

SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO AISLADO, PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A UNA VIVIENDA RURAL

*Autores: Yeison Alfonso Mestre Maestre - 23551829714
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica.
Tecnología en mantenimiento electromecánico industrial*

*Universidad Antonio Nariño
Sede Valledupar*

Email autor: ymestre79@uan.edu.co

Director

Antonio Gan Acosta

antonio.gan@uan.edu.co

ABSTRACT— Photovoltaic solar energy in Colombia has been poorly used, despite the fact that the country has excellent geographical advantages, and the current technological facilities and economic incentives that make this type of initiative viable. This project seeks to promote the use of solar energy, based on the real needs of homes in the rural area of Patillal (Cesar), a population with an energy deficit. In addition to this, it seeks to determine how many solar panels are needed to supply electric current to a specific load, for this it will be necessary to count on the compression of the operation of each of the stages of a photovoltaic solar installation of self-supply, as well as the compression of the operation of all the elements that intervene in it.

Keywords— Photovoltaic solar energy, energy deficit, solar panels, self-supply solar photovoltaic installation, rural area, operation compression.

RESUMEN: La energía solar fotovoltaica en Colombia ha sido pobremente aprovechada, a pesar de que el país cuenta con excelentes ventajas geográficas, y las facilidades tecnológicas e incentivos económicos actuales que permiten hacer viables este tipo de iniciativas. El presente proyecto busca promover el uso de energía solar, basados en las necesidades reales de las viviendas del área

rural de Patillal (Cesar), una población con déficit energético. Además de esto se busca determinar cuántos paneles solares se necesitan para suministrar corriente eléctrica a una carga específica, para ello habrá que contar con la comprensión del funcionamiento de cada una de las etapas de una instalación solar fotovoltaica de autoabastecimiento, así como la comprensión del funcionamiento de todos los elementos que en ella intervienen.

PALABRAS CLAVE: Energía solar fotovoltaica, déficit energético, paneles solares, instalación solar fotovoltaica de autoabastecimiento, área rural, comprensión del funcionamiento.

I. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

En mayo de 2014, el congreso promulgó la ley No. 1715 “Por medio de la cual se regula la integración de las energías no convencionales al sistema energético nacional”. [1]. La energía no convencional es la energía eléctrica generada de fuentes poco comunes; es decir, fuentes difíciles de captar en la naturaleza para su transformación en energía eléctrica. Destacan la energía eólica (viento), paneles solares (sol), energía mareomotriz (olas del mar), energía geotérmica (suelo), biogás

y energía de la biomasa. Los problemas de recalentamiento global y de agotamiento han hecho pensar en el uso y aplicación de las energías renovables no convencionales, entre ellas la energía solar fotovoltaica. [2]. La energía solar fotovoltaica se basa en el principio de que la energía contenida en las partículas de luz (los fotones) puede ser convertida en electricidad. En este trabajo se implementará la energía eléctrica generada por la fuente del sol. Este tipo de energía se obtiene a partir de la luz solar. La radiación es absorbida por paneles solares, y la energía convertida es directamente proporcional a la intensidad y duración de los rayos solares, en él se presentará la descripción y funcionamiento del sistema y de cada uno de sus equipos. [3]. Es un hecho, que, tanto en los países ricos como en los pobres, la gran mayoría de la población sin electrificar se encuentra en las zonas rurales, caracterizadas por unas poblaciones muy dispersas y alejadas de la red convencional.[4].En el marco referencial se tocan temas relacionados con la energía solar, el origen de los sistemas fotovoltaicos; se explican el fenómeno fotoeléctrico y el efecto fotovoltaico; se tratan el funcionamiento y las características de los módulos solares, las baterías, el regulador y el convertidor CC/CA de una instalación solar fotovoltaica. También se relacionan las normas técnicas colombianas que aplican y que se deben tener en cuenta al diseñar y construir un sistema solar fotovoltaico. [5]

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Colombia presenta dentro de su territorio dos condiciones muy contrastadas en cuanto a la realidad energética del país: El Sistema Interconectado Nacional (SIN), compuesto por centrales de generación hidráulicas, centrales de generación térmica o termoeléctrica y redes de transmisión que llevan esta energía generada a una parte del territorio nacional. Por el otro las Zonas No Interconectadas (ZNI), caracterizadas por tener una baja densidad de población, encontrarse en sitios alejados, de difícil acceso y generalmente con reservas y parques naturales en sus territorios, así como comunidades étnicas y afro. La generación eléctrica a partir de sistemas solares es la mejor opción para el sector rural, pues, en comparación a los costos elevados de transporte, infraestructura y combustibles, hacen que la generación solar resulte más económica en el largo plazo, por otro

lado, la falta de energía dentro del territorio rural incide de manera negativa en las condiciones de calidad de vida de los habitantes rurales e igualmente dificulta el desarrollo de las actividades doméstica, la productividad agropecuaria que influyen en el desarrollo rural. [6] Los sistemas actuales de energía nacional responden estrictamente con las demandas cada vez mayores. Además, fenómenos como El Niño (caracterizado por sequías extremas) y La Niña (caracterizado por lluvias extremas), a la vez que perjudican los caudales operativos de los sistemas hidroeléctricos y vuelven menos eficientes los sistemas termoeléctricos, esto favorece a los sistemas como el solar, bien sea térmico o fotovoltaico. Adicionalmente, los esfuerzos a nivel mundial por la reducción de gases de efecto invernadero (GEI), liderados por la ONU apuntan directamente a la mayor participación de energías renovables limpias en los sistemas convencionales de los países, siendo nuevamente la energía solar un fuerte candidato para cumplir esta labor.[7] Todos los agentes anteriormente mencionados son tenidos en cuenta a la hora de elaborar este proyecto, que tiene por finalidad la aplicación de la energía solar fotovoltaica, en el corregimiento de Patillal departamento del Cesar con claras necesidades energéticas, especialmente a nivel residencial. Con el sistema (**Off Grid**) “aislado de la red eléctrica”.

III. JUSTIFICACIÓN

Muchas son las razones que hoy en día pueden impulsar los proyectos encaminados a la implementación de energías renovables en el país. Los países del mundo adquirieron un compromiso en la agenda de desarrollo sostenible por parte de la Organización de las Naciones Unidas (ONU).Uno de estos propósitos es el acceso energético no contaminante para todos, lo que en nuestras palabras sería, el uso de tecnologías alternativas renovables no convencionales y limpias para zonas de difícil acceso y Colombia no es la excepción.[8] Por otra parte, la vulnerabilidad de los sistemas eléctricos tradicionales (hidroeléctrica) frente a embates atmosféricos y los yacimientos finitos, sumados a los aumentos de la demanda en las redes, colapsará eventualmente la oferta actual, por lo que alternativas que además cumplan con los requerimientos del párrafo anterior, agregan un atractivo interés a la inclusión de energías renovables en los planes energéticos del país. Como solución a esta necesidad de energía eléctrica en las zonas rurales del corregimiento de Patillal (cesar), se plantea el

diseño de un sistema solar fotovoltaico tipo (**Off Grid**) “aislado de la red eléctrica” con el cual será posible generar y suministrar energía eléctrica a una vivienda rural. En estas zonas alejadas del casco urbano que no cuentan con el servicio público de energía eléctrica, se podrá suministrar electricidad necesaria para el funcionamiento de sus sistemas de alumbrado, comunicaciones, electrodomésticos y pequeños equipos eléctricos relacionados con tareas agropecuarias de la vivienda.

IV. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio del sistema solar fotovoltaico aislado tipo (**Off Grid**), para el suministro de energía eléctrica a una vivienda del área rural.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la carga de la vivienda que se le va suministrar energía eléctrica.
- Determinar los elementos que hacen parte del sistema solar fotovoltaico.
- Calcular el costo de los elementos del sistema solar fotovoltaico.

V. MARCO TEÓRICO

A. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA Y SU IMPLEMENTACIÓN

El sol comprende nuestra mayor fuente de energía en la Tierra. Desde este, llega justo a la parte exterior de la atmósfera terrestre, una cantidad de radiación lumínica, equivalente a 1367 W/m^2 (la constante solar). Al ingresar dentro de la atmósfera, parte de la energía radiada es transformada a través de diversos procesos, entre los cuales se encuentran la reflexión en moléculas presentes en esta, procesos térmicos que calientan la atmósfera, océanos y suelo y finalmente inciden directa o indirectamente sobre dispositivos captadores de energía solar fotovoltaica.[9] Dada su naturaleza, la energía solar fotovoltaica hace parte de las energías renovables limpias, ya que no producen ninguna emisión de elementos contaminantes durante su transformación energética. Esto implica una gran ventaja frente a fuentes convencionales y no convencionales de energía, puesto que hay normativas mundiales que

regulan los residuos que generan un impacto negativo en el ambiente y que Colombia también debe cumplir.

La electricidad extraída de la energía solar fotovoltaica es el resultado último de un fenómeno físico conocido como efecto fotoeléctrico, descubierto por Einstein y más adelante comprobado por Millikan en 1914. Gracias al comportamiento cuántico de la luz, a través de los fotones, permite que los electrones dentro de un semiconductor dopado ganen energía y se desplacen a través del material, generando así una corriente eléctrica. La energía solar ha sido implementada desde tiempos remotos, antes incluso de conocer la física detrás de este fenómeno. Los usos de la radiación solar se encuentran datados en historias de la Antigua Grecia; las ideas de Da Vinci con el uso de espejos y la luz para el calentamiento de agua. Incluso antes de la experimentación formal, el efecto fotoeléctrico fue observado por Edmund Bequerel en 1839. Desde entonces, no se ha descartado al Sol como una fuente de energía útil y siempre disponible. [10]

B. SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Los paneles solares son los encargados de transformar la luz solar en energía eléctrica, a través de un efecto fotoeléctrico. Estos varían de acuerdo con el semiconductor con el que se fabriquen, variando también su costo. A continuación, se especifican los campos de uso de cada tipo actual de celda solar.

Silicio Amorfo: Presentan un rendimiento del 4-11%, son las celdas más económicas y presentan buen comportamiento frente a la temperatura. Sin embargo, se deterioran fácilmente y su eficiencia decrece con el tiempo. Se necesita además de mucha energía y materia prima para su fabricación.

Silicio Monocristalino (m-Si): Presentan un rendimiento del 15-21%. Tienen mayor costo que las anteriores y mucho más complejas de fabricar, pero son más eficientes a largo plazo.

Silicio Policristalino (p-Si): Tienen un rendimiento mayor al 16%, suelen tener menor costo de fabricación que la m-Si. También tienen la capacidad de ser modulares, lo que los hace eficientes espacialmente.

Arseniuro de Galio (GaAs): Poseen los mayores rendimientos (25%) y resistencias a altas temperaturas, pero su costo es muy elevado y los materiales de fabricación suelen ser tóxicos y menos abundantes que el Silicio.

Aunque la celda es parte fundamental del sistema de generación eléctrica solar, se necesitan otros implementos que hacen del sistema fotovoltaico una alternativa útil para la generación eléctrica. En su forma más sencilla y perfectamente aplicable a nivel residencial, luego de conformar el módulo solar (conformado por numerosas celdas solares), este se conecta a un controlador, encargado de regular la óptima operación del sistema y que además protege a las baterías de sobrecarga. Las baterías almacenan la energía convertida por los módulos, que luego será utilizada por el usuario al disponer de una carga. El inversor transforma la corriente continua generada en corriente alterna, comúnmente distribuida en todas las redes domésticas y demandadas por equipos eléctricos. Los elementos que componen el sistema fotovoltaico se resumen en la figura 1.

Figura 1. Esquema de sistema de energía solar.

C. PANORAMA GLOBAL ENERGÍA SOLAR

En el presente, las energías renovables toman cada vez más fuerza en los mercados energéticos de los países; para el caso de las fuentes solares y eólicas, en el año 2019 significó un 90% de la capacidad renovable mundial, superando las fuentes fósiles. Este aumento positivo es impulsado principalmente por la disminución de los costos de producción eléctrica con los dispositivos actuales, más baratos y eficientes que nunca (ver Figura 2). En el reporte de IRENA para el 2019 se señaló que el 16,87% de la energía total producida de fuentes renovables perteneció a la energía solar (ver Figura 3). Entre los países que más aprovechan este recurso se encuentran China, Estados Unidos, Japón y Alemania, superando todos ellos una generación de 45GW.

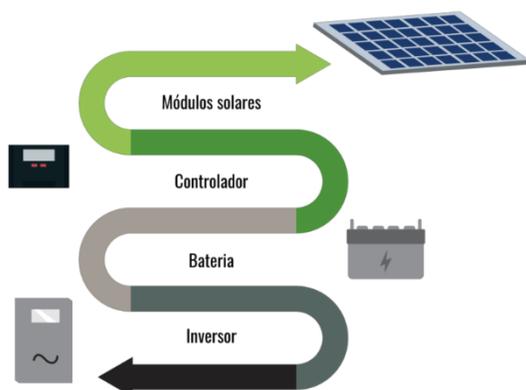
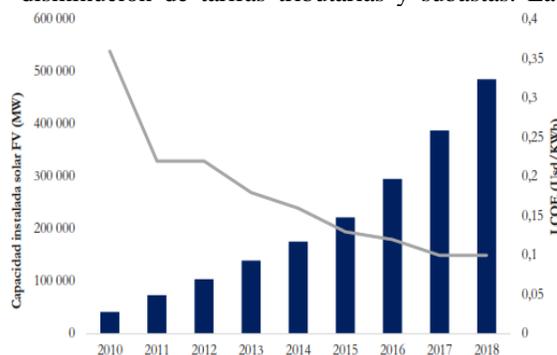


Figura 2. Aumento de capacidad instalada de energía solar mundial y descenso de costes asociados

El éxito experimentado por estos países radica no sólo a sus niveles de radiación competentes, sino también a favorables incentivos con altas subvenciones, altas inversiones, programas de subsidios y remuneración.

De igual forma, en los países latinoamericanos y del Caribe, el uso de la energía solar PV ha penetrado positivamente el mercado energético y cada vez las barreras para la implementación de las energías renovables en general han venido reduciéndose. Los países en esta zona cuentan con una ventaja geográfica pues tienen una mayor exposición a la radiación solar.

En estos países también se ve un esfuerzo regulatorio para la promoción de las energías renovables, incluido Colombia. Los incentivos principales incluyen la disminución de tarifas tributarias y subastas. La



inversión pública y privada también juega un rol importante. Consecuencia de todo esto, países como Brasil, México y Chile tienen una participación significativa de energías renovables en sus redes nacionales.

D. LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTÁICA EN COLOMBIA

En Colombia, el uso de esta energía no ha sido pasado por alto. De hecho, el potencial energético en esta zona supera el valor de energía promedio diario mundial (3,9 kWh/m²/d). Además, su ubicación geográfica y condiciones climáticas favorecen el uso prolongado de esta energía, gracias a las horas de exposición solar que superan en la mayoría del país, las 4 horas. A nivel histórico, el uso de la energía solar en Colombia contribuyó al desarrollo de las comunicaciones en zonas rurales. Desde los años 90, el incentivo por la generación energética alternativa estuvo

presente en las normativas colombianas. Esto, en respuesta a la alta dependencia del sistema eléctrico de la energía hídrica y las contrariedades que traen consigo fenómenos climatológicos como El Niño o La Niña, afectando principalmente esta fuente de energía. En respuesta, para el año 2014, junto con la Ley 1715, que regula legalmente la integración de las energías renovables no convencionales, se establecen incentivos y beneficios para la participación de estas en Colombia. Para el 2015, Colombia ingresa al programa IRENA, comprometiéndose así, junto con países en todo el mundo a la reducción de emisiones mediante la integración de energías renovables en el sistema eléctrico nacional.[11] A partir de aquí, los proyectos en torno a las energías renovables se han multiplicado y para el 2018, la participación de las energías renovables, impulsadas por la ley 1715 es el que se aprecia en la figura 4.

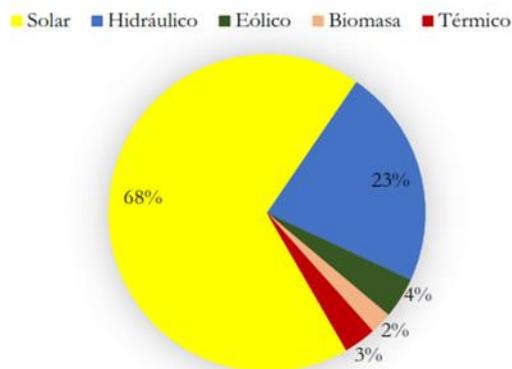
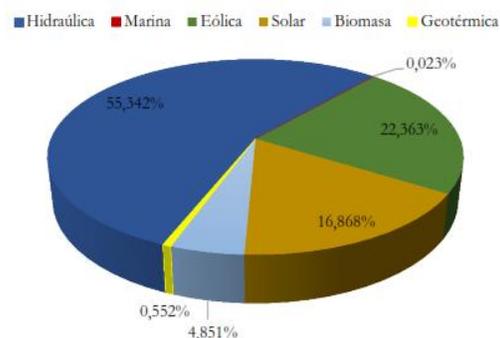


Figura 3. Porcentaje de participación de energías renovables en el mundo.

Figura 4. Porcentaje de participación de energías renovables en Colombia para 2018.

Proyectos privados y/o públicos de diferentes escalas se han llevado a cabo en el país durante esta década. Ejemplos, incluyen el parque fotovoltaico en Yumbo que Celsia instaló, produciendo un total de 9.8MW, suficiente para alimentar a 8000 hogares. Bolívar también cuenta con un parque de similar capacidad (8.8MW). También, la aplicación de paneles solares a centros comerciales o estructuras diversas, como lo es el centro de convenciones en Cartagena. En escala residencial, cada vez es más común ver a inversores privados generar energía en pequeña escala para fines de actividades económicas o residenciales. Diversos estudios se han realizado

en esta misma línea. A continuación, se resumen algunos trabajos claves, cuyos resultados ayudarán al subsecuente desarrollo de este proyecto. Quiceno & Álvarez propone un diseño de un sistema solar, indicando los elementos físicos a utilizar y los costos de inversión asociados. Se utilizó como referencia una vivienda típica de estrato 3 en Medellín, Antioquia. El estudio de inversión evidencia un retorno económico en un tiempo aproximado de 7 años. En Chía, Cundinamarca, Rodríguez, Cadena & Aristizábal este mismo año un análisis tecno-económico con resultados similares al visto en el anterior estudio. Rúa, Barrera & Gómez (2017) evalúa los impactos socioeconómicos y ambientales de la



implementación de sistemas solares en viviendas unifamiliares ubicadas en el departamento del Casanare. La evaluación finaliza en el apoyo de la implementación de sistemas solares para zonas rurales, especialmente en zonas como estas que no cuentan con el suministro del SIN. Los impactos ambientales también son explorados en estudios como Pasqualino, Cabrera & Vanegas (2014). En Ortiz & Chacón (2018) se realiza un estudio similar al anterior, esta vez en viviendas unifamiliares ubicadas en La Cecilia, vereda rural de Villavicencio. El estudio evaluó las diferentes fases del proyecto, incluidas diseño y disposición final, resaltando la gran oportunidad que hay presente con los paneles solares como una alternativa limpia en la generación eléctrica. Acosta (2020) presenta una implementación de una solución solar ante un problema de flujo eléctrico intermitente en una casa residencial de la ciudad de Cartagena. Basándose en la estimación de los consumos registrados en la vivienda, determinó un kit de implementación de sistema solar y el costo asociado. Se logró concluir que un solo kit es necesario para abastecer autónomamente el lugar por 8 horas. Un trabajo similar se observó en Villamizar (2018), implementando un sistema para

un conjunto residencial en el municipio de Los Patios, Norte de Santander.

VI. ALCANCE

El presente proyecto, está enmarcado dentro de una propuesta de diseño, se compromete en la identificación de oportunidad de implementación de un sistema solar fotovoltaico para uso residencial en zonas rurales que cuenten con poca participación del sistema de interconexión nacional. Con este proyecto, se verá beneficiada la comunidad estudiantil de la Universidad Antonio Nariño sede Valledupar, ya que les servirá como un patrón para realizar cualquier tipo de diseño en donde se vean involucrados los paneles solares y de esa manera ayudará en el crecimiento intelectual de cada uno de los estudiantes interesados en el tema.

VII. METODOLOGÍA

TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo de este proyecto se tomará una metodología de tipo Exploratorio; Como enfatiza (Carlos Sabino – 2000) “Son las investigaciones que pretenden darnos una visión general y sólo aproximada de los objetos de estudio. Este tipo de investigación se realiza especialmente cuando el tema elegido ha sido poco explorado, cuando no hay suficientes estudios previos y cuando aún, sobre él, es difícil formular hipótesis precisas o de cierta generalidad”[12]

Con lo anterior dicho se considera este proyecto de tipo exploratorio ya que trata de beneficios con uso de energías renovables, y este tipo de energía en particular, aún carece de mucha información muy a pesar de que, en el mundo, hay regiones que han comenzado a innovar este tipo de tecnologías de bajo costo en procura de mejorar la calidad de vida de los usuarios y buenos cambios para sus comunidades. Se empieza una investigación del potencial energético del sol y de cómo aprovecharlo para ser utilizado para el beneficio particular y comunitario. Por medio del proceso de investigación exploratoria, se caracterizará la región principalmente de tal manera que permita conocer todos los pormenores de la misma, así como contrarrestar estos mismos buscando herramientas que puedan mejorar la investigación, ya que estas bases son

fundamentales para el desarrollo de cada objetivo propuesto.

ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

“La investigación cuantitativa considera que el conocimiento debe ser objetivo, y que este se genera a partir de un proceso deductivo en el que, a través de la medicación numérica y el análisis estadístico inferencial, se prueban hipótesis previamente formuladas”. Hernández, Fernández y Baptista. [13]

El modelo de estudio cuantitativo comprenderá la estimación de las cantidades de energía anual en la región y la disponibilidad temporal y espacial. En base a los valores finales de este estudio, se determinarán las ofertas actuales en el mercado que aprovechen de forma eficiente este potencial. El siguiente paso involucra la estimación de los costos de inversión y recuperación económica asociada a la producción energética en contraste a los costes de alimentación de otras fuentes energéticas.

Para lograr cumplir estos objetivos, se llega a diversas etapas las cuales dan la base y dan muestra de lo que se requiere para el proyecto.

Etapa A – Exploración de la zona.

Se hace la exploración del entorno el cuál se va a ejercer la instalación del proyecto, así hallando puntos estratégicos donde se pueda llegar a un mayor beneficio.

Etapa B – Cargas eléctricas de la vivienda a seguir.

Se realiza una lista de los equipos eléctricos que tiene la vivienda, con eso se llega a determinar la carga mínima que necesitan aportar los paneles para la instalación.

Etapa C – Beneficio económico y ecológico.

Con las cargas ya listas, se procede a la realización de un análisis del beneficio económico que este conlleva, además de como este mismo logra beneficiar a la parte ambiental, que se ha visto afectada estos últimos años, por diversos métodos de obtención de energías eléctricas no renovables.

Diseño de Investigación

“La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de todos directamente

de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos sin manipular o controlar variables algunas, es decir, el investigador obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes”. Fideas G. Arias. Con lo anterior dicho, se deduce que el diseño de investigación es de campo, debido a que se recolectan diversos datos de paneles solares en distintos sectores del mundo, además de la eficiencia que este presenta, y sus pocas desventajas. El proyecto se presenta donde es muy poco probable que la energía logre llegar dado, a las lejanías y las escasas maneras de transporte hacia las zonas montañosas.

Método de investigación

El trabajo comprende una investigación exploratoria para la aplicación de sistemas solares en zonas rurales, dado a que no habrá resultados tangibles, pero de igual valor para los interesados en futuras implementaciones en la zona de estudio o en general, en cualquier zona rural. Por último, se enlistan las consideraciones ambientales a tener en cuenta para que la ejecución del proyecto cumpla con estándares ambientales y de sostenibilidad. Desde la selección de la tecnología más amigable y menos invasiva hasta la disposición final terminado su ciclo de vida.

VIII. UBICACIÓN DENTRO DE LAS LÍNEAS DE TRABAJO DEL PROGRAMA

Las líneas de trabajo en que nos desarrollamos tienen influencia en las materias que previamente fueron vistas por el estudiante las cuales son circuito de corriente alterna, instalaciones eléctricas, circuito de corriente directa, dibujo eléctrico y mecánico, costo y presupuesto, de este modo se ponen en práctica cada una de las materias previamente vistas.

IX. Resultados

A. Determinar la carga de la vivienda que se le va suministrar energía eléctrica

EQUIPOS	POTENCIA (w)	HORAS /DIA	CANTIDAD	VOLTAJE (AC)	TECNOLOGIA	TOTAL (Wh)	TOTAL (kWh)
LICUADORA	140	0,2	1	110V	CONVENCIONAL	28	0,028
NEVERA	80	12	1	110V	CONVENCIONAL	960	0,960
TELEVISOR	100	3	1	110V	LED	300	0,300
PLANCHA	1.000	0,1	1	110V	CONVENCIONAL	100	0,100
VENTILADOR	80	4,5	1	110V	CONVENCIONAL	360	0,360
COMPUTADOR	200	2,5	1	110V	PORTATIL	500	0,500
LUCES	15	4,5	6	110V	LED	68	0,068
TOTAL	1.615					2.316	2,32

Tabla 1: Consumos comunes de equipos electrodomésticos en una vivienda.

CONSUMO ELÉCTRICO DE LA INSTALACIÓN

La potencia, es la cantidad de energía consumida o entregada por una unidad de tiempo. La potencia se mide en **Watts o Vatios**, y se representa con la letra (**W**). Es importante recordar que los equipos han sido diseñados y dimensionados requiriendo una determinada potencia para su funcionamiento. Esta potencia eléctrica en casi todos los equipos viene expresada en **watts (W)**. Para medir la potencia se relaciona el voltaje y el amperaje.

Utilizando la información sobre la potencia, podemos *calcular el amperaje y el voltaje* al aplicar las siguientes fórmulas:

$$W=V*I$$

$$V=W/I$$

$$I=W/V$$

Donde

W=

es la potencia eléctrica en vatios (watts).

V= es el voltaje eléctrico en voltios (volts).

I= es la corriente eléctrica en amperios (amperios).

La energía, es la cantidad de potencia de los equipos multiplicado por las horas que están encendidos. Su unidad de medida es Watt-Hora (**kWh**). Para calcular los (**kWh**) la fórmula sería:

$$kWh = kW \times h$$

$$\text{Energía} = \text{Potencia} \times \# \text{ horas conectado}$$

La energía consumida por un conjunto de equipos es la suma del consumo de cada uno de ellos durante un tiempo determinado, generalmente, día o mes.

Se obtiene de la siguiente forma:

$E_c = \sum E_i = 1$; $E_i = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n$ donde,

E_i ; Consumo de energía eléctrica del equipo (carga) i , en kWh, día o mes. $E_c = 2,32$ kWh Consumo total de energía eléctrica del conjunto de equipos, en kWh, día o mes, según se requiera.

Las cargas típicas instaladas en el estrato 1, corresponden al alumbrado y a electrodomésticos de primera necesidad (lámparas, televisor, licuadora, nevera, lavadora, plancha, estufa, ventilador, y computador en muchos casos). Se toma como referencia una vivienda de este estrato social ya que son las que cuentan prácticamente con los electrodomésticos antes detallados y que fueron comprobados el día en que se realizó la visita para tabular la información y así desarrollar este objetivo. De este modo el promedio de consumo eléctrico diario de energía es de 2,32 kWh.

	GENERACIÓN DE ENERGÍA	DE	AHORRO EN PESOS
DIA	2,32 kWh		\$ 1.322
MES	69,6 kWh		\$ 39.672
AÑO	835,2 kWh		\$ 476.074

Tabla 2: costos de Energía y ahorro en pesos.
*Valor del kWh = \$570

Según la tabla antes descrita el ahorro de dinero anualmente es de \$476.074

B. Determinar los elementos que hacen parte del sistema solar fotovoltaico.

Los componentes del sistema fotovoltaico están agrupados en tres (3) subsistemas:

Subsistema de Generación, responsable de transformar la energía solar en electricidad. Está conformado por el panel solar.

Subsistema de almacenamiento, encargado de almacenar la energía eléctrica producida por el panel solar durante el día y que nos servirá como elemento que proporcionará la energía durante la noche. Corresponde a la batería.

Subsistema de control, permite tener el control de todo el sistema fotovoltaico y monitorear su buen funcionamiento. Normalmente está compuesto por el controlador de carga, el interruptor termomagnético, el inversor de voltaje de DC a AC y la fusilera de protección para consumo.

CÁLCULO DE PANELES

Para este proyecto el tipo de panel va a ser de policristalino, se debe tener en cuenta que tengan la suficiente capacidad para generar la energía consumida por la instalación durante un día, la hora solar pico y la capacidad que va a tener el panel.

$$N^{\circ} \text{ Panel} = \frac{EC * 1,3}{HSP * WP}$$

Ecuación 1: Número de paneles

$EC \rightarrow$ Consumo diario

$HSP \rightarrow$ Hora solar pico

$WP \rightarrow$ Potencia Panel

1,3 \rightarrow Factor de seguridad, sobredimensidad de un 30% más de consumo.

Multiplicamos el consumo diario de kWh por 1000, para obtener la energía en Watts neta que hay que captar.

$$2,32 \text{ kWh} * 1000 = 2320 \text{ Wh}$$

$$HSP = 5,4h$$

$WP = 385 \text{ W}$ se selecciona este tipo de panel fotovoltaico con esta potencia debido a que fue el más comercial encontrado en el mercado colombiano.

$$N^{\circ} \text{ Panel} = \frac{2320 \text{ Wh} * 1.3}{5,4h * 385 \text{ W}}$$

$$N^{\circ} \text{ Panel} = \frac{3016 \text{ Wh}}{2079 \text{ Wh}} = 1.4 \text{ se realiza aproximación a } 2$$

Entonces, si el consumo diario es de 3.016 Wh se deben utilizar 2 paneles de 385 W.

Datos técnicos panel solar figura 5

YLM 72 CELL

ELECTRICAL PERFORMANCE

Electrical parameters at Standard Test Conditions (STC)							
Module type			YLxxxD-36b (xxx=P _{max}) YLXXXD-36b 1500V (xxx=P _{max})				
Power output	P _{max}	W	380	385	390	395	400
Power output tolerances	ΔP _{max}	W	0/+5				
Module efficiency	η _m	%	19.1	19.4	19.6	19.9	20.1
Voltage at P _{max}	V _{mp}	V	40.1	40.2	40.4	40.5	40.7
Current at P _{max}	I _{mp}	A	9.48	9.58	9.66	9.76	9.83
Open-circuit voltage	V _{oc}	V	48.4	48.5	48.6	48.7	48.8
Short-circuit current	I _{sc}	A	9.95	10.02	10.10	10.17	10.24

STC: 1000W/m² irradiance, 25 °C, module temperature, AM1.5g spectrum according to EN 60904-3.

YINGLI SOLAR

YLM 72 CELL

IMPROVED POWER NEVER SETTLE FOR LESS

Choosing the best P-type monocrystalline cells, YLM series modules are making the best out of your system. Trust in the expertise of Yingli and well proven technology.

Tipo de panel: monocristalino 72 celdas.

GENERAL CHARACTERISTICS	
Dimensions (L / W / H)	1979mm / 1002mm / 40mm
Weight	22.4kg

figura 5 panel solar

CÁLCULO DEL CONTROLADOR

El regulador solar MPPT es capaz de separar la tensión de funcionamiento de los paneles solares de la tensión de la batería. De esta forma el seguidor del punto de máxima potencia (MPPT) podrá situar la tensión de trabajo del conjunto de paneles solares en la óptima para obtener la máxima producción posible. Los paneles solares de 40V están compuestos por 72 celdas conectadas en serie y su punto La máxima potencia es a una tensión de trabajo V_{mp} de 48.5V aprox.

Para calcular la corriente máxima de carga se divide la potencia total de paneles solares por la tensión de la batería.

$$\frac{P_{tot}}{V_{bat}} = I_{MAX}$$

$$770W_p / 24V = 32 A$$

Necesitaremos un regulador solar MPPT de 60 amperios.

La potencia del regulador – controlador se calcula con el voltaje de circuito abierto y la corriente de cortocircuito del arreglo fotovoltaico. Los paneles solares están conectados en serie.

$$P_c = V_0 * I_s$$

$$P_c = 48.5v * (2 * 10.02A) = 971,94 W$$

Se selecciona controlador solar MPPT de la marca Victron por cumple con las características requeridas. figura 6



SmartSolar Charge Controller MPPT 150/100-Tr with pluggable display

SmartSolar Charge Controller	150/45	150/60	150/70	150/95	150/100
Battery voltage	12 / 24 / 48V Auto	12 / 24 / 48V Auto	select software tool needed to select 36V		
Rated charge current	45A	60A	70A	85A	100A
Nominal PV power: 12V 1A.b)	600W	800W	1000W	1200W	1400W
Nominal PV power: 24V 1A.b)	1300W	1720W	2000W	2400W	2900W
Nominal PV power: 36V 1A.b)	1950W	2580W	3000W	3600W	4350W
Nominal PV power: 48V 1A.b)	2600W	3440W	4000W	4900W	5800W
Max. PV short circuit current 2)	50A (max 30A per MC4 conn.)				
Maximum PV open circuit voltage	150V absolute maximum coldest conditions 145V start-up and operating maximum				
Maximum efficiency	98%				
Self-consumption	Less than 35mA @ 12V / 20mA @ 48V				
Charge voltage absorption	Default setting: 14.4 / 28.8 / 43.2 / 57.6V (adjustable with: rotary switch, display, VE.Direct or Bluetooth)				
Charge voltage float	Default setting: 13.8 / 27.6 / 41.4 / 55.2V (adjustable: rotary switch, display, VE.Direct or Bluetooth)				

figura 6 controlador

INVERSOR

Su función es la de convertir la energía eléctrica de corriente continua que nos suministrarán los paneles solares en corriente alterna para el consumo de los aparatos eléctricos que hayamos instalado.

La tensión de entrada al inversor será de 24V continua; mientras que la tensión de salida tendrá un valor de 120V a 60 Hz de voltaje alterno. Uno de los datos del inversor a tener en cuenta es el rendimiento. Estará entre 91% y 95% y este valor habrá que tenerlo en cuenta a la hora de calcular la instalación.

El dato clave para definir un inversor es su potencia. Este dato será la energía que podremos utilizar en nuestra instalación de manera simultánea sin que ésta se vea afectada, se utilizará un inversor de 3000 W. Se selecciona este tipo de inversor por que cumple con las características necesarias. figura 7



Salida De Onda		Onda Pura				
Modelo	NV-P300	NV-P600	NV-P1000	NV-P2000	NV-P3000	
Salida de Voltaje (W)	300	600	1000	2000	3000	
Salida Energía Pico	600	1200	2000	4000	6000	
Frecuencia	60Hz					
Carga de No Corriente	<0,5A, <0,3A	<0,7A, <0,4A	<0,9A, <0,4A	<3,2A, <1,4A	<3,5A, <2,1	
Voltaje de Trabajo DC	12V / 24V	12V / 24V	12V / 24V	12V / 24V	12V / 24V 48V	
Rango del Voltaje	10-15V 20-30V	10-15V 20-30V	10-15V 20-30V	10-15V 20-30V	10-15V, 20 30V, 40-60	
Alarma de Bajo Voltaje	11V, 21V	11V, 21V	11V, 21V	11V, 21V	11V, 21, 42	
Protección de Voltaje	10V, 20V	10V, 20V	10V, 20V	10V, 20V	10V, 30V, 40V	
Protección Sobre-Voltaje	15V, 30V	15V, 30V	15V, 30V	15V, 30V	15V, 30V, 60V	
Eficiencia Máxima	94%					

figura 7 inversor

BATERÍAS

De ellas depende el almacenaje de la energía eléctrica para asegurar el suministro en las siguientes condiciones posibles: En un ciclo diario, por el cual, las baterías suministran la energía mientras no hay radiación solar o el ciclo está por debajo de la energía que la instalación es capaz de generar. O en ciclo largo, en el que las baterías garantizan y suministran la energía durante algunos días de manera ininterrumpida en los que la radiación que se le aplica a los receptores solares es baja o prácticamente inexistente. Se tendrán que conexas en serie para llegar a una tensión de trabajo que se haya determinado, y en paralelo para conseguir la capacidad de la batería sea suficiente que garantice el autoabastecimiento, en la figura 8 se muestra el tipo de batería que sería usado en este estudio.

banco baterias= numero de dias*consumo

$$Bb = 1 * 2312 \text{ Wh} = 2312 \text{ Wh}$$

$$Bb = 2312 \text{ Wh} / 24V = 96 \text{ Ah}$$

se seleccionarán 2 baterías de 100Ah ya que estas estarán conectadas en serie.

Powered by **PR ENERGY** ▶ 12V 100Ah
6-GFMJ-100



GFMJ series is a battery using AGM GEL Technology, long life, suitable for standby and energy storage. Front terminals make the installation, maintenance and supervision easy. As with all batteries, all are rechargeable, highly efficient, leak proof and maintenance free.

Specification

Cells Per Unit	6
Voltage Per Unit	12
Capacity	100Ah @ 10hr-rate to 1.8V per cell @25°C (77°F)
Weight	Approx. 29 kg(64.68 lbs)
Maximum Discharge Current	1200A (5sec)
Internal Resistance	Approx. 5.5 mΩ
Operating Temperature Range	Discharge: -15°C-50°C (5°F-122°F) Charge: -15°C-40°C (5°F-104°F) Storage: -15°C-40°C (5°F-104°F)
Nominal Operating Temperature Range	25°C±3°C (77°F±5°F)
Float Charging Voltage	13.5 to 13.8 VDC/unit Average at 25°C (77°F)
Recommended Maximum Charging Current Limit	30A
Equalization and Cycle Service	14.4 to 14.8 VDC/unit Average at 25°C (77°F)
Self Discharge	Batteries can be stored for more than 6 months at 25°C (77°F). Please charge batteries before using. For higher temperatures the time interval will be shorter.
Terminal	Thread lead alloy recessed terminal to accept M6 bolt
Container Material	ABS(UL 94-HB) & Flammability resistance of (UL 94-V0) can be available upon request.

Figura 8 baterías.

La tensión de trabajo vendrá determinada por la potencia de toda la instalación. Podemos establecer el siguiente ámbito de trabajo para las tensiones:

- Potencia < 1.200 → = 12V
- Potencia entre > 1.200 y < 4.000 → = 24V
- Potencia > 4.000 → = 48V

Una de sus dos características fundamentales es su capacidad de carga, se mide en Amperios/Hora (Ah) y nos indica cual es el valor de la energía que la batería podrá almacenar. Esta capacidad no es determinante a la hora de proporcionar la energía, ya que dependerá de a qué velocidad la suministra. Por otro lado, está la profundidad de descarga. Nos indicará, cuál es el máximo valor de la energía que seremos capaces de utilizar sin que se vea deteriorado su funcionamiento. Normalmente está alrededor del 70%.

C. Calcular el costo de los elementos del sistema solar fotovoltaico.

PRODUCTOS	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
PANEL SOLAR DE 385W MONOCRISTALINO 72 CELDAS	2	\$ 635.000	\$ 1.270.000
BATERIA DE GEL 12V 100Ah	2	\$ 629.000	\$ 1.258.000
INVERSOR 24V DE ONDA PURA 3000W	1	\$ 1.490.000	\$ 1.490.000
CONTROLADOR MPPT 60A	1	\$ 920.000	\$ 920.000
Breaker 16 Amperes DC Siemens 72 Voltios	1	\$ 28.500	\$ 28.500
Breaker 63 Amperes DC Siemens 72 Voltios	1	\$ 39.900	\$ 39.900
KIT Cables Banco de Batería 24V 2 Serie AWG N°6	1	\$ 67.500	\$ 67.500
Kit Cable Fotovoltaico 15mts 6mm conector en 1 extremo	1	\$ 169.600	\$ 169.600
Caja Fusible tipo Riel con Fusible 15A 1000V DC	1	\$ 69.300	\$ 69.300
TOTAL			\$ 5.312.800

Tabla 3: Precio de los elementos del sistema solar fotovoltaico.

Estos elementos son calculados en la página de internet de solartex el cual es un proveedor de sistemas fotovoltaicos <https://www.solartex.co/kit-solar-fotovoltaico-aislado/>

X. Conclusiones

El sistema solar fotovoltaico, es un gran método de obtención de energía, debido a su manera de suministrar esta misma, ya que se beneficia de la luz solar y así mismo no afectando al medio ambiente, también teniendo la ventaja de poder establecerse en cualquier sector donde no hay maneras de llegar, a menos que sea de formas costosas o que dañan al ecosistema. El proyecto además beneficia mucho económicamente, a cada vivienda que cuente con ella, debido a que se hace de este servicio y el capital invertido se recupera en poco tiempo, siendo este proyecto un referente

donde ya puede llegar la energía eléctrica, y dar un aporte más en lo económico y ambiental.

XI. Agradecimientos

Agradezco a Dios que nos brinda la sabiduría y me guió para llegar hasta este momento. También a nuestros familiares que siempre están ahí para apoyarnos, nuestros padres, que nos brindan la oportunidad de ir por nuestras metas, a nuestros hermanos que estuvieron dando consejos para el proyecto, ya que ellos se han desarrollado y tenido experiencia en este campo.

A los profesores que nos brindaron el conocimiento para poder hoy llegar a entender y aprender de lo que nos gusta. Nos brindaron las ganas de salir adelante y cambiar al mundo para bien.

Muchas gracias a todos ellos.

I. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Congreso de la república. (2014, mayo 13). ley 1715. upme. Retrieved abril 14, 2021, from http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf
- [2] Torres, j. (2019, junio 8). Energía No Convencional: Características, Tipos y Ventajas. lifeder. Retrieved abril 15, 2021, from <https://www.lifeder.com/energia-no-convencional/>
- [3] Manual Instalaciones Fotovoltaicas. (2018, mayo 1). Manual Instalaciones Fotovoltaicas Mayo 2018 - Ayllu Solar. Retrieved abril 17, 2021, from https://ayllusolar.cl/wp-content/uploads/2018/05/manual_instalaciones_fotovoltaicas.pdf
- [4] Naciones Unidas. (2003, septiembre 10). Energía y pobreza: los problemas del desarrollo energético y los grupos sociales marginados en zonas rurales y urbanas de brasil. Energía y pobreza: los problemas del desarrollo CEPAL. Retrieved abril 20, 2021, from https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/6430/S0310729_es.pdf
- [5] Acevedo Garces, f. d. j. (2016, junio 15). DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA CON CAPACIDAD PARA 3 KILOVATIOS. DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA. Retrieved abril 20, 2021, from <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/11834/10097742.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [6] Sistema interconectado nacional. (2020, septiembre 20). Documento Sistema interconectado nacional - Celsia. Retrieved abril 25, 2021, from <https://www.celsia.com/wp-content/uploads/2020/09/Documento-de-trabajo-sobre-el-Sistema-Interconectado-Nacional.pdf>
- [7] Upme. (2019, diciembre 30). Plan Indicativo de Expansión de Cobertura de Energía Eléctrica PIEC 2019-2023. Plan Indicativo de Expansión de Cobertura de Energía. Retrieved abril 29, 2021, from http://www.upme.gov.co/Siel/Siel/Portals/0/Piec/Informacion_Base_PIEC_Dic302019.pdf
- [8] <https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/goal-07/>
- [9] <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-solar>
- [10] https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srren_report_es-1.pdf
- [11] MinEnergía. Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional, (Ley 1715 del 2014).
- [12] Carlos Sabino, “El proceso de la investigación,” Ed. Panapo, Caracas, 1992, 216 págs.
- [13] R. Hernández, C. Fernández y M. Baptista, “Metodología de la investigación 5ta edición”, 2010, McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.