

DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UN SEGUIDOR SOLAR DE 2 EJES OPTIMIZANDO UN SISTEMA FOTOVOLTAICO HÍBRIDO APLICADO A LA ACUAPONIA

Autor (es)
Jensul Villalba Gaitán

Universidad de Cundinamarca
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Electrónica
Fusagasugá, Colombia
2023

DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UN SEGUIDOR SOLAR DE 2 EJES OPTIMIZANDO UN SISTEMA FOTOVOLTAICO HÍBRIDO APLICADO A LA ACUAPONIA

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título de
ingeniero electrónico

Autor (es)

Jensul Villalba Gaitán

Director:

Msc. Faider Barrero Sánchez

Línea de investigación:

Aprendizaje, conocimiento, tecnologías, comunicación y digitalización

Universidad de Cundinamarca

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Electrónica

Fusagasugá, Colombia

2023

Dedicatoria

Primeramente, a Dios y a mi familia, a mis colegas y compañeros de estudio.

Agradecimientos

En primer lugar, les agradezco a mis padres que siempre me brindan su apoyo incondicional para cumplir todos mis objetivos personales, laborales y académicos. Además, a mis docentes y compañeros los cuales muchos de ellos se han convertido en mis amigos.

Resumen

En este proyecto de investigación se diseñó y se llevó a la práctica un seguidor solar de 2 ejes, con el fin de optimizar un sistema fotovoltaico que funcionará de forma híbrida utilizando como respaldo la red eléctrica local, con las características necesarias para suplir la demanda energética en un proyecto de acuaponía. Primeramente, usando la energía solar fotovoltaica para abastecer eléctricamente a todos los componentes que el sistema acuopónico requiera, ofreciendo un considerable ahorro energético en el proceso y posibilitando que este funcione de manera autónoma y eficiente.

La solidez del seguidor solar con respecto a un panel fotovoltaico estacionario se basa en su capacidad de orientar los paneles solares de forma que permanezcan perpendicularmente en dirección a los rayos solares logrando tener mayor disposición y así aumentar su producción de energía eléctrica.

El seguidor solar para el sistema de obtención de energía eléctrica por medio de paneles solares se diseñó e implementó en la zona del laboratorio de propagación y endurecimiento de tejido vegetal de la Universidad de Cundinamarca en la sede Fusagasugá. El proyecto se desarrolló en cuatro fases: la primera fase se enfatizó en la recopilación de material bibliográfico para la construcción del estado del arte, informe de inversiones y normatividad. En la segunda fase se realizó un diseño en 3D del seguidor solar de 2 ejes logrando una buena distribución de los componentes optimizando el espacio del área de instalación del prototipo, en esta etapa también se realizó el dimensionamiento estructural del prototipo basándose en las dimensiones del panel fotovoltaico y los resultados de posición y altura obtenidos en la simulación realizada en el software PVsyst, también se elaboró el algoritmo de control de giro para dos grados de libertad cumpliendo con el objetivo de lograr un movimiento en el eje de azimut de 0° a 180° y de 0° a 90° en el eje de altitud. En la tercera fase se implementó y ejecuto el seguidor solar acoplándolo con el sistema solar de 1kva con inversor híbrido obteniendo los resultados esperados en un aumento en su producción entre el 2% y el 20% en condiciones climáticas poco estables y finalizando en la cuarta fase con el desarrollo de material didáctico logrando socializar el proyecto en talleres y capacitaciones a estudiantes de la comunidad universitaria y una participación con modalidad de ponencia en el encuentro internacional de educación en ingeniería ACOFI (EIEI ACOFI 2022).

Abstract

In this research project, a 2-axis solar tracker was designed and put into practice in order to optimize a photovoltaic system that will work in a hybrid way using the local electrical grid as a backup, with the necessary characteristics to supply the energy demand in an aquaponics project. Firstly, using solar photovoltaic energy to electrically supply all the components required by the aquaponics system, offering considerable energy savings in the process and enabling it to operate autonomously and efficiently.

The strength of the solar tracker with respect to a stationary photovoltaic panel is based on its ability to orient the solar panels so that they remain perpendicular to the direction of the sun's rays, thus achieving greater readiness and increasing their electrical energy production.

The solar tracker for the system to obtain electric energy by means of solar panels was designed and implemented in the area of the propagation and hardening of plant tissue laboratory of the Universidad de Cundinamarca at the Fusagasugá headquarters. The project was developed in four phases: the first phase emphasized the compilation of bibliographic material for the construction of the state of the art, investment report and regulations. In the second phase a 3D design of the 2-axis solar tracker was made achieving a good distribution of the components optimizing the space of the installation area of the prototype, in this stage the structural dimensioning of the prototype was also made based on the dimensions of the photovoltaic panel and the results of position and height obtained in the simulation performed in the PVSyst software, also the rotation control algorithm was developed for two degrees of freedom fulfilling the objective of achieving a movement in the azimuth axis from 0° to 180° and from 0° to 90° in the altitude axis. In the third phase the solar tracker was implemented and executed coupling it with the 1kva solar system with hybrid inverter obtaining the expected results in an increase in production between 2% and 20% in unstable weather conditions and ending in the fourth phase with the development of didactic material achieving socialization of the project in workshops and training to students of the university community and a participation in the form of a presentation at the international meeting of engineering education ACOFI (EIEI ACOFI 2022).

Contenido

Resumen	6
Abstract.....	7
INTRODUCCIÓN	14
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
OBJETIVOS DEL ESTUDIO	16
Objetivo general	16
Objetivos específicos	16
JUSTIFICACIÓN	17
ALCANCES Y LIMITACIONES	19
Alcances	19
Limitaciones	19
1. MARCO REFERENCIAL	20
1.1. ESTADO DEL ARTE	20
1.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	20
1.2.1. Energía fotovoltaica	21
1.2.2. Panel fotovoltaico	21
1.2.3. Componentes de un panel solar y funcionamiento	22
1.2.4. Tipos de paneles solares fotovoltaicos	23
1.2.5. Sistema fotovoltaico	25
1.2.6. Sistema fotovoltaico aislado.....	25
1.2.7. Sistema fotovoltaico con conexión a red	26
1.2.8. Sistema fotovoltaico hibrido	26
1.2.9. Seguidor solar.....	27
1.2.10. Sistema acuoponicos.....	29
1.2.11. Inversor hibrido	29
1.3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	30
1.3.1. Leyes	30
1.3.2. Decretos	31

1.3.3.	Resoluciones.....	32
1.2.1.	Normas.....	32
1.4.	MARCO GEOGRAFICO.....	32
2.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	33
2.1.	METODOLOGÍA.....	34
3.	DESARROLLO DEL TRABAJO.....	35
3.1.	FASE 1 RECOPILIACION BIBLIOGRAFICA Y ESTIMACION DE COSTOS....	35
3.1.1.	Recopilacion bibliografica.....	35
3.1.2.	Materiales y equipos.....	36
3.1.3.	Informes de inversiones.....	36
3.1.4.	Conclusiones Fase 1.....	38
3.2.	FASE 2: DIMENCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO.....	38
3.2.1.	Estimacion de las cargas.....	38
3.2.2.	Diseño del circuito sensor de radiacion solar.....	40
3.2.3.	Logica del algoritmo para controlar los motores.....	42
3.2.4.	Diseño del circuito de control.....	45
3.2.5.	Descripcion de las variables.....	46
3.2.6.	Diseño en 3D del prototipo.....	46
3.2.7.	Simulacion del seguidor solar.....	48
3.2.8.	Conclusiones Fase 2.....	50
3.3.	FASE 3: IMPLEMENTACION DEL SEGUIDOR SOLAR.....	51
3.3.1.	Prototipo seguidor solar.....	51
3.3.2.	Instalacion del seguidor solar de 2 ejes.....	51
3.3.3.	Concepto del diseño estructural.....	51
3.3.4.	Partes de la plataforma movil.....	51
3.3.5.	Descripcion de los componentes del sistema para la implementacion	53
3.3.6.	Panel solar 345w.....	53
3.3.7.	Inversor 1kva hibrido.....	53
3.3.8.	Baterias.....	54
3.3.9.	Diagrama de flujo del algoritmo implementado.....	56

3.3.10.	Informacion meteorologica de referencia	56
3.4.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y/O DESEMPEÑO	58
3.4.1.	Diagnostico y mejoramiento del prototipo.....	58
3.4.2.	Datos y analisis de resultados	60
3.4.3.	Recopilacion de datos por software	60
3.4.4.	Conclusiones Fase 3.....	65
3.5.	FASE 4: SOCIALIZACION DEL PROYECTO	65
3.5.1.	Desarrollo del material didáctico digital	65
3.5.2.	Diseño didactico.....	65
3.5.3.	Socializacion de los resultados y procedimientos	67
3.5.4.	Capacitaciones	67
3.5.5.	Participacion en seminarios.....	72
3.5.6.	Participacion en ponencias nacionales y /o internacionales.....	72
3.5.7.	Conclusiones Fase 4.....	72
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	73
4.1.	Productos y resultados.....	73
4.2.	Presupuesto.....	73
5.	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	75
5.1.	CONCLUSIONES.....	75
5.2.	PERSPECTIVAS DE TRABAJO FUTURO	75
	BIBLIOGRAFÍA.....	81
	ANEXOS.....	84

Índice de figuras

Figura.1.	Diagrama inversor hibrido.....	17
Figura.2.	Resultados de potência obtenida em diferentes ángulos.....	18
Figura.3.	Configuración del sistema hibrido eólico-solar.....	19
Figura.4.	Estrutura para hidropônica y acuaponía com energia sola.....	21
Figura.5.	Panel solar fotovoltaico.....	24
Figura.6.	Principales componentes de un Panel solar.....	25
Figura.7.	Componentes de um sistema fotovoltaico.....	27
Figura.8.	Componentes de un sistema fotovoltaico aislado.....	28
Figura.9.	Componentes de un sistema fotovoltaico a lá red.....	28
Figura.10.	Componentes de un sistema fotovoltaico híbrido.....	29
Figura.11.	Seguidor solar.....	30
Figura.12.	Tipos de seguidores solar.....	30
Figura.13.	Modelo de un sistema acuopónico.....	31
Figura.14.	Inversor Powest 1Kva.....	32
Figura.15.	Localización municipio de Fusagasugá.....	35
Figura.16.	Diagrama Fases del proyecto.....	36
Figura.17.	Esquema arreglo celdas fotovoltaicas.....	42
Figura.18.	La incidencia del sol en un arreglo de células fotovoltaicas.....	44
Figura.19.	Caso1 arreglos de celdas fotovoltaicas	44
Figura.20.	Caso2 arreglos de celdas fotovoltaicas.....	45
Figura.21.	Caso3 arreglos de celdas fotovoltaicas.....	45
Figura.22.	Caso4 arreglos de celdas fotovoltaicas.....	46
Figura.23.	Diagrama de bloques circuito de control.....	47
Figura.24.	Diseño 3D del Prototipo.....	49
Figura.25.	Perdidas de radiación por sombras con seguidor solar.....	50
Figura.26.	Perdidas de potencia por sombras en el panel solar en posición fija. ...	51
Figura.27.	Simulación proteus.....	52
Figura.28.	Parte superior estructural.....	53
Figura.29.	Motor DC12v.....	54
Figura.30.	BateríaKaise12v55Ah.....	56
Figura.31.	Prototipo ensamblado e instalado.....	57
Figura.32.	Diagrama de flujo algoritmo seguidor solar.....	58
Figura.33.	Radiación en algunas zonas de Colombia.....	59
Figura.34.	Implementación motores DC con transmisión de cadena.....	60
Figura.35.	Interfaz del software Watch Power.....	62
Figura.36.	Gráfica del comportamiento panel solar fijo.....	63

Figura.37. Gráfica del comportamiento panel solar con seguidor.....	64
Figura.38. Gráfica de voltaje del panel fijo vs panel con seguidor.....	65
Figura.39. Gráfica de corriente del panel fijo vs panel con seguidor.....	65
Figura.40. Diapositiva de las características del panel.....	70
Figura.41. Diapositiva de los cálculos para determinar la cantidad de paneles....	71
Figura.42. Diapositiva de los cálculos para la selección de las baterías.....	72
Figura.43. Capacitación a integrantes del semillero.....	73
Figura.44. Segunda capacitación a estudiantes de ingeniería electrónica.....	73

Índice de tablas

Tabla 1. Principales características de los tipos de paneles fotovoltaicos.....	26
Tabla 2. Antecedentes y sus aportes.....	37
Tabla 3. Costos de los equipos y materiales	39
Tabla 4. Estimación de cargas.....	41
Tabla 5. Medición de celda solar sensor de radiación	46
Tabla 6. Fallas y soluciones en la implementación del prototipo.....	61
Tabla 7. Valores aproximados de ganancia.....	66
Tabla 8. Dimensionamiento energetico.....	69
Tabla 9. Costos del proyecto.....	76

INTRODUCCIÓN

Colombia es un país con una enorme riqueza natural, pero a pesar de esto, las mayores fuentes energéticas se centran en explotar los recursos naturales, con métodos convencionales como las hidroeléctricas y plantas de combustibles fósiles, teniendo estos recursos limitados, estos sistemas generan inconvenientes en su funcionamiento siendo ineficientes.

Considerando lo anterior el proyecto nació como idea propuesta en el semillero SIAMEL que busca aprovechar la energía solar fotovoltaica implementando un seguidor solar de dos ejes para alimentar los componentes eléctricos de un sistema acuapónico implementado en las instalaciones de la Universidad de Cundinamarca en Fusagasugá Cundinamarca, este proyecto acuapónico está conformado por un estanque con peces y un sistema de cultivo de plantas con la técnica de hidroponía. por un lado, se Tiene como principal vinculo los desechos metabólicos de la cría de peces, los cuales son aprovechados como nutrientes por el cultivo de vegetales para crecer, al mismo tiempo las plantas limpian el agua y eliminan los compuestos tóxicos, por ello resulta más ecológico este proceso que reúne dos fases en un solo ámbito, la crianza de peces y el mantenimiento de plantas en un solo estanque, con ayuda de un conjunto de sensores y actuadores para controlar el ambiente de los peces y de las plantas, evidenciando que la razón sea mitigar el cambio climático usando energías limpias, sostenibles y amigables con el medio ambiente [1].

Por otro lado, un sistema de seguimiento solar es una estructura mecánica con uno o dos ejes de rotación que une el panel solar a una plataforma giratoria. Su objetivo es maximizar la recolección de energía solar con el fin de ser transformada y usada como fuente de energía limpia, optimizando y mejorando la calidad en el diseño de la infraestructura final [2].

Como resultado se implementó el seguidor solar de dos ejes logrando verifica su correcto funcionamiento y obteniendo un aumento en la producción de energía eléctrica entre un 5% y 20%. En general el prototipo presento un buen rendimiento ante las condiciones climáticas, garantizando la confiabilidad en su funcionamiento, por eso, hoy en día un sistema solar ya mejorado con un seguidor se puede vincular a un sistema híbrido incorporando energías limpias como generadores a hidrogeno, generadores eólicos, generadores a biogás o biomasa y la obtenida por generadores hidráulicos, al juntar estas alternativas se logra obtener una fuente de energía inagotable [58].

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los cambios climáticos en los últimos años generan alertas poniendo en riesgo la continuidad del servicio, por eso, el uso de energías limpias en el planeta cada vez es más indispensable, teniendo en cuenta que la escasez de recursos naturales y los cambios climáticos, obligan a las comunidades a buscar la implementación de métodos de generación de energías alternativas [55], [56].

Teniendo en cuenta lo anterior, actualmente existen alternativas para aprovechar la energía solar generando electricidad por medio de paneles fotovoltaicos en conjunto con seguidores electromecánicos que buscan aprovechar la totalidad de las horas de luz solar durante el día, estos sistemas operan con inversores híbridos que trabajan con dos o más fuentes de energía para un suministro eléctrico sin interrupciones.

La implementación de tecnología en sistemas de acuaponía crean un ciclo de aprovechamiento del entorno entre los diferentes elementos del ambiente de los peces como son su alimentación, oxigenación del agua por medio compresores de aire eléctricos, control en los niveles de pH, control en la temperatura del agua y manejo de los desechos de los peces. Ante todo, es posible tener los ambientes controlados utilizando componentes electrónicos que lleva a la necesidad de tener una fuente de energía ininterrumpida para lograr una constante circulación de estos fluidos y control electrónico de estos ambientes teniendo como única fuente la energía solar [57]. Con todo lo anterior surge la pregunta ¿Cómo se puede aprovechar la radiación solar en los sistemas solares fotovoltaicos para un proyecto de acuaponía optimizando la producción de energía eléctrica?

OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema seguidor solar para generación de energía eléctrica, que permita satisfacer la demanda energética de un sistema de acuaponía

Objetivos específicos

Recolectar información acerca del estado del arte, estado de la técnica, antecedentes y normatividad, pertinente al proyecto.

Realizar un estudio de cargas que permita establecer los criterios de diseño y estimar el ciclo de vida útil del sistema.

Simular el sistema híbrido haciendo uso de herramientas computacionales (software), que permitan evaluar las características de funcionamiento.

Implementar el sistema híbrido diseñado cumpliendo con los criterios establecidos.

Verificar y validar el desempeño del sistema, a partir de los parámetros y requerimientos establecidos en la etapa de diseño en sistemas de acuaponía.

JUSTIFICACIÓN

La implementación de energías limpias en aplicaciones y actividades agrícolas se está convirtiendo en uno de los objetivos de mayor desarrollo en Colombia y en el mundo, lo más importante en los sistemas de energía solar son los paneles fotovoltaicos que convierten la radiación solar en energía eléctrica y dependiendo del ángulo que este posicionado el panel absorberá mejor la radiación, de ahí parte el concepto de eficiencia de la obtención y conversión de la energía solar, lo ideal es ubicar los paneles solares fotovoltaicos perpendicularmente en dirección al sol para optimizar la obtención de energía fotovoltaica [59].

En las instalaciones de sistemas solares convencionales o tradicionales los paneles fotovoltaicos son ubicados en una posición y dirección específica sin posibilidad de movimiento alguno, en consecuencia, de esto la generación de electricidad se limita a un corto tiempo durante el día limitando la energía disponible para su consumo o almacenamiento. Por un lado, el Angulo de inclinación del panel condicionará a una hora específica del día para su máxima captación de radiación y generación de energía y por otro lado durante la salida y la puesta del sol el panel recibirá menor radiación provocando una baja producción de energía, por eso la importancia de ubicar el panel directamente al sol durante toda su trayectoria en el transcurso del día, por lo tanto, con un seguidor solar se puede obtener más energía utilizando los mismos equipos [59].

La energía necesaria para un sistema acuapónico donde los peces necesitan de oxígeno producido por un compresor de aire eléctrico, en segundo lugar, necesitan una constante circulación de agua para evacuar los desechos del tanque que funciona con una bomba eléctrica, ante todo el control de los ambientes por medio de actuadores y electroválvulas controladas por tarjetas electrónicas que van censando constantemente el oxígeno, el pH y la temperatura del agua. Por otro lado, para las plantas y vegetales debe haber una constante circulación de nutrientes por medio del agua en canales especiales suministrada por bombas eléctricas, Concluyendo con esto la importancia de un buen suministro eléctrico debido a que las interrupciones de energía son fatales para el ecosistema de las plantas y los peces pues en un estanque artificial no cuentan con medios naturales para la supervivencia [60].

Para obtener una fuente de energía sin interrupciones es indispensable contar con más de una alternativa como la red eléctrica local, generadores estacionarios u otro

medio para generar electricidad y en conjunto con un inversor que tenga la capacidad de realizar automáticamente las transferencias eléctricas, ante todo logrando una disposición de energía constante, ahora bien, al tener más de una fuente de energía como respaldo lo convierte en un sistema híbrido como se describe en la figura 1.

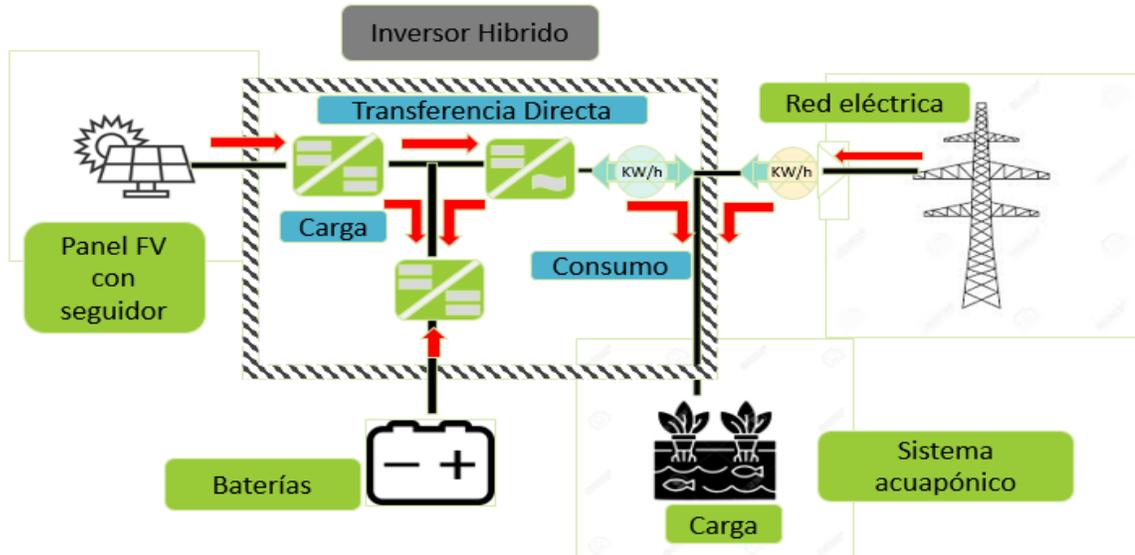


Figura 1. Diagrama inversor híbrido. Elaboración propia.

ALCANCES Y LIMITACIONES

Alcances

El desarrollo está planteado para que el prototipo sea práctico para operar y funcionar correctamente como está previsto en su diseño, este prototipo también puede adaptar técnicas para mejorar el proceso de captación de energía fotovoltaica. soportando en sus condiciones normales de operación esfuerzos mecánicos y exigencias que así lo requiera. Todo lo involucrado con el fin optimizar un sistema fotovoltaico.

Limitaciones

Este prototipo de seguidor solar fue diseñado para soportar máximo uno o varios paneles fotovoltaicos que al juntarse no superen un área máxima de 2 metros cuadrados.

1.MARCO REFERENCIAL

En primer lugar, se documenta el estado del arte a nivel institucional, nacional e internacional sobre todo lo relacionado con este proyecto de seguidores solares y energías fotovoltaicas. Por otra parte, también se menciona los fundamentos teóricos, marco regulatorio y geográfico.

1.1. ESTADO DEL ARTE

En esta sección se mencionan los trabajos realizados que tengan relación con el manejo y adaptación del uso de energías renovables en la región del Sumapaz, alrededores, a nivel nacional e internacional, permitiendo observar diferentes criterios y tomando como referencia para el desarrollo del proyecto planteado.

Durante el 2019 se delineó un modelo de un cargador autónomo para dispositivos móviles, que proporciona energía eléctrica por medio de unos paneles solares, dicho proyecto se desarrolló en un predio perteneciente a la Universidad de Cundinamarca. Se desarrolló un proceso para la adquisición de datos en el sistema fotovoltaico implementado elaborando una tarjeta electrónica en conjunto con una serie de sensores con el fin de leer datos de las diferentes variables que el panel puede presentar de acuerdo a su posición en grados de altitud con orientación al sur evidenciando que solo en una posición fija de 20 grados de altitud logro su máxima captación de los rayos solares [5].

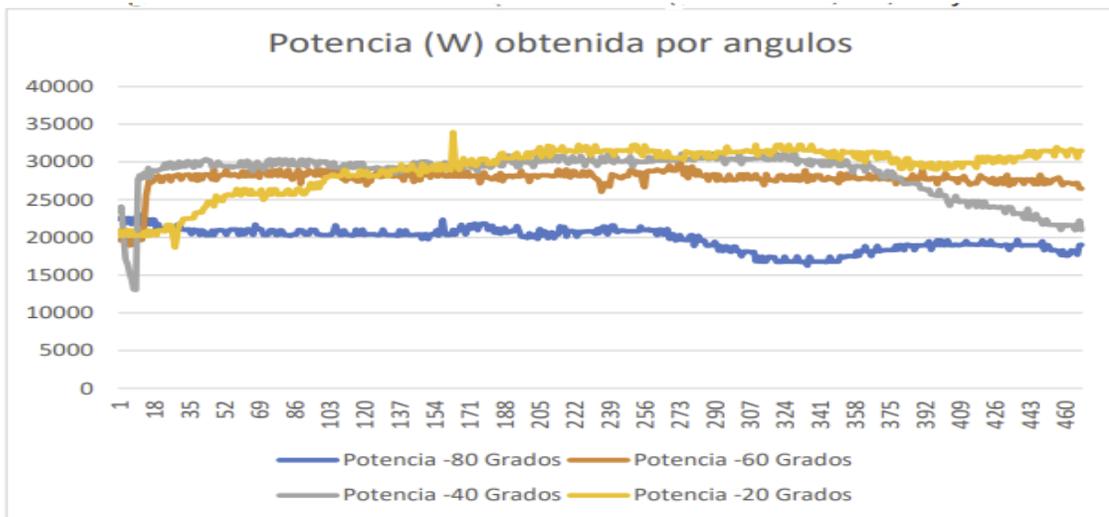


Figura 2. Resultados de potencia obtenida en diferentes ángulos [5].

También se desarrolló un estudio sobre de viabilidad para implementar sistemas eólicos, estos también podrían ser híbridos o eólicos-fotovoltaicos en la Vereda llamada San José del Chocho que está ubicada en el municipio de Silvania-Cundinamarca, mediante un análisis que determinará el recurso eólico de la zona, teniendo como finalidad apoyar el sistema fotovoltaico actual, que es el encargado de suministrar de energía a una torre de telecomunicaciones este actualmente soporta una antena encargada de suministrar el servicio de internet a diferentes zonas de la vereda Bosachoque Cundinamarca, el proyecto se desarrolló en cinco fases, donde se logró el diseño y posteriormente la implementación del sistema para monitorear los datos y detectar las variables del viento, con esto se logró la implementación de un aerogenerador trifásicos con una potencia de 400 W, además, se diseñó una página WEB donde se monitorea el funcionamiento del sistema híbrido instalado gracias a la distribución de sensores en las entradas y salidas de los componentes del sistema híbrido como se observa en la figura 3 [6].

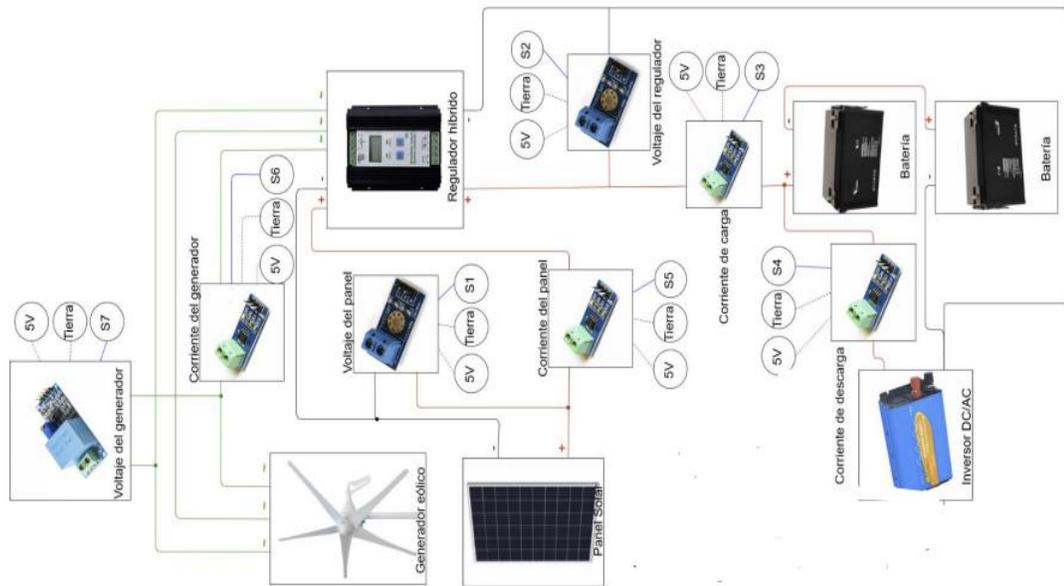


Figura 3. Configuración del sistema híbrido eólico - solar [6].

Según información brindada por SENERGYSOL en el departamento de Cundinamarca se han hecho proyectos en Bogotá D.C, Suesca, Gachancipá, Facatativá, chía, Cajicá y Tenjo, hay aproximadamente 3277 paneles en operación distribuidos en dichos lugares, lo que equivale a 1.950 MWh de energía verde anual, evitando incrementar los niveles de CO₂ al medio ambiente [7].

Colombia se encuentra en una ubicación geográfica que la hacen tener condiciones climáticas especiales, obteniendo un gran potencial para la implementación de fuentes de energías limpias, esto, dicho por la Asociación Energías Renovables SER Colombia, Astrid Alvares presidenta del Grupo Energía de Bogotá, Ramón Monrás presidente de la ABB para Latinoamérica, representantes nacionales e internacionales en Colombia [8].

Conforme a los informes de La Asociación Colombiana de Energías Renovables SERCOLOMBIA, este país cuenta con un gran potencial a nivel mundial en materia de energía eólica o solar, cosa que puede ser fuente de oportunidades para grandes y pequeñas empresas que decidan competir y tener participación en la matriz energética del país [8].

Sobre el año 2010 se desarrollaron más de 300 proyectos de sistemas solares fotovoltaicos individuales según el Instituto Colombiano de Energía Eléctrica ICEL, en departamentos de Colombia tales como: Vaupés, Vichada, Guainía, Guaviare y el departamento de Amazonas. Estos tienen implementado un módulo fotovoltaico aproximadamente de 50 Wp, con un respaldo compuesto por una batería de 60-72 Ah, y un regulador-controlador de 12 A, el cual opera sus 2 tomacorrientes y 3 lámparas fluorescentes [9].

En el año 2012 se realizó la instalación de un sistema fotovoltaico con una capacidad de 800 Wp en instalaciones del campus de la Universidad Tecnológica del Chocó, Quibdó. Esta se dispuso para abastecer de electricidad en momentos de apagones y/o daños en la electrificadora local. Este proyecto está compuesto de 10 paneles fotovoltaicos mono cristalino, con un inversor de voltaje de 1.5 kW, un regulador-controlador de carga de 20 A con un respaldo de cuatro baterías de 255 Ah [10].

La universidad de los andes y su faculta de ingeniería en el 2019 presentó un proyecto donde se realizó una estructura múltiple para un sistema hidropónico y acuopónico con energía solar, esto con el objetivo de implementar las energías limpias para la producción agrícola y de peces obteniendo con este proyecto ahorro en recursos, como el agua ya que esta es reutilizada, mejor calidad en los alimentos por la ausencia de químicos y mayor estabilidad de producción durante todo el año, con estas prácticas supone la reducción del consumo del agua en un 90% en comparación con las prácticas tradicionales de agricultura [61].

Esta estructura como se observa en la figura 4 sirve como modelo compacto para la implementación de estos sistemas acuopónicos o hidropónicos en cualquier zona o lugar donde se requiera producir alimentos.



Figura 4. Estructura para hidroponía y acuaponía con energía solar [61].

En el 2020 el gobierno de Colombia ha puesto el interés en una política energética con la finalidad de la nueva generación de energías limpias y el máximo provecho a los recursos de la nación impulsando el desarrollo sostenible.

Para esto 7 proyectos cuentan con una capacidad de 950 MW en la fase 1, distribuidos en departamentos como: Meta, Cesar, Magdalena, Cundinamarca, Santander, Norte de Santander y Antioquia. En la fase dos se contó con una capacidad total de 6.365, 18 MW para los 31 proyectos en los departamentos de: Cundinamarca, La Guajira, Atlántico, Cesar, Huila, Bolívar, Antioquia, Córdoba, Boyacá y Norte de Santander. Algunos de estos proyectos no han culminado su proceso y se prevé que para el 2024 ya estarán en marcha [11].

En la región del caribe existen buenas condiciones geográficas e irradiación suficiente, y se convierte en grandes impulsores en la generación de ingresos y empleo. Para el 2021 se estima que aproximadamente en siete departamentos hay 122 proyectos en fase dos, datos tomados de la unidad de planeación minero-energética UPME [12].

En los sistemas de seguimiento solar están compuestos por una parte electrónica y otra parte mecánica con el fin de enfocar a la eficiencia energética, implementando precisión de las lecturas adquirida por los sensores y teniendo gran capacidad de respuesta por parte de los actuadores implementados [13].

En modelos en años anteriores implementados se encontró un prototipo donde el diseño se enfatizó en seguir la trayectoria del sol, sin embargo, en la investigación no se observó a detalle un análisis específico de la parte estructural, debido a que su principal objetivo es la eficiencia energética [13].

Por otro lado, en la última década, la automatización en los procesos y la indispensable implementación de los microcontroladores deja un papel cada vez más importante en el área de la industria e inclusive en la vida cotidiana [14]. La integración de estos sistemas por parte de las empresas viene dándose gracias al gran incremento de los niveles de productividad que esto conlleva.

Por lo anterior, se hizo un filtrado de la información encontrada en diferentes lugares para entrar en contexto de los registros de proyectos que tienen relación con el seguidor solar implementado.

Otro hallazgo fue encontrar una investigación que está basado al diseño y construcción de una estructura metálica con las características adecuadas para un seguidor solar instalado dentro de las instalaciones en Miguel de Cervantes de la UISEK en el país de Ecuador quienes se acogen al análisis estructural y el método de simulación CAE para el buen desarrollo en la obtención de energía fotovoltaica. También la construcción de un seguidor para buscar mejorar el rendimiento energético en los paneles solares instalados en la escuela de ingeniería eléctrica de la UES, quienes culminaron el proceso con éxito aumentando la eficiencia del sistema FV con seguidor con respecto al sistema SFV fijo [16], [17].

Por último, se encontró una gran similitud en proyectos relacionados con temas como el diseño, la evaluación y construcción de un sistema de seguidor solar para un panel fotovoltaico, viendo la carencia en proyectos realizados en Latinoamérica

enfocándose en un sistema controlado por medio de microprocesadores para un sistema con panel fotovoltaico automatizado. Estos se refieren a un índice de error mínimo en el margen de 1 grado [18], [19], [20], [21], [22], [23].

1.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Como fundamentos principalmente se mencionan en esta sección los términos, componentes y sistemas relacionados con este proyecto de investigación.

1.2.1 Energía Fotovoltaica

La generación de electricidad a partir de los rayos solares que es captada por fotoceldas se conoce como efecto fotovoltaico, este fenómeno fue descrito por Antoine Becquerel un reconocido físico en el año 1839, que describió como la composición de un material que tiene la característica de captar la radiación solar y que posee la capacidad de transformar a energía eléctrica, este mismo concepto es el que compone actualmente las células fotovoltaicas.

En el año de 1870 el profesor W. Grylls Adams junto con el estudiante, R. Evans Day, probaron el fenómeno sobre el efecto de la radiación solar sobre un material que incluye selenio, confirmando en este experimento que es evidente el flujo de electrones, fenómeno que denominan fotoeléctrico. En 1885, Charles Fritts consiguió crear un prototipo del primer módulo fotovoltaico, recubriendo una carcasa de metal con una fina capa de selenio y recubriendo con una muy fina película casi transparente de oro. Fritts envió sus células solares a Werner Von Siemens, quien presentó los módulos estadounidenses ante la Real Academia Prusiana de las ciencias, presentando los módulos americanos y afirmó que “por primera vez hay como evidencias la conversión directa de la energía de la luz en energía eléctrica” [50].

1.2.2 Panel solar fotovoltaico

Un panel solar fotovoltaico es una placa conformada por varias células fotoeléctricas compuestas por materiales semiconductores, comúnmente de silicio dopado con sodio, potasio entre otros. Este produce una pequeña diferencia de potencial cuando se proyecta radiación solar y esto produce un flujo de electrones en los conductores de la placa fotovoltaica lo que genera una corriente eléctrica continua; estos módulos solares hacen uso del efecto fotovoltaico para generar un flujo de

electrones para producir energía eléctrica. La mayoría de paneles de mayor potencia utilizados comercialmente contiene de 60 a 72 celdas solares conectadas en serie como se ilustra en la Figura 5. En una planta de producción solar la conexión de los paneles se realiza en serie o paralelo dependiendo del voltaje y las potencias requeridas por los sistemas [51].

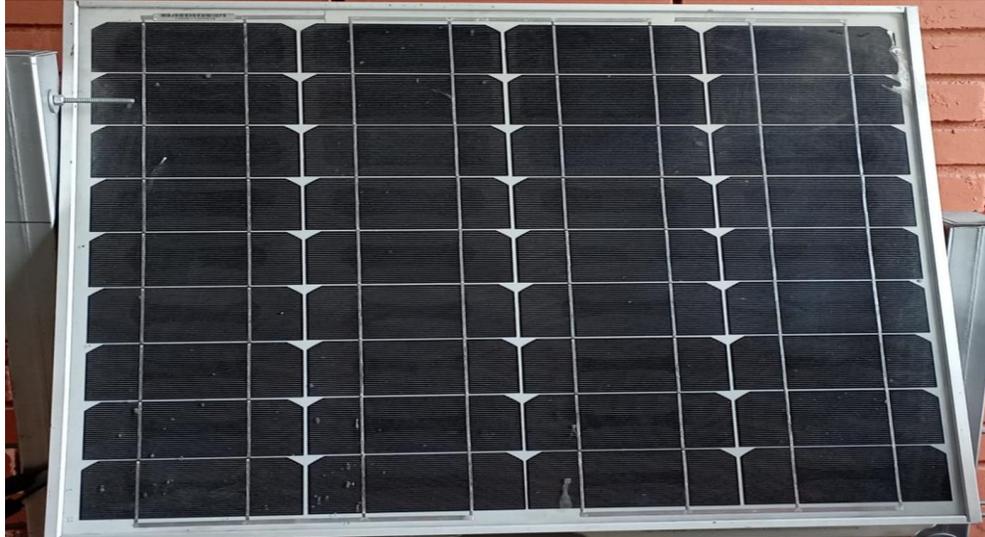


Figura 5. Panel solar fotovoltaico.

1.2.3 Componentes de un panel solar fotovoltaico y funcionamiento

Sin importar el tipo de panel fotovoltaico, todos funcionan con el mismo efecto fotoeléctrico a través de láminas semiconductoras construidas con aleaciones de materiales especiales que reaccionan en presencia de la radiación solar generando una corriente eléctrica.

Las láminas semiconductoras utilizadas en los paneles solares están compuestas por varias capas finas de silicio dopado negativamente con partículas de boro silicio y otra de las capas de silicio dopado positivamente con fósforo silicio. la composición de los materiales varía según la marca y fabricación, Los paneles poseen una estructura o marco en aluminio que le da soporte a las placas solares para su fácil fijación con acoples especiales en diferentes tipos de superficies, también cuenta con una placa de vidrio templado o en otros casos acrílico muy resistente, los paneles solares también cuentan con una caja de conexiones y protecciones eléctricas ya estandarizadas, en la Figura 6 se puede observar cómo está construido un panel solar de 36 celdas conectadas en serie para producir 12V corriente continua.

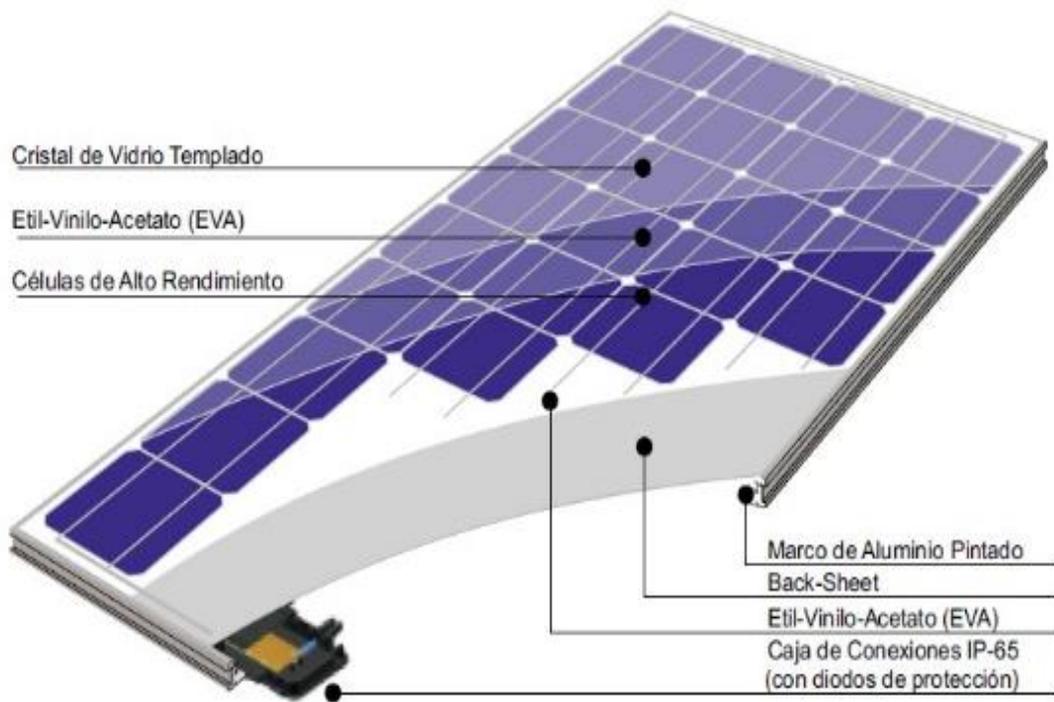


Figura 6. Principales componentes de un panel solar [52].

1.2.4 Tipos de paneles solares fotovoltaicos

En la Tabla 1 se ilustra cuatro tipos de paneles solares con sus características más importantes, en la tabla se puede encontrar el panel poli cristalino, el panel mono cristalino, el panel solar flexible y por último el panel solar híbrido que cuenta con un 89% de eficiencia puesto que aprovecha al máximo la radiación solar una parte de en generación de corriente eléctrica y la otra parte aprovechando la radiación térmica para calentar agua dando la posibilidad de diferentes aplicaciones para este tipo de panel.

Tabla 1. Principales características de los tipos de paneles fotovoltaicos [52].

Tipo	Forma y color	Características
Policristalino	Tono azul claro con múltiples cristales ya que contiene aleaciones de silicio.	Fabricado en silicio poli cristalino o llamado poli silicio, su fabricación es rápida y económica pero su eficiencia es baja también es resistente a las altas temperaturas y por esto es común el uso en las instalaciones solares residenciales.
Mono cristalino	Este tipo de paneles son de tonalidad azul oscuro ya que están compuestos de silicio puro.	Su coloración característica es azulada, está compuesto por silicio, su eficiencia de conversión está aproximada al 25% y presenta mayor rendimiento en altas temperaturas y baja luminosidad.
Flexible	Se fabrican en diferentes materias obteniendo diferentes tonalidades.	Los paneles de capa fina o flexibles se construyen con láminas de silicio 300 veces más delgadas que un panel solar convencional lo que permite flexionarse y mantener la funcionalidad. al ser reducida la composición de silicio estos tienen de 7 a 15 % de eficiencia.
Híbrido	Compuesto por un panel convencional adaptado a un calentador térmico.	Los módulos híbridos se usan para producir electricidad y calentar agua. Esta tecnología intenta aprovechar la radiación que recibe. produciendo 19% en su parte fotovoltaica y 70% en la parte de calentar agua, los fabricantes aseguran 89% de eficiencia en la configuración híbrida.

1.2.5 Sistema fotovoltaico

El sistema solar fotovoltaico permite mediante el conjunto de componentes transformar la radiación solar capturada por el dispositivo llamado panel, transformando la radiación en potencial eléctrico, esta energía eléctrica es controlada y almacenada por medio de controlador-regulador de carga a el conjunto de baterías acumuladoras, después de almacenarse la carga es transformada de

corriente directa a corriente alterna utilizando un inversor de corriente el paso a paso de un sistema solar se describe en la Figura 7.

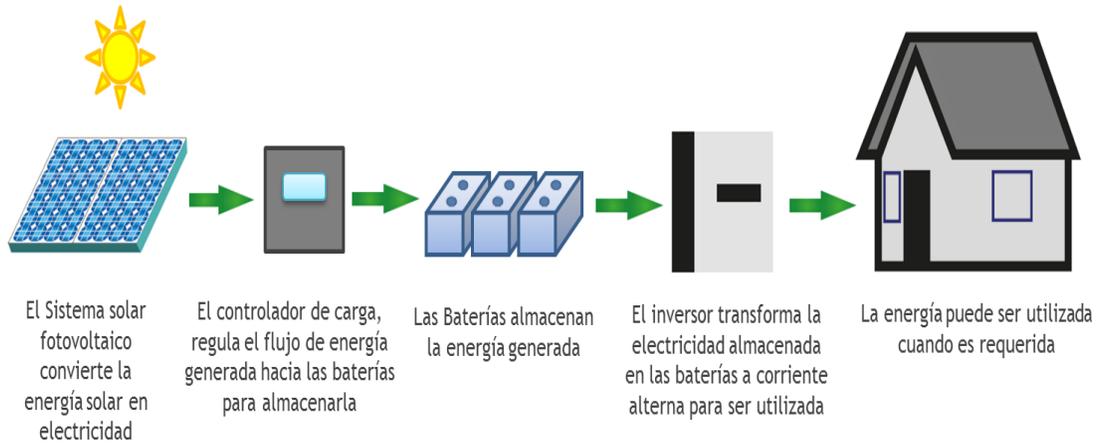


Figura 7. Componentes de un sistema fotovoltaico [7].

1.2.6 Sistema fotovoltaico aislado

Este tipo de sistema solar aislado se compone básicamente de paneles solares encargados de captar la mayor cantidad de radiación posible, el controlador de carga cuyo objetivo es de inyectar esta corriente generada por los paneles al banco de baterías controlando que no se sobrecarguen, finalizando con un inversor de corriente quien es el encargado de tomar la energía almacenada en las baterías e invertirla a corriente alterna para su uso, ya que se encuentra aislada de otra fuente de energía, este sistema se limita a la energía almacenada en sus baterías la distribución de sus componentes se ilustra en la Figura 8.

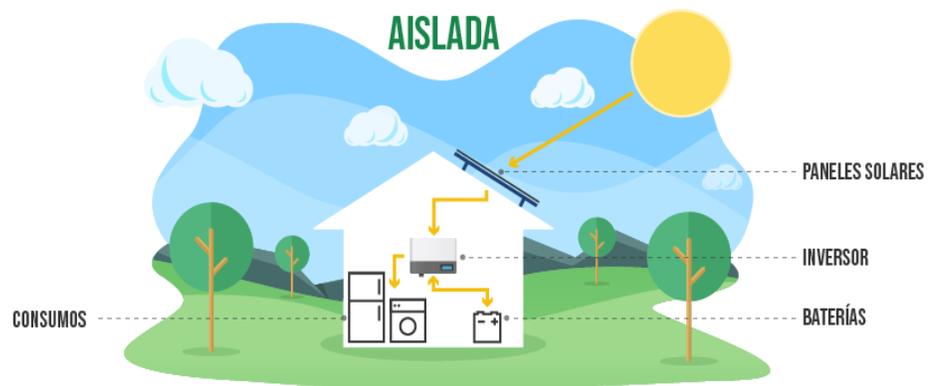


Figura 8. Componentes para un sistema fotovoltaico aislado [7].

1.2.7 Sistema fotovoltaico con conexión a red

El sistema fotovoltaico con soporte en la red local logra con esto disminuir el consumo. Está compuesto por una pareja de componentes, paneles solares e inversor, donde este sistema no utiliza baterías y solo se soporta de los paneles que generan corriente durante las horas de sol. Estos van conectados a la red constantemente para inyectar su producción de energía. Cuando los paneles dejen de generar el inversor hace la transferencia automática dejando operativa la red en la Figura 9 se describe con una imagen la disposición del sistema solar conectado a la red.

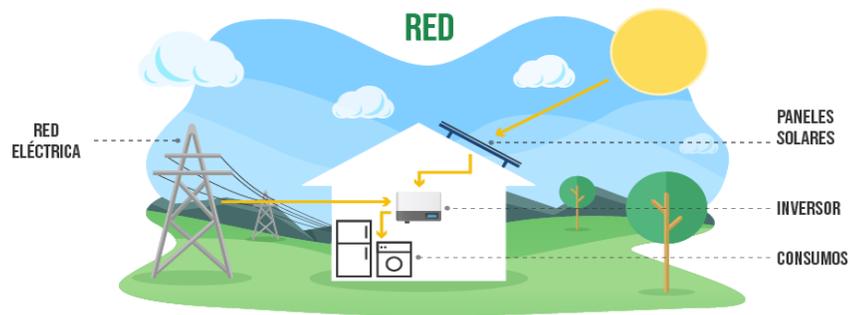


Figura 9. Componentes para un sistema fotovoltaico a la red [7].

1.2.8 Sistema fotovoltaico híbrido

Se trata de sistemas solares que pueden funcionar con o sin baterías y apoyado de otra alternativa de fuente energética, de esta forma teniendo la posibilidad de suministrar la energía necesaria de la red eléctrica u otra fuente de energía ya sea planta de biogás, planta biodiesel o un generador eólico en la Figura 10 se muestra la forma como que está conectada a la red disponible, pero podría ser cualquier otra fuente de generación eléctrica.

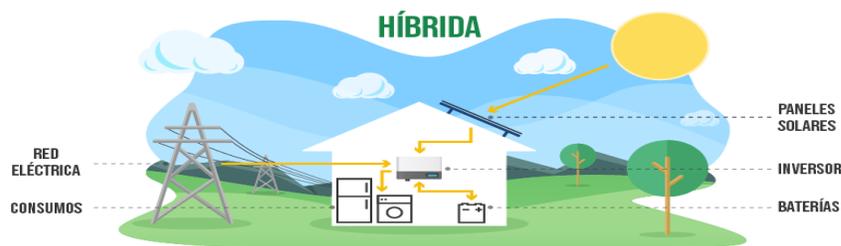


Figura 10. Componentes de un sistema fotovoltaico híbrido [7].

1.2.9 Seguidor solar

Un seguidor es un dispositivo de seguimiento solar que busca orientar los paneles fotovoltaicos en dirección perpendicular al sol. En la Figura 11 se ilustra un seguidor de un solo eje posicionándose en dirección al sol, estos dispositivos se apoyan en mecanismos controlados electrónicamente para poder captar la mayor cantidad de radiación solar, estos seguidores solares se clasifican según la cantidad de ejes en función del movimiento identificando los grados de libertad.

Todos los sistemas de seguimiento solar se basan y soportan en la electrónica y la mecánica, por lo que en la mayoría de estos sistemas la investigación se centra principalmente en lograr la eficiencia en la producción energética, así como la precisión de las lecturas de varios sensores y la capacidad de respuesta de los actuadores [7].

Por otro lado, el análisis en la sección estructural para el desarrollo del modelo mecánico no se basa en la elección, configuración o la comparación en un análisis de fuerza y resistencia en diferentes configuraciones de metal no es tema de estudio a profundidad en ninguna investigación previa [8].

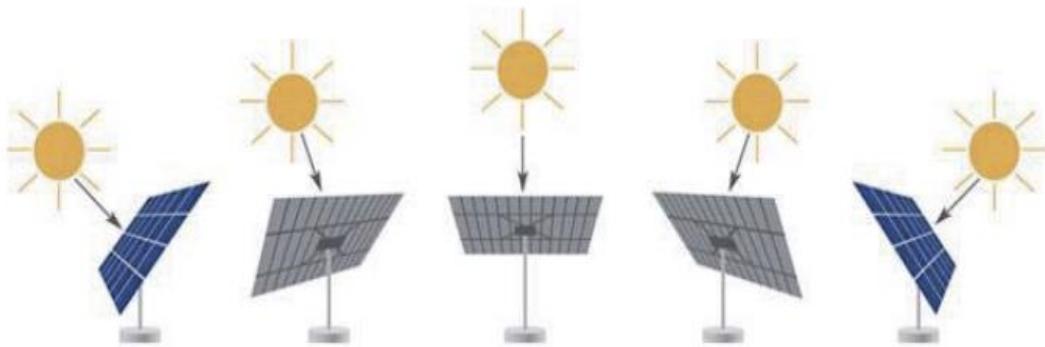


Figura 11. Seguidor solar apuntando donde se encuentra el sol [21].

Existen varios tipos de seguidores solares según el movimiento o mecanismo ejemplo Figura 12, El seguidor solar de un solo eje polar, azimutal u horizontal. La rotación para realizar la captación de energía solar se da inclinado en dirección vertical u horizontal, a este se le define que tiene 1 solo grado de libertad, permitiendo aumentar la captación de radiación solar entre el 7% y 25% frente a las estructuras fijas; por otra parte, un seguidor solar en dos ejes con 2 grados de libertad azimutal y horizontal aumenta la captación de radiación solar entre el 30%

y 45%, este tiene dos grados de libertad y permite seguir con más precisión la posición solar [22].

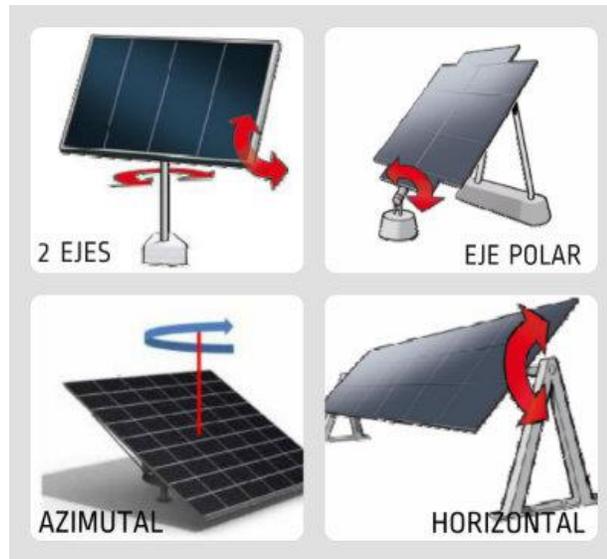


Figura 12. Tipos de seguidor solar [17].

1.2.10 Sistemas acuoponicos

La acuaponía se deriva de los términos de acuicultura con la hidroponía. donde se define la acuicultura como el proceso de cultivo de plantas y animales acuáticos en condiciones de ambientes controlados [24].

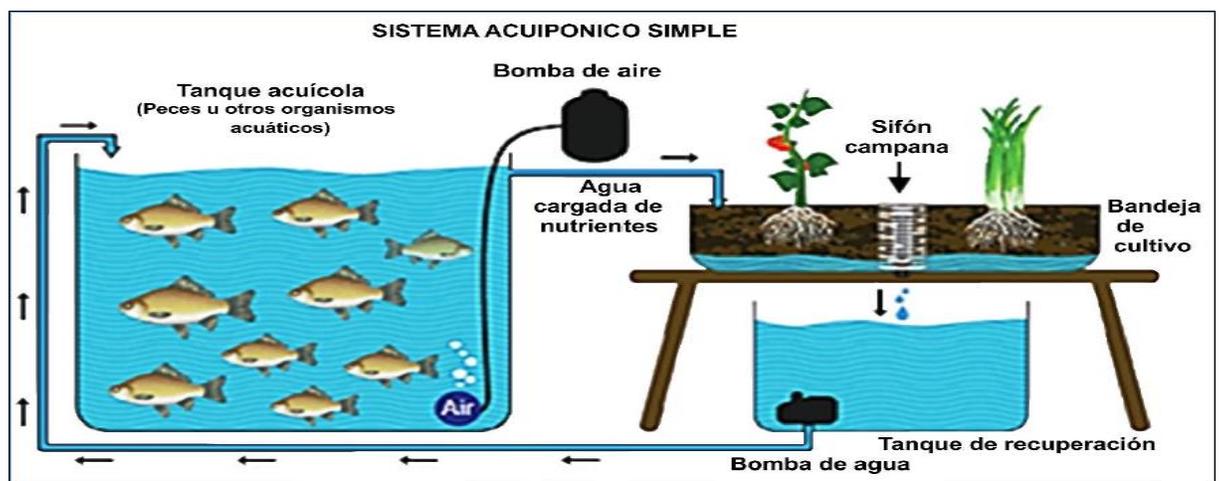


Figura 13. Modelo de un sistema acuopónico [25].

En un sistema acuapónico que opera en ciclo continuo de recirculación de nutrientes gracias al flujo del agua como se observa en la Figura 13, esta misma agua sale del tanque conteniendo todos los residuos metabólicos de los animales de cría, por ejemplo, los peces, residuos orgánicos y restos de alimentos no consumidos.

Esta agua se extrae del tanque donde se crían los peces, se procede a filtrarse por medio de filtros mecánicos donde retiran los residuos sólidos de gran tamaño, seguido de esto pasa por el biofiltro que contiene bacterias que tienen el trabajo de oxidar el amoníaco a nitrito y después pasarlo a nitrato, que es la molécula que es absorbida por las plantas y con un biofiltro se logra un hábitat adecuado para el cultivo de las bacterias las cuales pueden transformar las heces de los peces en nutrientes para las plantas [25].

1.2.11 Inversor híbrido

Los inversores híbridos Figura 14 son mayormente usados en los sistemas e instalaciones fotovoltaicos de autoconsumo el cual acondiciona la energía obtenida por los paneles solares la inyecta al banco de almacenamiento para luego transformarla en corriente alterna, la prioridad es mantener constante suministro de energía sin interrupciones para esto tiene otras opciones de donde puede tomar la energía requerida por el sistema. Provee de una conexión a la red eléctrica en caso de descarga de las baterías u otra fuente alterna como bien podría ser las plantas de biogás o biodiesel.



Figura 14. Inversor Powest 1kva híbrido.

1.3. MRCO REGULATORIO

El sector eléctrico de Colombia ha desarrollado estrategias para mejorar la oferta y disponibilidad de energía renovable, con la ayuda de organismos institucionales como el Ministerio de Minas y Energía MME, el Grupo de Planeación Minero Energético UPME y la Comisión Reguladora de Gas y Energía CREG, se han desarrollado leyes, decretos, términos y normas.

1.3.1 Leyes

En el marco de las leyes en Colombia se describe por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional

- Ley N° 164 de octubre de 1994 y art. 1 de la Ley No. 7 de 1994, la Asamblea Nacional de la República ratificó la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 1992 sobre el cambio climático a través de la política global [24].
- El Gobierno Nacional expidió la Ley 29 en 1990 y el Decreto 393 en 1991 para promover la investigación sobre URE (uso racional de la energía) a través de Colciencias [25].
- La Ley N° 97 de 2001 promueve y promueve el uso racional y eficiente de la energía (URE) en el territorio de Colombia. Donde adopta estándares y estrategias para satisfacer las necesidades energéticas [26].
- Para el año 2013 se promulgó la Ley 1665 el 16 de julio, y el 26 de enero de 2009 se aprobó la “Carta de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA)”. promoviendo: bioenergía, energía marina, energía solar, energía geotérmica, energía hidráulica y energía eólica [27].
- El 14 de mayo de 2014, el Congreso colombiano publicó la Ley 1715, que acordó orientar la integración de las energías limpias al sistema energético nacional. Lo anterior tiene como objetivo promover el desarrollo y operación de sistemas de producción de energías renovables como método para mejorar la sostenibilidad económica y combatir el cambio climático [28].

1.3.2 Decretos

Los decretos son los que reglamentan y regulan, pero también incentivan el uso de las energías no convencionales.

- Para promover el uso racional de las fuentes alternativas de energía (fotovoltaica), se aprobaron los Reglamentos 3652 y 3683 de 2003, creando un programa para fomentar el uso racional y eficiente de las fuentes de energía no renovables tradicionales - PROURE [29].
- Decreto 2143 de 2015 que adiciona el Decreto 1073 de 2015 que orienta la implementación de incentivos para incentivar el uso de fuentes renovables de energía especificados en el Capítulo 111 Ley 1715 de 2014 [30].
- El Decreto N° 1623 de 2015 modifica el Decreto N° 1073 de 2015 por el que establece los requisitos de la póliza de ampliación de la cobertura del servicio eléctrico para el sistema eléctrico nacional y zonas no conectadas. [31].
- Decreto 2492 del 2014, mediante este lineamiento se definieron las disposiciones para suplir la demanda en cuanto a la implementación de sistemas de generación limpia [32].
- La Ordenanza N° 2469 de 2014 define requisitos de política energética por exceso en su propio sistema de producción [33].

1.3.3 Resoluciones

- Resolución UPME 0281 del 2015, a través de él se estableció el tope máximo de potencia permitido para sistemas pequeños de autogeneración de electricidad [34].
- La Resolución CREG 024 de 2015, regula la operación autónoma de gran escala de los sistemas conectados al sistema interconectado nacional [35].
- Resolución 143 de 2016 (unidad de Planificación de la Corporación Minero Energética), que regula los requisitos de registro de proyectos relacionados con la producción de energía limpia. [36].

- con la resolución 18 -0919 de junio de 2010, su objetivo es promover la utilización de energías alternativas [37].

1.3.4 Normas

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) publicó normas para el diseño y construcción de sistemas fotovoltaicos en el territorio colombiano, las cuales se tuvieron en cuenta para este diseño [38].

- **NTC 2775 y NTC 1736:** Presentan las definiciones de los términos relacionados con instalaciones solares fotovoltaicas.
- **NTC 2883:** Muestra las características y especificaciones de los paneles solares permitidos.
- **NTC 2959 y NTC 5287:** Exponen las características y especificaciones para las baterías solares fotovoltaicas.
- **GTC 114 y NTC 2050:** Presentan la normatividad para realizar las instalaciones solares fotovoltaicas.

1.4. MARCO GEOGRAFICO

Fusagasugá es un municipio de Cundinamarca, ubicado a 59 KM de Bogotá, delimitado por los ríos Cuja y el río el Chocho, el Cerro Fusa Catán y Cerro Quinini que da lugar al denominado Valle de los Sutagao.

Este municipio cuenta con cuatro pisos térmicos, con alturas sobre el nivel del mar desde 550 hasta 3050 metros y tiene una altura promedio de 1728 metros. Tiene una extensión de 239 kilómetros cuadrados, una temperatura promedio de 19°C. Los límites del municipio de Fusagasugá son:

- **Por el Norte:** Colinda con Sibaté y Silvania.
- **Por el Sur:** Colinda con Pandi, Icononzo y Arbeláez.
- **Por el Oriente:** Colinda con Sibaté y Pasca.
- **Por el Occidente:** Colinda con Tibacuy y Silvania [39].
-

El seguidor solar de dos ejes para suplir de energía eléctrica al proyecto de acuaponía implementado en la Universidad de Cundinamarca, se ubica en la Dg 18 N°.20-29 Fusagasugá vista desde el aire en la Figura 15, la Serena, parqueadero

de estudiantes de la UDEC; en la Figura 15 se indica con una **X**. El lugar de ubicación del seguidor solar.



Figura 15. Localización del municipio de Fusagasugá [53].

2. DISEÑO METODOLÓGICO

2.1. METODOLOGÍA

Esta sección se describe el proceso teórico-práctico implementado para culminar el diseño del seguidor solar de dos ejes, dicho proyecto apuesta al abastecimiento de la demanda energética del sistema acuapónico implementado en instalaciones de la universidad de Cundinamarca en el invernadero de agronomía.

La metodología implementada da cumplimiento a los objetivos específicos dando paso al buen desarrollo del proyecto en general. Como se observa en la Figura 16 donde se evidencia las actividades relacionadas a este proyecto organizándose en 4 fases con el fin de desarrollarlas en ese orden y poder abordar todas las características importantes para el proyecto como planeación, diseño, implementación, comprobación y resultados.

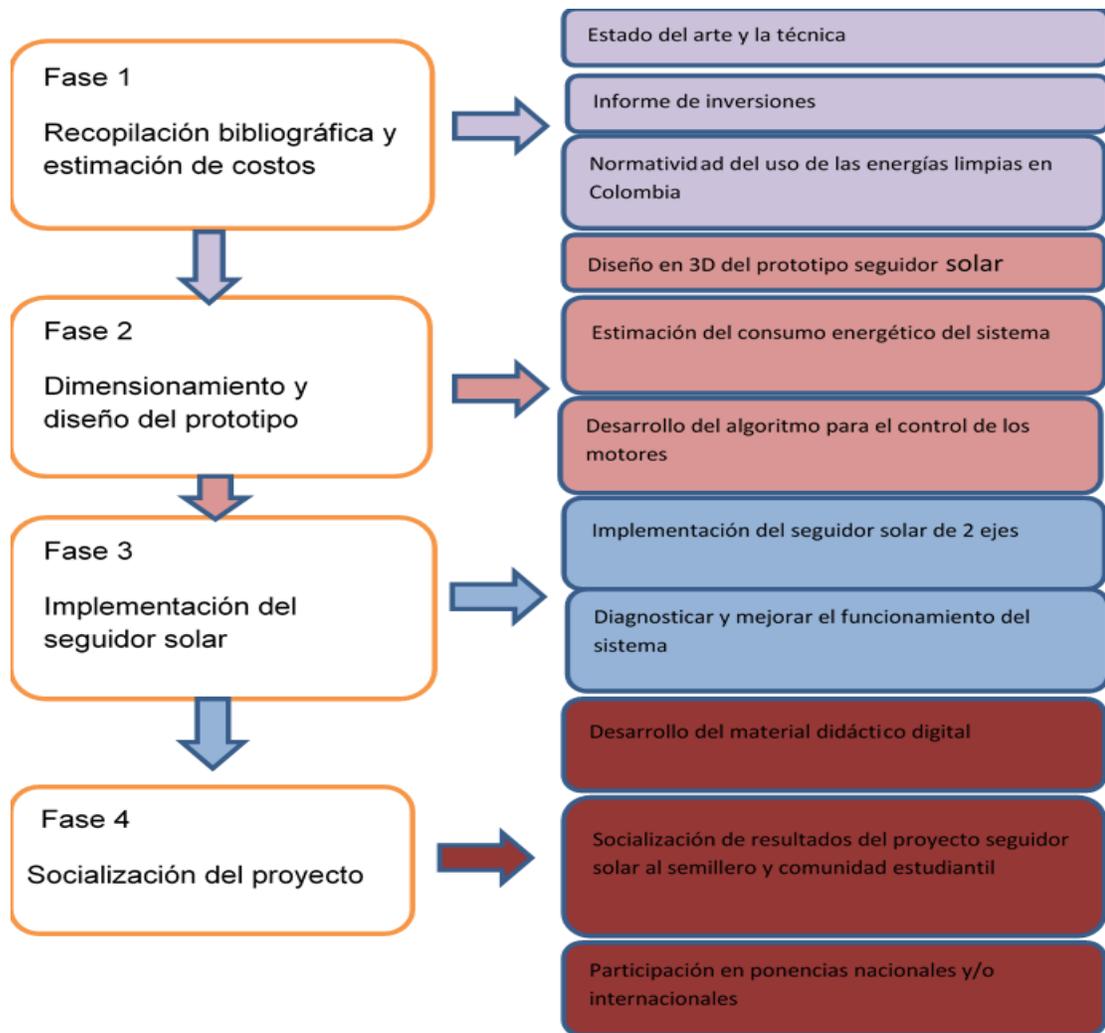


Figura 16. Diagrama fases del proyecto. Elaboración propia.

3. DESARROLLO DEL TRABAJO

En este capítulo se desarrolló el proyecto de investigación en 4 fases con el fin de realizar las actividades propuestas con la respectiva documentación de los resultados.

3.1. FASE 1: RECOPIACION BIBLIOGRAFICA Y ESTIMACION DE COSTOS

En esta fase se recolectó información acerca del estado del arte y antecedentes de proyectos relacionados con seguidores solares a nivel nacional, internacional e

institucional como también se buscó la normatividad pertinente a este tipo de proyectos cumpliendo así con el primer objetivo específico.

3.1.1 Recopilación bibliográfica

En la búsqueda de información y estado del arte de este libro se describe que todo sistema de seguidor solar fundamentalmente se compone y se apoya de una sección compuesta por electrónica y otra parte por componentes mecánicos. Luego de analizar el estado del arte y comparar los tipos de seguidores solares que se encuentran comercialmente se elige un diseño básico y funcional para dos grados de libertad.

Se evaluaron los componentes para el sistema solar proporcionados por el semillero SIAMEL y se realizó un análisis para los materiales o equipos necesarios para el proyecto basados en aportes obtenidos en los antecedentes encontrados de este tipo de seguidores solares.

En la Tabla 2 se muestran las características resumidas de los aportes más importantes encontrados es diferentes fuentes analizadas

Tabla 2. Antecedentes y sus aportes. Fuente: [13], [14], [15], [61].

Proyecto	Contexto	Aporte
Implementación de un panel solar móvil automatizado para la generación de energía limpia Universidad Católica de Colombia Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones Bogotá.	Este trabajo expone la idea de cómo implementar un sistema de panel solar móvil, aprovechando la energía solar y realizando un diseño de automatización por control.	Modelo estructural de base para el seguidor solar.
Estructura metálica de un seguidor solar de 2 ejes Universidad internacional SEK ecuador, facultad de Arquitectura e Ingenierías	El propósito del proyecto es diseñar un seguidor solar de dos ejes a partir de un análisis estructural y simulación mecánica.	Se obtuvo referencias, recomendaciones de tipos y especificaciones de los materiales requeridos para la elaboración estructural del seguidor de dos ejes teniendo en cuenta la disponibilidad en el comercio.
Control de posicionamiento de arreglos cuádruples de paneles solares por seguimiento solar utilizando lógica fuzzy	Este presenta el diseño e implementación de un prototipo para el posicionamiento solar con dos grados de libertad utilizando un control de arreglos cuádruples de celdas solares.	Modelo para el arreglo de las 4 células solares utilizadas para capturar radiación solar de acuerdo a su ángulo de inclinación.

Seguidor solar adaptativo basado en un controlador lógico programable para paneles fotovoltaico	En este proyecto se utilizó un sistema de seguimiento cronológico que se adapta a cambios de un sensor fotoeléctrico.	Configuración de las fotoceldas para logran el cambio dinámico en la captación de las señales que definen las condiciones o el estado a tomar de los motores.
---	---	---

3.1.2 Materiales y equipos

Los equipos que conforman el sistema solar utilizado por el semillero SIAMEL en el proyecto de acuaponía se componen de un panel solar 345W poli cristalino marca jinko, un inversor de onda pura marca Powest híbrido de 1kva y con salida a 110V, dos baterías secas de 12v a 55A ciclo profundo y por ultimo un kit o elementos de conexión suministrados por el semillero. Se consultaron diferentes fuentes para tomar decisiones al momento del diseño e implementación de los dispositivos teniendo en cuenta los diferentes tipos de instalaciones, costos y experiencias obtenidas en proyectos realizados con seguidores solares.

Por otra parte, el análisis de esfuerzos para la estructura del prototipo es irrelevante una detallada selección de materiales, dimensionamientos o valoraciones de esfuerzos o resistencias de los diferentes materiales metálicos, plásticos u otros materiales que requiere un prototipo.

3.1.3 Informe de inversiones

Para la realización de este proyecto seguidor solar de dos ejes se estimó un presupuesto base de 1 millón de pesos para el desarrollo del prototipo adquiriendo los materiales para la estructura compuesto por perfiles metálicos y planchas de hierro para la plataforma, motores reductores, piñonera y cadenas metálicas.

También los componentes electrónicos requeridos como una tarjeta Esp32, dos drivers para controlar los motores dc12v, 8 celdas solares de 5v a 100mA y 4 interruptores fin de carrera y demás accesorios de cableado y conectores.

Los equipos del sistema solar son suministrados por la Universidad de Cundinamarca y quedaron a disposición del semillero de investigación SIAMEL estos equipos nuevos fueron adquiridos para el proyecto de acuaponía desarrollado en las instalaciones de la universidad en el año 2019. En la tabla 3 se describe el costo de los componentes utilizados para elaborar el prototipo estructural del seguidor solar de dos ejes.

Tabla 3. Costos de los equipos y materiales.

Elementos	Valor final
4.5 Metros de tubo 4 pulgadas	\$250.000
Flanche 40 cm x 40 cm en lamina de $\frac{1}{4}$	\$120.000
Dos Motores 12v Dc automotriz	\$60.000
Cuatro soportes para rodamiento con acople de $\frac{1}{2}$ pulgada	\$100.000
1 Eje de $\frac{1}{2}$ pulgada de y de 0.80 metros de largo	\$20.000
Dos Platos de piñón grande, dos platos de piñón pequeño y 1 cadena para la transmisión	\$25.000
Un Flanche de $\frac{1}{4}$ de espesor y de 0.40mt con perforaciones para acoplar al suelo	\$35.000
Ocho Metros de tubo cuadrado de $\frac{3}{4}$	\$40.000
Servicio de torno y soldadura	\$150.000
Un Galón de anticorrosivo 3 en 1	\$60.000
Otros materiales	\$180.000
VALOR TOTAL	\$1.040.000

3.1.4 Conclusiones Fase 1

En esta primera fase inició con el primer objetivo que trata de la recolección de información referente al estado del arte, los antecedentes y respectiva normatividad pertinente al proyecto donde se extrajo información para definir el modelo estructural del prototipo y la técnica para la captación de la radiación solar con celdas solares y así utilizar estas señales para el control del direccionamiento de la plataforma.

La realización de un estudio y recolección de información referente al seguidor solar, no se trató solo de capturar información si no también entender los fenómenos a los que se enfrenta un proyecto solar con seguidor

En el estado del arte fue importante rescatar los antecedentes y normas vigentes en el marco regulatorio legal para el uso de la energía fotovoltaica.

3.2. FASE 2: DIMENCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO

En esta fase tiene como fin realizar el estudio de cargas para establecer los criterios de diseño y determinar un aproximado del ciclo de vida útil para este sistema, se procede a simular el sistema con ayuda de herramientas informáticas como un software especializado en sistemas solares, permitiendo avalar algunas características para el funcionamiento.

3.2.1. ESTIMACION DE LAS CARGAS

Se realizó un cuadro de cargas en la tabla 4 para identificar los consumos energéticos de los componentes del sistema seguidor solar con la intención de documentar y valorar parámetros teniendo en cuenta los criterios de diseño, a continuación, se plantea las variables y se describe las cargas de los componentes usados en el prototipo.

En la tabla 4 se describe los principales componentes del sistema fotovoltaico y acuapónico, donde se calculó la potencia, el consumo total de energía y el consumo diario aproximado de energía en base a las horas estimadas de uso del componente y la vida útil de cada elemento y cumpliendo con el segundo objetivo específico de realizar un estudio de cargas que permita establecer los criterios de diseño y estimar el ciclo de vida útil del sistema.

Tabla 4. Principales características de los componentes eléctricos y electrónicos del prototipo [2].

Componente	Utilidad	Watts	Carga	W/día	Vida útil
Motores DC 12V	El dispositivo se usa lograr el movimiento de la plataforma móvil del seguidor.	30 W	Si	210 W	Los motores son diseñados para trabajar en exigentes condiciones y se estima una vida útil de 10 años

Esp32	Dispositivo de control encargado de captar la radiación por medio de sensores para así controlar los motores que ubicaran el panel.	0.8 W	Si	9W	Los dispositivos están diseñados para una larga duración utilizándolo adecuadamente.
Circuito de Potencia. Puente h BTS7960 7960	Este dispositivo es el encargado de controlar los motores soportando grandes picos de corriente.	5W	si	35W	Los dispositivos están diseñados para una larga duración utilizándolo adecuadamente y con protecciones.
Celda solar 5v 100mA	Las celdas solares se utilizan como sensores de radiación.	0.5w	no	0	Vida útil entre 10 y 20 años
Panel solar jinko	Este componente es el encargado de generar energía fotoeléctrica.	345w	no	0	Vida útil de 30 años.
Inversor Powest 1kva	El equipo es el encargado de convertir la energía que tiene a disposición en las baterías a su vez que las carga con la energía captada por los paneles solares.	1kvA	si	300W	La vida útil de un inversor varía según recomendaciones del fabricante y oscila entre 10 y 15 años.
2 baterías 12v 55Ah marca kaise.	Las baterías son las encargadas de almacenar la energía obtenida por el sistema.	1.32 kW	si	0.9 kW	La vida útil de estas baterías depende del uso pero va desde los 5 a los 10 años de vida útil.
Bomba de presión 12v good PUMPs	La electrobomba será la encargada de recirculación de fluidos en sistemas acuapónicos.	72W	si	1.1kW	La vida útil de esta bomba depende del mantenimiento periódico pero se estima los 10 años de vida útil.

Se realizó una sesión con los integrantes del semillero SIAMEL para determinar qué tipo de seguidor solar se implementaría para optimizar el sistema fotovoltaico que suministra de energía al complejo acuapónico y se llegó a la conclusión que el prototipo debe de cumplir una serie de requerimientos y especificaciones que describen en los siguientes ítems:

- La base o estructura de soporte debe superar una altura de 4.4 metros, para lograr sobrepasar el techo de la edificación donde se encuentra albergando el sistema acuapónico, esto con el fin de que la edificación no genere sombra al panel fotovoltaico.

- El material para la elaboración del prototipo se escogió de acuerdo a la disponibilidad en la zona y que esté al alcance del presupuesto designado.
- Los grados de libertad están determinados por el tipo de seguidor, en este caso es de dos ejes, necesitando controlar el giro de dos motores independientemente uno del otro para posicionar en altitud +/- 25° y en azimut +/- 180° a la plataforma base con el panel.
- La plataforma base soporta el peso aproximado de 30 kg, tiene puntos de acople para sujetar el panel con dimensiones de 0.99mt de ancho x 1.95mt de largo.
- La estructura tiene 1 Flanche de sujeción en la parte inferior para anclar al terreno por medio de chasos metálicos para la estabilidad a la estructura.
- Al momento del cableado y conexiones eléctricas se tuvo en cuenta que los materiales utilizados fueran para uso en la intemperie.

3.2.2. Diseño del circuito sensor de radiación solar

Para el diseño del sistema de captación de radiación solar con el objetivo de aproximarse a la posición del sol fue pertinente utilizar 4 celdas fotovoltaicas de 5v a 100 mA(miliamperios) posicionadas estratégicamente en forma de x como se ilustra en la Figura 13, con el fin de captar la incidencia de los rayos solares mediante los cambios de corriente y voltaje en cada fotocelda, las células están distribuidas y separadas por espaciadores de 10cm x10 cm a 90° y debido a la ubicación de estas se generan sombra entre las fotoceldas como se describe en la Figura 18, a medida que el sol cambia de posición genera sombra y de acuerdo al ángulo de inclinación donde se encuentre el arreglo de células fotovoltaicas a mayor sombra que reciba una célula fotovoltaica su corriente y voltaje varían, así se determinó hacia qué ángulo se está moviendo el sol y poder posicionar el arreglo de células solares hasta que las 4 se encuentren indicando los mismos valores de corriente y de voltaje, como el arreglo de células estará fijado a la plataforma del seguidor este también girará cambiando la posición con respecto al sol de esta forma se fijará el panel solar perpendicularmente.

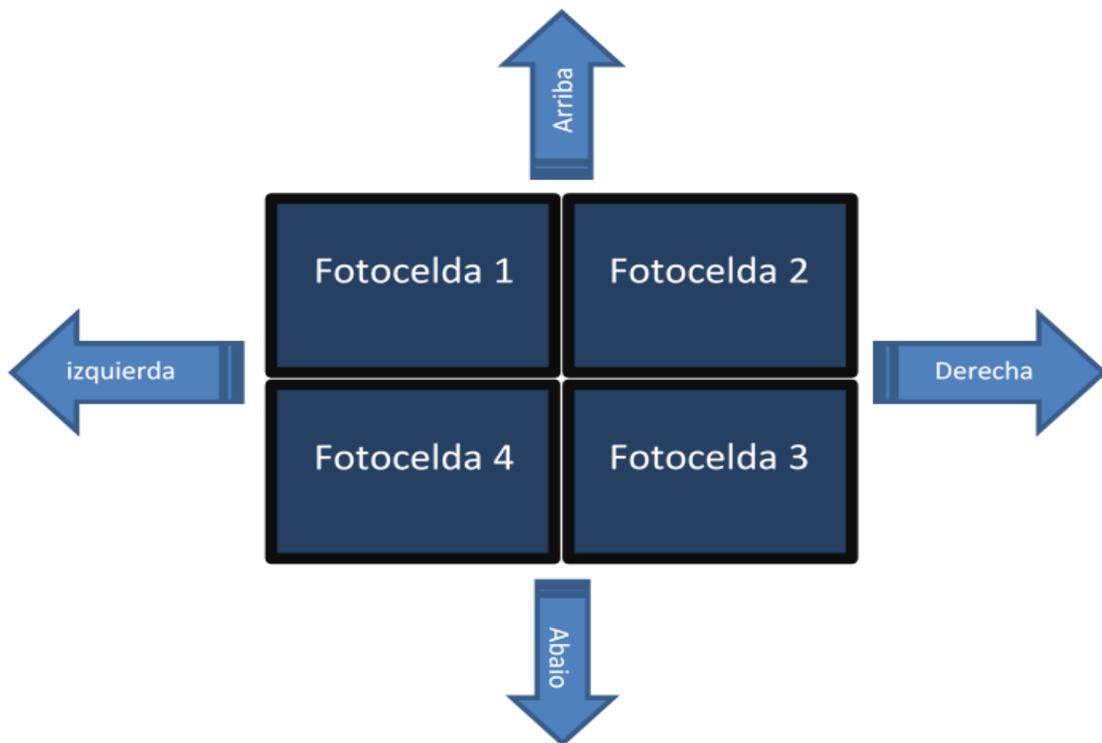


Figura 17. Esquema arreglo Celdas fotovoltaicas.

En la Figura 17 se describe como se dispone ubicar cada célula fotovoltaica para el arreglo de cuatro fotoceldas que de acuerdo a la variación de corriente que tengan se define qué acción toma el controlador y accionar los motores para la reubicación del dispositivo, por ejemplo si las fotoceldas 1 y 2 varían su valor de corriente considerablemente el controlador lo toma como el cambio de intensidad de la radiación solar y se dispondrá a reubicar el dispositivo hasta que sus valores de corriente sean iguales a las fotoceldas 3 y 4 este sería el caso (1).

También se da el caso contrario si el cambio de intensidad de radiación se da en dirección Azimutal del seguidor está condicionadas a las celdas 1 y 3 que estas tengan el cambio de intensidad considerable e indica al controlador que debe de girar a la izquierda para reposicionarse buscando que lo valores se igualen a las fotoceldas 2 y 4.

Los valores de las fotoceldas varían de acuerdo con la intensidad del sol y el controlador debe estar censando las celdas fotovoltaicas constantemente. En la figura 18 se describen tres posiciones o tres casos posibles de posicionamiento del seguidor.

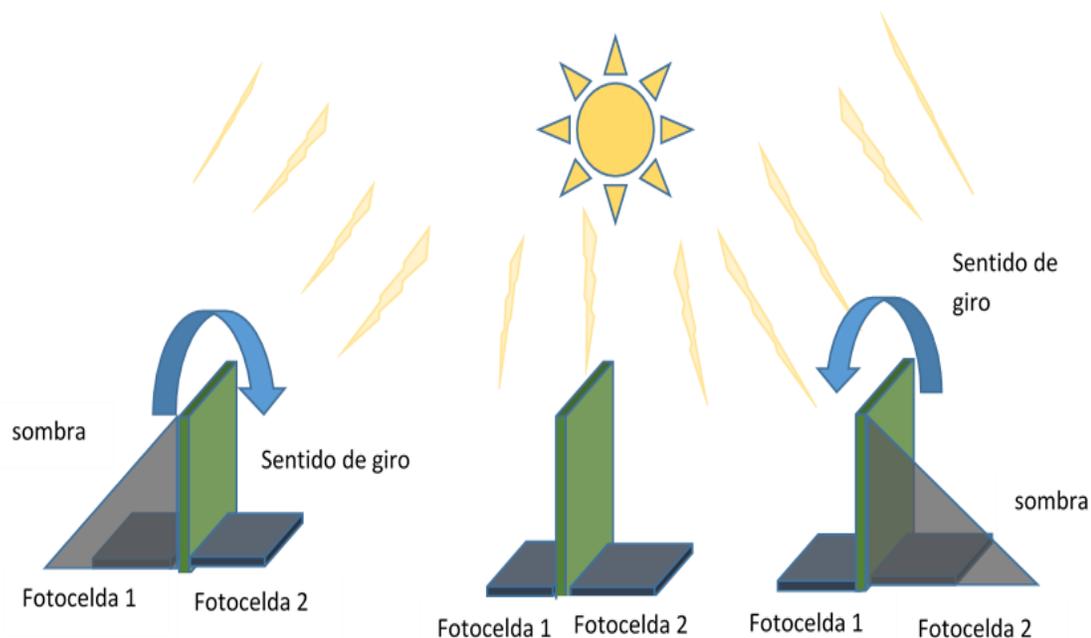


Figura 18. Incidencia del sol en un arreglo de células fotovoltaicas.

3.2.3. Lógica del algoritmo para controlar los motores

El algoritmo para controlar los motores se basa en una serie de cuatro posibles casos en donde se cumple las condiciones para que ejerzan una acción en los actuadores, en el caso (1) se describe en la Figura 19, Cuando las fotoceldas 3 y 4 bajan la intensidad de corriente con respecto a las fotoceldas 1 y 2 el controlador da la orden de girar el motor hacia arriba hasta que las fotoceldas 3y4 tomen los mismos valores de intensidad que las fotoceldas 1y2.

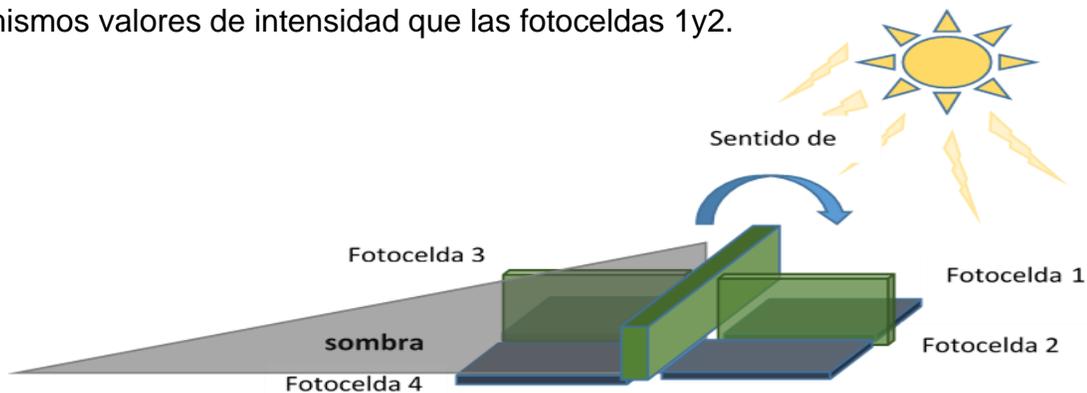


Figura 19. Caso (1) Arreglo Celdas fotovoltaicas.

Caso (2) se describe en la Figura 20 si las fotoceldas 1 y 2 bajan la intensidad con respecto a las fotoceldas 3 y 4 el controlador da la orden de girar el motor hacia abajo hasta que las fotoceldas 1 y 2 tomen los mismos valores de intensidad de corriente que las fotoceldas 3 y 4.

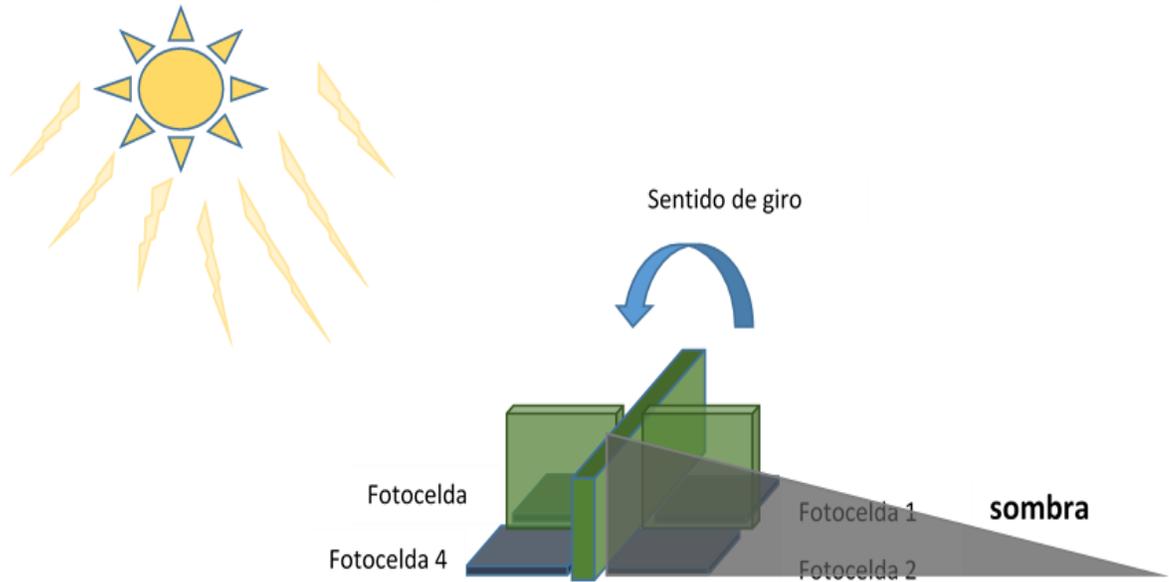


Figura 20. Caso (2) Arreglo Celdas fotovoltaicas.

Caso (3) donde se observa en la Figura 21, si las fotoceldas 2 y 4 bajan la intensidad de corriente con respecto a las fotoceldas 1 y 3 el controlador da la orden de girar el motor hacia la izquierda hasta que las fotoceldas 2 y 4 tengan los mismos valores de intensidad que las fotoceldas 1 y 3.

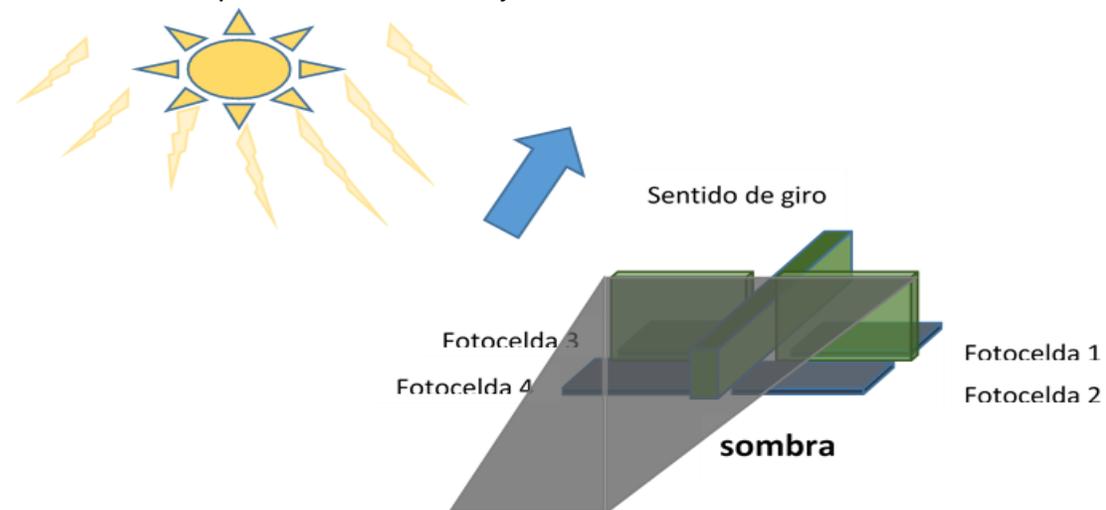


Figura 21. Caso (3) Arreglo Celdas fotovoltaicas

Como se puede observar en la Figura 22, que describe el Caso (4) si las fotoceldas 1 y 3 bajan la intensidad de corriente con respecto a las fotoceldas 2 y 4 el controlador da la orden de girar el motor hacia la derecha hasta que las fotoceldas 1 y 3 tengan los mismos valores de intensidad que las fotoceldas 2 y 4.

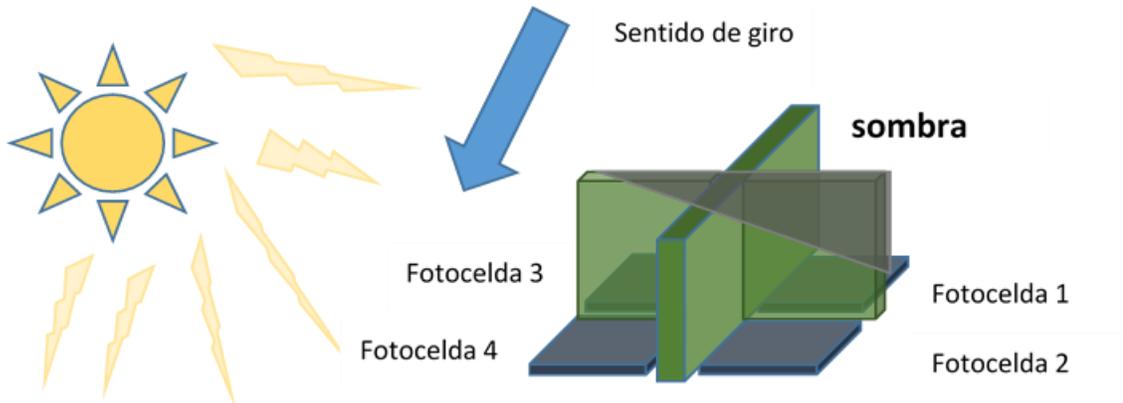


Figura 22. Caso (4) Arreglo Celdas fotovoltaicas.

Se realizó cuatro ensayos con las celdas solares conectadas a los sensores para determinar la variación de voltaje y corriente y se tomaron los resultados conectando a una carga resistiva, otra prueba con un diodo y por ultimo con un led, otra prueba se realizó cortocircuitando las fotoceldas solares, y sin carga eléctrica logrando tomar valores en diferentes condiciones. En la Tabla 5 se muestran los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio.

Tabla 5. Mediciones de celda solar sensor de radiación.

Celda solar	Tensión fotocelda	Corriente en la Fotocelda
Resistencia 13 ohm	4.1 V	0.63 mA
Diodo led	4.5 V	0.72 mA
Circuito abierto	4.6 V	0.50 mA
Cortocircuito	0 V	0 mA

Se utilizó dos sensores para cada fotocelda para medir el voltaje y la corriente constantemente, el sensor de corriente Acs712 que trabaja a 5v con salida de 0v a 5v, y el sensor de voltaje DC0-25v es un módulo sensor de voltaje que mide de 0 -

25v, el sensor de voltaje Está compuesto por un pequeño divisor de tensión con dos resistencias de 30k ohm y de 7.5k ohm.

3.2.4. Diseño del circuito de control

El funcionamiento de la plataforma móvil del seguidor solar se compone de dos motores con caja reductora DC 12V a 2.5 Amperios, para el control de los motores se implementó una etapa de potencia con dos puente h ensamblados en váquela usando 4 transistores Tip 41 para conformar cada puente h, con las siguientes características; soporta hasta 100v y corriente de trabajo de 6A, para conmutar los puente h se utilizó un Atmega esp32, este controlador se escoge por su capacidad de conexión a distancia por medio de wifi o bluetooth y así poder implementarlo a futuro con el objetivo de aplicarle telemetría para monitorear a distancia este proyecto y poder documentar la producción de energía, intensidad de radiación, estado y posicionamiento del dispositivo, por otra parte, se analizó los componentes en el dispositivo seguidor determinando que la energía para alimentar los motores y componentes electrónicos será proporcionada por las baterías del sistema.

En la Figura 23, se describe el proceso de control mediante un diagrama de bloques del sistema seguidor solar donde hay cuatro sensores encargados de recibir la radiación solar y que posicionados estratégicamente nos arroja valores de corriente y voltaje, el comparador de señales de corriente y voltaje define de acuerdo a los valores de los sensores que motor debería de actuar y en qué dirección girar para reposicionar el panel, este controlador recibe también la señal de 4 switch fin de carrera con el propósito de ubicar los puntos máximos de movimiento de la plataforma móvil del seguidor.

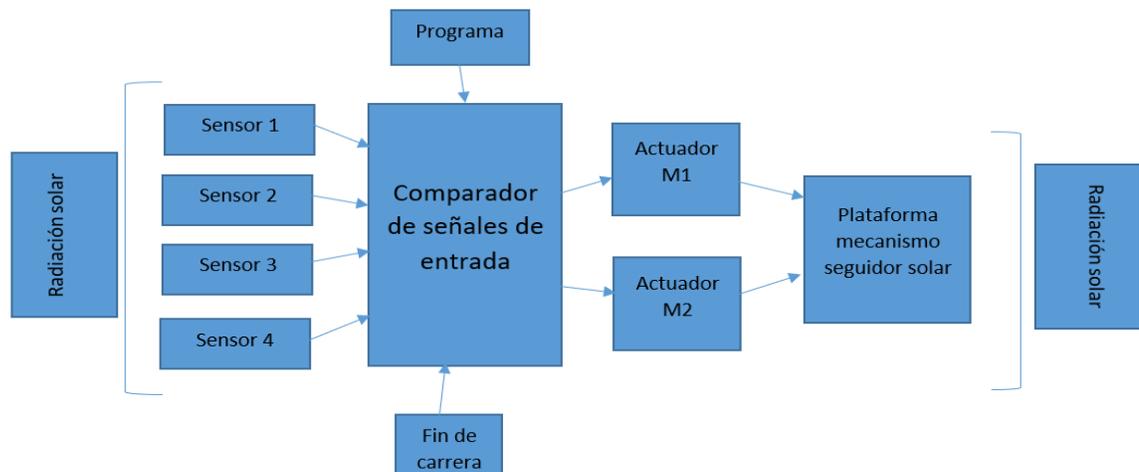


Figura 23. Diagrama de bloque circuito de control.

3.2.5. Descripción de las variables

Para el prototipo seguidor solar, fueron consideradas las siguientes variables de desempeño para evaluar en el sistema:

Voltaje del panel: Es el voltaje de salida y está configurado de fábrica varía dependiendo del tamaño del módulo y el número de sus celdas. Cuando se conecta a una carga el voltaje del panel caerá si el panel no suministra suficiente corriente. La unidad de medida es el voltio (VDC).

Corriente del panel: La corriente que entrega el panel solar depende completamente de la radiación que reciben sus células. La unidad de medida es el amperio (A).

Tensión de la batería: Este es el voltaje que proporciona la batería, normalmente una batería de 12 VDC, cuando está completamente cargada proporcionará 14 VDC y cuando está completamente descargada es de aproximadamente 11.5 VDC, por lo que el voltaje para cargar la batería debe ser mayor a 12.5 VDC. La unidad de medida es en voltios (VDC).

Corriente nominal de la batería: Es la capacidad actual de la batería y está determinada por la corriente de carga consumida y el tiempo que lleva entregar esa corriente. Su unidad de medida es el amperio-hora (Ah).

Carga: Son todos los dispositivos que son alimentados por el sistema fotovoltaico (válvulas de solenoide, sensores, bombas, etc.) y determinado por el consumo de cada componente, las unidades de medida son vatios-hora (Wh).

3.2.6. Diseño en 3D del prototipo

El diseño del seguidor solar de dos ejes y el sistema acuopónico se utiliza el simulador 3D SketchUp software de diseño, en base a los criterios de diseño en predios de la universidad de Cundinamarca y dando cumplimiento al tercer objetivo específico que consta de Simular el sistema híbrido haciendo uso de herramientas computacionales (software), que permitan evaluar las características de funcionamiento.

En la Figura 24 se encuentra el prototipo visto desde distintos ángulos realizados durante el proceso de construcción del diseño morfológico, sistematización de componentes y soporte del módulo fotovoltaico. La estructura toma la apropiación de la tecnología existente, se buscó un mecanismo de dos ejes que permitiera

orientar la celda solar levantando el panel en un rango de 10° a 25° a la vez que el eje central con un campo de giro de 180° de este a oeste.

Al realizar el modelado en 3D se definen las dimensiones y características de la base, soporte y la plataforma móvil, teniendo en cuenta el sitio designado para la instalación y características del terreno para el anclaje y elementos periféricos que interfieran o deba de tener en cuenta para no obstaculizar su funcionamiento. en base a esto, se concluye que la altura mínima de la base debe tener un diámetro final de 3,40 mt de altura para lograr sobrepasar la altura de una construcción continua a punto de anclaje. Se requiere de una plataforma móvil con dos grados de libertad y con el soporte suficiente para fijar un panel fotovoltaico con un diámetro de 1.95mt de largo x 0.99 mt de ancho y 5cm de espesor, otro dato a tener en cuenta es el peso de 30kg.



Figura 24. Diseño plasmado en 3D desde diferentes ángulos.

3.2.7. Simulación del seguidor solar

Con ayuda de programas de simulación como el PVsyst software diseñado para desarrollar instalaciones fotovoltaicas, este programa cuenta con las herramientas necesarias para estudiar, simular y analizar los datos de un sistema fotovoltaico completo. otro programa de simulación utilizado para evaluar el funcionamiento de

componentes electrónicos es el proteus, el cual facilita la elaboración del sistema de control para los motores que controlan el movimiento del seguidor solar.

El PVsyst cuenta con una herramienta para simular el movimiento del sol y el comportamiento de un panel solar con respecto al ángulo de inclinación, con PVsyst se evaluaron las posibles pérdidas de potencia ocasionadas por sombra ocasionada por obstáculos artificiales como edificios que se encuentren cerca al prototipo, en la simulación realizada se recrearon tres edificios donde se ubicaría el seguidor solar logrando como resultado determinar la altura que debería tener el seguidor solar para mitigar las pérdidas por sombras no deseadas.

También permite con otras herramientas del PVsyst evaluar datos de potencia dependiendo de los grados de altitud y azimut para el posicionamiento del panel fotovoltaico logrando con esto comparar el comportamiento de un panel fotovoltaico con seguidor solar y un panel fotovoltaico fijo como se ilustra en la figura 25, en la simulación se tiene en cuenta las dimensiones de los edificios que se encuentran alrededor del prototipo esto con el fin de acercarse más a la realidad del comportamiento del panel solar, en la imagen se observa hacia el este un edificio de 4 pisos y otra construcción de un solo piso, esto se tiene en cuenta al momento de realizar la simulación, debido a la posición del edificio el prototipo seguidor alcanza a ser afectado por la sombra generada por la edificación en las primeras dos horas del día, pero siendo despreciable las pérdidas de potencia que este fenómeno ocasiona.

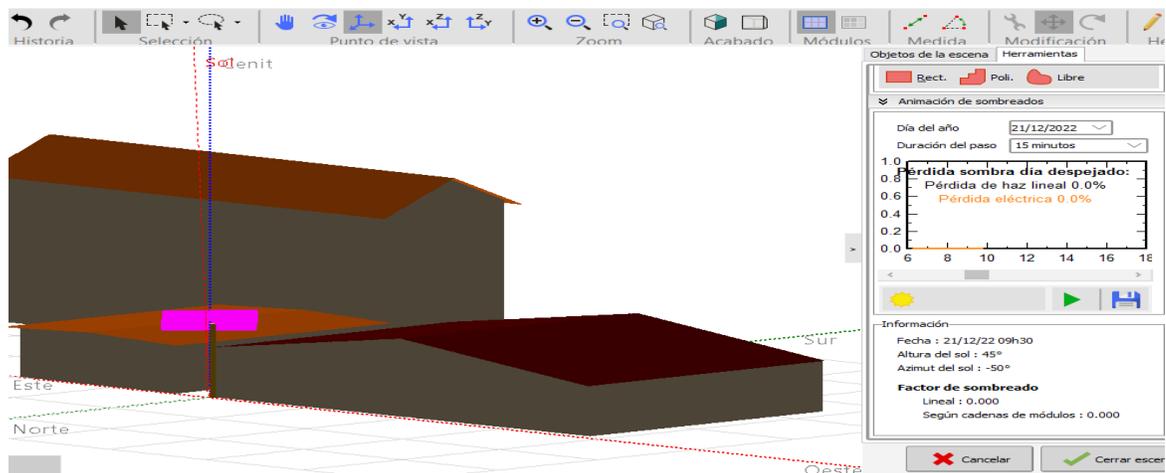


Figura 25. Pérdidas de radiación por sombras con seguidor solar.

En la simulación con un panel solar fijo como se observa en la figura 26, este se dispuso en dirección al sur y con un ángulo de 20 grados de inclinación. En este caso las pérdidas fueron mayores tanto en la salida del sol como en la puesta, en la

simulación se obtiene como dato una pérdida del 9% en las primeras dos horas de sol, esto en consecuencia a la posición del panel solar quedando más expuesto a los posibles obstáculos artificiales de su alrededor.

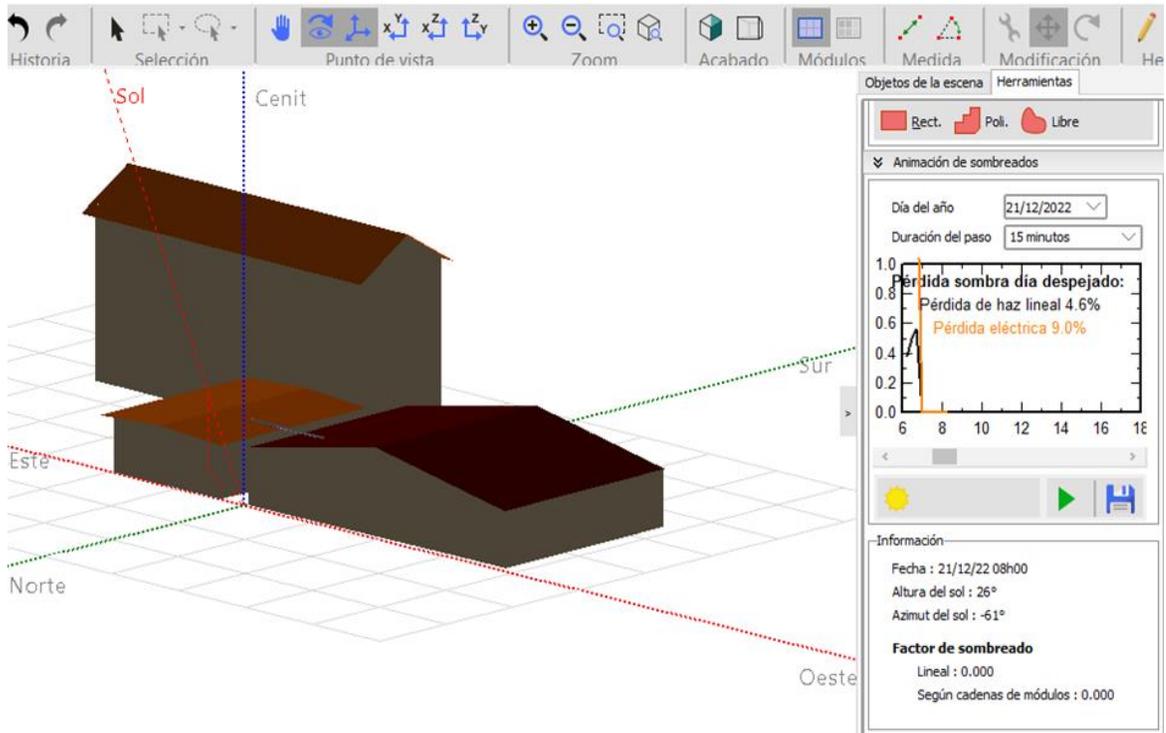


Figura 26. Pérdidas de potencia por sombras en el panel solar en posición fija.

Para evaluar el comportamiento de los motores eléctricos que accionan el movimiento del panel fotovoltaico en el prototipo, se realizó una simulación en proteus para verificar el funcionamiento del sistema de control de acuerdo con el comportamiento de los sensores que captan la radiación solar, se utiliza 2 motores dc para simular el movimiento en condiciones específicas determinadas por un algoritmo, se utilizó un Arduino uno como dispositivo controlador y un puente h para el control de los motores, para simular las fotoceldas se utilizó cuatro fotorresistencias que actúan de acuerdo a la intensidad de luz variando su valor resistivo para con esto lograr variar una corriente y así simular el comportamiento de los sensores fotoeléctricos, en la Figura 27 se ilustra la simulación realizada.

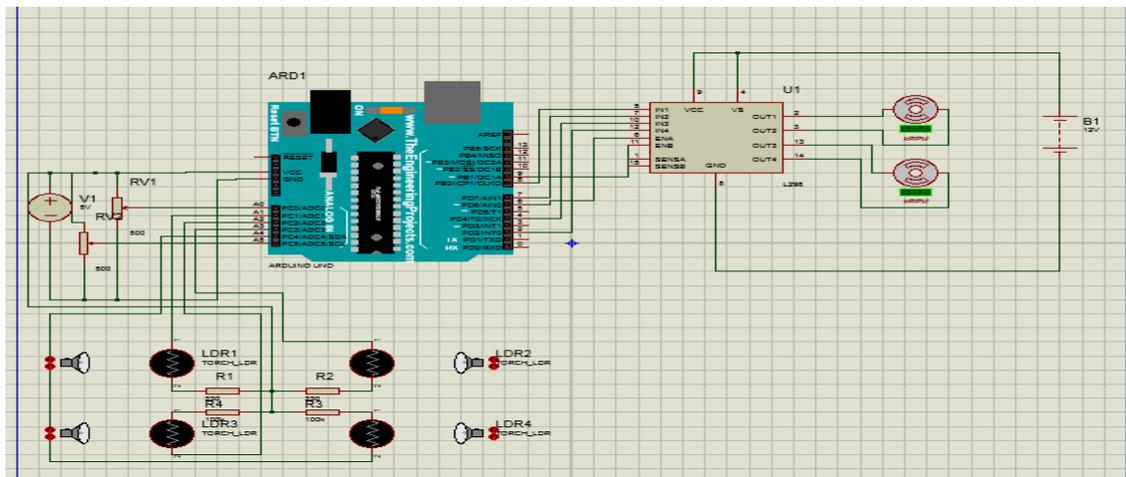


Figura 27. Simulación proteus.

3.2.8. Conclusiones Fase 2

Es importante tener en cuenta las zonas donde se implemente estos proyectos con seguidores solares, sean sitios donde existan pocos cambios climáticos y no existan obstáculos naturales o artificiales que impidan la trayectoria de los rayos del sol obstruyendo la fuente de energía que tiene como objetivo aprovechar al máximo.

La herramienta de simulación PVsyst resulto muy útil para evaluar el comportamiento del seguidor solar con respecto a los obstáculos periféricos que reducían la capacidad de obtención de energía fotovoltaica, realizando cambios en la posición y altura del seguidor se logró tener un mejor ángulo en dirección a la salida y puesta del sol.

Con los constantes cambios climáticos en la ciudad de Fusagasugá se observó muchas variaciones con las lecturas de los sensores de radiación condicionando a tener en cuenta los tiempos de inactividad por niveles bajos de radiación solar y obligando a replantear la posibilidad de implementar a futuro un algoritmo que evalué

los casos donde sea baja la radiación solar. También se contempló la necesidad de implementar (GPS, sensores de posicionamiento, servomotor) o algún otro dispositivo compatible para la orientación solar.

En la estimación de la vida útil del sistema seguidor solar contando con los respectivos mantenimientos a las partes mecánicas, eléctricas y remplazando los

componentes de desgaste, cumpliendo todo lo dicho se estima una vida útil de 20 años para el prototipo seguidor solar.

3.3. FASE 3: IMPLEMENTACION DEL SEGUIDOR SOLAR

En esta fase se cumple el objetivo específico que consiste en la implementación del sistema híbrido diseñado y cumpliendo con los criterios establecidos en un principio y Verificar y validar el desempeño del sistema, a partir de los parámetros y requerimientos establecidos en la etapa de diseño en sistemas de acuaponía.

En la Fase 3 se inició con el objetivo de Implementar el sistema híbrido diseñado cumpliendo con los criterios establecidos.

3.3.1. Prototipo seguidor solar

El seguidor solar está encargado de ubicar el panel en dirección al sol. Gracias a la forma y diseño de la estructura, el panel puede posicionarse de este a oeste y tomar ángulos de inclinación para aumentar o disminuir en altitud, estos movimientos son realizados por motores y controlados electrónicamente. Las dimensiones finales de la estructura prototipo son de 3.40mt de altura en tubo de 5 pulgadas, cuenta con una placa de soporte inferior de 0.40mt x 0.40mt con perforaciones para chasos metálicos para sujetar la base al suelo de cemento, en la parte superior cuenta con una plataforma móvil ubicada en la parte superior que consta de dos piezas, eje central que mide 0.90mt x 0.35mt y la planetaria que lleva los brazos que soportan el panel solar que tiene las siguientes dimensiones de largo 1.95mt por un ancho de 0.99mt y un espesor de 5cm, el diseño en 3D se ilustra en la Figura 28.

3.3.2. Instalación del seguidor solar de 2 ejes

En este capítulo se describe detalladamente como está conformado el prototipo siguiendo el modelo diseñado del seguidor solar, la instalación y puesta en marcha del prototipo seguidor solar de dos ejes.

3.3.3. Concepto del diseño estructural

Para el diseño de la estructura se consideró dos factores muy importantes; el tamaño del módulo fotovoltaico que deberá soportar y el tipo de actuador para el mecanismo de movimiento (motor dc, motor reductor, motor paso a paso, servomotor). la estructura final fue diseñada para soportar un módulo solar de

1.95mt de largo x 0.99 mt de ancho y un peso de 30kg dicha estructura fabricada en perfiles metálicos se evidencia en la Figura 28.

3.3.4. Partes de la plataforma móvil

Una de las características de la plataforma móvil es que cuenta con un ajuste mecánico capaz de soportar el peso de la plataforma móvil e importante para su funcionamiento, en la figura 28 se puede observar parte de la estructura que contienen rodamientos y soportes hechos a medida para lograr tener libertad de giro en su propio eje.

El acople entre la base estructural y la plataforma móvil deberá asegurarse con pernos para poder desarmar en caso de un futuro mantenimiento.



Figura 28. Parte superior estructura.

1. Base soporte para marco del panel.
2. Eje de sujeción del soporte del marco para movimiento de la altitud.
3. Soporte de rodamiento para la inclinación del eje polar.
4. Soporte de rodamiento para el eje de altitud.
5. Base de los circuitos de control.
6. Acople entre la base soporte estructural con la plataforma giratoria que sostiene el panel solar

Los motores implementados cumplen con las siguientes características:

- El voltaje de operación es de 12V Dc suministrado por las baterías de almacenamiento.

- Torque para mover una carga de 20 kg y adecuado para trabajar a la intemperie

El motor eleva vidrio vehicular Figura 29 cuenta con las especificaciones requeridas para el funcionamiento de los ejes, (voltaje de trabajo 12V DC, gran torque y perfectos para trabajar en la intemperie y de gran duración) adecuados para los movimientos necesarios de la plataforma para el seguidor, ya que este tipo de motores cuentan con alto torque y materiales resistentes. Además, maneja una corriente de trabajo de 2.5A y se alimentan a 12V DC. Estos motores poseen una característica mecánica que los mantiene en su posición cuando no está excitando con un voltaje, la potencia consumida por este motor es de 36W, este motor se acopla al mecanismo de la plataforma mediante transmisión por cadenas y platos de piñones.



Figura 29. Motor DC 12v.

3.3.5. Descripción de los componentes del sistema para la implementación del seguidor solar

Se describe los componentes principales que hacen parte del sistema seguidor solar de dos ejes empezando por el panel solar de gran potencia que estará asegurado a la base giratoria en la estructura mecánica quien suministrará de electricidad al inversor que a su vez cargará las baterías.

3.3.6. Panel solar 345w

Mono cristalino. El panel captará los rayos solares convirtiéndola en energía fotovoltaica para luego cargar las baterías. EL panel es de la marca jinko de 345 w de potencia con un voltaje pico de 39 voltios y corriente máxima de 8.8 amperios. Trae un sistema de protección en caso de sobrecargas, posee para su conexión un par de conectores mc4 positivo y el otro negativo.

3.3.7. Inversor 1Kva hibrido

El inversor híbrido Powest cuenta con una potencia de 1kVA y un voltaje de salida de 120V, es uno de los sistemas de administración de energía más inteligentes de la marca Powest, equipado con un controlador MPPT (Máximo Power Point Tracking) que administra de manera efectiva la energía del sistema de baterías, paneles solares, generadores eólicos. Con este inversor se logra obtener un sistema aislado sin interrupción de energía, capaz de operar en 19 modos diferentes según la necesidad y la prioridad, equipado con un cargador inteligente que determina el tipo de batería utilizada. el plus de este inversor es que cuenta con la conectividad para otra fuente alterna de suministro de energía ya sea la red eléctrica disponible o un sistema generador eólico u otra fuente de energía renovable de ahí su característica de hibrido.

- Controlador de capacidad de carga solar MPPT (Máximo Power Point Tracking).
- Rango de voltaje de entrada seleccionable para electrodomésticos y computadoras personales.
- Seleccionable la corriente de carga según la aplicación.
- Prioridad de entrada de red o solar configurable a través de la interfaz de usuario.
- Compatible con red eléctrica o generadores.
- Reinicio automático al restaurar AC.
- Protección contra sobrecarga y cortocircuito.
- Diseño de cargador inteligente para optimizar el rendimiento de la batería.
- Función de arranque en frío.

3.3.8. Baterías

El banco para almacenamiento de la energía está compuesto por dos baterías AGM (absorbent glass mat) en español (fibra de vidrio absorbente). selladas libres de

mantenimiento marca kaise de larga vida 12v a 55Ah, ciclo profundo diseñada para una vida útil de 10 años según el fabricante la batería se ilustra en la figura 30.



Figura 30. Batería kaise 12v 55Ah.

Al momento de la implementación del seguidor solar se revisaron los criterios del diseño cumpliendo con los parámetros de funcionamiento. En la plataforma la capacidad de movimiento vertical de 15° a 30° y libertad de movimiento de 180° en azimut de este a oeste. Se realiza la instalación del prototipo en el punto acordado quedando funcional para realizar las pruebas de funcionamiento y desempeño.

La base del soporte estructural logra quedar firme y robusta al momento de anclarse a la superficie de cemento, también cuenta con un punto donde se sujeta a una altura de 3.0mt con soportes a la estructura metálica de la construcción junto a la ubicación del seguidor.

Los motores y transmisión de cadenas se acoplan con soportes hechas a medida asegurándolos con pernos para un fácil desmonte al momento de un mantenimiento o cambio de algún componente dañado.

En la Figura 31, se observa que la plataforma soporta sin ningún problema el módulo solar dejándolo firme y centrado para una buena distribución del peso el módulo ya instalado, las partes de la estructura se describen de la siguiente forma. A: Estructura móvil soporte panel FV, B: Soporte base para la plataforma móvil, C: Acople de cadenas y motores a la plataforma móvil. D: Prototipo anclado y

asegurado al piso y a la estructura del edificio continuo. E: plataforma móvil asegurada a la base soporte. F: Acoples de sujeción para panel FV. G: panel solar ya instalado. H: cableado y conexión del panel solar.



Figura 31. Prototipo ensamblado e instalado.

3.3.9. Diagrama de flujo del algoritmo implementado

Por medio un diagrama de flujo que se describe en la Figura 32 el funcionamiento del algoritmo para la operación del seguidor solar. Teniendo como propósito censar la intensidad de corriente de las fotoceldas (Ft1, Ft2, Ft3 y Ft4) y de acuerdo con estas lecturas definir qué acción realizar mediante los motores 1 y 2. Por ejemplo se compara la lectura de la Fotocelda Ft1 y la lectura de la Fotocelda Ft2 si en este caso la lectura de la Ft1 es mayor que la Ft2 el motor girara en sentido horario hasta que esta condición ya no se cumpla o los resultados sean lo contrario. Por ejemplo, que la Ft2 sea mayor que la Ft1 y en este caso el motor girará en sentido anti horario. De esta misma forma ocurre con el motor 2 que está condicionado a las fotoceldas Ft3 y Ft4.

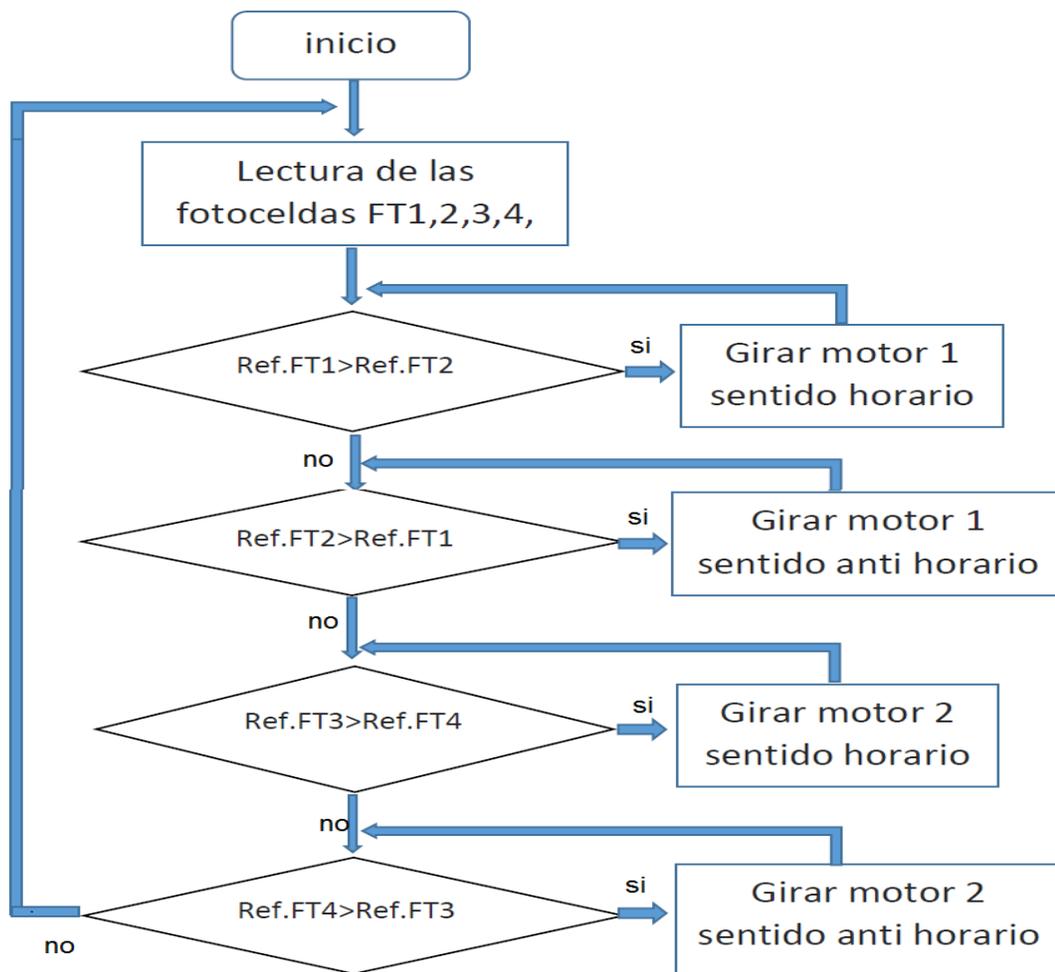


Figura 32. Diagrama de flujo control de motores.

3.3.10. Información meteorológica de referencia

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) aporta mucha información con referencia al clima siendo ésta muy importante para comprender cómo se comporta el clima o predecir su comportamiento.

En página oficial del IDEAM se publican algunos de los datos más importantes, como lo son los índices de radiación, en la Figura 34 se evidencia un gráfico de las zonas con mayor y menor radiación en Colombia.

Fusagasugá está ubicado en el departamento de Cundinamarca y según lecturas del IDEAM posee una radiación anual de 4.0 a 4.5kW/m²/día teniendo a Fusagasugá como una de las zonas aptas para la generación de energía solar.

De acuerdo con el Atlas Climatológico Nacional de Radiación. Se tomó algunos valores de referencia a la radiación solar en algunas zonas de Colombia destacando que en lo general Colombia tiene un buen potencial energético solar a lo largo del territorio nacional, obteniendo como resultado un promedio diario aproximado de 4,5Kw/m² destacándose la alta guajira con un promedio de 6,0 kW/m².

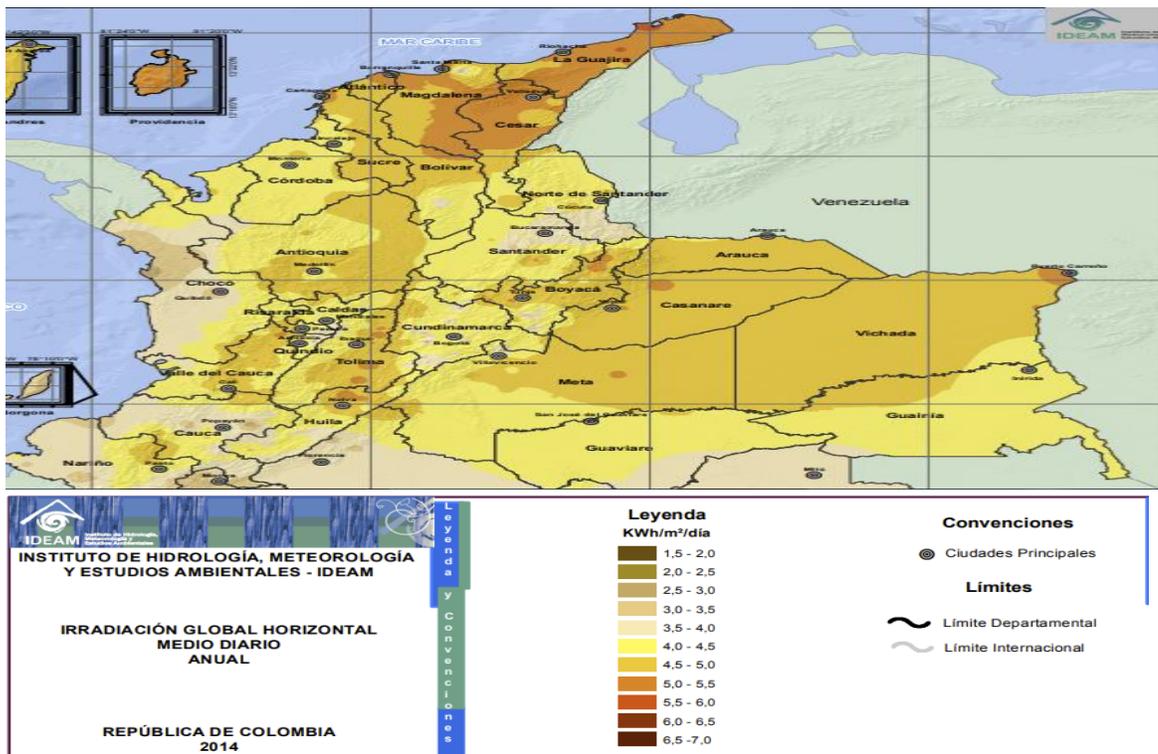


Figura 34. Radiación en algunas zonas de Colombia [54].

3.4. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y/O DESEMPEÑO

En este punto se da por terminado la parte de implementación y se inicia con el siguiente objetivo. Verificar y validar el desempeño del sistema, a partir de los parámetros y requerimientos establecidos en la etapa de diseño del sistema de acuaponía.

3.4.1. Diagnóstico y mejoramiento del prototipo

Para la puesta en marcha del prototipo se identifica al momento de iniciar las pruebas con el dispositivo inconvenientes respecto a los motores que hacen girar la plataforma móvil en ángulo de altitud, los motores logran hacer el movimiento de la plataforma hasta un punto donde se bloquea y se desencadena la transmisión de la plataforma. Después de realizar varias pruebas de funcionamiento para evaluar los posibles fallos del mecanismo identificando una falla y se procedió a corregirla con él cambió del diámetro de la relación de piñón y plato de cadena, los motores tratan de bloquearse y presentar desencadenamiento por la velocidad de giro, lo que demuestra que no tienen suficiente fuerza de torque y carece de buen acople a la transmisión, estos motores no podían romper la inercia fácilmente cuando este se encontraba en un ángulo específico, haciendo que terminaran por presentar desencadenamiento de los piñones, platos y cadena.

Debido a estos inconvenientes se procedió a redimensionar los platos dentados por unos de más dientes aumentando el diámetro consiguiendo aumentar el torque y logrando mantener firme la estructura del módulo solar.

Otra opción es reemplazar los motores por otros de más potencia, pero no fue posible por sobrecostos que afectaban el presupuesto, Concluyendo que al utilizar los mismos motores Dc 12v Dc se logró reducir gastos por fuera del presupuesto, en la Figura 33 se ilustra el acople entre motores y transmisión por cadena.



Figura 33. Implementación motores dc con transmisión de cadena.

En la Tabla 6 se ilustran los resultados obtenidos en las pruebas de funcionamiento Con el objetivo de verificar y validar el desempeño del seguidor solar se evaluó y se verifico el funcionamiento de los componentes para diagnosticar problemas y corregirlos mejorando el prototipo.

Tabla 6. Fallas y soluciones en la implementación del prototipo.

Fallas o inconvenientes en la implementación final	Posible solución al problemas resultante	Estado final del problema tratado.
Diseño estructural propuesto para el desarrollo del prototipo	El diseño planteado inicialmente se desarrolló y finalizó con mínimos cambios de dimensiones en su diseño inicial y cumpliendo que los requerimientos planteados en un principio	Solucionado con mejoras estructurales.
Sobre esfuerzo en los motores al momento de realizar el arranque se evidenciaron al momento de hacer pruebas de funcionamiento y soporte de carga y transmisión del torque	Se cambió el mecanismo de transmisión de torque, pasó de tener los motores directamente conectados al eje de soporte y movimiento a un sistema de transmisión por medio de unos de platos dentados y cadenas	Solucionado con mejoras en el sistema de transmisión de torque
Daño y descarrilamiento del motor encargado de darle altitud al panel solar.	Se realiza cambio de motor y refuerzo en estructura de acople del motor	Solucionado
Falta de instrumentación para medir radiación en la zona del proyecto	La información suministrada por la página oficial del IDEAM llamada el atlas de radiación solar en Colombia y de la corporación autónoma regional de Colombia CAR	Solucionado
Problemas para determinar exactitud de la posición del seguidor con respecto al sol	La implementación de un algoritmo apoyado de un GPS, carta solar, sensores.	Solución propuesta para trabajo a futuro.

3.4.2. Datos y análisis de resultados

A continuación, se analizaron los datos obtenidos por medio del software para sistemas solares Watch Power quien cuenta con una interface para monitorear la

producción documentando los resultados obtenidos en las pruebas de funcionamiento realizadas al prototipo propuesto en este proyecto

3.4.3. Recopilación de datos por software

El software Watch Power es una interfaz para monitorear los sistemas solares Figura 35. para monitorear el comportamiento en diferentes dispositivos de los sistemas solares. La interfaz provee de mucha información en tiempo real y también tiene la función de generar base de datos del comportamiento del sistema. Trae una interfaz gráfica donde se puede monitorear tensión entrada y salida, corriente entrada y salida, potencia de entrada, potencia activa y potencia aparente, corriente de carga y descarga de la batería, monitoreo de niveles de voltaje, tensión, corriente y potencia proporcionada por el panel solar y la red. De este software se tomaron los datos de corriente y voltaje para realizar un análisis de su producción de acuerdo al Angulo de inclinación utilizando el seguidor solar

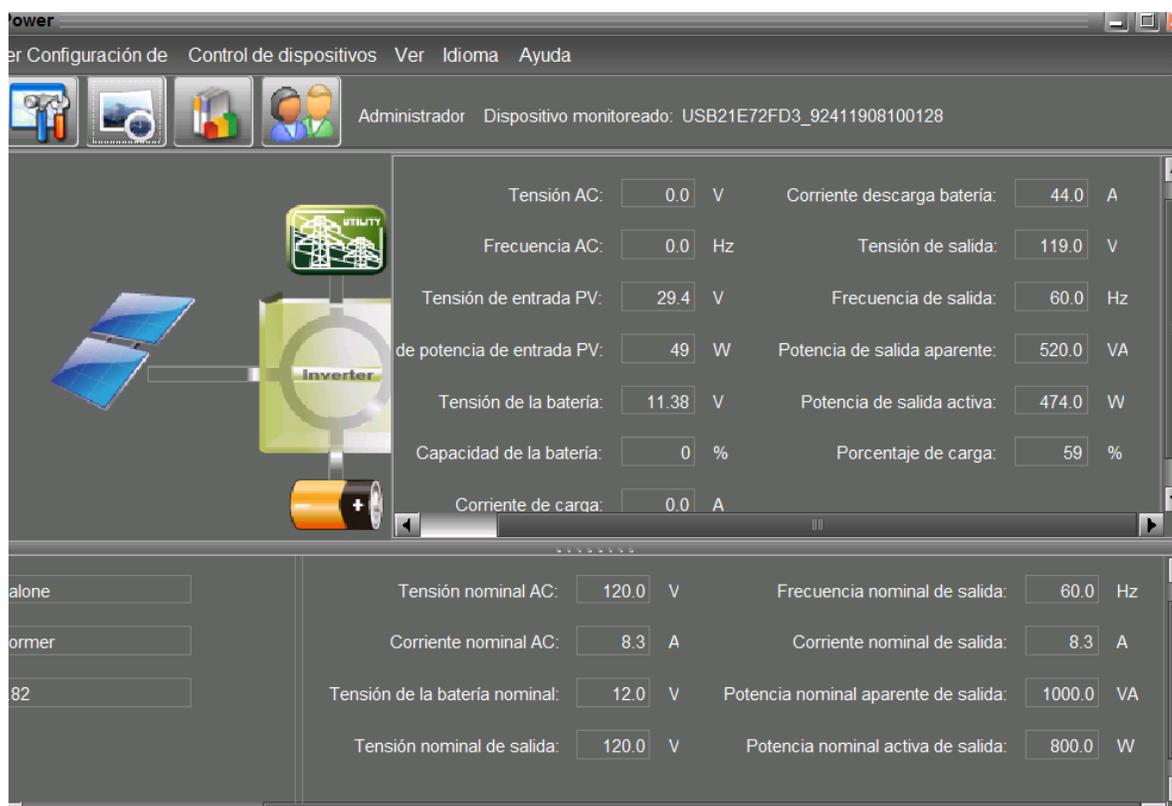


Figura 35. Interfaz del software Watch Power.

Para recopilar datos de la producción del panel solar se realizó el procedimiento de funcionamiento con el seguidor conectado al inversor y sus respectivas baterías durante un tiempo de 3 días utilizando el software para sistemas solares Watch

Power. almacenando los datos obtenidos en un archivo tipo Excel, estos archivos contienen valores de corriente, voltajes y potencias obtenidas por el panel solar en posición fija.

En dirección al sur y con un grado de inclinación de 10° esta ubicación con el fin de capturar la mayor cantidad de energía posible en el horario de mayor radiación solar durante el día y encuentra entre las 11am y 1pm. Simultáneamente se recopiló datos con el mismo panel solar, pero con la implementación del seguidor solar, esté funcionando de la forma mencionada en la figura 28 donde se describe con el diagrama de flujo donde su objetivo es el posicionamiento del panel fotovoltaico en dirección al sol.

En la Figura 36 se gráfica el comportamiento del voltaje y de la corriente producida por el panel solar con una exposición a la radiación solar en una posición fija de 20 grados de altitud.

El periodo de recolección de datos se realiza de 7am y dando por finalizado a las 5pm logrando obtener una base de datos extensa, para la gráfica se promediaron los valores recolectados en el horario de 9am a 2pm para posteriormente graficarlos y realizar el análisis correspondiente de los valores de voltaje y de corriente obtenida del panel solar fijo, para posteriormente compararlo con los datos obtenidos del panel utilizando el seguidor solar.

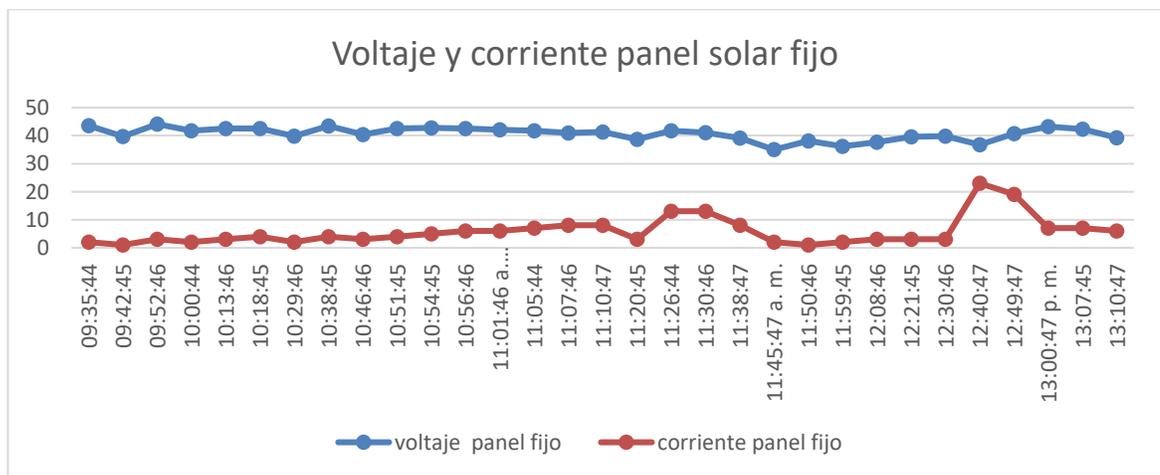


Figura 36. Grafica comportamiento panel solar fijo.

Como se observa en la Figura 36 los valores de voltaje suelen ser más constantes entre 38 y 40 voltios a diferencia de los valores de corriente que fluctúan directamente de acuerdo a la radiación obtenida por el módulo, alcanzando un valor

pico de 23 amperios a las 12:40pm cuando se le puso una carga de 800W a la salida del inversor logrando exigirle al panel solar entregar más potencia.

En la Figura 37 se observa en la gráfica los valores que obtuvieron por medio del software al sistema del panel solar con el seguidor, ya con lo anterior y esta gráfica de los valores de voltaje y de corriente se concluye que los valores de voltaje son constantes durante las horas de luz del día en comparación con la corriente que está varía los valores de acuerdo a la intensidad de los rayos solares captados por el panel este comportamiento es igual que en el panel solar fijo, sin embargo tiene un aumento en los valores de voltaje y corriente en el panel con seguidor cuando el panel con seguidor recibe más radiación que el panel fijo pero esto solo sucede a ciertas horas diferentes del medio día ya que a las 12am se tienen similar ángulo de inclinación tanto del panel en posición fija que con seguidor solar.

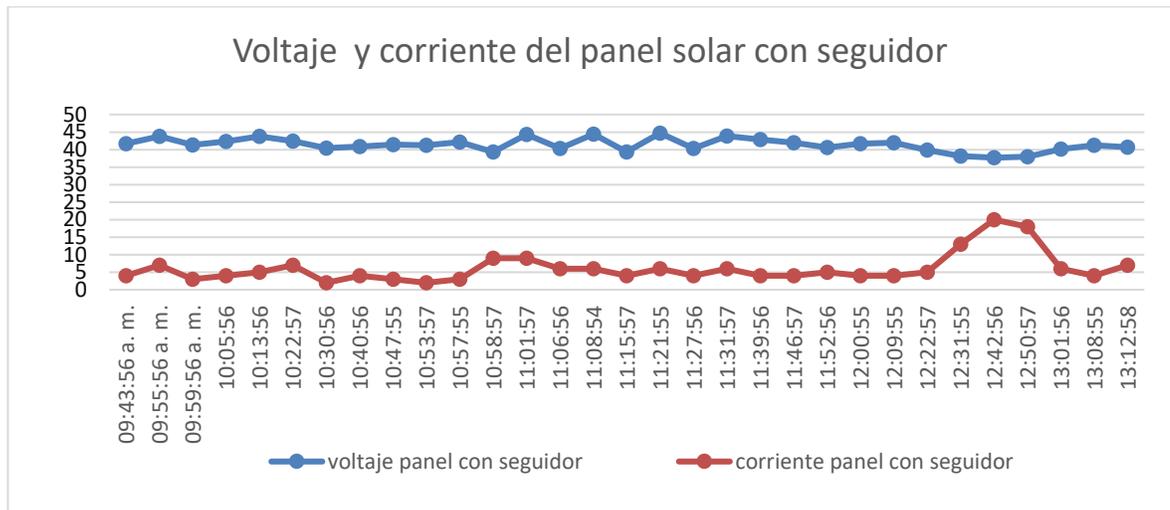


Figura 37. Grafica de voltajes y corriente del panel solar con seguidor.

Como se puede observar en la Figura 38, se grafican los valores de tensión del panel con seguidor y del panel fijo, se obtuvieron valores muy cercanos uno del otro, los niveles de voltaje con el seguidor solar logran llegar a niveles más altos que los tomados al panel fijo, claro está que esto no solo depende de la posición del seguidor solar también del clima variante, este también es un fenómeno que afecta la estabilidad del sistema de control.

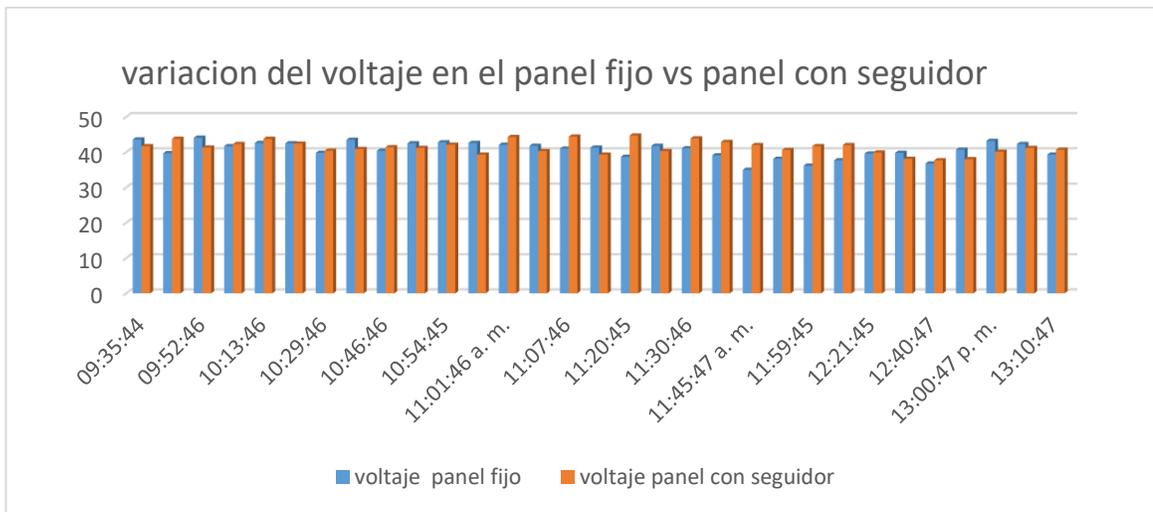


Figura 38. Grafica de voltajes del panel fijo vs panel solar con seguidor.

En la gráfica de corriente en la Figura 39 se puede notar que existe una mejora en la producción de corriente del panel con seguidor solar a diferencia de la producción de corriente del panel fijo. el aumento de producción de energía se puede observar en las horas de la mañana y después del mediodía, en ambos casos recibirán la misma radiación durante el mediodía, en cambio en horas de la mañana y en la tarde solo con el seguidor solar se puede tener una mejor disposición del panel para obtener la mayor cantidad de radiación posible.

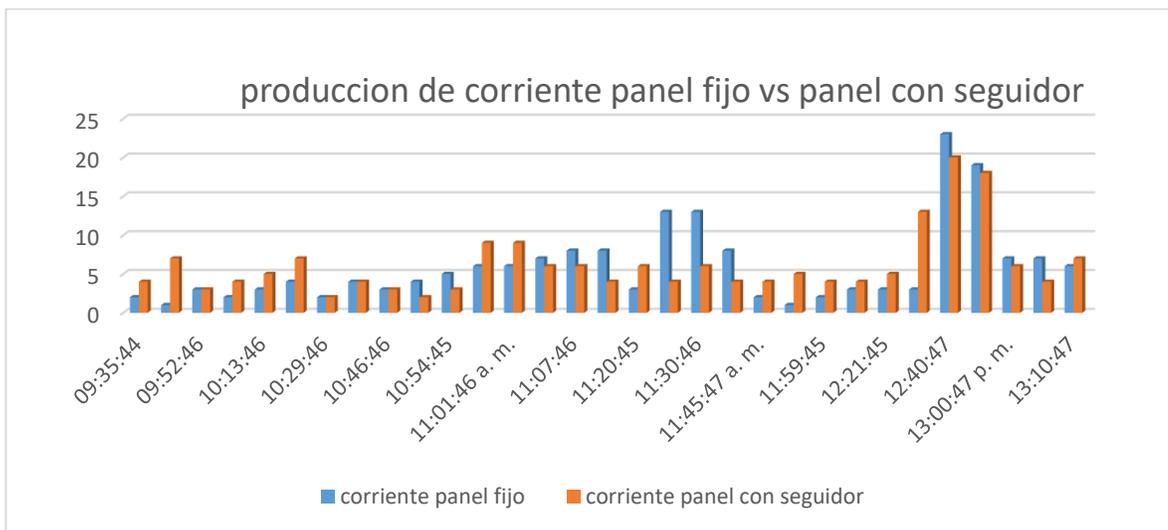


Figura 39. Grafica de corriente del panel fijo vs panel solar con seguidor.

En la Tabla 7 se evalúan los datos obtenidos por el software utilizando el panel en la posición fija y en la posición determinada por los sensores y el programa de posicionamiento solar. Guardando los datos en un Excel indicando la producción de energía por parte del panel. Los datos obtenidos que bien son muy similares entre el panel fijo vs el panel móvil donde se nota una variación significativa en horas de la mañana y posteriormente en la tarde cuando la radiación solar no llega directamente al panel fotovoltaico cuando está en una posición fija mientras que con el seguidor solar es posible aumentar un poco la producción de energía al posicionar el panel directamente al sol.

Tabla 7. Valores aproximados de ganancia

Potencia promedio panel fijo	Potencia promedio panel con seguidor	Incremento de potencia con seguidor	Hora
39	40.9	4.6 %	07:31:45
26.5	26.7	0.7 %	08:34:46
84	87.8	4.5 %	09:30:45
127.5	174	36 %	10:34:45
330	360	9 %	11:35:45
74.4	75.2	1 %	11:59:45
190	238	25 %	12:31:45
250	302	20 %	13:03:47

En la tabla 7 también se describen los valores de ganancia obtenidos por parte del panel fotovoltaico con el seguidor solar en funcionamiento y estos valores se comparan con los datos obtenidos por el panel en posición fija, como resultado se obtuvo una diferencia mínima de 0.7% a las 8 de la mañana esto podría ser el caso que a esa hora aproximadamente cuando el sol está levantando hay un obstáculo que genera sombra y afecta tanto al panel con seguidor como al estar fijo, obteniendo casi la misma producción eléctrica. Otro caso donde la diferencia de producción es muy baja ocurre acercándose el medio día, en este momento la producción se iguala y esto es ocasionado porque tanto el panel con seguidor y en posición fija se encuentran en el mismo ángulo de inclinación en dirección al sol.

En otra hora diferente del día la producción se nota mayor variación en la producción obteniendo un aumento en el porcentaje de producción eléctrica con el panel fotovoltaico y el seguidor solar activo, concluyendo que al estar activo el seguidor solar mejora el porcentaje de producción.

3.4.4. Conclusiones Fase 3

En las pruebas realizadas al seguidor solar se presentaron varios fenómenos naturales que afectan el funcionamiento del prototipo disminuyendo críticamente la producción eléctrica, estos fenómenos como los días nublados o días con lluvia afectan tanto a los sistemas solares con seguidor como a los sistemas solares fijos, pero en mayor parte a los sistemas con seguidor porque estos a diferencia de los sistemas fijos tienen un consumo energético para su funcionamiento.

Al optimizar procesos básicos como el movimiento de una plataforma para el seguimiento del sol para lograr mejorar un proceso como el de obtención de energía solar por medio de un panel fotovoltaico se puede sacar el máximo provecho sin la necesidad de implementar grandes tecnologías inaccesibles o insostenibles.

Cabe destacar que logró bajar significativamente los costos de la implementación del prototipo en gran parte al utilizar materiales reciclados cumpliendo con las especificaciones requeridas y cumpliendo con su finalidad logrando realizar un proyecto de este tipo a muy bajos costos.

Para lograr un considerable aumento de producción energética con paneles solares implementando un seguidor solar es indispensable tener un buen control electrónico con sensores de radiación solar de precisión o algoritmos e instrumentos de posicionamiento global para tener un mejor control de la parte mecánica.

Como conclusión final el sistema seguidor solar de dos ejes cumple con el objetivo de optimizar el sistema solar en condiciones del clima favorables puesto que aumenta la producción energética teniendo como finalidad una mejor disposición de energía requerida por el sistema acuopónico.

3.5. FASE 4: SOCIALIZACION DEL PROYECTO

Una vez iniciado el desarrollo del proyecto seguidor solar y de la mano del semillero de investigación SIAMEL se desarrolló una serie de actividades para socializar los avances, procedimientos y resultados de esta investigación, logrando así participar en ponencias nacionales y capacitaciones a la comunidad estudiantil.

3.5.1. Desarrollo del material didáctico digital

Para el desarrollo y cumplimiento del objetivo planteado se diseñó el material didáctico digital Cumpliendo con los siguientes criterios.

- Diseño instruccional dinámico: guía para el desplazamiento del orden de las imágenes en el desplazamiento de las presentaciones.
- Contextualizar: mostrar el resultado que ha realizado en la universidad de Cundinamarca, exactamente en el proyecto actual del semillero SIAMEL y que temas puntuales se implementarán en este.
- Recopilación de fuentes: toda la información mostrada debe estar respaldada por recursos bibliográficos, respetando los derechos de autor y las licencias.
- Construcción: incluir elementos motivantes, además de plantear la iniciativa de realizar un proyecto como este.
- Revisión y prueba: mostrar avances de la instalación del prototipo como respaldo de dicho proceso.

Bajo los criterios mencionados se desarrollaron modelos didácticos para dar a conocer el proceso que viene realizando en el semillero y familiarizar el proceso con la comunidad educativa y cumpliendo con las etapas de elaboración de dicho proceso se planteó el siguiente material:

3.5.2. Diseño didáctico

Para el desarrollo se presentan componentes y relaciones con el proceso de enseñanza y de aprendizaje sobre la metodología de desarrollo del proyecto, quienes aportan y cómo se va a aprovechar dicho proceso. Para así enaltecer el semillero fuera y dentro de la universidad de Cundinamarca, inculcando a los procesos investigativos.

Estas capacitaciones se iniciaron con la presentación de un video promocional que el semillero SIAMEL proporciono y que se realizó con la finalidad de dejar huella en las personas presentes en la capacitación, incentivando a que realicen un proceso como el mencionado en las capacitaciones, pero sobre todo que conozcan la metodología de los estudiantes para el desarrollo del proyecto de mano de los líderes del semillero el video y presentaciones para las capacitaciones se encuentran en un enlace adjunto en la sección de anexos 1.

3.5.3. Socialización de los resultados y procedimiento para el desarrollo del prototipo, al semillero y comunidad educativa

En base al ítem anterior todos los eventos que realicen antes de la entrega final del documento serán registrados en este libro digital, esto para mostrar evidencia de los eventos asistidos e incentivar a los participantes al desarrollo de proyectos que ayuden al cambio climático.

3.5.4. Capacitaciones

Se utiliza material didáctico para realizar talleres y/o capacitaciones con el fin de socializar todo lo relacionado con el proyecto y la energía fotovoltaica, el material de apoyo se puede acceder por el enlace adjuntado en anexos 1.

TEMATICA

En las capacitaciones realizadas se planteó el proceso teórico más comprensible al público para poder determinar las características necesarias para colocar en marcha un sistema de paneles solares con el fin de simplificar el proceso y lograr la captación el interés de los asistentes.

PASOS

En el desarrollo se sugirió al público que cada uno tome como ejemplo todos los electrodomésticos de su vivienda con el fin de realizar un dimensionamiento de consumo energético Tomando como ejemplo lo plasmado en la Tabla 8.

Tabla 8. Dimensionamiento energético.

Electrodoméstico	Tiempo de uso	Potencia	Total kwh/mes
2 Televisores	6h L-D	100w c/u	36 kwh
1 Nevera	8h L-D	180w	43.2 kwh
1 Equipo de sonido	2h L-D	200w	12 kwh
1 Licuadora	5mn L-V	1000w	1.7 kwh
1 Wifi	24h L-D	15w	10 kwh
1 Decodificador	6h L-D	15w	2.7 kwh
5 Bombillos	3h L-D	18w c/u	8.1 kwh
1 Cargador de celular	7h L-D	15w	0.214 kwh
		Kwh en un mes	149.914 Kwh
		Kwh x día	5 Kwh

Para el inicio de los cálculos en el taller práctico realizado a los asistentes en las capacitaciones, se determinó como punto de partida calculando un consumo diario de 5 kW obtenido gracias a una valoración de consumos de varios electrodomésticos listados en la Tabla 8, también se determina la necesidad de usar un inversor de 3 Kva a 48Vdc y 110V de salida, para la elección del inversor se tiene en cuenta la suma de la potencia total de todos los electrodomésticos.

En la figura 40 se presentan los datos básicos que se necesitan para seleccionar y determinar la cantidad de paneles solares para dar inicio al dimensionamiento del sistema solar, es importante tener como referencia los paneles fotovoltaicos que sean asequibles en el mercado, de acuerdo con el panel seleccionado se verifican las características de fábrica para tomar los valores de voltaje, corriente y potencia necesarios para realizar los cálculos en la primera parte de la capacitación.

Se informó desde los conocimientos previos de los estudiantes el proceso para elegir un controlador, el inversor y las baterías adecuadas para el sistema, utilizando una serie de operaciones matemáticas para encontrar el número de paneles requeridos, la corriente necesaria para el consumo y cargar las baterías.

Cálculo número de paneles

UDEC
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA

1.3 = 30% se aumenta en caso de un consumo mas elevado.

5 = asumiendo que en la ciudad de Fusagasugá con parámetros me dan 5 horas de sol al día.

330W la potencia de panel solar de referencia.

Electrical characteristics

P_{max} , V_{oc} , I_{sc} , V_{mp} and I_{mp} at STC (1000W/m ² , 25°C, AM 1.5):	225W	230W	235W	240W	245W	250W	255W	260W
Maximum Power (P_{max})	36.8V	36.9V	37.0V	37.1V	37.2V	37.3V	37.4V	37.5V
Open Circuit Voltage (V_{oc})	8.16A	8.31A	8.42A	8.52A	8.62A	8.72A	8.82A	8.91A
Short Circuit Current (I_{sc})	30.1V	30.2V	30.3V	30.3V	30.4V	30.5V	30.6V	30.7V
Maximum Power Voltage (V_{mp})	7.48A	7.62A	7.75A	7.92A	8.06A	8.20A	8.34A	8.48A
Maximum Power Current (I_{mp})	13.8	14.1	14.4	14.7	15.0	15.3	15.6	15.9
Module Efficiency (%)								

Temperature Coefficients

Temperature Coefficients of P_{max}	-0.43 %/°C
Temperature Coefficients of V_{oc}	-0.33 %/°C
Temperature Coefficients of I_{sc}	+0.056 %/°C

Absolute Maximum Limits

Maximum System Voltage	1000V DC
Module Operating Temperature	-40°C to +85°C
NOCT	45°C±2°C

Figura 40. Diapositiva de las características del panel.

En la figura 41 se determinó la cantidad de paneles teniendo en cuenta la potencia requerida para el consumo diario, un 30 % de aumento para el caso que se requiera un consumo más elevado del calculado, otro dato importante y tomado de base de datos del IDEAM son las horas promedio de sol en la ciudad de Fusagasugá y por último el valor de potencia de un panel seleccionado para la práctica, al operar estos valores se obtuvo como respuesta un total de 4 paneles de 330w necesarios para que con solo 5 horas de sol al día produzca 6600w aproximadamente.

Calculo consumo

1.3 =30% de aumento en caso de un consumo mas elevado.

5 = promediando que en la ciudad de Fusagasugá me dan 5 horas de sol al día.

330w la potencia de panel solar .

5kw de consumo diario.

UDEC
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA

5000w consumo energético al día

$$\frac{5000w * 1,3}{5hsd * 330 wP} = 3,93$$

Figura 41. diapositiva de los cálculos para determinar la cantidad de paneles.

El número de paneles necesarios para producir los 5Kw diarios necesarios para el sistema solar se halló teniendo como referencia la potencia de un panel disponible comercialmente, para la práctica se tomó como referencia un panel de 3300w, para tener en cuenta en la operación para hallar el número de paneles necesarios, se aumenta un 30% en la potencia requerida para un total de 6600w y se tiene en cuenta las horas de sol al día. Para la práctica se tomó como referencia 5 horas de sol al día. Ajustar tamaño de la ecuación, la fuente esta exageradamente grande.

$$\frac{5000W * 1,3}{5hsd * 330 Wp} = 3.9unid$$

Después de operar se obtiene como resultado que se requieren 4 paneles de 330w para producir los 6600W en cinco horas de sol al día, Para manejar esta potencia

es necesario un controlador de carga encargado de tomar esa corriente producida por los 4 paneles y almacenarla en un banco de baterías.

Para determinar que controlador es el indicado para manejar los 4 paneles de 330Wse toma como referencia la suma de las corrientes máximas producidas por los cuatro paneles con un valor de 36.6 A.

$$\frac{330 \text{ Wp}}{36\text{V}} = 9.16 \text{ A} * 4 \text{ paneles} = 36.6\text{A}$$

Comercialmente se consiguen controladores de carga de 10, 20, 30, 40, 50, 60 amperios. Para este caso serviría el controlador de carga de 40A.

En la figura 42 se describe la forma como se calcula la corriente que deberán tener las baterías que se requieren para el kit solar, este cálculo se toma en cuenta la energía consumida en un día y se selecciona el voltaje de las baterías de acuerdo a las características del inversor, estos inversores trabajan con una o varias baterías que van desde 2v hasta 48v, en el cálculo para seleccionar las baterías el resultado indica que se requiere de 48V y una corriente de 222A y comercialmente las baterías son de 200A a 12v , 220A a 12v y 250A a 12v por lo que se requieren de 4 baterías de 220A para el kit solar.

baterías

I_d =corriente consumida en 1 día

$$I_d = \frac{\text{energía consumida}}{\text{voltaje de las baterías}} = \frac{5000\text{w}}{48\text{v}} = 104\text{A}$$

D=días de autonomía
D= 1,5 días

0.7 será la profundidad de descarga en las baterías asumiendo que su descarga total será del 70% .

$$\frac{D * I_d}{0,7} = \frac{1,5 * 104}{0,7} = 222\text{A}$$

Figura 42. diapositiva de los cálculos para la selección de las baterías.

Al final de dicha capacitación se dejó que los participantes tuvieran familiaridad con todos los dispositivos. Se puede afirmar que fueron ellos quienes realizaron la puesta en marcha el sistema solar que se usó para las capacitaciones.

En constancia a lo anterior se tomó evidencia de cada encuentro así: En la Figura 43 se evidencia la primera capacitación que se realizó el día 15/03/2022 donde se dio la charla mencionando y dando a conocer el proyecto seguidor solar de dos ejes con una presentación teórica y seguido se realiza una capacitación sobre instalaciones solares finalizando con el montaje de un kit solar de 1kva.



Figura 43. Primera capacitación a integrantes del semillero.

En la Figura 44 se evidencia la segunda capacitación se realizó el día 05/04/2022 donde es mencionando el proyecto seguidor solar de dos ejes con una presentación y seguido realizando una capacitación sobre instalaciones solares finalizando con el montaje de un kit solar de 1kva.



Figura 44. Segunda capacitación a estudiantes de ingeniería electrónica.

3.5.5. Participación en seminarios

En base al material didáctico ejecutado en la sección 3.5.4 se participó en seminarios de ingeniería desarrollados en la seccional Ubaté de manera presencial dando a conocer el proyecto seguidor solar. En este se explicó el avance estructural que tuvo el proyecto, los objetivos logrados y la estrategia para culminar el proceso de manera que se cumplieran con los objetivos trazados.

3.5.6. Participación en ponencias nacionales y/o internacionales

Para entrar en materia este término adapta principios educativos de manejo, con base a la realidad cultural de las personas a tratar, desarrollando entornos de aprendizaje tomando como referencia las comodidades habituales de la vida cotidiana de cada individuo.

Bajo las normas estipuladas en el I congreso latinoamericano de investigación en didáctica de las ciencias experimentales y de las matemáticas, en ese mismo contexto cumple con características relevantes desde la cantidad de palabras requeridas en el título como la proporción entre texto e imágenes dicientes del proceso. es con la finalidad de entrar en contexto con las personas de una manera puntual, clara y precisa sin extender la conversación a tal punto de incomodar al público dicho poster se incluyó en anexos 1.

3.5.7. Conclusiones Fase 4

Muchos de estos proyectos ya se vienen implementando en varios lugares de Europa gracias al gran aumento y rendimiento energético que ofrece y esto lo complementan con otros tipos de energías limpias (eólica, geotérmica, termo solar) optimizando aún más sus proyectos.

A pesar de que en otros países es muy común este tipo de proyectos al momento de socializar el proyecto seguidor con la comunidad estudiantil, se evidencia que hay gran desinformación con respecto al tema de energía fotovoltaica y los seguidores solares y como resultado se logró dejar grandes expectativas y enseñanzas a los espectadores.

Cabe recordar que estos proyectos son costosos al momento de ejecutarlos y dependiendo de la tecnología a implementar, dependiendo de eso puede tener una recuperación a corto, mediano o plazo de lo invertido, se estima un aproximado de entre 5 a 10 años. pero con el beneficio de obtener energía 100% renovable.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los productos y resultados que se generaron dentro del proyecto como auxiliar de investigación fueron los siguientes:

4.1. Productos y Resultados

- Prototipo seguidor solar de 2 ejes
- Capacitaciones
- Cartilla para capacitaciones
- Ponencia en acofi modalidad Poster

4.2. Presupuesto

Para el presupuesto de este proyecto se elaboró una tabla con detalles donde se plasmó el costo del prototipo a desarrollarlo y contando con ayuda de la inversión de una empresa local, se logró adquirir los materiales necesarios para este fin, por otra parte, los componentes electrónicos como el inversor, panel solar, baterías y demás accesorios eléctricos cables y conectores fueron suministrados por la universidad de Cundinamarca gracias a la gestión del semillero de investigación SIAMEL.

En la Tabla 9 se muestran los costos generales de los equipos utilizados en el proyecto y el costo final del prototipo seguidor de dos ejes.

Tabla 9. Costos del proyecto.

Rubros	Solicitado en efectivo UDEC	Contrapartida en especie		Total
		UDEC	Otras Entidades	
Personal	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Equipos	\$ 0	3.500.000	\$ 0	3.500.000
Materiales e insumos	\$ 0	\$ 0	1.000.000	1.000.000
Servicios tecnológicos	\$ 0	\$ 0	\$ 150.000	\$ 150.000
Viajes	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Otros	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Total	\$ 0	\$ 3.500.000	\$ 1.150.000	\$ 4.650.000

5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Las conclusiones son la respuesta a los objetivos planteados en el trabajo de grado. En esta sección, el jurado debe encontrar de forma explícita esa respuesta.

5.1. CONCLUSIONES

Para proyectos con energías renovables es de gran importancia implementar componentes con tecnologías de punta como lo son inversores y paneles solares más eficientes ya que estos cuentan con una elevada eficiencia energética.

Un seguidor solar garantiza mejorar el uso de fuentes renovables como la energía solar, permitiendo la sustitución de combustibles fósiles.

En las instalaciones fotovoltaicas con seguidores se puede utilizar celdas fotovoltaicas como sensores de radiación para lograr el ángulo de posición aproximada en dirección al sol para recibir la radiación directamente al panel durante todo el día.

La radiación solar que llega al seguidor solar dependía del estado del clima eso limitó y afectó el sistema de control sacrificando energía de las baterías para que los motores continuaran funcionando.

Las condiciones climáticas de la ciudad de Fusagasugá son muy variantes en consecuencia la radiación obtenida puede ser mucho más baja algunos días de año por eso la importancia de optimizar la obtención de energía solar utilizando seguidores de uno o dos ejes

5.2. PERSPECTIVAS DE TRABAJO FUTURO

Es importante implementar ayudas tecnológicas o técnicas para el control y posicionamiento de un panel fotovoltaico con un seguidor solar por ejemplo utilizando la carta solar para saber la posición del sol en grados en cualquier día del año, Por otro lado un dispositivo tecnológico es el GPS para el posicionamiento por triangulación, así mismo se puede implementar sensores para medir la intensidad de radiación como bien se puede implementar cualquiera de estas ayudas o bien se puede implementar varias técnicas o ayudas tecnológicas a la vez con el fin de corroborar su buen funcionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

[1] eroski consumer , «Cultivos acuoponicos: un sistema de producción de vegetales y animales acuáticos,» 12 julio 2010. [En línea]. Available:

<https://www.consumer.es/medio-ambiente/cultivos-acuoponicos-un-sistema-de-produccion-de-vegetales-y-animales-acuaticos>. html. [Último acceso: 2021].

[2] soysolar, «Seguidores solares: todo lo que necesitas saber,» 10 09 2020. [En línea].

Available: <https://sotysolar.es/placas-solares/seguidores-solares#:~:text=Un%20seguidor%20en%20dos%20ejes,al%20sol%20durante%20el%20d%C3%ADa> .. [Último acceso: 2021].

[3] a. l. d. sumapaz, «alcaldía mayor de Bogotá D.C,» 2021. [En línea]. Available:

<http://www.sumapaz.gov.co/milocalidad/paneles-solares-proyectos-motivan-la-unificacion-y-dialogo-familiar>.

[4] O. Gamboa, «empresa de licores de Cundinamarca ELC es la primera entidad pública en utilizar energía solar,» 31 agosto 2018. [En línea]. Available:

<https://www.noticiasdiaadia.com/empresa-de-licores-de-cundinamarca-elc-es-la-primer-entidad-publica-en-utilizar-energia-solar/>.

[5] Oscar Andrés Peña Cifuentes, Prototipo de un cargador solar fotovoltaico autónomo para dispositivos móviles en la “finca la esperanza” de la universidad de Cundinamarca, Fusagasugá: Universidad de Cundinamarca, 2019.

[6] J. P. F. Matamoros, Estudio de factibilidad técnica para la implementación de sistemas eólicos y/o híbridos en la vereda san José del chocho - municipio de Sylvania (Cundinamarca), a partir de un sistema de adquisición de datos-daq, Fusagasugá: Universidad de Cundinamarca, 2019.

[7] SENERGYSOL, «Smart Energy Solutions,» 2022. [En línea]. Available:

<https://www.senergysol.com.co/proyectos/>

[8] «Colombia y su potencial en fuentes de energía renovables,» PROCOLOMBIA Y COLOMBIA CO, p. 2, 2018.

[9] J. D. M.-M. I. C.-R. Jhonnatan Gómez-Ramírez, «LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN COLOMBIA: POTENCIALES, ANTECEDENTES Y PERSPECTIVAS,» Repositorio Universidad Santo Tomas, p. 19, 2017.

[10] J. D. M.-M. I. C.-R. Jhonnatan Gómez-Ramírez, «LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN COLOMBIA: POTENCIALES, ANTECEDENTES Y PERSPECTIVAS,» repositorio Universidad Santo Tomás, p. 19, 2017.

[11] WTW, «Proyectos de energía solar en Colombia,» 17 diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.wtwco.com/es-CO/Insights/2020/12/proyectos-de-energia-solar-en-colombia>. [Último acceso: 2021].

[12] E. p. d. caribe, «Hay más de 122 proyectos de energía solar y eólica avanzando siete departamentos,» la república, p. 2, 2021.

[13] F. G. A. Larrea, «Diseño Y Construcción De Una Estructura Metálica Para Un Seguidor Solar, De Dos,» UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, [En línea]. Available: <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3469/1/ESTRUCTURA%20SEGUIDOR%20SOLAR.pdf>. [Último acceso: 2021].

[14] R. E-Marmolejo, «Microcontrolador – qué es y para qué sirve,» 12 noviembre 2017. [En línea]. Available: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/microcontrolador/>.

[15] M. B. España, «Diseño y construcción de un seguidor solar de 2 ejes,» campus de excelencia internacional, julio 2016. [En línea]. Available:

https://oa.upm.es/43463/1/TFG_MARCOS_BERNAL_ESPANA_a.pdf. Último acceso: 10 2021].

[16] D. J. A. M. y. S. Y. P. BRAVO, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR PARA AUMENTAR EL RENDIMIENTO ENERGÉTICO EN PANELES FOTOVOLTAICOS DE UN SISTEMA DE BOMBEO,» UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA, 2015. [En línea]. Available:

<https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/693/Documento%20final%20Seguidor%20solar%20correcciones%203.pdf?sequence=1&isAllowed=y> .

[Último acceso: 2021].

[17] D. H. G. G. y. V. E. R. CHÁVEZ, «Implementación de seguidor solar en dos ejes para el Sistema Fotovoltaico de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la UES.,» UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR, mayo 2012. [En línea]. Available:

http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2045/1/Implementaci%C3%B3n_de_seguidor_solar_en_dos_ejes_para_el_Sistema_Fotovoltaico_de_la_Escuela_de_Ingenier%C3%ADa_El%C3%A9ctrica_de_la_UES.pdf . [Último acceso: 2021].

[18] R. m. d. c. agrícolas, «Scielo,» noviembre 2015. [En línea]. Available:

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000801715 .

[Último acceso: 2021].

[19] I. tecnológica, «Seguidor Solar de Dos Ejes para un Horno Solar,» Scielo, 2011. [En línea]. Available:

https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642011000200011 . [Último acceso: 2021].

[20] I. Energética, «Seguidor Solar, optimizando el aprovechamiento de la energía solar,» Scielo, agosto 2015. [En línea]. Available:

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012015000200008 . [Último acceso: 2021].

[21] J. M. y. J. B. L.A. Mejía, «Síntesis dimensional de un mecanismo esférico para la orientación,» Ciencia e Ingeniería, 31 mayo 2017. [En línea]. Available:

<http://www.scielo.org.co/pdf/ecei/v11n22/1909-8367-ecei-11-22-00043.pdf> . [Último acceso: 2021].

[22] R. d. Investigación, «Implementación de un sistema fotovoltaico On Grid sobre una estructura de dos ejes controlada, para la promoción de Fuentes no convencionales de Energía Renovables en el Colegio Gonzalo Jiménez Navas de Floridablanca – Santander, Colombia,» scielo, diciembre 2017 . [En línea]. Available: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-29142017000300004 . [Último acceso: 2021].

[23] A. F. E. Z. y. J. J. O. FIGUEREDO, «IMPLEMENTACIÓN DE UN PANEL SOLAR MÓVIL AUTOMATIZADO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA LIMPIA,» UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA, 2015. [En línea]. Available: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2511/1/trabajo%20de%20grado%20final.pdf> . [Último acceso: 2021].

[24] E. C. D. COLOMBIA, «LEY 164 DE 1994,» 27 octubre 1994. [En línea]. Available: http://www.ideam.gov.co/documents/24024/26915/C_Users_JGomez_Documents_LEY+164+DE+1994.pdf/85833e1c-6ceb-4554-bce5-21e433329019 . [Último acceso: 2022].

[25] E. C. D. COLOMBIA, «LEY 29 DE 1990,» ESAP, Colombia CO y GOV.CO, p. 1, 1990..

[26] El Congreso de Colombia, «LEY 697 de 2001,» DIARIO OFICIAL, p. 5, 2001..

[27] Secretaria del senado, «Ley 1665 del 2013,» [En línea]. Available: http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1665_2013.html . [Último acceso: 20 08 2020].

[28] Ministerio de minas y energía, «Ley 1715 del 2014,» [En línea]. Available: https://www1.upme.gov.co/Documents/Cartilla_IGE_Incentivos_Tributarios_Ley1715.pdf . [Último acceso: 20 08 2020].

[29] Á. U. VÉLEZ, «Decreto 3683 de 2003,» 22 diciembre 2003. [En línea]. Available:

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=11032> [Último acceso: 2022].

[30] Función pública, «Decreto 2143 de 2015,» [En línea]. Available: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=64682>. [Último acceso: 20 08 2020].

[31] Ministerio de minas y energía, «Decreto 1623 del 2015,» [En línea]. Available: <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23517/36632-Decreto-1623-11Ago2015.pdf>. [Último acceso: 20 08 2020].

[32] Función pública, «Decreto 2492 del 2014,» [En línea]. Available: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=60174>. [Último acceso: 20 08 2020].

[33] Ministerio de minas y energía, «2469 del 2014,» [En línea]. Available: <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23517/36864-Decreto-2469-02Dic2014.pdf>. [Último acceso: 20 08 2020].

[34] Ministerio de minas y energías, «Resolución UPME 0281 de 2015,» [En línea]. Available: [https://www.minenergia.gov.co/energias-renovables-no-convencionales#:~:text=Resoluci%C3%B3n%20UPME%200281%20de%202015,Interconectado%20Nacional%20\(SIN\)%22](https://www.minenergia.gov.co/energias-renovables-no-convencionales#:~:text=Resoluci%C3%B3n%20UPME%200281%20de%202015,Interconectado%20Nacional%20(SIN)%22) .. [Último acceso: 20 08 2020].

[35] Comisión de regulación, «Resolución 024 de 2015,» [En línea]. Available: [http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/67513914c35d6b8c05257e2d007cf0b0/\\$FILE/Creg024-2015.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/67513914c35d6b8c05257e2d007cf0b0/$FILE/Creg024-2015.pdf) . [Último acceso: 20 08 2020].

[36] Ministerio de minas y energía, «Resolución 143 de 2016,» [En línea]. Available: http://www.siel.gov.co/siel/documentos/documentacion/Generacion/143_2016.pdf

[Último acceso: 20 08 2020].

[37] M. d. M. y. Energía, «Resolución 18 - 0919 de 2010,» Diario Oficial 47728, p. 7, 2010.

[38] ICONTEC, «Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación,» Normas para el diseño y construcción de sistemas fotovoltaicos, [En línea]. Available: http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/docs/sOLARfOTOVOLTAICA.pdf . [Último acceso: 20 08 2020].

[39] M. d. Colombia, «Fusagasugá,» 8 abril 2021. [En línea]. Available: <https://www.municipio.com.co/municipio-fusagasuga.html> . [Ultimo acceso: 2022].

[40] R. T. P. C. K. P. Kapil Prashar, «A Review on Efficient Identification of American Cotton Leaf Diseases through Training Set,» International Journal of Computer Applications, p. 8, 2015.

[41] A. J. B. HSIEN MING EASLON, «EASY LEAF AREA: AUTOMATED DIGITAL IMAGE ANALYSIS FOR RAPID AND ACCURATE MEASUREMENT OF LEAF AREA,» Applications in Plant Sciences, p. 4, 2014.

[42] K. K. C. T. Jorge A. Delgado, «The first Nitrogen Index app for mobile devices: Using portable,» ELSEVIER, p. 3, 2013.

[43] M. F. b. R. C. c. S. A. d. E. T. d. M. P. d. A. B. d. G. D. C. d. A. F. d. G. F. d. T. G. d. V. M. d. E. M. d. A. N. d. L. P. d. I. R. d. M. S. d. D. V. d. S. B. R. Confalonieri a, «Development of an app for estimating leaf area index using a smartphone. Trueness and precision determination and comparison with other indirect methods,» ELSEVIER, p. 8, 2013.

[44] F. J. G.-H. Á. M. M. A. G. S. S.-R. B. M. a. G. C.-V. S. M. I. Manuel Campos-Taberner, «Mapping Leaf Area Index With a Smartphone and Gaussian Processes », IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING LETTERS, p. 5, 2015.

[45] A. O. Hassan Hajjdiab, «A Vision-based Approach for Nondestructive Leaf Area Estimation,» ESIAT, pp. 53-56, 2010.

[46] J. S. D. A. Y. W. Ming Sun, «Nondestructive Measurement of Tomato Seedlings during Their Growth Based on Machine Vision,» pp. 255-258.

[47] A. S. C. P. V.D. Shivling, «Plant leaf imaging technique for agronomy,» ICIP, p. 5, 2011.

[48] C. Z. Y. Z. C. W. X. Q. Jiaying Che, «Embedded Smart Camera in Measuring Area of Plant Leaves,» IEEE Computer society, pp. 6-9, 2009.

[49] Weather Atlas, «Previsión meteorológica y clima mensual Fusagasugá, Colombia,» 12

12 2021. [En línea]. Available:

<https://www.weather-atlas.com/es/colombia/fusagasuga-clima> .

[50] http://www.ingenieria-classea.cat/pdf-formativos/Cuaderno_FOTOVOLTAICA. pdf

[51] G. Jorge, “Estudio de la influencia del ensuciamiento por polvo en la temperatura de un panel solar fotovoltaico mediante un modelo computacional unidimensional,” vol. 21, no. 1, pp. 1–9, 2020.

[52] Max Planck (2010). Celdas Fotovoltaicas. Obtenida el 21 de septiembre del 2013 <http://www.cleanergysolar.com/2011/08/17/tutorial-solar-fotovoltaica-%E2%80%933-componentes-del-sistema-fotovoltaico-2-el-panel-o-generador-solar-fotovoltaico/>

[53] *Mapas de Google* . (s/f). Mapas de Google. Recuperado el 01 de noviembre de 2022, de <https://www.google.com/maps/@4.3356136,-74.371104,357m/data=!3m1!1e3?hl=es>

[54] John Alexander Cruz Castillo-Bogotá D. (s/f). *Atlas Interactivo-Radiación IDEAM* . Gov.co. Recuperado el 15 de noviembre de 2022, de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>

[55] Pinzón, L. V. (2016). *Alternativa en el aprovechamiento de energía solar ante crisis energética en Colombia*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10654/15275>.

[56] ARIAS CUELLAR, CHRISTIAN ERICK LOSADA CORDOBA, YURANY. (16-may-2017). SISTEMA DE CONTROL PARA UN PROTOTIPO ACUAPONICO PORTABLE RECÍPROCO-RECIRCULANTE CON MONITOREO FUNCIONAL DESDE APLICACIÓN MOVIL ANDROID. repositoriousco.co. <https://repositoriousco.co/handle/123456789/1009>

[57] DENIS JAVIER ARRIETA MORELO, SARA YANETH PUELLO BRAVO. (2015). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR PARA AUMENTAR EL RENDIMIENTO ENERGÉTICO EN PANELES FOTOVOLTAICOS DE UN SISTEMA DE BOMBEO. repositorio.unicordoba.edu.co. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/693>

[58] Jiménez Aljure, J. A. (2016) Diseño de un seguidor solar automático para un arreglo básico de paneles fotovoltaicos (Trabajo de grado). Fundación Universidad de América. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.11839/549>

[59] Noel Machado Toranzo, Ania Lussón Cervantes, Leandro Leysdian Oro Carralero, Jorge Bonzon Henríquez, Orlando Escalona Costa. (2015). DSeguidor Solar, optimizando el aprovechamiento de la energía solar. researchgate. https://www.researchgate.net/publication/317517636_Seguidor_Solar_optimizando_el_aprovechamiento_de_la_energia_solar

[60] Ardila Cruz, J. (2019). *Diseño estructural para un sistema acuapónico/hidropónico y con energía solar*. Universidad de los Andes.
<https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/48995>

[61] de la Cruz Casaño, C., León Aduato, C., Mandujano Espinal, J., Cáceres Ravichagua, R., & Rojas Malpartida, I. (2012). Seguidor solar adaptativo basado en un controlador lógico programable para paneles fotovoltaicos. *Apuntes De Ciencia & Sociedad*, 2(2).
<https://doi.org/10.18259/acs.2012011>

Anexos:

Anexo 1: Enlace archivos socializados en capacitaciones y eventos.

https://mailunicundiedu-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/jvillalbag_ucundinamarca_edu_co/Evchu4PbvP9Hs3mWBD1CEwcBG6rtsx2bG32bo-F4qHDDdg?e=a3gmf7