

**ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA DEL INVERSOR SUNNY BOY
SMA EN UN ESCENARIO DE PFV Y UN SISTEMA ELÉCTRICO RESIDENCIAL**

**MARÍA CRISTINA BARROS MUEGUES
LUISA FERNANDA RUEDA GARRIDO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES.
BUCARAMANGA
2017**

**ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA DEL INVERSOR SUNNY BOY
SMA EN UN ESCENARIO DE PFV Y UN SISTEMA ELÉCTRICO RESIDENCIAL**

**MARÍA CRISTINA BARROS MUEGUES
LUISA FERNANDA RUEDA GARRIDO**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera Electrónica

**Director:
MANUEL JOSÉ ORTIZ RANGEL
M.Sc en Ingeniería Eléctrica**

**Codirector:
MARIA ALEJANDRA MANTILLA VILLALOBOS
Dra en Ingeniería Electrónica,**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2017**

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por permitirme vivir esta experiencia en mi vida, un nuevo logro de la mano de Dios.

A mi gorda bella, mi mamá, mi fuerza, mi guerrera y la persona por la cual estoy aquí cumpliendo esta meta gracias infinitas. Siempre las dos juntas enfrentando los logros y las dificultades.

A mis amigos y mis compañeros de aventuras universitarias, fueron mil horas en busca de este logro, recordando cada gesto amable, cada favor y cada sonrisa que alegraban el momento.

A mi familia, en especial a mi tía Susana, por cada palabra de aliento y constructiva en los momentos precisos, Gracias.

Luisa Fernanda Rueda Garrido

Dedicatoria.

Dios todopoderoso gracias a ti son realidad las maravillas del universo, por tu gracia y amor padre celestial se hace realidad este sueño, eres la energía que renueva mis fuerzas, tu espíritu es mi sustento.

A mi amada madre Ana Cristina

Por su entrega total, comprensión, por ser mi apoyo, la fuerza cuando la mía parece agotarse, por ser ejemplo de perseverancia y por cultivarla en mí, por sus esfuerzos y sobre todo por su inmenso amor.

A mí adorado padre Maximiliano

Por su amor, apoyo, paciencia, por ser ejemplo de responsabilidad, honestidad y de todo lo bueno que puedo ser.
A mis hermanos Ricardo y Gina
Mi compañía, alegría y motivación constante. Gracias porque siempre he contado con su ayuda para todo.

Este esfuerzo es de los cinco, ¡este logro es por ustedes y para ustedes! ¡Gracias por creer en mí!

A mi familia, en especial a mi abuelita, por su cariño y por sus oraciones.

A mis amigos, en especial a Elian, Key, Stefy, Leidy y Andrea, Dios las trajo a mi vida y se lo agradezco, por ustedes el camino fue más agradable.

Hace mucho lo anhele, hoy es una realidad: soy ingeniera UIS, de ella me llevo la formación profesional, también experiencias y amistades para la vida.

María Cristina.

AGRADECIMIENTOS

A la universidad industrial de Santander (UIS) por su formación y en especial a la escuela de ingeniería Eléctrica, Electrónica y de telecomunicaciones por brindar excelente profesores que ayudan a formar profesionales con calidad humana e íntegros.

Al Mie. Manuel José Ortiz Rangel y la Dra. María Alejandra Mantilla Villalobos por su valiosa dirección, colaboración y apoyo en el desarrollo de este proyecto.
A todas las personas que aportaron de una u otra forma en este proceso.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. JUSTIFICACIÓN.....	17
2. OBJETIVOS.....	19
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	19
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
3. MARCO TEORICO	20
3.1. GENERALIDADES	20
3.2. REDES INTELIGENTES.....	20
3.2. MEDIDORES INTELIGENTES	22
3.3. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	26
3.3.1. Paneles Fotovoltaicos.....	27
3.3.2. Inversores.....	28
3.3.3. Aplicaciones de los Sistemas Fotovoltaicos.....	30
3.4. SISTEMA DE COMUNICACIONES EN UNA SMART GRID	31
3.4.1. Comunicación máquina a máquina M2M.....	32
3.4.1.1 Protocolos de comunicación M2M.....	33
3.5. CARACTERIZACIÓN DE CARGAS EN EL ESCENARIO RESIDENCIAL.....	36
4. METODOLOGÍA	39
4.1. MARCO LEGAL Y NORMATIVO.....	39
4.2. LINEAMIENTOS DE INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DEL EQUIPO	42
4.2.1. Adecuación De los Paneles Fotovoltaicos.....	45
4.3. DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO	46
4.4. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN	47
4.5. FORMAS DE COMUNICACIÓN DEL EQUIPO INVERSOR.....	48
5. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	53
5.1. CURVAS DE GENERACIÓN VS DEMANDA	53
5.2. ANÁLISIS DE INVERSIÓN	60
6. CONCLUSIONES	64
5. RECOMENDACIONES.....	66
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	68
BIBLIOGRAFIA.....	70
ANEXOS.....	72

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Arquitectura de una red inteligente	21
Figura 2. Analizador de Red 435	26
Figura 3. Esquema de un sistema fotovoltaico No conectado a la red.	30
Figura 4. Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red.	31
Figura 5. Estados en la implementación de una Red M2M.	33
Figura 6. Marco legal y normativo	39
Figura 7. Esquema de conexión.	42
Figura 8. Instalación Final en el laboratorio de Integración Energética.	43
Figura 9. Pantalla de visualización del Inversor.	45
Figura 10. Instalación Paneles fotovoltaicos.	46
Figura 11. Esquema del Escenario Típico.	47
Figura 12. Ficha técnica de interfaces	49
Figura 13. Comunicación SPEEDWIRE y RS485	51
Figura 14. Curva Generación Vs Demanda Diaria.	54
Figura 15. Curva Generación Vs Demanda Diaria Promedio de la Semana.	55
Figura 16. Curva Generación Vs Demanda Diaria Promedio del Mes.	56
Figura 17. Demanda ESSA Estrato 1 y 2 Vs Generación.	57
Figura 18. Demanda ESSA Estrato 4 Vs Generación.	58
Figura 19. Demanda ESSA Estrato 3 Vs Generación.	58
Figura 20. Demanda ESSA Estrato 5 Vs Generación.	59
Figura 19. Demanda ESSA Estrato 1_2 Vs Potencia Generada.	89
Figura 20. Demanda ESSA Estrato 3 Vs Potencia Generada	90
Figura 21. Demanda ESSA Estrato 4 Vs Potencia Generada	91
Figura 22. Demanda ESSA Estrato 5 Vs Potencia Generada	92

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Proyectos pilotos en Colombia.....	24
Tabla 2. Listado de medidores inteligentes-Proveedores	25
Tabla 3. Listado de Inversores.....	29
Tabla 4. Redes de comunicación según su dominio.....	32
Tabla 5. Comparación de los protocolos de comunicación M2M.....	36
Tabla 6. Composición porcentual del consumo mensual por uso y estrato de energía eléctrica en la ciudad de Medellín, Colombia 2006.....	37
Tabla 7. Listado de Cargas.....	37
Tabla 8. Marco legal y normativo	39
Tabla 9. Potencia Diaria promedio del mes.	56
Tabla 10. Costo instalación fotovoltaica de 1.98kw.	60
Tabla 11. Costo instalación fotovoltaica 4kw.	61
Tabla 12. Costo instalación fotovoltaica 8kw.	61

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. MANUAL DEL EQUIPO SUNNY BOY SMA.....	72
Anexo B. FICHAS TECNICAS EQUIPOS DOMESTICOS UTILIZADOS.....	72
Anexo C. MARCO LEGAL Y NORMATIVO.	77
Anexo D. FICHA TÉCNICA DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS.....	78
Anexo E. PERFIL DE CARGAS.....	82
Anexo F. FICHA TÉCNICA DE LOS MODULOS DE COMUNICACIÓN.....	87
Anexo G. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA POTENCIA GENERADA VS DEMANDA POR ESTRATOS 1, 2, 3, 4 Y 5 (PARA HORAS DE LA NOCHE).....	89
Anexo G. CÁLCULOS DE LA INVERSIÓN.....	94

RESUMEN

TÍTULO: ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA DEL INVERSOR SUNNY BOY SMA EN UN ESCENARIO DE PFV Y UN SISTEMA ELÉCTRICO RESIDENCIAL*

AUTORES: MARÍA CRISTINA BARROS MUEGUES, LUISA FERNANDA RUEDA GARRIDO**

PALABRAS CLAVE: Inversor solar, Panel Fotovoltaico, Red Eléctrica Inteligente, Sistema Eléctrico, Potencia.

DESCRIPCIÓN:

El desarrollo de las fuentes de energías renovables como tecnologías limpias para la producción de electricidad crece rápidamente ante la necesidad de disminuir los niveles de contaminación que se generan mediante las formas convencionales; la energía solar se presenta como una opción atractiva por ser una fuente inagotable.

Este trabajo de investigación propone el análisis de un sistema de paneles fotovoltaicos acoplado a un sistema eléctrico típico residencial mediante un inversor fotovoltaico monofásico de conexión a red, que transforma y adecua la energía de los paneles, además provee la información de potencia, tensión y corriente, bases para el estudio. Con ello se pretende validar el impacto de incorporar las energías limpias en el sistema convencional en un escenario residencial, resaltando el desempeño del equipo dentro del arreglo.

Para contextualizar el análisis se presentan los conceptos más relevantes que envuelven la investigación, así como las normativas que le abren paso a nivel nacional. También se precisa el estudio detallado del inversor, haciendo énfasis en su forma de operación y el reconocimiento de su papel como bloque funcional de una instalación fotovoltaica, para su instalación y funcionamiento. La información obtenida de las mediciones es analizada y los resultados obtenidos muestran los beneficios de la utilización de este tipo de sistemas para diferentes estratos sociales.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: M.S.c Manuel José Ortiz Rangel, Co-Directora: Dra. María Alejandra Mantilla Villalobos.

ABSTRACT

TITLE: ANALYSIS OF THE INFORMATION OBTAINED FROM THE INVERTER SUNNY BOY SMA IN A SCENARIO OF THE PFV AND A RESIDENTIAL ELECTRICAL SYSTEM*

AUTHORS: MARÍA CRISTINA BARROS MUEGUES, LUISA FERNANDA RUEDA GARRIDO*

KEYWORDS: Solar Inverters, Photovoltaic Panel, Electrical System, Power, Smart Grids.

DESCRIPTION:

The development of the renewable energy as clean technologies for the production of electricity increase their development in the world in view of the need to reduce pollution levels that are generated by the conventional forms; solar energy is presented as an attractive and inexhaustible source option.

This study proposes the analysis of a photovoltaic panel system coupled to a typical residential electric system through a photovoltaic inverter for connection to network, which transforms and adapts the energy of the panels. In addition, it provides the information of power, voltage and current that are bases for the study.

This is intended to validate the impact of incorporating clean energy in the conventional system in a residential setting, highlighting the performance of the team within the adjustment.

To contextualize the analysis, the most relevant concepts that involve research, as well as the regulations that enable it nationally are addressed. Moreover, a detailed study of the inverter, emphasizing his form of operation and the recognition of his role as a functional block of a photovoltaic installation, for its installation and operation. The information obtained from the measurements is analyzed and the results show the benefits of this kind of systems for different residential conditions.

*Trabajo de Grado.

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Electrónica and Telecommunications..
Director: M.S.c Manuel José Ortiz Rangel, Co-Directora: Dra. María Alejandra Mantilla Villalobos.

INTRODUCCIÓN

GENERALIDADES

Alrededor del 80% de la energía consumida en el planeta proviene de fuentes primarias basadas en combustibles fósiles[1], los cuales son responsables en gran parte del fenómeno conocido como efecto invernadero, el cual representa un factor significativo del cambio climático por efecto antropogénico, sumado a esto, son catalogados como recursos no renovables¹, lo que ha traído como consecuencia la búsqueda de fuentes de energías alternativas, las cuales deben tener al menos las siguientes características:

- Impacto ambiental reducido, no producen emisiones de CO₂ y otros gases contaminantes a la atmosfera.
- Se producen de forma continua por lo que son ilimitadas.
- No generan residuos de difícil eliminación.
- Proviene de forma directa o indirecta de la energía del sol.

Las principales formas de energía renovable que existen provienen de la radiación solar, el viento, los flujos hídricos, los combustibles orgánicos en sí. En general estos recursos energéticos son transformados a energía eléctrica para efecto de transporte y su posterior uso. En la actualidad se han desarrollado diferentes técnicas para lograr este fin; los mecanismos utilizados dependen de la fuente energética primaria. La radiación solar, por ejemplo, es aprovechada para ser convertida en energía eléctrica por medio de paneles, que aprovechan el efecto fotovoltaico para producir corriente continua, la cual posteriormente se puede convertir mediante inversores a los valores normalizados de tensión para su uso en sistemas eléctricos convencionales. Adicionalmente, debido a la restricción de generación que suponen las áreas aprovechables para la instalación de estos sistemas, se introducen subsistemas de control para optimizar el uso de la energía obtenida y para permitir la sincronización de la frecuencia de operación del sistema fotovoltaico con el sistema eléctrico tradicional.

El presente trabajo de investigación comprende el análisis de la información del sistema eléctrico normal y de un escenario de generación fotovoltaica de 1980 Wp

¹Las energías renovables son aquellas que se producen de forma continua e inagotable a diferencia de las no renovables, que se encuentran en la naturaleza en una cantidad limitada.

integrado a la red mediante un inversor monofásico "*gridtied*"² Sunny Boy del fabricante SMA, disponible en el laboratorio 308 de la E3T ubicado en el Edificio de Investigaciones (EDI) ubicado en el Parque Tecnológico de Guatiguará (PTG) de la UIS en la ciudad de Piedecuesta.

El estudio se realiza con la expectativa de establecer la generación típica del arreglo fotovoltaico en un mes de operación y el comportamiento de consumo para un escenario residencial planteado. Se realiza el análisis de los resultados de la potencia generada por el sistema fotovoltaico con respecto a la demanda tanto para el escenario planteado, como para diferentes estratos socioeconómicos residenciales según la Electrificadora de Santander S.A. E.S.P. [2]

El documento inicia exponiendo las generalidades del proyecto, una de ellas las redes inteligentes, las cuales emplean la tecnología informática para optimizar la producción y distribución de la energía eléctrica, así mismo se utilizan los medidores inteligentes que ocupan un papel central ya que son los elementos que proveen los datos de lo que sucede en la red. En el documento también se explican los tipos de medición inteligente, las aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos y sus diferentes tecnologías de comunicación para transmitir la información entre la red y el usuario.

En el tercer capítulo se hace un análisis del marco normativo y legal en Colombia para la gestión energética residencial a partir de la cual se explican de forma más detallada las expectativas y oportunidades que se crean alrededor de las redes domésticas inteligentes. Adicionalmente, se explica la inspección pre-operacional en cuanto a los lineamientos de instalación del equipo para su puesta en marcha. Otro punto importante es la descripción del escenario típico residencial que se crea a partir de documentos referenciados, como la Unidad de Planeación Minero Energética. Posteriormente, se expone la metodología empleada para la recolección de los datos. En este capítulo también se describen las alternativas de comunicación del inversor Sunny Boy utilizado.

En el cuarto capítulo se presenta el análisis de la información obtenida mediante las mediciones realizadas durante un mes. Este análisis contempla la demanda del sistema residencial planeado, el abastecimiento del sistema fotovoltaico a la red doméstica y el contraste de la información obtenida con las curvas de demanda promedio para diferentes estratos socioeconómicos según la Electrificadora de Santander S.A. E.S.P.

²Un sistema eléctrico conectado a la red, convierte la corriente continua electricidad en una corriente alterna (AC) adecuada para inyectar en una red eléctrica, normalmente 120V RMS a 60Hz o 240V RMS a 50Hz.

Finalmente se exponen las principales conclusiones y recomendaciones del trabajo de grado.

Para la elaboración de este documento se realizó una amplia revisión de las referencias bibliográficas incluidas algunos trabajos de grado de la Universidad Industrial de Santander.

1. JUSTIFICACIÓN

Las redes inteligentes³ (*smart grid*) surgen como una alternativa para la gestión eficiente de la energía eléctrica. Una de las características más importantes que surge de las redes inteligentes es la capacidad de realizar análisis en tiempo real, a raíz de ese beneficio de la tecnología se fomenta su desarrollo y a nivel normativo se crea la ley 1715 de 2014 [3] del Ministerio de Minas y energía, que “regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional”, es decir, se presentan nuevas políticas generales para la incorporación de nuevas fuentes de energía en la operación del sistema energético en Colombia, por ende nuevas fuentes de desarrollo con el propósito de modificar los paradigmas de los sistemas eléctricos actuales, como la percepción del consumo de energía, además de establecer los instrumentos para la promoción del aprovechamiento de las fuentes renovables, se fomenta la inversión, investigación y desarrollo de estas tecnologías limpias para producción de energía y su eficiencia.

El desarrollo de este trabajo de investigación comprende la caracterización de los datos de un sistema energético que involucra tanto el uso de nuevas tecnologías de producción de energía: Paneles Fotovoltaicos (PFV), así como el sistema tradicional, dando un paso en beneficio del conocimiento, prueba y apropiación de estas alternativas de gran importancia y se hacen necesarias, en el país se estudia el tema hace algún tiempo y la iniciativa sectorial "Colombia Inteligente" ha trabajado para involucrar la conciencia pública con respecto al papel de las tecnologías *Smart grid* en el logro de los niveles de calidad, cobertura, sostenibilidad ambiental y competitividad que persigue el sector eléctrico colombiano, considerando que la energía renovable generada y almacenada puede utilizarse para:

1. Alimentar la demanda local.
2. Ayudar a estabilizar la red, generando redundancia de fuentes locales y mejores índices de confiabilidad del suministro.
3. Aplanar las curvas típicas de demanda.
4. Se favorecería el desarrollo de la industria local y además generaría empleo.

Por esta razón se propone realizar un análisis basado en dispositivos eléctricos que propician la adopción de escenarios de gestión energética en el sector

³Red eléctrica que puede integrar a un costo eficiente el comportamiento y las acciones de todos los usuarios conectados a ella, generadores, consumidores y aquellos que ejecutan ambas funciones. Que surge a mediados de los años 80 por la iniciativa de la compañía Regional Bell Operating Companies, RBOC.

residencial, involucrando la autogeneración y la red, con el fin de comprender cuales son los aspectos más importantes en este arreglo, definir el escenario de trabajo, a partir de allí contrastar con los estratos donde el desempeño del equipo es idóneo, teniendo en cuenta los criterios técnicos; recopilar la información a través del inversor SMA, definiendo alternativas de comunicación más acorde al sistema implementado, corroborando el rendimiento del equipo en el escenario propuesto para esta investigación, donde intervienen parámetros como la calidad de la energía, la irradiación solar y la instalación eléctrica.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar el funcionamiento del inversor SUNNY BOY SMA en un escenario de PFV conectado al sistema eléctrico residencial.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

El cumplimiento del objetivo general del trabajo de grado comprende:

- Realizar el montaje de un escenario típico de PFV conectado a un sistema eléctrico residencial considerando el uso del inversor SUNNY BOY.
- Extraer de forma manual la información referente a la potencia suministrada por el sistema renovable, la potencia consumida por la carga y definir la alternativa de comunicación más adecuada para el usuario residencial.
- Analizar la información obtenida, correspondiente con los datos de operación del sistema eléctrico normal y renovable con el propósito de evaluar el desempeño de acuerdo a las variables que suministra el equipo, proponiendo el modelo para el manejo de la información y la generación de reportes.

3. MARCO TEORICO

3.1. GENERALIDADES

En este capítulo se sintetizan los aspectos involucrados en la investigación, iniciando con el término de red inteligente-*smartgrid*, el cual abarca en gran medida la gestión eficiente de la red eléctrica, lo que conlleva a contemplar los conceptos de medidores inteligentes. Los medidores inteligentes desempeñan un papel importante ya que proveen los datos sobre el comportamiento de la red, se describe su infraestructura y se presentan algunos proyectos pilotos en Colombia. Seguido por el sistema fotovoltaico el cual involucra todo el sistema, inversores, paneles solares y la comunicación que juega un papel importante permitiendo interacción dentro de la red inteligente doméstica a la red inteligente del sistema eléctrico, por último, la caracterización de las cargas, se asume como punto de referencia el documento de la UPME el cual suministra datos importantes para la distribución estratégica del circuito.

3.2. REDES INTELIGENTES.

Redes inteligentes "*smart grid*" es el término que hace referencia a las redes de suministro eléctrico inteligente. La comisión Europea [4] define "*smart grid*" como una "red eléctrica que puede integrarse a un costo eficiente y el comportamiento y las acciones de todos los usuarios conectados a ella -generadores, consumidores y aquellos que ejecutan ambas funciones- con el fin de asegurar un sistema eléctrico económicamente eficiente y sostenible con menores pérdidas y altos niveles de calidad y seguridad tanto del suministro como del personal"⁴. Un ejemplo de una arquitectura de una red inteligente se presenta en la Figura 1.

Las aplicaciones de tecnologías de la información y la comunicación permiten analizar y optimizar la producción y distribución de la energía, gracias a la utilización de sensores en las líneas de transmisión y a una comunicación bidireccional entre el que suministra y el cliente, equilibrando la oferta y la demanda, y convirtiendo a la red eléctrica en una red inteligente. La comunicación bidireccional tendrá dos sentidos: comunicación en el sentido contador-red y el sentido de red-contador, en el primer sentido beneficia al acceso inmediato de

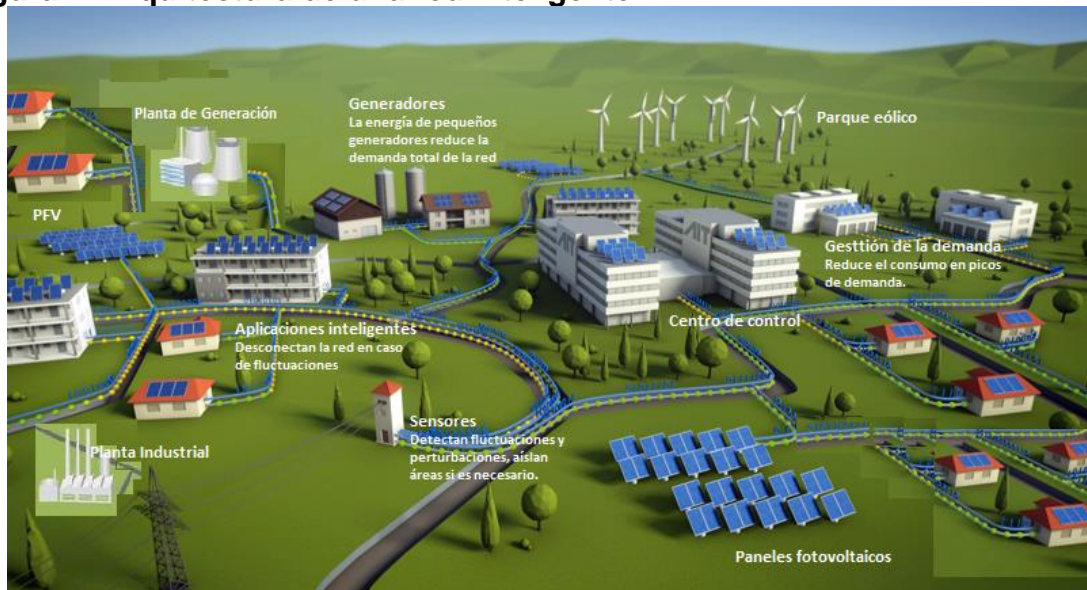
⁴Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Smart Grids: from innovation to deployment. European Commission. 2011. 12p.

datos recolectados, reducción de errores, pérdidas. En el sentido red-contador se incluye una provisión instantánea o cortes de los servicios.

Una red inteligente en un sistema energético permite gestionar la red de un modo más eficaz y eficiente con las siguientes características⁵.

- Facilitar la conexión y operación de generadores de todos los tamaños y tecnologías.
- Permite a los consumidores ser parte de la optimización de sistema. Mantener los sistemas actuales de fiabilidad, calidad y seguridad del suministro eléctrico.

Figura 1. Arquitectura de una red inteligente



Fuente: Infraestructura de investigación europea con ERIGrid para el desarrollo de Smart Grids. [En línea]. 2017. (Recuperado en 5 abril 2017.) Disponible en <https://www.smartgridsinfo.es/2017/03/23/infraestructura-investigacion-europea-erigrd-desarrollo-smart-grids>

⁵Ibid.pag 100

3.2. MEDIDORES INTELIGENTES

Los medidores inteligentes ocupan un papel central, ya que son los elementos que proveen los datos de todo lo que está sucediendo en la red, y que después se puede utilizar con muy diversos fines. Hay que considerar los avances de la industria de la medición de la energía, principalmente en el desarrollo de medidores que no solo miden la energía activa y reactiva en un solo equipo, sino que han integrado nuevas funciones de acuerdo a las necesidades del mercado, permitiendo el *smart metering*.

En los medidores inteligentes se han desarrollado varias iniciativas con distintos tipos de tecnologías de comunicación que satisfacen las necesidades de las empresas de distribución y el cliente final, está en la capacidad de almacenar los datos, detectar las fallas, controlar la comunicación bidireccional logrando de esta manera una mejor gestión de los activos. Existen dos tipos de medición inteligente:

- **Infraestructura de la medición avanzada (*Advanced Metering Infrastructure*)**

AMI consiste en un sistema de comunicación bidireccional que involucra medidores inteligentes y otros dispositivos de gestión de la energía, esto permite a las empresas responder de una manera más oportuna a los posibles problemas.

Dentro de las tecnologías para estos desarrollos, se encuentran las relacionadas con las radiofrecuencias, GSM, GPRS, EDGE, 3G, Zigbee y WIFI. El desarrollo de estas tecnologías permite asegurar la calidad y oportuna información.

- **Lectura automática del medidor (*Automatic Meter Reading*)**

Esta tecnología contribuye a la toma de lecturas de manera remota de los consumos de electricidad, a su vez permite la desconexión remota de corte y re conexión del suministro eléctrico.

Iniciativas de proyectos en Colombia

A nivel nacional varias empresas de energía eléctrica han venido gestionando la implementación de medidores inteligentes para los usuarios residenciales, empresas como EPM y Codensa son pioneras en crear proyectos, de la mano de inversionistas como ENEL⁶ que ofrecen medidores inteligentes, enfocándose en la gestión eficiente de la energía, a su vez disminuyendo el consumo de energía, sobrecarga del sistema y los cortes de energía. Estos tienen en común la infraestructura AMI. A continuación, se presenta un avance de proyectos piloto en el país, año 2010, 2014 y 2016:

⁶ENEL (*Ente nazionale per l'energia elettrica*) es una empresa multinacional productora y distribuidora de energía eléctrica y de gas.

Tabla 1. Proyectos pilotos en Colombia

Proyecto	Descripción	Objetivo
Medidores prepago- EMCALI-2010	3500 medidores instalados. 10500 en proceso de instalación.	Implementar nuevas tecnologías para la reducción de pérdidas de energía y rentabilidad para la comercialización y distribución de la energía. Se instaló en el 2010 pero se dejaron vacíos en cuanto a lo normativo y regulatorio que impedía el acopio de las tecnologías
Medidores prepago de electricidad- EPM- 2014.	En Santander se instalaron 1800, y en Medellín 120 mil medidores inteligentes.	Destinados a estratos 1, 2 y 3. Ayudan a monitorear el consumo de electricidad por hora, día, semana o año.
Instalación de medidores inteligente en Bogotá- Codensa- 2016.	Incorporación de 40 mil medidores inteligentes en diferentes localidades de Bogotá.	Ofrece información más detallada del consumo, posibilitando una mejor gestión del recurso y generando mejores hábitos de consumo. Además los medidores inteligentes permiten hacer las lecturas de consumo y las re conexiones del servicio de energía eléctrica de forma remota.

Los proyectos que se mencionan están enfocados a la red eléctrica convencional (conectado a la red pública) en donde solo interviene el usuario y la empresa distribuidora de energía, es posible dimensionar la magnitud de esta información si se involucran los sistemas renovables, del mismo modo con las investigaciones que se llevan a cabo ganarán más participación en el país con el apoyo de las leyes y normativas creadas.

Es un camino largo por recorrer en cuanto al desarrollo de la infraestructura de medición avanzada que han logrado resultados en la comunicación de estos dispositivos ya que usan la comunicación bidireccional, dando un paso para la digitalización de las redes y así la reducción de pérdidas de energía.

En la tabla 2 se presenta información sobre la oferta de medidores inteligentes en Colombia.

Tabla 2. Listado de medidores inteligentes-Proveedores

Características	Corinex	Growatt	Erasmus	General Electric	Schneider Electric	ENEL
HAN	✓	NA	NA	✓	NA	✓
Permite interoperabilidad HAN- AMI.	✓	NA	NA	✓	NA	✓
Comunicación y medición bidireccional.	✓	NA	NA	✓	NA	✓
Red inteligente al dominio del usuario.	✓	NA	NA	✓	NA	✓
Registro de eventos del sistema de potencia y calidad de la energía.	✓	NA	NA	✓	NA	✓
Servicios de corte y reconexión.	✓	NA	NA	✓	NA	✓
Facturación prepago.	✓	NA	NA	✓	NA	--

Fuente: ACERO, Liliana y Fonseca, Carlos Mario. Análisis de las alternativas tecnologías de medidor y transferencia inteligente y su compatibilidad para la integración en una red inteligente. Trabajo de grado. Universidad industrial de Santander 2013.

Como parte del proceso de monitorización eficiente del sistemas de energía eléctrica, es pertinente dimensionar que los equipos de medición difieren en su

capacidad y funcionamiento desde los más sencillos que registran medidas de tensión y corriente hasta los más avanzados que ayudan a determinar el nivel de adecuación de las instalaciones que garantice el desempeño de las cargas; como es el caso de los analizadores de red.

En este trabajo se utiliza el analizador de red eléctrica presentado en la Figura 2, de referencia Fluke 435. Este equipo es capaz de medir las características de la red eléctrica y el consumo de energía como principal objetivo, es sencilla su instalación, es adaptable a cualquier tipo de medidas necesarias, los analizadores contienen varios softwares, para diferentes aplicaciones a diversos análisis, las variables muestran los parámetros eléctricos directamente o indirectamente mediante el *display* y a su vez transmiten por medio de comunicación todas las magnitudes eléctricas calculadas.

Las ventajas de los analizadores son:

- Medición de RMS verdadero: monofásica, bifásica y trifásica a 256 muestras/ciclos.
- Presentación de diagramas fasoriales.
- Mide voltios, amperios y potencia DC.
- Presenta y captura armónicos de voltaje, corriente y potencia (distorsión armónica total e individual).
- Voltaje y Corrientes pico.

Figura 2. Analizador de Red 435



Fuente: google.com

3.3. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

La energía solar es la fuente energética más abundante en la tierra, y puede ser

aprovechada por medio de colectores solares como células fotovoltaicas, helióstatos o colectores térmicos, que pueden transformar la radiación procedente del sol en energía eléctrica o térmica. La energía proveniente del sol puede ser transformada directamente en energía eléctrica al hacer incidir fotones provenientes del sol sobre un semiconductor con la potencia necesaria para producir un flujo de electrones en el interior del material, esto es conocido como efecto fotovoltaico el cual es aprovechado para la generación de energía eléctrica.

3.3.1. Paneles Fotovoltaicos. Un panel fotovoltaico está constituido por un conjunto de células fotovoltaicas las cuales se encuentran conectadas entre sí, en serie, paralelo o la combinación de serie-paralelo, con el fin de obtener los niveles de tensión e intensidad de corriente deseados. El material que se utilizó para producir los primeros paneles fotovoltaicos fue el selenio reemplazado posteriormente por el silicio el cual es el más usado en la actualidad. El silicio es el segundo elemento más abundante de la tierra después del oxígeno; los dos conforman el 75% de la corteza terrestre. Tradicionalmente se ha usado el silicio de diversas formas para la fabricación de paneles fotovoltaicos, sin embargo, se están desarrollando tecnologías que podrían reemplazarlo, comúnmente se utilizan los siguientes materiales para la fabricación de módulos fotovoltaicos:

- Silicio monocristalino: Utiliza lingotes puros de silicio. Son los más eficientes, con rendimientos superiores al 12%.
- Silicio policristalino: Se fabrica a partir de restos de piezas de silicio monocristalino. Su rendimiento es algo inferior pero su menor costo ha contribuido enormemente a aumentar su uso.
- Silicio amorfo: Se obtiene por deposición de capas delgadas sobre vidrio. El rendimiento es bastante menor que los anteriores, por lo que su uso se limita a aplicaciones de pequeña potencia como calculadoras, relojes, etc.

En los últimos años se han desarrollados paneles solares de grafeno. Este puede permitir que el costo de los módulos fotovoltaicos disminuya y su flexibilidad lo hace más versátil para las diferentes aplicaciones, sin embargo no hay fecha establecida para la salida al mercado de este tipo de paneles. Se puede integrar a techos de las viviendas, edificios o estructuras especiales, permite un costo unitario y una eficiencia independiente del tamaño o la escala de la instalación, por tal motivo los sistemas a pequeñas escalas son de gran interés para la producción de energía descentralizada o independiente para el usuario o consumidor.

3.3.2. Inversores. Un inversor fotovoltaico transforma la energía de los paneles solares de forma que pueda ser utilizada en el hogar y/o inyectada a la red, es decir, los paneles transforman la energía solar en voltaje DC y el inversor toma este voltaje DC y lo transforma en voltaje AC (el mismo de la red). Ya que la salida de voltaje AC de los inversores varía de acuerdo a la región en que sea instalado es importante programar su funcionamiento según las especificaciones regionales antes de ser activado. Un aspecto importante de estas tecnologías, es que puede enviar parte de la energía que genera a la red.

Los inversores pueden clasificarse en inversores aislados e inversores conectados a la red, estos últimos, son más utilizados hoy día, pueden conectarse directamente a la línea eléctrica casera y ofrecer funciones de control. También pueden separarse según el número de fases como: monofásicos y trifásicos, según la configuración del sistema: inversores centrales, inversores en cadena (*string*) e inversores modulares (AC módulos), según el número de etapas: inversores de una etapa, dos etapas y multi-etapas.

Para la integración del inversor en un sistema energético debe contar con: comunicación y un interruptor de desconexión a la red.

Se presenta una tabla comparativa (ver tabla 3) donde se muestran algunos fabricantes de inversores que se encuentran en el mercado, en ella se exponen las características más relevantes de los inversores proporcionados por los fabricantes.

Al respecto es conveniente decir que el inversor Sunny Boy SMA utilizado en este trabajo, fue seleccionado con base en el trabajo de investigación: “Análisis de las alternativas tecnológicas de medidor y transferencia inteligente y su compatibilidad para la integración en una red inteligente residencial” [5], en ella se exponen las recomendaciones para ser seleccionado este equipo en cuando a sus características contrastando con otras ofertas analizadas.

El inversor utilizado en este trabajo de grado es el Sunny Boy 4000TL de SMA, cuya ficha técnica se presenta en el ANEXO A.

CARACTERISTICAS

Tabla 3. Listado de Inversores.

FABRICANTE	ON GRID	OFF GRID	INSTALACIÓN AISLADA	COMUNICACIÓN	EFICIENCIA INVERSOR	OBSERVACIONES
SONROUS	✓		✓	RS385	98%	Ficha Técnica Disponible.
GROWAT	✓		X	RS232-RJ45	97.5%	Ficha Técnica Disponible
FRONIUS	✓		X	ETHERNET	98.1%	Ficha Técnica Disponible
ABB	✓			USB,RS232 RS485	96.8%	Ficha Técnica Disponible
SMA	✓	✓	✓	ETHERNET RS485 BLUETOOTH	97.2%	Ficha Técnica Disponible
SAMILE POWER	✓			RS485	97.1%	Ficha Técnica Disponible

Fuente: Autores, Actualizada a 2016/12

3.3.3. Aplicaciones de los Sistemas Fotovoltaicos. Se dividen en tres grupos, dependiendo de su funcionalidad, tamaño y el tratamiento en los reglamentos de regulación de su distribución:

1. Sistemas de baja potencia (de 1 a 20 kW), se encuentran en los sectores domésticos, instalación a 220 V monofásicas.
2. Sistemas de media potencia (20 kW a 100kW), son usados en aplicaciones de integración fotovoltaica en edificios comerciales, industriales y de oficinas.
3. Plantas fotovoltaicas centralizadas, suministra potencia de 100kW hasta 10 MW, terrenos donde se precisa instalar el sistema y la subestación de media tensión.

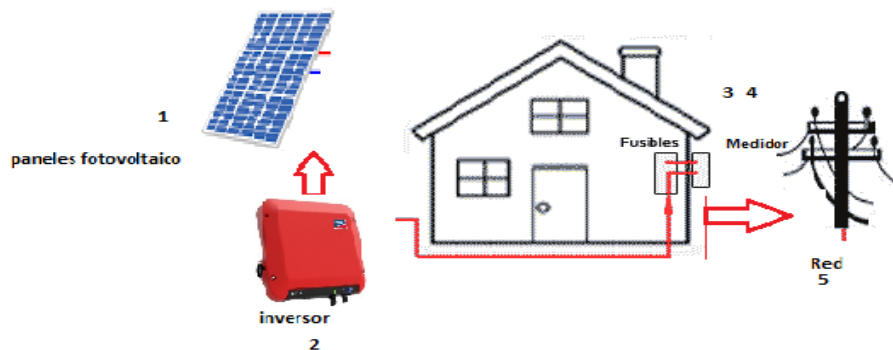
El sistema fotovoltaico trabajado en este proyecto corresponde a una aplicación de baja potencia, conformado por paneles que se disponen en el PTG UIS. En las figuras 3 y 4 se muestran dos esquemas donde se integra los sistemas fotovoltaicos.

Figura 3. Esquema de un sistema fotovoltaico No conectado a la red.



Se muestra a continuación un esquema de sistema fotovoltaico conectado a la red, en la figura 4. La energía obtenida del sol se transforma en eléctrica continua (CC) mediante los paneles fotovoltaicos (1), una vez captada se transforma en alterna por el inversor (2) e inyectada a la red eléctrica, se complementa por el medidor o analizador de red (3), las protecciones (4) y por último la red eléctrica (5).

Figura 4. Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red.



Ventajas de los sistemas fotovoltaicos: a través de la energía directa del sol y de su transformación, el recurso es inagotable, abundante y gratuito, es silenciosa, el impacto ambiental es mínimo.

Los sistemas fotovoltaicos son modulares, se pueden instalar en potencias de kilowatts hasta Megawatts.

Desventajas de los sistemas fotovoltaicos: La variación instantánea de la radiación solar y la forma de onda generada por los inversores pueden dar lugar a la presencia de armónicos, parpadeo y perturbaciones en la red [6].

La generación de la energía eléctrica depende de la radiación y su variación solar. Esto por su parte hace que solicite energía de la red convencional en periodos de baja radiación solar.

3.4. SISTEMA DE COMUNICACIONES EN UNA SMART GRID

La comunicación dentro de un sistema de gestión energética es de gran importancia pues ofrece funciones que permiten comunicar los dispositivos dentro de la red inteligente doméstica a la red inteligente del sistema eléctrico.

Los sistemas de gestión energética residencial (HEMS) son una herramienta para administrar de forma inteligente la energía, integrando la comunicación y la información. La comunicación es fundamental en un *smart home* por ello se

definen redes según los dominios de aplicación desde la WANS (Wire área networks) hasta las BANS (Body area networks), tal como se presenta en la tabla 4.

Tabla 4. Redes de comunicación según su dominio.

Tipos de Red	Características	Ejemplos
WANS (Wire area networks)	Consiste en satélites o antenas instaladas en torres y edificios	GPS, UMTS, GPRS.
MANs (Metropolitan area networks)	Brindan cobertura en distancias considerables en una ciudad (20km).	WMAX
LANs (Local area networks)	Provee necesidades individuales. Empresa, institución educativa.	Wi Fi, Ethernet, Hyperlan.
PANs (Personal area networks)	Soporta necesidades para objetos cercanos, como por ejemplo dispositivos móviles.	Bluetooth, ZigBee, RFID, CEBus.
BANs (Body area networks)	Diseñadas para objetos cercanos pero limitados a una menor escala.	Bodylan.

Fuente: ARCHILA, Gustavo y GOMEZ, Walter. Caracterización tecnológica de la topología de un sistema de gestión energética residencial, Trabajo de Grado. Universidad Industrial de Santander.2012.

3.4.1. Comunicación máquina a máquina M2M. Una alternativa de comunicación muy usada es la M2M, las interacciones máquina a máquina - M2M, son vitales por su incursión en tecnologías de integración de dispositivos y aplicaciones de monitorización, seguridad y control, así como también hace parte del internet de las cosas y sus aportes en las mismas se ven reflejados en las *smart home* y en las *Smart grid*.

Siendo característico en las M2M su bajo costo de operación, cantidad de equipos, poco tráfico por terminal y nuevos mercados [7].

La implementación de cada red M2M es única para cada instalación, aun así, se pueden definir cuatro estados comunes, tal como se observa en la Figura 5.

Figura 5. Estados en la implementación de una Red M2M.



3.4.1.1 Protocolos de comunicación M2M. Protocolos de comunicación existen muchos para trabajar en la interacción de diversas aplicaciones. Se presentan protocolos inalámbricos y por cable posicionados en la actualidad:

- **ZigBee**

Es un protocolo de alto nivel de comunicación, es un tecnología basada en el estándar seguido es el WPAN (*Wireless Personal Area Network*), con la norma IEEE 802.15.4 adopta un banda de 2.4 GHz para la comunicación con el resto de los dispositivos, se presentan algunos protocolos inalámbricos, una de las ventajas es su bajo costo y a su bajo consumo energético.

La red formada por zigbee tiene distintas topologías, estrella, árbol y malla, de las anteriores la más usada es la organización tipo malla, esta topología es un nodo zigbee que a su vez pueden estar otros más conectados a la misma red lo cual

asegura que todos los nodos estén conectados ya que siempre habrá un camino para seguir en caso que se caiga uno.

- **Bluetooth (IEEE 802.15.1)**

Está basado en la tecnología clásica de escenario inalámbrico *spread spectrum* (espectro esparcido), en *frequency-hopping* (salto de frecuencia), desde el punto de vista de arquitectura se basa en el concepto de pico red, hace referencia a la capacidad de varios equipos para configurarse en una red.

- **Wi -fi (IEEE 802.11)**

Esta tecnología surge de la necesidad de establecer un mecanismo de conexión inalámbrica compatible entre distintos dispositivos, la norma IEEE 802.11 y la cual se basan todos los protocolos establecidos, fue diseñada para dar una equivalencia entre las capas físicas. En lo que se diferencian de la red Ethernet es la forma de transmitir los paquetes de datos.

- **Ethernet**

Es un estándar de redes abiertas para la transmisión de datos accesibles según el proceso CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*), utilizado en su mayoría en oficinas.

Se planteó en un principio como un protocolo destinado a cubrir las necesidades de las redes LAN. A partir de 2001 Ethernet alcanzó los 10 Gbps lo que dio mucha más popularidad a la tecnología.

Una de las ventajas es la compatibilidad con productos de 10 y 100Mbps dando así conexiones fáciles cablear o depurar por tal motivo es fácil detectar fallos y llevar a cabo mantenimiento.

a. RS 485:

Actualmente es conocido por la norma TIA-484-A.222 confirmada por la TIA (*Telecommunications Industry Association*) en el 2003. Sistema diferencial multipunto, sirve para transmitir a altas velocidades sobre largas distancias (35 Mbits/s hasta 10 metros y 100 kbp/s en 1200 metros) a través de canales con mucho ruido, las características mecánicas del estándar permite la conexión de hasta 32 emisores con 32 receptores en transmisión doble simultánea full dúplex enlazando con procesadores de comunicación principal (*master*) con procesadores subordinados (*slaves*) cuyo funcionamiento (*acceso priorizado*) está definido por arreglos topológicos de la redes de datos. En la actualidad son la mejor alternativa para redes locales y para las aplicaciones multiterminales por su protección térmica.

b. Speedwire:

Es un bus de campo basado en Ethernet que sirve para establecer redes de comunicación de alta potencia, es un estándar establecido a escala internacional, esto permite una transferencia continua de datos al inversor de 10/100 Mbit, además de una monitorización , un control y una regulación fiables de la instalación.

Los requisitos fundamentales para la utilización:

- Inversor equipado con interfaz *speedwire*, hay diferentes interfaces, las hay *speedwire* integrados, módulo de datos *speedwire/webconnect*, *speedwire/webconnect piggy-back* y módulo de datos *speedwire sunny island*, la primera está instalada de fábrica, la siguiente dispone de un equipamiento adicional o premontado en el inversor, y las últimas dos disponen de equipamientos adicionales, todas con conexión “enchufar y usar” (*plug&play*).
- Producto de comunicación.
- Ordenador (computador).

Para la instalación las longitudes máximas entre dos integrantes de la red “enlace end-to-end” dependen del tipo de cableado utilizado, por tanto si se utiliza cables de instalación máximo 100 metros y si se utiliza latiguillos (cable de red, flexible) máximo 50 metros.

En la tabla 5 se presenta una comparación entre los protocolos de comunicación M2M.

Tabla 5. Comparación de los protocolos de comunicación M2M

Características.	Zigbee IEEE 802.15.4	Bluetooth	Ethernet IEEE 802.3	Wi Fi IEEE 802.11	RS485
Tasa máxima de transmisión de datos.	250 Kb/s	Básico 1 Mb/s, mejorado 3 Mb/s	10Mb/s-100Mb/s-10Gb/s	22 Mb/s con 802.11 y 144 Mb/s con 802.11.n	35Mbit/s 100kbp/s
Rango de cobertura de interiores.	10-20m extensible mediante Multihop routing	1-10-100m	100m	45m con 802.11 y 70m con 802.11.n	10 m a 1200 m
Banda de frecuencia.	2.4 GHZ 868 MHz y 912MHz	2.4 GHz	10MHz	2.4 GHz, 3.6 GHz y 5.6 GHz	--
Consumo de potencia.	Bajo	Medio	Medio	Alto	Medio
Aplicación.	Electrodomésticos inteligentes, medición inteligente, dispositivos de control y monitorización, sistema de iluminación y seguridad residencial.	Voz, transferencia de datos, teclados, control de juegos.	Voz, video, datos.	Redes, audio y video digital, voz datos.	Opera en ambientes ruidosos. Monitorización y adquisición de datos. Aplicación de control.

3.5. CARACTERIZACIÓN DE CARGAS EN EL ESCENARIO RESIDENCIAL

La caracterización de las cargas suministra datos importantes para la distribución estratégica del circuito. Uno de ellos es la composición porcentual del consumo mensual de energía eléctrica y otro es el tipo de electrodoméstico que tiene un

usuario residencial, las características del mismo y su modo de uso.

La tabla.6. muestra la composición porcentual del consumo promedio de energía eléctrica para usuario residencial en Medellín al año 2006, se tomó como punto de referencia el informe contratado por UPME a la Universidad Nacional en Noviembre del 2005 "*Determinación del consumo final de energía en los sectores residenciales urbano y comercial y Determinación de consumo para equipos domésticos de energía eléctrica y gas*" [8] y el trabajo de grado "*Caracterización Tecnológica de la Topología de un sistema de Gestión Energética Residencial*" [9] donde se justifica de acuerdo a parámetros climatológicos, ubicación geográfica, de acuerdo a la información suministrada es válido tomar datos de referencia para Bucaramanga.

Tabla 6.Composición porcentual del consumo mensual por uso y estrato de energía eléctrica en la ciudad de Medellín, Colombia 2006.

COMPOSICIÓN PORCENTUAL DEL CONSUMO MENSUAL DE ENERGIA ELECTRICA MEDELLIN 2006						
Uso/Estrato	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 6
Iluminación	20,26%	27,74%	38,73%	26,05%	50,86%	18,67
Refrigeración	60,96%	46.66%	36,54%	44,61%	27,03%	47,29%
Televisión	10,16%	10,16%	7,80%	11,36%	6,45%	8,65%
Otros Electrodomésticos	8,63%	14,73%	16,93%	17,98%	15,67%	25,40%
Total	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Fuente: ARCHILA, Gustavo y GOMEZ, Walter. Caracterización tecnológica de la topología de un sistema de gestión energética residencial. Trabajo de Grado. Universidad Industrial de Santander 2012

El estudio analiza: la tenencia de electrodomésticos, las horas de uso y la potencia de los electrodomésticos. Se observa en la tabla 6 que los componentes principales son iluminación, refrigeración, televisión y otros electrodomésticos en los cuales incluye, lavadora, licuadora, plancha, horno microondas. Es posible añadir dispositivos reproductores de DVD, sistemas de audio, aumentando la carga porcentual en otros electrodomésticos.

La tabla 7 contiene el listado de los diferentes electrodomésticos y dispositivos electrónicos establecidos en este trabajo de grado para la elaboración del perfil de carga. La tabla describe la potencia que consume cada equipo, el tipo de carga y el modelo (año). En el anexo B se muestran las fichas técnicas de los equipos domésticos utilizados.

Tabla 7.Listado de Cargas.

Cargas	Marca	Can t.	Modelo año	Potencia	Capacidad y Tamaño	Tipo de carga
Nevera	Haceb	1		26 kWh/mes	10 pies250Lt 115V	L
Luminarias	Incandescente	2		72w		R
	CLF*	3		20w	Mediano	L
	Lámpara	1				
Licuada	Oster	1		600	1.29 litros 19,3W	L
Lavadora	Samsung	0		470	Ahorro de 18W	L
Televisor	Sony	1	2013		21"	L
Plancha		1		1000		R
Ventilador	silver	1			110V 60Hz	L
Sandwichera	Kalley	1	2014	700		R
Computador Escritorio	Dell	1	vostro260s	250		L
PC Portátil	Asus	1	2013	65	14"	L
Cargador inteligente	Motorola	1	2013	10		

4. METODOLOGÍA

La metodología involucra un análisis del marco normativo y legal para la gestión energética residencial enfocado en el objetivo y los avances en que se encuentran las respectivas resoluciones, seguidamente se describen los lineamientos de instalación del equipo, desde su adquisición pasando por la inspección pre operacional, terminando en su puesta en marcha; se describe el escenario típico residencial creado a partir del documento de apoyo de la UPME [8], con el fin de realizar pruebas y recopilar la información relevante del sistema, describiendo las distintas formas de comunicación del equipo y a su vez proponiendo la más adecuada para el sistema propuesto, finalmente se hace el respectivo análisis de la información.

4.1. MARCO LEGAL Y NORMATIVO

A través del Marco legal y normativo para la generación de energías renovables en Colombia se explica de manera racional las nuevas posibilidades de sostenibilidad para el uso de las nuevas tecnologías y las leyes creadas para garantizar el buen desarrollo de estas. Se nombra a continuación las más relevantes:

Figura 6. Marco legal y normativo

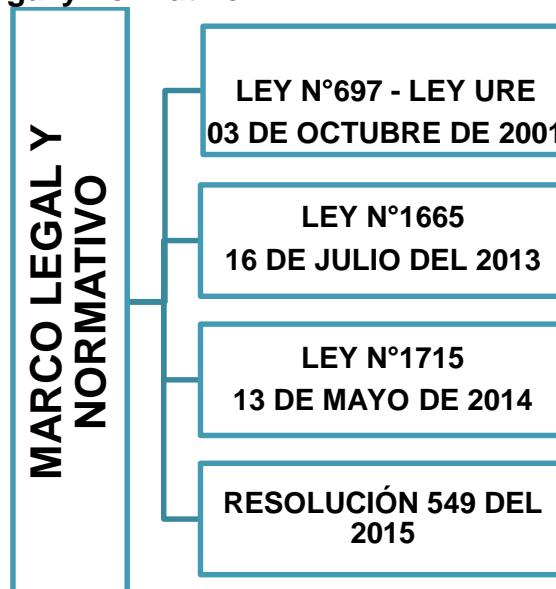


Tabla 8. Marco legal y normativo

LEYES Y RESOLUCIONES	ALCANCES:		
<p>LEY 697 3 DE OCTUBRE DEL 2001 [10]</p> <p>Designa incentivos responsabilidades dentro del desarrollo del programa de uso racional y eficiente de la energía y demás formas de energía no convencional (PROURE)</p> <p>Objetivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> Incrementar y mejorar la eficiencia energética en todos los sectores. Promover el uso de fuentes no convencionales de energía. 	<p>Acceso a la Energía</p>	<p>"Plan Visión 2019" incrementar la competitividad y el desarrollo del país, incrementar la cobertura eléctrica SIN 99.34%, Incrementar la cobertura ZIN 75.49%.</p>	<p>PROYECTOS EN COLOMBIA</p> <p>Del 2006-20 proyectos IPSE (Instituto de planeación y Promoción de Soluciones energéticas).</p> <p>Piloto centro Tecnológico Poli generación Hibrido Solar GLP \$3,000 millones, Bolívar, Isla Fuerte (Ejecución).</p> <p>Instalación de 8 sistemas eólico-solar (adquisición y montaje) \$3,000 millones en estudio.</p>
<p>LEY N°1665 16 DE JULIO DE 2013 [11]</p> <p>"Por medio de la cual se aprueba el "ESTATUTO DE LA AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍAS RENOVABLES (IRENA)</p> <p>Objetivo:</p> <p>Promover la implantación generalizada y el uso sostenible de todas las formas de energía renovable, teniendo en consideración las prioridades nacionales y los beneficios de combinar estas energías y medidas de eficiencia energética, así como la contribución de las energías renovables a la conservación del medio ambiente.</p>		<p>IRENA cumple como ente facilitador y centro de excelencia en materia de tecnología de energías renovables, su mejoramiento, incentivos para su implementación, prácticas recomendables, análisis de factores de riesgo y brindando a sus miembros asesoramiento sobre las políticas de uso.</p> <p>El Decreto 332 de 24 de febrero de 2016 promulga el " estatuto de la agencia internacional de Energía Renovable (IRENA), hecho en Bonn el 26 de enero del 2009, el 8 de enero del 2015 se ratificó, y en consecuencia el estatuto entro en vigor para la República de Colombia el 7 de febrero del 2015; Decreta: la promulgación del "Estatuto de la agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA).</p>	<p>En el 2016 el proyecto "Sistemas fotovoltaicos para 104 instituciones educativas de la subregión Sanguiangá" del departamento de Nariño fue incluido como uno de los 6 proyectos ganadores entre 76 propuestas presentadas en el "Mercado de Energía Sostenible para América Latina y el Caribe" . El premio de \$50mil dólares. Consiste asesoramiento para mejorar la bancabilidad de los proyectos que se pueden constituir como negocios financieramente sostenibles.</p>

LEYES Y RESOLUCIONES	ALCANCES:	PROYECTOS EN
<p>LEY 1715 DEL 2014 [3]</p> <p>"Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional"</p> <p>Objetivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Promover el desarrollo y la utilización de las FNCER • Promover la gestión energética eficiente. <p>Se crea:</p> <p>FENOGE (Fondo de Energía No Convencionales Y Gestión Eficiente de la energía).</p>	<p>FENOGE: Financiar programas de FNCE y Gestión energética.</p> <p>Sera reglamentado por el Ministerio de Minas y Energías</p> <p>Financiar programas y proyectos dirigidos al sector residencial de estratos 1, 2, 3, tanto para implementación a pequeña escala, como la eficiencia energética.</p> <p>Se dispone mediante la resolución 281 del 2015 "la autogeneración a pequeña escala equivale máximo a 1MW".</p> <p>Incentivos en la inversión de FNCE:</p> <p>Deducción de Renta, por los 5 años siguiente al año siguiente de la inversión.</p> <p>Exclusión del IVA y exención de aranceles a los equipos, elementos, maquinaria y servicios nacionales o importados que se destinen a la inversión o pre-inversión.</p> <p>Depreciación acelerada de activos, a las maquinarias, equipos y obras civiles necesarias para la pre-inversión, inversión y operación con FNCER.</p>	<p>Mecanismo para la promoción de Proyectos de Energías Limpias"-PPF (Siglas en ingles), bajo un convenio UPME-USAID (United States Agency for International Development).</p> <p>Aportes de más o menos USD 500.000, se han estructurado 9 proyectos de eficiencia energética en la industria aprobados 6 proyectos.</p>
<p>RESOLUCIÓN 549 DEL 2015 [12]</p> <p>Por lo cual se reglamenta el capitulo 1 del titulo 7 de la parte 2 de libro 2 Decreto 1077, en cuanto a los parametros y lineamientos de contrucción sostenible y se adopta la Guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones.</p>	<p>Sugiere:</p> <p>Implementación de medidas activas (sistemas mecánicas o eléctricas para garantizar condiciones de confort) o pasivas que consideran, (el clima, paisaje, localización, orientación y aprovechamiento de iluminación).</p>	<p>A la fecha y de acuerdo al documento plan de acción indicativo de eficiencia energética, cuenta con 4 millones de m2 de edificaciones que han recibido la certificación LEED, ubicadas en 20 ciudades.</p> <p>Se implementó el proyecto "Distritos Térmicos en Colombia" para mejorar la eficiencia energética de los edificios y sustituir sistemas de enfriamiento que</p>

LEYES Y RESOLUCIONES	ALCANCES:	PROYECTOS EN
<p>Objetivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Establecer porcentajes mínimos y medidas de ahorro de agua y energía a alcanzar en las nuevas edificaciones. 		<p>funcionen con sustancias agotadoras de ozono y sustancias de alto impacto ambiental.</p>

Para profundizar en cada una de estas leyes, revisar el Anexo C.

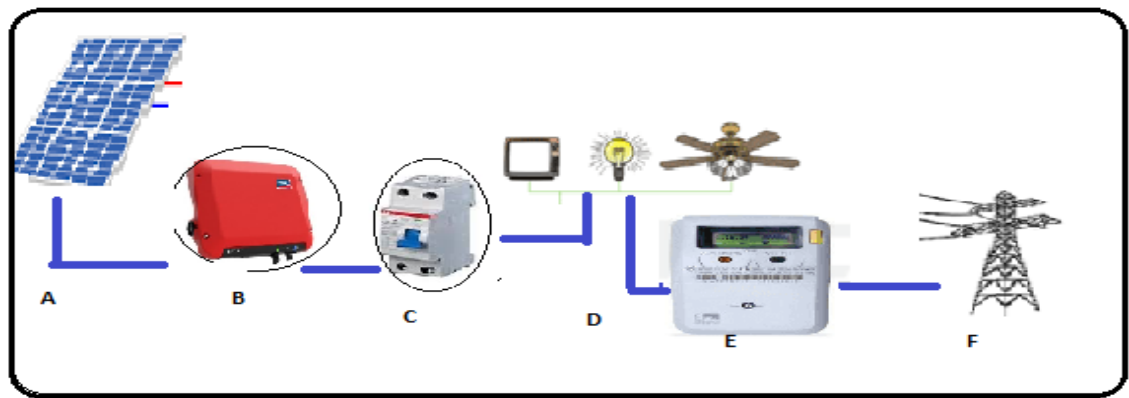
4.2. LINEAMIENTOS DE INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DEL EQUIPO

Los lineamientos sugeridos para la respectiva adecuación del inversor Sunny Boy 4400 TL de SMA en el laboratorio 308 del PTG se basan en 4 puntos importantes:

- 1) Inspeccionar el equipo: sus condiciones de caja y elementos que contenga, tornillos, tuercas, bases, cables etc.
- 2) Seleccionar un área: una pared construida de mampostería o espacios rígidos con capacidad de tolerar pesos considerables, es pertinente aclarar debe colocarse cercano al tablero de las protecciones eléctricas, evitando malgastar cables de conexión.
- 3) Temperatura: entre los 16°C y 23 °C, puede trabajar a temperaturas más altas sin problemas, su efecto se ve en la reducción de la potencia de salida.
- 4) Puesta en Marcha: Se debe colocar de forma adecuada con ángulo de 15° lineal a la pared y así poder visualizar sin problemas los avisos de la pantalla. Además de eso a 50 cm de altura del piso. (Anexo A. Manual de equipo SMA).

Con base a la infraestructura AMI el esquema adecuado y previsto para implementación en hogares residenciales con sistema de paneles fotovoltaicos (PFV) se muestra a continuación:

Figura 7. Esquema de conexión.



Este esquema contempla los siguientes componentes:

- A: Paneles Fotovoltaicos
- B Inversor monofásico.
- C: Disyuntor
- D: Carga
- E: Medidor
- F: Red Pública.

En la figura 8. se aprecia la instalación del sistema después de un proceso de cotizaciones, compra y adecuación de los distintos elementos. Se llevó en total 5 meses, desde agosto 2016 a diciembre de 2016, iniciando con las respectivas cotizaciones pertinentes además de las autorizaciones de los recursos por parte del grupo de investigación GISEL y la Universidad Industrial de Santander para llevar a cabo las compras de los elementos e instalarlos en el laboratorio de Integración Energética del grupo de investigación.

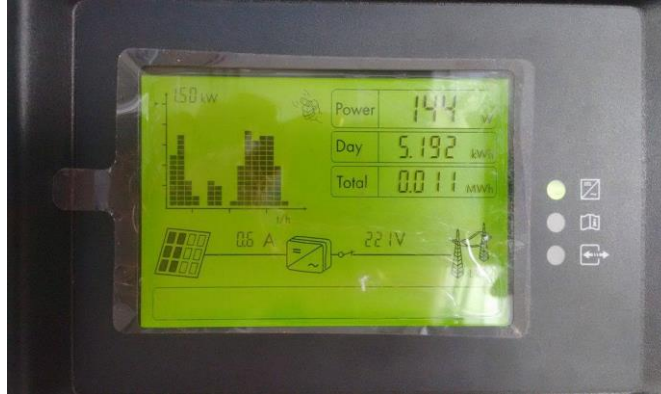
Figura 8. Instalación Final en el laboratorio de Integración Energética.



1. Tablero de conexión de los Paneles.
2. Tablero de conexión de la red Eléctrica 210v line a linea.
3. Inversor sunny Boy SMA, el equipo permite hacer una conexión monofásica bifilar. Debajo se muestran los tomas electricos donde se realiza la conexión de las difernetes cargas residenciales.

El equipo inversor Sunny boy SMA cuenta con una pantalla led donde se visualizan las medidas de potencia ,corriente y tensión. La pantalla muestra los datos del servicio actual (tales como: potencia actual, rendimiento energético diario, rendimiento energético total), a su vez se puede visualizar mensajes de error del equipo. En el diagrama de barras se representa la energía y la generación la potencia diaria y semanal como se muestra en la figura 9.

Figura 9. Pantalla de visualización del Inversor.



4.2.1. Adecuación De los Paneles Fotovoltaicos. Para la instalación de los paneles fotovoltaicos se construyó una estructura metálica en la terraza del edificio de investigaciones del PTG. El arreglo fotovoltaico contempla la conexión en serie de 8 paneles solares: 2 paneles KYOCERA de referencia KD240GH-2PB de 240Wp cada uno y 6 paneles UPSOLAR de referencia UP-M250P de 250 Wp cada uno. La potencia nominal del arreglo a condiciones estándar de irradiancia y temperatura (1000 W/m^2 y 25°C) es de 1980 W. En el Anexo D, se presenta la ficha técnica de los paneles solares utilizados en el proyecto.

En la Figura 10 se presenta la instalación de los paneles fotovoltaicos. La estructura se encuentra orientada hacia el sur con una inclinación de 7° . El sistema contempla una caja con protecciones para cada panel solar y el cableado de los paneles hasta el laboratorio 308 del PTG.

Figura 10. Instalación Paneles fotovoltaicos.

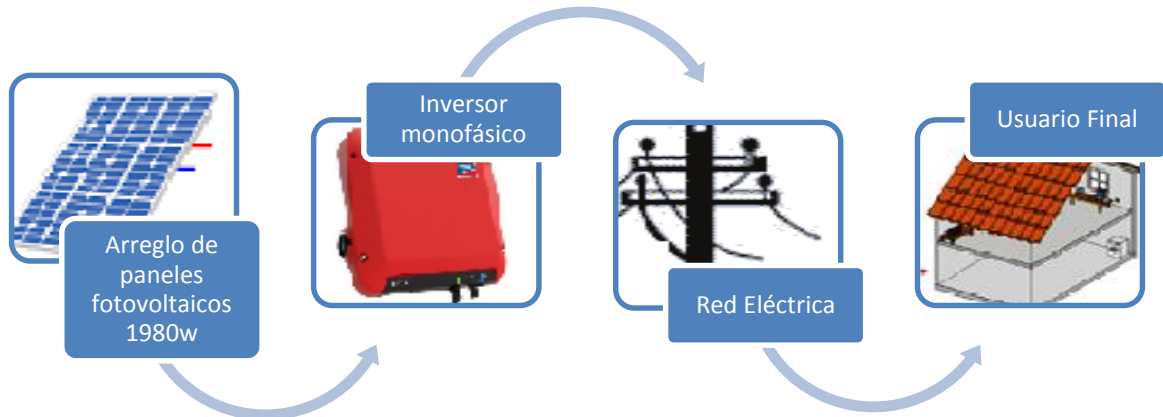


4.3. DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO

A partir de lo expuesto en la sección “1.6. Caracterización De Cargas En El Escenario Residencial”, se establecen las características de las cargas a utilizar en este trabajo. A su vez se contrarresta esa información para Bucaramanga, concluyendo que el escenario típico que mejor se ajusta al arreglo de 8 paneles fotovoltaicos que proveen 1980W, es el que simula un ambiente residencial urbano estrato 3, sin embargo, se analizan otros estratos.

La descripción del escenario típico para esta propuesta de investigación, es aquel que está compuesto por un arreglo de 8 paneles fotovoltaicos (PFV) (energía no convencional), el inversor monofásico SMA como elemento principal, la red eléctrica y el usuario final, tal como se observa en la Figura 11.

Figura 11. Esquema del Escenario Típico.



4.4. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

A partir del 9 de febrero del 2017 se inició la toma de datos, luego de solucionar varios inconvenientes que se presentaron en el proceso, como el aumento de tensión en el parque tecnológico, que excedía el rango de trabajo del equipo a 208V nominales (183V a 229V).

Durante un (1) mes se aplicaron las pruebas que corresponden al perfil de consumo que se diseñó para tal fin (Ver Anexo E), de acuerdo con las cargas establecidas según el estrato y de acuerdo a las que se disponen en el laboratorio. En dicho perfil se organizan por grupos los electrodomésticos o dispositivos que son conectados.

En cada día de estudio se recopilaban datos de tensión, corriente y potencia de 9:00 AM a 5:30 PM, haciendo la medición con un rango de 10min. Se optó por variar cada hora los elementos que conforman el grupo de cargas, para obtener curvas de consumo. En el numeral 3. "Análisis de la información" se desarrolla el estudio de los datos recopilados.

Los instrumentos de medición usados fueron:

- Medidor de potencia digital – diseñado por la Universidad Industrial de Santander: ubicado en la carga, de esa manera se recopiló datos de potencia de la carga, corriente, tensión, al mismo tiempo que la frecuencia y factor de potencia.

- Analizador de red - Fluke 435: conectado entre la protección y la red, este permitió verificar el dato de potencia que se inyectaba a la red.

Se obtuvo la medida de consumo de potencia de los equipos de uso doméstico, la potencia generada por el sistema fotovoltaico y la potencia inyectada a la red, así como las fechas y temperatura de cada día de prueba. Los resultados de las mediciones se organizaron en tablas en hojas de cálculo de Excel. (Ver anexo digital).

4.5. FORMAS DE COMUNICACIÓN DEL EQUIPO INVERSOR

Para la adquisición de datos en el caso específico del inversor SMA ofrece la conexión mediante varios módulos: interfaz de protocolo Modbus, interfaz bluetooth y módulo de datos interfaz RS485 que proporcionan la obtención de los datos, a través de ellos es posible la comunicación de inversor con otros inversores o con productos de comunicación de la misma empresa.

La gestión de demanda para uso residencial depende de su funcionalidad, las alternativas que se encontraron se explicaran mediante cuadros comparativos con las especificaciones adecuadas de cada uno.

Figura 12. Ficha técnica de interfaces

COMUNICACIÓN INVERSORES FOTOVOLTAICOS		
DEFINICIÓN	VENTAJAS	ENFOQUE
INTERFAZ BLUETOOTH		
<p>Es un estándar de radio para la comunicación de corto alcance que permite realizar la conexión entre dispositivos bluetooth.</p> <p>Tiene un alcance de hasta 100 m en campo abierto.</p> <p>El alcance depende de varios factores como: obstáculos, reflexión, potencia de transmisión, sensibilidad de receptor.</p>	<ul style="list-style-type: none"> + Se puede monitorear el sistema fotovoltaico sin necesidad de cableado. + Demanda una tasa mayor de transmisión de datos. 	<p>Residencial: Casas e instalaciones fotovoltaicas de tamaño pequeño y medio.</p>
MÓDULO DE DATOS SPEEDWIRE/WEBCONNECT		
<p>Es un bus de campo basado Ethernet que sirve para establecer redes de comunicación de alta potencia en plantas fotovoltaicas grandes descentralizadas.</p> <p>Utiliza dos estándares de transferencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> -10BASE-T (10 Mbit/s) -100BASE-TX (100Mbit/s) <p>Como protocolo mediador (OSI capa 3) se utiliza el protocolo de internet v4 (IPv4). Como protocolo de transporte (OSI capa 4) se utiliza el protocolo de datagrama de usuario (UDP).</p>	<ul style="list-style-type: none"> + Permite la monitorización, control y regulación fiable de la instalación por medio de una interfaz digital. + Permite la transferencia continua de datos al inversor de 10/100Mbit. 	<p>Tiene capacidad para comunicar desde una casa hasta edificios que contemplen de 10 a 20 apartamentos .</p>

MÓDULO DE DATOS INTERFAZ RS485

El estándar de interfaz RS485 garantiza una transmisión de datos segura entre los componentes del sistema de bus a grandes distancias (máx. 1200m) con un alto nivel de protección ante interferencias, los datos se transmiten de manera diferencial, dada la diferencia de potencial entre los dos cables de datos.

Los datos se transmiten en serie y bidireccional entre los componentes del bus.

El emisor opera el "1" lógico a un voltaje de -1.5V a -5V. El "0" lógico a la entrada del receptor en el rango de +0.2V a 12V y la máxima tensión aplicada a la línea de salida es de -7V a +12V.

+Permite comunicación remota y control entre varios inversores monofásicos.

+Permite consultar, visualizar y almacenar datos de los inversores.

Alternativas para redes locales e industriales.

El módulo de datos 485 tipo B es la solución para sistemas fotovoltaicos en los que se utiliza la comunicación RS485. Esta interfaz hace posible una comunicación de bus de campo SMA basada en cable por su fácil conexión a un registrador de datos.

INTERFAZ DE PROTOCOLO MODBUS

Esta interfaz es un protocolo de comunicación industrial desarrollado para la lectura o escritura de datos en áreas de datos fijas.

Solo puede transportar un volumen específico en una única transmisión de datos utilizando protocolo PDU. Empezando con el byte alto y terminando en el bajo. Un registro Modbus tiene 16 bits de longitud y está disponible el rango de direcciones 0-0xFFFF con 65536 direcciones.

+Hace posible la conexión flexible de los inversores.

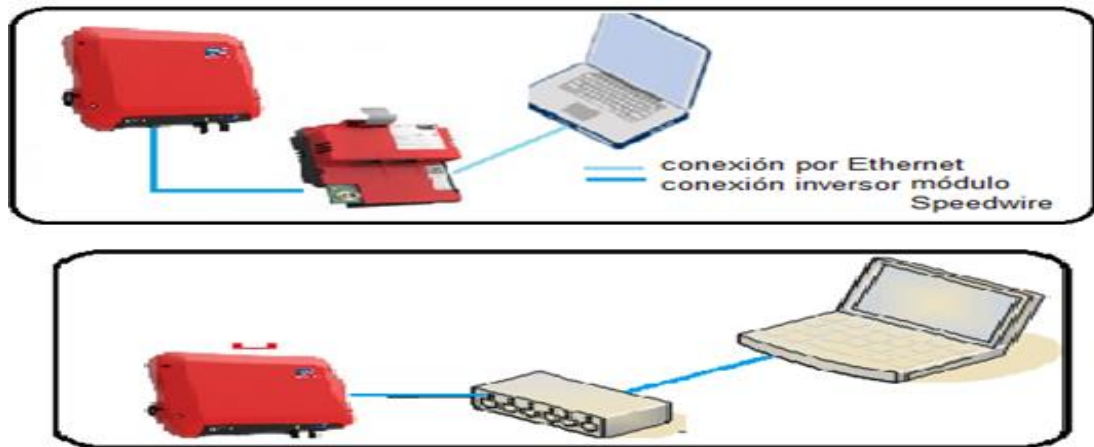
+ Se puede integrar a otros sistemas sin tener que seguir el protocolo del fabricante.

+ Ideal para la integración directa de inversores en sistemas de sala de control o la conexión de inversores en sistemas de automatización de

El enfoque residencial: se puede implementar en conjuntos cerrados o condominios ya que es un sistema robusto, dirigido principalmente

Ver Anexo F. información de la ficha técnica de cada una de las interfaces de comunicación.

Figura 13. Comunicación SPEEDWIRE y RS485



En la figura 13. se muestra el esquema de conexión para dos de las interfaces de comunicación que se explicaron anteriormente.

En lo que respecta al inversor con el que se trabajó, estas son las dos opciones de comunicación con que se puede equipar.

-RS484.

-SPEEDWIRE.

Ambos módulos están basados en **Ethernet** que sirve para establecer redes de comunicación de alta potencia, la diferencia radica en el rendimiento para la transmisión de datos, el RS485 transmite datos en el orden de Kbps en distancias más largas a comparación del *Speedwire* transmite datos de Mbps a Gbps en longitudes más cortas, para el caso de RS485 se necesita más dispositivos de conexión entre los equipos esto hace que el sistema sea robusto y costoso. Igualmente permite monitorizar la instalación.

Por tanto es recomendable utilizar el módulo *Speedwire*, por su conexión sencilla y mayor transmisión de datos.

Los inversores que han salido al mercado recientemente ofrecen estas y otras opciones, como WLAN, RS232, WIFI, Todas estas opciones van orientadas o encaminadas a poder visualizar, controlar y regular los sistemas desde la nube; pues si bien el concepto de internet de las cosas no es tratado con relevancia en

el estudio, tampoco se puede omitir el hecho de que con el tiempo se vuelve una idea más atractiva y real, es el objetivo tecnológico a radicar.

5. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Recopilando la información obtenida durante el mes de estudio, se visualizó el comportamiento del escenario con curvas y graficas de potencia en día, semanas y mes de trabajo.

En el siguiente análisis se presenta el perfil de generación y consumo en el escenario planteado, que simula el sistema eléctrico residencial acompañado y sistema fotovoltaico. Luego se compara la generación del sistema fotovoltaico con las curvas de demanda para diferentes estratos socioeconómicos según la Electrificadora de Santander S.A. E.S.P. (ESSA) [2]. Además, se presenta un breve análisis de costos, así mismo se propone el modelo para el manejo de la información.

La asignación de las horas de uso y consumo de los aparatos electrodomésticos se realizó de forma estimada basada en el informe del proyecto SILICE FASE III [7].

El sistema estudiado está respaldado por instrumentos de medición con los que se puede hacer lectura de múltiples variables, de ellas se registraron las medidas más relevantes: potencia generada y potencia de la carga.

Finalmente se exponen figuras con curvas de consumo de potencia, construidas a partir de los datos recopilados de las pruebas. Con los resultados arrojados se contemplan las gráficas de demanda diaria promedio y a su vez las gráficas de generación diaria promedio.

5.1. CURVAS DE GENERACIÓN VS DEMANDA

En las figuras 14, 15 y 16 se presentan las curvas de generación vs demanda diaria, promedio semanal y promedio mensual, respectivamente. Estas curvas permiten ilustrar el consumo energético del escenario planteado y la generación del sistema fotovoltaico.

En la Figura 14 se observa un día típico de operación, donde se evidencia el comportamiento de los generadores de energía solar en un día soleado sin nubosidad. Cabe aclarar que también se han obtenido curvas bajo diferentes

condiciones meteorológicas, por ejemplo en días nublados, en donde se presentan valores que deforman la campana visualizada en la figura 14.

Las condiciones climatológicas son fundamentales para este tipo de generación de energía y su comportamiento es cambiante, en consecuencia, los niveles de tensión varían con la radiación solar que incide sobre las celdas y con la temperatura ambiente.

Figura 14. Curva Generación Vs Demanda Diaria.

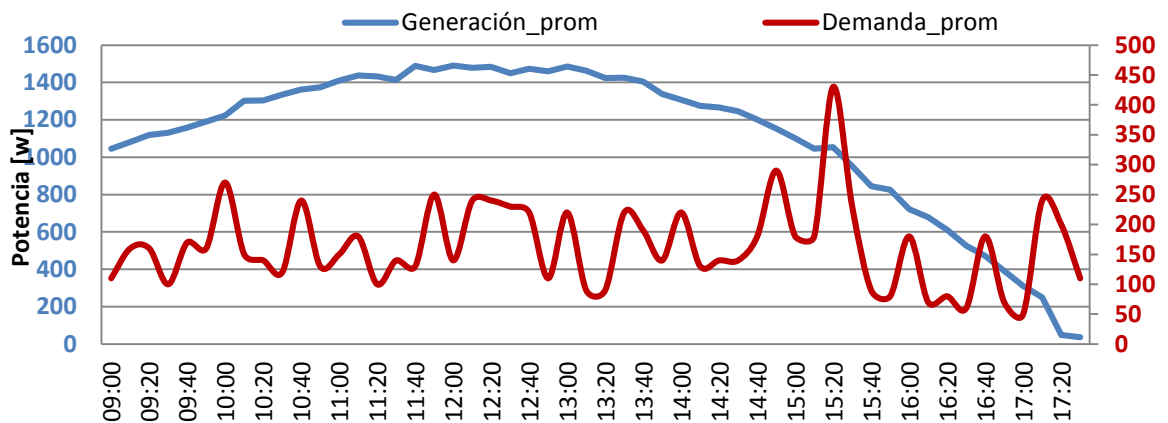
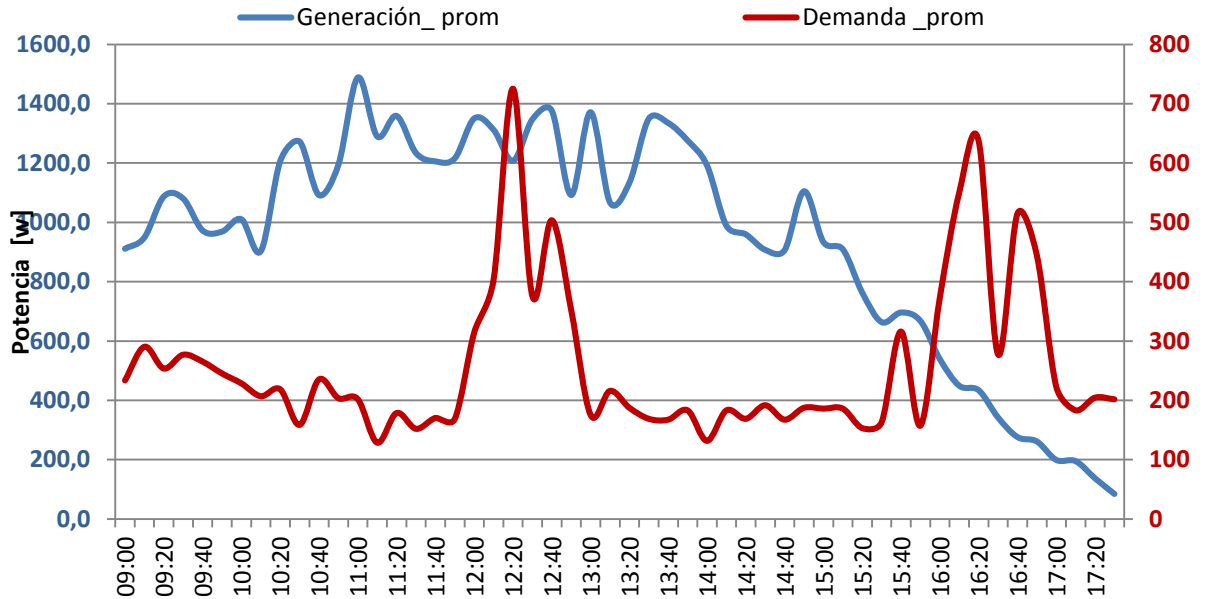


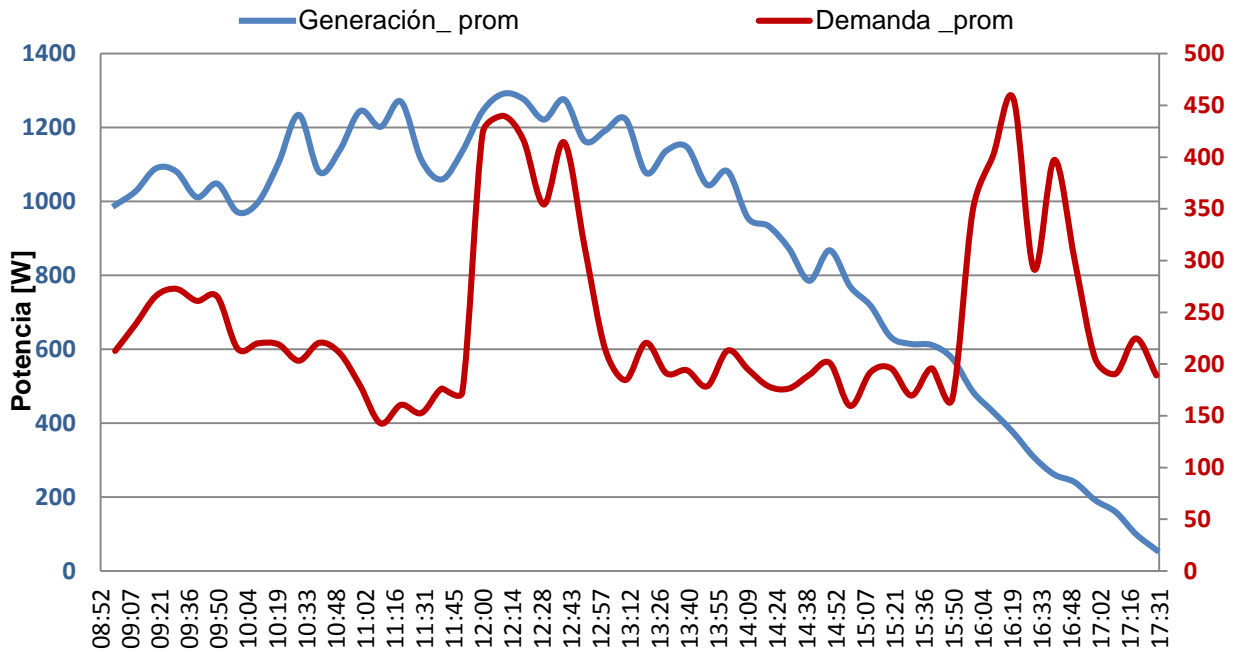
Figura 15. Curva Generación Vs Demanda Diaria Promedio de la Semana.



La figura 15 presenta la curva de demanda promedio de una semana, junto a la curva de generación fotovoltaica. En ella se puede apreciar que la generación de los paneles abastece la demanda de potencia entre periodos de 9:00 am a 4:00pm aproximadamente, es decir, el sistema puede trabajar sin necesidad de comprar energía a la empresa de distribución de energía en este intervalo de tiempo.

En la figura 16 se analiza la demanda y generación diaria promedio para un mes de operación. Tal como se observa, el sistema provee el consumo de potencia del perfil de cargas diseñado para el escenario examinado en el periodo comprendido entre las 9:00 am hasta las 4:00 pm aproximadamente.

Figura 16. Curva Generación Vs Demanda Diaria Promedio del Mes.



Según los datos obtenidos, el consumo diario promedio del mes fue 12,567kWh. Por parte del sistema fotovoltaico la generación diaria promedio del mes fue de 46,103kWh, por consiguiente, se está inyectando a la red un estimado de 33,527kWh, tal como se observa en la tabla 8.

Tabla 9. Potencia Diaria promedio del mes.

Diaria promedio del mes		
Potencia Generada [kWh]	Potencia Consumida [kWh]	Potencia inyectada a Red [kWh]
46.103	12.567	33.527

La investigación realizada está enfocada al sector residencial y fundamentado en las pruebas efectuadas sobre un perfil de consumo propuesto. A continuación, se expone un contraste de las curvas de generación con la curva típica de consumo diario promedio por estratos, construida a partir del estándar de la ESSA: “Normas para cálculo y diseño de sistemas de distribución” [2].

En las Figuras 17, 18, 19 y 20 se presentan las curvas de generación promedio del mes del sistema fotovoltaico vs las curvas de demanda de la ESSA para los estratos socioeconómicos 1 y 2, 3, 4 y 5 de la ciudad de Bucaramanga,

respectivamente, para el periodo de tiempo contemplado entre las 9:00 am y las 5:00 pm.

Figura 17. Demanda ESSA Estrato 1 y 2 Vs Generación.

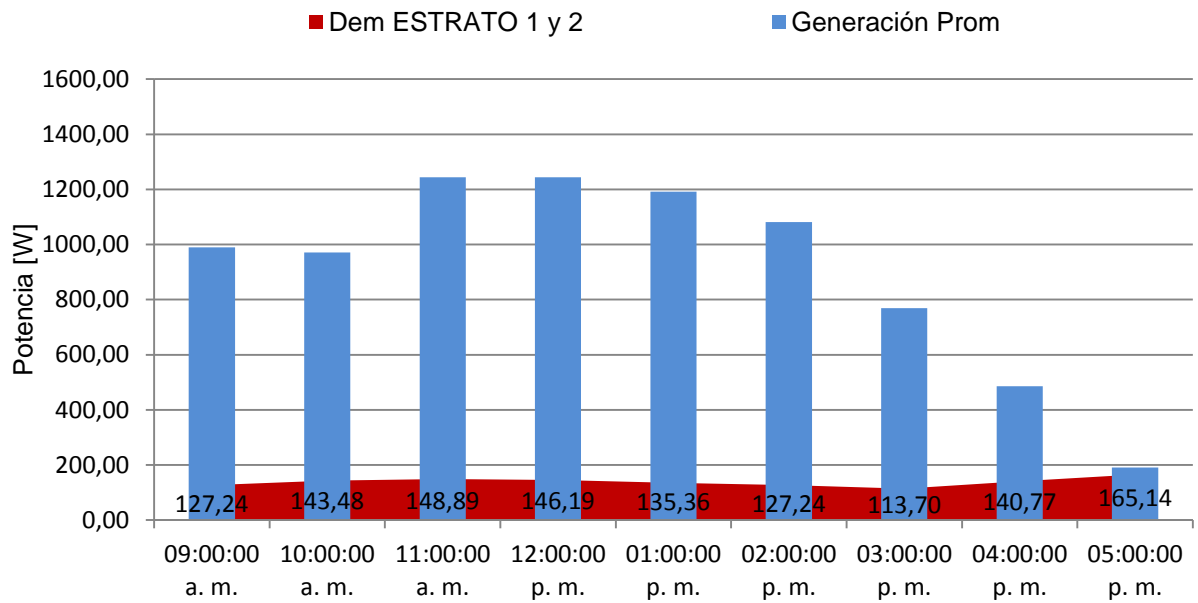


Figura 18. Demanda ESSA Estrato 4 Vs Generación.

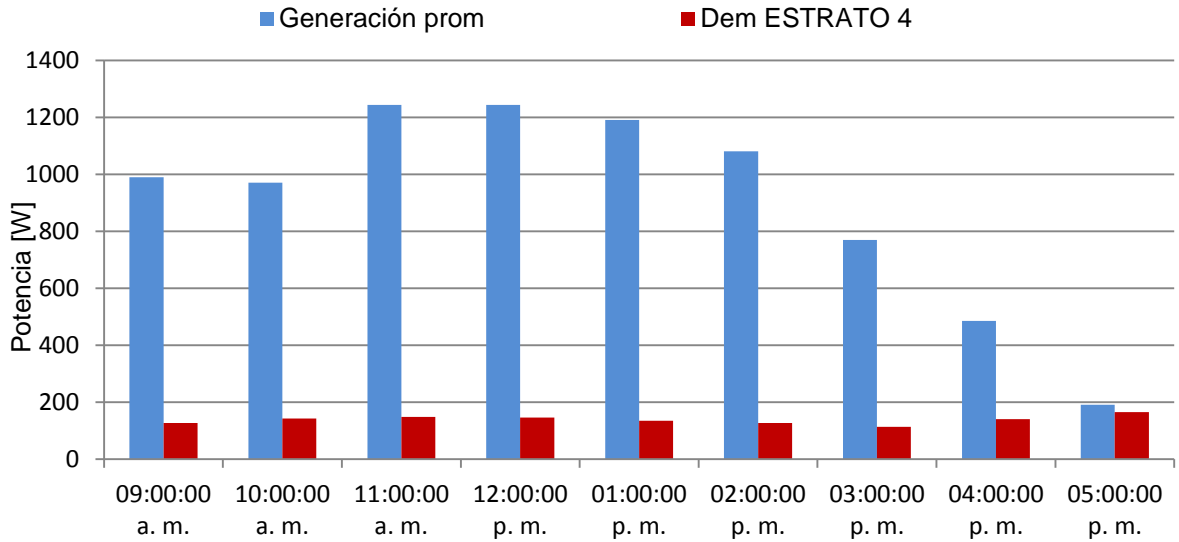


Figura 19. Demanda ESSA Estrato 3 Vs Generación.

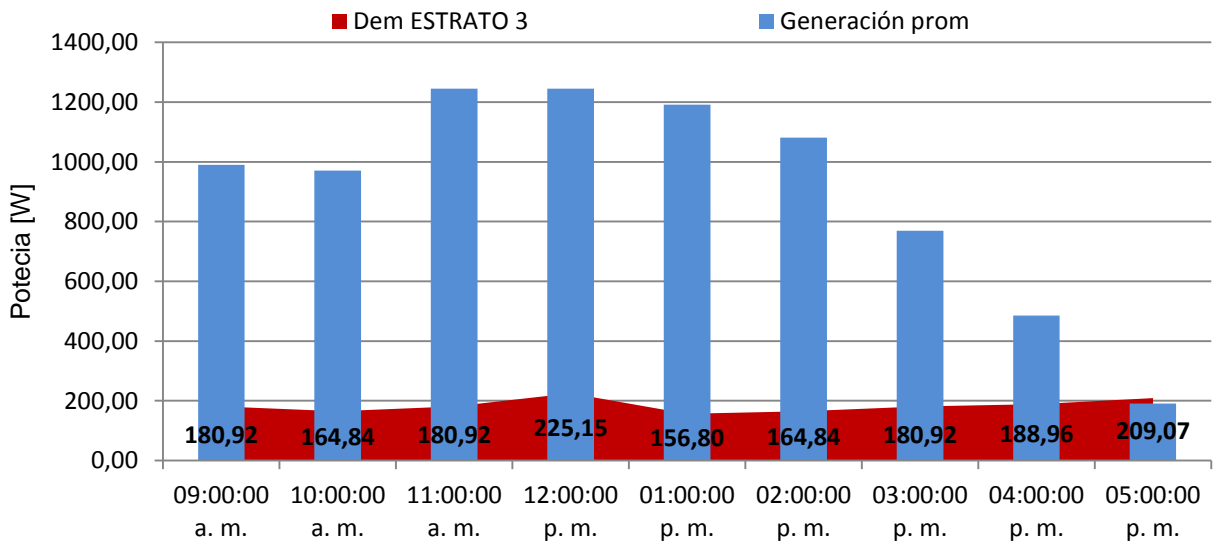
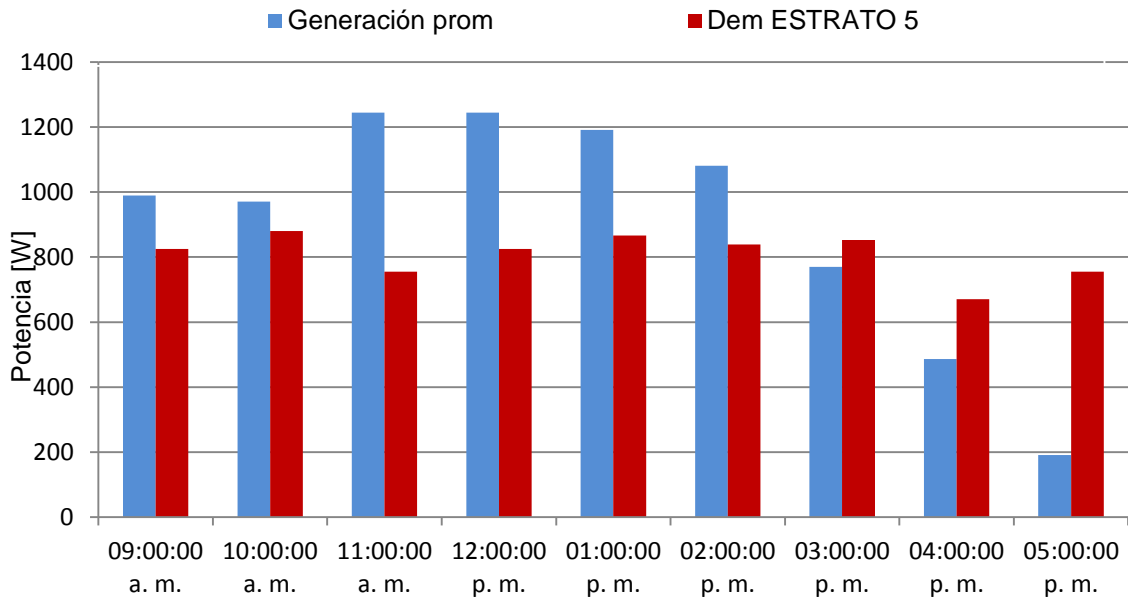


Figura 20. Demanda ESSA Estrato 5 Vs Generación.



En los estratos 1, 2, 3 y 4 se puede evidenciar que el sistema fotovoltaico analizado abastece en su totalidad la demanda para el periodo contemplado entre las 9:00 am y las 5:00 pm. Por otro lado, para el estrato 5 se evidencia el abastecimiento entre las 9:00 am y las 3:00 pm, sin embargo, entre 4:00 pm y 5:00 pm se requiere complementar suplir el exceso con energía de la red local, cabe exceptuar que esto depende del hábito de consumo del usuario residencial y su cultura para el ahorro.

En cuanto a lo anterior, con la integración de fuentes no convencionales de energía es posible gestionar el sistema energético de los hogares, como:

- Reducción del valor de la factura mensual para el usuario.
- Migración de cargas a horarios con tarifa menor.
- Consumo dual: entre la generación local y la red eléctrica.

Adicionalmente en el Anexo G se exponen las gráficas correspondientes a la potencia generada promedio mensual contrastada con la demanda por estratos socioeconómicos para todo el día de operación, analizando el escenario donde la potencia generada por el sistema fotovoltaico podría ser almacenada con el fin de suplir la potencia demandada en las horas de la noche por los usuarios residenciales.

5.2. ANÁLISIS DE INVERSIÓN

La mayor parte de los costos de una inversión fotovoltaica se encuentran en dos componentes: los paneles fotovoltaicos y los inversores.

La duración media de los paneles es de 25 años y para los inversores se estima una duración de 15 años o más. Otro componente relevante es el costo de la instalación.

- **La inversión inicial para los equipos y materiales del sistema:**

Tabla 10. Costo instalación fotovoltaica de 1.98kw.

Costo Instalación Fotovoltaica de 2kW	
Parámetros	Valor
Inversor	\$ 5.591.954*
Módulos FV	\$ 7.068.600
Materiales	\$1.909.208
Instalación	\$300.000
Total	\$ 14.869.762

En las instalaciones fotovoltaicas es preferible que se instale aproximadamente el doble de la capacidad nominal del inversor, para que supla las horas picos y las horas donde menos intensidad solar se presente, con todo y lo anterior se hacen el cálculo de la inversión para la capacidad nominal y el doble de la capacidad nominal del inversor.

Tabla 11. Costo instalación fotovoltaica 4kw.

Costo Instalación Fovovoltaica de 4kW	
Parámetros	Valor
Inversor	\$ 5.591.954*
Módulos FV	\$ 14.280.000
Materiales	\$2.000.000
Instalación	\$600.000
Total	\$ 22.471.954

Fuente: Tomado de Energía y movilidad, valores al 2016/12

Tabla 12. Costo instalación fotovoltaica 8kw.

Costo Instalación Fovovoltaica de 8kW	
Parámetros	Valor
Inversor	\$ 5.591.954*
Módulos FV	\$ 28.560.000
Materiales	\$4.000.000
Instalación	\$1.200.000
Total	\$ 39.351.954

Fuente: Tomado de Energía y movilidad, valores al 2016/12

- **Periodo de Recuperación**

Para calcular el tiempo de recuperación de la inversión se realiza el estimado de generación de un día:

$$1.98 \text{ kW} * 4,7 = 9,06 \text{ kWh/día}$$

Donde 1.98 kW es la potencia nominal del sistema fotovoltaico planteado y 4,7 son las horas día de sol promedio en Colombia (equivale a 4,7 kW/m² al día).

Ahora se calcula la generación anual:

$$9306 * 365 = 3396,69 \text{ kWh al año}$$

Teniendo en cuenta el valor del kWh para un estrato socioeconómico 3, que es de 411.20 \$/kWh[13]

$$3396,69 * 411.20 = 1.396.718 \text{ COP ahorro anual}$$

Por lo tanto, para una inversión inicial de \$14.869.762 en instalación, el retorno se tardará una medida de:

$$\frac{\$14.869.762}{\$1.396.718} = 10 \text{ años y 6 meses}$$

Lo que es igual a decir 10 años y 6 meses en recuperar la inversión. Además, una vez recuperada la inversión inicial seguirá teniendo un aproximado de \$1.396.718 menos de gasto de energía cada año (este costo debe ser actualizado según el valor del kWh).

Para el caso de una instalación fotovoltaica de 16 paneles de 4kw la inversión se recuperaría en un periodo de 7 años y 9 meses, por su parte, la inversión para un sistema con 32 paneles de 8kw capacidad nominal se recupera en un total de 6 años y 9 meses .

Los cálculos realizados se encuentran en el anexo H.

Según los resultados obtenidos, se puede concluir que la implementación del sistema completo para suministro de energía ofrece los siguientes beneficios:

1. Reducción en la factura de energía.
2. Monitorización del consumo y posible auto-regulación del consumo.
3. Protección del medio ambiente:
Reducción de la huella de carbono, menor emisión de gases que producen el

efecto invernadero, una instalación fotovoltaica es equivalente a plantar varias decenas de árboles.

4. Cubrir la demanda y expandir la cobertura.

6. CONCLUSIONES

La investigación desarrollada en el presente trabajo de grado se llevó a cabo con el fin de analizar el sistema eléctrico residencial integrado con PFV, conocer el desempeño con curvas características de potencia entre consumo y generación, identificar la forma más adecuada de comunicación que dispone el inversor localizado en el parque tecnológico Guatiguará.

Se completó la instalación del sistema de paneles fotovoltaicos, un total de 8 módulos fotovoltaicos con una potencia nominal de 1980 [W], ubicados en la terraza del edificio de investigaciones del PTG. Las conexiones eléctricas se fijaron dentro del laboratorio de integración Energética acoplado al tablero de conexión. Se instaló el inversor SMA dentro del laboratorio 308, se creó un tablero de tomas para simular el escenario del hogar residencial.

Con lo anterior se creó la instalación de un escenario PFV acoplado al sistema Eléctrico residencial: Paneles fotovoltaicos, Inversor Sunny Boy SMA (on-grid) y el grupo de cargas eléctricas.

La comunicación del inversor SMA se describe en las formas que dispone el equipo, definiendo así la alternativa adecuada para el usuario en cuanto a la capacidad de velocidad de transmisión de los datos, optando entre la comunicación mediante el módulo *Speedwire* y el módulo RS485. El uso de medidores inteligentes con la comunicación bidireccional hace que el usuario tenga una retroalimentación con el operador o el comercializador permitiendo información del sistema eléctrico, siendo un pilar en este sistema integrado de recolección de información, así como visualizar y controlar su consumo diario.

Por otro lado las políticas basadas en la ley 1715 de mayo 2014 amplía los beneficios de implementar estos sistemas en edificaciones residenciales reduciendo el impuesto de renta por hasta el 50 % de la inversión inicial, que se distribuye en el transcurso de los 5 años siguientes, esto según el artículo 11 de la presente ley, se exime del pago del IVA a todos los equipos y servicios acotados por la UPME que se utilicen, además no se le cobrara aranceles a los equipos, maquinaria que se importe (artículo 14 ley 1715 de mayo del 2014).

Se extrajo la información del escenario residencial creado con un grupo de cargas (aparatos eléctricos), utilizando un analizador de redes conectado en la carga y a su vez un medidor entre la carga y la red eléctrica, registrando corriente y voltaje

consumidos y generados.

Para el análisis de la información generada por el escenario residencial, se elaboró un estudio de un mes, durante este tiempo se hicieron diferentes combinaciones de cargas conectadas cada hora de 9.a.m. a 5.p.m y registrando datos cada diez minutos. Se sintetizaron todos los datos en tablas de Excel con el objetivo de organizar mejor la información y proponer un modelo para el manejo de esta. El resultado se interpreta mediante curvas de generación fotovoltaica vs curvas de consumo diario, semanal y mensual.

Se obtiene que:

- Un sistema de paneles fotovoltaicos de 1980 Wp puede suministra el consumo promedio de un hogar residencial para el escenario planteado.
- En el análisis diario se observó que el abastecimiento a horarios de 9.a.m a 5.p.m se vea afectado por el cambio de la incidencia solar, a la vez por cargas que demanden más de lo que proveen los PFV en ciertos momentos haciendo que la red compense el suministro de energía.
- En cuanto al consumo promedio mensual se obtiene que la generación promedio cubre en su totalidad la demanda para el escenario plantado y deja un excedente no consumido para inyectar a la red pública.
- De las curvas de demanda de la ESSA Vs Generación se pudo determinar que para los usuarios de estrato 1, 2,3 y 4 cubre en su totalidad la energía en horarios de 9.a.m a 4.p.m del día, mientras que para el estrato 5 se aprecia solo el abastecimiento entre 9:00am y 2:00pm, a partir de las 3.p.m se requiere el suministro en su mayoría de la red eléctrica.

Es importante recalcar que el ahorro varía de acuerdo a las cargas conectadas pero brinda al usuario una vista más amplia de lo que se puede economizar en forma global.

Para los estratos 1 y 2 se diría, que el sistema esta sobreestimado ya que puede abastecer en su totalidad la demanda incluso a 1kW generado.

Según el análisis realizado para el caso del estrato socioeconómico 3, se evidencia que la inversión en capital a largo plazo se recupera en un periodo de aproximadamente 10 años, con un beneficio adicional de 25 años de vida útil de los paneles fotovoltaicos y bajos costos de mantenimiento de la instalación.

5. RECOMENDACIONES

Dado que el rango de trabajo del equipo SMA es muy exacto se garantiza una adecuada regulación de tensión en el punto de conexión común, para garantizar que el equipo Sunny Boy no presente: “fallo de red” y “Error de reconexión red”, ambos mensajes de error son debido a que las tensiones de red en el punto de conexión del inversor eran demasiado altas.

Se sugiere aprovechar la reciente instalación del sistema fotovoltaico para futuros trabajos de investigación involucrando el almacenamiento de la energía y así evaluar el comportamiento del sistema en horas sin irradiación solar.

Sería favorable la incorporación de un módulo de comunicación para el inversor fotovoltaico que facilite la interacción del sistema, y tal vez crear una interfaz de fácil manipulación para el usuario, involucrando el control del sistema desde la nube, admitiendo que el concepto del internet de las cosas es el objetivo tecnológico en desarrollo.

Se recomienda la gestión de otros módulos fotovoltaicos para estudiar el comportamiento del sistema con el inversor trabajando a su capacidad máxima. Además de medidores bidireccionales para la gestión del sistema energético.

Con el sistema creado en el PTG podría sugerir el desarrollo de hardware y software que complementen los medidores inteligentes y que permita el posicionamiento del sistema de gestión energética.

El marco de referencia normativo y reglamentario en Colombia ha evolucionado de manera significativa para establecer leyes y decretos relacionados con la gestión energética. La ley 1715 de 2014 constituye un paso importante para la implementación e incentivos para las instituciones que deseen crear proyectos basados en eficiencia energética y formas de energía renovables. Aún falta detallar aspectos como las tarifas de remuneración para pequeños generadores, como caso puntual en Latinoamérica: Argentina que retribuye en hasta 0,015 \$/kWh generado [14]. Además, se precisa adoptar campañas de socialización para que el usuario promedio entienda los beneficios ambientales, sociales y económicos reales que se obtienen al incorporar tecnologías de generación de energías renovables en su sistema eléctrico.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] UPME, & BID. *Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia*.2015.Disponible en: http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf (integración energías renovables _pdf)
- [2] Colombia.E. D. S. S. . E. Essa, “Norma Para el Cálculo y Diseño de Sistemas de Distribución.,” p. 165, 2004.(normas técnicas de la essa_pdf)
- [3] Congreso de Colombia, “Ley N° 1715 del 13 de mayo de 2014,” *Upme*, no. May, p. 26, 2014.(ley 1715_2014)
- [4] Fundación Telefónica, “Smart Energy. TIC y energía: un futuro eficiente,” 2013.(smart energy)
- [5] ACEROSUÁREZ, Liliana&FONSECA JIMENO, Carlos. Análisis de las Alternativas Tecnológicas de Medidor y Transferencia Inteligente y su Compatibilidad para la Integración en una Red Inteligente Residencial. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander, facultad de físico mecánicas. 2013. 139p.(tesis de 148659)
- [6] L. Dávila Gómez, “Modelado para la simulación, el diseño y la Validación de inversores fotovoltaicos Conectados a la red eléctrica,” p. 248, 2011.(dianelt-diseño y modelado)
- [7] Ordoñez, G.,Ortiz, M., Patiño, D., Pavas, A., Quijano, N.,...Torres, O. HACIA UNA CIUDAD INTELIGENTE: DISEÑO DE UNA MICRORED INTELIGENTE PILOTO - SILICE FASE III. 2014(informe final ver)
- [8] Universidad Nacional de Colombia, “Determinacion del consumo final de energia en los sectores residencial urbano y comercial , y determinacion de consumos para equipos domesticos de energia electrica y gas,” p. 519, 2006.-(UPEM (1))
- [9] G. E. Residencial, “CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA DE LA TOPOLOGÍA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA RESIDENCIAL . Walter Gómez Rodríguez Gustavo Adolfo Archila Ramírez,” 2012.(145261)
- [10] Congreso de la República de Colombia, “Ley 697 de 2001,” *D. Of.*, vol. CXXXVII, no. 44573, pp. 5–8, 2001.(ley 697)
- [11] Colombia.CONGRESO DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA. D. E. Energías and R. Irena, “Ley No. 1665,” Por lo cual se crea el estatuto de la agencia internacional de energía renovable (IRENA).Bogota.D.C p. 63, 2009.(ley 1665 del 16 de julio)
- [12] Colombia.CONGRESO DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA “06_Resolución_549_2015.pdf.”.Por lo cual se reglamenta el capitulo 1 del titulo 7 del parte 2 , del libro 2 del Decreto 1077 de 2015 , en cuanto a los parametros y lineamientos de contrucción sostenible y se adopta la Guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones.Ministerio de vivienda, ciudad y Territorio, Bogota D.C.,2015 .(06_resolución 549)

- [13] D. E. L. Cliente and D. E. L. Cliente, "TARIFAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA (\$ / kWh) REGULADAS POR LA COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS (CREG) MARZO DE 2017," p. 2017, 2017.(tarifario 2017)
- [14] CONRADO MORENO, Figueredo. Leyes para las energías renovables en américa Latina y el Caribe.[En línea].La Habana, Cuba. .Energéticas Renovables (CETER). (Recuperado el 12 de marzo del 2017).Disponible en <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia56/HTML/Articulo05.htm>

BIBLIOGRAFIA

ANDRÉS, C., ANDRADE, D., & HERNÁNDEZ, J. C. Smart Grid: Las TICs y la modernización de las redes de energía eléctrica. 2011. 81p.

CONGRESO DE COLOMBIA, 'Ley N° 1715 Del 13 de Mayo de 2014', *Upme*, 2014, 26p. Disponible en: <<https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>>

COMMUNITY & DISTRICT TECHNOLOGY GROWATT NEW ENERGY TECHNOLOGY Co . LTD. 28p.

CREG. AUTOGENERACIÓN A GRAN ESCALA. *Comision de Regulacion de Energia Y Gas*. 2015.

DÁVILA GÓMEZ, L. Modelado para la simulación, el diseño y la Validación de inversores fotovoltaicos Conectados a la red eléctrica. 2011. p. 248.

INFORME MENSUAL DE VARIABLES DE GENERACIÓN Y DEL MERCADO ELÉCTRICO COLOMBIANO – Enero De 2015 Subdirección De Energía Eléctrica – Grupo De Generación. 2015. p.1–16.

ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A. Norma Para el Cálculo y Diseño de Sistemas de Distribución. 2004. 165p.

ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A. Tarifas de energía eléctrica (\$ / kwh) reguladas por la comisión de regulación de energía y gas (creg) marzo de 2017.

MENESES, C., & ZAMBRANO, J. C. Estado Del Arte De Los Algoritmos De Logica Adaptativa De Las Actividades Humanas En El Enfoque De Redes Inteligentes, 2011. p.1–84

MORENO GOMEZ, J. P. Estado del arte de la tecnología en redes inteligentes residenciales. 2011. 50p.

ORDOÑEZ, G., Ortiz, M., Patiño, D., Pavas, A., Quijano, N.,...Torres, O. HACIA UNA CUIDAD INTELIGENTE: DISEÑO DE UNA MICRORED INTELIGENTE PILOTO - SILICE FASE III. 2014.

PELLEGRINI, V. S. Análisis de los Índices de THD de Inversor Solar SUNNY BOY SB-1200 en Inyección a la Red con Baja Irradiancia Solar, 42p

SUNNY BOY 3000tl-us / 3800tl-us /4000tl-us / 5000tl-us / 6000tl-us / 7000tl-us / 7700tl-us,100p.

TRUJILLO RODRÍGUEZ, C. L., VELASCO DE LA FUENTE, D., FIGUERES AMORÓS, E., GARCERÁ SANFELIÚ, G., & MORENO GUACANEME, J. Diseño, modelado e implementación de inversor conectado a la red eléctrica a partir de fuentes renovables. 2012. Disponible en: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2012.2.a01>.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Determinación del consumo final de energía en los sectores residencial urbano y comercial , y determinación de consumos para equipos domésticos de energía eléctrica y gas, 2006. 519. Disponible en: http://www.corpoema.com/Informacion/FNCE/Eficiencia/INFORME_FINAL_RESIDENCIAL.pdf

UPME. Proyección de demanda de energía eléctrica en Colombia. *Sial*, 2014. 46p. Disponible en: http://www.siel.gov.co/siel/documentos/documentacion/Demanda/proyeccion_demanda_ee_Mar_2014.pdf

UPME. Plan Energético Nacional Colombia: Ideario Energético 2050. *Unidad de Planeación Minero Energética, República de Colombia*, 2015. 184p. Disponible en: http://www.upme.gov.co/Docs/PEN/PEN_IdearioEnergético2050.pdf

UPME. ELÉCTRICA Y POTENCIA Revisión Enero 2016.2016. 28p. Disponible en: http://www.siel.gov.co/siel/documentos/documentacion/Demanda/UPME_Nota_Tecnica_Demanda_Energia_Electrica_Enero_2016.pdf

ANEXOS

Anexo A. MANUAL DEL EQUIPO SUNNY BOY SMA.



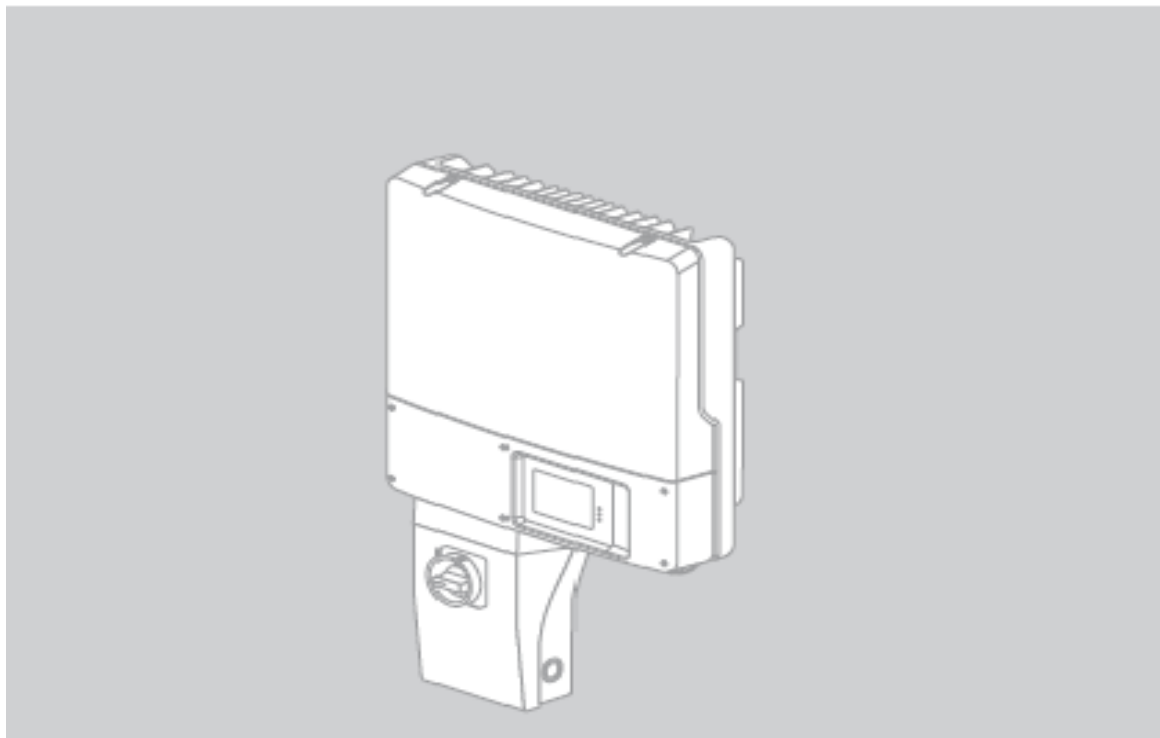
Inversor fotovoltaico

SUNNY BOY

3000TL-US / 3800TL-US / 4000TL-US /

5000TL-US / 6000TL-US / 7000TL-US / 7700TL-US

Instrucciones de instalación



ANEXOS\MANUAL_SUNNY_BOY_4000TL_SMA\SB3-5TLUS22-IA-es-16W.pdf

Anexo B. FICHAS TECNICAS EQUIPOS DOMESTICOS UTILIZADOS.

NEVERA HACEB

Energía	
Voltaje	120V
Frecuencia	60Hz
Desempeño de consumo	A
Consumo	19,8 kWh/mes
Características generales	
Garantía	2 años en el compresor y 1 en los demás componentes
Color	Titanio
Peso	37,8 kg

Bombillas Led, Fluorescentes PHILLIPS

Operating and Electrical

order code	Power (Rated) (Nom)
168682	25 W
168674	200 W

order code	Power (Rated) (Nom)
168609	15 W

General information

order code	Main Application	Rated Lifetime (Hours)
168682	Household	3000 h
168674	longlife	1500 h

order code	Main Application	Rated Lifetime (Hours)
168609	General Lighting (G)	3000 h

EQUIPO DE TV MARCA SONY.



4.2.3 Características eléctricas de la Etapa de control

6-3 Electrical characteristics of control part
Vin=(BV(Ta+25°C)) unless otherwise specified

Parameter	Terminal	Symbol	Rating			Unit	Measurement condition
			MIN	TYP	MAX		
Operation start voltage	4-5	V(INON)	14.4	16	17.6	V	See specifications
Operation stop voltage	4-5	V(INOFF)	9	10	11	V	
Circuit current in operation	4-5	I(NOP)	—	—	30	mA	
Circuit current in non-operation	4-5	I(NOFF)	—	—	100	µA	
Maximum OFF time	—	T(OFFMAX)	4.5	—	55	µsec	
Minimum time for input of equal resonant signals	R1	T(HD)	—	—	1.5	—	
Minimum OFF time	R2	T(OFFMIN)	—	—	1.8	—	
O.C.P.F.B terminal threshold voltage 1	1-5	V(IC1)	0.68	0.73	0.78	V	
O.C.P.F.B terminal threshold voltage 2	1-5	V(IC2)	—	1.37	1.60	V	
O.V.P operation voltage	4-5	V(INOPV)	25.5	27.5	29.5	V	
Latch circuit sustaining voltage	4-5	I(NL)	—	—	400	µA	
Latch circuit release voltage	R3	V(INL OFF)	6.6	—	8.4	V	
Thermal shutdown operating temperature	—	T(TSD)	140	—	—	°C	

R1 Refer to the specifications.
R2 The minimum OFF time means TOFF with at the time when the minimum quasi-resonant signal is inputted.
R3 The latch circuit means a circuit operated by O.V.P and T.S.D.

4.2.4 Características eléctricas del Mos-Fet

6-4 Electrical characteristics of MOS FET part (Ta=25°C)

Parameter	Terminal	Symbol	Rating			Unit	Measurement condition
			MIN	TYP	MAX		
Drain-to-Source breakdown voltage	3-2	V(DS)	450*	—	—	V	See specifications
Drain leakage current	3-2	I(DS)	—	—	300	µA	
On-resistance	3-2	R(DSON)	—	—	0.43*	Ω	
Switching time	3-2	t ₁	—	—	250	nsec	
Thermal resistance	—	θ _{ch.F}	—	—	0.98	°C/W (Lead frame)	

* The values marked with * are different for each type of product. Please refer to the relevant specifications.

4.3 Función de cada una de las terminales y descripción de operación.

4.3.1 Terminal VIN (pin 4): Circuito de encendido.

El circuito de encendido inicia y para la operación de control de IC por la detección de voltaje que aparece en la terminal VIN (pin 4). El suministro de potencia (terminal de entrada Vin) del IC de control usa un circuito como el que se muestra en la fig. 4.1. Para iniciar el suministro de potencia, C2 es cargado por medio de la resistencia de encendido Rs.

Cuando el voltaje de la terminal Vin alcanza 16v (típicos), el control de la operación del circuito de encendido por la función del circuito de encendido. Como se muestra en la fig. 2, desde que la corriente del circuito esta contenido a máximo 100µA(a Vin=141v, To=25°C) hasta que el circuito de control inicia su operación, Rs puede ser de alta resistencia.

Plancha a vapor.

- Plancha seca y a vapor
- Spray
- Disparo de vapor
- Vapor vertical
- Función de autolimpieza
- Temperatura ajustable
- Indicador de encendido
- Base de cerámica
- Capacidad de tanque de agua: 200ml
- Cable de alimentación giratorio
- 1000W
- 120V/60Hz



VENTILADOR KALLEY.

- Tamaño 20"
- Funcionamiento silencioso
- 3 velocidades
- Flujo de aire de alta velocidad
- Ventilador de metal reforzado
- 120 grados de inclinación
- Dimensiones: 62 x 60 x 15 cm
- Peso Neto: 6.8Kg
- Potencia 200W
- Color cromado
- 120V/60Hz



COMPUTADOR PORTATIL ASUS.

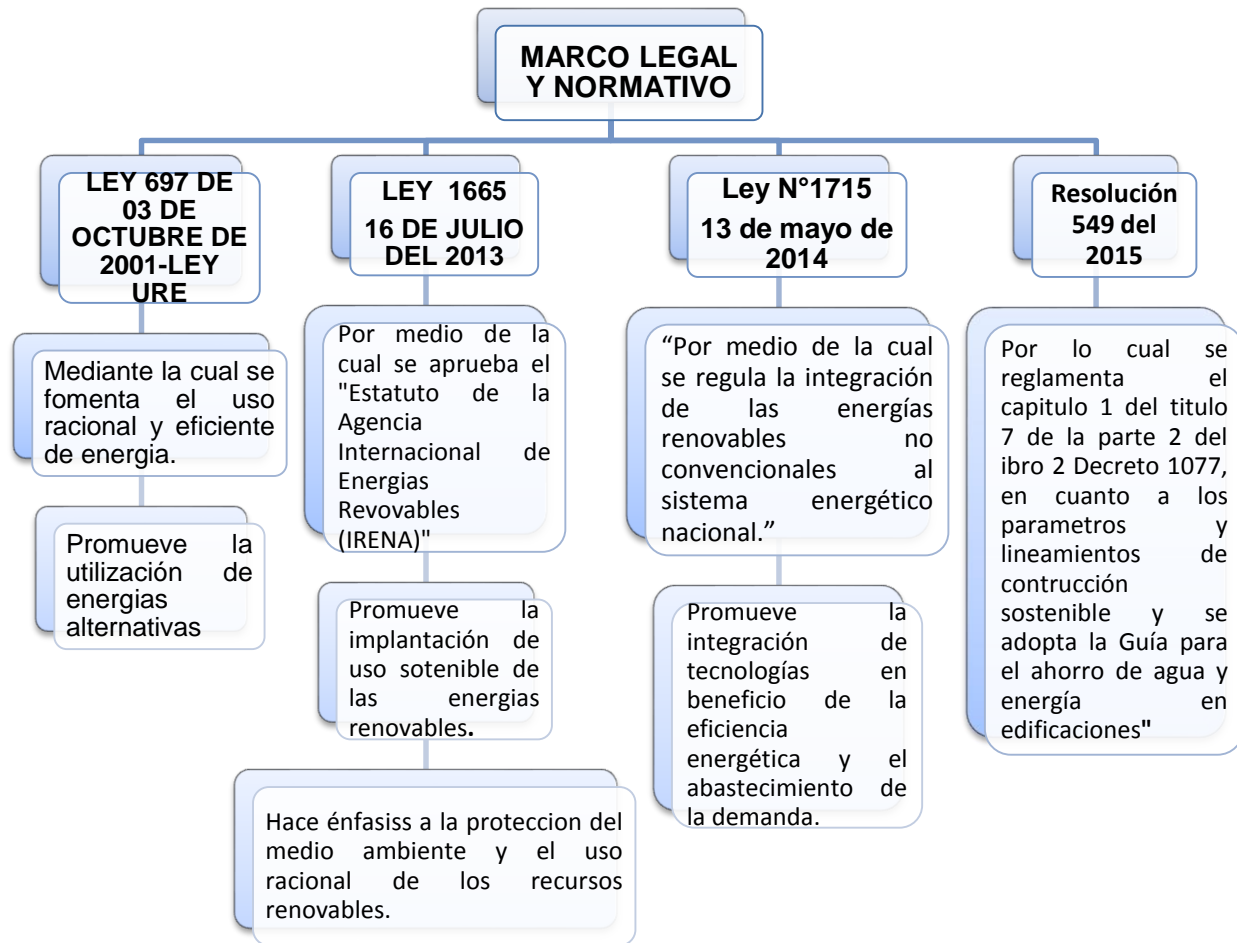


SANDWICHERA KALLEY

- Capacidad para 2 sandwiches (4 porciones)
- Superficies antiadherentes
- 700W de potencia
- Compartimento para guardar el cable
- Base antideslizante



Anexo C. MARCO LEGAL Y NORMATIVO.



Anexo D. FICHA TÉCNICA DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS.



Upsolar

Distribuidor Autorizado:



greenenergy latin america
la energía de la naturaleza

6"

Polycrystalline

PV module 60 cells

Key Features

-  **UL 1000V Rated**
-  **Flexible Production***
-  **Reinforced Module Warranty**
-  **Universal Design (residential, commercial, ground mounted)**
-  **Best seller for its performance/price ratio**













Secure Investment

Upsolar provides industry-leading product coverage for all our modules to ensure our customers achieve superior long-term value from their solar installations. In addition to a 10-year product warranty, which covers unanticipated module damage, Upsolar implements a 25-year performance guarantee known as the Reinforced Module Warranty.

Whereas traditional warranties offer only two trigger points over 25 years, the Reinforced Module Warranty features six trigger points at years 3, 7, 12, 16, 20 and 25. Upsolar also maintains relationships with third-party insurance providers to offer an additional layer of protection for interested parties.

PowerGuard Upsolar has teamed up with PowerGuard Specialty Insurance Services to provide customers with a second level of product coverage. The 25-year, non-cancelable warranty is backed by PowerGuard's network of trusted providers, each rated A (Excellent) or better by A.M. Best, meaning the warranty stays in place with or without Upsolar's involvement.

*Upsolar has expanded its manufacturing operations in Asia and South America, helping its modules stay true to the spirit of solar: 100% renewable. Please see www.upsolar.com and contact your local distributor to meet your needs.

Product guarantee for 10 years
Performance guarantee for 25 years



www.upsolar.com

Electrical Characteristics @ STC*

MODEL	UP - M240P	UP - M245P	UP - M250P	UP - M210P	UP - M280P
Max Power Pm (W)	248	245	259	255	266
Max Power Voltage Vm (V)	30.2	30.4	30.6	30.3	31.0
Max Power Current Im (A)	7.91	8.06	8.17	8.38	8.59
Open Circuit Voltage Voc (V)	37.6	37.0	38.0	38.2	38.4
Short-Circuit Current Isc (A)	8.46	8.45	8.59	8.55	8.69
Module Efficiency	14.4%	15.1%	15.4%	15.2%	16.0%
Maximum System Voltage (V)	1000(IEC)/1000(UL)				
Power Tolerance	0 ~ 3%				
Series Fuse Rating (A)	20A				

*STC Irradiance: 1000 W/m², Module Temperature: 25°C, AM1.5

Components & Mechanical Data

Front Glass	High Transparency Tempered Glass 0.120" / 3.0 mm
Junction Box	IP65 or above
Bypass Diode	3 Diodes
Output Cables	1.0 m / 3 EC, UL approved 14 mm ² , 15AWG (PV Wire Type)
Connectors	MCA, Amphenol TM (IEC and UL approved)
Frame	Anodized aluminum alloy type 6063-T5
Encapsulation Material	EVA (0.015" / 0.46 mm ± 0.001" / 0.03 mm thickness)
Back Sheet	White multi-layer polymer film
Temperature Range	-40°F to +134°F / -40°C to +100°C
Max Load	73 lbs / 33 kg (Standard) / 94.0 lbs (IEC Standard)
Impact Resistance	Steel ball - 1.18 kg / 535 g dropped from 51" / 1.3 m high

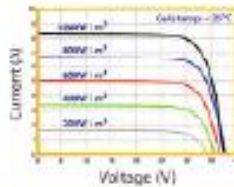
Specifications

Cells	Poly-crystalline silicon solar cells 6" x 6" / 150 mm x 150 mm
Number of Cells	60 (6 x 10)
Dimension (W x H x mm)	94.5" x 39.05" x 1.37" / 2400 x 992 x 40
Weight (lb / kg)	41.5 / 18.0

Temperature Coefficients

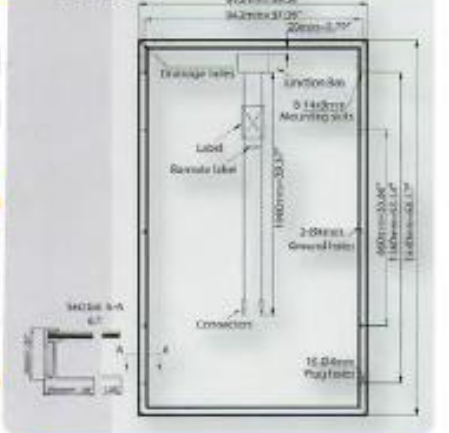
NOCT (°C)	45 ± 2
Temperature Coefficients of Isc (% / °C)	0.05 ± 0.01
Temperature Coefficients of Voc (% / °C)	-0.33 ± 0.02
Temperature Coefficients of Im (% / °C)	-0.02 ± 0.03
Temperature Coefficients of Vm (% / °C)	-0.42 ± 0.03
Temperature Coefficients of Pm (% / °C)	-0.45 ± 0.05

IV Curves



* Division of 100 W/m², Air Mass 1.5, AM1.5G

Rear View



Options Available

- Zip Frame
- SolarEdge Integrated
- Scrib Frame
- Frameless
- Tigo Integrated
- 35mm Frame

Distribuidor Exclusivo: Green Energy Latin America
 Bogotá, Calle 6 No. 3 - 17
 Ed. Jaehon Of. 402
 Cartagena de Indias - Colombia
 Tel: +57 (5) 9466832 - 300 464 9129
 317 513900 - 300 314 9462
 info@greenenergy-latnamerica.com
 www.greenenergy-latnamerica.com

KD240GH-2PB



High efficiency multicrystal photovoltaic module



EXAMPLES OF APPLICATION

- Grid-connected systems, for e.g.
 - Residential solar power systems
 - Public and industrial solar power systems
- Solar power stations



Free-field installation, Italy

CUTTING-EDGE TECHNOLOGY

Exhaustive research work and continuous further development of production processes enable the integrated Kyocera high performance solar cells with a standard size of 156 mm x 156 mm to achieve over 16 % efficiency, guaranteeing an extremely high annual yield of energy from the photovoltaic system.

To protect against the harshest weather conditions, the cells are embedded between a reinforced glass covering and EVA foil, and are sealed with a PET foil backing. The laminate is set in a sturdy aluminium frame which is easy to assemble. The module fulfils test conditions according to IEC 61215 ed. 2 for a surface load of 5,400N/m².

The junction box on the module backside is equipped with bypass diodes that eliminate the risk of the individual solar cells overheating (hot spot effect). Many series-connected photovoltaic modules can be easily wired using pre-assembled solar cables and multi-contact plugs.

Kyocera manufactures all the components at its own production sites – without buying in semi-finished products – to ensure consistently high product quality.

TUVdotCOM Service: Internet platform for tested quality and service
TUVdotCom-ID: 0000022299
IEC 61215 ed. 2, IEC 61730 and
Safety Class II
Kyocera is ISO 9001 and ISO 14001 certified and registered.

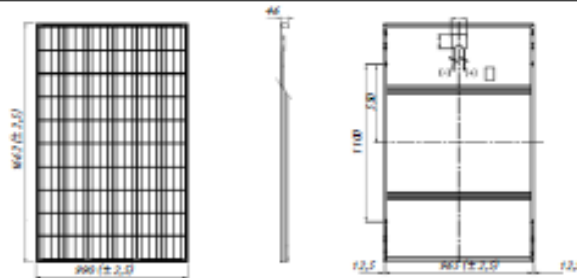


**KYOCERA
SOLAR**

We care!

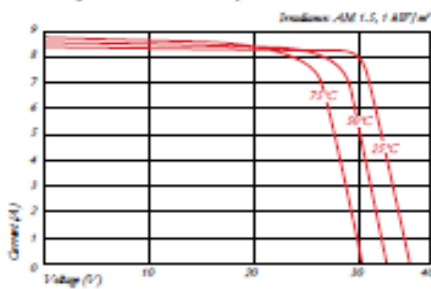
SPECIFICATIONS

in mm

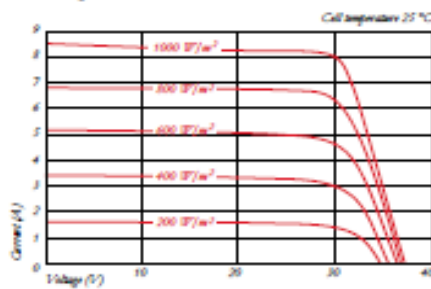


ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Current-Voltage characteristics at various irradiance levels



Current-Voltage characteristics at various irradiance levels



ELECTRICAL PERFORMANCE

PV Module Type	KD240GH-2PB
At 1000 W/m ² (STC)*	
Maximum Power	[W] 240
Maximum System Voltage	[V] 1000
Maximum Power Voltage	[V] 29.8
Maximum Power Current	[A] 8.06
Open Circuit Voltage (V _{oc})	[V] 36.9
Short Circuit Current (I _{sc})	[A] 8.59
At 800 W/m ² (NOCT)**	
Maximum Power	[W] 172
Maximum Power Voltage	[V] 26.7
Maximum Power Current	[A] 6.45
Open Circuit Voltage (V _{oc})	[V] 33.7
Short Circuit Current (I _{sc})	[A] 6.25
NOCT	[°C] 45.0
Power Tolerance	[%] +5 / -3
Maximum Reverse Current	[A] 15
Series Fuse Rating	[A] 15
Temperature Coefficient of V _{oc}	[%/°C] -1.22 x 10 ⁻³
Temperature Coefficient of I _{sc}	[%/°C] 5.15 x 10 ⁻³
Temperature Coefficient of Max. Power	[%/°C] -1.10
Reduction of Efficiency (from 1000 W/m ² to 200 W/m ²)	[%] 7.2

DIMENSIONS

Length	[mm]	1662 (±2.5)
Width	[mm]	990 (±2.5)
Depth / Incl. Junction Box	[mm]	46
Weight	[kg]	21
Cable	[mm]	(+)(1030) / (-)(300)
Connection Type		MC PV-KB13 / MC PV-K513
Junction Box	[mm]	112x12x15
IP Code		IP65

GENERAL INFORMATION

Performance Guarantee	10 ^{***} / 20 years ^{****}
Warranty	5 years ^{*****}

CELLS

Number per Module	60
Cell Technology	polycrystalline
Cell Shape (square)	156x156
Cell Bonding	3 busbar

* Nominal value under standard test conditions (STC) irradiance of 1000 W/m² at air mass AM 1.5 and cell temperature of 25 °C
 ** Nominal value under normal operating conditions (NOCT) irradiance of 800 W/m² at air mass AM 1.5 and ambient temperature of 45 °C
 *** 10 years or 10% of the initially installed power P under standard test conditions (STC)
 **** 20 years or 10% of the initially installed power P under standard test conditions (STC)
 ***** In the case of Europe

Your local Kyocera dealer:
SFE Solar Logistic, S.L.
 C/Lope Gómez de Marzoa, Edificio FEUGA, Oficina 12
 15705 Santiago De Compostela (A Coruña)
 Tel : +34 981 59 58 56 Email: contacto@sfe-solar.com

KYOCERA SOLAR
We care!

KYOCERA Fineceramics GmbH
 Solar Division
 Fritz-Mueller-Straße 27
 73730 Esslingen/Germany
 Tel: +49 (0)711-93 93 40 99
 Fax: +49 (0)711-93 93 40 50
 E-Mail: solar@kyocera.de
www.kyocerasolar.de

Anexo F. FICHA TÉCNICA DE LOS MODULOS DE COMUNICACIÓN.

MODBUS



The image shows a blue SMA solar inverter with a digital display. Large blue and white arrows point outwards from the inverter, symbolizing communication. The SMA logo is visible in the top right corner of the image area.

MODBUS PROTOCOL INTERFACE

Easy to Use

- Easy connection of SMA inverters
- Documented protocol standard (e.g., Modbus mapping according to SunSpec) for quick system integration

Flexible

- Use of standardized protocols enables manufacturer-independent integrity of system components
- Ready for requirements of California Rule 21

Communicative

- Protocols uploaded directly to inverter
- Retrieval of detailed values possible
- High-performance Ethernet interface for connecting data loggers or control room-operated PV systems

Safe

- Modbus recognized as an international and widespread industry standard
- SMA as a member of SunSpec Alliance
- SMA inverter is SunSpec certified

Fuente: <http://www.sma-america.com/products/solarinverters.html>

SMA\MODBUS-DEN1516-V13web.pdf

Technical Information



SMA Bluetooth

SMA Bluetooth® Wireless Technology in Practice



Fuente: <http://www.sma-america.com/products/solarinverters.html>

SMA\BT_Quick-TI-en-12_bluetooth.pdf



Información técnica
BUS DE CAMPO SMA SPEEDWIRE



Fuente: Fuente: <http://www.sma-america.com/products/solarinverters.html>

SMA\Speedwire-TI-es-10.pdf



- RS485**
- DE Verkabelungsprinzip
 - EN Cabling Plan
 - ES Asignación del cableado



[SMA\RS485Verkabelung-TI-de en es-13W.pdf](#)

Anexo G. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA POTENCIA GENERADA VS DEMANDA POR ESTRATOS 1, 2, 3, 4 Y 5 (PARA HORAS DE LA NOCHE).

Figura 21. Demanda ESSA Estrato 1_2 Vs Potencia Generada

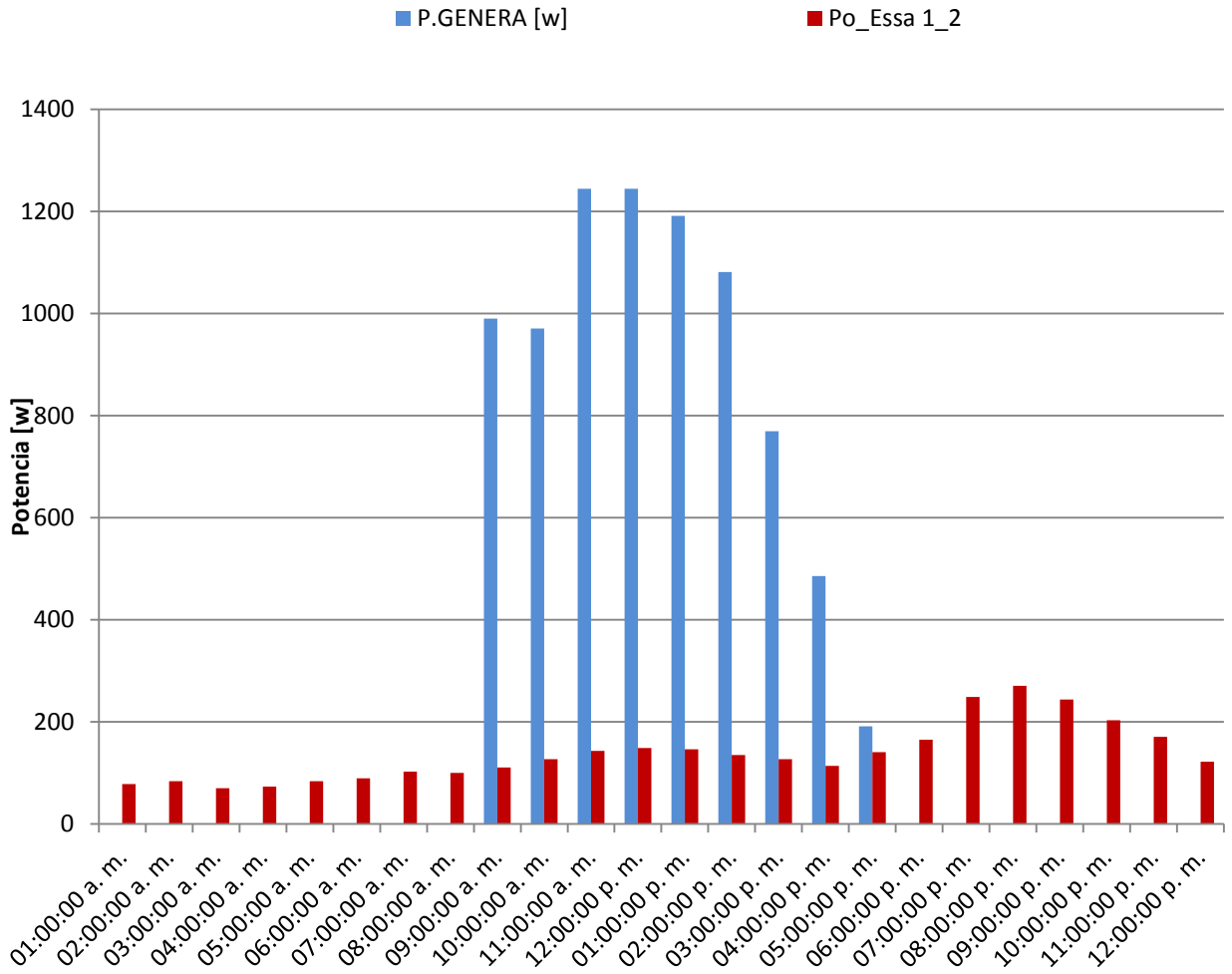


Figura 22. Demanda ESSA Estrato 3 Vs Potencia Generada

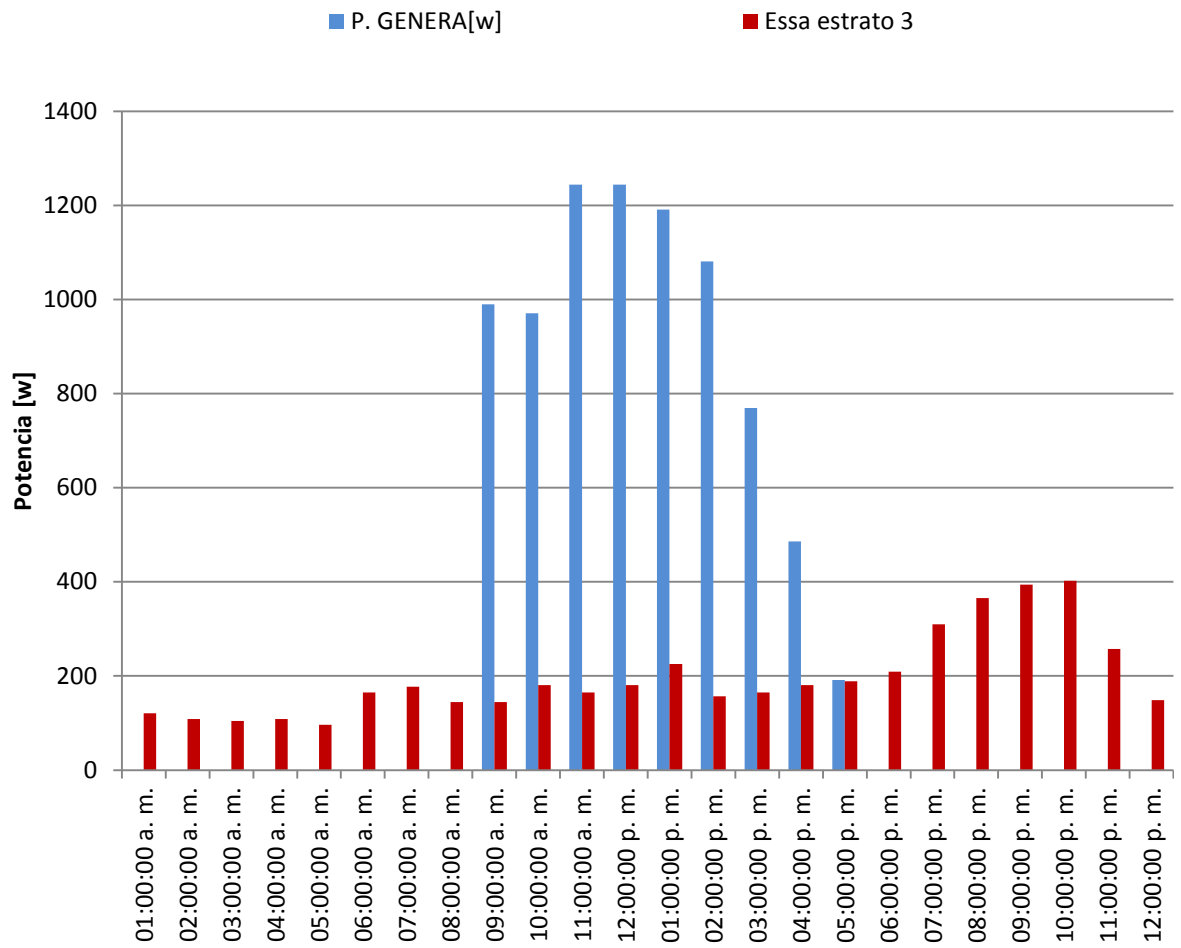


Figura 23. Demanda ESSA Estrato 4 Vs Potencia Generada

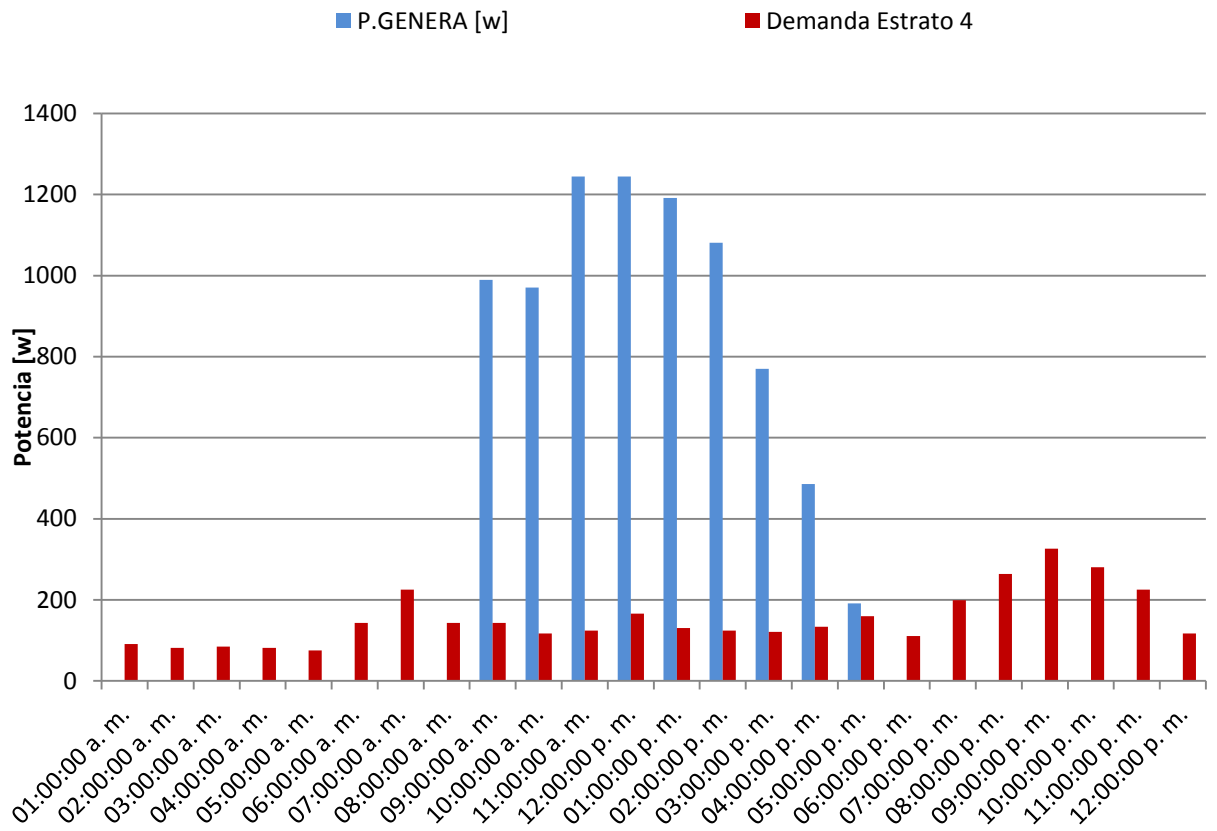
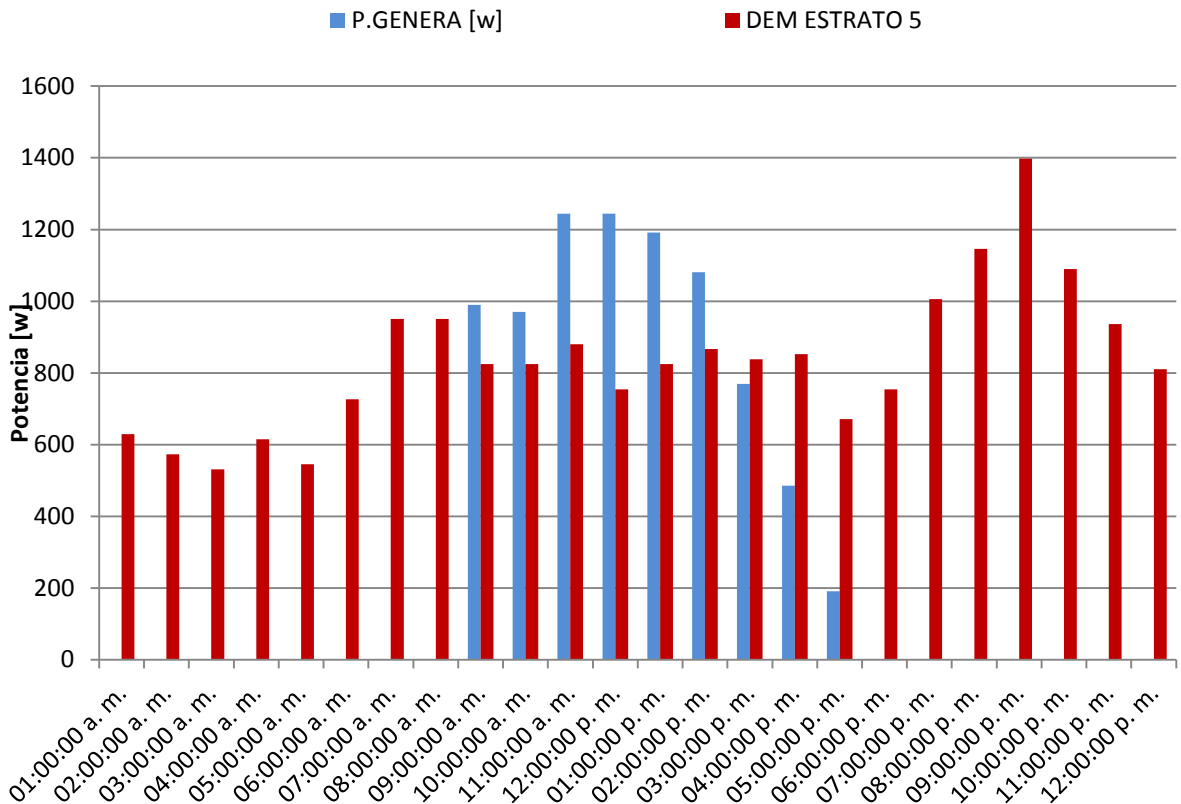


Figura 24. Demanda ESSA Estrato 5 Vs Potencia Generada



Se exponen curvas que permiten ilustrar al usuario la energía que se podría almacenar si se utilizara un banco de baterías por ejemplo en un escenario rural, donde el sistema eléctrico convencional, en algunos casos, tiene dificultad estructural de llegar. Se hizo una estimación como objetivo de determinar si la demanda en horas de la noche se puede suplir.

Las gráficas 19, 20, 21 y 22 representan el contraste entre perfiles de demanda de los diferentes estratos y la potencia generada, se observa que si el sistema almacenará la energía que se inyecta a la red durante el intervalo de operación del sistema fotovoltaico, se podría suplir la demanda de horas de la noche en los estratos 1, 2, 3 y 4. Se estimó que el consumo diario máximo de los estratos 1, 2, 3 y 4 es de 2303W entre las 6:00 p.m. y las 9 a.m. Sin duda alguna el sistema puede proveer la energía requerida, cabe resaltar que este promedio de consumo varía respecto al usuario residencial y el hábito de consumo diario.

Por su parte la figura 22 corresponde a la demanda de estrato 5. Se puede observar que, aunque no alcanza el abastecimiento total de la demanda, sugiere que el contraste de los ahorros energéticos logrados en el día con un nivel de compromiso del usuario podría conseguir abastecer en gran medida el sistema.

Anexo G. CÁLCULOS DE LA INVERSIÓN.

Cálculos de Costos de la Instalación.

COSTOS DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA 2kw

Parametros	Valor
Inversor	\$ 5.591.954
Modulos fotovoltaicos	\$ 7.068.000
Materiales	\$ 1.909.208
Instalación	\$ 300.000
Total	\$ 14.869.162

Cálculos Para abastecer un arreglo de potencia de 2KW

Potencia	2kw	
Paneles	8	
Potencia del Panel Solar	250W	6
Potencia del Panel Solar	240w	2
Precio de Unt.250w	\$ 892.500,00	
Precio de Unt.240w	\$ 856.800,00	
Total	\$ 7.068.600	

Calculos de Recuperación de la inversión

estimado de generación de un día	9400 kWh/día
Generación anual	3431 kWh/año
Precio del Kwh estrato 3	411,1 \$/kWh
Ahorro Anual	1410827,2 Cop
Periodo de Recuperación	10,54 años

COSTOS DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA 4KW

Parametros	Valor
Inversor	\$ 5.591.954
Modulos fotovoltaicos	\$ 14.280.000
Materiales	\$ 2.000.000,00
Instalación	\$ 600.000
Total	\$ 22.471.954,00

Cálculos Para abastecer un arreglo de potencia de 4KW

Potencia	4kw
Paneles	16
Potencia del Panel Solar	250W
Precio de Unt.del panel	\$ 892.500,00

Cálculos de Recuperación de la inversión

estimado de generación de un día	18800 kWh/día	
Generación anual	6862 kwh/año	
Precio del Kwh estrato 3	411,1\$/kWh	\$/kWh
Ahorro Anual	\$ 2.821.654,40	Cop
Periodo de Recuperación	7,96 años	

COSTOS DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA 8kw

Parametros	Valor
Inversor	\$ 5.591.954

Modulos fotovoltaicos	\$ 28.560.000
Materiales	\$ 4.000.000
Instalación	\$ 1.200.000
Total	\$ 39.351.954

Cálculos Para abastecer un arreglo de potencia de 8KW

Potencia	8kw
Paneles	32
Potencia del Panel Solar	250W
Precio de Unt.del panel	892500
Total	\$ 28.560.000

Calculos de Recuperación de la inversión

estimado de generación de un dia	37600 kWh/dia
Generación anual	13724 kwh/año
Precio del Kwh estrato 3	411,1\$/kWh \$/kWh
Ahorro Anual	5643308,8 Cop
Periodo de Recuperación	6,97 años