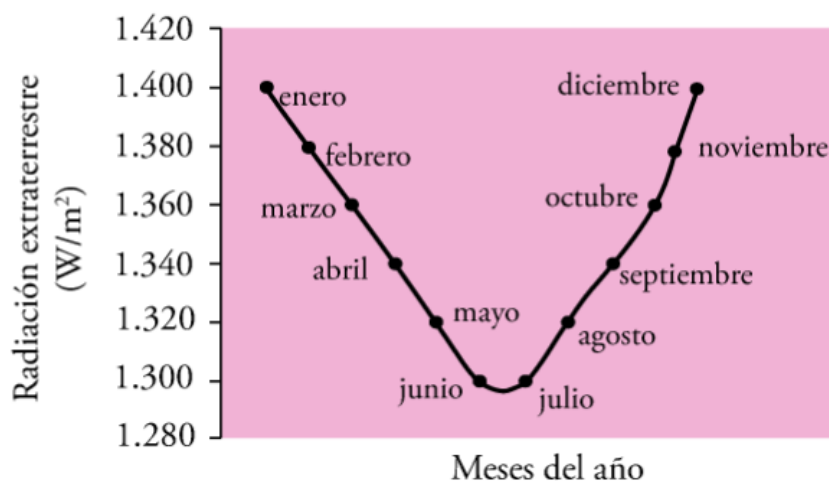


Fig. 1. [Variación de la radiación solar. Tobajas Vázquez, C. (2018). *Energía solar fotovoltaica*. Cano Pina.

Recuperado de: <https://elibro->

net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaean/45047?page=37

3.1.1. Cálculo de la energía generada por un panel solar.

(En un día).

$$E_{\text{panel}} = I_{\text{panel}} \cdot V_{\text{panel}} \cdot \text{HSP} \cdot 0,9 \text{ [Whd]}$$

$I_{\text{panel}} \cdot V_{\text{panel}}$: Corriente y tensión máximas del panel.

HSP: Horas sol pico.

0.9: Coeficiente de rendimiento – regularmente 85-90%

Whd: Expresión resultante.

(Alonso, [2021](#)).

3.2. POTENCIAS DE UN PANEL

Se tiene en cuenta la irradiancia solar, que en sus unidades se representa con kW/m^2 y es la potencia radiante por superficie.

Además de limitaciones del sistema, por ejemplo, tener claro el concepto de **Vatio Pico**, que se define como la máxima potencia en la que un panel recibe por sus capacidades estructurales, su unidad se representa como Wp.

La energía es trabajo y su unidad es en Julios, su respectiva carga se representa en Culombios (q), que va de un punto a otro dentro de un circuito y entre estos puntos hay una diferencia de potencial. Su expresión es la siguiente:

$$\text{Energía} = q * V$$

La ley de Ohm se puede establecer con la siguiente formula:

$$V = I * R$$

R: Resistencia

I: Corriente

V: voltaje

“Un panel solar típico puede proporcionar entre 250W y 300W de energía. Sin embargo, es cada vez más habitual ver paneles domésticos de potencia superior, como 500W y también algunos de menor capacidad (como pueden ser 150W).” (energyavm, [2020](#)), es una de las preguntas más comunes con se habla de autoconsumo. Con esta información se puede determinar los kWh que produce un panel solar en un día.

Se debe tener en cuenta que el rendimiento de un panel solar depende de sus componentes, para los tres principales:

- Silicio amorfo: 6% (0.06).
- Silicio policristalino: 15% (0.15).
- Silicio monocristalino: entre 16-24% (0.16-0.24)

(Manitas, [2021](#)).

3.3. ELEMENTOS ADICIONALES PANEL SOLAR

Teniendo en cuenta las variables anteriores, para los cálculos mínimos en la implementación de mi proyecto de investigación, nombro los elementos adicionales al sistema solar fotovoltaico de lo que se necesita para dar una solución a la problemática anteriormente planteada.

- La trayectoria solar
- Información de radiancia solar
- Métodos de análisis de posición solar
- Condiciones climatológicas en la ciudad de Bogotá

Elementos para la definición de la solución:

- Sensores LDR: es un resistor que dependiendo la luz que incida en el sensor, su valor resistivo cambia. Esto permite identificar con seguridad los puntos de mayor radiancia solar.
- Sistema de rotores para el movimiento de ejes del panel solar

- Placa de desarrollo para la programación de los rotores y almacenamiento de información de los LDR.
- Lógica de programación para el movimiento del sistema.

Es importante tener claro los tipos de seguidores solares en el mercado:

- Seguidores pasivos: hay movimiento por desbalance de presión.
- Seguidores activos: sus movimientos de deben a dispositivos como correas o cadenas.
- Orientador de un eje: Se mueven en sentido de oriente a occidente.
- Orientador de dos ejes: Adicionalmente tiene el movimiento de elevación.

A pesar de las opciones en el mercado, el costo de un sistema de este tipo es muy costoso, es por eso por lo que la solución propuesta se enfocaría en aprovechar mejor la radiación del sol, sacando el mejor partido de cada tipo de seguidor solar.

3.4. ENFOQUE PANEL SOLAR

Este tipo de solución está enfocada a cubrir los siguientes criterios de aceptación:

Relevancia social: El impacto social es importante porque promueve el uso de esta tecnología a pequeña escala.

Valor teórico: Este proyecto se sustenta en ecuaciones y datos técnicos que permiten buscar una solución óptima al aprovechamiento eficiente de la radiación solar en los paneles solares.

El objetivo de esta propuesta de proyecto de investigación se centra en la filosofía de la universidad EAN y es el emprendimiento sostenible, ya que esta mentalidad la he desarrollado en la universidad, me permite ver la oportunidad de abordar problemas de ingeniería y proponer posibles soluciones con implementaciones técnicas.

4. MARCO DE REFERENCIA

Para fundamentar mis conocimientos en sistemas solares fotovoltaicos, emprendo una búsqueda de autores que han realizado investigaciones relacionadas con los seguidores solares. Actualmente se están haciendo esfuerzos muy grandes en la implementación de sistemas de generación eléctrica alternativa, por ejemplo, la generación de energía con paneles solares toma mucha fuerza, además del avance tecnológico que está llegando a muchos países, como, por ejemplo, Colombia.

“Actualmente la mayor parte del territorio nacional cuenta con un buen recurso de brillo solar (horas de sol), alrededor de 4, 8 y 12 horas de Sol al día en promedio diario anual” (Ramírez et al, [2017](#)), además se debe tener en cuenta la hora pico (HSP) y es la cantidad de energía solar que recibe un metro cuadrado de superficie (efimarket, [2018](#)), se utiliza para realizar cálculos fotovoltaicos. La mayoría de las instalaciones son fijas, por ejemplo, el autor Manuel Carlos Tobajas del libro Instalaciones solares fotovoltaicas, nos muestra la forma de realizar una instalación, teniendo en cuenta varios elementos importantes, como son los equipos de instalación. Las estructuras de soporte de módulos fotovoltaicos, que deben ser suficientes para soportar el peso y las inclemencias del tiempo del lugar, podrán ser:

- Soportes fijos o estáticos.
- Soportes con movimiento de un eje (azimut o inclinación).
- Soportes automáticos o de dos ejes. Los paneles solares, dependiendo del uso de la instalación, siempre se instalarán lo más cercano al consumo, tanto en viviendas aisladas, huertos solares, etc., (Tobajas, [2014](#))

En ese orden de especificaciones, la fijación de los paneles serán estructuras en su mayoría fijas, aunque hay algunas que pueden ser movibles, no son lo suficientemente autónomas para consumir la radiación necesaria que aporta un día de luz. Los fabricantes agrupan eléctricamente las células solares asociándolas en paralelo o en serie y las encapsulan en un

único dispositivo llamado “panel solar o módulo fotovoltaico” (Sales, [2013](#)).

Un punto importante dentro de las instalaciones solares es la ubicación, de ello depende cuan eficiente pueda ser una serie de paneles desde lo residencial, hasta lo empresarial.

Dentro de la ubicación, y una vez sepamos donde vamos a situar los paneles solares fotovoltaicos, se averiguará:

- Inclinación de los módulos.
- Área ocupada por los paneles fotovoltaicos.
- Área instalada de paneles fotovoltaicos.
- Tensión de trabajo de la instalación.
- Tensión nominal del campo solar.

Fuente (Tobajas, [2018](#)).

El autor Tobajas Vázquez, C. ([2018](#)), nos muestra una información importante y es la inclinación de los paneles, esta inclinación es fija y dificulta realmente el recurso solar. Una desventaja es que se tiene en cuenta es que los paneles solares no son muy eficientes, de hecho, esta eficiencia puede llegar al 24% en condiciones teóricas.

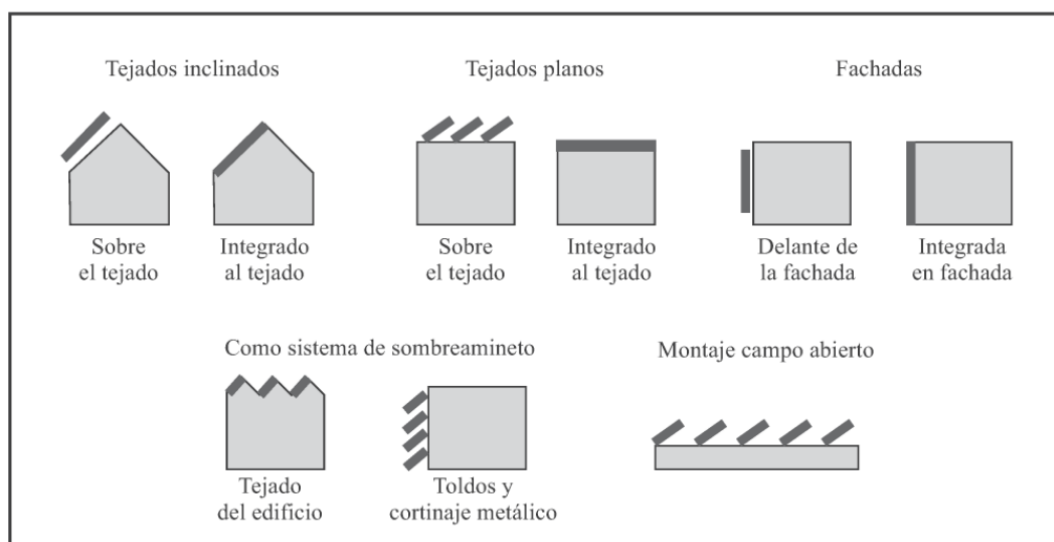


FIGURA 4.14. Sistemas de monta e para módulos fotovoltaicos.

Fig. 2: Bayod Rújula, Á. A. (2009). Energías renovables: sistemas fotovoltaicos. Prensas de la Universidad de Zaragoza.

En la imagen anterior podemos observar la implementación de los módulos solares en edificaciones y/o viviendas, uno de los rasgos más importantes es su inclinación, por ejemplo, en la mayoría de las ilustraciones vemos que “la mejor inclinación que puede ofrecer un tejado para la instalación de paneles solares está entre los 30-40 grados” (CambioEnergetico, 2021), esto tiene inferencia la ubicación geográfica, dependiendo de ello, se ajusta la mejor inclinación.

El autor del libro Guía de mantenimiento en instalaciones fotovoltaicas, el señor José Manuel de la Cruz Gómez (2015), nos muestra técnicamente el seguidor solar desde una perspectiva teórica importante, cito su concepto acerca de los seguidores solares: “Un seguidor solar es un dispositivo mecánico capaz de orientar los módulos solares de forma que éstos permanezcan cercanos a la perpendicular de los rayos solares, siguiendo al Sol desde el Este hasta el Oeste.”.

En esta tecnología encontramos los seguidores de un solo eje o con dos ejes.

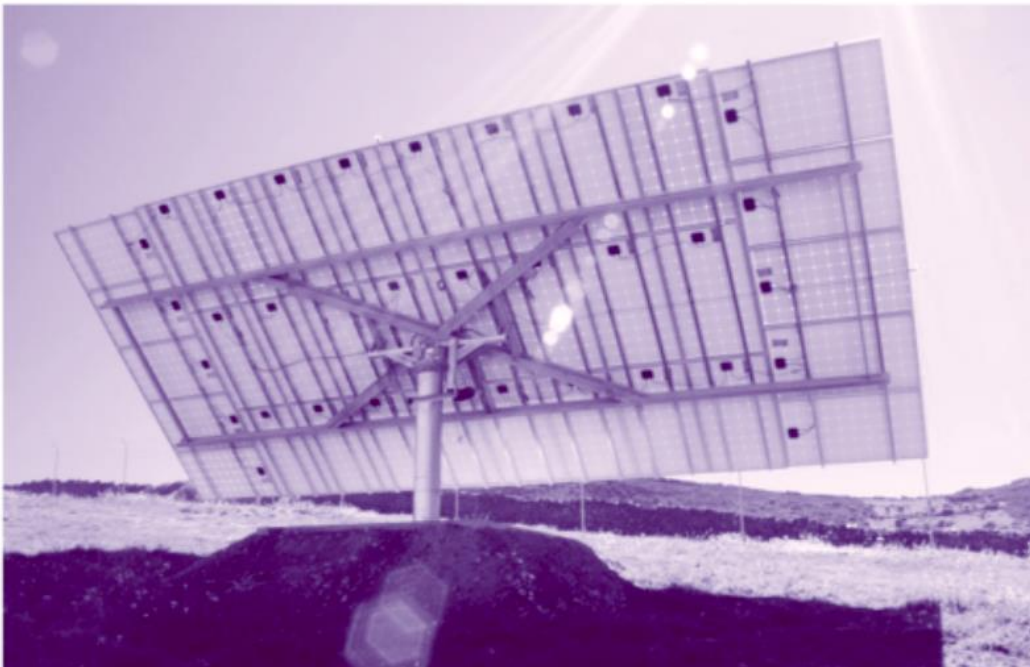


Fig 3.: José Manuel de la Cruz Gómez, (2015). *Guía de mantenimiento en instalaciones fotovoltaicas.*

Ediciones Experiencia.

Para el caso de dos ejes, hace movimiento perpendicular al sol y desde luego al oriente occidente. Esta tecnología usa sensores de seguimiento, por ejemplo, por reloj solar, y también se pueden programar para que las coordenadas sean calculadas previamente.

4.1. CLASIFICACIÓN

- Seguidores hidráulicos
 - Engranaje de corona principal de orientación permitiendo el giro acimutal
 - Corona y piñón de transmisión
 - Superficie deslizante del vástago del cilindro del basculante
 - Basculantes hidráulicos
- Seguidores eléctricos
 - Inspección de estanqueidad reductora de los motores
 - Caja de conexión de los motores
 - Terminales en cuadro de control de los motores
- Seguidores eléctricos solares
 - Estructura metálica
 - Puesta a tierra
 - Cimentación estructural

Esta es una parte de todo lo que integra in sistema solar con seguidor fotovoltaico, uno de los aspectos inquietantes es el mantenimiento ya que mantener estos sistemas es muy costoso y requiere de una periodicidad importante y constante. La información anterior la tomé del libro “Guía de mantenimiento en instalaciones fotovoltaicas”.

4.2. TIPOS DE PANELES

“Los paneles fotovoltaicos se dividen en paneles rígidos y paneles flexibles. Dentro de los paneles rígidos, se encuentran los paneles rígidos con marco (módulos estándar) y los paneles

rígidos sin marco. En los módulos estándar, el marco aporta rigidez y permite su montaje. Los marcos son de aluminio anodizado, acero inoxidable o similar, y llevan perforados unos taladros necesarios para el anclaje en la estructura soporte.”, (Innovación, [2017](#)).

La estructura es muy importante en la instalación en sistema solar, ya que eso va a depender los módulos van a quedar visibles o no tanto para el óptimo uso con el sol. Comprendemos que hay dos tipos de paneles, los estándares y los especiales, dependiendo también del grado de arquitectura que se necesite.

Por ejemplo, para edificaciones existen paneles rígidos con marco, esto reemplaza los vidrios tradicionales, siendo fácil su instalación en fachada. Esto lo nombro porque se debe considerar los tipos que no son clásico, pero que aun así son estáticos.

Otro punto a considerar es la medición de la radiación solar, esto es importante porque me permite medir de una forma real cuánto energía eléctrica podría generar en un punto específico de la ciudad, para este caso existe un dispositivo que realiza la medición y se llama pirheliómetro, según las autoras Las Heras León, María Elvira de, en el libro mantenimiento de instalaciones solares fotovoltaicas nos cuentan sobre este dispositivo ([2017](#)): “Consiste en un tubo largo con una ranura circular por la cual penetra el rayo de sol, proyectándose en el otro extremo, donde se encuentra el receptor, la imagen del disco solar y un anillo de cielo que rodea a este”.

Para que el dispositivo funcione en condiciones óptimas se requiere de una ejecución experta para lograr gran precisión en las medidas. Expuse esta parte ya que por el proyecto considero abordar estos temas, que serán de ayuda importante para la siguiente fase.

Cabe destacar que el diseño ingenieril consiste en encontrar un mecanismo menos costoso que permita a pequeños sistemas solares utilizar una tecnología económica y aun alcance importante.

Para tener en cuenta la construcción de estructuras con HIPS, se tienen las siguientes consideraciones: “Si usad HIPS como estructura de soporte, debes contar con una impresora 3D de dos extrusoras, que pueda alcanzar una temperatura entre 230 y 245 grados. Además, debe tener una cama calefactora que pueda alcanzar temperaturas entre 90 y 110 grados porque el HIPS tiende a deformarse.” (Alicia, 2020).

4.3. TIPOS DE SEGUIDORES

Dependiendo del movimiento los seguidores se pueden clasificar dependiendo el tipo de movimiento que realicen y del tipo de algoritmo de seguimiento implementado:

Por movimiento:

- Seguidores de un eje: La rotación de la superficie de captación se hace en un solo eje, ya sea horizontal o vertical.
- Seguidores de dos ejes: Realiza un seguimiento total del sol, tanto en altura como en azimut, definido como “el ángulo que forma el Norte y un cuerpo celeste, medido en sentido de rotación de las agujas de un reloj alrededor del horizonte del observador.” (Pons, 2021), el rendimiento es mayor, comparado con los seguidores de un solo eje.

Por algoritmo de seguimiento:

- Seguidores por punto luminoso: Disponen de un sensor que detecta el punto más luminoso donde apuntar.
- Seguidores con programación astronómica: Por medio de un software que cuenta con información sobre en qué punto debería estar el sol para apuntar en esa posición.

(Machado et al, 2015).

5. ANÁLISIS DE RESTRICCIONES

Se establecen los diferentes factores que me permiten identificar posibles cuellos de botella.

5.1. AMBIENTALES:

La implementación de tracker (sistema de seguidores solares), los factores ambientales no se liberan de esta propuesta, por ejemplo la Ley 21/2013, del 9 de diciembre habla sobre la evaluación ambiental, que permite incluir criterios de sostenibilidad, “La presente Ley de Evaluación Ambiental, establece las bases que deben regir la evaluación ambiental de los planes, programas y proyectos que puedan tener efectos significativos sobre el medio ambiente, garantizando en todo el territorio del Estado un elevado nivel de protección ambiental, con el fin de promover un desarrollo sostenible” (Fao, [2021](#)).

Teniendo en cuenta lo anterior, se debe contemplar los materiales de construcción y su ciclo de vida del seguidor, en este caso, que se utiliza con materiales ABS o HIPS, considerado un material muy resistente, “el filamento 3D HIPS se usa para diferentes propósitos. Las impresoras 3D no pueden imprimir en el vacío. Las piezas que sobresalen con ángulos abruptos necesitan un soporte para que la capa se imprima correctamente.” (all3dp, [2021](#)). Siendo materiales termoplásticos, se consideran aptos para ambientes con cambios de temperatura variables y considerables. En ese sentido es importante conocer que tienen un impacto importante, pero su debida disposición logrará un impacto manejable.

5.2. SOCIALES

Las restricciones sociales con respecto a la solución serían pocas, como por ejemplo que la estructura sea invasiva, aunque considero que no es mucho ya que se debe adaptar a paneles solares de una dimensión pequeña, que es de 160cm * 80 cm, según estándar (energiasolarfotovoltaica, [2021](#)). Desde mi punto de vista, el impacto tiende a ser positivo, ya que una solución con materiales más económicos en comparación con seguidores en el mercado sería un producto más accesible y adaptable para esos pequeños generadores de energía con sistemas solares.

5.3. CAPACIDAD DE FABRICACIÓN

Al contemplar el HIPS, poliestireno de alto impacto, debemos considerar lo siguiente:

- Temperatura de extrusión 230°C en cada extrusor
- Base de impresión a 100°C
- Velocidad de extrusión: 50 mm/s (medidas en ejemplo)
- Velocidad de trayectos: 70 mm/s (medidas en ejemplo)

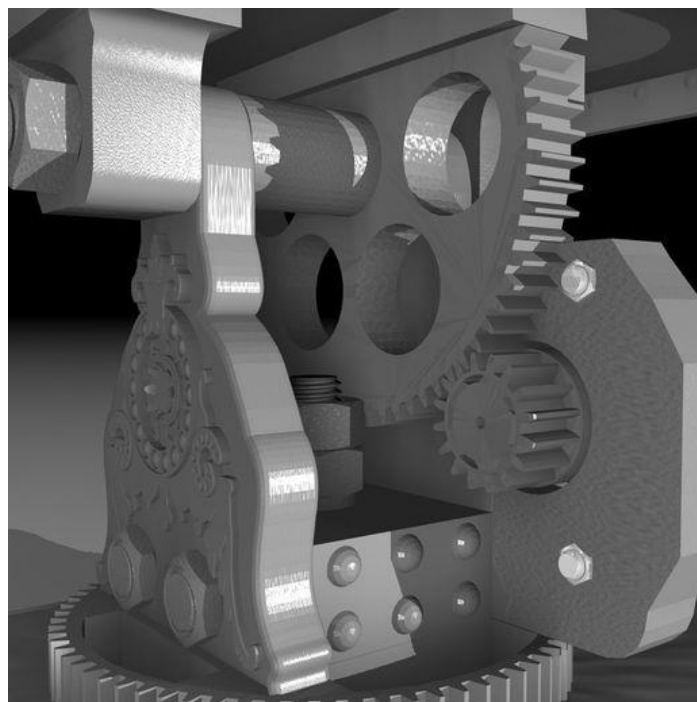


Fig. 5. Diseño 3D tracker mecánico, fuente: [studio.culds3d](#)

En el mercado existen variedades de impresoras en 3D, pero consideramos las que se adaptan a la solución:

5.3.1. Impresora Maxbot, una gran impresora en Kit

“Es una impresora que pertenece al fabricante indio Make Mendel, comercializan su máquina en kit, para ser ensamblada en casa. Su volumen de impresión es de 600 x 300 x 300 mm es una de las más amplias de su categoría con un peso de 80Kg.” (Lucia, [2019](#))

La ventaja es que cuenta con una pantalla tipo LCD y una calibración automática, trabaja a gran capacidad y permite el trabajo continuo para la generación de los tracker solares expuestos.

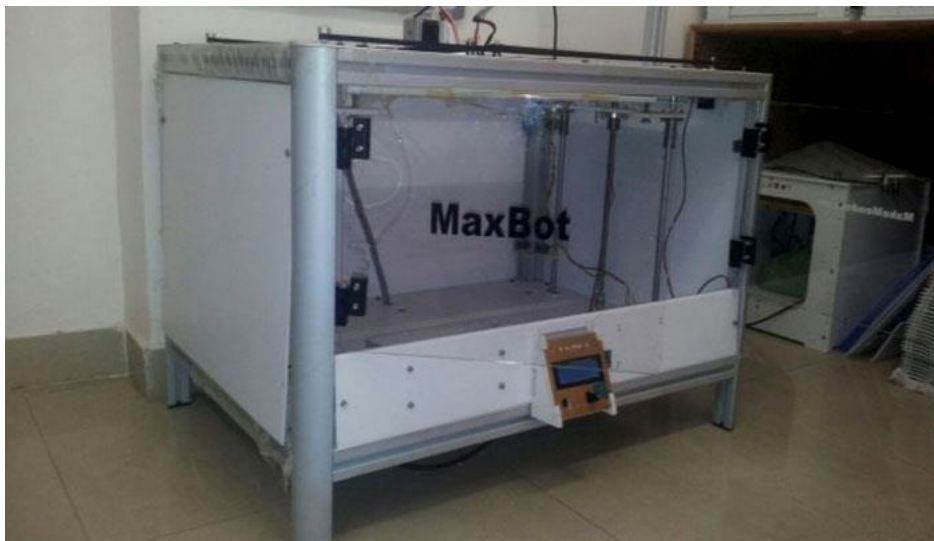


Fig. 6: Impresora MaxBot, fuente: [3dnatives](#)

Su costo aproximado es de US \$1950 según el sitio web (MakeMendel, [2021](#)), esto en pesos colombianos de aproximadamente de COP \$7'205.269.

Además de eso cuenta con las siguientes características técnicas:

- Machine size: (700 x 450 x 450) mm
- Build size: (600 x 300 x 300) mm (LxWxH)
- Nozzle Diameter : 0.4mm
- Layer Thickness : 0.1 mm
- Speed (mm/s) : 60
- Positioning Precision : 27 microns
- Input Format : STL
- Software : Pronterface
- System Compatibility : Windows 7, Windows 8, Windows Vista, Linux
- Power Supply : 12V,30A SMPS
- Weight : 80 Kg

Fig.7 Technical Specification, fuente: [makemendel](#)

Teniendo en cuenta lo anterior, defino lo siguiente:

- Tiempo estimado de producción
- Disponibilidad para la producción (capacidad productiva)
- Recursos disponibles (operativos, financieros, ingenieriles)

El estudio encontrado con respecto a las restricciones de capacidad de producción nos muestra lo siguiente:

Los cuellos de botella se presentan ya que existen factores limitantes que pueden generar retrasos para el prototipado de cualquier solución. Existe una metodología llamada **TOC**, es integral para la gestión y de mejora.

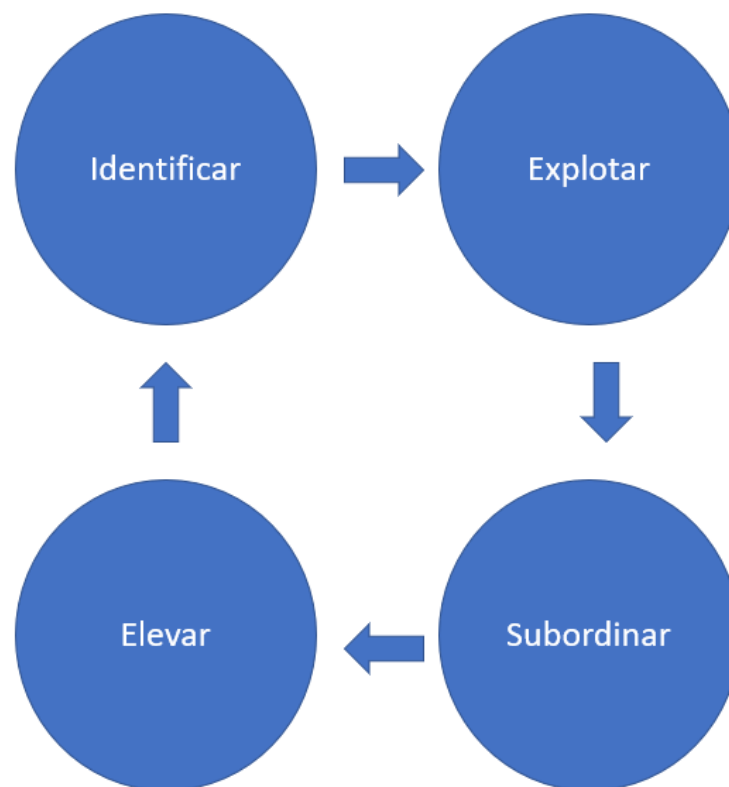


Fig.8 TOC, autor

Primero se identifican las restricciones, segundo se explotan las restricciones de la empresa, tercero, subordinar la decisión anterior, cuarto elevar las restricciones, y el último paso es volver al paso uno.

Existen herramientas que ayudan a aplicar de mejor forma la metodología, por ejemplo, Pareto, kankan, Smet, diagrama de Ishikawa. Este estudio de teoría de restricciones se obtuvo de: Universidad De Cuenca Facultad De Ciencias Económicas Y Administrativas Escuela De Administración De Empresas, [ver completo](#).

5.4. ÉTICAS

La ética se define de la siguiente manera “La Ética es una ciencia práctica y normativa que estudia racionalmente la maldad y la bondad de los actos humanos, da guías para “la vida buena”, orienta la conducta práctica, dirige y encauza las decisiones libres del hombre; en resumen, es la rectora de la conducta humana para orientar actos buenos acordes con la razón.” (López, [2019](#)). Todo ingeniero ejecuta sus actividades considerando la ética profesional, en ese sentido se debe nombrar la ética utilitarista (la ética del deber y de los derechos), donde la justicia y la honestidad muestran un criterio de conducta ética.

Bajo esta premisa, se tienen en cuenta varias cosas, iniciando por la normatividad, según la [ley 842 de 2003](#) reglamento el ejercicio profesional de la ingeniería, que es un punto de referencia para aplicar la norma jurídica, incurrir en una falta tiene un castigo penal, ya que estas normas se basan en preceptos morales muy bien definidos (COPNIA, [2021](#)). Incluyo lo siguiente para la solución implementada.

Restricción ética:

- El reconocimiento claro de la propiedad intelectual
- Integridad personal de integrantes del proyecto
- Transparencia de comunicación entre compañeros
- Propuestas que impacten de forma positiva a muchas personas.

Dentro de estas restricciones puse desde un punto grupal, aunque yo sea la única persona del grupo, pero con posibilidades de lograr un equipo de trabajo. Describo de gran importancia

la propiedad intelectual, ya que incurrir en esa falta ya es castigable, por eso para mí esa es una de las premisas más importantes.

5.5. SALUD Y SEGURIDAD

Este punto es importante ya que debo considerar la parte de seguridad en la solución desde el punto de vista de posible afectación de seguridad de mi proyecto, en ese sentido, debo contemplar el uso correcto del uso del tracker, para instalaciones y adaptaciones. Esas consideraciones deben ser tenidas en cuenta.

También debo contemplar las normas de seguridad básicas dentro del proceso de fabricación del elemento a producir, considero determinar las pautas de seguridad, por ejemplo, implementar normas de seguridad para el trabajo como, por ejemplo:

- No introduzcas partes de tu cuerpo en máquinas en movimiento.
- Concéntrate en tu trabajo y evita distraer a tus compañeros
- Usa tu equipo de protección personal y mantenlo en buenas condiciones
- Para tu máquina o equipo totalmente y coloca la tarjeta de seguridad, en actividades de reparación, ajuste, limpieza y cambio de herramientas
- Usa, ajusta y repara la maquinaria sólo cuando tengas autorización por tu superior inmediato
- Efectúa tus actividades de acuerdo con lo establecido en los procedimientos
- No trabajes si no conoces el equipo
- Mantén tu área de trabajo limpia y ordenada
- Si tienes alguna duda en cualquier actividad de tu trabajo consulta a tu superior inmediato
- Utiliza la técnica adecuada para el levantamiento y manipulación de piezas y objetos

Fuente: (prevencionar, [2019](#))

5.6. POLÍTICA

Para el fomento de uso de energías alternativas tengo en cuenta la siguiente normatividad:

- Ley 1715 del 2014: Reglamento de la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. Es una de las leyes más importantes ya que impulsa la generación de energía a grande, mediana y pequeña escala. (SecretariaSenado, [2021](#)).

6. GENERACIÓN DE POSIBLES SOLUCIONES

Solución	Problema	Requerimiento	Especificaciones técnicas	Normatividad	Restricciones
1	Costos altos en seguidores solares a pequeña escala.	Diseñar e implementar un tracker que se adapte a las especificaciones de paneles solares pequeños, además que sea a un costo competitivo en el mercado.	Modelamiento de una estructura en 3D, que replique un diseño de un tracker funcional, desde el punto de vista mecánico, conociendo cada parte y que además se integre adecuadamente a paneles estándar pequeños y que cuente con una resistencia óptima y cumpla especificaciones de durabilidad en cuanto a condiciones extremas de calentamiento y lluvia. Cubrir dimensiones de un panel: 150cm * 80 cm	Cumplir con la normatividad de la Ley 1715 de 2014 – Deducciones de pago de impuestos de renta, (incentivos tributarios).	El tracker impreso cuenta con una vida útil menor en comparación a los seguidores actuales del mercado El tracker está pensado para estructuras de paneles solares pequeños desde 1.6kg hasta 12kg

Solución	Problema	Requerimiento	Especificaciones técnicas	Normatividad	Restricciones
2	Aprovechamiento del 50% de la radiación solar en promedio por un panel solar pequeño fijo	Implementar un tracker que se adapte a un panel solar fijo pequeño, permitiendo mayor eficiencia.	Desarrollar un sistema que genere movimiento a un panel solar con especificaciones pequeñas. Este sistema debe ser mecánico, debe permitir el movimiento en dos ejes, horizontal y vertical.	Cumplir con la normatividad de la Ley 1715 de 2014 – Deducciones de pago de impuestos de renta, (incentivos tributarios).	El sistema necesitará mantenimientos periódicos importantes para evitar su degradación rápida.

7. SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA

Para obtener la opción más adecuada, según los propuestos anteriormente, se debe definir una metodología de selección que me permita encontrar el prototipo adecuado:

Solución 1

Pros	Contras
Utilización de materiales de impresión 3D, los costos son menores. El sistema es más accesible a las familias del común	Requiere esfuerzo para diseñar las impresiones en 3D Se necesita una impresora para impresión 3D que tenga la capacidad de producción constante.
Su producción genera menos residuos	

Solución 2

Pros	Contras
Es más fácil de adquirir	No se adapta a sistemas solares de pequeña escala
En caso de daño, es más sencillo reemplazar una pieza	Necesita de mantenimiento constante y fuerte Es una tecnología costosa

La mejor alternativa es la solución 1, ya que hay costo beneficio y además es accesible para muchos usuarios en especial, el público objetivo que quiero atacar, en ese orden de ideas, considero que además cubre la solución 2, en cuanto a lograr mayor eficiencia de los paneles porque permite que se mueva en dos ejes también.



Fig.9, diseño seguidor solar impreso en 3D a escala, fuente [cults3d](#)

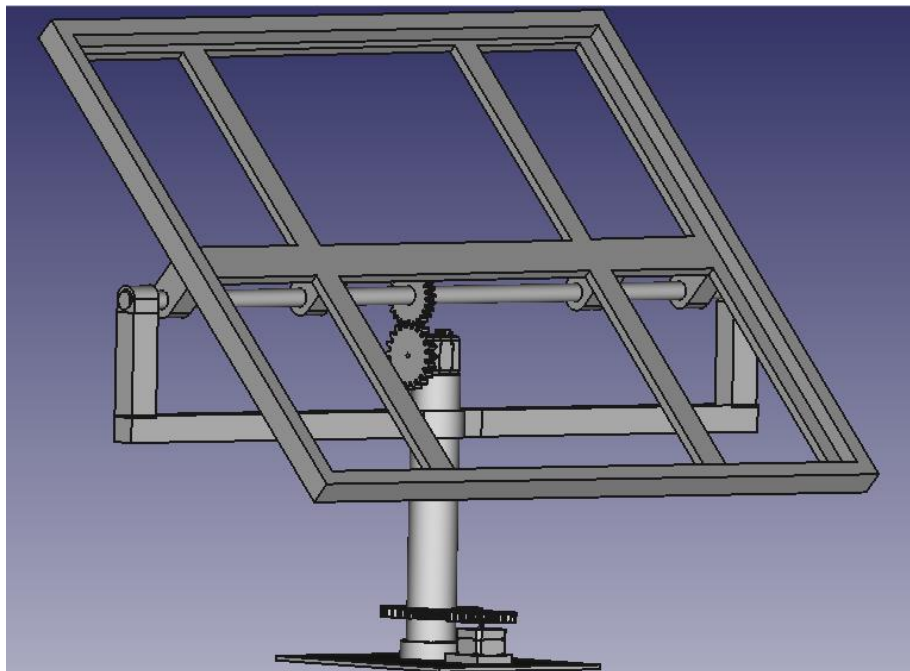


Fig.10. Modelo 3D tracker solar, fuente: [gradcad](#)

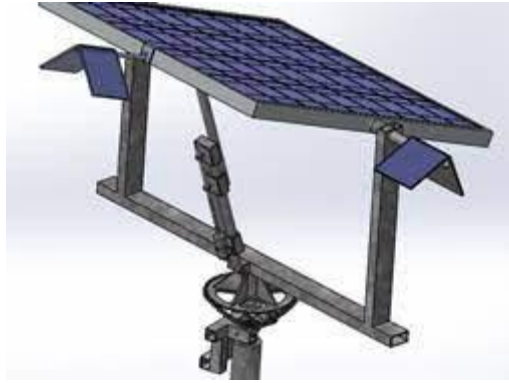


Fig. 11: Modelo 3D de seguidor solar, fuente: [Seguidor3D](#)

8. ESPECIFICACIONES DE INGENIERÍA PARA LA SOLUCIÓN

El punto importante es tener claro los elementos que intervienen en el seguidor propuesto de dos ejes:

8.1. ESPECIFICACIONES DE HARDWARE

Componentes:

- **Microcontrolador PIC18**, óptimo para el procesamiento. Utilizado para el manejo de memoria RAM y memoria Flash. El microcontrolador se caracteriza por ser modelo de alto rendimiento que trabajan en 8 bits (España, [2016](#)).
- **EASYPIC**, para controlar toda la lógica en el momento de la programación. “Cuenta con una programación rápida y mejorada y un conjunto completo de instrucciones de depuración” (rs, [2021](#)).
- **Actuadores**, importantes para mover por fuerza un dispositivo mecánico. “es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre elemento externo” (fSeneca, [2019](#)).
- **Motor de corriente continua**, Permitividad de 200 RPS (revoluciones por segundo). “Estos motores son muy utilizados en robótica, se caracterizan por tener altas

velocidades que oscilan entre 2000 rpm y 7000 rpm, pero debido a sus altas revoluciones el torque que tienen es muy bajo” (Tapia, [2018](#)).

- **Pantalla LCD**, las siglas LCD significan ("Liquid Cristal Display") o pantalla de cristal líquido (informaticamoderna, [2021](#)), ideal para visualizar la configuración de los microcontroladores mencionados anteriormente.
- **Sensores LDR (Light Dependent Resistor)**, “es un resistor que varía su valor de resistencia eléctrica dependiendo de la cantidad de luz que incide sobre él” (Carletti, [2020](#)), importantes para determinar la luz incidente, es decir, su efecto resistor se altera con respecto a la intensidad de la luz.
- **Encoder de motor**, Importante para realizar de manera más acertada los cálculos de movimiento del motor. “Son componentes que se añaden a un motor de corriente continua para convertir el movimiento mecánico en pulsos digitales que puedan ser interpretados por el sistema de electrónica de control integrad”. (Clr, [2021](#))
- **Conexiones**, Cables con un calibre determinado con protección y resistividad a cambios climáticos importantes.
- **Ejes y soporte**, material HITS resistente de poliuretano para la construcción de la base de ejes y soporte del panel solar pequeño.

8.2. ESPECIFICACIONES DE SOFTWARE

Diseño modular con la finalidad de ejecutar tareas simultáneas para un desarrollo óptimo de la solución.

- Lenguaje C18, “es una versión del C creada específicamente para los microcontroladores PIC18, que por sus características resulta demasiado complicado la programación en su lenguaje de bajo nivel, el Assambler.” (guillehg, [2021](#)), para programar con MATLAB.

- Entorno de desarrollo MATLAB IDE.
- Lenguaje C++ para la compilación del programa.

9. DIMENSIONAMIENTO DE LOS COMPONENTES

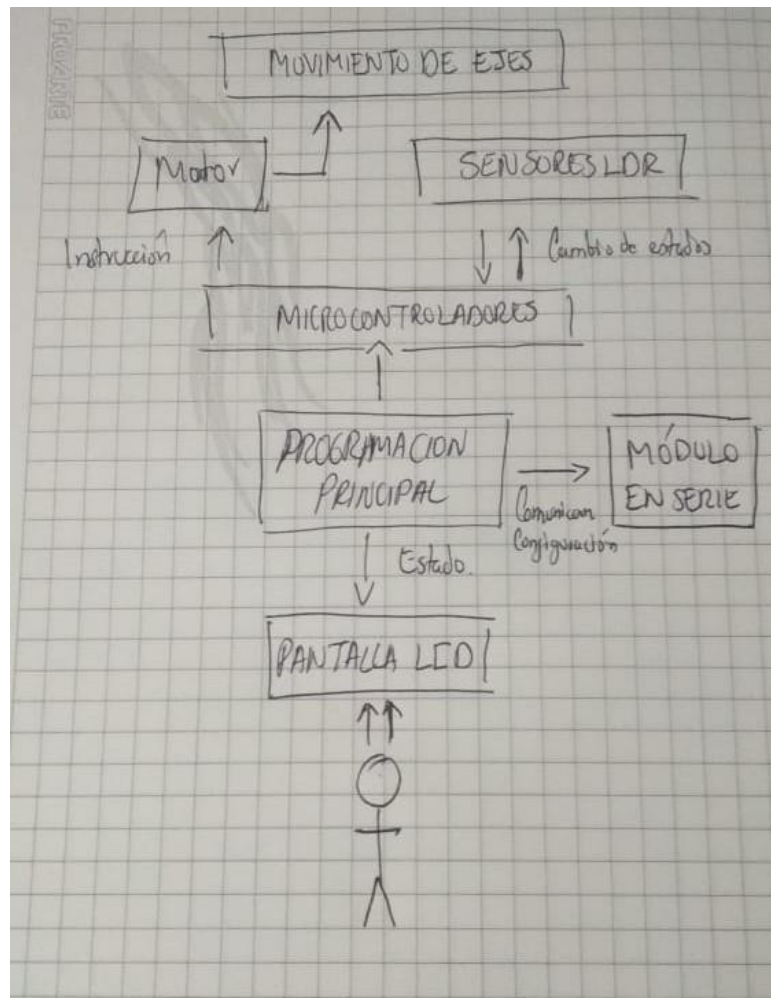


Fig.12: Esquema de funcionamiento solución

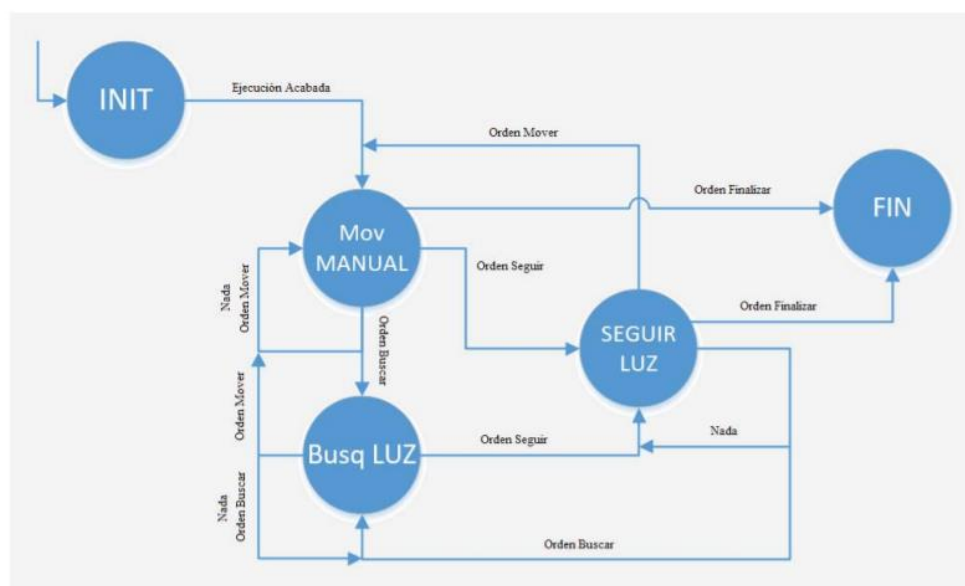


Figura 47: Representación de la máquina de estados en el programa principal y sus principales transiciones.

Fig. 13: Máquina de estados, fuente: Universidad politécnica de Madrid

El flujo anterior desglosa de manera sencilla el ajuste de comportamiento de los movimientos que hacen los motores que realizan cuando existe un cambio en los sensores de movimiento.

10. ANÁLISIS DE COSTOS DEL DISEÑO

Se procede a realizar un barrido de los costos, tanto de materias primas, como de mano de obra, que se usaran en el desarrollo del tracker solar. Se hace una estimación de costos con respecto a los materiales implementados para el proyecto.

Materiales usados para la producción de un tracker solar				
Distribuidor	Material o componente	Cantidad	costo unitario	Costo total
MICROCHIP	Microchip Pic18f2550	1	\$ 22.000	\$ 22.000
Mcard	Easypic Fusion V7	1	\$ 69.800	\$ 69.800
Actuador	Actuador Lineal Eléctrico Conveniente 1000n Lineal	2	\$ 213.515	\$ 427.030

Materiales usados para la producción de un tracker solar				
Motor	Motor De Engranaje De Corriente Continua 200 Rpm	1	101.365	101.365
I2c Arduino	Pantalla LCD 20x4 Azul Tarjeta I2c Arduino	1	25.000	25.000
LDR	Fotorresistencia LDR Sensor Luz 5 Mm	10	400	4.000
Encoder	Sensor Encoder Velocidad Herradura Lm393 Para Arduino	1	6.450	6.450
Tyumen	Cable Duplex Calibre 20 Tyumen	1	127.990	127.990
Soporte	Soporte Para Eje Lineal 20mm Cnc	4	21.900	87.600
Ejes	Chumacera Pared Con Rodamiento Eje 10mm Cnc Router	2	14.000	28.000
BDBOTS	Filamento TPU para impresión 3D	3	52.000	156000

Para la mano de obra se requiere lo siguiente:

Mano de obra por la hora trabajada, se requieren dos personas para la construcción de un sistema de tracker solar.

Mano de obra		
Personal	Valor- Hora / labor	Funciones
Un técnico	\$ 5.229	Manejo de maquinaria, para la construcción del sistema tracker, armado del sistema
ayudante	\$ 4.229	Integrar el sistema al panel solar fijo

Los precios de hora labor se sustentan en el salario mínimo, consultar el siguiente [link](#). Adicionalmente, se requiere de una máquina para la impresión en 3D de los componentes necesarios en términos de estructura.

Impresora Max Bot y tiene un valor de \$ 7.205.269 aproximadamente, sitio de venta: [makemendel](#).

Costos totales de producción:

- El costo de materias primas corresponde a \$899.235.
- El costo de mano de obra para la producción del sistema tracker \$75.664
- En total, el costo del tracker es de \$974.899

Según el sitio de Alibabá, el costo de un seguidor solar está en un promedio de: 2.998,00 US\$, que en pesos representan \$11.217.886, fuente [alibabá](#)

11. PROTOTIPADO O DISEÑO CONCEPTUAL

A continuación, se definen el diseño conceptual y su estructura:

11.1. DISEÑO CONCEPTUAL

Después de considerar las características del tracker solar, como la determinación de su funcionamiento se procede a describir los siguientes elementos estructurales:

- a. El soporte base que contiene toda la estructura
- b. la base donde descansa el panel solar
- c. el tubo de inclinación donde están soldadas las horquillas
- d. la placa de anclaje

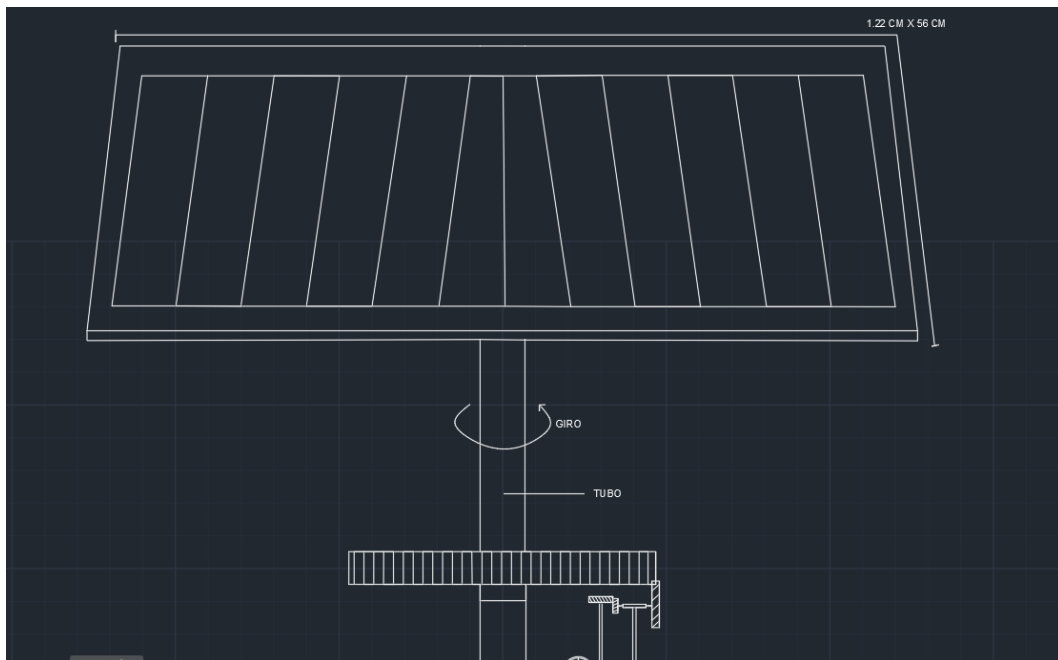


Fig. 14: Estructura del panel y el tubo de giro (AutoCAD – Diseño Boceto Panel descargado de Internet)

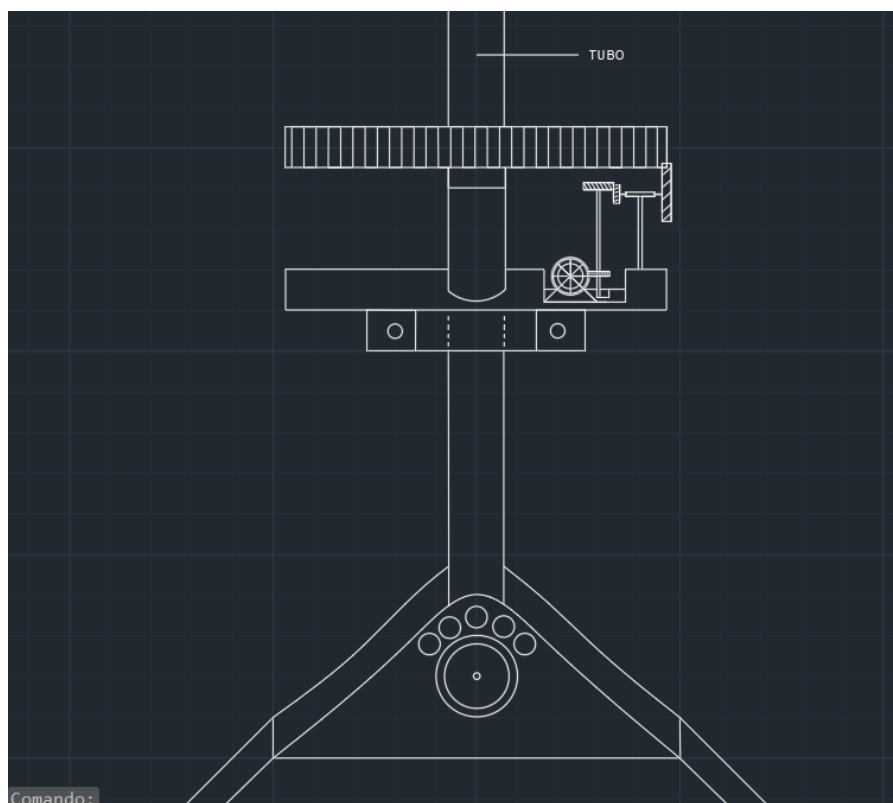


Fig. 15: Estructura Base del sistema (AutoCAD – Diseño Boceto Panel descargado de Internet)

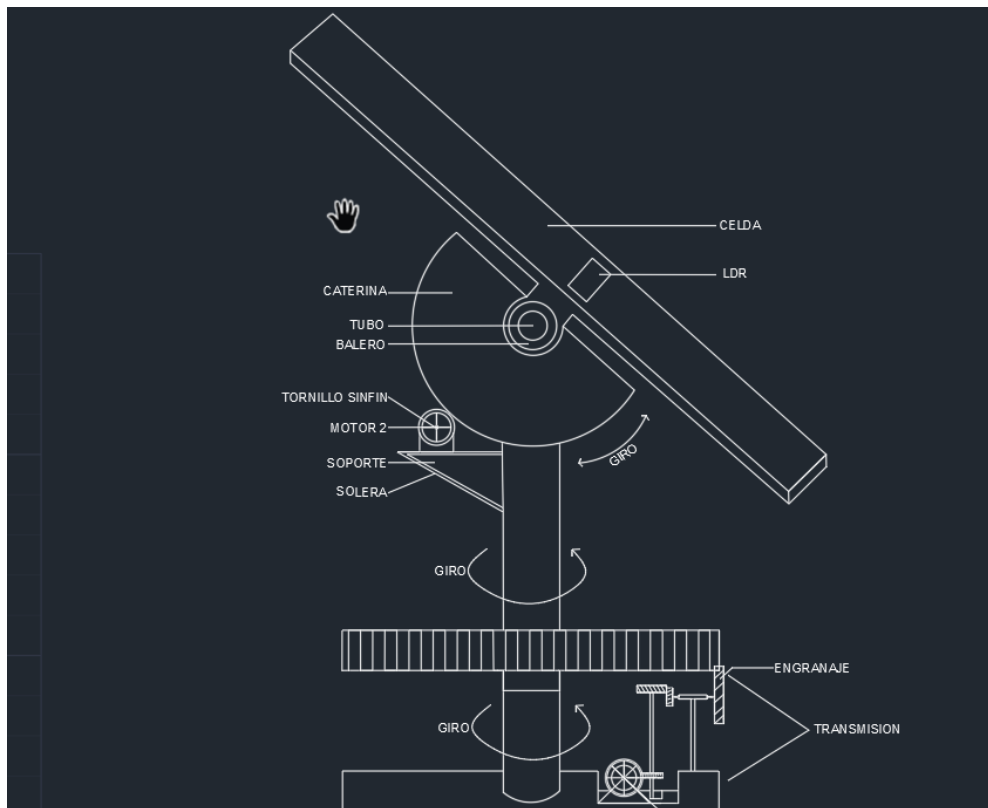


Fig. 16: Estructura del panel y los elementos del giro del sistema (AutoCAD – Diseño Boceto

Panel descargado de Internet), vista lateral

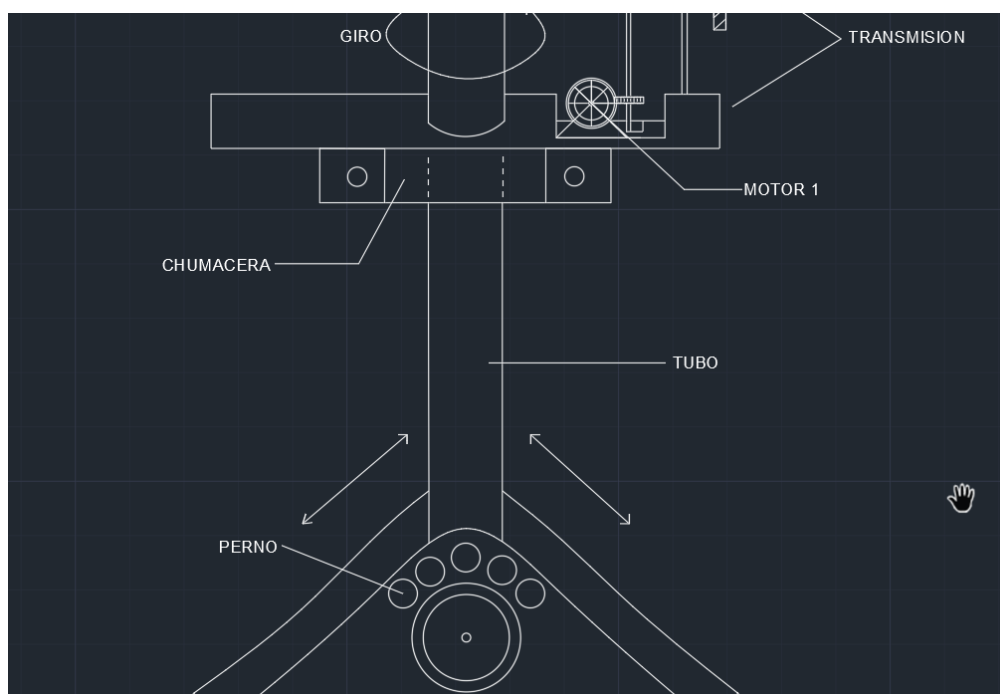


Fig. 17: Estructura media y sus elementos, motor, chumacera, perno (AutoCAD – Diseño

Boceto Panel descargado de Internet)

12. CONCLUSIONES

El desarrollo de un sistema tracker más económico que los seguidores solares que se encuentran en el mercado es una alternativa viable para integrar esta tecnología en paneles solares fijos, esto permite un mejor aprovechamiento de la irradiancia solar para esos sistemas que no son tan robustos, además de la contribución y el impulso que se le otorga a la generación de energías limpias a través de fuentes renovables, como lo es el sol. El mayor beneficio de un sistema de un seguidor solar es que ofrece un aumento de la producción de electricidad (EcoInventos, [2021](#)).

Y contribuir con la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, a través de un desarrollo tecnológico. Se puede concluir que los objetivos definidos en el proyecto se cumplen, debido a una solución que se ajusta a las necesidades identificadas para el problema de investigación, esto se hace implementando un sistema tracker más económico, pero que también es funcional, siguiendo los estándares de un seguidor solar convencional.

Se infiere que la biomimetización tiene un papel importante en la mejora de la eficiencia de sistemas solares, además, de una ola por la sostenibilidad, el uso eficiente de los recursos, la biomimetización en el diseño de bienes y servicios, cómo un apoyo a la economía circular (Dolores, [2018](#)). Otro factor importante es la programación, tiene una implicación relevante para el proyecto porque mediante unas instrucciones permite generar los movimientos adecuados para la mayor incidencia de radiación solar posible.

13. RECOMENDACIONES

Para dar continuidad al diseño planteado, se establecen varias recomendaciones importantes:

- Establecer un monitoreo del sistema de función tracker para un panel solar, esto con la finalidad de validar los materiales implementados sean duraderos y se comporten de una forma adecuada ante diferentes climas atmosféricos.
- Implementar telemetría en el sistema para encontrar posibles fallas y así mejorar el desarrollo del proyecto adecuadamente.
- Validar la durabilidad del material TPU para el desarrollo de componentes estructurales en el seguidor solar, así determinar la resistencia con respecto a su densidad.
- Seguir indagando en otros materiales aún más resistentes y de fácil acceso, es decir, que no sean tan costosos para su implementación.

14. LISTA DE REFERENCIAS

1. Herrera Figueroa, M. (2019). *¿Es rentable instalar un sistema de energía solar en casa?* Obtenido de: <https://www.eluniversal.com.co/especial/construccion/es-rentable-instalar-un-sistema-de-energia-solar-en-casa-LJ649805>
2. Diana. (2017). *La biomimetización, clave para las nuevas energías renovables.* Obtenido de: <https://www.concienciaeco.com/2017/05/11/la-biomimetizacion-clave-para-las-nuevas-energias-renovables/#:~:text=La%20biomimetizaci%C3%B3n%20estudia%20precisamente%20eso,m%C3%A1s%20bien%20poco%20o%20nada.>
3. Pes, M. (2020). *Siguiendo al sol: la tecnología de los trackers solares.* Obtenido de: <https://www.revistaenergia.com/20391/>
4. Dagny-user. (2021). *¿Qué es un sistema de seguimiento solar?* Obtenido de: <https://www.hgingeneria.com.co/que-es-un-sistema-de-seguimiento-solar/>
5. Vivintsolar. (2021). *¿Cuán eficientes son los paneles solares?* <https://www.vivintsolar.com/es/centro-de-aprendizaje/cuan-eficientes-son-los-paneles-solares>
6. Alibaba. (2021). *Sistema de Seguimiento de precios con rastreador solar de doble eje de 5kw, personalización.* Obtenido de: https://spanish.alibaba.com/product-detail/customization-5kw-dual-axis-solar-tracker-price-tracking-system-62022182481.html?spm=a2700.7724857.topad_classic.d_image.4174443b81G1V6
7. Celsia. (2021). *Todo lo que debes saber sobre energía solar en Colombia.* Obtenido de: <https://eficienciaenergetica.celsia.com/todo-lo-que-debes-saber-sobre-energia-solar-en-colombia/>

8. Tobajas Vázquez, C. (2018). Energía solar fotovoltaica. Murcia, Spain: Cano Pina. Recuperado de <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaean/45047?page=9>.
9. Reddy, P. Jayarama. Solar Power Generation: Technology, New Concepts and Policy, Taylor & Francis Group, 2012. ProQuest Ebook Central, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliotecaean-ebooks/detail.action?docID=888587>.
10. Engineered Biomimicry, edited by Akhlesh Lakhtakia, and Raúl José Martín-Palma, Elsevier, 2013. ProQuest Ebook Central, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliotecaean-ebooks/detail.action?docID=1205485>.
11. Variación de la radiación solar Tobajas Vázquez, C. (2018). Energía solar fotovoltaica. Cano Pina. <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaean/45047?page=37>
12. Carlos Tobajas, M. (2014). Instalaciones solares fotovoltaicas. Barcelona, Spain: Cano Pina. Recuperado de <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaean/43053?page=88>.
13. Tobajas Vázquez, C. (2018). Energía solar fotovoltaica. Cano Pina. <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaean/45047?page=96>
14. Bayod Rújula, Á. A. (2009). Energías renovables: sistemas fotovoltaicos. Prensas de la Universidad de Zaragoza. <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaean/41940?page=241>
15. Cambio Energético. (2021). ¿Cómo oriento las placas solares? Recuperado de: <https://www.cambioenergetico.com/blog/como-oriento-las-placas-solares/>

16. José Manuel de la Cruz Gómez. (2015). Guía de mantenimiento en instalaciones fotovoltaicas. Ediciones Experiencia. <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaean/41986?page=154>
17. Innovación y Cualificación, S. L. (2017). Montaje mecánico en instalaciones solares fotovoltaica. ENAE0108. IC Editorial. <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaean/45102?page=277>
18. Las Heras León, M. E. D. (2017). Mantenimiento de instalaciones solares fotovoltaicas. ENAE0108 (2a. ed.). IC Editorial. <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaean/45240?page=98>
19. Energiasolarfotovoltaica. (2021). Dimensiones de los paneles solares: ¿qué tamaños hay? Obtenido de: <https://energiasolarfotovoltaica.org/dimensiones-de-los-paneles-solares-que-tamanos-hay>
20. Gimeno Sales, F. J. (2013). Convertidores electrónicos: energía solar fotovoltaica, aplicaciones y diseño. Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia. <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaean/54076?page=1>
21. all3dp, (2021), tipo básico de filamento 3d, *HIPS*. Recuperado de: <https://all3dp.com/es/1/filamento-3d-filamento-impresora-3d/>
22. MakeMendel, (2008), Maxbot Unassembled, *Technical Specification*, Recuperado de: <http://makemendel.com/maxbot-unassembled>
23. López, José H. (2019), Ingeniería y ética profesional, *el mundo*. Recuperado de: <https://www.elmundo.com/noticia/Ingenieria-y-etica-profesional/376868>
24. Lucia. C. (2019), Top 13 de impresoras 3D con gran volumen de impresión a menos de €5,000, *Impresoras 3D*. Recuperado de: <https://www.3dnatives.com/es/top-10-impresoras-fdm-volumen-de-impresion-21092016/#!>

25. Energía limpia para todos, (2020), Siguiendo al sol: la tecnología de los trackers solares (Parte I), *Energía Limpia XXI*. Recuperado de:
<https://energialimpiaparatodos.com/2020/04/01/siguiendo-al-sol-la-tecnologia-de-los-trackers-solares-parte-i/>
26. Bernal España, M. (2016), Diseño y construcción de un seguidor solar de 2 ejes, *Universidad Politécnica de Madrid*. Recuperado de:
http://oa.upm.es/43463/1/TFG_MARCOS_BERNAL_ESPANA_a.pdf
27. Prevencionar, (2019), PrevenConsejo: 10 reglas básicas en seguridad, *Buenas prácticas*. Recuperado de: <https://prevencionar.com/2019/10/02/prevenconsejo-10-reglas-basicas-en-seguridad/>
28. Alicia M. (2020), Lo que distingue al HIPS como estructura de soporte en la impresión 3D, *Actualidad*. Recuperado de: <https://www.3dnatives.com/es/hips-soporte-impresion-3d-070820202/#!>
29. Machado Toranzo, N., Lussón Cervantes, A., Oro Carralero, L. L., Bonzon Henríquez, J., & Escalona Costa, O. (2015). Seguidor Solar, optimizando el aprovechamiento de la energía solar / Solar tracker, optimizing ofimprovementof the solar energy. *Ingeniería Energética*, 36(2), 190–199.
30. Pons, Rafael. (2021). Entendiendo el Azimut y la Elevación. Obtenido de:
<https://www.photopills.com/es/articulos/entendiendo-el-azimut-la-elevacion>
31. Secretaría Senado. (2021). LEY 1715 DE 2014. Recuperado de:
http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html
32. Enlaceic. (2021). Biomimetización, clave para las nuevas energías renovables. Obtenido de: <https://enlaceic.com/al-dia/acontecimientos/biomimetizaci%C3%B3n,-clave-para-las-nuevas-energ%C3%ADas-renovables/>

33. Ambientum. (2017). La biomimetización es clave para las nuevas energías renovables. Obtenido de: <https://www.ambientum.com/ambientum/energia/la-biomimetizacion-es-clave-para-las-nuevas-energias-renovables.asp>
34. Valldoreix. (2015). Las Ventajas de los Seguidores Solares. Obtenido de: valldoreix-gp.com/las-ventajas-de-los-seguidores-solares/
35. SotySolar. (2020). Seguidores solares: todo lo que necesitas saber. Obtenido de: <https://sotysolar.es/placas-solares/seguidores-solares>
36. Alonso L, José A. (2021). Cómo dimensionar y calcular paneles solares fotovoltaicos necesarios. Obtenido de: https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/calcular-paneles-solares-necesarios/#Energia_generada_por_un_panel_solar
37. Energyavm. (2020). Paneles solares: ¿Cuántos kWh produce un panel solar? Obtenido de: <https://www.energyavm.es/paneles-solares-cuantos-kwh-produce-un-panel-solar/>
38. Manitas Francisco. (2021). Cómo calcular la potencia y el tamaño de un panel solar. Obtenido de: <https://consejos.manomano.es/como-calcular-la-potencia-y-el-tamano-de-un-panel-solar-n4506>
39. Ramírez G, Jhonnatan. Murcia M, Jairo D. Cabeza R, Ivan. (2017). La energía solar fotovoltaica en Colombia: potenciales, antecedentes y perspectivas. *Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Santo Tomás*. Obtenido de: <http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/10312/G%C3%B3mez2018.pdf?sequence>
40. Efimarket. (2018). ¿Qué es la Hora Solar Pico (HSP), para qué sirve y cómo calcularlo? Obtenido de: <https://www.efimarket.com/blog/la-hora-solar-pico-hsp-sirve-calcularlo/>
41. COPNIA. (2021). Diario Oficial No. 45.340, de 14 de octubre de 2003. Obtenido de: <https://www.copnia.gov.co/nuestra-entidad/normatividad/ley-842-de-2003>

42. Rs. (2021). Placa de desarrollo EasyPIC V7 de MikroElektronika. Obtenido de:
<https://es.rs-online.com/web/p/kits-de-desarrollo-de-microcontroladores/7916343/>
43. fSeneca. (2019). Sensores y actuadores. cómo la electrónica y la robótica son capaces de interactuar con el mundo. *Universidad Politécnica De Cartagena*. Obtenido de:
<https://fseneca.es/secyt19/actividad/sensores-y-actuadores-como-la-electronica-y-la-robotica-son-capaces-de-interactuar-con-el-mundo/>
44. Tapia C, Robinson A. (2018). Diseño análisis y simulación de un prototipo de soporte mecánico con dos grados de libertad para posicionamiento perpendicular a la luz de un panel fotovoltaico de 100 w. *Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito*. Obtenido de: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15903/1/UPS-ST003678.pdf>
45. Informática Moderna. (2021). La pantalla LCD. Obtenido de:
https://www.informaticamoderna.com/Pantalla_LCD.htm
46. Carletti Eduardo J. (2020). Sensores – LDR. Descripción y funcionamiento. Obtenido de: http://robots-argentina.com.ar/Sensores_LDR.htm
47. Clr. (2021). Tipos de encoders y aplicaciones en motores. Obtenido de:
<https://clr.es/blog/es/tipos-de-encoders-aplicaciones-motores/#:~:text=Los%20encoders%20son%20componentes%20que,de%20electr%C3%B3nica%20de%20control%20integrado.&text=Seg%C3%BAAn%20su%20dise%C3%B1o%20y%20funcionalidad%20existen%20distintos%20tipos%20de%20encoders.>
48. Guillehg. (2021). Lenguaje de programación c18. Obtenido de:
<http://www.guillehg.com/pics/datos/C18.pdf>
49. EcoInvetos. (2021). Seguidores solares: todo lo que necesitas saber. Obtenido de:
<https://ecoinventos.com/seguidores-solares/>

50. Dolores de Azategui, M. (2018). Revista Elcano Edición #24. Pág.: 55. Obtenido de:
http://www.realinstitutoelcano.org/wps/wcm/connect/9db36ffe-1add-475f-8a95-eacd9b75666b/Revista_Elcano_Abr_Jun_2018.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=9db36ffe-1add-475f-8a95-eacd9b75666b.