



DISEÑO DE SEGUIDOR SOLAR APLICADO EN ESTACIÓN FOTOVOLTAICA PARA RECARGAR DISPOSITIVOS PORTÁTILES EN LA UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO

Emerson Luis Díaz Acosta

Kendall Leonardo González Mendoza

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Riohacha – La Guajira, Colombia
2020

DISEÑO DE SEGUIDOR SOLAR APLICADO EN ESTACIÓN FOTOVOLTAICA PARA RECARGAR DISPOSITIVOS PORTÁTILES EN LA UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO

**Emerson Luis Díaz Acosta
Kendall Leonardo González Mendoza**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero electromecánico

Director (a):

Especialista, Ing. Electrónica. DEISY JOHANA CALA MORALES

Línea de Investigación:
Energías Renovables

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Riohacha – La Guajira, Colombia
2020

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Dedicatoria

A mi madre Neida Acosta quien siempre ha confiado en mí y me enseñó a dar mis primeros pasos en el ámbito educativo, a mi esposa Cindy Cotes por ser mi apoyo en todos mis procesos y por último a mi hija Antonella quien es mi motor para seguir alcanzando metas.

Emerson Díaz.

A mi madre Ivonne Mendoza, que siempre me apoyo desde mi primer día de clases y mi padre Jorge González quien me ayudo a ser la persona que soy hoy y por último a mis hermanos, quien siempre me dieron su mano en el proceso.

Kendall González.

Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento a Dios todopoderoso por ser el dueño de la vida y el artífice de que todos mis sueños se hagan realidad, a mi familia por ser la base de mi ser y al cuerpo docente de la Universidad Antonio Nariño, los cuales colocaron su grano de arena en mi formación integral, en especial a la Ingeniera Deisy Cala directora de nuestro proyecto, al Ingeniero Romel Oliveros por considerarme un buen elemento, al profesor Manuel Moscote por las bases matemáticas.

Emerson Díaz.

Agradecer a Dios quien guio mis pasos de principio a fin, a mi familia quienes siempre caminaron conmigo, a mis compañeros de carrera con quienes compartí todo el proceso, a mis profesores que siempre se es esforzaron por dar lo mejor de ellos para mí, en especial a la Ingeniera Deisy Cala y el ingeniero Romel Olivero quienes me cobijaron compartiendo su sabiduría conmigo y nunca dudaron de hasta donde podría llegar.

Kendall González

Resumen

El municipio de Riohacha, La Guajira, por su posición geográfica posee el índice de radiación más alto de Colombia, además, este cuenta con pocos días lluviosos al año. Esta cualidad hace favorable la implementación de un sistema fotovoltaico en esta zona. La Universidad Antonio Nariño, ubicada en este municipio, cuenta con extensas jornadas académicas que ocasionan la descarga de los dispositivos portátiles y un servicio de energía deficiente por parte de la empresa prestadora. Por lo que, en este proyecto se diseña un seguidor solar para aplicarlo a una estación fotovoltaica, aumentando su eficiencia en la generación de energía eléctrica, con el fin de recargar dispositivos portátiles los cuales son indispensables debido a la problemática mencionada. Para ello, se recopila información sobre coordenadas solares, índices de radiación, condiciones atmosféricas y geográficas del departamento. Además, se realizan los cálculos necesarios para el diseño del seguidor y el sistema fotovoltaico. Obteniendo como resultado una estación completamente autónoma, con la capacidad para energizar 4 dispositivos portátiles y la parte eléctrica del seguidor al mismo tiempo, por un periodo de 6 horas al día. El seguidor que posee un mecanismo de transmisión por poleas y correa, el cual, acoplado al panel, permite que este gire, orientándolo de forma perpendicular a los rayos solares, siguiendo el sol desde la salida hasta la puesta.

PALABRAS CLAVE: seguidor solar, energía fotovoltaica, dispositivo portátil.

Abstract

The municipality of Riohacha, La Guajira, due to its geographical position, has the highest radiation index in Colombia, in addition, it has few rainy days a year. This quality makes the implementation of a photovoltaic system favorable in this area. The Antonio Nariño University, located in this municipality, has extensive academic sessions that cause the discharge of portable devices and a deficient energy service by the provider company. Therefore, in this project a solar tracker is designed to be applied to a photovoltaic station, increasing its efficiency in the generation of electricity, in order to recharge portable devices which are essential due to the aforementioned problem. For this, information is collected on solar coordinates, radiation indices, atmospheric and geographical conditions of the department. In addition, the necessary calculations are made for the design of the tracker and the photovoltaic system. Obtaining as a result a completely autonomous station, with the ability to power 4 portable devices and the electrical part of the tracker at the same time, for a period of 6 hours a day. The tracker that has a pulley and belt transmission mechanism, which, coupled to the panel, allows it to rotate, orienting it perpendicular to the sun's rays, following the sun from sunrise to sunset.

KEY WORDS: solar tracker, photovoltaic energy, portable device.

Contenido

Resumen	V
Lista de figuras	IX
Lista de Tablas	X
Introducción	11
Planteamiento del problema	12
Justificación	13
Objetivos	14
Objetivo General	14
Objetivos Especificos	14
1. Marco referencial	15
1.1. Marco Teórico	15
1.2. Marco conceptual	23
1.3. Marco legal	33
2. Metodología	34
3. Resultados	35
3.1. Recolección de información	35
3.2. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico de la estación	35
3.2.1. Datos de ubicación del sistema fotovoltaico	35
3.2.2. Cálculos eléctricos de la estación, necesarios para el diseño del seguidor solar. 36	
3.2.2.1. Primer paso: cálculo de consumos estimados	36
3.3. Diseño del seguidor solar	50
3.3.1. Parámetros del diseño	51
3.3.2. Etapa uno, diseño mecánico	52
3.3.3. Etapa dos, esquema eléctrico	59
3.3.4. Etapa tres, programación del Arduino	60
3.4. Simulación por medio del software CINEMA4D® el modelamiento en 3D del diseño propuesto.	62
4. Conclusión	64
A. Anexo: Aspectos Ambientales	65

B. Anexo: Presupuesto.....	66
C. Anexo: Ventajas y Desventajas del Seguidor Solar propuesto.	69
Bibliografía	70

Lista de figuras

Figura 1. Órbita descrita por la tierra alrededor del sol. (Helioesfera, 2020).	23
Figura 2. Movimiento aparente del sol. (Helioesfera, 2020).	23
Figura 3. Angulo de coordenadas solares (Juanfrancisco207, 2015).	24
Figura 4. Mes de Septiembre lluvias de 4 a 8 días (IDEAM, 2018)	
Figura 5 Mes de Octubre lluvias de 8 a 12 días (IDEAM, 2018).	25
Figura 6. Irradiación Solar. (IDEAM, 2018).	25
Figura 7. Batería-GEL VICTRON ENERGY. 12V/55 Ah en C20 Ciclo Profundo. (victronenergy, 2020)	41
Figura 8. Panel Solar-GCL- M6/60H-MONO CRYSTALLINE MODULE 300W. (suncolombia, 2018).	43
Figura 9. Controlador-VICTRON ENERGY-BlueSolar MPPT 100/30-Controlador de carga BlueSolar MPPT 100/30 (victronenergy, 2020).	44
Figura 10. Inversor-VICTRON ENERGY-Phoenix 12/250-120V NEMA 5-15R-Phoenix VE.Direct.	45
Figura 11. Plano esquemático del sistema eléctrico de la instalación FV. (calameo, s.f.).	46
Figura 12. Tabla de conversión AWG-mm ² . (masvoltaje, 2020).	47
Figura 13. Diseño de la estación con mecanismo seguidor. Elaboración propia en SolidWorks.	52
Figura 14 Sistema de poleas simple. (almez., s.f.).	52
Figura 15. Polea menor(conductora). Elaboración propia en SolidWorks.	57
Figura 16 Polea mayor(conducida). Elaboración propia en SolidWorks.	57
Figura 17. Mecanismo de transmisión por poleas. Elaboración propia en SolidWorks.	58
Figura 18. Vista posterior del mecanismo de transmisión por poleas para giro del panel. Elaboración propia en SolidWorks.	59
Figura 19. Vista superior del mecanismo de transmisión por poleas para giro del panel. Elaboración propia en SolidWorks.	59
Figura 20. Plano esquemático de las conexiones del arduino, sensores LDR y motor. Elaboración propia.	59
Figura 21. Motor paso a paso. Elaboración propia en SolidWorks.	60
Figura 22. Programación de arduino. Elaboración propia en Software de Programación de Arduino.	60
Figura 23. Programación de arduino. Elaboración propia en Software de Programación de Arduino.	61
Figura 24. Programación de arduino. Elaboración propia en Software de Programación de Arduino.	61
Figura 25. Estación solar con sistema seguidor. Elaboración propia en Cinema 4D®.	62

Lista de Tablas

Tabla 1. Consumo. Elaboración propia.....	36
Tabla 2. Promedio mensual de radiación global en Riohacha. (IDEAM, 2018).....	38
Tabla 3. Tabla de amperajes de los cables de cobre. (masvoltaje, 2020).	47
Tabla 4. Tabla de correas. (Intermec, s.f.).....	55
Tabla 5. Presupuesto de estación con seguidor. Elaboración propia.	66
Tabla 6. Presupuesto de estación. Elaboración propia.....	66
Tabla 7. Presupuesto de estación con seguidor (componentes de menor calidad). Elaboración propia.	67
Tabla 8. Presupuesto de estación (componentes de menor calidad). Elaboración propia.	67
Tabla 9. Producción de energía vs valor del KWh. Alternativa 1. Elaboración propia....	68
Tabla 10. Producción de energía vs valor del KWh. Alternativa 2. Elaboración propia..	68

Introducción

El mundo de hoy enfrenta grandes desafíos, el mayor de ellos y que afecta cada punto de la geografía es el cambio climático. Este, producto de los gases de efecto invernadero que generan calentamiento global, como consecuencia de la utilización de combustibles fósiles, emisiones de contaminantes por parte de las industrias entre otros, y que multiplica los fenómenos climáticos extremos, como son: inundaciones y sequías, que a su vez afecta la producción de energía.

Teniendo en cuenta lo anterior, los países se han comprometido a incluir las fuentes No convencionales de energía renovables en sus métodos de generación. Es allí donde entra a jugar un papel importante los sistemas fotovoltaicos, los cuales producen energía a través de un material semiconductor que capta la radiación solar transformándola en electricidad.

Los sistemas fotovoltaicos por lo general son estáticos, con rendimientos entre el 18% al 25%; se puede aumentar la eficiencia de estos, haciendo uso de seguidores solares a valores entre 25% al 45%. Debido a la privilegiada ubicación de la Universidad Antonio Nariño en la ciudad de Riohacha - departamento de La Guajira, el cual, según el IDEAM, esta posee el índice de radiación más alto del país. Con base en lo expuesto, este proyecto se basa en el diseño de un seguidor solar de un eje aplicado a una estación fotovoltaica, que recargará dispositivos portátiles.

Planteamiento del problema

Por su posición geográfica Colombia es un país privilegiado que recibe abundante energía solar en diferentes puntos, debido a que se encuentra en la zona ecuatorial; la cual presenta grandes variaciones durante el año, por esta razón se hace indispensable utilizar dicha energía.

La región de influencia para el desarrollo de este proyecto es La Guajira quien según el IDEAM posee el índice de radiación más alto en el país con valores que van desde los 5 a los 5.5 KWh/m².

La Universidad Antonio Nariño sede Riohacha, maneja la modalidad semipresencial, generalmente las clases se dictan los días viernes y sábados, en estos días es evidente la gran afluencia de personas en las instalaciones, quienes cumplen con jornadas académicas extensas que van desde 6 a 12 horas, esto ocasiona que al transcurrir el día los dispositivos portátiles consuman sus baterías y se vean en la necesidad de recargar los equipos. La UAN sede Riohacha dispone de pocos espacios adecuados para abastecer la demanda de energía requeridas por estas herramientas, actualmente cuenta con una biblioteca y salones de clase, sumado a esto las fallas en el suministro eléctrico por parte de la empresa prestadora del servicio.

Con base a lo anterior una estación fotovoltaica podría ser de gran utilidad para la situación que se presenta en la comunidad UAN, pero el solo sistema fotovoltaico es una tecnología que consta de un panel estático con una eficiencia de captación de radiación aproximada entre el 18% y el 25%, lo que hace que la estación solo sea eficiente en algunas horas del día, debido a la rotación de la tierra.

Para darle solución a esta problemática y aumentar el porcentaje de captación de radiación. Se hace necesario diseñar un seguidor solar para ser aplicado a una estación fotovoltaica autónoma, la cual recargará dispositivos portátiles en la Universidad Antonio Nariño sede Riohacha.

De esta manera, se aumenta la eficiencia de los paneles a través de un seguidor solar, el cual estará conformado por una parte mecánica y un motor DC, controlado por medio de Arduino y sensores LDR siendo esta la parte eléctrica; almacenando la energía producida por un sistema en baterías.

Justificación

El motivo principal de este proyecto, es diseñar un seguidor solar para ser aplicado a una estación fotovoltaica autónoma, donde se pueda abastecer de energía a diferentes dispositivos portátiles, por ejemplo, dos computadores y dos celulares.

Para un mayor aprovechamiento de la radiación emitida por el sol. Se adiciona al sistema fotovoltaico autónomo un seguidor solar de un eje, el cual lo moverá de este a oeste; esto permite que el panel gire en relación a la incidencia de la radiación solar, debido a que La Guajira es la zona que posee mayor índice con valores entre 5 y 6,5 KWh/m² según el IDEAM, aumentando su eficiencia de un 25% a un 35% aproximadamente.

El diseño del seguidor solar lo conforman una parte mecánica y una eléctrica donde por medio de sensores LDR y Arduino se controla un motor DC.

Cabe resaltar que la autonomía del sistema, consiste en que este puede recargar los dispositivos aun cuando no halla energía solar, debido a que la energía captada por los paneles es almacenada en baterías.

Objetivos

Objetivo General

- Diseñar un seguidor solar aplicado en estación fotovoltaica para recargar dispositivos portátiles en la Universidad Antonio Nariño.

Objetivos Específicos

- Recopilar información sobre coordenadas solares, índices de radiación, condiciones atmosféricas y geográficas del departamento de La Guajira.
- Desarrollar los cálculos eléctricos de la estación necesarios para el diseño del seguidor solar.
- Elaborar el diseño mecánico, el esquema eléctrico y la programación del Arduino quién controlará al motor DC.
- Simular por medio del software CINEMA4D® el modelamiento en 3D del diseño propuesto.

1. Marco referencial

1.1. Marco Teórico

Existen fuentes de energía que, por su carácter de renovables, o por la enorme cantidad de reserva de la que se dispone pueden ser consideradas ilimitadas, es el caso del sol. Este se comporta como un cuerpo negro que, por medio de un proceso de fusión nuclear, en donde se unen los núcleos de átomos ligeros como el hidrógeno y el helio, liberan grandes cantidades de energía radiante que llegan hasta la superficie del sol pasando de unos 20 millones de grados centígrados a unos 6000 grados centígrados.

Toda esta energía viaja por el espacio exterior a la superficie terrestre pasando por la atmósfera; en este punto del camino se filtran los rayos ultravioletas gracias a la acción de la capa de ozono. El sol es la principal fuente de energía para los procesos biológicos del planeta, de esta manera el ser humano ha dependido de éste sin darle la importancia que representa en las actividades humanas. En este sentido, la calefacción fue uno de los primeros usos de la energía solar, sin embargo, la utilización de combustibles para este mismo fin reemplazó y limitó hace unos 2500 años la posibilidad de expandir la energía solar como fuente importante en las actividades que requieren energía calorífica, debido a que las quemaduras de combustibles presentaron una mayor eficiencia y facilidad en la manipulación. (Escobar Mejia, Holguin Londoño, & Osorio R, 2010).

Desde la antigüedad, el sol ha sido utilizado como fuente de energía en diversas civilizaciones. Aún así, el uso activo de la energía solar es un logro de los tiempos modernos.

En 1839 el físico francés **Alexandre Edmund Bequerel** descubrió el efecto fotoeléctrico, que dio comienzo a las células fotovoltaicas. Alexandre descubrió, mientras experimentaba con baterías de material galvánico, que el voltaje aumentaba cuando había radiación solar. A pesar de ello, no pudo explicar el fenómeno en aquellos tiempos, si no que fue **Albert Einstein** quien descubrió el trasfondo físico del efecto fotoeléctrico en 1905.

Las predecesoras de las placas fotovoltaicas actuales las desarrolló **Charles Fritts** en 1883. Fue él quien asentó las bases para la investigación futura del efecto fotoeléctrico.

Las células solares basadas en el Silicio son relativamente nuevas. En 1954 una investigación del equipo de los laboratorios de la corporación Bell (Estados Unidos) con los especialistas **Calvin Fuller, Daryl Chapin y Gerald Pearson** desarrollaron la primera célula solar con un coeficiente de rendimiento del 6%. Los siguientes desarrollos de las placas fotovoltaicas están también muy relacionadas con la tecnología espacial.

El calor proporcionado por el sol ha sido también utilizado en la antigüedad. En Egipto y Grecia la gente utilizaba espejos cóncavos para concentrar los rayos solares. Un ejemplo

de esto es que desde la antigüedad la antorcha Olímpica se encendía concentrando los rayos a través de espejos.

El científico suizo **Horace-Bénédict de Saussure** inventó en el siglo dieciocho lo que se considera el predecesor de los colectores actuales. Aun así, la utilización de éstos para generar calor no se desarrolló hasta los años setenta del siglo pasado. (Ammonit, 2019)

El efecto fotovoltaico es la base del proceso mediante el cual una célula fotovoltaica convierte la luz solar en electricidad. La luz solar está compuesta por fotones, o partículas energéticas. Estos fotones son de diferentes energías, correspondientes a las diferentes longitudes de onda del espectro solar. Cuando los fotones inciden sobre una célula fotovoltaica, pueden ser reflejados, absorbidos, o pueden pasar a través de él. Únicamente los fotones absorbidos generan electricidad. Cuando un fotón es absorbido, la energía del fotón se transfiere a un electrón de un átomo de la célula. Con esta nueva energía, el electrón es capaz de escapar de su posición normal asociada con un átomo para formar parte de una corriente en un circuito eléctrico. A continuación, se ilustra este efecto para su mayor comprensión.

Las celdas fotovoltaicas son elementos que producen electricidad al incidir la luz sobre su superficie; la fuente de luz utilizada generalmente es el sol. Estas celdas también son conocidas como baterías solares, fotopilas o generadores helio voltaico. Dado que cada elemento puede generar una cantidad reducida de electricidad, en sus orígenes se destinaron a alimentar consumos pequeños con requerimientos particulares, como los de la exploración espacial. Las partes más importantes de la celda solar son las capas de semiconductores, ya que es donde se crea la corriente de electrones. Estos semiconductores son especialmente tratados para formar dos capas diferentemente dopadas (tipo p y tipo n) para formar un campo eléctrico, positivo en una parte y negativo en la otra. Cuando la luz solar incide en la celda, se liberan electrones que pueden ser atrapados por el campo eléctrico formando así una corriente eléctrica. Es por ello que estas celdas se fabrican a partir de este tipo de materiales, es decir, materiales que actúan como aislantes a bajas temperaturas y como conductores cuando se aumenta la energía. Desafortunadamente no hay un tipo de material ideal para todos los tipos de celdas y aplicaciones. (Fernández García & Cervantes Torres, 2017)

También mencionan las ventajas y desventajas que trae consigo la energía solar las cuales son:

Ventajas: La energía solar es una de las alternativas energéticas más importantes en la actualidad, esta ofrece una serie de ventajas tales como:

Utiliza recursos naturales inagotables: la luz del sol, es una energía limpia que no genera emisiones de gases contaminantes ni otro tipo de residuos.

Es una solución ideal para disponer de electricidad en zonas aisladas.

Es la única energía renovable que puede instalarse a gran escala dentro de las zonas urbanas, en el caso de instalaciones conectadas a la red, hay subvenciones públicas y primas a la producción.

Los paneles y la estructura de soporte pueden desmontarse al final de la vida útil, pudiendo reutilizarse.

Desventajas: entre los inconvenientes no comparables con los de las fuentes de energías convencionales y más bien propias de las instalaciones y parques solares, se encuentran:

El impacto visual de los parques solares, que suelen ocupar grandes superficies de captación. Sólo se produce energía mientras hay luz y depende del grado de insolación.

El costo de las instalaciones es elevado, sobre todo si se compara con otro tipo de instalaciones que generen la misma potencia.

Así mismo el periodo de amortización de la inversión es largo, de unos diez años, el rendimiento es bastante bajo, debido a la baja eficiencia de las células solares, en muchos casos inferior al 40%,

El tiempo que deben esperar, según manifiesta la Asociación de la Industria Fotovoltaica (ASIF), las pequeñas y medianas instalaciones fotovoltaicas para que las compañías eléctricas las homologuen y compren su producción. (Escobar, Holguín, & Osorio, 2010).

Los paneles solares son dispositivos que se encargan de transformar parte de la radiación solar que incide en ellos en energía eléctrica y sus principales componentes son las celdas de silicio. Los paneles fotovoltaicos están formados por numerosas celdas que convierten la luz en electricidad, las cuales comúnmente son llamadas celdas fotovoltaicas y dependen del efecto fotovoltaico para transformar la energía del sol y hacer que una corriente pase entre dos placas con cargas eléctricas opuestas.

La conversión de las celdas fotovoltaicas oscila entre el 8% y el 29% de eficiencia. Pese a lo anterior, ha habido una tendencia en la disminución del precio de los sistemas modernos de electrónica de potencia y las celdas fotovoltaicas, lo que indica buenas promesas para las nuevas instalaciones. El rendimiento de un sistema fotovoltaico se ve influenciado por su potencia máxima, los cambios de temperatura, la intensidad solar y la carga conectada.

Los sistemas de generación de energía basados en energía solar son hoy en día la solución más prometedora para requerimientos de baja y mediana potencia con la finalidad de reducir el consumo de energía producida por el petróleo y el gas. Sin embargo, la relación de las celdas solares basadas en silicio es aún elevado y su eficiencia es baja, en comparación con otras fuentes de energía. Independientemente de la elección del tipo de celda solar, los módulos deben estar conectados a un sistema de conversión de energía, con el fin de gestionar la energía producida y proporcionar una

interfaz adecuada a la carga como lo son convertidores electrónicos no lineales que operan en modo de conmutación. (Sumano Puentevilla, 2012).

Seguidor solar como dispositivo de optimización; En los sistemas fotovoltaicos existe la posibilidad de implementar un dispositivo adicional con el fin de aumentar la captación de radiación solar y por ende la energía suministrada por la instalación, tal dispositivo es un seguidor solar. Un seguidor solar es un dispositivo conformado básicamente por una parte fija y una móvil, cuya finalidad es el aumento de la captación de radiación solar, para lo cual cuenta con una superficie de captación que debe permanecer perpendicular a los rayos del sol durante el día y dentro de su rango de movimiento. (Escobar, Holguín, & Osorio, 2010).

Este tipo de seguidor solar que presentaremos tiene múltiples ventajas. Y para poder transformar la energía solar en energía de consumo, se requiere una captación de las radiaciones solares, utilizando placas captadoras de las radiaciones solares.

Aquí el panel solar se coloca fijamente en una posición inclinada, donde está calculada para aprovechar en las mejores condiciones la incidencia del sol. Sin embargo, dado que la posición del sol es cambiante a lo largo del día y de diferente manera durante las diferentes épocas del año, dicha solución tiene inconvenientes de que el aprovechamiento de la incidencia solar resulta deficiente.

Y como la posición del sol es distinta dependiendo de las zonas geográficas, la posición de inclinación de los paneles solares debe ser distinta, en lo se refiere a estructuras portantes para cada caso.

Pero para aprovechar de mejor manera la energía solar se han desarrollado estructuras móviles, mediante las cuales se soportan los paneles solares de una forma cambiante de posición siguiendo la posición del sol, utilizando medios de accionamiento automáticos programados de acuerdo con el movimiento del sol, de esta manera se mantiene los paneles constantemente orientados hacia el sol.

Este seguidor solar objeto de la invención consta de un conjunto estructural formado por una estructura de soporte, sobre la cual va unida una estructura portadora de un panel solar, disponiéndose la estructura soporte en montaje giratorio respecto de un eje vertical sobre una base de apoyo, mientras que la estructura portadora del panel solar se dispone sobre dicha estructura soporte en montaje articulado mediante articulaciones horizontales, incluyéndose entre ambas estructuras unos tirantes susceptibles de regulación longitudinal.

Se obtiene así un conjunto que, mediante un accionamiento automático del giro sobre la base de apoyo, permite el movimiento del panel solar sustentado, siguiendo el movimiento del sol en el sentido azimutal, mientras que, regulando la longitud de los tirantes incluidos entre la estructura soporte y la estructura portadora del panel solar, se puede variar la posición en inclinación del panel solar, de manera que, mediante dicha

regulación se puede adaptar la posición del panel solar a la inclinación óptima que se requiera en el lugar de instalación, así como corregir la inclinación en las diferentes épocas del año, para optimizar la función del seguidor solar en las circunstancias de cada época.

De este modo se tiene un seguidor solar que tiene la ventaja de la simplicidad y coste reducido de las disposiciones estructurales que sustentan paneles solares de manera fija, proporcionando a la vez la ventaja funcional del aprovechamiento de las radiaciones. (Bueno, 2014)

Clasificación de las instalaciones fotovoltaicas respecto a los tipos de instalaciones de placas fotovoltaicas, existen dos tipos: aisladas de la red eléctrica o conectadas a esta.

Las instalaciones aisladas de la red eléctrica son sistemas que proporcionan electricidad en lugares alejados de la red eléctrica (como refugios de montaña, por ejemplo) o para autoconsumo en pequeñas instalaciones o viviendas. Estos sistemas tienen la necesidad de usar baterías para almacenar la energía captada por el panel solar y disponer así de energía de forma continua.

Las instalaciones conectadas a la red inyectan directamente a la red la electricidad generada y esta es comprada por las compañías de distribución eléctrica. La potencia de estas instalaciones puede ir desde unos pocos kilovatios (sistemas aislados de la red) hasta varios megavatios (grandes huertas solares).

Sin embargo, la capacidad de producción de energía depende en gran medida del rendimiento que tenga el panel solar y es por esto que se están dedicando muchos esfuerzos a mejorarlo en las instalaciones fotovoltaicas actuales.

La eficiencia de la instalación depende de varios factores, como por ejemplo el tipo de placa solar que se utilice. Las placas fotovoltaicas más usadas actualmente se dividen en tres categorías:

Células monocristalinas: están formadas por un único tipo de cristal de silicio, del cual se ha controlado el crecimiento para que solo se formara en una dirección, consiguiendo un alineamiento bastante perfecto de todos los componentes del cristal. Son las placas más difíciles de producir, pero también las que mejor rendimiento tienen.

Células policristalinas: son las que han sido obtenidas a partir de un cristal de silicio del cual no ha sido controlado su crecimiento. De esta forma el cristal crece en todas direcciones creando un conjunto de cristales diferentes unidos entre sí. Es menos eficiente y menos costosa que la anterior.

Células amorfas: se producen cuando el silicio no cristaliza y se deposita sobre un sustrato o capa fina. Son más fáciles de ensamblar y producir en masa, pero su eficiencia es menor que la de las células monocristalinas y policristalinas. (Turrillas & Aginaga, 2014).

Las tecnologías de seguimiento solar parten de los conocimientos acumulados durante siglos por diversas investigaciones científicas. Consecuentemente, la búsqueda de un algoritmo que describa la posición del Sol en el cielo requiere entender ciertos conceptos utilizados por los astrónomos para facilitar los cálculos y delimitar y referenciar los fenómenos astronómicos.

Dependiendo del objetivo perseguido existen varios sistemas de coordenadas celestes utilizados en astronomía. Estos se pueden clasificar según tres elementos:

Origen: punto en el espacio que establece el origen de las coordenadas del sistema de referencia.

Plano de referencia: es el plano elegido para orientar dos de las tres dimensiones del espacio tridimensional.

Sistema de coordenadas: sistema para localizar un punto en el espacio en tres dimensiones.

Para aplicaciones astronómicas se suele emplear las coordenadas esféricas, aunque existen otras como las cartesianas.

Para las aplicaciones aquí implementadas se destacan dos sistemas de coordenadas celestes que son:

Sistema de coordenadas ecuatoriales: Este sistema de coordenadas se emplea situando la Tierra como punto de origen y escogiendo el ecuador terrestre como plano de referencia. Concéntrica a la Tierra se sitúa una hipotética esfera celeste, sobre la que se proyectan los cuerpos celestes y que rota en torno al eje perpendicular al ecuador.

Sistema de coordenadas horizontales: Se sitúa el origen de este sistema de coordenadas en un observador situado en la superficie terrestre. Este observador tiene un campo de visión que abarca un hemisferio de la esfera celeste considerada. En este caso la esfera celeste tiene como plano de referencia el horizonte local y está orientado según los puntos cardinales. Las dos coordenadas principales para situar un objeto celeste son el azimut y la elevación o altitud. (Zyrianov, 2017).

La radiación directa es aquella que se recibe en la superficie terrestre sin que esta haya sufrido ninguno de los procesos antes mencionados al pasar por la atmósfera. La radiación difusa es la que se recibe después de haber cambiado su dirección por los procesos de refracción y reflexión que ocurren en la atmósfera.

Un captador de la energía solar “percibe” la radiación como si viniera de la bóveda celeste. En un día nublado, la radiación solar recibida en un captador es sólo difusa, ya que la radiación directa es obstruida por las nubes.

La energía de la radiación solar que se recibe en una superficie determinada en un instante dado se le conoce como Irradiación y se mide en unidades de watts por metro cuadrado [W/m²].

La irradiancia es un valor distinto para cada instante, es decir se espera que en un día despejado la irradiancia a las 10:00 A.M. será diferente y menor a la que se obtiene a la 1:00 P.M., esto se debe al movimiento de rotación de la tierra (movimiento sobre su propio eje). Cuando es de noche, se tiene una irradiancia de 0 Watts por metro cuadrado (0 W/m²), porque simplemente a esa parte de la Tierra el Sol no la puede “ver”.

La Insolación corresponde a la integración de la irradiancia en un período determinado. En otras palabras, es la energía radiante que incide en una superficie de área conocida en un intervalo de tiempo dado. El término deriva de la palabra inglesa insolation, la que, a su vez, representa un acronismo derivado de tres palabras del mismo idioma: incident solar radiation (radiación solar incidente). Este término tiene unidades de energía por área, comúnmente watts-hora por metro cuadrado [Wh/m²]. Generalmente se reporta este valor como una acumulación de energía horaria, diaria, estacional o anual. La energía útil que produce el arreglo fotovoltaico es directamente proporcional a la insolación que recibe. (Mentores Media, 2018)

Tipos de seguidores según su algoritmo de seguimiento:

Seguidores por punto luminoso: Poseen un sensor que les indica cual es el punto del cielo más luminoso y al que deben apuntar. El algoritmo de este tipo de seguidor basa su funcionamiento en la señal integrada por uno o varios sensores, dependiendo de dicha señal se envía un comando de control a uno o varios motores para que se posicionen en el punto más adecuado de luminosidad.

Seguidores con programación astronómica: Estos mediante un programa conocen en qué punto debería estar el Sol a cada hora y apuntan a dicha posición. Presenta una total independencia de las condiciones climáticas ya que su algoritmo no requiere de sensores que indiquen cual es el punto más luminoso. El seguimiento en este caso depende únicamente de una serie de ecuaciones que predicen la ubicación del Sol en cualquier momento.

Si se comparan estos seguidores puede notarse que los seguidores por punto luminoso presentan una mayor facilidad para implementar el algoritmo de seguimiento, pero presentan poca fiabilidad; mientras que con una programación astronómica se presenta una mayor fiabilidad, pero es más difícil la implementación del algoritmo de seguimiento. En los sistemas fotovoltaicos basados en un seguimiento directo del Sol, el seguimiento más empleado es el que utiliza las coordenadas calculadas, pero es una tecnología muy cara y engorrosa desde el punto de vista de su mantenimiento y control, por lo que se recomienda utilizar la variante de los fotosensores, que son más baratos y de fácil

construcción, además de ser una tecnología robusta y confiable. (Machado Toranzo, Lusson Cervantes, Oro Carralero, Bonzon Henriquez, & Escalona Costa, 2015).

Clasificación por el dispositivo que realiza el movimiento:

Seguidores solares pasivos: Es un seguidor de un eje polar que carece de un control electrónico para su funcionamiento. Su funcionamiento se basa en el cambio de densidad de un líquido de bajo punto de ebullición, regularmente freón.

Seguidores solares activos: Este tipo de seguidores utiliza un control electrónico para ubicar la posición del Sol, este control se retroalimenta a base de sensores o por cálculos numéricos y utilizan algún actuador para realizar el movimiento del seguidor. En el mercado existen diferentes tipos de seguidores activos que se diferencian entre sí por el número de movimientos automáticos que realizan y el volumen de trabajo que pueden desarrollar.

Entre los tipos de seguidores activos se encuentran los siguientes:

Seguidor solar de un eje, azimutal: El sistema gira sobre un eje vertical y la superficie de los módulos tiene una inclinación igual a la latitud del lugar para obtener un mejor rendimiento a lo largo del año.

Seguidor solar de un eje, horizontal: El seguidor solar gira sobre un eje horizontal norte-sur, los módulos son colocados de manera paralela al eje de giro.

Seguidor solar de un eje, polar: El seguidor solar gira sobre un eje orientado en dirección norte-sur y con una inclinación del eje igual a la latitud del lugar, los módulos se colocan paralelos al eje de giro, la velocidad de giro es de aproximadamente 15° por hora.

Seguidor solar de dos ejes: El seguidor realiza dos movimientos automatizados para realizar el seguimiento en los dos ángulos que determinan la posición del Sol. (Salerno, 2013).

Sistemas de captación y de almacenamiento y aprovecha la radiación del sol de varias maneras diferentes:

Utilización Directa: Mediante La incorporación de acristalamientos y otros elementos arquitectónicos con elevada masa y capacidad de absorción de energía térmica. Es la llamada energía solar térmica pasiva.

Transformación en Calor: Es la llamada energía solar térmica, que consiste en el aprovechamiento de la radiación que proviene del sol para calentar fluidos que circulan por el interior de captadores solares térmicos.

Transformación en Electricidad: es la llamada energía solar fotovoltaica que permite transformar en electricidad la radiación solar por medio de células fotovoltaicas integrantes de módulos solares. (Mendez Muñis & Cuervo Garcia, 2011).

1.2. Marco conceptual

Radiación Solar: es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Esa energía es el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima. La energía procedente del Sol es radiación electromagnética proporcionada por las reacciones del hidrogeno en el núcleo del Sol por fusión nuclear y emitida por la superficie solar. (IDEAM, s.f.).

Coordenadas solares: Cualquier estudio de instalación de energía solar fotovoltaica, requiere, además de unos conocimientos propios, sobre cálculo, dimensionamiento, especificaciones de materiales, legalización, etc. Entender la física del movimiento de la tierra alrededor del sol o viceversa (si tomamos como referencia la tierra).

Como se muestra en la figura 1. El movimiento de la tierra alrededor del sol describe una órbita elíptica, cuyo punto más alejado se denomina “**Afelio**” (unos 152.096.154 km) y el punto más cercano “**perihelio**” (unos 147.099.586 km). Este movimiento se realiza sobre un plano denominado “**eclíptica**”

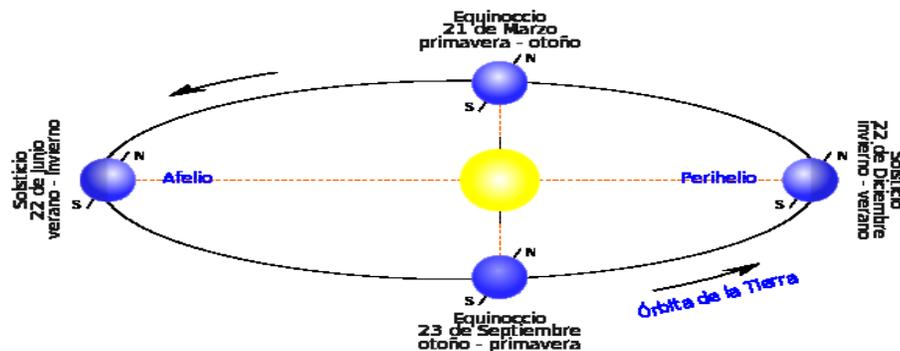


Figura 1. Órbita descrita por la tierra alrededor del sol. (Helioesfera, 2020).

Fijando la tierra, el movimiento del sol se realiza sobre una superficie esférica que denominamos “**esfera celeste**” y formando un ángulo constante de $23, 45^{\circ}$. Como se muestra en la figura 2.

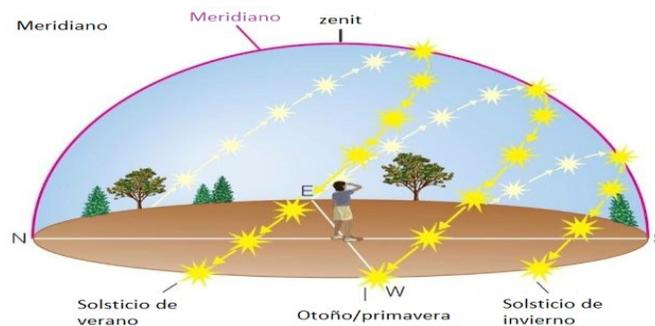


Figura 2. Movimiento aparente del sol. (Helioesfera, 2020).

Por lo tanto, el sol siempre tendrá una posición que podemos definir mediante las denominadas coordenadas solares, que en este caso serán dos ángulos, como se puede apreciar en la figura 3:

Acimut (α): ángulo medido en el plano horizontal formado por el sol y la dirección sur (hemisferio norte). En el hemisferio sur la referencia se toma con la dirección norte.

Elevación (β): ángulo medido en el plano vertical formado por los rayos del sol con respecto a la horizontal. (Helioesfera, 2020).

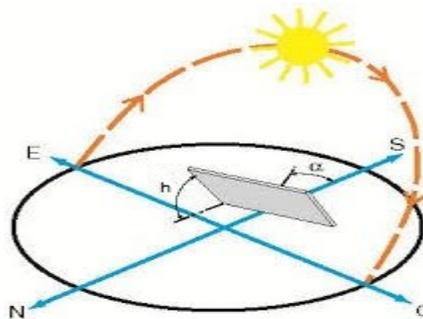


Figura 3. Angulo de coordenadas solares (Juanfrancisco207, 2015).

En resumen, si se quiere mantener la superficie de un panel perfectamente orientado hacia el sol, este debe girar sobre dos ejes. Uno sería en dirección este-oeste, de manera si el sistema está ubicado en el hemisferio norte el ángulo “h” tendrá su valor mínimo en el solsticio de invierno (21 de diciembre), y su valor máximo en el solsticio de verano (21 de junio). En el hemisferio sur será lo contrario. El otro eje sería perpendicular al primero; de manera que el panel irá girando a lo largo del día de este a oeste siguiendo la trayectoria solar. En este caso, el ángulo “a” existente entre el panel y la dirección norte-sur, el cual, viene a ser el ángulo de Azimut. (Juanfrancisco207, 2015).

Condiciones Climáticas en La Guajira: En la zona de influencia de este proyecto el municipio de Riohacha, departamento de La Guajira, gracias a su posición geográfica, la ciudad cuenta con pocos días lluviosos al año, siendo esto su mayoría entre los meses de septiembre y octubre según el IDEAM. Esto es muy positivo para este proyecto debido a que, generalmente, La capital Guajira cuenta por mes con un total de 0 a 4 días lluviosos, llegando a los días máximos en los meses ya mencionados como se puede observar en las figuras 4 y 5:

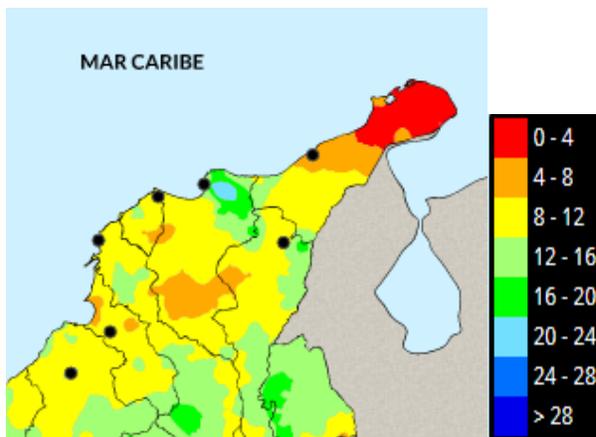


Figura 4. Mes de Septiembre luvias de 4 a 8 días (IDEAM, 2018)

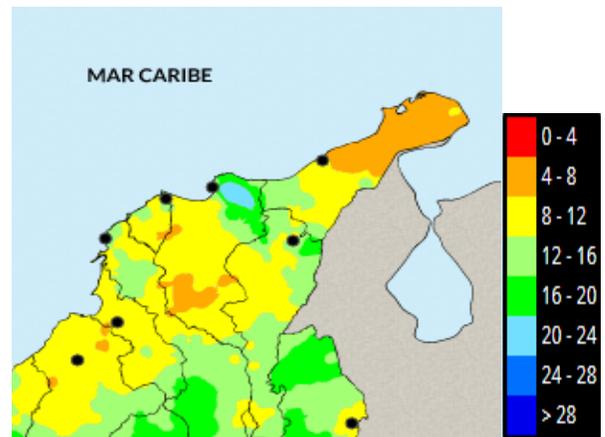


Figura 5 Mes de Octubre luvias de 8 a 12 días (IDEAM, 2018).

Radiación Solar en La Guajira: La Guajira, gracias a su posición geográfica posee el índice de radiación más alto en el país con valores que van desde los 5 a los 6,3 KWh/m² según el IDEAM en la actualización del mapa solar año 2018 como lo muestra la figura número 6.

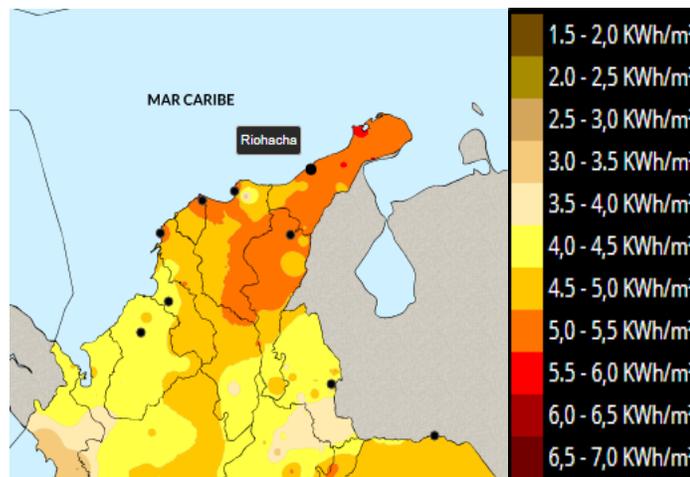


Figura 6. Irradiación Solar. (IDEAM, 2018).

Ubicación Geográfica de Riohacha, departamento de La Guajira: Riohacha municipio del Departamento de La Guajira, es cabecera municipal y capital departamental, está ubicada a orillas del mar Caribe, en la margen occidental de la desembocadura del río Ranchería localizada a los 11° 33'59" de latitud norte y 72° 54'37" de longitud oeste. Altura sobre el nivel del mar 47m. Temperatura media de 28,2°C. Riohacha, se encuentra ubicada en el suroeste del Departamento de la Guajira, a 1.121 Km. al norte de Bogotá y a 220 Km. al noreste de Barranquilla por vía terrestre (SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL Y EDUCACIÓN, 2012).

Energía fotovoltaica: es la transformación directa de la radiación solar en electricidad. Esta transformación se produce en unos dispositivos denominados paneles fotovoltaicos. En los paneles fotovoltaicos, la radiación solar excita los electrones de un dispositivo semiconductor generando una pequeña diferencia de potencial. La conexión en serie de estos dispositivos permite obtener diferencias de potencial mayores. (APPA, s.f.).

Panel solar: Un panel solar es un elemento de las instalaciones solares. Su función es aprovechar la energía solar. También se le puede llamar módulo solar.

Existen paneles solares para la energía fotovoltaica y para la energía térmica. De este modo, distinguimos:

Coletores solares: Para instalaciones de energía solar térmica. Elevan la temperatura de un fluido gracias a la radiación solar.

Paneles fotovoltaicos: Para instalaciones de energía solar fotovoltaica. Se trata de un conjunto de células fotovoltaicas. Su función es generar una corriente eléctrica. (Planas, 2015).

Inversor: Los inversores solares fotovoltaicos son equipos que se encargan de transformar la energía producida en una instalación fotovoltaica, que se transmite en forma de corriente continua, en corriente alterna para que los electrodomésticos y otros productos eléctricos puedan funcionar en sus niveles normales. (Teknosolar, 2018).

Reguladores: Los reguladores de carga son equipos que controlan el nivel de carga de las baterías de forma controlada para evitar un deterioro importante y una sobrecarga. Cuando este proceso acaba, el regulador se encarga de parar la producción de energía por parte de los módulos fotovoltaicos. (Teknosolar, 2017).

reguladores solares MPPT: son los aparatos que, en una instalación, dirigen y controlan la cantidad de energía que discurre entre la batería y los módulos fotovoltaicos que componen el panel solar. Mientras que en los reguladores de carga o reguladores solares MPPT de tipo PWM, los módulos trabajan a la tensión que se haya determinado en la batería, en los reguladores MPPT o controladores de carga MPPT (Maximum Power Point Tracking, de ahí sus siglas) van integrados un transformador CC-CC (es decir, que transforma la corriente continua de alta tensión a una continua de baja tensión) y un controlador del punto de máxima potencia al que puede llegar una batería, de manera que trabaja con los módulos a la tensión que más se adecue en cada momento, sin un máximo fijado. Con este tipo de regulador MPPT, tenemos la ventaja de asegurar la extracción de la máxima potencia o, por el contrario, de limitarla en algunas fases de carga y descarga de la batería. (autosolar, s.f.).

Seguidor solar: Un seguidor solar es un sistema metalmecánico capaz de seguir el movimiento del sol gracias a la ayuda de un motor, desde el alba hasta el acaso.

Su uso es principalmente recoger la mayor cantidad de energía fotovoltaica gracias a las placas solares que se incorporan para aumentar el rendimiento de una instalación fotovoltaica. (Marketing Gela, 2019).

Tipos de seguidores solares: Existen dos tipos de seguidores solares que son:

Seguidor de un eje: este permite mover el panel solar en un eje, normalmente alineado norte-sur. Este sistema permite al panel moverse de este a oeste, captando desde el primer rayo solar del día, hasta el último. Estos sistemas presentan un menor coste, mayor simplicidad y la posibilidad de su adaptación a cubiertas, pero realizan un seguimiento solar menos preciso, captando menos energía. (Sotysolar, 2018).

Seguidor de dos ejes: se mueve en dos direcciones, uno alineado norte-sur y otro este-oeste. Este tipo de sistemas están diseñados para maximizar la producción de energía durante todo el año, es decir, pueden variar la orientación según la estación, además de seguir al sol durante el día. Por lo tanto, cuentan con un seguimiento solar más preciso que los de un eje, generando, con este sistema de doble eje, una mayor incidencia solar, mejorando de manera notoria el rendimiento. Lo malo es que se eleva el precio respecto a los de un eje. (Sotysolar, 2018).

Sistemas de transmisión de potencia: ruedas de fricción, las transmisiones por correa, la transmisión por cadena y los engranajes.

La transmisión de movimiento mediante ruedas de fricción: se realiza poniendo en contacto dos ruedas, de manera que una (motriz) arrastra a la otra (conducida) mediante la fuerza que produce el rozamiento entre ambas. Para poder transmitir el movimiento, las ruedas han de estar en contacto ejerciendo una cierta presión una sobre la otra. Así, al mover una de ellas arrastrará a la otra. (Castro Palomino, 2012).

Transmisión por correa Transmisión por correa: este sistema está compuesto por un juego de poleas y un número definido de correas que se determina en el proceso de diseño del sistema. Este sistema se caracteriza por que incluye poco mantenimiento, es de fácil montaje y adicional a esto sus componentes son relativamente económicos con respecto a otros sistemas de transmisión.

Los sistemas de transmisión por correas, dado la flexibilidad de las correas permiten montajes cruzados y montajes con múltiples poleas para conectar varios componentes y de esta manera transmitir el movimiento generado en una polea conductora a varios dispositivos de la máquina, pudiendo modificar sus características de velocidad y sentido. (Ruiz, s.f.).

Correa: elemento flexible de cuero o caucho empleado en la transmisión por correa para la transmisión de potencia entre árboles, mediante poleas acopladas a los mismos. Principalmente se emplea cuando se debe de transmitir potencia a distancias relativamente grandes, en comparación con las que se permiten en una transmisión por engranajes, o bien cuando se desea cierta flexibilidad en la conexión.

En función de su sección transversal las correas se clasifican en:

- Correas planas: la sección es un rectángulo con espesor menor que su ancho.
- Correas de sección trapezoidal: la sección es un trapecio.
- Correas hexagonales: su sección es un hexágono.
- Correas poli-V: su sección se compone de múltiples triángulos de pequeño tamaño.
- Correas sincronizadas: su sección es rectangular, incorporando dientes transversales. (mecapedia, 2006).

Según el empalme de los extremos de la correa:

- Correas engrapadas.
- Correas pegadas.
- Correas cosidas.
- Correas sinfín.

Según la disposición espacial:

- Transmisión por correa abierta. Se emplea en árboles paralelos si el giro de estos es en un mismo sentido. Es la transmisión más difundida. En estas transmisiones, la flexión en la correa es normal y depende fundamentalmente del diámetro de la polea menor.
- Transmisión por correa cruzada. Se usa en árboles paralelos, si el giro de estos es en sentido opuesto. En perfiles asimétricos la flexión es inversa (alternativa). Para evitar un intenso desgaste en la zona que cruzan las correas, es recomendable una gran distancia entre ejes.

- Transmisión por correa semicruzada. Se emplea si los árboles se cruzan (generalmente a 90°). Se recomienda elegir una distancia entre ejes que sea mayor de 4 veces la suma del diámetro primitivo y el ancho de la polea con eje horizontal.
- Transmisión por correa con rodillo tensor exterior. Se usan cuando es imposible desplazar las poleas para el correcto tensado de las correas y se quiere incrementar el ángulo de contacto en la polea menor (mayor capacidad de tracción). Las correas con perfil asimétrico sufren una flexión inversa.
- Transmisión por correa con rodillo tensor interior. Se utilizan en las mismas situaciones que con rodillo exterior, salvo que con este montaje se mejora la vida útil de la correa por producir en ella una flexión normal.
- Transmisión por correa con múltiples poleas. Se emplea para transmitir el par desde un árbol a otros árboles dispuestos paralelamente. Las poleas pueden estar, con relación a la correa, con un montaje interior o combinado (admisibles con perfiles simétricos). (Rubio, s.f.).

VENTAJAS:

- Marcha silenciosa comparada con otros tipos de transmisiones.
- Mayor amortiguación y absorción de choques.
- Disposición sencilla, sin aceite.
- Económica.
- Desacople sencillo.

DESVENTAJAS:

- Ocupan mayores dimensiones estructurales.
- Generan mayores cargas axiales.
- Con el tiempo y la carga, aumenta el alargamiento por estiramientos, con lo cual hay que adaptar algún sistema de estiramiento.
- Variación del estiramiento por calor y humedad.

Características:

- La tela exterior resiste hasta 90°.
- Las grasas reducen la duración de la correa.
- El polvo influye en la duración de la correa, su tela ofrece resistencia al desgaste por lo cual no le afecta el polvo.
- Tiene que tener conductividad eléctrica para que no se produzcan chispas. (cursos15.blogspot, 2016).

Una polea: es un mecanismo para mover o levantar cosas pesadas, consistente en una rueda acanalada en todo su perímetro y móvil alrededor de un eje con un canal o garganta en su borde por donde se hace pasar una cuerda o cadena. La polea, en sí misma, es el punto de apoyo de una cuerda o correa que se arrolla sobre ella. En uno de los extremos de la cuerda se coloca la resistencia o carga y en el otro actúa la potencia o fuerza que aplicamos.

Las partes de la polea son las siguientes:

- El cuerpo: es la pieza principal con forma cilíndrica.
- La llanta: circunferencia de la polea, es decir, la parte exterior del cuerpo de la polea (lateral del cilindro).
- La acanaladura o garganta: es el surco o canal situado en la llanta adaptada a la cuerda o correa con el fin de guiarla en su movimiento.
- El cubo: es el agujero donde se insertará el eje de rotación de la polea.

La polea es una máquina simple que sirve para transmitir fuerzas, cambiar la dirección de dichas fuerzas y, dependiendo del montaje, reducir el esfuerzo aplicado para mover una carga. (Rockbotic, 2014).

Transmisión por cadena: los sistemas de transmisión por cadena se emplean para transmitir movimiento entre dos ejes que se encuentran alejados entre sí. Para transmitir el movimiento entre dos ejes mediante una cadena, se montan unas ruedas dentadas sobre ambos ejes y se enlazan con una cadena que encaje en los dientes de las ruedas; de manera que, al girar una de ellas, arrastra a la otra. (Castro Palomino, 2012).

Trasmisión por engranaje: una transmisión por engranajes está formada por el acoplamiento de dos ruedas dentadas, una motriz y otra conducida, que, al introducir los dientes de una en los huecos de la contraria y producirse el giro de la rueda motora,

arrastra a la conducida, diente a diente. A efectos de la cinemática, este movimiento puede considerarse como el efectuado por las ruedas de fricción cuya suma de radios coincide con la separación entre los ejes de giro de los engranajes. (Castro Palomino, 2012).

Arduino: es una plataforma de creación de electrónica de código abierto, la cual está basada en hardware y software libre, flexible y fácil de utilizar para los creadores y desarrolladores. Esta plataforma permite crear diferentes tipos de microordenadores de una sola placa a los que la comunidad de creadores puede darles diferentes tipos de uso. (Fernandez, 2020).

El arduino es una placa basada en un microcontrolador ATMEEL. Los microcontroladores son circuitos integrados en los que se pueden grabar instrucciones, las cuales las escribes con el lenguaje de programación que puedes utilizar en el entorno Arduino IDE. Estas instrucciones permiten crear programas que interactúan con los circuitos de la placa.

El microcontrolador de Arduino posee lo que se llama una interfaz de entrada, que es una conexión en la que podemos conectar en la placa diferentes tipos de periféricos. La información de estos periféricos que conectes se trasladará al microcontrolador, el cual se encargará de procesar los datos que le lleguen a través de ellos.

El tipo de periféricos que puedas utilizar para enviar datos al microcontrolador depende en gran medida de qué uso le estés pensando dar. Pueden ser cámaras para obtener imágenes, teclados para introducir datos, o diferentes tipos de sensores.

También cuenta con una interfaz de salida, que es la que se encarga de llevar la información que se ha procesado en el Arduino a otros periféricos. Estos periféricos pueden ser pantallas o altavoces en los que reproducir los datos procesados, pero también pueden ser otras placas o controladores. (Xataka Basic, 2020).

Sensor LDR: es un resistor que varía su valor de resistencia eléctrica dependiendo de la cantidad de luz que incide sobre él. Se le llama, también, fotorresistor o fotorresistencia. El valor de resistencia eléctrica de un LDR es bajo cuando hay luz incidiendo en él (en algunos casos puede descender a tan bajo como 50 ohms) y muy alto cuando está a oscuras (puede ser de varios megaohms). (Carletti, 2019).

El Interruptor General Automático IGA: es un elemento presente solamente en los cuadros de nueva instalación. Su función es cortar la electricidad de todo el inmueble en caso de un cortocircuito o un exceso de potencia. (Endesa, 2020).

El Interruptor Diferencial es distinto a los demás. Se le reconoce fácilmente porque lleva consigo una palanca giratoria o, más usualmente, un pulsador. Este elemento protege a

la instalación contra las fugas de corriente evitando que nos llevemos un “chispazo” (o algo peor) si tocamos un electrodoméstico con algún cable suelto. (Endesa, 2020).

PIAs (Pequeños Interruptores de Potencia): son interruptores magnetotérmicos y sirven para cortar la electricidad manual o automáticamente y de forma individual de los aparatos que dependen de ellos en caso de cortocircuito o sobrecarga.

Mantenimiento: El mantenimiento del conjunto seguidor solar más estación debería realizarse con la frecuencia que se relaciona a continuación:

Trimestralmente:

- Verificar el estado del panel y sensores (polvo, fijación, realizar limpieza).

Semestralmente:

- Verificar el estado del panel y sensores (polvo, fijación, realizar limpieza).
- Verificar estado de la estructura (por grietas o deformaciones, fijación).
- Verificar estado del cableado (ajustados, en buen estado, sin corrosión en terminales).
- Verificar estado de los componentes eléctricos del sistema FV (realizar mediciones de voltaje, corriente y realizar limpieza).
- Verificar el seguidor solar (estado físico, posibles corrosiones y lubricación).

Anualmente:

- Verificar el estado del panel y sensores (polvo, fijación, realizar limpieza).
- Verificar el estado del panel y sensores (polvo, fijación, realizar limpieza).
- Verificar estado de la estructura (por grietas o deformaciones, fijación).
- Verificar estado del cableado (ajustados, en buen estado, sin corrosión en terminales).
- Verificar estado de los componentes eléctricos del sistema FV (realizar mediciones de voltaje, corriente y realizar limpieza).
- Verificar el seguidor solar (estado físico, posibles corrosiones y lubricación).
- Control de la temperatura del panel mediante termografía infrarroja, en él se verifica que todas las partes del panel se encuentren en el rango de temperatura permitido por el fabricante.
- Verificar la puesta a tierra del sistema.

1.3. Marco legal

LEY 697 DE 2001. “Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones”. (Congreso de Colombia, 2001).

LEY 1715 DE 2014. “Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional”. La presente ley tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético. (Congreso de Colombia, 2014).

2. Metodología

Para realizar el diseño de un seguidor solar aplicado en estación fotovoltaica para recargar dispositivos portátiles en la Universidad Antonio Nariño, se llevará a cabo de la siguiente manera:

- Se obtendrá información sobre coordenadas solares, índices de radiación, condiciones atmosféricas y geográficas del departamento de La Guajira, basados en los informes del instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM en el mapa de radiación de Colombia.

Posteriormente se realizará un dimensionamiento fotovoltaico para la estación, teniendo en cuenta los dispositivos a energizar y las horas de autonomía del sistema de la siguiente manera:

- Se identificarán cada una de las cargas de la estación fotovoltaica autónoma. Para este proyecto son: 2 celulares, 2 computadores portátiles, 1 motor dc, tarjeta Arduino.
- Se calcularán cada uno de los componentes de la estación fotovoltaica autónoma, usando las fórmulas de diseño para estos sistemas, de acuerdo a las especificaciones técnicas de los equipos a energizar (2 celulares y 2 computadores, un motor dc, tarjeta Arduino), teniendo en cuenta las horas solar pico de La Guajira durante los 12 meses del año, tomando como referencia el mes de diciembre, en el cual hay menos radiación solar.

Luego se procederá a realizar los cálculos para el diseño del seguidor solar de la siguiente manera:

- Se identificará el peso de lo panel y la estructura que lo soporta.
- Se realizarán cálculos de la parte mecánica y eléctrica del seguidor.
- Se diseñará el sistema mecánico del seguidor solar para el movimiento del panel fotovoltaico utilizando el software SolidWorks.
- Se elaborará la programación del Arduino para controlar el motor DC.
- Se simulará por medio del software CINEMA4D®, el modelamiento en 3D del diseño propuesto para el seguidor solar en conjunto con la estación.

3. Resultados

A continuación, se desarrollará la metodología planteada en el capítulo anterior.

3.1. Recolección de información

Se logró recopilar información donde se pudo establecer lo siguiente:

- Se debe mantener la superficie del panel perfectamente orientado hacia el sol; en dirección norte-sur, con un ángulo de 12 grados de inclinación, de manera que el panel irá girando a lo largo del día, de este a oeste siguiendo la trayectoria solar.
- La zona de influencia de este proyecto, el municipio de Riohacha, departamento de La Guajira, por su posición geográfica, la ciudad cuenta con pocos días lluviosos al año, siendo esto en su mayoría entre los meses de septiembre y octubre. Además, posee el índice de radiación más alto en el país con valores que van desde los 5 a los 6,3 KWh/m², según el IDEAM, en la actualización del mapa solar año 2018. Estas condiciones son realmente favorables para un proyecto como este, en el cual se busca aumentar la eficiencia en la generación de energía eléctrica.

Esta información se encuentra especificada en el marco conceptual en las páginas 19, 20 y 21.

3.2. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico de la estación

Se realiza el dimensionamiento de la instalación solar fotovoltaica autónoma, considerando los consumos estimados, el uso de los mismos y la radiación solar según la ubicación, orientación e inclinación de la instalación.

3.2.1. Datos de ubicación del sistema fotovoltaico

Ubicación de la Universidad Antonio Nariño: 11°32'17.6"N 72°53'38.0"W, Riohacha, La Guajira, Colombia.

En las coordenadas :11.538172, -72.894736.

Para calcular la inclinación del panel se utiliza la ecuación 1: (Adler et al., 2013).

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 * |\phi|; \text{Ec. 1}$$

Siendo;

β : ángulo de inclinación óptima (grados)

$|\phi|$: latitud del lugar, sin signo (grados). Para este ejercicio es 11.53 el valor de la latitud. Reemplazando el valor de la latitud en la ecuación 1, se obtiene;

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 * |11,53|$$
$$\beta_{opt} = 11,65$$

Para mayor captación de radiación solar y obtener máximo rendimiento del panel, este tendrá una inclinación de (11,65), se aproxima a 12 °.

Por la ubicación geográfica de Riohacha, La Guajira, en el hemisferio Norte, cerca de la línea del ecuador se debe orientar el panel hacia el Sur.

3.2.2. Cálculos eléctricos de la estación, necesarios para el diseño del seguidor solar.

El siguiente paso a paso fue tomado de la página web Calameo. (calameo, s.f.).

3.2.2.1. Primer paso: cálculo de consumos estimados

Se realiza una tabla de consumo teniendo en cuenta las horas de autonomía (6h), los equipos a energizar como son: 2 celulares de (5W cada uno), 2 computadores portátiles (55W cada uno), seguidor solar (20W), Arduino, LDR y Driver por día (3W). ver tabla 1.

EQUIPO	POTENCIA EN W	Nº EQUIPOS	POTENCIA Total, EN W	TIEMPO EN WH/DÍA	CONSUMOS Wh/DÍA
PC portátiles	55	2	110	6	660
Cargadores de celular	5	2	10	6	60
Motor del seguidor	20	1	20	0,5	10
Arduino, LDR, driver	5	1	5	6	30
		TOTAL, W	145	TOTAL, Wh/día	760

Tabla 1. Consumo. Elaboración propia.

Siendo:

Total, W: Potencia W * número de equipos.

TOTAL, W: Sumatoria de todas las potencias (Total, W) de los equipos.

Consumos día: Potencia Total, W * número de horas.

TOTAL, Wh/día: sumatoria total de consumos día de cada equipo.

Para el dimensionamiento se toma el total de consumos por día en Wh/día. El cual equivale a 760 Wh/día.

3.2.2.2. Segundo paso: cálculo de la energía total (ET), los consumos en las instalaciones FV pueden clasificarse en 3 grupos:

SOLAMENTE EN CC. $ET = ECC$

SOLAMENTE EN CA. $ET = ECA / 1 - Kc$

MIXTOS: (CC + CA). $ET = ECC + (ECA / 1 - Kc)$

Siendo:

CC: corriente continua.

CA: corriente alterna.

ECC: energía de corriente continua. $ECC: 30W + 10W = 40W$

ECA: energía de corriente alterna. $ECA: 660W + 60W = 720W$

Kc = pérdidas del inversor. Oscilará entre 0 y 0,1, para consumos en CC. Nota: Las pérdidas del inversor, que en este caso se ha considerado del 10 % (rendimiento 90 %), se tomará de las características técnicas del equipo utilizado.

Para este diseño se utiliza la ecuación 2 de circuitos mixtos por tener cargas en DC y AC.

$$ET = ECC + \left(\frac{ECA}{1 - Kc} \right) ; \text{Ec. 2}$$

Reemplazando los valores de ECC, ECA y KC en la ecuación 2.

$$ET = 40W + \left(\frac{720Wh}{1 - 0,1} \right)$$

$$ET = 40W + 800Wh$$

$$ET = 840Wh/día$$

La energía total (ET) consumida por los equipos es de 840Wh/día.

3.2.2.3. Tercer paso: cálculo de las horas solar pico

Después de definir el consumo, se analiza la potencia recibida por el sol. El concepto de Hora Sol Pico es necesario para poder realizar el cálculo del número de módulos fotovoltaicos. Se toma como fuente el atlas de radiación del IDEAM. Mostrado en la tabla 2.

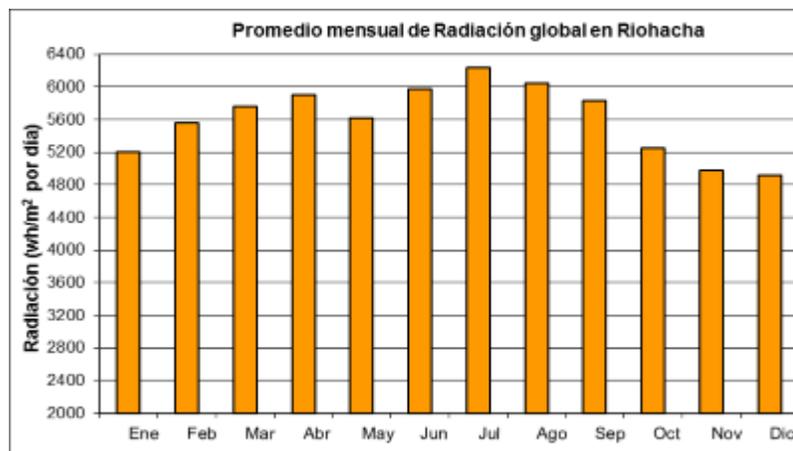


Tabla 2. Promedio mensual de radiación global en Riohacha. (IDEAM, 2018).

Se toma como referencia el mes de menor radiación, en este caso diciembre con un valor de 4,97 kW/m². ver tabla 2

HSP = radiación solar imagen IDEAM (4,97 kW/m² / 1 kW/m²) = 4,97 HSP.

3.2.2.4. Cuarto paso: Cálculo del rendimiento de la instalación

Se determina el rendimiento genérico de la instalación bajo la ecuación 3:

$$R = (1 - k_B - k_C - k_V) * (1 - k_A * \frac{N}{PD}); \text{ Ec. 3}$$

Siendo:

kA: coeficiente de autodescarga diaria del acumulador.

kB: coeficiente de pérdidas por rendimiento en el acumulador.

kC: coeficiente de pérdidas en el inversor CC/CA.

kV: coeficiente de pérdidas varias de la instalación.

PD: profundidad máxima de descarga del acumulador.

N: n° de días de autonomía que soportará el acumulador.

- **KA (coeficiente de autodescarga diaria del acumulador):** energía de la batería que se pierde diariamente por autodescarga. $k_A = 0,005$. (Autodescarga del 0,5 % diario).
- **KB (coeficiente de pérdidas en el acumulador):** energía que se pierde por calor y reacciones químicas. Se toma un rendimiento del 95 %, (correspondiente a un $k_B = 0,05$).

- **KC (coeficiente de pérdidas en el inversor CC/CA):** este dato debe ser suministrado por el fabricante. Para rendimientos entre el 80 y 95 %. (KC oscila entre 0,2 y 0,05). Si no se dispone de datos, se toma como referencia, KC = 0,2 para convertidores de onda senoidal, y KC = 0,1 para convertidores de onda cuadrada. En el presente cálculo se tomará: KC = 0,1.
- **KV (coeficiente de pérdidas varias de la instalación):** este coeficiente agrupa otras pérdidas, no consideradas anteriormente. (Siendo 0,15 un valor medio razonable).
- **PD (profundidad máxima de descarga del acumulador):** capacidad que el acumulador puede utilizar con respecto a la total el mismo, sin que sufra un grave deterioro. Como referencia para un acumulador FV, la descarga diaria varía entre el 10 y 25 % de su capacidad, y un 80% de descarga, una o dos veces al año. En el presente cálculo se tomará un 50 %, PD = 0,5.
- **N (nº de días de autonomía que soportará el acumulador):** representa el nº de días consecutivos que pueden producirse condiciones totalmente desfavorables, en los cuales los módulos FV no recogen prácticamente energía, y todo el consumo debe hacerse a expensas del acumulador. N= 0,25 días, correspondiente a 6 horas de autonomía. (calameo, s.f.)

Luego, se reemplazan los valores de kB, kC, kA, N y PD en la ecuación 3.

$$R = (1 - k_B - k_C - k_V) * (1 - k_A * \frac{N}{PD})$$

$$R = (1 - 0,05 - 0,1 - 0,15) * (1 - (0,005 * \frac{0,25}{0,5}))$$

$$R = 0,698$$

El rendimiento de la instalación es de 0,698 aproximadamente 0,7.

3.2.2.5. Quinto paso: cálculo de la energía diaria a acumular

Una vez fijado el factor de rendimiento de la instalación (R), y conocida la energía total teórica requerida en 6 horas (ET), se calcula la energía real necesaria (E) de acuerdo a la ecuación 4, que debe recibir el acumulador instalado.

$$E = \frac{ET}{R}; \text{ Ec. 4}$$

Se reemplazan los valores de ET= 840 Wh/día y R= 0,7 en la ecuación 4.

$$E = \frac{840 \text{ Wh}}{0,7}$$

$$E = 1200 \text{ Wh}$$

La energía diaria a acumular es de 1200 Wh.

3.2.2.6. Sexto paso: cálculo de la capacidad de la batería

En primer lugar, se calcula la capacidad útil del acumulador (CU) con la ecuación 5.

$$CU = \frac{(E*N)}{VNS}; \text{ Ec. 5}$$

Siendo:

CU: capacidad útil.

E: Energía que debe recibir el acumulador diariamente.

N: nº de días de autonomía. 6h = 0,25 días

VNS: voltaje nominal de la instalación, en este caso 12v.

Se reemplazan los valores de E=1200 Wh, N y VNS= 12v, en la ecuación 5.

$$CU = \frac{(1200 * 0,25)}{12}$$

$$CU = 25 \text{ Ah}$$

La capacidad útil de la batería es de 25 Ah

En segundo lugar, se calcula la capacidad total de la batería (C) con la ecuación 6, debido que la capacidad CU, corresponde al 50 % de la C total.

$$C = \frac{CU}{PD*KT}; \text{ Ec. 6}$$

Siendo:

C: capacidad total.

CU: capacidad útil disponible.

PD: porcentaje de capacidad disponible.

KT: Factor de corrección por temperatura. = $1 - (\Delta T / 160)$. Siendo ΔT la diferencia de T^a entre 30° (temperatura nominal) y la mínima T^a de trabajo, en este caso 23° .

Se reemplazan los valores de CU=25 Ah, PD= 0,5 y KT en la ecuación 6.

$$C = \frac{25 \text{ Ah}}{0,5 * (1 - (\frac{38 - 23}{160}))}$$

$$C = \frac{25 \text{ Ah}}{0,5 * (1 - (0,093))}$$

$$C = \frac{25 \text{ Ah}}{0,5 * (0,907)}$$

$$C = \frac{25 \text{ Ah}}{0,453}$$

$$C = 55,1 \text{ Ah}$$

La capacidad total de la batería es de 55,1 Ah. Se ha seleccionado un acumulador como el que se muestra en la figura 7. Con estas especificaciones: 12v / 55 Ah.



Figura 7. Batería-GEL VICTRON ENERGY. 12V/55 Ah en C20 Ciclo Profundo. (victronenergy, 2020)

3.2.2.7. Séptimo paso: potencia del panel fotovoltaico

Partiendo de la energía diaria que debe recibir el acumulador, se procede al cálculo de la energía diaria (con la ecuación 7), que debe suministrar el panel. Se debe tener en cuenta que entre el generador FV y la batería está situado el regulador, por lo tanto, se considera el rendimiento del mismo:

$$EG = \frac{E}{\eta_R}; \text{Ec. 7}$$

Siendo:

EG: Energía diaria que debe producir el panel FV.

E: Energía diaria que debe recibir el acumulador.

η_R : Rendimiento del regulador. En este caso se toma 0,9.

Se reemplaza $E=1200 \text{ Wh}$ y $\eta_R= 0,9$ en la ecuación 7.

$$EG = \frac{1200 \text{ Wh}}{0,9}$$

$$EG = 1333,3 \text{ Wh}$$

La energía diaria que debe producir el panel es 1333,3 Wh.

Cálculo de la potencia nominal (PN) del generador FV

Es la potencia (en Wp) que se debe instalar como mínimo para que en función de las HSP disponibles proporcione la energía diaria que necesita el sistema. Para este cálculo se debe tener en cuenta el rendimiento de los módulos fotovoltaico, que, por suciedad de la cara activa, pérdidas por reflexión en incidencias muy oblicuas y por tolerancias, difícilmente valorables se le puede considerar de 0,8 a 0,9. Ver ecuación 8.

$$PN = \frac{EG}{(HSP * \eta_G)}; \text{Ec. 8}$$

Siendo:

EG Energía diaria que debe producir el generador FV.

η_G Rendimiento del generador FV.

Se reemplaza el valor de $EG= 1333,3 \text{ Wh}$ y $\eta_G= 0,9$ en la ecuación 8.

$$PN = \frac{1333,3 \text{ Wh}}{(4,97 \text{ HPS} * 0,9)}$$

$$PN = 298,07 \text{ W}$$

La potencia nominal que debe producir el panel es 298,07 W.

Cálculo del número de módulos FV

Se selecciona un panel de 300W como en la figura 8. Para realizar el cálculo, teniendo que para el diseño de la estación solar se utilizará un solo panel:



Figura 8. Panel Solar-GCL- M6/60H-MONO CRYSTALLINE MODULE 300W. (suncolombia, 2018)

Para conocer el número de módulos se utiliza la ecuación 9, en ella se reemplaza los valores de $P_N = 298,07 \text{ W}$ y $P_{NM} = 300 \text{ W}$.

$$NM = \frac{P_N}{P_{NM}}; \text{ Ec 9}$$

Siendo:

P_{NM} = potencia nominal del panel.

P_N = potencia nominal que debe producir el panel.

$$NM = \frac{298,07 \text{ W}}{300 \text{ W}}$$

$$NM = 0,99$$

El número de módulos fotovoltaicos necesarios es de 0,99 aproximadamente 1.

3.2.2.8. Octavo paso: Cálculo del regulador solar MPPT

Para calcular el regulador se divide la potencia total de paneles solares por la tensión de la batería para conocer la corriente máxima de carga de Baterías, como se expresa en la ecuación 10.

$$IR = \frac{PN}{VNS}; \text{ Ec.10}$$

Siendo:

IR= corriente máxima de carga de la batería.

PN= potencia nominal que debe producir el panel.

VNS= voltaje nominal del sistema.

$$IR = \frac{298,07 \text{ W}}{12\text{V}}$$

$$IR = 24,83\text{A}$$

La corriente máxima de carga de la batería es de 24,83 Amp.

Se selecciona un regulador solar MPPT de 30 amperios, como se muestra en la figura 9.



Figura 9. Controlador-VICTRON ENERGY-BlueSolar MPPT 100/30-Controlador de carga BlueSolar MPPT 100/30 (victronenergy, 2020).

3.2.2.9. Noveno paso: Cálculo del inversor

Para calcular el inversor, se deben definir los parámetros de este:

Tensión nominal de entrada: En este caso 12 V.

Tensión nominal de salida: 120 V / 60 Hz. Onda sinusoidal.

Rendimiento: $\eta = 0,8 \div 0,9$. (En función del modelo elegido).

Potencia nominal: Potencia de salida / η

Para calcular la potencia nominal del convertidor se debe tener en cuenta la potencia total en W (145 W). Por tanto, habrá que considerar una potencia de consumo, mínima, de 145 W. (calameo, s.f.)

Se utiliza la ecuación 11 para calcular la potencia nominal del inversor.

$$PNI = \frac{PS}{\eta}; \text{ Ec. 11}$$

Siendo:

PS= potencial total. (145 w)

n= rendimiento. (0,9)

Reemplazar en la ecuación 11 los valores de PS y n.

$$PNI = \frac{145 \text{ W}}{0,9}$$

$$PNI = 161,1 \text{ W}$$

Se debe seleccionar un inversor $\geq 161,1 \text{ W}$.

Se selecciona un inversor de 12/250-120v, como se muestra en la figura 10.



Figura 10. Inversor-VICTRON ENERGY-Phoenix 12/250-120V NEMA 5-15R-Phoenix VE.Direct. (victronenergy, 2020).

3.2.2.10. Décimo paso: cálculo de las secciones de los conductores y protecciones

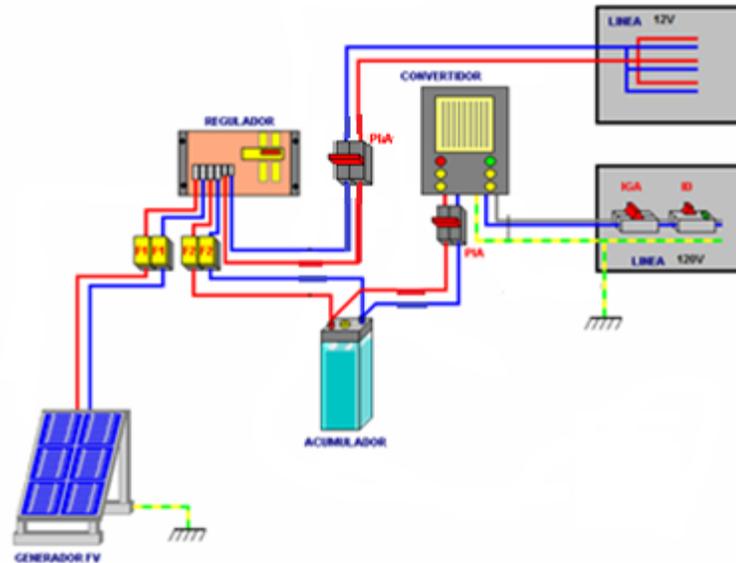


Figura 11. Plano esquemático del sistema eléctrico de la instalación FV. (calameo, s.f.).

En la figura 11 se muestra el esquema del sistema fotovoltaico como referencia para el cálculo de las secciones. El cálculo de las secciones de los conductores y protecciones se realiza por tramos.

Tramo 1. Sección entre (Generador FV – Regulador).

Se utiliza la ecuación 12 para esta sección.

$$S1 = \frac{2 * L * IPG}{\Delta V * \delta} ; \text{Ec.12}$$

Siendo:

L: Longitud conductor campo FV-REGULADOR

IPG: Intensidad de pico del campo FV

ΔV : Caída de tensión máxima admisible para este tramo, 3 % de Tensión máxima del circuito abierto FV (para el regulador seleccionado es de 100v).

Δ : Conductividad del cobre: 56

$$S1 = \frac{2 * 4m * 9.78A}{3 * 56}$$

$$S1 = 0.46 \text{ mm}^2$$

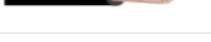
FOTO	CALIBRE / AWG	SECCIÓN EN MM2
	4	25mm2
	6	16mm2
	8	10mm2
	10	6mm2
	12	4mm2
	14	2.5mm2
	16	1.5mm2

Figura 12. Tabla de conversión AWG-mm². (masvoltaje, 2020).

Se debe colocar una sección de 0.46 mm²; según la tabla de conversión de la figura 12, sería AWG = 16.

Amperaje que soportan los cables de cobre					
Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A	18 AWG	10 A
10 AWG	30 A	30 A	30 A	16 AWG	13 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A	14 AWG	18 A
6 AWG	55 A	65 A	75 A	12 AWG	25 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A		
2 AWG	95 A	115 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A		
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A		
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A		

Tabla 3. Tabla de amperajes de los cables de cobre. (masvoltaje, 2020).

El elemento de protección para este tramo es un seccionador fusible rápido de 10A, teniendo en cuenta la tabla 3.

Tramo 2. Sección entre (Regulador – Acumulador)

Se utiliza la ecuación 13 para esta sección.

$$S2 = \frac{2 * L * IPG}{\Delta V * \delta}; \text{ Ec.13}$$

Siendo:

L: Longitud conductor REGULADOR-ACUMULADOR.
 IPG: Intensidad de pico del campo FV (máxima intensidad de carga de acumulador).
 ΔV : Caída de tensión máxima admisible para este tramo, 1 % de 12V.
 δ : Conductividad del cobre.

$$S2 = \frac{2 * 1m * 24,83A}{0,12 * 56}$$

$$S2 = 7,38mm^2$$

Se debe colocar una sección de 7,38mm²; según la tabla de conversión de la figura 12, sería AWG =8.

El elemento de protección para este tramo es un seccionador fusible rápido de 55A, teniendo en cuenta la tabla 3.

Tramo 3. Regulador-Carga de CC

Se utiliza la ecuación 14 para esta sección.

$$S3 = \frac{2 * L * ICC}{\Delta V * \delta}; \text{ Ec. 14}$$

Siendo:

L: Longitud conductor REGULADOR – CARGA DC.

ICC: Intensidad de cargas DC.

ΔV : Caída de tensión máxima admisible para este tramo, 1% de 12V.

δ : Conductividad del cobre.

$$S3 = \frac{2 * 4m * 2,1A}{0,12 * 56}$$

$$S3 = 2,5mm^2$$

Se debe colocar una sección de 2,5mm²; según la tabla de conversión de la figura 12, sería AWG =14.

El elemento de protección para este tramo es un interruptor automático PIA 10A para CC, teniendo en cuenta la tabla 3, sería uno de 15 A, pero no existe comercialmente si no 16 A.

Tramo 4. Acumulador - Inversor

Se utiliza la ecuación 15 para esta sección.

$$S4 = \frac{2 * L * ICC}{\Delta V * \delta} ; \text{Ec.15}$$

Siendo:

L: Longitud conductor ACUMULADOR-INVERSOR.

ICC: Intensidad de consumo del inversor (PINV / VNS = 250 W / 12 V = 20.83A).

ΔV : Caída de tensión máxima admisible para este tramo, 1% de 12V.

δ : Conductividad del cobre.

$$S4 = \frac{2 * 1m * 20.83A}{0.12 * 56}$$

$$S4 = 6,2mm^2$$

Se debe colocar una sección de 6,2 mm²; según la figura 12, sería AWG=8.

El elemento de protección para este tramo es un interruptor automático PIA 25A para CC, teniendo en cuenta la tabla 3.

Tramo 5. Inversor- Cuadro de CA

Este tramo, por ser CA está sometido a la reglamentación del RETIE

Se utiliza la ecuación 16 para esta sección.

$$S5 = \frac{2 * L * ICA}{\Delta V * \delta} ; \text{Ec.16}$$

Siendo:

L: Longitud conductor INVERSOR- CUADRO AC.

ICA: Intensidad de consumo de los equipos de CA.

(PINV / VCA = 250 W / 120 V = 2.08 A).

ΔV : Caída de tensión máxima admisible para este tramo, 3% de 120V

δ : Conductividad del cobre.

$$S5 = \frac{2 * 2m * 2.08A}{3.6 * 56}$$

$$S5 = 0.04 \text{ mm}^2$$

Se debe colocar una sección de 0.04 mm²; según la tabla de conversión de la figura 12, sería AWG = 30. (Aplicando el RETIE, la sección mínima de una instalación de derivación individual es de 6mm²). Para esta sección sería un AWG= 10.

El elemento de protección para este tramo es un interruptor general automático IGA de 2 A y 1 interruptor diferencial DIF. 1,2A /30 mA.

Protección complementaria: será necesario un conductor de protección a tierra, desde el inversor, recorrerá todos los circuitos de consumo en CA. También todas las estructuras metálicas, soportes del generador, etc.

Terminados los cálculos anteriores se obtiene lo siguiente:

El sistema fotovoltaico tendría la capacidad para energizar 4 dispositivos portátiles al mismo tiempo, conformado por 2 computadores, con un consumo de 55W y 2 celulares, los cuales tienen un consumo de 5W, y una autonomía de 6 horas al día.

El rendimiento del sistema fotovoltaico se reflejaría de la siguiente manera:

- Con el panel estático, la estación generaría 1,3333 KWh/día. Anualmente generaría 486,65 KWh.
- Con el sistema seguidor, tendría un rendimiento aproximado de 31,5%, la estación generaría 1,75 KWh/día. Anualmente generaría 638,75 KWh.

Lo anterior significaría un aumento en la producción anual de 152,1 KWh del sistema fotovoltaico con seguidor respecto al estático.

3.3. Diseño del seguidor solar

El diseño del seguidor solar de un eje está conformado por 3 etapas:

- ✓ Etapa uno, diseño mecánico.
- ✓ Etapa dos, esquema eléctrico.
- ✓ Etapa tres, la programación del Arduino quién controlará al motor paso a paso.

Antes de realizar el diseño de debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

3.3.1. Parámetros del diseño

- Tipo de seguidor a implementar: después de analizar el marco conceptual y comparar las clases de seguidores, se decide, diseñar un seguidor de un eje, por ser un poco más simple y de menor costo que el de dos ejes. Basado en el mecanismo de transmisión de potencia por poleas dentadas y correa, dentro de sus ventajas se tiene que este sistema es silencioso, con rendimiento del 90%, capacidad de absorción elástica de choques y hay baja restricción en la transmisión de potencia.
- Teniendo en cuenta el funcionamiento del sistema de seguimiento solar, en el cual, el giro del panel sería solo 0.5 horas al día y a una velocidad muy baja, se hace necesario una reducción de velocidad al motor escogido para el diseño, la cual debe aumentar el torque necesario para determinado movimiento. Este girará el panel buscando un incremento en el rendimiento en la captación solar aproximado a un 31,5% frente a un sistema fijo.
- Peso del panel y sus dimensiones: 18.1kg, L:1640 x W:992 x H:35mm.
- Control del seguidor: se utilizarán LDR para sensar la posición del sol, estos transmitirán una señal a la tarjeta Arduino, la cual controlara por medio de su programación y una etapa de potencia el motor DC paso a paso.
- Para el cálculo se escogió motor paso a paso. 12v, 1,7 A y 20 W. De referencia NEMA 17(42BYGH48-23D) como se muestra en la figura 21.
- La estación solar fotovoltaica será fabricada en su mayoría de acero galvanizado, se escogió este material por sus capas de zinc que le dan resistencia a la oxidación, debido que este impide el paso del oxígeno hacia el hierro. Esta aleación también es más atractiva a la vista. Por otro lado, la capa de zinc también hace que la estructura sea resistente a las ralladuras. El sistema consta de un mástil de 2 metros de altura, 5 y reducción a 4 pulgadas de diámetro, también contará con una mesa de 52 centímetros de diámetro ubicada a 70 cm desde el suelo donde podrán reposar los dispositivos que estén siendo recargados, una base cajón donde estarán los componentes del sistema fotovoltaico con las siguientes medidas; L:50 x W:20 x H:25cm. Teniendo en cuenta estas especificaciones, se procede a fabricar con la ayuda de proveedores especializados la estación bajo los parámetros anteriormente mencionadas. Ver figura 13.

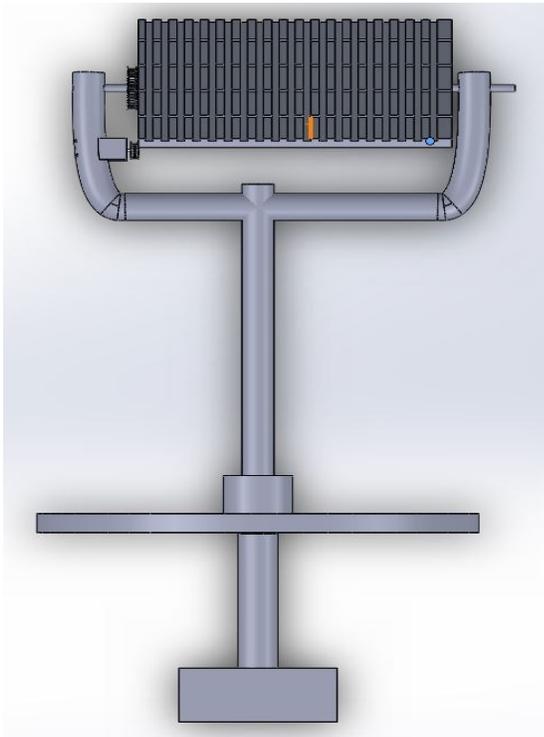


Figura 13. Diseño de la estación con mecanismo seguidor. Elaboración propia en SolidWorks.

3.3.2. Etapa uno, diseño mecánico

Se desarrolla el siguiente procedimiento de cálculo de mecanismos de transmisión por poleas y correa, tomado de la página web <http://www.indarbelt.es/> (Indarbelt, s.f.).

La figura 14, corresponde al mecanismo de transmisión simple, el cual fue utilizado en el presente proyecto.

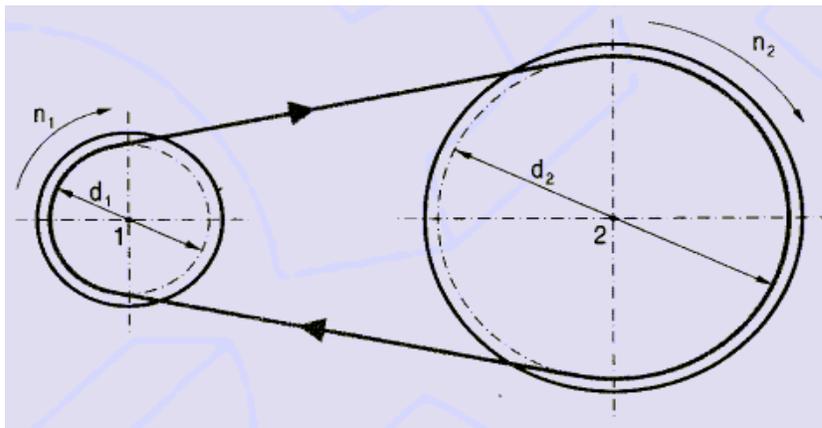


Figura 14 Sistema de poleas simple. (almez., s.f.).

Siendo:

d_1 : Diámetro de la polea menor (mm).

d_2 : Diámetro de la polea mayor (mm).

a : Distancia entre centros. [mm].

n_1 : rpm de la polea menor. [°].

n_2 : rpm de la polea mayor. [°].

Paso número 1: Se calculan los diámetros de las poleas.

Se asigna un valor de: $d_1 = 60\text{mm}$ a la polea menor (conductora), para calcular el diámetro de la polea mayor (conducida) d_2 , con la fórmula de relación de transmisión dada por la siguiente expresión, teniendo en cuenta que se tiene una velocidad de 1 rpm en la polea menor (conductora) y una velocidad de 0,4 rpm en la polea mayor (conducida), velocidad de giro del panel.

$$D_1 * n_1 = D_2 * n_2;$$

Siendo,

d_1 : Diámetro de la polea menor (mm).

d_2 : Diámetro de la polea mayor (mm).

N_1 : revoluciones de la polea menor.

N_2 : revoluciones de la polea mayor.

De la expresión anterior, se despeja d_2 correspondiente al diámetro de la polea 2 (conducida) y se reemplazan los valores mencionados anteriormente en la ecuación 18;

$$d_2 = \frac{d_1 * n_1}{n_2}; \text{ Ec. 18}$$

$$d_2 = \frac{60\text{mm} * 1\text{rpm}}{0,4\text{rpm}}$$

$$d_2 = 150\text{mm}$$

Se tiene como resultado un diámetro de 150mm para la polea conducida o polea mayor.

Paso número 2: se calcula la relación de transmisión con la formula dada por la ecuación 19.

$$i = \frac{d_1}{d_2}; \text{ Ec. 19}$$

Siendo,

i : relación de transmisión.

d_1 : Diámetro de la polea menor (mm).

d_2 : Diámetro de la polea mayor (mm).

Se reemplazan los valores de los diámetros (d_1 y d_2), que ya se conocen para encontrar la relación de transmisión:

$$i = \frac{60mm}{150mm}$$

$$i = 0,4$$

La relación de transmisión (i) para este sistema es de 0,4; es decir que por cada 1 vuelta que da la polea conductora, la polea conducida dará 0,4 vueltas. Por lo tanto, se comprueba que es un mecanismo de reducción de velocidad y a aumenta la fuerza transmitida por la polea menor (conductora), al reducir la velocidad.

Paso número 3: se calcula la longitud de la correa. Para este paso se asigna una distancia entre centros de, $a = 231$ mm, y se utiliza las formula dada por la ecuación 20.

$$L = \pi \frac{(d_1+d_2)}{2} + \frac{(d_2-d_1)^2}{4a} + 2a ; \text{Ec. 20}$$

Siendo,

d_1 : Diámetro de la polea menor (mm).

d_2 : Diámetro de la polea mayor (mm).

A : distancia entre centros.

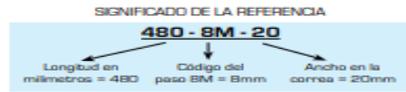
$$L = \pi \frac{(60mm+150mm)}{2} + \frac{(150mm-60mm)^2}{4(231mm)} + 2(231mm)$$

$$L = \pi * 105mm + 8,76mm + 462mm$$

$$L = 329,8mm + 8,76 + 462mm$$

$$L = 770,5 \text{ mm}$$

La longitud de la correa para el sistema de transmisión es de 770,5 mm. Para el sistema se ha seleccionado una correa 800-8m-20, teniendo en cuenta la tabla 4, catálogo de correas del proveedor de productos mecánicos Intermec, se toma la de mayor longitud siguiente.



8M



CORREAS 8M (PASO 8mm)

Referencia	Nº. de Dientes	Longitud (mm)	Pulg.
480-8M-20	60	480	18,90
480-8M-30	60	480	18,90
480-8M-50	60	480	18,90
480-8M-85	60	480	18,90
560-8M-20	70	560	22,05
560-8M-30	70	560	22,05
560-8M-50	70	560	22,05
560-8M-85	70	560	22,05
600-8M-20	75	600	23,62
600-8M-30	75	600	23,62
600-8M-50	75	600	23,62
640-8M-20	80	640	25,20
640-8M-30	80	640	25,20
640-8M-50	80	640	25,20
640-8M-85	80	640	25,20
720-8M-20	90	720	28,35
720-8M-30	90	720	28,35
720-8M-50	90	720	28,35
720-8M-85	90	720	28,35
800-8M-20	100	800	31,50
800-8M-30	100	800	31,50
800-8M-50	100	800	31,50
800-8M-85	100	800	31,50
880-8M-20	110	880	34,65
880-8M-30	110	880	34,65
880-8M-50	110	880	34,65
880-8M-85	110	880	34,65
960-8M-20	120	960	37,80
960-8M-30	120	960	37,80
960-8M-50	120	960	37,80
960-8M-85	120	960	37,80
1040-8M-20	130	1040	40,94
1040-8M-30	130	1040	40,94
1040-8M-50	130	1040	40,94
1040-8M-85	130	1040	40,94
1120-8M-20	140	1120	44,09
1120-8M-30	140	1120	44,09
1120-8M-50	140	1120	44,09
1120-8M-85	140	1120	44,09
1200-8M-20	150	1200	47,24
1200-8M-30	150	1200	47,24
1200-8M-50	150	1200	47,24
1200-8M-85	150	1200	47,24
1224-8M-20	153	1224	48,19
1224-8M-30	153	1224	48,19

1224-8M-50	153	1224	48,19
1224-8M-85	153	1224	48,19
1280-8M-20	160	1280	50,39
1280-8M-30	160	1280	50,39
1280-8M-50	160	1280	50,39
1280-8M-85	160	1280	50,39
1440-8M-20	180	1440	56,69
1440-8M-30	180	1440	56,69
1440-8M-50	180	1440	56,69
1440-8M-85	180	1440	56,69
1600-8M-20	200	1600	62,99
1600-8M-30	200	1600	62,99
1600-8M-50	200	1600	62,99
1600-8M-85	200	1600	62,99
1760-8M-20	220	1760	69,29
1760-8M-30	220	1760	69,29
1760-8M-50	220	1760	69,29
1760-8M-85	220	1760	69,29
1800-8M-20	225	1800	70,87
1800-8M-30	225	1800	70,87
1800-8M-50	225	1800	70,87
1800-8M-85	225	1800	70,87
2000-8M-20	250	2000	78,74
2000-8M-30	250	2000	78,74
2000-8M-50	250	2000	78,74
2000-8M-85	250	2000	78,74
2400-8M-20	300	2400	94,49
2400-8M-30	300	2400	94,49
2400-8M-50	300	2400	94,49
2400-8M-85	300	2400	94,49
2600-8M-20	325	2600	102,36
2600-8M-30	325	2600	102,36
2600-8M-50	325	2600	102,36
2600-8M-85	325	2600	102,36
2800-8M-20	350	2800	110,24
2800-8M-30	350	2800	110,24
2800-8M-50	350	2800	110,24
2800-8M-85	350	2800	110,24
3048-8M-20	381	3048	120,00
3048-8M-30	381	3048	120,00
3048-8M-50	381	3048	120,00
3048-8M-85	381	3048	120,00
3280-8M-20	410	3280	129,13
3280-8M-30	410	3280	129,13
3280-8M-50	410	3280	129,13
3280-8M-85	410	3280	129,13
3600-8M-20	450	3600	141,73
3600-8M-30	450	3600	141,73
3600-8M-50	450	3600	141,73
3600-8M-85	450	3600	141,73
4400-8M-20	550	4400	173,23
4400-8M-30	550	4400	173,23
4400-8M-50	550	4400	173,23
4400-8M-85	550	4400	173,23

Tabla 4. Tabla de correas. (Intermec, s.f.).

Paso número 4: se calcula el ángulo de contacto de la polea conductora con la correa, con la formula dada por la ecuación 21.

$$\alpha = 180^\circ - \frac{60 \cdot (d_2 - d_1)}{A} ; \text{Ec.21}$$

Siendo:

D2: diámetro de polea mayor.

D1: diámetro de la polea menor.

A: distancia entre centros.

Se reemplazan los valores conocidos en la ecuación 21.

$$\alpha = 180^\circ - \frac{60 \cdot (150\text{mm} - 60\text{mm})}{231\text{mm}}$$

$$\alpha = 180^\circ - 23,37$$

$$\alpha = 156,6^\circ$$

El ángulo de contacto de la polea conductora con la correa $156,6^\circ$.

Paso número 5: se calcula la potencia a transmitir por la correa.

La siguiente fórmula dada por la ecuación 22 corresponde a potencia en corriente continua del motor, pero se necesita conocer el valor de la potencia mecánica.

Primero se consigue la potencia eléctrica en (KW);

$$P = \frac{V \cdot A \cdot \eta}{1000} ; \text{Ec.22}$$

Siendo:

V: voltaje

A: corriente

η : 0.83 – 0.94

$$P = \frac{12v \cdot 1,7A \cdot 0,94}{1000} = 0,019 \text{ kw}$$

Luego se hace la conversión a potencia mecánica (CV). Conociendo la equivalencia entre KW y CV, tenemos que 1 KW es equivalente a 1,341 CV. Por medio de una regla de tres simple en la ecuación 23, se procede a la conversión:

$$1 \text{ KW} = 1,341 \text{ CV}$$

$$0,019 \text{ KW} = \text{CV} ?$$

$$\text{CV} = \frac{0,019 \text{ kW} \cdot 1,341 \text{ CV}}{1 \text{ kW}} ; \text{Ec23}$$

$$\text{CV} = 0,025 \text{ CV}$$

Sustituimos el valor de CV: 0,025 en la ecuación 24 para conocer el par o torque del sistema.

$$T = \frac{716,2 \cdot N}{n} ; \text{Ec 24}$$

Siendo:

T; par en kg-m

N: potencia en CV, n: número de rpm.

$$T = \frac{716,2 * 0,025 \text{ CV}}{0,4 \text{ rpm}}$$

$$T = 44,76 \text{ kg} - \text{m}$$

El par o torque disponible es de 44,76 kg-m. Lo anterior significa que este sistema de transmisión tiene la fuerza de torsión para mover un peso de 44,76 kg. Luego de obtener el resultado de los cálculos de la correa y poleas se procede al diseño de las piezas del seguidor el SolidWorks.

Polea menor (ver figura 15); diámetro: 60mm.
Paso: 8 mm.
Número de dientes: 28.
Ancho: 20 mm.

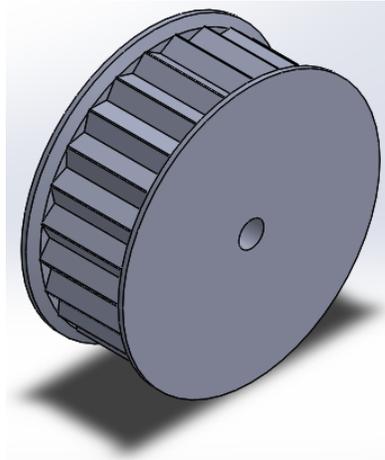


Figura 15. Polea menor(conductora). Elaboración propia en SolidWorks.

Polea mayor (ver figura 16); diámetro: 150mm.
Paso: 8 mm.
Número de dientes: 40.
Ancho: 20 mm.

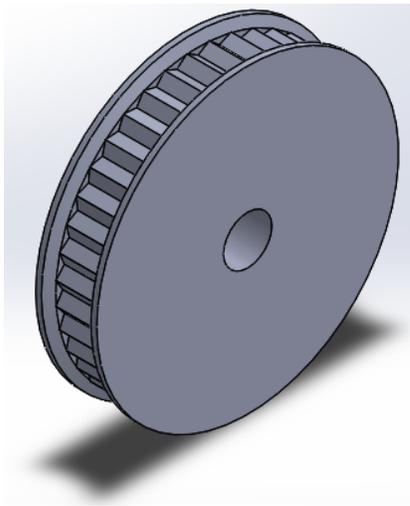


Figura 16 Polea mayor(conducida). Elaboración propia en SolidWorks.

Las figuras 17, 18 y 19 corresponden al diseño del seguidor solar en conjunto con la estación elaboradas en el software SolidWorks.

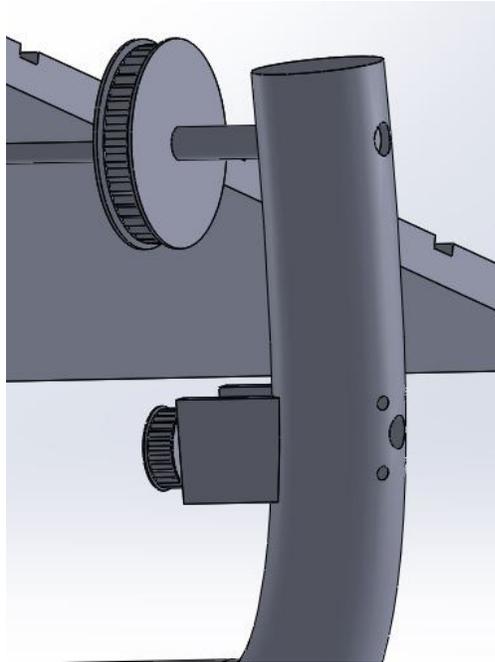


Figura 17. Mecanismo de transmisión por poleas. Elaboración propia en SolidWorks.



Figura 18. Vista posterior del mecanismo de transmisión por poleas para giro del panel. Elaboración propia en SolidWorks.

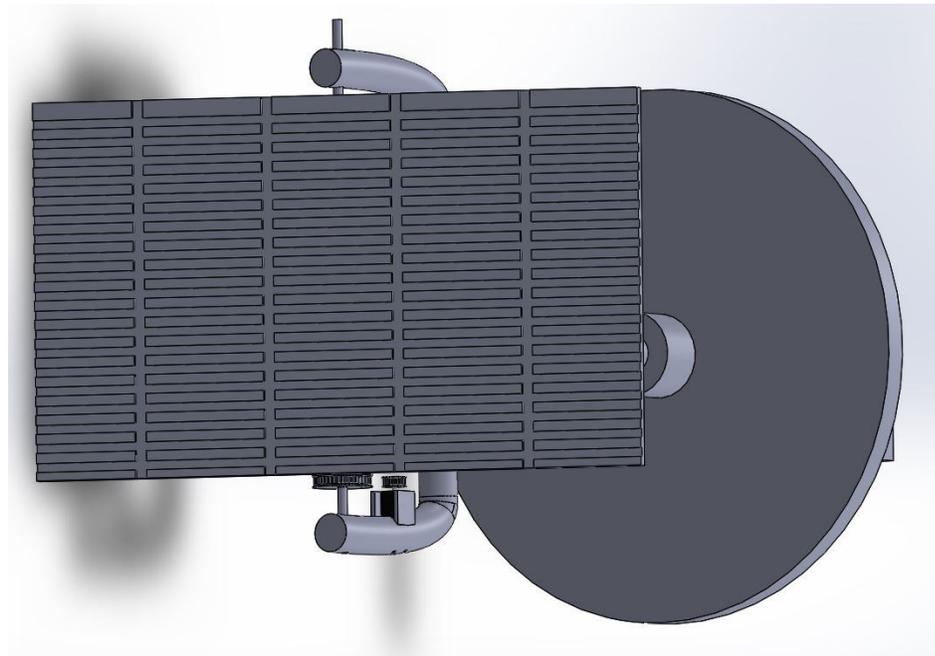


Figura 19. Vista superior del mecanismo de transmisión por poleas para giro del panel. Elaboración propia en SolidWorks.

3.3.3. Etapa dos, esquema eléctrico

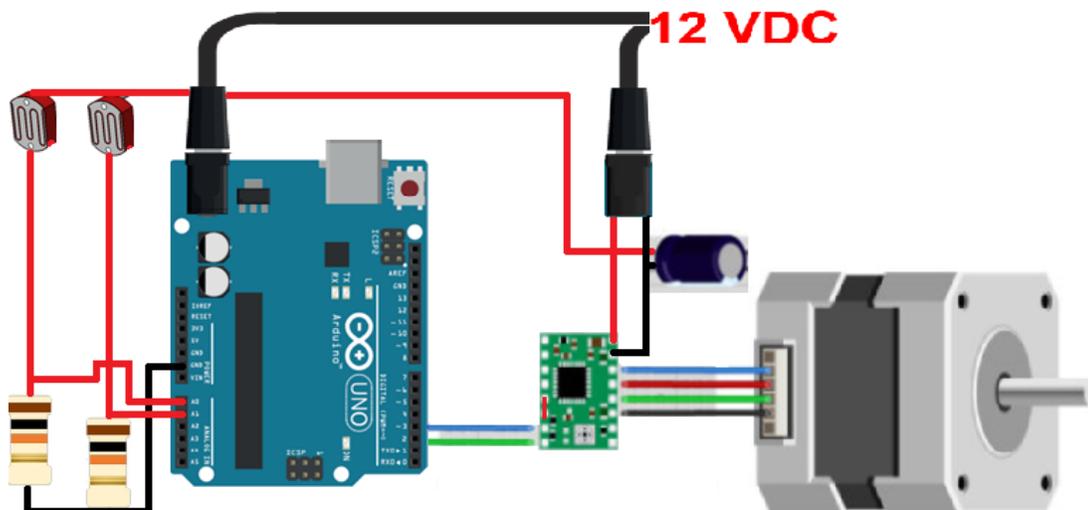


Figura 20. Plano esquemático de las conexiones del arduino, sensores LDR y motor. Elaboración propia.

En la figura 20, se muestra el Plano esquemático de las conexiones del arduino, sensores LDR y motor. La tarjeta arduino será alimentada con 12vdc provenientes del regulador, el cual según su programación emitirá una señal de control al driver, esta será amplificada para energizar el motor.

Motor paso a paso. 12v, 1,7 A y 20 W. De referencia NEMA 17(42BYGH48-23D). Ver figura 21.

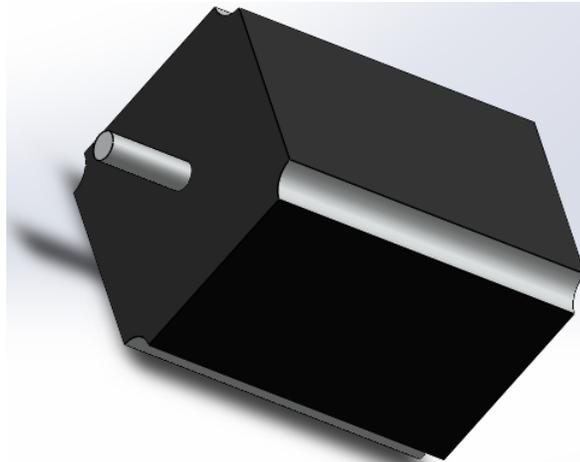


Figura 21. Motor paso a paso. Elaboración propia en SolidWorks.

3.3.4. Etapa tres, programación del Arduino

Las figuras 22, 23 y 24 corresponden a la programación del arduino.

```
#include <Servo.h>
//Definiendo Servos
Servo servohori;
int servoh = 0;
int servohLimitHigh = 160;
int servohLimitLow = 20;

Servo servoverti;
int servov = 0;
int servovLimitHigh = 160;
int servovLimitLow = 20;
//Asignando LDRs
int ldrtopl = 2; //top left LDR
int ldrtopr = 1; //top right LDR
int ldrbotl = 3; // bottom left LDR
int ldrbotr = 0; // bottom right LDR
```

Figura 22. Programación de arduino. Elaboración propia en Software de Programación de Arduino.

```

void setup ()
{
  servohori.attach(10);
  servohori.write(0);
  servoverti.attach(9);
  servoverti.write(0);
  delay(500);
}

void loop()
{
  servoh = servohori.read();
  servov = servoverti.read();
  //capturando valores analogicos de cada LDR
  int topl = analogRead(ldrtopl);
  int topr = analogRead(ldrtopr);
  int botl = analogRead(ldrbotl);
  int botr = analogRead(ldrbotr);
  // calculando el Promedio
  int avgtop = (topl + topr) / 2; //Promedio del top LDRs
  int avgbot = (botl + botr) / 2; //Promedio del bottom LDRs
  int avgleft = (topl + botl) / 2; //Promedio del left LDRs
  int avgright = (topr + botr) / 2; //Promedio del right LDRs

```

Figura 23. Programación de arduino. Elaboración propia en Software de Programación de Arduino.

```

{
  servoverti.write(servov +1);
  if (servov > servovLimitHigh)
  {
    servov = servovLimitHigh;
  }
  delay(10);
}
else if (avgbot < avgtop)
{
  servoverti.write(servov -1);
  if (servov < servovLimitLow)
  {
    servov = servovLimitLow;
  }
  delay(10);
}
else
{
  servoverti.write(servov);
}
}
if (avgleft > avgright)
{
  servohori.write(servoh +1);
  if (servoh > servohLimitHigh)
  {
    servoh = servohLimitHigh;
  }
}

```

Figura 24. Programación de arduino. Elaboración propia en Software de Programación de Arduino.

De acuerdo a los cálculos anteriores del seguidor solar, se realizó el diseño mecánico del sistema seguidor de un eje. Basado en el mecanismo de transmisión de potencia por poleas dentadas y correa, el cual tendría un rendimiento aproximado del 90%.

Se determinó el diámetro de las poleas, donde:

- La polea menor o (conductora), posee las siguientes especificaciones: diámetro: 60mm, paso: 8 mm, Número de dientes: 28 y ancho: 20 mm. Ver Figura 15.
- La polea mayor o (conducida), posee las siguientes especificaciones: diámetro: 150mm, paso: 8 mm, Número de dientes: 40 y ancho: 20 mm. Ver Figura 16.

- Una correa de la siguiente referencia 800-8m-20, donde 800= longitud en mm, 8m= paso y 20= ancho.

Además, el sistema mecánico del seguidor tendría la fuerza de torsión para mover un peso de 44,76 kg aproximadamente, lo cual es ventajoso, debido que, el peso del panel es de 18,1kg.

Se utilizó un motor paso a paso de referencia NEMA 17(42BYGH48-23D), ver figura 21, con las siguientes especificaciones: 12v, 1,7 A y 20 W, el cual se controla por medio de la tarjeta Arduino Uno y dos LDR. Todo lo anterior, es alimentando por el sistema fotovoltaico.

3.4. Simulación por medio del software CINEMA4D® el modelamiento en 3D del diseño propuesto.

A continuación, en la figura 25 se muestra el diseño del seguidor solar en el software Cinema4D® aplicado a una estación fotovoltaica y se describe su funcionamiento.

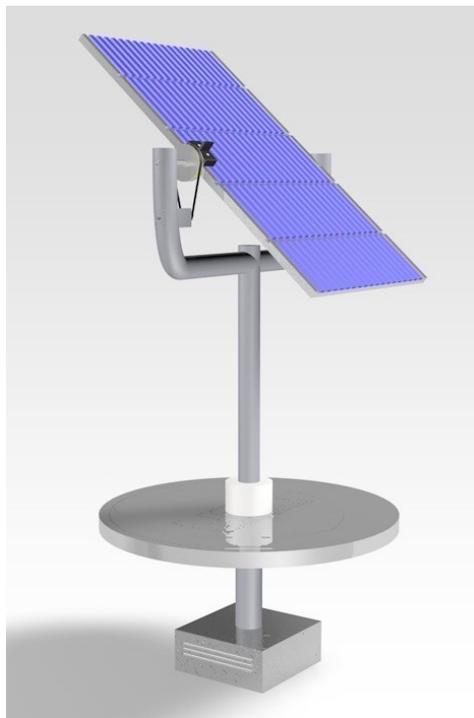


Figura 25. Estación solar con sistema seguidor. Elaboración propia en Cinema 4D®.

La función del seguidor: es orientar el panel de forma perpendicular a los rayos solares, tratando de formar un ángulo aproximado a 90° , siguiendo el sol desde la salida hasta la puesta.

El diseño del sistema cuenta con un control automático por medio de sensores LDR y Arduino. Los LDR de acuerdo a su ubicación en el sistema, determinan la posición del sol. Estos sensores al recibir la radiación bajan su resistencia y permiten el paso de corriente, esta señal llega a la tarjeta Arduino Uno, la cual procesa la señal y por medio de su programación emite una señal de control que indica el sentido de giro del motor.

El motor paso a paso acoplado con la polea de menor diámetro (conductora), transmite el movimiento giratorio a través de la correa a la polea de mayor diámetro (conducida), quien acoplada al panel permite que este gire.

El siguiente enlace corresponde a un video animado en 3D del sistema seguidor:
<https://youtu.be/3xxB1abex8s>

Adicionalmente, en los anexos se brinda información sobre: aspectos ambientales, mantenimiento del sistema seguidor solar fotovoltaico, presupuestos y ventajas y desventajas del sistema, que se tendrían en cuenta en caso de ser implementado.

4. Conclusión

Al finalizar este proyecto de diseño de un seguidor solar aplicado a una estación fotovoltaica para recargar dispositivos portátiles en la Universidad Antonio Nariño sede Riohacha, se obtienen los siguientes resultados:

El municipio de Riohacha, La Guajira. Donde se encuentra la sede de la UAN, por su posición geográfica (ubicada en el hemisferio norte, zona Ecuatorial), posee el índice de radiación más alto de Colombia, con valores que van desde los 5 a los 6,3 KWh/m², según el IDEAM. Además, la ciudad cuenta con pocos días lluviosos al año, siendo esto en su mayoría entre los meses de septiembre y octubre. Esta cualidad hace favorable la implementación de cualquier sistema fotovoltaico en esta zona.

Con base en los cálculos eléctricos necesarios para la estación, el sistema tendría la capacidad para energizar 4 dispositivos portátiles y la parte eléctrica del seguidor (motor paso a paso, circuito electrónico) al mismo tiempo, por un periodo de autonomía de 6 horas aproximadamente.

Según los cálculos, el sistema del seguidor solar sería un mecanismo capaz de girar el panel (con un peso: 18,1 kg), siguiendo de manera precisa el aparente movimiento del sol.

En la simulación del diseño en 3D, se puede percibir, como el sistema seguidor de un eje, realizaría su función de seguimiento solar en la estación fotovoltaica.

A. Anexo: Aspectos Ambientales

La energía fotovoltaica es renovable, alternativa, contribuye a disminuir el efecto invernadero. Sin embargo, esta tecnología causa grandes impactos cuando la generación es a gran escala por la utilización de grandes extensiones terrestres. En la fabricación de sus materiales en la industria se genera contaminación, debido que algunos son hechos de material toxico y nocivos para la salud.

No utiliza combustibles fósiles, por lo tanto, los riesgos relacionados a estos desaparecen. No produce ruido en su operación, se debe hacer un adecuado manejo de las baterías, las cuales causan gran impacto al medio ambiente.

B. Anexo: Presupuesto

Presupuesto

A continuación, se presentan dos alternativas de presupuesto:

Alternativa 1

Presupuesto de la estación con seguidor solar utilizando componentes de alta calidad y mayor vida útil (ver tabla 5), en comparación a una estación con panel estático utilizando los mismos componentes (ver tabla 6).

Recursos	Cantidad	Valor unitario
Panel Solar-GCL-GCL M6/60H-MONO CRYSTALLINE MODULE 300W	1	\$ 429.400
Batería-GEL VICTRON ENERGY. 12V/55 Ah en C20 Ciclo Profundo	1	\$ 1.043.000
Inversor-VICTRON ENERGY-Phoenix 12/250-120V	1	\$ 306.950
Controlador-VICTRON ENERGY-BlueSolar MPPT 100/30	1	\$ 646.415
Tarjeta Arduino Uno R3 Micro USB Mega328p	1	\$ 18.000
Driver de motor	2	\$ 12.000
Cable Solar Fotovoltaico 6mm2 Por Metros	14m	\$ 87.430
Sensor Fotosensible LDR Detector Luz Compatible Arduino.	2	\$ 6.000
Motor Paso A Paso Nema 17 (142BYGH48-23D)	1	\$ 62.000
Breakers	5	\$ 130.000
Estructura de la estación y seguidor	1	\$ 300.000
Instalación del sistema		\$ 150.000
TOTAL		\$ 3.191.195

Tabla 5. Presupuesto de estación con seguidor. Elaboración propia.

Recursos	Cantidad	Valor unitario
Panel Solar-GCL-GCL M6/60H-MONO CRYSTALLINE MODULE 300W	1	\$ 429.400
Batería-GEL VICTRON ENERGY. 12V/55 Ah en C20 Ciclo Profundo	1	\$ 1.043.000
Inversor-VICTRON ENERGY-Phoenix 12/250-120V	1	\$ 306.950
Controlador-VICTRON ENERGY-BlueSolar MPPT 100/30	1	\$ 646.415
Cable Solar Fotovoltaico 6mm2 Por Metros	14m	\$ 87.430
Breakers	5	\$ 130.000
Estructura de la estación	1	\$ 200.000
Instalación del sistema		\$ 120.000
TOTAL		\$ 2.963.195

Tabla 6. Presupuesto de estación con panel estático. Elaboración propia.

De las anteriores tablas se puede inferir que:

- Según la tabla 5, la estación solar con seguidor tendría un costo de \$ 3.191.195.
- Según la tabla 6, la estación solar sin seguidor tendría un costo de \$ 2.963.195.

Lo que reflejaría una diferencia de \$ 228.000, este valor económico comparado con lo que se sería el rendimiento de ambos sistemas resultaría rentable para este proyecto.

Alternativa 2

El presupuesto de la estación con seguidor solar utilizando componentes de menor calidad y menor vida útil (ver tabla 7), en comparación a una estación con panel estático utilizando los mismos componentes (ver tabla 8).

Recursos	Cantidad	Valor unitario
Panel Solar-GCL-GCL M6/60H-MONO CRYSTALLINE MODULE 300W	1	\$ 429.400
Batería-GEL SUNBRITGH-12V/55 Ah Ciclo Profundo	1	\$ 300.000
Inversor-VICTRON ENERGY-Phoenix 12/250-120V	1	\$ 306.950
Controlador-SRNE MPPT 30a 12/24v	1	\$ 338.500
Tarjeta Arduino Uno R3 Micro USB Mega328p	1	\$ 18.000
Driver de motor	2	\$ 12.000
Cable Solar Fotovoltaico 6mm2 Por Metros	14m	\$ 87.430
Sensor Fotosensible LDR Detector Luz Compatible Arduino.	2	\$ 6.000
Motor Paso A Paso Nema 17 (142BYGH48-23D)	1	\$ 62.000
Breakers	5	\$ 130.000
Estructura de la estación y seguidor	1	\$ 300.000
Instalación del sistema		\$ 150.000
TOTAL		\$ 2.140.280

Tabla 7. Presupuesto de estación con seguidor (componentes de menor calidad). Elaboración propia.

Recursos	Cantidad	Valor unitario
Panel Solar-GCL-GCL M6/60H-MONO CRYSTALLINE MODULE 300W	1	\$ 429.400
Batería-GEL SUNBRITGH-12V/55 Ah Ciclo Profundo	1	\$ 300.000
Inversor-VICTRON ENERGY-Phoenix 12/250-120V	1	\$ 306.950
Controlador-SRNE MPPT 30a 12/24v	1	\$ 338.500
Cable Solar Fotovoltaico 6mm2 Por Metros	14m	\$ 87.430
Breakers	5	\$ 130.000
Estructura de la estación	1	\$ 200.000
Instalación del sistema		\$ 120.000
TOTAL		\$ 1.912.280

Tabla 8. Presupuesto de estación con panel estático. (componentes de menor calidad). Elaboración propia.

De las anteriores tablas se puede inferir que:

- Según la tabla 7, la estación solar con seguidor tendría un costo de \$ 2.140.280.
- Según la tabla 8, la estación solar sin seguidor tendría un costo de \$ 1.912.280.

Lo que reflejaría una diferencia de \$ 228.000, este valor económico comparado con lo que se sería el rendimiento de ambos sistemas resultaría rentable para este proyecto. Estas alternativas de presupuesto quedan a consideración al momento de ser implementados.

Recuperación de la inversión en la estación con seguidor solar, alternativa 1: para calcular el tiempo de recuperación de la inversión se relaciona la producción estimada del sistema (638,75 KWh), con el valor del KWh en la sede de la Universidad Antonio Nariño y se obtiene el número de años. El valor del KWh es variable dependiendo de muchos factores, este es regulado por el ministerio de mina y energía, para el siguiente estudio se toma un incremento de 50 pesos por año. Ver tabla 9.

Producción de energía eléctrica vs valor del KWh			
	KWh	valor	Total
Año 1	638,75	\$ 553,19	\$ 353.350,11
Año 2	638,75	\$ 603,19	\$ 385.287,61
Año 3	638,75	\$ 653,19	\$ 417.225,11
Año 4	638,75	\$ 703,19	\$ 449.162,61
Año 5	638,75	\$ 753,19	\$ 481.100,11
Año 6	638,75	\$ 803,19	\$ 513.037,61
Año 7	638,75	\$ 853,19	\$ 544.975,11
		Total	\$ 3.144.138,29

Tabla 9. Producción de energía vs valor del KWh. Alternativa 1. Elaboración propia.

Con los datos de la tabla número 9, se determina que la recuperación de la inversión sería en 7 años.

Recuperación de la inversión en la estación con seguidor solar, alternativa 2: para calcular el tiempo de recuperación de la inversión se relaciona la producción estimada del sistema (638,75 KWh), con el valor del KWh en la sede de la Universidad Antonio Nariño y se obtiene el número de años. El valor del KWh es variable dependiendo de muchos factores, este es regulado por el ministerio de mina y energía, para el siguiente estudio se toma un incremento de 50 pesos por año.

Producción de energía eléctrica			
	KWh	valor	Total
Año 1	638,75	\$ 553,19	\$ 353.350,11
Año 2	638,75	\$ 603,19	\$ 385.287,61
Año 3	638,75	\$ 653,19	\$ 417.225,11
Año 4	638,75	\$ 703,19	\$ 449.162,61
Año 5	638,75	\$ 753,19	\$ 481.100,11
		Total	\$ 2.086.125,56

Tabla 10. Producción de energía vs valor del KWh. Alternativa 2. Elaboración propia.

Con los datos de la tabla número 10, se determina que la recuperación de la inversión sería en 5 años.

C. Anexo: Ventajas y Desventajas del Seguidor Solar propuesto.

Ventajas

- El mayor beneficio de este sistema de seguimiento solar de un eje, es que ofrecería un incremento en la generación de energía eléctrica diaria con respecto a un sistema de panel estático. Se estima que el aumento en el rendimiento sería de 31,5% aproximadamente.
- El costo de este diseño sería menor al de un seguidor solar de dos ejes.
- La ubicación del seguidor, de acuerdo a la posición geográfica de Riohacha, la cual está ubicada en una zona de latitud baja (cercana a la línea del Ecuador), donde la posición del sol no varía mucho entre las estaciones, y se reciben los rayos solares perpendicularmente todo el año, sería un factor favorable en caso de ser implementado.

Desventajas

- El costo de implementación y mantenimiento sería más elevado que el de un sistema estático.

Bibliografía

- Adler et al. (2013). *http://www3.fi.mdp.edu.ar/*. Obtenido de <http://www3.fi.mdp.edu.ar/dtoelectrica/files/instalaciones-industriales/material/autogeneracion/renovables/solar/energia%20solar%202013.pdf>
- almez. (s.f.). *almez.pntic.mec.es*. Obtenido de s.f.: <http://almez.pntic.mec.es/jgonza86/Sistemas%20de%20poleas%20y%20correas.htm>
- Ammonit. (2019). *Ammonit Measurement GmbH*. Obtenido de <https://www.ammonit.com/es/wind-solar-wissen/solarenergie/470-historia-de-la-energia-#:~:text=En%201839%20el%20f%C3%ADsico%20franc%C3%A9s,aumentaba%20cuando%20hab%C3%ADa%20radiaci%C3%B3n%20solar>.
- APPA. (s.f.). *APPA Asociación de empresas de Energías renovables*. Obtenido de <https://www.appa.es/appa-fotovoltaica/que-es-la-energia-fotovoltaica/>
- autosolar. (s.f.). *https://autosolar.es*. Obtenido de <https://autosolar.es/reguladores-de-carga-mppt>
- Bueno, P. (2014). *UNIVERSIDAD DE CUENCA*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/5433/3/TESIS%20PDF.pdf>
- calameo. (s.f.). *es.calameo.com*. Obtenido de <https://es.calameo.com/read/002919551ca3a0c2d100d>
- Carletti, E. J. (2019). *ROBOTS*. Obtenido de http://robots-argentina.com.ar/Sensores_LDR.htm
- Castillo, J. (2019). *repositorio.usm.cl*. Obtenido de <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/48041/3560901064641UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castro Palomino, P. A. (10 de AGOSTO de 2012). *paolaandreacastropalomino.blogspot.com*. Obtenido de <http://paolaandreacastropalomino.blogspot.com/2012/08/transmision-de-potencia.html>
- Congreso de Colombia. (3 de Octubre de 2001). *www.secretariasenado.gov.co*. Obtenido de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0697_2001.html

- Congreso de Colombia. (13 de Mayo de 2014). *www.secretariasenado.gov.co*. Obtenido de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html
- cursos15.blogspot. (19 de 2016). *cursos15.blogspot.com*. Obtenido de <http://cursos15.blogspot.com/2016/10/correas-ventajas-y-desventajas.html>
- Endesa. (25 de junio de 2020). *www.endesa.com*. Obtenido de <https://www.endesa.com/es/conoce-la-energia/blog/cuadro-electrico-explicacion>
- Escobar Mejia, A., Holguin Londoño, M., & Osorio R, J. (Abril de 2010). *Redalyc.org*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/849/84917316046.pdf>
- Escobar, Holguín, & Osorio. (abril de 2010). Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/849/84917316046.pdf>
- Fernández García, L., & Cervantes Torres, A. (Marzo de 2017). *CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES*. Obtenido de <file:///C:/Users/kendall/Downloads/TESIS%20MER.pdf>
- Fernandez, Y. (3 de Agosto de 2020). *Xataka*. Obtenido de <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>
- greenenergy-latinamerica. (19 de septiembre de 2019). *greenenergy-latinamerica.com*. Obtenido de [greenenergy-latinamerica.com: https://www.greenenergy-latinamerica.com/seguidores-solares-o-fotovoltaicos/](https://www.greenenergy-latinamerica.com/seguidores-solares-o-fotovoltaicos/)
- Helioesfera. (10 de Octubre de 2020). *www.helioesfera.com*. Obtenido de [https://www.helioesfera.com/coordenadas-y-carta-solar/#:~:text=Coordenadas%20solares&text=Fijando%20la%20tierra%2C%20el%20movimiento,%C3%A1ngulo%20constante%20de%2023%2C45%2C%BA.&text=Acimut%20\(%CE%B1\)%3A%20%C3%A1ngulo%20medido,direcci%C3%B3n%20sur%20\(hem](https://www.helioesfera.com/coordenadas-y-carta-solar/#:~:text=Coordenadas%20solares&text=Fijando%20la%20tierra%2C%20el%20movimiento,%C3%A1ngulo%20constante%20de%2023%2C45%2C%BA.&text=Acimut%20(%CE%B1)%3A%20%C3%A1ngulo%20medido,direcci%C3%B3n%20sur%20(hem)
- IDEAM. (2018). *Atlas Climatologico IDEAM*. Obtenido de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>
- IDEAM. (2018). *Atlas Radiacion solar*. Obtenido de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- IDEAM. (s.f.). *IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta>
- Indarbelt. (s.f.). *www.indarbelt.es*. Obtenido de <http://www.indarbelt.es/html/formulas.htm#14>

- Intermec. (s.f.). *www.intermec.com.co*. Obtenido de https://www.intermec.com.co/pdf/correas_sincronicas.pdf
- Juanfrancisco207. (7 de Abril de 2015). *https://juanfrancisco207.wordpress.com*. Obtenido de <https://juanfrancisco207.wordpress.com/2015/04/07/mecanismos-de-seguimiento-solar/>
- Luis LLamas. (2018). *LUIS LLAMAS*. Obtenido de *LUIS LLAMAS*: <https://www.luisllamas.es/>
- Machado Toranzo, N., Lusson Cervantes, A., Oro Carralero, L., Bonzon Henriquez, J., & Escalona Costa, O. (Mayo de 2015). *Scielo*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012015000200008
- Marketing Gela. (19 de Septiembre de 2019). *GreenEnergy Latin america*. Obtenido de <https://www.greenenergy-latinamerica.com/seguidores-solares-o-fotovoltaicos/>
- Martin, M., & Contreras, S. (2016). *repositorio.unicordoba*. Obtenido de <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/455/TRABAJO%20DE%20GRADO%202016%20-%20MARIA%20CAROLINA%20MARTIN%20A%20ARAUJO%20-%20SANDRA%20PATRICIA%20CONTRERAS%20BARRERA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- masvoltaje. (2020). *masvoltaje.com*. Obtenido de <https://masvoltaje.com/blog/tipos-de-cables-electricos-que-existen-n12>
- mecapedia. (21 de 07 de 2006). *www.mecapedia.uji.es*. Obtenido de <http://www.mecapedia.uji.es/correa.htm>
- Mendez Muñis , J., & Cuervo Garcia, R. (2011). *Energia Solar Fotovoltaica*. Madrid: FC Editorial. Fundación Confemetal.
- Mentores Media. (30 de Agosto de 2018). *Simeet Tecnologia Energetica*. Obtenido de <https://simeet.com.co/2018/08/30/que-es-la-radiacion-solar/#:~:text=La%20radiaci%C3%B3n%20directa%20es%20aquella,que%20ocurren%20en%20la%20atm%C3%B3sfera>.
- Planas, O. (16 de Julio de 2015). *Energia Solar*. Obtenido de <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/panel-solar>
- Ramírez, D. (19 de Septiembre de 2017). *http://www.udea.edu.co/*. Obtenido de http://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/udea-noticias/udea-noticia!/ut/p/z0/nZBPTwIxEMW_yu5hj00HWFY8bogalT-aAGlvZuhWGC3t0paNfnu7GBOQG5fJm8mbad-

PC77kwmBDawxkDerYv4ribXA97HbKHEZQ5AWUxVPev-
re9WYL4A9cnBjG8xLK58nkfgrDzmPeaS_Qx24nSi6kNUF9Bb6srQuo95XCD

- Rockbotic. (9 de Marzo de 2014). *rockbotic.com/blog*. Obtenido de <https://rockbotic.com/blog/maquinas-simples-la-polea-parte-1/>
- Rubio, H. (s.f.). *http://ocw.uc3m.es*. Obtenido de http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/diseno-mecanico-1/material_clase/ocw_correas1
- Ruiz, C. (s.f.). *files.cesarruiz.webnode.com.co*. Obtenido de <http://files.cesarruiz.webnode.com.co/200000095-1e5b7204f2/TransmisionPorCorreas.pdf>
- Salermo, F. A. (Junio de 2013). *http://ninive.ismm.edu.cu/*. Obtenido de <http://ninive.ismm.edu.cu/bitstream/handle/123456789/2117/EspinSalermo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL Y EDUCACIÓN. (2012). *www.riohachalaguajira.gov.co*. Obtenido de https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-319469_archivo_pdf_Riohacha.pdf
- Sotysolar. (27 de Junio de 2018). *Sotysolar*. Obtenido de <https://sotysolar.es/placas-solares/seguidores-solares>
- Sumano Fuentes, J. (29 de Marzo de 2012). Obtenido de http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/11479.pdf
- Sumano Fuentes, J. (Marzo de 2012). *Jupiter*. Obtenido de http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/11479.pdf
- suncolombia. (2018). *www.suncolombia.com*. Obtenido de <https://www.suncolombia.com/product/panel-solar-gcl-gcl-m6-60h-mono-crystalline-module-310w/>
- Teknosolar. (Noviembre de 2017). *Teknosolar.com*. Obtenido de <https://www.teknosolar.com/community/index.php?p=/discussion/7/reguladores-de-carga-pwm-o-mppt>
- Teknosolar. (Enero de 2018). *Teknosolar*. Obtenido de <https://www.teknosolar.com/community/index.php?p=/discussion/14/que-es-y-como-funciona-un-inversor-solar>
- Turrillas, E., & Aginaga, J. (20 de Junio de 2014). Obtenido de <http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/11844/TFGTurrillasSalobreEduardo2014.pdf?sequence=1>

victronenergy. (2020). *www.victronenergy.com.es*. Obtenido de <https://www.victronenergy.com.es/solar-charge-controllers/mppt-100-30#pd-nav-secondimage>

Xataka Basic. (3 de Agosto de 2020). *www.xataka.com*. Obtenido de <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>

Zyrianov, F. (Junio de 2017). *oa.upm.es*. Obtenido de http://oa.upm.es/47978/1/TFG_FEDOR_ZYRIANOV.pdf