

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO
DE SUMINISTRO DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA
A UNA VIVIENDA UBICADA EN LA VEREDA
GOLCONDA
(ANAPOIMA CUNDINAMARCA)**

DANIEL FERNANDO ESCAMILLA ROJAS
Estudiante Ingeniería Electrónica

DAVID STEVEN ROMERO SÁNCHEZ
Estudiante Ingeniería Electrónica

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
FUSAGASUGÁ
2017**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO
DE SUMINISTRO DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA A
UNA VIVIENDA UBICADA EN LA VEREDA
GOLCONDA
(ANAPOIMA CUNDINAMARCA)**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título de
Ingeniero Electrónico

DANIEL FERNANDO ESCAMILLA ROJAS
Estudiante Ingeniería Electrónica

DAVID STEVEN ROMERO SÁNCHEZ
Estudiante Ingeniería Electrónica

Director:
HUMBERTO NUMPAQUE LÓPEZ
MsC. Control Industrial

Línea de investigación:
Energías Alternativas

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
Ingeniería Electrónica
Facultad de Ingeniería
Fusagasugá, Colombia
2017

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Fusagasugá ___ de _____ del ___

Dedicatoria

Dedico este trabajo principalmente a nuestros padres y seres queridos, por habernos dado la vida, permitirnos llegar hasta este momento tan importante de nuestra formación profesional, y a nuestras familias en general, porque nos han brindado su apoyo incondicional.

Agradecimientos

A nuestro director de tesis Ing. Humberto Numpaque, por toda su colaboración y apoyo durante todo el proceso, para finalizar con éxito nuestro trabajo de grado.

A la señorita Nancy escamilla por brindarnos su apoyo incondicional en el desarrollo de los estudios.

A todos los docentes que a lo largo de la carrera nos infundieron las bases para lograr cumplir nuestras metas como estudiantes de ingeniería electrónica.

A todos nuestros compañeros con los cuales compartimos y trabajamos por ser mejores, en especial agradecimiento a nuestro compañero L. Romero por estar presente en los momentos más difíciles. Por último, muchas gracias a nuestras familias, quienes siempre estuvieron y estarán para ayudarnos con nuestros sueños.

Contenido

1. Capítulo 1: Introducción	15
1.1. El problema.....	16
1.1.1. Planteamiento del problema	16
1.2. Objetivos del estudio.....	18
1.2.2. Objetivo general	18
1.2.3. Objetivos específicos.....	18
2. Capítulo 2: Sistemas fotovoltaicos de energía	19
2.1. Radiación lumínica solar	19
2.2. Panel solar	20
2.2.1. Eficiencia y pérdidas en celdas solares	23
2.2.2. Límite termodinámico.....	23
2.3. Inclinación de celda solar	24
2.4. Orientación de celda solar.....	25
2.5. Regulador de Carga.....	25
2.5.1. Fase bulk.....	25
2.5.2. Fase absorción	26
2.5.3. Fase de flotación	26
2.6. Baterías.....	26
2.6.1. Ciclo profundo (Deep-cycle)	27
2.7. Inversores	28
2.7.2. Inversor en puente completo	29
2.7.3. Inversor de onda cuadrada para carga resistiva	30
2.7.4. Distorsión armónica total	31
2.8. Estado del arte.....	32
3. Capítulo 3: Diseño metodológico	48
3.1. Primera fase: Estudio de radiación lumínica solar	48
3.2. Segunda fase: Demanda energética de la vivienda.....	50
3.3. Tercera fase: Inclinación y orientación óptima PV	50
3.4. Cuarta fase: Etapas de potencia	52
3.5. Quinta fase: Validación del prototipo	57
4. Capítulo 4: Análisis de resultados y discusión	61
4.1. Primera fase: Estudio de radiación lumínica solar	61
4.2. Segunda fase: Demanda energética de la vivienda.....	62

4.3.	Tercera fase: Inclinación y orientación óptima PV	65
4.4.	Cuarta fase: Etapas de potencia	68
4.5.	Quinta fase: Validación del prototipo	70
5.	Conclusiones	73
	Apéndice A: Tabla índice de radiación lumínica solar.....	74
	Apéndice B: Tablas ángulo Panel Solar 20°	75
	Apéndice C: Tabla ángulo Panel Solar 25°	77
	Apéndice D: Tabla ángulo Panel Solar 30°	79
	Apéndice E: Tabla validación prototipo.....	81
	Apéndice F: Código en Arduino para monitoreo de corriente	85
	Apéndice G: Encuestas realizadas a propietarios de la vivienda	86
	Apéndice H: Cargas utilizadas en la validación.....	88
	Bibliografía.....	89
6.	Anexos	91
	Anexo 1: Solar Power Meter TM-206	91
	Anexo 2: Panel solar SP150P	92
	Anexo 3: ME-12V020.....	93
	Anexo 4: Power inverter THA150.....	94
	Anexo 5: IRF640B	95
	Anexo 6: ACS714	96

Índice de figuras

Figura 1. Árbol de problemas de la situación.	17
Figura 2. Diagrama de bloques de un sistema fotovoltaico.	19
Figura 3. Estructura de un panel solar.	20
Figura 4. Transformación de radiación solar en corriente eléctrica.....	21
Figura 5. Células fotovoltaicas.	21
Figura 6. Células Monocristalinas (a), Células Policristalinas (b).	22
Figura 7. Eficiencia térmica teórica de una celda solar.....	24
Figura 8. Declinación magnética.....	25
Figura 9. Estructura de una batería de ciclo profundo.....	28
Figura 10. Diagrama de bloques de inversor DC-AC.	28
Figura 11. Inversor en configuración puente de onda completa a), Forma de onda de salida en el inversor b).	29
Figura 12. Participación estimada de la energía renovable en la producción mundial de electricidad para el 2014.....	33
Figura 13. Hogares potenciales – Capacidad de almacenamiento a), Hogares potenciales – Sin capacidad de almacenamiento b).	36
Figura 14. Fallos en medidores electromecánicos a), Fallos en medidores electrónicos b)..	39
Figura 15. Árbol de fallos.	40
Figura 16. Medidores afectados herméticamente.	40
Figura 17. Teoría y Satélite Resultados para insolación media en Montenegro.....	41
Figura 18. Participación de las energías renovables en el marco de la energía primaria. mundial.....	42
Figura 19. Cultivo de las tecnologías renovables del periodo 2004-2009.....	43
Figura 20. Distribución de la capital de Colombia, acorde al promedio anual de radiación solar.....	44
Figura 21. Consumo total de las cargas en el sistema.	46
Figura 22. Representación esquemática del sistema en su configuración autónoma.....	47
Figura 23. Diagrama de bloques para fases metodológicas.....	48
Figura 24. Diagrama de bloques para primera fase.	48
Figura 25. Diagrama de bloques para segunda fase.....	50
Figura 26. Diagrama de bloques para tercera fase.	51
Figura 27. Diagrama de bloques para cuarta fase.	52
Figura 28. Disipación de potencia en primer armónico en magnitud de amplitud.	56
Figura 29. Diagrama de bloques para quinta fase.....	57
Figura 30. Composición y estructura del prototipo.	58
Figura 31. Circuito de acondicionamiento de señal de tensión para monitoreo.	59
Figura 32. Sensor de corriente conectado en serie a la carga del sistema.....	60
Figura 33. Estudio de radiación solar diaria.	61
Figura 34. Gráfica de potencia para el ángulo de 20° grados.....	66
Figura 35. Gráfica de potencia para el ángulo de 25° grados.....	66
Figura 36. Gráfica de potencia para el ángulo de 30° grados.....	67
Figura 37. Armónicos pares suprimidos en prueba con carga.....	69
Figura 38. Análisis de validación.....	71
Figura 39. Prueba del prototipo en campus universitario.	72

Índice de tablas

Tabla 1. Cuadro comparativo células monocristalinas y policristalinas.....	23
Tabla 2. Tipos de baterías.....	27
Tabla 3. Salidas de tensión.....	29
Tabla 4. Resultados de las configuraciones.....	34
Tabla 5. Resultados de aceptación de las RES.....	38
Tabla 6. Promedio de medidores fallidos por nodo.....	38
Tabla 7. Figura Condiciones meteorológicas para los lugares estudiados.....	45
Tabla 8. Parámetros del diseño del inversor en puente completo.....	54
Tabla 9. Parámetros de entrada en el inversor.....	55
Tabla 10. Análisis ideal para las componentes armónicas.....	55
Tabla 11. Cuantificación de cargas en la vivienda.....	63
Tabla 12. Cuadro de cargas.....	64
Tabla 13. Valores iniciales de diseño.....	64
Tabla 14. Parámetros de diseño.....	65
Tabla 15. Resultados del estudio de inclinación.....	68
Tabla 16. Disipación de potencia en primeros cinco armónicos impares.....	69
Tabla 17. Cargas utilizadas en la validación.....	71

Resumen

La obtención de energía eléctrica a través la captación de energía solar se basa en la instalación de paneles solares fotovoltaicos que se encargan de capturar la radiación lumínica solar y transformarla en energía eléctrica. La información acerca de la radiación solar se ha convertido en una magnitud estándar proporcionada por organizaciones globales como la NASA (NASA, 2008) y el SWERA (SWERA, 1977 - 2017) que por medio de tablas estadísticas y bases de datos aportan una visión muy general de este recurso en todo el mundo. Sin embargo, para comenzar un proyecto específico en algún lugar determinado, este dato puede llegar a ser inexacto por ende es importante obtener una medición propia de lugar en el que se efectuara el proyecto. De esta manera, haciendo uso de un piránometro (Solar Power Meter TM-206) se realiza un estudio radiación lumínica solar, que permite observar las oscilaciones diarias presentes en el lugar de estudio, proporcionando una parametrización más precisa del comportamiento de la radiación lumínica solar en el municipio de Anapoima (vereda Golconda, Cundinamarca). Además, se establece un análisis donde se determina el ángulo óptimo, gracias a, el registro de datos en diferentes inclinaciones, a fin de obtener la máxima transferencia de potencia del panel solar.

Un componente importante en los sistemas futuros de energías renovables, es la energía solar fotovoltaica, que convierte los rayos del sol en energía eléctrica, disminuye en gran medida el efecto nocivo al medio ambiente, sin crear basuras ni dañar la salud humana; por ende, el sol nos ofrece la posibilidad de minimizar el cambio climático y el agotamiento de los recursos naturales. En contribución a esta tecnología se elabora un prototipo mediante el diseño de un sistema fotovoltaico (Panel solar, regulador, inversor y batería) para una vivienda rural ubicada en el municipio de Anapoima (vereda Golconda, Cundinamarca) que suministre la energía necesaria para alimentar el plano de cargas de 100W definido para este proyecto con la ayuda de la tecnología solar fotovoltaica (PV), debido a que la radiación solar no es constante fue necesario agregar una etapa de almacenamiento de energía que sea capaz de proveer energía eléctrica en los momentos de ausencia de la radiación lumínica solar. Este proyecto está compuesto por cinco (5) fases metodológicas: Estudio de radiación lumínica solar, demanda energética de la vivienda, Inclinación y orientación óptima PV, etapas de

potencia y validación del prototipo; que dan como resultado la estimación del índice de radiación e inclinación adecuados para sustentar el prototipo en el lugar de estudio.

Para finalizar, el desarrollo del prototipo permitirá suplir el 1,5% de la demanda eléctrica total de la vivienda, así mismo suministrar un punto de acceso eléctrico de baja potencia en casos de fallos en la red eléctrica convencional. Cabe resaltar que el proyecto busca fomentar el uso de la energía solar fotovoltaica para dar solución energética local en las ZNI.

Abstract

The obtaining of electrical energy through the capture of solar energy is based on the installation of photovoltaic solar panels that are responsible for capturing the solar light radiation and transforming it into electrical energy. Information about solar radiation has become a standard magnitude provided by global organizations such as NASA (NASA, 2008) and SWERA (SWERA, 1977 - 2017) which through statistical tables and databases provide a very of this resource around the world. However, to start a specific project somewhere, this information may become inaccurate and therefore it is important to obtain a measurement of the place where the project is carried out. In this way, using a pyranometer (Solar Power Meter TM-206) a solar light radiation study is carried out, allowing to observe the daily oscillations present in the place of study, providing a more precise parameterization of the behavior of solar light radiation In the municipality of Anapoima (Golconda, Cundinamarca). In addition, an analysis is established where the optimum angle is determined, thanks to the recording of data in different inclinations, to obtain the maximum power transfer of the solar panel.

An important component in future renewable energy systems is photovoltaic solar energy, which converts the sun's rays into electrical energy, greatly diminishes the harmful effect on the environment, without creating garbage or damaging human health; Therefore, the sun offers us the possibility of minimizing climate change and the depletion of natural resources. In contribution to this technology a prototype is made by designing a photovoltaic system (solar panel, regulator, inverter and battery) for a rural dwelling located in the municipality of Anapoima (Golconda, Cundinamarca) that supplies the necessary energy to feed the 100W load plane defined for this project with the help of solar photovoltaic (PV) technology, because the solar radiation is not constant it was necessary to add a stage of energy storage that is able to provide electric energy in the moments of Absence of solar light radiation. This project is composed by five (5) methodological phases: Solar light radiation study, energy demand of the house, optimum inclination and orientation PV, power stages and prototype validation; Which result in the estimation of the radiation and inclination index adequate to support the prototype at the study site. Finally, the development of the prototype will allow to supply 1,5% of the total electrical demand of the house, as well as supply a low power electrical access

point in cases of failures in the conventional electricity network. It should be noted that the project seeks to promote the use of solar photovoltaic energy to provide a local energy solution in the ZNI.

1. Capítulo 1: Introducción

Una de las mayores fuentes de vida necesarias en la Tierra es sin duda el sol, ya que puede satisfacer todas nuestras necesidades energéticas, si aprendemos cómo aprovechar de forma racional la luz que continuamente derrama sobre el planeta. El sol emite una cantidad increíble de energía, la energía que irradia a la Tierra en 20 minutos, es suficiente para cubrir las necesidades de toda la humanidad durante un año (GENI, 2009). Utilizar esta energía de forma razonable, debería ser el principal desafío en el siglo XXI para suplir gran parte de las necesidades energéticas que demanda la tierra.

En Colombia el desarrollo de sistemas de energías renovables, enfatizando en la energía solar fotovoltaica, no presenta una participación considerable dentro de la demanda total energética del país, puesto que la penetración de esta tecnología en el mercado nacional de energía es mínima, aproximadamente el 0.2% de la demanda energética del país .)(

Además, es importante tener en cuenta que en el 87% de las 32 capitales de la nación, los valores de radiación solar oscilan entre 4,5 y 5,5 kWh / m^2 , lo cual es suficiente para implementar sistemas fotovoltaicos (Ivan Enrique Zuñiga, 2012).

En este documento se realiza el estudio de radiación solar lumínica incidente en una vivienda ubicada en Anapoima (vereda Golconda, Cundinamarca). Dentro del estudio se determina el ángulo óptimo de inclinación para obtener la máxima transferencia del panel solar. En relación a los estudios realizados se elaboró un prototipo de energía solar fotovoltaica con una carga limitada de 100W para suministrar una pequeña parte de la demanda eléctrica de esta vivienda. Para su desarrollo, se diseñaron los elementos del sistema (regulador, inversor) a fin de optar por equipos con características comerciales similares disponibles en el mercado, los cuales fueron validados mediante pruebas de calidad.

Finalmente, los resultados del prototipo reflejan que es posible la implementación de sistemas autónomos de paneles fotovoltaicos en esta región, de este modo, fomentar el uso de las energías renovables y a su vez dar solución a los fallos de la red eléctrica en las zonas no interconectadas (ZNI).

1.1. El problema

1.1.1. Planteamiento del problema

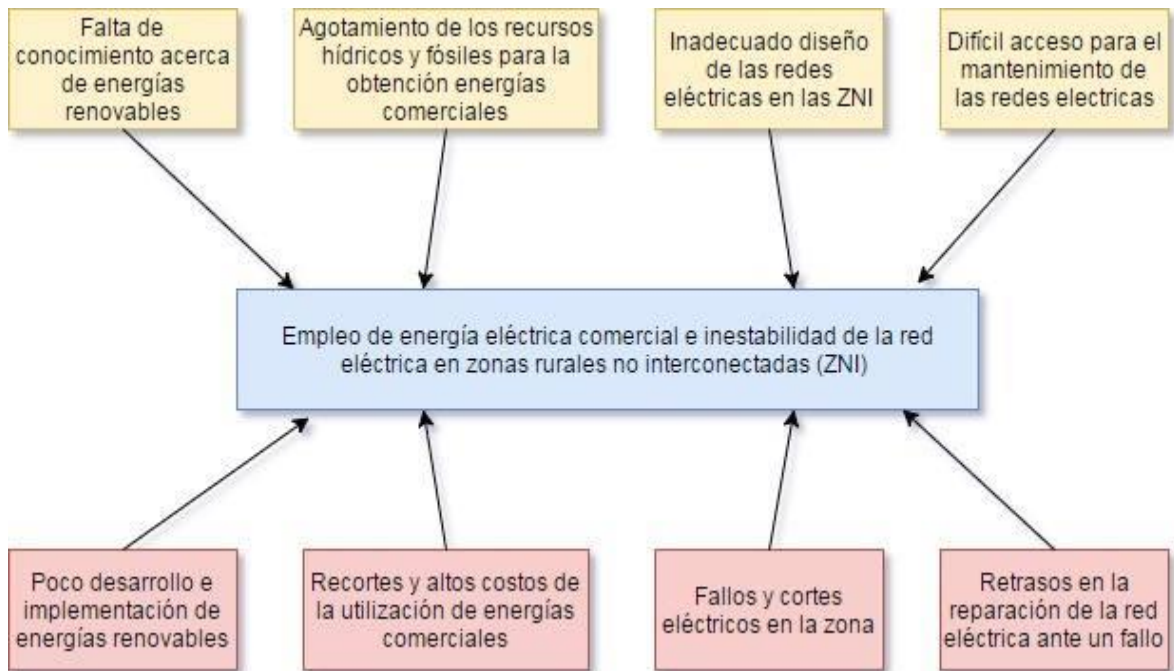
De acuerdo a estudios realizados por la UPME, el sector eléctrico a nivel nacional se caracteriza por tener una buena calidad y una cobertura global del 98.2% (UPME, Diciembre 2013). Según estudios realizados para enero del 2015 la demanda energética del país era aproximadamente de 15.508,8MW, de los cuales el 70,41% es generado en centrales hidroeléctricas, el 18.42% se generó en centrales termoeléctricas, y el 11,17% es producido por otras tecnologías como energía eólica, y biocombustibles (UPME, Junio 2015).

Del anterior análisis se puede observar que la producción de energía primaria en Colombia proviene de la hidroelectricidad, por la abundancia de agua en la mayoría de zonas del país, y en un segundo lugar de los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbono) cuyas reservas se están agotando, esto ha ocasionado que el país busque soluciones en la producción de energías alternativas, debido al gran potencial de la generación de este tipo de energía por la posición geográfica del país. Entre estas energías se encuentra la energía solar fotovoltaica sin embargo este tipo de energía tiene una baja participación en la demanda energética del territorio colombiano (UPME, 2015).

La vereda Golconda (Anapoima, Cundinamarca) no es ajena a la problemática de disminución de la reserva de combustibles fósiles e hídricos para la producción de la energía eléctrica limpia, y por otra parte no se han desarrollado proyectos que empleen fuentes de energías alternativas para la producción de electricidad. Por esta razón se propone desarrollar un prototipo de producción de energía eléctrica a partir del uso eficiente de la energía solar que permita suministrar potencia eléctrica a una vivienda de la vereda Golconda y de esta manera contribuir al desarrollo de este tipo de energías en la región.

En la figura 1 se resumen las causas y efectos del problema.

Figura 1. Árbol de problemas de la situación.



Fuente: Autores.

1.2. Objetivos del estudio

1.2.2. Objetivo general

Diseñar e implementar un prototipo de generación de energía eléctrica a partir del uso de la energía solar para una vivienda ubicada en el municipio de Anapoima (vereda Golconda, Cundinamarca).

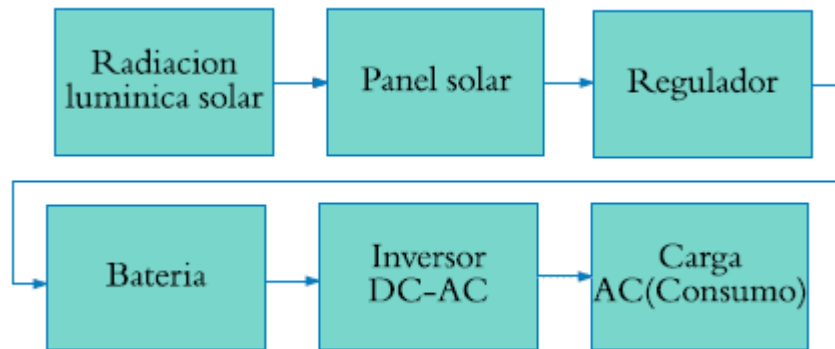
1.2.3. Objetivos específicos

- Determinar los valores de radiación lumínica solar en el municipio de Anapoima (vereda Golconda, Cundinamarca).
- Establecer la demanda energética de la vivienda.
- Establecer la inclinación y orientación óptima de los paneles solares que permita obtener la máxima transferencia de potencia.
- Diseñar e implementar las etapas de potencia del sistema de suministro eléctrico con paneles fotovoltaicos.
- Validar el prototipo diseñado.

2. Capítulo 2: Sistemas fotovoltaicos de energía

Un sistema fotovoltaico de energía es aquel que transforma la radiación solar en energía eléctrica, la figura 2 presenta un diagrama de bloques que presenta los elementos que componen un sistema fotovoltaico para producción de energía eléctrica.

Figura 2. Diagrama de bloques de un sistema fotovoltaico.



Fuente: Autores.

A continuación, se describen los aspectos fundamentales de cada subsistema del sistema fotovoltaico.

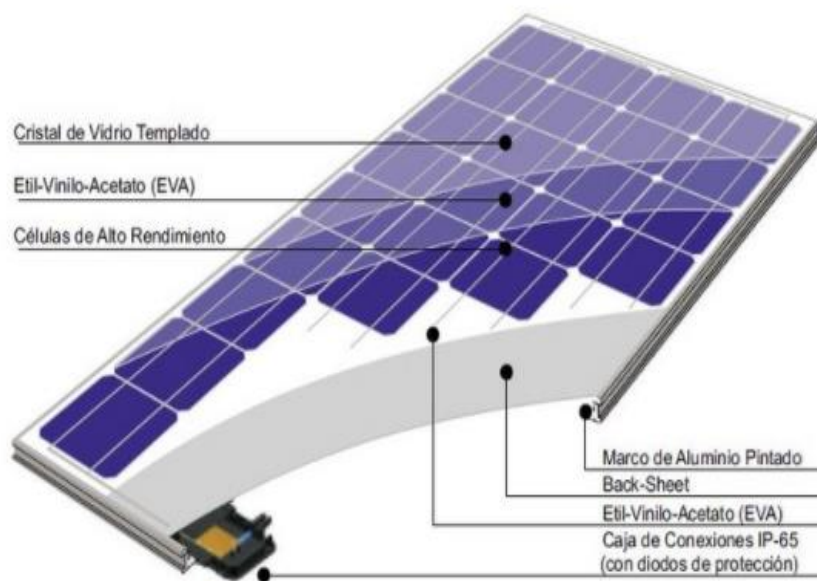
2.1. Radiación lumínica solar

El sol es una gran estrella en donde suceden reacciones químicas y pequeñas fusiones atómicas que hacen que el sol convierta su masa en energía. la energía total irradiada por el sol es de aproximadamente $3,8 * 10^{26}W$, de la cual, la tierra recibe $1,7 * 10^{18}W$ (Arno Smets, 2015), que se emite a través de onda electromagnética hasta llegar a la superficie terrestre. Esta radiación es la base de todos los sistemas fotovoltaicos, dado que, la energía liberada por el sol es la materia prima de los módulos fotovoltaicos.

2.2. Panel solar

Los paneles solares son los encargados principalmente del proceso de conversión de energía solar a energía eléctrica, en otras palabras, de energía lumínica a energía voltaica. Para esta transformación el panel cuenta con un conjunto de elementos (Ver figura 3), en donde, la célula fotovoltaica es la primordial responsable de este proceso.

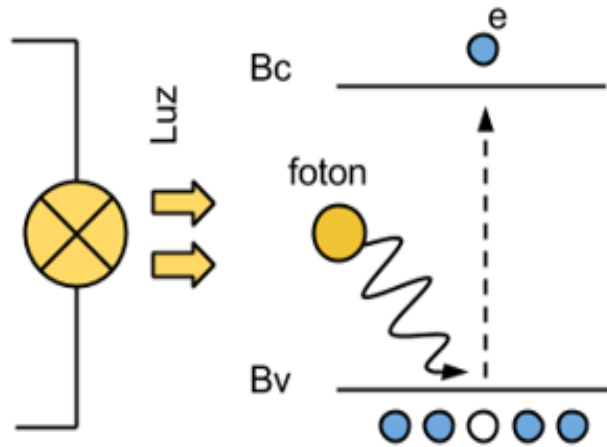
Figura 3. Estructura de un panel solar.



Fuente: Tomada de <http://eliseosebastian.com>.

La transformación fotovoltaica se centra en la capacidad del silicio para generar energía eléctrica al ser expuesto a la radiación solar, en donde, los fotones encontrados en el haz de luz y que transportan la energía del sol, chocan contra la célula lo que produce una excitación en el semiconductor, el cual, a su vez, libera electrones que circulan libremente por medio de la capa conductora de la célula (Ver figura 4), de este modo, cuanto mayor sea la cantidad de fotones que golpeen la celda mayor será la cantidad de corriente producida.

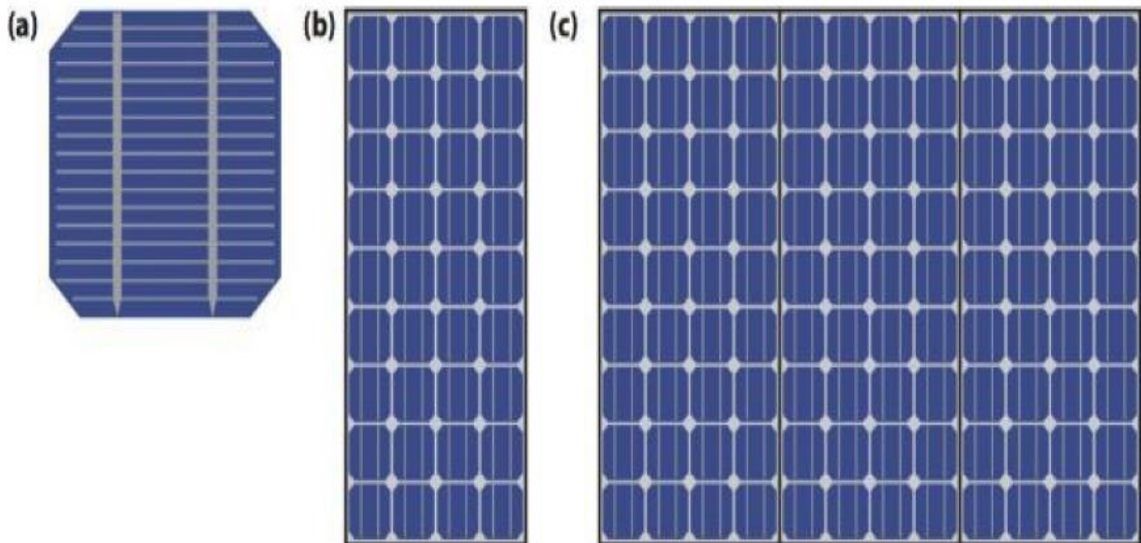
Figura 4. Transformación de radiación solar en corriente eléctrica.



Fuente: Tomada de nataliarequejo.blogspot.com.

Un panel solar está compuesto por varias células fotovoltaicas unidas entre sí para maximizar la transformación de energía (Ver figura 5), y que, a su vez, un sistema fotovoltaico se construye a partir de la unión de varios paneles solares para proyectos de gran demanda de energía.

Figura 5. Células fotovoltaicas.

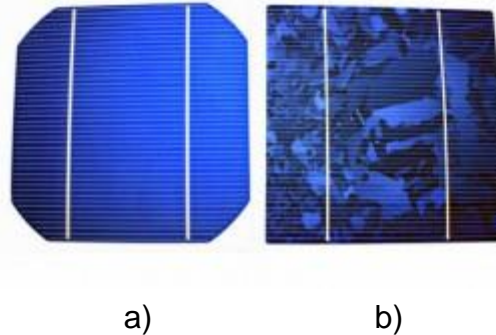


Fuente: Tomado de Solar Energy, 2016.

Las células fotovoltaicas están compuestas por una delgada capa de un material

semiconductor, muy a menudo de silicio, normalmente cuadrada. En la construcción de estas células, el silicio es sometido a un proceso de pureza, en donde, la cantidad de ciclos a la que se somete el silicio genera dos tipos distintos de células diferentes (Ver figura 6), entre las más conocidas.

Figura 6. Células Monocristalinas (a), Células Policristalinas (b).



Fuente: Tomado de www.renovablesdelsur.com/blog/index.php.

Cuando el silicio pasa a través de varios ciclos de filtración intensiva genera una celda con una estructura ordenada, con el fin, de que cada átomo se situé en una posición pre-ordenada y muestre un comportamiento predecible y uniforme, este proceso genera una célula de alta pureza monocristalina (Ver figura 6a). Por otra parte, el silicio que es sujeto a menores ciclos de filtración presenta una estructura irregular lo que se visualiza en la escala de azules originada por la variedad de cristales (Ver figura 6b). Las diferencias entre las células mono y policristalinas es notable, cabe resaltar, que la más destacada es el costo de elaboración, puesto que, en el momento de realizar un complejo ciclo de pureza la cantidad de silicio desperdiciado es bastante lo que incrementa considerablemente su coste de fabricación. Otras características se enfocan en la eficiencia, absorción de luz en días nublados, vida útil y comportamiento frente a los cambios de temperatura para cada tipo de célula. La tabla 1 presenta una descripción de ventajas y desventajas de los dos tipos de tecnologías de células solares.

Tabla 1. Cuadro comparativo células monocristalinas y policristalinas.

	Célula Monocristalina	Célula Policristalina
η Célula	14% - 17%	12% - 14%
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - η constante - Mayor tiempo de vida útil - Superficie uniforme - Mayor absorción de luz en días nublados 	<ul style="list-style-type: none"> -Menor precio -Mayor tolerancia a los cambios de temperatura -Fabricación con menos desperdicios
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Más susceptibles a cambios drásticos de temperatura - Mayor precio - Mas perdida de silicio en su fabricación 	<ul style="list-style-type: none"> -Menor tiempo de vida útil - η reducida - Superficie sin uniformidad

Fuente: Autores.

2.2.1. Eficiencia y perdidas en celdas solares

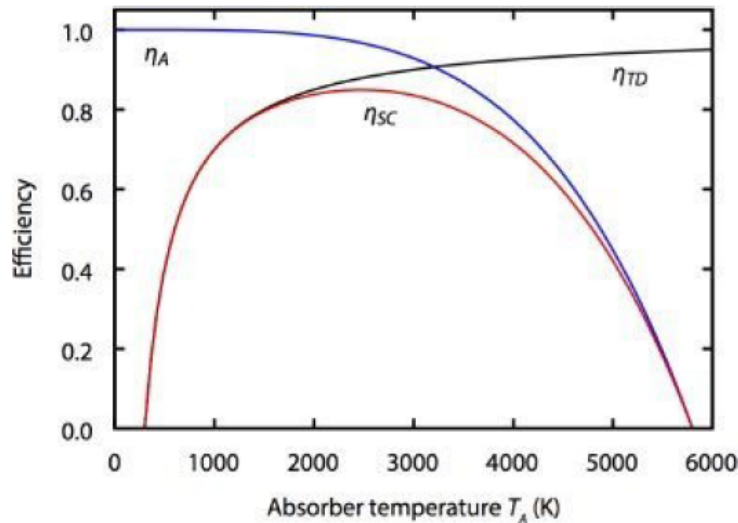
Las celdas solares que componen un panel solar, presentan un grado de eficiencia teórica el cual permite determinar características y comportamientos frente a casos y situaciones cercanas a los límites. Se debe entender con anterioridad las razones por la cual una celda solar no puede transformar el 100% de la luz incidente en energía eléctrica. Teniendo en cuenta lo anterior, existen diferentes límites con efectos diferentes en cada caso, a continuación, se establece el límite termodinámico.

2.2.2. Límite termodinámico

Según (Arno Smets, 2015) la 2^{da} ley de la termodinámica, la entropía de un sistema que es independiente nunca disminuye, por el contrario, puede aumentar o mantener igual siempre y cuando el calor continúe un flujo constante, por ende, se genera un límite de eficiencia en la conversión de calor en energía libre de entropía. Debido a ello la eficiencia de la célula solar está enlazada con un factor de eficiencia de absorción y termodinámica, los cuales son los equivalentes de la resistencia y características del sólido (Celda solar); teóricamente la celda solar posee un máximo del 85% de eficiencia para una temperatura de 2,480K, es decir que es una limitante física en la relación de incidencia solar a energía eléctrica. La figura 7 muestra la relación teórica donde η_A corresponde a la eficiencia de

absorción, η_{TD} a la eficiencia termodinámica y η_{SC} la eficiencia de la celda solar compuesta por los factores de absorción y termodinámica.

Figura 7. Eficiencia térmica teórica de una celda solar.



Fuente: Tomado de Solar Energy, 2016.

2.3. Inclinación de celda solar

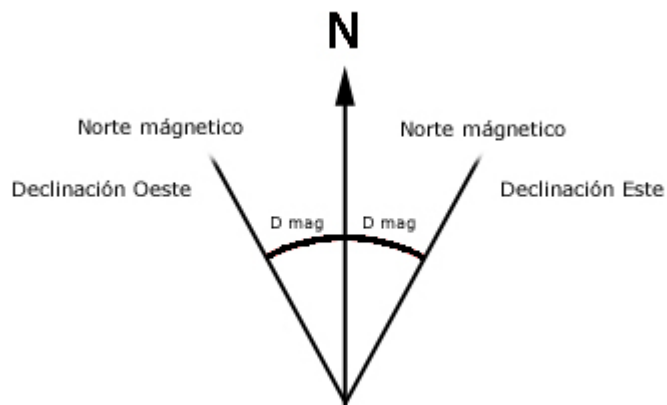
La altura del sol sobre el horizonte es llamada altitud, esta es una medida en grados sobre el horizonte, cuando el sol se encuentra en posición naciente corresponde a una latitud de 0 grados, durante su altura máxima se determina 0° azimut, es decir el mediodía solar. Por otra parte, la latitud determina la altura del sol sobre el horizonte al mediodía o largo del año, dado que el sol está en diferentes altitudes sobre el horizonte durante el transcurso del año debido a la órbita de la tierra alrededor del sol (Souza, 2011).

El dimensionamiento de la inclinación de las celdas solares sobre el horizonte es a un nivel vertical para la altitud (N.V) y un ángulo (α) para la latitud. La característica para inclinación más importante es la latitud, teóricamente diferentes análisis y textos recomiendan adicionar a la latitud del sitio un ángulo α de entre 10° y 18° para las peores condiciones, es decir para la época de invierno (Solar, s.f.).

2.4. Orientación de celda solar

La posición del sol al oeste y este del sur es llamada azimut, este es medido en grados al oeste o al este del sur, el sol parece moverse 15° azimut cada hora, dada la curvatura de la tierra (360°) y las 24 horas del día. Además, la declinación magnética nace de la desviación del sur magnético con respecto al sur verdadero. La orientación se debe realizar hacia el norte verdadero teniendo en cuenta la declinación magnética.

Figura 8. Declinación magnética.



Fuente: Adaptada de tracklander.blogspot.com.co

2.5. Regulador de Carga

El regulador de carga es uno de los elementos más importantes para la protección y cuidado del sistema de almacenamiento, debido a que entrega una tensión constante al acumulador de energía, además, se encarga de controlar constantemente el estado de carga de las baterías para hacer el llenado óptimo y así alargar su vida útil.

Existen tres estados de carga posibles: Bulk, Absorción y Flotación.

2.5.1. Fase bulk

La batería está descargada y toda la corriente producida en el campo fotovoltaico es inyectada en las baterías, incrementándose la tensión en la batería a medida que ésta se va llenando.

2.5.2. Fase absorción

Cuando la tensión de la batería alcanza la tensión de absorción (en las baterías de plomo-ácido abiertas 14,4V y en las baterías AGM y en las baterías GEL 14,1V), el regulador de carga solar mantiene la tensión ligeramente por debajo de dicho valor y va reduciendo la corriente hasta que la batería está prácticamente llena.

2.5.3. Fase de flotación

En esta fase la tensión se reduce a la tensión de flotación (generalmente 13,5 V) y la corriente inyectada se reduce hasta que la batería se llena por completo. Toda la energía que se genere mayor a la energía que es posible inyectar en la batería se pierde por efecto Joule (calor) en el regulador.

Por tanto, el regulador de carga solar es un dispositivo que protege la batería contra sobrecargas, llenándola según le resulte más conveniente en cada momento (Monsolar, 2013).

2.6. Baterías

La batería es el elemento que brinda la autonomía de un sistema fotovoltaico para prever energía en los momentos en que exista una ausencia de radiación, es decir, durante el día acumula energía proveniente del panel fotovoltaico, para luego ser utilizada durante la noche.

Las baterías más utilizadas son las estacionarias pues tiene una alimentación interrumpida, además permanecen largos periodos de tiempo totalmente cargadas y son capaces de resistir descargas profundas de forma esporádica. Según el sistema o la determinada instalación se debe de elegir mediante una evaluación la batería correcta para el sistema al cuál se acopla. La tabla 2 presenta una descripción detallada de los tipos de baterías disponibles para el desarrollo de sistemas fotovoltaicos (UCLM, 2017).

Tabla 2. Tipos de baterías.

Tipo de batería	Descripción	Ventajas	Desventajas
<i>Estacionarias monobloc</i>	Un solo bloque, no necesitan asociarse para obtener 12 V, son de menor capacidad, se utilizan en instalaciones de poca potencia.	Son más económicas y recomendadas en instalaciones de baja y media potencia donde se utilizan aparatos eléctricos sencillos sin picos de arranque.	Necesitan de un mantenimiento periódico anual aproximadamente.
<i>Estacionarias translúcidas o transparentes</i>	Se encuentran separadas en células, pero el material que lo cubre permite ver el interior de la batería. Su tensión es de 2,2 V por lo que se debe de utilizar en serie.	Facilidad de sustitución de la misma en situaciones de averías, así como mayor capacidad de reserva de electrolito.	Permite observar su interior sin embargo no hace robusto ni solido la estructura externa.
<i>Estacionarias herméticas</i>	Son las denominadas también como sin mantenimiento; no se tiene acceso a su interior, aunque sus características son las mismas, en relación de materiales activos y a las reacciones de carga y descarga.	No derraman ni vaporizan electrolitos, lo cual las hace confiables para uso continuo del sistema.	La descarga profunda de manera frecuente produce un deterioro significativo en la vida útil de la misma.

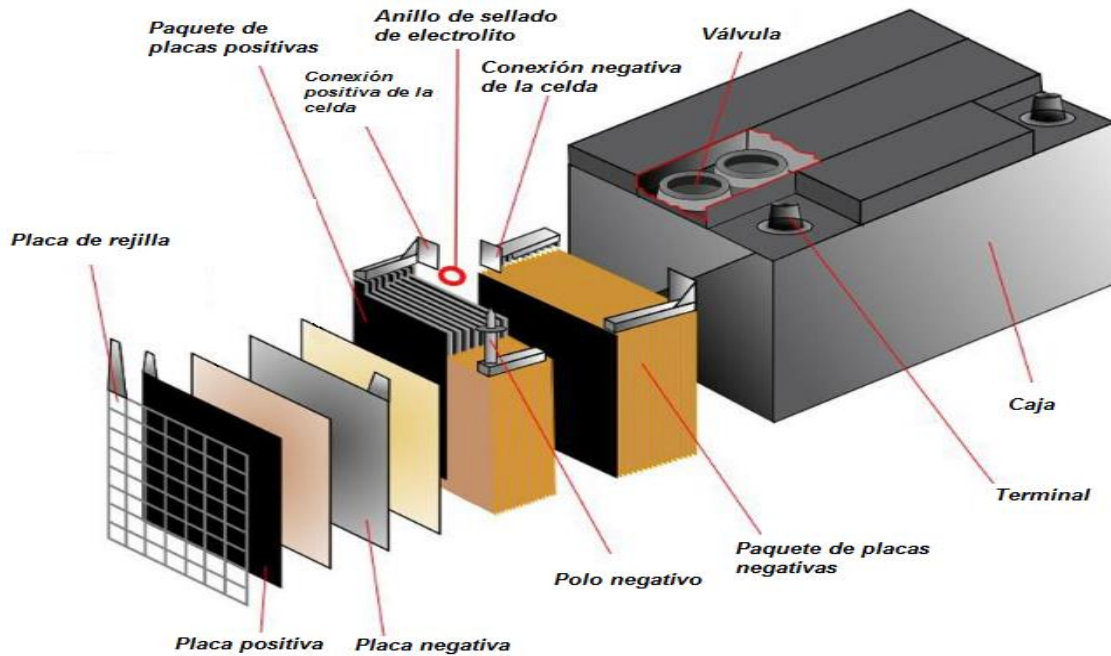
Fuente: Autores.

Para instalaciones solares de baja potencia, donde se hace el uso de electrodomésticos e iluminación que no requieran picos de arranque, se utilizan baterías estacionaria monobloc de ciclo profundo, puesto que están diseñadas para la alimentación de equipos de baja potencia, es decir que un arranque de motor es imposible y solo ocasionara daños permanentes en la batería.

2.6.1. Ciclo profundo (Deep-cycle)

Las baterías de ciclo profundo son diseñadas para funcionar en un estado de descarga constante, es decir que todo el tiempo de uso pueden estar descargándose en su mayor capacidad, a diferencia de una batería de arranque que inyectan cargas cortas de corriente. El ciclo profundo está diseñado para permitir una descarga de entre 45% a 75% de capacidad, sin embargo, se debe tener en cuenta la profundidad de descarga de acuerdo a la cantidad de ciclos que puede manejar la batería, según las indicaciones de fabricante. La figura 9 presenta la composición típica de una batería de ciclo profundo.

Figura 9. Estructura de una batería de ciclo profundo.

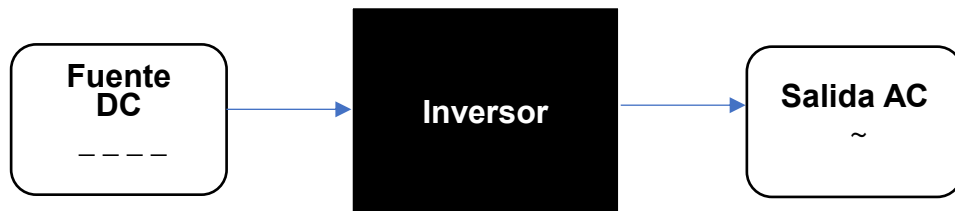


Fuente: Adaptada de sunlike-energy.en.made-in-china.com.

2.7. Inversores

El inversor se encarga de transformar la corriente directa (12, 24 o 48 VDC) de los paneles solares, baterías o fuentes de alimentación DC en corriente alterna (mono o trifásica), ya sea para ser inyecta a la red o para el uso en instalaciones aisladas.

Figura 10. Diagrama de bloques de inversor DC-AC.



Fuente: Autores.

El inversor se constituye por ser un circuito compuesto por una etapa de configuración puente de onda (media o completa) que permite convertir corriente continua en corriente alterna para una carga AC a través de una fuente de alimentación continua. Los inversores son comúnmente utilizados en aplicaciones

de potencia en la industria, sin embargo, también son base fundamental para el desarrollo e implementación de sistemas fotovoltaicos.

2.7.2. Inversor en puente completo

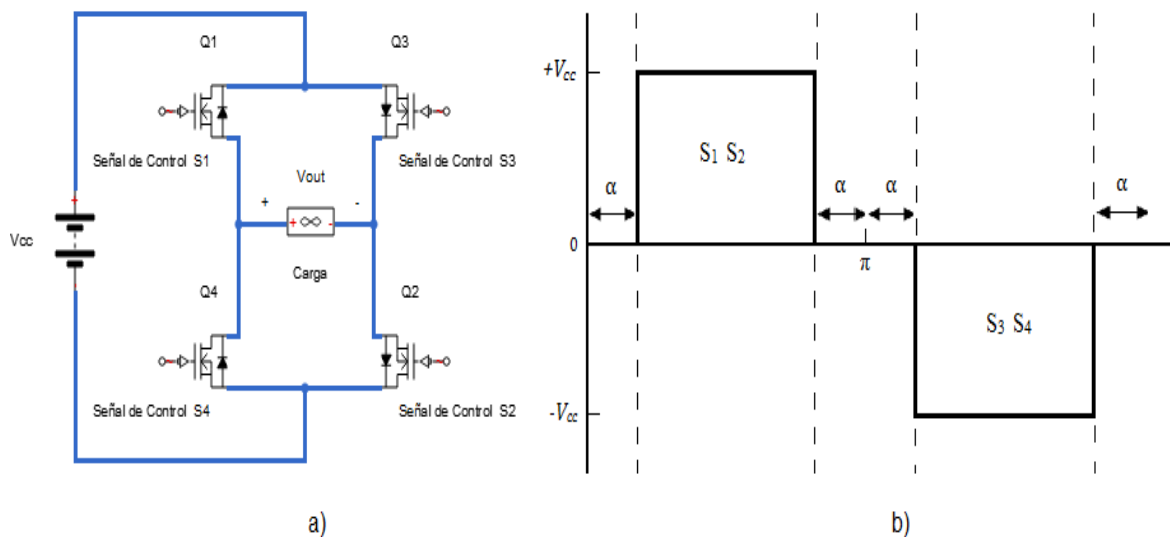
Este inversor consta de una configuración en puente completo (Ver figura 10a), el cual indica que existe una determinada secuencia de transistores de potencia que conmutan la entrada continua de la fuente V_{cc} , con el fin de convertir la entrada continua en alterna. Por medio del comportamiento como interruptores en dos estados: Abierto y cerrado; de tal modo que la tensión de salida V_o tendrá diferentes comportamientos según la variación de los interruptores donde puede ser $+V_{cc}$, $-V_{cc}$ y cero, en la tabla 3 se observan las diferentes combinaciones para generar las diferentes salidas de tensión:

Tabla 3. Salidas de tensión.

Interruptores Cerrados	Tensión V_o
S_1 y S_2	$+V_{cc}$
S_3 y S_4	$-V_{cc}$
S_1 y S_3	0
S_2 y S_4	0

Fuente: Tomada de Daniel W. Hart, 2001.

Figura 11. Inversor en configuración puente de onda completa a), Forma de onda de salida en el inversor b).



Fuente: Autores.

En consecuencia, al conmutar los interruptores se obtiene que el comportamiento de estos permite dar en la carga una señal alterna, si se observa en la figura 10b S_1 y S_2 están cerrados, donde se analiza que S_1 y S_4 jamás deben estar cerrados al mismo tiempo puesto que se produce un cortocircuito en la fuente. Es necesario tener en cuenta que la conmutación de los interruptores debe ser con tiempos de transición correspondientes para el control de disparo, dado que el tiempo para la conmutación es llamado tiempo muerto y debe ser respetado o puede acabar en un fallo y finalmente en cortocircuito.

2.7.3. Inversor de onda cuadrada para carga resistiva

Los inversores de onda cuadrada son los más sencillos de implementar, estos generan sobre la carga una tensión alterna de salida como se muestra en la Figura 10b. Para el análisis matemático de este tipo de inversor se puede despreciar el tiempo de blanqueo, debido a que este es del orden de los nanosegundos en comparación con el periodo de la señal de salida (del orden de milisegundos); realizando esta consideración se obtiene a la salida del inversor una señal de onda cuadrada. Cualquier señal se puede expresar en términos de una sumatoria de señales sinusoidales como lo establece las series de Fourier. La ecuación 1 representa una señal periódica en términos de una serie de Fourier:

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \text{Sin}(\omega_0 t + \varphi_n) \quad (1)$$

En la ecuación 2, a_0 representa la componente DC de la señal y C_n representa la amplitud de los armónicos de la componente alterna de la señal. Para el caso de un inversor de onda cuadrada la componente DC es cero.

La ecuación 2 representa la señal del voltaje de salida de un inversor de onda cuadrada.

$$V_o(t) = \sum_{n=1}^{1,3,5,7\dots} \frac{4V_{cc}}{n\pi} \text{Sin}(n\omega_0 t) \quad (2)$$

Donde V_{cc} representa el voltaje de alimentación del inversor, y ω_0 representa la frecuencia fundamental de salida del inversor. El primer armónico de la ecuación 2 representa una salida sinusoidal de amplitud $\frac{4V_{cc}}{n\pi}$.

A la salida del inversor se conecta las cargas, las cuales pueden ser de naturaleza resistiva o inductiva. De forma general la impedancia de una carga se expresa mediante la siguiente ecuación 3.

$$Z_n = \sqrt{R^2 + (n\omega_0 L)^2} e^{i\varphi_n} \quad \varphi_n = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{n\omega_0 L}{R} \right) \quad (3)$$

Donde R representa la componente resistiva, L la componente inductiva y n el orden del armónico y ω_0 la frecuencia fundamental.

La corriente alterna de salida que suministra un inversor de onda cuadrada a la carga se determina mediante la ecuación 4.

$$I_o(t) = \sum_{n=1}^{1,3,5,7\dots} \frac{4V_{cc}}{n\pi\sqrt{R^2 + (n\omega_0 L)^2}} \operatorname{Sin}(n\omega_0 t - \varphi_n) \quad (4)$$

La corriente eficaz de salida del inversor de onda cuadrada se determina mediante la siguiente expresión:

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{n=1}^{1,3,5,7\dots} \left(\frac{4V_{cc}}{\sqrt{2}n\pi\sqrt{R^2 + (n\omega_0 L)^2}} \right)^2} \quad (5)$$

La potencia absorbida por la carga se determina con la ecuación 6.

$$P = \sum_{n=1}^{1,3,5,7\dots} P_n = \sum_{n=1}^{1,3,5,7\dots} \left(\frac{4V_{cc}}{\sqrt{2}n\pi\sqrt{R^2 + (n\omega_0 L)^2}} \right)^2 R \quad (6)$$

2.7.4. Distorsión armónica total

El propósito general del inversor es suplir una carga que requiera corriente alterna (AC) con base en una fuente de tensión continua (DC), dado lo anterior, la calidad de una onda que no sea sinusoidal debe ser expresada en términos del factor de distorsión armónica (DAT), es decir que la forma de onda no corresponde a una

onda sinodal puesto que posee corrientes y tensiones (magnitud) que son múltiplos del armónico fundamental, los cuales se sumaran al fundamental creando una distorsión armónica que puede culminar con efectos negativos en la salida del inversor, como corrientes negativas o parasitas.

$$DAT = \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} (V_{n,rms})^2}}{V_{1,rms}} = \frac{\sqrt{V_{rms}^2 - V_{1,rms}^2}}{V_{1,rms}} \quad (7)$$

Donde $V_{1,rms}$ esta dado por la ecuación 1.

$$DAT_V = \frac{\sqrt{V_{cc}^2 - \left(\frac{4V_{cc}}{\sqrt{2\pi}}\right)^2}}{\frac{4V_{cc}}{\sqrt{2\pi}}} = 0,483 = 48,3\% \quad (8)$$

De acuerdo a la ecuación 9 se sustituye la corriente por la tensión con el fin de hallar DAT para la corriente. La DAT de corriente es mucho más relevante de calcular en comparación de la tensión, esta puede ser calcula por medio de la serie de Fourier anteriormente nombrada.

$$DAT_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (I_{n,rms})^2}}{I_{1,rms}} \quad (9)$$

Los inversores de onda cuadrada se caracterizan por tener una distorsión total de armónicos alta, esto implica que la mayor cantidad de potencia no va a estar en el primer armónico, para mejorar la distorsión total de armónicos se implementa técnicas de modulación. Una de ellas es la modulación de un ancho de pulso.

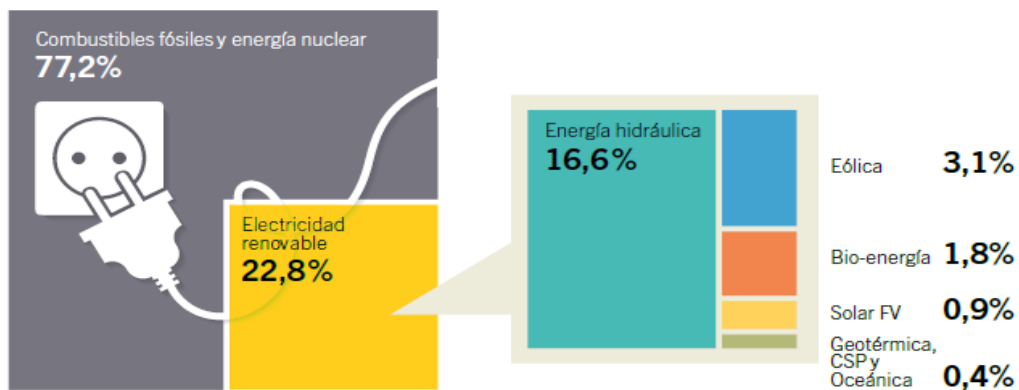
2.8. Estado del arte

Hasta el presente día se ha explorado bastante en el área de energías alternativas como uno de los medios para proveer un desarrollo sostenible a nivel mundial, específicamente en los sistemas de energía solar fotovoltaica, los cuales se han convertido en foco de investigación en los últimos años. Dentro de la revisión del estado del arte se encontraron diferentes investigaciones y proyectos alusivos que permiten comprender el diseño e implementación de sistemas fotovoltaicos.

En el municipio de Yumbo se encuentra el laboratorio de energía solar más grande del país, que está conectado directamente a la red eléctrica de la empresa de energía del pacifico (EPSA) y provee hasta un 5 por ciento de la demanda que abastece al complejo (EIPaís.com.co, 2014). El Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas (IPSE) está generando electricidad con energía solar con el fin de satisfacer el consumo energético a más de 580 personas y seis escuelas ubicadas en áreas rurales del departamento de Antioquia y Caquetá, además, en Bogotá el Colegio Distrital Ramón Jimeno funciona autónomamente generando cerca de 21,62 KV gracias a la instalación de paneles solares, dejando de emitir cerca de 22 toneladas de CO_2 (Luis Enrique Narváez López, 2015).

La exploración del recurso renovable ha continuado en aumento desde mediados del 2000, la concientización mundial es uno de los objetivos más importantes para crear una idea de los beneficios que acoge la utilización del recurso renovable, así mismo desde finales del 2014 la instalación de sistemas de energías renovables se extendió considerablemente en comparación con años anteriores, lo cual mostro una tasa e inversiones superior en energías renovables en comparación con energía de combustibles fusiles. De acurdo a lo anterior los resultados indican que las tasas de inversión del sector energético enfatizaron en tecnologías renovables donde son dominantes la energía eólica, solar fotovoltaica (FV) y la hidráulica (REN21, 2015).

Figura 12. Participación estimada de la energía renovable en la producción mundial de electricidad para el 2014.



Fuente: Tomada de REN21, 2015.

En la ITSA el grupo semillero de uso racional de la energía, promueve el desarrollo de prototipos de energías renovables con el fin de proyectar la posible imagen hacia el público de cuáles son los beneficios y el funcionamiento de tales sistemas. A partir de un prototipo a escala se modela una vivienda sostenible por medio de paneles solares fotovoltaicos, aprovechando la luz del día con captadores refractivos de luz a través de conductos de fibra óptica, formando un complemento del esquema planteado. El diseño de este sistema promueve la simplicidad del sistema a fin de iluminar la estructura sin consumir kilovatios por hora en la red de distribución. Los resultados indican la posibilidad de incentivar al desarrollo sostenible con energías renovables en el país (Cindy Guzman, 2012).

El financiamiento de sistemas de energía fotovoltaica en hogares comprende un análisis complejo que permita reflejar los factores que inciden para su implementación, desde 2001 el territorio colombiano adaptó leyes para el uso racional de la energía y el desarrollo de energías renovables.

Tabla 4. Resultados de las configuraciones.

	Caso	Ahorro	P	B	Déficit*	Dda cub.
Bogotá	1. RB~V	49%	5	1	805	62%
	2. R~BV	216%	15	0	1,037	51%
	2. D=E	98%	7	0	1,145	37%
	3. R~B~V	36%	4		1,191	44%
	4. ~RB~V	73%	8	3	59	97%
5. ~R~B~V	0%	14	0	1,047	50%	
Medellín	1. RB~V	56%	3	1	364	73%
	2. R~BV	405%	15	0	649	51%
	2. D=E	103%	4		718	31%
	3. R~B~V	34%	3		734	45%
	4. ~RB~V	72%	5	2	21	98%
5. ~R~B~V	2%	8	0	655	51%	
Santa Marta	1. RB~V	51%	3	1	644	65%
	2. R~BV	449%	15		900	51%
	2. D=E	115%	4		987	21%
	3. R~B~V	37%	7		914	51%
	4. ~RB~V	73%	4	3	24	99%
5. ~R~B~V	-8%	8	0	901	51%	
Manizales	1. RB~V	56%	4	1	358	73%
	2. R~BV	330%	15		649	51%
	2. D=E	105%	5		716	27%
	3. R~B~V	34%	3		743	44%
	4. ~RB~V	71%	5	2	35	97%
5. ~R~B~V	3%	9	0	662	50%	

Fuente: Tomada de L. Cadavid, 2015.

El estudio en cuestión analiza la viabilidad financiera en posibles configuraciones de sistemas de energía fotovoltaica ante la propuesta de micro generación de energía en los hogares del país. Han diseñado cinco configuraciones con base en la disponibilidad de conexión a la red convencional con baterías como medio de almacenamiento y la posibilidad de comercializar el excedente. Las configuraciones están basadas en el argumento de tres variables, donde la negación (~) indica si el ítem es posible, de modo que las variables definen el respaldo de la red convencional (R), la disponibilidad de las baterías (B) y la venta de excedentes (V), por lo tanto el estudio comprende las características energéticas de cuatro ciudades (Bogotá, Medellín, Santa Marta y Manizales) no obstante se tiene en cuenta la radiación lumínica solar de cada una y la finalidad de la posible instalación de la configuración más eficiente. La tabla 1 muestra los resultados obtenidos en el análisis de cada ciudad, utilizando las configuraciones según la disponibilidad de la variable; la tabla muestra la cantidad de paneles y baterías óptimos para el sistema fotovoltaico, también hace una comparación del ahorro entre el costo del consumo neto del sistema solar en contraste con el consumo neto de la red convencional del presente, con el fin de mostrar el porcentaje en la casilla de ahorro, además el déficit es controlado por medio de la generación excedente en diferentes horas del día (L. Cadavid, 2015).

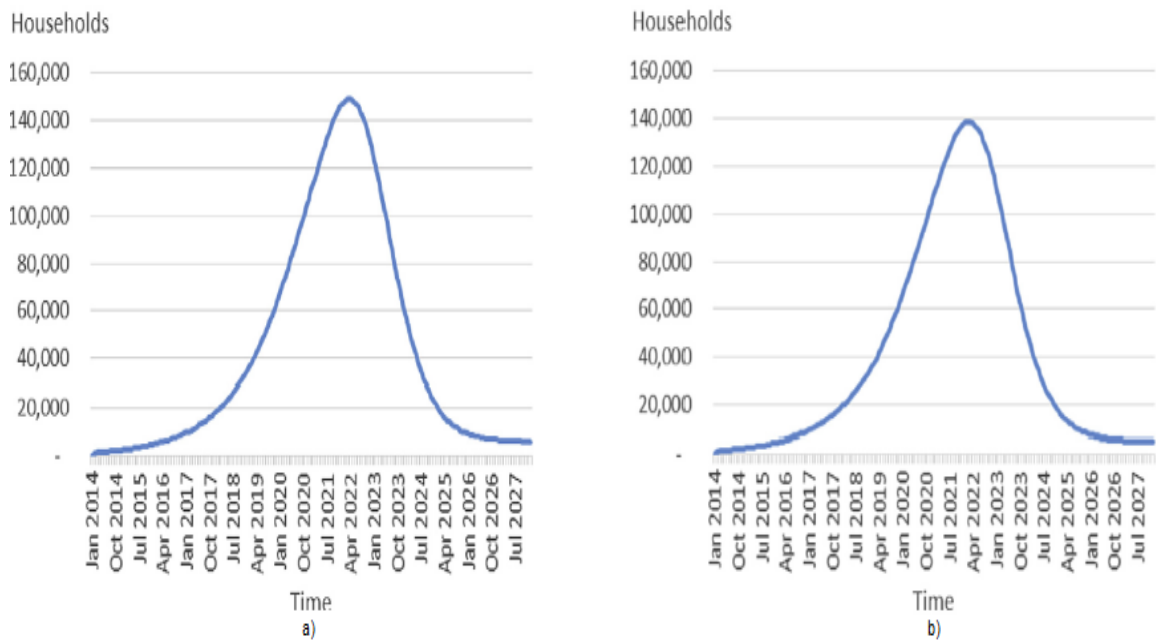
Las zonas no interconectadas (NIZ) en Colombia representan un porcentaje equivalente a más de la mitad del territorio nacional, lo cual indica que una parte de la población se encuentra aislada de las conexiones a redes convencionales de energía. Esto quiere decir que el recurso solar en estas áreas aun esta por ser explotado, el documento investigativo muestra un análisis de los proyectos más relevantes desarrollados en los principales departamentos con NIZ. De acuerdo a ello se analizan los sistemas más destacados, desde sistemas FV hasta sistemas híbridos entre FV y generación por diésel entre mucho otros, con el fin de comprender que el recurso solar en Colombia posee una gran potencia y está a disposición de ser utilizado, por medio de financiamiento del gobierno o entidades de carácter gubernamental que permitan incentivar el desarrollo de estas zonas con la intención principal de mejorar las condiciones económicas de estas mismas (Johann Hernandez, 2015).

La difusión de energía solar por el mundo ha crecido de forma exponencial, varios países han optado por hacerse partícipes de esta tecnología con el fin de comenzar

a mostrar beneficios en cuanto al cambio climático, sin embargo, no hay precisión para determinar la adopción de esta tecnología en los techos de los hogares puesto que no se ha especificado una normativa. La energía solar en los hogares residenciales puede presentar un 40% de la demanda eléctrica por lo tanto evaluar el efecto político sobre esta difusión muestra en el trabajo (Maritza Jimenez, 2016) las cuestiones en dos escenarios con difusión de energía solar con almacenamiento de energía y sin ningún tipo de almacenamiento.

Los resultados obtenidos en cuanto a la caracterización de los hogares residenciales con posible adaptación de energía solar mediante almacenamiento y sin almacenamiento se presentan en la figura 13 donde la población residencial con capacidad de almacenamiento es mayor en comparación con la población residencial sin capacidad de almacenamiento. Por otra parte, se concluye de forma acertada que la política en energías alternativas no permite la comercialización del excedente de energético en los sistemas de energía por lo cual se compone como un obstáculo para la implementación y adopción de la tecnología.

Figura 13. Hogares potenciales – Capacidad de almacenamiento a), Hogares potenciales – Sin capacidad de almacenamiento b).



Fuente: Tomada Maritza Jimenez, 2016

En el trabajo de los autores (Casparly, 2009) determinan que los costos energéticos de energías no renovables han aumentado considerablemente en los últimos años, una posible solución a esta problemática es la implementación de fuentes de energía alternativa, por este motivo se realizan ciertas comparaciones de diferentes fuentes de energía convencional y alternativa, para obtener un balance de costo y observar la competitividad entre estas tecnologías en los próximos 25 años. La energía solar fotovoltaica es una de las soluciones más usadas a nivel mundial, pero a pesar de ello, otras alternativas como centrales hidroeléctricas pequeñas, biomasa moderna o geotérmica están cerca a un nivel de competitividad frente a otras tecnologías, pero para ello también es necesario una apropiada intervención gubernamental para romper esa gran diferencia que existe en el uso de energía convencional frente a fuentes de energía alternativas. Los resultados obtenidos indican que la energía solar fotovoltaica en Colombia está lejos de ser competitiva en el país, se prevé que para el 2030 este panorama cambiara en el país, por otra parte, la energía obtenida por tecnología eólica es actualmente competitiva, existen centrales de energía eólica que proveen bastante electricidad en zonas no interconectadas, aunque existen ciertas limitaciones que ponen en duda la fiabilidad de este tipo de tecnología, aun así si se continua con el desarrollo adecuado la energía eólica seguirá siendo competitiva como cualquier otra fuente de energía.

Las barreras sociales, políticas y económicas en Colombia no han permitido el desarrollo de los sistemas de energías renovables (RES), dentro del trabajo de los autores (Kafarov, 2015) se hace un énfasis en cuanto a los obstáculos presentes en el país a través de una recopilación de encuestas realizadas con el fin de obtener más información que permita analizar en el futuro como cambiar el panorama de las RES en el país. Teniendo en cuenta que la adaptación es bastante compleja debido a que las energías renovables no presentan un lazo de prolongación a largo plazo, por ende, las energías convencionales del monopolio energético continúan dominando, dado lo anterior los resultados de la investigación con un total de 200 encuestas validadas para una distribución de 21,33% funcionarios del gobierno, 15,28% investigadores, 12,51% vendedores, 19,69% proveedores, 4,62% instituciones financieras y 8,51% educadores permiten observar mediante la tabla 5 que la tecnología de Mini y micro sistemas hidráulicos sigue siendo, con mucho, el más importante de los RES para la producción de energía en Colombia, por lo que alrededor 81,3% de los encuestados estuvo de

acuerdo ampliamente con un alto grado de aceptación de esta tecnología.

Tabla 5. Resultados de aceptación de las RES.

Table 5			
Acceptability of RES			
RES	%High acceptance	%Medium acceptance	%Low acceptance
Solar	65.7	24.2	10.1
Wind	49.5	40.1	10.1
Biomass	74.5	25.6	–
Mini and micro hydraulic	81.3	16.5	2.2
Geothermal	8.5	58.5	33.0

Fuente: Tomada de L. Cadavid, 2015.

Otro análisis bastante interesante con referencia a las deficiencias de la energía convencional en áreas rurales es relatado por los autores (O.J. Soto Marín, 2014) donde se realizan un estudio acerca de las fallas presentes en los medidores de energía instalados en las redes de baja tensión para zonas rurales, enfocándose en la zona oriental del Departamento de Caldas, a través de un análisis de las causas del problema, proponen medidas correctivas y validación de las mismas para corregir lo anteriormente nombrado. Mediante la metodología empleada, procesan la información de la identificación y análisis de las bases de datos de la utilidad eléctrica (CHEC) para determinar los fallos con base en tres etapas dadas como: Análisis forense, Árbol de fallos y visita técnica de campo.

Los resultados que obtuvieron mediante la información (CHEC) analizada permiten observar en la tabla 6 el promedio de medidores dañados por nodo, tomando como referencia medidores electrónicos y mecánicos.

Tabla 6. Promedio de medidores fallidos por nodo.

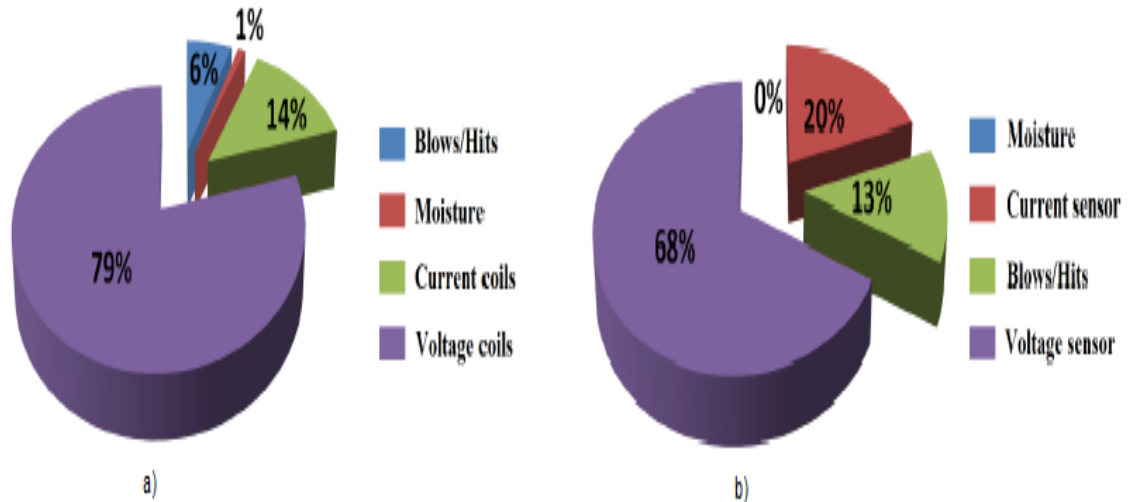
Tipo de medidor	Promedio de medidores existentes por nodo	Promedio de metros fallidos por nodo	Promedio de metros fallidos por año
electromecánico	6,02	4,12	0,68
Electrónico	3,69	1,61	0,26

Fuente: Tomada de O.J. Soto Marín, 2014.

De igual forma, los resultados para las distintas etapas tratadas, muestra

resultados con relación al análisis forense donde estudiaron 150 medidores electromecánicos y 40 electrónicos (190 en total) determinando más fallos en la bobina de tensión de los medidores electromecánicos con un 79% de margen de falencias como se muestra en la figura 14a y un 68% de margen de falencias para el sensor de tensión en los medidores electrónicos demostrado en la figura 14b.

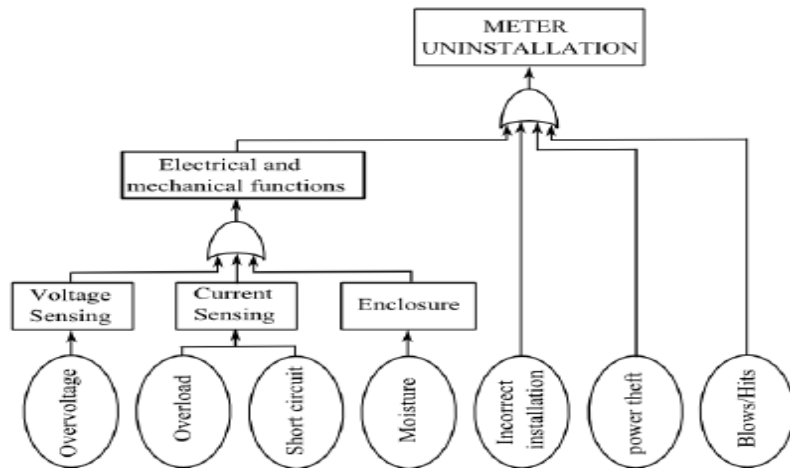
Figura 14. Fallos en medidores electromecánicos a), Fallos en medidores electrónicos b).



Fuente: Tomada de O.J. Soto Marín, 2014.

La figura 15 muestra los resultados en la etapa de árbol de fallos, donde determinaron que las raíces se representan con los acontecimientos básicos en la base, por lo cual se presentan desde un punto de vista global en la zona oriental, que la tasa de fracaso corresponde al 4,83% y el tiempo medio entre fallos (inversa de la tasa de fallo) es de 20,7 años, además la tasa de fallos en los nodos críticos es 42.98% y el tiempo medio entre fallos es de 2,32 años.

Figura 15. Árbol de fallos.



Fuente: Tomada de O.J. Soto Marín, 2014.

Finalmente, para la visita de campo obtuvieron resultados a simple vista bastante críticos como prácticas indebidas de instalación de medidores y transformadores, además de conexiones de puesta a tierra deplorables, además de transformadores. En la figura 16 se observa el deterioro hermético de los medidores a causa de las condiciones climáticas e instalaciones de baja calidad.

Figura 16. Medidores afectados herméticamente.



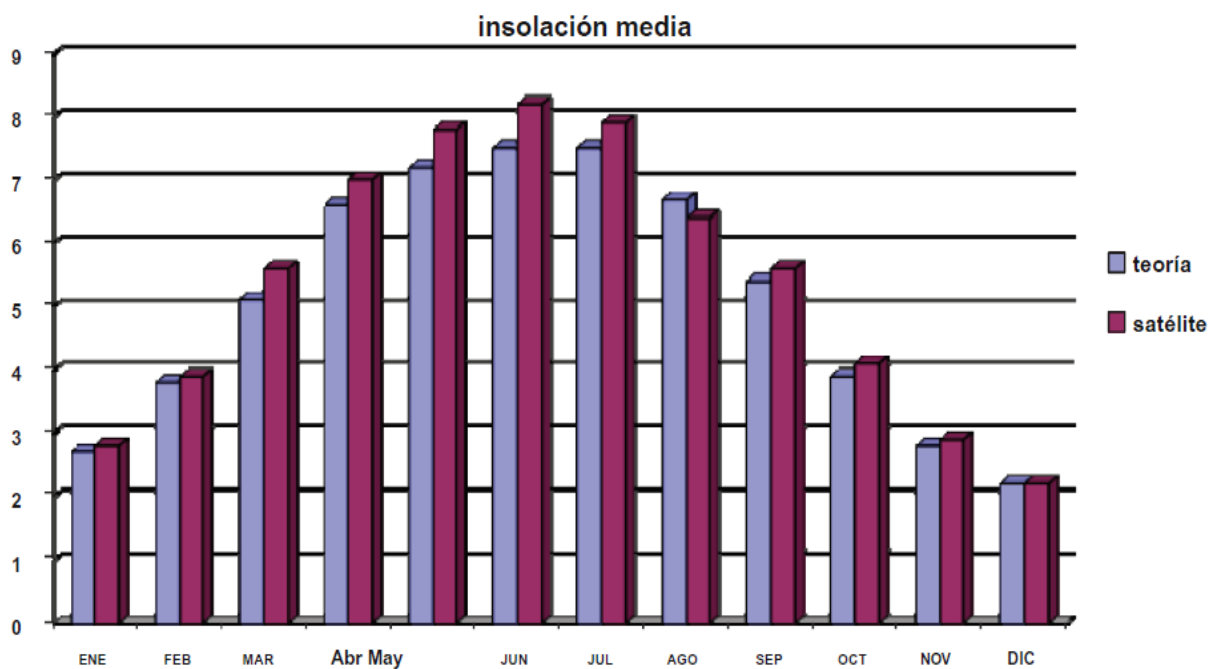
Fuente: Tomada de O.J. Soto Marín, 2014.

La limitante para la implementación de energías renovables en el mundo es a causa de la preparación, diseño e implementación de las mismas, por ende, las centrales eléctricas convencionales continúan siendo el mercado dominante a

pesar de los graves problemas que producen con efectos nocivos hacia el ambiente, por ello el avance tecnológico busca de manera específica optar por el análisis de los recursos disponibles, con base en lo anterior planificar los próximos pasos. El análisis de los autores (Sreten Škuletic, 2013) busca mostrar los posibles medios y métodos para la medición de la energía de la radiación lumínica solar en Montenegro, México. Comparando con métodos a través de: Mediciones por Satélite, Medición directa de la superficie de la tierra y valores teóricos esperados para la evaluación de la energía en el lugar específico.

Los resultados obtenidos se muestran en la figura 17 donde la radiación media diaria para cada mes del año utilizando la medición por satélite y los valores teóricos esperados coinciden acertadamente, los valores específicos son adquiridos por medio de un piránometro.

Figura 17. Teoría y Satélite Resultados para insolación media en Montenegro.

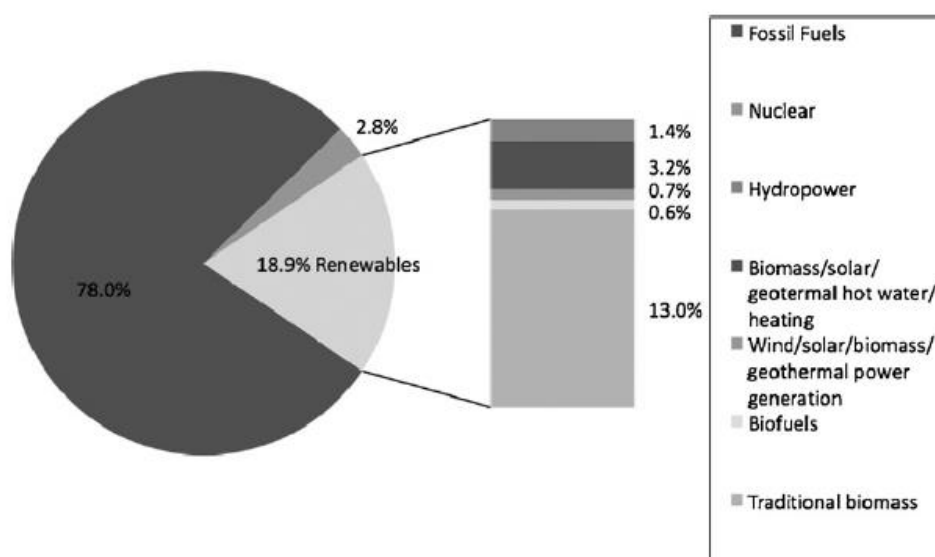


Fuente: Tomada de O.J. Soto Marín, 2014.

A lo largo del planeta se ha centralizado el uso de fuentes fósiles para la generación de energía desde el inicio de la revolución eléctrica. Según lo explican

los autores (J.A. Hernandez, 2011) esta distribución energética en los años setenta presento una necesidad de tecnologías alternativas para cerciorar el suministro adecuado de la energía eléctrica, esta necesidad surge debido a la crisis del petróleo, los cambios climáticos y el crecimiento de la demanda energética que se vivió en esa época. Gracias a estos factores en el 2008 las energías renovables tuvieron una participación en la demanda total del planeta del 19%, del cual un 13% fue generado por biomasa tradicional y un 2,7% por las denominadas “*new renewable energy*” (nuevas energías renovables), las cuales están compuestas por pequeñas centrales hidroeléctricas, biomasa moderna, los biocombustibles y energías como la solar, eólica y geotérmica (Ver figura18).

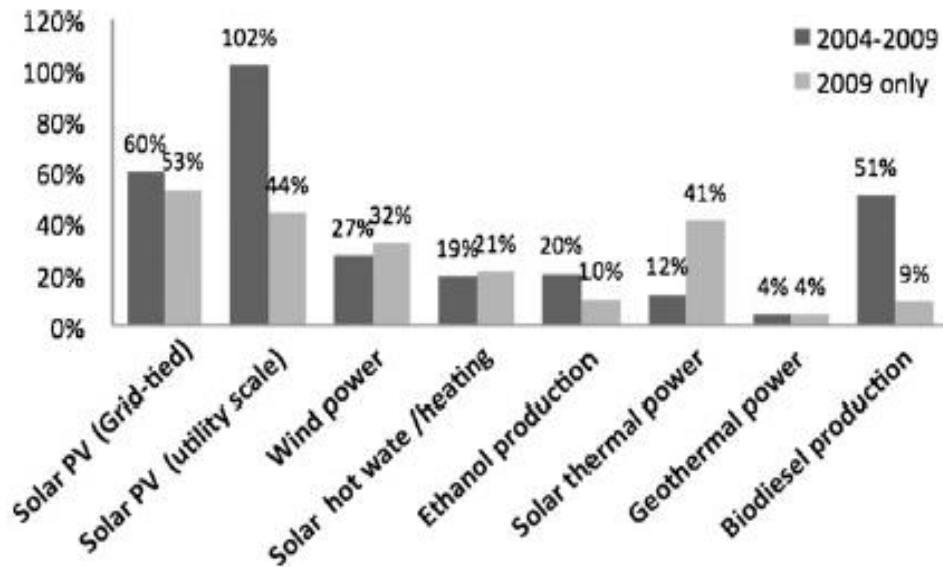
Figura 18. Participación de las energías renovables en el marco de la energía primaria mundial.



Fuente: Tomada de J.A. Hernandez, 2011.

En el periodo de 2004-2009 las tecnologías renovables gozaron con un crecimiento considerable, donde destaca la energía solar con el aumento más grande de todas las tecnologías renovables la cual fue de un 60% para los cinco años del ciclo (Ver figura 19).

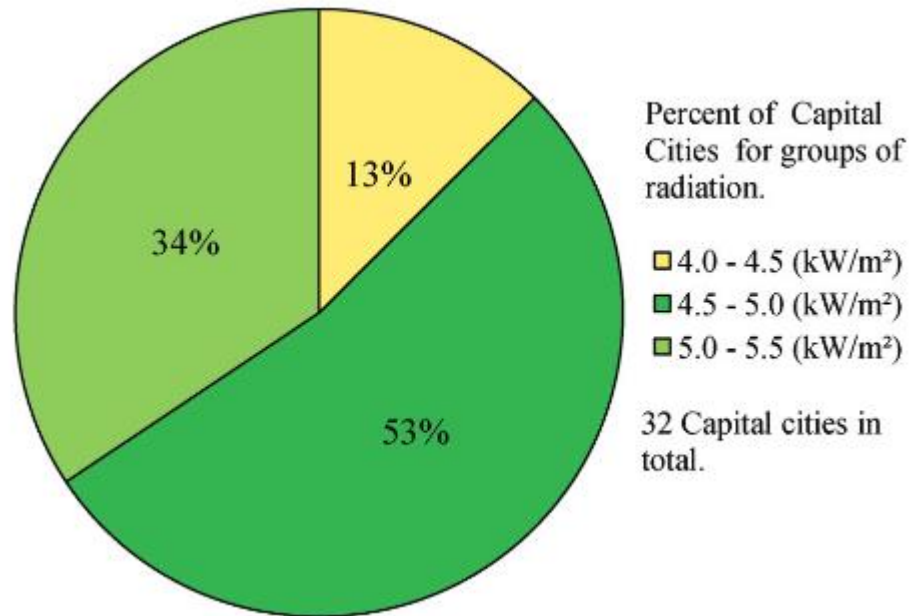
Figura 19. Cultivo de las tecnologías renovables del periodo 2004-2009.



Fuente: Tomada de J.A. Hernandez, 2011.

Para el año 2012, los autores (Ivan Enrique Zuñiga, 2012), realizan un estudio económico y técnico para la implementación de sistemas autónomos de paneles fotovoltaicos (APVS) en las principales ciudades de Colombia, basado en la utilización del software de modelado solar (HOMER) y teniendo en cuenta, que cerca del 68% del territorio nacional se encuentra clasificado como zonas no interconectadas (ZNI), esto quiere decir que gran parte de la población tiene difícil acceso a energía eléctrica convencional. Además, los niveles de radiación de 4.5 a 5.5 KW/m² comprende el 87% de las ciudades capitales de la nación, como se observa en la figura 20, lo que indica que la implementación de estos sistemas es factible para la geografía de Colombia. Los resultados del software expresan la cantidad de paneles baterías y costo promedio que resultaría un APVS. Así mismo, se estudia el costo de los dispositivos los cuales se escogieron teniendo en cuenta los criterios de comercio entre los demás países con Colombia, y así reducir los costos de importación. Finalmente se demuestra que Colombia es un territorio apto para implementar este tipo de sistemas, los cuales solucionarían la dependencia de energía eléctrica convencional y la proveniente de combustibles fósiles, como también de reducir el porcentaje de población rural que no se encuentra interconectadas, mitigando el difícil acceso a energía eléctrica en estas zonas.

Figura 20. Distribución de la capital de Colombia, acorde al promedio anual de radiación solar.



Fuente: Tomada de Ivan Enrique Zuñiga, 2012.

Según los autores (B.J. Ruiz, 2006) la alta demanda energética creciente en el país ha incentivado a empresas y entusiastas a optar por fuentes de energía renovable (RES), en especial para satisfacer de servicio energético a las zonas no interconectadas (NIZ). Las principales razones para implementar tecnologías basadas en fuentes renovables son; disminuir el impacto ambiental que ejerce las fuentes de energía convencional, y proveer de energía a las zonas no interconectadas. Por otra parte, estas razones no son exclusivas, dichas tecnologías pueden implementarse casi en cualquier lugar, aprovechando las condiciones climáticas para elegir una tecnología (fotovoltaica, eólica, biomasa, etc.). Debido a este crecimiento considerable en materia de uso de fuentes renovables, ha surgido la necesidad de reglamentar el uso de estas tecnologías, para promover su eficiencia y el uso racional de energía, en Colombia existen cinco elementos básicos para la formulación de políticas sobre fuentes de energía renovable son; Balance de instituciones del sector energético en relación con la formulación, elaboración y ejecución de planes, proyectos aplicados a estas tecnologías. Actualmente el avance en normas de política que reglamenten estos aspectos no son lo bastante claros en el país, a diferencia de otros países desarrollados a nivel mundial, a pesar de que hay un avance evidente en el uso de fuentes renovables, los proyectos relacionados a ello son muy poco, su ejecución

fue inferior al 5%, se espera que en los próximos años esta cifra aumente considerablemente. Otro aspecto importante es que a pesar de que el uso racional de la energía y la eficiencia tienen objetivos muy similares, sus aplicaciones son muy distintas, por lo tanto, se recomienda legislar estos parámetros por separado. Se debe aclarar de manera concreta la definición de fuentes de energía alternativas tales como: gas natural, aceite combustible de motor y otras que no se definen, debido a que esta ambigüedad puede desviar los recursos destinados a estas fuentes, a proyecto con energías convencionales.

Los sistemas de aire acondicionado con energía solar pueden reducir el consumo de energía y la demanda total, por ello los autores (Pedro J. Martínez, 2016) desarrollan y validan un modelo TRNSYS para la instalación de aire acondicionado en la Universidad Miguel Hernández de Elche, el modelo estudia el funcionamiento de la instalación de un sistema autónomo con un sistema de asistencia solar de respaldo para diferentes condiciones climáticas en el lugar. Este sistema mantiene una temperatura estándar entre el 60,8% y 78,3% dentro del estudio realizado, mediante un enfriador de compresión proporcionando para el enfriador la absorción que presenta una oscilación de 52,8%, además la demanda total para la refrigeración en Bilbao, Madrid es de 75,3%, lo cual significa un coste y consumo bastante altos y por ello la máquina absorción ha fallado en su entrada al mercado, es por esto que el modelo validado busca comparar los diferentes funcionamiento del sistema, donde un resultado muestra simulaciones para diferentes sistemas en distintas condiciones climatológicas durante un periodo específico. La tabla 7 muestra los resultados en términos de calor intercambiado y la eficiencia del campo del colector solar, el enfriador del campo y la bomba de calor, el porcentaje de tiempo dado para entrar en la temperatura estándar es suministrado, además el enfriamiento que proporciona oscila entre el 52,8%, por ello cuando la instalación funciona como sistema autónomo mantiene una temperatura debajo de 26° C.

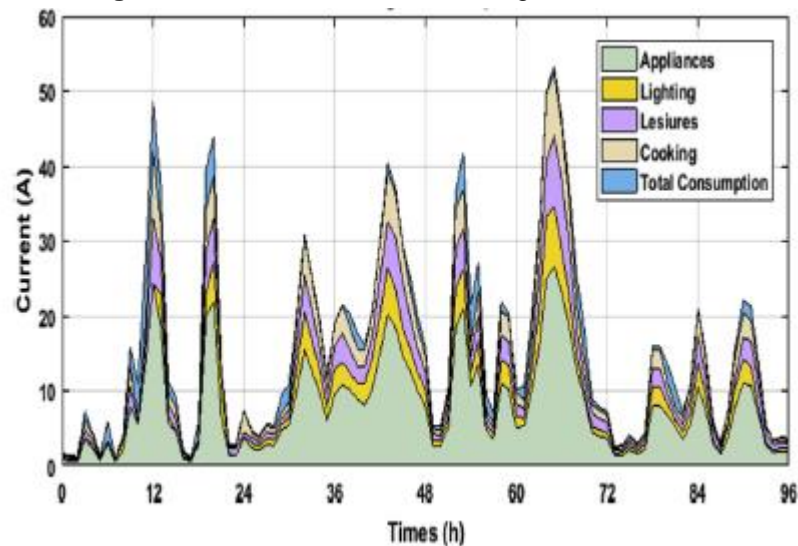
Tabla 7. Figura Condiciones meteorológicas para los lugares estudiados.

	E_{sol} (kWh · m ⁻²)	T_{amb} (°C)	HR (%)
Madrid	817.4	23.4	38.1
Barcelona	741.3	22.9	69.9
Sevilla	895.8	27.3	49.7
Bilbao	587.9	20.8	71.1

Fuente: Tomada de Pedro J. Martínez, 2016.

Por otra parte, los sistemas de energía híbridos autónomos son un tema de investigación bastante amplio, los autores (Sihem Nasri, 2017) comentan acerca del despliegue de sistemas híbridos autónomos como una opción para mejorar la seguridad energética, garantizando la producción eficiente de electricidad sin interrupción, por ello diseñaron un sistema de simulación preciso en el que el componente solar sirve como fuente principal con un fase secundaria basada en combustibles con el fin de definir un sistema multi-agente de acuerdo a las características y costos para la producción. Obteniendo como resultado una estrategia de control que permitió la fiabilidad y efectividad de capacidad del sistema híbrido autónomo para satisfacer los requisitos de la carga en distintas condiciones, a través de la herramienta computacional Matlab/Simulink se estableció la simulación del anterior diseño, con valores actuales determinados por una estación meteorológica durante un periodo de cuatro día, donde la variación de carga refleja que el consumo eléctrico total (ver figura 21) en general de los diferentes equipos y dispositivos es relación a diferentes aplicaciones de hogar como iluminación, TV, audio, equipos portátiles, lavadoras, refrigeradores y cocinas.

Figura 21. Consumo total de las cargas en el sistema.

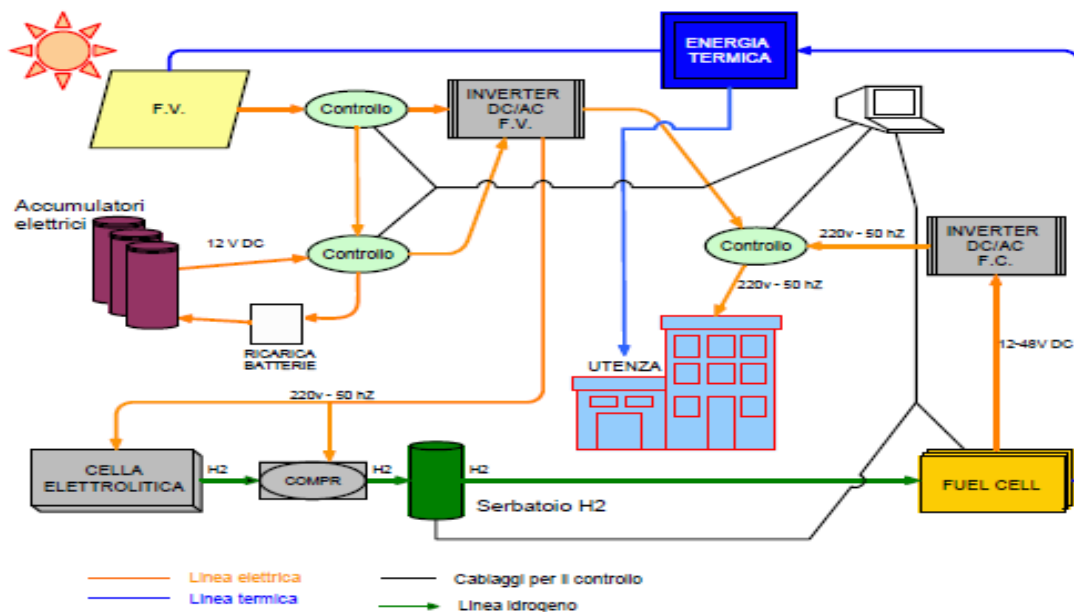


Fuente: Tomada de Sihem Nasri, 2017.

Según los autores (Paolo Giuseppe Muraa, 2015) el uso de las RES en edificios es bastante complejo debido a su naturaleza aleatoria, por ello las plantas que utilizan colectores solares fotovoltaicos deben estar conectadas a una fuente de alimentación o interconectadas con acumuladores de carga a los edificios en caso de que se

encuentre aislado, además la conversión de electricidad en tecnología de hidrogeno es la más adecuada para resolver el problema puesto que permite transferir la energía solar capturada de día y de noche, desde el verano hasta el invierno. Un estudio de viabilidad realizado por los autores para una casa alimentada por colectores solares de cogeneración de energía solar que invierte la demanda mediante un ordenador para alimentar todo el hogar, utilizando una bomba de calor, una celda electrolítica para la producción de hidrogeno en la acumulación y también unidades de control que clasifican la energía producida por cada pila, con el fin de obtener como resultado un análisis de energía para los flujos mensuales de H₂, por otra parte un análisis anual para una reserva de 2Kg de H₂ lo que quiere decir que es posible realizar autonomía energética para la planta de un solo edificio al menos en las zonas mediterráneas, sin embargo no puede considerarse por completo, puesto que los acumuladores eléctricos no siempre podrán satisfacer la capacidad demandada, por ende sería necesaria la intervención de las células de combustible para producir energía eléctrica con rendimientos inferiores a los niveles nominales debido a que el tiempo de operación es pequeño y de baja potencia, además el análisis económico muestra que el costo es muy alto comparado con el de una casa básica debido a los componentes en el mercado. En la figura 22 se muestra el sistema autónomo diseñado para el edificio.

Figura 22. Representación esquemática del sistema en su configuración autónoma.

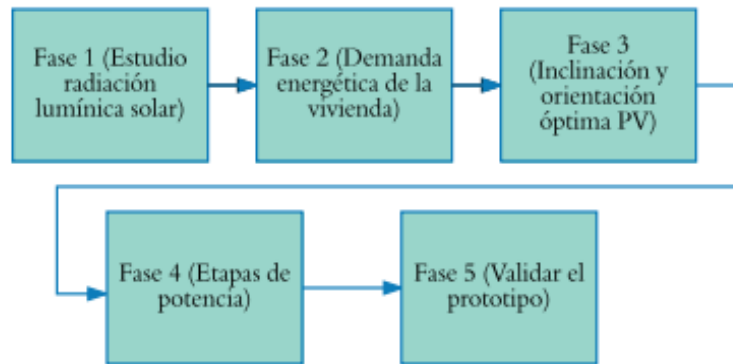


Fuente: Tomada de Paolo Giuseppe Muraa, 2015.

3. Capítulo 3: Diseño metodológico

La metodología empleada para el desarrollo del proyecto fue experimental y se desarrolló en cinco fases.

Figura 23. Diagrama de bloques para fases metodológicas.

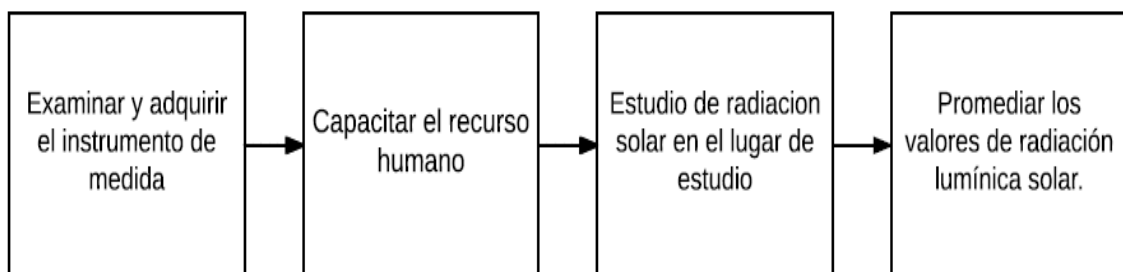


Fuente: Autores.

3.1. Primera fase: Estudio de radiación lumínica solar

La primera fase busca determinar los valores de radiación lumínica solar en una vivienda rural ubicada en el municipio de Anapoima (vereda Golconda, Cundinamarca). En esta fase se desarrollan las siguientes actividades:

Figura 24. Diagrama de bloques para primera fase.



Fuente: Autores.

Para adquirir el instrumento de medida que se utiliza en el estudio de radiación lumínica solar, es necesario realizar un análisis de cuál es el sensor más adecuado para las lecturas de radiación solar, teniendo en cuenta el costo y las características del mismo. Es importante tener en cuenta que el prototipo tiene una delimitación de potencia de $100W$, por ende, el sensor que se utilizara en el estudio de radiación solar para el prototipo es un piránometro (Solar Power Meter TM-206, para más información ver anexo 1) el cual tiene un rango de medición de $1999 W/m^2$ o $634 BTU /ft^2 * h$, este nivel de operación es adecuado para la toma de medidas del estudio, puesto que, es un rango suficiente para la delimitación del proyecto y su precio es asequible. Con este instrumento se realizará la adquisición de valores de índice de radiación lumínica solar, su simplificado uso fue muy valioso, dado que, facilito el registro de datos a la persona encarga.

Una vez conseguido el instrumento de medida (sensor), es sustancial capacitar a la persona que realizara la toma de medidas, con el fin de que se efectúe un registro adecuado de los valores arrojados por el sensor, de igual forma, proporcionar las instrucciones acerca del manejo del mismo. Además, en esta actividad se enseñará al recurso humano a realizar toma de valores de voltaje y corriente DC con multímetro, que posteriormente serán necesarios en otro estudio del proyecto (Ver fase 3).

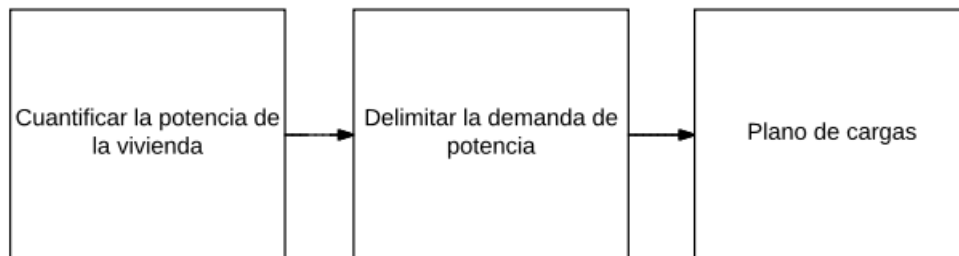
Para el estudio del índice de radiación solar en el lugar seleccionado se realizará un registro de los valores mínimos de radiación captados por el sensor cada hora entre las 10 am y las 4 pm durante un periodo de 30 días, el motivo de censar los valores mínimos de radiación, tiene como fin observar la peor condición de radiación solar. Esta adquisición de los valores de radiación solar en el lugar es de tipo informal, puesto que no sigue ningún tipo de normativa, sin embargo, brindara una idea de la oscilación de la radiación en este lugar y de cuáles son los valores irradiados por el sol para la época.

Los datos obtenidos del estudio de radiación, al igual que los del Angulo óptimo del panel, serán almacenados en un documento de Excel, en donde se analizarán y graficarán, con el fin de observar su comportamiento en el periodo de estudio.

3.2. Segunda fase: Demanda energética de la vivienda

La segunda fase contempla la demanda energética de la vivienda. En esta fase se desarrollarán las siguientes actividades:

Figura 25. Diagrama de bloques para segunda fase.



Fuente: Autores.

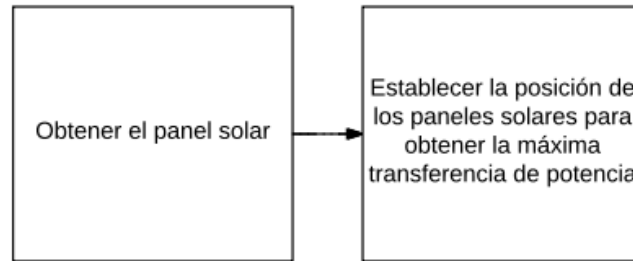
Con el fin de identificar la potencia demandada por la vivienda se observará la cantidad de elementos utilizados en el domicilio, para esto se contará con la ayuda del dueño del predio. Además, se consultará al propietario del lugar acerca de cuál es el sitio más concurrido de la vivienda, esta encuesta tiene como fin conocer cuál es la zona que más se frecuenta por los habitantes del lugar, y así, suplir la demanda energética, si esta coincide con la delimitación del prototipo.

Debido a que el prototipo tiene como fin satisfacer una demanda energética no mayor a $100W/días$, el proyecto aportará a esta demanda de potencia, en cuanto su delimitación lo permita. Una vez determinado la demanda de potencia para el proyecto se procederá a realizar un plano de carga en donde se hallarán las características que debe tener el sistema fotovoltaico para abastecer esta demanda energética.

3.3. Tercera fase: Inclinación y orientación óptima PV

La tercera fase establecerá la inclinación y orientación óptima de los paneles solares que permita obtener la máxima transferencia de potencia. En esta fase se desarrollarán las siguientes actividades:

Figura 26. Diagrama de bloques para tercera fase.



Fuente: Autores.

Teniendo en cuenta las consideraciones para las peores condiciones a las cuales puede estar sometida la eficiencia del panel solar (invierno), se parte de la referencia teórica para determinar el ángulo de inclinación con base en la latitud del sitio de 4,55 (City.com, s.f.), donde el ángulo α corresponde a 18° grados adicionales para mejorar la inclinación frente la situación descrita anteriormente, por lo tanto, el ángulo de inclinación β se expresa como:

$$\beta = 4,55 + 18 = 22,55^\circ$$

El ángulo de inclinación se aproxima a la referencia de 25° , que es comúnmente utilizada en el desarrollo de sistemas fotovoltaicos en trópicos.

El panel solar utilizado en el prototipo debe entregar una potencia superior a la demanda por el plano de cargas que se realizó en la fase anterior (Ver fase 2). Como la potencia del prototipo se encuentra delimitada en 100 W/días , aplicando un sobre estimado del 30% y teniendo en cuenta los valores comerciales, la potencia entregada por el panel solar será de 150 W/días (Ver anexo 2).

Es importante mencionar que el sistema tendrá un voltaje de operación de 12 V , esta condición exige que la salida del panel sea de este valor. Con respecto al material del panel se indagará acerca de cuál será el adecuado para el prototipo.

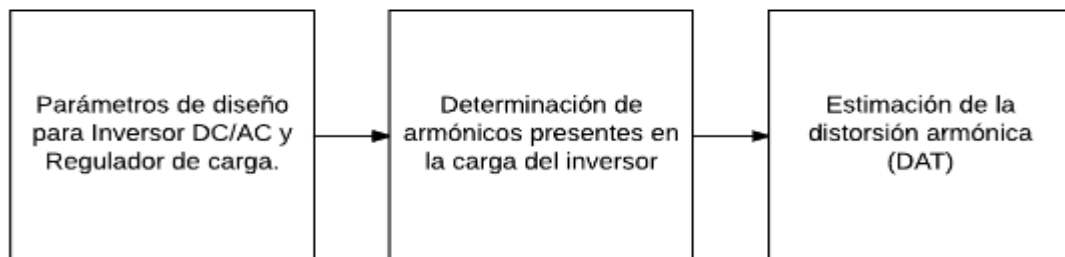
Con el fin de establecer la inclinación y orientación óptima de los paneles solares que permita obtener la máxima transferencia de potencia, se posicionará el panel solar en tres diferentes ángulos teniendo como base el ángulo dado por el

fabricante, el cual es de 25° grados. a partir del anterior dato se seleccionó un ángulo por debajo igual a 20° grados y un ángulo por encima de 30° grados. Para cada posición se tomará registros de la salida de corriente y voltaje de corto circuito cada hora entre las 10 am y las 4 pm en un periodo de 15 días, estos datos serán almacenados en un documento de Excel en donde se promediarán y se analizarán los resultados de cada uno de los ángulos trabajados. Estos análisis permitirán deducir cual es el ángulo óptimo para la máxima transferencia de potencia del panel solar.

3.4. Cuarta fase: Etapas de potencia

La cuarta fase consta en diseñar e implementar las etapas de potencia del sistema de suministro eléctrico con paneles fotovoltaicos. En esta fase se efectuarán las siguientes actividades:

Figura 27. Diagrama de bloques para cuarta fase.



Fuente: Autores.

El regulador de tensión para el prototipo proporciona la funcionalidad de limitar la tensión de entrada a solo 12VDC proveniente del panel solar con el fin de proporcionar una carga continua sin oscilaciones hacia la batería, es decir que permite proteger la batería, además cuenta con protecciones para flujos de contra corriente parasitas o inversas, de tal forma el regulador, aunque no es el más complejo de los equipos presentes dentro un sistema fotovoltaico, es el más importante para garantizar la vida útil de los demás componentes.

Normalmente se emplean reguladores de tensión conmutada por medio de transistores de potencia, debido a que consumen menos potencia que un regulador

de tensión lineal (Bajo rendimiento) por lo tanto tienen un rendimiento con carga máxima de entre el 75% y el 95%. Su diseño comúnmente se encuentra enlazado con sistemas digitales para determinar una eficiencia y ocupación de menos espacio físico (Souza, 2011). Con base en lo anterior el regulador de carga está dado bajo los parámetros de voltaje de entrada del panel solar el cual varía entre $12VDC - 22.5VDC$, además la corriente máxima se establece por medio de la característica de *Corriente máx pico* entregada por el panel solar (Ver anexo 2), de tal modo se expresa como (Souza, 2011):

$$\text{Corriente pico del modulo solar} = \text{Corriente máx pico} * 1,1A \quad (10)$$

$$\text{Corriente pico del modulo solar} = 8,101 A * 1,1 A = 8,911A$$

$$\text{Corriente maxima del regulador} = 8,911A * 1,3A = 11,58 A$$

Los equipos comerciales asequibles en el mercado se clasifican en corrientes máximas de 10A, 20A y 30A, puesto que la corriente determinada excede los 10A, es necesario un regulador de 20A para el sistema, por lo tanto, teniendo en cuenta las consideraciones de diseño se opta por adquirir el regulador ME12V020 (Para más información ver anexo 3).

El inversor de puente completo tiene como principio el suministro de una fuente de corriente continua para convertir su tensión de salida en una corriente alterna, con base en los parámetros de la tabla 4 se opta por adquirir un inversor DC/AC de capacidad de 150W a 20A de referencia THA150 (Ver anexo 4), por lo tanto, la consideración del diseño del inversor está bajo el marco de 100W, la cual es la potencia delimitada para el prototipo. No obstante, con base en la potencia del sistema, se determina una impedancia de 175Ω , la cual es sobredimensionada con un valor superior, debido a que la impedancia puede llegar a variar según el electrodoméstico que se conecte al sistema, (Siempre y cuando la potencia del electrodoméstico sea lo considerado) esta misma impedancia será utilizada para las validaciones del prototipo, por lo tanto, los parámetros del inversor se definen como:

Tabla 8. Parámetros del diseño del inversor en puente completo.

V_{cc}	12 V
V_o	132 V
R	175 Ω
P_o	150 W
f	60 Hz

Fuente: Autores.

La tabla 7 muestra que la tensión de salida ha sido considerada por un valor superior a la convencional de la red eléctrica (120VAC) debido a que se propone el sobredimensionamiento del 20% con el fin de proveer al inversor la capacidad de sustentar a la carga una tensión estable, superior o cercana a lo convencional en el caso de pérdidas por temperaturas en los elementos, ya sean propias del sistema o por factores externos (Clima cambiante).

$$120VAC = 100\% \rightarrow 12VAC = 10\%$$

$$\text{Sobredimensionado } 10\% \rightarrow 132V AC$$

De acuerdo a lo anterior la entrada continua será de 12VDC y el puente completo está conformado por transistores de potencia IRF640B (Ver anexo 5), observando su hoja de datos se determina que son indicados para soportar la operación del puente inversor, en la figura 11a se muestra el diagrama para el circuito de puente de onda completa. Al tratarse de una forma de onda cuadrada en la tensión de salida del inversor, es correcto el afirmar que no existe un tipo de modulación aplicado en la señal de control del disparo, puesto que una forma de onda cuadrada suprime teóricamente los armónicos pares presentes en la carga, por lo tanto, en la figura 26 se muestran el análisis *FFT* de armónicos en la carga donde los armónicos pares están suprimidos y los armónicos impares se encuentran presentes.

De acuerdo con el análisis anterior, se realizaron pruebas reales con el fin de observar la potencia disipada correspondiente a los primeros tres armónicos impares, dado que la mayor cantidad de potencia debe verse reflejada en el primer armónico n . Para el análisis se realizó primero el cálculo teórico de la serie de Fourier con las siguientes especificaciones:

Tabla 9. Parámetros de entrada en el inversor.

V_{cc}	12 V
f	60 Hz
R	175 Ω

Fuente: Autores.

Teniendo en cuenta las ecuaciones del capítulo 2, para el análisis de serie de Fourier en forma de onda cuadrada, se realizó un script en Matlab donde se calcularon idealmente los valores de tensión y corriente en la carga para los diferentes armónicos, teniendo en cuenta que no se consideran perdidas por elementos, puesto que en el análisis practico no se hace relevante la intervención de más componentes. Por lo cual la tabla 9 muestra el análisis teórico y los valores determinados para esta prueba.

Tabla 10. Análisis ideal para las componentes armónicas.

n	f_n (Hz)	V_n (V)	Z_n (Ω)	I_n (A)	P_n (W)
1	60	168,0676	175	0,9604	80,7
3	180	56,0225	175	0,3201	8,96
5	300	33,6135	175	0,1921	3,22
7	420	24,0097	175	0,1372	1,64
9	540	18,6742	175	0,1067	0,99
11	660	15,2789	175	0,0873	0,66
13	780	12,9283	175	0,0739	0,47
15	900	11,2045	175	0,064	0,35

Fuente: Autores.

Tal como se observa en la tabla 9, la mayor potencia disipada se encuentra dentro de los tres primeros armónicos impares, claramente el primer armónico es donde se disipa más del 90% de potencia. Dentro del análisis cabe resaltar que para cada una de las componentes, la tensión disminuye conforme aumenta el índice del armónico, la impedancia permanece constante por tratarse de una carga resistiva y la corriente disminuye proporcionalmente con respecto a los armónicos de orden superior, resultando en pequeñas corrientes de carga dentro de los aspectos para la práctica real, lo cual muestra como los índices de armónicos superiores son despreciables para las demás frecuencias exceptuando las tres primeras; de igual

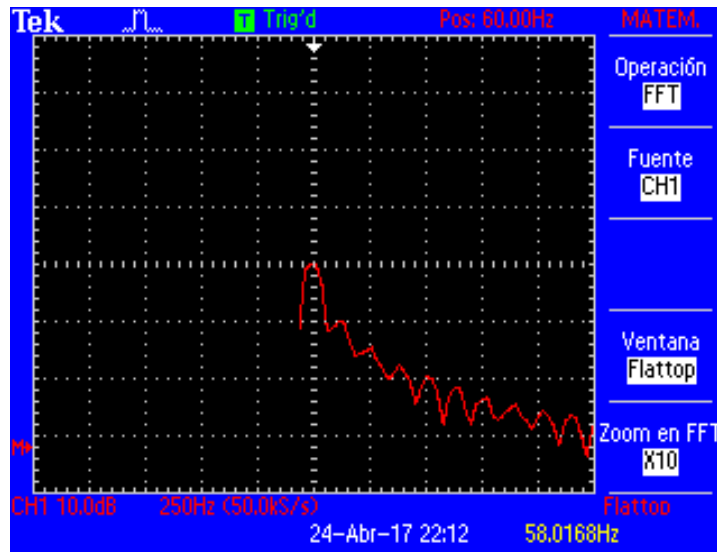
forma potencia absorbida total se calcula con base en la ecuación 6, determinada como:

$$P = \sum P_n = 80,7W + 8,96W + 3,22W + 1,64W + 0,99W + 0,66W + 0,47W + 0,35W$$

$$P_T = 96,99 W \approx 97W$$

La potencia absorbida en la carga de prueba (175Ω) es cercana a los $100W$, teóricamente la mayor parte de la potencia debe verse disipada en el armónico fundamental, tal y como se observa en la figura 26.

Figura 28. Disipación de potencia en primer armónico en magnitud de amplitud.



Fuente: Autores.

Como se ha visto dentro de la composición del inversor, la forma de onda corresponde a una onda cuadrada, en la práctica al ver mucho más de cerca es posible comparar con una onda cuadrada, por ende, la serie de Fourier fue el método más adecuado para realizar un análisis profundo. De acuerdo con esta onda cuadrada existe una calidad propia para aquellas que no corresponden ni se parecen a una onda sinodal, por lo tanto, es necesario establecer la distorsión de armónicos total que persiste, debido a que una distorsión muy alta puede generar efectos negativos y caídas en el inversor.

Teniendo en cuenta la ecuación 7 se calcula DAT para la tensión:

$$DAT_V = \frac{\sqrt{132^2 - \left(\frac{4(132)}{\sqrt{2}\pi}\right)^2}}{\frac{4(132)}{\sqrt{2}\pi}} = 0,483 = 48,3\%$$

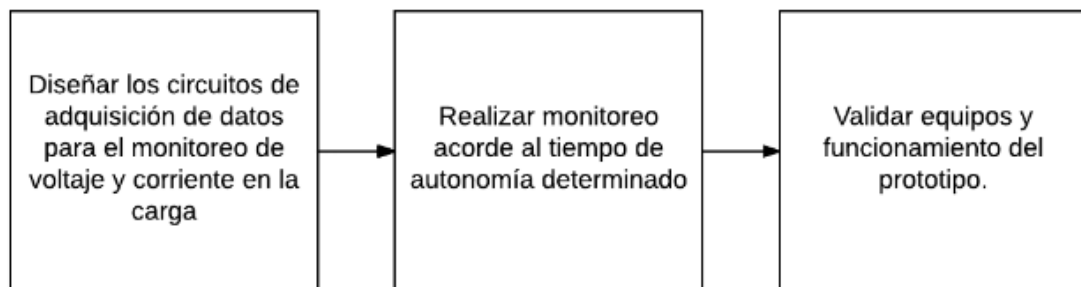
Como se observa, la distorsión armónica total para la tensión corresponde a un valor constante que se define para onda cuadrada. Una vez se define la DAT para la tensión, se calcula la misma, pero en la corriente, como ya se ha nombrado, la DAT en la corriente es relevante para el cuidado del mismo inversor, de tal modo está dada por medio de la ecuación 9 donde se obtiene:

$$DAT_I = \frac{\sqrt{\left(\frac{0.32}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{0.19}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{0.13}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{0.10}{\sqrt{2}}\right)^2}}{\left(\frac{0.96}{\sqrt{2}}\right)} = 0.42 = 42\%$$

3.5. Quinta fase: Validación del prototipo

En esta fase se pretende validar el prototipo desarrollado. En esta fase se desarrollarán las siguientes actividades:

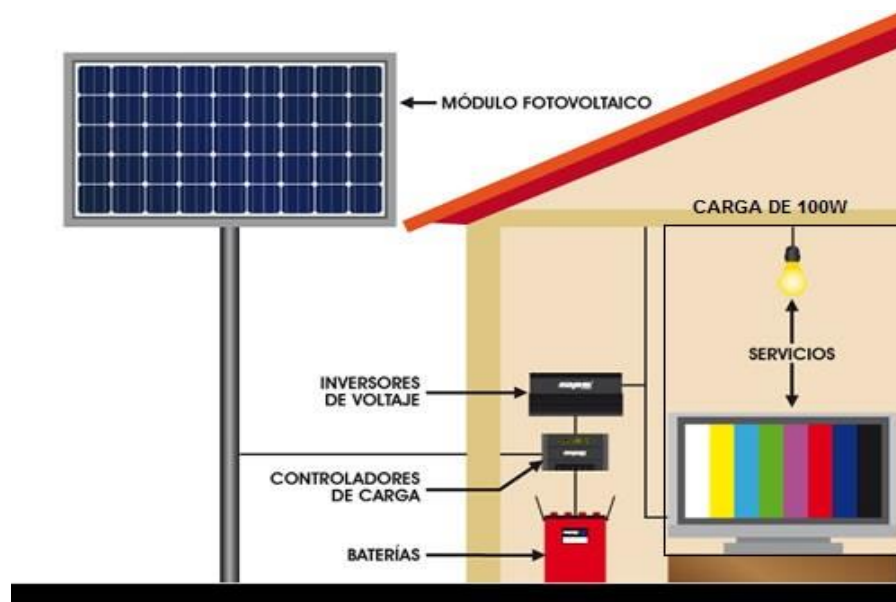
Figura 29. Diagrama de bloques para quinta fase.



Fuente: Autores.

En esta fase se someterá al prototipo (Ver figura 28) a una carga de 100W aproximadamente durante 24 horas (autonomía), esta carga será simulada con la ayuda de un reóstato configurado como una resistencia de 174Ω , durante este proceso se realizarán medidas de corriente y voltaje en un intervalo de 10 minutos para cada muestra. Esta prueba validara las características de cada uno de los elementos mencionados, dicho de otra manera, los resultados obtenidos de este experimento deberán coincidir con las salidas de cada uno de ellos. En el caso del inversor, los datos de corriente y voltaje se relacionarán para obtener potencia, este valor debe ser de aproximadamente 100W.

Figura 30. Composición y estructura del prototipo.



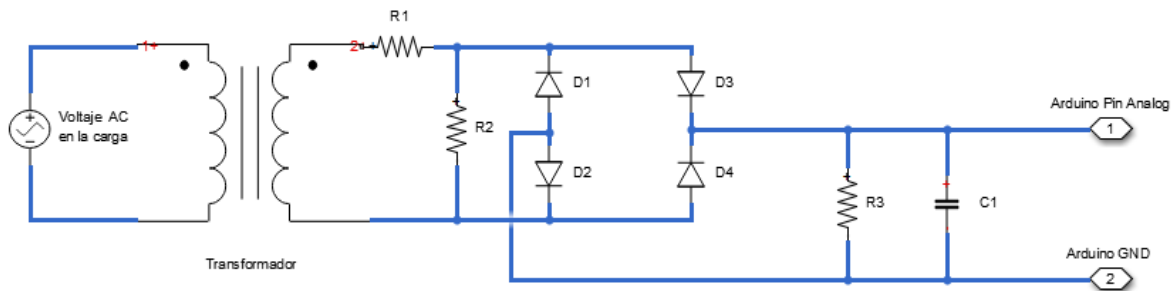
Fuente: Adaptado de aqptecnosol.com.

Para realizar el monitoreo del prototipo se necesita diseñar e implementar un circuito conversor de tensión alterna en continua con picos positivos inferiores a $5VDC$, que este paralelo a la carga para obtener una adquisición de datos análogos mediante un Arduino Mega, por otra parte, se ha de conectar en serie a la carga un sensor análogo de corriente alterna ACS714-30A (Ver anexo 6).

El monitoreo de voltaje en la carga pretende validar el constante uso del prototipo durante la autonomía de 24 horas, con el fin de analizar los datos para determinar

un rendimiento eficiente del inversor y regulador en operación, por lo cual la figura 29 muestra un circuito conversor de tensión AC en DC por medio de un transformador de doble devanado con Tap central donde la entrada de $132VAC$ se ve reducida en aproximadamente $8VAC$, en esencia la transformación permite descartar la conexión a tierra del prototipo y escalar la señal pico de voltaje para polarizarla a través de un divisor de tensión. Los resistores $R_1 = 220\Omega/5W$ y $R_2 = 390\Omega/5W$ conforman el divisor donde se reduce la escala AC que culmina de la transformación en $5,11VAC$ de esta manera un puente rectificador de onda completa permite generar una señal continua que finalmente es filtrada y acondicionada por $R_3 = 47\Omega$ y $C_1 = 1nF$ para obtener una señal con una tensión pico máxima de $4,98VDC$ a los pines analógicos del Arduino. Una vez se ajusta el circuito, se compila un programa adaptado al programa ejemplo de Arduino para conversión de datos análogos con el fin de medir la posible variación que pueda tener el prototipo durante el monitoreo.

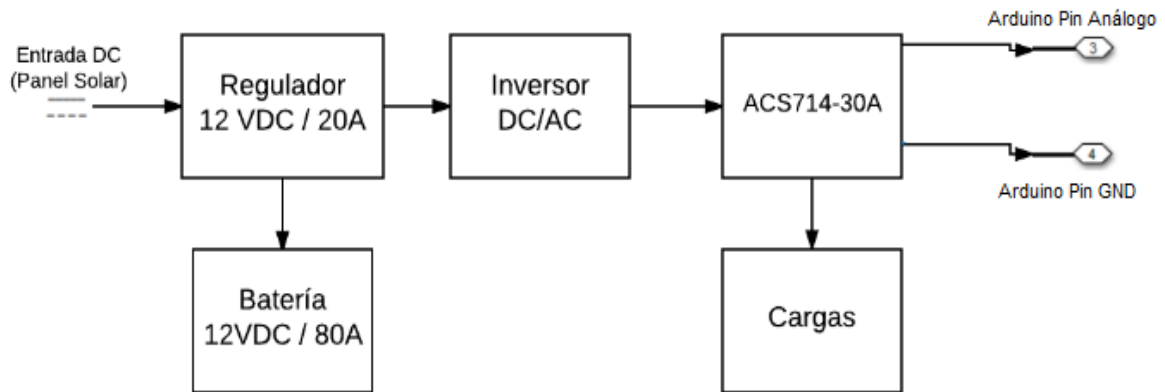
Figura 31. Circuito de acondicionamiento de señal de tensión para monitoreo.



Fuente: Autores.

Es necesario realizar el monitoreo de la corriente presente en la carga, por medio de un sensor de corriente alterna ACS714-30A el cual tiene un rango de medición de $-30A$ a $30A$ con una sensibilidad de $66_{mV}/A$ la cual será característica fundamental para realizar un programa de adquisición de datos mediante el cual se podrá validar el rendimiento del prototipo durante el tiempo de autonomía determinado. De acuerdo a la figura 30, la corriente que circula por la carga será monitoreada entre los intervalos determinados, sin embargo, para ello se debe realizar un procesamiento de la señal análoga del sensor de corriente con el fin de obtener una adquisición de muchas muestras, luego promediarlas y estimar un valor *rms* resultante (Ver código monitoreo de corriente apéndice F).

Figura 32. Sensor de corriente conectado en serie a la carga del sistema.



Fuente: Autores.

Ahora bien, después de haber realizado la validación de los elementos mencionados en la fase anterior, se realizarán pruebas en el lugar de estudio en donde el sistema completo (Panel solar, regulador, batería, inversor) será expuesto a la carga delimitada y se comprobará su correcto funcionamiento. Además, el sistema será expuesto en la universidad de Cundinamarca, con lo cual se brindará una demostración del funcionamiento del prototipo.

4. Capítulo 4: Análisis de resultados y discusión

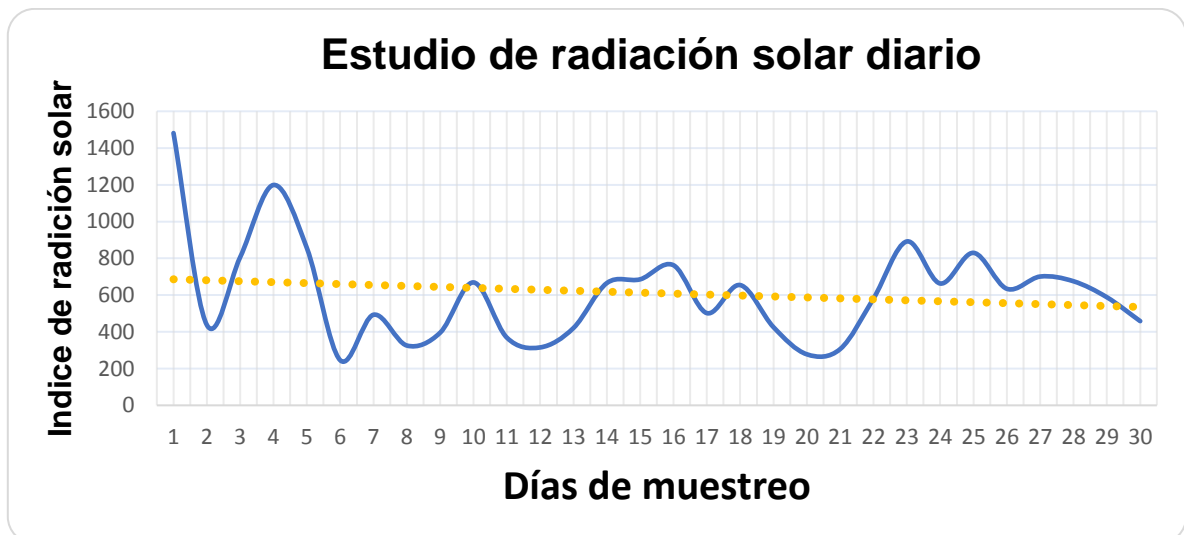
En este capítulo se dará solución a cada una de las actividades presentadas en el diseño metodológico, Así mismo, se realizará un análisis de los resultados obtenidos en el progreso de las mismas.

4.1. Primera fase: Estudio de radiación lumínica solar

Mediante el uso del piránometro (Solar Power Meter TM-206) y con la ayuda de una residente del lugar de estudio, se registró la radiación lumínica solar en un intervalo de 10 am a 5 pm en un periodo de 30 días no consecutivos debido a la disponibilidad de la encargada.

Los datos evidenciados (Ver apéndice A) en la figura muestran una potencia promedio de 590 W/día aproximadamente, lo que demuestra una radiación adecuada para el objetivo del proyecto.

Figura 33. Estudio de radiación solar diaria.



Fuente: Autores.

Con este estudio se pudo observar que en días nublados de poca radiación la potencia mínima captada por el sensor es de $200 W/día$ aproximadamente, lo que indica que la radiación mínima obtenida es suficiente para el prototipo que se propone desarrollar. De igual manera, mediante la adquisición de datos se presenta una desviación notable en la radiación lumínica solar del sector que para fortuna del proyecto no es relevante y en las bases de datos de la NASA (NASA, 2008) Y SWERA (SWERA, 1977 - 2017) no se puede observar, puesto que los datos brindados son promedios completos que no detallan la radiación diaria del lugar.

4.2. Segunda fase: Demanda energética de la vivienda

Con el uso de una informal encuesta realizada a los dueños de la propiedad se realizó una lista de la cantidad de elementos de consumo energético utilizados en la vivienda (Ver tabla 10). para el orden de esta lista se segmentó el lugar en tres espacios (Primer piso de la vivienda, Segundo piso de la vivienda, quiosco) y se asignaron los elementos resultantes de la encuesta a su correspondiente ubicación.

Además, como otro criterio de la encuesta se añadió la pregunta *¿Cuál es el área que más frecuentan?*, en donde se brindó tres posibles respuestas correspondientes a los espacios previamente segmentados (Ver apéndice G).

Como resultado de esta consulta se obtuvo que un quiosco ubicado en el lugar, es el espacio más concurrido de la propiedad (Ver anexo), el cual tiene un consumo de $387 W/día$ y que corresponde a 1,5 % del consumo total de la vivienda.

Es importante tener en cuenta que el uso de la energía solar tiene un fin eficiente, es por esto que los elementos conectados a un sistema fotovoltaico deben ser de baja potencia o de uso eficiente de la misma.

Tabla 11. Cuantificación de cargas en la vivienda.

Descripción vivienda	Descripción de los elementos	Cantidad	Potencia unitaria (W)	Tiempo de uso (horas)	Consumo	Potencia (W/día)	%
Primer piso	Bombillo ahorrador	5	12	5	270	12330	47,52
	nevera	1	500	24	10800		
	televisor	1	70	5	315		
	licuadora	1	350	3	945		
Segundo piso	Bombillo ahorrador	6	12	5	324	13225,5	50,98
	nevera	1	500	24	10800		
	televisor	1	70	5	315		
	equipo de sonido	1	75	1	67,5		
	licuadora	1	350	3	945		
	motobomb a	1	400	2	720		
Quiosco	Bombillo ahorrador	3	12	5	162	387	1,491
	mini component e	1	50	5	225		
Total						25942,5	100

Fuente: Autores.

La información recolectada con la encuesta permitió conocer cuál es el consumo de la vivienda, el cual es de aproximadamente 25,94 *KW/día*. Vale la pena decir, que este consumo no es de uso continuo, considerando que, es una vivienda vacacional y no residencial.

Para el plano de cargas se selección como potencia consumida la demanda por el quiosco, ya que, esta tiene una relación adecuada con la delimitación del prototipo. El sistema contará con el uso de tres bombillos ahorradores de 12 *W* y un electrodoméstico que no supere un consumo mayor a 60 *W* (Ver tabla 11).

Tabla 12. Cuadro de cargas.

Descripción vivienda	Descripción de los elementos	Cantidad	Potencia unitaria (W)	Tiempo de uso (horas)	Consumo	Potencia consumida (W/día)
Quiosco	Bombillo ahorrador	3	12	5	162	387
	mini componente	1	50	5	225	
Total						387

Fuente: Autores.

El diseño del cuadro de cargas se realizó con una sobre dimensión del 20% y teniendo en cuenta una eficiencia del inversor de 0,9, además, de otros valores relevantes. (Ver tabla 12 y 13).

Tabla 13. Valores iniciales de diseño.

Valores iniciales	Valor
Eficiencia del inversor (%)	90
Sobredimensión (%)	20
Radiación del lugar	4,7
Autonomía (Días)	2
Profundidad de descarga batería (%)	80
Voltaje nominal del sistema (Voltios)	12
Voltaje nominal Panel (Voltios)	12
Potencia nominal panel (Vatios)	150
Corriente nominal panel (Amperios)	4,63

Fuente: Autores.

Tabla 14. Parámetros de diseño.

Parámetros	Valor
Potencia nominal generada (Vatios)	98,8085106
Capacidad nominal de la batería	
Capacidad de la batería (W/h)	967,5
Capacidad de la batería (A/h)	80,625
Paneles fotovoltaicos	
Numero de paneles en serie	1
Numero de paneles en paralelo	0,6587234
Calculo del regulador	
Corriente control (carga) (Amperios)	5,556
Corriente control (consumo) (Amperios)	0
Calculo del inversor	
Corriente Inversor (Amperios)	7,74
Potencia nominal (Vatios)	111,456

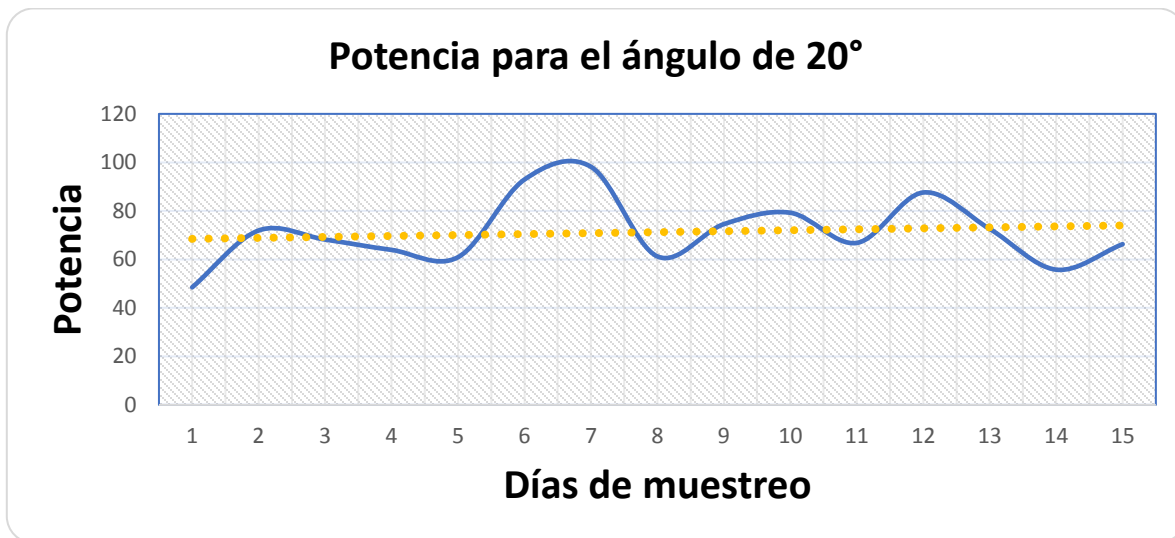
Fuente: Autores.

4.3. Tercera fase: Inclinación y orientación óptima PV

Para esta actividad se posiciono el panel solar en tres diferentes ángulos teniendo como base el ángulo determinado por la latitud del sitio, el cual es de 25° grados. A partir de esta posición se seleccionó un ángulo por debajo correspondiente a 20° grados y un ángulo por encima correspondiente a 30° grados.

Como resultado de la toma de valores de voltaje y corriente en corto circuito para el ángulo de 20° grados se observó un voltaje y una corriente promedio de 19,65 *voltios* y 3,60 *amperios* respectivamente, graficando los datos de voltaje y corriente se obtiene que la potencia promedio para esta posición es de 71,23 *vatios*, además se registró un valor máximo de 98,18 *vatios* y un valor mínimo de 48,48 *vatios* (Ver figura 32).

Figura 34. Gráfica de potencia para el ángulo de 20° grados.



Fuente: Autores.

En cuanto al estudio para el ángulo de 25° grados los resultados obtenidos en el censo de voltaje y corriente promedio en corto circuito fueron de 19,65 *voltios* y 5,72 *amperios* respectivamente, estos valores fueron graficados, por lo cual se evidencio una potencia promedio de 112,52 *vatios*, asimismo, se obtuvo un valor máximo de 135,53 *vatios* y un valor mínimo de 100,95 *vatios* (Ver figura 33).

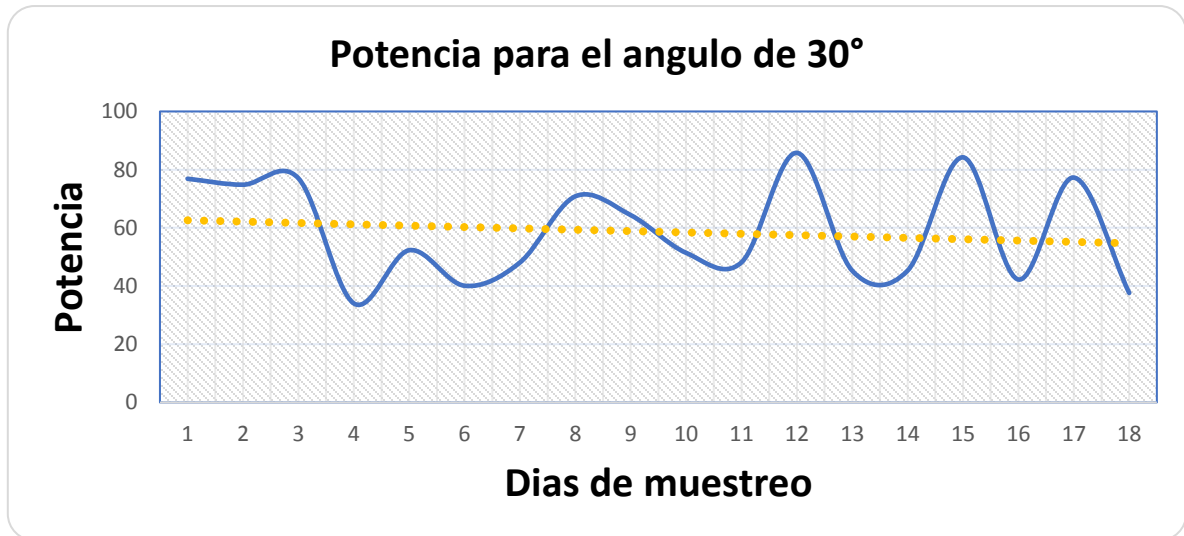
Figura 35. Gráfica de potencia para el ángulo de 25° grados.



Fuente: Autores.

Posteriormente se realizó el estudio para el ángulo de 30° grados en donde se evidencio una corriente promedio de 2,99 *amperios* y un voltaje promedio de 19,80 *voltios*, graficando estos datos se encontró una potencia promedio de 58,65 *vatios*, en donde, se presentan un valor máximo de 85,76 *vatios* y un valor minimo de 34,05 *vatios*.

Figura 36. Gráfica de potencia para el ángulo de 30° grados.



Fuente: Autores.

Analizando cada uno de los resultados obtenidos se descubrió que el panel solar presenta un voltaje muy similar para cada uno de los ángulos estudiados (Ver apéndice B,C y D), sin embargo, la corriente en corto circuito para los casos de 20° y 30° grados se encuentra muy por debajo de la corriente que debería entregar el panel la cual es de 8,1 *amperios*, asimismo, se observó que al posicionar el panel solar en un ángulo de 20° y 30° grados se presenta una oscilación bastante notable, en donde se muestra una desviación estándar de 0,65 y 0,43 respectivamente, esto se debe, a que la latitud en la que se ubicó el panel a los ángulos de 20° y 30° grados no coinciden perpendicularmente con respecto al sol, lo que genera, una inestabilidad en la transferencia de potencia del panel.

Por otra parte, los resultados arrojados por el panel con un ángulo de 25° grados evidencian una mayor transferencia de potencia con respectos a los anteriores ángulos estudiados. La tabla 14 permite observar de forma más detallada y resumida este resultado.

Tabla 15. Resultados del estudio de inclinación.

Ángulo (Grados)	Corriente máxima (Amp)	Corriente mínima (Amp)	Potencia máxima (W)	Potencia mínima (W)	Promedio de la potencia entregada (W)
20	4,90	2,48	98,18	48,48	71,23
25	6,88	5,25	135,53	100,95	112,52
30	3,88	2,3	85,76	34,05	58,65

Fuente: Autores.

Los datos reflejados en la tabla anterior nos permiten afirmar que, de los ángulos estudiados, la mejor inclinación para el panel solar es un ángulo de 25° grados, con lo cual, el panel tiene su mayor transferencia de potencia, y como se pudo observar la potencia promedio entregada por el panel es la adecuada para el prototipo que se desarrolló.

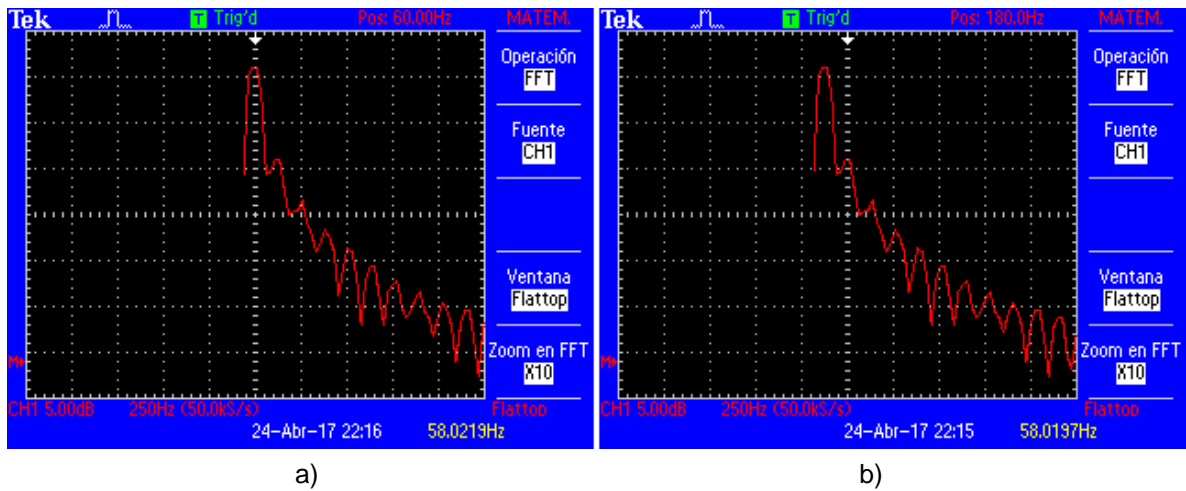
4.4. Cuarta fase: Etapas de potencia

En esta sección se muestran los resultados en cuanto al diseño y análisis de las etapas de potencia que componen el prototipo, haciendo énfasis en el inversor con relación a la disipación de potencia a través del armónico fundamental y la distorsión de armónicos (*DAT*) que presenta.

De acuerdo con la estimación de la corriente máxima pico del panel solar fue posible determinar que el regulador de potencia debe soportar una cantidad de corriente máxima superior a 11,58A por lo cual fue necesario optar por un equipo comercial capaz de soportar 20A, de esta manera el regulador ME12V020 cumple con el requisito para ser el enlace entre la entrega del panel solar hacia la batería y el inversor.

El análisis realizado para el inversor *DC/AC* en la carga, permite observar que la mayor disipación de potencia está reflejada en el armónico fundamental, sin embargo, en la figura 35 se observa que están presentes los armónicos impares, lo que quiere decir que existe disipación de potencia en los demás armónicos múltiplos de tres (Ver tabla 9).

Figura 37. Armónicos pares suprimidos en prueba con carga.



Fuente: Autores.

En la figura 35 se muestran los dos primeros armónicos impares para una carga de 175Ω ; se logra evidenciar que los armónicos pares son suprimidos, debido a que es una forma de onda cuadrada, la figura 35a representa el análisis en *FFT* (Transformada Rápida de Fourier) donde el armónico fundamental disipa la mayor cantidad de potencia (magnitud), de igual forma la figura 35b muestra la transición en el 3^{er} armónico, por lo tanto, se comprende que el inversor presenta pérdidas de la potencia total que puede entregar a la carga, por lo tanto, el porcentaje para la *DAT* es considerable para la potencia de arranque en las cargas. En la tabla 15 se evidencia la potencia disipada en los primeros cinco armónicos impares.

Tabla 16. Disipación de potencia en primeros cinco armónicos impares.

n	$V_n (V)$	$I_n (A)$	$P_n (W)$
1	168,0676	0,9604	80,7
3	56,0225	0,3201	8,96
5	33,6135	0,1921	3,22
7	24,0097	0,1372	1,64
9	18,6742	0,1067	0,99

Fuente: Autores.

Dado lo anterior, el resultado que entrega el análisis del inversor con respecto a los armónicos presentes en la carga, indica que para potencias bajas un inversor

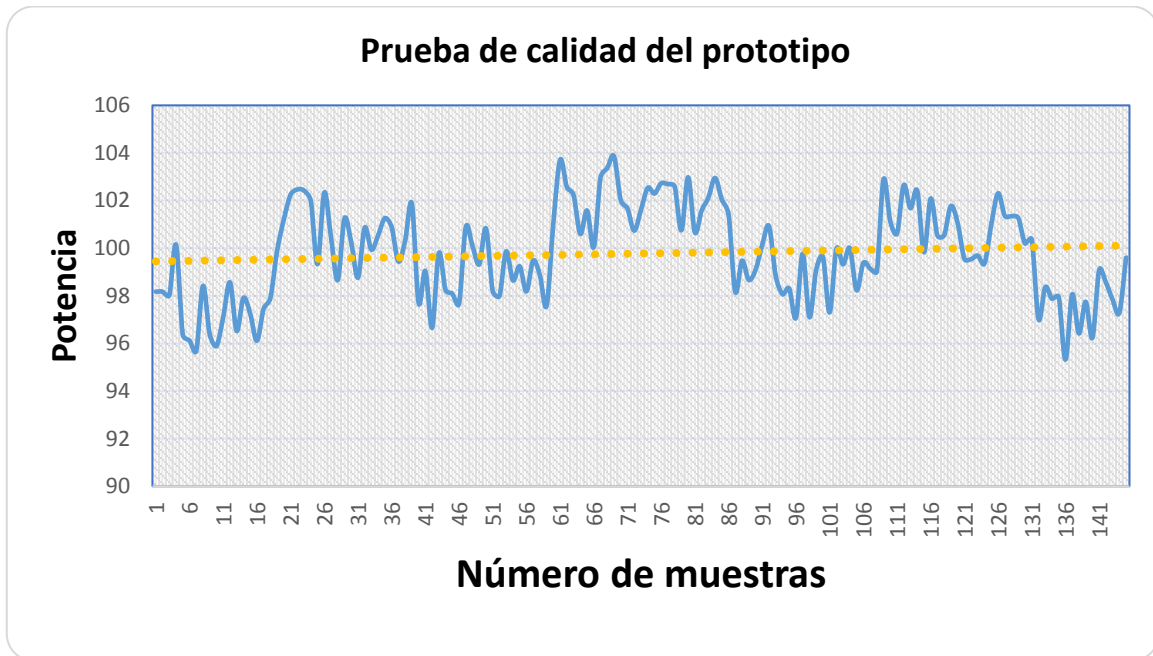
con forma de onda cuadrada es una opción adecuada, puesto que para iluminación y cargas menores a $100W$ no es necesario un pico máximo donde se transfiera toda la potencia, en comparación con sistemas que requieren alimentar cargas con picos de arranque bastante altos, donde la forma de onda de la tensión de salida debe ser una onda sinusoidal pura o similar.

Cabe resaltar la ausencia de una componente DC en la forma de onda resultante del inversor, lo cual comprueba precisamente que se trata de un inversor con salida de tensión en forma de onda cuadrada.

4.5. Quinta fase: Validación del prototipo

La implementación de circuitos de acondicionamiento de señal para el monitoreo de tensión y corriente en la carga durante 24 horas presento los resultados esperados (Ver apéndice E), como se muestra en la figura 36, la oscilación de voltaje y corriente no es significativa, por ende, la potencia en la carga se mantiene dentro de un margen de $98W$ a $104W$ aproximadamente, esto demuestra el rendimiento favorable del sistema para la conexión de las cargas definidas en el cuadro de cargas. El análisis de potencia determina que la carga presenta un índice de variación de $6W$, este se debe posiblemente a factores de temperatura en los elementos y dispositivos utilizados dentro del monitoreo (perdidas no significativas en transformación de alterna a través de los devanados y conexiones cableadas).

Figura 38. Análisis de validación.



Fuente: Autores.

En la figura 37 se muestra el funcionamiento del prototipo, alimentando las cargas delimitadas en $100W$. Para más información de las cargas utilizadas en la validación ver apéndice H.

Tabla 17. Cargas utilizadas en la validación.

Descripción	Cantidad	Potencia unitaria
Led	2	12W
Cargador portátil Lenovo	1	65W
Cargador dispositivo móvil	1	20W

Fuente: Autores.

Figura 39. Prueba del prototipo en campus universitario.



Fuente: Autores.

5. Conclusiones

De los resultados obtenidos en el estudio de radiación solar e inclinación óptima del panel solar, se reflejó que la energía irradiada por el sol en el lugar de estudio cumple los requisitos necesarios para ser implementado el prototipo, así mismo, se confirmó que el ángulo de 25 grados es el recomendable para que el panel solar logre su máxima transferencia de potencia.

A pesar de que se realizó un estudio de radiación solar, este resultado debe ser apoyado por el parámetro de radiación proporcionado por las bases de datos de la NASA y SWERA las cuales tiene aproximadamente un periodo de estudio de 10 años, en el cálculo del cuadro de cargas del prototipo, a fin de, garantizar un correcto funcionamiento del prototipo.

La elaboración propia de equipos de potencia para sistemas de energía fotovoltaica presenta costos elevados, debido a que es mucho más complejo e impreciso al ser construidos de manera individual en comparación con la industria en el mercado que se encarga de producir en masa los mismos equipos, con mejores garantías y protecciones, por ende es recomendable adquirir los equipos de potencia en el mercado y realizar un análisis de las características del fabricante.

Con respecto al análisis de armónicos realizado para el inversor DC/AC, se determina que los equipos para bajas potencias presentan una distorsión de armónicos (DAT) la cual es considerable mas no significativa para el funcionamiento del sistema, además la forma de onda generada para las cargas corresponde a una onda cuadrada, lo que confirma que el sistema es de baja potencia y que en instalaciones de más alta potencia es necesario optar por equipos con forma de onda sinusoidal modificada o sinusoidal pura.

En definitiva, la validación del sistema demostró el correcto funcionamiento de cada uno de los componentes del prototipo, y a su vez, se observó el compartimiento del inversor frente a la potencia que se le demandaba, comprobándose así, que la corriente y voltaje de salida se encontraban sin ninguna 0000000000variación significativa.

Apéndice A: Tabla índice de radiación lumínica solar

Dia/hora	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	Promedio	Desviación por día
21/12/2016	1699	1709	763	1563	1876	1634	1125	1481,2857	3,9326
28/12/2016	683	192	198	515	590	463	423	437,7143	1,8620
29/12/2016	1046	1146	918	263	294	1023	954	806,2857	3,6782
07/01/2017	1043	1029	1017	182	1806	1743	1573	1199,0000	5,6641
08/01/2017	883	1018	418	842	883	945	1004	856,1429	2,0395
10/01/2017	248	128	84	336	324	312	287	245,5714	1,0033
11/01/2017	350	981	194	282	539	623	482	493,0000	2,6193
12/01/2017	443	420	297	230	218	356	315	325,5714	0,8686
13/01/2017	325	619	188	291	391	483	472	395,5714	1,4284
15/01/2017	1050	1052	1084	258	649	223	366	668,8571	3,9245
16/01/2017	224	949	234	223	259	295	395	368,4286	2,6306
18/01/2017	221	666	151	102	301	545	220	315,1429	2,1072
19/01/2017	1030	309	720	134	281	247	227	421,1429	3,2729
20/01/2017	906	1071	761	137	1010	463	310	665,4286	3,6441
22/01/2017	721	931	876	563	89	706	914	685,7143	2,9475
23/01/2017	679	967	814	468	872	649	887	762,2857	1,7250
24/01/2017	717	487	667	148	493	500	501	501,8571	1,8215
25/01/2017	921	1022	866	919	173	339	341	654,4286	3,5366
26/01/2017	822	259	257	167	286	793	392	425,1429	2,6950
27/01/2017	292	117	250	557	161	265	302	277,7143	1,4093
30/01/2017	576	374	415	396	219	82	82	306,2857	1,8503
31/01/2017	156	253	397	681	722	881	982	581,7143	3,1695
02/02/2017	681	722	881	982	992	1011	974	891,8571	1,3695
05/02/2017	68	598	1105	684	748	854	584	663,0000	3,1728
07/02/2017	622	884	975	810	823	862	832	829,7143	1,0699
08/02/2017	412	432	787	872	518	680	739	634,2857	1,8108
09/02/2017	530	642	850	590	690	794	810	700,8571	1,2103
10/02/2017	265	437	525	654	950	974	921	675,1429	2,8084
11/02/2017	757	573	690	516	582	495	505	588,2857	0,9996
15/02/2017	605	312	309	419	473	563	527	458,2857	1,1737

Apéndice B: Tablas ángulo Panel Solar 20°

Tabla de Voltaje

Día/Hora	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	Promedio	Desviación por día
30/01/2017	20,2	20,6	18,9	19	18	19,6	18,9	19,55	0,008839845
01/02/2017	19,6	21,3	20,2	19,8	20,8	19,6	19,5	19,55	0,006938505
03/02/2017	19,7	20,1	19,5	19,2	19,8	19,8	19,1	19,4	0,003559026
05/02/2017	19,5	20,9	19,91	20,5	19,6	19,9	18,3	18,9	0,0082685
06/02/2017	20,5	20,9	19,3	19,05	18,05	19,8	18,3	19,4	0,010632945
07/02/2017	20,2	3,19	19,8	19,8	19,5	18,3	19,2	19,7	0,061816406
08/02/2017	19,2	19,8	20,5	19,8	20,9	19,2	20,9	20,05	0,007322503
09/02/2017	20,6	19,9	19,9	18,9	19,8	19,8	19,6	20,1	0,005014265
10/02/2017	18,12	19,42	19	18,7	19,5	20,2	19,2	18,66	0,006563971
11/02/2017	20	19,9	21,6	20,5	20,2	18,9	20,1	20,05	0,008035635
12/02/2017	19,8	18,9	19,6	19,8	20	19,86	19	19,4	0,004376779
13/02/2017	20	19,8	18,9	19,8	19,8	20	19	19,5	0,004634241
14/02/2017	19	20,4	20,1	18,9	19	18,9	20,9	19,95	0,008445906
15/02/2017	19,8	20,4	22,4	19	22,8	19,8	20,8	20,3	0,014088158
16/02/2017	20,2	19,8	20,1	20,9	20	20	20,4	20,3	0,003605551

Tabla de Corriente y Potencia

Día/Hora	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	Prome- dio	Potencia Día (W)
30/01/2017	1,58	2,03	3,12	2,95	1,79	3,2	2,69	2,48	48,484
01/02/2017	2,17	3,93	3,94	4,12	4,72	3,75	3,12	3,68	71,91607143
03/02/2017	0,63	1,4	5,65	4,95	3,66	4,66	3,65	3,51	68,17714286
05/02/2017	3,81	2,89	0,84	5,1	3,54	3,89	3,6	3,38	63,909
06/02/2017	3,92	0,89	0,9	4,45	3,72	4,3	3,8	3,14	60,916
07/02/2017	3,84	3,52	4,06	5,08	3,81	6,81	5,9	4,72	92,92771429
08/02/2017	3,23	4,38	5,3	5,95	5,25	5,3	4,87	4,90	98,18771429
09/02/2017	1,32	1,86	0,59	3,52	4,28	5,16	4,59	3,05	61,21885714
10/02/2017	3,56	4,02	3,2	4,62	5,16	4,71	2,69	3,99	74,53337143
11/02/2017	2,54	3,27	3,75	4,54	5,96	6,75	0,85	3,95	79,22614286
12/02/2017	2,79	4,77	1,94	3,21	4,75	3,1	3,54	3,44	66,79142857
13/02/2017	3,69	4,52	5,18	2,96	5,3	5,06	4,73	4,49	87,58285714
14/02/2017	1,82	1,62	3,89	1,11	4,78	7,62	4,62	3,64	72,561
15/02/2017	1,68	1,09	2,05	1,8	7,48	1,38	3,75	2,75	55,767
16/02/2017	2,67	1,65	2,39	5,44	3,07	5,94	1,69	3,26	66,265
Total								3,63	71,23088667
Desviación estándar								0,691535214	13,66009174

Apéndice C: Tabla ángulo Panel Solar 25°

Tabla de Voltaje

Día/Hora	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	Prome- dio	Desviación
26/02/2017	19,9	20,4	19,5	20,5	20,8	20,6	18,65	19,275	0,0076103
27/02/2017	19,6	21,3	20,2	19,8	20,8	19,6	19,5	19,55	0,006938505
28/02/2017	19,7	20,5	19,8	20,9	19,2	19,8	19,1	19,4	0,006502747
01/03/2017	19,5	20,9	19,91	20,5	19,6	19,9	18,3	18,9	0,0082685
02/03/2017	20,5	20,9	19,3	19,05	18,05	19,8	18,3	19,4	0,010632945
03/03/2017	20,2	3,19	19,8	19,6	19,5	18,3	19,2	19,7	0,061677514
04/03/2017	19,2	19,8	20,2	19,2	20,9	19,2	20,9	20,05	0,007712081
05/03/2017	20,6	19,9	18,9	20,1	19,8	19,8	19,6	20,1	0,005145502
06/03/2017	18,12	19,42	19,86	19	19,5	20,2	19,2	18,66	0,00666419
07/03/2017	20	19,9	21,6	20,5	20,2	18,9	20,1	20,05	0,008035635
08/03/2017	19,8	18,9	19,6	19,8	20	19,86	19	19,4	0,004376779
09/03/2017	20	19,8	18,9	19,8	19,8	20	19	19,5	0,004634241
10/03/2017	20,2	20,6	18,9	19	18	19,6	18,9	19,55	0,008839845
12/03/2017	19,8	20,4	22,4	19	22,8	19,8	20,8	20,3	0,014088158
13/03/2017	20,2	19,8	20,1	20,9	20	20	20,4	20,3	0,003605551
14/03/2017	20,9	21,9	19,8	18,9	19,6	19,8	20	19,86	0,009793098
15/03/2017	19	20,4	20,1	19,8	18,9	19,8	19,8	20	0,005490251
16/03/2017	19,8	19,8	20	22,4	20,5	21,1	19,8	19,8	0,010454664

Tabla de Corriente y Potencia

Día/Hora	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	Prome- dio	Potencia Día (W)
26/02/2017	5,54	4,27	5,75	6,54	5,96	6,75	5,85	5,695	109,771125
27/02/2017	5,09	5,12	5,05	6,8	7,48	7,38	6,75	5,92	115,736
28/02/2017	5,65	4,39	5,44	4,07	5,99	5,69	5,67	5,66	109,804
01/03/2017	5,97	7,25	6,65	7,52	7,28	7,09	5,65	5,81	109,809
02/03/2017	5,04	5,6	4,5	5,2	4,21	5,9	5,96	5,5	106,7
03/03/2017	7,8	6,84	5,31	5,51	6,66	6,81	5,96	6,88	135,536
04/03/2017	5,4	4,78	5,04	4,8	5,17	5,14	5,2	5,3	106,265
05/03/2017	5,09	4,95	5,3	6,5	6,49	5,54	5,8	5,445	109,4445
06/03/2017	6,1	5,1	5,3	4,72	4,9	4,9	4,72	5,41	100,9506
07/03/2017	6,48	6,1	7,9	6,78	7,16	5,8	6,52	6,5	130,325
08/03/2017	5,16	6,52	5,32	6,79	5,16	5,51	5,69	5,425	105,245
09/03/2017	5,17	5,19	5,2	6,27	6,6	7,54	6,5	5,835	113,7825
10/03/2017	5,19	4,9	7,64	6,5	4,2	6,06	5,5	5,345	104,49475
12/03/2017	5,4	5,22	5	4,85	5,59	5,6	5,8	5,6	113,68
13/03/2017	4,78	5,12	5,1	4	6,15	6,12	5,72	5,25	106,575
14/03/2017	6,99	6,14	7,71	6,19	5,18	5,2	4,24	5,615	111,5139
15/03/2017	5,9	5,42	7,22	4,3	4,79	5,09	5,2	5,55	111
16/03/2017	6,4	5,8	6,28	6,5	6,4	6,9	6,2	6,3	124,74
Total								5,7244	112,5207
Desviación estándar								0,4376	9,0876

Apéndice D: Tabla ángulo Panel Solar 30°

Tabla de Voltaje

Día/Hora	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	Promedio	Desviación
20/03/2017	20,2	20,6	18,9	19	18	19,6	18,9	19,31	0,008839845
21/03/2017	19,6	21,3	20,2	19,8	20,8	19,6	19,5	20,11	0,006938505
22/03/2017	19,7	20,1	19,5	19,2	19,8	19,8	19,1	19,60	0,003559026
23/03/2017	19,5	20,9	19,91	20,5	19,6	19,9	18,3	19,80	0,0082685
24/03/2017	20,5	20,9	19,3	19,05	18,05	19,8	18,3	19,41	0,010632945
25/03/2017	20,2	3,19	19,8	19,8	19,5	18,3	19,2	17,14	0,061816406
26/03/2017	19,2	19,8	20,5	19,8	20,9	19,2	20,9	20,04	0,007322503
27/03/2017	20,6	19,9	19,9	18,9	19,8	19,8	19,6	19,79	0,005014265
28/03/2017	18,12	19,42	19,86	19	19,5	20,2	19,2	18,66	0,00666419
29/03/2017	20	19,9	21,6	20,5	20,2	18,9	20,1	20,05	0,008035635
30/03/2017	19,8	18,9	19,6	19,8	20	19,86	19	19,40	0,004376779
31/03/2017	20	19,8	18,9	19,8	19,8	20	19	19,50	0,004634241
01/04/2017	20,2	20,6	18,9	19	18	19,6	18,9	19,55	0,008839845
02/04/2017	19,8	20,4	22,4	19	22,8	19,8	20,8	20,30	0,014088158
03/04/2017	20,2	19,8	20,1	20,9	20	20	20,4	20,30	0,003605551
04/04/2017	20,9	21,9	19,8	18,9	19,6	19,8	20	20,45	0,009793098
05/04/2017	19	20,4	20,1	19,8	18,9	19,8	19,8	19,40	0,005490251
06/04/2017	19,8	19,8	20	22,4	20,5	21,1	19,8	19,80	0,010454664

Tabla de Corriente y Potencia

Día/Hora	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	Promedio	Potencia Día (W)
20/03/2017	1,39	2,40	2,80	3,60	2,52	4,00	3,98	2,955714286	76,8709
21/03/2017	1,60	2,02	2,02	1,96	3,08	3,12	3,72	2,502857143	74,8251
22/03/2017	4,01	4,09	3,06	3,48	3,52	3,32	3,93	3,63	77,0280
23/03/2017	3,18	3,40	2,15	2,10	2,35	1,58	1,72	2,354285714	34,0585
24/03/2017	4,49	4,25	2,78	2,04	2,85	3,24	2,70	3,191428571	52,3215
25/03/2017	5,27	4,75	3,59	2,74	2,65	2,20	2,34	3,363	40,1109
26/03/2017	2,14	2,60	2,87	1,44	2,71	1,94	2,40	2,3	48,1029
27/03/2017	3,70	3,10	3,45	3,67	2,85	1,39	3,58	3,105564286	70,8329
28/03/2017	3,36	2,90	2,69	2,49	2,02	3,51	3,45	2,917	64,3770
29/03/2017	4,28	3,58	2,84	2,19	3,39	4,70	2,56	3,365068849	51,4171
30/03/2017	2,49	3,64	2,89	2,13	2,33	1,55	2,48	2,500816111	48,1400
31/03/2017	4,70	3,70	2,94	2,07	2,26	2,39	4,40	3,207991944	85,7697
01/04/2017	4,91	3,76	2,99	2,00	2,19	3,24	2,32	3,058024921	45,2669
02/04/2017	3,12	3,82	3,03	1,94	2,13	2,08	2,23	2,622343611	45,3186
03/04/2017	5,33	3,88	3,08	1,88	2,06	2,93	4,15	3,329519444	84,2337
04/04/2017	2,54	3,94	3,13	2,82	2,99	2,77	2,07	2,893838135	42,2588
05/04/2017	4,75	4,00	3,18	3,75	3,92	3,62	3,98	3,886728254	77,2788
06/04/2017	3,95	4,06	3,23	1,69	1,86	2,46	1,90	2,73676123	37,6288
Total								2,9956	58,6578
Desviación estándar								0,4397	17,4551

Apéndice E: Tabla validación prototipo

Muestra	Corriente	Voltaje	Potencia
1	0,752	130,551683	98,17486561
2	0,75	130,900239	98,17517927
3	0,745	131,5785904	98,02604988
4	0,764	131,071948	100,1389683
5	0,748	128,8273874	96,36288574
6	0,75	128,1732166	96,12991247
7	0,744	128,6142542	95,68900515
8	0,752	130,8732543	98,4166872
9	0,75	128,514574	96,38593052
10	0,744	128,8831557	95,88906784
11	0,748	129,8142378	97,10104985
12	0,759	129,8610434	98,56453195
13	0,752	128,359145	96,52607706
14	0,753	130,0269186	97,91026969
15	0,758	128,3060364	97,25597559
16	0,747	128,6660988	96,11357579
17	0,744	130,9908402	97,45718508
18	0,757	129,338269	97,90906966
19	0,773	129,2202161	99,88722703
20	0,771	131,2755142	101,2134215
21	0,775	131,9281958	102,2443517
22	0,777	131,87588	102,4675588
23	0,786	130,3064893	102,4209006
24	0,791	128,933932	101,9867402
25	0,769	129,1683938	99,33049484
26	0,783	130,6950573	102,3342299
27	0,771	130,2949548	100,4574102
28	0,766	128,798809	98,65988769
29	0,768	131,8327936	101,2475855
30	0,775	129,3446196	100,2420802
31	0,768	128,5986564	98,76376813
32	0,78	129,3135329	100,8645556
33	0,778	128,4523867	99,93595686
34	0,767	131,0876579	100,5442336

35	0,772	131,1702501	101,2634331
36	0,774	130,3482751	100,8895649
37	0,775	128,3167665	99,44549402
38	0,779	128,771608	100,3130826
39	0,777	131,1016205	101,8659592
40	0,755	129,4135657	97,70724214
41	0,754	131,3557911	99,04226652
42	0,752	128,535549	96,65873287
43	0,763	130,7925918	99,79474751
44	0,763	128,7613785	98,2449318
45	0,757	129,5872276	98,09753128
46	0,755	129,3557893	97,66362092
47	0,766	131,690771	100,8751306
48	0,762	131,3536104	100,0914512
49	0,761	130,5180962	99,32427122
50	0,767	131,4619626	100,8313253
51	0,762	128,8651584	98,19525068
52	0,764	128,2595963	97,9903316
53	0,764	130,7120021	99,86396963
54	0,758	130,1404808	98,64648442
55	0,763	130,0693969	99,24294986
56	0,761	129,0228747	98,18640763
57	0,757	131,4113104	99,47836194
58	0,753	131,2928042	98,8634816
59	0,762	128,0662888	97,5865121
60	0,778	129,89884	101,0612975
61	0,787	131,7764743	103,7080853
62	0,79	129,8344822	102,5692409
63	0,778	131,3998892	102,2291138
64	0,773	130,1422096	100,599928
65	0,783	129,7364051	101,5836052
66	0,781	128,0977348	100,0443309
67	0,792	130,0174391	102,9738118
68	0,786	131,5059358	103,3636656
69	0,789	131,6329953	103,8584333
70	0,79	129,1408139	102,021243
71	0,791	128,5308146	101,6678744

72	0,787	128,0005302	100,7364172
73	0,786	129,2718428	101,6076685
74	0,788	130,120432	102,5349004
75	0,779	131,3167045	102,2957128
76	0,786	130,6943341	102,7257466
77	0,78	131,652058	102,6886052
78	0,783	131,0245677	102,5922365
79	0,783	128,6740497	100,7517809
80	0,781	131,8560638	102,9795858
81	0,778	129,3930638	100,6678036
82	0,779	130,3939502	101,5768872
83	0,78	130,9255668	102,1219421
84	0,783	131,4832655	102,9513968
85	0,789	129,3335977	102,0442086
86	0,781	129,8521709	101,4145454
87	0,763	128,6675468	98,17333824
88	0,766	129,8655572	99,47701681
89	0,76	129,8254818	98,66736618
90	0,771	128,5112892	99,08220397
91	0,767	130,5597215	100,1393064
92	0,767	131,5859529	100,9264259
93	0,762	129,7097118	98,83880042
94	0,762	128,7033841	98,07197871
95	0,761	129,1795934	98,30567057
96	0,757	128,2349533	97,07385961
97	0,778	128,2406915	99,77125801
98	0,758	128,1066396	97,10483279
99	0,761	130,2018696	99,08362278
100	0,765	130,2522029	99,64293519
101	0,753	129,2183825	97,30144199
102	0,763	131,0180431	99,96676691
103	0,76	130,6844128	99,32015369
104	0,759	131,759353	100,0053489
105	0,756	129,9406188	98,23510779
106	0,764	130,0723514	99,37527644
107	0,756	131,1568129	99,15455052
108	0,76	130,284673	99,01635146

109	0,785	131,0659794	102,8867938
110	0,768	131,6806644	101,1307503
111	0,781	128,8412253	100,624997
112	0,787	130,4324567	102,6503434
113	0,783	129,8629008	101,6826513
114	0,785	130,4667996	102,4164377
115	0,775	128,8123685	99,82958558
116	0,781	130,7104021	102,084824
117	0,785	128,0692622	100,5343709
118	0,78	128,90643	100,5470154
119	0,773	131,6578642	101,771529
120	0,771	131,0737361	101,0578506
121	0,765	130,1332506	99,55193669
122	0,776	128,2735209	99,54025219
123	0,774	128,7983369	99,68991278
124	0,776	128,0480705	99,36530273
125	0,766	131,8662877	101,0095763
126	0,779	131,3288028	102,3051374
127	0,781	129,7812362	101,3591455
128	0,768	131,9619819	101,3468021
129	0,772	131,1771375	101,2687502
130	0,771	129,9544447	100,1948768
131	0,781	128,522357	100,3759608
132	0,753	128,8489701	97,02327447
133	0,749	131,3244406	98,36200602
134	0,757	129,2951495	97,87642816
135	0,748	130,9550709	97,954393
136	0,741	128,639491	95,32186286
137	0,749	130,9258829	98,06348626
138	0,752	128,2147765	96,4175119
139	0,747	130,8575581	97,75059591
140	0,749	128,4869426	96,23671998
141	0,751	131,936179	99,08407039
142	0,756	130,3723928	98,56152895
143	0,758	129,0781728	97,841255
144	0,75	129,7280144	97,29601077
Promedios	0,766611111	129,924546	99,60286487

Apéndice F: Código en Arduino para monitoreo de corriente

```
int AdcZero = 510;
int NumMuestras = 100; // Tomaremos 100 muestras por ciclo de 60Hz. 100x60 =
6000 muestras/segundo
int IntervaloMuestreo = 166; // 1 seg/1500 muestras = 666.67 us

void setup()
{

  Serial.begin(9600);
}
void loop()
{
  unsigned long Corriente = 0;
  unsigned int Contador = 0;
  unsigned long TiempoMicroS = micros() - IntervaloMuestreo;
  while (Contador < NumMuestras) { if (micros() - TiempoMicroS >=
IntervaloMuestreo)
  {
  int ValorAdc = analogRead(A3) - AdcZero;
  Corriente += (unsigned long)(ValorAdc * ValorAdc);
  ++Contador;
  TiempoMicroS += IntervaloMuestreo;
  }
}

float rms = sqrt((float)Corriente/(float)NumMuestras) * (75.7576 / 1024.0);
Serial.println(rms,3);
delay(1000);
```

Apéndice G: Encuestas realizadas a propietarios de la vivienda

CUANTIFICACIÓN DE LA POTENCIA DEMANDADA EN LA VIVIENDA DE ESTUDIO (ENCUESTA)

Mediante el uso de esta encuesta se determinarán aspectos relevantes para el proyecto "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SUMINISTRO DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA A UNA VIVIENDA UBICADA EN LA VEREDA GOLCONDA (ANAPOIMA CUNDINAMARCA)"

Marque con una X la respuesta que usted más considera.

¿Le interesa implementar la energía solar en su vivienda?

- Si
- No
- Tal vez

¿Tiene conocimiento de las aplicaciones de la energía solar?

- Si
- No
- Tal vez

¿Cuáles son los elementos de consumo eléctrico que más usa en su vivienda?

- Cargador de computador y/o celular
- Iluminación artificial
- Otros EQUIPO DE SONIDO

¿Cuál es el área que más frecuentan?

- Primer piso de la vivienda
- Segundo piso de la vivienda
- Quiosco

Firma del encuestado:

C.C.: 5771152 / JURECI

CUANTIFICACIÓN DE LA POTENCIA DEMANDADA EN LA VIVIENDA DE ESTUDIO (ENCUESTA)

Mediante el uso de esta encuesta se determinarán aspectos relevantes para el proyecto "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SUMINISTRO DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA A UNA VIVIENDA UBICADA EN LA VEREDA GOLCONDA (ANAPOIMA CUNDINAMARCA)"

Marque con una X la respuesta que usted más considera.

¿Le interesa implementar la energía solar en su vivienda?

- Si
- No
- Tal vez

¿Tiene conocimiento de las aplicaciones de la energía solar?

- Si
- No
- Tal vez

¿Cuáles son los elementos de consumo eléctrico que más usa en su vivienda?

- Cargador de computador y/o celular
- Iluminación artificial
- Otros Televisor

¿Cuál es el área que más frecuentan?

- Primer piso de la vivienda
- Segundo piso de la vivienda
- Quiosco

Firma del encuestado: Lida Rojas

C.C.: 51'936 679

Apéndice H: Cargas utilizadas en la validación



Bibliografía

- Arno Smets, K. J. (2015). *SOLAR ENERGY - The Physics and engineering of photovoltaic conversion, technologies and systems*. England: UIT CAMBRIDGE.
- B.J. Ruiz, V. R.-P. (2006). Renewable energy sources in the Colombian energy policy, analysis and perspectives. *Energy Policy* 34 .
- Caspary, G. (2009). Gauging the future competitiveness of renewable energy in Colombia. *ScienceDirect*.
- Cindy Guzman, E. R. (2012). Development of prototypes and scale models of renewable energy systems in the Instituto Tecnológico de Soledad Atlántico - ITSA. *IEEE SIFAE & CE 2012 - SIMPOSIO INTERNACIONAL EN FUENTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA Y CALIDAD ENERGÉTICA*.
- City.com, D. (s.f.). *Información Anapoima*. Obtenido de <http://es.db-city.com/Colombia--Cundinamarca--Anapoima>
- ElPaís.com.co. (15 de Marzo de 2014). *El Valle del Cauca entra en la era de la energía solar*. Obtenido de <http://www.elpais.com.co/economia/el-valle-del-cauca-entra-en-la-era-de-la-energia-solar.html>
- GENI. (2009). RENEWABLE ENERGY POTENTIAL OF LATIN AMERICA. *Global Energy Network Institute*.
- Ivan Enrique Zuñiga, S. M. (2012). Technical Economic Study for the Implementation of Autonomous Photovoltaic Systems in the Residential Sector of Colombia. *IEEE*.
- J.A. Hernandez, D. V. (2011). Analysis of the effect of the implementation of photovoltaic systems like option of distributed generation in Colombia. *ScienceDirect*.
- Johann Hernandez, C. L. (2015). Photovoltaic Projects Developed in Non-Interconnected Zones in Colombia. *IEEE - LIFAE, Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, Bogota, Colombia*.
- Kafarov, A. M.-C. (2015). Barriers to social acceptance of renewable energy systems in Colombia. *ScienceDirect*.
- L. Cadavid, M. J. (2015). Financial Analysis of Photovoltaic Configurations for Colombian Households. *IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS, VOL. 13, NO. 12*.
- Luis Enrique Narváez López, J. F. (2015). *INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS MONITOREADAS A TRAVÉS*. San Joaquín, Cundinamarca: UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.
- Maritza Jimenez, C. J. (2016). Diffusion of renewable energy technologies: The need for policy in Colombia. *ScienceDirect*.
- Monsolar. (2013). *energía+personas+ideas+blog*. Obtenido de Regulador de carga: <http://www.monsolar.com/blog/que-es-y-que-hace-un-regulador-de-carga-solar/%20al%20final>
- NASA. (26 de Marzo de 2008). *Surface meteorology and Solar Energy* . Obtenido de A renewable energy resource web site (release 6.0) : <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/>
- O.J. Soto Marín, E. C.-F. (2014). Power Quality Causes of Failures in Colombia's Rural. *Universidad Nacional de Colombia, Manizales Branch*.
- Paolo Giuseppe Muraa, R. B. (2015). An energy autonomous house equipped with a solar PV hydrogen conversion system. *ScienceDirect*.

- Pedro J. Martínez, J. C. (2016). Performance comparison of solar autonomous and assisted absorption systems in Spain. *ScienceDirect*.
- REN21. (2015). *RENEWABLES 2015 GLOBAL STATUS REPORT*.
- Sihem Nasri, S. B. (2017). Autonomous hybrid system and coordinated intelligent management approach in power system operation and control using hydrogen storage. *ScienceDirect*.
- Solar, D. (s.f.). *Energías Renovables*. Obtenido de https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/orientacion-e-inclinacion-de-las-placas-solares_1
- Souza, S. M.-T. (2011). *Sistemas Renovables con Energía Solar*. Sao Paulo: EDITORA E GRÁFICA LTDA, RUA JÚLIO DE CASTILHOS.
- Sreten Škuletic, P. V. (2013). Possibilities and limitations of measuring the energy of direct Solar radiation. *IEEE- 4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives*.
- SWERA. (1977 - 2017). *NREL*. Obtenido de Nationa Renewable Energy Laboratory: <https://maps.nrel.gov/swera/#/?aL=0&bL=groad&cE=0&IR=0&mC=40.21244%2C-91.625976&zL=4>
- UCLM. (2017). *Universidad de Castilla-La Mancha*. Obtenido de <http://edii.uclm.es>
- UPME. (2015). Integración de las energías. *Unidad de Planeación Minero Energética*.
- UPME. (Diciembre 2013). ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VULNERABILIDAD Y LAS OPCIONES DE ADAPTACIÓN DEL SECTOR ENERGÉTICO COLOMBIANO FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO. *Unidad de Planeación Minero Energética*.
- UPME. (Junio 2015). INFORME MENSUAL DE VARIABLES DE GENERACIÓN Y DEL MERCADO ELÉCTRICO COLOMBIANO. *Unidad de Planeación Minero Energética*.

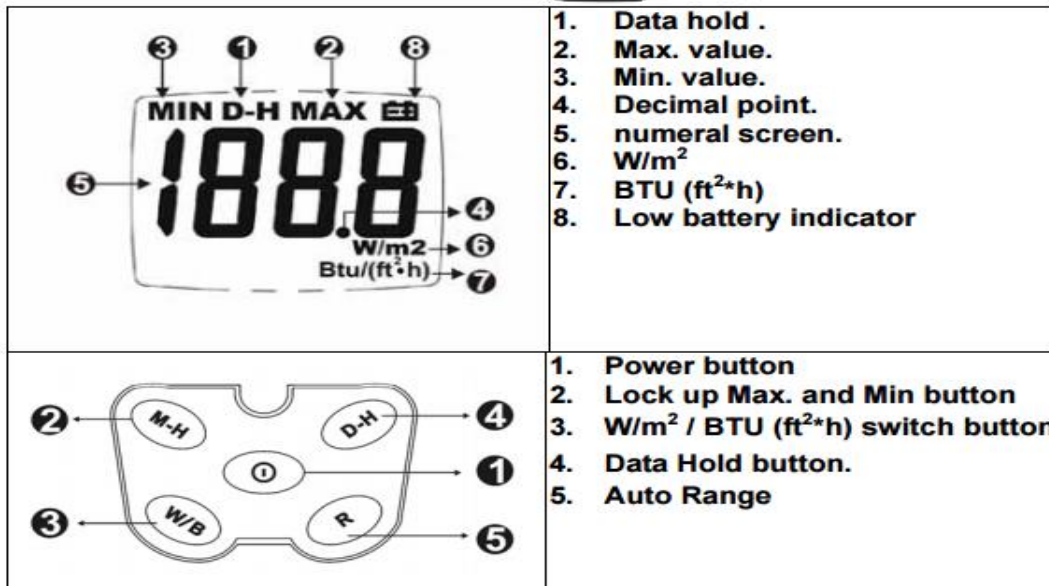
6. Anexos

Anexo 1: Solar Power Meter TM-206

TENMARS

**SOLAR POWER METER
TM-206**

User's Manual



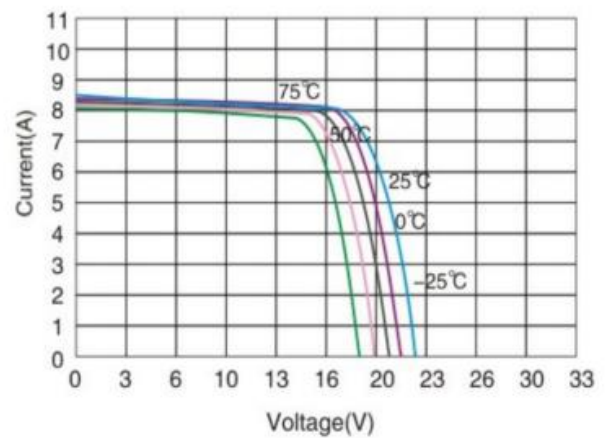
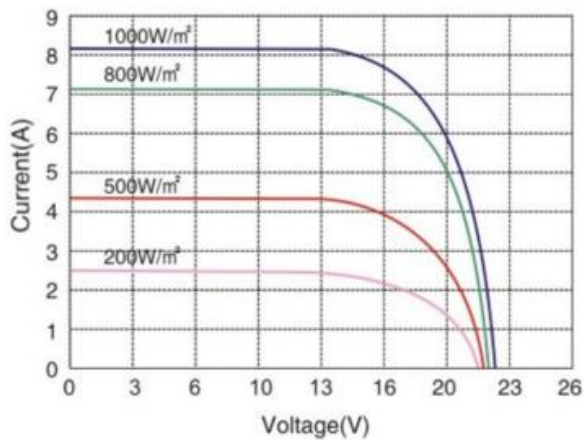
ELECTRIC SPECIFICATION

- Battery life: approx. 100 hr.
- Accuracy : typically within $\pm 10W/m^2$ [± 3 BTU / ($ft^2 \cdot h$)] or $\pm 5\%$, whichever is greater in sunlight; Additional temperature induced error $\pm 0.38W/m^2 / ^\circ C$ [± 0.12 BTU / ($ft^2 \cdot h$) / $^\circ C$] from $25^\circ C$, 15% other visible light source
- Operating temp. & RH: $5^\circ C \sim 40^\circ C$, below 80%RH.
- Storage temp. & RH: $-10^\circ C \sim 60^\circ C$, below 70%RH.
- DISPLAY : 3-1/2 digits LCD with maximum reading 1999.
- Sampling Time : Approx. 0.25 second
- Resolution : $1W/m^2 \cdot 1$ BTU /($ft^2 \cdot h$).
- Accuracy: $< \pm 3$ /year
- Over-input : Display shows" OL".
- Range : $1999W/m^2 \cdot 634$ BTU /($ft^2 \cdot h$).
- Dimensions & weight: 132(L) x 60(W) x 38 (H)mm, approx. 150g.
- EMC: this instrument is EMC-compliant and has undergone compatibility tests according to EN61326 (1997) + A1 (1998) + A2 (2001).

Anexo 2: Panel solar SP150P



PT-SP150P-6-36



ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Encapsulation	Glass/EVA/Cells/EVA/TPT
Size and Number of cells	156mm x156mm 36/4 x 9pcs
Maximum Power (Pmax)	150W
Power Tolerance	0W~ +5W
Open Circuit Voltage (Voc)	22.5V
Short Circuit Voltage (Isc)	8.63A
Maximum Power Voltage (Vmp)	18.4V
Maximum Power Circuit (Imp)	8.15A
Max.syst. Oper. Voltage	1000V
Diodes	2by-pass
Dimension	1482 x 676 x 35mm
Weight	11.5kg
Operate Temp. Scope	-40/+85C
Relative humidity	0 to 100%
Resistances	227g steel ball fall down from 1m height and 60m/s wind
Warranty	Pm is not less than 90% in 10 years and 80% in 25 years

Anexo 3: ME-12V020



Solar Charge Controller

ME-12V020

Model	NV12V005	NV12V010	NV12V015	NV12V020	NV12V025	NV12V030
Rated charge current	5A	10A	15A	20A	25A	30A
Rated load current	5A	10A	15A	20A	25A	30A
System voltage	24v/12v AUTO					
Overload, short circuit protection	over the rated current 1.25 times for 60 seconds, or over the rated current 1.5 times for 5 seconds , or ≥ 3 times rated current					
No-load consumption	$\leq 6\text{mA}$					
Charging loop pressure drop	$\leq 0.26\text{V}$					
Discharge loop pressure drop	$\leq 0.15\text{V}$					
Overvoltage protection	17V , $\times 2/24\text{V}$					
Working temperature	Industrial grade : $-35^{\circ}\text{C} \sim +55^{\circ}\text{C}$					
Promote charging voltage	14.6V ; $\times 2/24\text{V}$ (maintain time :30 min) (Only used for over discharge)					
Straight charging voltage	14.4V ; $\times 2/24\text{V}$ (maintain time :30 min)					
Floating charging	13.6V ; $\times 2/24\text{V}$ (maintain time: until fall to the charging return voltage)					
overcharge return voltage	13.2V ; $\times 2/24\text{V}$					
Temperature compensation	$-5\text{mv}/^{\circ}\text{C}/2\text{V}$ (promote , straight charging , charge return voltage compensation)					
Under voltage	12.0V ; $\times 2/24\text{V}$					
Over discharge voltage	11.1v-no-load voltage ; $\times 2/24\text{V}$					
Over discharge return voltage	12.6V ; $\times 2/24\text{V}$					
Control method	PWM					

Anexo 4: Power inverter THA150



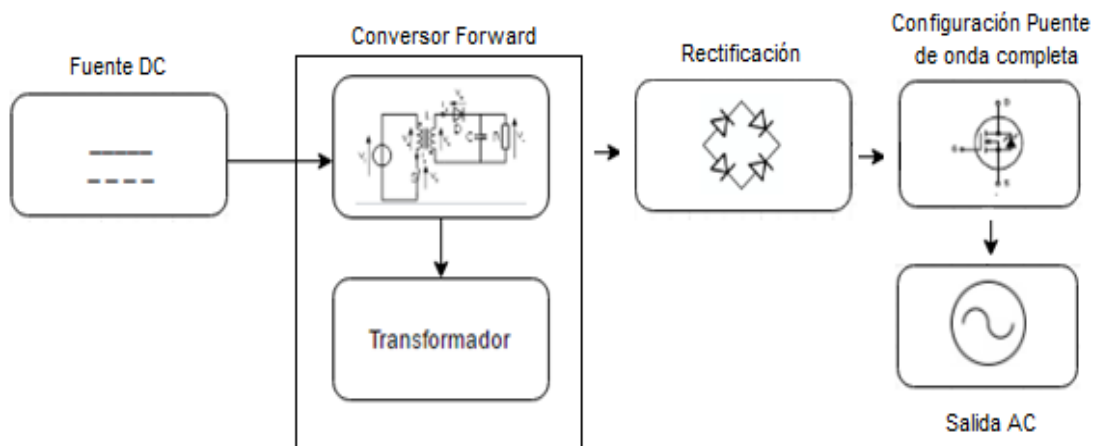
Power Inverter 150W Dc-Ac THA150

Specifications

Place of Origin: Guangdong, China (Mainland)
 Output Power: 101 - 200W
 Weight: 0.487KG
 Type: DC/AC Inverters, Type: DC/AC...
 Item Name: Modified Sine Wave 150W Dc ...
 Protection: Over/Low-voltage, under/over...
 Structure: Terminals, fan, AC output swit...

Model Number: THA150
 Size: 125*105*58mm
 Output Voltage: AC110V/220V/230V
 Output Current: 0.68/1.36A
 Application: Solar system, household, car, ...
 Certificate: CE RoHS
 USB output: DC output 0.5A/5V

Brand Name: ZYY
 Output Type: Single
 Input Voltage: 12V/24V/48V
 Output Freque... 50/60Hz
 Peak power: 300W
 Output wavefo... Modified Sine Wave household
 Terminal mater...100% pure copper



Anexo 5: IRF640B



November 2001

IRF640B/IRFS640B 200V N-Channel MOSFET

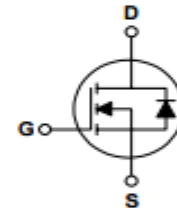
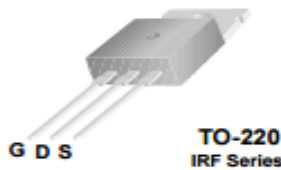
General Description

These N-Channel enhancement mode power field effect transistors are produced using Fairchild's proprietary, planar, DMOS technology.

This advanced technology has been especially tailored to minimize on-state resistance, provide superior switching performance, and withstand high energy pulse in the avalanche and commutation mode. These devices are well suited for high efficiency switching DC/DC converters, switch mode power supplies, DC-AC converters for uninterrupted power supply and motor control.

Features

- 18A, 200V, $R_{DS(on)} = 0.18\Omega @ V_{GS} = 10V$
- Low gate charge (typical 45 nC)
- Low Crss (typical 45 pF)
- Fast switching
- 100% avalanche tested
- Improved dv/dt capability



Absolute Maximum Ratings T_C = 25°C unless otherwise noted

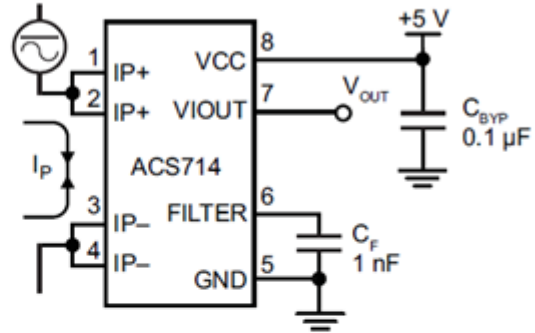
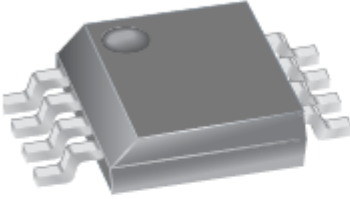
Symbol	Parameter	IRF640B	IRFS640B	Units
V _{DSS}	Drain-Source Voltage	200		V
I _D	Drain Current - Continuous (T _C = 25°C) - Continuous (T _C = 100°C)	18	18 *	A
		11.4	11.4 *	A
I _{DM}	Drain Current - Pulsed (Note 1)	72	72 *	A
V _{GSS}	Gate-Source Voltage	± 30		V
E _{AS}	Single Pulsed Avalanche Energy (Note 2)	250		mJ
I _{AR}	Avalanche Current (Note 1)	18		A
E _{AR}	Repetitive Avalanche Energy (Note 1)	13.9		mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt (Note 3)	5.5		V/ns
P _D	Power Dissipation (T _C = 25°C) - Derate above 25°C	139	43	W
		1.11	0.35	W/°C
T _J , T _{STG}	Operating and Storage Temperature Range	-55 to +150		°C
T _L	Maximum lead temperature for soldering purposes, 1/8" from case for 5 seconds	300		°C

* Drain current limited by maximum junction temperature.

Anexo 6: ACS714



ACS714



Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
ELECTRICAL CHARACTERISTICS						
Supply Voltage	V_{CC}		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	I_{CC}	$V_{CC} = 5.0$ V, output open	–	10	13	mA
Output Capacitance Load	C_{LOAD}	VIOUT to GND	–	–	10	nF
Output Resistive Load	R_{LOAD}	VIOUT to GND	4.7	–	–	k Ω
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	1.2	–	m Ω
Rise Time	t_r	$I_p = I_p(\text{max})$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_{OUT} = \text{open}$	–	3.5	–	μs
Frequency Bandwidth	f	–3 dB, $T_A = 25^\circ\text{C}$; I_p is 10 A peak-to-peak	–	80	–	kHz
Nonlinearity	E_{LIN}	Over full range of I_p	–	1.5	–	%
Symmetry	E_{SYM}	Over full range of I_p	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{IOUT(0)}$	Bidirectional; $I_p = 0$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	–	$V_{CC} \times 0.5$	–	V
Power-On Time	t_{PO}	Output reaches 90% of steady-state level, $T_J = 25^\circ\text{C}$, 20 A present on leadframe	–	35	–	μs
Magnetic Coupling ²			–	12	–	G/A
Internal Filter Resistance ³	$R_{F(INT)}$			1.7		k Ω