

APLICATIVO DE SOFTWARE PARA LA ASISTENCIA EN EL DISEÑO DE
SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN QUE DETERMINÉ EL COSTO Y EL TIEMPO
DE RETORNO DE INVERSIÓN.

AUTOR

MARIA CAMILA VEGA NAIZAQUE

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS DE AQUINO
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA

TUNJA

2019

**APLICATIVO DE SOFTWARE PARA LA ASISTENCIA EN EL DISEÑO DE
SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN QUE DETERMINÉ EL COSTO Y EL TIEMPO
DE RETORNO DE INVERSIÓN.**

AUTOR

MARIA CAMILA VEGA NAIZAQUE

Trabajo de grado para optar al título en ingeniería electrónica

DIRECTOR

M.S c. Carlos Alberto Cardona

CO DIRECTOR

ESP. Teresa Espita Cárdenas

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS DE AQUINO

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA

TUNJA

2019

*Las ideas, contenidos y
comentarios expuestos en el
presente documento son
responsabilidad plena del autor del
mismo.*

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del director

Firma del jurado

Firma del jurado

Tunja, 16 de mayo del 2019

Este trabajo se encuentra dedicado a mi hijo Juan Sebastián quien es el motor de mi vida y me alienta a realizar todos mis proyectos, a mis padres por su fuerza y sabiduría me han ayudado a sobresalir en medio todas las adversidades de la vida, a la Universidad Santo Tomas quienes me brindaron todos los conocimientos para poder llevar a cabo este proyecto.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser mi guía y ayudarme en cada paso que doy, a mi hijo por motivarme a realizar todas mis metas y acompañarme día a día, a mi familia por ser un apoyo incondicional en mi vida y brindarme ayuda en cualquier momento.

A mi Tutor Carlos Cardona, por brindarme su conocimiento y estar acompañado cada paso de la realización del proyecto.

A la facultad de Ingeniería Electrónica y todo su cuerpo de docentes por el apoyo brindado durante todos mis estudios y así poder llevar a cabo este proceso.

1 Contenido

1 INTRODUCCIÓN	19
2 PROBLEMA	23
2.1 Definición del problema	23
2.2 Delimitación de problema.....	25
2.3 Formulación de preguntas.....	26
3 JUSTIFICACIÓN	27
4 OBJETIVOS	30
4.1 General.....	30
4.2 Específicos	30
5 MARCO TEÓRICO	31
5.1 Energías renovables	31
5.1.1 Historia	31
5.1.2 Conceptos	32
5.1.3 Ventajas energías renovables.....	33
5.2 Energía solar	33
5.2.2 Aprovechamiento de la energía solar en Colombia.....	35
5.3 Radiación solar	36
5.3.1 Tipos de radiación solar.....	37
5.3.2 Proporciones de radiación	38
5.3.3 Radiación solar en Colombia.....	38
5.3.4 Horas de pico solar (HPS)	41
5.4 La célula fotovoltaica.....	41
5.4.1 Características de los paneles	43
5.5 Inversores de corriente.....	45
5.5.1 Funcionamiento	45
5.5.2 Inversores solares	47
5.5.3 Inversores string	48
5.5.4 Micro inversor	48
5.5.5 Optimizadores de potencia	49

5.6	Inversores fotovoltaicos para la entrada a la red.....	50
5.6.1	Clasificación de topologías del inversor.....	54
5.7	Sistemas conectados a la red.....	60
5.7.1	Conceptos Básicos.....	60
5.7.2	Ventajas sistemas conectados a la red.....	61
5.7.3	Componentes de los sistemas de autoconsumo fotovoltaico conectado a la red	61
5.7.4	Avance sistemas conectados a la red.....	63
5.7.5	Panorama mundial de la conexión a la red.....	64
5.8	El sector energético en Colombia.....	66
5.9	Resolución 030 del 2018de la CREG.....	70
5.10	Los incentivos Ley 1715 de 2014.....	71
5.11	Estado del arte.....	74
5.11.1	Energía solar interconectada a la red en Colombia.....	76
5.12	NASA data Project.....	79
5.13	Visual Basic.....	80
5.13.1	Definiciones.....	80
5.13.2	Funciones.....	80
5.13.3	Windows Forms.....	81
6	Metodología.....	83
7	Resultados.....	86
7.1	CAPITULO 1: ANÁLISIS DEL SISTEMA.....	86
7.1.1	Análisis de las variables.....	86
7.2	CAPITULO 2: DISEÑO DEL SISTEMA.....	91
7.2.1	Dimensionado de la instalación.....	91
7.3	CAPITULO 3: IMPLEMENTACIÓN DEL APLICATIVO.....	97
7.4	CAPITULO 4: ANÁLISIS ECONÓMICO DEL SISTEMA.....	102
7.5	Como se determina el valor de la factura eléctrica.....	102
7.5.1	Variación del costo de prestación del servicio.....	103
7.5.2	Subsidios y contribuciones.....	110
7.5.3	Peticiones, quejas y reclamos.....	111
7.5.1	Promedio del CU por estratos.....	112

7.6	Costos en los procesos solares	115
7.6.1	Análisis precios proyecto.....	117
7.6.2	Variables económicas de mérito.....	120
7.6.3	Descuento e inflación	122
7.6.4	Cálculo del retorno de la inversión.....	124
8	CONCLUSIONES	126
9	RECOMENDACIONES	129
10	BIBLIOGRAFÍA.....	130

2 LISTAS ESPECIALES

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Datos consumo de 12 meses.....	91
Tabla 2. Condiciones Climatológicas Ciudad de Tunja.	93
Tabla 3. Diseño del mes más crítico ciudad de Tunja.	95
Tabla 4. Cálculo Número de paneles E inversor	96
Tabla 5. Promedio del CU EBSA por estratos meses año 2018.....	113
Tabla 6 Promedio del CU EMSA por estratos meses año 2018.....	114
Tabla 7 CAPEX del proyecto.	117

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Espectro de la radiación solar extraterrestre y a nivel del mar	37
Figura 2. Convenciones de Colores de los rangos de radiación solar global en KW/m2 día	39
Figura 3. Promedio mensual de radiación global en Tunja	40
Figura 4. Promedio mensual de radiación global en Villavicencio.....	40
Figura 5. Horas de pico solar (HPS).....	41
Figura 6. Modulo Fotovoltaico.....	42
Figura 7. Curva VI panel solar	44
Figura 8. Esquema inversor solar	47
Figura 9. Curva característica panel fotovoltaico.....	51
Figura 10. Una sola etapa de potencia para el MPPT y para el control de la corriente inyectada a la red	54
Figura 11 Una rama de módulos fotovoltaicos con dos etapas de potencia, CC/CC y CC/CA	55
Figura 12. Dos ramas de módulos fotovoltaicos con dos etapas de potencia.....	55
Figura 13. Inversor monofásico conectado al módulo.	56
Figura 14. Tipos de interfaces de la red.....	57
Figura 15. Esquema sistema Solar Conectado a la Red	63
Figura 16. Crecimiento mundial de los sistemas conectados a la red.	64
Figura 17. Crecimiento fotovoltaico mundial	65
Figura 18. Ejemplo de una aplicación en Windows Forms	82
Figura 19. Radiación y HPS para la ciudad de Tunja.....	92
Figura 20. Inicio aplicación.....	97
Figura 21. Parte explicaría del programa	98
Figura 22. Toma de datos de la aplicación	98
Figura 23. Diseño del sistema.....	99
Figura 24. Parte final del sistema	100
Figura 25. Programación en C# de las radiaciones solares	100
Figura 26. Ingreso de los precios de los componentes.	101
Figura 27. Especificación del CU por estratos	102
Figura 28. Esquema costo unitario CU.....	104
Figura 29. detalles del costo del servicio de energía	107
Figura 30. Mes de enero año 2018	112

Figura 31. Mes de Agosto año 2018.....	114
Figura 32. Cotización panel solar.	117
Figura 33. Cotización inversora ON GRID	118
Figura 34. Cotización medidor	118
Figura 35. Cotización Conectores.	119
Figura 36. Cotización Soportes.	120
Figura 37. IPC 2018	123
Figura 38. Diseño del sistema.....	124

GLOSARIO

- **Autogeneración.** Aquella actividad realizada por personas naturales o jurídicas que producen energía eléctrica principalmente, para atender sus propias necesidades.
- **Auto generador.** Usuario que realiza la actividad de autogeneración. El usuario puede ser o no ser propietario de los activos de autogeneración.
- **Auto generador a gran escala.** Auto generador con potencia instalada superior al límite definido en el artículo primero de la Resolución UPME 281 de 2015 o aquella que la modifique o sustituya.
- **Auto generador a pequeña escala, AGPE.** Auto generador con potencia instalada igual o inferior al límite definido en el artículo primero de la Resolución UPME 281 de 2015 o aquella que la modifique o sustituya.
- **Capacidad instalada.** Es la carga instalada o capacidad nominal que puede soportar el componente limitante de una instalación o sistema eléctrico.
- **CNO.** Consejo Nacional de Operación
- **Crédito de energía.** Cantidad de energía exportada a la red por un AGPE con FNCER que se permuta contra la importación de energía que éste realice durante un periodo de facturación.
- **CREG.** Comisión reguladora de energía y gas
- **Excedentes.** Toda exportación de energía eléctrica realizada por un auto generador.

- **Exportación de energía.** Cantidad de energía entregada a la red por un auto generador o un generador distribuido.

- **FNCER.** Son las fuentes no convencionales de energía renovables tales como la biomasa, los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, la eólica, la geotérmica, la solar y los mares.
- **Generador distribuido, GD.** Persona jurídica que genera energía eléctrica cerca de los centros de consumo, y está conectado al Sistema de Distribución Local y con potencia instalada menor o igual a 0,1 MW.
- **Importación de energía.** Cantidad de energía eléctrica consumida de la red por un auto generador.
- **Operador de Red de STR y SDL (OR).** Persona encargada de la planeación de la expansión, las inversiones, la operación y el mantenimiento de todo o parte de un STR o SDL, incluidas sus conexiones al STN. Los activos pueden ser de su propiedad o de terceros. Para todos los propósitos son las empresas que tienen Cargos por Uso de los STR o SDL aprobados por la CREG. El OR siempre debe ser una Empresa de Servicios Públicos Domiciliarios. La unidad mínima de un SDL para que un OR solicite Cargos de Uso corresponde a un Municipio.
- **Sistemas de suministro de energía de emergencia.** Son aquellas plantas, unidades de generación o sistemas de almacenamiento de energía que utilizan los usuarios para atender parcial o totalmente su consumo en casos de interrupción del servicio público de energía eléctrica y tienen un sistema de transferencia manual o automático de energía o algún sistema que garantiza la no inyección de energía eléctrica a la red.
- **Potencia instalada de generación.** Valor declarado al Centro Nacional de Despacho, CND, por el generador distribuido en el momento del registro de la frontera de generación expresado en MW, con una precisión de cuatro

decimales. Este valor será la máxima capacidad que se puede entregar a la red en la frontera de generación. Para los AGPE este valor corresponde al nominal del sistema de autogeneración declarado al OR durante el proceso de conexión.

- **Servicio de Sistema.** Conjunto de actividades necesarias para permitir la exportación de energía eléctrica.
- **Sistema de Distribución Local (SDL).** Sistema de transporte de energía eléctrica compuesto por el conjunto de líneas y subestaciones, con sus equipos asociados, que operan a los Niveles de Tensión 3, 2 y 1 dedicados a la prestación del servicio en un Mercado de Comercialización.
- **Sistema de Transmisión Regional (STR).** Sistema de transporte de energía eléctrica compuesto por los Activos de Conexión del OR al STN y el conjunto de líneas, equipos y subestaciones, con sus equipos asociados, que operan en el Nivel de Tensión 4. Los STR pueden estar conformados por los activos de uno o más Operadores de Red.
- **Sistema de Transmisión Nacional (STN).** Es el sistema interconectado de transmisión de energía eléctrica compuesto por el conjunto de líneas, equipos de compensación y subestaciones que operan a tensiones iguales o superiores a 220 k V, los transformadores con este nivel de tensión en el lado de baja y los correspondientes módulos de conexión.
- **Transmisor Nacional (TN).** Persona jurídica que realiza la actividad de Transmisión de Energía Eléctrica en el STN o que ha constituido una empresa cuyo objeto es el desarrollo de dichas actividades. Para todos los propósitos son las empresas que tienen aprobado por la CREG un inventario de activos del STN o un Ingreso Esperado. El TN siempre debe ser una Empresa de Servicios Públicos Domiciliario.

RESUMEN

El presente trabajo de grado pretende explicar el desarrollo de un aplicativo de software, el cual se encarga de realizar el diseño de un sistema auto generador de energía solar fotovoltaica a pequeña escala para las ciudades de Tunja y Villavicencio, así mismo se determinará el costo del sistema y el tiempo de retorno de inversión. Para eso fue necesario obtener la información climatológica de cada ciudad como, la radiación solar promedio mensual, horas promedio al día de sol, número de días sin sol al mes y latitud y altitud, de igual forma la formula tarifaria del costo unitario del kilovatio por hora, el precio unitario de cada elemento que compone auto generador, lo cual en conjunto permite obtener el diseño adecuado del sistema.

Entre los parámetros que se desea obtener está el total de energía consumida por el usuario tanto al mes como al día, el número de paneles solares que necesita el sistema, la potencia necesaria del inversor, el valor aproximado del proyecto y el tiempo en que recuperará la inversión inicial. Para eso se tendrá un proceso de interacción entre el usuario y la interfaz en donde se deberán seguir los diferentes pasos que se muestran en el manual de usuario, para un diseño óptimo. Dicho proceso se llevará a cabo ingresando paso a paso la información que solicita la aplicación al usuario, como es el nombre, la ciudad en donde desea diseñar el sistema (Tunja o Villavicencio), el estrato socioeconómico al que pertenece y los electrodomésticos que tiene en dicha residencia. Posteriormente se calculan los parámetros ya nombrados de diseño del sistema donde el usuario podrá guardar dicha información para su uso. A su vez el usuario encontrará en la interfaz información más detallada sobre los sistemas fotovoltaicos conectados a la

red (ON GRID) y cada uno de los elementos de dicho sistema (panel solar, inversor ON GRID, medidor bidireccional, entre otros).

El fin del aplicativo es obtener información más precisa y detallada sobre el diseño de sistemas auto generadores de energía y su respectivo análisis económico.

1 INTRODUCCIÓN

Nos encontramos inmersos en un estilo de vida que consume cantidades ingentes de energía. Y en realidad no somos conscientes. Estamos acostumbrados, por ejemplo, a abrir el grifo y disponer de toda el agua, y qué decir del enchufe lo vemos como simplemente dos agujeros que son proporcionan toda la energía eléctrica que necesitamos para obtener luz, calor, movimiento, hacer funcionar el televisor, y los demás electrodomésticos que hay en la casa, sin pensar a fondo de donde sale toda la energía.

El consumo mundial de la electricidad en las últimas décadas está fuertemente relacionado con el desarrollo de la industria, del transporte y de los medios de comunicación. Hoy en día, gran parte de la electricidad se produce a partir de recursos no renovables como el carbón, el gas natural, el petróleo y el uranio. La velocidad de regeneración es muy lenta, esto da lugar a un riesgo de agotamiento de estos recursos a corto plazo. Además, la demanda está creciendo, siendo superior a la oferta, lo que resulta en una alta fluctuación de los precios mundiales del petróleo. Por otra parte, este tipo de consumo de energía influye sobre el impacto ambiental. Por ejemplo, para el petróleo y el carbón, las importantes emisiones del gas de efecto invernadero se generan diariamente jugando un rol en el cambio climático y el aumento de la contaminación.

Estos análisis llevan a buscar las soluciones más innovadoras de abordar el déficit de energía y limitar el impacto negativo sobre el medio ambiente. Así pues, el desarrollo de las fuentes limpias y no contaminantes basadas en energías renovables son cada vez más solicitadas por los productores de energía y el gobierno.

Sin embargo, la solución para reducir el consumo de energías fósiles es la generación de energía eléctrica a partir de energías renovables, la energía renovable tiene que ser regenerada naturalmente e indefinidamente en el tiempo. La energía del sol responde a estos criterios en su abundancia en la tierra y su regeneración prácticamente infinita [33]. La energía solar es en la actualidad uno de los métodos más limpios de producción de energía producidos.

Los paneles solares constituyen uno de los métodos más simples que se pueden usar para convertir la energía del sol en energía eléctrica aprovechable, sin que en esta transformación se produzcan sub productos peligrosos para el medio ambiente. Ya que parten de la energía del sol, que nos llega en grandes cantidades, que, si toda ella pudiera ser aprovechable, bastaría media hora en un día para satisfacer la demanda energética mundial durante todo un año. Aunque esto, no pasa de lo teórico y es imposible de realizar de forma práctica.

Aun así, es cada vez mayor el número de actividades en las que energía solar resulta aplicable, abarcan un sinnúmero de diseños desde un coche solar hasta los satélites. Sin embargo, estos sistemas presentan una desventaja, su elevado costo. Además, cada panel solar no rinde más de un 40%, por lo que un panel solar aislado no produce suficiente potencia.

No obstante, dichos problemas se solucionan agrupando mayor número de paneles que funcionen en conjunto para producir energía. Actualmente se tiende a una mejora de los rendimientos de las células energéticas, lo que se traduce en una creciente disminución de los costos por lo que resulta una alternativa viable a otras fuentes de energía. [34]

Dentro de las soluciones encontradas para mejorar los sistemas fotovoltaicos, se encuentran las opciones de sistemas capaces de generar su propia electricidad y así abastecer su autoconsumo, bien sea almacenando la energía en bancos de baterías (OFF GRID), o en enviándola a la red pública (ON GRID).

Los sistemas ON GRID son los que se encuentran conectados directamente a la red local, esto quiere decir que durante las horas del día el usuario consume la energía producida por sistema fotovoltaico y durante la noche toma energía de la red. Tienen la ventaja que no utilizan bancos de batería, lo que hace que el costo del sistema sea menor.

Como se mencionó los sistemas solares ON GRID están conectados a la red, si el generador produce más de lo que lo se consume, el sistema envía los excedentes a la red eléctrica, lo que quiere decir que el usuario podrá recibir una retribución por esos excedentes.

Con esta nueva tecnología los entes gubernamentales han emitido una serie de leyes y resoluciones que permitan vigilar el desarrollo e implementación de los mismos. A su vez, se regula cómo será el pago o remuneración de los excedentes enviados a la red por el usuario. En Colombia dentro de las resoluciones emitidas está la resolución CREG 030 del 2018, la cual regula las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el sistema interconectado nacional.

Es así como me encontré interesada en desarrollar un aplicativo capaz de calcular el diseño de un sistema de autogeneración a pequeña escala enfocado en la ciudad de Tunja y Villavicencio, que a su vez calculé el costo del sistema y el tiempo de retorno de la inversión.

Para esto se hizo un estudio sobre dichos sistemas, como se hace el cálculo de cada uno de los componentes y su descripción detalla, a lo largo del documento se encontrarán los capítulos explicados de todas las fases del proyecto, desde la selección de los componentes hasta el análisis económico. Al mismo tiempo todos los procesos del software con ejemplos claros donde en los anexos se encontrará el manual de usuario de misma.

El programa está diseñado e implementado para recopilar la información de la potencia y/o energía de los electrodomésticos de una casa donde se desea realizar el diseño del sistema auto generador. Con dicha información se podrá realizar el diseño de manera correcta.

2 PROBLEMA

2.1 Definición del problema

En la actualidad Colombia cuenta con 17 termoeléctricas, 4 de carbón 6 de gas natural [2] y 27 hidroeléctricas [3], por tanto, la economía y la producción de energía del país depende en gran parte de carbón y petróleo, hay que tener en cuenta que las plantas alimentadas a carbón son una de las fuentes principales de la polución del aire, de acuerdo con el Fondo de Defensa del Medio Ambiente. En el 2017 el país generó 16.597 megavatios (MW) de energía. De esta cantidad, casi 70 % de la capacidad instalada se basa en matriz limpia, es decir, energía hidráulica, y solo el 1 % de participación en la generación es de las fuentes no convencionales de energía renovable, que incluyen la energía solar, eólica, geotérmica, pequeñas centrales hidroeléctricas, biomasa y mareomotriz, como principales tipos.[4] Los ambientalistas también afirman que quemar carbón contribuye a la lluvia ácida y libera grandes cantidades de dióxido de carbono, el cual empeora el calentamiento global. La polución del aire que resulta de la quema de carbón representa un peligro para la salud, especialmente para las personas con enfermedades respiratorias.

Según Gabriel Ordoñez, profesor de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander, UIS, son pocas las edificaciones que aprovechan lo que la naturaleza ofrece para generar espacios confortables y sostenibles. “Sin embargo, desde las universidades se vienen trabajando proyectos que aportan a mejorar el medio ambiente de la ciudad. El tema del

cambio climático es una realidad, y ante ello, se debe buscar cuanto antes la utilización de tecnologías renovables que no generen alto CO₂ al ambiente. Es importante educar a los adultos y niños, para que se familiaricen con la problemática ambiental y social y empezar a trabajar en ello”.

Sin embargo la energía eléctrica producida con sistemas de paneles solares tiene un costo elevado, el gobierno colombiano de Juan Manuel Santos junto con el ministerio de minas y energía propuso una iniciativa para mitigar dichos costos e incentivar a los cuidados y empresas a hacer uso de la energía solar en sus hogares o lugares de trabajo, esto con la emisión de la resolución 030 del 2018 redactada por la CREG, la cual regula las actividades de generación a pequeña escala y de generación distribuida en el sistema interconectado nacional.

Después de la normalización de la ley 1715 de mayo 13 ,2014 se va a permitir en Colombia, a todos los usuarios del sistema eléctrico nacional a nivel residencial, comercial e industrial ser generadores de la energía eléctrica que necesiten para su consumo. Puesto que para este tipo de instalaciones no se necesitan baterías, el costo inicial de un sistema de esta clase se reduce aproximadamente en un 40% comparado con los precios actuales y pasa a ser una inversión muy rentable con un tiempo de retorno muy corto y el beneficio de que este tipo de instalación tiene una vida útil que supera los 30 años. Como incentivos adicionales, estos sistemas estarán exentos del IVA, y recibirán hasta un 50% de subsidio del Gobierno, representado en descuentos tributarios que se podrán descontar en un periodo máximo de 5 años contados después de la fecha de instalación y puesta en marcha del proyecto. [18]

2.2 Delimitación de problema

Por medio de la resolución 030 de 2018, las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el sistema interconectado nacional, serán reguladas por la CREG. Dicho esto, se limitará el estudio a los sistemas de pequeña escala, otra razón por la cual no se tomará en cuenta la generación distribuida es por los altos costos de un sistema con dichas características.

2.3 Formulación de preguntas

¿Cómo se puede demostrar la viabilidad del diseño de un sistema de autogeneración de energía en el aspecto técnico y económico para las ciudades de Tunja y Villavicencio de acuerdo a la resolución 030 emitida por el CREG [1] del 2018?

¿Cuáles son las variables climatológicas que afectan al diseño de sistema autogeneración, y cómo obtenerlas?

3 JUSTIFICACIÓN

De acuerdo a la implementación de un sistema de autogeneración de energía propuesto en la resolución 030 del 2018 emitida por la CREG, los usuarios podrán tener en sus viviendas o empresas, sistemas que les permitirá no solo abastecerse de energía eléctrica, por medio de fuentes de energía no convencionales como la energía solar fotovoltaica, sino retornar la energía sobrante a la red y así recibir una retribución económica. Esto mejora la relación costo beneficio, sin dejar de lado las ventajas ambientales al aprovechar la energía del sol.

Sin embargo, dicho sistema no es muy simple de implementar, este requiere de un estudio de variables climatológicas y así poder conocer datos reales como la radiación solar, temperatura ambiente, comportamiento de los paneles en diferentes horas del día, de esta manera poder escoger el número adecuado de paneles solares, su configuración, el número de inversores, puesta a tierra, la potencia total del sistema. También es de gran importancia conocer herramientas que deben brindar las empresas distribuidoras de energía locales, la EBSA en el departamento de Boyacá quienes deben informar la calidad de la red y realizar la conexión domestica a la red.

Ahora bien, las energías alternativas son una opción tanto para las empresas como los hogares para así optimizar internamente muchos de los procesos que requieren energía, pero haciéndolo con energías no convencionales, que ofrecen múltiples beneficios económicos, ambientales e incluso para la salud.

Actualmente el país posee problemas medio ambientales causados por la emisión de gases de efecto invernadero, por lo tanto, se necesitan otras opciones de generación energética. Dicho esto, es necesario implementar nuevas alternativas no solo por los múltiples beneficios que esto trae sino por un sentido de responsabilidad social y de esta manera poder reducir costos, optimizar y mejorar los procesos y eficiencia energética. Por el momento Colombia está iniciando con las energías alternativas ya que el país es un líder energético sus consumos internos de energía son considerables dentro de su operación, como la variedad de empresas de servicios públicos, sus actividades son basadas en consumos de energía.

En cuanto a Tunja que es el municipio capital del departamento de Boyacá destacada por tener la mayor altura de las capitales en Colombia y una de las 15 mayores del mundo con 2800 m, cuenta con una temperatura media de 13 ° C [6], según la clasificación de Köppen, Tunja posee un clima templado y frío de alta montaña, se encuentra localizada en el valle del alto Chica mochen la región del altiplano Cundí boyacense, sobre la cordillera oriental de los Andes en el centro del país. A su vez Villavicencio también municipio capital del departamento del Meta, ubicada en el piedemonte de la cordillera oriental, ya que tiene gran cercanía con la línea del ecuador, presenta un clima monzónico, húmedo y muy cálido, con una altura baja de 467 m y temperaturas de entre 20°C a hasta 39°C según el IDEAM.

Por tal razón se decidió hacer el diseño para las ciudades de Tunja y Villavicencio, debido a sus condiciones climáticas tan distintas, presentan alturas y temperaturas de extremo a extremo, lo que ayuda a comprobar las condiciones necesarias para la elaboración del diseño del sistema autogenerado.

Si bien el gobierno ofrece unos subsidios y beneficios en el momento de tener instalado el sistema también hay que tener en cuenta que los costos iniciales son elevados y existen unos costos de operación como costos de los equipos, costos de la mano de obra y costos de la instalación del sistema. Para que dicho proceso sea rentable económicamente es importante considerar ciertos factores relacionados con los costos, tales como: tasa de interés impuesto sobre la renta y la propiedad, mantenimiento, seguros, y gastos de operación.

Para obtener de manera rápida y eficiente dichos costos y factores, en este proyecto se llevará a cabo el desarrollo de una herramienta que permita calcular los aspectos a tener en cuenta en el diseño del sistema auto generador de energía, y de este modo poder calcular si es viable y si hay un ahorro tanto económico como energético.

4 OBJETIVOS

4.1 General

Desarrollar un aplicativo de software en el cual un proveedor pueda calcular el diseño de un sistema de autogeneración a pequeña escala, el costo y el tiempo de retorno de inversión, para las ciudades de Tunja y Villavicencio, según la resolución 030 de 2018 emitida por el CREG.

4.2 Específicos

- Determinar la insolación promedio mensual, horas promedio al día de sol, número de días sin sol al mes y temperatura promedio del suelo, con el fin de obtener la información necesaria para la realización del diseño para cada ciudad.
- Establecer cómo se calcula el cobro del consumo de la energía eléctrica en las ciudades objetivo.
- Determinar el algoritmo que permita a partir de los datos ingresados por el usuario (consumo en kW/h, estrato y ciudad) obtener el diseño de un sistema de autogeneración a pequeña escala.
- Identificar a partir de la resolución 030 del 2018 emitida por la CREG, cual es el ahorro económico y el tiempo de retorno de la inversión asociado a la posible implantación del diseño del sistema.

5 MARCO TEÓRICO

5.1 Energías renovables

5.1.1 Historia

Las fuentes de energía renovable han sido aprovechadas por el hombre desde hace mucho tiempo, básicamente acompañadas de la energía animal, y su empleo continuo durante toda la historia hasta la llegada de la revolución industrial, en la que la aparición del carbón, con una densidad energética muy superior a la biomasa y su menor precio, desplazó a estas.

Posteriormente, el petróleo fue desplazando en muchas aplicaciones al carbón debido a su mayor limpieza, mayor poder calorífico y su carácter fluido. En el siglo XX aparece un nuevo recurso, más limpio y con mayores reservas, el gas natural, del que se dice será la energía del siglo XXI, con lo que es de suponer que también sufrirá una crisis a lo largo de este siglo.

Durante los últimos años pensando en el futuro agotamiento de las fuentes de energía fósiles, en la gran dependencia exterior de muchos países de estas, en el progresivo incremento de su coste y en los problemas medioambientales derivados de su explotación, transporte y consumo, se está produciendo un renacer de las energías renovables.

5.1.2 Conceptos

Las energías renovables son aquellas que se producen de manera continua y son inagotables a escala humana. Además, tienen la ventaja adicional de poder complementarse entre sí, favoreciendo la integración entre ellas.

A su vez son respetuosas con el medio ambiente, y aunque ocasionan efectos negativos sobre el entorno, son mucho menores los impactos ambientales de las energías convencionales como combustibles fósiles (petróleo, gas, y carbón), energía nuclear, etc.

Las energías fósiles se crearon a partir de la energía solar que llegaba a la tierra y por el efecto de la fotosíntesis se convertía en materia vegetal fijándose parte de carbono existente en la atmosfera. Este proceso necesito miles de años y la energía obtenida se consumiría solo en 300. Las energías renovables por el contrario son parte de la energía que el sol aporta a la tierra en cada momento.

Dado que el sol es la fuente de energía de la tierra. Se recibe en forma de radiación que retiene la atmosfera y permite que la tierra se mantenga a temperatura más o menos constante posibilitando que haya vida.

La radiación solar además de proporcionar luz, también se transforma en biomasa por medio del efecto de la fotosíntesis, en viento por los gradientes térmicos que se producen en la atmósfera o en energía hidráulica por la evaporación de los mares.

Dentro del marco de las energías renovables se pueden destacar las que tienen un mayor desarrollo tecnológico y por tanto mayores posibilidades de competir en el mercado. El sol está presente en todas ellas.

Entre las energías renovables están: Eólicas, hidráulicas, biomasa, geotérmica, solar. Con las energías renovables se pueden obtener las dos formas de energía más utilizadas: calor y electricidad. [14]

5.1.3 Ventajas energías renovables

- Son respetuosas con el medio ambiente.
- No emiten gases contaminantes.
- No generan residuos peligrosos.
- Se pueden instalar en zonas rurales y aisladas.
- Disminuyen la dependencia de suministros externos.

Como aspecto positivo de las energías renovables se considera tanto su impacto ambiental, como el nivel de emisiones de gases de efecto invernadero prácticamente nulo (Gases de efecto invernadero como el Dióxido de carbono – CO₂, Metano CH₄, óxidos nitrosos – NO_x y clorofluorocarbonos CFC). Mientras que recursos energéticos convencionales como los combustibles fósiles y el carbón producen altísimas cantidades de este tipo de gases, como residuos peligrosos para el ambiente, como es el caso de la energía nuclear.

5.2 Energía solar

La energía solar es la que procede del sol y llega a la tierra en forma de radiación electromagnética, esta energía se puede aprovechar de dos formas por conversión térmica (energía solar térmica) y por conversión fotovoltaica (energía solar fotovoltaica). [13]

Igualmente la energía solar fotovoltaica es una fuente de energía renovable y, por tanto, inagotable, limpia y se puede aprovechar en el mismo lugar en que se produce (auto gestionada) [14]. Es una tecnología utilizada para el aprovechamiento eléctrico de la energía del sol, a partir de las células fotovoltaicas. Mediante estas células la radiación solar se transforma directamente en electricidad, aprovechando las propiedades de los materiales semiconductores.

A su vez, la energía solar directa es la energía del sol sin transformar, que calienta e ilumina. Necesita sistemas de captación y de almacenamiento para así aprovechar la radiación del sol en distintas maneras, como es la utilización directa llamada energía solar térmica pasiva, transformación en calor es la llamada energía solar térmica y transformación en electricidad llamada energía solar fotovoltaica (FV).

5.2.1.1 Energía solar fotovoltaica

Energía solar fotovoltaica la cual permite transformar en electricidad la radiación solar por medio de células fotovoltaicas integrantes de módulos solares. Dicha electricidad se puede utilizar de manera directa, se puede almacenar en acumuladores para un uso posterior e incluso se puede introducir en la red eléctrica convencional.

Ventajas de la energía solar fotovoltaica

- El sol es una fuente de energía gratuita, ilimitada, autóctona y respetuosa con el medio ambiente, que favorece el autoabastecimiento energético y una menor dependencia del exterior.

- Es una tecnología de diseño modular, que produce energía a cualquier escala permaneciendo constante el costo de la energía generada, y flexible o de fácil extensión.
- Su manejo es sencillo, y el mantenimiento básico puede realizarse en el ámbito local.
- Suele motivar el desarrollo de otros sectores. En efecto, se conocen diversas experiencias en las que la electrificación del sector doméstico con ESF ha generado un mercado fotovoltaico que ha ido evolucionando en el sentido de mejorar la calidad técnica de las instalaciones (mantenimiento incluido) y ampliar progresivamente el espectro de aplicaciones. [21]

5.2.2 Aprovechamiento de la energía solar en Colombia

Las aplicaciones más difundidas de la energía solar térmica en Colombia son el calentamiento de agua para uso doméstico e industrial y el calentamiento de agua para piscinas.

La generación de electricidad con energía solar empleando sistemas fotovoltaicos ha estado siempre dirigida al sector rural, en donde los costos de generación, originados principalmente por el precio de los combustibles, y de operación y mantención en las distintas zonas remotas hacen que la generación solar resulte más confiable y económica en el largo plazo. Actualmente se emplean sistemas solares en repetidoras de microondas, boyas, estaciones remotas, bases militares, entre otras aplicaciones.

Además, el instituto para la Promoción de Soluciones Energéticas (IPSE) es en la actualidad la institución que lidera las acciones del estado en la energización del campo

colombiano. Según esta institución, hay en la actualidad más de 15 000 sistemas instalados para estas aplicaciones.

5.3 Radiación solar

La radiación solar es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Esa energía es el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima. La energía procedente del Sol es radiación electromagnética proporcionada por las reacciones del hidrógeno en el núcleo del sol por fusión nuclear y emitida por la superficie solar.

La radiación solar nos proporciona efectos fisiológicos positivos tales como estimular la síntesis de vitamina D, que previene el raquitismo y la osteoporosis; favorecer la circulación sanguínea actuando en el tratamiento de algunas dermatosis y en algunos casos estimulando la síntesis de los neurotransmisores cerebrales responsables del estado anímico. [6]

La constante solar o radiación solar de energía procedente del sol por unidad de tiempo y área recibida sobre una superficie perpendicular a los rayos incidentes, situada en la parte exterior de la atmosfera a una distancia del sol igual a la distancia promedio tierra-sol. Debido a la trayectoria que sigue la tierra al redor del sol, la distancia entre ambos no se mantiene constante a lo largo del año. Se considera que el valor de la constante solar es de 1367 W/m^2 , aunque variable ligeramente a causa de la elipticidad de la órbita terrestre. Durante los meses de enero y diciembre, en los que la distancia es más pequeña, la irradiación solar extraterrestre es máxima, mientras que, durante los meses de junio y julio, en los que la distancia es mayor, la irradiación solar terrestre es mínima. Su distribución espectral, es aproximadamente infrarrojo 51 %. Luz visible

40 % y ultravioleta 9%. Una parte importante de la radiación solar extraterrestre es absorbida por distintas partículas y moléculas que componen la atmosfera, de tal forma que la radiación que llega a la superficie terrestre es menor que la radiación extraterrestre. En la figura 3 se representa el espectro solar terrestre, así como el espectro de la radiación solar recibida sobre la superficie terrestre a nivel del mar, considerando una masa de aire del valor 1,5. [22]

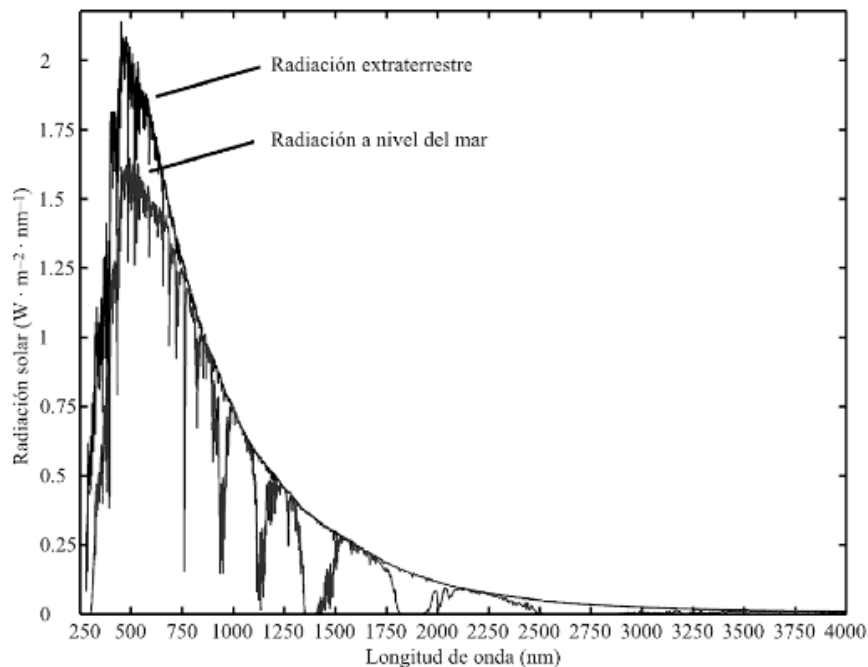


Figura 1. Espectro de la radiación solar extraterrestre y a nivel del mar

Fuente: Mascaros V., Instalaciones generadoras fotovoltaicas, Paraninfo Editorial

5.3.1 Tipos de radiación solar

En función de cómo inciden los rayos en la tierra se distinguen tres tipos de radiación solar

- Directa, es la recibida desde el sol sin que se desvíe en su paso por la atmosfera.

- Difusa, es la que sufre cambios en su dirección principalmente debidos a la reflexión y difusión de la atmosfera.
- Albedo, es la radiación directa y difusa que se recibe por la reflexión en el suelo u otras superficies próximas.

Los tres tipos de radiación están presentes en la radiación total que recibe la tierra, la radiación directa es la mayor y más importante en las aplicaciones fotovoltaicas.

Cuando la radiación directa no puede incidir sobre una superficie debido a un obstáculo, el área en sombra también recibe radiación gracias a la radiación difusa.

5.3.2 Proporciones de radiación

Las proporciones de radiación directa, difusa y albedo que recibe una superficie dependen de:

- Condiciones meteorológicas: en un día nublado la radiación es prácticamente difusa, mientras que en uno soleado es directa.
- Inclinação de la superficie respecto al plano horizontal: una superficie horizontal recibe la máxima radiación difusa y la mínima reflejada.
- Presencia de superficies reflectantes: las superficies claras son las más reflectantes por lo que la radiación reflejada aumenta en invierno por el efecto de la nieve.

5.3.3 Radiación solar en Colombia

El país está caracterizado por las regiones: Andina, Atlántica, Pacífica, Orinoquía y Amazonia. La intensidad de la radiación solar en la región andina colombiana muestra que las zonas de los valles del Cauca y Magdalena poseen mayor

potencial de esta región, y a medida que se asciende hacia las cimas de las cordilleras ese potencial va disminuyendo gradualmente, con excepción de algunos núcleos localizados en zonas llamadas altiplanos, donde se observa un potencial solar mayor comparado con el de las laderas. En las regiones costeras: Atlántica y Pacífica, los resultados de la evaluación del recurso solar del país muestran en la región noreste de la costa atlántica (La Guajira) un potencial solar promedio entre 5,0 y 6,0 kW h / m², el mayor del país. Este valor va disminuyendo gradualmente en dirección sur oeste hacia la costa pacífica, donde se presenta el menor potencial solar del país, con valores menores de 3,5KW.h / m², aunque posee una gran zona con valores entre 4,0 y 4,5.

Las regiones de la Orinoquia y Amazonia, que comprenden las planicies de los llanos orientales y zonas de las selvas colombianas presentan una variación ascendente de la radiación solar en sentido suroeste y noreste (puerto Carreño). [23] La Figura2 muestra las convenciones de colores de los rangos de radiación solar global.

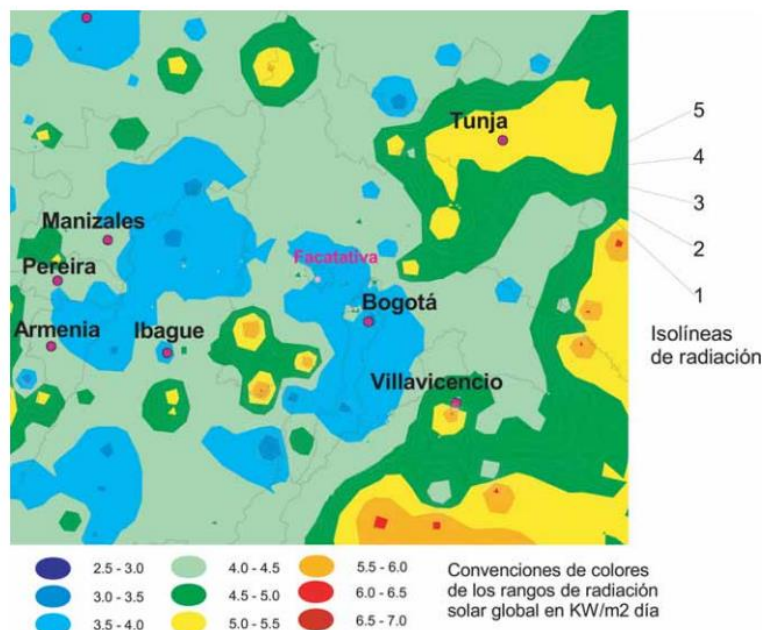


Figura 2. Convenciones de Colores de los rangos de radiación solar global en KW/m2 día

Fuente: Atlas de radiación solar en Colombia, IDEAM y UPME

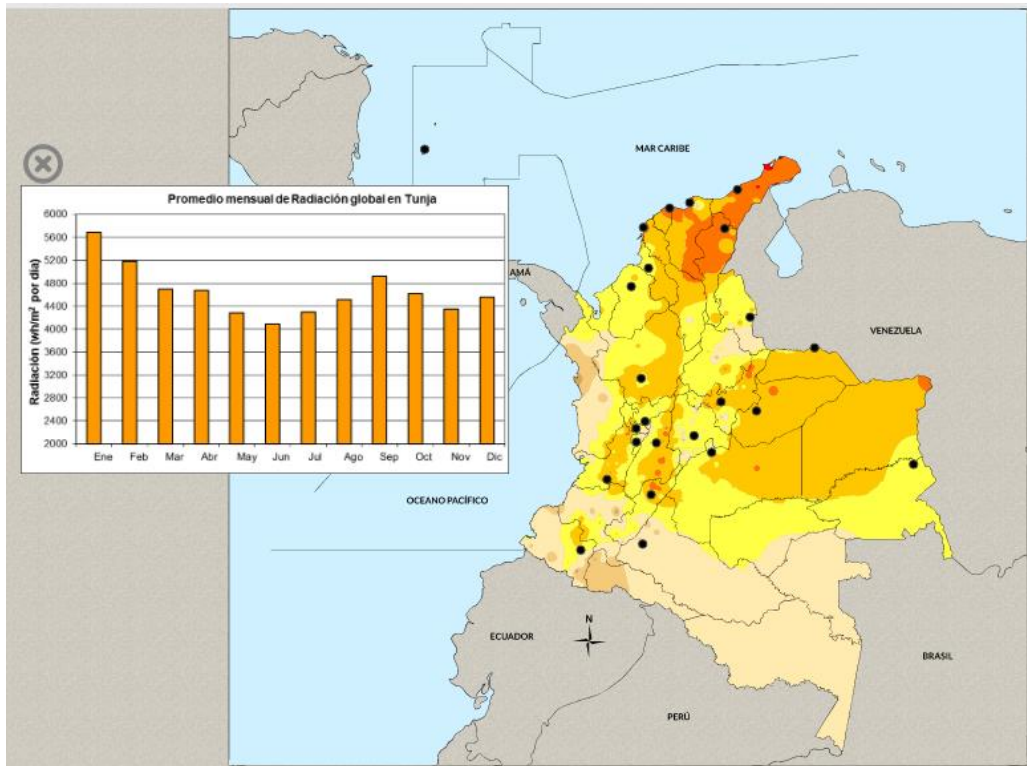


Figura 3. Promedio mensual de radiación global en Tunja

Fuente: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>

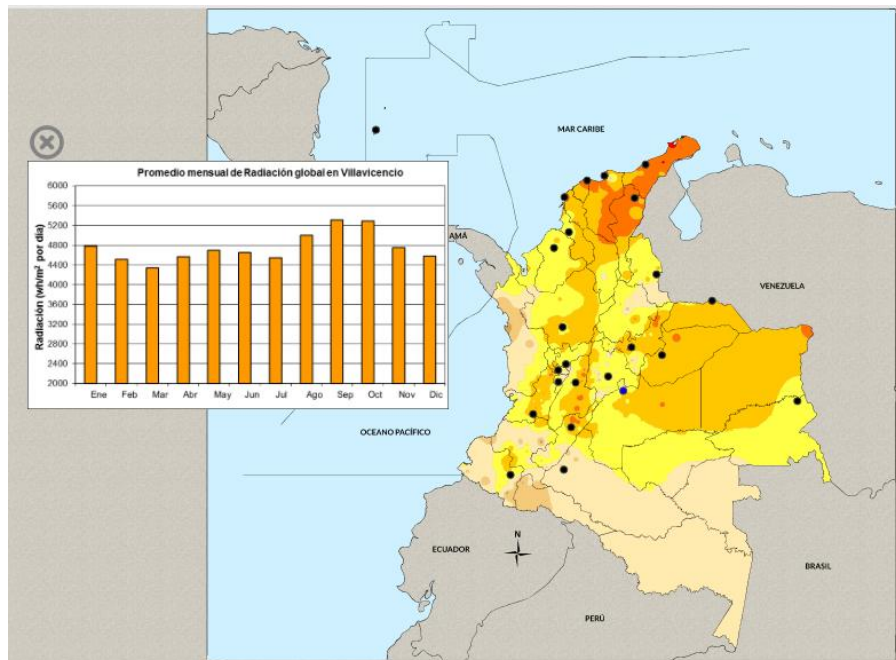


Figura 4. Promedio mensual de radiación global en Villavicencio.

Fuente: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>

5.3.4 Horas de pico solar (HPS)

Se define el concepto de hora de pico solar (HPS), referido a una superficie con una orientación α y una inclinación β , como el número de horas de un día con una irradiancia ficticia de 1000 W/m^2 que tendría la misma irradiación a lo largo del día donde, lógicamente, la irradiancia es mayor en las horas centrales del día (mediodía solar). El área que forma la irradiancia con el eje de tiempo es la misma que el área del rectángulo del altura 1000 W/m^2 y anchura el valor HPS.

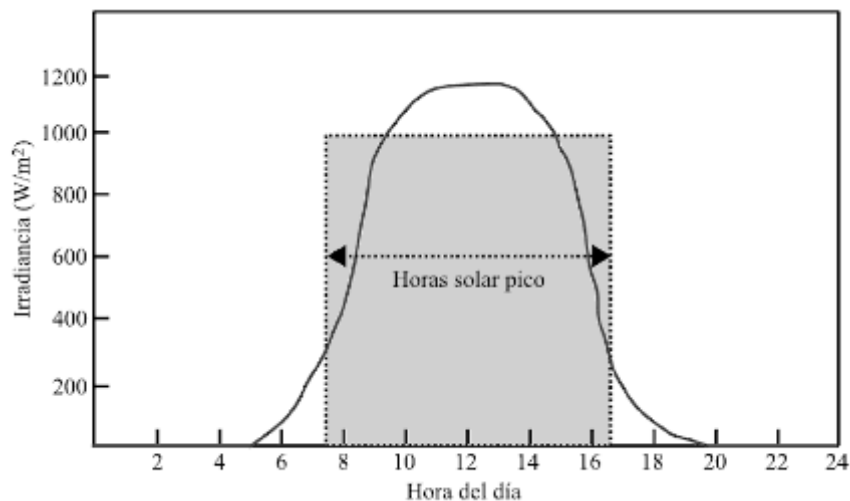


Figura 5. Horas de pico solar (HPS)

Fuente: Mascaros V., Instalaciones generadoras fotovoltaicas, Paraninfo Editorial

5.4 La célula fotovoltaica

Los paneles solares son módulos fotovoltaicos individuales que captan la energía que proporciona el sol convirtiéndola en electricidad. Están formados por celdas solares que a su vez contienen células solares individuales hechas de

materiales semiconductores como el silicio (cristalino y amorfo) que transforman la luz (fotones) en energía eléctrica (electrones).

Cuando hay luz solar, una célula solar se comporta casi como una batería. La luz solar recibida separa los electrones de modo que forman una capa de carga positiva y una de carga negativa en la célula solar; esta diferencia de potencial genera una corriente eléctrica.

Estos paneles se conectan a su vez a una batería que almacena la electricidad generada y es esta carga la que se utiliza. Los paneles solares se componen de células fotovoltaicas (PV), que convierten la luz solar en electricidad de corriente continua (DC) durante las horas del día.²¹

Los paneles fotovoltaicos toman la luz solar para generar una corriente directa, la cual es transferida y aprovechada por la mayoría de los equipos eléctricos. La energía generada pasa a través de un medidor, que la cuantifica. Luego continúa hacia una caja de suministro eléctrico, donde se distribuye hacia la red del lugar. En la figura 4. Se observa como el modulo capta la luz del sol.



Figura 6. Modulo Fotovoltaico

Fuente: www.areatecnologia.com

5.4.1 Características de los paneles

5.4.1.1 Parámetros eléctricos que definen un módulo fotovoltaico

Los parámetros que definen el comportamiento fotovoltaico del módulo son los siguientes:

- Intensidad de cortocircuito (I_{cc} ó I_{sc}): se mide la corriente entre los bornes de un panel, cuando estos se cortocircuitan ($V=0$). La intensidad de cortocircuito de un módulo es igual a la de una de sus células multiplicada por el número de filas conectadas en paralelo. Es la máxima intensidad que se puede obtener de un panel.
- Tensión nominal (V_n): es el valor de la tensión a la cual trabaja el panel.
- Tensión a circuito abierto (V_{ca} o V_{oc}): es el máximo voltaje, que se mide entre los bornes de un panel si se dejaran los terminales en circuito abierto ($I=0$). El valor de la medida puede ser mayor que el voltaje nominal del módulo, por lo que hay que seleccionar una escala de teste superior a los 12 o 24 V.
- Intensidad de potencia máxima ($I_p \text{ Max}$): es el valor de la corriente que puede suministrar el panel cuando trabaja a máximo de potencia. [34]

5.4.1.2 Curva VI

La curva característica de un panel fotovoltaico, también llamada curva de intensidad-voltaje (abreviadamente curva I-V), representa los valores de tensión y corriente, medidos experimentalmente, de un típico panel fotovoltaico sometido a unas determinadas condiciones constantes de insolación y temperatura.

Variando la resistencia externa desde cero a infinito, se pueden medir diversos valores de pares (i-V), que interpolándolos forman la curva característica (ver figura 7).

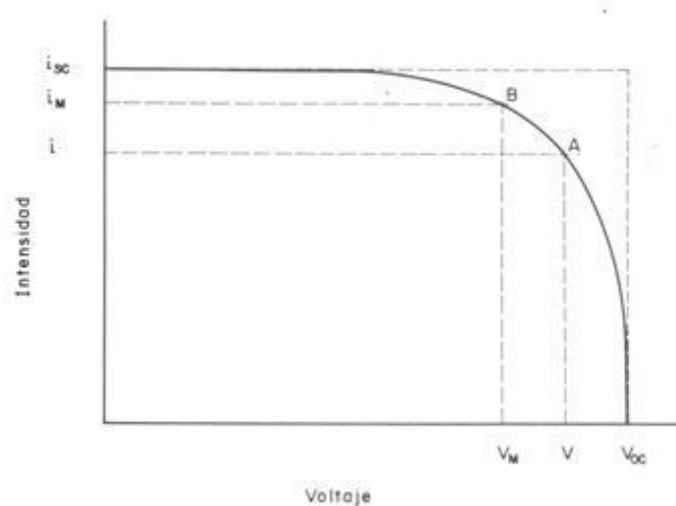


Figura 7. Curva VI panel solar

Fuente: <http://www.energetika.com.ar/Curva%20I-V.html>

El punto A es un punto cualquiera que representa el funcionamiento del panel en unas condiciones (determinadas por la resistencia o "carga" exterior) de Intensidad y Tensión. El panel desarrolla cierta potencia $i V$, que geoméricamente coincide con el área del rectángulo cuyo vértice superior derecho es el punto A.

Si el punto A se "moviera" hacia la derecha, bajando por la curva, se ve que el área de dicho rectángulo, al decrecer i muy rápidamente, se haría más y más pequeña. Lo mismo sucedería si dicho punto se trasladase hacia la izquierda, aproximándose al eje de coordenadas, ya que en este caso lo que se haría muy pequeño sería el valor de V .

Existirá un cierto punto intermedio B que haga que el área del rectángulo sea la mayor posible. Dicho punto B es el punto de máxima potencia

El Factor de Forma (FF) es el cociente del área del rectángulo definido por el punto B y el rectángulo exterior a la curva, cuyos lados son I_{sc} y V_{oc} .

Para un determinado modelo de panel y en unas condiciones de intensidad luminosa y temperatura constante, la curva i - V queda determinada y el punto concreto sobre dicha curva que representa las condiciones de trabajo del panel quedará fijado para el circuito que alimenta éste.

5.5 Inversores de corriente

Un inversor es un dispositivo que cambia o transforma una tensión de entrada de corriente continua a una tensión simétrica de salida (sinodal, cuadrada o triangular) de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario o el diseñador.

Los inversores se utilizan en una gran variedad de aplicaciones, desde pequeñas fuentes de alimentación para computadoras, hasta aplicaciones industriales para controlar alta potencia. Los inversores también se utilizan para convertir la corriente continua generada por los paneles solares fotovoltaicos, acumuladores o baterías, etc., en corriente alterna y de esta manera poder ser inyectados en la red eléctrica o usados en instalaciones eléctricas aisladas.

5.5.1 Funcionamiento

Un inversor simple consta de un oscilador que controla a un transistor, el cual se utiliza para interrumpir la corriente entrante y generar una onda rectangular. Esta onda rectangular alimenta a un transformador que suaviza su forma, haciéndola parecer un poco más una onda sinodal y produciendo la tensión de salida necesaria. La forma de

onda de salida de la tensión de un inversor ideal debería ser sinusoidal. Una buena técnica para lograr esto es utilizar la técnica de PWM logrando que la componente principal sinodal sea mucho más grande que las armónicas superiores. Los inversores más eficientes utilizan varios filtros electrónicos para tratar de llegar a una onda que simule razonablemente a una onda sinusoidal en la entrada del transformador, en vez de depender de éste para suavizar la onda.

Los inversores más eficientes utilizan varios artificios electrónicos para tratar de llegar a una onda que simule razonablemente a una onda sinusoidal en la entrada del transformador, en vez de depender para suavizar la onda.

Se pueden clasificar en general en dos tipos:

- Inversores monofásicos
- Inversores trifásicos.

Se pueden utilizar condensadores e inductores para suavizar el flujo de corriente desde y hacia el transformador.

Además, es posible producir una llamada "onda sinusoidal modificada", la que se genera a partir de tres puntos: uno positivo, uno negativo y uno de tierra. Un circuito lógico encarga de activar los transistores de manera que se alternen adecuadamente. Los inversores de onda sinusoidal modificada pueden causar que ciertas cargas, como los motores, por ejemplo; operen de manera menos eficiente.

Los inversores más avanzados utilizan la modulación por ancho de pulsos con una frecuencia portadora mucho más alta para aproximarse más a la onda sinusoidal o modulaciones por vectores de espacio mejorando la distorsión armónica de salida.

También se puede pre distorsionar la onda para mejorar el factor de potencia (cuerpo Φ). [30]

5.5.2 Inversores solares

Las placas solares están formadas por diversas células fotovoltaicas que, cuando reciben energía solar, reaccionan haciendo mover los electrones. Esa reacción produce electricidad de corriente continua, que es recogida por los circuitos que se encuentran en el interior de dichas células solares.

Es en este punto donde actúa el inversor solar, puesto que la mayoría de casas utilizan corriente alterna, de manera que la corriente continua que producen las placas solares no serviría para iluminar una vivienda. Por eso, la energía recolectada por las placas solares en forma de corriente continua se convierte en electricidad de corriente alterna cuando pasa por el inversor, que se encarga de efectuar esta “transformación”. Y en ese momento, se puede utilizar esa energía, verterla a la red o almacenarla en baterías.



Figura 8. Esquema inversor solar

Fuente: <https://solar.eyr.mx/los-mejores-inversores-solares-2019/>

En el caso de el autoconsumo solar residencial, se usan principalmente tres tipos de inversores solares: inversores Sting o en cadena, micro inversores y optimizadores de potencia. En la industria solar, a los micros inversores y a los optimizadores de potencia

se les conoce como dispositivos de electrónica de potencia a nivel de módulo o MLPEs (Module Level Power Electronics).

5.5.3 Inversores string

Los paneles solares se conectan en serie entre sí, y se agrupan en ramales. Cada ramal se conecta a un único inversor solar, que es el encargado de convertir la corriente continua procedente de los paneles en corriente alterna. El inversor string se desarrolló hace décadas, por lo que se trata de una tecnología madura que ha sido probada y que resulta eficaz, sin embargo, no es adecuada para ciertos tipos de instalación.

Debido a su principio de funcionamiento, un inversor string capta tanta electricidad como el panel menos eficiente del ramal, es decir, si un único panel del ramal se ve afectado por una sombra a cualquier hora del día o de forma estacionaria, la potencia entera del ramal se ve reducida a la potencia del panel que se encuentra en la zona sombreada. Como consecuencia de esto, el inversor string no es una buena solución cuando tus paneles están orientados hacia varias direcciones o se ven afectados por sombras.

Estas sombras provocadas por los objetos de alrededor son una de las principales razones por las que un panel disminuye notablemente, o incluso llega a anular, su producción. Por ello, una buena solución para evitar una zona de sombra de tu techo es eliminar el objeto que la produce o no instalar en la zona sombreada.

5.5.4 Micro inversor

Los micros inversores se instalan en cada placa solar de manera individual. Cada uno de ellos es un convertidor independiente que transforma la corriente continua en

corriente alterna in situ, sin necesidad de que la corriente continúa viaje hasta el centro de inversión como ocurre con los inversores string. Los micros inversores pueden venir integrados directamente en el panel solar o situarse próximo a éste, en la estructura metálica.

La principal ventaja que ofrecen el micro inversores frente a los inversores string es la eliminación del impacto negativo que producían las sombras, ya fueran totales o parciales. Por consiguiente, la producción aumenta porque se elimina el efecto “cuello de botella”, producido en los inversores string. Además, los micros inversores permiten la monitorización individual de cada panel.

5.5.5 Optimizadores de potencia

Al igual que el micro inversor, los optimizadores de potencia se colocan en cada panel solar individualmente y generalmente vienen integrados.

La principal diferencia con el micro inversor, es que los optimizadores de potencia no convierten la corriente continua en corriente alterna. Son convertidores de corriente continua en corriente continua cuya función es modificar el punto de funcionamiento de la curva I-V (Intensidad-Tensión) de los paneles que reciben sombras, ya que el resto sigue funcionando igual. En otras palabras, los optimizadores de potencia siguen el MPPT (punto de máxima potencia) con V fija (voltaje fijo) de cada circuito, lo que permite unificar las intensidades del ramal conectado al inversor string.

De igual forma que el micro inversor permiten la monitorización individual de cada panel solar reduciendo el efecto de las sombras en el funcionamiento de la

instalación solar fotovoltaica. Las instalaciones que utilizan optimizadores son más asequibles económicamente y tienen unos costes menores de mantenimiento. [31]

5.6 Inversores fotovoltaicos para la entrada a la red

Los inversores fotovoltaicos para la entrada a la red eléctrica es un tipo particular de inversor específicamente diseñado para convertir la energía eléctrica en forma de corriente continua producida por un módulo fotovoltaico en corriente alterna para ser alimentada directamente a la red eléctrica. La salida de corriente del panel solar, inicialmente es en forma de corriente continua.

Estas máquinas amplían la función básica de un inversor genérico con funciones extremadamente sofisticadas y avanzadas, mediante el uso de sistemas especiales de control de software y hardware que permiten extraer la máxima potencia disponible en todas las condiciones climáticas de los paneles solares. [32]

Los inversores fotovoltaicos para conexión a la red eléctrica son diferentes de los inversores utilizados en la electrónica convencional, se caracterizan por operar conectados directamente al generador fotovoltaico, El inversor se instala entre el generador fotovoltaico y el punto de conexión a la red. Una vez la energía solar ha sido transformada por el inversor en energía eléctrica, toda esa energía se inyecta en la red, con las ventajas económicas y medioambientales que eso conlleva.

Para optimizar el grado de aprovechamiento del generador FV, los inversores deben seguir el punto de máxima potencia. Además, deben trabajar con el máximo rendimiento, generando energía con una determinada calidad (baja distorsión armónica, elevado factor de potencia, bajas interferencias electromagnéticas) y también cumplir determinadas normas de seguridad (para personas, equipos y la red eléctrica).

Esta función se llama MPPT. Los paneles fotovoltaicos, de hecho, tienen una curva característica voltaje/intensidad (figura 8) tal que existe un punto de trabajo óptimo, llamado punto de máxima potencia (*Max*), donde es posible extraer la máxima potencia disponible.

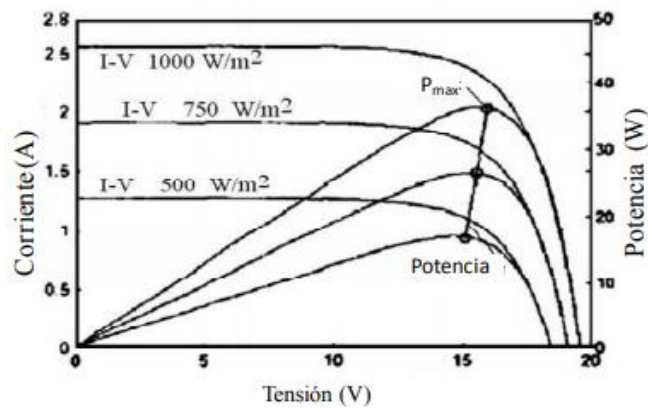


Figura 9. Curva característica panel fotovoltaico

Fuente: <https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/10230>

Para una irradiancia y una temperatura determinada, la tensión del circuito abierto es casi constante (similar a una fuente de tensión), mientras que, en cortocircuito, la corriente es casi constante (fuente de corriente). Realmente, el generador GFV, no es una fuente de tensión ni una fuente de corriente. La tensión del circuito abierto es sensible a la temperatura y disminuye cuando la temperatura aumenta, mientras que la corriente de corto-circuito a su vez es proporcional a la irradiancia y aumenta cuando la irradiancia aumenta.

Este punto de característica varía continuamente de acuerdo con el nivel de radiación solar que incide la superficie de las células fotovoltaicas. Es evidente que un inversor capaz de permanecer "enganchado" en este punto siempre obtendrá la potencia máxima disponible en cualquier condición. Existen varias técnicas para implementar la función MPPT, que difieren en términos de rendimiento dinámico (tiempo de

establecimiento) y precisión. Aunque la precisión del MPPT es extremadamente importante, el tiempo de establecimiento es, en algunos casos, incluso más. Mientras que todos los fabricantes de inversores pueden alcanzar una gran precisión en el MPPT (normalmente entre el 99-99.6% del máximo disponible), solo unos pocos pueden combinar precisión a velocidad.

De hecho, en los días con nubosidad variable ocurren cambios grandes y repentinos en la energía solar. Es muy común detectar variaciones de 100 vatios / m² a 1000-1200 vatios / m² en menos de 2 segundos. En estas condiciones, que son muy frecuentes, un inversor con tiempos de asentamiento de menos de 5 segundos puede producir hasta 5% -10% más de energía que uno lento.

En el régimen permanente, la tensión y la corriente del panel se consideran constantes. La utilización de un inversor en fuente de tensión en lugar de un inversor en fuente de corriente es principalmente motivada por razones tecnológicas. En inversores conectados a la red eléctrica, la señal de la corriente inyectada deberá ser lo más sinusoidal posible. El inversor en fuente de tensión genera en su salida una tensión en ancho de pulsos modulados PWM, incompatibles con tensiones sinusoidales de la red. Para ello, se coloca entre cada salida del inversor y cada fase de la red (inversor monofásico o trifásico) una inductancia que actúa como un filtro y permite al inversor suministrar a la red corrientes sinusoidales. Dentro de los requerimientos específicos de operación en conexión a red, el inversor fotovoltaico también ha de operar dentro de unos márgenes de tensión y frecuencia de salida, así como no afectar la distorsión armónica de la onda de tensión de la red (en cuando a la normativa vigente). También han de poseer aislamiento galvánico (o equivalente) entre la red y la instalación fotovoltaica.

Uno de los aspectos importantes es la prevención del fenómeno de funcionamiento en modo isla. Por temas de seguridad, se trata de evitar que si la compañía eléctrica desconecta un tramo de la red eléctrica donde esté operando un inversor fotovoltaico (por ejemplo, para realizar labores de mantenimiento), éste se desconecte automáticamente después de un número determinado de ciclos de red. Teóricamente este fenómeno puede ocurrir cuando una vez desconectado un tramo de red, el consumo de las viviendas en ese tramo sea exactamente igual (en potencias activas, reactivas y aparentes) a la potencia entregada por el inversor. Aunque la posibilidad real de que esto suceda es muy baja, los inversores deben incorporar métodos para detectar la desconexión de la red eléctrica aguas abajo (uno de los modos es la monitorización continuada de la impedancia de red).

Aunque las protecciones de tensión, frecuencia y relés de desconexión del sistema fotovoltaico de la red pueden ser dispositivos externos, normalmente el inversor incorpora estos elementos. El inversor ha de tener la capacidad de reconectarse automáticamente, una vez que las causas que hayan provocado su desconexión hayan desaparecido.

Además de todas las protecciones necesarias exigidas por la normativa para conectar un sistema fotovoltaico a la red eléctrica, algunos inversores suelen incorporar sistemas de monitorización para adquisición y presentación de datos. También existen en el mercado inversores que en un solo equipo pueden operar en diferentes modos, conectados a la red eléctrica, operando en modo autónomo con baterías u operando en modo mixto con baterías y conectados a la red, pudiendo realizar la carga/descarga de baterías desde/hacia la red eléctrica. También pueden disponer de sistemas de control para la conexión /desconexión de un generador auxiliar cuando sea necesario.

5.6.1 Clasificación de topologías del inversor

5.6.1.1 Número de etapas de potencia del proceso

El número de etapas de potencia del proceso en cascada, es el primer criterio de agrupación que se presenta. En la Figura 10, se muestra una topología a una sola etapa basada en un inversor que debe asegurar: el seguimiento del punto de máxima potencia, MPPT, el control de la corriente inyectada a la red y la adecuación de la tensión si es necesario. Es la configuración típica de la topología del inversor centralizado, con todos los inconvenientes asociados a la misma. El inversor debe estar diseñado para poder manejar una potencia máxima superior a la potencia nominal del inversor.

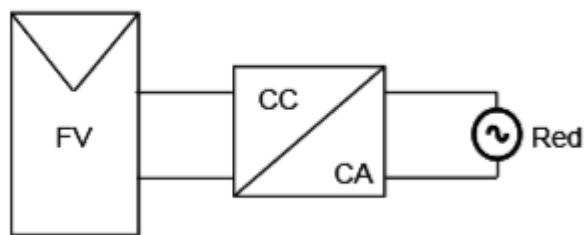


Figura 10. Una sola etapa de potencia para el MPPT y para el control de la corriente inyectada a la red

Fuente: Tesis_Linda_Hassaine.pdf

La Figura 11, representa dos etapas, el convertidor CC-CC que realiza la función del MPPT y al mismo tiempo la adecuación de la tensión. El convertidor CC/CA se encarga del control de la corriente inyectada a la red. El control del inversor se realiza mediante diversas técnicas: el control del ancho del pulso PWM o el control por histéresis, etc.

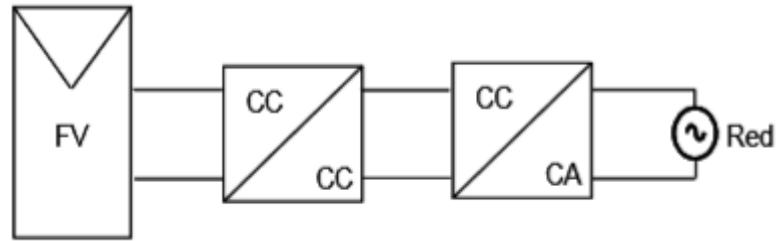


Figura 11 Una rama de módulos fotovoltaicos con dos etapas de potencia, CC/CC y CC/CA

Fuente: Tesis_Linda_Hassaine.pdf

Con esta última solución (control por histéresis), una alta eficiencia se alcanza si la potencia nominal es baja. Por otra parte, cuando la potencia nominal es alta, es recomendable utilizar esta topología para el funcionamiento de un inversor conectado a la red con control PWM, se presenta la topología para el inversor multa rama.

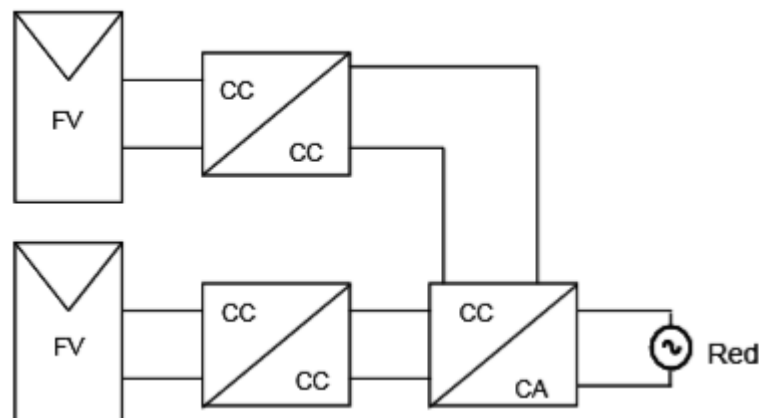


Figura 12. Dos ramas de módulos fotovoltaicos con dos etapas de potencia.

Fuente: Tesis_Linda_Hassaine.pdf

Cada convertidor CC-CC se encarga del MPPT y la adecuación de la tensión continua. Los convertidores CC-CC se conectan al bus de continua del mismo inversor CC-CA que se encarga del control de la corriente. Eso es beneficioso, ya que el control del punto de máxima potencia para cada rama de módulos fotovoltaicos mejora la potencia máxima del sistema fotovoltaico.

5.6.1.2 Potencia desacoplada

En un sistema fotovoltaico conectado a la red a través del inversor, la potencia entre los módulos fotovoltaicos y la red tiene que ser desacoplada. Esto se consigue normalmente mediante la utilización de un condensador electrolítico, que está colocado en paralelo con los módulos fotovoltaicos, como se muestra en la Figura 13.

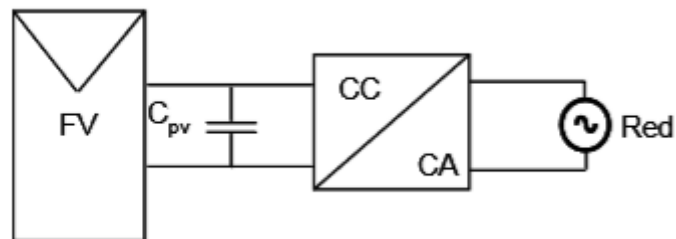


Figura 13. Inversor monofásico conectado al módulo.

Fuente: Tesis_Linda_Hassaine.pdf

2.3.4. TIPOS DE INTERFACES CON LA RED

Uno de los objetivos del inversor es inyectar una corriente sinusoidal a la red. Los inversores que operan en el modo de corriente se incluyen en esta clasificación también, la Figura 14, muestra cuatro posibilidades del inversor monofásico conectado a la red. Las topologías de la Figura 14 (a) y la Figura 14 (b) muestran inversores conmutados en fuente de corriente (CSI, Current Source Inverter). La corriente en el circuito de potencia está modulada y controlada para seguir una sinusoidal rectificadas y el circuito se encarga de regenerar una corriente sinusoidal e inyectarla en la red.

La topología de la Figura 14 (c) es un inversor VSI, Voltage Source Inverter, en puente completo que puede generar una corriente sinusoidal. Para su control, suele aplicarse una modulación del ancho del pulso, o un control por histéresis. Una variante de la topología de La Figura 14 (c) es una topología en puente medio, que puede generar

dos distintas tensiones y exige doble tensión de continua y doble frecuencia de conmutación para alcanzar el mismo rendimiento de un inversor en puente completo.

La topología en Figura 14 (d), es un inversor VSI puente medio de tres niveles, que puede generar 3, 5, o 7...distintas tensiones a través la red y la inductancia. Esta topología tiene la ventaja, ya que la frecuencia de conmutación de cada transistor puede reducirse y una buena calidad de la potencia se garantiza.

La señal de control de los transistores en un inversor CSI y la referencia de la corriente de la red se basa en general en la medida de la tensión de la red o la detección del cruce por cero. Esto puede generar problemas en la calidad de la potencia. Según Blaabjerg, los principales motivos de estos problemas, son el alto contenido de armónicos. Los armónicos pueden iniciar con series de resonancia con condensadores colocados alrededor de la red. Las diferentes topologías se presentan a continuación.

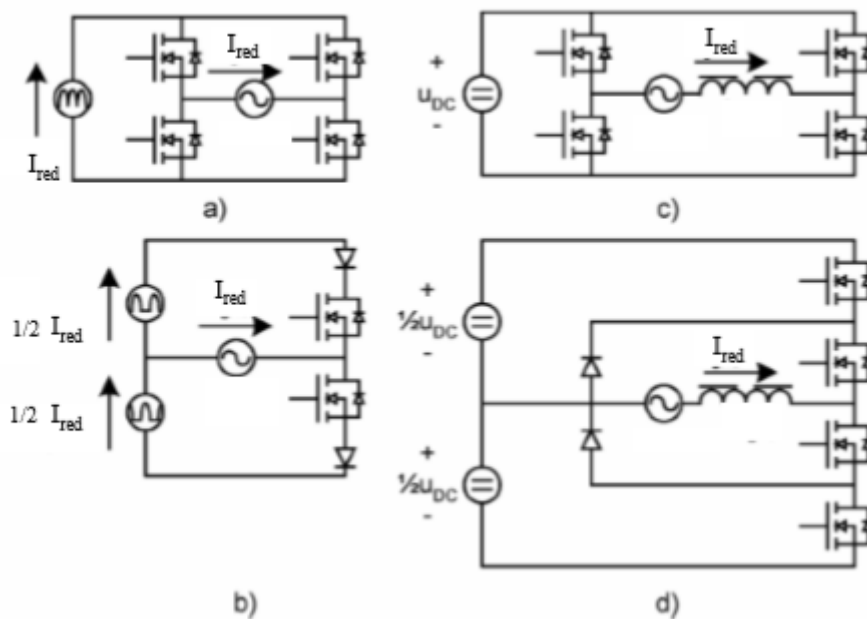


Figura 14. Tipos de interfaces de la red

5.6.1.3 *Modo de conmutación de los inversores*

Los primeros inversores fotovoltaicos conectados a la red fueron inversores conmutados por red, con la etapa de conexión a la red realizada mediante tiristores con conmutación provocada por la evolución de la tensión de red. Este tipo de inversores operan normalmente con un factor de potencia bajo (0,6 y 0,7), un alto nivel de distorsión armónica de la corriente de salida, una mala calidad de la potencia y presentan fallos en su conmutación en el momento en que aparece un fallo de red. Pero, por el contrario, esta topología es robusta, eficiente y barata. Debido al desarrollo rápido en los semiconductores de potencia, los tiristores han sido substituidos por Mosfets, IGBTs y los inversores centralizados conmutados por red han sido remplazados por inversores auto conmutados en un rango de potencia superior a 2KW. Este tipo de inversores pueden ser conectados a la red ya que pueden sincronizar su tensión alterna con la tensión de la red eléctrica, de manera que inyectan cualquier nivel de corriente a la red, siempre que no superen su potencia nominal. Son inversores seguros. Los inversores auto conmutados utilizan generalmente el control PWM y una frecuencia de conmutación alta (de 1kHz a 20kHz) dependiendo del dispositivo utilizado, por lo que la señal de salida suele ser perfectamente sinusoidal. Este concepto es robusto, eficaz y su tecnología no cara, permitiendo asegurar una fiabilidad alta y un precio bajo por Watt. Los únicos inconvenientes de este tipo de inversores son:

- El precio: son bastante más caros que los inversores basados en tiristores.
- La máxima potencia está bastante limitada ya que, al funcionar a alta frecuencia de conmutación, las pérdidas debidas a la conmutación se disparan y deben ser controladas.
- El rendimiento de los inversores auto conmutados es menor que el rendimiento de los

inversores conmutados por red debido a la alta frecuencia y a las pérdidas por conmutación.

La reducción de los armónicos y el mejor factor de potencia son los principales motivos de interés de las nuevas topologías del inversor y el diseño de sistemas para responder a las nuevas normas que cubren la calidad de la potencia. [33]

5.7 Sistemas conectados a la red

5.7.1 Conceptos Básicos

Un sistema fotovoltaico conectado a la red consiste básicamente en un generador fotovoltaico acoplado a un inversor que opera en paralelo con la red eléctrica convencional. El concepto de inyección a la red tiene un amplio margen de aplicaciones, desde pequeños sistemas de pocos kilowatts pico (kW p) de potencia instalada hasta centrales de varios mega Watt pico (M W p).

El generador fotovoltaico capta la radiación solar y la transforma en energía eléctrica, que, en lugar de ser almacenada en baterías, como en los sistemas aislados e híbridos, se puede utilizar directamente en el consumo o entregarla a la red eléctrica de distribución. Estas dos funciones las realiza un inversor de corriente directa a corriente alterna, especialmente diseñado para esa aplicación.

El generador fotovoltaico o campo de paneles se puede integrar a techos o fachadas en las viviendas y edificios, o en estructuras especiales. Es conveniente incluir, tras el inversor, un transformador para aislamiento, un interruptor automático de desconexión para cuando la tensión de la red está fuera de márgenes (vigilante de tensión) y el correspondiente contador, en serie con el habitual y en sentido inverso, para medir la energía eléctrica inyectada en la red.

El carácter modular de la tecnología fotovoltaica permite, al contrario de la mayoría de las fuentes convencionales, un costo unitario y una eficiencia independiente del tamaño o la escala de la instalación; por ello los pequeños sistemas presentan un

gran interés para la producción de energía descentralizada o independencia del usuario o consumidor.

5.7.2 Ventajas sistemas conectados a la red

- Al generar en el mismo punto en que se produce el consumo, se eliminan las pérdidas en la transmisión (8-12%) y distribución (16-22%) de la energía eléctrica.
- Se instalan fácil y rápidamente sobre cualquier edificio o área de parqueo bien expuesta al sol, sin obstáculos ni edificios próximos que proyecten sombras, sin consumir más espacio del que ya ocupa el edificio en el medio urbano.
- No producen contaminación ni efecto nocivo alguno.
 - Son sistemas modulares: permiten inversiones de forma progresiva.
- Los costos de operación y mantenimiento son incomparablemente inferiores a los de las termoeléctricas.

5.7.3 Componentes de los sistemas de autoconsumo fotovoltaico conectado a la red

Una de las ventajas de este sistema es que se necesitan menos componentes que en el caso de los sistemas fotovoltaicos aislados, ya que no requiere de una batería que almacene la energía sobrante, por lo que resultan más económicos. Así, un sistema fotovoltaico de autoconsumo con conexión a red en balance neto o net metering sólo requiere de los siguientes elementos:

- Paneles solares fotovoltaicos

Son los encargados de transformar la luz solar en energía eléctrica. Los paneles solares producen electricidad en corriente continua (CC)

- Inversores

Es el componente del sistema que transforma las características de la corriente eléctrica que producen los paneles para hacerla apta para el uso doméstico.

Los inversores transforman la electricidad de corriente continua, que es como sale de los paneles, a corriente alterna que es como se usa en las viviendas. También estos sistemas transforman la corriente eléctrica de 12 V, el voltaje con el que suelen salir del campo de paneles, a 240 V o 120 V que es el que requieren las viviendas de Europa y América respectivamente.

El inversor puede ser un único aparato que transforma toda la corriente que llega del campo de paneles o bien tratarse de micro inversores acoplados a cada uno de los paneles que transforman de manera individual la corriente generada por cada único panel.

- Contadores de doble sentido o medidor bidireccional

Es el elemento que contabiliza por un lado la cantidad de electricidad sobrante que la vivienda no ha usado y que inyecta a la red como por otro la que la vivienda toma de la red. Este tipo de contadores son semejantes a los que las compañías eléctricas tienen instalados en las viviendas, sólo que con la función de descontar. [26]

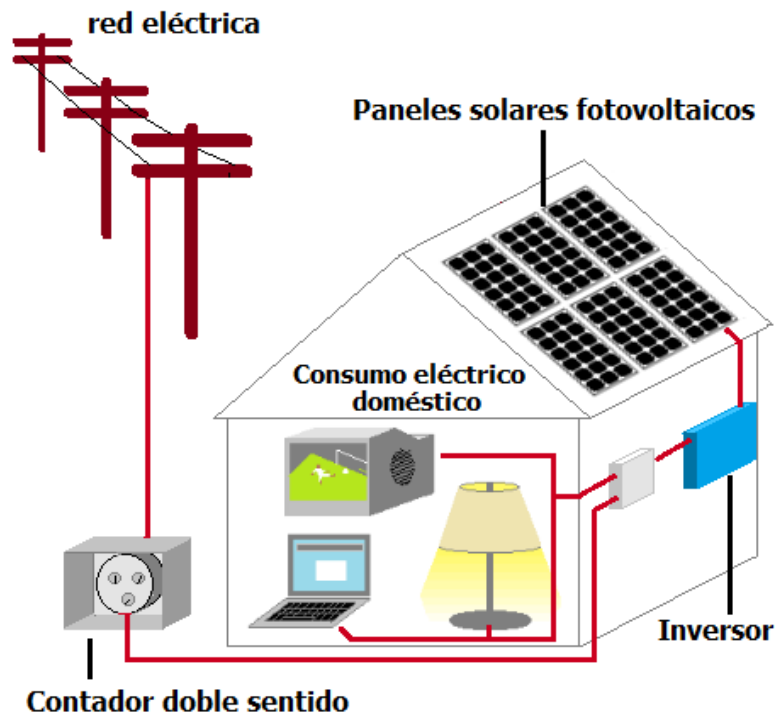


Figura 15. Esquema sistema Solar Conectado a la Red

Tomado de: <http://www.sitiosolar.com/el-autoconsumo-fotovoltaico-inyectado-a-red/>

5.7.4 Avance sistemas conectados a la red

Inicialmente, los sistemas fotovoltaicos de conexión a la red se desarrollaron para centrales fotovoltaicas de gran tamaño. Tras comprobarse en la práctica que estas centrales trabajaban correctamente, en la medida en que avanzó el desarrollo de la electrónica se comenzaron a diseñar sistemas de menor envergadura, más pequeños y manejables, con la finalidad de ser instalados a modo de pequeñas centrales domésticas solares, totalmente adaptables a viviendas dotadas de una acometida convencional de suministro eléctrico desde la red.

La mayor parte de los paneles fotovoltaicos producidos ya hoy en día son conectados a la red desde techos y fachadas solares, con potencias de unos kW p hasta centrales eléctricas solares con decenas de MW p. Gracias a su flexibilidad, suponen un enorme potencial para la industria energética.

En regiones rurales o aisladas los sistemas fotovoltaicos autónomos constituyen ya la solución de fondo y son parte fundamental e imprescindible para la garantía de las comunicaciones. A diferencia de los sistemas conectados a la red, los sistemas autónomos requieren de baterías para almacenar la energía que será consumida en los ciclos diarios.

5.7.5 Panorama mundial de la conexión a la red

A nivel mundial la potencia de instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red prácticamente se duplica cada año desde 1998; como ejemplo, de 120 MW instalados en el 2000 la potencia creció hasta 200 MW en el 2001. Esta tendencia se mantiene y amplía en los últimos años. Figura 16.

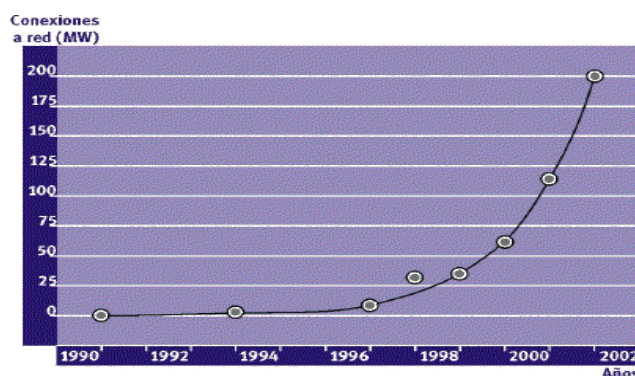


Figura 16. Crecimiento mundial de los sistemas conectados a la red.

Fuente: <http://www.cubasolar.cu>

En esta aplicación de los sistemas fotovoltaicos se encuentran a la vanguardia Japón y Alemania, con 90 MW de sistemas instalados a la red en el 2001. Se confirma un crecimiento muy fuerte en los últimos años.

En comparación con Japón, los sistemas conectados a la red en Cuba deberán competir con ventajas. En el caso de Europa, y en particular de Alemania, debido a la mayor insolación y radiación en nuestras latitudes, la generación de un sistema en Cuba producirá más energía. Mientras que en Alemania y el resto de Europa los sistemas conectados a la red sustituyen energía generada con grandes hidroeléctricas y plantas nucleares en sistemas nacionales interconectados a través de todo el continente, en Cuba sustituiría básicamente energía de termoeléctricas de baja y mediana potencia y eficiencia, que queman combustibles fósiles para un sistema relativamente pequeño y débil, largo y estrecho, lo que resultaría en una mayor ventaja económica.

En un informe del Instituto del Medio Ambiente de la Comisión Europea, al pronosticar la evolución del crecimiento fotovoltaico mundial, se exponen las cifras siguientes, basadas en las llamadas hojas de ruta elaboradas para Japón, los Estados Unidos y la Comunidad Europea. Figura 4. [16]

Año	2000	2010	2020	2030
EEUU [MW]	140	3 000	15 000	25 000
Europa [MW]	150	3 000	15 000	30 000
Japón [MW]	250	5 000	30 000	72 000
Todo el mundo [MW]	1 000	14 000	70 000	140 000

Figura 17. Crecimiento fotovoltaico mundial

Fuente: <http://www.cubasolar.cu>

5.8 El sector energético en Colombia

Está conformado por distintas entidades y empresas que cumplen diversas funciones en los mercados de generación, autogeneración, transmisión, comercialización y distribución de energía.

Teniendo en cuenta las características de cada una de las actividades o negocios, se estableció como lineamiento general para el desarrollo del marco regulatorio, la creación e implementación de reglas que permitieran y propendieran por la libre competencia en los negocios de generación y comercialización de electricidad, en tanto que la directriz para los negocios de transmisión y distribución se orientó al tratamiento de dichas actividades como monopolios, buscando en todo caso condiciones de competencia donde esta fuera posible.

Ninguna empresa podrá tener más del 25% de la actividad de comercialización, límite que se calculará como el cociente entre las ventas de electricidad de una empresa a usuarios finales en el Sistema Interconectado Nacional y las ventas totales de energía a usuarios finales en el Sistema Interconectado Nacional, medidas en kilovatios hora (kW h).

La participación en la actividad de generación se mide con base en el ENFICC (Energía en firme anual para el cargo por confiabilidad = Máxima energía eléctrica que es capaz de entregar un generador continuamente, en condiciones de baja hidrología, durante un año). La participación de una empresa es la suma del ENFICC de sus plantas dividido por la sumatoria del ENFICC de todas las empresas de generación.

Adicionalmente, se calcula el indicador IHH como la sumatoria del cuadrado de las participaciones (Porcentaje de participación multiplicado por 100).

Si el porcentaje de participación está entre el 25 y el 30% e $IHH > 1800$, la empresa generadora tendría vigilancia especial de la SSPD. Si el porcentaje de participación es superior al 30% e $IHH > 1800$, la empresa generadora deberá poner a disposición de otros agentes la energía suficiente para que la participación en la actividad de generación sea inferior a este límite. [7]

En el país existen diversas entidades que conforman el sector energético cada una con diversas funciones que en conjunto desarrollan todo lo relacionado con la parte energética en Colombia. Se Encuentra el ministerio de minas y energía (MME) entre sus funciones más relevantes establecer los requisitos técnicos que las empresas deben cumplir, Elaborar máximo cada cinco años un plan de expansión de la cobertura del servicio público que debe tutelar el Ministerio, identificar el monto de los subsidios que debería dar la Nación para el respectivo servicio público, recoger información sobre las nuevas tecnologías y sistemas de administración en el sector, impulsar bajo la dirección del presidente de la República, y en coordinación con el Ministerio de Relaciones Exteriores, las negociaciones internacionales relacionadas con el servicio público pertinente, desarrollar y mantener un sistema adecuado de información sectorial, para el uso de las autoridades y del público en general.[8]

La unidad de planeación minero energética (UPME) es una unidad administrativa especial adscrita al MME, entre sus funciones esta establecer los requerimientos energéticos de la población y los agentes económicos del país, con base en proyecciones de demanda que tomen en cuenta la evolución más probable de las variables demográficas y económicas y de precios de los recursos energéticos, y elaborar el Plan Energético Nacional y el Plan de Expansión del Sector Eléctrico, en concordancia con el proyecto del Plan Nacional de Desarrollo.[9]

La comisión reguladora de energía y gas (CREG) es una Unidad Administrativa Especial del Ministerio de Minas y Energía e integrada por el ministro de Minas y Energía, quien la preside, el ministro de Hacienda y Crédito Público, el director del Departamento Nacional de Planeación, cinco expertos en asuntos energéticos de dedicación exclusiva y el superintendente de Servicios Públicos Domiciliarios, con voz pero sin voto, es una entidad eminentemente técnica y su objetivo es lograr que los servicios de energía eléctrica, gas natural, gas licuado de petróleo (GLP) y combustibles líquidos se presten al mayor número posible de personas, al menor costo posible para los usuarios y con una remuneración adecuada para las empresas que permita garantizar calidad, cobertura y expansión. [10]

Superintendencia de servicios públicos domiciliarios (SSPD), es un organismo de carácter técnico, adscrito al Ministerio de Desarrollo Económico, con personería jurídica, autonomía administrativa y patrimonial. Desempeña funciones específicas de control y vigilancia con independencia de las Comisiones de Servicios y con la inmediata colaboración de los superintendentes delegados. El superintendente y sus delegados son de libre nombramiento y remoción del presidente de la República. [11]

Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales (ASIC) es la dependencia encargada del registro de los contratos de energía a largo plazo, de la liquidación, facturación, cobro y pago del valor de los actos o contratos de energía en la bolsa por generadores y comercializadores, del mantenimiento de los sistemas de información y programas de computación requeridos y del cumplimiento de las tareas necesarias para el funcionamiento adecuado del Sistema de Intercambios Comerciales (SIC).

Liquidador y Administrador de Cuentas (LAC), es la entidad encargada de liquidar y facturar los cargos de uso de las redes del Sistema Interconectado Nacional, de determinar el ingreso regulado a los transportadores y de administrar las cuentas que por concepto del uso de las redes se causen a los agentes del mercado mayorista, de acuerdo con la regulación vigente.

Centro nacional de despacho (CND) Es la dependencia encargada de la planeación, supervisión y control de la operación integrada de los recursos de generación, interconexión y transmisión del Sistema Interconectado Nacional, está igualmente encargado de dar las instrucciones a los centros regionales de despacho para coordinar las maniobras de las instalaciones con el fin de tener una operación segura, confiable y ceñida al reglamento de operación y a todos los acuerdos del Consejo Nacional de Operación [7]. Consejo nacional de operación (CNO) es Organismo que tiene como función principal acordar los aspectos técnicos para garantizar que la operación integrada del Sistema Interconectado Nacional sea segura, confiable y económica y ser el órgano ejecutor del reglamento de operación, las decisiones del Consejo Nacional de Operación pueden ser recurridas ante la Comisión de Regulación de Energía y Gas. [12]

En 1994 el congreso de la república creó mediante las leyes 142 y 143 las comisiones de regulación, con el fin de regular las actividades de los servicios domiciliarios, permitieron la conformación de un nuevo esquema para el sector eléctrico nacional. Dentro de los aspectos más importantes de estas dos leyes tenemos: se permitió la participación del sector privado en la prestación de los servicios públicos, la división de la cadena de producción en segmentos (generación, transmisión, distribución y comercialización) y se diseñó un sistema de regulación con la creación de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), además identificó mecanismos

para la defensa de la calidad y confiabilidad del servicio a través de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD).[10]

5.9 Resolución 030 del 2018 de la CREG

Las reglas para que los usuarios del servicio de energía eléctrica en el país puedan producir energía y venderla al Sistema Interconectado Nacional fueron definidas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG).

Se trata de la Resolución CREG 030 de 2018 sobre autogeneración a pequeña escala (hasta un megavatio) y generación distribuida, la cual define un mecanismo fácil y sencillo para que los usuarios residenciales de todos los estratos, así como los comerciales y pequeños industriales, produzcan energía principalmente para atender sus propias necesidades y puedan vender los excedentes al sistema interconectado.

“Es un cambio trascendental en el servicio de energía eléctrica y complementa una serie de decisiones regulatorias que la Comisión ha tomado en el marco de Ley 1715 de 2014 sobre fuentes no convencionales de energía renovable. El usuario que desee generar energía, además de venderla también podrá ahorrar en la factura”, resaltó el Director Ejecutivo de la CREG, Germán Castro Ferreira.

La autogeneración se define como la actividad realizada por personas naturales o jurídicas que producen energía y, en el caso de quienes generan a pequeña escala, los principales incentivos se dan a quien emplea fuentes no convencionales de energía renovables, tales como la biomasa, los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, la eólica, la geotérmica y la solar, entre otras.

Con la resolución expedida por la CREG inicia un proceso de adaptación para los usuarios y las empresas. Este ejercicio tomará algunos días e implica, además del montaje de la infraestructura necesaria, el desarrollo de la plataforma digital sobre la cual se realizarán los trámites respectivos. “Se estableció un mecanismo fácil y en línea. Esto permitirá una mayor participación de los usuarios, desarrollará nuevos modelos de negocios y dinamizará la economía asociada al sistema eléctrico nacional”, agregó Castro Ferreira.

La Resolución CREG 030 de 2018 definió un procedimiento sencillo en línea que contiene varios elementos: En primer lugar, el usuario podrá acceder a la información necesaria para conectarse al sistema. Esta información deberá estar disponible en los próximos dos meses. Así mismo, se simplificaron y estandarizaron los formatos de conexión a nivel nacional y se redujo el tiempo de entrada en servicio en más de la mitad (de 21 días hábiles pasa a 9 días hábiles).

Cabe resaltar que el usuario auto generador que decida vender sus excedentes al sistema siempre contará con un comprador. Adicionalmente, para incentivar la instalación, la Comisión estableció que el precio de la energía entregada al sistema por parte de los auto generadores a pequeña escala que utilizan fuentes no convencionales de energía sea muy cercano al valor que el usuario paga por su consumo. [27]

Consulte la Resolución en Anexo B.

5.10 Los incentivos Ley 1715 de 2014

En Colombia existe una creciente demanda en el consumo de energías no convencionales, y especialmente de energías renovables o energías limpias, la cual ha tenido su auge en los últimos años.

Debido a que las Leyes 142 y 143 de 1994 resultaron insuficientes para satisfacer dicha demanda, se profirió la Ley 1715 de 2014, “por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional”.

Esta norma supone un gran avance en nuestra regulación, sobre todo en la promoción para el desarrollo de energías renovables, tal como lo establece su artículo 1:

“La presente ley tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético. Con los mismos propósitos se busca promover la gestión eficiente de la energía, que comprende tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda.”

Del citado artículo vale la pena resaltar, no solo el compromiso con el medio ambiente y desarrollo económico sostenible, sino también que busca el desarrollo no las energías renovables e integración de las mismas en el mercado eléctrico, no solo desde el punto de vista de la oferta, sino de la demanda.

Consecuente su objeto, la Ley 1715 de 2014 presenta incentivos que invitan al sector privado para que pueda incursionar en el desarrollo energías no convencionales, de carácter limpio y amigable con el medio ambiente.

Dentro de los incentivos antes enunciados, se pueden destacar los fuertes beneficios previstos en el capítulo III de la Ley, en el cual se prevé, entre otras cosas:

– Artículo 11: “Como fomento a la investigación, desarrollo e inversión en el ámbito de la producción y utilización de energía a partir de FNCE (Fuentes No Convencionales de Energía), la gestión eficiente de la energía, los obligados a declarar renta que realicen directamente inversiones en este sentido, tendrán derecho a reducir anualmente de su renta, por los 5 años siguientes al año gravable en que hayan realizado la inversión, el cincuenta por ciento (50%) del valor total de la inversión realizada.”

– Artículo 12: “Incentivo tributario IVA. Para fomentar el uso de la energía procedente de FNCE, los equipos, elementos, maquinaria y servicios nacionales o importados que se destinen a la pre inversión e inversión, para la producción y utilización de energía a partir de las fuentes no convencionales, así como para la medición y evaluación de los potenciales recursos estarán excluidos de IVA.”

– Artículo 13: “Incentivo arancelario. Las personas naturales o jurídicas... sean titulares de nuevas inversiones en nuevos proyectos de FNCE gozarán de exención del pago de los Derechos Arancelarios de Importación de maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente para labores de pre inversión y de inversión de proyectos con dichas fuentes”

– Además de un régimen de depreciación acelerada para quienes inviertan en FNCE.

En virtud de lo anterior, el sector privado puede encontrar muy atractivo invertir en FNCE, colaborando así con el desarrollo de la industria en Colombia y reduciendo fuertemente el impacto ambiental.

Consulte la ley en el Anexo C.

5.11 Estado del arte

En los últimos años el empleo de los paneles solares en los techados de casas y edificios, llamados techos solares, ha promovido considerablemente el uso de la energía solar fotovoltaica debido al elevado potencial de utilización en zonas urbanizadas próximas a la red eléctrica. En el 2000 se vendieron tantos sistemas autónomos como sistemas conectados a la red. En cambio, en el 2006 las ventas de estos últimos ascendieron a 83% del total. El futuro empleo masivo de la energía solar fotovoltaica estará indisolublemente asociado a los sistemas conectados a la red.

El fuerte incremento de las ventas de los SFGR se debe esencialmente a la política desarrollada por Japón a favor de la energía fotovoltaica y particularmente su audaz programa de techos solares. Japón produce la mitad de la energía fotovoltaica mundial y es un ejemplo de política energética a imitar; sin yacimientos de combustibles fósiles, ha logrado desarrollar las nuevas fuentes renovables de energía y una gran eficiencia energética. Basta decir que Noruega —país con petróleo y grandes recursos hídricos— y Japón poseen índices de producto interno bruto por habitante comparables y de los más altos en el planeta; sin embargo, el consumo de energía por habitante en Japón es 40% menor. Un plan acelerado a partir del presente siglo estableció la instalación de 50 000 sistemas fotovoltaicos de 10 kW en el sector residencial, en tanto sistemas de varias decenas de kilowatt han sido diseñados para el sector público e industrial, donde el gobierno japonés subsidia casi 50% del costo con los impuestos recaudados a la producción de energía eléctrica mediante carbón. Esta política ha conllevado a que si en

1997 la mitad de la energía fotovoltaica (45,6 MW) estaba instalada a la red, diez años después casi la totalidad de los 2 GW se encuentran conectados a la red.

Alemania es otro país vanguardia en la producción de energía fotovoltaica y que también posee una política que apoya la utilización de los SFGR. Por otra parte, los Estados Unidos a partir del presente siglo, con una política de desaceleración de las fuentes renovables de energía, alcanzó en el 2006 la paridad en las ventas.

En los años recientes la producción de energía fotovoltaica en China ha experimentado un gran auge, donde la mayoría de los productores aumentan su producción a razón de 50% anual. El consumo de la energía fotovoltaica ha estado dominado por la electrificación rural, independientemente de que se realizan planes de 20 MW en aplicaciones fotovoltaicas conectadas a la red para los próximos 2-4 años. El gobierno chino ha creado el programa Song Dian Dao Can (Enviando Electricidad a las Comunidades), cuyo objetivo es instalar 100-150 MW de sistemas fotovoltaicos en comunidades rurales remotas durante el período 2005-2010, lo que constituye un salto importante si se compara con los 20 MW que estaban instalados hasta el 2002.

La India, el segundo país más populoso del planeta, promueve el desarrollo de la energía fotovoltaica. Durante los años del nuevo siglo, la dirección principal de las aplicaciones fotovoltaicas ha estado dirigida a las instalaciones en lugares remotos de difícil acceso, en donde el Gobierno subsidia hasta 90% de la inversión. Esta política continuará en los próximos años sustentándose en un plan de 1 500 MW de energía fotovoltaica para el 2022 y doblándolo a 3 000 MW para el 2027. Un pronóstico a veinte años prevé 500 MW de sistemas fotovoltaicos conectados a la red, 1 000 MW en casas rurales y

1 800 MW que se utilizarían en labores agrícolas. La India espera convertirse en uno de los líderes de la industria fotovoltaica en los años futuros.

En Cuba, las aplicaciones fotovoltaicas en el presente siglo han alcanzado importante auge con la instalación de SFA en locaciones rurales para funciones sociales, consultorios médicos, escuelas y centros culturales, que han cambiado favorablemente la vida de esas comunidades. En el archipiélago cubano más de medio millón de habitantes viven en comunidades aisladas donde la red eléctrica no llega y los SFA constituyen casi la única opción para mejorar las condiciones de vida, añadiéndole a las necesidades primarias alcanzadas otros amparos de la electricidad. También hay un amplio campo en la utilización de los SFA que aún no se ha podido explotar: su empleo en la agricultura. Aunque en los próximos años parece que las aplicaciones de los SFA prevalecerán, es muy importante iniciar en nuestro país la utilización de los SFGR, que será el futuro y permitirá el uso amplio de la energía fotovoltaica. [17]

5.11.1 Energía solar interconectada a la red en Colombia

Dentro de las propuestas de energías limpias, Colombia ya cuenta con un prototipo generador de energía solar (fotovoltaica) interconectado a la red eléctrica. Se trata de un proyecto de grado de maestría realizado por Johann Hernández, ingeniero eléctrico de la Universidad Nacional de Bogotá.

Está instalado en la facultad de Física de la Universidad y sirve para alumbrar y darle soporte a uno de los laboratorios del departamento, que tiene cinco computadores. Su capacidad máxima de generación, en un clima óptimo, es de 1.000 vatios. Un computador necesita alrededor de 175. Esta, aunque no es la única planta de energía solar del país (hay numerosas en algunas zonas rurales), sí es la primera y la única

interconectada a la red. “Técnicamente ayuda a la red porque la descongestiona”, explica Hernández. Además, la calidad de la energía generada es mejor porque tiene mayor estabilidad y así se ayuda a no sobrecargar las centrales grandes. Las horas pico de uso de la red son las 12 del día y las 7 de la noche. Por otro lado, contribuye en la reducción del impacto ambiental que producen las plantas eléctricas. La diferencia principal de este aparato frente a las plantas autónomas (no interconectadas) es el sistema de acumulación de energía, ya que estas últimas utilizan un banco de baterías que les permite funcionar cuando no hay sol. “Esa batería representa entre el 30 y el 40 por ciento del costo total”, indica el estudiante, que ahora está empezando un doctorado en la misma materia. En el interconectado, por el contrario, no hay batería de modo que solo funciona plenamente si hay sol, pero existe una red de respaldo. A nivel mundial este proyecto, aunque es novedoso en Colombia no lo es en otros países. En Holanda, Estados Unidos y Japón ya son ampliamente utilizados porque la dependencia de estos países a los sistemas de energía térmica, les resulta muy costosa. En todo el mundo están buscando fuentes nuevas de generación para ir en concordancia con el tema de la contaminación ambiental”, dice Gerardo Gordillo, el profesor que dirigió la tesis. “Dentro de las fuentes renovables hay muchas y para el país existe un potencial de recursos primario grande en viento y sol. Para el futuro, aunque tiene muchos recursos, toca pensar en nuevas alternativas”, añade. La desventaja actual de este tipo de proyectos es su precio, porque su uso depende de las condiciones ambientales y además es necesario importar equipos que son costosos. Se ha calculado que la relación frente a las hidroeléctricas es de uno a seis. En otros países sí hay más problema de precios por falta de agua y por eso la diferencia frente al sistema fotovoltaico está cambiando exponencialmente, asegura Hernández. “Creemos que hacia el 2020 o 2030 será competitivo”, dice. Gordillo asegura que en los últimos dos años ha habido un

crecimiento del 45 por ciento en el mundo en instalación de plantas solares, tanto interconectadas como autónomas. Dentro de su proyecto de doctorado, Johann Hernández está trabajando no solo en la viabilidad a largo plazo de la generación de energía fotovoltaica, sino en el impacto que generaría la instalación de muchas plantas de este tipo, y las restricciones que se podrían encontrar en su instalación de manera masiva. Los paneles solares fotovoltaicos están conformados por celdas individuales conectadas entre sí, que convierten radiación lumínica en electricidad. Al sistema de plantas pequeñas conectadas a la red, que usualmente se localizan cerca del lugar de la demanda, se les conoce como sistema de generación distribuida. Según información de la Empresa de Interconexión Eléctrica (ISA), las aplicaciones más frecuentes de este tipo de generación son, entre otras, permitir a los consumidores generar su propia electricidad, con o sin respaldo del sistema; generar electricidad a la vez que satisfacen sus necesidades de calefacción o refrigeración y generar una parte de la electricidad consumida durante horas de precios altos. Así mismo, se pueden utilizar para vender excesos de electricidad al sistema cuando la demanda propia es baja o en horas de precios altos (en caso de que exista una legislación al respecto, lo que no ocurre en Colombia), tener un respaldo ante contingencias en la red, mejorar la calidad y confiabilidad del servicio de electricidad, suplir necesidades específicas tales como energía verde o atención de zonas aisladas y atender el mercado residencial. 1.000 vatios es la capacidad máxima que tiene el panel fotovoltaico de generación distribuida, instalado en la facultad de Física de la Universidad Nacional. [19]

5.12 NASA data Project

En junio de 2013, el Presidente anunció un nuevo Plan de Acción Climática, que presenta una serie de acciones para abordar los impactos del cambio climático, reducir las emisiones de carbono y fomentar los esfuerzos internacionales para abordar los problemas climáticos. La Iniciativa de datos climáticos se basa en el éxito de los esfuerzos constantes de la Administración para liberar el poder de los datos de gobierno abierto. La Casa Blanca recurrió a la NASA para liderar el esfuerzo de trabajar estrechamente con otras agencias federales para identificar, recopilar y seleccionar datos federales relacionados con el clima. Trabajando con la Casa Blanca, la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), la Agencia de Servicios Generales (GSA) y otras agencias federales, la NASA dirigió el esfuerzo para diseñar y desarrollar un sitio web público, parte del sitio Data.gov existente., donde los usuarios pueden encontrar datos relacionados con el cambio climático que pueden ayudar a informar y preparar a las comunidades, empresas y ciudadanos de los Estados Unidos. En la primera fase, los usuarios podrán encontrar datos y recursos relacionados con las inundaciones costeras, el aumento del nivel del mar y sus impactos. En las iteraciones posteriores del sitio web, se proporcionará contenido para que los usuarios puedan encontrar datos y herramientas adicionales relevantes para otros impactos importantes relacionados con el clima, incluidos los riesgos para la salud humana, el suministro de alimentos y la infraestructura energética. La NASA seleccionó más de 80 conjuntos de datos para la fase inicial y el lanzamiento de este portal. [15]

5.13 Visual Basic

5.13.1 Definiciones

En el mundo de la programación informática, uno de los lenguajes más populares y conocidos es el de Visual Basic. Creado en 1991 por Alan Cooper para Microsoft, este paquete permite programar contenidos informáticos gráficos de manera simple y accesible.

El Visual Basic ha sido desarrollado con el objetivo de entregar a los usuarios de programación informática un paquete de utilidades simples y accesibles. Es por esto que el Visual Basic puede ser usado y fácilmente comprendido por expertos como también por usuarios principiantes. Su base parte del dialecto BASIC, pero con componentes novedosos que lo adaptan a los lenguajes informáticos modernos. A esto se suma que el Visual Basic es además un lenguaje de programación guiado por eventos que permite mayor operatividad y mejores resultados.

5.13.2 Funciones

La creación de interfaces gráficas para diferentes utilidades es una de las principales funciones del Visual Basic y es por esto que es altamente usado en espacios profesionales donde se requieren soportes gráficos para mayor organización de los contenidos y materiales. La programación gráfica se puede llevar a cabo directamente ya que el Visual Basic no requerirá de los usuarios la escritura de los códigos de programación. Así, el Visual Basic trabaja a partir de lenguajes RAD, en inglés Rapid Application Development, o desarrollo rápido de aplicaciones específicas para cada

necesidad y función. Al mismo tiempo, el Visual Basic, gracias a su simple lenguaje, es perfectamente adaptable a las plataformas de los sistemas Windows y es fácilmente transformable a otros lenguajes más complejos.

Microsoft ha desarrollado numerosas versiones para Visual Basic. Una de las más antiguas data de 1992 y si bien presentaba el lenguaje en forma de texto, permitía ya disfrutar y acceder a algunos de los elementos más importantes del futuro Visual Basic. Hoy en día, la versión 9.0 es la más difundida a nivel mundial gracias a la combinación de elementos simples y de elementos perfeccionados. [24]

5.13.3 Windows Forms

Windows Forms (o formularios Windows) es el nombre dado a la interfaz de programación de aplicación gráfica (API) que se incluye como parte de Microsoft .NET Framework, que proporciona acceso a los elementos de la interfaz de Microsoft Windows nativas envolviendo la API de Windows existente en código administrado.

Al igual que Abstract Windows Toolkit (AWT), la API de Java equivalente, Windows Forms era una forma temprana y fácil de proporcionar componentes de la interfaz gráfica de usuario para el .NET Framework. Windows Forms, está construido sobre la API de Windows existente y algunos controles sólo envuelven componentes subyacentes de Windows. En figura 7. Se evidencia un ejemplo de cómo es la creación de una aplicación en Windows Forms de Visual Studio. [25]

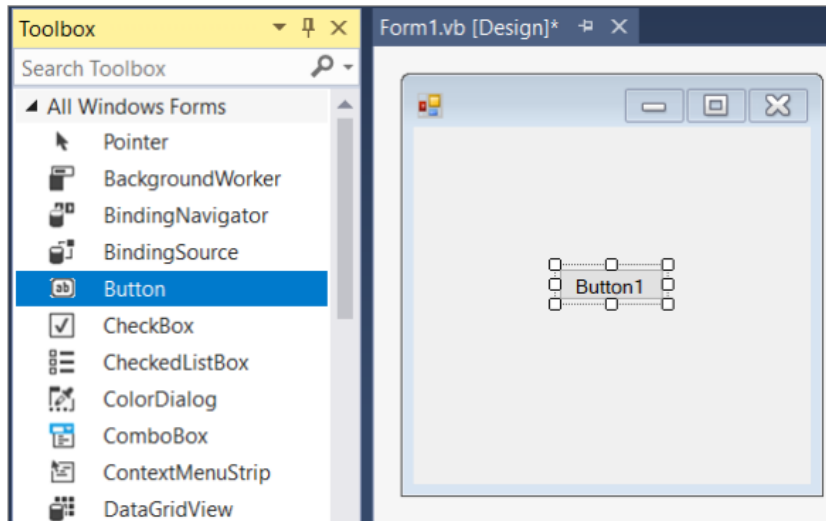


Figura 18. Ejemplo de una aplicación en Windows Forms

Tomado de: <https://docs.microsoft.com/es-es/visualstudio/ide/create-a-visual-basic-winform-in-visual-studio?view=vs-2019>

6 Metodología

La investigación es de carácter mixto (Investigación cualitativa e Investigación cuantitativa), ya que es un proyecto que observa y evalúa fenómenos físicos como la energía solar fotovoltaica, se establecen ideas o suposiciones como consecuencia de la observación y estudios realizados de los fundamentos de los auto generadores de energía solar FV, se realiza el análisis de las normativas emitidas por la CREG para el diseño del sistema solar FV conectado a red.

Fase 1

Ya que la investigación es de carácter mixto se evaluó y analizó todos los aspectos relacionados con el diseño de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red, se encontró que es un tema nuevo aun no muy explorado, debido a eso de desarrollo la aplicación que calcula el diseño del sistema y se le añade el costo total del proyecto y el retorno de la inversión.

Fase 2

Hay que resaltar que para llegar a la elaboración del aplicativo se investigaron y analizaron muchos temas a fin tanto técnicos, como económicos para así poder realizar de manera correcta la aplicación.

Fase 3

Vale tener en cuenta que va dirigida a cualquier tipo de persona interesada en conocer el funcionamiento y diseño de un sistema ON GRID, es importante saber que

será un sistema didáctico y de fácil uso con el fin de facilitar el trabajo en el momento de realizar un diseño de un sistema solar.

Fase 4

Dentro de los métodos utilizados para el desarrollo del aplicativo nos encontramos inicialmente con un proceso investigo en el cual se resuelven todas las dudas pertinentes acerca de sistemas de autogeneración a pequeña escala conectados a la red y en la que se analizan los factores que intervienen en este, como pueden ser cálculo del número de paneles solares, el inversor solar, el contador bidireccional entre otros y así poder analizar su posterior implementación dentro del sistema.

Fase 5

Al tener toda la información aclarada se procede a realizar un primer diseño en la plataforma Excel en donde se analiza cómo realizar el correcto funcionamiento de la aplicación final, se analiza el comportamiento de todas las variables como la radiación solar en la ciudad de Tunja y Villavicencio, las horas de pico solar y los días de nubosidad, los consumos de energía eléctrica en los hogares, las especificaciones técnicas de los paneles solares, entre otros, para así cruzar toda la información y obtener el resultado del diseño final.

Fase 6

Es importante tener en cuenta los costos de los elementos del sistema para posteriormente realizar el análisis económico y obtener el retorno de la inversión, para eso se procedió a realizar unas cotizaciones en diferentes sitios de ventas de productos solares y así calcular los datos deseados.

Fase 7

Al estar las cotizaciones realizadas se procedió a hacer el análisis económico del sistema, donde se tuvo en todas las variables posibles, como los costos de los elementos, el valor de la mano de obra, el mantenimiento y su variación con los años. Basados en esa información se realiza el estudio de la inversión, el tiempo de retorno y la ganancia total.

Fase 8

Una vez claro el diseño a usar y la metodología se procede a realizar el aplicativo en la plataforma final, se realiza la interfaz de usuario donde se pide toda información necesaria para así poder realizar el diseño de manera clara y concisa.

Se espera que el aplicativo sea de gran ayuda para técnicos, ingenieros o personas interesadas en conocer cómo sería el diseño de un sistema auto generador solar fotovoltaico su precio y su retorno de la inversión.

7 Resultados

7.1 CAPITULO 1: ANÁLISIS DEL SISTEMA

7.1.1 Análisis de las variables

Para realizar el dimensionado de la instalación generadora lo primero básicamente es tener en cuenta los elementos que la componen como el generador fotovoltaico, la capacidad del inversor, entre otros, de esta forma poder conseguir un suministro fiable de energía en función de la demanda.

Existe un gran número de métodos para dimensionar las instalaciones auto generadoras, para este caso se realizó una serie de procedimientos basados en libro *instalaciones generadoras fotovoltaica, edición paraninfo* asegurando la energía necesaria en el mes más crítico,

- Consideraciones previas.
- Ubicación de equipos.
- Necesidad de trabajar en corriente continua y/o corriente alterna.
- Estimación del consumo medio diario. Perfil de carga.
- Elección de la posición de los módulos fotovoltaicos
- Determinación de la radiación solar
- Determinación de los días de autonomía.
- Determinación de la tensión nominal de trabajo de la instalación.
- Dimensionado del generador fotovoltaico
- Dimensionado del inversor.

7.1.1.1 Consideraciones previas

Dentro de las consideraciones previas se tienen en cuenta aspectos tales como condicionantes legales, ayudas públicas, presupuesto disponible, distancia hasta la red de distribución pública, así como la viabilidad de otros tipos de sistemas alternativos de generación, son factores que se deben valorar. Es un paso indispensable realizar un análisis previo de viabilidad técnica, económica y legal del proyecto. Esto se realizó estudiando la resolución 030 del 2018.

7.1.1.2 Ubicación de equipos

En este paso se concreta el lugar en que se van a ubicar cada uno de los distintos componentes que forman la instalación generadora fotovoltaica. Para el caso del proyecto la ubicación es cada hogar que vaya a tomar el servicio de autogeneración.

Los módulos se fijan sobre estructuras fabricadas normalmente con hierro, aluminio o acero inoxidable. Existen estructuras para montar sobre pared, sobre mástiles sobre tejado y sobre suelo. El lugar que ocupa el generador fotovoltaico podrá venir impuesto por imperativos físicos, condicionado de esta forma su orientación e inclinación. Este análisis se realizará para cada usuario en particular y lo hará con la empresa que contrate para la dicha instalación.

El inversor y el contador bidireccional deben estar protegidos contra los agentes atmosféricos. Para un correcto funcionamiento de estos equipos la temperatura ambiente debe encontrarse dentro del rango de temperaturas especificado por el fabricante, el cual se puede consultar en los Anexos.

Asimismo, en esta etapa también resulta recomendable estudiar la necesidad de realización de obras adicionales para ubicar y fijar los componentes.

7.1.1.3 Elección de la posición de los módulos

Antes de proceder a estimar la radiación solar aprovechable, es necesario determinar la inclinación y orientación de los módulos fotovoltaicos. Para obtener la máxima energía, en el hemisferio norte los módulos deben estar orientados hacia el sur geográfico en cuanto al ángulo de inclinación es conveniente utilizar el criterio del mes crítico. El sistema fotovoltaico se debe dimensionar para satisfacer las necesidades energéticas de la instalación en el mes crítico. De esta forma se asegura el abastecimiento energético para el resto de meses crítico se corresponde en mes menor irradiación solar diaria.

7.1.1.4 Determinación de la radiación solar

El dimensionado de la instalación generadora fotovoltaica está condicionado por el mes crítico. En este paso se determinan las horas de pico solar (HPS) en el mes crítico para el ángulo de inclinación seleccionado. Para ello se divide la irradiación solar diaria entre 1000 W/m^2 .

Para el caso de este diseño se utilizó la herramienta de la nasa, NASA data Project, donde se calculan los datos tanto para Tunja como para Villavicencio.

7.1.1.5 Determinación días de autonomía

La autonomía es el número máximo de días que la instalación puede alimentar a los consumos sin disponer de energía suministrada por el generador fotovoltaico debido, principalmente, a causas climatológicas. Para determinar el número de días de autonomía de la instalación, se deben considerar aspectos tales como la climatología de la zona y la importancia del servicio realizado por las cargas de consumos. También se deben contemplar las limitaciones económicas ya que, cuanto mayor sea el número de días de autonomía, mayor será el coste económico de la instalación. Para determinar los días de autonomía se hizo uso de la aplicación NASA data Project, en donde se encuentra los datos exactos su mistando la latitud y longitud de cada ciudad.

7.1.1.6 Dimensionado de la instalación fotovoltaica

El dimensionado de la instalación solar fotovoltaica incluye las siguientes partes:

- Dimensionado del generador fotovoltaico.
- Dimensionado del inversor.

7.1.1.7 Dimensionado del inversor

Los parámetros que se deben tener en cuenta para dimensionar el inversor son la potencia nominal de salida, la tensión de entrada, la tensión de salida, la frecuencia de operación y el rendimiento.

El valor eficaz de la tensión de salida y la frecuencia se deber corresponder con las características de las cargas se deben alimentar.

El rendimiento del inversor es muy bajo cuando está trabaja a baja potencia. Para evitar este hecho, el dimensionado de la potencia nominal del inversor se puede diferenciar dos situaciones:

- Todo el receptor de corriente alterna son susceptibles de funcionar de forma simultánea.
- No todos los receptores funcionan de forma simultánea. En este caso hay que estimar la máxima potencia simultánea demandada por las cargas.

En ambos casos, para seleccionar el inversor más adecuado, es necesario conocer la potencia aparente total demandada por las cargas de forma simultánea (S_{CA}).

En la práctica es habitual aplicar un margen de seguridad del 20-25 % (factor 1.2-1.25). Considerando un margen del 20 %, la potencia aparente mínima que debe suministrar el inversor (S_{INV}) es:

$$S_{INV} = 1.2 * S_{CA} \quad (1)$$

7.2 CAPITULO 2: DISEÑO DEL SISTEMA

Para el diseño del sistema inicialmente se hizo uso de Excel para realizar el primer diseño.

7.2.1 Dimensionado de la instalación

7.2.1.1 Cálculo de la demanda energética

Se refiere calcular cuánto consume la casa o edificio o en otras palabras cuales son las necesidades energéticas, existen dos métodos; a) donde se analiza la potencia de cada dispositivo, las horas de trabajo diario, y se suman; b) a partir del recibo de cobro del servicio de energía eléctrica, se calcula el consumo diario. Este último es el método que se utiliza en este ejemplo, ya que es más sencillo.

Se tomaron 12 lecturas de los recibos de la residencia ubicada en Tunja en la carrera 2# 46 a – 69 del barrio las quintas. Lo cual dio la siguiente Tabla 1.

Año	Mes (del 21 al 21)	Consumo mes (Kwh)	Dias
2017	Oct-nov	203	31
2017	Nov-Dic	198	30
2018	Dic-Ene	205	31
2018	Ene-Feb	203	31
2018	Feb-Mar	165	28
2018	Mar-Abr	194	31
2018	Abr-May	178	30
2018	May-Jun	185	31
2018	Jun-Jul	198	30
2018	Jul-Ago	164	31
2018	Ago-Sep	209	31
2018	Sep-Oct	210	30
2018	Oct-nov	220	31

Tabla 1. Datos consumo de 12 meses.

Fuente: Autor

7.2.1.2 Evaluación del aporte solar

Se procederá a encontrar el valor medio mensual de radiación diaria R_{β} sobre una zona específica, para el caso la ciudad de Tunja. Se utilizará la aplicación web de la NASA: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>; también se calculará las Horas de Pico Solar HPS.

Ubicación: Tunja => Latitud: 5.533; Longitud: -73.367 || 5° 31' 59" Norte, 73° 22' 1" Oeste.

Orientación de los paneles: Sur.

Ángulo β inclinación aproximado: $\text{latitud} + 10^{\circ} = 5^{\circ} + 10^{\circ} = 15^{\circ}$.

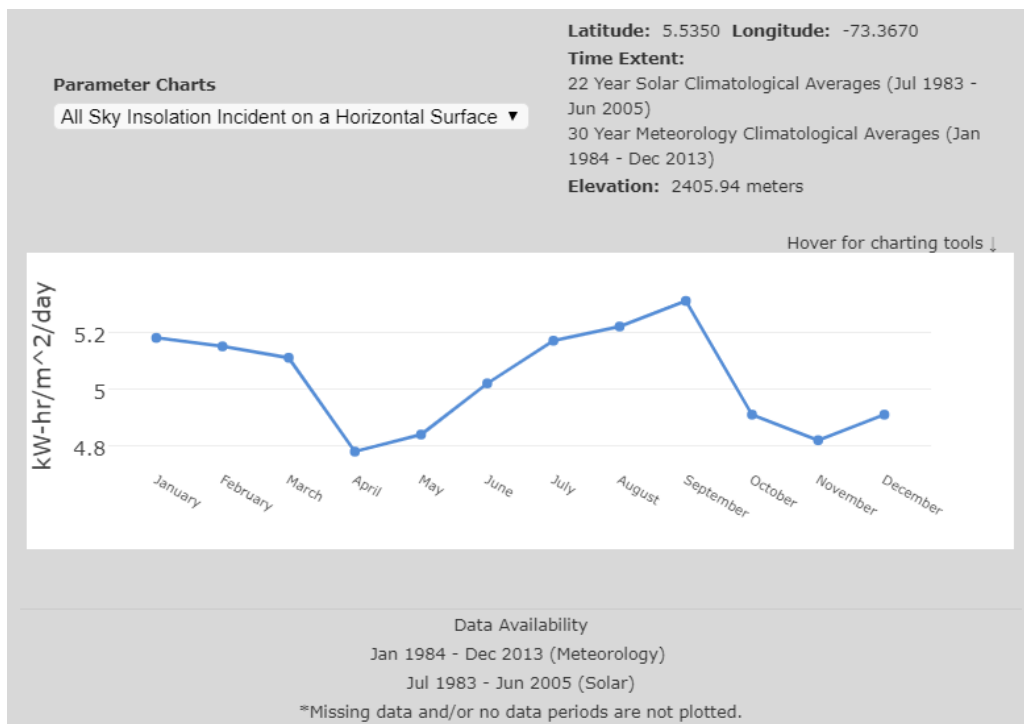


Figura 19. Radiación y HPS para la ciudad de Tunja.

Fuente: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Condiciones Climatologicas		
Mes	(kW- hr/m ² /day)	Hps horas/Dia
Enero	5,18	5,18
Febrero	5,15	5,15
Marzo	5,11	5,11
Abril	4,78	4,78
Mayo	4,84	4,84
Junio	5,02	5,02
Julio	5,17	5,17
Agosto	5,22	5,22
Septiembre	5,31	5,31
Octubre	4,91	4,91
Noviembre	4,89	4,89
Diciembre	4,91	4,91
Promedio	5,04	5,04

Tabla 2. Condiciones Climatológicas Ciudad de Tunja.

Fuente: Autor

7.2.1.3 Potencia del campo generador.

Se procede a encontrar el mes de diseño y la potencia mínima del campo de paneles FV.

Para ello nos basamos en el método implementado por el *Doctor Carlos Vallejo, modulo 3 aplicaciones de los sistemas FV*, material proporcionado por el tutor de la tesis Ing. Carlos Cardona.

La determinación de la capacidad del arreglo para un sistema PV, implica las siguientes consideraciones:

Horas solares pico. La mayoría de los diseños se basan en las estaciones del año con días más cortos y menor insolación.

Pérdidas del sistema. Las pérdidas del sistema deben ser consideradas para dimensionar el arreglo.

Por ejemplo, para el arreglo de la ciudad de Tunja, donde el análisis de carga indica un requerimiento de carga diario de 7,0kWh AC antes de considerar las pérdidas del inversor y otras pérdidas del sistema.

Asumiendo una eficiencia del inversor del 90%, el arreglo necesita proporcionar 7 kW h en promedio diario.

$$(7 / 0.9 = 7,8 \text{ kW h/d}). \quad (2)$$

Considerando un 3% de pérdidas por cableado, este número se incrementa a 8kW h por día.

$$(7,8 / 0.97 = 8 \text{ kW h/d}) \quad (3)$$

La energía debe ser almacenada en un batería, lo cual implica utilizar un factor de degradación por conversión de la energía. Este factor es aproximadamente 80%, con esto, la energía promedio diaria que debe ser entregada por el arreglo es:

$$(8 / 0.8 = 10 \text{ kW h/d}) \quad (4)$$

La información de insolación disponible para Tunja, localizado a una latitud de 5.533° N, es de 4,91 kW/m²/d para octubre.

Debido a que la hora solar pico equivale a 1000 W/m² por una hora, el diseño del sistema hace referencia a los valores de insolación simplemente como *horas solares pico*, en este caso 4,91.

Por lo tanto, la capacidad mínima del sistema PV debe ser:

$$\text{Mínima capacidad PV} = \text{Energía promedio diaria} / \text{horas solares pico promedio} = 10$$

$$\text{kWh} / 4,91 = 2 \text{ kW} \quad (5)$$

Parametros de diseño								
Mes (del 21 al 21)	Consumo mes (Kwh)	Dias	Consumo dia (Kwh)	Efici Inver 90% (kWh/d)	Perd Cable 3% (kWh/d)	Energ Prom (kWh/d)	Capacidad Min (kWh)	Al mes
Oct-nov	203	31	6,5	7,3	7,5	9,4	1,81	56,1
Nov-Dic	198	30	6,6	7,3	7,6	9,5	1,83	55,0
Dic-Ene	205	31	6,6	7,3	7,6	9,5	1,85	57,4
Ene-Feb	203	31	6,5	7,3	7,5	9,4	1,96	60,8
Feb-Mar	165	28	5,9	6,5	6,8	8,4	1,74	48,8
Mar-Abr	194	31	6,3	7,0	7,2	9,0	1,78	55,3
Abr-May	178	30	5,9	6,6	6,8	8,5	1,64	49,3
May-Jun	185	31	6,0	6,6	6,8	8,5	1,64	50,7
Jun-Jul	198	30	6,6	7,3	7,6	9,5	1,78	53,4
Jul-Ago	164	31	5,3	5,9	6,1	7,6	1,54	47,8
Ago-Sep	209	31	6,7	7,5	7,7	9,7	1,97	61,2
Sep-Oct	210	30	7,0	7,8	8,0	10,0	2,04	61,2
Oct-nov	220	31	7,1	7,9	8,1	10,2	2,02	62,5

Tabla 3. Diseño del mes más crítico ciudad de Tunja.

Fuente: Autor

7.2.1.4 Número de paneles:

$$N^{\circ} \text{paneles} = \text{la parte entera de} \left(\frac{P_{pgenerador}}{P_{ppanel}} \right) + 1 \quad (6)$$

P_{ppanel} : Potencia pico del panel FV en kW, según los datos que proporciona el fabricante.

Se tomarán para el diseño paneles de 330 W o 0.33kW

$$N^{\circ} \text{paneles} = \left(\frac{2,04}{0,33} \right) + 1 = 7 = 8 \quad (7)$$

7.2.1.5 Cálculo del inversor

Para calcular el inversor se utiliza la ecuación (1)

$$S_{INV} = 1.2 * 7000 \quad (8)$$

$$S_{INV} = 8000 \text{ W} \quad (9)$$

Parametros panel solar			Diseño Mes De Octubre				Inversor	
Capacidad panel FV (kW)	Corriente de cortocircuito (A)	Voltaje de Cto Abierto (V)	Capacidad Min (kWh)	Consumo dia (wh)	Número de paneles Fv	Voltaje Panel FV (V)	Sinv (W)	
0,34	9,26	37,3	2,04	7000	7	12	8400	

Tabla 4. Cálculo Número de paneles E inversor

Fuente: Autor

7.3 CAPITULO 3: IMPLEMENTACIÓN DEL APLICATIVO

Para la realización del aplicativo se utilizó el programa Visual Basic, con la opción Windows Forms lenguaje C#.

Se realizó ejecutable denominado SOLAR ON, En el cual se va a realizar una interacción con el usuario, se le piden unos datos como nombre, ciudad si es Tunja o Villavicencio, el estrato socio económico y la cantidad de electrodomésticos que tiene en la casa, para así poder realizar el cálculo del diseño del sistema, el valor total del proyecto y el tiempo de retorno a la inversión.

En la primera parte de la aplicación se observará el inicio del programa como se evidencia en la figura 20.



Figura 20. Inicio aplicación

Fuente: Autor

En la segunda sección se encontrará una breve explicación y aclaración de lo que el usuario se va encontrar en la aplicación (figura 21)

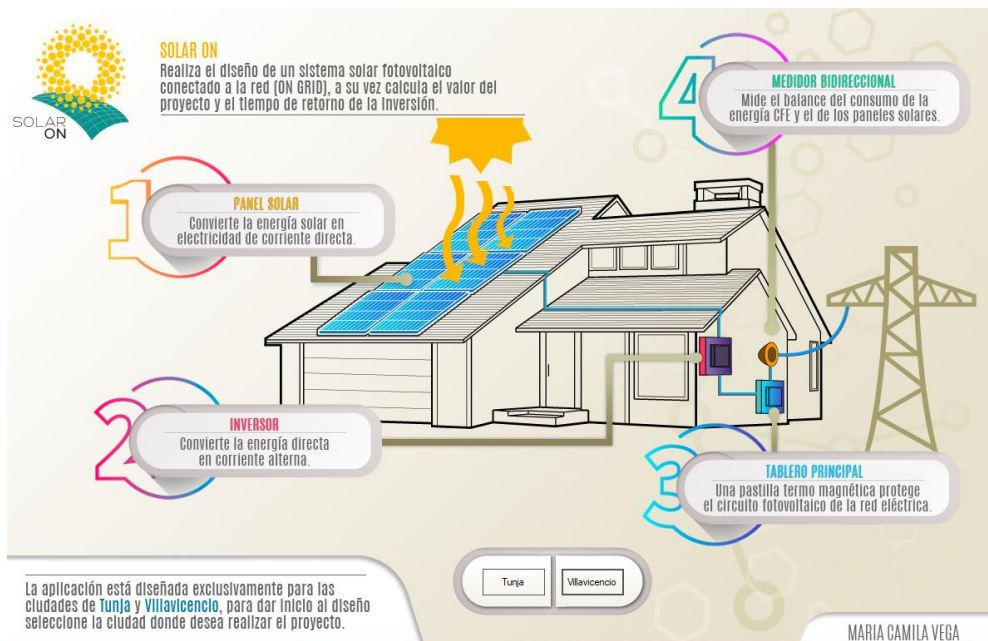


Figura 21. Parte explicaría del programa

Fuente: Autor

Después de que el usuario dará inicio a la aplicación se encontrara con la sección donde llenara los datos, y posteriormente cuando genere el diseño saldrá. Como se evidencia en la figura 22.

CÁLCULO DEL CONSUMO DIARIO
A continuación se realizará el cálculo para el diseño del sistema solar fotovoltaico para su casa:

Nombre:

Selección de estrato: 01 02 03 04 056

Electrodoméstico	Potencia (W/energía (Wh))	Cantidad	Horas uso
<input type="checkbox"/> Nevera	0	0	0
<input type="checkbox"/> Lavadora	0	0	0
<input type="checkbox"/> Televisor	0	0	0
<input type="checkbox"/> Computador de Mesa	0	0	0
<input type="checkbox"/> Horno microondas	0	0	0
<input type="checkbox"/> Iluminación Otros	0	0	0
<input type="checkbox"/> Iluminación Cocina	0	0	0
<input type="checkbox"/> Iluminación Baño	0	0	0

Electrodoméstico	Potencia (W/energía (Wh))	Cantidad	Horas uso
<input type="checkbox"/> Iluminación Habitaciones	0	0	0
<input type="checkbox"/> Iluminación tipo led	0	0	0
<input type="checkbox"/> Dvd/Blu-ray	0	0	0
<input type="checkbox"/> Equipo de Sonido	0	0	0
<input type="checkbox"/> Licuadora	0	0	0
<input type="checkbox"/> Plancha	0	0	0
<input type="checkbox"/> Cargador Celulares	0	0	0
<input type="checkbox"/> Otros Electrodomésticos	0	0	0

Cálculo del sistema:

Generar Limpiar Guardar

Siguiente

Figura 22. Toma de datos de la aplicación

Fuente: Autor

Una vez el usuario llene los datos requeridos le saldrá todo el diseño y los costos como se muestra en la figura 23.

Electrodoméstico	Potencia (w/energía (W,h))	Cantidad	horas uso
<input checked="" type="checkbox"/> Nevera	120	1	
<input checked="" type="checkbox"/> Lavadora	489	1	4
<input type="checkbox"/> Televisor	0	0	0
<input checked="" type="checkbox"/> Computador de Mesa	38	2	8
<input type="checkbox"/> Horno microondas	0	0	0
<input type="checkbox"/> Iluminación Otros	0	0	0
<input type="checkbox"/> Iluminación Cocina	0	0	0
<input type="checkbox"/> Iluminación Baño	0	0	0

Electrodoméstico	Potencia (w/energía (W,h))	Cantidad	horas uso
<input type="checkbox"/> Iluminación Habitaciones	0	0	0
<input type="checkbox"/> Iluminación tipo led	0	0	0
<input type="checkbox"/> Dvd/Bluray	0	0	0
<input type="checkbox"/> Equipo de Sonido	0	0	0
<input type="checkbox"/> Licuadora	0	0	0
<input type="checkbox"/> Plancha	0	0	0
<input type="checkbox"/> Cargador Celulares	0	0	0
<input type="checkbox"/> Otros Electrodomésticos	0	0	0

Cálculo del sistema:

Cálculo del sistema para : CAMILA VEGA
El consumo del Mes es de:103,14 kW/h
El consumo diario es de:3438 W/h
El número de paneles es:3
La potencia de Inversor es de:4126 W
El precio del proyecto es : \$8878467
El valor aproximado del recibo de energía es:\$42381
El tiempo de retorno de la inversión es de:17Años

Generar Limpiar Guardar Siguiente

MARIA CAMILA VEGA

Figura 23. Diseño del sistema

Fuente: Autor

El usuario tendrá la opción si desea de reiniciar los datos que había ingresado o pasar a la siguiente pantalla donde se le mostraran los componentes del sistema solar FV, Figura 24. A su vez tendrá la opción de guardar el diseño en un documento .TXT.



Figura 24. Parte final del sistema

Fuente: Autor

Para que los datos del diseño fueran exactos se basó la programación con el diseño inicial en Excel, se ingresaron los datos de la radiación para cada ciudad como se observa en la figura 16.

```

73      int numcons;
74      int numled;
75      //Radiacion de tunja
76      double Rtene = 5.18;
77      double Rtfeb = 5.15;
78      double Rtmay = 5.11;
79      double Rtabr = 4.78;
80      double Rtmay = 4.84;
81      double Rtjun = 5.02;
82      double Rtjul = 5.17;
83      double Rtago = 5.31;
84      double Rtsep = 5.31;
85      double Rtoct = 4.91;
86      double Rtnov = 4.89;
87      double Rtdic = 4.91;
88      //Radiacion villavivencio
89      double Rvne = 4.72;
90      double Rvfeb = 4.56;
91      double Rvmay = 4.40;
92      double Rvabr = 4.06;
93      double Rvmay = 4.16;
94      double Rvjun = 4.16;
95      double Rvjul = 4.09;
96      double Rvago = 4.15;
97      double Rvsep = 4.50;
98      double Rvoct = 4.33;
99      double Rvnov = 4.27;
100     double Rvdic = 4.43;
101     //caracteristicas Panel solar
102     double PotP = 340; // capacidad del panel en (W)
103     //double CctP = 9.26; // corriente de circuito abierto en (A)
104     //double VolP = 37.3; //voltaje de cortocircutio (V)
105     //parametros del diseño
106     double NumPan = 0; // Numero de paneles
107     double PotInv = 0; // potencia del inversor
108     double Segu = 1.2; // factor de seguridad
109     //costo proyecto
110     double Costo = 0;
111     double ValPanel = 742600;
112     double ValInv = 4623200;
113     double ValCont = 766000;
114     double ValCable = 160000;

```

Figura 25. Programación en C# de las radiaciones solares

Fuente: Autor

Los datos de los precios reales de los componentes fueron ingresados para poder

```
//costo proyecto
double Costo = 0;
double ValPanel = 742600;
double ValInv = 4623200;
double ValCont = 766000;
double ValCable = 150000;
double ValConec = 4265;
double ValSopor = 226224;
double Valinsta = 40000;

//calculo valor recibo
double consumomes = 0.0;
double Cu = 0.0;//Costo unitario
double ValRecib = 0.0;//valor a pagar del recibo
```

Figura 26. Ingreso de los precios de los componentes.

Fuente: Autor

Para cada estrato socio económico se le coloca un valor de CU diferente debido a que dependiendo de eso se le dará un subsidio o aportara una contribución, para obtener estos se realizó una revisión de los precios del CU durante el año y así poder realizar un ponderado, eso se explicara con más detalle en el capítulo 4.

```
//seleccion de estratos
if (Rdb1.Checked == true)
{
    consumomes = ((consumo / 1000) * 30);
    Cu = 212.90;
    ValRecib = Math.Round((consumomes * Cu));
}

if (Rdb2.Checked == true)
{
    consumomes = ((consumo / 1000) * 30);
    Cu = 265.96;
    ValRecib = Math.Round((consumomes * Cu));
}

if (Rdb3.Checked == true)
{
    consumomes = ((consumo / 1000) * 30);
    Cu = 410.91;
    ValRecib = Math.Round((consumomes * Cu));
}

if (Rdb4.Checked == true)
{
    consumomes = ((consumo / 1000) * 30);
    Cu = 484.93;
    ValRecib = Math.Round((consumomes * Cu));
}

if (Rdb56.Checked == true)
{

```

Figura 27. Especificación del CU por estratos

Fuente: Autor

7.4 CAPITULO 4: ANÁLISIS ECONÓMICO DEL SISTEMA

7.5 Como se determina el valor de la factura eléctrica

Años atrás el cobro de energía eléctrica en Colombia no estaba regulado por ninguna ley o resolución, el servicio lo prestaba el estado que su vez era el que determinaba el costo del mismo, debido a eso el servicio no eran tan confiable.

No es sino hasta el año 1994 que el estado por medio de las leyes 142 y 143 de 1994, determino que empresas privadas pudieran intervenir en la prestación del servicio de energía. El precio ahora es el resultado de una combinación de factores que operan dentro del esquema de mercado competitivo. A su vez, se fijaron subsidios y contribuciones a la prestación del servicio de electricidad.



El valor de la factura del servicio de energía eléctrica resulta de multiplicar el consumo (medido en kilovatios hora, kW h) por el costo del kW h en el mes respectivo (CU). A este valor se le suma la contribución que deben pagar los usuarios de inmuebles comerciales y residenciales de estratos altos o se le resta el subsidio a que tienen derecho los usuarios de menores ingresos.

7.5.1 Variación del costo de prestación del servicio

El costo del kilovatio hora puede variar de un mes a otro, principalmente por los siguientes factores: El uso de energía eléctrica generada con tecnologías más o menos costosas, lo cual a su vez está asociado a los períodos de lluvia o sequía. Estos costos pueden variar por la disponibilidad de agua y por el costo de los combustibles como gas

natural o carbón, utilizados para la generación de energía. Los precios de los contratos de suministro de energía eléctrica que haya celebrado el prestador del servicio. Estos contratos usualmente estabilizan los precios. La entrada en operación de nuevas redes y de otros elementos utilizados en la prestación del servicio. Cambios en los índices de precios al consumidor (IPC) o al productor (IPP).

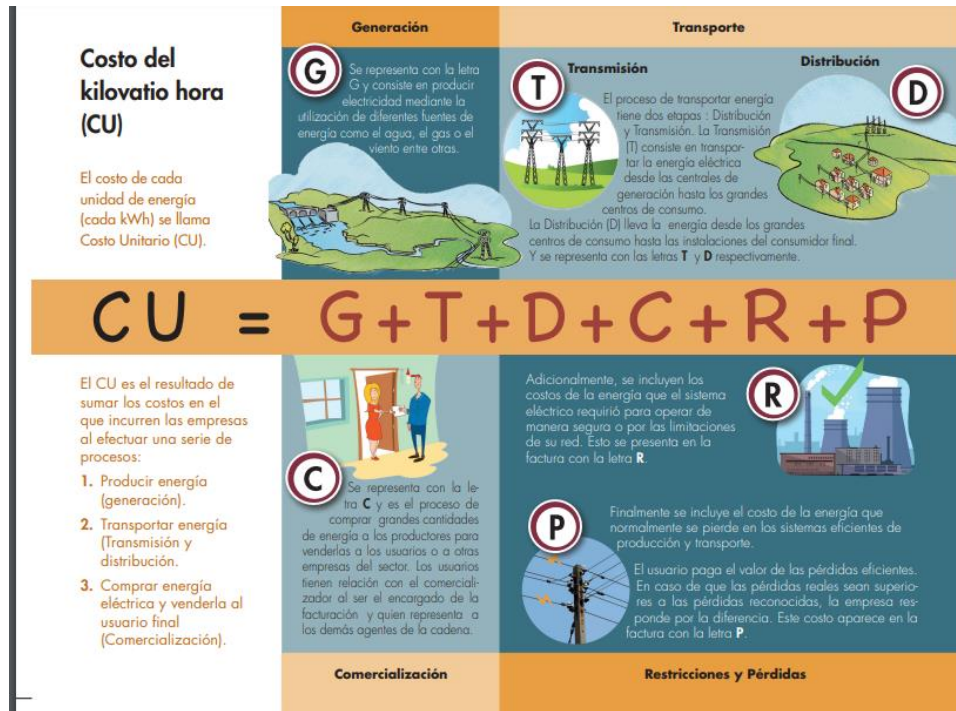


Figura 28. Esquema costo unitario CU

Tomado de: <http://www.creg.gov.co/phocadownload/publicaciones>

7.5.1.1 Costo Unitario de Prestación del Servicio de Energía Eléctrica

El Costo Unitario de Prestación del Servicio consta de un componente variable de acuerdo con el nivel de consumo, expresado en \$/kW h, y un componente fijo, expresado en \$/factura, según se indica a continuación:

$$CUV_{n,m,i,j} = G_{m,i,j} + T_m + D_{n,m} + Cv_{m,i,j} + PR_{n,m,i,j} + R_{m,i}$$

$$CUf_{m,j} = Cf_{m,j}$$
(23)

Dónde:

n: Nivel de tensión de conexión del usuario.

m: Es el mes para el cual se calcula el Costo Unitario de Prestación del Servicio.

i: Comercializador Minorista.

j: Es el Mercado de Comercialización.

$CUV_{n,m,i,j}$: Componente variable del Costo Unitario de Prestación del Servicio (\$/kW h) para los usuarios conectados al nivel de tensión *n*, correspondiente al mes *m*, del Comercializador Minorista *i*, en el Mercado de Comercialización *j*.

$G_{m,i,j}$: Costo de compra de energía (\$/kW h) para el mes *m*, del Comercializador Minorista *i*, en el Mercado de Comercialización *j*, determinados conforme se establece en el Capítulo III de la presente Resolución.

T_m : Costo por uso del Sistema Nacional de Transmisión (\$/kW h) para el mes *m* determinado conforme al Capítulo IV de la presente Resolución.

$D_{n,m}$: Costo por uso de Sistemas de Distribución (\$/kW h) correspondiente al nivel de tensión n para el mes m , determinados conforme al Capítulo IV de la presente Resolución.

$Cv_{m,i,j}$: Margen de Comercialización correspondiente al mes m , del Comercializador Minorista i , en el Mercado de Comercialización j que incluye los costos variables de la actividad de comercialización, expresado en (\$/kW h) y determinado conforme al Capítulo V de la presente Resolución.

$R_{m,i}$: Costo de Restricciones y de Servicios asociados con generación en \$/kW h asignados al Comercializador Minorista i en el mes m , conforme al Capítulo VI de la presente Resolución.

$PR_{n,m,i,j}$: Costo de compra, transporte y reducción de pérdidas de energía (\$/kW h) acumuladas hasta el nivel de tensión n , para el mes m , del Comercializador Minorista i , en el Mercado de Comercialización j , determinado conforme se establece en el Capítulo VII de la presente Resolución.

$CUf_{m,j}$: Componente fija del Costo Unitario de Prestación del Servicio (\$/factura) correspondiente al mes m para el Mercado de Comercialización j .

$Cf_{m,j}$: Costo Base de Comercialización (\$/factura) correspondiente al mes m , para el Mercado de Comercialización j .

El costo máximo del servicio en un período dado corresponderá a la suma de: i) el producto entre el consumo en kW h en dicho período y el componente variable del costo

unitario $CUv_{n,m,i,j}$; y ii) el valor del componente fijo del costo unitario $CUf_{m,j}$.

[1]



Figura 29. Detalles del costo del servicio de energía

Fuente: <https://blog.celsia.com/donde-sale-tarifa-de-energia-electrica-de-tu-empresa>

7.5.1.2 Costo máximo transitorio de traslado de compras de energía de GD y AGPE

Como ya se ha dicho, los AGPE podrán exportar los excedentes de energía generada al SIN, y así poder recibir una remuneración, el valor de esa compra se realiza de la siguiente manera.

Transitoriamente, mientras se adoptan las disposiciones definitivas sobre traslado de las compras de energía en la tarifa del usuario final en el componente G del

CU, el componente $G_{m,i,j}$ de la fórmula tarifaria establecida en el artículo 6 de la Resolución CREG 119 de 2007, se calculará de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
G_{m,i,j} = & Qc_{m-1,i} * (\alpha_{i,j} * Pc_{m-1,i} + (1 - \alpha_{i,j}) * Mc_{m-1}) + \\
& +(1 - Qc_{m-1,i} - Qagd_{m-1,i}) * Pb_{m-1,i} + AJ_{m,i} + \\
& +G_{transitorio}_{m,i,j}
\end{aligned}$$

$$Qc_{m-1,i} = \min \left[1, \frac{Cc_{m-1,i}}{DCR_{i,m-1}} \right]$$

$$Pb_{m-1,i} = \frac{\sum_{h=1}^n (P_{h,m-1} \times D_{i,h,m-1})}{\sum_{h=1}^n D_{i,h,m-1}}$$

(24)

Dónde:

M: Mes para el cual se calcula el Costo Unitario de Prestación del Servicio.

I: Comercializador Minorista *i*.

J: Mercado de Comercialización *j*.

DCR_{i, m-1}: Demanda Comercial Regulada del Comercializador Minorista *i* en el mes *m-1*.

Qc_{m-1, i}: Es el menor valor entre 1 y el resultante de la relación energía comprada por el Comercializador Minorista *i* mediante contratos bilaterales con destino al mercado regulado y la Demanda Comercial del mercado regulado del Comercializador Minorista, en el mes *m-1*.

Qc_{m-1, i}: Es el menor valor entre 1 y el resultante de la relación energía comprada por el Comercializador Minorista *i* mediante contratos bilaterales con destino al mercado regulado y la Demanda Comercial del mercado regulado del Comercializador Minorista, en el mes *m-1*.

Cc_{m-1, i}: Energía comprada mediante contratos bilaterales por el Comercializador Minorista *i* con destino al mercado regulado en el mes *m-1*.

Pc_{m-1, i}: Costo Promedio ponderado por energía, expresado en \$/kW, de las compras propias del Comercializador Minorista *i* mediante contratos bilaterales con destino al mercado regulado, liquidados en el mes *m-1*.

Mc_{m-1} : Costo Promedio ponderado por energía, expresado en \$/kW h, de todos los contratos bilaterales liquidados en el Mercado de Energía Mayorista en el mes $m-1$ con destino al mercado regulado.

$\alpha_{i,j}$: Valor de α del Comercializador Minorista i en el Mercado de Comercialización j para el mes de enero de 2007, calculado conforme la metodología de la Resolución CREG 031 de 1997.

$Pb_{m-1, i}$: Precio de la energía comprada en Bolsa por el Comercializador Minorista i , en el mes $m-1$, expresado en \$/kW h, cuando las cantidades adquiridas en las subastas del MOR y en contratos bilaterales no cubran la totalidad de la demanda regulada.

$AJ_{m, i}$: Factor de ajuste que se aplica al costo máximo de compra de energía, expresado en \$/kWh, del Comercializador i para el mes m , calculado conforme al Anexo 1 de la presente resolución.

$Qagd_{m-1, i}$: Factor de ajuste que se aplica al costo máximo de compra de energía, expresado en \$/kWh, del Comercializador i para el mes m , calculado conforme al Anexo 1 de la presente resolución.

$P_{h, m-1}$: Precio de Bolsa en la hora h (\$/kWh), del mes $m-1$.

$D_{i, h, m-1}$: Compras en Bolsa del Comercializador Minorista i (kWh) en la hora h , del mes $m-1$.

N : Número de horas del mes $m-1$.

$G_{transitorio_{m, i}}$: Costo de compra de energía a AGPE y GD por parte del comercializador i en el mes m , para el mercado de comercialización j .

Dónde:

$$Qagd_{m-1,i} = Q_{GDm-1,i} + Q_{11m-1,i} + Q_{12m-1,i} + Q_{21m-1,i} + Q_{22m-1,i} + Q_{3m-1,i}$$

$$G_{transitorio}_{m,i,j} = \begin{bmatrix} Q_{GDm-1,i} \times P_{GDm-1,i} + \\ + Q_{11m-1,i} \times P_{11m-1,i} + \\ + Q_{12m-1,i} \times P_{12m-1,i} + \\ + Q_{21m-1,i} \times P_{21m-1,i} + \\ + Q_{22m-1,i} \times P_{22m-1,i} + \\ + Q_{3m-1,i} \times P_{3m-1,i} \end{bmatrix} \quad (25)$$

Hasta tanto la Comisión no expida la resolución que establezca las pérdidas no técnicas que se asignarán a cada Comercializador Minorista, la Demanda Comercial Regulada para cada Comercializador Minorista se seguirá estableciendo conforme los procedimientos actuales.

En el caso que para el mes de cálculo la demanda contratada mediante contratos bilaterales por un Comercializador Minorista para atender al Mercado Regulado sea mayor que la Demanda Comercial Regulada, el valor de $P_{cm-1,i}$ se determinará como el promedio ponderado del precio de cada uno de los contratos bilaterales por la cantidad contratada, multiplicado por un factor equivalente al cociente entre la Demanda Comercial Regulada y la demanda contratada mediante contratos bilaterales.

7.5.2 Subsidios y contribuciones

Con el fin de que los usuarios de menores ingresos puedan pagar su servicio, la Ley dispone que el consumo deba ser subsidiado. El subsidio se aplica a una cantidad de kilovatios consumidos denominada Consumo Básico que para el caso de los lugares que están por encima de los 1.000 metros sobre el nivel del mar es de 130 kWh y para los que están por debajo de los 1.000 metros sobre el nivel del mar es de 173 kWh*. En el estrato 1 el subsidio es de hasta el 60% del CU, en el estrato 2 hasta del 50% y en el estrato 3 es del 15%. Los usuarios de estrato 4 no pagan contribución ni son sujetos de

subsidio. Los usuarios de estratos 5 y 6 y los usuarios comerciales deben pagar una contribución del 20% del CU.

7.5.3 Peticiones, quejas y reclamos

Para presentar una petición, queja, reclamo o sugerencia el usuario debe enviar una comunicación al prestador del servicio, quien tiene 15 días hábiles para responder. Si la empresa envía una respuesta desfavorable, el usuario tiene 5 días hábiles para presentar un recurso de reposición y en subsidio de apelación. Si la respuesta de nuevo es desfavorable el prestador del servicio debe direccionarla a la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios para que resuelva la apelación. [29]

7.5.1 Promedio del CU por estratos

El valor del CU para la ciudad de Tunja, se obtuvo por medio de los datos encontrados en la página oficial de la empresa de energía de Boyacá EBSA, se tomaron todos los datos del año 2018 por meses y por estratos ya que cada uno tiene un valor diferente debido a los subsidios o contribuciones anteriormente nombradas. En figura 25 se puede observar cómo se encuentra detallados los valores de donde se obtuvo el promedio, la información de todos los meses del año se encuentra en los anexos.



Figura 30. Mes de enero año 2018

Fuente: https://www.ebsa.com.co/wp/wp-content/uploads/tarifas/ENERO_2018.jpg


En la tabla 6 se evidencia todos los costos detallados del CU estrato por estrato durante el año 2018, y se realiza un promedio.

Promedio año 2018 del costo unitario CU						
Mes	Estrato 1	Estrato2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 6
enero	208,831	261,0386	383,6008	451,295	451,554	451,554
febrero	210,1466	262,6831	398,6182	468,9626	562,7551	562,7551
marzo	211,6367	264,5482	401,5876	472,4562	566,9474	566,9474
abril	212,1466	265,1831	397,9156	486,136	561,7632	561,7632
mayo	213,1225	266,4029	401,5771	472,4437	566,9324	566,9324
junio	213,6553	267,069	417,5193	491,1992	569,439	569,439
julio	213,9757	267,4696	416,1266	489,5607	587,4728	587,4728
agosto	213,6976	267,1218	418,7453	492,6415	591,1698	591,1698
septiembre	213,954	267,4424	420,8112	495,072	594,0864	594,0864
octubre	214,2963	267,8703	420,4407	494,6361	593,5633	593,5633
noviembre	214,5535	266,1917	427,5396	502,9878	603,5854	603,5854
diciembre	214,811	268,5136	426,5359	501,8069	602,1683	602,1683
total	212,9022333	265,961192	410,918158	484,933142	570,953092	570,953092

Tabla 5. Promedio del CU EBSA por estratos meses año 2018

Fuente: Autor

Para obtener los valores de la ciudad de Villavicencio, se realizó el mismo procedimiento que en la ciudad de Tunja, se tomaron los datos encontrados en la base de datos de la electrificadora de el meta EMSA. En figura 26 se puede observar cómo se encuentran detallados los valores de donde se obtuvo el promedio, la información de todos los meses del año se encuentra en los anexos.



Tariffes de energía, subsidios y contribuciones del mercado regulado del departamento del Meta y estructura del Costo Unitario del Servicio.
AGOSTO de 2018

Vigilada por la Superintendencia de Servicios Públicos
Número Único de Registro 2-50001000-1
IPC aplicado: -0,128%

Los presentes valores son calculados según las formulas generales establecidas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG en las resoluciones 031 de 1997, 079 de 1997, 082 de 2002, 108 de 2003, 036 de 2006, 001 de 2007, 119 de 2007, 058, 097 y 168 de 2008, 102 de 2009, 025 de 2010, 186 de 2010, 172 de 2011, 173 de 2011, 057 de 2014 y leyes 812 de 2003 y 1428 de 2010.

Servicio Residencial (\$/kWh) Redes EMSA Propietaria de la Red y la Transformación						
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 6
Valor energía	547,04	547,04	547,04	547,04	547,04	547,04
Subsidio a los primeros 173 kWh	57,90%	47,38%	15,00%	0,0%	0,0%	0,0%
Contribución a fondos de solidaridad	0,00	0,00	0,00	0,00	20,00%	20,00%
Valor kWh	230,28	287,84	464,98	547,04	656,45	656,45
Servicio Residencial (\$/kWh) Redes Usuario y EMSA Propietarios de la Red y la Transformación						
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 6
Valor energía	531,67	531,67	531,67	531,67	531,67	531,67
Subsidio a los primeros 173 kWh	59,18%	48,98%	15,00%	0,0%	0,0%	0,0%
Contribución a fondos de solidaridad	0,00	0,00	0,00	0,00	20,00%	20,00%
Valor kWh	217,01	271,27	451,92	531,67	638,00	638,00
Servicio Residencial (\$/kWh) Redes Usuario Propietario de la Red y la Transformación						
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 6
Valor energía	516,30	516,30	516,30	516,30	516,30	516,30
Subsidio a los primeros 173 kWh	56,68%	45,85%	15,00%	0,0%	0,0%	0,0%
Contribución a fondos de solidaridad	0,00	0,00	0,00	0,00	20,00%	20,00%
Valor kWh	223,65	279,55	438,85	516,30	619,56	619,56

Servicio No Residencial Todo Horario (€/kWh) con nivel de tensión

Figura 31. Mes de Agosto año 2018.

Fuente: <http://www.electrificadoradelmeta.com.co/newweb/>

Promedio año 2018 del costo unitario según EMSA						
Mes	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 6
Enero	225,01	281,26	439,98	517,62	621,14	621,14
Febrero	226,42	283,03	428,58	504,21	605,06	605,06
Marzo	228,03	285,03	442,12	520,14	624,17	624,17
Abril	228,58	285,72	449,5	528,83	634,59	634,59
Mayo	299,63	287,04	435,72	512,62	615,14	615,14
Junio	230,22	287,77	445,5	524	628,81	628,81
Julio	230,57	288,21	460,4	541,64	649,97	649,97
Agosto	230,28	287,84	464,98	547,04	656,45	656,45
Septiembre	230,56	288,19	468,76	551,49	661,78	661,78
Octubre	230,96	288,66	462,95	544,64	653,57	653,57
Noviembre	231,2	289	464,32	546,25	655,5	655,5
Diciembre	231,48	289,35	467,06	549,48	659,38	659,38
Total	235,245	286,758333	452,489167	532,33	638,796667	638,796667

Tabla 6 Promedio del CU EMSA por estratos meses año 2018

Fuente: autor

7.6 Costos en los procesos solares

Los costos incluyen todos los elementos de equipo y mano de obra involucrados en la instalación del sistema y los gastos de operación. En la evaluación de los costos, los factores a considerar son: tasa de interés, impuesto sobre la renta y la propiedad, mantenimiento, seguros, combustible, re-venta del equipo y otros gastos de operación.

En resumen, para los procesos de energía solar es importante determinar el tamaño del sistema que proporcione el costo más bajo de la combinación de equipo solar y convencional.

Las inversiones realizadas para la instalación de los sistemas, incluyen: módulos PV, unidades de almacenamiento, bombas, ventiladores, controles, tuberías y ductos, intercambiadores de calor y todos los equipos asociados con la instalación solar.

Los costos de instalación del equipo solar se obtienen considerando dos términos: el costo proporcional al área del colector o del tamaño del módulo PV y el costo independiente del área del colector o del módulo PV. Esto es:

$$C_s = C_A A_C + C_E \quad (10)$$

Dónde: C_s es el costo total del sistema solar, C_A costo por unidad de área del colector o módulo PV (\$/m²), A_C es el área del colector o módulo PV (m²), C_E es el costo independiente del área del colector o módulo PV.

El costo de instalación del panel solar es de \$50.000 por m², el panel solar tiene unas Dimensiones (m) 1,950 x 0,992 x 0,040 para un área total de 1,9344 m² y costo del panel solar es de \$752.599.

$$C_s = ((40.000 \text{ \$/m}^2) * 1,9344 \text{ m}^2) + \$752.599 \quad (11)$$

$$C_s = \$830.975 \quad (12)$$

7.6.1 Análisis precios proyecto

Para el análisis económico como primera medida se realizó un CAPEX del proyecto, con precios del presente año.

Precios Instalacion sistema On grid							
Componente	Panel solar Marca procet de 330W	Inversor On Grid marca growatt de 4000w	Medidor bidireccional marca Iskra	Cable para panel solar 10 agw mc4 par negro y rojo 5 mts	Conectores paneles solares Mc4 x par	Soportes de montaje inclinable del panel solar ajustable	Instalacion
Precio	\$ 742.599	\$ 4.623.200	\$ 790.990	\$ 150.000	\$ 4.265	\$ 226.224	\$ 40.000

Tabla 7 CAPEX del proyecto.

El valor del panel solar se cotizo en la página <https://www.improinde.com/paneles-solares>



Panel Solar Policristalino 330W

SKU: 80008

Módulo Policristalino de alta eficiencia, 24v 330W Dimensiones: 1950 * 992 * 40mm, cable: 90cm tipo MC4

\$ 742,599

Cantidad

1

Figura 32. Cotización panel solar.

Fuente: <https://www.improinde.com/product-page/panel-solar-policristalino-320w>

El valor del inversor ON GRID se cotizo en la página:
<https://www.improinde.com>



Inversor OnGrid 4000W-MTLP-US
Growatt

SKU: 82604

Conectado a la red, salida a 220V, eficiencia del 97.5%, MPPT, LCD, garantía 5 años, marca Growatt

\$4,623,200

Cantidad

1

Figura 33. Cotización inversora ON GRID

Fuente:<https://www.improinde.com/product-page/inversor-ongrid-4000w-mtlp-us-growatt>

La cotización del medidor bidireccional se realizó en:
<https://articulo.mercadolibre.com>

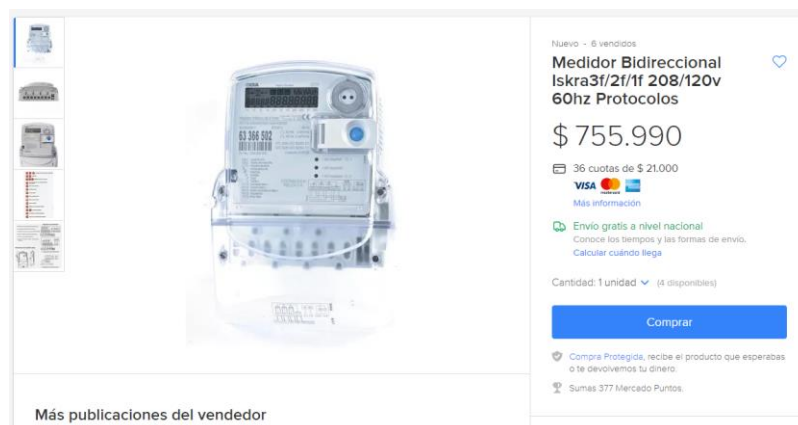


Figura 34. Cotización medidor

Fuente:https://articulo.mercadolibre.com/MCO-467428027-medidor-bidireccional-iskra3f2f1f-208120v-60hz-protocolos-_JM

La cotización del medidor bidireccional se realizó en:
<https://articulo.mercadolibre.com>

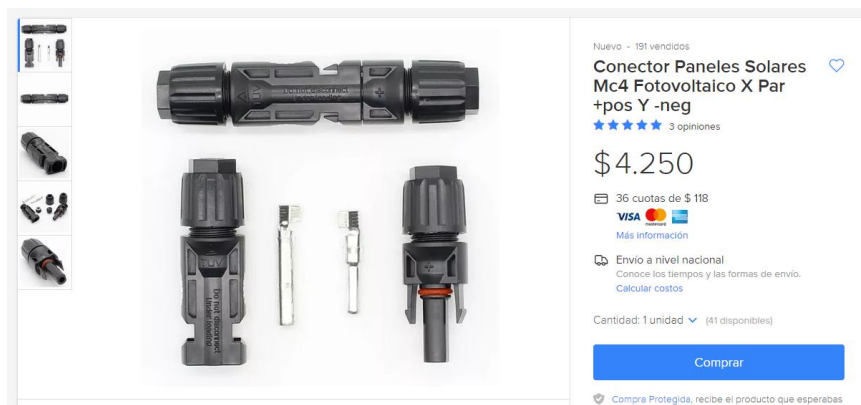


Figura 35. Cotización Conectores.

Fuente: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-469906271-conector-paneles-solares-mc4-fotovoltaico-x-par-pos-y-neg-_JM?quantity=1

El valor de los soportes se realizó en: <https://articulo.mercadolibre.com>

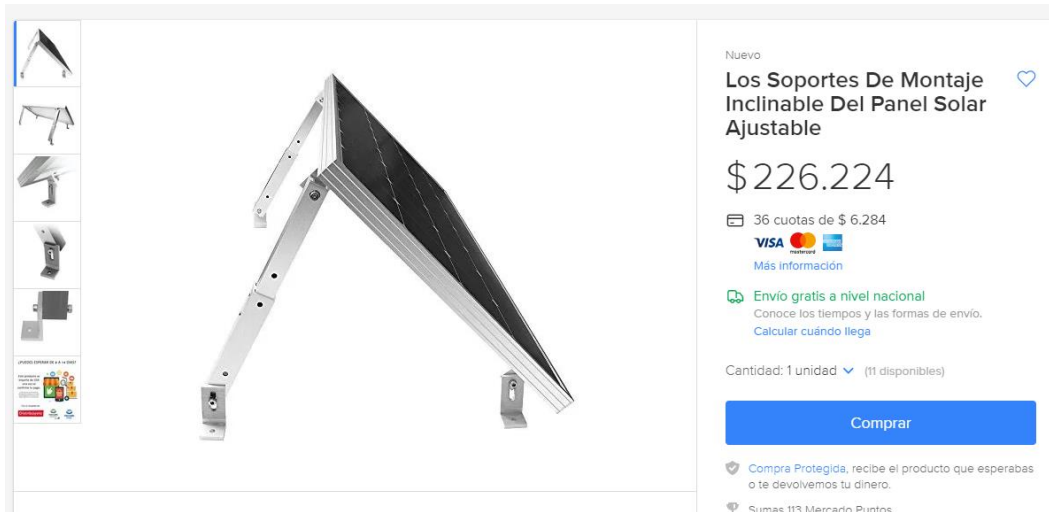


Figura 36. Cotización Soportes.

Fuente: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-485752095-los-soportes-de-montaje-inclinable-del-panel-solar-ajustable-_JM?quantity=1

7.6.2 Variables económicas de mérito

Varios criterios económicos se han propuesto y utilizado para evaluar y optimizar los sistemas de energía solar. Se definen algunas posibles variables de mérito utilizadas para evaluar los sistemas de energía solar.

- Menor costo de la energía solar es una variable de mérito para los sistemas donde solo el proceso solar es la única fuente de energía.
- Costo del ciclo de vida (LCC) es la suma de todos los costos asociados con un sistema de energía durante el tiempo del ciclo de vida o en un periodo seleccionado para el análisis, considerando los montos a valor presente y tomando en cuenta el valor del dinero en el tiempo. En este variable de mérito se consideran las tasas de descuento del mercado y la inflación.

- Ahorro del ciclo de vida (LCS) es definido como la diferencia entre los costos del ciclo de vida de un sistema convencional único de combustible y los costos del ciclo de vida de un sistema solar y un sistema auxiliar.
- Costo del ciclo de vida anualizado (ALCC) es el promedio anual de flujo de efectivo. El flujo actual varía con el año, pero la suma sobre un periodo de análisis económico puede ser convertida a una serie de pagos iguales en dólares a valor presente, los cuales son equivalentes a la serie variando en el tiempo.

El tiempo de recuperación de la inversión puede ser definido de diferentes maneras.

Algunas de ellas son:

- A. El tiempo necesario para que el flujo de efectivo anual se vuelva positivo.
 - B. El tiempo necesario para que los ahorros de combustible acumulados se igualen a la inversión total inicial.
 - C. El tiempo necesario para que los ahorros acumulados lleguen a cero.
 - D. El tiempo necesario para que los ahorros acumulados sean iguales al pago inicial del sistema de energía solar.
 - E. El tiempo necesario para que los ahorros acumulados sean iguales a la deuda principal restante del sistema de energía solar.
- Retorno de la inversión (ROI) es la tasa de descuento del mercado que resulta para cero ahorros del ciclo de vida, esto es, la tasa de descuento que hace que el valor presente de las alternativas solar y no-solar sean iguales.

7.6.3 Descuento e inflación

El método más completo para evaluar la economía de un proceso solar es el método del costo del ciclo de vida (LCC), el cual toma en cuenta los gastos futuros. El método determina la cantidad que se tendría que invertir en el presente, con la mejor tasa de inversión, para tener los fondos disponibles para cubrir los gastos anticipadamente.

En este análisis, todos los costos anticipados son tabulados y transformados a valor presente para su suma. Cuando los valores presentes de todos los costos futuros han sido determinados para cada uno de los sistemas alternativos, incluyendo las opciones solares y no-solares, el sistema que genera el menor costo de ciclo de vida es seleccionado como el más óptimo.

La expresión para calcular el valor presente de un gasto futuro es:

$$PW = \frac{\text{Gasto}_{\text{futuro}}}{(1+d)^N}$$

Donde d es la tasa de descuento del mercado, N es el periodo de años.

Los costos recurrentes son afectados por la inflación en un cierto periodo. Si un costo A es considerado para su pago al final de N periodos, el costo final se calcula con la expresión:

$$C_N = A(1+i)^{N-1}$$

Donde i es la tasa de inflación. La ecuación para calcular el valor presente de una serie de pagos, los cuales son afectados por una inflación, es la siguiente: [20]

$$(15) \quad PW_N = \frac{A(1+i)^{N-1}}{(1+d)^N}$$

Se hará un ejemplo para un costo total del proyecto de \$14'000.000 a un periodo de 7 años con una tasa de inflación del 3,18 %, y una tasa de descuento del 10%

Variación del IPC total Nacional
Diciembre 2018

IPC	Variación anual		Variación mensual	
	Diciembre 2018	Diciembre 2017	Diciembre 2018	Diciembre 2017
IPC total	3,18	4,09	0,30	0,38

Figura 37. IPC 2018

Fuente: DANE IPC

$$PW_7 = \frac{14'000.000(1+0,0318)^6}{(1+0,1)^7} \quad (16)$$

$$PW_7 = 7'184.214 \quad (17)$$

7.6.4 Cálculo del retorno de la inversión

Para realizar el cálculo del retorno a la inversión se tomó el ejemplo realizado en la figura 15.

A continuación se realizará el cálculo para el diseño del sistema de energía solar PV para su casa.
Marque en las casillas el electrodoméstico e indique el número

Nombre: Camila vega Ciudad: Tunjá Villavicencio

Selección de estrato: 1 2 3 4 5-6

Equipos que tiene en su casa

<input checked="" type="checkbox"/> Televisor	2	<input checked="" type="checkbox"/> Iluminación Cocina	2	<input checked="" type="checkbox"/> Equipo de Sonido	1
<input checked="" type="checkbox"/> Nevera	1	<input checked="" type="checkbox"/> Iluminación Baño	3	<input checked="" type="checkbox"/> Consola de Video Juego	2
<input checked="" type="checkbox"/> Lavadora	1	<input checked="" type="checkbox"/> Iluminación Habitación	4	<input checked="" type="checkbox"/> Iluminación Led	6
<input checked="" type="checkbox"/> Computador de Mesa	1	<input checked="" type="checkbox"/> Iluminación Otros	3	<input checked="" type="checkbox"/> Otros Electrostaticos	4

Generar Limpiar

Calculo del sistema para : Camila vega
El consumo del Mes es de:102,03 W/h
El consumo diario es de:3401 W/h
El número de paneles es:3
La potencia de Inversor es de:4081 W
El precio del proyecto es : \$8878467
El valor aproximado del recibo de la luz es:\$49477

Siguiente

Figura 38. Diseño del sistema

Fuente: Autor

Los datos obtenidos son un consumo al mes de 102,03 kW h, un consumo diario de 3401 W/h, el costo total del proyecto es de \$ 8'878.467 y un valor aproximado del recibo de la luz de \$49.477

Se va a tomar el valor total del proyecto y se va dividir en los 12 meses del año para saber si mi ROI es negativo o positivo

$$\frac{\$ 8'878.467}{12} = \$ 739.872 \quad (18)$$

Nos daría un valor mensual de \$ 739.872, es un ROI negativo ya que es un valor elevado en comparación al pago del recibo mensual que es \$49.477

Posteriormente se hallará el número de meses en los que el usuario obtendrá el retronó de esa inversión, lo que se hará es tomar el valor total del proyecto y dividirlo sobre el valor del pago mensual del recibo.

$$\frac{\$ 8'878.467}{\$49.477} = 177 \text{ Meses} \quad (19)$$

Se pasa el valor de meses a años para conocer aproximadamente el tiempo en el que se va a recuperar la inversión.

$$\frac{177 \text{ Meses}}{12 \text{ Meses/Año}} = 14 \text{ años} \quad (20)$$

El usuario recupera su inversión en un aproximado de 14 años.

Ahora para saber si el proyecto es viable o no de realizar, se hace el cálculo del ROI de la siguiente manera,

$$ROI = \frac{\text{Costo de la energía en } N \text{ periodos de tiempo}}{\text{Costo total del proyecto}} \quad (21)$$

Según los cálculos el tiempo es de 177 meses, entonces se calcula cuanto valdría la energía en esos meses.

$$\text{Costo de la energía en } N \text{ periodos de tiempo} = \text{valor del recibo} * 177 \text{ meses}$$

$$\text{Costo de la energía en } N \text{ periodos de tiempo} = \$8'850.000$$

$$ROI = \frac{\$8'850.000}{\$ 8'878.467} = 1 \quad (22)$$

Da un valor de 1 el proyecto puede ser viable.

8 CONCLUSIONES

- Con la investigación que se realizó, se logró desarrollar con éxito el aplicativo el cual es capaz de calcular el diseño aproximado de un sistema auto generador a pequeña escala, así mismo calcula el costo total del proyecto y el tiempo aproximado en que se retornara la inversión que el usuario haga para poder obtener dicho sistema. Con dicho sistema se ayudará a realizar de manera más detalla los diseños, ya que solicita con exactitud las potencias y/o energías de los electrodomésticos, esto con el fin de una mayor exactitud en el cálculo de la energía consumida, ya que no todos los usuarios tienen las mismas referencias de aparatos electrónicos quedara más personalizado el diseño.
- Gracias a la herramienta de la NASA Data Project se obtuvieron los datos necesarios para el diseño de cada ciudad respectivamente, para la ciudad de Tunja se obtuvo que tiene radiación solar al año promedio de 5,04 (kW h/m²/Day), 5,04 horas de pico solar (HPS) y una temperatura promedio de 5 °C - 17 °C, para la ciudad de Villavicencio se observó que la radiación solar al año es de 4,32 (kWh/m²/Day), 4,32 horas de pico solar (HPS), y una temperatura promedio de 20 °C a 32 °C. Es notorio que los datos de ambas ciudades varían considerablemente, esto se debe a muchos factores, pero el más relevante es la altura respecto al nivel del mar de cada ciudad, Como Tunja tiene una altura de 2810 m mayor que la de Villavicencio que es de 467 m, las condiciones de diseño son más favorables en dicha ciudad.

- Durante la búsqueda de todos los parámetros del diseño encontré uno muy importante que es el cobro unitario (CU), es un parámetro muy importante en el cobro de la factura del servicio de la energía eléctrica en Colombia, este CU es diferente para cada estrato, si el usuario es estrato 1,2 o 3 recibirá un subsidio que se aplica a una cantidad de kilovatio consumido (CU) para el caso de los lugares que están por encima de los 1000 metros sobre el nivel del mar es 130 kW h y para los que están debajo de los 1000 metros sobre el nivel del mar es de 173 kW h. Estrato 1 hasta el 60% del CU, estrato 2 hasta el 50% y estrato 3 hasta del 15 %, si el usuario es de estrato 4 no le dan si subsidio ni paga contribución y para los usuarios del estrato 5,6 y comercial deben pagar una contribución del 20% del CU.
- Haciendo diferentes pruebas en la aplicación, como por ejemplo, un usuario estrato 3 con un reducido número de electrodomésticos, va a generar un consumo de energía muy bajo y el recibo de la energía le llegara también a un bajo costo, no sería un proyecto fiable ya que el tiempo de retorno a la inversión aumentaría considerablemente, el usuario recuperara su inversión en periodo muy largo, pero al contrario se realizó pruebas con usuarios que tenían un mayor consumo y el tiempo de retorno a la inversión era mucho menor, lo que quiere decir que los sistemas AGPE son más favorables y más rentables si el consumo al mes supera por lo menos los 100 k W h al mes.
- La aplicación se dirigió principalmente para suplir el autoconsumo del usuario al mes, en pocos casos al usuario le va a sobrar potencia que tenga que retornar a la red y así poder recibir un reconocimiento económico, si esto se llegará a presentar según la resolución 030 de la CREG del 2018, el usuario tendrá varias opciones para cobrar los excedentes, bien sea que le consignen el dinero a una

cuenta bancaria o con eso mismo suplir los gastos del recibo de electricidad hasta por 6 meses.

- Las mejoras del sistema son viables para posibles futuros trabajos de grado, ya que podrían agregar la opción de dar una selección específica de los componentes del sistema como por ejemplo diferentes potencias del panel, y en cuanto a costos diferentes referencias de inversores solares con potencias variadas lo más cercanas al diseño, ya que en el diseño actual se utilizaron solamente paneles solares de 330 W para los cálculos y en los costos inversores de 4000 W.

9 RECOMENDACIONES

- La aplicación se deja a disposición de la universidad para uso institucional y académico, puede ser supervisado por docente que realizara la práctica de laboratorio.
- Se recomienda leer el manual de usuario previamente antes de utilizar la aplicación y así evitar errores en el funcionamiento.
- Para el uso de la aplicación en modo consulta se debe hablar previamente con el docente y determinar el momento para el uso.
- Se debe aclarar que los datos proporcionados por la aplicación son aproximados y están exentos de impuestos.

10 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Resolución CREG No. 030 de 2018 expedida por la comisión de regulación de energía y gas
- [2] Termoeléctricas en Colombia tomado de: www.concentra.co/productos/mapas/plantas-termoelectricas-en-colombia
- [3] Centrales hidroeléctricas en Colombia tomado de: www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=5c03541b2e9d480686af5da8eabfd5c9
- [4] Energía renovable una alternativa eficiente tomada de: www.vanguardia.com/economia/negocios/394397-energia-renovable-una-alternativa-eficiente-y-amigable-para-santander
- [5] Desventajas del uso del carbón tomado de: www.geniolandia.com/13182195/ventajas-y-desventajas-del-uso-de-carbon-para-obtener-energia
- [6] Instituto técnico de hidrografía, metrología y medio ambiente de Colombia. (IDEAM)
- [7] Sector energético en Colombia tomado de: www.grupoenergiabogota.com/eeb/index.php/transmision-de-electricidad/sector-energetico-en-colombia
- [8] Ministerio de minas y energía tomado de: www.minminas.gov.co/mme/
- [9] UPME tomado de: www1.upme.gov.co/
- [10] CREG tomado de: www.creg.gov.co/
- [11] SSPD tomado de: www.superservicios.gov.co/
- [12] CON tomado de: www.cno.org.co/

- [13] Pérez, R., (2017), *Replanteo y funcionamiento de instalaciones solares fotovoltaicas*, IC editorial.
- [14] Méndez, J., (2007), *Energía solar fotovoltaica*, FC editorial.
- [15] NASA open data Project, tomado de: www.nasa.gov/nasa-open-data-projects
- [16] Sistemas conectados a red, tomada de: www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia40/HTML/articulo05.htm
- [17] Sistemas conectados a la red en el mundo, tomado de: www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia38/HTML/articulo02.htm
- [18] SCR en Colombia tomado de: eneraguas.com/energia-solar/sistema-fotovoltaico/sistemas-conectados-a-la-red/
- [19] Energía solar interconectada a la red eléctrica, tomado de: www.portafolio.co/economia/finanzas/energia-solar-interconectada-red-electrica-373126
- [20] Vallejo Antonio, *Economía en los procesos solares*, Tecnológico de Monterrey.
- [21] García Marianela, *Energía solar fotovoltaica y cooperación al desarrollo*, IEPALA editorial.
- [22] Mascaros V., *Instalaciones generadoras fotovoltaicas*, Paraninfo Editorial
- [23] Vega de Kuyper Juan (2014), *fuentes de energía renovables y no renovables*, Alfa omega editorial
- [24] Visual Basic tomado de: www.definicionabc.com/tecnologia/visual-basic.php
- [25] Windows Forms, tomado De: https://es.wikipedia.org/wiki/Windows_Forms
- [26] Componentes sistema auto generador conectado a la red tomada de: www.sitiosolar.com/el-autoconsumo-fotovoltaico-inyectado-a-red/
- [27] Resumen Resolución 030 del 2018 de la CREG, tomado de: www.creg.gov.co/index.php/es/noticias/1571-boletin082018

- [28] Incentivos Ley1715 de 2014 tomado de:
www.asuntoslegales.com.co/analisis/felipe-hoyos-vargas-509900/los-incentivos-de-la-ley-1715-de-2014-2604529
- [29] Valor de factura eléctrica, tomado de:
www.creg.gov.co/phocadownload/publicaciones/2015/cmo%20se%20determina%20el%20valor%20de%20la%20factura%20del%20servicio%20de%20energia%20elctrica.pdf
- [30] Inversor de corriente tomado de:
[https://es.wikipedia.org/wiki/Inversor_\(electr%C3%B3nica\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Inversor_(electr%C3%B3nica))
- [31] Inversores solares tomado de: <https://sotysolar.es/placas-solares/inversor-solar-que-son-que-tipos-existen>
- [32] Inversores fotovoltaicos para la entrada a la red tomado de: <https://solar-energia.net/definiciones/inversor.html>
- [33] Hassaine L. (2010), *Implementación de un Control Digital de Potencia Activa y Reactiva para Inversores. Aplicación a Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Red*, universidad Carlos III de Madrid.
- [34] Sánchez M. (2015), *energía solar fotovoltaica*, LIMUSA