

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA CON CAPACIDAD
PARA 3 KILOVATIOS

FABIO DE JESÚS ACEVEDO GARCÉS

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA
CEAD JOSÉ ACEVEDO Y GÓMEZ
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS, TECNOLOGÍA E INGENIERÍA
TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA
BOGOTÁ
2016

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA CON CAPACIDAD
PARA 3 KILOVATIOS

FABIO DE JESÚS ACEVEDO GARCÉS

Proyecto de grado presentado para optar al título de Tecnólogo en Electrónica

Director
EDGAR BOJACÁ
INGENIERO ELECTRÓNICO

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA
CEAD JOSÉ ACEVEDO Y GÓMEZ
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS, TECNOLOGÍA E INGENIERÍA
TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA
BOGOTÁ
2016

Nota de aceptación:

Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Abierta y a Distancia para optar al título de Tecnólogo en Electrónica

Jurado

Jurado

Bogotá, 15 de Junio de 2016

CONTENIDO

	Pág.
LISTA TABLAS	8
LISTA FIGURAS	9
LISTA ANEXOS	11
RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN	13
1. ¿CÓMO EL DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 3KW PERMITIRÁ SUPLIR NECESIDADES DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN TAURAMENA (CASANARE)?	15
2. OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GENERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3. JUSTIFICACIÓN	17
4. ÁREA Y LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	19
5. ALCANCE Y DELIMITACIÓN DEL PROYECTO	20
5.1 ALCANCE	20
5.2 DELIMITACIÓN	20

6. MARCO REFERENCIAL	22
6.1 ANTECEDENTES	22
6.2 MARCO CONTEXTUAL	24
6. 3 MARCO TEÓRICO	25
6.3.1 La energía solar	25
6.3.2 Efectos fotoeléctrico y fotovoltaico	33
6.4 MARCO CONCEPTUAL	36
6.4.1 Radiación solar en Colombia	36
6.4.2 Instalación solar fotovoltaica	39
6.4.3 Paneles fotovoltaicos	40
6.4.4 Regulador – Controlador de carga	47
6.4.5 Baterías o acumuladores	59
6.4.6 Inversor de voltaje DC - AC	63
6.5 MARCO LEGAL	73
6.5.1 Leyes	73
6.5.2 Normas técnicas	73
7. MARCO METODOLÓGICO	75
7.1 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	75
7.2 UNIVERSO Y MUESTRA	75
7.3 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN Y DE INFORMACIÓN	76
7.3.1 Normas de consulta	76
7.3.2 Libros de consulta	77
7.4 METODOLOGÍA DE DESARROLLO	78
7.4.1 Metodología para “Determinar las especificaciones técnicas de los equipos que conformarían el sistema solar fotovoltaico”.	78
7.4.2 Metodología para “Caracterizar y dimensionar cada uno de los equipos que conformarían el sistema solar”.	78

7.4.3 Metodología para “Elaborar los esquemas y planos de la instalación solar fotovoltaica para 3 kW”.	79
8. DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO AISLADO CON CAPACIDAD PARA 3 KILOVATIOS	80
8.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS QUE CONFORMARÍAN EL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO (SFV).	80
8.1.1 Topología de la instalación solar fotovoltaica.	80
8.1.2 Características eléctricas de la carga.	80
8.1.3 Condiciones ambientales de la vereda Carupana.	86
8.1.4 Normas y certificaciones.	86
8.1.5 Estándares comerciales de los equipos.	87
8.2 CARACTERIZACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS QUE CONFORMARAN EL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO (SFV).	89
8.2.1 Cálculo de la irradiancia	89
8.2.2 Caracterización y cálculo de los paneles	99
8.2.3 Caracterización y cálculo del regulador controlador de carga	102
8.2.4 Caracterización y cálculo de las baterías	103
8.2.5 Caracterización y cálculo del inversor DC/AC	104
8.2.6 Caracterización y cálculo de las instalaciones	105
8.3 ESQUEMAS Y PLANOS DE LA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA.	107
8.3.1 Símbolos utilizados en los esquemas del diseño	107
8.3.2 Diagrama unifilar del sistema	108
8.3.3 Esquema de conexión de los paneles	110
8.3.5 Esquema de conexión de las baterías	111
8.3.6 Esquema de conexión del regulador - controlador de carga	112
8.3.7 Esquema de conexión del inversor	113
9. RECURSOS NECESARIOS PARA EL DESARROLLO	114
9.1 Presupuesto para la construcción del proyecto	114

9.2 Cronograma para la construcción del proyecto	114
10. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	115
11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	116
12. BIBLIOGRAFÍA	118
ANEXOS	123

LISTA TABLAS

Tabla 1. Promedio de insolación anual en Colombia (kWh/m ²).	37
Tabla 2. Cargas de la instalación fotovoltaica de este proyecto.	82
Tabla 3. Consumo promedio de la instalación a diseñar.	85
Tabla 4. Consumo promedio mensual de energía, estratos 1, 2 y 3.	85
Tabla 5. Máximos fabricantes de paneles solares en el mundo.	88

LISTA FIGURAS

Figura 1. Localización del municipio de Tauramena.	20
Figura 2. Estructura interior del sol.	27
Figura 3. Curvas de irradiación solar a las 12 GMT en varios lugares del mundo.	30
Figura 4. Curva que muestra el significado de insolación.	30
Figura 5. Piranómetro común, mide la irradiancia en un lugar (W/m^2).	31
Figura 6. Solarímetro Campbell-Stokes, mide la insolación (Wh/m^2).	31
Figura 7. Diagrama del efecto fotoeléctrico.	33
Figura 8. Efectos de la frecuencia e intensidad de la radiación.	34
Figura 9. Diagrama del efecto fotovoltaico	36
Figura 10. Mapa mundial de energía solar (kWh/m^2).	36
Figura 11. Promedio multianual de radiación solar en Colombia (kWh/m^2).	38
Figura 12. Esquema de funcionamiento de una instalación solar fotovoltaica.	39
Figura 13. Estructura cristalina del cuarzo r (SiO_2).	41
Figura 14. Celda solar monocristalina y policristalina respectivamente	43
Figura 15. Panel solar monocristalino de 300 W.	44
Figura 16. Panel solar policristalino de 275 W.	44
Figura 17. Curva $I - V$, de un panel solar.	46
Figura 18. Puntos de máxima potencia en un panel.	46
Figura 19. Efectos de la temperatura en un panel.	47
Figura 20. Esquema y circuito elemental de un regulador paralelo.	49
Figura 21. Esquema y circuito elemental de un regulador serie.	50
Figura 22. Esquema y circuito elemental de un regulador serie.	51
Figura 23. Regulador de tensión en serie basado en un AO.	52
Figura 24. Regulador de tensión PWM (con integrado LM3524) en un sistema fotovoltaico.	53
Figura 25. Voltaje de salida circuito resistivo con conmutación en SW, ciclo de trabajo D .	54
Figura 26. Regulador de máxima potencia MPPT.	55
Figura 27. Esquema de sistema solar fotovoltaico con controlador tipo MPPT.	56

Figura 28. Esquema de un reductor–elevador DC/DC.	56
Figura 29. Esquema del sistema MPPT.	57
Figura 30. Curvas de corriente y de máxima potencia en una celda solar.	57
Figura 31. Batería tipo Gel - 12V, 100Ah, C100.	60
Figura 32. Esquema de carga y descarga de una batería de plomo ácido.	61
Figura 33. Inversor senoidal 3000 W, 12V / 220 V.	64
Figura 34. Sección de potencia en inversor monofásico tipo “puente completo”.	65
Figura 35. Señal de salida V_o , señales de control y de comparación para las ramas A y B.	66
Figura 36. Descomposición de una onda cuadrada: onda fundamental V_1 , armónicos V_3 y V_5 .	69
Figura 37. Corriente en atraso a la salida de un inversor con carga inductiva.	70
Figura 38. Topología de una instalación solar fotovoltaica “Off Grid”.	80
Figura 39. Curvas de demanda máxima para diferentes estratos.	83
Figura 40. Coordenadas y radiación solar sobre superficies inclinadas.	89
Figura 41. Símbolos utilizados en los esquemas del diseño.	107
Figura 42. Diagrama unifilar del sistema.	108
Figura 43. Esquema de conexión de los paneles.	110
Figura 44. Esquema de conexión de las baterías.	111
Figura 45. Esquema de conexión del regulador controlador de carga.	112
Figura 46. Esquema de conexión del inversor.	113

LISTA ANEXOS

ANEXO 1. Símbolos utilizados en el diseño	124
ANEXO 2. Diagrama unifilar del sistema	125
ANEXO 3. Esquema de conexión de los paneles	126
ANEXO 4. Esquema de conexión de las baterías	127
ANEXO 5. Esquema de conexión del regulador controlador de carga	128
ANEXO 6. Esquema de conexión del inversor	129
ANEXO 7. Catálogos de panel solar.	130
ANEXO 8: Catálogos de las baterías.	132
ANEXO 9. Catálogos de regulador – controlador tipo MPPT.	136
ANEXO 10. Catálogos de inversor CC/CA para aplicación solar tipo Off Grid.	139
ANEXO 11. Apéndices del atlas solar de Colombia	141
ANEXO 12. Anexo RAE	142

RESUMEN

Este trabajo contiene el “diseño de una instalación solar fotovoltaica para 3 kW”. Se describe brevemente el desarrollo teórico de la tecnología fotovoltaica, desde el descubrimiento del fenómeno fotoeléctrico en el año de 1839, hasta la actualidad. Se explica la composición y el funcionamiento de un sistema solar fotovoltaico, y de cada una de sus partes o elementos.

Se detalla la construcción, operación y comportamiento de los módulos solares fotovoltaicos de silicio, se incluyen curvas de las variables que los caracterizan. De igual forma, se definen las baterías de plomo ácido, los reguladores – controladores de carga y los inversores CC/CA para aplicaciones solares de tipo aislado.

Se definen las características técnicas de la instalación solar fotovoltaica objeto de este trabajo, su lugar de instalación y su aplicación específica. Se determinan las variables a tener en cuenta en el diseño: cargas a alimentar, demanda máxima, consumo de energía eléctrica diario y mensual y radiación solar.

Posteriormente, se presentan los cálculos necesarios para dimensionar el sistema solar fotovoltaico; se calcula la radiación solar sobre los paneles a instalar, se calculan y dimensionan todos los equipos de la instalación: paneles, regulador, banco de baterías, inversor y calibres de cables y de tuberías.

Finalmente, se elaboran los esquemas que completan el diseño de la instalación solar fotovoltaica.

PALABRAS CLAVE: Instalación solar fotovoltaica, batería, cálculo, diseño, fotovoltaica, insolación, inversor, módulo, panel, regulador, radiación, solar.

INTRODUCCIÓN

Los problemas de calentamiento global y de agotamiento han hecho pensar en el uso y aplicación de las energías renovables no convencionales, entre ellas la energía solar fotovoltaica. La generación fotovoltaica es un recurso que además de ser limpio es inagotable; podría ser utilizado en las viviendas rurales, en el funcionamiento de equipos y de instalaciones industriales remotas como puede ser el caso de los sistemas de instrumentación y medición meteorológicos.

En Colombia, la “Unidad de Planeación Minero Energética” (UPME) y el “Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas” (IPSE), están promoviendo el desarrollo de las energías renovables no convencionales y existen “Planes de energización rural sostenible departamentales o regionales” para solucionar las necesidades de energía eléctrica en 432 mil viviendas alejadas de las zonas no interconectadas, entre ellas la generación fotovoltaica. También recientemente, en mayo de 2014, el congreso promulgó la ley No. 1715 “Por medio de la cual se regula la integración de las energías no convencionales al sistema energético nacional”.

El trabajo presentado en este documento, tiene como objetivo elaborar el diseño de una instalación solar fotovoltaica aislada de 3 kW, que se pueda realizar y que sirva de soporte y de guía para la aplicación actualizada de estas tecnologías. En este trabajo se presentan la descripción y funcionamiento del sistema y de cada uno de sus equipos, los cálculos, las especificaciones, y los esquemas técnicos de la instalación diseñada.

Para fines de caracterización de la instalación, de dimensionamiento de los equipos y de cálculo de la radiación solar, este diseño se realizó para una vivienda rural localizada en la vereda Carupana, del municipio de Tauramena, en el departamento

del Casanare; sin embargo, mediante pequeños ajustes se puede aplicar para instalaciones similares en cualquier parte de Colombia.

En el marco referencial se tocan temas relacionados con la energía solar, el origen de los sistemas fotovoltaicos; se explican el fenómeno fotoeléctrico y el efecto fotovoltaico; se tratan el funcionamiento y las características de los módulos solares, las baterías, el regulador y el convertidor CC/CA de una instalación solar fotovoltaica. También se relacionan las normas técnicas colombianas que aplican y que se deben tener en cuenta al diseñar y construir un sistema solar fotovoltaico.

Al final del trabajo, se presenta el diseño propiamente dicho, en esta parte se caracterizan y dimensionan los equipos; se realiza los cálculos necesarios para obtener las potencias y capacidades de los módulos, baterías y equipos de la instalación fotovoltaica. Se incluyen los esquemas que permitirían la construcción del proyecto, si en algún momento se decide su ejecución.

También se incluye la bibliografía de la documentación consultada y se anexan catálogos con los datos técnicos de equipos de especificaciones similares a las obtenidas en el diseño.

1. ¿CÓMO EL DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 3KW PERMITIRÁ SUPLIR NECESIDADES DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN TAURAMENA (CASANARE)?

Muchas zonas rurales del Casanare, por su lejanía y difícil acceso, no cuentan con redes de energía eléctrica y por lo tanto sus habitantes están privados de este servicio y carecen de acceso al uso de electrodomésticos, al uso de medios de extracción y/o bombeo de agua potable, a la utilización de medios para cocción de alimentos sin leña, al uso de los sistemas de comunicación, a la utilización de iluminación eléctrica, al uso de los medios de refrigeración de alimentos, a equipos de lavandería, a la posibilidad de utilizar y aplicar pequeñas herramientas eléctricas, al uso del computador y al uso de medios de diversión y de información como la televisión y la radio.

Estas necesidades insatisfechas se podrían resolver generando electricidad local mediante la aplicación de la energía solar fotovoltaica y por lo tanto se propone el diseño de una instalación solar fotovoltaica con capacidad para 3 kW.

El diseño permitirá seleccionar, calcular y determinar los equipos y los elementos requeridos para suministrar energía eléctrica mediante la utilización de energía solar fotovoltaica a una vivienda rural. Para los diseños se aplicarán las normas Icontec (Instituto Colombiano de Normas Técnicas), las IEC (International Electrotechnical Commission), las UL (Underwriters Laboratories) y las normas ANSI/IEEE especializadas en las instalaciones y en los equipos fabricados para sistemas solares fotovoltaicos.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema solar fotovoltaico de energía limpia y renovable con capacidad para 3 kW en ambientes rurales para suplir necesidades de energía eléctrica en hogares del municipio de Tauramena.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las especificaciones técnicas de los equipos que conformarían el sistema solar fotovoltaico.
- Caracterizar y dimensionar cada uno de los equipos que conformarían el sistema solar fotovoltaico.
- Elaborar los esquemas y planos de la instalación solar fotovoltaica para 3 kW.

3. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con el Plan Indicativo de Expansión de Cobertura de Energía Eléctrica 2013 – 2017 (UPME, 2014, p. 54) en Colombia hay necesidad de suministrar energía eléctrica a más de 432 mil viviendas localizadas en sitios alejados de las ciudades o poblaciones en donde no se cuenta con redes de energía eléctrica ni con generadores alimentados con combustibles convencionales.

La energía solar fotovoltaica es una fuente inagotable, es un recurso limpio, amigable con el medio ambiente, y es una solución factible para resolver necesidades de energía en las zonas rurales de Colombia.

La generación fotovoltaica es un recurso que además de ser limpio es inagotable y podría ser utilizado en las viviendas y en el funcionamiento de equipos y de instalaciones industriales remotas como puede ser el caso de los sistemas de instrumentación y medición meteorológicos.

Las instalaciones solares fotovoltaicas están en auge, cada día se utilizan más, su uso es más común; en un futuro cercano la generación fotovoltaica también tendrá aplicación en todos los lugares incluyendo grandes ciudades, se utilizarán para generar energía eléctrica en viviendas, comercio e industria pues con el avance de las tecnologías para los sistemas fotovoltaicos éstas llegarán a ser de fácil acceso e incluso atractivas económicamente para todas las personas y empresas.

Como solución a la necesidad de energía eléctrica en las zonas alejadas del Casanare, se plantea el diseño de un sistema solar fotovoltaico local con el cual será posible generar y suministrar energía eléctrica en una vivienda rural del municipio de Tauramena. En las veredas alejadas del casco urbano como es el caso de la vereda Carupana que no cuenta con el servicio público de energía la instalación podría suministrar la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de sus sistemas de alumbrado, comunicaciones, bombeo, irrigación, refrigeración,

cocina, lavandería, electrodomésticos y pequeños equipos eléctricos relacionados con tareas agropecuarias de la vivienda.

4. ÁREA Y LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

El trabajo está enmarcado dentro del área de ingeniería electrónica, telecomunicaciones y redes y pertenece a la línea 2: Automatización y herramientas lógicas centradas en electrónica de potencia.

Los equipos que conforman una instalación solar fotovoltaica son en mayoría equipos electrónicos (paneles solares, regulador cargador e inversor de corriente) y su estudio y conocimiento son tratados por la ingeniería electrónica y por lo tanto se puede afirmar que este trabajo está enmarcado en dicha área.

La función que realiza el regulador consiste en regular el voltaje de salida de las celdas fotovoltaicas con el propósito de controlar la corriente de carga de las baterías y el inversor tiene la función de convertir la corriente DC en AC; estas funciones son controladas mediante tareas de automatización y de tareas lógicas.

Finalmente, como las instalaciones solares fotovoltaicas se utilizan para la obtención y transformación de la energía eléctrica (recibir del sol y alimentación de cargas eléctricas), se puede decir que están dentro de la electrónica de potencia ya que se manejan voltajes y corrientes altas.

5. ALCANCE Y DELIMITACIÓN DEL PROYECTO

5.1 ALCANCE

El alcance del trabajo comprende la selección técnico-económica de todos los elementos que conforman una instalación solar fotovoltaica con capacidad para generar energía eléctrica y alimentar una carga igual a 3 kW.

La instalación propuesta consta de todos los equipos necesarios para captar, almacenar y convertir la energía solar en energía eléctrica de características tales que se pueda aprovechar para alimentar los equipos eléctricos de una vivienda rural con una carga eléctrica de 3 kW a 120 VCA. Los equipos eléctricos de la vivienda serian básicamente el alumbrado y electrodomésticos comunes en el comercio. No se considera la construcción de un prototipo de la instalación solar fotovoltaica debido a la falta de recursos económicos.

5.2 DELIMITACIÓN

- Este proyecto aplica para viviendas rurales de la zona del municipio de Tauramena, departamento del Casanare, cuya característica principal es que tienen una carga eléctrica de 3 kW; el diseño se realiza de acuerdo con normas aplicables en Colombia.

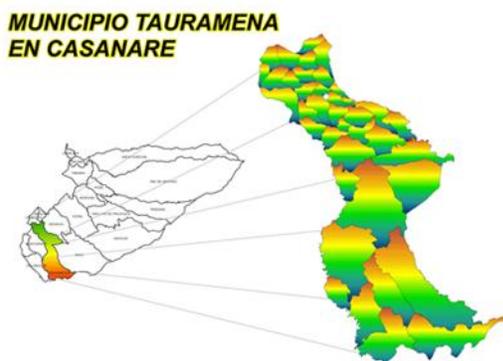


Figura 1. Localización del municipio de Tauramena.

Fuente: http://www.tauramena-casanare.gov.co/mapas_municipio.shtml

- El proyecto aplica para instalaciones aisladas no conectadas a las redes de energía públicas y solo considera el estudio con paneles de silicio.
- Los paneles utilizados son fijos y no se consideran dispositivos para seguir la posición del sol.
- Se contempla solo el diseño de la instalación sin su construcción debido a que no se cuenta con recursos económicos para la implementación del proyecto.

6. MARCO REFERENCIAL

6.1 ANTECEDENTES

Se puede afirmar que las instalaciones solares fotovoltaicas nacieron con el descubrimiento del fenómeno fotovoltaico por parte del físico francés Edmond Becquerel quién en el año de 1839 observó aumento de generación de energía eléctrica entre dos electrodos metálicos sumergidos en un electrolito cuando se exponían a la luz. Posteriormente se avanzó más en los estudios de este fenómeno hasta que en 1921 Albert Einstein obtuvo el premio nobel con un trabajo que sustenta la teoría del efecto fotoeléctrico y “en el cual está basada la tecnología fotovoltaica”¹.

En el año de 1946 el investigador estadounidense Rusell Ohl patentó la primera célula solar de silicio que permitió que en 1954 la compañía “Laboratorios Bell” fabricara el “primer módulo fotovoltaico experimental que, al resultar con un coste demasiado elevado para su aplicación industrial, no tuvo aplicación inmediata”².

Las investigaciones siguieron avanzando y los paneles solares se fueron perfeccionando hasta el punto de que en la década de 1960 la agencia espacial de los Estados Unidos se decidió a utilizarlos en satélites espaciales. Ya en la década de 1970 se inició su utilización industrial y en los años de 1980 y 1990 su fabricación a gran escala entro en auge en los Estados Unidos, y en la actualidad se fabrican en muchos países del mundo, especialmente en China, Japón, Alemania, Estados Unidos, India y España.

En 1955 los primeros paneles solares fotovoltaicos que se fabricaron fueron de silicio y tenían una eficiencia del 3% hasta llegar, en la actualidad al 18% (hoy en

¹ ROLDÁN VILORIA, José. Instalaciones solares fotovoltaicas. Madrid: Paraninfo, 2010. p.106.

² ROLDÁN VILORIA, op. cit, p. 106

día existen paneles de aleaciones especiales para aplicaciones especiales que llegan hasta el 46% de eficiencia, como es el caso de los paneles fabricados con aleación del Galio con el Arsénico, pero no serán tratados en éste trabajo).

Los costos de los paneles han evolucionado de gran forma y se conoce que entre los años de 1976 y 2010 pasó de USD 65/W a USD 1.4/W. Los primeros paneles solares de silicio se comercializaron en el año de 1955 a US \$ 1500 por vatio y en la actualidad ese costo se ha reducido a US \$1 por vatio; de forma similar los costos de los componentes han disminuido sustancialmente con el avance de la electrónica. Hoy en día, los paneles solares se utilizan en innumerables aplicaciones y se estima que hay cerca de 230 GW de potencia fotovoltaica instalada en todo el mundo.

Las instalaciones solares fotovoltaicas se conocieron en Colombia en el año de 1980 cuando la antigua empresa estatal de telecomunicaciones (Telecom) las utilizó para sus sistemas de comunicaciones. Posteriormente, entre los años de 1985 y 1994 se importaron cerca de 49000 paneles solares para una capacidad total de 2 MW de generación de energía eléctrica de los cuales se incluyeron en los programas de electrificación rural cerca de 1 MW.

En la actualidad, según el IPSE (Instituto de planificación y promoción de soluciones energéticas para las zonas no interconectadas), en Colombia hay por lo menos 15000 sistemas fotovoltaicos instalados en las ZNI (Zonas no interconectadas) para una potencia instalada estimada de paneles solares equivalente a 9 MW.

Dentro de los proyectos solares realizados en Colombia recientemente, se destacan dos sistemas solares fotovoltaicos:

El instalado en el almacén “Éxito Panorama” de Barranquilla con una capacidad de 507 kW y construido en marzo de 2015. Este proyecto tiene como nombre “Parque

solar éxito panorama”, nació con el plan que tiene el grupo éxito, dueño del proyecto, de cuidar el medio ambiente y de reducir gastos por conceptos de energía eléctrica en todas sus sedes; la iniciativa fue asesorada e implementada por la firma “Green Yellow” en asocio con la firma constructora colombiana “Hybrytec” y el apoyo técnico de la firma “Solar Century. Para su construcción se invirtieron dos mil millones de pesos, 2100 módulos solares y cinco meses en su ejecución. Se espera que con los 507 kW_p instalados se autogenera el 24% de la energía eléctrica que se consume en el almacén y que se evite la producción de 230 toneladas de CO₂/año.³

Y el sistema diseñado y construido por la Universidad Autónoma de Occidente de Cali con una capacidad de generación de potencia eléctrica de 150 kW e inaugurado a mediados del año 2015.⁴ “El sistema solar fotovoltaico de la universidad autónoma de occidente de Cali”, hace parte del proyecto de Campus Sostenible, fue liderado y desarrollado por el grupo de investigación en energías, GIEN, de la universidad, con participación de la empresa de energía del pacífico EPSA. Para la construcción de la planta solar, con capacidad para 150 kW_p, se instalaron sobre los techos 638 paneles de tecnología HIT, marca Panasonic. El sistema generará el 5% de la energía eléctrica requerida por el campus.

6.2 MARCO CONTEXTUAL

El marco contextual o geográfico donde se desarrolla el proyecto corresponde a la vereda de Carupana en el municipio de Tauramena, departamento del Casanare (Colombia). Carupana está situada al sur de Tauramena en las riberas del río Meta, sus datos geográficos son los siguientes⁵:

³GRUPO ÉXITO. El Grupo Éxito instaló la planta fotovoltaica más grande del país en uno de sus almacenes (noticia 24 de marzo 2015). {En línea}.

⁴ Universidad AUTÓNOMA de Occidente. Valle del Cauca con gran potencial para producir energía limpia. {En línea}.

⁵ Tauramena. Wikipedia: la enciclopedia libre [en línea].

- Coordenadas: Latitud Norte 5.5311111, Longitud Oeste 71.7938889
- Altitud: 460 m s. n. m
- Temperatura media: 26,5°C
- Radiación solar: 4,5 kWh/m²
- Radiación solar año: 1643 kWh/m² año
- Incidencia rayos solares año: 1950 horas año

Se ha elegido específicamente la vereda de Carupana por varias razones:

- Porque la realización de los cálculos solares solo es posible si se parte de un sitio especificado y localizado geográficamente que cuente con datos de incidencia solar.
- Porque hay documentación relacionada directamente con esta zona que se puede aprovechar para tener una idea clara de sus necesidades.
- Porque es una zona alejada del casco urbano de Tauramena y no tiene servicio público de electricidad.
- Porque para esta zona existen proyectos y programas institucionales para la implementación de sistemas solares fotovoltaicos.

6. 3 MARCO TEÓRICO

6.3.1 La energía solar

6.3.1.1 El sol

El sol es la única estrella de nuestro sistema planetario denominado sistema solar, se estima que existe hace 4650 millones de años y que desaparecerá dentro de 5000 millones de años; está compuesto, en gran parte por hidrógeno, algo de helio y pequeñas cantidades de otros elementos, su masa corresponde al 99% del total de la masa de nuestro sistema. El sol es una gran bola de plasma a altas temperaturas y presiones en donde ocurren fusiones nucleares con gran transformación de masa y liberación de energía en forma de radiaciones electromagnéticas. La estructura interior del sol está constituida por:

- Núcleo. Es la parte central del sol, contiene enorme cantidad de plasma de gran densidad, a una presión de muchos millones de veces la presión atmosférica, temperatura de 15000000 K (quince millones de Kelvin o quince millones de grados Celsius) y funciona como una planta de fusión nuclear. Toneladas de átomos de hidrógeno se fusionan, convirtiéndose en helio, perdiendo mucha masa y liberando gran cantidad de energía de acuerdo con la ecuación de Einstein: $e = mc^2$. El núcleo es la zona responsable de generar calor y luz, a todo el sistema solar, sustancias esenciales para la existencia de vida en la tierra.

- Zona radiactiva. Se encuentra después del núcleo, la densidad, presión y temperatura del plasma de esta franja son muy inferiores a las que se encuentran en el núcleo, por lo que todas las radiaciones electromagnéticas emanadas del centro pueden viajar hacia el exterior relativamente fácil.

- Zona convectiva. Se encuentra por encima de la zona radiactiva e inmediatamente por debajo de la fotosfera que es la superficie del sol. Los movimientos del plasma contenido en esta franja son más o menos ordenados y “circulan hacia arriba y hacia abajo, formando celdas de convección”,⁶ en las que se transportan, hacia la superficie solar, las radiaciones o energía que llega de la zona radiactiva.

- Fotosfera. Es la capa superficial y visible del sol, temperatura de 6000 K, movimientos del plasma controlados por campos magnéticos locales que permiten la emisión de luz hacia el exterior.

- Mancha solar. Lugares oscuros en la superficie del sol debido a temperaturas inferiores que las zonas de su alrededor y a grandes campos magnéticos que controlan el movimiento del material.

La región exterior o atmósfera solar está constituida por:

⁶ BRAVO, Silvia. Plasmas en todas Partes: El Plasma Solar [en línea]. México, 1997. p. 1.

- Protuberancias. Son arcos gigantes de plasma, controlados por grandes campos magnéticos, que ascienden desde la fotosfera hasta la atmósfera solar y pueden “extinguirse suavemente o estallar; enviando hacia el espacio grandes cantidades de material solar”.
- Cromosfera. Es la primera capa exterior, se encuentra inmediatamente después de la fotosfera, tiene un espesor de 10000 km y color rojizo, no es posible observarla directamente debido a su relativa transparencia.
- Corona solar. Es la parte más externa del sol, su temperatura supera varios millones de kelvin y contrariamente a lo que aparentemente debiera ser, es muy superior a la de la fotosfera e incluso a la del núcleo solar, este fenómeno es llamado inversión térmica solar. En la corona se encuentran zonas activas en donde campos magnéticos inmensos concentran plasma de alta densidad y producen explosiones gigantescas llamadas ráfagas, enviando enormes cantidades de energía al espacio.

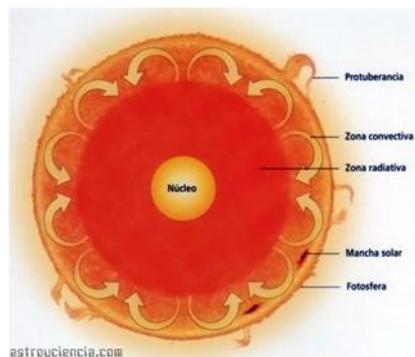


Figura 2. Estructura interior del sol.

Fuente: <http://www.astrociencia.com/2012/01/03/la-central-solar/>

6.3.1.2 Radiación solar

Gran cantidad de energía solar llega a nuestro planeta tierra después de recorrer, por el espacio, una distancia de 150 millones de kilómetros a una velocidad de 300 mil km/s, en un tiempo de 8 minutos y 18 segundos aproximadamente. Radiaciones electromagnéticas (fotones) de diferentes frecuencias y longitudes de onda atraviesan la atmósfera y alcanzan la superficie terrestre. Las radiaciones u ondas electromagnéticas que se reciben del sol, solo una porción del espectro solar, entre $0,290 \mu\text{m}$ y $2,5 \mu\text{m}$, se clasifican en: ultravioletas, de alta frecuencia, se encargan de la fotosíntesis; luz visible entre las frecuencias del rojo y violeta; y las infrarrojas, de baja frecuencia que transportan calor. A cada porción del espectro solar que llega le corresponde un tanto de la energía que llega al exterior de la atmósfera: a la franja ultravioleta le corresponde el 7%, a la luz visible un 47,3% y a la región infrarroja el 45,7%.⁷ Para la comprensión y análisis de la radiación solar se definen los siguientes términos:

- Constante solar. La constante solar define el valor total promedio de la energía solar que llega al borde exterior de la atmósfera y es de 1367 W/m^2 . El 30 % de esta energía es regresada al espacio porque es reflejada por las nubes y por el aire que se encuentra en la atmósfera. Del 70 % de la energía que sigue hacia la tierra, es decir, de los 1000 W/m^2 que no son reflejados; más o menos, las dos terceras partes calientan la atmósfera, la tierra y los océanos; casi toda la otra tercera parte se absorbe en la evaporación de agua; y solo una pequeña cantidad es absorbida por las plantas para la fotosíntesis. finalmente, después de que la energía solar es utilizada (transformada) en la tierra, la mayor parte de esta energía es devuelta a la atmósfera en forma de rayos infrarrojos (calor).

⁷ Atlas de Radiación Solar en Colombia, apéndice B: Características de la radiación solar, 2005. [en línea]. p. 3

- Radiación directa, difusa y albedo. Se define como radiación directa, a la radiación que no sufre ninguna atenuación en su trayecto, en general, esto ocurre en los días soleados; la radiación directa en un día soleado puede llegar a los $1000\text{W}/\text{m}^2$.

Se denomina radiación difusa a la radiación que debe atravesar nubes, partículas de agua, polvo, y smog, y que por lo tanto llegan bastante atenuadas a la superficie terrestre; se considera que en un día muy nublado la radiación recibida solo alcanza $100\text{W}/\text{m}^2$, es decir el 10% de lo que correspondería a un día soleado.

El albedo corresponde a una relación entre la energía incidente y la energía reflejada en cualquier superficie de la tierra. El albedo de la nieve es alto y puede llegar a 90%; en cambio el albedo del lodo tiene un valor bajo, 5%, esto significa que gran cantidad de la energía incidente es absorbida por el agua y la tierra que lo forman. Los valores más comunes que se encuentran para el albedo están entre el 10% y el 30%.

- Irradiancia solar. Corresponde a una medida de potencia, es la cantidad de radiaciones solares que inciden en un área en un instante determinado, en el caso de las aplicaciones fotovoltaicas es conveniente utilizar la potencia en vatios por unidad de área (W/m^2); la máxima Irradiancia solar ocurre en la zona ecuatorial, durante el verano, a las 12 del día, según se puede observar en la figura siguiente. La irradiancia recibida en un lugar de la tierra depende de la época del año, de la hora y de las condiciones atmosféricas del sitio.

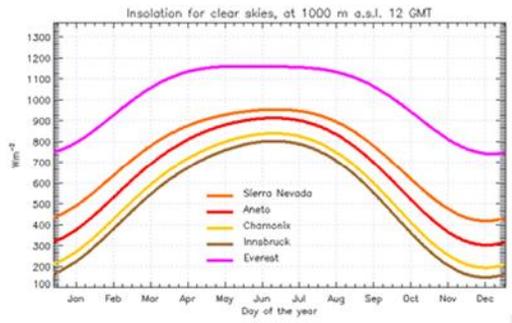


Figura 3. Curvas de irradiación solar a las 12 GMT en varios lugares del mundo.

Fuente: <http://www.meteoexploration.com/figures/insolSN.png>

- Insolación o irradiación solar. Mide la energía solar recibida y corresponde a la cantidad de irradiancia solar que incide en un área durante un tiempo determinado, en el caso de las aplicaciones fotovoltaicas es conveniente utilizar la energía en vatios hora por unidad de área (Wh/m^2). Ya que es una magnitud derivada de irradiancia; la máxima insolación solar ocurre en la zona ecuatorial, durante el verano, en las horas cercanas a las 12 del día. Al igual que la irradiancia, la insolación recibida en un lugar de la tierra depende de la época del año, de la hora y de las condiciones atmosféricas del sitio.

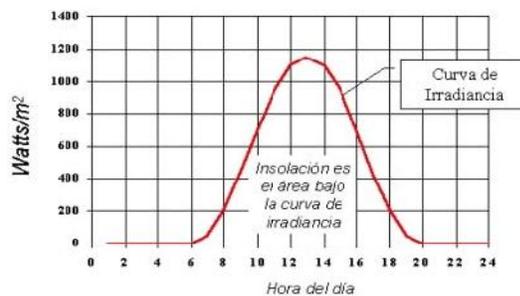


Figura 4. Curva que muestra el significado de insolación.

Fuente: <http://www.oocities.org/imosolar/cont-72.jpg>

- Medición de la irradiancia y de la insolación. Existen muchos tipos de instrumentos para medir la potencia y la energía solar incidente; en las estaciones de medición meteorológicas se requieren instrumentos, con excelente precisión y exactitud, para

medir los diferentes tipos de radiaciones, la irradiancia y la insolación. Ya para aplicaciones prácticas y comunes se utilizan el piranómetro y/o el solarímetro.



Figura 5. Piranómetro común, mide la irradiancia en un lugar (W/m^2).

Fuente: <http://www.gisiberica.com/solarimetros/RD460.jpg>

En mucha de la literatura existente al respecto, se utilizan indistintamente los términos piranómetro y solarímetro para medir la potencia solar incidente en un punto, pero de acuerdo con las definiciones dadas por el Ideam, el piranómetro mide la potencia (irradiancia) y el solarímetro sirve para medir la energía solar recibida en un punto de la tierra (insolación). El solarímetro también es llamado heliógrafo.



Figura 6. Solarímetro Campbell-Stokes, mide la insolación (Wh/m^2).

Fuente: Atlas de Radiación Solar en Colombia.⁸

⁸ *Ibíd.*, p. 7

6.3.1.3 Cálculo de la radiación solar en un lugar de Colombia

El “Atlas de Radiación Solar de Colombia”⁹, es un documento oficial elaborado en conjunto entre el UPME y el IDEAM en el año 2005, contiene información básica, teórica y práctica, de las radiaciones solares incidentes en todas las regiones colombianas. El atlas consta de un cuerpo principal con mapas de los niveles de radiación solar global, brillo solar, radiación UV y niveles de ozono en cada una de las regiones de Colombia; y de varios anexos que tratan temas relacionados con los conceptos, la medición y la evaluación de la radiación solar.

Como es bien sabido, la tierra gira alrededor del sol y la separación y el ángulo que forman dependen de la época del año, en invierno la incidencia de rayos solares disminuye drásticamente en ciertos lugares y en verano aumenta; no ocurre lo mismo en los sitios localizados sobre la línea ecuatorial en donde, para fines prácticos, permanece prácticamente constante. Esta es la razón por la que autores como Enríquez Harper¹⁰ afirman que, para la instalación de paneles solares en esta zona, es suficiente con tener en cuenta que los paneles se ubiquen con dirección (apunten) hacia la línea ecuatorial y con un ángulo de inclinación igual al que resulta de sumar la latitud del sitio de montaje más 10°.

Sin embargo, conociendo que en el “atlas” citado en este trabajo se cuenta con información suficiente para realizar los cálculos de la irradiación solar sobre un panel inclinado e instalado en cualquier municipio de Colombia, el desarrollo de estos se presenta en la sección ocho de este trabajo.

⁹ Atlas de Radiación Solar en Colombia, primera parte: Preliminares, 2005. [en línea]. p. 11

¹⁰ ENRÍQUEZ HARPER, Gilberto. Instalaciones y sistemas fotovoltaicos. México: Limusa, 2014. p. 39.

6.3.2 Efectos fotoeléctrico y fotovoltaico

6.3.2.1 Efecto fotoeléctrico.

Como se mencionó anteriormente, el efecto fotoeléctrico fue descubierto por Edmond Becquerel en 1839 y sustentado en 1921 por Albert Einstein.

En la naturaleza existen materiales con electrones libres en su última órbita que pueden ser excitados y salir del átomo si reciben suficiente energía del exterior. El efecto fotoeléctrico consiste en la emisión de electrones a partir de la aplicación de radiaciones electromagnéticas sobre alguna superficie o cuerpo con electrones libres en su última órbita.

Si un rayo de luz es dirigido hacia la superficie de un metal, puede suceder que, un fotón choque con un electrón, lo desprenda y libere del metal; de esta forma, para algunos arreglos y bajo ciertas condiciones se puede generar un flujo de electrones o corriente eléctrica y este fenómeno es el que se denomina efecto fotovoltaico.

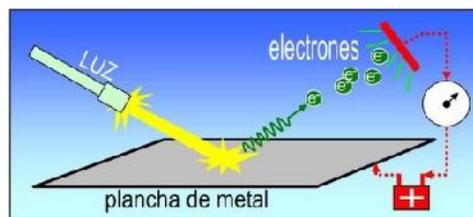


Figura 7. Diagrama del efecto fotoeléctrico.

Fuente: <http://www.canaldeciencias.com/2014/01/18>

El fenómeno ocurre cuando un haz de luz del rango de frecuencias de la luz solar visible o ultravioleta choca con los electrones de algunos materiales; los fotones de mayor frecuencia transportan más energía que los de menor, y los electrones que están más cerca de la banda de conducción se retiran con mayor facilidad del átomo. La energía requerida para retirar un electrón de un átomo, depende del material; hay materiales conductores, semiconductores y aislantes. El fenómeno se rige por las siguientes leyes y expresiones matemáticas:

- El número de fotoelectrones emitidos depende de la intensidad de la radiación incidente, si se conservan el metal y la frecuencia de la radiación.
- Para que un metal dado pueda liberar fotoelectrones se requiere aplicar radiaciones electromagnéticas de una frecuencia mínima, conocida como frecuencia de corte o frecuencia umbral.
- La energía cinética adquirida por el fotoelectrón depende de la frecuencia de la radiación recibida, es independiente de la intensidad de la radiación.
- La emisión del fotoelectrón es instantánea sin que se haya lugar a retrasos por la absorción de energía (comportamiento de onda).

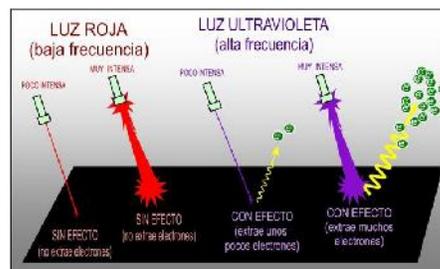


Figura 8. Efectos de la frecuencia e intensidad de la radiación.

Fuente: <http://www.canaldeciencias.com/2014/01/18>

Para describir cuantitativamente el efecto fotoeléctrico, Albert Einstein, basado en la teoría y ecuación de Max Planck, planteó en 1905; que la energía transportada por el fotón absorbido, es igual a la energía utilizada en el desprendimiento del electrón, más la energía cinética del fotoelectrón emitido; la ecuación es la siguiente,¹¹

¹¹ CORTIJO, Marco. Desarrollo Ejercicio Efecto Fotoeléctrico, 2013. {Vídeo en línea}.

$E_F \text{ ó } n = \phi + E_k$ o, $hf = \phi + E_k$ donde,

$E_F \text{ ó } n = hf$ Energía del fotón que choca (Ecuación de Max Planck),

h Constante de Max Planck,

f Frecuencia del fotón absorbido

ϕ Función de trabajo o valor mínimo para que se desprenda el fotoelectrón

E_k Energía cinética del fotoelectrón liberado

6.3.2.2 Efecto fotovoltaico.

Se funda en el efecto fotoeléctrico. Si a un material, con un campo eléctrico local, se le aplica una radiación electromagnética y en sus extremos se observa una diferencia de potencial eléctrico (voltaje), se dice que está ocurriendo el efecto fotovoltaico.

Ya que la energía que contienen los fotones de la luz solar es capaz de liberar electrones de los átomos de silicio, se han fabricado muchos arreglos, con este elemento, para obtener y aplicar el efecto fotovoltaico, como es el caso de las celdas solares.

La mayoría de células solares comerciales se fabrican con una placa de silicio dopada con átomos positivos en una de sus caras y con átomos negativos en la otra, generalmente, con boro y fósforo, de tal forma que se obtiene un elemento con dos semiconductores y una unión PN con un campo eléctrico. En el momento que la celda recibe luz solar se producen los efectos fotoeléctrico y fotovoltaico haciendo que se ilumine el bombillo de la figura siguiente.

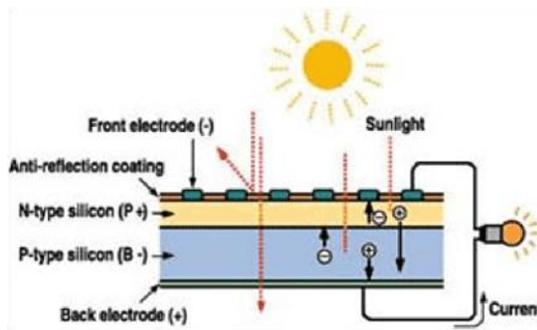


Figura 9. Diagrama del efecto fotovoltaico
<http://www.engineering.com/portals/0/images/pvenergy.gif>

El silicio es un material semiconductor, muy abundante en la naturaleza, sin embargo, no se encuentra en estado puro y su uso requiere de procesos complejos.

6.4 MARCO CONCEPTUAL

6.4.1 Radiación solar en Colombia

Colombia está ubicada en un lugar privilegiado en cuanto a la energía solar recibida durante todo el año, pues se encuentra localizada sobre la línea ecuatorial y no existen las estaciones; todas las épocas del año son muy parecidas, la duración de los días y las noches es similar y por lo tanto la incidencia de los rayos solares es prácticamente constante durante todos los días del año.

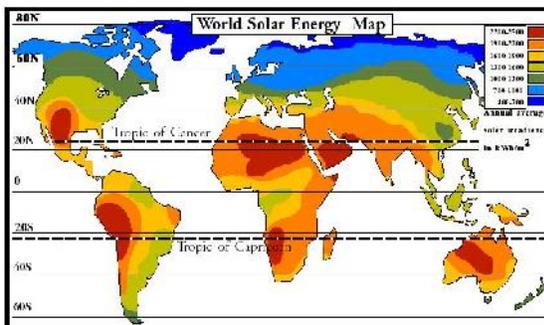


Figura 10. Mapa mundial de energía solar (kWh/m²).

Fuente: <https://plenosol.files.wordpress.com/2010/09/mapa-mundi-energ-solar2.jpg>

De acuerdo con el IDEAM, Colombia recibe un promedio diario de 4,5 kWh/m² de energía solar, lo que equivale a una insolación promedio anual de 1643 kWh/m². La región que más potencial solar tiene es la Guajira, con un promedio diario de 6 kWh/m², le siguen en su orden, la Costa Atlántica, Orinoquía, Amazonía, región Andina y la Costa Pacífica con un promedio diario de 3,5 kWh/m².

REGIÓN	KWh/m ² AÑO
Guajira	2190
Costa Atlántica	1825
Orinoquía	1643
Amazonía	1551
Andina	1643
Costa Pacífica	1278

Tabla 1. Promedio de insolación anual en Colombia (kWh/m²).

Fuente: Atlas de Radiación Solar en Colombia.¹²

¹² Atlas de Radiación Solar en Colombia. 2005, p. 8.

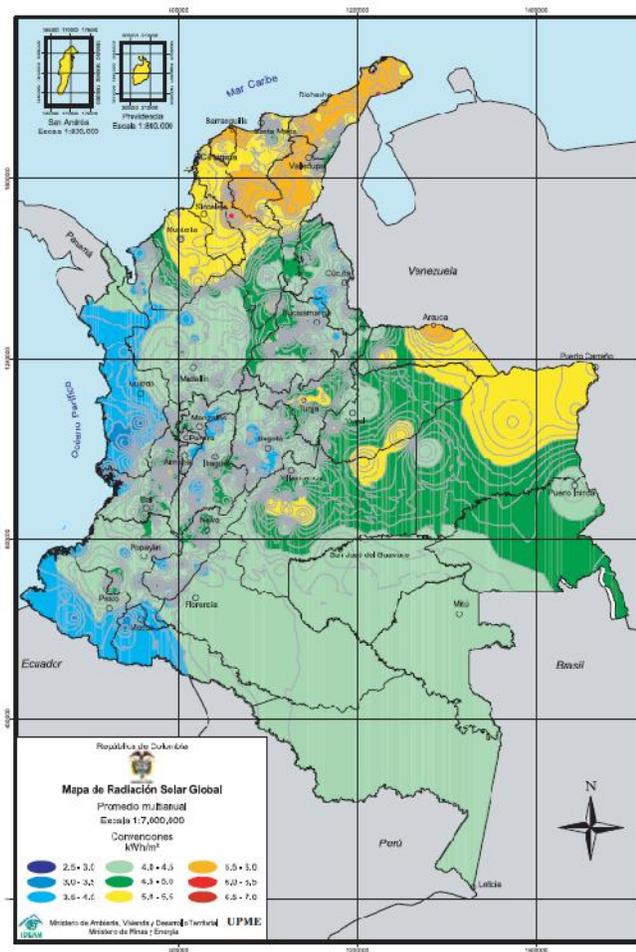


Figura 11. Promedio multi-anual de radiación solar en Colombia (kWh/m²).

Fuente: Atlas de Radiación Solar en Colombia

6.4.2 Instalación solar fotovoltaica

Una instalación solar fotovoltaica es un arreglo que permite aprovechar la energía solar y convertirla en energía eléctrica utilizable en el funcionamiento de accesorios, artefactos y equipos eléctricos. Generalmente, está constituida por: paneles solares que son los equipos que captan y transforman la energía solar; el regulador – controlador de carga que se encarga de cargar, adecuadamente, los equipos para almacenamiento de energía; las baterías o acumuladores de energía; el inversor de corriente DC/AC que convierte la corriente directa en alterna para que pueda ser aprovechada por los equipos eléctricos comerciales y los tableros e instalaciones eléctricas que distribuyen la electricidad.

Una instalación solar fotovoltaica puede estar aislada o conectada a la red eléctrica de energía pública; cuando no está conectada se dice que es tipo aislada o “Off Grid”, cuando está conectada y puede inyectar energía eléctrica a la red pública se dice que es del tipo “On Grid”. También hay instalaciones que aprovechan varias clases de energías a la vez; por ejemplo, la eólica y la solar, a estos sistemas se le llama híbridos.

La instalación de este diseño será del tipo aislada, puesto que servirá para suplir las necesidades de energía en zonas rurales alejadas de las redes eléctricas.

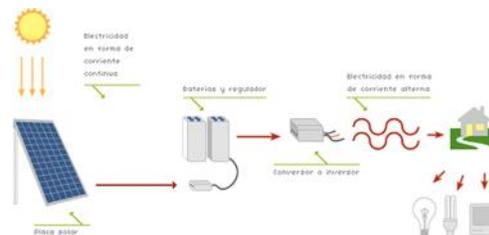


Figura 12. Esquema de funcionamiento de una instalación solar fotovoltaica.

Fuente: <http://www.solliclima.es/fotovoltaica-aislada>

6.4.3 Paneles fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos son dispositivos que pueden transformar la energía solar en energía eléctrica, están constituidos por celdas que funcionan de acuerdo con el principio del efecto fotoeléctrico. Una celda solar es la menor unidad en la cual se puede dividir un panel o módulo fotovoltaico, esta forma constructiva se hace necesaria debido a lo quebradizos de los materiales utilizados y a las tecnologías existentes para la fabricación de dispositivos adecuados para la generación fotovoltaica. En general, para aplicaciones prácticas, el material más utilizado en la fabricación de celdas fotovoltaicas es el silicio por su abundancia y por su costo.

Un panel solar está compuesto por las siguientes partes:

- Caja metálica para contener las celdas y elementos eléctricos.
- Placa con filas de celdas solares, soldadas y conectadas eléctricamente.
- Tapa transparente construida en material especial resistente a la intemperie.
- Marco metálico para instalación a la intemperie.

6.4.3.1 Celdas solares.

Las celdas solares son dispositivos diseñados y contruidos para aprovechar la energía solar mediante la generación fotovoltaica. Las celdas solares comerciales generan pequeños voltajes, entre 0.5 y 1.7 V, y se pueden encontrar de dimensiones comerciales que van desde 12.6 mm x 51 mm hasta 125 mm x 125 mm, con un espesor aproximado de 400 μm . Los efectos fotoeléctrico y fotovoltaico encuentran una de las aplicaciones más importantes en estos elementos, que a su vez se utilizan para la fabricación de los paneles o módulos fotovoltaicos.

La mayoría de las celdas solares comerciales se fabrican con silicio, elemento que a pesar de ser muy abundante, se encuentra mezclado con oxígeno, en moléculas de SiO_2 o sílice, no se encuentra puro, y para usarlo como semiconductor se requiere aislarlo; para esto se utilizan diferentes métodos industriales con los que se obtienen distintos grados de pureza, siendo necesario obtener como mínimo un grado de pureza llamado silicio tipo electrónico; a partir de allí se pueden fabricar celdas monocristalinas con una eficiencia promedio del 16%, policristalinas con 13% y amorfas con un 10%; las celdas más utilizadas son las del tipo policristalinas, en razón a su costo moderado y a su aceptable eficiencia.

Cuando se habla de silicio monocristalino, se hace referencia a que el sólido tiene una estructura cristalina única, continua, cuyos cristales están unidos sin que se perciban bordes, imperfecciones o materiales extraños entre ellos. Un sólido de silicio policristalino está compuesto por pequeños sólidos de silicio monocristalino, y la unión entre estos se puede notar exteriormente. El silicio amorfo, es a su vez, la unión de muy pequeños sólidos de silicio policristalino y se presenta en la naturaleza en polvo de color pardo. Del silicio policristalino se puede obtener silicio monocristalino.

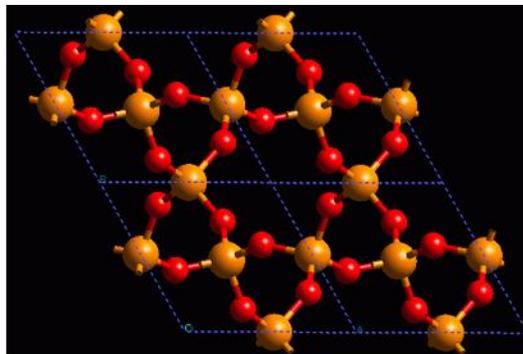


Figura 13. Estructura cristalina del cuarzo α (SiO_2).

Fuente: http://www.xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia/archivos_01/a-cuarzo.gif

El proceso de construcción de las celdas solares requiere el uso de hornos de alta temperatura y tecnologías especializadas, los pasos son los siguientes:

- Se obtiene el dióxido de silicio o sílice que se encuentra en la arena en forma de granos de cuarzo.
- Se le agrega carbón para obtener cuarcita.
- Se continúa con la fase de purificación para obtener silicio de alta pureza.
- Se fabrican los lingotes de silicio con dopado tipo P, agregando Boro.
- Se obtienen las obleas, a partir de dividir los lingotes en finas placas.
- Se pulen las obleas para eliminar las rugosidades y los desperfectos de la superficie.
- Se procede al dopado tipo N de las obleas, agregando Fósforo en una de sus caras.
- Se continúa con un tratamiento de texturizado de las superficies de la oblea para disminuir la reflexión de la luz.
- Se aplican capas de material antirreflejo.
- Finalmente, se adicionan los contactos y elementos para conducción y conexión eléctrica.



Figura 14. Celda solar monocristalina y policristalina respectivamente

<http://www.maharishisolar.com/Images/Cells2.jpg>

En la actualidad se investiga con otro tipo de materiales y de tecnologías para la fabricación de celdas solares más eficientes, versátiles y de menor costo que las de silicio; se destacan las tecnologías de capa delgada y de concentración.

6.4.3.2 Tipos de paneles.

Un módulo o panel solar se construye ensamblando, adecuadamente, varias células solares para, de esta forma, obtener voltajes y corrientes que se puedan aprovechar en el funcionamiento de instalaciones y equipos eléctricos. En general, para la construcción de un panel solar se utilizan celdas conectadas en serie, comercialmente se pueden encontrar paneles de 12 V, con 30, 33, 36 y 72 celdas. Cada panel solar es la unidad elemental de una instalación solar fotovoltaica, su tipo depende de las células con las que se fabrica.

6.4.3.2.1 Panel monocristalino

Para su construcción se utilizan celdas de silicio monocristalino, se encuentran con eficiencias entre 14% y 16%, pueden ser de color azul oscuro o plateado oscuro. Es el más costoso de los paneles de silicio, ya que los procesos de producción para las celdas monocristalinas es el más costoso. Los paneles monocristalinos más comunes se fabrican con 36 celdas y son a 12 V.



Figura 15. Panel solar monocristalino de 300 W.

Fuente: <http://www.yinglisolar.com/al/products/monocrystalline/>

6.4.3.2.2 Panel policristalino

Para su construcción se utilizan celdas de silicio policristalino, se encuentran con eficiencias entre 10% y 15%, pueden ser de color azul y se identifican por tener visos de colores azules. Es menos costoso de los paneles de silicio y es el más utilizado de todos los paneles de silicio.



Figura 16. Panel solar policristalino de 275 W.

Fuente: <http://www.yinglisolar.com/al/products/multicrystalline/>

6.4.3.2.3 Panel amorfo

Para su construcción se utilizan celdas de silicio amorfo, se encuentran con eficiencias inferiores al 10%.

6.4.3.3 Características técnicas de un panel fotovoltaico

Las características técnicas y el comportamiento de un panel fotovoltaico se determinan tomando, para una radiación solar de 1000 W/m^2 a una temperatura de 25° C , los siguientes parámetros eléctricos:

- Voltaje en vacío, V_{ca} : Es el voltaje que se mide en los terminales del panel en circuito abierto.

- Corriente de cortocircuito, I_{cc} : Corresponde a la corriente que genera panel cuando se cortocircuitan sus terminales.

- Potencia nominal o potencia pico, W_p : Es la máxima potencia que puede generar el panel a una carga conectada a sus terminales. Corresponde a la mayor área obtenida para el producto de $V \times I$.

- Voltaje nominal o voltaje pico, V_p : Es el voltaje que se presenta en el panel para la máxima potencia o potencia pico.

- Corriente nominal o corriente pico, I_p : Es la corriente que se presenta en el panel para la máxima potencia o potencia pico.

- Eficiencia nominal o eficiencia de conversión, η : Es la relación entre la máxima potencia generada por un panel, cuando recibe una radiación de 1000 W/m^2 , y la potencia recibida por el área del panel, $\eta = W_p/W_r$.

- Factor de forma, F_f : Este parámetro nos muestra la relación entre la potencia pico y la potencia teórica calcula con el producto de $I_{cc} \times V_{ca}$, $F_f = W_p/ I_{cc} \times V_{ca}$.

Como se ha dicho, los parámetros eléctricos nominales de un panel fotovoltaico corresponden a una radiación de 1000 W/m^2 a una temperatura de 25° C , existen

curvas que permiten visualizar estos parámetros y el comportamiento de las variables que caracterizan un panel.

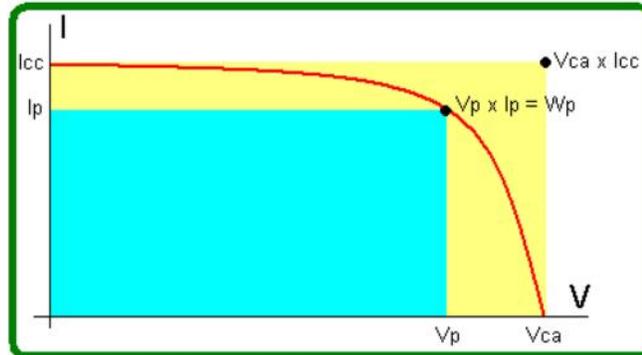


Figura 17. Curva I – V, de un panel solar.

Fuente: I.E.F.P.S. SAN JORGE.¹³

Existen otras gráficas muy importantes para caracterizar a los paneles solares, una muy importante es la que muestra las curvas y los puntos de máxima potencia, PMP, para diferentes valores de radiación solar.

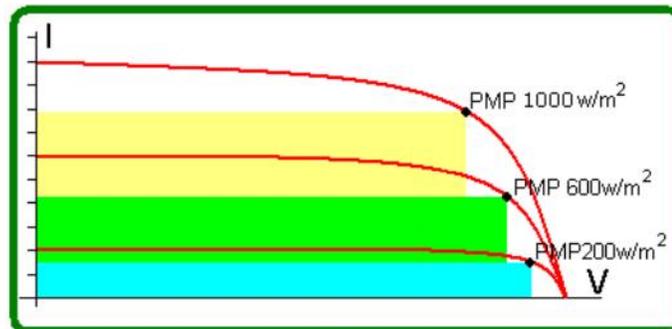


Figura 18. Puntos de máxima potencia en un panel.

Fuente: I.E.F.P.S. SAN JORGE.

¹³ I.E.F.P.S. SAN JORGE. Capítulo 1, tema 1-2: La célula fotovoltaica. p. 9. {En línea}.

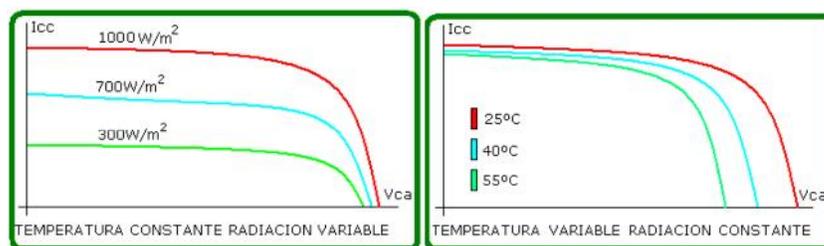


Figura 19. Efectos de la temperatura en un panel.

Fuente: I.E.F.P.S. SAN JORGE.

6.4.4 Regulador – Controlador de carga

El regulador de carga, en instalaciones solares fotovoltaicas, es un equipo electrónico que se requiere principalmente para garantizar la buena operación y vida útil de las baterías; aunque también, algunos tipos de reguladores, tienen funciones para cuidar y proteger los paneles y los equipos de la instalación.

Los reguladores de carga controlan la máxima corriente de carga, el máximo voltaje de carga y el mínimo voltaje de descarga de las baterías o acumuladores que reciben la energía eléctrica transformada por los paneles solares. Los reguladores impiden sobrecargas y descargas indebidas en las baterías evitando su deterioro y su mal funcionamiento; también impiden las corrientes inversas evitando que las baterías se descarguen a través de los paneles.

Existen dos tipos básicos de reguladores; el regulador tipo serie y el regulador tipo paralelo o shunt, que a su vez se encuentran en diferentes versiones según su funcionamiento durante los diferentes ciclos o etapas de carga de las baterías (carga, absorción, flotación e igualación).

6.4.4.1 Regulador tipo paralelo

Este tipo de regulador se instala en paralelo entre los módulos fotovoltaicos y las baterías, se caracteriza principalmente porque:

- Tiene un circuito en paralelo, puede ser una resistencia disipadora, que entra en operación cuando se ha alcanzado la carga completa de las baterías, y recibe la energía eléctrica generada en los paneles desviándola de las baterías para evitar su sobrecarga, de esta forma impide que se llegue a niveles altos de voltaje que las puedan afectar.

- Cuando las baterías se han descargado, hasta cierto nivel, el regulador las desconecta, mediante un interruptor, del circuito de carga y evita su descarga excesiva, impidiendo que se llegue a niveles bajos de voltaje y de carga que las puedan dañar.

- El regulador tipo paralelo tiene circuitos a base de diodos que impiden corrientes en sentido inverso, desde las baterías hacia los paneles, en las noches o días oscuros.

En la actualidad, existen reguladores con microprocesadores con capacidad para realizar funciones avanzadas de control de ciclos de carga, protección y monitoreo de las baterías. A partir del principio de funcionamiento de los reguladores tipo paralelo se han desarrollado equipos más completos y complejos.

Los reguladores en paralelo se caracterizan porque tienen, respectivamente, sus elementos activos en paralelo y sus elementos pasivos en serie con la carga; su funcionamiento consiste en reducir o recortar el voltaje de entrada (de la fuente de alimentación) y entregar, a la carga, un voltaje de salida más o menos constante; los regulares paralelo no tienen capacidad de elevar el voltaje de entrada. El elemento activo del regulador paralelo se encarga de ajustar permanentemente el voltaje de entrada al voltaje requerido por la carga, a continuación, se muestran un esquema y un circuito elemental en los cuales se puede apreciar el principio de funcionamiento de los reguladores paralelo.

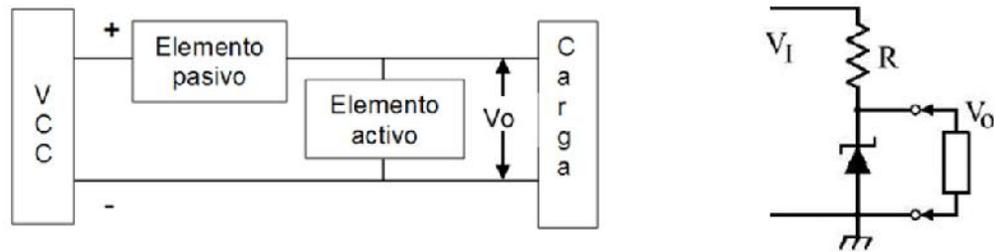


Figura 20. Esquema y circuito elemental de un regulador paralelo.

Fuente: <http://www.academia.edu/6492937/>

En el circuito de la figura anterior el diodo zener y la resistencia se deben seleccionar de acuerdo con el voltaje de entrada, voltaje de salida y corriente de salida requerido por la carga. Como se puede apreciar, en el circuito elemental, la resistencia R y el diodo zener disipan mucha energía, haciendo que la eficiencia de este circuito sea muy mala; adicional, las regulaciones de línea y de carga son muy bajas. Por ejemplo, si se resuelve el circuito para un “ V_i ” igual a 8-12 Vcc, una carga que consume 100 mA y que requiere un “ V_o ” igual a 5 Vcc se encuentra que la eficiencia es igual al 22%, mientras que la regulación de carga es igual al 8 % y la regulación de línea es igual al 31 %.

6.4.4.2 Regulador tipo serie

Este tipo de regulador se instala en serie entre los módulos fotovoltaicos y las baterías, se caracteriza principalmente porque:

- Cuando se ha alcanzado la carga completa de las baterías, el regulador las desconecta, mediante un interruptor, del circuito de generación eléctrica y evita su sobrecarga, impidiendo que se llegue a niveles altos de voltaje que las puedan afectar.
- Cuando las baterías se han descargado, hasta cierto nivel, el regulador las desconecta, mediante un interruptor, del circuito de carga y evita su descarga

excesiva, impidiendo que se llegue a niveles bajos de voltaje y de carga que las puedan dañar.

Los reguladores serie se caracterizan porque sus elementos activos se encuentran en serie con la carga y, al igual que el regulador paralelo, su funcionamiento consiste en reducir o recortar el voltaje de entrada (de la fuente de alimentación) y entregar, a la carga, un voltaje de salida más o menos constante; los reguladores serie no tienen capacidad de elevar el voltaje de entrada. El elemento activo del regulador serie es el transistor y por este circula la corriente de carga; por la resistencia R y el zener (llamado elemento de referencia) circula la corriente base del transistor. A continuación, se muestra un esquema y un circuito básico en los cuales se puede apreciar el funcionamiento de los reguladores serie.

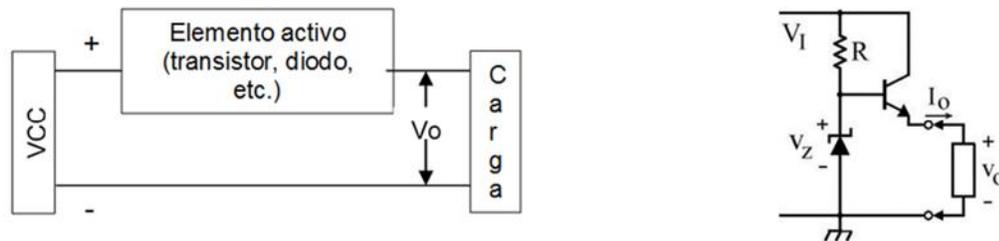


Figura 21. Esquema y circuito elemental de un regulador serie.

Fuente: Fuente: <http://www.academia.edu/6492937/>

Con el fin de mejorar la regulación de tensión (en un valor de V_{BE}) en el circuito de la figura anterior se adiciona una resistencia de sangría en serie con el transistor, de la siguiente forma,

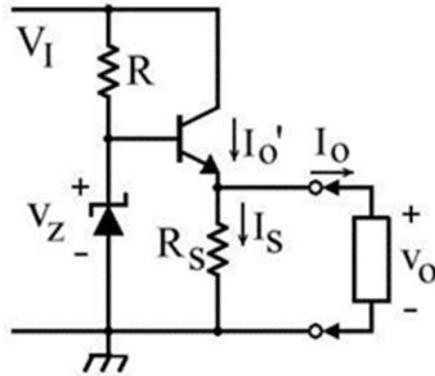


Figura 22. Esquema y circuito elemental de un regulador serie.

Fuente: <http://www.academia.edu/6492937/>

Para diseñar el circuito de la figura anterior, se deben tener en cuenta el voltaje de entrada, voltaje y corriente de salida requerido por la carga, para calcular todos sus elementos: transistor, el diodo zener y las resistencias R y R_S .

Ya que la mayoría de la corriente circula por el transistor, y no por la resistencia, la eficiencia es mucho mejor que la de los reguladores tipo paralelo, aunque las pérdidas en el transistor, resistencia siguen siendo importantes. Por ejemplo, si se resuelve el circuito para un V_I igual a 8-12 Vcc, una carga que consume 100 mA y que requiere un V_O igual a 5 Vcc se encuentra que la eficiencia es igual al 40%, mientras que la regulación de carga es igual al 2.53 % y la regulación de línea es igual al 3.65 %.

Con la finalidad de mejorar la eficiencia y la regulación se construyeron muchos arreglos que incluyen transistores y amplificadores operacionales hasta llegar a reguladores integrados que son usados como referencias. A continuación, se muestra un regulador serie que utiliza un diodo zener como referencia, un amplificador operacional que se utiliza para la amplificación del error y un para Darlington que sirve para amplificar la señal unas 1000 veces.

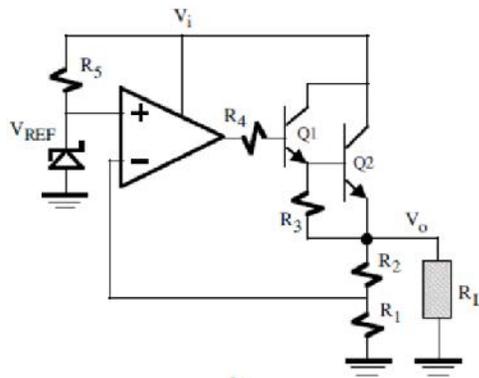


Figura 23. Regulador de tensión en serie basado en un AO.

Fuente: http://unicrom.com/Tut_regulacion_voltaje_serie.asp

La carrera de los reguladores monolíticos se inició hace casi 50 años cuando se logró construir en un circuito integrado un regulador similar al de la figura anterior. Existen en el mercado gran cantidad de reguladores que se pueden aprovechar y utilizar en variadas situaciones. Estos reguladores son utilizados para aplicaciones fotovoltaicas de muy baja potencia (calculadoras, relojes, linternas, juguetes, etc)

6.4.4.3 Regulador modulador de ancho de pulsos (PWM)

- Regulador PWM. Este regulador tiene capacidad de controlar la corriente de carga de las baterías cuidando que no se superen los voltajes de carga máxima permitidos. Su funcionamiento se basa en modificar los ciclos de trabajo de la señal del voltaje de entrada (recibida desde los paneles) para igualarla al valor del voltaje de la batería e inyectar corriente en cantidades adecuadas para cargar las baterías de acuerdo con sus ciclos de carga: carga inicial, absorción y flotación. Los reguladores PWM, solo permiten reducir el voltaje de entrada y no pueden elevar el voltaje ni la corriente; esto significa que hay un desperdicio de la energía eléctrica recibida desde los paneles.

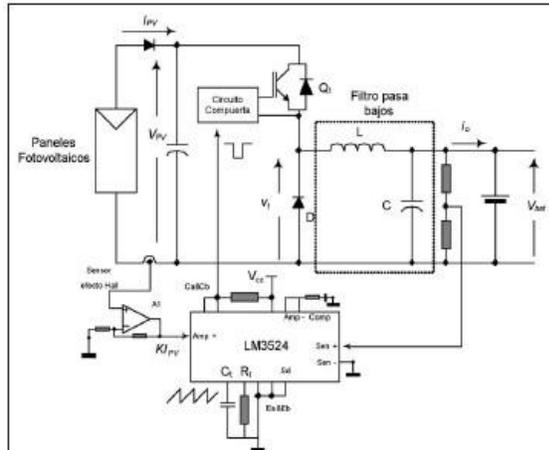


Figura 24. Regulador de tensión PWM (con integrado LM3524) en un sistema fotovoltaico.

Fuente: <http://www.scielo.org.ve/img/fbpe/uct/v10n39/art09fig2.jpg>

- Modulación por ancho de pulsos PWM (Pulse Width Modulation, PWM).

La modulación por ancho de pulsos (PWM) consiste en modificar el ciclo de trabajo de una señal eléctrica, ampliando o disminuyendo la duración de los tiempos para los cuales la señal toma valores diferentes de cero. En un circuito, el ancho de pulso de la señal de salida se puede modificar mediante la conmutación o "suicheo"; este suicheo se puede alcanzar aplicando una señal PWM en algún elemento de conmutación del circuito (un transistor, mosfet o IGBT), a esto se le conoce como conmutación por modulación de ancho de pulso. El ciclo de trabajo se da en unidad y determina el valor del voltaje de salida, la expresión matemática es la siguiente,

$$D \equiv \frac{t_o}{t_o + t_i} = \frac{t_o}{T} \quad \text{Donde,}$$

$$D = C \quad d \quad t_i$$

$$T = p \quad d \quad l \quad s \quad ñ \quad a \quad d \quad s \quad u \quad i \quad c \quad h \quad e \quad o \quad d \quad l \quad s \quad ñ \quad a \quad P$$

$$t_o = T \quad d \quad c \quad ó \quad n \quad d \quad l \quad s \quad ñ \quad a$$

$$t_o = T \quad s \quad i \quad c \quad ó \quad n \quad d \quad l \quad s \quad ñ \quad a \quad (b \quad)$$

Para el caso de un circuito resistivo con una fuente DC, el valor del voltaje de salida se da por la siguiente expresión,

$$V = D * V_s \quad \text{Donde,}$$

$$V = V_s \quad \text{d e}$$

$$V = V_s \quad \text{d e} \quad (\text{fuente})$$

$$D = C \quad \text{d t}$$

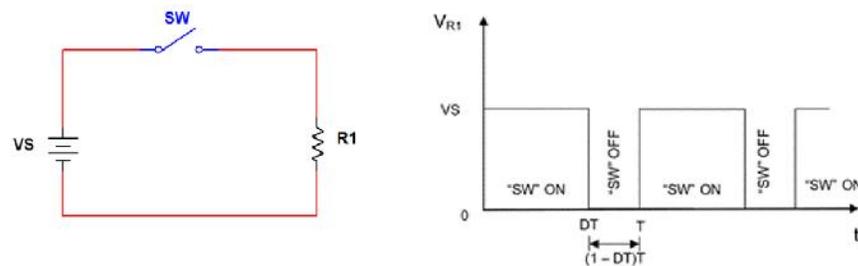


Figura 25. Voltaje de salida circuito resistivo con conmutación en SW, ciclo de trabajo D.

La modulación PWM, es un procedimiento de control muy utilizado para variar los voltajes de salida en los convertidores DC/DC y en los inversores DC/AC.

Un circuito PWM básico consta de un sistema de control que tiene un comparador con dos entradas y una salida. Una de las entradas obedece a un algoritmo de control, la otra es una onda periódica que sirve de portadora; la señal de salida es la señal PWM.

Hoy en día, las técnicas de modulación digital han superado a las analógicas, existen varios métodos para construir señales PWM de acuerdo con las necesidades y requerimientos técnicos del circuito.

6.4.4.4 Regulador controlador de máxima potencia (MPPT)

El regulador controlador MPPT (Maximum power point tracker) aprovecha al máximo la energía solar recibida durante todo el día y todas las épocas del año, incluso la tomada en días nublados y oscuros; está diseñado para regular el voltaje generado por los paneles, de tal forma que se pueda inyectar corriente, de forma controlada, para cargar las baterías la mayor parte del tiempo. Se puede decir que funciona como un convertidor de CC/CC reductor – elevador aprovechando la máxima potencia generada por los paneles.



Figura 26. Regulador de máxima potencia MPPT.

Fuente: <http://www.steca.com/index.php?Steca-Tarom-MPPT-es>

Además, el regulador de máxima potencia, puede tener otras funciones que lo hacen el más completo y complejo de los reguladores existentes en el mercado. Este tipo de regulador será el que se utiliza en el diseño de este proyecto de grado.

El regulador controlador MPPT se caracteriza porque tiene un convertidor DC/DC que sirve para reducir o elevar el voltaje de entrada, manteniéndolo constante a su salida, y una sección de control para extraer la máxima potencia tomada por los paneles solares en cualquier instante. Sus elementos activos se encuentran en serie y en paralelo con la carga, se clasifica como un regulador de conmutación PWM. El esquema de control del sistema solar fotovoltaico con controlador MPPT se muestra a continuación,

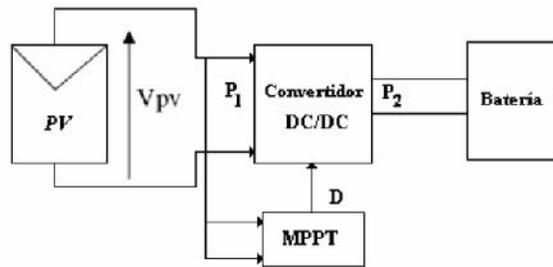


Figura 27. Esquema de sistema solar fotovoltaico con controlador tipo MPPT.

Fuente: <http://repositorio.utp.edu.co>

- Convertidor reductor – elevador DC/DC. El convertidor consta, principalmente, de un mosfet, de un diodo tipo schoottky, una inductancia, un capacitor y tiene la capacidad de reducir o elevar el voltaje de entrada, recibido de los paneles, y mantenerlo constante a su salida, o sea la entregada a las baterías. El circuito trabaja de acuerdo con el ciclo de trabajo del control MPPT haciendo conmutar el transistor Mosfet (SW) y dejando o impidiendo la circulación de corriente a través de la inductancia L. En el modo ON el mosfet (SW) permite que circule corriente por la bobina L y almacena esta energía en forma de campo magnético (el diodo está polarizado inversamente y no deja pasar corriente hacia el capacitor). En el modo OFF no circula corriente de la fuente, pero el diodo permite la circulación de corriente hacia el capacitor y hacia las baterías.

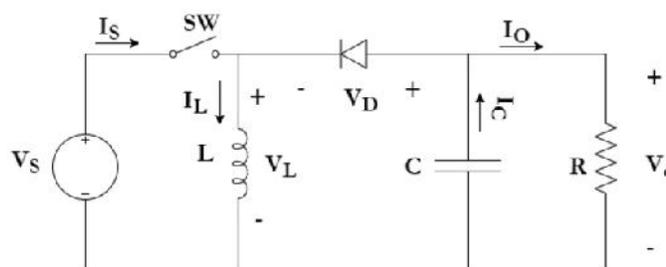


Figura 28. Esquema de un reductor–elevador DC/DC.

Fuente: <http://repositorio.utp.edu.co>

- Control MPPT (maximum power point tracker). El sistema de control MPPT se basa en la implementación física de un algoritmo que busca aprovechar la máxima potencia recibida de los paneles y aprovecharla para entregarla a una carga o a un banco de

baterías a un voltaje dado. En el caso de que el voltaje generado supere el que debe ser entregado, el control MPPT lo reduce y aumenta la corriente, y viceversa; de tal forma que no se desperdicia nada de la potencia recibida.

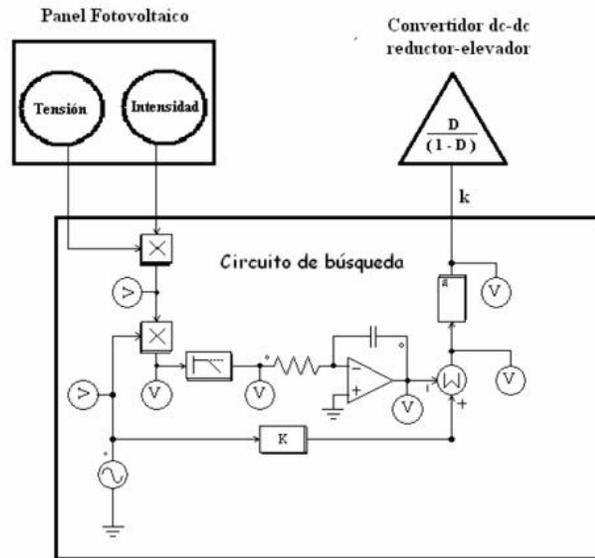
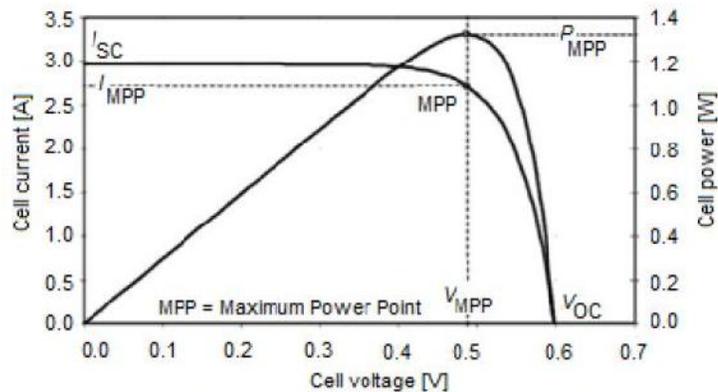


Figura 29. Esquema del sistema MPPT.

Fuente: <http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/1096res.pdf>



Generic photovoltaic cell current-voltage curve (Quaschnig, 2005).

Figura 30. Curvas de corriente y de máxima potencia en una celda solar.

Fuente: <https://jmirez.files.wordpress.com>

- Eficiencia del controlador regulador MPPT.

Observando los datos técnicos de los diferentes fabricantes de estos equipos se llega a la conclusión de que los rendimientos de los sistemas de seguimiento del punto de máxima potencia oscilan entre el 93% y el 99%. Esta altísima eficiencia se podría calcular si se tienen todos los datos de los elementos del circuito y si se conoce el ciclo de trabajo del MPPT. De todas formas, se aprecia que el mosfet trabaja en las zonas de bloqueo (OFF) y de conducción (ON) con la frecuencia del ciclo de trabajo, y que las pérdidas en el diodo, inductancia y capacitor son muy bajas.

6.4.4.5 Características técnicas de un regulador de carga

Las características más importantes de un regulador de carga solar son:

- Potencia nominal: Es la máxima potencia que puede transformar el regulador de carga a corriente y voltaje nominal.
- Voltaje nominal: Es el voltaje de funcionamiento del regulador.
- Corriente nominal: Es la corriente de funcionamiento del regulador.
- Eficiencia máxima: Es la relación entre la máxima potencia de salida y la máxima potencia de entrada del regulador.

Valores de entrada:

- Voltaje de operación: Es el rango de voltaje para el cual el regulador funciona correctamente.
- Voltaje de circuito abierto del módulo: Es el rango de voltaje límite de funcionamiento del regulador.

- Corriente del módulo: Es la corriente máxima que puede recibir el regulador del módulo.

Valores de salida:

- Corriente de carga: Es la corriente nominal que puede entregar el regulador a la carga.

- Voltaje de carga: Es el voltaje nominal que entrega el regulador a la carga.

- Voltaje de carga reforzada: Es el voltaje que puede entregar el regulador para carga rápida de las baterías.

- Voltaje de reconexión: Es el nivel de voltaje mínimo para el cual se puede conectar la carga al regulador.

- Voltaje de desconexión: Es el nivel de voltaje mínimo para el cual se debe desconectar la carga del regulador.

6.4.5 Baterías o acumuladores

Las baterías, en un sistema solar fotovoltaico, tienen la función de almacenar la energía eléctrica recibida de los módulos solares y tenerla disponible para transformarla y utilizarla cuando y como el usuario lo requiera.

Las baterías para almacenamiento de energía son equipos que pueden transformar la energía eléctrica y almacenarla en forma de energía química, y que posteriormente, son capaces de liberar en forma de energía eléctrica la energía química almacenada. Existen muchos tipos de baterías según los materiales utilizados en su construcción. Sin embargo, en este proyecto se utilizarán las

baterías de plomo – ácido tipo gel, de descarga profunda, ya que son las más adecuadas para utilizar en los sistemas solares fotovoltaicos.

6.4.5.1 Baterías de plomo - ácido

Las baterías de plomo – ácido tienen muchas aplicaciones, son utilizadas comúnmente en los vehículos, también se denominan baterías tipo SLI (starting, lighting, ignition). Su componente principal es el plomo, se utiliza como electrolito el ácido sulfúrico, su funcionamiento se basa en reacciones químicas de oxidación y reducción que ocurren en los electrodos de la batería cuando reciben electricidad y que se invierten cuando ceden electricidad. El electrolito, ácido sulfúrico, puede ser líquido o en forma de gel.

Una batería de plomo-ácido puede estar conformada por uno o varios vasos, o celdas, donde cada vaso genera entre sus terminales, ánodo y cátodo, un voltaje máximo de 2,08 Vdc. En el mercado se encuentran baterías de 2, 6, 12, 24 y 48 Vdc; en estos casos las baterías estarían construidas con 1, 3, 6, 12 y 24 vasos respectivamente.

Las baterías comunes, construidas a base de plomo – ácido tienen como gran inconveniente su rápido deterioro cuando se someten a sobrecargas o a sobredescargas excesivas, pues estas ocasionan altas temperaturas en su interior, que destruyen los electrodos y el electrolito. Durante las sobrecargas se produce la corrosión y en las sobredescargas la sulfatación de los electrodos.



Figura 31. Batería tipo Gel - 12V, 100Ah, C100.

Fuente: <http://www.tutiendasolar.es/img/prod/otros/Trojan-gel27.png>

Para aprovechar al máximo la energía solar en las instalaciones fotovoltaicas se requiere de baterías con capacidad para soportar muchos ciclos de trabajo a descargas profundas; por esto se han ideado variantes mejoradas o modificadas de las baterías de plomo - ácido comunes. Las baterías mejoradas para aplicación solar se obtienen modificando el tamaño y la composición química de los electrodos y cambiando las características del electrolito.

Una batería común de plomo ácido está compuesta por los siguientes elementos: un conjunto de placas positivas (electrodo positivo) construidas con peróxido de plomo, un conjunto de placas negativas (electrodo negativo) construidas con plomo esponjoso, y un electrolito (agua pura con ácido sulfúrico) que sirve para conducir corriente entre los electrodos. Si una batería, de 12 Vcc, está completamente cargada la diferencia de potencial entre sus electrodos es de 12.7 Vcc. Cuando se conecta una carga eléctrica entre sus terminales circula corriente entre sus electrodos y ambos electrodos van perdiendo carga y se van transformando poco a poco hasta llegar a convertirse en sulfato de plomo (con potenciales iguales) sin posibilidad de alimentar la carga; en este momento la batería está descargada y es necesario aplicar voltaje entre sus electrodos para cargarla de nuevo. Durante la carga el electrodo negativo se va convirtiendo de nuevo en plomo esponjoso, el electrodo positivo en peróxido de plomo y el electrolito va recuperando su densidad hasta que la batería queda cargada. El ciclo de la carga y descarga de la batería de plomo ácido se muestra en la figura siguiente,

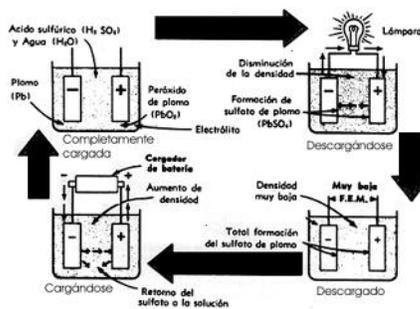


Figura 32. Esquema de carga y descarga de una batería de plomo ácido.

Fuente: <http://www.sapiensman.com/electrotecnia/imagenes/pila5.gif>

6.4.5.2 Baterías de níquel - cadmio

Las baterías o acumuladores de níquel – cadmio son mejores que las de plomo – ácido, pero menos utilizadas por su alto costo. Las celdas o vasos generan entre sus terminales 1,3 V dc. Actualmente existen muchos tipos de baterías similares a las de níquel – cadmio.

6.4.5.3 Características técnicas de las baterías

Las características nominales de una batería se definen para un tiempo y para una temperatura dadas por el fabricante, las más importantes son:

- Tipo de batería: Las baterías se clasifican básicamente según los materiales de los electrodos y de su electrolito.

- Capacidad nominal, C_B : Es la cantidad de energía que puede almacenar la batería o acumulador, se da en Ah (amperios hora).

- Capacidad útil, C_U : Es la cantidad de energía que puede entregar la batería sin que se afecte su vida útil.

- Voltaje nominal, Vdc: Es el voltaje de funcionamiento de la batería, Vdc.

- Corriente nominal: Es el valor de corriente constante con la que se puede descargar la batería en un determinado número de horas dado por el fabricante.

- Eficiencia máxima: Es la relación entre la máxima potencia de salida y la máxima potencia de entrada de la batería.

- Profundidad de descarga máxima, PD: Es un valor que relaciona la capacidad útil y la capacidad nominal de la batería, indica la descarga máxima a la que puede llegar la batería sin que alteren sus valores nominales.

- Número de ciclos: Es el número de periodos de carga y descarga que alcanza a cumplir una batería antes de que su capacidad nominal disminuya al 80%.

- Corriente de carga: Es el valor ideal de corriente para cargar la batería sin que se alteren sus electrodos y el electrolito. No debe superar el 10% del valor de su capacidad. Si una batería tiene capacidad de 100 Ah no se debe cargar con más de 10 A.

- Máximo voltaje de carga: Es el máximo voltaje que se puede aplicar a la batería, durante su carga, sin deteriorarla. No debe exceder el 5% del voltaje nominal.

- Mínimo voltaje de descarga: Es el mínimo voltaje al cual la batería puede entregar energía (alimentar la carga) sin que se deteriore. No debe ser menor que el voltaje nominal menos el 5%.

6.4.6 Inversor de voltaje DC - AC

En un sistema fotovoltaico, un inversor de corriente DC – AC es un equipo que transforma la corriente directa (DC), recibida de los paneles o almacenada en las baterías, en corriente alterna (AC) de tal forma que pueda ser aprovechada por los equipos eléctricos allí instalados (iluminación, electrodomésticos, equipos industriales, etc.).



Figura 33. Inversor senoidal 3000 W, 12V / 220 V.
Fuente: <https://autosolar.es/inversores/inversores-12V>

Existen muchos tipos de inversores o convertidores de voltaje DC – AC, se pueden clasificar de acuerdo con: su topología de construcción en inversores de medio puente y de puente completo; según la señal de salida en inversores de onda cuadrada, de onda diente de sierra o triangular, y de onda senoidal; también hay convertidores monofásicos y trifásicos.

Los inversores se deben seleccionar de acuerdo con su aplicación y según las necesidades y características de la instalación y de los equipos eléctricos que se van a alimentar. Se debe tener en cuenta si el regulador va a estar alimentado por baterías o directamente de los paneles.

- Criterios de diseño de un inversor DC/AC

En el diseño de un inversor se debe tener en cuenta el que este equipo consta de una sección de control y una sección de potencia. Los inversores se clasifican: de acuerdo con su alimentación en inversores VSI (alimentación con fuente de voltaje de voltaje) y en CSI (con fuente de corriente); de acuerdo con el número de fases en monofásicos y trifásicos, los monofásicos se utilizan para potencias de hasta 5 kW y los trifásicos de potencias mayores a 5 kW, y de acuerdo con el sistema de control en inversores de tensión fija y de tensión regulada. Los inversores de tensión regulada se clasifican, a su vez, de acuerdo con el tipo de modulación utilizado en su sistema de control; uno de los mas comunes es la modulación senoidal PWM

unipolar, con la cual se obtienen inversores de muy buena calidad de energía (onda seno, bajas pérdidas y bajo contenido de armónicos). Los inversores de tensión fija, en general, generan ondas cuadradas a su salida.

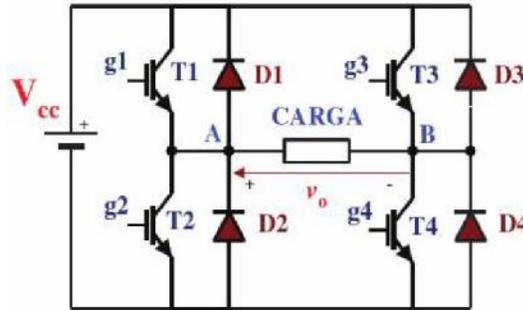


Figura 34. Sección de potencia en inversor monofásico tipo “puente completo”.

Fuente: Convertidores electrónicos: energía solar fotovoltaica, aplicaciones y diseño.

Los elementos más importantes en la sección de potencia de un inversor DC/AC son los interruptores controladores de potencia estos se seleccionan teniendo en cuenta, especialmente, las magnitudes y frecuencias de los voltajes y corrientes de alimentación y de salida; para el caso de voltajes menores de 200 V, corrientes menores de 500 A y bajas frecuencias, son adecuados los transistores tipo MOSFET; por lo tanto, estos son los interruptores controladores de potencia que se deben utilizar en el inversor de este proyecto.

El sistema de control que garantiza una onda senoidal regulada a la salida, con bajo contenido de armónicos (señales no requeridas ni deseadas) y bajas pérdidas en el inversor; es la modulación senoidal PWM unipolar (SPMW unipolar). En la modulación SPMW unipolar, cada rama del puente es controlada independientemente, para el control de una rama se utiliza una señal que resulta de comparar una señal triangular con una señal de referencia V_{ref} (senoidal), y para el control de la otra rama la señal SPWM se obtiene de comparar la señal triangular con una señal contraria a la de referencia $-V_{ref}$. La señal de salida V_o y las señales de control y comparación se muestran en la siguiente figura,

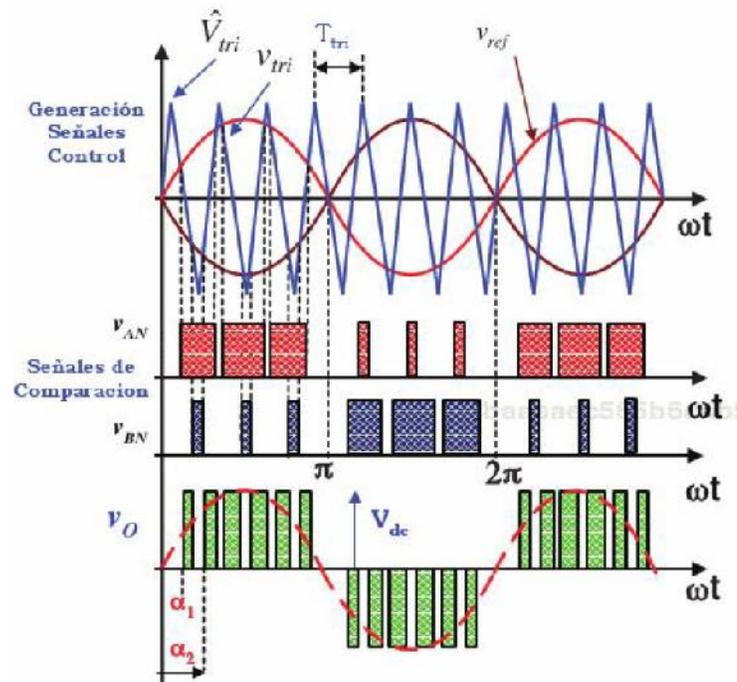


Figura 35. Señal de salida V_o , señales de control y de comparación para las ramas A y B.

Fuente: Convertidores electrónicos: energía solar fotovoltaica, aplicaciones y diseño.

La primera señal de comparación (primera señal SPWM) se aplica en las puertas de los mosfets T1 y T2 de la rama A, la segunda señal SPWM se aplica en las puertas de los mosfets T3 y T4; de esta forma se obtienen entre A y V el voltaje de salida V_o . Como se puede observar en la figura anterior, la señal de salida se forma con pequeños pulsos continuos que se asemejan a una onda seno. El funcionamiento del circuito de potencia es el siguiente:

Cuando T1 y T4 conducen: $V_A = V_d$; $V_B = 0$; $V_o = +V_d$

Cuando T2 y T3 conducen: $V_A = 0$; $V_B = V_d$; $V_o = -V_d$

Cuando T1 y T3 conducen: $V_A = V_d$; $V_B = V_d$; $V_o = 0$

Cuando T2 y T4 conducen: $V_A = 0$; $V_B = 0$; $V_o = 0$

Para un circuito de potencia que maneje un voltaje de entrada igual 24 Vdc y una corriente de 150 Adc, la selección de los MOSFETS sería como sigue:

Se realizan los cálculos con un factor de seguridad del 25%,

$$I_D \geq I_{i_i} * 1.25 \geq 150 * 1.25 \geq 187.5 A$$

$$V_D \geq V_{i_i} * 1.25 \geq 24 * 1.25 \geq 30 V$$

Con estos datos se selecciona de las hojas de datos de los fabricantes el Mosfet a utilizar, en este caso sirve un Mosfet referencia IRL3713SPbF, marca IOR, de las siguientes características,

$$V_D = 30 V$$

$$I_D = 260 A \quad (\text{a } 25 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$V_G = \pm 20 V$$

$$R_D = 3 m\Omega \quad (\text{con } V_{GS} = 10 V)$$

En este punto hay que tener en cuenta que el voltaje de salida es una señal senoidal con valor medio de 24 Vca y que para obtener un voltaje de 120 Vac, el inversor debe tener un transformador elevador de las siguientes características,

$$P = I_{i_i} * V_{i_i} * 1.1 = 150 * 24 * 1.1 = 3960 W$$

$$P = 3960 W \quad (\text{para una carga con factor de potencia } 0.8)$$

$$V_1 = 24 V$$

$$V_2 = 120 V$$

Además, el inversor debería llevar un filtro pasabajos para eliminar los armónicos y generar una onda cercana a una senoidal pura.

- Distorsión Armónica total (THD)

Como se ha podido ver en la sección anterior, la onda de salida en el inversor, es una señal que se obtuvo a partir de convertir en pequeños pulsos la señal de

alimentación del inversor, y no es una onda senoidal pura como sería el ideal, ya que los equipos eléctricos comunes, en su mayoría, están diseñados para este tipo de corrientes. Las imperfecciones de la onda de salida causan mal funcionamiento y recalentamiento de los equipos. Para calcular estas imperfecciones, respecto de una onda senoidal, existe un método matemático que se llama Distorsión Armónica total (THD).

El método se apoya en las series de Fourier, que son una forma matemática de expresar una onda periódica, cualquiera, en función de ondas seno y coseno.

$$V_0 = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1,2,3\dots}^{\infty} (a_n * \cos n + b_n * \text{sen } n)$$

Donde a_0 es la componente de continua y el término n representa el orden de la componente armónica.

En el caso de una onda rectangular cuadrada la descomposición en sus armónicos queda representada por,

$$V_{A0} = \sum_{n=1,2,3\dots}^{\infty} \left(\frac{4}{n} \frac{V_d}{2} * \text{sen } n \right)$$

Donde,

$n=1$, se llama componente armónica fundamental,

$n=3$, se llama componente armónico 3,

$n=5$, se llama componente armónico 5, etc.

Los armónicos obtenidos se muestran en la figura siguiente,

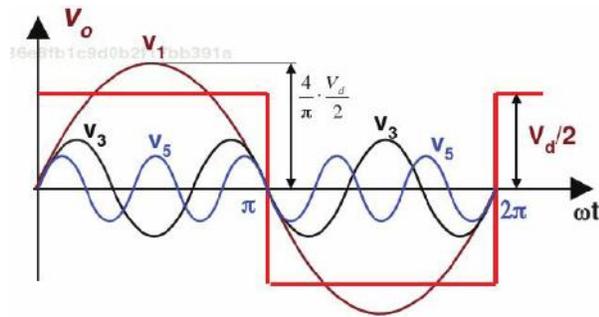


Figura 36. Descomposición de una onda cuadrada: onda fundamental V_1 , armónicos V_3 y V_5 .
Fuente: Convertidores electrónicos: energía solar fotovoltaica, aplicaciones y diseño.

Después de tener las definiciones anteriores se puede definir la “Distorsión Armónica Total (THD)” como la medida de la relación entre el armónico fundamental y entre todos los demás armónicos de la señal y está dado por la siguiente expresión,

$$T = \frac{1}{V_{A0}} \sqrt{\sum_{n=3,5,7,\dots}^{\infty} V_{A0n}^2}$$

Donde,

V_{A01} : Valor eficaz de la componente fundamental ($n=1$)

V_{A0n} : Valor eficaz de la componente armónica (n)

- Factor de Potencia ($\cos\phi$).

Otro parámetro importante a tener en cuenta en la selección de un inversor es su factor de potencia, pues su valor depende del factor de potencia de la carga que va a alimentar el inversor.

El factor de potencia se define como el coseno del ángulo ($\cos\phi$) que hay entre las señales de voltaje y de corriente. En un circuito eléctrico la señal de corriente puede estar en fase, adelantada o retrasada respecto de la señal de voltaje. En un circuito

resistivo la corriente y el voltaje están en fase y el ángulo es cero (0), y el factor de potencia es igual a uno (1); en los circuitos con carga resistiva-inductiva la corriente está retrasada respecto del voltaje y el factor de potencia es diferente de uno (1) en atraso; en los circuitos con carga resistiva-capacitivo la corriente está adelantada respecto del voltaje y el factor de potencia es diferente de uno (1) en adelanto. El factor de potencia tiene valores entre 0 y 1 en atraso o adelanto.

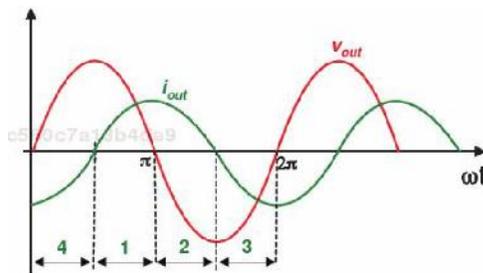


Figura 37. Corriente en atraso a la salida de un inversor con carga inductiva.

Fuente: Convertidores electrónicos: energía solar fotovoltaica, aplicaciones y diseño.

En los circuitos eléctricos, dependiendo del ángulo entre las corrientes y voltajes, se definen tres tipos de potencia: potencia aparente, potencia activa y potencia reactiva (en atraso o adelanto). Las expresiones matemáticas del factor de potencia y de las potencias son,

$$f.p = \cos \phi$$

$$P = V * I * \cos \phi \quad (\text{potencia activa})$$

$$Q = V * I * \sin \phi \quad (\text{potencia reactiva})$$

$$S = V * I \quad (\text{potencia total o aparente})$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

6.4.6.1 Características técnicas de los inversores CC/CA

- Potencia nominal: Es la máxima potencia que puede convertir el inversor.
- Eficiencia: Es la relación entre la máxima potencia de salida y la máxima potencia de entrada del inversor.
- Temperatura de operación: Es la temperatura para la cual el inversor trabaja con sus valores nominales.

Valores de entrada:

- Voltaje nominal de entrada: Es voltaje nominal DC para el cual el inversor funciona correctamente.

Valores de salida:

- Forma de la onda de salida: Es la forma de la onda AC que se obtiene a la salida del inversor.
- Corriente nominal de salida: Es la corriente nominal AC que puede entregar el inversor a la carga, al voltaje nominal de salida.
- Voltaje nominal de salida: Es el voltaje nominal AC que entrega el inversor a la carga, cuando el inversor se alimenta al voltaje nominal DC.
- Frecuencia: Es la frecuencia de las ondas de salida.
- Distorsión armónica: Indica la pureza de las ondas de salida.

- Regulación: Indica el rango del voltaje de entrada para el cual se conserva el valor del voltaje nominal de salida.
- Fases: Es el número de fases del inversor, un inversor puede ser monofásico o trifásico.

6.5 MARCO LEGAL

Referente a las disposiciones y normas legales relacionadas con las instalaciones solares fotovoltaicas en Colombia existen: Leyes que regulan, promueven el uso de las energías alternativas y que reglamentan la producción de energía eléctrica fotovoltaica y su conexión a las redes eléctricas públicas; y normas, que son del alcance de este trabajo, eminentemente técnicas, que rigen las características técnicas y la calidad de las instalaciones solares fotovoltaicas (construcción, materiales, equipos etc.).

6.5.1 Leyes

El congreso de Colombia promulgó en mayo 14 de 2014, “La ley No. 1715, por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional”. Esta es la ley más reciente de las relacionadas con las energías alternativas y tiene por objeto regular, promover, incentivar y reglamentar el uso, la aplicación y el desarrollo de las energías alternativas en Colombia. Sin embargo, no se profundizará sobre esta ley en este trabajo, ya que este es de orientación más técnica que legal.

6.5.2 Normas técnicas

El ICONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas) ha publicado varias normas que aplican en el diseño y construcción de instalaciones solares fotovoltaicas y que serán tenidas en cuenta en este diseño:

- Definiciones: Las definiciones relacionadas con las instalaciones solares fotovoltaicas se tratan en las normas NTC 2775 y NTC 1736.

- Paneles solares: Las características y las especificaciones para los paneles solares fotovoltaicos se tratan en la norma NTC 2883.

- Baterías: Las características y las especificaciones para las baterías solares fotovoltaicas se tratan en las normas NTC 2959 y NTC 5287.
- Instalaciones: Las características y las especificaciones para las instalaciones solares fotovoltaicas se tratan en las normas GTC 114 y NTC 2050.

7. MARCO METODOLÓGICO

7.1 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La metodología que se ha seguido y que se aplicará en las siguientes fases de este trabajo corresponde al método científico. El método científico, es una forma ordenada y planificada, desarrollada y propuesta, para realizar trabajos de investigación en todas las ciencias teóricas y aplicadas, que abarca los diseños de ingeniería. Las fases características del método científico son; la observación, el planteamiento del problema y de las hipótesis, la solución del problema y las conclusiones.

Los aspectos metodológicos que aplican para los diseños en ingeniería son los estudios de tipo descriptivo y explicativo, y los métodos de investigación a utilizar son los de análisis y de síntesis.

7.2 UNIVERSO Y MUESTRA

El trabajo aplica, en primera instancia, para viviendas, con cargas eléctricas hasta de 3 kW a 120 Vac, localizadas en la vereda de Carupana, municipio de Tauramena. De acuerdo con información en la página web de la alcaldía, el municipio de Tauramena contaba, en el año 2012, con una población total de 19191; de los cuales 13751 (72 %) se encuentran ubicados en la cabecera municipal y los 5440 (28 %) restantes se encuentran repartidos en la zona rural. De los habitantes rurales, 143 (3 %) corresponden a la vereda de Carupana, estos 143 habitantes de Carupana se encuentran distribuidos, aproximadamente, en 45 familias que son las que podrían resultar beneficiadas, directamente, con el diseño presentado en este trabajo.

Hay que tener en cuenta que para fines de este trabajo se eligió la vereda Carupana por dos razones; porque es necesario definir un lugar geográfico para realizar los cálculos de radiación solar y para caracterizar los equipos, y porque este trabajo

puede servir como complemento a otros estudios existentes relacionados con el mismo tema y realizados para este mismo sitio o sitios cercanos.

Sin embargo, se puede afirmar, con mucha certeza, que la instalación solar fotovoltaica diseñada en este trabajo, con unos mínimos y pequeños ajustes, se puede aplicar y sirve como solución a la necesidad de suministro de energía eléctrica para las más de 432 mil viviendas localizadas en sitios alejados de las ciudades o poblaciones colombianas en donde no se cuenta con redes de energía eléctrica ni con generadores alimentados con combustibles convencionales.

7.3 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN Y DE INFORMACIÓN

La mayoría de la información que se utilizará será del tipo secundaria; normas y textos de consulta.

7.3.1 Normas de consulta

- Norma Técnica Colombiana 1736 (NTC 1736). Energía solar. Definiciones y Nomenclatura.

- Norma Técnica Colombiana 2775 (NTC 2775). Energía Solar Fotovoltaica. Terminología y Definiciones.

- Norma Técnica Colombiana 2883 (NTC 2883). Módulos fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino para aplicación terrestre. Calificación del diseño y aprobación de tipo.

- Norma Técnica Colombiana 2959 (NTC 2959). Energía fotovoltaica. Guía para Caracterizar las Baterías de Almacenamiento para sistemas Fotovoltaicos.

- Norma Técnica Colombiana 4405 (NTC 4405). Energía fotovoltaica. Eficiencia energética. Evaluación de la eficiencia de los Sistemas solares fotovoltaicos y sus Componentes.
- Norma Técnica Colombiana 5287 (NTC5287). Baterías para sistemas solares fotovoltaicos. requisitos generales y métodos de ensayo.
- Norma Técnica Colombiana 5433 (NTC5433). Informaciones de las hojas de datos y de las placas de características para los módulos fotovoltaicos.
- Norma Técnica Colombiana 6016 (NTC6016). Controladores de carga de batería para instalaciones fotovoltaicas, comportamiento y rendimiento.
- Norma Técnica Colombiana 6035 (NTC6035). Equipos fotovoltaicos (FV) autónomos. Verificación de diseño.
- Guía Técnica Colombiana 114 (GTC114). Especificaciones de Sistemas Fotovoltaicos para Suministro de Energía Rural Dispersa en Colombia.
- Norma Técnica Colombiana 2050 (NTC2050 - Código Eléctrico Colombiano). Se consultará la sección 690, correspondiente a los sistemas solares fotovoltaicos.

7.3.2 Libros de consulta

- ENRÍQUEZ HARPER, Gilberto. Instalaciones y sistemas fotovoltaicos. México: Limusa, 2014. 334 p.
- MADRID VICENTE, Antonio. Energía Solar Térmica y de Concentración: Manual Práctico de Diseño, Instalación y Mantenimiento. Madrid: AMV Ediciones y Mundi-Prensa, 2009. 326 p.

- ROLDÁN VILORIA, José. Instalaciones solares fotovoltaicas. Madrid: Paraninfo, 2010. 387 p.

- GIBILISCO, Stan. Manual portátil de electrónica. México: McGraw Hill, 2001. 727 p.

7.4 METODOLOGÍA DE DESARROLLO

7.4.1 Metodología para “Determinar las especificaciones técnicas de los equipos que conformarían el sistema solar fotovoltaico”.

Básicamente este ítem se concentra en definir y determinar los parámetros técnicos generales a tener en cuenta, como punto de partida, para seleccionar y calcular la instalación solar fotovoltaica objeto de este proyecto.

En este punto quedará definida la topología de la instalación fotovoltaica, las características eléctricas de la instalación, la localización y condiciones ambientales del lugar de la instalación, los estándares comerciales de los equipos que se van a utilizar, las normas que aplican y rigen este tipo de instalaciones, y los organismos o instituciones técnicas que regulan la fabricación y comercio de los equipos que hacen parte de una instalación solar fotovoltaica.

El método utilizado en ésta fase corresponde a la consulta de información secundaria, es decir: a la lectura de libros técnicos, de normas y de manuales y catálogos de fabricantes.

7.4.2 Metodología para “Caracterizar y dimensionar cada uno de los equipos que conformarían el sistema solar”.

En esta segunda fase, de acuerdo con el objetivo general, quedarán definidas las características técnicas de cada uno de los equipos que harán parte de la instalación. Se determinarán las capacidades y todos los parámetros eléctricos que

caracterizan a los paneles, al regulador - controlador de carga, a las baterías, al inversor y al tablero de distribución eléctrico.

El método utilizado en ésta fase corresponde a la consulta de información secundaria, libros y normas técnicas reconocidas, para extraer y aplicar fórmulas y procedimientos físico – matemáticas relacionados con los sistemas solares fotovoltaicos.

7.4.3 Metodología para “Elaborar los esquemas y planos de la instalación solar fotovoltaica para 3 kW”.

En esta tercera fase, de acuerdo con el objetivo general y con los datos obtenidos en las dos anteriores, se realizarán esquemas y planos que indiquen lo datos técnicos relevantes de los equipos, que muestren la relación entre ellos y que permitan la implementación o ejecución de la instalación diseñada. Se realizarán los siguientes dibujos:

- Diagrama esquemático de la instalación
- Diagrama unifilar
- Localización general de equipos
- Esquema de conexión de los paneles
- Esquema de conexión de las baterías
- Esquema de conexión del regulador controlador de carga
- Esquema de conexión del inversor

8. DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO AISLADO CON CAPACIDAD PARA 3 KILOVATIOS

8.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS QUE CONFORMARÍAN EL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO (SFV).

8.1.1 Topología de la instalación solar fotovoltaica.

El diseño de la instalación solar fotovoltaica tratada en este proyecto aplica para viviendas localizadas en zonas alejadas de las ciudades sin suministro de energía eléctrica, es decir corresponde a una instalación del tipo aislada (no conectada a ninguna red pública). Una instalación fotovoltaica del tipo aislada, o tipo “Off Grid”, consta de paneles solares, regulador - controlador de carga, baterías, inversor DC/AC, tablero de distribución e instalaciones eléctricas. La topología para la instalación tipo aislada de nuestro objeto se muestra en el siguiente esquema.

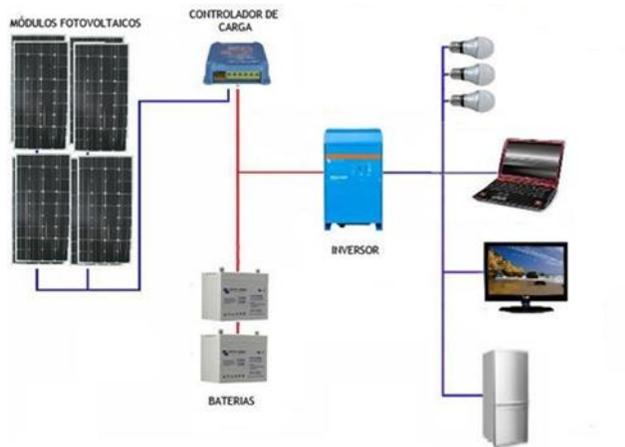


Figura 38. Topología de una instalación solar fotovoltaica “Off Grid”.

Fuente: <http://www.riovalle.cl/sistemas-fotovoltaicos-autonomos/>

8.1.2 Características eléctricas de la carga.

La instalación solar fotovoltaica debe alimentar una carga eléctrica de las siguientes características,

- Potencia: 3,2 kW (demanda máxima)

- Voltaje: 120 Vac
- Frecuencia: 60 Hz
- Fases: monofásica
- Tipo de carga: Domiciliaria (Lineal, resistiva)
- Consumo de energía diario kWh/día: A calcular

Para dimensionar los equipos de la instalación solar fotovoltaica es necesario conocer y comprender el comportamiento de la carga eléctrica que se va a alimentar.

La instalación solar fotovoltaica proyectada en este trabajo final debe alimentar las siguientes cargas (los datos de las cargas se tomaron de la norma NTC 950):

- Un Computador de 100 vatios
- Un Televisor de 100 vatios
- Una Nevera (o sistema de calefacción) de 300 vatios
- Una Lavadora de 320 vatios
- Cuatro (4) Bombillas fluorescentes de 20 vatios
- Una electrobomba 200 vatios

- Una Licuadora de 400 vatios

- Un ventilador de 200 vatios

- Una estufa eléctrica de 1500 vatios

8.1.2.1 Cálculo de la potencia eléctrica de la instalación

Para este trabajo la potencia tiene un valor de 3,2 kW, y corresponde al valor para la cual los equipos y toda la instalación debe estar diseñada, equivale al valor de la demanda máxima de energía que se pueda presentar en algún momento.

DESCRIPCIÓN EQUIPO	CARGA INSTALADA (W)
Luminarias (4 de 20 W)	80
Televisor	100
Nevera	300
Estufa eléctrica	1500
Licuadora	400
Lavadora	320
Ventilador	200
Computador y celulares	100
Electrobomba	200
TOTAL	3200

Tabla 2. Cargas de la instalación fotovoltaica de este proyecto.

En caso de que se requiera determinar la demanda máxima de una instalación esta se puede calcular con métodos indicados en el código eléctrico nacional, norma NTC 2050. Para nuestro caso se deben sumar todas las cargas sin incluir la estufa, y si su suma es menor de 3 kW, se toma el 100% de ese valor, posteriormente a

ese resultado se le suma la carga de la estufa y así se obtiene el valor de la demanda máxima de la instalación. La demanda máxima en una vivienda estrato uno, en Colombia, se calcula en 3 kW, y es la razón principal por la cual se definió ese valor para este estudio. Las cargas típicas instaladas en estos estratos corresponden al alumbrado y a electrodomésticos de primera necesidad (lámparas, televisor, licuadora, nevera, lavadora, plancha, estufa, ventilador, ducha y computador en muchos casos).

De acuerdo con las normas y estudios de Codensa, en la siguiente gráfica, si para obtener la demanda máxima de un usuario, se prolonga la curva roja (estratos 1 y 2), se encuentra un valor un poco mayor a 3 kVA, que nos da una potencia real de 3kW. En las normas RA8-009 de EPM, en la tabla 1 de 4, la demanda máxima indicada para un (1) usuario tiene un valor de 3,22 kVA; existen otros estudios o documentos con resultados similares.

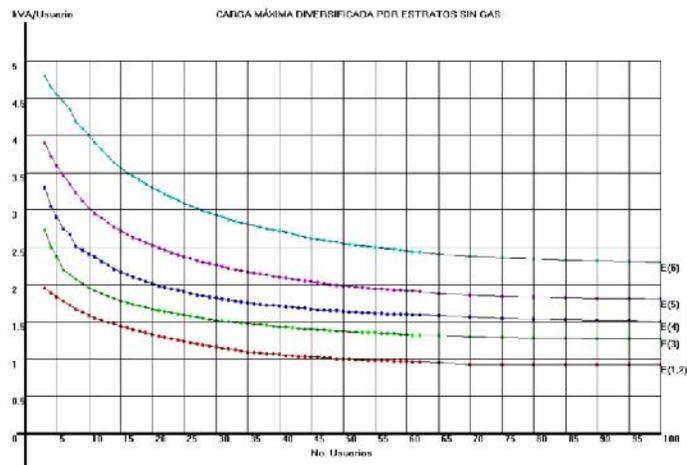


Figura 39. Curvas de demanda máxima para diferentes estratos.

Fuente: https://www.codensa.com.co/document/cargas_maximas.pdf

8.1.2.2 Consumo eléctrico de la instalación

El consumo eléctrico es la energía eléctrica demandada durante un tiempo dado; equivale a la potencia eléctrica aplicada durante un tiempo a un equipo o artefacto

eléctrico para que este funcione. La energía eléctrica que consume un equipo (carga) se da en kilovatios-hora (kWh), y se obtiene de multiplicar la potencia que demanda para su operación, por el tiempo de funcionamiento.

$$E_i = P_i * t_i \quad \text{donde,}$$

E_i Consumo de energía eléctrica del equipo (carga) i, en kWh

P_i Potencia requerida por el equipo i, en kW

t_i Tiempo de funcionamiento del equipo i, en horas

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

$$E_C = \sum_{i=1}^n E_i = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n \quad \text{donde,}$$

E_i Consumo de energía eléctrica del equipo (carga) i, en kWh, día o mes

E_C Consumo total de energía eléctrica del conjunto de equipos, en kWh, día o mes, según se requiera.

Para nuestra instalación, de acuerdo con la potencia de cada uno de los equipos instalados, el consumo de energía es,

DESCRIPCIÓN EQUIPO	POTENCIA INSTALADA (W)	HORAS USO DIARIO (h)	CONSUMO ENERGÍA DIARIO (kWh)/día	CONSUMO ENERGÍA MENSUAL (kWh)/mes
Luminarias (4 de 20 W)	80	6	0,48	14,4
Televisor	100	5	0,50	15
Nevera	300	6	1,80	54
Estufa eléctrica	1500	2	3,0	90
Licuadaora	400	0,1	0,04	1,2
Lavadora	320	0,5	0,16	4,8
Ventilador	200	8	1,6	48
Computador y celulares	100	4	0,40	12
Electrobomba	200	2	0,40	12
TOTALES	3200		8,38	251,4

Tabla 3. Consumo promedio de la instalación a diseñar.

Fuente: UPME – Universidad Nacional de Colombia, 2006.

En Colombia el UPME ha realizado estudios (medición) de los consumos eléctricos de la población, con el fin de proyectar la demanda de energía eléctrica. En el cuadro siguiente se muestran los promedios mensuales de consumo eléctrico para hogares estratos 1, 2 y 3; estos son hogares que tienen servicio de gas y por lo tanto en la tabla no se incluyen consumos para cocción de alimentos.

Usos	Consumo medio en KWh por hogar (estratos 1, 2 y 3)			
	Bogotá	Medellín	Barranquilla	Pasto
Iluminación	36.2	25	24.8	34.3
TV	8.2	7.8	11.7	6.9
Nevera	44.1	55	60	29
Plancha	10.7	9.4	9	7.7
Licuadaora	1.2	1	1.9	1.7
Lavadora	12.7	12.7	3.8	5.2
Ducha Eléctrica	63.1			62.8
Ventilador			42.7	
Total	176.2	110.9	153.9	147.6

Tabla 4. Consumo promedio mensual de energía, estratos 1, 2 y 3.

Fuente: UPME – Universidad Nacional de Colombia, 2006.

8.1.3 Condiciones ambientales de la vereda Carupana.

Para el diseño de este trabajo se debe tener en cuenta que aplica para la vereda de Carupana (Tauramena, Casanare) y que los equipos seleccionados deben ser aptos para instalar en zona tropical con las siguientes condiciones ambientales:

- Localización: Latitud Norte 5.5311111, Longitud Oeste 71.7938889
- Temperatura: Máxima 28,5°C (enero), mínima 24,3°C (Julio)
- Altura sobre el nivel del mar: 460 m s. n. m
- Humedad Relativa: 79%.
- Precipitaciones: Máxima 469 mm (junio), mínima 12,7 mm (enero)
- Radiación solar: 4,5 kWh/m²
- Radiación solar año: 1643 kWh/m² año
- Incidencia rayos solares año: 1950 horas año
- Velocidad máxima del viento: 4 m/s

8.1.4 Normas y certificaciones.

El diseño debe seguir las normas nacionales (ICONTEC), pero además de las características técnicas, se debe solicitar que los equipos que se suministren para la instalación solar fotovoltaica estén certificados por organismos nacionales o internacionales reconocidos. La guía GTC 114, señala y sugiere, algunas normas que debe cumplir la fabricación de los equipos de una instalación solar fotovoltaica:

- Módulos: Su fabricación debe cumplir con lo indicado en las normas NTC 2883 y NTC 4405, o en la norma UL 1703, o en cualquier otra norma equivalente.

- Baterías: Su fabricación debe cumplir con lo indicado en la norma NTC 5287 o en cualquier otra norma equivalente.

- Controlador (regulador): Su fabricación debe cumplir con lo indicado en la norma UL 1741 o en cualquier otra norma equivalente.

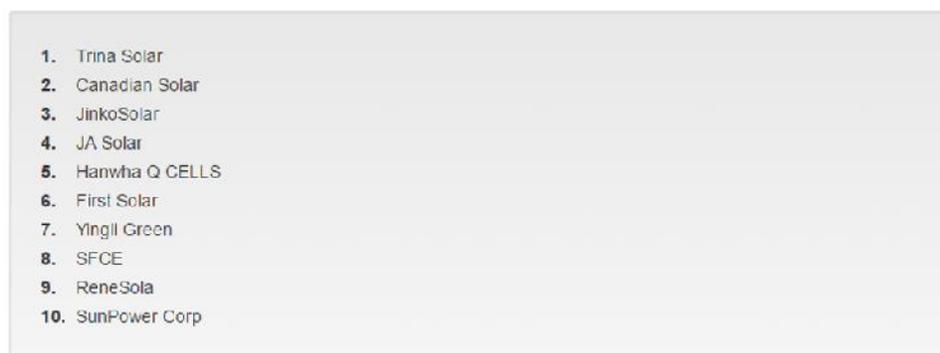
- Inversor: Su fabricación debe cumplir con lo indicado en la norma UL 1741 o en cualquier otra norma equivalente.

8.1.5 Estándares comerciales de los equipos.

Un diseño solar fotovoltaico también debe tener en cuenta la disponibilidad en el mercado y los estándares comerciales de los equipos. Ya se ha definido que para este diseño se utilizarán módulos tipo policristalino, regulador tipo MPPT y baterías de plomo – ácido modificadas tipo gel.

- Módulos solares: En el mercado es posible encontrar paneles desde 15 vatios hasta 395 vatios, con voltajes de 12 Vdc y 24 Vdc. Algunos de los fabricantes que se destacan, a nivel mundial, en la producción de paneles solares se muestran en la siguiente tabla:

The Top 10 PV module manufacturers ranking list for 2015



1.	Trina Solar
2.	Canadian Solar
3.	JinkoSolar
4.	JA Solar
5.	Hanwha Q CELLS
6.	First Solar
7.	Yingli Green
8.	SFCE
9.	RenéSola
10.	SunPower Corp

Tabla 5. Máximos fabricantes de paneles solares en el mundo.

Fuente: <http://www.pv-tech.org/editors-blog/top-10-solar-module-manufacturers-in-2015>

En los anexos 7, 8, 9 y 10 se incluyen, a manera de ejemplo, catálogos con especificaciones técnicas similares a las de los equipos obtenidos en este diseño.

- Baterías para sistemas solares: En el mercado es posible encontrar baterías de 2 Vdc, 6 Vdc, 12 Vdc, 24 Vdc y 48 Vdc, con capacidades desde 100 Ah hasta 1200 Ah. Marcas que se pueden utilizar son MAC, Trojan, Sun, EverExceed, etc.

- Regulador Controlador de Carga MPPT: En el mercado de los reguladores MPPT sobresalen fabricantes como: Steca, Schneider y EverExceed. Se encuentran de diferentes potencias, voltajes y corrientes; son muy comunes los reguladores de 12 Vdc y 60 A.

- Inversor: Para las instalaciones solares fotovoltaicas los inversores tipo “Off Grid” más utilizados son de marcas Schneider, Sunny Boy, SMA, o Xantrex.

8.2 CARACTERIZACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS QUE CONFORMARÁN EL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO (SFV).

8.2.1 Cálculo de la irradiancia

Cálculo de la irradiancia solar sobre paneles solares inclinados en la vereda Carupana, para los meses de junio y de diciembre.

Para los cálculos se utiliza el razonamiento indicado en los numerales 3.7.5, 3.7.6 y 3.7.7 del apéndice C del “atlas de radiación solar de Colombia” (ver anexo 11); se tienen en cuenta los pasos seguidos en el ejemplo desarrollado en el apéndice D de dicho atlas (ver anexo 11). En este tipo de estudios se deben tener en cuenta las variables indicadas a continuación y mostradas en las siguientes figuras,

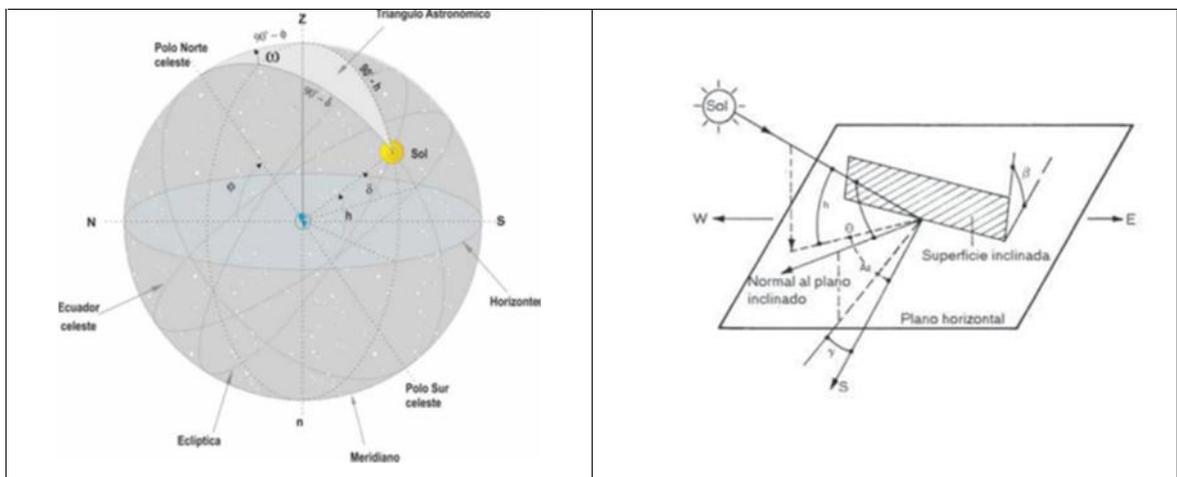


Figura 40. Coordenadas y radiación solar sobre superficies inclinadas.

Fuente: Atlas de Radiación Solar de Colombia.

- = Ángulo horario
- O = Punto del observador
- Polo Norte = Sol - Polo Sur = Círculo Horario
- Polo Norte = Z – Polo Sur = Meridiano del lugar
- n = Nadir

\emptyset = Latitud

Z = zenit

h = Altura solar (complemento del zenit)

A_z = Azimut solar

γ = Ángulo azimut sobre la superficie

= Declinación

θ = Ángulo de incidencia formado por el haz de radiación sobre una superficie y la normal a la superficie.

- Cálculo 1. Determinar la radiación solar sobre la superficie, de un panel solar fotovoltaico, inclinada 15° con respecto a la horizontal y orientada hacia el sur, para el día 21 de junio en la vereda de Carupana (Tauramena, Casanare).

SOLUCIÓN

= 15° (ángulo de inclinación de la superficie)

$\emptyset = 5.53^\circ$ (latitud de Carupana)

nd = 172 (día del año)

$\gamma = 0$

Se calcula la posición angular de la tierra en la órbita según la ecuación 1-2 del apéndice A (ver anexo 11),

$$\alpha = 2\pi(n - 1)/365$$

$$\alpha = 2.9436$$

Se calcula el ángulo de declinación de la tierra según las ecuaciones 1-2 y 1-4 del apéndice A (ver anexo 11),

$$\delta = (0.006918 - 0.399912\cos(2.9436 + 0.070257\sin(2.9436 - 0.006758\cos(2 * 2.9436)) + 0.000907\sin(2 * 2.9436) - 0.002697\cos(3 * 2.9436) + 0.00148\sin(3 * 2.9436)))(180/3.14)$$

$$\delta = 23.4639^\circ$$

Se calcula el ángulo horario según la ecuación 1-9 del apéndice A (ver anexo 11),

$$c_1 \quad w_s = -\tan \emptyset \tan \delta$$

$$c_1 \quad w_s = -0.03363$$

$$w_s = 102.1415^\circ$$

Se calcula el ángulo horario de puesta según la ecuación 1-9 del apéndice A (ver anexo 11),

$$c_1 \quad w_{s1} = -\tan(\emptyset - \beta) \tan \delta$$

$$c_1 \quad w_{s1} = 0.05787$$

$$w_{s1} = 96.2222^\circ$$

Se toma como ángulo horario al menor de los dos anteriores,

$$w'_s = 96.2222^\circ$$

Se calcula la relación de proporción de radiación entre superficie horizontal e inclinada, según la ecuación 3-34 del apéndice C (ver anexo 11) ,

$$\overline{R} = (\cos(\emptyset - \beta) \cos \delta \sin \omega s' + (\pi/180) \omega s' \sin(\emptyset - \beta) \sin \delta) / (\cos \emptyset \cos \delta \sin \omega s + (\pi/180) \omega s \sin \delta \sin \emptyset)$$

$$\overline{R} = (\cos(5.53 - 15) \cos 23.4639 \sin 96.2222 + (3.14/180) 96.2222 \sin(5.53 - 15) \sin 23.4639) / (\cos 5.53 \cos 23.4639 \sin 96.2222 + (3.14/180) 96.2222 \sin 23.4639 \sin 5.53)$$

$$\overline{R} = 0.812201$$

Se calcula la radiación solar diaria fuera de la atmósfera terrestre, según la ecuación 2-3 del apéndice B (ver anexo 11),

$$H_0(n) = \frac{24}{\pi} \bar{I}_0 \left(\frac{R_0}{R} \right)^2 (\cos\phi \cos\delta \sin\omega + (2\pi/360)\omega \sin\delta \sin\phi)$$

Para encontrar el valor de la radiación solar de la ecuación anterior se debe tener en cuenta el valor de la constante solar y encontrar el valor de la relación de distancia solar según la ecuación 1-3 del apéndice A (ver anexo 11),

$$\left(\frac{R_0}{R} \right)^2 = (1.00011 - 0.034221 \cos\alpha + 0.00128s_1 + 0.000719c_1 - 2\alpha + 0.000077s_1 - 2\alpha)$$

$$\left(\frac{R_0}{R} \right)^2 = (1.00011 - 0.034221 \cos 2.9436 + 0.00128s_1 - 2.9436 + 0.000719 \cos(2 * 2.9436) + 0.000077s_1 - (2 * 2.9436))$$

$$\left(\frac{R_0}{R} \right)^2 = 1.03455$$

$$\bar{I}_0 = 1367 \text{ W/m}^2 \quad (\text{Valor de la constante solar})$$

Entonces el valor de la radiación solar diaria fuera de la atmósfera es,

$$H_0(n) = \frac{2}{3.1} * 1367 * 1.03455 (\cos 5.53 \cos 23.4639 \sin 96.2222 + (6.283/360) 96.2222 \sin 23.4639 \sin 5.53)$$

$$H_0(n) = 11640.8 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2} = 11.64 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

De acuerdo con el mapa de radiación solar promedio diario para Carupana durante el mes de junio se tiene,

$$\bar{H} = 4.25 \text{ kWh/m}^2$$

Se continúa con el cálculo del índice de claridad de acuerdo con la ecuación 3-5a,

$$K_t = \bar{H}/H_0$$

$$K_t = 0.3651$$

Se debe encontrar la relación entre la radiación solar difusa y la radiación global media diaria según la ecuación 3-19,

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1.188 - 2.272K_t + 9.473K_t^2 - 21.865K_t^3 + 14.648K_t^4$$

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1.188 - 2.272(0.3651) + 9.473(0.3651)^2 - 21.865(0.3651)^3 + 14.648(0.3651)^4$$

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 0.81739$$

Se continúa para buscar la relación entre la radiación solar global inclinada diaria y la radiación global horizontal diaria (promedio mensual) según la ecuación 3-32 del apéndice C (ver anexo 11),

$$\bar{R} = [(\bar{H} - \bar{H}_d)/\bar{H}]\bar{R}_b + \left(\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}\right)(1 + \cos\beta)/2 + r(1 - \cos\beta)/2$$

$$r = 0.025 \quad \text{Reflectancia de un panel con capa antireflectante}$$

Entonces,

$$\bar{R} = [(1 - 0.81739)]0.812201 + 0.81739(1 + \cos 15)/2 + 0.025(1 - \cos 15)/2$$

$$\bar{R} = 0.952206$$

Finalmente se calcula la radiación global diaria promedio mensual sobre una superficie inclinada $H(\beta)$, según la ecuación 3-31 del apéndice C (ver anexo 11),

$$\bar{H}(\beta) = \bar{R}\bar{H}$$

Donde,

$$\bar{H} = 4.25 \text{ kWh/m}^2$$

$$\bar{R} = 0.952206$$

Entonces,

$$\bar{H}(15^\circ) = 4.0 \text{ kWh/m}^2 \quad (\text{Respuesta del cálculo 1})$$

Y esta es la solución del problema planteado, el resultado significa que ese es el valor de la radiación solar, durante todo el día 21 de junio, sobre un panel inclinado 15° , e instalado en la vereda de Carupana. Este es el primer paso para seleccionar el valor de dimensionamiento de los equipos fotovoltaicos, se debe continuar con el cálculo del valor en diciembre 21 y se elige el menor por ser el más crítico.

- Cálculo 2. Determinar la radiación solar sobre la superficie, de un panel solar fotovoltaico, inclinada 15° con respecto a la horizontal y orientada hacia el sur, para el día 21 de diciembre en la vereda de Carupana (Tauramena, Casanare).

SOLUCIÓN

=15° (ángulo de inclinación de la superficie)

=5.53° (latitud de Carupana)

nd=355 (día del año)

$\gamma = 0$

Se calcula la posición angular de la tierra en la órbita según la ecuación 1-2 del apéndice A (ver anexo 11),

$$\alpha = 2\pi(n - 1)/365$$

$$\alpha = 6.0938$$

Se calcula el ángulo de declinación de la tierra según las ecuaciones 1-2 y 1-4 del apéndice A (ver anexo 11) ,

$$\delta = (0.006918 - 0.399912c_1 \cdot 6.0938 + 0.070257s_1 \cdot 6.0938 - 0.006758\cos(2 \cdot 6.0938) + 0.000907s_1 \cdot (2 \cdot 6.0938) - 0.002697\cos(3 \cdot 6.0938) + 0.00148s_1 \cdot (3 \cdot 6.0938))(180/3.14)$$

$$\delta = -23.4318^\circ$$

Se calcula el ángulo horario según la ecuación 1-9 del apéndice A (ver anexo 11) ,

$$c_1 \cdot w_s = -\tan \alpha \tan \delta$$

$$c_1 \cdot w_s = 0,03358$$

$$w_s = 97.8616^\circ$$

Se calcula el ángulo horario de puesta según la ecuación 1-9 del apéndice A (ver anexo 11),

$$c_1 \cdot w_{s1} = -\tan(\alpha - \beta) \tan \delta$$

$$c_1 \cdot w_{s1} = -0.05779$$

$$w_{s1} = 103.6812^\circ$$

Se toma como ángulo horario al menor de los dos anteriores,

$$w'_s = 97.8616^\circ$$

Se calcula la relación de proporción de radiación entre superficie horizontal e inclinada, según la ecuación 3-34 del apéndice C,

$$\overline{R} = (\cos(\theta - \alpha) \cos \delta \sin \omega' + (\pi/180) \omega' \sin(\theta - \alpha) \sin \delta) / (\cos \alpha \cos \delta \sin \omega + (\pi/180) \omega \sin \delta \sin \alpha)$$

$$\overline{R} = (\cos(5.53 - 15) \cos - 23.4318 \sin 97.8616 + (\pi/180) 97.8616 \sin(5.53 - 15) \sin - 23.4318) / (\cos 5.53 \cos - 23.4318 \sin 97.8616 + (\pi/180) 97.8616 \sin - 23.4318 \sin 5.53)$$

$$\overline{R} = 1.20143$$

Se calcula la radiación solar diaria fuera de la atmósfera terrestre, según la ecuación 2-3 del apéndice B (ver anexo 11),

$$H_0(n) = \frac{24}{\pi} \overline{I}_0 \left(\frac{R_0}{R} \right)^2 (\cos \alpha \cos \delta \sin \omega + (2\pi/360) \sin \delta \sin \alpha)$$

Para encontrar el valor de la radiación solar de la ecuación anterior se debe tener en cuenta el valor de la constante solar y encontrar el valor de la relación de distancia solar según la ecuación 1-3 del apéndice A (ver anexo 11),

$$\left(\frac{R_0}{R} \right)^2 = (1.00011 - 0.034221 \cos \alpha + 0.00128 s_1 + 0.000719 c_1 - 2\alpha + 0.000077 s_1 - 2\alpha)$$

$$\left(\frac{R_0}{R}\right)^2 = (1.00011 - 0.034221\cos 6.0938 + 0.00128s_i \cos 6.0938 + 0.000719\cos(2 \cdot 6.0938) + 0.000077s_i \cos(2 \cdot 6.0938))$$

$$\left(\frac{R_0}{R}\right)^2 = 0.96689$$

$$\bar{I}_0 = 1367 \text{ W/m}^2 \quad (\text{Valor de la constante solar})$$

Entonces el valor de la radiación solar diaria fuera de la atmósfera es,

$$H_0(n) = \frac{2}{3.1} \cdot 1367 \cdot 0.96689(\cos 5.53 \cos(-23.4318) \sin 97.8616 + (6.283/360) 97.8616 \sin(-23.4318) \sin 5.53)$$

$$H_0(n) = 8474.24 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2} = 8.47 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

De acuerdo con el mapa de radiación solar promedio diario para Carupana durante el mes de diciembre se tiene,

$$\bar{H} = 4.25 \text{ kWh/m}^2$$

Se continúa con el cálculo del índice de claridad de acuerdo con la ecuación 3-5a,

$$K_t = \bar{H}/H_0$$

$$K_t = 0.5015$$

Se debe encontrar la relación entre la radiación solar difusa y la radiación global media diaria según la ecuación 3-19,

$$\frac{\overline{H_d}}{\overline{H}} = 1.188 - 2.272K_t + 9.473K_t^2 - 21.865K_t^3 + 14.648K_t^4$$

$$\frac{\overline{H_d}}{\overline{H}} = 1.188 - 2.272(0.5015) + 9.473(0.5015)^2 - 21.865(0.5015)^3 + 14.648(0.5015)^4$$

$$\frac{\overline{H_d}}{\overline{H}} = 0.59981$$

Se continúa para buscar la relación entre la radiación solar global inclinada diaria y la radiación global horizontal diaria (promedio mensual) según la ecuación 3-32 del apéndice C (ver anexo 11),

$$\overline{R} = [(\overline{H} - \overline{H_d})/\overline{H}]\overline{R_b} + \left(\frac{\overline{H_d}}{\overline{H}}\right)(1 + \cos \theta)/2 + r(1 - \cos \theta)/2$$

$r = 0.025$ Reflectancia de un panel con capa antireflectante

Entonces,

$$\overline{R} = [(1 - 0.59981)]1.20143 + 0.59981(1 + \cos 15)/2 + 0.025(1 - \cos 15)/2$$

$$\overline{R} = 1.07082$$

Finalmente se calcula la radiación global diaria promedio mensual sobre una superficie inclinada $H(\theta)$, según la ecuación 3-31 del apéndice C (ver anexo 11),

$$\overline{H}(\theta) = \overline{R}\overline{H}$$

Donde,

$$\bar{H} = 4.25 \text{ kWh/m}^2$$

$$\bar{R} = 1.07082$$

Entonces,

$$\bar{H}(15^\circ) = 4.5 \text{ kWh/m}^2 \quad (\text{Respuesta del cálculo 2})$$

Y esta es la solución del problema planteado, el resultado significa que ese es el valor de la radiación solar, durante todo el día 21 de diciembre, sobre un panel inclinado 15° , e instalado en la vereda de Carupana.

8.2.2 Caracterización y cálculo de los paneles

Ya se tienen todos los datos de entrada necesarios para continuar con el cálculo de la potencia y del número de paneles fotovoltaicos (FV) que se requieren para este proyecto;

Potencia carga: $P_c = 3,2 \text{ kW}$ (demanda máxima)

Consumo de energía diario: $E_{\text{Cdia}} = 8,38 \text{ kWh}$ (consumo diario de energía)

Nivel de irradiación solar sobre el panel: $\bar{H}(15^\circ) = 4.05 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$

Eficiencia de la instalación: $y = ?$

La eficiencia de la instalación se obtiene multiplicando las eficiencias de los equipos que van a hacer parte de la instalación: regulador controlador, baterías e inversor;

$$y = y_r y_a y_i$$

Para esta instalación se seleccionan equipos con eficiencias $y_r = 0.97$, $y_a = 0.95$,

$y_i = 0.97$, entonces,

$$y = y_r y_a y_i = 0.89$$

Orientación de los paneles: Hacia el sur (direccionado hacia la línea ecuatorial)

Inclinación de los paneles: 15°

Tipo de panel: Policristalino

Para el cálculo de los paneles se debe tener en cuenta que tengan la suficiente capacidad para generar la energía consumida por la instalación durante un día (en otras latitudes se debe tener en cuenta los días de oscuridad), incluyendo las pérdidas en los equipos del SFV. Como la potencia pico o nominal, W_p , de los paneles se da para una irradiación nominal de 1000 W/m^2 , es necesario calcular, en primer lugar, las horas solares pico "HSP", que es un término que relaciona el nivel de irradiación sobre los paneles (en el lugar de instalación) con la irradiación nominal de los paneles (prueba),

$$\text{HSP} = \bar{H}(15^\circ) / (1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}) \quad (1)$$

$$\text{HSP} = \frac{4.0 \frac{\text{k}}{\text{m}^2}}{1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} = 4.05 \text{ h}$$

Se tiene la siguiente relación para calcular la potencia que debe generar el SFV,

$$P_s = (E_c / H) / y \quad (2)$$

$$P_s = \left(\frac{8,38 \text{ kWh}}{4.05 \text{ h}} \right) / 0,89$$

$$P_s = 2,32 \text{ kW}$$

Esta es la potencia total que deben generar los paneles del SFV; existe gran variedad de paneles y muchos de ellos se podrían elegir; sin embargo, por motivos prácticos (tamaño y peso) y por facilidad de consecución se prueba con paneles de 145 W ; el número de paneles se calcula así,

$$P_p = W_p = 1 \text{ W}$$

$$\#P = P_s / P_p \quad (3)$$

$$\#P = 2320 \text{ W} / 145 \text{ W}$$

$$\#P = 16 \text{ (de 145 W cada uno).}$$

Este es el resultado de los cálculos realizados para determinar el número de paneles que debe tener la instalación solar fotovoltaica aislada propuesta en este proyecto. Como los paneles seleccionados son 16 a 12 Vdc, se opta por un arreglo o esquema de conexión serie-paralelo, esto es, se instalan parejas de paneles en serie; y a su vez, todas las parejas se conectan, entre sí, en paralelo; así se obtiene un arreglo que genera el doble del voltaje (24 Vdc) de un panel, y una corriente de salida igual a la suma de las corrientes de ocho paneles (64 A).

En el comercio (Ver anexo 7) se encuentran módulos de la potencia y el voltaje requerido con las siguientes características,

Tipo de panel: Policristalino

Paneles: 16

W_p : 145 W

V: 12 Vdc

Celdas: 36

Voltaje a máxima Potencia (V_{mp}): 18 Vdc

Corriente a máxima Potencia (I_{mp}): 8,17 A

Voltaje de circuito abierto (V_{oc}): 22,2 Vdc

Corriente de corto circuito (I_{sc}): 8,69 A

Dimensiones: 1506 x 680 x 34 mm

Peso: 12 kg

8.2.3 Caracterización y cálculo del regulador controlador de carga

Con el fin de utilizar al máximo, el recurso solar, para este proyecto se utilizará un regulador-controlador tipo MPPT (Ver anexo 9); para calcular sus parámetros se parte de las características de los paneles y de las baterías,

La potencia del regulador – controlador se calcula con el voltaje de circuito abierto y la corriente de cortocircuito del arreglo fotovoltaico,

$$P_C = V_0 \cdot I_S \quad (4) \quad \text{Donde,}$$

$$V_0 = 2 \cdot V_0$$

$$I_S = 8 \cdot I_S$$

$$P_C = (2 \cdot 22,2) \cdot (8 \cdot 8,69)$$

$$P_C = (44,4) \cdot (69,52)$$

$$P_C = 3 \quad W$$

De igual forma se obtienen los valores de entrada y salida del regulador,

- Valores de entrada:

Voltaje de operación: 24 Vdc

Voltaje de circuito abierto del arreglo: 44,4 Vdc

Corriente del arreglo: 69,52 A

- Valores de salida:

Corriente de carga: 69,52 A

Voltaje de carga: 24 Vdc

Voltaje de carga reforzada: 26 Vdc

Voltaje de reconexión: 23,5 Vdc

Voltaje de desconexión de la carga: 23 Vdc

Los tiempos de la carga y descarga de las baterías a diferentes voltajes se pueden ver en el anexo 8 en los respectivos diagramas del catálogo de batería anexo.

8.2.4 Caracterización y cálculo de las baterías

Para el SFV de este proyecto se utilizarán baterías de 12 Vdc, tipo Gel, de descarga profunda, vida útil de 400 ciclos al 50% de descarga, con capacidad nominal para 20 horas (régimen de carga C/20) a 25°C (Ver anexo 8). La cantidad y la capacidad de las baterías se calcula de acuerdo con el consumo de energía de la instalación, con el voltaje y con la corriente de carga de las baterías.

La capacidad en Ah del banco de baterías se calcula de la siguiente forma,

$$C_B = \frac{((E_C - D) / P_d) F_z}{V_{Bt1}} \quad (5)$$

$$C_B = \frac{((8,38 \text{ kWh} - 1) / 0,6) \cdot 1,1}{12 \text{ Vdc}} = 1280,28 \text{ Ah}$$

$$C_B = 1, 2 \text{ A}$$

El paso siguiente consiste en seleccionar la cantidad, capacidad (Ah) y el voltaje de las baterías que se van a utilizar para armar el banco. Las baterías de 12 Vdc, se debe conectar por parejas en serie para tener un voltaje en el banco igual a 24 Vdc.

El voltaje de las baterías para este proyecto es de 12 Vdc. Para seleccionar la cantidad y la capacidad de las baterías con régimen C/20, recurrimos a tablas de los fabricantes; además se tiene en cuenta que la corriente de carga del banco es de 70 A, a un voltaje de 24 Vdc; y que la corriente de carga y descarga de las baterías no debe superar nunca el 10% de su capacidad nominal en Ah.

Existen en el mercado baterías de 220 Ah a 12 Vdc, si se selecciona una batería similar,

$$C_{B \text{ ía}} = 2 \text{ A}$$

$$\#Baterías = C_B / C_{Bítt} \quad (6)$$

$$\#Baterías = 1280,28 \text{ Ah} / 220 \text{ Ah}$$

$$\#Baterías = 5,82 \quad 6$$

$$\#B \text{ ía} = 6$$

En resumen, el banco queda conformado por 6 baterías de 12 Vdc, con capacidad nominal de 220 Ah; conectadas en un esquema serie paralelo a 24 Vdc.

8.2.5 Caracterización y cálculo del inversor DC/AC

Para seleccionar el inversor se deben conocer principalmente la demanda máxima, el voltaje nominal de la instalación, y el voltaje de salida del regulador cargador que es el que alimenta el inversor. También es importante conocer el tipo de carga y las exigencias de calidad eléctrica del sistema. Los datos ya fueron definidos,

Potencia: $P_c = 3,2 \text{ kW}$ (demanda máxima)

Voltaje de la carga: 120 Vac

Voltaje del cargador: 24 Vdc

Frecuencia: 60 Hz

Fases: monofásica

La potencia del inversor se obtiene así,

$$P_{II} = P_c \cdot FS \quad (7) \quad \text{Donde,}$$

$$FS = 1,2 \quad \text{Factor de seguridad}$$

$$P_{II} = 3,2 \text{ kW} \cdot 1,2 = 3,84 \text{ kW}$$

$$P_{II} = 3,8 \text{ k}$$

Finalmente, para seleccionar el inversor se recurre a la información de los fabricantes y se elige el más cercano a la potencia encontrada (Véase anexo 4).

8.2.6 Caracterización y cálculo de las instalaciones

8.2.6.1 Tuberías y cables

Para un SFV se utilizan tuberías eléctricas de PVC, y cables de cobre, flexibles, aislados a 600 Vac. Los diámetros y calibres de las tuberías y cables se calculan de acuerdo con la norma NTC 2050 (código eléctrico colombiano).

- Tramo entre los paneles y el regulador controlador: La longitud de este tramo se estima en 15 m, y la corriente calculada, en numerales anteriores, es de 70 A. Para estas condiciones el cálculo da un cable de cobre calibre # 2/0 AWG, caída de voltaje igual al 2,9%; el diámetro de la tubería para instalar 2 cables # 2/0 es de 2”.

- Tramo entre el regulador controlador y las baterías: La longitud de este tramo se estima en 15 m, y la corriente calculada, en numerales anteriores, es de 70 A. Para estas condiciones el cálculo da un cable de cobre calibre # 2/0 AWG, caída de voltaje igual 2,9%; el diámetro de la tubería para instalar 2 cables # 2/0 es de 2”.

- Tramo entre las baterías y el inversor: La longitud de este tramo se estima en 15 m, y la corriente calculada, en numerales anteriores, es de 70 A. Para estas condiciones el cálculo da un cable de cobre calibre # 2/0 AWG, caída de voltaje igual 2,9%; el diámetro de la tubería para instalar 2 cables # 2/0 es de 2”.

- Tramo entre el inversor y el tablero de distribución: La longitud de este tramo se estima en 20 m, y la corriente de cálculo usada es 33 A. Para estas condiciones el cálculo da un cable de cobre calibre # 8 AWG, caída de voltaje igual 2,8 Vdc (2,33%); el diámetro de la tubería para instalar 2 cables # 8 es de 1”.

- Circuitos que alimentan las cargas desde el tablero de distribución: La longitud de los cables para cada una de las cargas se estima en 10 m. Para el cableado se utiliza cable calibre # 12 AWG, excepto para la estufa, para el cual se utiliza cable # 10 AWG; el diámetro de la tubería para instalar 2 cables # 12 es de 3/4".

8.2.6.2 Tablero de distribución

De acuerdo con el cuadro de cargas de la instalación se selecciona un tablero con totalizador y con un número de circuitos igual al de las cargas. Para el SFV de este trabajo sirve un tablero de 12 circuitos, equipado con un interrupto totalizador de 50 A, un interruptor de 30 A para la estufa, y para las demás cargas, 10 interruptores de 15 A.

8.2.6.3 Sistema de puesta a tierra y apantallamiento

Todo SFV debe contar con sistema de puesta a tierra y apantallamiento para evitar los riesgos eléctricos. Se debe instalar un pararrayos tipo franklin puesto a tierra mediante cable y una varilla de cobre enterrada; de igual forma los paneles, el tablero eléctrico y toda la instalación debe tener sistema de puesta a tierra.

8.3 ESQUEMAS Y PLANOS DE LA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA.

Como tercera fase del diseño de la instalación, posterior a las especificaciones, caracterización y dimensionamiento de los equipos se deben elaborar los esquemas y planos; estos contienen la información más relevante obtenida en las dos fases anteriores. Son documentos muy importantes durante los procesos de compra, construcción y operación de la instalación. A continuación, se muestran y describen los esquemas y planos elaborados en este trabajo (para una mejor visualización, en mayor tamaño, ver los anexos 1, 2, 3, 4, 5 y 6).

8.3.1 Símbolos utilizados en los esquemas del diseño

El plano o esquema de los símbolos, muestra las convenciones utilizadas para representar los equipos que hacen parte del diseño (Ver anexo 1).

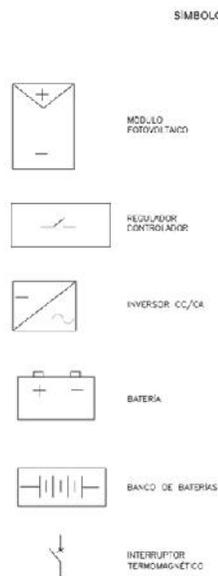


Figura 41. Símbolos utilizados en los esquemas del diseño.

Fuente: Autor

8.3.2 Diagrama unifilar del sistema

El diagrama unifilar, se puede afirmar que, es el esquema más importante de los planos presentados en el diseño; en él se reflejan los resultados más importantes de las dos fases anteriores (numerales 8.3.1 y 8.3.2), en este se indican: la topología del sistema, los equipos que conforman la instalación, su interconexión, sus capacidades y los datos eléctricos que caracterizan el sistema.

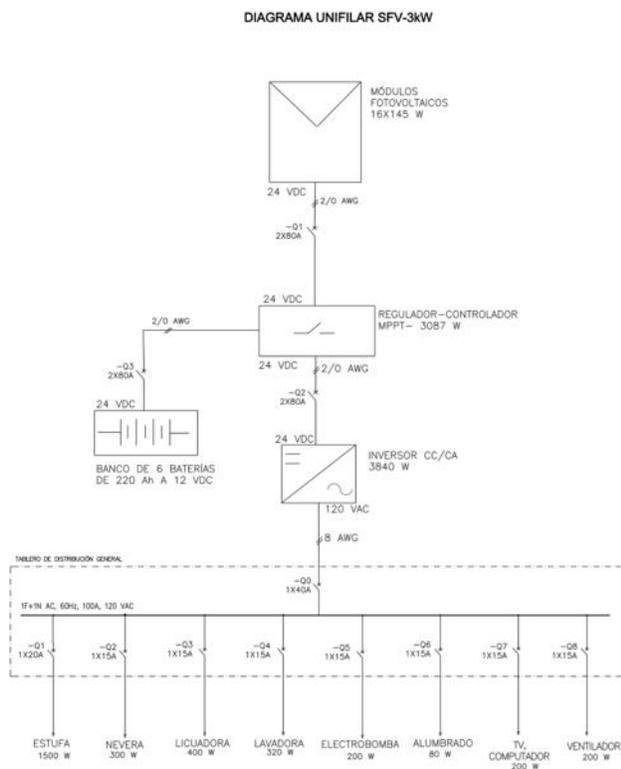


Figura 42. Diagrama unifilar del sistema.

Fuente: Autor

El diagrama anterior (Ver anexo 2), que representa este proyecto, muestra una topología para un sistema solar fotovoltaico tipo aislado “Off Grid” tal como se concluyó en apartados anteriores; indica que los módulos fotovoltaicos son 16 de 145 W y que generan electricidad a un voltaje de 24 VDC que está conectado y alimenta un regulador – controlador de carga tipo MPPT, que a su vez alimenta, a

24 VDC, el banco de baterías y el inversor CC/CA; el diagrama indica la potencia del inversor y que su voltajes de entrada y salida son 24 VDC y 120 VAC respectivamente. Se indica también, que el inversor suministra energía al tablero de distribución eléctrico a 120 VAC; y que este alimenta, finalmente, las cargas eléctricas de la vivienda. En el diagrama se indican, también los calibres de los cables que interconectan los equipos, y la capacidad de los interruptores termomagnéticos que protegen la instalación.

8.3.3 Esquema de conexión de los paneles

En este esquema se debe mostrar, con claridad, la forma en que se deben conectar los paneles según los resultados obtenidos en el numeral 8.2.2 (Caracterización y cálculo de los paneles). Allí se concluyó que los paneles necesarios son 16 de 145 W a 12 VDC, y que con fines de disminuir corrientes en los circuitos se conectarán de forma que se genere electricidad a 24 VDC; para esto los paneles se deben conectar en un arreglo serie paralelo de la siguiente forma. (Para una mejor visualización del diagrama ver anexo 3).

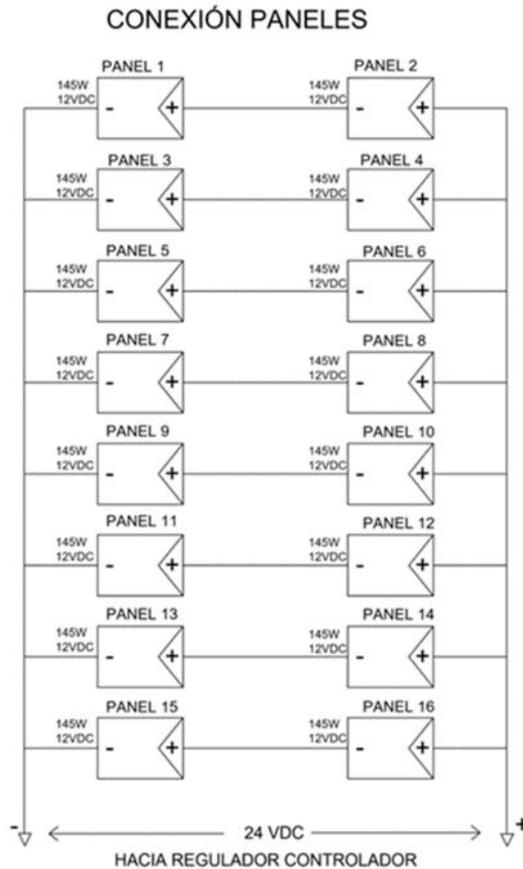


Figura 43. Esquema de conexión de los paneles.

Fuente: Autor

8.3.5 Esquema de conexión de las baterías

En este esquema se debe mostrar, con claridad, la forma en que se deben conectar las baterías según los resultados obtenidos en el numeral 8.2.4 (Caracterización y cálculo de las baterías). Allí se concluyó que las baterías necesarias son 6 de 220 Ah a 12 VDC, y que debido a que se definió un voltaje de 24 VDC para el regulador y para el inversor, estas se deben conectar de forma tal que suministren electricidad a 24 VDC; para esto las baterías se deben conectar en un arreglo serie paralelo de la siguiente forma. (Para una mejor visualización del diagrama ver anexo 4).

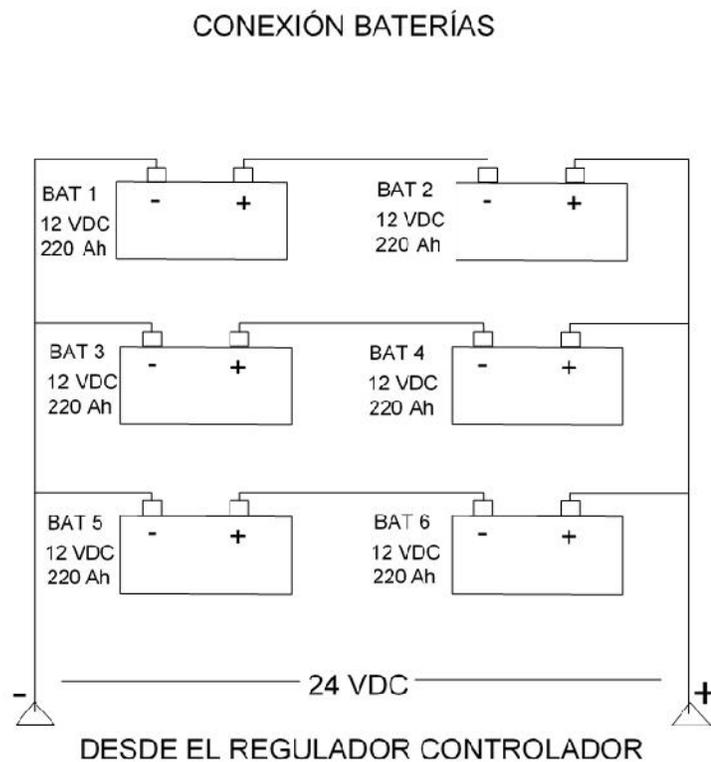


Figura 44. Esquema de conexión de las baterías.

Fuente: Autor

8.3.6 Esquema de conexión del regulador - controlador de carga

Básicamente, este diagrama muestra los voltajes de entrada y salida al regulador y las conexiones que entran y que salen del regulador. (Para una mejor visualización del diagrama ver anexo 5).

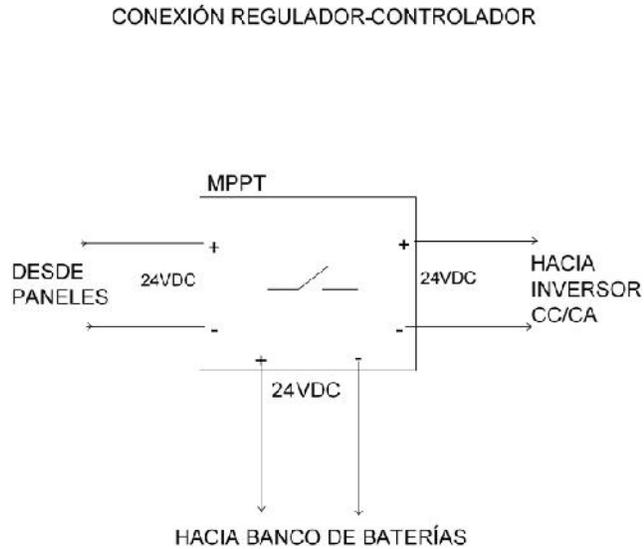


Figura 45. Esquema de conexión del regulador controlador de carga.

Fuente: Autor

8.3.7 Esquema de conexión del inversor

Básicamente, este diagrama muestra los voltajes de entrada y salida al inversor y las conexiones que entran y que salen del inversor. (Para una mejor visualización del diagrama ver anexo 6).

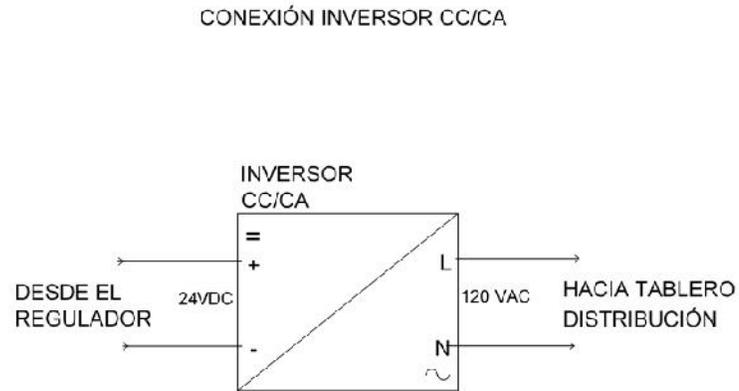


Figura 46. Esquema de conexión del inversor.

Fuente: Autor

9. RECURSOS NECESARIOS PARA EL DESARROLLO

9.1 Presupuesto para la construcción del proyecto

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO PARCIAL
EQUIPOS Y MATERIALES					
1	PANEL SOLAR 145 W	U	16	700.000	11.200.000
2	REGULADOR 3 kW	U	1	2.055.000	2.055.000
3	BATERÍA 12V - 220 Ah	U	6	1.200.000	7.200.000
4	INVERSOR 4 kW	U	1	4.950.000	4.950.000
5	INSTALACIONES ELÉCTRICAS	GL	1	2.000.000	2.000.000
	VALOR MATERIALES				27.405.000
MONTAJE Y CONSTRUCCIÓN					
6	PANEL 145 W	U	16	100.000	1.600.000
7	REGULADOR 3 kW	U	1	500.000	500.000
8	BATERÍA 12V - 220 Ah	U	6	100.000	600.000
9	INVERSOR 4 kW	U	1	1.000.000	1.000.000
10	INSTALACIONES ELÉCTRICAS	GL	1	1.000.000	1.000.000
	VALOR MONTAJE				4.700.000
	VALOR TOTAL \$				32.105.000

9.2 Cronograma para la construcción del proyecto

ACTIVIDAD	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4			
Compra de equipos y materiales	-	-	-	-	-	-	-	-								
Transporte de equipos a obra									-	-						
Montaje de paneles solares									-	-	-					
Construcción de instalaciones eléctricas									-	-	-	-	-			
Montaje banco de baterías													-	-		
Montaje del regulador y del inversor													-	-	-	
Pruebas y puesta en marcha														-	-	-

10. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDAD	ENE			FEB			MAR			ABR			MAY				
	2016			2016			2016			2016			2016				
1- REDACCIÓN DEL TRABAJO (documento)																	
1.1 - Preliminares	-	-	-	-	-	-	-	-									
1.2 - Marco referencial																	
Antecedentes								-	-	-							
Marco contextual									-								
Marco teórico										-	-	-	-				
Marco conceptual											-	-	-				
Marco legal														-	-		
1.3 - Marco metodológico																	
Metodología de investigación																-	
Universo y muestra																-	
Instrumentos de recolección de información																-	
Metodología de desarrollo																-	-
1.4 - Producto resultado a entregar																-	-
2- VISITA A PROVEEDORES Y A PROYECTOS SOLARES FOTOVOLTAICOS (opcional)																-	-
3- REVISIÓN DEL DOCUMENTO								-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4- ENTREGA Y APROBACIÓN DEL TRABAJO																-	-

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- De acuerdo con los cálculos desarrollados, en la vereda Carupana, la mínima radiación solar recibida por los paneles inclinados 15° , respecto de la horizontal, y orientados hacia la línea ecuatorial, ocurre en el mes de junio y tiene un valor de $4,05 \text{ kWh/m}^2$. Este valor es uno de los parámetros a tener en cuenta para calcular y dimensionar los paneles y equipos correctamente; así se garantiza el suministro mínimo de energía eléctrica, a la instalación durante cualquier época del año.
- Se obtuvo que el sistema operará eficientemente durante cualquier día del año con 16 paneles de 145 W, 6 baterías de 220 Ah a 12 Vdc, 1 regulador controlador MPPT de 3 kW y un inversor CC/CA de 4 kW.
- Existe gran cantidad de proveedores y gran variedad de equipos para instalaciones solares fotovoltaicas; para su selección es necesario tener en cuenta el tipo de instalación (conectada, aislada o híbrida), la última versión de las normas y la calidad de energía requerida por la carga.
- Los costos de inversión superan los 25 años, pero se justifican si se tiene en cuenta la calidad de vida que se ofrece a los campesinos, y si se observa que los costos ambientales disminuyen cuando no se cocina con leña.
- Dada la gran cantidad de fabricantes y proveedores de equipos solares se recomienda realizar un estudio de mercadeo antes de su compra.
- Las cargas eléctricas, como las estufas, consumen demasiada energía y hacen que la instalación sea de mayor tamaño y que requiera de equipos de mayor potencia (paneles, baterías, regulador) y que su costo sea mucho más alto que una instalación sin estos equipos.

- En lo posible, se recomienda realizar sistemas de generación fotovoltaica para grupos de usuarios en lugar de sistemas para uno solo. Se observa en las curvas de carga, que la demanda máxima para un usuario estrato 1 es de 3 kVA, mientras que para 45 usuarios es de 1 kVA por usuario (debido al factor de diversidad); esto quiere decir que en estos casos el sistema solar resulta más pequeño y menos costoso si se diseña para varios usuarios.

- Se recomienda hacer conocer y divulgar las leyes y programas que promueven y financian, en Colombia, el uso y desarrollo de los sistemas solares fotovoltaicos y de energía renovables no convencionales.

- Se recomienda que se estudien los beneficios económicos de sistemas de generación híbrida o combinada entre sistemas solares, fotovoltaicos y eólicos.

- Se recomienda la elaboración de estudios de sistemas de mayor potencia conectados a las redes de energía públicas; sistemas fotovoltaicos tipo “On Grid”.

- Se recomienda la elaboración de estudios técnico – económicos comparativos entre los diferentes proveedores y tecnologías de paneles solares, baterías, reguladores y de inversores solares.

- Se recomienda verificación de los diseños solares fotovoltaicos mediante la aplicación de software reconocido.

12. BIBLIOGRAFÍA

Atlas de Radiación Solar de Colombia 2005 [en línea]. República de Colombia: Unidad de Planeación Minero Energética – UPME, Ministerio de Minas y Energía; Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. [consultado 09 de abril de 2016]. Disponible en internet:
http://www.upme.gov.co/Atlas_Radiacion.htm

ÁLVAREZ, Carlos y SERNA, F. Normatividad sobre Energía Solar, Térmica y Fotovoltaica, [en línea]. Medellín: Unidad de Inteligencia Estratégica y Tecnológica – CIDET, 2012 [consultado 02 de enero de 2016]. Disponible en internet:
http://www.cidet.org.co/sites/default/files/documentos/uiet/normatividad_sobre_energia_solar_termica_y_fotovoltaica.pdf

BALLESTER, Eduard y PIQUÉ, Robert. Electrónica de Potencia. Principios Fundamentales y Estructuras Básicas. Mexico: Alfaomega – Marcombo, 2011. 676 p.

BARRADO, Andrés y LÁZARO, Antonio. Problemas de Electrónica de Potencia. Madrid: Pearson – Prentice Hall, 2007. 1192 p.

BRAVO, Silvia. Plasmas en todas Partes: El Plasma Solar [en línea]. Primera reimpresión. México: Fondo de Cultura Económica, 1997. cap. V [consultado 03 de abril de 2016]. Disponible en Internet:
http://www.cubaeduca.cu/medias/cienciatodos/Libros_3/ciencia3/126/htm/plasmas.htm

CORTIJO, Marco. Desarrollo Ejercicio Efecto Fotoeléctrico, 2013. {Vídeo en línea}. {20 abril de 2016} disponible en:
<https://youtu.be/8n96AUDg8ow>

Ecured.cu. Efecto fotoeléctrico, [en línea]. [Consultado 20 de abril de 2016]
Disponible en internet:
http://www.ecured.cu/Efecto_fotoel%C3%A9ctrico

El Sol: Importancia de la energía solar sobre la tierra. Wikipedia: la enciclopedia libre [en línea]. Florida: WikimediaFoundation, 2006., [Consultado 03 de abril de 2016].
Disponible en internet:
<https://es.wikipedia.org/wiki/Sol>

Energía solar fotovoltaica. Wikipedia: la enciclopedia libre [en línea]. Florida: WikimediaFoundation, 2006., [Consultado 06 de marzo de 2016]. Disponible en internet:
https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar_fotovoltaica

ENRÍQUEZ HARPER, Gilberto. Instalaciones y sistemas fotovoltaicos. México: Limusa, 2014. 334 p.

GABRIUNAS, Vytautas. Apuntes de Electrónica [en línea]. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Ingeniería Electrónica, 1999. 337 p. [consultado 28 de julio de 2016]. Disponible en Internet:
http://www.academia.edu/6492937/Apuntes_de_Electr%C3%B3nica_-_Vytautas_Gabriunas

GIBILISCO, Stan. Manual portátil de electrónica. México: McGraw Hill, 2001. 727 p.

GIMENO SALES, Francisco con SEGUÍ CHILET, Salvador y ORTS GRAU, Salvador. Convertidores Electrónicos: Energía solar fotovoltaica, aplicaciones y diseño. Madrid: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, 2011. 342 p.
Disponible en Internet:

<http://bibliotecavirtual.unad.edu.co:2077/lib/unadsp/detail.action?docID=10646884&p00=convertidores+electr%C3%B3nicos>

GRUPO ÉXITO. El Grupo Éxito instaló la planta fotovoltaica más grande del país en uno de sus almacenes (noticia 24 de marzo 2015). {En línea}. {18 abril de 2016} disponible en:

<http://www.grupoexito.com.co/es/noticias/noticias-recientes/19-sostenibilidad/1269-el-grupo-exito-instalo-la-planta-fotovoltaica-mas-grande-del-pais-en-uno-de-sus-almacenes>

HYBRYTEC. Éxito Panorama: La planta de energía fotovoltaica más grande del país. {En línea}. {24 marzo de 2016} disponible en:

<http://www.hybrytec.com/hybrytec/noticias-y-novedades/item/41-exito-panorama>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Guía de Especificaciones de Sistemas Fotovoltaicos para Suministro de Energía Rural Dispersa en Colombia. GTC114. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2004. 54 p. [Consultado 29 de mayo de 2016]. Disponible en biblioteca Virtual Unad:

http://bibliotecavirtual.unad.edu.co:2083/icontec_enormas_mobile/visor/HTML5.asp

I.E.F.P.S. SAN JORGE. Instalación y mantenimiento de sistemas solares fotovoltaicos. Capítulo 1, tema 1-2: La célula fotovoltaica. {En línea}. {24 abril de 2016} disponible en:

<https://311cie.files.wordpress.com/2014/09/tema-1-2-la-celula-fotovoltaica.pdf>

LADINO PERALTA, Rafael. La energía solar fotovoltaica como factor de desarrollo en zonas rurales de Colombia [en línea]. Tesis de Maestría en Desarrollo Rural. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, 2011. 136 p. [consultado 18 de agosto de 2015]. Disponible en Internet:

<http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/1085/1/LadinoPeraltaRafaelEduardo2010.pdf>

LÓPEZ, Moisés. Fusión Nuclear 2100 Energía del futuro ITER Tokamak EFDA. {Vídeo en línea}. {02 abril de 2016} disponible en:
<https://www.youtube.com/watch?v=47HbIJoJSMI>

MADRID VICENTE, Antonio. Energía Solar Térmica y de Concentración: Manual Práctico de Diseño, Instalación y Mantenimiento. Madrid: AMV Ediciones y Mundi-Prensa, 2009. 326 p.

Plan Indicativo de Expansión de Cobertura de Energía Eléctrica 2013 – 2017 [en línea]. Bogotá D.C.: Unidad de Planeación Minero Energética – UPME, Ministerio de Minas y Energía 2014, [consultado 24 de enero de 2016]. Disponible en internet:
http://www.siel.gov.co/Siel/Portals/0/Piec/Libro_PIEC.pdf

RODRIGUEZ, Humberto. Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. {En línea}. {24 marzo de 2016} disponible en:
<http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n28/n28a12>

ROLDÁN VILORIA, José. Instalaciones solares fotovoltaicas. Madrid: Paraninfo, 2010. 387 p.

Russell Ohl. Wikipedia: la enciclopedia libre [en línea]. Florida: WikimediaFoundation, 2006., [Consultado 06 de marzo de 2016]. Disponible en internet:
https://es.wikipedia.org/wiki/Russell_Ohl

Sitiosolar.com. La historia de la energía solar Fotovoltaica, [en línea]. [Consultado 06 de marzo de 2016] Disponible en internet:

<http://www.sitiosolar.com/la-historia-de-la-energia-solar-fotovoltaica/>

Tauramena. Wikipedia: la enciclopedia libre [en línea]. Florida: WikimediaFoundation, 2006., [Consultado 26 de marzo de 2016]. Disponible en internet:

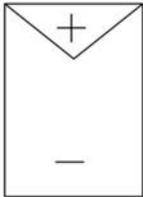
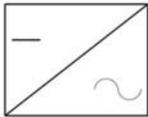
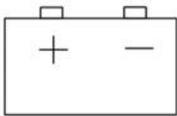
<https://es.wikipedia.org/wiki/Tauramena>

Universidad AUTÓNOMA de Occidente. Valle del Cauca con gran potencial para producir energía limpia. {En línea}. {24 marzo de 2016} disponible en:

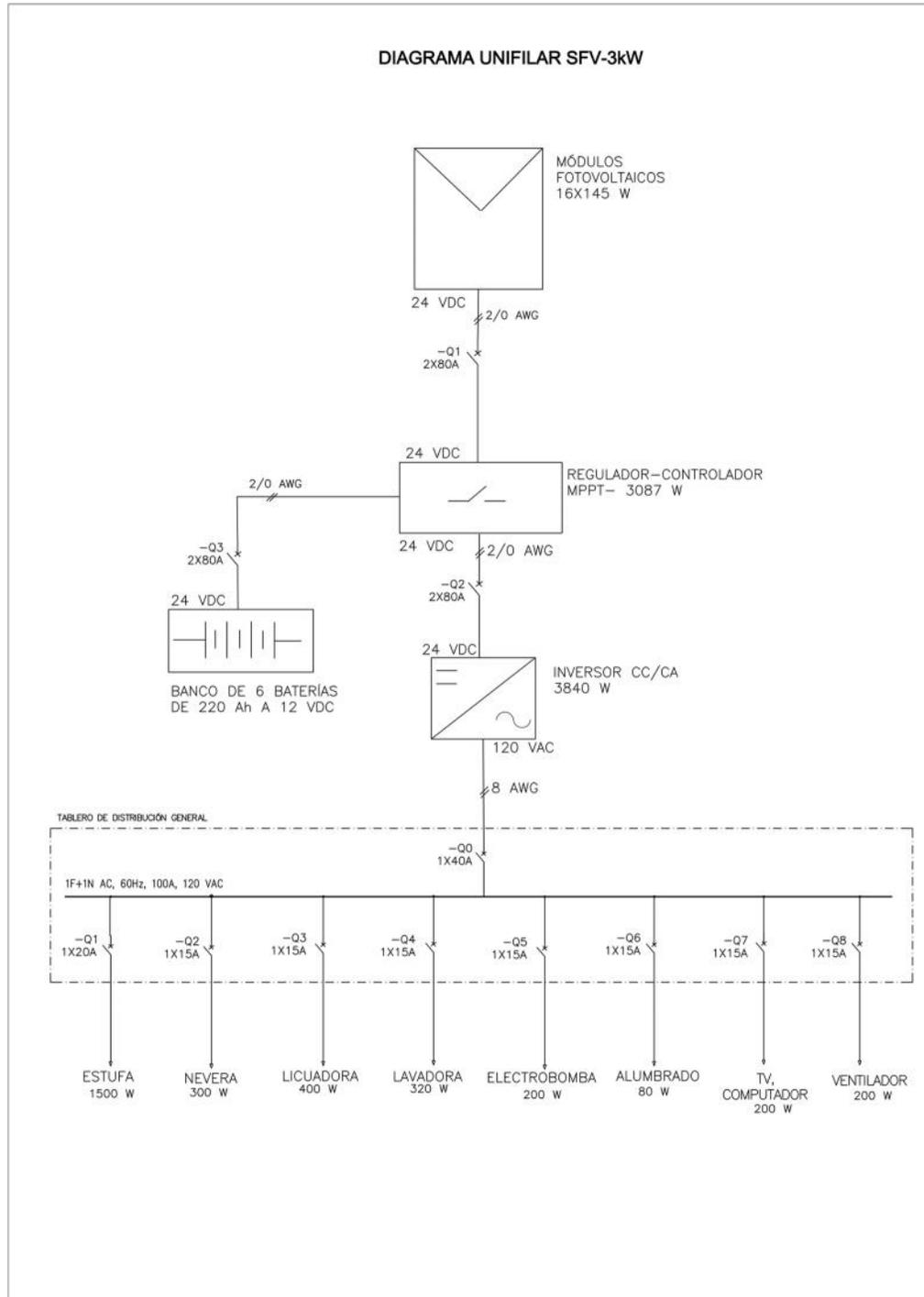
<http://www.uao.edu.co/noticias/valle-del-cauca-gran-potencial-para-producir-energia-limpia>

ANEXOS

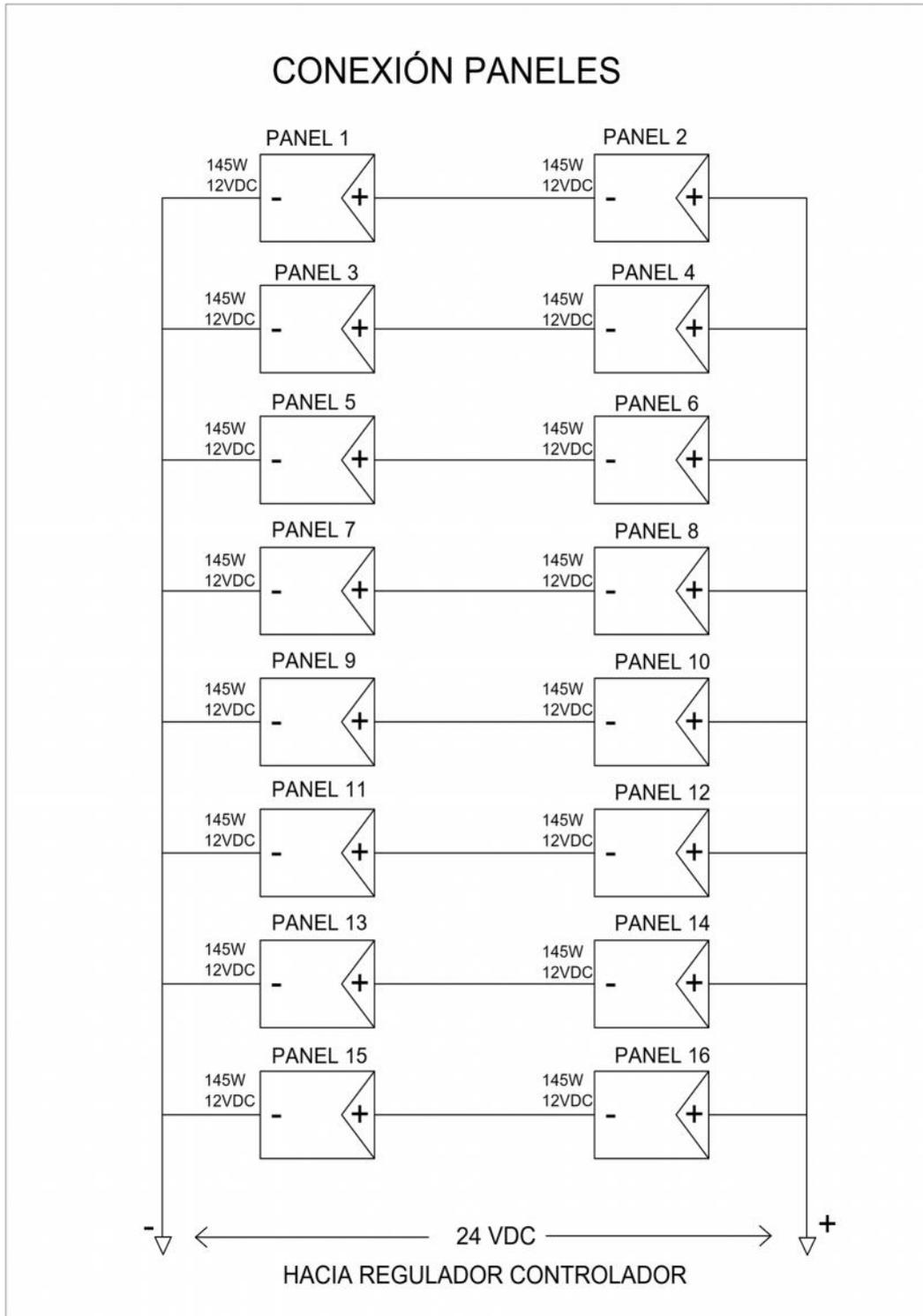
ANEXO 1. Símbolos utilizados en el diseño

SÍMBOLOS	
	MÓDULO FOTOVOLTAICO
	REGULADOR CONTROLADOR
	INVERSOR CC/CA
	BATERÍA
	BANCO DE BATERÍAS
	INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO

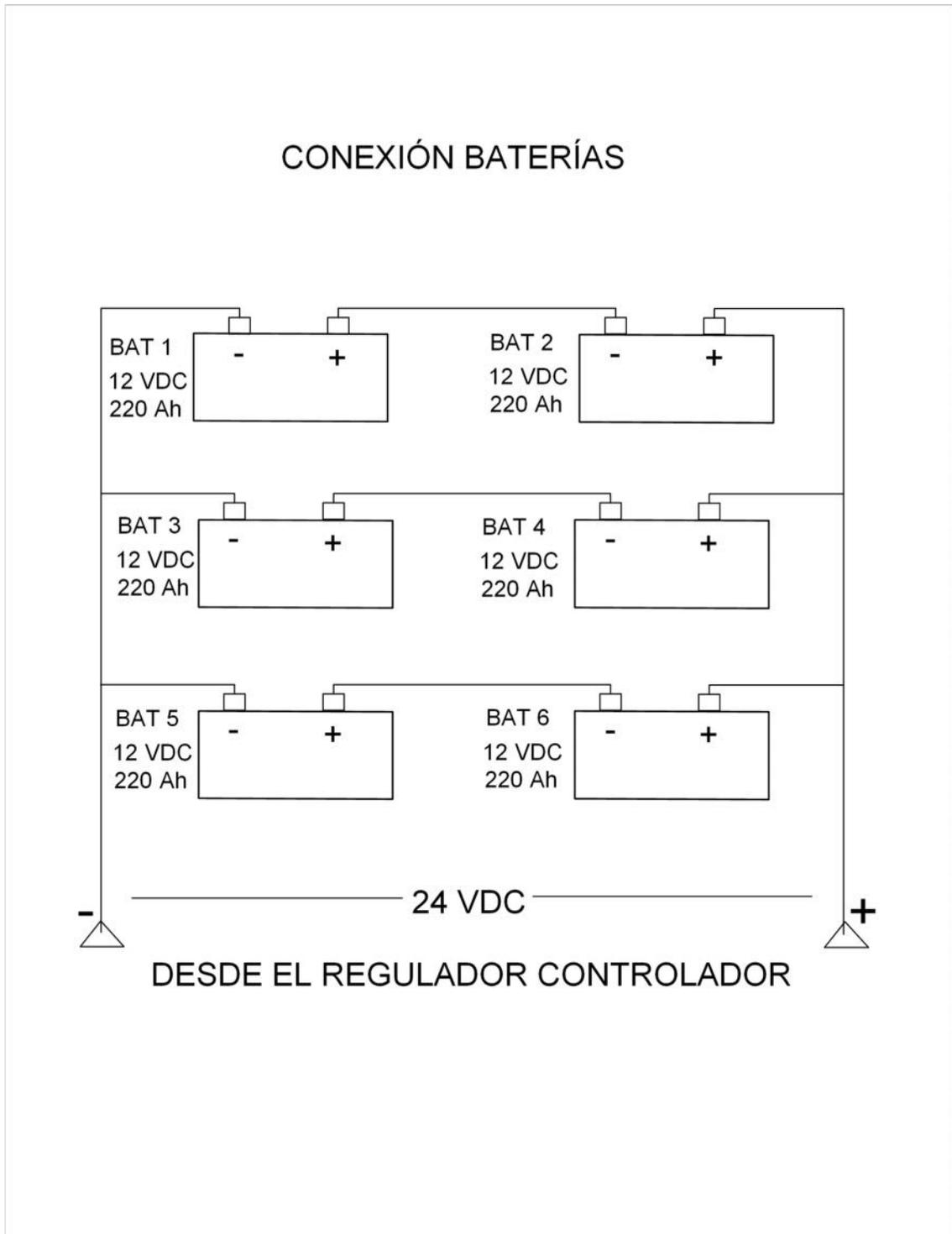
ANEXO 2. Diagrama unifilar del sistema



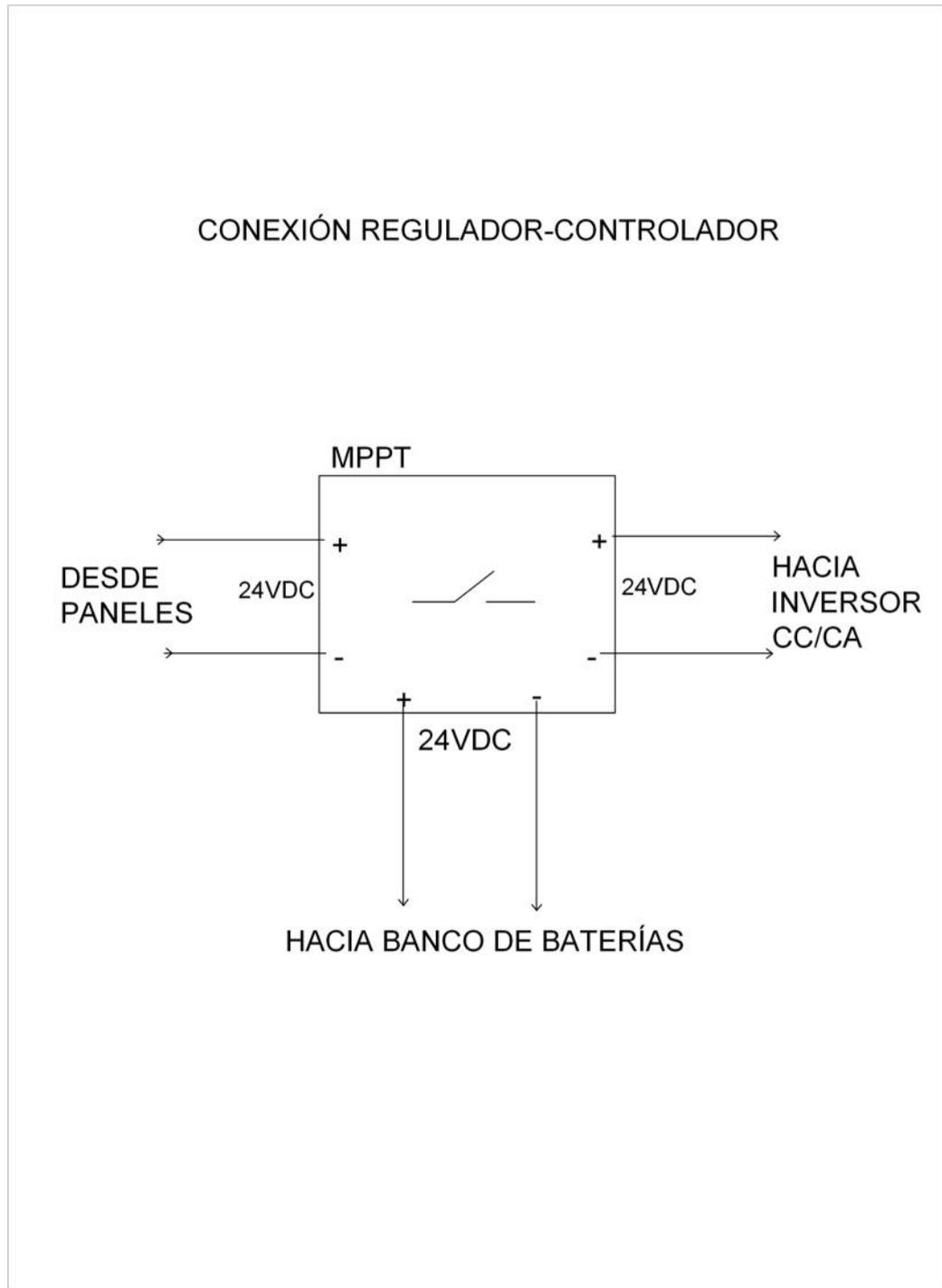
ANEXO 3. Esquema de conexión de los paneles



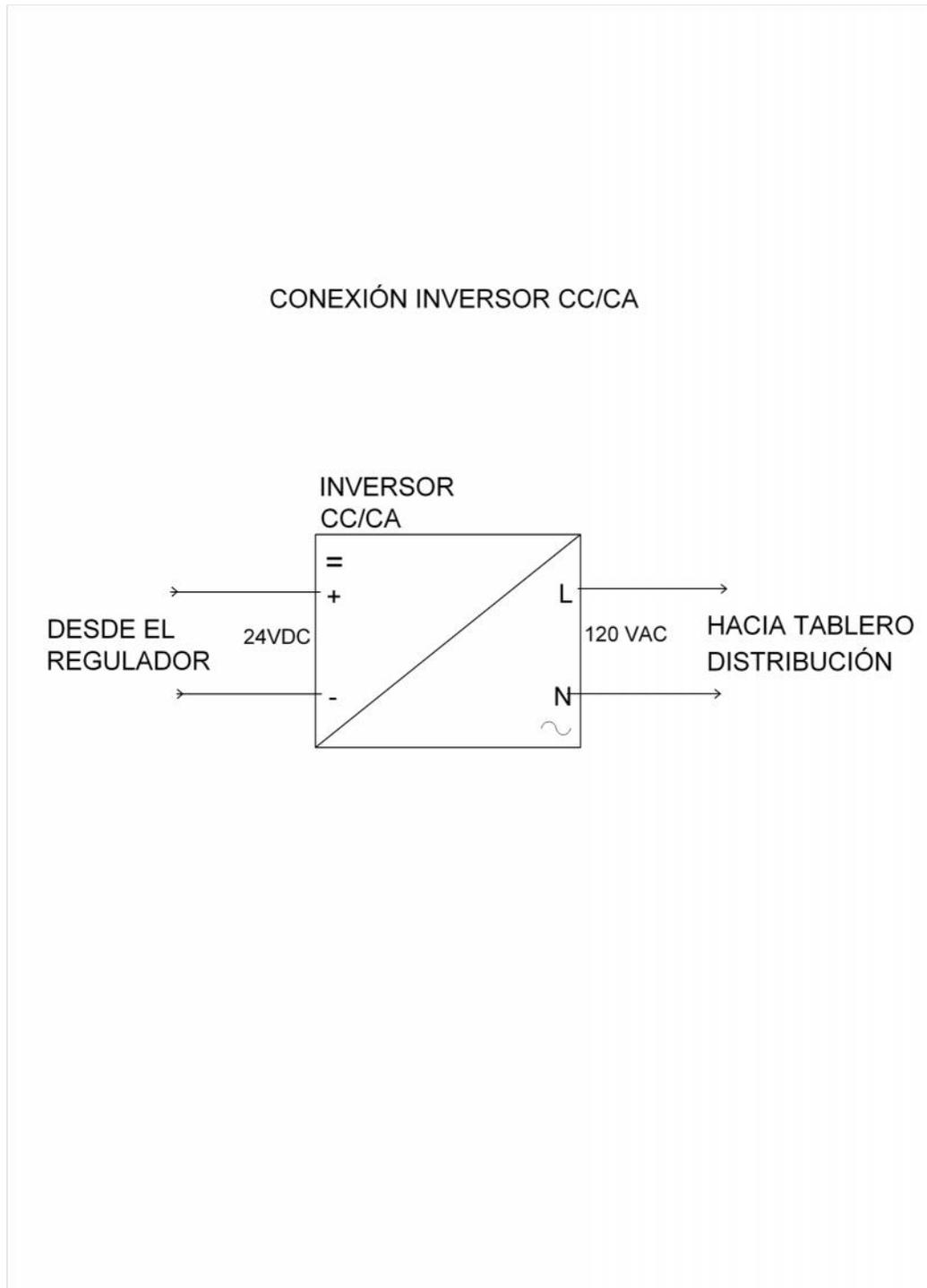
ANEXO 4. Esquema de conexión de las baterías



ANEXO 5. Esquema de conexión del regulador controlador de carga



ANEXO 6. Esquema de conexión del inversor



ANEXO 7. Catálogos de panel solar.

Sunmodule® SW 145 poly R6A



Produced in Germany,
the center for solar technology



TUV Power controlled:
Lowest measuring tolerance in industry



25 year linear performance warranty and
10 year product warranty



SolarWorld AG relies on Germany as its technology location, thereby ensuring sustainable product quality.

The TUV Rheinland Power controlled inspection mark guarantees that the nominal power indicated for solar modules is inspected at regular intervals and thus ensured. The deviation to TUV is maximum 2 percent.

With its linear performance warranty covering a period of 25 years, SolarWorld guarantees a maximum performance depression of 0.7% p.a., a significant added value compared to the two-phase warranties common in the industry. Therefore, the service certificate offers comprehensive protection for your investment in the long term.

www.solarworld.com



We turn sunlight into power.

Sunmodule® SW 145 poly R6A

PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CONDITIONS (STC)*

		SW 145
Maximum power	P_{max}	145 Wp
Open circuit voltage	U_{oc}	22.2 V
Maximum power point voltage	U_{mpp}	18.0 V
Short circuit current	I_{sc}	8.69 A
Maximum power point current	I_{mpp}	8.17 A

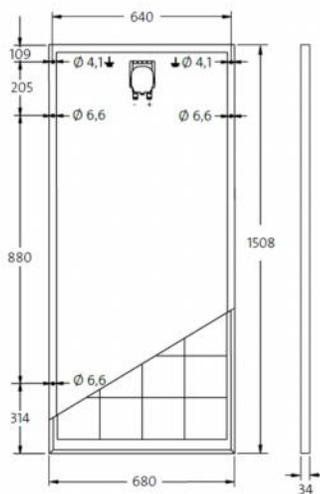
Measuring tolerance (P_{max}) traceable to TUV Rheinland: +/- 2% (TUV Power controlled)

*STC: 1000W/m², 25°C, AM 1.5

PERFORMANCE AT 800 W/m², NOCT, AM 1.5

		SW 145
Maximum power	P_{max}	107.2 Wp
Open circuit voltage	U_{oc}	20.2 V
Maximum power point voltage	U_{mpp}	16.4 V
Short circuit current	I_{sc}	7.07 A
Maximum power point current	I_{mpp}	6.54 A

Minor reduction in efficiency under partial load conditions at 25°C: at 200 W/m², 100% (+/-2%) of the STC efficiency (1000 W/m²) is achieved.



DIMENSIONS

Length	1508 mm
Width	680 mm
Height	34 mm
Frame	Aluminum
Weight	11.8 kg

COMPONENT MATERIALS

Cells per module	36
Cell type	Poly crystalline
Cell dimensions	
Front	tempered glass (EN 12150)

THERMAL CHARACTERISTICS

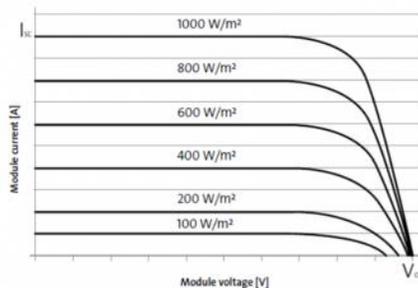
NOCT	46 °C
TC I_{sc}	0.081 %/K
TC U_{oc}	-0.37 %/K
TC P_{mpp}	-0.45 %/K

ADDITIONAL DATA

Power sorting	+/- 5 %
J-Box	IP65

PARAMETERS FOR OPTIMAL SYSTEM INTEGRATION

Maximum system voltage SC II	1000 V
Maximum reverse current	15 A
Load / dynamic load	5.4 / 2.4 kN/m ²
Number of bypass diodes	2
Operating range	-40 °C to +85 °C



Assemblies resistance tested
Periodic Inspection
Power Controlled



• Qualified, IEC 61215
• Safety tested, IEC 61730
• Periodic inspection
• Blowing sand resistant



SolarWorld AG reserves the right to make specification changes without notice.
This data sheet complies with the requirements of EN 50380.

Para mayor información ver:
<http://sunelec.com/solar-panels/solarworld-145w-solar-panel.html>

ANEXO 8: Catálogos de las baterías.



Baterías Gel y AGM

Energía Sin Límites

www.victronenergy.com



1. La tecnología VRLA

VRLA son las siglas de Valve Regulated Lead Acid, lo que significa que la batería es hermética. Habrá escape de gas en las válvulas de seguridad únicamente en caso de sobrecarga o de algún fallo de los componentes. Las baterías VRLA son muy resistentes a los escapes excepcionales y se pueden utilizar en todas las posiciones. Las baterías VRLA no requieren ningún tipo de mantenimiento.

2. Las baterías AGM estancas (VRLA)

AGM son las siglas de Absorbent Glass Mat. En estas baterías, el electrolito se absorbe por capilaridad en una estera en fibra de vidrio situada entre las placas. Tal como se explica en nuestro libro "Energía Sin Límites", las baterías AGM resultan más adecuadas para suministrar corrientes muy elevadas durante periodos cortos (arranque) que las baterías de Gel.

3. Las baterías de Gel estancas (VRLA)

En este tipo de baterías, el electrolito se inmoviliza en forma de gel. Las baterías de Gel tienen por lo general una mayor duración de vida y una mejor capacidad de ciclos que las baterías AGM.

4. Autodescarga escasa

Gracias a la utilización de rejillas de plomo-calcio y materiales de gran pureza, las baterías VRLA Victron se pueden almacenar durante largo tiempo sin necesidad de recarga. El índice de autodescarga es inferior a un 2% al mes, a 20°C. La autodescarga se duplica por cada 10°C de aumento de temperatura. Con un ambiente fresco, las baterías VRLA de Victron se pueden almacenar durante un año sin tener que recargar.

5. Extraordinaria recuperación tras descarga profunda

Las baterías Victron VRLA tienen una extraordinaria capacidad de recuperación incluso tras una descarga profunda o prolongada. Sin embargo, se debe recalcar que las descargas profundas o prolongadas frecuentes tienen una influencia muy negativa en la duración de vida de las baterías de plomo/ácido, y las baterías de Victron no son la excepción.

6. Características de descarga de las baterías

Las capacidades nominales de las baterías de Victron se indican para una descarga de 10 horas, es decir para una corriente de descarga de 0,1C. La capacidad real disminuye en descargas más rápidas con intensidades elevadas (ver tabla 1). La reducción de capacidad aún será más rápida con aparatos de potencia constante como por ejemplo los inversores.



Duración de descarga	Voltage Final V	AGM 'Deep Cycle' %	Gel 'Deep Cycle' %	Gel 'Long Life' %
20 horas	10,8	100	100	112
10 horas	10,8	92	87	100
5 horas	10,8	85	80	94
3 horas	10,8	78	73	79
1 hora	9,6	65	61	63
30 minutos	9,6	55	51	45
15 minutos	9,6	42	38	29
10 minutos	9,6	38	34	21
5 minutos	9,6	27	24	
5 segundos		8 C	7 C	

Tabla 1: Capacidad real en función de la capacidad de descarga. (la última línea indica la corriente de descarga máxima autorizada durante 5 segundos).

Nuestras baterías AGM Deep Cycle (ciclo profundo) ofrecen excelentes resultados a alta intensidad y por ello se recomiendan para aplicaciones como el arranque de motores. Debido a su diseño, las baterías de gel tienen una capacidad real menor a alta intensidad. En cambio, las baterías de gel tienen mejor duración de vida en modo flotación y ciclos.

7. Efectos de la temperatura en la duración de vida

Las temperaturas elevadas tienen una influencia muy negativa en la duración de vida. La tabla 2 presenta la duración de vida previsible de las baterías de Victron en función de la temperatura.



Temperatura media de funcionamiento	AGM Deep Cycle años	Gel Deep Cycle años	Gel Long Life años
20°C / 68°F	7 - 10	12	20
30°C / 86°F	4	6	10
40°C / 104°F	2	3	5

Tabla 2: Duración de vida

8. Efectos de la temperatura en la capacidad

El siguiente gráfico muestra que la capacidad disminuye en gran medida a baja temperatura.

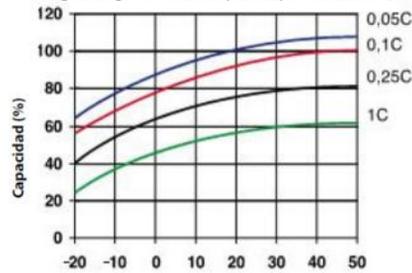


Fig. 1: Efectos de la temperatura en la capacidad

9. Duración de vida en ciclos de las baterías de Victron

Las baterías se gastan debido a las cargas y descargas. El número de ciclos depende de la profundidad de descarga, tal como muestra la figura 2.

■ AGM Deep Cycle ■ Gel Deep Cycle ■ Gel Long Life

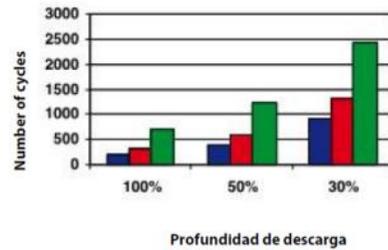


Fig. 2: Duración de vida en ciclos

10. Carga de la batería en modo de ciclos: La característica de carga en 3 etapas

El método de carga más corriente para las baterías VRLA utilizadas en ciclos es la característica en tres etapas, según la cual una fase de corriente constante (fase "Bulk") va seguida por dos fases con voltaje constante ("Absorción" y "Flotación"). Ver fig. 3.

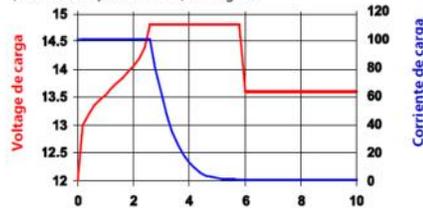


Fig. 3: Régimen de carga en tres etapas

Durante la fase de absorción, el voltaje de carga se mantiene a un nivel relativamente elevado para acabar de cargar la batería en un tiempo razonable. La tercera y última fase es la de mantenimiento (Flotación): el voltaje se reduce a un nivel justamente suficiente para compensar la autodescarga.

Inconvenientes de la carga tradicional en tres etapas:

- **Riesgo de gaseo**
Durante la fase de carga inicial, la corriente se mantiene a un nivel constante y a menudo elevado, incluso por encima del voltaje de gaseo (14,34V para una batería de 12V). Ello puede provocar una presión de gas excesiva en la batería. Puede escaparse gas por las válvulas de seguridad, lo que reduce la duración de vida y presenta un peligro.
- **Duración de carga fija**
El voltaje de absorción aplicado a continuación durante un tiempo fijo no tiene en cuenta el estado de carga inicial de la batería. Una fase de absorción demasiado larga tras una descarga poco profunda sobrecargará la batería, reduciendo una vez más su duración de vida, especialmente debido a la oxidación acelerada de las placas positivas.
- Nuestros estudios han revelado que la duración de vida de una batería se puede aumentar reduciendo más la tensión de flotación cuando no se utiliza la batería.

11. Carga de la batería: mejor duración de vida mediante la carga adaptable en 4 etapas de Victron
Victron Energy ha creado la carga adaptable en 4 etapas. Esta tecnología innovadora es resultado de muchos años de investigación y ensayos.

El método de carga adaptable de Victron elimina los 3 principales inconvenientes de la carga tradicional en 3 etapas:

- **Función BatterySafe**
Para evitar el gaseo excesivo, Victron ha inventado la función BatterySafe. La función BatterySafe reduce el aumento del voltaje de carga cuando se alcanza el voltaje de gaseo. Los estudios revelan que dicho procedimiento mantiene el gaseo interno a unos niveles sin peligro.
- **Duración de absorción variable**
El cargador Victron calcula la duración óptima de la fase de absorción en función de la duración de la fase de carga inicial (Bulk). Si la fase Bulk fue corta significa que la batería estaba poco descargada y la duración de absorción se reducirá automáticamente. Una fase de carga inicial más larga dará una duración de absorción también más larga.
- **Función de almacenamiento**
Una vez finalizada la fase de absorción, en principio, la batería está totalmente cargada y el voltaje se reduce hasta un nivel de mantenimiento (Flotación). A continuación, si no se utiliza la batería durante 24 horas, el voltaje se reduce aún más y el cargador de batería pasa al modo de "almacenamiento". Este voltaje de "almacenamiento" reduce al mínimo la oxidación de las placas positivas. Posteriormente, el voltaje aumentará en modo absorción una vez por semana para compensar la autodescarga (función Battery Refresh).

12. Carga en modo flotación: carga de mantenimiento con voltaje constante

Si una batería se descarga profundamente con poca frecuencia, es posible una curva de carga en dos etapas. Durante la primera fase, la batería se carga con una corriente constante pero limitada (fase "Bulk"). Una vez alcanzado un voltaje predeterminado, la batería se mantiene a este voltaje (fase de mantenimiento o "Flotación"). Este método de carga se utiliza en las baterías de arranque a bordo de vehículos y para los sistemas de alimentación sin cortes (onduladores).

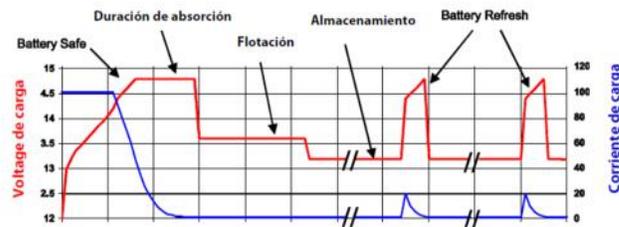


Fig. 4: Carga adaptable en 4 etapas de Victron

13. Voltajes de carga óptimos de las baterías VRLA Victron

La siguiente tabla presenta los voltajes de carga recomendados para una batería de 12V:

14. Efectos de la temperatura en el voltaje de carga

El voltaje de carga se debe reducir a medida que la temperatura aumenta. La compensación de temperatura es necesaria cuando la temperatura de la batería puede ser inferior a 10°C / 50°F o superior a 30°C / 85°F durante un periodo de tiempo prolongado. La compensación de temperatura recomendada para las baterías Victron VRLA es de -4 mV/elemento (-24 mV/°C para una batería de 12V). El punto medio de compensación de temperatura es de 20°C / 70°F.

15. Corriente de carga

Preferentemente, la corriente de carga no debe superar 0,2 C (20 A para una batería de 100 Ah). La temperatura de una batería aumentará más de 10°C si la corriente de carga es superior a 0,2 C. Así pues, la compensación de temperatura resulta indispensable para corrientes de carga superiores a 0,2 C.

	Utilización en flotación	Ciclos Normal	Ciclos Recarga rápida
Victron AGM "Deep Cycle"			
Absorción		14,2 - 14,6	14,6 - 14,9
Flotación	13,5 - 13,8	13,5 - 13,8	13,5 - 13,8
Almacenamiento	13,2 - 13,5	13,2 - 13,5	13,2 - 13,5
Victron Gel "Deep Cycle"			
Absorción		14,1 - 14,4	
Flotación	13,5 - 13,8	13,5 - 13,8	
Almacenamiento	13,2 - 13,5	13,2 - 13,5	
Victron Gel "Long Life"			
Absorción		14,0 - 14,2	
Flotación	13,5 - 13,8	13,5 - 13,8	
Almacenamiento	13,2 - 13,5	13,2 - 13,5	

Table 3: Voltajes de carga recomendados

12 Volt Deep Cycle AGM							Especificaciones generales
Referencia	Ah	V	lxanxl mm	Peso kg	CCA @0°F	RES CAP @80°F	Tecnología: flat plate AGM Bornes: cobre, M8
BAT406225080	240	6	320x176x247	31	1500	480	Capacidad nominal: descarga en 20h a 25°C Dur. de vida en flotación: 7-10 años a 20°C Dur. de vida en ciclos: 200 ciclos en descarga 100%* 400 ciclos en descarga 50% 900 ciclos en descarga 30%
BAT212070080	8	12	151x65x101	2,5			
BAT212120080	14	12	151x98x101	4,1			
BAT212200080	22	12	181x77x167	5,8			
BAT412350080	38	12	197x165x170	12,5			
BAT412550080	60	12	229x138x227	20	450	90	
BAT412600080	66	12	258x166x235	24	520	100	
BAT412800080	90	12	350x167x183	27	600	145	
BAT412101080	110	12	330x171x220	32	800	190	
BAT412121080	130	12	410x176x227	38	1000	230	
BAT412151080	165	12	485x172x240	47	1200	320	
BAT412201080	220	12	522x238x240	65	1400	440	

12 Volt Deep Cycle GEL							Especificaciones generales
Referencia	Ah	V	lxanxl mm	Peso kg	CCA @0°F	RES CAP @80°F	Tecnología: flat plate GEL Bornes: cobre, M8
BAT412550100	60	12	229x138x227	20	300	80	Capacidad nominal: 20 hr discharge at 25°C Dur. de vida en flotación: 12 years at 20°C Dur. de vida en ciclos: 300 ciclos en descarga 100%* 600 ciclos en descarga 50% 1300 ciclos en descarga 30%
BAT412600100	66	12	258x166x235	24	360	90	
BAT412800100	90	12	350x167x183	26	420	130	
BAT412101100	110	12	330x171x220	33	550	180	
BAT412121100	130	12	410x176x227	38	700	230	
BAT412151100	165	12	485x172x240	48	850	320	
BAT412201100	220	12	522x238x240	66	1100	440	

2 Volt Long Life GEL					Especificaciones generales
Referencia	Ah	V	lxanxl mm	Peso kg	Tecnología: tubular plate GEL Terminales: copper
BAT702601260	600	2	149x208x710	48	Capacidad nominal: 10 hr discharge at 25°C Dur. de vida en flotación: 20 years at 20°C Dur. de vida en ciclos: 1200 ciclos en descarga 100%* 1200 ciclos en descarga 50% 2400 ciclos en descarga 30%
BAT702801260	800	2	215x193x710	68	
BAT702102260	1000	2	215x235x710	82	
BAT702122260	1200	2	215x277x710	94	
BAT702152260	1500	2	215x277x855	120	
BAT702202260	2000	2	215x400x815	160	
BAT702252260	2500	2	215x490x815	200	
BAT702302260	3000	2	215x580x815	240	

Otras capacidades y tipos de bornes: por engargo

* Voltaje de fin de descarga: 10,8 V para una batería de 12 V

ANEXO 9. Catálogos de regulador – controlador tipo MPPT.

Conext MPPT 60 150 solar charge controller

MPPT multi-stage charging, better battery life

The Conext™ MPPT 60 150 is a photovoltaic (PV) charge controller that tracks the maximum power point of a PV array to deliver the maximum available current for charging batteries. When charging, the MPPT 60 150 regulates battery voltage and output current based on the amount of energy available from the PV array and state-of-charge of the battery.

Why choose Conext MPPT 60 150?



True bankability

- Warranty from a trusted partner with over 177 years of experience
- World leader in industrial power drives, UPS and electrical distribution
- Strong service infrastructure worldwide to support your global needs



Higher return on investment

- Maximum Power Point Tracking (MPPT) algorithm continually seeks the maximum power available from the PV array
- Improve battery life with selectable multi-stage temperature compensated charging
- Five-year standard warranty



Flexible

- Stand-alone application or full integration with Conext XW and Conext SW inverter charger system
- Compatible with any brand of PV Module
- Available remote monitoring and configuration



Easy to install

- Configurable auxiliary output
- LCD screen with face plate buttons for configuration and system monitoring
- Integrated PV ground fault protection for negative grounded arrays



Product applications



Backup power



Residential grid-tie solar with backup power



off-grid solar



Community electrification



Self-consumption

Conext MPPT 60 150 solar charge controller

Device short name	MPPT 60 150
Electrical specifications	
Nominal battery voltage	12, 24, 36, 48, 60 V
Battery voltage operating range	0 Vdc to 80 Vdc
Max. PV array voltage (operating)	140 V
Max. PV array open circuit voltage	150 V including temperature correction factor
Max. array short-circuit current	60 A (48 A @ STC)
Max. charge current	60 A (for all battery voltages except 60 V)
Max. and min. wire size in conduit	#6 AWG to #14 AWG (10 to 2.5 mm ²)
Max. output power	3500 W
Charger regulation method	Three-stage (bulk, absorption, float) plus manual equalization Two-stage (bulk, absorption) plus manual equalization
Supported battery types	Flooded, GEL, AGM, Custom
Efficiency	
Max. power conversion efficiency	93% (nominal 12 V), 96% (nominal 24 V), 97% (nominal 36 V), 98% (nominal 48 V), 99% (nominal 60 V)
General specifications	
Power consumption, night time	2.5 W
Battery temperature sensor	Included
Auxiliary output	5 - 13 V, up to 200 mA
Enclosure material	Indoor, ventilated, sheet metal chassis with 2.2 cm and 2.8 cm (7/8 in and 1 in) knockouts and aluminium heat-sink
IP degree of protection	IP20
Product weight	4.8 kg (10.8 lb)
Shipping weight	8.0 kg (17.6 lb)
Product dimensions (H x W x D)	36.8 x 14.6 x 13.8 cm (14.5 x 5.8 x 5.5 in)
Shipping dimensions (H x W x D)	48.3 x 22.9 x 35 cm (19.0 x 9.0 x 9.8 in)
Device mounting	Vertical wall mount
Ambient air temperature for operation	-20°C to 45°C (-4°F to 113°F)
Storage temperature range	-40°C to 85°C (-40°F to 185°F) full power, power derating above 45°C
Operating altitude	Sea level to 2000 m (6562 ft)
System network and remote monitoring	Available
Warranty	Five-year standard
Part number	865-1030-1
Features	
Display type	LCD, 2 lines 16 digits
Regulatory approval	
Safety	CSA Certified (JUL1741, CSA 107.1) and CE Marked for the Low Voltage Directive (EN50178)
EMC	FCC and Industry Canada (Class B), CE Marked for the EMC Directive (EN61000-6-1, -6-3), C-Tick compliant

Specifications are subject to change without notice.

Conext MPPT 60 150 solar charge controller works with the following Schneider Electric products



Conext XW inverter/charger
XW 5548 NA Product no. 865-5548-01
XW 6848 NA Product no. 865-6848-01
XW 7048 E Product no. 865-7048-61
XW 8548 E Product no. 865-8548-61



Conext SW inverter/charger
SW 2524 120 Product no. 865-2524
SW 4024 120 Product no. 865-3524
SW 2524 230 Product no. 865-2524-61
SW 4024 230 Product no. 865-3524-61



Conext System Control Panel (SCP)
Product no. 865-1050-01



Conext Automatic Generator Start (AGS)
Product no. 865-1060-01



Conext Combox Communication device
Product no. 865-1058

Para mayor información ver:
<http://solar.schneider-electric.com/product/conext-mppt-60-150/>

BlueSolar Charge Controller MPPT 150/70 & 150/85

www.victronenergy.com



Solar Charge Controllers
MPPT 150/70 and 150/85

PV voltage up to 150 V

The BlueSolar MPPT 150/70 and 150/85 charge controllers will charge a lower nominal-voltage battery from a higher nominal voltage PV array.

The controller will automatically adjust to a 12, 24, 36, or 48V nominal battery voltage.

Ultra-fast Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Especially in case of a clouded sky, when light intensity is changing continuously, an ultra-fast MPPT controller will improve energy harvest by up to 30% compared to PWM charge controllers and by up to 10% compared to slower MPPT controllers.

Advanced Maximum Power Point Detection in case of partial shading conditions

If partial shading occurs, two or more maximum power points may be present on the power-voltage curve. Conventional MPPT's tend to lock to a local MPP, which may not be the optimum MPP.

The innovative BlueSolar algorithm will always maximize energy harvest by locking to the optimum MPP.

Outstanding conversion efficiency

Maximum efficiency exceeds 98%. Full output current up to 40°C (104°F).

Flexible charge algorithm

Several preconfigured algorithms. One user programmable algorithm.

Manual or automatic equalisation.

Battery temperature sensor. Battery voltage sense option.

Programmable auxiliary relay

For alarm or generator start purposes

Extensive electronic protection

Over-temperature protection and power derating when temperature is high.

PV short circuit and PV reverse polarity protection.

Reverse current protection.

CAN bus

To parallel up to 25 units, to connect to a ColorControl panel or to connect to a CAN bus network

BlueSolar Charge Controller	MPPT 150/70	MPPT 150/85
Nominal battery voltage	12 / 24 / 36 / 48V Auto Select	
Rated charge current	70A @ 40°C (104°F)	85A @ 40°C (104°F)
Maximum solar array input power ¹⁾	12V: 1000W / 24V: 2000W / 36V: 3000W / 48V: 4000W	12V: 1200W / 24V: 2400W / 36V: 3600W / 48V: 4850W
Maximum PV open circuit voltage	150V absolute maximum coldest conditions 145V start-up and operating maximum	
Minimum PV voltage	Battery voltage plus 7 Volt to start	Battery voltage plus 2 Volt operating
Standby power consumption	12V: 0,55W / 24V: 0,75W / 36V: 0,90W / 48V: 1,00W	
Efficiency at full load	12V: 95% / 24V: 96,5% / 36V: 97% / 48V: 97,5%	
Absorption charge	14.4 / 28.8 / 43.2 / 57.6V	
Float charge	13.7 / 27.4 / 41.1 / 54.8V	
Equalization charge	15.0 / 30.0 / 45 / 60V	
Remote battery temperature sensor	Yes	
Default temperature compensation setting	-2,7 mV/°C per 2V battery cell	
Remote on/off	No	Yes
Programmable relay	DPST AC rating: 240VAC / 4A DC rating: 4A up to 35VDC, 1A up to 60VDC	
Communication port	VE.Can: two paralleled RJ45 connectors, NMEA2000 protocol	
Parallel operation	Yes, through VE.Can. Max 25 units in parallel	
Operating temperature	-40°C to 60°C with output current derating above 40°C	
Cooling	Natural Convection	Low noise fan assisted
Humidity (non condensing)	Max. 95%	
Terminal size	35mm ² / AWG2	
Material & color	Aluminium, blue RAL 5012	
Protection class	IP20	
Weight	4,2kg	
Dimensions (h x w x d)	350 x 160 x 135mm	
Mounting	Vertical wall mount	Indoor only
Safety	EN 60335-1	
EMC	EN 61000-6-1, EN 61000-6-3	

1) If more solar power is connected, the controller will limit input power to the stated maximum

Victron Energy B.V. | De Paal 35 | 1351 JG Almere | The Netherlands
General phone: +31 (0)36 535 97 00 | Fax: +31 (0)36 535 97 40
E-mail: sales@victronenergy.com | www.victronenergy.com

Para mayor información ver:

<https://www.victronenergy.com.es/solar-charge-controllers/mppt-150-70>

ANEXO 10. Catálogos de inversor CC/CA para aplicación solar tipo Off Grid.



Schneider Electric Conext SW4024 Inverter

Conext SW delivers new value and a new price point to the marketplace in 2013. Conext SW is a pure sine wave, inverter/charger system with switchable 50/60 Hz functionality available for both 120/240 VAC or 230 VAC models.

North American units feature split-phase input and output without the need for an external transformer. Available DC and AC switchgear panels, display control panel, remote monitoring and automated generator control modules present even more value. Stacking Conext SW units will double the power and available solar charge controllers allow for the integration of solar capacity as required.

Easy to Install

- Configures quickly into compact wall-mounted system
- Companion switchgear integrates inverter with batter bank

Flexible

- All models support both 50 Hz and 60 Hz output
- All models support stackable power

Easy to Service

- Remote monitoring and configuration
- Global support

Higher Return on Investment

- Cost-effective residential and community system
- Harness the continuously production cost of solar power

Electrical Specifications

Peak Inverter Efficiency:	92%
Maximum DC Input Voltage:	34V
AC Nominal Voltage:	120 V
AC Frequency:	60Hertz
Continous AC Power Output:	3500Watts

Mechanical Data & Components

Enclosure Rating:	NEMA 3R
Dimensions:	16.5 x 13.4 x 7.6 inches
Weight:	50 pounds

General Information

Category:	Off Grid
Manufacturer:	Schneider Electric
Model ID/Number:	SW 4024 120
Product Line:	Conext SW

Safety Ratings & Certifications:



1/41

Para mayor información ver:

<http://www.wholesalesolar.com/2430035/schneider/inverters/schneider-conext-sw4024-inverter>

ANEXO 11. Apéndices del atlas solar de Colombia

El atlas solar de Colombia es un documento elaborado por dos instituciones colombianas; la UPME “Unidad de planeación minero energética” y el IDEAM “Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial” y contiene la información de las radiaciones solares en todas las regiones de Colombia, el documento incluye mapas de las radiaciones en todas las regiones de Colombia durante todos los meses del año. También cuenta con la información teórica suficiente, distribuida en apéndices, con ejemplos que enseñan la forma de calcular la radiación solar en cualquier lugar de Colombia durante cualquier época del año. Los apéndices utilizados en este proyecto fueron los siguientes:

- APÉNDICE A: RELACIONES ASTRONÓMICAS SOL-TIERRA

http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/7-Apendice_A.pdf

2. APÉNDICE B: CARACTERÍSTICAS DE LA RADIACIÓN SOLAR

http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/8-Apendice_B.pdf

3. APÉNDICE C: MEDICIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR

http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/9-Apendice_C.pdf

4. APÉNDICE D: EVALUACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR EN COLOMBIA

http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/10-Apendice_D.pdf

ANEXO 12. Anexo RAE

RESUMEN ANÁLITICO RAE.

Título de Documento	DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA CON CAPACIDAD PARA 3 KILOVATIOS
Autor	ACEVEDO GARCÉS, Fabio de Jesús
Palabras Claves	Instalación solar fotovoltaica, Batería, cálculo, caracterización, celda, diseño, esquema, fotovoltaica, especificación, instalación, insolación, inversor, irradiancia, módulo, panel, plano, regulador, radiación, solar.
Descripción	<p>El tipo de documento corresponde al de un proyecto aplicado, consiste en la elaboración del diseño de un sistema solar fotovoltaico para suministrar electricidad, de manera limpia y sustentable, a una vivienda rural localizada en un sitio alejado de los centros urbanos y de las zonas interconectadas. El trabajo se realizó para la vereda Carupana (municipio de Tauramena, Casanare); pero, con pequeños ajustes, se puede aplicar para cualquier lugar de Colombia.</p>
Fuentes Biblio - gráficas	<p>Atlas de Radiación Solar de Colombia 2005 [en línea]. República de Colombia: Unidad de Planeación Minero Energética – UPME, Ministerio de Minas y Energía; Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. [consultado 09 de abril de 2016]. Disponible en internet: http://www.upme.gov.co/Atlas_Radiacion.htm</p> <p>ENRÍQUEZ HARPER, Gilberto. Instalaciones y sistemas fotovoltaicos. México: Limusa, 2014. 334 p.</p> <p>GIBILISCO, Stan. Manual portátil de electrónica. México: McGraw Hill, 2001. 727 p.</p> <p>INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Guía de Especificaciones de Sistemas Fotovoltaicos para Suministro de Energía Rural Dispersa en Colombia. GTC114. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2004. 54 p. [Consultado 29 de mayo de 2016]. Disponible en biblioteca Virtual Unad: http://bibliotecavirtual.unad.edu.co:2083/icontec_enormas_mobile/visor/HTML5.asp</p>

	<p>LADINO PERALTA, Rafael. La energía solar fotovoltaica como factor de desarrollo en zonas rurales de Colombia [en línea]. Tesis de Maestría en Desarrollo Rural. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, 2011. 136 p. [consultado 18 de agosto de 2015]. Disponible en Internet: http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/1085/1/LadinoPeraltaRafaelEduardo2010.pdf</p> <p>MADRID VICENTE, Antonio. Energía Solar Térmica y de Concentración: Manual Práctico de Diseño, Instalación y Mantenimiento. Madrid: AMV Ediciones y Mundi-Prensa, 2009. 326 p.</p> <p>ROLDÁN VILORIA, José. Instalaciones solares fotovoltaicas. Madrid: Paraninfo, 2010. 387 p.</p>
<p>Contenido:</p> <p>a) Descripción del problema:</p> <p>Muchas zonas rurales del Casanare, por su lejanía y difícil acceso, no cuentan con redes de energía eléctrica y por lo tanto sus habitantes están privados de este servicio y carecen de acceso al uso de electrodomésticos, al uso de medios de extracción y/o bombeo de agua potable, a la utilización de medios para cocción de alimentos sin leña, al uso de los sistemas de comunicación, a la utilización de iluminación eléctrica, al uso de los medios de refrigeración de alimentos, a equipos de lavandería, a la posibilidad de utilizar y aplicar pequeñas herramientas eléctricas, al uso del computador y al uso de medios de diversión y de información como la televisión y la radio.</p> <p>b) Objetivo General.</p> <p>Diseñar un sistema solar fotovoltaico de energía limpia y renovable con capacidad para 3 kW en ambientes rurales para suplir necesidades de energía eléctrica en hogares del municipio de Tauramena.</p> <p>c) Objetivos Específicos.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Determinar las especificaciones técnicas de los equipos que conformarían el sistema solar fotovoltaico. - Caracterizar y dimensionar cada uno de los equipos que conformarían el sistema solar fotovoltaico. 	

- Elaborar los esquemas y planos de la instalación solar fotovoltaica para 3 kW.

d) Resumen de lo desarrollado en el proyecto.

El trabajo contiene la descripción y funcionamiento del sistema y de cada uno de sus equipos, los cálculos, las especificaciones, y los esquemas técnicos de una instalación solar fotovoltaica.

El diseño se realizó para una vivienda rural localizada en la vereda Carupana, del municipio de Tauramena, en el departamento del Casanare; sin embargo, mediante pequeños ajustes se puede aplicar para instalaciones similares en cualquier parte de Colombia.

En el marco referencial se tocan temas relacionados con la energía solar, el origen de los sistemas fotovoltaicos; se explican el fenómeno fotoeléctrico y el efecto fotovoltaico; se tratan el funcionamiento y las características de los módulos solares, las baterías, el regulador y el convertidor CC/CA de una instalación solar fotovoltaica.

En uno de sus capítulos, se presenta el diseño propiamente dicho, en esta parte se caracterizan y dimensionan los equipos; se realizan los cálculos necesarios para obtener las potencias y capacidades de los módulos, baterías y equipos de la instalación fotovoltaica. Se incluyen los esquemas que permitirían la construcción del proyecto, si en algún momento se decide su ejecución.

También se incluye la bibliografía de la documentación consultada y se anexan catálogos con los datos técnicos de equipos de especificaciones similares a las obtenidas en el diseño.

Metodología

La metodología que se siguió en este trabajo corresponde al método científico. El método científico, es una forma ordenada y planificada, desarrollada y propuesta, para realizar trabajos de investigación en todas las ciencias teóricas y aplicadas, que abarca los diseños de ingeniería.

Los aspectos metodológicos que aplican para los diseños en ingeniería son los estudios de tipo descriptivo y explicativo, y los métodos de investigación a utilizar son los de análisis y de síntesis.

La mayoría de la información que se utilizó es del tipo secundaria; normas y textos de consulta.

Conclusiones

- De acuerdo con los cálculos desarrollados, en la vereda Carupana, la mínima radiación solar recibida por los paneles inclinados 15° , respecto de la horizontal, y orientados hacia la línea ecuatorial, ocurre en el mes de junio y tiene un valor de $4,05 \text{ kWh/m}^2$. Este valor es uno de los parámetros a tener en cuenta para calcular y dimensionar los paneles y equipos correctamente; así se garantiza el suministro mínimo de energía eléctrica, a la instalación durante cualquier época del año.
- Se obtuvo que el sistema operará eficientemente durante cualquier día del año con 16 paneles de 145 W, 6 baterías de 220 Ah a 12 Vdc, 1 regulador controlador MPPT de 3 kW y un inversor CC/CA de 4 kW.
- Existe gran cantidad de proveedores y gran variedad de equipos para instalaciones solares fotovoltaicas; para su selección es necesario tener en cuenta el tipo de instalación (conectada, aislada o híbrida), la última versión de las normas y la calidad de energía requerida por la carga.
- Para esta instalación, la recuperación de los costos de inversión supera los 25 años, pero se justifican si se tiene en cuenta la calidad de vida que se ofrece a los campesinos, y si se observa que los costos ambientales disminuyen cuando no se cocina con leña.
- Dada la gran cantidad de fabricantes y proveedores de equipos solares se recomienda realizar un estudio de mercadeo antes de su compra.
- Las cargas eléctricas, como las estufas, consumen demasiada energía y hacen que la instalación sea de mayor tamaño y que requiera de equipos de mayor potencia (paneles, baterías, regulador) y que su costo sea mucho más alto que una instalación sin estos equipos.

Recomendaciones.

- En lo posible, se recomienda realizar sistemas de generación fotovoltaica para grupos de usuarios en lugar de sistemas para uno solo. Se observa en las curvas de carga, que la demanda máxima para un usuario estrato 1 es de 3 kVA, mientras que para 45 usuarios es de 1 kVA por usuario (debido al factor de diversidad); esto quiere decir que en estos casos el sistema solar resulta más pequeño y menos costoso si se diseña para varios usuarios.
- Se recomienda hacer conocer y divulgar las leyes y programas que promueven

y financian, en Colombia, el uso y desarrollo de los sistemas solares fotovoltaicos y de energía renovables no convencionales.

- Se recomienda que se estudien los beneficios económicos de sistemas de generación híbrida o combinada entre sistemas solares, fotovoltaicos y eólicos.
- Se recomienda la elaboración de estudios de sistemas de mayor potencia conectados a las redes de energía públicas; sistemas fotovoltaicos tipo “On Grid”.
- Se recomienda la elaboración de estudios técnico – económicos comparativos entre los diferentes proveedores y tecnologías de paneles solares, baterías, reguladores y de inversores solares.
- Se recomienda verificación de los diseños solares fotovoltaicos mediante la aplicación de software reconocido.