



Construcción de soporte metálico móvil para sistema solar fotovoltaico

José Valentín García Sogamoso

Código: 10431522060

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Electromecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá, Colombia

2023

Construcción soporte metálico móvil para sistema solar fotovoltaico

José Valentín García Sogamoso

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

Ingeniero Electromecánico

Director (a):

Ph.D. Laura Sofía Hoyos Gómez

Línea de Investigación:

El proyecto se encuentra en la línea de energías renovables y alternativas del grupo GIBIO.

Construcción equipo estructural para panel fotovoltaico en la implementación de prácticas educativas a mejorar el conocimiento y desarrollo educativo.

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Programa Ingeniería Electromecánica

Bogotá, Colombia

2023

(Dedicatoria)

Dedico este triunfo a Dios por ser el instrumento de sabiduría y entendimiento dándome cada día esa voluntad y fuerzas de continuar este proceso de formación profesional más anhelado.

A mi gaviota mi esposa, por brindarme ese apoyo incondicional y con su palabra de aliento día tras día me alimentaba de continuar y terminar este proyecto de vida logrando así llevarlo al final. Dios me la bendiga y la proteja siempre.

Con todo mi amor y cariño a mis dos hijas por ser comprensibles en el tiempo de ellas, me regalaron ese espacio para lograr el cumplimiento de un sueño tan anhelado. Gracias por el apoyo incondicional y creer en mí, lo más hermoso y maravilloso que tengo en mi vida. Mi familia.

José Valentín García Sogamoso

Agradecimientos

Agradezco a toda la comunidad de docentes de la universidad que hicieron posible de este proyecto en mi vida, una de las metas ya casi imposible. Gracias a cada enseñanza, a cada consejo y voz de aliento pues con ello aportaron a mi proceso de formación que hoy termino.

Al ingeniero Andrés Guillermo Molano Decano Nacional Facultad de Ingeniería Mecánica Electrónica y Biomédica, como jurado del proyecto de grado y delegada de la materia sistemas de control I. Ingeniero Carlos Garcia coordinador nacional de ingeniería electromecánica como asesor de tesis y delegada de la materia control II. Ingeniero German Gutiérrez como jurado del proyecto de grado y delegada de la materia electrónica I Ingeniero Henry Moreno Acosta Coordinador Ingeniería Mecánica Bogotá, como delegado del área de formación de diseño I y diseño II. Ingeniero Nicolás Girado Coordinador Ingeniería Mecatrónica Bogotá, como delegado de las materias de mecánica Industrial y Termodinámica II. Ingeniero Carlos Avendaño delegado de las materias eléctricas. Sistemas eléctricos, subestaciones eléctricas, líneas de potencias. Ingeniero Juan Carlos Monroy delegado de las materias dibujo II y dinámica. Todos los demás ingenieros delegados que hicieron parte en cada materia recibida por cada uno de ellos.

Una especial gratitud a la universidad Antonio Nariño en la que doy las gracias por su flexibilidad en los diferentes horarios de clase especialmente la jornada nocturna en la que permite a las personas que trabajamos y a la vez estudiamos tengamos el beneficio de culminar esta etapa de educación superior.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	11
1.1 Planteamiento del problema	12
1.2 Justificación.....	12
1.3 Alcance.....	13
2. OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo general	14
2.2 Objetivos específicos.....	14
3. MARCO TEORICO.....	15
3.1 La radiación solar	15
3.2 Incidencia de la radiación solar en tres tipos.....	17
3.3 Radiación global.....	17
3.3.1 Radiación directa.....	18
3.3.2 Radiación difusa.....	18
3.3.3 Radiación reflejada.....	18
3.3.4 Radiación extraterrestre.....	18
3.4 La radiación solar y el Paso por la atmosfera.....	19
3.4.1 La dispersión	19
3.4.2 Reflexión albedo	20
3.5 Medición de la radiación solar	20
3.5.1 Medición de la radiación global	22
3.5.2 Medición de la radiación difusa	22
3.5.3 Medición de la radiación directa	23
3.6 Descripción de un sistema solar fotovoltaico a pequeña escala	23
3.6.1 Descripción Sistema solar fotovoltaico.....	23
3.6.2 Descripción efecto fotoeléctrico.....	23
3.6.3 Conservación fotovoltaica y eficiencia	24
3.7 Radiación solar y su influencia	24
3.7.1 Influencia de la temperatura.....	24
3.8 Componentes de un Sistema solar fotovoltaico a pequeña escala	25
3.8.1 Módulos fotovoltaicos.....	26
3.8.2 Celda matriz	26
3.8.3 Regulador de carga solar	27
3.8.4 Inversor.....	28
3.8.5 Dispositivos de almacenamiento.....	28
3.8.6 Capacidad de almacenamiento	29
3.8.7 Estado de la carga.....	30
3.8.8 Dispositivo de protección.....	30
3.9 Mantenimiento panel fotovoltaico y componentes complementarios.....	31

3.10 Estructura metálica móvil para soporte de panel solar fotovoltaico de 250 W.....	31
3.10.1 Materiales para estructuras metálicas panel solar fotovoltaico	32
3.10.2 Tipos de estructuras metálicas para panel solar	32
3.10.3 Estructura metálica de panel solar sobre suelo.....	32
3.10.4 Estructura metálica sobre techo.....	33
3.10.5 Estructura metálica sobre teja inclinada.....	34
3.10.6. Estructura sobre pared.....	35
3.10.7 Estructura de triángulo inclinado	36
3.10.8 Estructura sobre mástil o poste.....	36
3.11 Tipos de materiales para soporte metálicos panel solar	37
3.11.1 Estructura en aluminio para panel solar	37
3.11.2 Estructura de acero galvanizado para panel solar	38

4. DESARROLLO METODOLOGICO39

4.1 Diseño del sistema estructura metálica fotovoltaica	39
4.1.2 Medidas de construcción estructura rectangular	39
4.1.3 Geometría de la estructura tubular cuadrada.....	40
4.1.4 Geometría de la estructura ángulo de hierro panel solar	41
4.1.5 Materiales empleados en la estructura metálica móvil..... ¡Error! Marcador no definido.	
4.1.6 Cargas de la estructura metálica.....	17
4.1.7 Área del material cuadrado	18
4.1.8 Peso total base ángulo y panel solar.....	19
4.1.9 Cálculos de la inercia	20
4.1.10 cálculo de esfuerzos normales de la viga A – B.....	21
4.1.11 cálculo de esfuerzos normales de la viga C – D.....	22
4.1.12 Pieza metálica de jiro panel solar.....	26
4.1.13 Pieza metálica tipo pasador de posicionamiento panel solar	27
4.1.14 Diseño estructura metálica móvil.....	27
4.1.15 Diseño final de la estructura.....	28
4.1.16 Tubo estructural cuadrado de 50 x 50 mm.....	30
4.1.17 Ángulo de hierro.....	30
4.1.18 Llantas neumáticas con Sistema de frenos.....	31
4.1.19 Eje en acero de 3/4".....	32
4.1.20 Buje, acople eje céntrico de 3/4"	33
4.1.21 Soldadura eléctrica 60-13.....	33
4.1.22 Pintura electroestática	34
4.1.23 Construcción física de la estructura metálica.....	34
4.1.24 Base guía para la construcción de la nueva estructura metálica móvil	35
4.1.25 Costo de fabricación estructura metálica	35
4.1.26 Compra y puesta de materiales en el taller.....	36
4.1.27 Medidas y cortes que componen la estructura	37
4.1.28 Base inferior estructura metálica.....	38
4.1.29 Instalación de parales o columnas.....	38
4.1.30 Instalación de las llantas.....	39
4.1.31 Construcción segunda base	40
4.1.32 Fijación segunda base sobre las verticales de la primera sección	41

4.1.33 Construcción del marco rectangular panel solar fotovoltaico	41
4.1.34 Instalación marco panel solar	42
4.1.35 Pintura electrostática estructura metálica móvil.....	43
4.1.36 Instalación superficies de madera inferior estructura metálica	44
4.1.37 Instalación segunda superficies de madera parte central estructura.....	44
4.1.38 Terminación y presentación estructura metálica panel solar	45
5. ANALISIS DE RESULTADOS	47
5.1 Análisis de resultados obtenidos	47
5.2 Comportamiento de los ángulos y radiación solar	47
5.3 Análisis de componentes de Sistema solar a pequeña escala.....	48
5.4 Requerimiento y fabricación estructura metálica panel solar	49
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
6.1 Conclusiones	51
6.2 Recomendaciones.....	52
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	53

Tabla de Figuras

Figura 1 Declinación de la Tierra dentro del eje polar y el Ecuador. Fuente: Desconocida	16
Figura 2 Trayectoria y proyección del sol desde el este con sus ángulos. Fuente: [11]	16
Figura 3 La figura muestra las componentes de la radiación solar global: Fuente [12]	17
Figura 4 Paso de la radiación solar por la atmosfera y su comportamiento: Fuente [15]	19
Figura 5 Albedo, radiación solar que hay en la superficie terrestre: Fuente [15]	20
Figura 6 Medición de las tres principales radiaciones solares: Fuente [22]	21
Figura 7 Piranómetro, equipo de medición radiación solar global y difusa: Fuente [25]	22
Figura 8 Pirheliómetro, equipo de medición radiación solar directa: Fuente [25]	23
Figura 9 Componentes de un sistema solar fotovoltaico a pequeña: Autoría propia	25
Figura 10 Diseño arquitectónico de los paneles solares de 250W: Fuente [28]	26
Figura 11 Composición de las películas panel solar fotovoltaico: Fuente [29]	27
Figura 12 Regulador de carga, energía solar del panel fotovoltaico: Fuente [35]	27
Figura 13 Inversor de un sistema solar fotovoltaico continua en corriente alterna: Fuente [35]	28
Figura 14 La batería, dispositivo de almacenamiento de energía solar: Fuente [36]	29
Figura 15 Tipos de estructuras metálicas de paneles solares sobre suelo: Fuente [44]	33
Figura 16 Tipos de estructuras metálicas de paneles solares sobre techo: Fuente [44]	34
Figura 17 Tipos de estructuras metálicas de paneles solares, tejado inclinado: Fuente [44]	35
Figura 18 Tipo de estructura metálica de paneles solares sobre la pared: Fuente [45]	35
Figura 19 Tipo de estructura metálica triangular, paneles solares sobre cubierta: Fuente [46]	36
Figura 20 Tipo de estructura metálicas de paneles solares móvil: Fuente [46]	37
Figura 21 La figura muestra las dimensiones del marco estructural cuadrado (autoría propia)	41
Figura 22 La figura muestra las dimensiones del marco estructural cuadrado (autoría propia)	41
Figura 23 La figura muestra el área del material del tubo estructural cuadrado (autoría propia)	19
Figura 24 La figura muestra los esfuerzos de la viga A-B estructural (autoría propia).....	21
Figura 25 La figura muestra los esfuerzos de la viga C-D estructural (autoría propia).....	22
Figura 26 La figura muestra los esfuerzos de la estructura que recibe el panel (autoría propia)	24
Figura 27 La figura muestra los esfuerzos de estructura y llantas (autoría propia).....	25
Figura 28 La figura muestra los esfuerzos de estructura y llantas (autoría propia).....	27
Figura 29 La figura muestra los esfuerzos de estructura y llantas (autoría propia).....	27
Figura 30 La figura muestra el diseño de la estructura metálica móvil (autoría propia)	28
Figura 31 La figura muestra el diseño final de la estructura metálica móvil (autoría propia)	29
Figura 32 Estructura del tubo cuadrado y su sección transversal. (Acesco, s.f.).....	30
Figura 33 Ángulo a implementar en la base de soporte panel solar. (Acesco, s.f.)	31
Figura 34 Llantas, estructura metálica rodante. Fotografía autor	32
Figura 35 Eje en acero, base del panel solar: (cotizar este producto-Sumatec, 2023).....	32
Figura 36 Bujes, eje céntrico, base del panel solar: (cotizar este producto-Sumatec, 2023)	33
Figura 37 Soldadura 13-60 aplicada a estructura: (cotizar este producto-Sumatec, 2023).....	33
Figura 38 Pintura electroestática: (pintura electroestática poliesteer-pintuco, 2023)	34
Figura 39 Estructura metálica, como guía: fuente (Arizaga Ibarra et al.)	35
Figura 40 Materiales ubicados en el taller, sitio de trabajo y fabricación: Fotografía autor	37
Figura 41 Medidas de los materiales estructurales a cortar: Fotografía autor	37
Figura 42 Muestra la base inferior de la estructura metálica: Fotografía autor	38
Figura 43 Muestra las secciones verticales de la estructura metálica: Fotografía autor	39
Figura 44 Instalación de llantas sobre la base inferior metálica: Fotografía autor	40
Figura 45 Construcción de la segunda base de la estructura metálica: Fotografía autor	40
Figura 46 Instalación base metálica parte superior: Fotografía autor	41

Figura 47 Base en ángulo metálico, soporte panel solar fotovoltaico: Fotografía autor	42
Figura 48 Instalación marco sobre la estructura metálica panel solar: Fotografía autor	43
Figura 49 estructura metálica solar en pintura negra electroestática: Fotografía autor	43
Figura 50 Instalación, primera superficie de madera en la estructura: Fotografía autor	44
Figura 51 Instalación segunda superficie de madera en la estructura: Fotografía autor	45
Figura 52 La figura muestra la estructura metálica para panel solar fotovoltaico, terminada en su totalidad para entrega de proyecto: Fotografía autor	46

Lista de tablas

Tabla 1 Muestra los tipos de instrumentos para la medición de la radiación solar: Fuente [22]	21
Tabla 2 La tabla muestra las referencias del tubo cuadrado en mm de su espesor y longitudes. (Acesco, s.f.).....	39
Tabla 3 La tabla muestra las características técnicas de los materiales cantidad y medidas. (autoría propia).....	40
Tabla 4 La tabla muestra las características técnicas del panel solar. (solar panel)	42
Tabla 5 La tabla muestra las propiedades mecánicas del acero negro ASTM A500. (autoría propia).....	¡Error!
Marcador no definido.	
Tabla 6 La tabla muestra los valores de carga de la estructura. (autoría propia).....	17
Tabla 7 La tabla muestra las áreas de y cálculos del tubo estructural cuadrado. (autoría propia).....	20
Tabla 8 Registro de costo de los materiales empleados en la construcción de la estructura metálica móvil:	
Propiedad autor	36

Lista de ecuaciones

<i>Ecuación 1</i>	15
<i>Ecuación 2</i>	15
<i>Ecuación 3</i>	20
<i>Ecuación 4</i>	18
<i>Ecuación 5</i>	18
<i>Ecuación 6</i>	19

Resumen

El trabajo desarrollado está enfocado en la segunda metodología. En esto se busca que la totalidad del panel fotovoltaico se mantenga en posición perpendicular a la radiación solar fuente de luz lumínica, el cual se realizará mediante direccionamiento manual de la base del panel solar.

El soporte metálico móvil queda construido para que a futuro con este proyecto de fabricación de estructura metálica se instalen todos los elementos del sistema fotovoltaico, componentes eléctricos para la generación de energía solar y suministre la corriente necesaria a los equipos a conectar.

El presente trabajo de construcción, tiene la finalidad de fabricar un soporte metálico móvil para un sistema solar fotovoltaico, el cual viene construido en tubo cuadrado de 50 x 50 mm con un espesor de 2 mm la estructura metálica se fabricó con las siguientes dimensiones, 1750 mm de ancho x 800 mm de profundidad x 1760 mm de altura. Se fabricó una base en ángulo metálico estructural de 35 mm x 3.2 mm de espesor. Con las siguientes medidas 995 mm x 1646 mm formando un rectángulo, donde se ubicará el panel solar. La estructura metálica cuenta con un sistema rodante de cuatro llantas que me permite movilizarlo de un lugar a otro.

Para el proyecto de construcción del soporte metálico móvil sistema solar fotovoltaico se realizó una investigación aplicada descriptiva al estudio analítico, el cómo de la radiación solar y de los diferentes tipos de radiación solar, se obtiene energía para cubrir la demanda energética de un país y en general de todo el planeta tierra. En el consumo en plantas, fábricas o en casos mínimos. Para lograr la máxima optimización de la energía en una instalación fotovoltaica se encuentran dos metodologías que consisten. La primera es mejorar los elementos internos que tiene un panel fotovoltaico par que aumente su rendimiento. La segunda radica en aumentar al máximo la cantidad de radiación solar obtenida por el panel.

Abstract

The work developed is focused on the second methodology. In this it is sought that the entire photovoltaic panel is kept in perpendicular position to the solar radiation source of light, which will be done by manual addressing of the base of the solar panel.

The mobile metallic support is built so that in the future, with this metallic structure manufacturing project, all the elements of the photovoltaic system are installed and the solar panel is joined to the battery and other electrical components for the generation of solar energy and supplies the necessary current to the equipment to be connected. The present work of construction, has the purpose of manufacturing a mobile metal support for a photovoltaic solar system, which is built by square tube of 50 x 50 mm with the following dimensions, 1670 mm wide x 725 mm deep forming a rectangle. 1750 mm high, with a metal structural frame of 995 mm x 1670 mm in metal angle of 35 mm x 3.2 mm, where the solar panel will be installed. The metallic structure has a rolling system by means of four wheels that allows me to move it from one place to another.

For the construction project of the metallic support for the mobilization of the photovoltaic solar system, a descriptive applied research was carried out for the analytical study of how the solar radiation and the different types of energy is obtained to cover the energy demand of a country. In the consumption in plants, factories or in minimal cases. To achieve maximum energy optimization in a photovoltaic installation there are two methodologies that consist. The first is to improve the internal elements of a photovoltaic panel to increase its performance. The second is to maximize the amount of solar radiation obtained by the panel.

1. INTRODUCCIÓN

La energía solar fotovoltaica se ha convertido en un pilar de la transición energética a nivel mundial gracias a su escalabilidad, reducción de costos de inversión y madurez tecnológica. En Colombia el uso de sistemas solares fotovoltaicos está jurídicamente sustentado en la Ley 1715 de 2014 que permite y promueve su implementación a pequeña, mediana y gran escala [1]. No obstante, aunque exista un marco legal que incentive la transición energética con incentivos de tipo tributario es importante fortalecer las capacidades técnicas para impulsar ésta decididamente. En ese sentido, es relevante crear herramientas que faciliten la interacción con las tecnologías que explotan las energías renovables como fuente energética [2].

Por otra parte, la tecnología solar fotovoltaica en Colombia permite cerrar la brecha de electrificación rural; es decir, contribuye a incrementar el acceso a la electricidad a poblaciones rurales y apartadas que están por fuera del alcance del Sistema interconectado Nacional - SIN. Para facilitar el proceso de electrificación rural y del uso de energías renovables es importante capacitar al personal en el funcionamiento, instalación y mantenimiento de estas tecnologías [3]. Por lo tanto, el fortalecimiento de los conocimientos del uso de la energía solar por medio de la tecnología fotovoltaica impulsará la transición energética en Colombia.

Para mejorar el proceso de capacitación de personal con conocimientos técnicos es indispensable crear espacios que cuenten con los equipos necesario. Sin embargo, no siempre es posible que las personas, por ejemplo, de poblaciones rurales y apartadas, puedan acceder a este tipo de formación. Por lo tanto, es relevante que desde las instituciones de educación superior se creen espacios para acercar a la comunidad con la tecnología. Una alternativa, es la implementación de laboratorios móviles compactos para realizar actividades de “laboratorios comunitarios”. Este tipo de iniciativas tienen un enfoque social que busca cubrir una necesidad de apropiación del conocimiento. En ese sentido, este proyecto saca ventaja de equipos con los que actualmente

cuenta la Universidad Antonio Nariño, y construye una estructura metálica para crear un laboratorio móvil que facilite la capacitación de la comunidad estudiantil y en un futuro a la comunidad en general.

1.1 Planteamiento del problema

A pesar de que la tecnología solar fotovoltaica está en una fase de comercialización, es importante fortalecer los conocimientos de ésta. El proceso de capacitación y de inclusión de personal local, principalmente cuando la tecnología solar se utiliza para electrificar zonas rurales y apartadas, incrementa la oportunidad de éxito de los proyectos. Consecuentemente, es importante que desde la academia se contribuya al proceso de formación de personal para realizar desde tareas básicas a unas más complejas cuando la persona tiene conocimientos previos en el área. Sin embargo, como la capacitación requiere que se involucre a la comunidad, es necesario crear pequeños bancos de pruebas móviles que faciliten el acercamiento a la tecnología solar fotovoltaica. No obstante, muchas veces los bancos de capacitación están fijos en un punto que muchas veces no es cercano a las comunidades.

Por otro lado, para facilitar procesos de investigación como caracterización de módulos fotovoltaicos en diferentes condiciones ambientales, ensayos de orientación, reducción de eficiencia por efecto de la temperatura, entre otros es imprescindible que el módulo fotovoltaico sea trasladado a las condiciones ambientales requeridas. Para ello es necesario mover diferentes equipos; por lo tanto, tener un banco de pruebas móviles facilita obtener las mediciones bajo las condiciones requeridas que son insumo base para el análisis.

1.2 Justificación

El desarrollo de este proyecto permitirá tener un banco de pruebas móvil para el desarrollo de prácticas de energía solar fotovoltaica en diferentes espacios dentro de la Universidad, y de ser

posible fuera de ésta para capacitación a comunidades a través de iniciativas como “laboratorios comunitarios”.

También con este proyecto se puede brindar una forma de apoyo o ayudas a los lugares que no cuentan con una red de distribución energética a nivel departamento municipal o rural a estos lugares sería de gran ayuda al contar con un sistema solar fotovoltaico a pequeña escala.

1.3 Alcance

Este trabajo presentará una estructura metálica para soportar un panel solar fotovoltaico de 250 W; sin embargo, no se presentará diseño básico o detallado de la estructura.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Construir una estructura metálica para panel solar fotovoltaico de 250 W.

2.2 Objetivos específicos

- Describir las componentes principales de la radiación solar. Se investigan las principales caracterizaciones de la incidencia de la radiación solar en el planeta, logrando describir las tres principales radiaciones solares.
- Describir los componentes de un sistema solar fotovoltaico a pequeña escala. Se logra describir los diferentes componentes eléctricos y electrónicos de un sistema de generación de energía solar fotovoltaica a pequeña escala. Tales como panel solar, controlador, inversor, batería, logra describir la conversión de energía DC a AC, por medio de uno de los componentes electrónicos (Inversores).
- Presentar soporte metálico móvil para soportar panel solar fotovoltaico de 250 W. Base estructural construida a partir de los datos de medidas dadas por la coordinadora de tesis acompañada de una figura estructural como guía para la construcción de la nueva estructura para el panel solar fotovoltaico del proyecto.

3. MARCO TEORICO

3.1 La radiación solar

La radiación solar es la energía emitida por el sol [4]. Después de viajar en el espacio y atravesar la atmósfera una parte llega a la superficie de la Tierra. Ésta es la base de diversos procesos biológicos y físicos en la Tierra como la fotosíntesis, movimiento de masas de aire, entre otros [5]. Además, la radiación solar puede ser capturada para fines energéticos y convertir ésta en calor y electricidad por medio de diferentes tecnologías [6]. Por otra parte, el movimiento de la Tierra produce una variación horaria de la intensidad de la potencia de la radiación que alcanza la superficie en un determinado punto [7].

El movimiento de la Tierra a lo largo del año hace que algunas variables que influyen en la estimación de la irradiación solar cambien en cada día del año [8]. Esta variación hace que la distancia entre Sol-Tierra cambie de acuerdo con la Ecuación 1

Ecuación 1

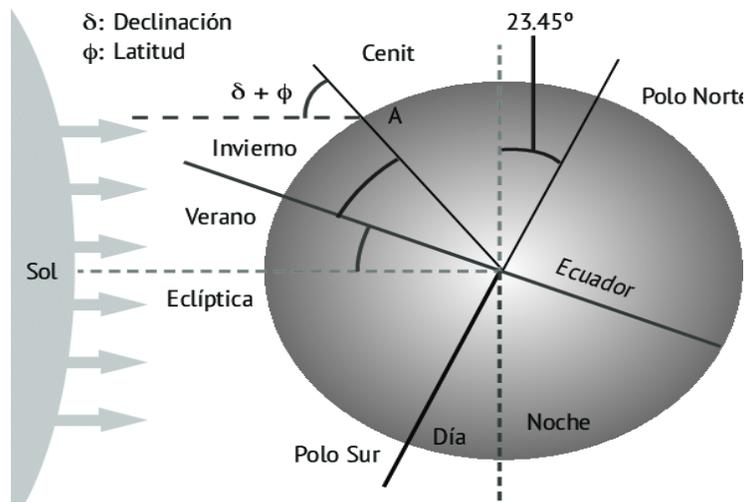
$$d = 1,5 \times 10^{11} \left\{ 1 + 0,017 \sin \left[\frac{360(n-93)}{365} \right] \right\}$$

Donde n es el día del año donde el primero de enero es 1 y el 31 de diciembre es 365 en años no bisiestos. El eje polar de la Tierra, que es sobre el cual ésta rota, tiene una inclinación de $\pm 23,45^\circ$ correspondiente al plano de la órbita de la Tierra inmediaciones del sol [9]. Se muestra en la figura 1. El cambio de este ángulo, que se conoce como declinación, hace que existan las estaciones y se calcula usando la Ecuación 2 [10].

Ecuación 2

$$\delta = 23,45^\circ \sin \left[\frac{360(n-80)}{365} \right]$$

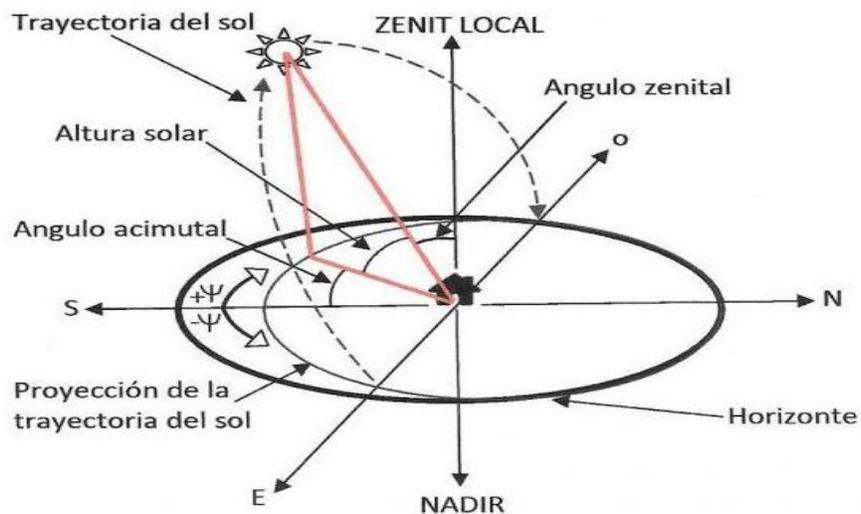
Figura 1 Declinación de la Tierra dentro del eje polar y el Ecuador. **Fuente:** [11]



Otro punto de referencia de la posición relativa del sol es el cenit, que es una línea perpendicular a la Tierra. El ángulo cenital es el ángulo entre el cenit y la trayectoria Sol Tierra, como muestra la figura 2

Un ángulo complementado al cenital es la altura solar, estos dos ángulos cambian a lo largo del día a medida que la posición relativa del sol varía hora a hora. En un lapso de 24 horas, la Tierra rota 360° por lo tanto la posición del sol cambia 15° cada hora [11].

Figura 2 Trayectoria y proyección del sol desde el este con sus ángulos. **Fuente:** [11]



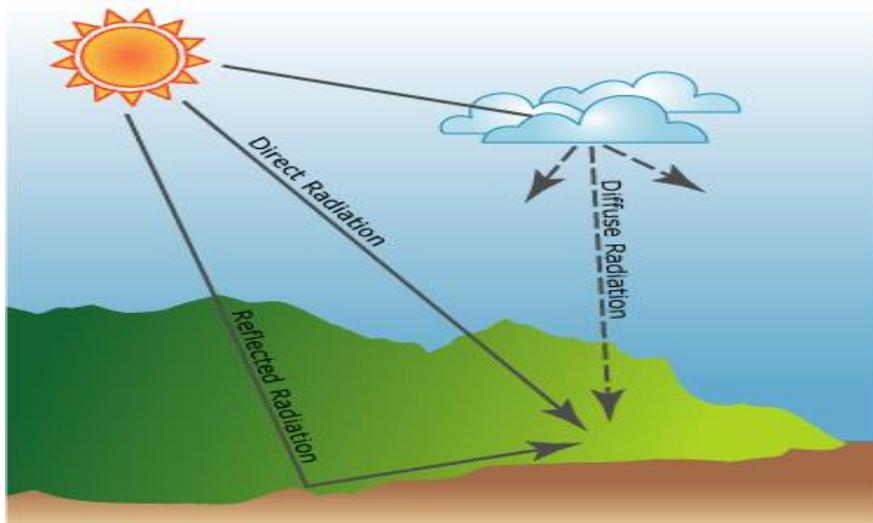
3.2 Incidencia de la radiación solar en tres tipos

La radiación solar proveniente del interior del sol, tiene un proceso de reacciones que produce una pérdida de masa y que a su vez se genera una transformación de energía, la cual se dispersa como radiación electromagnética denominada la radiación solar [12]. Esta radiación que es emitida por el sol entra a la atmósfera de la tierra en forma debilitada. Por metro cuadrado 1360 W/m^2 resultado de la distancia del sol a la tierra sufriendo una atenuación a causa de la capa atmosférica por esta razón tenemos en la superficie una radiación cercana a los 1000 W/m^2 . Esta incidencia de los rayos solares sobre la tierra se conoce como la radiación solar en tres tipos [13]

3.3 Radiación global

La radiación solar global es todo lo que llega a la tierra en radiación, medida de una superficie horizontal donde la sumatoria de la radiación difusa más la radiación directa es la global [16].

Figura 3 La figura muestra las componentes de la radiación solar global: **Fuente [12]**



3.3.1 Radiación directa

El factor directo de la radiación solar es aquella que se percibe directa del disco solar, en las direcciones perpendiculares a los rayos del sol. No sufre reflexión ni difusión, llega a la tierra sin cambio de dirección. Esta radiación es directa [14].

3.3.2 Radiación difusa

La componente de la radiación difusa es aquella que se obtiene en todo el hemisferio celeste, privilegio hecho del disco solar. Como consecuencia se origina los desarrollos de reflexión y difusión que incluye igualmente la radiación proveniente de la reflexión del suelo [14].

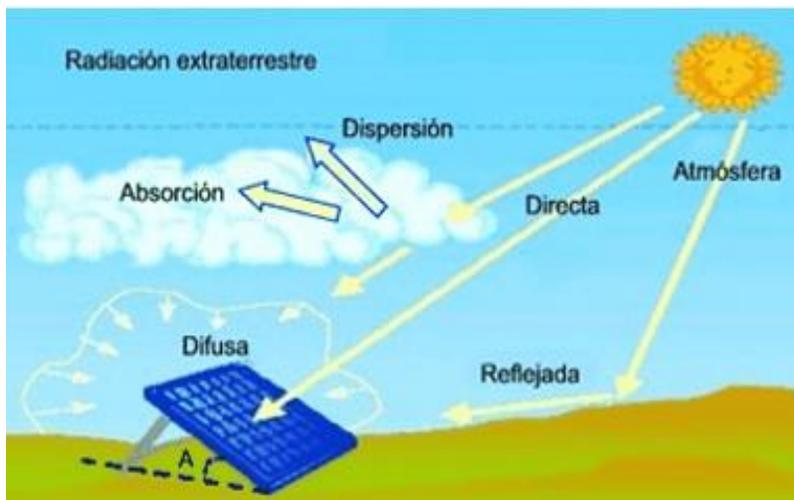
3.3.3 Radiación reflejada

Esta radiación se compone de la directa y difusa y es recibida por medio de la reflexión del suelo o por diferentes superficies cercanas. La radiación más importante dentro de los tres tipos es la radiación directa para el uso fotovoltaico y en fototérmicas.

3.3.4 Radiación extraterrestre

La radiación solar que incide en el límite de la atmosfera terrestre se conoce como la radiación extraterrestre. Esta radiación se percibe a diario en superficies horizontales sobre el límite de la atmosfera [17].

Figura 4 Paso de la radiación solar por la atmosfera y su comportamiento: **Fuente [15]**



3.4 La radiación solar y el Paso por la atmosfera

La fuente principal de energía es el sol en todas las transformaciones que suceden en la tierra el planeta recibe el 99.9% de energía océanos-atmósfera que es producida y proveniente del sol.

Al pasar esta radiación del sol en la atmósfera padece una evolución de debilidad causada por la difusión de aerosoles produciendo esta causa. La absorción de gases y moléculas que suspenden partículas y la reflexión en las nubes, entretanto el sol irradia energía en radiación de manera refractada siendo absorbida por la superficie terrestre [18].

3.4.1 La dispersión

El viaje de la radiación del sol lo hace de forma recta, no obstante, las partículas y los gases en la atmósfera hacen desviar esta energía, conocida con el nombre de dispersión. La dispersión sucede cuando los fotones afectan a un impedimento sin ser absorbido distorsionando únicamente la dirección de recorrido que hace el fotón, la dispersión está dependiendo a la longitud de onda, de forma a cuánto sea más reducido será superior la dispersión [19].

3.4.2 Reflexión albedo

La fracción es la amplitud de reflexión a la radiación que se refleja del espacio terrestre o en otra superficie designa albedo. El promedio del albedo es de un 30%. A nivel planetario. Esta energía se desperdicia sin intervenir al calentamiento atmosférico global [20].

Existe una relación entre radiación reflejada y radiación incidente entre un área horizontal conocida como el albedo y se manifiesta de manera de porcentaje así: [21].

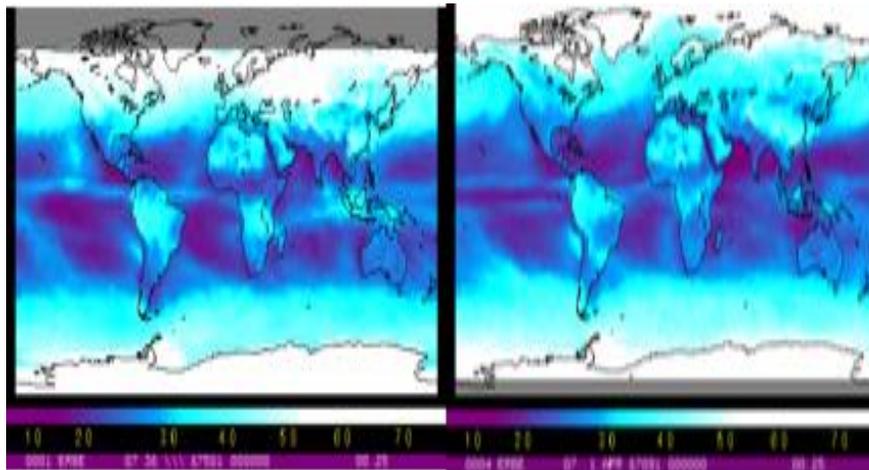
Ecuación 3

$$A\% = \frac{R}{H} * 100$$

R = radiación reflejada de flujo

Albedo = A% H = incidente total de flujo

Figura 5 Albedo, radiación solar que hay en la superficie terrestre: **Fuente [15]**



3.5 Medición de la radiación solar

El sol establece una extraordinaria fuente de energía que incluye todo el sistema solar emitiendo un flujo radiante de $3.85 \cdot 10^{26}$ W [21]. De esta inmensa cantidad de energía del sistema solar, alrededor de $1.1 \cdot 10^{17}$ W es absorbida por nuestro planeta, equilibrando la energía que hace producir los movimientos atmosféricos y la supervivencia de la vida. Se puede asegurar que la radiación solar

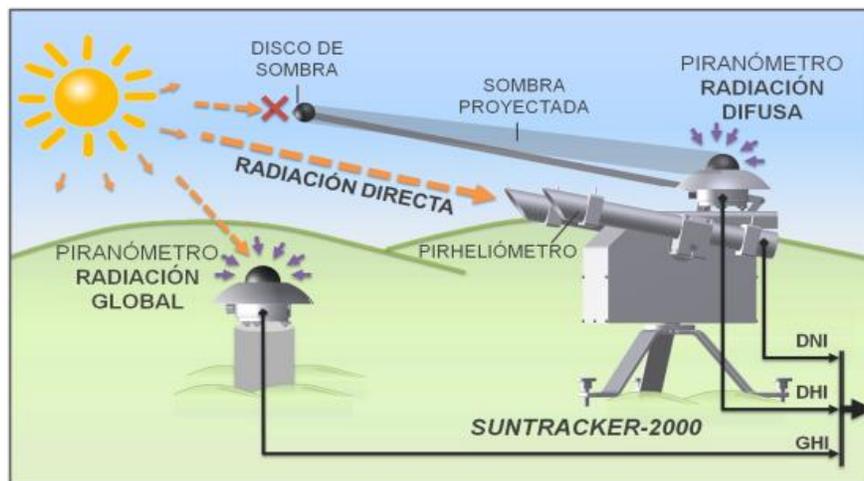
se halla en el origen último del ejercicio total de los procesos físicos y biológicos que dan lugar en el planeta.

La radiación solar llega a las capas exteriores de la atmosfera planetaria a una cadencia que varía ligeramente, de acuerdo con el grado de actividad de la atmosfera solar entre la distancia tierra-sol. Se caracteriza una constante solar que viene dada por la cantidad de energía radiante, procedente del sol en término medio se obtiene en unidad de periodo y el área en una extensión vertical entre la radiación solar que se hallan situados dentro del margen externo de la atmosfera, donde el trayecto de la tierra es de 1 unidad astronómica (149,68 x km.). Con la medición [22].

Tabla 1 Muestra los tipos de instrumentos para la medición de la radiación solar: **Fuente [22]**

Instrumento para medir la radiación solar	Pirheliómetro absoluto: Mide la radiación solar directa
	Pirheliómetro de iniciación normal: Mide la radiación directa.
	Pirheliómetro con filtros: Mide la radiación sola directa en bandas espectrales anchas
	Fotómetro solar: Mide la radiación solar directa en banda espectrales estrechas
	Piranómetro: Mide la radiación solar global, radiación celeste, radiación solar reflejada
	Piranómetro espectral: Mide la radiación global en intervalos espectrales de banda ancha

Figura 6 Medición de las tres principales radiaciones solares: **Fuente [22]**



3.5.1 Medición de la radiación global

La medida de la radiación global se hace por medio de unos equipos nombrados piranómetros.

Estos instrumentos reciben en su área receptora en una forma horizontal la radiación que viene desde el grupo de bóveda celeste.

Los componentes sensoriales de estos equipos son de la actualidad, en la mayor parte, es de tipo electromagnético [23].

3.5.2 Medición de la radiación difusa

La radiación difusa se mide con un equipo piranómetro equipado con los suficientes dispositivos que se denominan “bandas de sombra” su trabajo es eliminar la componente directa de la radiación solar [24]. El diseño de esta banda es la de cubrir completamente la cúpula del piranómetro, de acuerdo a cualquier posición del disco solar durante el día. Atribuido que la perteneciente banda intercepta igualmente parte de la radiación difusa total [25]. Este hecho se tiene que compensar con la introducción del factor de corrección nombrado “factor de banda” [26].

Figura 7 Piranómetro, equipo de medición radiación solar global y difusa: **Fuente [25]**



3.5.3 Medición de la radiación directa

Los instrumentos que miden la componente directa de radiación solar, se logran por medio de un instrumento de aspecto telescópico llamado pirheliómetro. Esta clase de instrumento que permanece en dirección del desplazamiento aparente del sol dentro de la bóveda celeste instalándose sobre un equipo nombrado seguidor solar el cual mantiene permanentemente alineado el eje del equipo de forma céntrica al disco solar [27].

Figura 8 Pirheliómetro, equipo de medición radiación solar directa: **Fuente [25]**



3.6 Descripción de un sistema solar fotovoltaico a pequeña escala

3.6.1 Descripción Sistema solar fotovoltaico

La generalidad de los sistemas fotovoltaicos se enmarca en un conjunto de componentes electrónicos y eléctricos que generan energía eléctrica desde la radiación solar. han venido utilizando en Colombia desde el inicio de los años setenta [30].

3.6.2 Descripción efecto fotoeléctrico

El principio físico del efecto fotoeléctrico se basa en el crecimiento de la tecnología utilizada directamente de radiación del sol creando electricidad. La propiedad del efecto radica en

determinados materiales que aumenten el número de electrones independiente como solución de la incidencia a la radiación electromagnética, mayormente luz ultravioleta visible [31].

3.6.3 Conservación fotovoltaica y eficiencia

La conservación y eficiencia de una celda solar o célula fotovoltaica se ha declarado como el porcentaje energético solar incidente que un mecanismo fotovoltaico es capaz de transformar en electricidad [31].

Detalladamente, la eficiencia de transformación puede tomarse como la proporción de la obtención de energía con relación a la energía recibida del sol como la proporción de la potencia de salida con referencia a la capacidad recibida del sol. La eficiencia de las celdas solares está acrecentada como producto de las diferentes investigaciones que progresan de las distintas tecnologías utilizadas, a corto plazo la expectativa es acortar la barrera y llegar al 50% en función de eficiencia en los sistemas fotovoltaico de generación de energía [31].

3.7 Radiación solar y su influencia

Dentro de la generación de corriente dada por las celdas solares es ocupación de la irradiación incidente referenciada de la misma [32].

En cuanto aumenta la irradiación incrementa la corriente creada por la celda solar, de modo que se realiza esquemáticamente. En esta característica exige de que las celdas solares se prolonguen la mayor cantidad de tiempo de frente al sol [32].

3.7.1 Influencia de la temperatura

El funcionamiento de las células solares de un buen desempeño es mejor a bajas temperaturas, de acuerdo a las propiedades de los materiales de construcción de los paneles solares.

En los materiales ellos pierden eficiencia en la forma que aumenta su temperatura. Puesto que la mayor parte de esta energía de luz incidente referente a las células solares se transforman en calor,

es aconsejable hacer que coincida las características del material en las células referente a la temperatura de procedimiento para una mayor seguridad se acondiciona con un sistema de enfriamiento [32].

3.8 Componentes de un Sistema solar fotovoltaico a pequeña escala

Los sistemas solares fotovoltaicos generan energía eléctrica directa de la radiación solar. La radiación electromagnética procedente del sol incide encima del módulo o panel solar, en esta pieza se modifica la radiación solar percibida en electricidad unipolar conocida como continua actividad básica de cambiar la radiación solar en electricidad la produce el módulo fotovoltaico [28]. La energía creada en el módulo fotovoltaico es energía continua regularmente de voltaje mínimo entre 12V, 24V,48V. Que a su vez se entrega al regulador procediendo a llevarla a la batería para después pasarla al inversor. La batería guarda la energía obtenida para luego utilizarla cuando no se tenga disponibilidad de la luz solar y de esta forma el inversor es el gestor de cambiar la electricidad continua y pasarla a electricidad alterna que llevara a los electrodomésticos o equipos que la requieran [33].

Figura 9 Componentes de un sistema solar fotovoltaico a pequeña: **Autoría propia**



3.8.1 Módulos fotovoltaicos

Las células solares o celdas se consideran comercialmente como el componente más pequeño utilizable en el mercado para cambiar la radiación solar en electricidad. La composición de las celdas solares con idénticas características que permiten aumentar tanto la corriente como el voltaje producida y conformada en lo tanto se conoce como un módulo fotovoltaico o panel solar fotovoltaico [34].

Figura 10 Diseño arquitectónico de los paneles solares de 250W: **Fuente [28]**

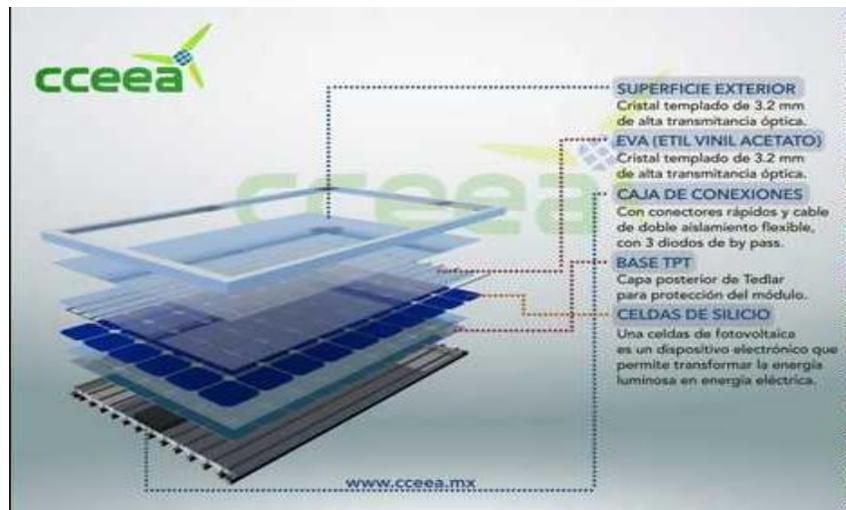


3.8.2 Celda matriz

Los módulos a su vez pueden facilitar la conexión en paralelo, en serie o también de forma combinada paralelo-serie configuran un enlace o matriz fotovoltaica nombrada también como un paquete de arreglo solar. En los siguientes factores habitualmente se consideran cuando se define el rendimiento del panel solar fotovoltaico.

Las características del rendimiento dado en la celda solar, lo determina los factores de degradación que relaciona a los diseños de montaje de los paneles fotovoltaicos, la condición de las consideraciones ambientales que relaciona a los efectos del cambio de temperatura en la articulación de las celdas solares relacionado con los cálculos de la potencia del panel solar a la salida [34].

Figura 11 Composición de las películas panel solar fotovoltaico: **Fuente [29]**



3.8.3 Regulador de carga solar

Son dispositivos electrónicos que se utilizan para regular la energía proveniente de las placas solares. Este dispositivo electrónico ubicado entre el panel solar y el campo de baterías, funciona controlando el paso de energía que circula entre los dos dispositivos. El regulador de carga solar funciona controlando la corriente generada por el panel solar, por medio del control de intensidad y voltaje que circulan a la batería. De acuerdo a la capacidad de la batería los reguladores de carga solar regulan este flujo de energía evitando que esta se sobrecargue.

Figura 12 Regulador de carga, energía solar del panel fotovoltaico: **Fuente [35]**



3.8.4 Inversor

Los paneles fotovoltaicos exclusivamente se suministra el tipo de corriente continua o unidireccta que proviene de la iluminación por la luz del sol.

En caso que se quiera utilizar equipos de funcionamiento de corrientes alterna es obligatorio conservar un dispositivo de conversión de esta corriente eléctrica de continua en alterna [35]. Igual dispositivo es conocido con el nombre de inversor que actúa como elemento de empalme en medio de la corriente continua producida en el panel solar fotovoltaico, carga que se requiere fluido eléctrico alterno.

Las principales propiedades que debe poseer un inversor se destacan: en la entrada voltaje de alimentación, en la salida potencia máxima y la eficacia. El voltaje operativo de entrada del inversor se elige con argumentación en el voltaje de entrega del panel solar fotovoltaico [35].

Figura 13 Inversor de un sistema solar fotovoltaico continua en corriente alterna: **Fuente [35]**



3.8.5 Dispositivos de almacenamiento

Dentro de los sistemas solares fotovoltaicos aislados se necesita una estabilización relativa significativamente entre las celdas solares, que son el centro del sistema y fundamentalmente el almacenamiento de energía.

La radiación solar no coincide perfectamente con la demanda de energía debido a que no es frecuentemente la radiación solar ni que el sol se encuentre siempre disponible en todo tiempo. Por esta situación se requiere un sistema de baterías como depósito de energía que es suministrada por la componente fotovoltaica [36].

Las baterías son de los elementos más significativo en el sistema, su funcionalidad principal es guardar la energía que produce el panel y distribuirla a equipos en el momento necesario. Son diseñadas y construidas únicamente a ser usadas en sistemas fotovoltaicos. Es obligatorio preservar la batería ubicándola en una base de madera acomodándola en un lugar recomendado, con buena ventilación y que el sol no le entre. En los componentes fotovoltaicos esencialmente se utilizan las baterías de plomo-acido [36].

Figura 14 La batería, dispositivo de almacenamiento de energía solar: **Fuente [36]**



3.8.6 Capacidad de almacenamiento

Se denomina capacidad a la cuantía de energía que una batería logra almacenar. De igual modo,

Una batería solamente logra almacenar una cuantía fija de energía eléctrica que generalmente la batería tiene el dato en la parte exterior. Donde especifica cómo se mide su capacidad que viene dado en amperios-hora (Ah). Esto señala la medida de energía que puede generar la batería

primeramente al descargarse totalmente (observamos la unida amperios-hora que realmente no es una medida de energía; se debe multiplicar entre el voltaje de la batería por amperios-hora para tener watts-hora [37]).

3.8.7 Estado de la carga

La corriente eléctrica de carga es la que permanece provista la batería y esta almacenada en su interior. Puede tomar menos o más tiempo de llenado para el cargue de una batería completamente, esto depende del volumen de la corriente con la que se carga [38].

Descarga es la condición de la batería en el tiempo que su energía permanece usada por una carga (tenemos como ejemplo TV, bombas de agua, luces y la radio).

Estado de carga representa la medida de energía restante de la batería. Su indicación es si una batería se halla completamente cargada, a medias carga o descargadas. La batería de plomo-acido, se medir el estado de la carga empleando un voltímetro o un hidrómetro [38].

3.8.8 Dispositivo de protección

Los elementos de protección se deben cumplir en toda instalación eléctrica, es lo que garantiza un mínimo de aislamiento eléctrico entre equipos y materiales utilizados, generalmente me garantiza una buen protección de los componentes y funcionamiento; se deben instalar todos los dispositivos necesarios que me garantizan la seguridad del personal que operen a contactos críticos, específicamente en puntos donde el voltaje sea superado los 50V en corriente alterna o en caso de corriente continua que sea superado los 120V. Toda instalación debe contar con todas las protecciones que sean necesarias contra cortocircuito, sobretensiones y sobrecargas tanto internas como externas [39].

3.9 Mantenimiento panel fotovoltaico y componentes complementarios

Para los paneles solares es necesario hacer una verificación visual continua. una inspección a todo el sistema de soporte, modulo fotovoltaico, batería, inverso y controlador de carga, con una limpieza rutinaria para constatar su estado operativo colocando especial atención en las conexiones eléctricas y en los datos de voltajes de circuito, que tienen que estar dentro de las consideraciones recomendadas por el fabricante [39].

Para la batería el procedimiento de mantenimiento es de acuerdo a las características de la batería utilizada, generalmente las condiciones de inspección se basan en observar los sitios cercanos a las baterías en busca de un inicio de fugas o que tenga humedad los dispositivos.

El procedimiento para el regulador de voltaje es parecido, el aseguramiento es revisar que las conexiones permanezcan en buen estado dentro de los parámetros de trabajo del regulador estando similar los datos teóricos con los datos físicos del fabricante [39].

3.10 Estructura metálica móvil para soporte de panel solar fotovoltaico de 250 W

Dentro de los elementos importante que tienen las instalaciones solares están las estructuras metálicas ya que su funcionalidad es doble. Una se basa en la sujeción correcta de los paneles solares y la otra la posibilidad que tiene de cambiar la inclinación u orientación de los paneles fotovoltaicos con la garantía de obtener en la instalación un mejor rendimiento.

Las orientaciones de las placas solares dependen del tipo de estructura metálica que se realice teniendo definido el tipo de soporte, así como la capacidad de potencia, cantidad de paneles y del lugar de instalación del sistema solar que pueda aprovechar el máximo la radiación del sol y la generación del efecto fotovoltaico que se genera en ellos [40].

3.10.1 Materiales para estructuras metálicas panel solar fotovoltaico

Las diferentes estructuras y tipos de soporte metálicos para paneles solares están fabricados de materiales resistentes al sol y agua ya que van a permanecer por varios años a la intemperie. Así se puede encontrar estructuras hechas de aluminio siendo un metal muy ligero. También se encuentran los aceros galvanizados que aseguran más resistencia o los de hormigón [41].

Los soportes metálicos de paneles solares se caracterizan por ser una estructura diseñada a soportar las celdas fotovoltaicas que definen la orientación correctamente de estas placas. Elementos que cumplen con una función clave de sujeción firme para que el panel obtenga una mayor radiación y así produzca más energía [42].

3.10.2 Tipos de estructuras metálicas para panel solar

En función de las características se pueden encontrar varios tipos de soporte metálico para paneles solares. El elemento clave para elegir el soporte metálico en una instalación de un panel solar fotovoltaico se basa en el tipo de superficie, las condiciones meteorológicas, material de la superficie, tamaño de la placa fotovoltaica, número de paneles y la orientación e inclinación de los paneles solares. De estos factores depende elegir el soporte estructural adecuado para el panel solar fotovoltaico [43].

3.10.3 Estructura metálica de panel solar sobre suelo

El tipo de estructura de paneles solares fotovoltaicos sobre suelo generalmente se utiliza en los sistemas que se colocan gran cantidad de placas fotovoltaicas facilitando un buen montaje. Antes se debe realizar un buen estudio para la instalación de esta base metálica para que los módulos solares no sufran daños por los vientos a los que están expuestos, otras de los factores a evitar son los árboles cercanos como edificaciones u otros objetos que puedan generar sombra al sistema solar fotovoltaico. Lo bueno de esta instalación en el suelo es que se le puede instalar un

seguimiento para que las celdas giren hacia el sol y optimiza un 30% más de rendimiento de energía solar [44].

Estructura de hormigón. Se caracteriza por su gran resistencia a todos los factores climáticos y una larga durabilidad al ambiente extremo, son estructuras de gran tamaño y peso, indicadas para suelos y techados planos únicamente. Dentro de las estructuras de hormigón están las reforzadas para cubierta plana, cuentan con estructura triangular de aluminio y ángulo cruzado para esfuerzo extra a la instalación diseñadas en instalaciones en suelo y cubierta plana. También esta las de soporte para cubierta plana principalmente tiene zapatas y contrapesos evitando los movimientos de la estructura por el viento caracterizándose por su resistencia, diseñadas únicamente para cubiertas planas y suelo [44].

Figura 15 Tipos de estructuras metálicas de paneles solares sobre suelo: **Fuente [44]**



3.10.4 Estructura metálica sobre techo

Las estructuras metálicas solares sobre techo, tienen la opción de varios montajes. Montaje directo, es un tipo de montaje que permite la instalación estructural de forma directa sobre la cubierta evitando colocar soportes de montaje o rieles con la desventaja de que no pasa aire alrededor de los paneles provocando altas temperaturas y bajo rendimiento [44].

Montaje sobre estructura metálica sobresaliente. En este montaje los módulos fotovoltaicos están instalados sobre marcos metálicos con un ángulo de inclinación predeterminados, colocándolos sobre el techo de forma pernada o atornillada [44].

Montaje sobre estructura en plano paralelo. La estructura metálica en plano paralelo de los paneles solares permite a los módulos solares quedar por encima aproximadamente 10 cm del techo permitiendo la corriente de aire libre. Son situados en rieles de canales con una fijación en prensas centralizadas [44].

Montaje con lastre. Este tipo de montaje tiene la característica de que no se requiere perforar el techo, utilizando lastre o contrapesos que evitan a los paneles solares a que sean elevados por los fuertes vientos o demás factores climáticos [44].

Figura 16 Tipos de estructuras metálicas de paneles solares sobre techo: **Fuente [44]**



3.10.5 Estructura metálica sobre teja inclinada

Esta estructura es similar a la instalada sobre suelo con la diferencia que se refuerza totalmente, la ventaja de que se colocan los paneles solares sobre las tejas sin necesidad de perforar la loza.

Estructura coplanar para tejado de tejas. Esta instalación se organiza entre una teja superior y la inferior, de esta forma se evita la filtración de agua. Están diseñadas para todos los tejados tradicionales [44].

Estructuras coplanares para tejado inclinado con varilla roscada. Esta estructura es ideal para tejado de hormigón o tejado doble. En estos casos se realiza el taladrado en el tejado superior para la instalación de la varilla roscada y sellamiento con arandelas de neopreno [44].

Estructura coplanar para tejado inclinado. En la instalación se utilizan patas tipo L, con un espacio inferior se atornilla a la cubierta. Este soporte estructural de paneles solares se implementa solo para tejados que tengan bases metálicas [44].

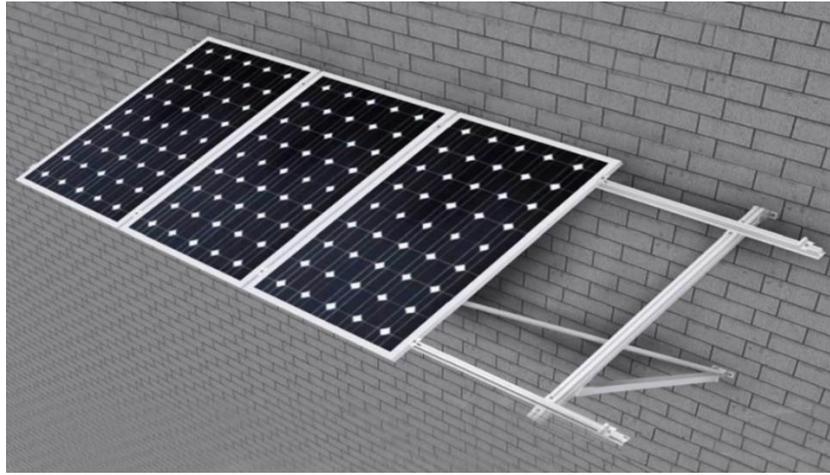
Figura 17 Tipos de estructuras metálicas de paneles solares, tejado inclinado: **Fuente [44]**



3.10.6. Estructura sobre pared

Este tipo de estructura metálica se utiliza en instalaciones de paneles solares fotovoltaicos que se ubican en fachadas de edificios o vivienda con orientación al sur [45].

Figura 18 Tipo de estructura metálica de paneles solares sobre la pared: **Fuente [45]**



3.10.7 Estructura de triángulo inclinado

Este tipo de estructura es la más frecuente en el momento. Son soportes que se instalan en una cubierta o en el suelo en forma de triángulo inclinado, se colocan de forma vertical, se economiza cuando los paneles necesarios son mayores, los paneles solares se instalan en superficie planas [46].

Figura 19 Tipo de estructura metálica triangular, paneles solares sobre cubierta: **Fuente [46]**



3.10.8 Estructura sobre mástil o poste

Estas estructuras se diseñan generalmente para instalaciones pequeñas de uno o dos módulos fotovoltaicos, se emplean en viviendas, hospitales, antenas repetidoras, plazas y para universidades en un nivel de aprendizaje en el que se desarrollen pruebas de laboratorios a estudiante y docentes

complementándolo en un sistema rodante, estructural de paneles solares fotovoltaico móvil. También se puede clasificar como estructuras elevada porque ofrece inclinaciones correctas y orientación apropiada al rendimiento de los paneles solares.

Figura 20 Tipo de estructura metálicas de paneles solares móvil: **Fuente [46]**



3.11 Tipos de materiales para soporte metálicos panel solar

Las estructuras metálicas o soportes fotovoltaicos deben estar fabricadas con los mejores materiales para que puedan realizar un buen funcionamiento, de acuerdo a configuraciones de anclaje, fijación y forma es importante el tipo de material a utilizar en la fabricación y forma de la estructura que soporta el panel solar. Los materiales metálicos más frecuente son el aluminio y el acero galvanizado [47].

3.11.1 Estructura en aluminio para panel solar

Las estructuras de soporte de paneles solares fotovoltaicos en aluminio son las más usadas por las siguientes ventajas. Son fáciles de montar, moldear, tienen un peso ligero, impacto ambiental mínimo y se puede reciclar hasta un 95% de todo el material. El proceso de transporte e instalación

es más rápido con ventajas de instalación en las cubiertas y tejados por el menor peso a otros materiales metálicos [47].

3.11.2 Estructura de acero galvanizado para panel solar

Las estructuras en acero galvanizado o acero al carbón es uno de los materiales metálicos más utilizado en la industria de la construcción estructural en la ingeniería civil y mecánica, este metal hierro-carbono y de acuerdo al porcentaje de carbono define qué tipo de acero es. Tenemos el acero extra suave siendo una aleación con menor porcentaje en carbono, acero dulce un poco más duro que el primero, acero semisuave tiene una concentración de carbón del 0,35%, acero semiduro con un porcentaje del 0,45 % de carbono y el acero duro de mayor concentración de carbono tiene 0,55% con una resistencia 70-75 kg/mm² con una dureza de 200-220 HB [47].

El tubo cuadrado tiene muchas propiedades que son interesantes, especialmente en el uso estructural pesado en el que se requiere resistencia a las temperaturas extremas y corrosión, se emplea en todo tipo de estructuras de puentes, edificios, viviendas, plantas, ornamentación mobiliario urbano, estanterías, bancos, estructuras solares fotovoltaicas y otros [48].

La aplicación de soldadura es fácil, tiene una facilidad de corte, tiene una buena maquinabilidad de mecanizado y moldeado por tratarse de un material muy denso. Este material es tres veces más pesado que el aluminio [48].

4. DESARROLLO METODOLOGICO

4.1 Diseño del sistema estructura metálica fotovoltaica

El desarrollo del sistema estructural metálico está basado en las sugerencias y criterios dados y bajo la norma de construcción colombiana NSR-10 capítulo F.1. Después de una revisión bibliográfica para conocer y comprender las componentes de la radiación solar y sus aplicaciones en el desarrollo energético, se continuó con el proceso de investigación para describir las componentes de un kit solar fotovoltaico para generación de electricidad a pequeña escala, las cuales son panel solar, controlador de carga, inversor y baterías. Todos estos componentes van ubicados en los diferentes niveles de la estructura metálica móvil. Finalmente, se procedió a la selección de los materiales de construcción, base metálica en tubo estructural cuadrado y ángulo de hierro con sistema rodante de frenos de seguridad en pintura negra electroestática.

Tabla 2 La tabla muestra las referencias del tubo cuadrado en mm de su espesor y longitudes. (Acesco, s.f.)

REFERENCIA	ESPESORES EN MILIMETROS											Longitud (m)
	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	12.0	
Tubo cuadrado (mm)	Peso Teorico Calculado (kg/m)											
50 x 50	2.24	2.93	3.60									6
60 x 60		3.56	4.39	5.19								6
70 x 70		4.19	5.17	6.13								6
90 x 90		5.45	6.74	8.01								6
100 x 100		6.07	7.53	8.96	11.7		17.0					6
120 x 120					14.2		23.6					6
135 x 135					16.1		26.4		38.1			6
150 x 150					18.0				52.3			6
200 x 200									58.0			6
									66.5			6
										89.4	105.6	6

4.1.2 Medidas de construcción estructura rectangular

. Se empleó tubería cuadrada en aleación de acero y carbón de 50 x 50 mm, con un espesor de pared de 2 mm para que garantice una estabilidad estructural junto al sellamiento de las uniones en soldadura eléctrica 60-13. Las dimensiones dadas para la estructura metálica son: 1750 mm de

ancho x 800 mm de profundidad x 1756 mm de alto, con llantas de 200 mm de diámetro. Sobre la estructura se construyó una base rectangular de 1640 x 990 x 35 mm en ángulo de 35 mm x 3 mm para soportar el panel solar

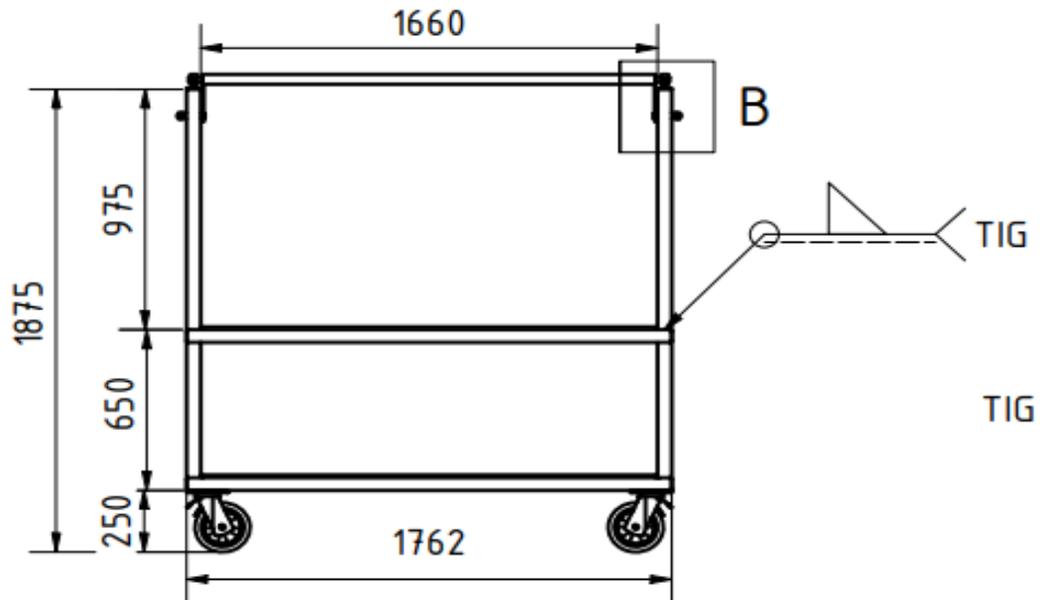
Tabla 3 La tabla muestra las características técnicas de los materiales cantidad y medidas. (autoría propia)

Cantidad	Material	Medidas
4	Tubo cuadrado de 50 x 50 mm	1750 mm
4	Tubo cuadrado de 50 x 50 mm	650 mm
4	Tubo cuadrado de 50 x 50 mm	1000 mm
6	Tubo cuadrado de 50 x 50 mm	720 mm
2	Angulo de hierro de 35 x 3 mm	1646 mm
2	Angulo de hierro de 35 x 3 mm	996 mm

4.1.3 Geometría de la estructura tubular cuadrada

La geometría corresponde a la forma y dimensiones estructurales con base a los requerimiento y dimensiones de los componentes fotovoltaicos en especial el panel solar. La estructura metálica rodante permite movilizar el panel solar fotovoltaico direccionalmente con todos los componentes de generación de energía, almacenándola y distribuyéndola a los diferentes equipos a conectar y trabajar en la realización de prueba y prácticas de laboratorio en estudiantes, docentes y demás personas, movilizándola al sitio de trabajo a utilizar.

Figura 21 La figura muestra las dimensiones del marco estructural cuadrado (**autoría propia**)



4.1.4 Geometría de la estructura ángulo de hierro panel solar

La geometría corresponde a la forma y dimensiones de la estructura con base a los requerimientos y condiciones de las dimensiones estimadas por el fabricante del panel solar fotovoltaico, corresponde a una superficie de 1.62 m² contando con un marco de base en ángulo de hierro unido con soldadura eléctrica para anclarla a la estructura, tubo cuadrada según dice

Figura 22 La figura muestra las dimensiones del marco estructural cuadrado (**autoría propia**)

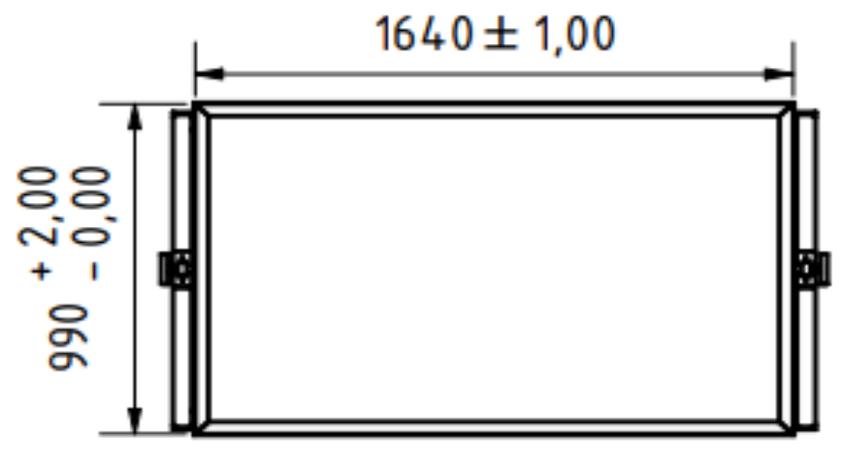


Tabla 4 La tabla muestra las características técnicas del panel solar. (solar panel)

Características	Detalles
Peso nominal	18 kg
Potencia nominal (Wp)	250
Clasificación clase de potencia (W)	0/+5
Tensión nominal (V)	30.2
Corriente nominal (I)	8.30
Corriente corto circuito I_{sc} (A)	8086
Eficiencia del modulo	15.1

4.1.5 Materiales empleados en la estructura metálica móvil

Las condiciones para la fabricación del seguidor del panel solar fotovoltaico de un solo eje, son las siguientes. La construcción de la base esta para albergar un solo panel solar de 250W (18 kg). En la parte inferior de la estructura se ubicarán las baterías, inversor, regulador y el compartimiento central de la estructura para los equipos a conectar y de uso, permitiendo la maniobra segura del banco de generación de energía fotovoltaica de uso móvil, con esto se construye una estructura de acuerdo a las necesidades y posibilidades de los docentes, mecanismo seguro y necesario para los desempeños de los equipos a conectar y a utilizar en los diferentes sitios móviles en que se instale de una manera óptima y segura.

Como resultado se fabricó una estructura metálica rectangular en tubo cuadrado de acero aleación (hierro y carbón) con dos bases en madera en parte inferior y centro de la estructura, una tercera base parte superior en ángulo metálico para la posición del panel solar con direccionamiento al sol de forma manual direccionada por un solo eje. Se optó por los siguientes materiales adecuados y de aplicación estructural para el proyecto.

Tabla 5 La tabla muestra las propiedades mecánicas del acero negro ASTM A500. (autoría propia)

Descripción	Grado	Límite De Fluencia Mínima	Resistencia a La Tracción Mínima
Tubo cuadrado	A	270 Mpa	310 Mpa
Angulo hierro	A36	400 Mpa	550 Mpa

4.1.6 Cargas de la estructura metálica

La estructura metálica solar soporta dos tipos de cargas: Las cargas muertas y las cargas vivas, para la determinación de cada una de ellas se realiza el siguiente análisis de factores, objetos de peso propio móviles y demás elemento a sostener según diseño.

Corresponde a las cargas muertas todos los elementos de la estructura a la suma total de los pesos de cada elemento sin libertad de movimiento. Estas cargas tienen un valor dentro del diseño de la estructura considerando como cargas muertas el peso del panel solar, el peso de la estructura y peso de las llantas, calculándose con la fórmula del peso (w) en el caso de la estructura se extraen los datos de masa por metros de los tubos cuadrados con la tabla general de especificaciones (acceso sf).

Tabla 6 La tabla muestra los valores de carga de la estructura. (autoría propia)

Carga	cantidad	masa	longitud	Peso (w)	
				Unitaria (u)	Total (t)
Armadura cuadrada	1	2.93 kg/m	13.8 m	40.43 N	396.65 N
Base madera	2	6 kg/m	3.5 m	21 N	206 N
Radio lamina	2	2 kg		4 N	39.24 N
Armadura ángulo	1	1.80 kg/m	5.28 m	9.50 N	93.2 N
Panel solar	1	18 kg		18 N	176.58 N

Corresponden a las cargas vivas todas esas fuerzas que pueden variar la ubicación y de un momento a otro sus dimensiones, como son las cargas de viento, cargas de granizo y cargas de hidroestáticas. Se considera únicamente la carga del viento debido a que es una estructura solar móvil, por la magnitud de la carga del viento que ejerce presión sobre una superficie plana al extraer el flujo del viento. Para el caso de la estructura metálica móvil la superficie de evaluación

es la del panel solar. El efecto que hace este flujo sobre una estructura metálica siendo proporcional al cuadrado de la velocidad del viento calculándose con la ecuación de la presión dinámica.

Ecuación 4

Donde:

Densidad del aire (ρ): 1.20 kg/m³

Velocidad del aire (v): 2.44 m/s $q_z = 1.62 \cdot \rho \cdot v^2$

Carga del viento (q_z): 11.57 N/m²

4.1.7 Área del material cuadrado

El área de material del tubo cuadrado de 50 x 50 x 2 mm se calculó de la siguiente forma, pasando de milímetros a metros multiplicando y elevado al cuadrado.

$$(0.05m)^2 = 0.46m^2 = 3.84 \times 10^{-4} |$$

Ecuación 5

Cálculo del peso del panel solar fotovoltaico. Con el peso que nos dan de la celda 18 kg por la fuerza de gravedad tenemos el peso del panel.

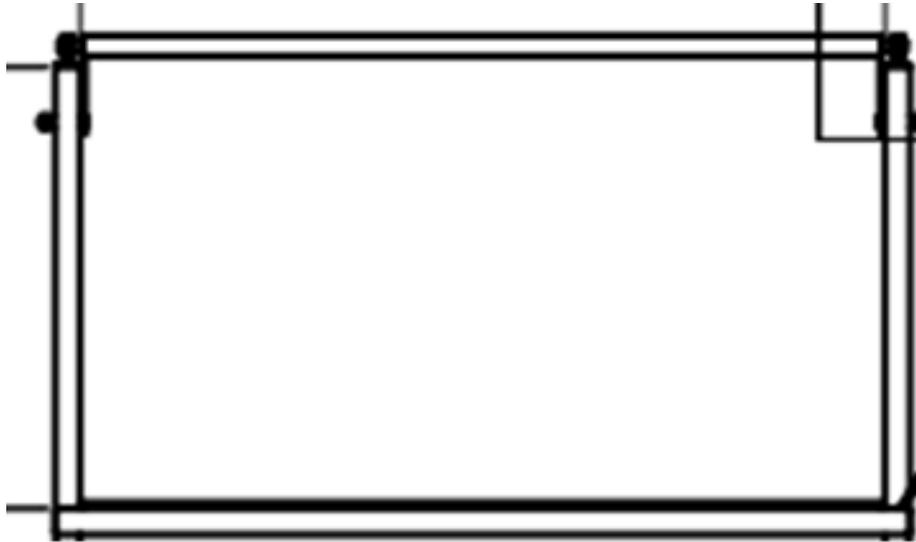
$$18 \text{ kg} \times 9.81 = 176.58 \text{ N}$$

Fuerzas concéntricas de la base de ángulo de hierro y el panel solar fotovoltaico.

Ecuación 6

$$\frac{2L}{3} = \frac{0.995 \text{ m} \times 2}{3} = 0.663 \text{ m de la base}$$

Figura 23 La figura muestra el área del material del tubo estructural cuadrado (**autoría propia**)



4.1.8 Peso total base ángulo y panel solar.

Con la ecuación del peso se calculó la base de ángulo y el panel solar fotovoltaico con respecto a uno de los ángulos en este caso el de (15°), calculado el peso total de estas dos piezas ubicada en la parte superior de la estructura tubular cuadrada.

$$W_y = m \times g \times \cos 30 = 9.5 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times \cos (15) = 90.01 \text{ N}$$

$$W_x = m \times g \times \sin 30 = 9.5 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times \sin (15) = 24.12 \text{ N}$$

$$W_1 = \text{peso del panel solar fotovoltaico} = 18 \text{ kg}$$

W2 peso del ángulo material metálico de la base celda solar = 9.5 N

$$W = (w1 + w2) = 27.5 \text{ g } (w1 + w2) 269.77 \text{ N}$$

θ = al ángulo de inclinación de elevación del panel solar con un ángulo de elevación de 15° . Es el primer ángulo del panel solar en un horario de 7 am, según aumenta el horario del día pasaría a un ángulo de 30° hasta tener los 90°

$$wt = \sqrt{(w \times \sin \theta)^2 + (w \cos \theta)^2} = 20.11 \text{ N}$$

Tabla 7 La tabla muestra las áreas de y cálculos del tubo estructural cuadrado. (autoría propia)

Figura	Área (mm) ²	\tilde{y} (mm)	A \tilde{y} (mm) ³
1	100	1	225
2	92	24	3300
3	92	24	3300
4	100	49	7050
Total	564 mm ²		13875 mm ³

$$\tilde{y} = \frac{\sum A\tilde{y}}{\sum A} = \frac{13875}{564} = 24.6 \text{ mm}$$

4.1.9 Cálculos de la inercia

Para los cálculos de la inercia se utilizó la fórmula de la inercia con teoría de paralelo

$$I = \frac{1}{12} b \times h^3 + \tilde{A} \times d^2$$

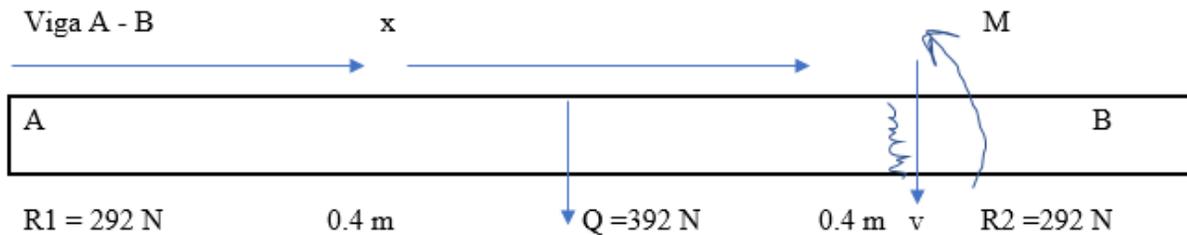
$$I = 2 \left[\frac{1}{12} (0.050) (0.002)^3 + (0.050 \times 0.002)(0.0236)^2 \right] + 2$$

$$\left[\frac{1}{12} (0.002) (0.046)^3 + (0.046 \times 0.002) (0.004)^2 \right]$$

$$I = 3.538 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

4.1.10 cálculo de esfuerzos normales de la viga A – B

Figura 24 La figura muestra los esfuerzos de la viga A-B estructural (autoría propia)



Centro de la viga: $x = 0.4 \text{ m}$

$$\sum Fy = -V + R1 - Q = 0$$

$$V = R1 - Q = 292 \text{ N} - 392 \text{ N} = -100 \text{ N}$$

$$\sum M = M - R1 x + Q (x - 0.4) = 0$$

$$M = R1 x - Q (x - 0.4) =$$

Fuerzas normales para la viga A – B

$$V = R1 - Q = -100 \text{ N}$$

$$M = 0.4 R1 - 0.4 Q + 0.4 Q$$

$$M = 0.4 R1 = 0.4 \times 292 \text{ N} = 116.8 \text{ N x m}$$

Cálculos del esfuerzo cortante:

$$G = \frac{MC}{I}$$

$$G = \frac{MC}{I} = - \frac{0.4 R1 X 0.0231m}{3.538 \times 10^{-8} m^4} = -76260033.90 N / m^2 = 76026 \text{ Mpa Compresión}$$

τ para viga A – B

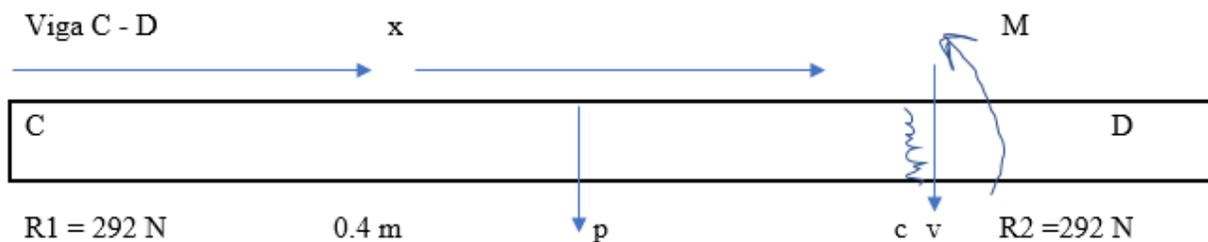
$$\tau = \frac{VQ}{It}$$

$$Q = \tilde{A} \times C = (0.03 \text{ m} \times 0.8 \text{ m}) (0.0231 \text{ m}) = 5.54 \times 10^{-5} m^3$$

$$\tau = \frac{(-100 N) (5.54 \times 10^{-5} m^3)}{[3.538 \times 10^{-8} \times 2 (0.002)]} = 19573205.2 = 19.57 \text{ Mpa compresion}$$

4.1.11 cálculo de esfuerzos normales de la viga C – D

Figura 25 La figura muestra los esfuerzos de la viga C-D estructural (**autoría propia**)



Centro de la viga C – D: $x = 0.4 \text{ m}$

$$\sum Fy = -V + R1 - P = 0$$

$$V = R2 - p = 292 \text{ N} - 117 \text{ N} = 175 \text{ N}$$

$$\sum M^+ = M - R1x + P(c - 0.4 \text{ m})$$

Cálculo del esfuerzo normal para la viga C – D

$$G = \frac{M C}{I}$$

$$G = \frac{M C}{I} = \frac{-0.4 \times 292 \times 0.0231 \text{ m}}{3.538 \times 10^{-8} \text{ m}^4} = 76200339.17 \text{ N/m}^2$$

$$G = 76200339.17 \text{ N/m}^2 = 76.2 \text{ Mpa}$$

Cálculo del esfuerzo cortante: $\tau = \text{viga } C - D$

$$\tau = \frac{V x Q}{I x t}$$

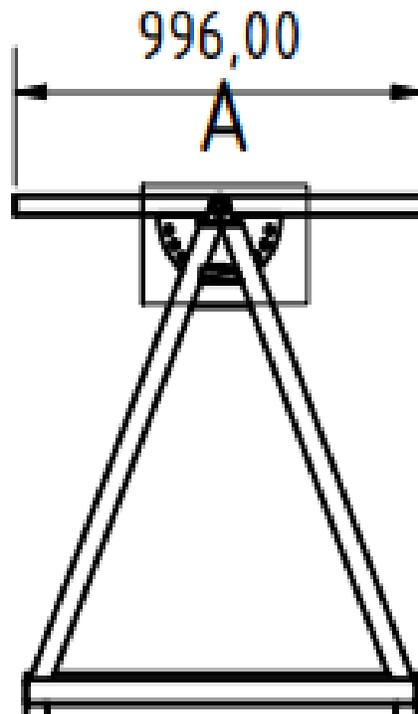
$$Q = \tilde{A} \times C = (0.003 \text{ m} \times 0.8 \text{ m}) (0.0231 \text{ m}) = 5.544 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$\tau = \frac{275 \times 5.54 \times 10^{-5} \text{ m}^3}{3.530 \times 10^{-8} \text{ m}^4 \times 2 \times 0.002 \text{ m}} = 107652628.60 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$\tau = 107.65 \text{ Mpa}$$

Cálculo de la estructura que recibe la base y panel solar: $F_y = T \sin \theta$

Figura 26 La figura muestra los esfuerzos de la estructura que recibe el panel (**autoría propia**)



$$\sum F_y = 2 T \sin 66.42 = wT$$

$$T = \frac{wT}{2 \sin 66.42}$$

$$T = 0.5455$$

$$Wt = 0.5455 (28 \text{ kJ} \times 9.81 \text{ m} / \text{s}^2) = 149.6 \text{ N}$$

Esfuerzo normal

$$G = \frac{F}{A}$$

$$G = \frac{F}{A} = \frac{0.5455 \times wT}{2.91 \times 10^{-4} \text{ m}^2} =$$

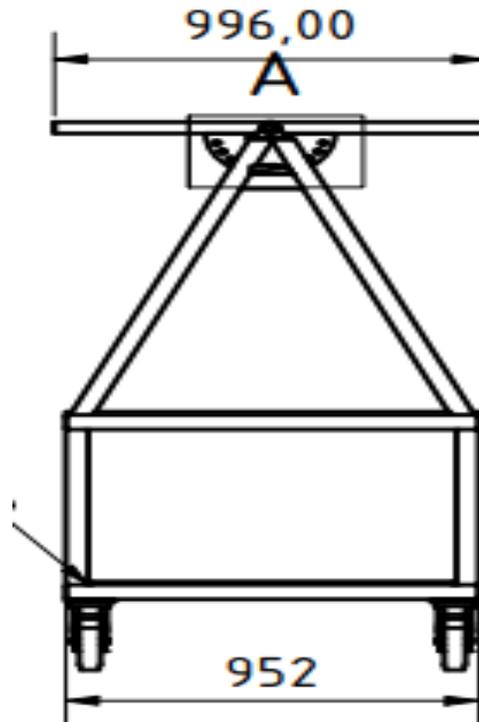
$$G = \frac{F}{A} = \frac{149.6 \text{ N}}{2.91 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 514089.34 \text{ N/m}^2$$

$$Wt = 28 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m} / \text{s}^2$$

$$wT = 274.4 \text{ N}$$

Cálculos capacidad de la estructura y llantas

Figura 27 La figura muestra los esfuerzos de estructura y llantas (**autoría propia**)



$$P = 12 \text{ kJ} \times 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$P = 117.72 \text{ N}$$

$$Q = 9.81 \text{ m/s}^2 \times 40 \text{ kg}$$

$$Q = 392.4 \text{ N}$$

$$\sum E_y = R_1 + R_2 - wT - P - Q = 0$$

$$R_1 + R_2 = wT + P + Q$$

$$M_A = 0.8 R_2 = 0.4 (wT + P + Q) = 0$$

$$R_2 = \frac{0.4 (wT + P + Q)}{0.8}$$

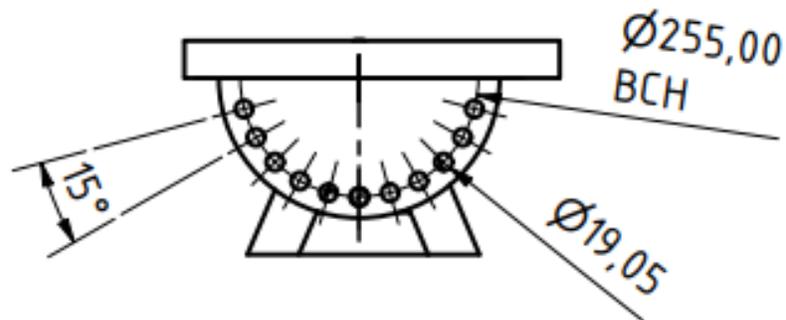
$$R_2 = \frac{wT + P + Q}{2} = \frac{508.4 \text{ N}}{2} = 254.2 \text{ N Rueda 2}$$

$$R_1 = \frac{wT + P + Q}{2} = \frac{508.4 \text{ N}}{2} = 254.2 \text{ N Rueda 1}$$

4.1.12 Pieza metálica de jiro panel solar

La pieza metálica de un radio de 255 mm es la encargada de hacer girar el panel solar según los grados requeridos y de acuerdo a la posición del sol. Cada posición tiene un intervalo de 15°

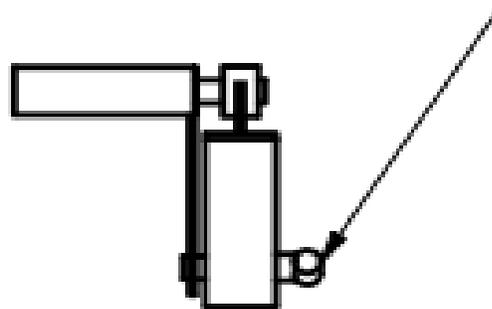
Figura 28 La figura muestra los esfuerzos de estructura y llantas (autoría propia)



4.1.13 Pieza metálica tipo pasador de posicionamiento panel solar

La pieza que me asegura el movimiento del panel solar fotovoltaico se compone de un pasador metálico de 10 cm de largo que asegura la base de ángulo que soporta la celda solar de forma que cada 15° interceptando el radio metálico pasando de lado a lado de forma semiautomática por resortes.

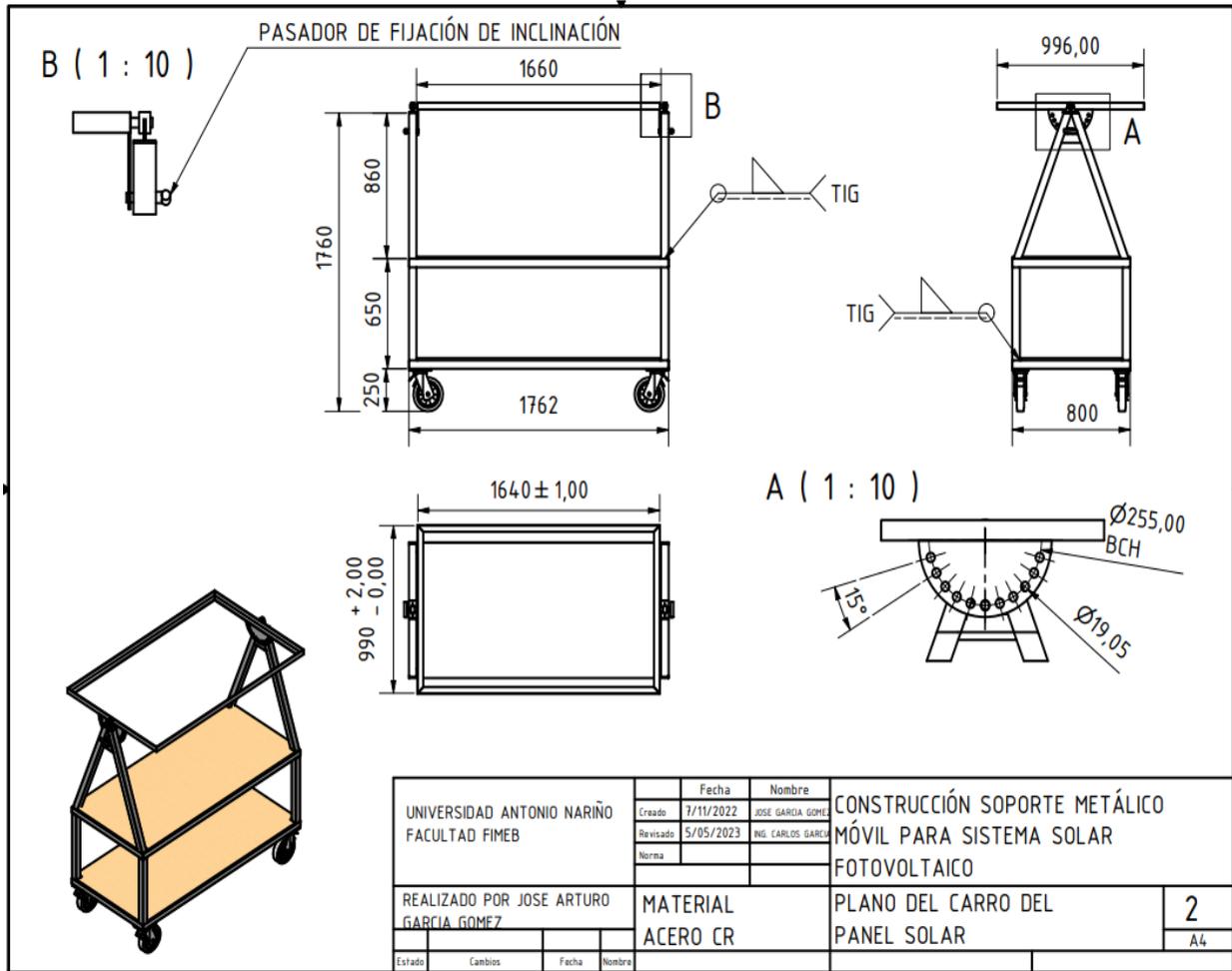
Figura 29 La figura muestra los esfuerzos de estructura y llantas (autoría propia)



4.1.14 Diseño estructura metálica móvil

El diseño de la estructura se realizó de acuerdo a las mediciones y tomadas de los componentes que se encuentran en la sede de la universidad Antonio Nariño.

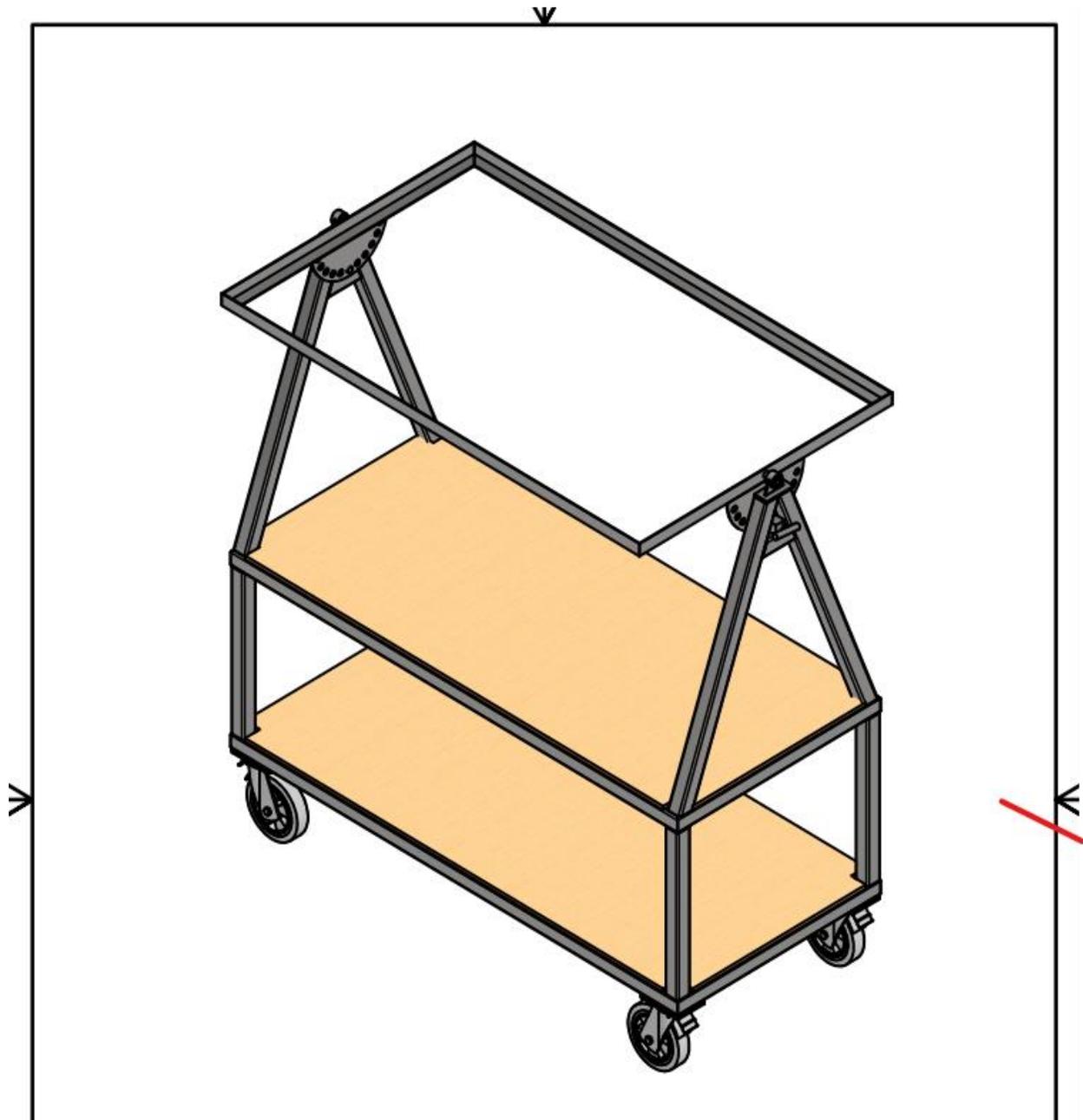
Figura 30 La figura muestra el diseño de la estructura metálica móvil (**autoría propia**)



4.1.15 Diseño final de la estructura

Se presenta el diseño final de la estructura metálica solar móvil con todos los requerimientos de construcción

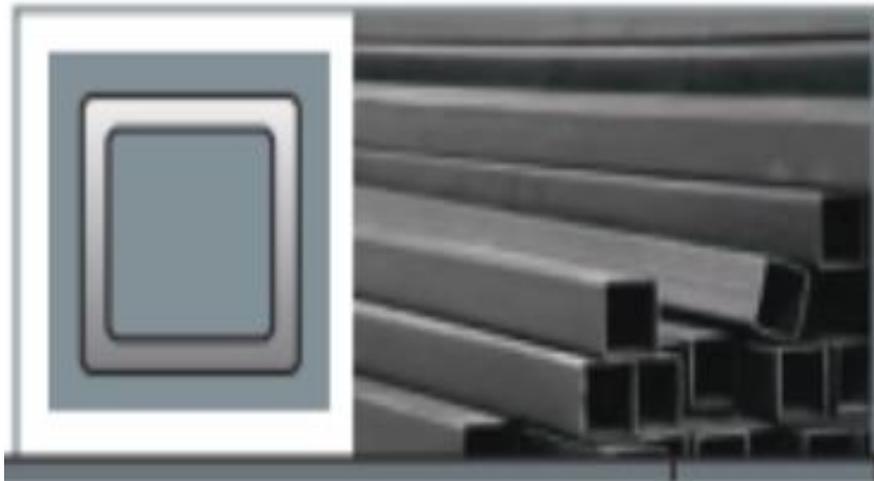
Figura 31 La figura muestra el diseño final de la estructura metálica móvil (**autoría propia**)



4.1.16 Tubo estructural cuadrado de 50 x 50 mm

Por requerimientos y ser el más adecuado entre los tubos estructurales se escogió el tubo cuadrado de 50 x 50 mm en acero, es una aleación (hierro y carbón) al igual tiene muchas propiedades que son interesantes. Este material es tres veces más pesado que el aluminio teniendo un valor especialmente en el uso estructural pesado en el que se requiere resistencia a las temperaturas extremas y corrosión, empleado en las estructuras de puentes, edificios, viviendas, plantas, ornamentación mobiliario urbano, estanterías, bancos y otros. En cuanto a la soldadura eléctrica es de muy buena aleación.

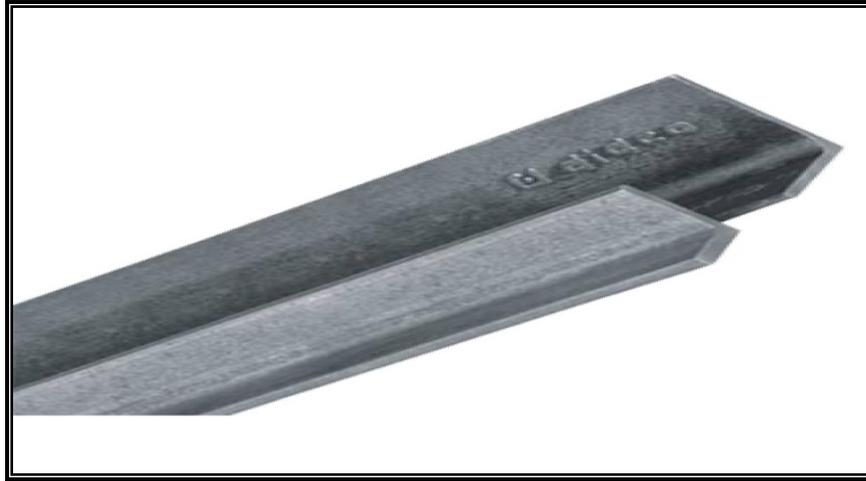
Figura 32 Estructura del tubo cuadrado y su sección transversal. (Acesco, s.f.)



4.1.17 Ángulo de hierro

Para la base que soporta el panel solar fotovoltaico se implementó el ángulo de hierro con las siguientes medidas, 35mm x 3,2 mm x 6.000 mm. De acuerdo a las medidas dadas solo este tipo de ángulo cumple con los requisitos para empotrar el panel solar fotovoltaico quedando de una forma precisa. Es un material que tiene buena aleación a la soldadura.

Figura 33 Ángulo a implementar en la base de soporte panel solar. (Acesco, s.f.)



4.1.18 Llantas neumáticas con Sistema de frenos

La estructura metálica es móvil, para esto se analizó y se buscó un tipo de llantas adecuado para el desplazamiento del panel solar fotovoltaico, por solicitud el diámetro es de 200 mm con sistema de frenos, se prefirió que el neumático fuera compacto y rines metálicos para una mayor durabilidad y menos fallas al estar con un mayor tiempo rodante. Teniendo en cuenta la movilidad con la cual se espera trabajar con esta estructura, es necesario brindar seguridad al momento de su manipulación dinámica y estática. Estas ruedas permiten su fijación.

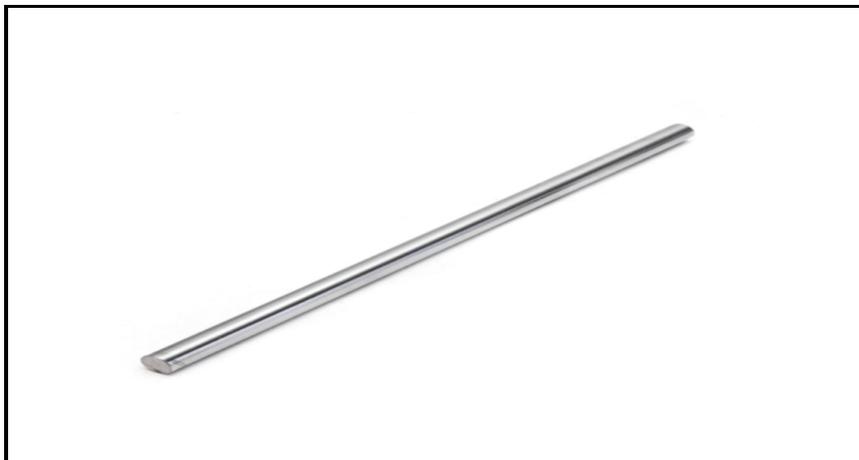
Figura 34 Llantas, estructura metálica rodante. **Fotografía autor.**



4.1.19 Eje en acero de 3/4"

La base de panel solar es móvil con el fin de darle direccionamiento de acuerdo a la trayectoria del sol. Para este desplazamiento se instaló un eje céntrico en acero de 3/4" sobre la base de ángulo acoplado a dos bujes metálicos de 3/4" para así girar la base del panel solar buscando el direccionamiento adecuado para recibir los rallos solares directo al panel solar fotovoltaico

Figura 35 Eje en acero, base del panel solar: (cotizar este producto-Sumatec, 2023)



4.1.20 Buje, acople eje céntrico de 3/4"

Después de analizar la movilidad de la base de ángulo el cual soporta el panel solar fotovoltaico giratorio, se instalan dos bujes metálicos de 3/4", Para un mayor giro suave dinámico y estático que se ubicarán sobre el eje céntrico en cada extremo, quedará uno fijo y el otro móvil.

Figura 36 Bujes, eje céntrico, base del panel solar: (cotizar este producto-Sumatec, 2023)



4.1.21 Soldadura eléctrica 60-13

Después de analizar un mayor aseguramiento y fijación en la fabricación de la estructura metálica se determinó que las uniones fueran en soldadura por electrodo revestido para garantizar que las uniones queden sólidas y seguras en todo momento operativo brindando estabilidad.

Figura 37 Soldadura 13-60 aplicada a estructura: (cotizar este producto-Sumatec, 2023)



4.1.22 Pintura electrostática

Después de la fabricación de la estructura metálica móvil se llevó a un laboratorio de pintura electrostática para la aplicación en color negro. Se le hizo este tipo de pintura porque brinda una mejor protección y acabado. También nos proporciona durabilidad evitando que se ralle o se desprege la pintura y así brindar una mejor garantía en la estructura metálica para el sistema solar fotovoltaico.

Figura 38 Pintura electrostática: (pintura electrostática poliesteer-pintuco, 2023)



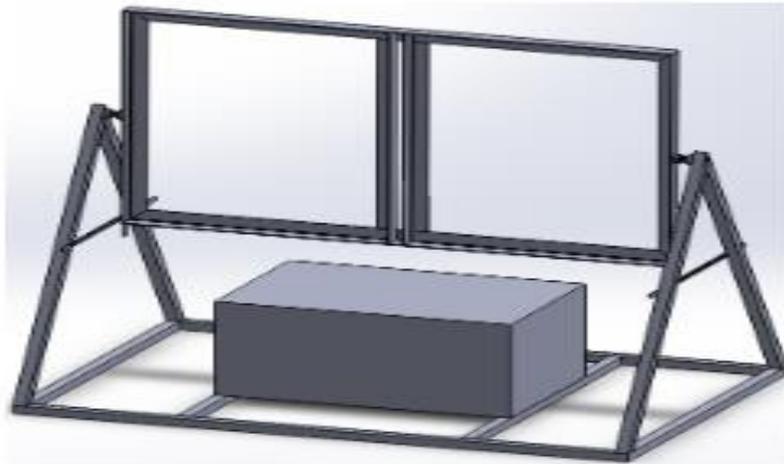
4.1.23 Construcción física de la estructura metálica

El procedimiento de construcción de la estructura metálica, se comenzó por la búsqueda de los materiales apropiados que cumplieran con normatividad y garantía el cual se compraron en el sector industrial de Paloquemao. Se adquirió el tubo cuadrado estructural de 50x50 mm la soldadura eléctrica 60-13 para la aplicación en las uniones del material al igual que las llantas de neumático compacto de 20 cm de diámetro con seguridad de frenos para garantizar estabilidad en la estructura metálica.

4.1.24 Base guía para la construcción de la nueva estructura metálica móvil

Según requerimiento se debe tomar esta base como guía para la nueva estructura metálica móvil para soporte del panel solar fotovoltaico de 250 W. Similar a la mostrada en los anexos, fuente (Arizaga Ibarra et al.)

Figura 39 Estructura metálica, como guía: fuente (Arizaga Ibarra et al.)



4.1.25 Costo de fabricación estructura metálica

Para el costo de los materiales de fabricación de la estructura metálica móvil se visitaron varios sectores y distribuidores de negocios de ferretería donde se solicitaron varias cotizaciones, en los talleres de ornamentación se cotizó a todo costo. La decisión que se tomo fue la de comprar todos los materiales y construirla personalmente la estructura metálica móvil para el panel solar fotovoltaico. El cual se dispuso del taller de la empresa como centro de acopio y fabricación de la estructura metálica del proyecto.

Tabla 8 Registro de costo de los materiales empleados en la construcción de la estructura metálica móvil:
Propiedad autor.

Descripción del producto	Cantidad	Unidad	Valor unitario	Valor total
Tubo cuadrado de 2"x2"x 3mm.	17	ml	\$ 14.000	\$ 196.320
Angulo metálico de 1 ^{1/2} " x 1/8"	6	ml	\$ 15.000	\$ 90.000
Disco metálico de 15" x 1/4"	2	unid	\$ 160.000	\$ 320.000
Eje metálico de 1/2" de diámetro	2	unid	\$ 30.000	\$ 60.000
Rodamientos metálicos de 1/2"	2	unid	\$ 20.000	\$ 40.000
Soldadura eléctrica 13-60	2	lb	\$ 15.000	\$ 30.000
Llantas con frenos 20" D	4	unid	\$ 146.000	\$ 580.000
fabricación estructura	1	unid	\$ 450.000	\$ 450.000
Pintura en electroestática	1	unid	\$ 220.000	\$ 180.000
Transporte estructura metálica	1	unid	\$ 120.000	\$ 120.000
				\$ 2.066.320

4.1.26 Compra y puesta de materiales en el taller

Después de la compra de los materiales se contrató un vehículo para el transporte y llevarlos al taller para ser ubicados al sitio de trabajo de construcción, para dar inicio y comienzo de la fabricación de la estructura metálica móvil del panel solar se dispuso de herramientas adecuadas para, medidas corte, prensas, pulidora, escuadra para trazos y equipo de soldadura eléctrica apoyado por un banco de trabajo especial para la fabricación de estructuras metálicas.

Figura 40 Materiales ubicados en el taller, sitio de trabajo y fabricación: **Fotografía autor.**



4.1.27 Medidas y cortes que componen la estructura

Los tubos tienen una longitud de 6000 mm x 50 x50 mm cada uno, con los requerimientos establecidos y de acuerdo a las medidas dadas del panel solar fotovoltaico se tomaron las medidas correspondientes para la fabricación de la estructura metálica móvil. La herramienta que se emplearon para los corte, tronchadora, pulidora y disco de corte. Medidas flexómetro, escuadra, prensa y marcador.

Figura 41 Medidas de los materiales estructurales a cortar: **Fotografía autor.**



4.1.28 Base inferior estructura metálica

Se comenzó con la base inferior donde se soportará el peso junto con el sistema rodante. Con materiales y herramientas iniciamos con los trazos de la tubería metálica cuadrada con trazos en discos de corte y tronchadora cuatro secciones de tubo cuadrado de 50x50 mm, dos secciones de longitud de 800 mm y dos secciones de longitud de 1665 mm para formar un marco rectangular de 800 x 1675 mm donde lo recibe las cuatro llantas.

Figura 42 Muestra la base inferior de la estructura metálica: **Fotografía autor.**



4.1.29 Instalación de parales o columnas

Para la instalación de los parales se hizo el trazo y corte de cuatro secciones de 650 mm cada uno, en cada esquina se fijó una sección estructural cuadrada en posición vertical con aplicación en soldadura eléctrica para una mayor fijación, fuerza y resistencia.

Sobre estos parales metálicos se instalara otra base estructural con las mismas características de la base anterior.

Figura 43 Muestra las secciones verticales de la estructura metálica: **Fotografía autor.**



4.1.30 Instalación de las llantas

Las llantas se instalaron debajo del primer marco rectangular de tubo cuadrado que es la base inferior de la estructura metálica. El procedimiento de anclaje se realizó aplicándole soldadura eléctrica para una mayor fijación, estabilidad y seguridad en el sistema rodante compuesto por cuatro llantas de 200 mm de diámetro cada una, en cada esquina se instaló una llanta con aplicación fundida en soldadura eléctrica y así nos brinda una mayor seguridad al soporte de peso con una estabilidad estática y dinámica en la movilidad y direccionamiento de la estructura metálica en los desplazamientos y sitios de trabajo.

También se cuenta con un sistema de frenado de fabricación en las cuatro llantas, el cual va a permitir dar una mejor estabilidad en el punto de ubicación e inmovilización

Figura 44 Instalación de llantas sobre la base inferior metálica: **Fotografía autor.**



4.1.31 Construcción segunda base

La segunda base se fabricó similar a la primera se trazan cuatro secciones de tubo cuadrado de 50 x 50 mm, dos secciones de longitud de 800 mm y dos secciones de longitud de 1665 mm para formar un marco rectangular de 800 x 1675 mm. Después se hizo el trazo y corte de cuatro secciones de 1000 mm de longitud cada uno para instalarlos encima de la base rectangular en forma de triángulo formando una céntrica para el eje que soporta la base del panel. Todas las uniones quedaron fundidas con soldadura eléctrica para una mejor fijación estática.

Figura 45 Construcción de la segunda base de la estructura metálica: **Fotografía autor.**



4.1.32 Fijación segunda base sobre las verticales de la primera sección

Esta base metálica instalada sobre las columnas o paralelos verticales de 650 mm, el cual se le aplico soldadura eléctrica para una mayor fijación y seguridad quedando de forma sólida. Sobre esta base están las secciones de tubo cuadrado de 1000 mm cada uno en forma triangular que soporta la base en ángulo metálico que recibe al panel solar fotovoltaico quedando a una altura de 1760 mm total.

Figura 46 Instalación base metálica parte superior: **Fotografía autor.**



4.1.33 Construcción del marco rectangular panel solar fotovoltaico

Para la construcción de esta base metálica se realizó en ángulo metálico de 35 mm de ancho x 3.2 mm de espesor. Los trazos de este marco rectangular se hicieron en cuatro secciones, dos cortes de secciones de 1640 mm cada uno y dos cortes de secciones de 990 mm cada uno para formar un rectángulo de 1640 x 990 mm, que soporta el panel solar de las siguientes medidas 1640mm x 990mm x 35 mm, de acuerdo a lo recibido y requerimiento dados a realización de este proyecto.

Figura 47 Base en ángulo metálico, soporte panel solar fotovoltaico: Fotografía autor.



4.1.34 Instalación marco panel solar

La instalación de la base de ángulo metálico que soporta el panel solar fotovoltaico, está sobre un eje metálico que va soldado en cada lateral de ese marco estructural ubicado en la parte superior de la estructura metálica. Cada extremo del eje está anclado sobre un buje metálico para el sistema giratorio dinámico para direccionar el panel solar fotovoltaico en la posición requerida.

Con esta última base rectangular posición panel solar, queda fabricada la estructura metálica móvil en tubo cuadrado de 50 x50 mm, ángulo metálico de 35x 3.2 mm y cuatro llantas como sistema de rodante.

Estructuralmente esta terminada, el paso a seguir es pasarla al laboratorio de pintura electrostática para darle un acabado final de construcción.

Figura 48 Instalación marco sobre la estructura metálica panel solar: **Fotografía autor.**



4.1.35 Pintura electroestática estructura metálica móvil

La pintura de la estructura metálica móvil, se llevó a una cabina de pintura especializada en sistema de aplicación electroestática para tener una mejor presentación de acabado y estético. Se escogió esta aplicación y técnica de pintura por la durabilidad, protección, presentación en materiales metálicos evitando mayor tiempo la corrosión. El color negro se escogió por lo más comercial y sale con la aplicación de la estructura metálica para la implementación del sistema solar fotovoltaico.

Figura 49 estructura metálica solar en pintura negra electroestática: **Fotografía autor.**



4.1.36 Instalación superficies de madera inferior estructura metálica

La estructura metálica solar fotovoltaica, lleva una superficie en madera como material aislante a los componentes eléctricos a instalar. Esta sección está ubicada en la parte inferior con las siguientes medidas, 1750 mm x 800 mm x 15 mm de espesor de la madera. Donde se ubicará los componentes eléctricos de generación de energía como inversor, regulador y especialmente las baterías de almacenamiento.

Figura 50 Instalación, primera superficie de madera en la estructura: **Fotografía autor.**



4.1.37 Instalación segunda superficies de madera parte central estructura

Se hace instalación de una segunda superficie de madera dentro del rectángulo central, para la ubicación de los equipos electrónicos de pruebas y de trabajo, con las siguientes medidas 1750 mm x 800 mm x 15 mm de espesor de la madera. Se escogió material en madera porque es un aislante térmico no tiene conductibilidad eléctrica. Además, la madera procesada tiene una terminación acogedora a lo estético y calidad.

Figura 51 Instalación segunda superficie de madera en la estructura: **Fotografía autor.**



4.1.38 Terminación y presentación estructura metálica panel solar

La estructura metálica para soportar panel solar fotovoltaico se cumplió con todos los pasos de construcción, según requerimientos, medidas, color pintura, y modelo, llegando al final de poder presentarla termina con los resultados esperado.

Este sistema solar fotovoltaico a pequeña escala en las condiciones que queda terminado va a brindar un apoyo en la generación de energía solar fotovoltaica, ya que esta adecuado para los componentes eléctricos y electrónico de generación de energía solar y para los equipos de conexión a corriente alterna de trabajo. Adecuado a llevarlo a sitios remotos por ser su sistema móvil rodante una estructura de uniones fundidas en soldadura eléctrica dándole fijación y estabilidad con un peso bajo fácil a la movilidad.

Se logra dar cumplimiento y terminación de fabricación estructura metálica para sistema solar fotovoltaica de 250W. Presentación proyecto grado.

Figura 52 La figura muestra la estructura metálica para panel solar fotovoltaico, terminada en su totalidad para entrega de proyecto: **Fotografía autor.**



5. ANALISIS DE RESULTADOS

5.1 Análisis de resultados obtenidos

Los análisis de resultado elaborados en tres partes: Descripción de las componentes principales de la radiación solar, descripción de las componentes de un sistema solar fotovoltaico a pequeña escala y construcción y presentación estructura metálico móvil para soportar panel solar fotovoltaico de 250W.

5.2 Comportamiento de los ángulos y radiación solar

En los resultados se logró describir las principales características de las componentes de la radiación solar global, con sus ángulos respectivos producidos por el movimiento giratorio de la tierra, se aprecia claramente que esta declinación del globo terráqueo hace que existan las estaciones y cambio de los ángulos solares. Se puede analizar en las figuras 2 y 3 que muestran el comportamiento de la radiación solar global.

En la figura 4 muestra el comportamiento de la radiación extraterrestre y el paso por la atmosfera, es recibida por el planeta tierra entre océanos y atmosfera, llega el 99.9% de energía solar, se puede analizar que esta radiación global al llegar a la tierra sufre varios acontecimientos como la dispersión, absorción y reflejo. Se puede apreciar los tres tipos de radiación solar sobre la superficie terrestre y que una de estas tres radiaciones es la más importante para la generación de energía solar con paneles solares fotovoltaico, en conclusión, es la radiación directa como se puede apreciar en la figura 4, llega de forma directa a los paneles solares. Mientras que las otras llegan de forma debilitada por los fenómenos que sufren al paso por la atmosfera.

La figura 6 muestra cómo los equipos hacen medidas de radiación solar para estudios a nuevas tecnologías que contribuyen al avance y desarrollo de la energía solar fotovoltaica a gran escala.

Como resultado de la radiación solar, se determina claramente que de todos los tipos de radiación el más importante en la generación de energía solar es la radiación directa que proviene directamente del disco solar sin sufrir cambios. Con este análisis investigativo se conoce el principio fundamental para el inicio e instalación de un sistema de generación de energía solar a pequeña escala.

5.3 Análisis de componentes de Sistema solar a pequeña escala

En el siguiente punto investigativo se logró conocer las principales componentes de un sistema solar fotovoltaico a pequeña escala. Se analiza algunos aspectos que contribuyen al desarrollo de un sistema solar fotovoltaico. Conservación fotovoltaica y eficiencia, que hace relación al porcentaje energético solar incidente que un mecanismo es capaz de transformar en electricidad.

La influencia de la radiación solar que logra aumentar la irradiación incrementando la corriente producida por la celda solar.

Temperatura, jugando un papel importante porque se determina que a baja temperatura de funcionamiento de las células solares tienen un buen desempeño y a alta temperatura pierden eficiencia, de acuerdo a los materiales de construcción de los paneles solares, por seguridad aconsejan instalar un sistema de acondicionamiento de temperatura.

Para los sistemas de generación de energías solar a pequeña escala, se describe los principales componentes que conforma un proyecto de paneles solares fotovoltaicos para la generación de

energía solar. Se describe cuatro partes principales que son: El panel solar fotovoltaico, el regulador de carga solar, la batería de almacenamiento y el inversor de corriente de DC a CA, lo demás es conectar a diferentes equipos. Se analiza que el principal componente es el panel solar fotovoltaico con él se inicia todo el sistema cuando se trata de un montaje de una sola placa solar fotovoltaica.

El resultado investigativo, determina de cómo es recibida la energía directa del sol en los principales componentes y funcionamiento de ellos mismo en un sistema solar fotovoltaico a pequeña escala. Resultados y beneficios que brinda este tipo de energía en cualquier lugar urbano o rural. Se recibe del sol, se almacena, se convierte y se entrega a funcionamiento equipos de CA.

5.4 Requerimiento y fabricación estructura metálica panel solar

En los requerimientos de fabricación de la estructura metálica se logró, describir los materiales apropiados en la construcción del soporte para el panel solar fotovoltaico de 250W. Teniendo en cuenta los requerimientos, se hizo un estudio analítico para comparar cual seria los mejores materiales y realmente fueron los que se hablaron desde un comienzo.

La estructura metálica se fabricó con tubería cuadrada en acero al carbón como muestra la tabla 4.1 de 50 x 50 mm con un espesor de 2 mm, dinámicamente esta tubería estructural facilitó el acoplamiento de las llantas, la aplicación de la soldadura eléctrica en las uniones y superficie plana para la instalación de la madera de cada base de posicionamiento de baterías y equipos de trabajo. Dando una forma estéticamente para la aplicación y necesidad. Se puede observar el tipo de llantas y diámetro, se instalaron con un propósito el de transportarse por superficies rusticas, terrenos

deformes, sitios pantanosos y con vegetación. Se puede analizar que todas las cuatro llantas cuentan con sistema de freno para una mayor fijación y estabilidad.

En la pintura se observa que se hizo con pintura electroestática, se puede analizar que es una aplicación de buena calidad que no se pela y es duradera dando una presencia estética a la estructura metálica móvil de panel solar fotovoltaico. Se observa las superficies planas, madera supercor de 15 mm color roble. Se compara la base que soporta el panel solar hecha en ángulo de hierro estructura de 35 x 3.2 mm con un movimiento de 180° por medio de un desplazamiento manual.

Se logró los resultados esperado con la construcción de la estructura metálica para panel solar fotovoltaico de 250W. De acuerdo a los datos sugerido en medidas, tamaño y color, se da terminación con éxito al proyecto de esta fabricación estructural para la implementación de un sistema solar a pequeña escala para la facultad de medicina que a futuro brindara apoyo a estudiante y docentes en análisis y pruebas de laboratorio por medio de energía solar.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

La planta más grande de generación de energía la tenemos del sol es una de las energías renovables con mayor potencial a nivel mundial. En el momento el porcentaje de generación es el más bajo porque se está comenzando, pero con los años al implementarse será más accesible consumirla al obtener mejoramientos tecnológicos se reducen los costos en la producción de energía y se consumirá en todos los ámbitos a nivel mundial.

La construcción de la estructura metálica móvil para la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaica de componente y dimensiones parten del conocimiento adquirido durante la formación académica y áreas aplicativas al proyecto.

En el desarrollo de este trabajo se hizo con una revisión bibliográfica de las componentes de la radiación solar, para mirar cuál de las radiaciones que hay aplica mejor al sistema fotovoltaico, al igual se revisó bibliográficamente los componentes o kit que trae un sistema solar fotovoltaico.

Con base en estas revisiones bibliográfica que deja un gran conocimiento del sol y sus radiaciones que recibimos en la tierra donde nos regala una fuente de energía renovable e inagotable para la vida humana, se da comienzo al enfoque principal construcción estructura metálica móvil para la implementación de un sistema solar móvil a pequeña escala, panel solar de 250W, regulador de energía solar, batería de almacenamiento, inversor convertidor de energía solar, componentes a instalar en un nuevo proyecto.

La conclusión en términos generales de la estructura metálica móvil es que ha sido fabricada en tubo estructural de buena calidad cumpliendo con los requerimientos dados y esperados. Lo más

importante de este proyecto es que queda como un instrumento móvil de aprendizaje y practica en la universidad Antonio Nariño para futuros estudiantes en lugares donde no hay energía eléctrica permitiendo la conexión y funcionamiento de equipos electrónicos bajo la donación radiante entregada por el sol energía solar.

También se concluye que es un instrumento de primera necesidad par lugares apartados donde no hay desarrollo energético convencionales en funcionamiento en el país. Esto sería un gran desarrollo a todos los lugares que no cuentan con una red eléctrica para alumbrado o conexión de equipos eléctrico. Como negocio a nivel de empresa es un crecimiento industrial y comercial.

6.2 Recomendaciones

La estructura metálica es un sistema móvil lo que indica que hay dos formas de operación de las llantas, para el desplazamiento se debe hacer con las cuatro llantas sin freno. En el sitio de ubicación de la estructura metálica móvil de panel solar fotovoltaico, se debe asegurar todas las cuatro llantas.

Se debe aprovechar al máximo la radiación solar, direccionando manualmente la base del panel solar fotovoltaico haciéndolo de forma segura con los dos pasadores laterales que le dan posicionamiento fijo al base del panel solar.

La recomendación de protección de equipos y personal de trabajo es que instalen unas buenas protecciones y aislamiento de la red en el sistema de energía libre de humedad. Todo es sistema estructural, equipo y eléctrico se le debe realiza mantenimiento para prevenir y evitar daños estructúrale, equipos y eléctricos, de esta manera evitamos accidentes del personal de trabajo.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Congreso de Colombia. (13 de 05 de 2014). Ley 1715: por medi de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. Diario Oficial.
- [2] Unidad de Planeación Minero Energética. (2014). Guía práctica para la aplicación de los incentivos tributarios de la Ley 1715. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía.
- [3] Renewable Energy World. (20 de 9 de 2011). Renewable Energy World. Obtenido de Solar Rural Electrification:
- [4] Radiación Solar - Ideam. (s. f.-b). <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta>
- [5] [Radiación Solar - Ideam. \(s. f.-b\). http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta](http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta)
- [6] (Energy Efficiency and Renewable Energy, 2022).
- [7] Ventre, J. (2005). Photovoltaic Systems Engineering. Boca Raton: Taylor and Francis.
- [8] Sen, Z. (2008). Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques. London: Spriger.
- [9] Lamigueiro, O. P. (2013). Energía solar fotovoltaica. Creative Commons ebook. España. 192pp.
- [10] La inclinación del eje de rotación terrestre y el fenómeno de las estaciones. (s. f.). <http://astronomia.net/cosmologia/lec117.htm>
- [11] AulaFacil. (2022). AlulaFacil. Obtenido de Angulo cenital y la elevación solar.
- [12] Características de la Radiación Solar - Ideam. (s. f.). <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-solar>
- [13] Aparicio, M. P. (2020). Radiación solar y su aprovechamiento energético. Marcombo.

- [14] Aparicio, M. P. (2020). Radiación solar y su aprovechamiento energético. Marcombo.
- [15] La Radiación Solar y su paso por la Atmosfera - Ideam. (s. f.). <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/la-radiacion-solar-y-su-paso-por-la-atmosfera>
- [16] Mestre Barceló, A. (1994). ¿Cómo se mide la radiación solar?.
- [17] http://ocw.upm.es/pluginfile.php/675/mod_label/intro/Radiacion-Solar-Extraterrestre
- [18] La Radiación Solar y su paso por la Atmosfera - Ideam. (s. f.). <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/la-radiacion-solar-y-su-paso-por-la-atmosfera>
- [19] La Radiación Solar y su paso por la - Ideam. (s. f.-b). <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/la-radiacion-solar-y-su-paso-por-la-atmosfera>
- [20] de Osés, F. X. M. (2004). Meteorología aplicada a la navegación (Vol. 139). Univ. Politèc. de Catalunya.
- [21] Upme, Ideam, et al. Atlas de Radiación solar de Colombia. 2019.
- [22] Upme, IDEAM, et al. Atlas de Radiación solar de Colombia. 2019.
- [23] Mestre Barceló, Antonio. ¿Cómo se mide la radiación solar? 1994.
- [24] Quintero Santana, S., & Guinand Rodríguez, K. (2020). Protocolo y procedimiento aplicado a instrumentación piranómetro para medición de radiación solar.
- [25] de Simón-Martín, M., González-Peña, D., Díez-Mediavilla, M., & Alonso-Tristán, C. Medida de Radiación Difusa sobre Parametro Vertical.
- [26] Balenzategui, J. L., De Lucas, J., Molero, M., Cuenca, J., Fabero, F., González-Leiton, A., ... & Mejuto, E. Irradiancia Solar con Trazabilidad al WRR/SI.
- [27] Balenzategui, J. L., Molero, M., Cuenca, J., Fabero, F., Mejuto, E., Silva, J. P., & De Lucas, J. (2020). Efecto de la temperatura de operación en la calibración de pirheliómetros según ISO 9059. In CIES2020-XVII Congresso Ibérico e XIII Congresso Ibero-americano de Energía Solar (pp. 943-950). LNEG-Laboratório Nacional de Energia e Geologia.

- [28] Orbegozo, C., & Arivilca, R. (2010). Energía solar fotovoltaica. Manual técnico para instalaciones.
- [29] Molina-García, M., & Melchor-Hernandez, C. (2016). Prototipo de un sistema fotovoltaico autónomo. Volumen 3, Número 8–Julio–Septiembre-2016, 9.
- [30] Arroyo Granados, A. J., & Manjarres Rivera, M. A. (2022). Sistema para la selección de módulos fotovoltaicos comercializados en Colombia basado en la comparación de datos ambientales e información técnica proporcionada por los fabricantes..
- [31] Noguera-Salas, O., Pinto-García, R. A., & Villarreal-Padilla, J. E. (2018). La eficiencia de los nuevos materiales fotosensibles usados en la fabricación de paneles solares. *Iteckne*, 15(1), 7-16.
- [32] Solar, E. (2007). Energía solar fotovoltaica. Página consultada en la web el, 26.
- [33] Molina-García, M., & MELCHOR-HERNÁNDEZ, C. (2016). Prototipo de un sistema fotovoltaico autónomo. Volumen 3, Número 8–Julio–Septiembre-2016, 9.
- [34] Soto, I. E. P. (2005). Celdas fotovoltaicas en generación distribuida. Santiago de Chile, 7.
- [35] Ramírez, E. R., Gúezguán, L. C., Comba, A. G., Moreno, S. A. H., & Saavedra, J. A. M. Capítulo 4. DIMENSIONAMIENTO SOLAR FOTOVOLTAICO, FUNDAMENTOS Y APLICACIONES. BOMBEO SOLAR FOTOVOLTAICO, 87.
- [36] Copetti, J. B., & Macagnan, M. H. (2007, November). Baterías em sistemas solares fotovoltaicos. In Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS.
- [37] Copetti, J. B., & Macagnan, M. H. (2007, November). Baterías em sistemas solares fotovoltaicos. In Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS.

- [38] Rodríguez Pérez, M. L., Mendieta Pino, C. A., & Déniz Quintana, F. A. (2020). Análisis y valoración de aplicación de las energías solar fotovoltaica y térmica y de la biomasa en las casas rurales de medianías de Gran Canaria.
- [39] Sanchez, V. F., & de la Paz, C. A. V. (2014). Manual de mantenimiento, instalación y operación.
- [40] (tipos de soportes para instalaciones solares-blog de energia, 2023)
- [41] (<https://autosolar.co/estructuras-paneles-solares>, 2023)
- [42] (tipos de soportes para instalaciones solares-blog de energia, 2023)
- [43] (<https://solarama.mx/blog/estructura-de-paneles-solares/>, 2023)
- [44] (9 tipos de estructuras para paneles solares-Alusin solar, 2023)
- [44] (<https://www.efcsolar.com/energia-solar-fotovoltaica/estructuras-para-paneles-solares-tipos/>, 2023)
- [45] (fabrica soporte fotovoltaico- facil de desmontar, 2023)
- [46] (Villa, 2018)
- [47] (estructura de soporte para placas solares - sunsupport, 2022)
- [48] (El tubo cuadrado: características, fabricación, corte y uso, 2017)
- [49] https://www.researchgate.net/figure/FIGURA-21-Declinacion-solar_fig3_317370829