

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

DISEÑO DE PROCESO DE CÁLCULO PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS RESIDENCIALES O DE MICROEMPRESA

John Fredy López

Meyer Orlando Pabón

Ingeniería Electromecánica

Elkin Edilberto Henao Bravo

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

Febrero 27/2017

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

Poco a poco las naciones cambian la generación usando carbón o combustibles fósiles por fuentes de energía limpia, como hidroeléctricas, eólica, solar o combinaciones de estas. En la actualidad una de las más utilizadas dentro de este grupo es la energía solar. Una forma de producir electricidad a partir de la irradiación que proviene del sol. Países como Alemania, Estados Unidos, España y Japón han hecho avances realmente notables. En Colombia esta práctica aún no ha tenido mucho auge debido a la gran disponibilidad de recursos hídricos, pero para nadie es un secreto que estos recursos escasean cada día, por lo que a futuro todos debemos migrar a las nuevas fuentes de energía y más en un país donde la radiación solar no presenta grandes variaciones durante el año, ya que no se tienen las estaciones climatológicas, por eso se pretende mostrar en este trabajo la viabilidad de los sistemas fotovoltaicos, las diferentes formas de calcularlos, la variedad de topologías existentes para su instalación, las normas que los rigen y la facilidad de conseguir todos sus componentes. También se pretende incentivar el uso de iluminación led que nos brinda mayor eficiencia lumínica con un menor consumo eléctrico.

Palabras clave:

Fotovoltaico, batería, panel solar, convertidores, radiación solar, módulos, topología.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Fueron muchos años de estudio y de gran esfuerzo, durante todo este tiempo pasaron por nuestras vidas muchas personas importantes, quienes siempre nos apoyaron y alentaron para seguir adelante, como profesores, parientes y amigos. Hoy queremos agradecer en especial a nuestras familias que estuvieron ahí, y que siempre creyeron en nosotros, también a los profesores Elkin Edilberto Henao y Alejandra Moncada, que con sus conocimientos nos aportaron muchísimas cosas positivas, no solo como profesores sino también como asesores, nos dieron muy buenos consejos, y con mucha paciencia nos guiaron durante todo este tiempo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

<i>HPS</i>	Radiación solar media
K_t	Necesidades diarias de usuario
D_{aut}	Días de autonomía de la batería sin recibir carga
P_d	Profundidad de descarga
CC	Corriente continua
CA	Corriente alterna
<i>Pr</i>	Receptor
E_p	Energía del panel
N_p	Número de paneles
C_{bat}	Capacidad de las baterías
<i>W</i>	Vatios
<i>Wh</i>	Vatios hora
DC	Corriente directa
NTC	Norma técnica colombiana
RETIE	Reglamento técnico para instalaciones eléctricas
NIZ	Zonas no interconectadas
<i>Wp</i>	Vatios pico
<i>KWp</i>	Kilovatios pico
NCES	Sistema eléctrico nacional
MME	Ministerio de minas y energía
UPME	Unidad de planeación minero energética
$G_{m\beta}$	Radiación global sobre una superficie inclinada
P_G	Factor de pérdidas
I_{max}	Corriente máxima del regulador de carga
<i>Isc</i>	Corriente de cortocircuito del panel

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	¡Error! Marcador no definido.
1.1.	Objetivo General	¡Error! Marcador no definido.
1.1.1.	Objetivos específicos	¡Error! Marcador no definido.
1.2.	Organización del informe	8
2.	MARCO TEÓRICO	9
2.1.	Tipos de paneles	9
2.2.	Acumuladores o Baterías.	11
2.3.	Topologías de circuitos fotovoltaicos.....	12
2.4.	Como calcular sistemas fotovoltaicos.....	18
2.5.	Cálculo de sistemas fotovoltaicos sin ayuda de programas comerciales:	20
2.6.	Normatividad para instalaciones fotovoltaicas en Colombia.	20
2.7.	Estado del arte de sistemas fotovoltaicos.....	23
2.7.1.	Suministro eléctrico en Colombia	23
2.7.2.	NIZ del país y sus proyectos más importantes.....	24
3	METODOLOGÍA.....	27
3.1.	Topología escogida como la más adecuada por su costo y eficiencia.	27
3.2.	Manual de usuario.	29
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
4.1.	Aplicación de diseño (Estudio de caso).	32
4.2.	Recomendaciones de mantenimiento	36
4.2.1.	Mantenimiento del panel.....	36
4.2.2.	Mantenimiento de la batería o acumulador.	37
4.2.3.	Mantenimiento del regulador de carga.	38
4.2.4.	Mantenimiento del inversor.	38
4.2.5.	Mantenimiento de equipos consumidores y cableados.	38
4.2.6.	Recomendaciones y consejos útiles:.....	38

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.3.	Distribuidores internacionales de sistemas fotovoltaicos.	40
4.4.	Distribuidores internacionales de sistemas fotovoltaicos.	42
5.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	44
	REFERENCIAS	45
	APÉNDICE.....	47

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

Una buena forma de disminuir el alto deterioro ambiental es el uso de energías auto sostenibles, en este documento se plantea la viabilidad de utilizar la energía fotovoltaica para abastecer los hogares y pequeñas empresas de Medellín, en este texto se da a conocer información básica relacionada con los sistemas fotovoltaicos, además de los tipos de paneles solares más usados, la variedad de acumuladores o baterías, las topologías más recomendadas según las necesidades del usuario, los diferentes tipos de sistemas, algunas formas de calcularlos (ya sean manualmente o por medio de un software) y la normatividad que los rige. Todos estos elementos serán desarrollados posteriormente.

1.1. Objetivo General

Diseñar un proceso de cálculo para sistemas fotovoltaicos de uso residencial o de la pequeña empresa.

1.1.1. Objetivos específicos

- Hacer un estudio bibliográfico para consultar los criterios de diseño existentes.
- Establecer la topología del diseño.
- Desarrollar una técnica de diseño que permita un fácil entendimiento por parte del usuario.
- Realizar un estudio de marcas de elementos y posibles proveedores nacionales e internacionales.
- Desarrollar un estudio de caso enfocado a una pequeña empresa.

1.2. Organización del informe

El siguiente trabajo está dividido en cinco capítulos donde se muestran las diferentes formas de calcular sistemas fotovoltaicos, la viabilidad de instalarlos en la ciudad de Medellín, los elementos

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

que se deben utilizar según las necesidades del usuario, donde se pueden conseguir, algunos consejos de mantenimiento y un pequeño estudio económico.

En el Capítulo 2 se muestra el marco teórico donde se habla de los tipos de paneles, la variedad de acumuladores o baterías, las topologías más utilizadas, como se pueden calcular los sistemas fotovoltaicos, la normatividad que los rige en Colombia y algunas zonas del país donde ya se encuentran instalados algunos sistemas.

El Capítulo 3 habla de la topología más adecuada para la ciudad de Medellín y sobre el manual de usuario.

En el Capítulo 4 podrán ver la aplicación de un diseño fotovoltaico, algunas recomendaciones y consejos útiles de mantenimiento y algunos de los más importantes distribuidores nacionales e internacionales.

Y por último en el Capítulo 5 se tienen las conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

En el marco teórico se muestra información importante a la hora de pensar en sistemas fotovoltaicos, por ejemplo: los tipos de paneles que existen, la variedad de acumuladores o baterías, las topologías más utilizadas, como calcular dichos sistemas ya sea de forma manual o con la ayuda de un software de diseño, la normatividad que los rige y por ultimo algunas zonas en Colombia que debido a sus condiciones topográficas deben ser abastecidas por energía auto sostenible.

2.1. Tipos de paneles.

Un panel o módulo solar es un dispositivo que capta la energía de la radiación solar para su aprovechamiento. El término comprende a los colectores solares, utilizados usualmente para producir agua caliente doméstica mediante energía solar térmica, y a los paneles fotovoltaicos utilizados para generar energía eléctrica mediante energía solar fotovoltaica.

Un panel fotovoltaico está compuesto de materiales semiconductores, tales como el silicio o el arseniuro de galio. Esto les permite, posteriormente, circular a través del material y producir electricidad.

Para uso doméstico se encuentran en el mercado tres tipos de paneles fotovoltaicos, que varían principalmente en la pureza del silicio utilizado en su fabricación, mientras más puro sea mayor será su eficiencia, pero también será más costoso, por lo que se debe tener en cuenta la relación costo beneficio a la hora de escoger el más adecuado. A continuación, se describen brevemente los 3 tipos de paneles:

- Monocristalinos, se conocen fácilmente por su coloración, esquinas redondeadas y aspecto uniforme que indica alta pureza en silicio, tienen una eficiencia entre el 15 % y el 21 % y tienen mayor duración, algunos fabricantes ofrecen hasta 25 años de garantía y su desventaja es que son muy costosos (Díaz Villar, 2003).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Policristalinos, fabricados desde 1981 por el método Czochralski, quien fue un científico polaco, en su fabricación los desperdicios son menores que en el caso monocristalino y se reconoce por tener celdas cuadradas. Su eficiencia esta entre el 13 % y el 16 %, tiene menos resistencia al calor lo que significa que su vida útil es más corta (Diaz Villar, 2003).
- Capa fina, dependiendo de cuál sea el material empleado se puede encontrar paneles de silicio amorfo, Teluro de cadmio, cobre, indio, galio y selenio o células fotovoltaicas orgánicas. Actualmente son los más utilizados en instalaciones domésticas, aunque su eficiencia solo está entre el 7 % y el 13 %, son más económicos debido a su sencilla fabricación, son más flexibles, su rendimiento no se ve tan afectado por las sombras pero su vida útil también es menor. En la Figura 1 se pueden ver los tres tipos de paneles mencionados anteriormente, (Diaz Villar, 2003).

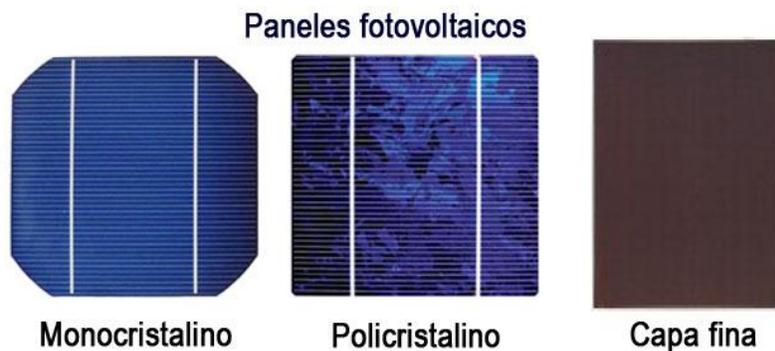


Figura 1. Tipos de paneles fotovoltaicos.

https://www.google.com.co/search?q=tipos+de+paneles+solares&rlz=1C1LENP_enCO545&espv=2&biw=1517&bih=735&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjo5ouEyZTSAhXjBsAKHeKNBkwQ_AUIBjgB#imgsrc=zN4qEp3jQCQ6CM:

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2. Acumuladores o Baterías.

La función principal de las baterías en un sistema de generación fotovoltaico es la de acumular la energía que se produce durante las horas de luz para poder ser utilizada en la noche o durante períodos de mal tiempo. Otra importante función de las baterías es la de proveer una intensidad de corriente superior a la generada por el sistema fotovoltaico en determinado momento, por ejemplo: si el sistema solo está generando 10 A la batería suministrará los 12 A para los que fue fabricada.

Hay diferentes tipos de baterías según sus componentes, pero las más utilizadas en sistemas fotovoltaicos son las fabricadas a base de plomo, aunque las de Ion de Litio están en desarrollo y cada vez sustituyen más las de plomo.

Las baterías representan gran parte de la inversión, pero tienen frecuentemente una vida muy corta dentro de la instalación, de ahí la importancia de hacer una buena elección. A la hora de comprarla no debemos mirar solo el precio, es importante tener en cuenta los ciclos de carga y descarga, la temperatura a la que será expuesta porque hay baterías que pueden durar 20 años y otras que bajo las mismas condiciones solo 2 años, también debemos tener en cuenta los materiales de fabricación, por ejemplo: las baterías de litio-ferrofosfato no tienen elementos tóxicos, tienen una eficiencia del 98 % y una durabilidad de hasta 10000 ciclos.

Baterías de plomo para aplicaciones solares.

Se usan en la mayoría dos clases, líquidas y tipo VRLA (Valve Regulated Lead Acid battery). Las líquidas son las más antiguas, existen en versión abierta con tapas que permiten sustituir el agua, y libre de mantenimiento que son cerradas, pero tienen válvulas que permiten escapar los gases generados. El tipo VRLA tampoco son completamente selladas, pero contienen una tecnología que combina el oxígeno e Hidrógeno que sale de las placas durante la carga y funcionan en cualquier posición, además hay dos clases principales: tipo gel y tipo AGM

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Las de gel se usan principalmente en las telecomunicaciones, son completamente selladas y como su nombre lo indica tienen el ácido en forma de gel, lo que reduce las pérdidas, son más resistentes a la corrosión y a las bajas temperaturas. Las tipo AGM o secas fueron diseñadas principalmente para la aviación y el ácido está fijado en fibras de vidrio, son muy resistentes a climas fríos, su eficiencia es del 95 % aunque son muy costosas (Photovoltaics & Storage, 2014).

El usuario puede definir si quiere o no utilizar baterías, todo depende de la necesidad y el presupuesto con que cuenta. Es muy importante tener presente que, en sistemas de telecomunicaciones o refrigeración de vacunas, se emplean baterías tubulares con régimen de consumo regulares que pueden durar hasta 8 años, pero en electrificación rural tienen una vida de más o menos 3 años.

Los (13) fallos en las baterías se dan por muchas razones: por una mala instalación, por un cortocircuito, por sulfatación de las terminales, por derrames de electrolito o simplemente porque el usuario no utilizó la adecuada, aunque también hay problemas con la fabricación. Es importante tener en cuenta que de acuerdo al sitio donde se instale, el estado meteorológico y la demanda del usuario las baterías pueden estar sometidas a largos periodos de sobre carga, situaciones duraderas de baja carga o ciclados continuos de carga y descarga, unidos a variaciones de temperatura(Díaz Villar, 2003).

2.3. Topologías de circuitos fotovoltaicos

Las topologías son las arquitecturas básicas de conexión usadas para transferir la energía desde el panel hasta el inversor y también definen el número de inversores asociados a cada panel, según (Álvarez-López, 2015), las topologías más utilizadas son las que se ven en la Figura 2.

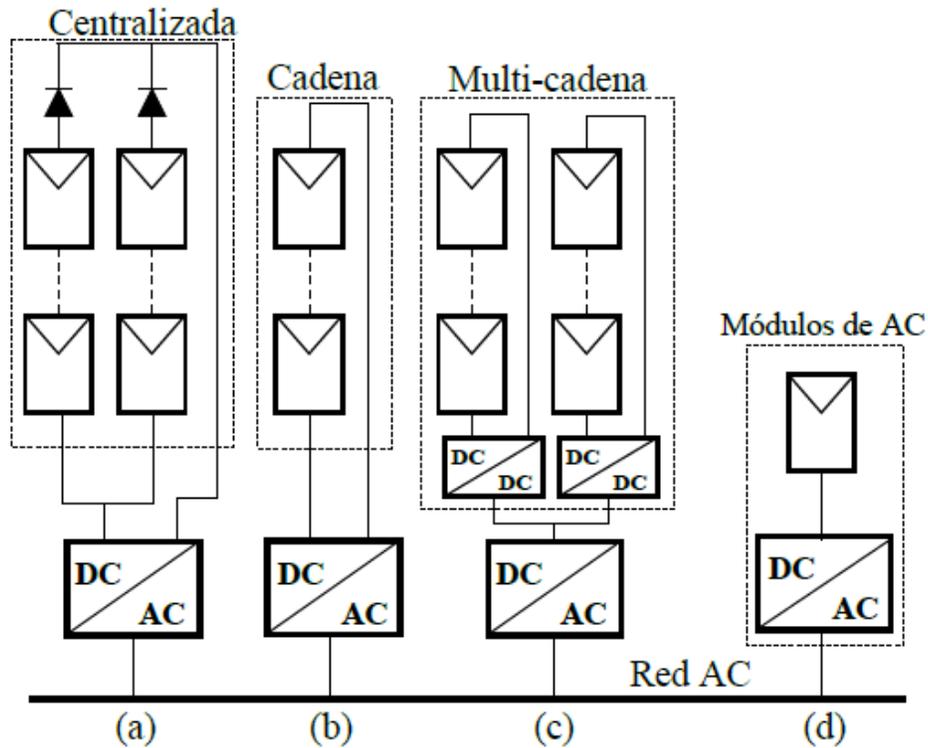


Figura 2. Topologías más usadas en las micro redes fotovoltaicas (Álvarez-López, 2015).

La topología en cadena consiste en la conexión de paneles en cascada para producir el voltaje de operación del bus de DC del inversor. La multi-cadena usa paneles conectados en serie y convertidores DC-DC que producen el voltaje del bus de DC del inversor. La modular utiliza un módulo inversor asociado a cada panel.

También se tiene la centralizada que usa un arreglo paneles conectados en serie-paralelo, diodos de conexión en bus de corriente continua y un inversor centralizado como se ve en la Figura 2.

En la Figura 3 se muestra como una instalación fotovoltaica puede ser considerada un micro generador conectado a una micro red. La característica más importante de interconexión de micro generadores fotovoltaicos es que operan cerca de la carga, lo que se conoce como generación distribuida. De este modo se aumenta la flexibilidad de la micro red debido al diseño modular que facilita el incremento gradual de la potencia, esta instalación se

compone de un conjunto de paneles solares donde se pueden identificar subgrupos de conexión de paneles y convertidores DC-AC. La interconexión de este grupo de convertidores electrónicos es lo que ha dado origen al concepto de electrónica de potencia distribuida en aplicaciones fotovoltaicas (Álvarez-López, 2015).

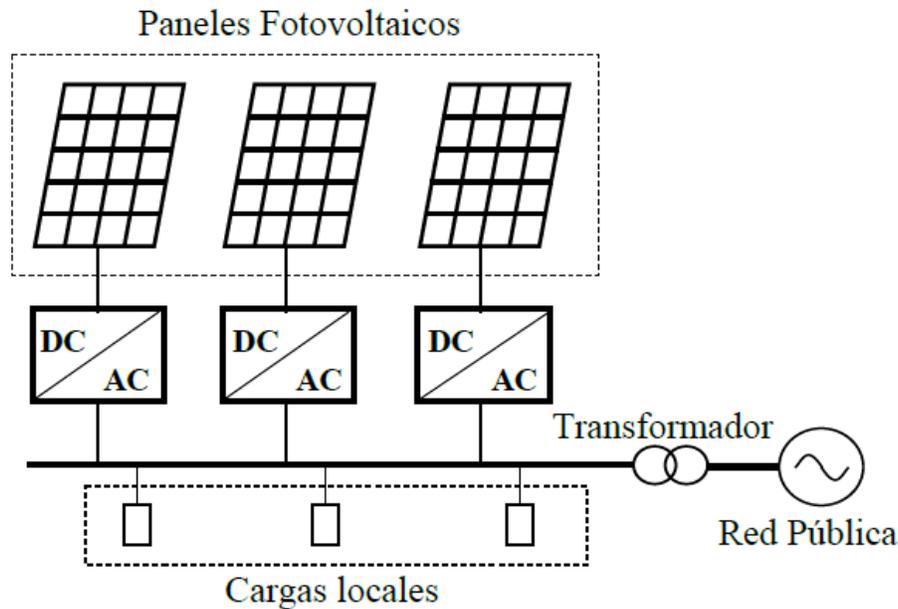


Figura 3. Topología distribuida (Álvarez-López, 2015)

Según (Liu, Liang, & Duan, 2008), se propone una nueva topología para las instalaciones solares en las ciudades, como se pueden presentar problemas con las sombras de los edificios, árboles y nubes, esta nueva topología permite obtener una mayor eficiencia en la conversión de la energía, en la Figura 4 se muestra un esquema de la instalación. Esta topología consiste en integrar cada módulo fotovoltaico con un convertidor elevador DC-DC de alta, quienes a su vez se conectan a un bus DC en común y a un solo inversor DC-AC.

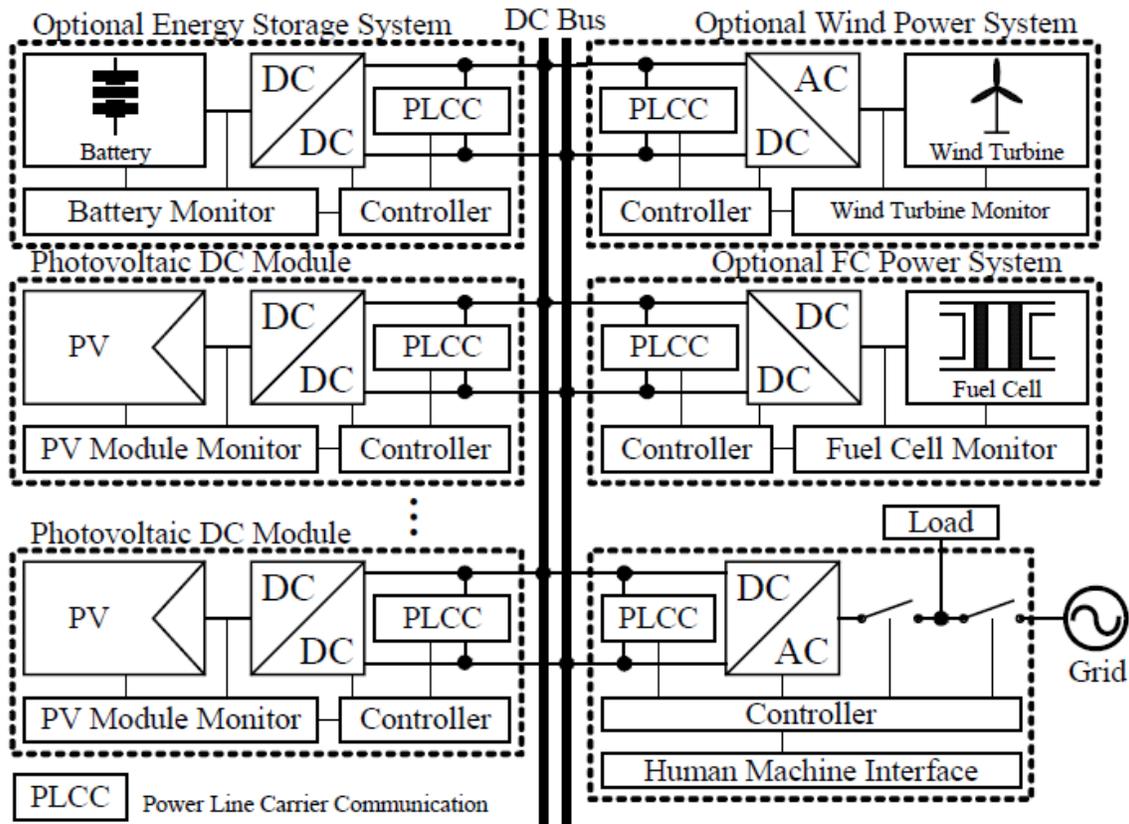


Figura 4. Sistema de energía fotovoltaica basada en DC (Liu et al., 2008)

Cada topología es muy útil según las necesidades de cada sistema por eso para grandes necesidades se adapta más la de impulso intercalada, recomendada por (Apablaza & Muñoz, 2015) y mostrada a continuación en la Figura 5.

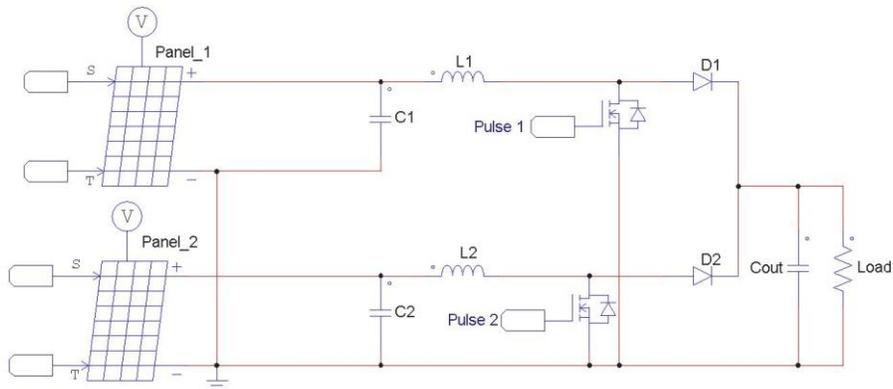


Figura 5. Conexión intercalada de dos paneles solares (Apablaza & Muñoz, 2015).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Dependiendo de la aplicación, la energía puede ser utilizada en forma de corriente continua o inyectada a la red eléctrica a través de un solo inversor DC/AC. Una gran ventaja es la posible configuración en forma de módulos, según sea necesario, cada uno con su propio algoritmo.

La topología intercalada consiste en la conexión en paralelo de N convertidores DC/DC que poseen las mismas características, lo que implica que todos los módulos deben tener el mismo valor en sus componentes, la misma frecuencia de conmutación y el mismo esquema de control. Este ejemplo propone conectar varios convertidores elevadores en paralelo, con entradas individuales que se conectan a una serie de paneles solares, y las salidas se conectan a través de diodos a un gran BUS DC que puede alimentar a una sola carga o puede ser conectada a la red eléctrica.

Esta topología permite alcanzar potencias más elevadas en algunas aplicaciones, la conexión en paralelo permite la reducción de la corriente en cada convertidor, lo que lleva a reducir las pérdidas de potencia en cada unidad. Por lo tanto, la inclusión de varios módulos intercalados permite conducir más potencia. La disminución de las pérdidas y la corriente en cada unidad individual, permiten reducir el núcleo magnético de los inductores y el costo de los dispositivos semiconductores, debido a la potencia reducida de cada dispositivo; a continuación, se enumeran algunas de las características más importantes de esta topología.

- 1) Si las señales de control para N convertidores se desplazan en fase $2\pi / N$ entre ellos, la frecuencia de ondulación equivalente del voltaje de salida, será N veces la frecuencia de conmutación de los convertidores individuales; esto implica la reducción del tamaño del filtro de salida.
- 2) Como cada dispositivo semiconductor se conmuta a una fracción de la frecuencia de salida equivalente, las pérdidas de conmutación se reducen.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- 3) La corriente de salida es la suma de la corriente individual de cada convertidor. Por lo tanto, la potencia total se divide en cada dispositivo individual, lo que permite manejar alta potencia con componentes estándar.
- 4) La amplitud de la onda de la corriente de salida es reducida en un factor de $1 / N$ en comparación con el rizado de un convertidor típico.
- 5) La variación del ciclo de trabajo del convertidor (D) cambia la ondulación de la corriente del inductor, con un valor mínimo de $D = 0,5$.
- 6) La conexión de varios convertidores reduce la ondulación de la corriente eficaz en el condensador de salida; es decir, un mayor número de convertidores conduce a un menor rizado de salida (Apablaza & Muñoz, 2015).

NOTA:

La topología de impulso intercalada es recomendada cuando se necesita conectar grandes cantidades de paneles, ya que cada uno puede tener su propio convertidor lo que permite explotar la energía solar de mejor manera, por ejemplo: si se tiene un sistema de 200 paneles y una sombra cubre 20 de ellos la disminución de irradiación bajará solo en estos últimos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.4. Como calcular sistemas fotovoltaicos.

En la actualidad existen muchos programas que permiten calcular micro redes fotovoltaicas. En las Figuras 6 y 7 se ven algunos de los softwares más comunes. Ellos son: Solarius-PV y PV Syst software.

El programa Solarius-PV (cuyo entorno gráfico se puede observar en la Figura 6), es un software que por medio de un estudio fotográfico realizado en el sitio donde se hará la instalación, calcula el número de paneles requeridos, la ubicación geográfica que deben tener estos respecto al sol y su grado de inclinación, si el sistema debe ser fijo o giratorio, la eficiencia por año y otras características.

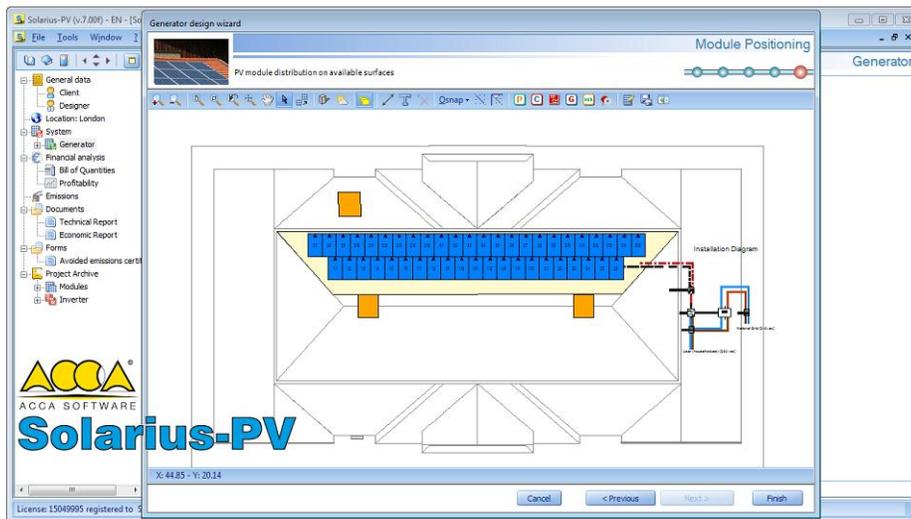


Figura 6. Entorno de software para cálculos de micro redes fotovoltaicas.

https://www.google.com.co/search?q=software+para+sistemas+fotovoltaicos&rlz=1C2LENP_enCO545CO545&biw=1517&bih=741&site=webhp&source=lnms&tbn=isch&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKEwjQyfPi9IbNAhUE1x4KHQmPctUQ_AUIBigB&dpr=0.9#imgrc=mEboL7RZCW_MXM%3A

También existe el PV SYST (cuyo logo se muestra en la Figura 7), este es un programa sofisticado y con ingresar datos como la radiación solar, ubicación geográfica y tipo de

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

sistemas deseado, entre otros, calcula la instalación en función de su ubicación, la inclinación óptima y un diseño en 3D que permite calcular las pérdidas y producción, ya que simula la orientación del sol. Actualmente se encuentran alrededor de 10 software para este tipo de cálculos, pero todos ellos son licenciados y tienen un costo para su funcionamiento.



Figura 7. Software para cálculos de micro redes fotovoltaicas.

https://www.google.com.co/search?q=software+para+sistemas+fotovoltaicos&rlz=1C2LENP_enCO545CO545&biw=1517&bih=741&site=webhp&source=lnms&tbn=isch&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKEwjQyfPi9IbNAhUE1x4KHQmPCtUQ_AUIBigB&dpr=0.9#tbn=isch&q=pvsyst&imgcr=Umb6fmCBuj1zpM%3A

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.5. Cálculo de sistemas fotovoltaicos sin ayuda de programas comerciales:

Para dimensionar una instalación fotovoltaica según (Normas & Solares, n.d.), se debe conocer:

- a) Radiación solar diaria, (HPS) medida en el tiempo más desfavorable, esta radiación la podemos ver en las páginas de meteorología.
- b) Características del panel o generador fotovoltaico (η_p), que son dadas por el fabricante.
- c) Necesidades diarias del usuario, (N_u).
- d) Días de autonomía de la batería sin recibir carga, (D_{aut}).
- e) Profundidad de descarga de la batería, (PD).
- f) Si la instalación tiene un convertidor de DC/AC (20) hay que tener en cuenta el rendimiento (η) para calcular la potencia que realmente absorberá en DC el receptor (P_r).

Aunque (Normas & Solares, n.d.) y (Arango-zuluaga, 2013) explican detalladamente dos formas de realizar los cálculos por medio de fórmulas y gráficas.

2.6. Normatividad para instalaciones fotovoltaicas en Colombia.

El primero de mayo de 2005 entró a regir en Colombia el reglamento técnico para instalaciones eléctricas (RETIE), cuyo objetivo es establecer las medidas que garanticen la seguridad de las personas y la vida animal, también existe el código eléctrico colombiano (NTC 2050) que contiene varias normas implementadas por el ministerio de minas y energía que la hacen de obligatorio cumplimiento.

Según la sección 20.22, página 126 del reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE los paneles solares fotovoltaicos para proveer energía eléctrica a instalaciones domiciliarias

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

o similares deben cumplir los requisitos de una norma técnica internacional y demostrarlo mediante un certificado de conformidad del producto expedido en un organismo de certificación acreditado (General & Contenido, 2013).

A continuación se mencionan algunas de las normas publicadas por el ICONTEC sobre sistemas solares según (Serna & Álvarez, 2012).

- a) NTC 1736 (definiciones y nomenclatura)
- b) NTC 2775 (terminología y definiciones)
- c) NTC 5513 (medida de la característica intensidad tensión de los módulos fotovoltaicos)
- d) NTC 5512 (ensayo de corrosión por niebla salina de los módulos fotovoltaicos)
- e) NTC 5509 (ensayo ultravioleta para los módulos)

(Serna & Álvarez, 2012)

La instalación eléctrica y el montaje de los paneles debe hacerse conforme a la sección 690 de la NTC 2050, por un profesional competente quien debe declarar el cumplimiento del RETIE, en la Figura 8 se ve el diagrama de un sistema fotovoltaico (General & Contenido, 2013).

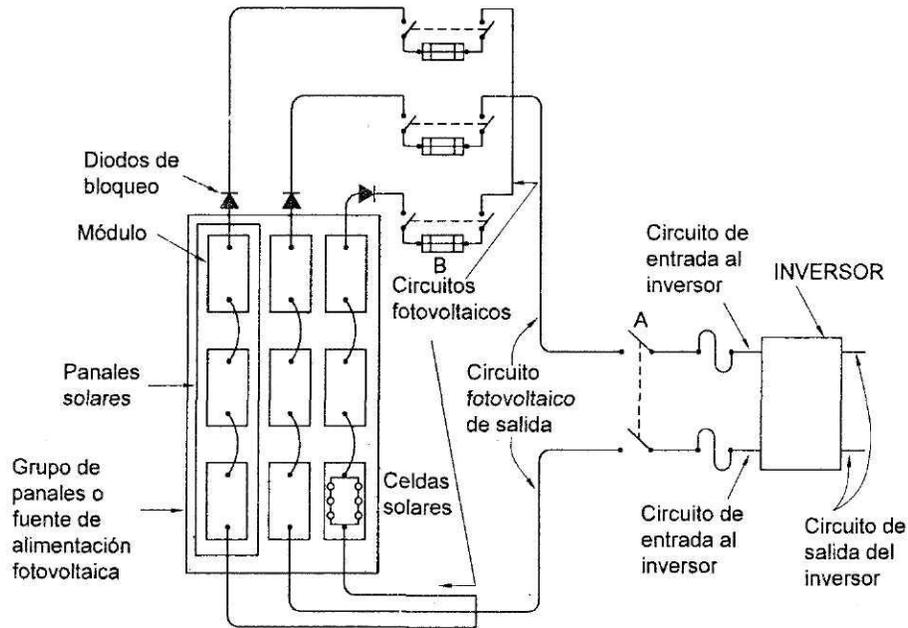


Figura 8. Sistema solar fotovoltaico. (Por simplificación no se ve el sistema de puesta a tierra)(Colombiana, n.d.).

La sección 20.22 del RETIE hace de obligatorio cumplimiento la 690 de la NTC 2050 se aplica a los sistemas fotovoltaicos de generación de energía eléctrica, incluidos los circuitos eléctricos, unidad o unidades de regulación y controladores de dichos sistemas.

Los sistemas a los que se refiere dicha sección pueden estar interconectados con otras fuentes de generación de energía eléctrica o ser autónomos y tener o no tener acumuladores.

La salida de estos sistemas puede ser de corriente continua o corriente alterna (Colombiana, n.d.).

A continuación, se mencionan las normas vigentes para todo tipo de instalaciones fotovoltaicas.

De la sección 690-4 a la sección 690-74 de la norma colombiana NTC 2050 se encuentran las normas de instalación, detección e interrupción de fallas, tensiones máximas permitidas, tipos de conductores que se deben utilizar, métodos de alambrado, puntos de conexión y

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

puesta a tierra, acceso a cajas de conexión, instalación de baterías entre otras.(Colombiana, n.d.).

Nota.

Los sistemas fotovoltaicos pueden estar sujetos a fallos inesperados de conexión a tierra. La inductancia, capacitancia y resistencia se distribuyen en todo el sistema, las corrientes de fuga asociadas con los módulos, la matriz de interconexión, cables, los dispositivos de protección y ductos se suman y pueden llegar a ser lo suficientemente grandes como para parecer una falla a tierra(Bower & Wiles, 2000).

2.7. Estado del arte de sistemas fotovoltaicos.

Para el estado del arte se pensó principalmente en Colombia, ya que es donde se pretende estimular el uso de energías renovables. A continuación, se muestran las zonas donde aún no hay suministro eléctrico en el país, donde ya fueron instalados sistemas fotovoltaicos y como se calcularon algunos de ellos:

2.7.1. Suministro eléctrico en Colombia

Según (Hernandez, Trujillo, & Santamaria, 2015)El suministro de electricidad en el país está basado en grandes centrales hídricas y térmicas; sin embargo, solo prestan el servicio al 48% del territorio, el otro 52% es conocido como Non-Interconnected Zones (NIZ). Estas NIZ albergan alrededor del 5% de la población del país; son zonas totalmente aisladas por las condiciones geográficas, por lo que la energía debe generarse en cada territorio. Las NIZ incluyen alrededor de 90 municipios y 20 territorios especiales de indígenas y comunidades afro, en la Figura 9 se pueden ver cómo están ubicadas en el territorio nacional.

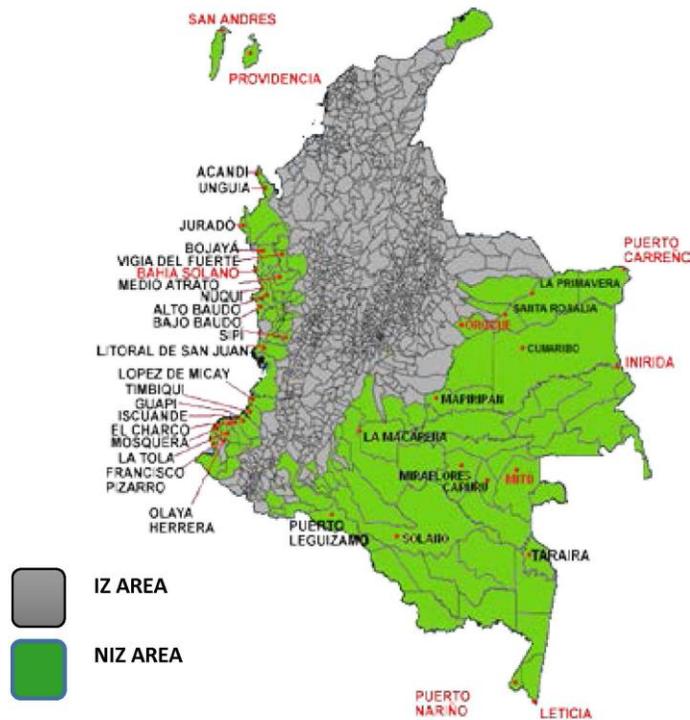


Figura 9. Zonas conectadas y no interconectadas de Colombia(Hernandez et al., 2015).

La mayor parte de las NIZ son abastecidas por generadores diésel, pero por temas de contaminación ambiental y alto costo del combustible, el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones energéticas (IPSE) se dio a la tarea de impulsar los proyectos fotovoltaicos que tienen un alto costo al principio, pero que requieren de poco mantenimiento y no emiten gases contaminantes.

2.7.2. NIZ del país y sus proyectos más importantes.

Según los estudios realizados por (Hernandez et al., 2015), en el Amazonas se encuentra en operación el proyecto del centro de salud de La Chorrera, que es un sistema híbrido diésel-solar con una capacidad de generación de 3,6 kW; esta solución cubre una población de 1.026 habitantes. También se tienen 76 unidades individuales que satisfacen las necesidades básicas de electrificación a las comunidades de Pupuña, Buenos Aires, distrito

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

de Tarapacá, y Puerto Córdoba. En el municipio de Chavo Norte en Arauca existe un proyecto piloto con una potencia de alrededor de 720 kW.

En asentamientos del municipio de San José de la Fragua en el Caquetá se están generando 240 kW, beneficiando 83 usuarios aislados. A través del programa “energía para todos” el Casanare a instalado más o menos 1164 sistemas fotovoltaicos rurales.

En el departamento del Chocó se han instalado sistemas fotovoltaicos en más de 100 escuelas; también es de destacar que en el municipio de Titumate se desarrolló un sistema híbrido diésel-solar con una potencia de 100 kW que beneficia a 600 habitantes, y 12 en el parque nacional de Utría con capacidad 1,5 kW cada uno.

En los asentamientos rurales de Nazaret y puerto estrella del municipio de Uribía en la Guajira se encuentra la mayor planta fotovoltaica del país en NIZ, es un sistema de información en red que consta de 8 seguidores solares con una potencia instalada de 100 kW. Esto también hace parte de un sistema híbrido diésel que alcanza los 400 kW.

En el municipio de Puerto Rico Meta se tienen instalados sistemas en 254 casas y 33 escuelas, en la Macarena otras 92 escuelas y en Puerto Gaitán hay 50 plantas de 200 kW para abastecer granjas. En putumayo hay 10 sistemas rurales de 50 kW, 15 sistemas autónomos de alumbrado público. Y por último tenemos a puerto Carreño en el Vichada que cuenta con el parque solar interconectado a la red más grande del país, con una capacidad de 111 kW y una planta de conexión a la red de 20 kW ubicado en el techo del centro agroindustrial del SENA (Hernandez et al., 2015).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Nota.

El 13 de mayo de 2014, la ley de “regulación de la integración de la energía renovable no convencional para el sistema nacional de energía” se firmó. Por primera vez en la historia del país, se abre la puerta a la generación distribuida en el sistema eléctrico nacional, el principal propósito de la ley es establecer el marco jurídico y los instrumentos para la promoción del uso de fuentes de energías renovables, la inversión, la investigación y el desarrollo de tecnologías limpias. Además, se establecieron impuestos, tarifas e incentivos financieros. En específico para el NIZ, de acuerdo con la Ley 1715/2014, el gobierno nacional debe dar prioridad a la sustitución gradual de generación diésel en el sistema eléctrico nacional (NCES). Y una de las estrategias para lograr este objetivo es un sistema de incentivos, que debe ser presentado por el Ministerio de Minas y Energía MME (Congreso de Colombia, 2014).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3 METODOLOGÍA

Para realizar este trabajo se pensó en la necesidad creciente que tiene el mundo de aprovechar al máximo la energía renovable. También se pretende motivar su uso en la ciudad de Medellín. Como los sistemas fotovoltaicos aun no tienen mucho auge en Colombia toda la información fue recopilada de bases de datos tales como: www.bdigital.unal.edu.co, IEEEXplore, dialnet y Science Direct. Se buscaron artículos de sistemas que ya fueron instalados en otras partes y se hizo un resumen detallado de las topologías más usadas, para saber cuál es más recomendable según las necesidades de cada usuario. También se mostró cómo se pueden calcular de forma manual el número de paneles y de baterías necesarias para un sistema fotovoltaico.

3.1. Topología Seleccionada.

Como en la ciudad de Medellín se pueden presentar problemas de sombras debido a los edificios y el deterioro de los paneles es inevitable, se recomienda utilizar la topología distribuida. Se entiende como una instalación fotovoltaica distribuida, aquella que consta de un conjunto de paneles solares fotovoltaicos donde se pueden identificar subgrupos de conexión de paneles y convertidores DC-DC. En dicha instalación, es posible encontrar uno o varios convertidores DC-AC, tal y como se ilustra en la Figura 3. Es importante resaltar que la interconexión de este grupo de convertidores electrónicos, es lo que ha dado origen al concepto de electrónica de potencia distribuida en aplicaciones fotovoltaicas.

Como se ve en la Figura 10, las sombras y el deterioro de los paneles crean un desequilibrio en la cadena de generación, por lo que es muy importante tener en cuenta los máximos locales y uno global (punto máximo de potencia), estos desequilibrios son los que se pueden compensar con la electrónica de potencia.

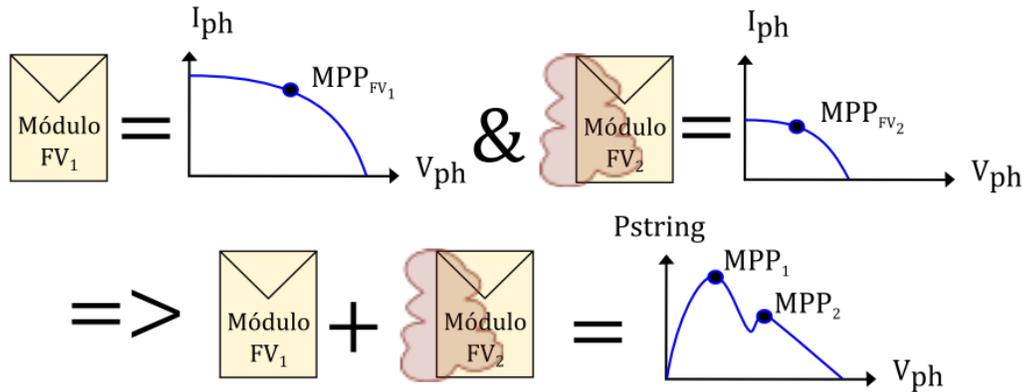


Figura 10. Seguimiento de punto máximo de potencia distribuido(Álvarez-López, 2015).

En la Figura 11 se muestra la arquitectura DMPPT propuesta por dicha electrónica para el seguimiento del punto máximo en aplicaciones fotovoltaicas, que ayudan a reducir las pérdidas por desequilibrio.

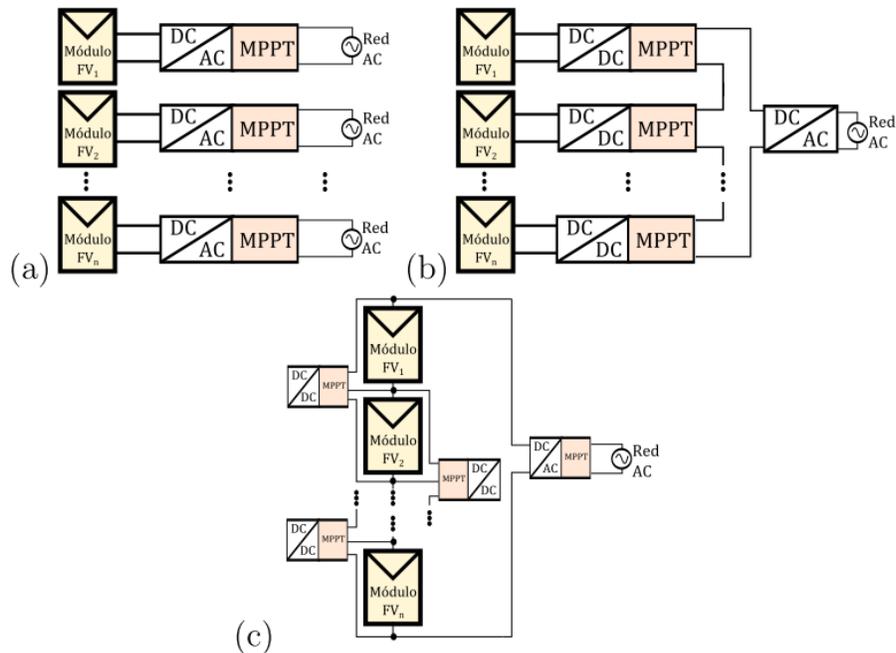


Figura 11. Configuraciones básicas de seguimiento del punto de máxima potencia distribuido. (a) Micro-inversores, (b) Optimizadores de DC, (c) BYPASS (Álvarez-López, 2015).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.2. Manual de usuario.

Para dimensionar una instalación fotovoltaica lo primero que se necesita es tener muy claras las siguientes pautas:

- a) Radiación solar diaria (HPS), medida en el tiempo más desfavorable, esta radiación la podemos ver en las páginas de meteorología.

<http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/RadiacionPDF/Medellin.pdf>

- b) Características del panel o generador fotovoltaico (η_p), que son dadas por el fabricante. Por ejemplo: si se elige el panel de la referencia PS150W, la ficha técnica nos dice que tiene 36 celdas mono cristalinas, que opera a un voltaje máximo de 12 V DC, que su potencia máxima es de 150W y que tiene unas dimensiones de 1,48m de largo por 0,67m de ancho.
- c) Necesidades diarias del usuario, (N_u). Estas necesidades no son más que la sumatoria de la energía consumida durante un día, más un factor de seguridad del 20 % como se ve en la ecuación 1.

$$N_u = E_c * 1,2 \quad (1)$$

- d) Días de autonomía de la batería sin recibir carga, (D_{aut}). Es la cantidad de tiempo que se espera que el sistema esté en funcionamiento en condiciones de mal tiempo. Y depende de las necesidades del usuario.
- e) Profundidad de descarga de la batería, (P_d). Es lo máximo que se debe permitir que se descarguen las baterías, que por recomendaciones de los fabricantes para las de ácido-plomo debe ser el 70%.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

f) El coeficiente de pérdidas totales K_t se calcula por medio de la ecuación 2.

$$K_t = [1 - (K_B + K_C + K_R + K_X)] * [1 - \frac{(K_A * D_{aut})}{P_d}] \quad (2)$$

Sabiendo que:

K_A , por auto descarga diaria de la batería dada a $20^0 C = 0,005$

K_B , originada por el rendimiento de la batería, en general es 0,05.

K_C , se contempla por el rendimiento del convertidor y es de 0,5 o 0 si no lo hay.

K_R , se debe al rendimiento de regulador y varía entre 0,1 y 0,01, o 0 si no hay.

K_X , agrupa cualquier otro grupo de pérdidas no considerado y se toma normalmente como 0,15.

g) Hay que calcular la energía del panel (E_p) por medio de la ecuación 3.

$$E_p = P_p \times HPS \times \eta_p \quad (3)$$

Teniendo todo esto se debe calcular el número de paneles, (N_p) con la ecuación 4.

$$N_p = \frac{C_{max}}{E_p} \quad (4)$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- h) Se debe conocer la corriente de cortocircuito (I_{sc}) del panel, dada por el fabricante y necesaria para calcular la corriente máxima (I_{max}) del regulador de carga, utilizando la ecuación 5.

$$I_{max} = I_{sc} * N_p \quad (5)$$

Según (Arrieta Paternina, Olmos Villalba, Izquierdo Nuñez, & Álvarez López, 2012) la inclinación recomendada para Medellín es de 5° en dirección hacia el sur que es donde se encuentra el sol a las 12 PM, pero debemos tener en cuenta que ésta varía de acuerdo al zenit, definido como una línea perpendicular a la tierra, cuyo ángulo Zenit está definido como el ángulo formado entre el sol y el Zenit. La declinación puede ser relacionada al medio día que es el momento en que el sol está más alto, también varía dependiendo de la distancia angular entre el sitio de instalación y la línea del ecuador.

Nota.

Si se obtiene un número de paneles muy alto se puede utilizar uno de más potencia para reducir la cantidad.

Calculo de la capacidad del acumulador o batería (C_{Bat}).

$$C_{Bat} = \frac{C_{max} * \text{días de autonomía}}{\text{profundidad de descarga}} \quad (6)$$

$$\text{descarga diaria} = \frac{C_{max}}{C_{bat}} \quad (7)$$

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la ciudad de Medellín se tiene una microempresa dedicada a la confección de ropa interior, en este lugar se trabaja de 7 am a 5 pm; como se tienen 15 máquinas funcionando todo el día, la factura de energía tiene un alto costo, por lo que se desea reducir. Un análisis inicial muestra que la iluminación tiene un consumo de 10 kWh/Día.

A continuación, se muestra el proceso de diseño y presupuesto obtenido, para una instalación fotovoltaica con iluminación LED que pueda reducir los costos por consumo de energía eléctrica en determinada microempresa.

4.1. Aplicación de diseño (Estudio de caso).

En la Figura 12 se muestra la radiación solar para Medellín durante todo el año según la página de meteorología.

ESTACION METROMEDELLIN (MEDELLÍN)												
PROMEDIO HORARIO DE LA RADIACIÓN (Wh/m ²)												
HORA	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0-1	0,5	0,7	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3
1-2	0,3	0,5	0,3	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
2-3	0,5	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2
3-4	0,4	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
4-5	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1
5-6	0,0	0,0	0,1	0,2	0,4	0,4	0,3	0,2	0,3	0,6	0,6	0,1
6-7	15,6	15,8	23,2	36,3	42,7	49,8	38,2	35,5	43,7	44,0	40,6	25,6
7-8	105,1	105,3	108,5	154,0	165,4	166,4	159,3	151,4	165,5	173,9	174,4	152,9
8-9	252,6	266,6	265,3	315,5	328,5	337,7	331,2	333,5	342,6	354,6	345,6	323,0
9-10	399,7	431,2	423,0	505,6	486,9	487,8	492,6	509,3	526,5	502,9	501,5	461,7
10-11	501,0	577,1	546,1	613,7	587,7	567,4	612,3	644,6	643,2	602,5	598,9	577,0
11-12	539,3	589,9	614,5	642,5	590,6	617,1	647,3	653,6	685,9	616,1	614,0	609,5
12-13	602,2	624,1	664,2	614,0	579,4	658,7	683,3	668,1	682,4	610,8	624,8	645,3
13-14	571,4	610,4	570,9	537,4	503,3	609,2	633,9	613,6	583,9	503,9	506,8	553,8
14-15	480,1	493,2	460,1	424,0	416,3	502,6	526,8	498,1	457,2	354,0	370,6	420,0
15-16	345,5	328,7	292,7	239,8	279,9	350,5	377,6	367,4	303,2	216,5	224,1	260,5
16-17	179,4	185,3	148,4	114,2	142,0	196,4	207,2	213,5	156,2	100,5	95,4	107,2
17-18	40,6	52,5	43,6	28,8	33,9	51,2	60,3	58,1	33,9	12,3	11,4	17,5
18-19	2,1	3,3	2,2	1,1	0,9	1,7	2,8	2,1	1,3	0,6	0,6	1,0
19-20	1,2	1,5	0,7	0,5	0,4	0,5	0,8	0,6	0,7	0,5	0,4	0,7
20-21	1,0	1,2	0,6	0,4	0,3	0,3	0,6	0,5	0,5	0,4	0,3	0,6
21-22	0,9	1,1	0,5	0,3	0,2	0,3	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,5
22-23	0,7	1,0	0,4	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,2	0,4	0,5
23-0	0,6	0,8	0,4	0,2	0,2	0,2	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	0,4
Acumulada diaria	4034,7	4283,4	4160,8	4227,1	4157,9	4590,9	4773,3	4749,0	4624,8	4093,2	4109,3	4155,0



Figura 12. Radiación solar en Medellín.

<http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/RadiacionPDF/Medellin.pdf>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Al observar la tabla se evidencia que la radiación solar se da entre las 6 de la mañana y las 6 de la tarde y al hacer la cuenta por año se sabe que en Medellín se tiene un promedio de radiación solar de $358,59 \text{ Wh/m}^2$.

Se escogió el panel PS150W, la ficha técnica dice que opera a un voltaje máximo de 12 V DC, que su potencia máxima es de 150W y que tiene unas dimensiones de 1,48m de largo por 0,67m de ancho.

Con estos datos se pudo conocer la eficiencia del panel por medio de las ecuaciones 8 y 9.

$$\text{Potencia ideal [W]} = \text{área del panel [m}^2\text{]} * 1000 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] \quad (8)$$

$$\text{Eficiencia [\%]} = \frac{\text{potencia nominal [W]}}{\text{potencia ideal [W]}} * 100 \quad (9)$$

$$\text{Potencia ideal [W]} = 0,9916 \text{ [m}^2\text{]} * 1000 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] = 991,6$$

$$\text{Eficiencia [\%]} = \frac{150 \text{ [W]}}{991,6 \text{ [W]}} * 100 = 15,15 \%$$

Nota.

Las necesidades de usuario son 10 kWh/Día que se consumían con 10 lámparas de 100 W durante 10 horas diarias, pero como la idea es optimizar costos se utilizarán 10 lámparas LED, cada una con un consumo de 9 W, lo que deja aproximadamente una necesidad de 1 kWh/Día

$$\text{Necesidades diarias del usuario } (N_u) = E_c * 1,2 = 1 \text{ kWh} * 1,2 = 1.2 \text{ kWh}$$

$$\text{Días de autonomía de la batería } (D_{aut}) = 3$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Profundidad de descarga de la batería (PD) = 0,7

Sabiendo que:

K_A , por auto descarga diaria de la batería dada a $20^{\circ} \text{C} = 0,005$

K_B , originada por el rendimiento de la batería, en general es 0,05.

K_C , se contempla por el rendimiento del convertidor y es de 0,5 o 0 si no lo hay.

K_R , se debe al rendimiento de regulador y varía entre 0,1 y 0,01, o 0 si no hay.

K_X , agrupa cualquier otro grupo de pérdidas no considerado y se toma normalmente como 0,15.

$$K_t = [1 - (0,05 + 0 + 0,1 + 0,15)] * [1 - \frac{(0,005*3)}{0,7}] = 0,68495$$

Hay que calcular la energía del panel (E_p) por medio de la siguiente expresión:

$$E_p = P_p \times \text{HPS} \times \eta_p$$

Teniendo todo esto se debe calcular el número de paneles, (N_p).

$$N_p = \frac{C_{max}}{E_p}$$

Datos conocidos:

Radiación solar (I) en Medellín $358,59 \text{ Wh/m}^2$.

Panel PS150W, 18 V DC, (1, 48X0, 67) m, P. max 150W.

Necesidades diarias del usuario, (N_u) = 1,2 kWh.

Días de autonomía (D_{aut}) = 3.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Profundidad de descarga (PD) = 0,7

Corriente de cortocircuito del panel $I_{sc} = 8,33 \text{ A}$

Eficiencia del panel = 15,12 %

Ahora se puede calcular el número de paneles necesarios para suplir la demanda.

$$E_p = 150 * 14,54 * 0,15 = 336,17 \text{ Wh}$$

$$N_p = \frac{1200 \text{ Wh}}{336,17 \text{ Wh}} = 3,5696 \cong 4 \text{ paneles}$$

Cálculo del regulador de carga I_{max} .

$$I_{max} = 8,33 * 4 = 33,32$$

Por lo tanto, el regulador debe tener una capacidad de mínimo 35 A.

Cálculo de la capacidad del acumulador o batería (CBAT).

$$C_{bat} = \frac{C_{max} * \text{días de autonomía}}{\text{profundidad de descarga}}$$

$$\text{descarga diaria} = \frac{C_{max}}{C_{bat}}$$

$$C_{bat} = \frac{1200 * 3}{0,7} = 3600 \text{ Wh}$$

La capacidad de las baterías se mide en Ah, por lo tanto, si se dividen los 3600 Wh entre 12 V se necesitará almacenar 300 Ah y si se escoge una batería de 420 Ah se tiene que:

$$\text{descarga diaria} = \frac{300 \text{ Ah}}{420 \text{ Ah}} = 1 \text{ batería}$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.2. Recomendaciones de mantenimiento

Estas instalaciones en su conjunto son fáciles de mantener. Sin embargo, una instalación que no tenga el mantenimiento adecuado probablemente tendrá problemas, hay tareas que de no llevarse a cabo ocasionarán una reducción en el rendimiento, pero la omisión de otras puede provocar el deterioro de algunos elementos acortando su vida útil. A continuación, se muestran una serie de tareas que el usuario debe realizar si quiere garantizar el rendimiento del sistema y alargar su vida útil.

4.2.1. Mantenimiento del panel.

Se recomienda que cada dos meses o menos, dependiendo de la polución el usuario limpie el panel con agua y un paño suave, de ser necesario puede utilizar algún detergente; vale la pena mencionar que un grupo de científicos de Boston (EE.UU.) está desarrollando un panel solar autolimpiable con tecnología basada en usos espaciales.

Debe verificar que no haya terminales rotos ni flojos, que las conexiones estén bien apretadas, que los conductores se vean en buenas condiciones y en caso de detectar anomalías se recomienda llamar un experto.

Revisar que la estructura de soporte esté en buenas condiciones y en caso de que no sea en aluminio o acero inoxidable, hacer retoques con pintura anticorrosiva.

Constatar que no hay objetos o árboles dando sombra a los paneles.

Nota

Por ningún motivo se pueden limpiar las suciedades de la cubierta frontal del panel con objetos cortantes o punzantes que puedan dañarlo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.2.2. Mantenimiento de la batería o acumulador.

Para evitar accidentes, antes de hablar del mantenimiento de las baterías es importante que los usuarios conozcan dos grandes riesgos a los que se está expuesto al manipularlas, el eléctrico y el electrolítico.

Riesgo electrolítico: El electrolito utilizado en las baterías de plomo-ácido, es ácido diluido, el cual puede causar irritación e incluso quemadura al contacto con la piel o los ojos.

Nota.

Si por alguna razón el electrolito entra en contacto con los ojos, se deben enjuagar inmediatamente con abundante agua durante un minuto y solicitar lo más pronto posible ayuda médica.

Riesgo eléctrico: Para evitar riesgos de cortocircuito, se recomienda quitarse relojes, anillos, cadenas u objetos metálicos de adorno personal y utilizar herramientas con mangos no aislados eléctricamente.

Nota.

Las baterías acumulan gas Hidrogeno por lo que se debe tener una buena ventilación, no se puede fumar ni prender chispas en su lugar de almacenamiento para evitar explosiones.

Después de tomar las debidas precauciones y tener muy claro cuáles son los riesgos, se debe verificar que las baterías estén protegidas de los rayos solares, en un lugar seco y ventilado, que el nivel de electrolito este entre los niveles máximo y mínimo. Se debe limpiar la cubierta superior y proteger los bornes de conexión con grasa antioxidante para evitar la sulfatación.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.2.3. Mantenimiento del regulador de carga.

Este regulador se debe mantener en la posición correcta, en un lugar limpio, seco y protegido de los rayos solares, se debe verificar que no emita ruidos extraños, que las conexiones estén correctas, bien apretadas y que el fusible de entrada se encuentre en buen estado.

Nota.

En caso de que el regulador no se encuentre en óptimas condiciones debe llamar al personal experto.

4.2.4. Mantenimiento del inversor.

Garantizar que el inversor se mantenga en un área limpia, seca, ventilada y protegida de los rayos del sol. En caso que emita ruidos extraños se debe contactar personal experto.

4.2.5. Mantenimiento de equipos consumidores y cableados.

El mantenimiento de los equipos tales como televisores, grabadoras y computadores es el mismo que se les debe hacer cuando están conectados a la red eléctrica nacional, se deben limpiar los tubos fluorescentes para mejor iluminación, verificar que los empalmes estén bien apretados y debidamente aislados con cinta para evitar falsos contactos.

4.2.6. Recomendaciones y consejos útiles:

- Desconecte los electrodomésticos en los días de tormenta eléctricas para evitar que una descarga atmosférica pueda dañarlos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- No conecte al sistema equipos que no hayan sido considerados en el diseño sin antes consultar con un experto para evitar sobrecargas.
- No permita que otros usuarios se conecte a su instalación ni utilice los cables como tendederas.
- No conecte equipos de potencia superior a la del inversor.
- Almacene el electrolito de las baterías en recipientes plásticos o de cristal, nunca utilice recipientes metálicos.
- Fíjese regularmente en los indicadores lumínicos del controlador de carga y verifique que todos encienden.
- Recuerde siempre que en los sistemas fotovoltaicos la energía es limitada por lo que se requiere ahorrar al máximo.

A continuación, se muestra una lista de los elementos básicos que necesitaría el diseñador para hacer la instalación fotovoltaica, con sus cantidades y respectivos costos (ver características de los elementos en los apéndices):

http://www.damiasolar.com/productos/cable_solar/cable-fotovoltaico-topsolar-pv-zz-2-5-mm2-100-metros_da1057_47

REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO X UNI	TOTAL	APÉNDICES
PS150W	PANEL FOTOVOLTAICO	4	660000	2640000	A
DA0410	BATERÍA CICLO PROFUNDO TIPO GEL	1	740960	740960	B
DA0169	REGULADOR CON PANTALLA LCD 60 A	1	421820	421820	C
LÁMPARA	LÁMPARA TIPO LED	12	159900	1918800	D
CONECTORES MC4	CONECTORES SOLARES	20	6900	138000	E
DA1057	CABLE FOTOVOLTAICO	100	4210	421000	F
DA0625	ESTRUCTURA REGULABLE PARA 4 PANELES	1	791480	791480	G
INSTALACIÓN HECHA POR UNA PERSONA CERTIFICADA		1	1000000	1000000	
				8072060	

En Colombia la tarifa eléctrica en una zona industrial para el año 2016 según (Cliente, 2016) es de \$ 478,4672. Si tomamos el ejemplo del ejercicio anterior tendríamos que:

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El consumo es de 1 KWh, teniendo en cuenta que se trabajan 10 horas por día, 5 días a la semana, sería un consumo de 200 KWh mensuales, esto multiplicado por el costo equivaldría a \$ 95.693 al mes.

El costo de instalación fotovoltaica para producir esa energía esta alrededor de \$ 10.000.000, lo que quiere decir que se necesitarían alrededor de 9 años para librar la inversión, obviamente por el momento no es muy rentable la inversión para las zonas actualmente interconectadas, pero en unos años cuanto estos sistemas tengan más auge y el gobierno empiece a ofrecer incentivos, probablemente los usuarios querrán hacer el cambio.

4.3. Distribuidores internacionales de sistemas fotovoltaicos.

A continuación, se presentan algunos de los fabricantes de sistemas solares más grandes del mundo y varios distribuidores nacionales.

Canadian solar.

Canadian solar es una empresa dedicada al desarrollo fabricación y distribución de sistemas y componentes solares, su sede principal está en Ontario Canadá y cuenta con sucursales en New York y San José, California; se puede contactar por teléfono en el número 561-632-2655 o a través del correo electrónico websolarsupplies@gmail.com.

<https://websolarsupplies.com/products-wind-solar-power-canada/solar-panels/?gclid=CKyXuPvU0c8CFQNZhgodPAMEBg>

Yingli solar.

Proveedor de equipos de energía solar, ubicado en San Francisco, Estados Unidos, con centros de distribución en México, Perú, Brasil, Chile y Argentina. Especialista en proyectos residenciales, comerciales y a gran escala, su teléfono es: 1 888-686-8820 y se pueden hacer cotizaciones gratis a través de su página de internet.

<http://www.yinglisolar.com/al/solar-projects/home-solar/contact/>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Jinko solar.

Jinko solar es una empresa líder en este campo a nivel mundial, con centros de producción en Jiangxi y Zhejiang, en China y cuenta con oficinas comerciales en varios países. Además cuenta con una página en internet montada en 10 idiomas, donde se puede contactar cualquiera de sus sedes, ya sea por teléfono por correo electrónico.

<http://www.jinkosolar.com/contact.html?lan=sp>

Jurchen Technology.

Jurchen tecnología especializada en el desarrollo y producción de componentes de alta calidad para los sistemas fotovoltaicos. Son el único proveedor en el mercado que ofrece una solución innovadora dual y componentes para plantas solares. Esto significa que fabrican tanto la subestructura y el cableado de DC de alta calidad adecuada para los sistemas solares. Está ubicada en Helmstadt, Alemania y se puede contactar en el teléfono 49 9369 98229660 o a través de su página de internet.

<http://www.jurchen-technology.com/>

4.4. Distribuidores colombianos.

Dmc solar.

DMC Solar es un portal web colombiano especializado en la venta de productos utilizados en la implementación de soluciones de Energía Solar. Están ubicados en la ciudad de Bogotá, se pueden contactar a en los teléfonos: 3816585, 3163857282, 3133278329 o por su página de internet.

<http://www.dmcsolar.co/>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Saufer soluciones.

Es una compañía especializada en automatización, instrumentación industrial y montaje de obras en el área de petróleo, gas, telecomunicaciones y energía solar, está situada en la calle 17ª 58-30, Bogotá, teléfonos: 419 06 00 y 311 207 32 70, ssoluciones@saufer.com.co.

<http://saufer.co/schneider-solar/>

SIMEDT.

SIMEDT es una empresa del sector eléctrico, creada en el 2008, dedicada al diseño, instalación y mantenimiento de sistemas eléctricos. Proporciona soluciones personalizadas según las necesidades del cliente. Cra. 42 #54a155, Itagüí, Antioquia, teléfono: 4440550

<http://www.simedt.com/>

Gonvarri ms Colombia.

Gonvarri es una empresa española con sede en Medellín, especialista en diseño, fabricación y suministro de estructuras metálicas para el montaje e instalación de cualquier tipo de panel o sistema fotovoltaico, teléfono: 444 50 11.

<http://www.gsolarsteel.com/>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Conclusiones:

- . En Medellín es totalmente viable la instalación de sistemas fotovoltaicos tanto para pequeñas empresas como para viviendas, porque se cuenta con una gran radiación solar durante todo el año.
- . Para el año 2016, los sistemas fotovoltaicos en Colombia solo son rentables en las zonas no interconectadas por la red eléctrica nacional.
- . La rentabilidad de la energía solar en Colombia está sujeta a que las empresas prestadoras del servicio modifiquen el sistema, para que los usuarios que generen más de la energía que consumen la puedan vender y así además de ahorros obtendrían ganancias. Pero posiblemente esto no suceda hasta que agotemos todos los recursos hídricos.

Recomendaciones:

- Aunque los sistemas fotovoltaicos son relativamente fácil de calcular, siempre deben ser revisados e instalados por personal experto, que cuente con una matrícula profesional expedida por el CONTE.
- Para garantizar una alta eficiencia y durabilidad de estos sistemas es totalmente indispensable una buena rutina de mantenimiento.
- Los sistemas fotovoltaicos no solo se deben ver como una forma de ahorrar dinero sino también como una forma de contribuir al cuidado del medio ambiente.

Trabajo futuro:

Se debe promover el uso de la energía fotovoltaica en toda Colombia, ya que si se tiene una gran demanda los elementos bajaran de precio y será más fácil obtener una rentabilidad.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- Álvarez-López, R. A. (2015). Aportes a la conversión DC-AC en sistemas fotovoltaicos: módulos inversores conectados en cascada. *Thesis*, 103. Retrieved from <http://goo.gl/sShStX>
- Apablaza, D., & Muñoz, J. (2015). Interleaved Boost Converter for Multi-String Photovoltaic Topologies, 479–484.
- Arango-zuluaga, E. I. (2013). Generación Fotovoltaicos Localizados en la Ciudad de Medellín Dimensioning of Photovoltaic Generation Systems Located in Medellin City, 289–301.
- Arrieta Paternina, M., Olmos Villalba, L. C., Izquierdo Nuñez, J. L., & Álvarez López, R. A. (2012). Diseño de prototipo de sistema solar fotovoltaico optimizando el ángulo de inclinación de los paneles solares. *Prospectiva*, 10(1), 97–107. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4212357&info=resumen&idioma=ENG>
- Bower, W., & Wiles, J. (2000). Investigation of ground-fault protection devices for photovoltaic power systems applications. *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2000-Janua(d)*, 1378–1383. <http://doi.org/10.1109/PVSC.2000.916149>
- Cliente, D. E. L. (2016). TARIFAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA (\$ / kWh) REGULADAS POR LA COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS (CREG) SEPTIEMBRE DE 2016, 1(1), 2016.
- Colombiana, N. T. (n.d.). Ntc 2050. *Norma Técnica Colombiana*, 2269(ICONTEC), 847.
- Congreso de Colombia. (2014). Ley N° 1715 Del 13 de mayo de 2014, (May), 26. <http://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Díaz Villar, P. (2003). Confiabilidad de los Sistemas Fotovoltaicos Autónomos. Aplicación a la Electrificación Rural, 235. <http://doi.org/10.1590/S0102-311X2006001200018>
- General, A., & Contenido, T. D. E. (2013). Anexo general del retie resolución 9 0708 de agosto 30 de 2013 con sus ajustes, 127.
- Hernandez, J., Trujillo, C. L., & Santamaria, F. (2015). Photovoltaic projects developed in Non-Interconnected Zones in Colombia. *2015 IEEE 42nd Photovoltaic Specialist Conference, PVSC 2015*. <http://doi.org/10.1109/PVSC.2015.7356258>
- Liu, B., Liang, C., & Duan, S. (2008). Design considerations and topology selection for DC-module-based building integrated photovoltaic system. *2008 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, ICIEA 2008*, 1066–1070. <http://doi.org/10.1109/ICIEA.2008.4582680>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Normas, R. Y., & Solares, D. E. I. (n.d.). 6 - procesodecálculodeinstalacionessolar fotovoltaicas. 6.1.-, 1–10.

Photovoltaics, D., & Storage, E. (2014). *IEEE Guide for Selecting, Charging, Testing, and Evaluating Lead-Acid Batteries Used in Stand-Alone Photovoltaic (PV) Systems*. *ieeexplore.ieee.Org* (Vol. 2014). Retrieved from http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6837414

Serna, F. J., & Álvarez, C. a. (2012). Normatividad sobre Energía Solar Térmica y Fotovoltaica, 1–17. <http://www.energiasrenovablesinfo.com/solar/tipos-paneles-fotovoltaicos/>
<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia22/HTML/articulo02.htm>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

APÉNDICES

Apéndice A

- Panel solar
- Con 36 células monocristalinas
- Opera con un voltaje máximo de 12V DC
- Corriente máxima de 8.33A
- Potencia máxima de 150W
- Corriente de cortocircuito 9.16A
- Voltaje de circuito abierto 21.6V
- Incluye cable MC4 con conector macho y hembra
- Dimensiones 1480mm x 670mm x 35mm, y pesa 15.5Kg



Figura 13. Panel solar.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

http://suconel.com.co/home2/suconelc/public_html/index.php/6966770/83/fuentes-de-energia/energ%C3%ADa-solar/panel-solar-de-18v-150w-detail.html

Apéndice B

Batería ciclo profundo Victron Gel 66Ah

Las baterías tipo Gel son selladas y apenas necesitan mantenimiento.

Características:

- Medidas: 258 x 166 x 235 mm.
- Peso: 24 Kg.
- Voltaje: 12V.
- Tipo de batería: Gel.
- Fabricadas con tecnología hermética VRLA.
- No requiere mantenimiento.
- Capacidad de carga en C20.
- Terminales de cobre plano con pernos M8 que garantizan el mejor contacto posible y eliminan la necesidad de bornes de batería.
- Fabricadas de acuerdo con la certificación ISO 9002 y cumpliendo las normativas CE y UL.
- Recipiente de material ABS resistente al fuego.
- Garantía de 2 años.



Figura 14. Batería de ciclo profundo.

http://www.damiasolar.com/productos/bateria_solar/bateria-ciclo-profundo-victron-gel-66ah_da0410_38

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Apéndice C

Regulador de carga Ecosolar 60A con pantalla LCD.

- Pantalla LCD para recibir la información de la instalación solar.
- Identificación automática del grado de tensión del sistema.
- Sistema de carga inteligente PWM.
- Auto compensación de temperatura.
- Parámetros ajustables de carga y descarga.
- Modos configurables de trabajo de las cargas.
- Función acumulativa de carga y descarga de Ah.
- Protección de baja descarga de la batería.
- Sistema de protección de la baja tensión de la batería.
- Protección contra cortocircuitos y sobrecargas.
- Protección de batería invertida.

- Máxima sección de cable en los conectores 16 mm².
- Voltaje de los paneles: ≤50V.
- Voltaje de carga en flotación: 13,8V/27,4V.
- Baja tensión de desconexión (LVD): 10,7V/21,4V.
- Baja tensión de reconexión (LVR): 12,6V/25,2V.
- Modo de carga: PWM.
- Temperatura de funcionamiento: de -30 °C a +70 °C

- Medidas: 130 x 188 x 62 mm.
- Peso: 700 gramos.



Figura 15. Regulador de carga.

http://www.damiasolar.com/productos/regulador_solar/regulador-de-carga-ecosolar-60a-con-pantalla-lcd_da0169_19

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Apéndice D

- Iluminación LED para techo
- Posee 3 fuentes de luz
- Voltaje de operación 110V - 240V AC
- Potencia total de 9W
- Iluminación de color blanco frío
- Iluminación total de $\geq 640\text{Lm}$
- Angulo del haz 60°
- No posee radiación ultravioleta ni infrarroja
- Vida útil del LED 25000 horas
- Material de la base aluminio
- Dimensiones 273mm de longitud, 93mm de ancho y 42mm de alto, y pesa 490g



Figura 16. Lámpara tipo LED.

http://suconel.com.co/home2/suconelc/public_html/index.php/6892420/46/visualizaci%C3%B3n/leds/iluminaci%C3%B3n-led-para-techo-de-9w-detail.html

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Apéndice E

Conectores MC4 macho y hembra para usar en la conexión de placas solares entre ellas. Este tipo de conectores se utilizan especialmente con las placas solares ya que ofrecen una conexión exacta ante humedades y climatología adversa. Además, pueden estar durante más de 25 años en el exterior expuestos al sol sin que le afecte ya que deben tener la misma vida útil que los paneles en los que se conectan.



Figura 17. Conectores.

[http://www.damiasolar.com/productos/regulador_solar/conectores-mc4-para-instalaciones-solares-macho-y-hembra- da0210_124](http://www.damiasolar.com/productos/regulador_solar/conectores-mc4-para-instalaciones-solares-macho-y-hembra-da0210_124)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Apéndice F

Características:

- Conductor flexible, clase 5.
- Temperatura mínima de servicio móvil: -40°C.
- Temperatura máxima del conductor: 120°C.
- Radio de curvatura: 5 x diámetro exterior.
- No propagación del incendio.
- Libre de halógenos.
- Instalación al aire libre: permanente.
- Respetuoso con el medio ambiente.
- Resistencia al agua: AD7 inmersión
- Resistencia a las temperaturas ambientales extremas: excelente.
- Vida útil: 30 años.
- Resistente a los rayos ultravioletas.



Figura 18. Cable.

http://www.damiasolar.com/productos/cable_solar/cable-fotovoltaico-topsolar-pv-zz-2-5-mm2-100-metros_da1057_47

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Apéndice G

Características:

- Estructura de aluminio compuesta de los siguientes elementos:
- 2 x Ángulos regulables de 30 a 45 grados.
- 4 x Conectores para cruzamiento de carriles.
- 2 x Carriles de 157,5 cm + 2 x Carriles de 115 cm.
- 2 x Junta carriles.
- 4 x pinzas externas.
- 6 x pinzas internas.
- 6 x piezas bracket de unión entre tejado y estructura.



Figura 19. Soporte panel.

http://www.damiasolar.com/productos/estructuras/estructura-regulable-para-suelo-o-cubierta-plana-para-4-paneles-de-80-a-130w_da0625_40

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

John Fredy López Rojas

FIRMA ESTUDIANTES _____

Uyver Orlando Ruben

Franco Heras B.
27-FEB-2017
Corrección Informe Final. 4:38 P.M.

FIRMA ASESOR _____

FECHA ENTREGA: 27 de Febrero del 2017

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

ACEPTADO _____ ACEPTADO CON MODIFICACIONES _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____