

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UN SISTEMA DE
PANELES FOTOVOLTÁICOS CON ÁNGULO DE INCLINACIÓN FIJO.**

SANTIAGO ANDRÉS BARRAGÁN VEGA

**UNIVERSIDAD ECCI
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ, D.C.
2016**

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UN SISTEMA DE
PANELES FOTOVOLTÁICOS CON ÁNGULO DE INCLINACIÓN FIJO.**

SANTIAGO ANDRÉS BARRAGÁN VEGA

Anteproyecto de Investigación

Dirigido por: Ing. Msc Javier A. Bonilla P.

**UNIVERSIDAD ECCI
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2016**

Tabla de contenido

Lista de ilustraciones	4
1. Título de la investigación	5
2. Problema de la investigación	5
3. Objetivos de la investigación	6
3.1. Objetivo general	6
3.2. Objetivos específicos.....	6
4. Justificación y delimitación de la investigación	6
5. Marco de referencia de la investigación	7
5.1. Marco teórico	7
5.3. Marco legal.....	15
5.4. Marco histórico	16
6. Tipo de investigación	17
7. Diseño metodológico	17
8. Fuentes para la obtención de la información	18
9. Recursos	18
10. Cronograma	19
11. Desarrollo	20
.....	20
12. Conclusiones	31
13. Anexos	33
13.1 Anexo 1.....	33
13.2 Anexo 2.	35
Potencia mes de Enero	36
.....	36
Potencia Periodo 1 enero – 16 julio del 2015	37
.....	37
Energía (Wh) Vs Eficiencia	38
.....	38
13.3 Anexo 3.....	39
Corriente celdas fotovoltaicas – in out convertidor	39
Variación de la corriente a la entrada y salida del convertidor Fecha 12 / 08 / 2015	40
.....	40
.....	42
13.4 Anexo 4.....	43
13.5 Anexo 5.....	44
14. Referencias	50

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 Potencia empleada global en grados de detalle crecientes.....	7
Ilustración 2 Potencia acumulada en Europa a finales de 2010.....	8
Ilustración 3 Radiación Anual en algunas ciudades de Colombia.....	10
Ilustración 4 Evolución del precio de las células fotovoltaicas de silicio cristalino en \$/Wp entre 1977 y 2014.....	12
Ilustración 5 Distribución promedio de la radiación solar en el planeta.....	14
Ilustración 6 Angulo óptimo de inclinación de un panel solar.	15
Ilustración 7 Calentador de la cafetería de la antigua Empresa de Energía de Bogotá (EEB).....	16
Ilustración 8 Baterías ROLLS S-530.....	20
Ilustración 9 Bornes de las baterías sulfatados.....	20
Ilustración 10 Caja de conexiones eléctricas.....	21
Ilustración 11 Estructura del sistema eléctrico: Baterías y convertidores, deteriorados por la oxidación.	21
Ilustración 12 Conexión expuesta al ambiente.....	22
Ilustración 13 Regulador solar Morningstar.....	22
Ilustración 14 Convertidor marca Conext SW.....	23
Ilustración 15 Paneles fotovoltaicos.....	23
Ilustración 16 Esquema de los paneles fotovoltaicos escala 1:1.....	24
Ilustración 17 Planos de los paneles fotovoltaicos escala 1:1, vista frontal, superior, lateral e isométrica de los paneles.....	25
Ilustración 18 Esquema del sistema fotovoltaico sede P.....	26
Ilustración 19 Puntos de toma de datos de irradiación.....	27
Ilustración 20 Tarifa de energía eléctrica regulada por la comisión de regulación de energía y gas.....	¡Error!

Marcador no definido.

1. Título de la investigación

Evaluación de la eficiencia energética de un sistema de paneles fotovoltaicos con ángulo de inclinación fijo

2. Problema de la investigación

A través de los últimos años el aumento en la población mundial y el constante incremento en la demanda energética per cápita han obligado a los sistemas de generación de energía a ser capaces de suplir cada vez más energía térmica y eléctrica. Gran parte de la energía entregada por estos sistemas se ha basado en el aprovechamiento de fuentes fósiles tales como el carbón, gas natural y los derivados del petróleo. Como consecuencia de estos procesos, en los cuales se aprovecha la energía química contenida en los combustibles, se han generado diversos impactos ambientales, sociales y económicos que son cada vez más notorios en los diferentes países alrededor del planeta. Entre los impactos asociados al uso de combustibles fósiles para la generación de energía se encuentran:

- Aumento en la emisión de gases de efecto invernadero
- Calentamiento global
- Lluvias ácidas
- Acidificación de los océanos
- Desplazamiento forzoso de poblaciones donde hay recursos fósiles disponibles
- Guerras y violencia en zonas y países con yacimientos
- Aumento en la brecha económica entre los que poseen los recursos y los que no.
- Dependencia energética

Con el ánimo de mitigar varios de estos problemas, diversos gobiernos han llevado a cabo estrategias para promover políticas que incentiven el uso de las fuentes de energía renovable cuya principal característica es su mayor velocidad de producción en comparación con la de consumo. Entre las principales fuentes de energía renovable existentes actualmente se encuentran la energía del viento, biomasa, hídrica, geotérmica, mareomotriz y solar. Esta última es la fuente renovable con mayor potencial de uso debido a que se basa principalmente en la radiación solar incidente sobre el planeta. Para aprovechar esta fuente de energía y transformarla en energía eléctrica se han desarrollado dos grandes tecnologías detrás de las cuales hay toda una industria creciente y en progreso. Una de las tecnologías para el uso de la radiación solar como fuente de energía eléctrica se basa en la concentración de las ondas electromagnéticas en áreas específicas de tal manera que se alcancen temperaturas elevadas. Gracias a este fenómeno es posible transferirle la energía térmica a un fluido de trabajo, generalmente vapor o aceite térmico, y utilizar un sistema de transformación de potencia mediante ciclo de vapor, ciclo Brayton o combinado. Sin embargo, a pesar de que esta industria tiene ventajas interesantes tales como su eficiencia o capacidad de generación de potencia, no es muy adecuada para la generación a pequeña escala y de manera modular.

Por otro lado, se ha desarrollado una tecnología en la cual se emplean las características fisicoquímicas de los semiconductores y el efecto fotoeléctrico para transformar la radiación solar incidente en energía eléctrica de una forma más directa sin necesidad de convertirla en energía térmica previamente. Esta tecnología en la cual se genera potencia eléctrica mediante la radiación solar incidente en una superficie semiconductor es la base de los sistemas fotovoltaicos.

Diversos países tales como Alemania, Japón, China y USA han promovido considerablemente el uso de paneles fotovoltaicos como mecanismos de generación de potencia a pequeña, mediana y gran escala. A pesar de que en algunos de estos países, la cantidad de radiación solar recibida durante el año no sea excesiva ni constante, debido a las estaciones, el uso de sistemas fotovoltaicos se ha convertido poco a poco en parte de su cultura energética.

En Colombia, los niveles de radiación en ciertas zonas del país son interesantes, generando expectativa de lo que se puede llegar a hacer para promover esta tecnología. Más aún la firma de la ley 1715 permitirá incrementar la importación de sistemas fotovoltaicos con menos aranceles y acceder a algunos beneficios tributarios de la generación de energía eléctrica a partir de esta fuente de energía renovable. Sin embargo, uno de los principales problemas que esta industria viene encontrando en el país es la falta de información confiable de radiación solar puntual recibida durante un periodo de tiempo considerable y falta de resultados relacionados con el desempeño y eficiencia energética de sistemas en diversos lugares. Siendo más específicos, no se encuentra mayor información del comportamiento de sistemas solares en Bogotá. Teniendo en cuenta estas situaciones, se definió el problema central de esta investigación, el cual se describe mediante la siguiente incógnita: ¿Cómo es el comportamiento de energético de un sistema de paneles fotovoltaicos integrados a la red, con ángulo de inclinación fijo instalado en Bogotá?

3. Objetivos de la investigación

3.1. Objetivo general

Establecer el comportamiento de la eficiencia energética de un sistema de paneles fotovoltaicos integrados a la red y con ángulo de inclinación fijo.

3.2. Objetivos específicos

- Identificar la variación de la radiación recibida por los paneles fotovoltaicos durante el periodo Junio-Septiembre del presente año.
- Evaluar la actual capacidad de generación de potencia eléctrica que poseen los paneles fotovoltaicos.
- Simular en el programa PV*SOL ® las condiciones actuales de los paneles fotovoltaicos para encontrar el ángulo cenital óptimo
- Analizar estrategias de mejora aplicables a los paneles fotovoltaicos actualmente ubicados en la terraza del edificio P de la Universidad ECCI.

4. Justificación y delimitación de la investigación

4.1. Justificación

Como se mencionó anteriormente uno de los principales inconvenientes existentes para el desarrollo de la industria de generación a partir de sistemas fotovoltaicos es la falta de información y resultados en lugares específicos del país. Por tal motivo el presente estudio busca resolver la inquietud descrita en el problema e identificar el comportamiento de la eficiencia energética de un sistema con ángulo de inclinación fijo e integrado a la red ubicado en Bogotá.

4.2. Delimitación

El presente proyecto de tesis hace parte de un proyecto macro en el cual se evalúa el potencial de generación de energía a partir de sistemas fotovoltaicos y eólicos en diversas partes del territorio nacional y en especial en zonas de Cundinamarca y Boyacá. Teniendo en cuenta que este trabajo es parte de dicho proyecto, pero que es desarrollado como requisito para obtener el grado de ingeniero mecánico, se ha definido que el tiempo de duración no sea mayor a cuatro meses. Se hará la evaluación del comportamiento de los sistemas ubicados en la terraza de la sede P durante el periodo de tiempo comprendido entre Junio y Septiembre del presente año; sin embargo, se definirá la metodología de análisis de eficiencia energética y el modelo de simulación de comportamiento que podrán seguir siendo aplicados en el proyecto durante los siguientes meses a la terminación de este trabajo.

5. Marco de referencia de la investigación

5.1. Marco teórico

El consumo energético mundial se incrementa como consecuencia del constante aumento poblacional, viéndose una mayor dependencia en el consumo de las diferentes fuentes de energía (fósiles, renovables). Por otro lado la energía nuclear ha venido disminuyendo desde el año 2000 (1), debido a los problemas que esta representa en cuanto manejo de sus desperdicios y los incidentes que se han presentado por su manejo, por ejemplo: el caso del accidente nuclear de Chernóbil y de la más recientemente problemática en Japón. (2).

El consumo mundial de energías primarias ha aumentado un 2.3% en el 2013, superando el del año anterior (1.8%), lo que aún sigue estando por debajo del promedio que se ha realizado de los últimos 10 años que es del 2.5% (3). Una fuente de energía primaria es toda aquella disponible en la naturaleza antes de ser convertida o transformada. Igualmente, el petróleo sigue siendo el combustible más usado a nivel mundial con una participación del 37 %, (ver ilustración 1), pero aun así, ha seguido perdiendo participación en el mercado cada año, aunque en la actualidad se siguen tomando medidas que apoyen el crecimiento del consumo de petróleo, ya que acuerdos energéticos como el de Irán en el sector nuclear, ayudarían a compensar el déficit de demanda del crudo, debido al exceso de oferta de este hidrocarburo (4). El petróleo es un combustible fósil y como tal presenta dos problemas importantes: primero, que no es una fuente renovable y con el tiempo se irá agotando, y segundo, la combustión de estos elementos generan impactos sociales y ambientales como la polución del aire o contaminación del agua.

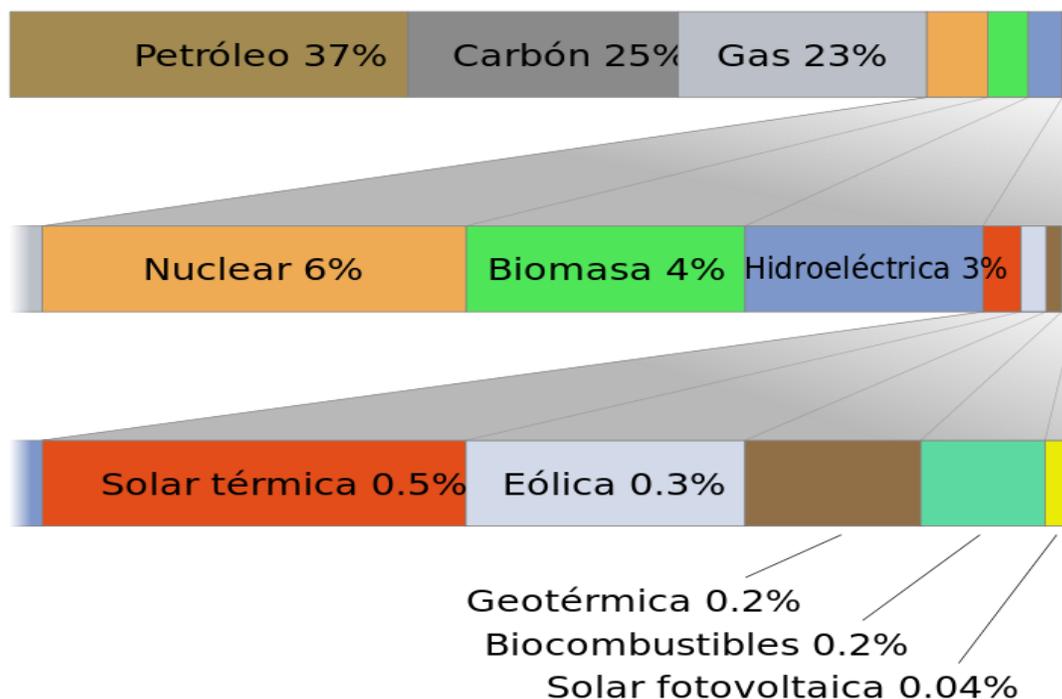


Ilustración 1 Potencia empleada global en grados de detalle crecientes

Fuente: (5)

El gas natural a nivel mundial ha tenido un crecimiento promedio de 2.6% lo que ha indicado también que en los países pertenecientes a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) representarían un aumento del 1.8% y los países que no pertenecen al OCDE tan solo del 1.1%. Los más altos índices de crecimiento en cuanto al consumo de gas se observan

en los Estados Unidos (2.4%) y China (10.8%), lo que hace que estas dos naciones tengan un crecimiento global del 81%. (3)

El carbón representa una participación mundial del 25%, (ver ilustración 1) siendo utilizado en más de 70 países. El carbón posee una producción de más de 4.030 Mt de carbón, un incremento del 38% en los últimos 20 años y una proyección de crecimiento de un 1.5% durante el periodo 2002 - 2030. De igual manera se espera que la producción global de carbón alcance los 7.000 millones de toneladas en el 2030 de los cuales china consumirá la mitad de este aumento- (6).

Las energías renovables aunque solamente tienen un 12.9 % de la demanda mundial (7), han seguido en aumento, con una participación de la biomasa de un 10.2%, la energía hidráulica con un 2.3%, la energía eólica en un 0.2% y la geotérmica y solar con tan solo un 0.2%. De acuerdo a las expectativas económicas de la ONU, se espera que para el 2030 las energías alternativas puedan tener una demanda del 30% (7). En la actualidad podemos ver como países como España promueven constantemente el uso de este tipo de energías limpias; según la Red Eléctrica España (REE) el 47% del consumo español se produjo por fuentes que no implicaban la producción de CO₂. En este país la mayor cantidad de energía renovable proviene del viento (8) Así mismo, la Energía Fotovoltaica ha venido experimentando un mayor crecimiento a nivel mundial. A continuación se mencionan algunas situaciones que se viven en diferentes países.

Alemania es líder mundial en la instalación de este tipo de energía (ver figura 2), en el año 2011 la energía produjo una cantidad de 18 TWh de electricidad lo que representa el 3% del consumo total de la nación. Es de resaltar también la implementación de leyes introducidas por el gobierno alemán. Existe la "*German Renewable Energy Act*", ley publicada en el año 2000 que ha logrado generar una reducción en el costo de instalación de este tipo de energía fotovoltaica en un 50 % en un periodo de 5 años comenzando en el 2006.

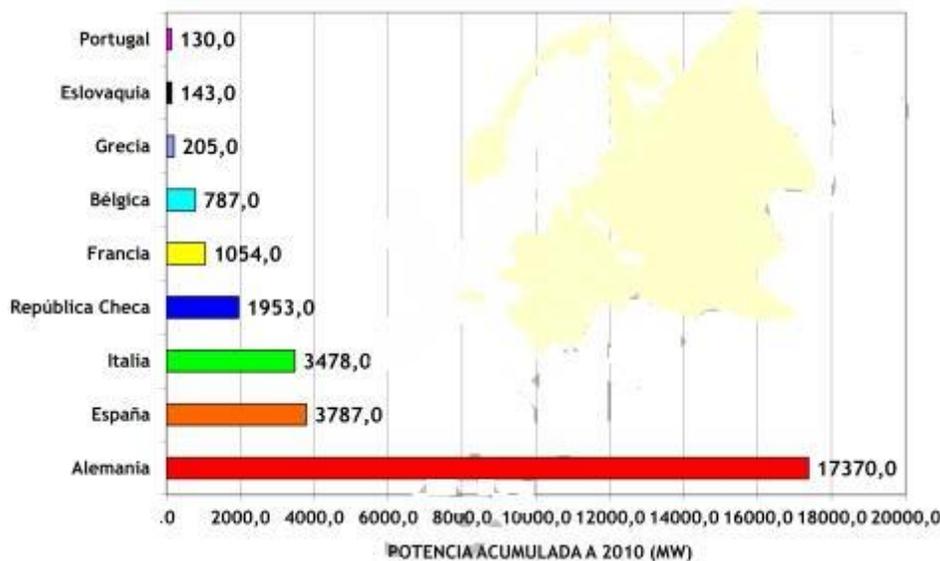


Ilustración 2 Potencia acumulada en Europa a finales de 2010

Fuente: (9)

Como parte del compromiso de este país en relación con las energías renovables, se ha propuesto que el 35% del consumo energético del país sea suministrado por fuentes de energía limpia y renovable para el 2020, y 100% para el 2050. Como resultado del proceso que ha tenido Alemania en el año 2012, las plantas solares fotovoltaicas instaladas en el país produjeron 22.000 MWh en la hora del mediodía, lo que equivale a la potencia de generación de

veinte centrales nucleares trabajando a plena capacidad. También para el 21 de julio del 2013 rompió records en potencia instantánea con unos 24 GW a medio día.

En China la fabricación de celdas fotovoltaicas se ha convertido en una de las mayores industrias, con un promedio de 400 empresas dedicadas a la fabricación de paneles fotovoltaicos entre las que se destacan fábricas como Suntech y Yingli. Como consecuencia de esto China conto con el 50% de la producción de paneles a nivel mundial en el 2014. Es tanta la demanda energética que presenta China que las mismas autoridades han decidido promover la implementación de más sistemas de energías renovables que contrarresten la gran demanda energética proveniente de los hidrocarburos y minerales como el carbón, constituyéndose China en una potencia de consumo fotovoltaica para el 2015 de 40 GW, y que de seguir en aumento la necesidad de consumo energético, las proyecciones para el año 2017 deberán de ser de 70 GW de potencia total instalada, y que como provisión se tendrá una capacidad instalada de 100GW para el 2020.

Japón. La energía fotovoltaica ha venido en crecimiento desde el año 1990, y se encuentra entre los primeros puestos de capacidad de energía instalada con más de 23 GW hacia finales del año 2014, de la cual, gran parte de esta energía se encuentra conectada a la red. Se sabe que Japón es un país con un alto nivel de irradiación, entre 4.3 a 4.8 KWh.m² día, abarcando un 2.5 por ciento de la demanda eléctrica del país, lo que lo hace apto para el desarrollo de estas tecnologías.

USA a partir del año 2010 los Estados Unidos entraron con gran fuerza en el mercado de la energía fotovoltaica incluyendo numerosas plantas conectadas a la red. En 2014 Estados Unidos superó los 20 GW de potencia instalada fotovoltaica tras un crecimiento de 8 GW en tan solo un año desde 2014. La energía solar fotovoltaica ha venido en crecimiento durante los últimos 8 años, aumentando a una razón del 4% cada año. Gracias a estos incrementos, el costo del kWh producido mediante energía fotovoltaica se ha visto enormemente reducido, mientras que el costo de la electricidad generada mediante combustibles fósiles no ha dejado de incrementarse. Actualmente en los Estados Unidos la mayoría de las instalaciones de energía fotovoltaica se conectan a la red y utilizan un sistema de balance neto (10), lo que permite a los consumidores la producción de energía para su propio consumo, haciendo que se compense la producción de energía con la de su demanda.

Latinoamérica ha comenzado a incursionarse en el ámbito fotovoltaico en diversos países del sector, entre ellos Chile y Perú, teniendo en cuenta que Chile posee proyectos por encima de los 100 MW, la mayor hasta el momento en América Latina. En México existe un gran potencial energético en cuanto a la energía fotovoltaica, debido a que el 70% del país presenta una irradiación de 4.5 kWh / m² por día, lo que implica que con una planta de generación de energía de tan solo 25 Km² en el desierto de Sonora, que solo representa el 0.01% de la superficie de México, podría proporcionar toda la demanda de energía del país, muy por lo contrario de países como Brasil que han tenido un incremento muy bajo en este ámbito, y es en parte a que Brasil es un país que ha venido creciendo fuertemente en energía hidráulica, salvo en estados como Minas Gerais tras la aprobación del gobierno para que pudieran iniciar la fabricación de células y paneles fotovoltaicos (11).

Colombia tiene ya más de 30 años en la industria fotovoltaica, pero sin políticas claras que lo estimulen (12). En general la demanda en todo el país tiene en cuenta tres factores a la hora de elegir un sistema fotovoltaico, el prestigio y la experiencia del país fabricante en generación de energías renovables, la calidad del equipo y el precio. La generación de electricidad a partir de la energía solar empleando los sistemas fotovoltaicos ha estado siempre dirigida al sector rural, en donde debido al alto costo de los combustibles y a la dificultad del mantenimiento de los equipos en relación con la energía solar, hace que resulte más económico. En Colombia se estima que en el mercado se consumen 300 KW por medio de sistemas fotovoltaicos al año, teniendo en cuenta las diferentes radiaciones que presentan las ciudades en Colombia (ver ilustración 3).

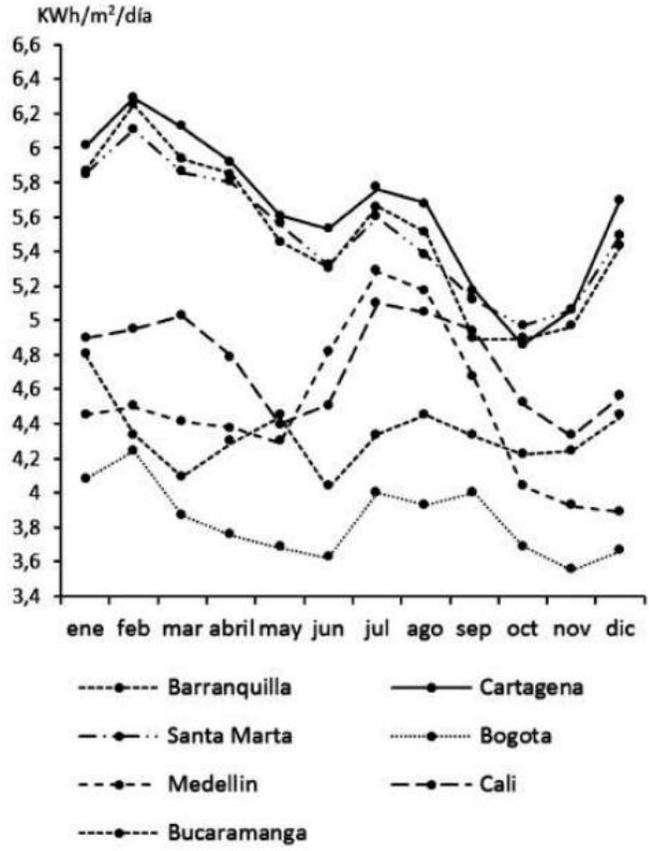


Ilustración 3 Radiación Anual en algunas ciudades de Colombia
Fuente: (12)

5.2. Marco conceptual

Las energías renovables

También llamadas energías limpias son obtenidas de la naturaleza y prácticamente son inagotables, ejemplo de esto son el viento, el mar, la radiación solar, entre otras. Adicionalmente, son energías que no contaminan lo que implica una gran solución a la demanda energética, y a la crisis mundial sobre el calentamiento global.

La energía solar es una fuente renovable en donde por medio del sol se puede generar calor y electricidad, por lo que existen diferentes tipos en lo que se puede transformar esta energía: un tipo es mediante sistemas fotovoltaicos que recurren a paneles solares para la generación de electricidad, y otra es mediante sistemas foto térmicos y foto colectores aprovechan el calor proveniente del sol acumulándolo para transformarlo en energía eléctrica (13). La energía solar fotovoltaica es un medio para la obtención de electricidad a partir del sol mediante dispositivos semiconductores como las células fotovoltaicas o células solares de película fina. Y en el mundo se ha posicionado como la tercera más importantes de energía renovable después de la hidroeléctrica y la eólica.

Energía fotovoltaica

Las celdas fotovoltaicas son principalmente sistemas que permiten transformar la energía solar lumínica conocida como fotones, en energía eléctrica. Por medio de estas celdas se logra absorber los fotones de la luz que emiten paquetes de electrones y que al ser capturados se pueden generar potenciales eléctricos mantenidos por medio de un campo magnético y así obtener electricidad. Entre los tipos de paneles que podemos conseguir, se encuentran diferentes tipos, teniendo en cuenta su técnica de fabricación:

- Las células de silicio amorfo: Durante la transformación del silicio se produce un gas que es impregnado sobre una lámina de vidrio siendo las primeras en ser manufacturadas. Una de las ventajas de esta celda es que pueden trabajar con poca luz, pero poseen un rendimiento de tan solo el 5% (14)
- Las células de silicio mono cristalino: Se forman cristales a partir de la fundición del silicio, esta celda permite un rendimiento de entre 14 al 16%, aunque poseen un costo elevado (14).
- Las células de silicio poli-cristalino: Se obtienen a partir de la solidificación del silicio en un molde lo que genera varios cristales, son más económicos de construir pero a bajos niveles de luz su rendimiento decae (14).
- Célula tándem: Esta es un apilamiento monolítico de dos células individuales que produce un alto nivel de rendimiento y sensibilidad ante la longitud de onda, pero también hace que este proceso aumente su costo de producción (14).
- Las células multi-unión son células solares desarrolladas para funciones especiales y poseen una gran eficiencia.

Eficiencia y costos:

Las células solares tienen una eficiencia que puede variar entre el 6 % con silicio amorfo y un 46 % con células Multi-unión, y un rango de entre el 14% al 22% con módulos fotovoltaicos comerciales. La eficiencia de una célula fotovoltaica se puede cuantificar según la ecuación:

$$\eta = \frac{I_{mpp} \cdot V_{mpp}}{PL} \quad (1)$$

Donde I_{mpp} representa la corriente en el punto de máxima potencia de una célula, V_{mpp} representa la tensión en el punto de máxima potencia de la célula, y PL representa la potencia luminosa que incide en la célula (15).

En el año 2014 el costo de los módulos solares ha tenido una reducción del 80% con respecto al 2008 (ver ilustración 4), lo que hace que sea más favorable competir con las fuentes de energía convencionales, y que sea más atractiva para los usuarios de electricidad en todo el mundo (16).

Beneficios medioambientales

En el mundo contamos con una capacidad solar cerca a los 122 petavattios (PW), que son casi 10000 veces más que los 13 TW que se consumieron en la humanidad durante el 2005 (17). A diferencia de las fuentes de energía generadas por combustibles fósiles, la energía solar no produce ningún tipo de emisión nociva durante su funcionamiento. A pesar de que durante su producción los residuos finales pueden ser altamente contaminantes, se han venido desarrollando tecnologías de reciclaje para estos elementos al finalizar su vida útil (18).

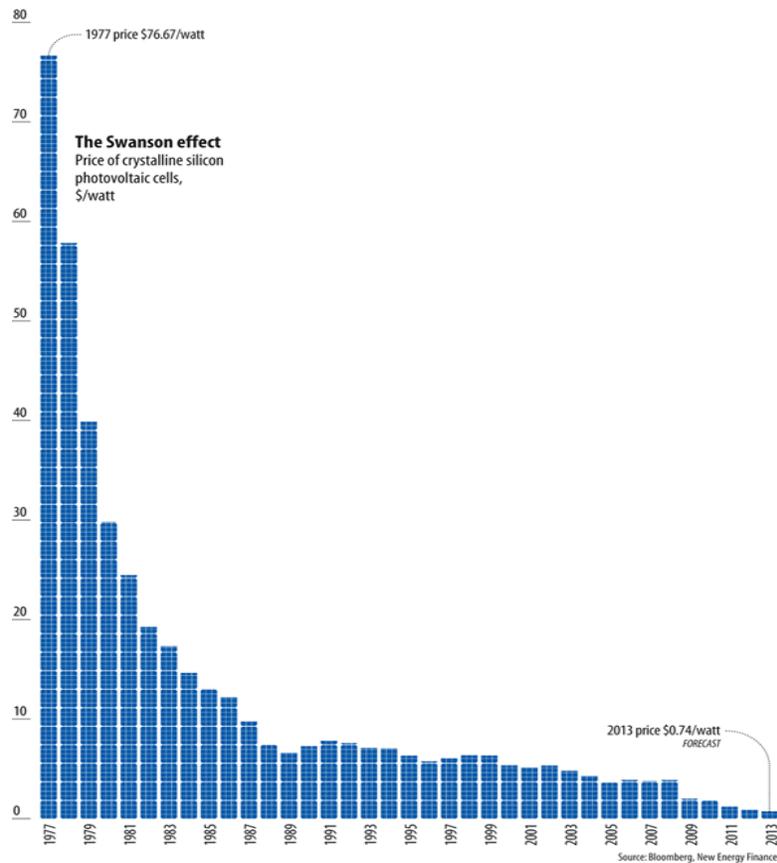


Ilustración 4 Evolución del precio de las células fotovoltaicas de silicio cristalino en \$/Wp entre 1977 y 2014
Fuente: (19)

Tipos de sistemas fotovoltaicos

Podemos encontrar dos tipos diferentes de sistemas fotovoltaicos:

- Sistemas fotovoltaicos interconectados; son sistemas que están directamente conectados a la red eléctrica, ya sea de una casa o de una empresa y que ayuda a minimizar los costos de consumo energético y de igual manera a reducir el consumo de emisiones de gases invernadero. Estos sistemas están conformados principalmente por uno o varios paneles solares fotovoltaicos, una batería, un inversor de voltaje y un controlador de carga para la batería (20).
- Sistemas autónomos, también llamados sistemas independientes debido a que el solo brinda la energía al sistema que está conectado. Esto quiere decir que a diferencia del sistema fotovoltaico interconectado, que brinda tanto energía fotovoltaica como de la red eléctrica, el sistema autónomo es el único que brinda la energía a los equipos conectados a él. Este sistema consta igualmente de uno o varios paneles solares, un inversor, un regulador, una batería, y unos fusibles. Este es un sistema muy empleado para equipos electrónicos para el sector agrícola y para hogares o empresas que quieran ser autosustentables y comenzar a usar energías limpias que ayuden a cambiar la problemática ambiental (21).

Funcionamiento de un sistema fotovoltaico.

Cuando se va a trabajar e implementar un sistema de energía renovable que nos ayude a minimizar las emisiones hay que tener en cuenta el conocimiento de las partes involucradas y del funcionamiento de las mismas. Para el montaje de un sistema fotovoltaico, se deben tener en cuenta los siguientes componentes.

- **Paneles solares fotovoltaicos:** Este es el elemento que permite llevar a cabo la obtención de la energía eléctrica a partir de los rayos provenientes del sol. Por lo general estas celdas vienen encapsuladas en dos células llamadas EVA (etileno, vinilo acetato) que se encuentra entre una lámina de vidrio y una lámina de un polímero termoplástico. Entre las celdas más usadas encontramos las de silicio mono-cristalino o celdas de silicio poli-cristalino o un tipo de celdas menos eficientes llamadas celdas de silicio amorfo.
- **Inversores:** Debido a que los paneles solares fotovoltaicos generan energía eléctrica en corriente continua, es necesario transformarla a corriente alterna que pueda ser conectada a la red eléctrica o directamente a los equipos que se quieran alimentar con esta energía. El proceso que se lleva a cabo con este sistema como primera instancia, es la generación de una energía baja de un rango entre 380 – 800 V y en corriente continua, posterior a esto ya dentro del inversor que consta de un oscilador que controla a un transistor, es empleado para interrumpir la onda que está entrando y así poder generar una onda más rectangular, esta a su vez pasa por un transformador que suaviza su forma y así poder obtener la el voltaje de salida necesario.
- **Seguidor solar:** Este es un sistema que permite que los paneles puedan seguir durante el día la trayectoria de la luz y así poder asegurar un mejor y mayor impacto de radiación sobre los paneles solares.
- **Cableado**
- **Plantas de concentración fotoeléctrica**

Efecto fotoeléctrico

Consiste en la emisión de electrones por medio de un material sobre el cual se aplica una luz visible o ultravioleta en forma de radiación electromagnética. Por medio de este fenómeno es que se logran extraer electrones de la luz, debido a que los fotones tienen una energía determinada que depende de la frecuencia, si un electrón absorbe la energía de un fotón y éste último tiene más energía que la función de trabajo, el electrón es arrancado del material. Caso contrario si el fotón llega a tener una energía demasiado pequeña en donde le será imposible escapar del material. Hay que tener en cuenta que la intensidad de la luz en este caso solo es responsable del número de electrones que podrán escapar del material, mientras que la frecuencia de la luz es responsable de la energía del fotón.

Leyes de la emisión fotoeléctrica

Para un metal y una frecuencia de radiación incidentes dados, la cantidad de fotoelectrones emitidos es directamente proporcional a la intensidad de luz incidente. Para cada metal dado, existe una cierta frecuencia mínima de radiación incidente debajo de la cual ningún fotoelectrón puede ser emitido. Esta frecuencia se llama frecuencia de corte, también conocida como "Frecuencia Umbral". Por encima de la frecuencia de corte, la energía cinética máxima del fotoelectrón emitido es independiente de la intensidad de la luz incidente, pero depende de la frecuencia de la luz incidente.

La emisión del fotoelectrón se realiza instantáneamente, independientemente de la intensidad de la luz incidente. Este hecho se contrapone a la teoría Clásica: la Física Clásica esperaba que existiese un cierto retraso entre la absorción de energía y la emisión del electrón, inferior a un nanosegundo (22).

Radiación solar

Es el conjunto de emisiones de radiación electromagnética que provienen del sol, en donde tiene lugar a reacciones de fusión nuclear que producen una pérdida de masa que se transforma en energía y es liberada al espacio en forma de radiación solar. Esta radiación va desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. No toda la radiación proveniente del sol alcanza la superficie de la tierra, ya que ondas más cortas como las ultravioletas son absorbidas por los gases de la atmosfera. La magnitud que mide la radiación que llega a la tierra es la irradiación (ver ecuación 1) que mide la energía que por unidad de tiempo y de área alcanza la superficie de la tierra, sus unidades son W / m^2 (vatio por metro cuadrado).

$$I = \frac{P_{inc}}{A_s} \quad (2)$$

Donde, $I [W/m^2]$ equivale a la irradiación; $P_{inc} [W]$ es la potencia de incidencia, y $A_s [m^2]$ el área de la superficie donde incide la onda de luz.

En la ilustración numero 5 podemos ver como los pequeños puntos en el mapa muestran el área total fotovoltaica necesaria para cubrir la demanda mundial de energía usando paneles solares con una eficiencia de tan solo el 8%. Y entregando un promedio 18 TW de potencia eléctrica.

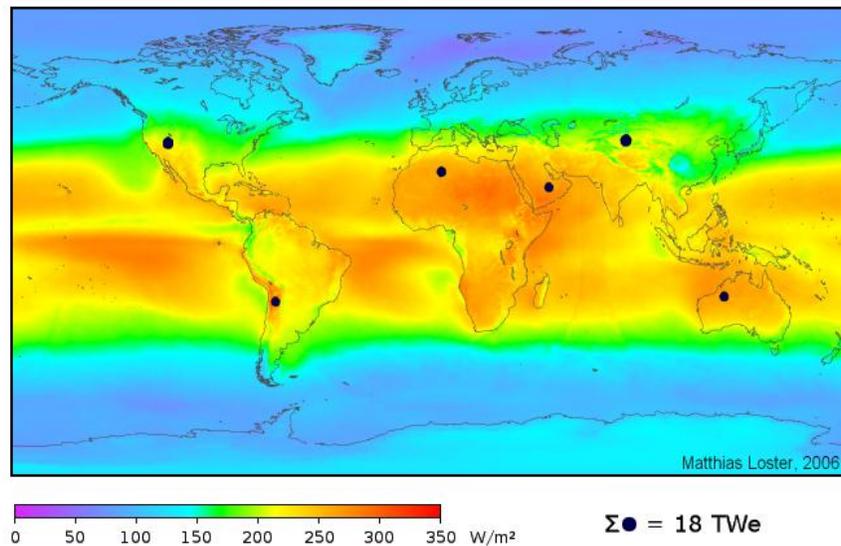


Ilustración 5 Distribución promedio de la radiación solar en el planeta
Fuente: (23)

Angulo de incidencia de la radiación solar

Con respecto a un receptor que capte la radiación emitida por el sol, son varios los factores que alteran este Angulo como lo son, la declinación, la latitud geográfica, la inclinación la orientación y el Angulo horario (24).

Como es habitual en los sistemas fotovoltaicos, la orientación del generador debe ser hacia el hemisferio sur en el hemisferio norte y hacia el hemisferio norte en el hemisferio sur. La inclinación del generador debe ser tal que se maximice el sistema. Para poder determinar el mejor Angulo del

sistema es necesario primero determinar el Angulo desviación del sol respecto a la tierra llamado Angulo de declinación (δ), en donde para cualquier día del año (n) viene dado por la expresión:

$$\delta = 23.45^\circ * \text{Sen} \left(\frac{360 (n - 80)}{365} \right) \quad (3)$$

Otro parámetro importante a definir es el Angulo de Zenith (θ_z), definido como una línea perpendicular a la tierra y el Angulo que tiene con respecto al sol y que se puede ver en la ecuación:

$$\theta_z = \phi - \delta \quad (4)$$

Siendo ϕ la latitud del lugar (25). Teniendo así que:

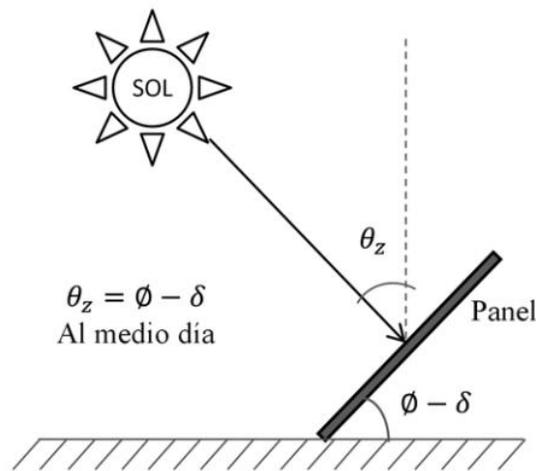


Ilustración 6 Angulo óptimo de inclinación de un panel solar.

Fuente (25)

5.3. Marco legal

En Colombia existe la ley No. 1715 del 13 de mayo del 2014 (26), por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional, promoviendo el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, en especial las energías renovables como medio necesario para el desarrollo económico sostenible del abastecimiento energético.

Se arropa a todas las organizaciones públicas y privadas para el desarrollo de estos sistemas energéticos renovables conforme a las leyes 142 y 143 de 1994 y demás normas complementarias. Teniendo en cuenta el capítulo dos en el artículo 9 de la ley 1715, se realizara la sustitución de generación con diesel en las zonas no interconectadas. Se brindaran incentivos a aquellos que participen en la generación de energías no convencionales, Como fomento a la investigación en el ámbito de la producción y utilización de energía a partir de FNCE (fuentes no convencionales de energía), la gestión eficiente de la energía, los obligados a declarar renta que realicen inversión en este sector tendrán derecho a reducir anualmente de su renta por los 5 años siguientes al año en el que realizo la inversión, el cincuenta por ciento (50%) del valor total (capitulo III – artículo 11 de la ley 1715 del 13 de mayo del 2014).

Todos los equipos, elementos, maquinarias y servicios nacionales o importados que se destinen a pre inversión o inversión para la producción y utilización de energías renovables estarán excluidas de pagar el IVA (capítulo III – artículo 12 de la ley 1715 del 13 de mayo del 2014). De igual manera (capítulo III – artículo 13 de la ley 1715 del 13 de mayo del 2014) se generaran incentivos arancelarios, ya que gozaran de exención del pago de los derechos arancelarios de importación de máquinas equipos o insumos destinados, a la pre inversión o inversión en estos sistemas de energías no convencionales.

Debido a que la energía solar es considerada como una fuente no convencional de energía, se deberá estudiar y fomentar en proyectos de urbanización municipal y distrital, en edificaciones oficiales, en el sector industrial, en residencias y establecimientos comerciales (capítulo IV – artículo 19 de la ley 1715 del 13 de mayo del 2014).

5.4. Marco histórico

El efecto fotovoltaico se reconoció por primera vez en el año de 1839 por el físico francés Becquerel, pero la primera célula solar se construyó hasta el año de 1833, por Charles Fritts, quien recubrió una muestra de selenio semiconductor con un pan de oro para formar el empalme. Este dispositivo presentaba una eficiencia de tan sólo un 1%. En 1905 Albert Einstein dio la explicación teórica del efecto fotoeléctrico. Russell Ohl patentó la célula solar moderna en el año 1946, aunque Sven Ason Berglund había patentado con anterioridad un método que trataba de incrementar la capacidad de las células fotosensibles. La era moderna de la tecnología de potencia solar no llegó sino hasta el año 1954 cuando los Laboratorios Bell, descubrieron, de manera accidental, que los semiconductores de silicio dopado con ciertas impurezas, eran muy sensibles a la luz. Estos avances contribuyeron a la fabricación de la primera célula solar comercial con una conversión de la energía solar de, aproximadamente, el 6% (27).

Las aplicaciones en Colombia datan del siglo pasado cuando en la ciudad de Santa Marta fueron instalados calentadores solares en la casa de los empleados de las bananeras, calentadores que aún existen, solo que ya no operan. Años después a mediados de los setenta en la Universidad Industrial de Santander se instalaron calentadores solares domésticos de origen israelí para estudiar su comportamiento. Posteriormente, hacia finales de los setenta y consientes de la crisis del petróleo de 1973, instituciones universitarias tales como la Universidad de los Andes, la Universidad Nacional de Colombia en Bogotá, la Universidad del Valle, entre otras y fundaciones como el Centro Las Gaviotas, sentaron las bases para instalar calentadores solares domésticos y grandes sistemas de calentamiento de agua para uso en centros de servicios comunitarios como hospitales y cafeterías.

Estos desarrollos tuvieron su máxima expresión a mediados de los ochenta en la implementación masiva de calentadores en urbanizaciones en Bogotá (ver ilustración7) como en Ciudad Tunal, Ciudad Salitre, en donde fueron instalados miles de calentadores, desarrollados y fabricados por el Centro Las Gaviotas.



Ilustración 7 Calentador de la cafetería de la antigua Empresa de Energía de Bogotá (EEB)

Los sistemas fotovoltaicos en Colombia surgieron con el programa de telecomunicaciones rurales a Telecom a comienzos de los años 80, con la colaboración técnica de la Universidad Nacional. Con este programa se logró la instalación de pequeños generadores fotovoltaicos de 60 Wp (vatio pico) para radioteléfonos rurales. El programa continuó instalando estos sistemas y pronto se escaló a sistemas de 3 a 4 kWp para las antenas (28).

En cuanto a energía fotovoltaica, en la ECCI podemos encontrar que en 2010 la facultad de ingeniería biomédica realizó una tesis sobre el uso de la energía fotovoltaica como alternativa de suministro energético en una institución hospitalaria de cuarto nivel de Bogotá, realizada por el estudiante Ortiz Ramos Diego Armando, tesis TIH / 013 ubicada en la biblioteca de la universidad.

6. Tipo de investigación

La investigación que se llevará a cabo es del tipo experimental y explicativa donde se buscará analizar el comportamiento de diversas variables de un sistema energético ante posibles cambios de parámetros operacionales.

7. Diseño metodológico

Con el ánimo de establecer el comportamiento de la eficiencia energética de un sistema de paneles fotovoltaicos integrados a la red y con ángulo de inclinación fijo se plantea el desarrollo de una serie de actividades resumidas a continuación.

La eficiencia energética será determinada empíricamente teniendo en cuenta la relación entre la potencia eléctrica generada por el sistema sobre la potencia recibida de la radiación solar. Para esto, la metodología definida incluye la instalación de un contador de energía eléctrica a la salida de los interruptores (caja de tacos) ubicada entre el inversor y la carga eléctrica existente. Este medidor contabilizará la energía eléctrica generada durante un periodo de tiempo determinado. Se observará el valor reportado por este instrumento de medición cada dos horas comenzando a las 8:00 y terminando a las 18:00 en el periodo comprendido entre Junio-15 y Septiembre-15.

Así mismo, se llevará a cabo la medición de la radiación global que llega sobre diferentes puntos de los paneles fotovoltaicos en el mismo intervalo de tiempo empleando para esto un piranómetro propiedad del Grupo de investigación Mecanismos de Desarrollo Limpio y Gestión Energético de la Universidad Nacional de Colombia. Los puntos sobre los cuales se tomará la medida de la radiación se encuentran a 15cm de las esquinas aprox. y en el centro del panel. De esta manera se asumirá que la radiación incidente equivale al promedio de la radiación puntual medida.

$$\eta_{el} = \frac{\frac{dE_{el}}{dt}}{I_{(\beta)} * A} * 100 \quad (5)$$

Donde, η_{el} [%] equivale a la eficiencia eléctrica total instantánea, E_{el} [kWh] es la energía eléctrica medida por el contador en el intervalo de tiempo, dt [h] el tiempo del intervalo de medición, $I_{(\beta)}$ [kWm^{-2}] la radiación promedio reportada por el piranómetro y A [m^2] el área del panel fotovoltaico.

Aplicando esta metodología será posible establecer el comportamiento de la eficiencia energética de un sistema de paneles fotovoltaicos integrados a la red y con ángulo de inclinación fijo (Objetivo general), establecer la variación de la radiación recibida por los paneles fotovoltaicos durante el periodo Junio-Septiembre (Objetivo específico 1), y evaluar la capacidad actual de generación de potencia eléctrica que poseen los paneles fotovoltaicos instalados en la terraza de la sed P de la Universidad ECCI (Objetivo específico 2).

El modelo matemático que se aplicará para simular el comportamiento de la radiación solar incidente sobre los paneles fotovoltaicos parte de la radiación total recibida, definida como la suma de los componentes de la radiación directa, difusa y la radiación reflejada (Objetivo específico 3).

$$I(\beta) = I_{\beta h} * \cos\theta_i + I_D * R_D + I_{th} * R_A \quad (6)$$

Donde, $I(\beta)$ [Wm^{-2}] equivale a la intensidad de radiación terrestre sobre un plano inclinado a la superficie horizontal, β [$^\circ$] es el ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos con respecto a la superficie horizontal, $I_{\beta h}$ [Wm^{-2}] la intensidad de radiación de un haz en un plano horizontal, θ [$^\circ$] es el ángulo de incidencia de la radiación sobre el plano horizontal, I_D [Wm^{-2}] es la radiación difusa en un componente de plano horizontal, R_D el factor de ajuste para I_D en un plano horizontal, I_{th} [Wm^{-2}] es la radiación terrestre en un plano horizontal y R_A el factor para hallar el albedo. Cada uno de estos factores se define matemáticamente en función de variables calculables. El desarrollo del modelo hace parte de las actividades a desarrollar durante el desarrollo del trabajo experimental.

Con los resultados obtenidos de las mediciones realizadas se obtendrá un histórico gráfico del comportamiento de la eficiencia energética en función de la hora del día en el periodo comprendido entre Junio 15 y Septiembre 15. Esto nos dará una serie de cinco valores promedio de eficiencia por cada uno de los 64 días en los cuales se llevará a cabo la medición. Al analizar el comportamiento de estas gráficas será posible identificar diferentes estrategias que permitan mejorar la eficiencia del sistema de paneles fotovoltaicos (Objetivo específico 4).

8. Fuentes para la obtención de la información

Los datos de radiación son determinados mediante mediciones directas en el sitio de trabajo (Terraza de la sede P, Universidad ECCI). Las fuentes secundarias son todos aquellos lugares donde se encuentre información relacionada con los modelos matemáticos, el análisis del comportamiento de los resultados y la formulación de estrategias de mejoramiento del sistema se buscará en libros relevantes al tema y revistas de investigación relacionadas que se encuentran indexadas en las principales bases de datos a nivel nacional e internacional.

9. Recursos

A continuación se presenta un resumen de los diferentes recursos necesarios para el desarrollo del proyecto así como un cálculo estimativo del costo por el uso del piranómetro de la Universidad Nacional de Colombia y los sistemas fotovoltaicos instalados en la sede P de la Universidad ECCI.

Tabla 1 Resumen de costos asociados al proyecto planteado

Rubro	Unidad	# Unidades	Valor unitario	Total
Personal científico				
Santiago Andrés Barragan	horas	320	\$ 9.375	\$ 3.000.000
Dr.-Ing Carlos Andrés Forero Núñez	horas	64	\$ 28.125	\$ 1.800.000
Equipos				
Uso Piranómetro Universidad Nacional	horas	2880	\$ 342	\$ 986.301
Uso Sistemas fotovoltaicos ECCI	horas	2880	\$ 114	\$ 328.767
Medidor de consumo energía eléctrica	Costo total	1	\$ 200.000	\$ 200.000
Imprevistos				\$ 631.507
TOTAL				\$ 6.946.575

10. Cronograma

A continuación se presenta el diagrama de Gantt teniendo en cuenta las actividades planteadas en el diseño experimental.

Mes	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	
Día	15	1	15	1	15	1	15
Actividades							
Identificación y levantamiento información del sistema	■						
Instalación contador de energía eléctrica a la salida del sistema	■						
Evaluación radiación recibida		■	■	■	■		
Evaluación energía eléctrica producida		■	■	■	■		
Calculo eficiencia energética sistema		■	■	■	■	■	
Definición del modelo matemático de radiación solar				■	■	■	
Evaluación modelo matemático de comportamiento radiación solar				■	■	■	
Comparación resultados modelo vs radiación recibida					■	■	■
Identificación de estrategias de mejora para la radiación solar						■	■
Redacción resultados finales, disertación o artículo de investigación						■	■
Presentación artículo de investigación a revista indexada							■

11. Desarrollo

De acuerdo con el levantamiento del proyecto, evaluación de la eficiencia energética de un sistema de paneles solares con ángulo de inclinación fijo, ubicados en la terraza de la sede P de la universidad, se pudo determinar el actual estado de los equipos. De igual manera se ha realizado la toma de datos de irradiación como de la corriente presente en el equipo, obtenida a base de las celdas fotovoltaicas. Se obtiene información avaluada por el IDEAM la cual es organizada y documentada según la necesidad del proyecto, como así mismo se hace un estudio y análisis de toda esta información.

El levantamiento del proyecto se realizó el día 23 de julio del 2015 en las horas de la mañana. Donde se tomaron las medidas de los paneles solares, se observó el estado de las baterías, del convertidor, las conexiones y demás elementos en su entorno. Después de haber realizado dichas mediciones y observaciones se encontró que:

- Cuatro baterías (ilustración 8), marca ROLLS referencia S-530 con tecnología de plomo ácido, material del contenedor polipropileno, de 6 voltios. Que debido a las condiciones del medio ambiente los bornes de las baterías se encuentran sulfatadas (ilustración 9), lo que genera la acumulación de cristales de sulfato de plomo, que hace que los electrones circulen con menos facilidad y por lo tanto el proceso de cargado se realice mucho más lento. De igual manera se pueden llegar a romper el separador entre las celdas creando corto circuito y destruyendo el elemento, de igual forma deteriora los elementos de conexión mecánica como arandelas y pernos.



Ilustración 8 Baterías ROLLS S-530



Ilustración 9 Bornes de las baterías sulfatados

- Hay presente en el lugar una caja de conexiones eléctricas expuestas al ambiente, por lo cual se ha venido deteriorando, presentando así oxidación en su superficie (ilustración 10), en el podemos encontrar siete tacos conectados, de los cuales los siete se encuentran encendidos. Cada taco es de marca LUMINEX con un margen de entre 120 a 240 voltios, y una capacidad para 20 Amperios.

De igual manera se puede observar que en la estructura que soporta los componente de baterías, convertidor, encontramos también desgastes por la oxidación a causa del ambiente (ilustración 11).



Ilustración 10 Caja de conexiones eléctricas.



Ilustración 11 Estructura del sistema eléctrico: Baterías y convertidores, deteriorados por la oxidación.

- Una de las conexiones que sale de la celda fotovoltaica se encuentra descubierta y expuesta a daños (ilustración 12).



Ilustración 12 Conexión expuesta al ambiente.

- Un regulador solar marca Morningstar - Tristar MPPT. Un cargador de batería avanzado de seguimiento del punto máximo de potencia (MPPT), para generadores fotovoltaicos, de hasta 3 KW (ilustración 13).



Ilustración 13 Regulador solar Morningstar

- Un convertidor Conext TM SW referencia SW 4024 120/240, con una entrada en DC y un voltaje de 20 – 30 V y un máximo de 230 A, y una salida AC con un voltaje de 120/240 V 60 Hz y una corriente continua de 15A. Resguardado del ambiente dentro de un compartimiento de acrílico (ilustración 14).



Ilustración 14 Convertidor marca Conext SW.

- Los paneles fotovoltaicos se encuentran en buen estado, ubicados en la terraza de la sede P de la universidad, sobre una base de cemento, elevados del piso de la terraza 23 cm. Y con un Angulo de inclinación de 65 grados, posicionados hacia el oriente. En total son seis paneles solares agrupados en dos celdas de a tres paneles. Cada panel individualmente posee un ancho de 99 cm por 164 de alto. Y la celda posee medidas de 164 x 297.7 cm lo que nos brinda una área de 48822.8 cm^2 por celda, y un área total del sistema de 97645.6 cm^2 equivalente a 9.76456 m^2 (ilustración 15).



Ilustración 15 Paneles fotovoltaicos

De igual manera se observó que debido a que los paneles fotovoltaicos son de Angulo fijo y están dispuestos hacia el oriente existe un inconveniente por las estructuras que se encuentran alrededor. Ya que al frente de estos se encuentra primero que todo una estructura de cemento maciza de una altura al máxima de 150 cm alejado de la base de los paneles 101 cm. Impidiendo el paso del sol por un tiempo durante el transcurso de la mañana. De igual forma encontramos también una estructura metálica que también obstruye parcialmente la luz del sol con una altura de 146 cm. Y alejado de los paneles 82 cm. (ilustración 16 y 17).

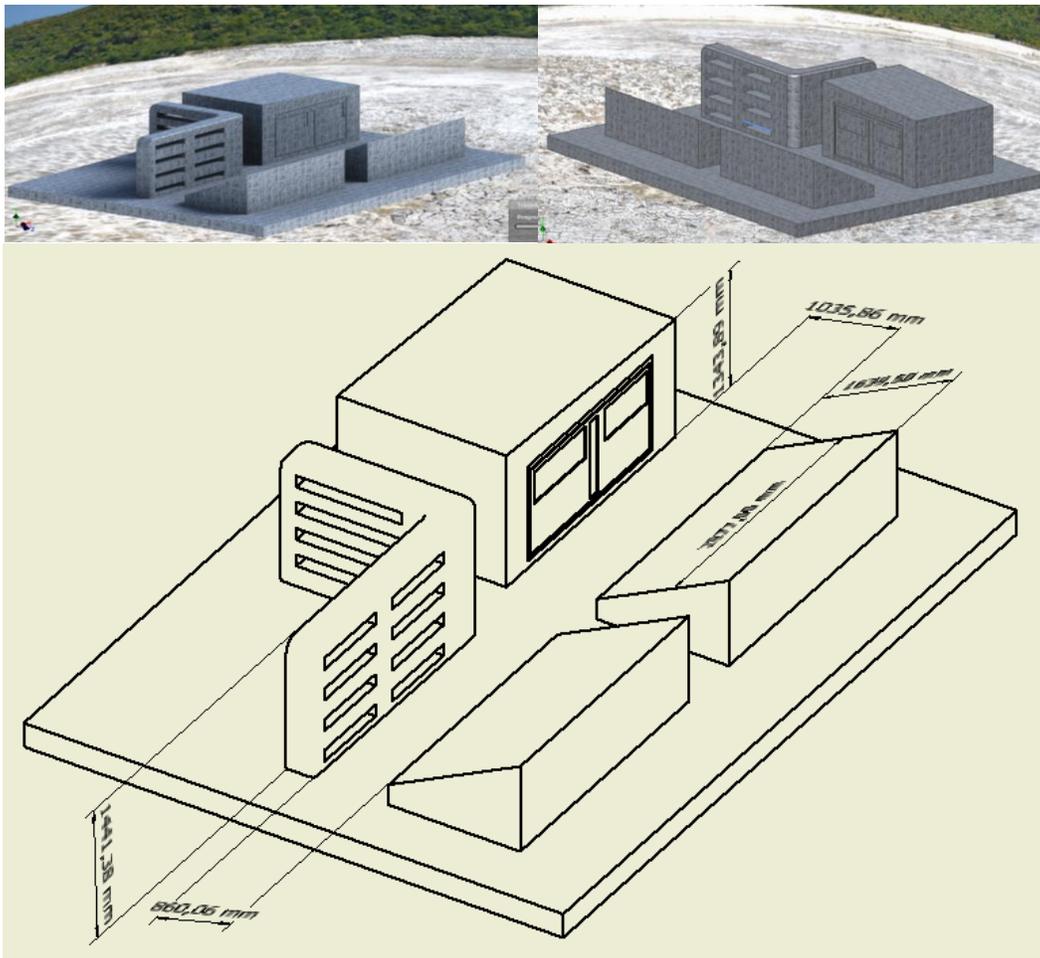


Ilustración 16 Esquema de los paneles fotovoltaicos escala 1:1

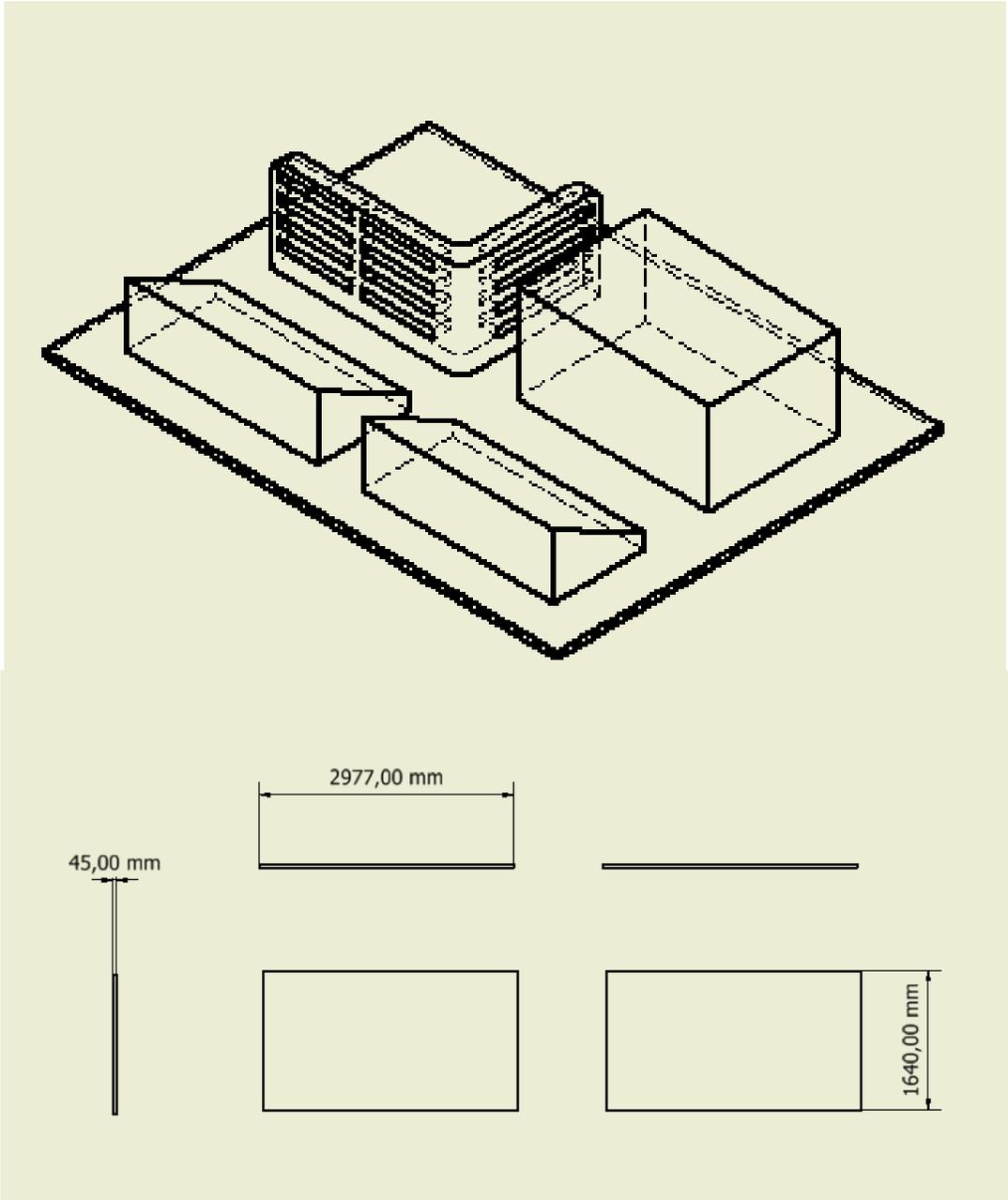


Ilustración 17 Planos de los paneles fotovoltaicos escala 1:1, vista frontal, superior, lateral e isométrica de los paneles.

El esquema de todo el sistema fotovoltaico está compuesto como fue mencionado anteriormente, por los siguientes elementos dispuestos en el siguiente orden: principalmente encontramos dos celdas de paneles solares (A y B) cuyas conexiones se unen en el camino (C). Estas conexiones vienen a parar a un regulador solar (D) donde el cableado se divide en dos polaridades que van a parar a los bornes (E) del convertidor, donde se realiza la misma división tanto para el grupo de baterías (F) como el ingreso al convertidor (G). Finalmente la conexión sale del convertidor y se dirige a una caja de conexiones eléctricas (H). (Ilustración 18).

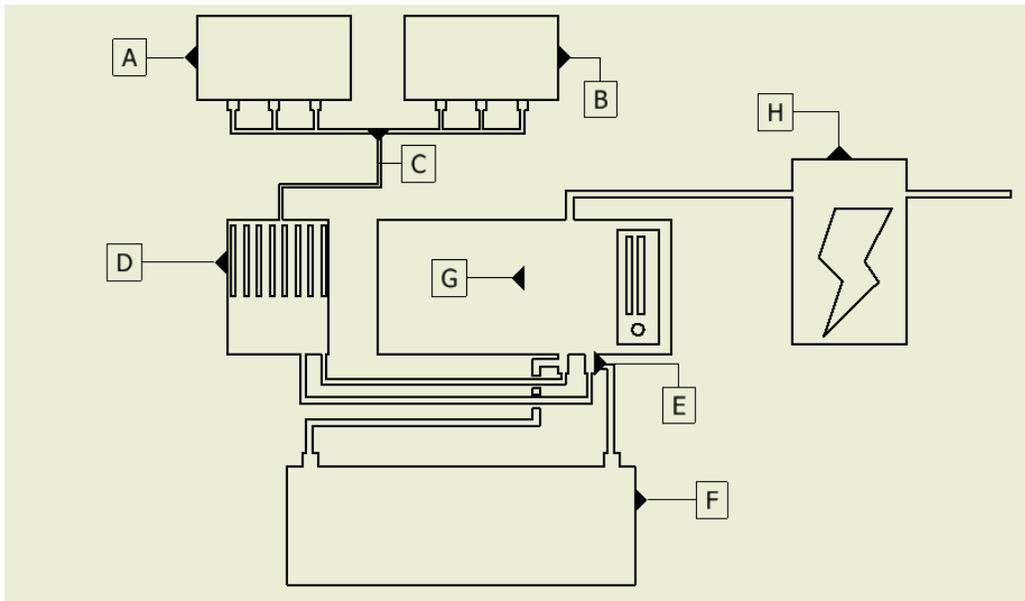


Ilustración 18 Esquema del sistema fotovoltaico sede P.

A partir del 28 de Julio del presente año gracias a la colaboración del Dr. Ing. Carlos A. Forero Núñez se obtiene un Piranometro de la Universidad Nacional, con el cual se inicia el proceso de medición de datos de Irradiación que está llegando a la terraza de la sede P de la Universidad. Para esto se dispuso un orden adecuado en la obtención de datos, se seleccionaron 12 puntos específicos en todo el sistema de paneles solares de los cuales se tomaría tres muestras de irradiación para posteriormente realizar un promedio de lo que se obtiene a una determinada hora del día (ilustración 19).

Este proceso se llevó a cabo hasta el 5 Agosto de este año. Pero de igual manera se obtuvo la irradiación obtenida durante el periodo del 1 de Enero del 2015 hasta el 16 de Julio del mismo año brindada por el IDEAM y evaluada y ajustada por la Universidad Nacional de Colombia.

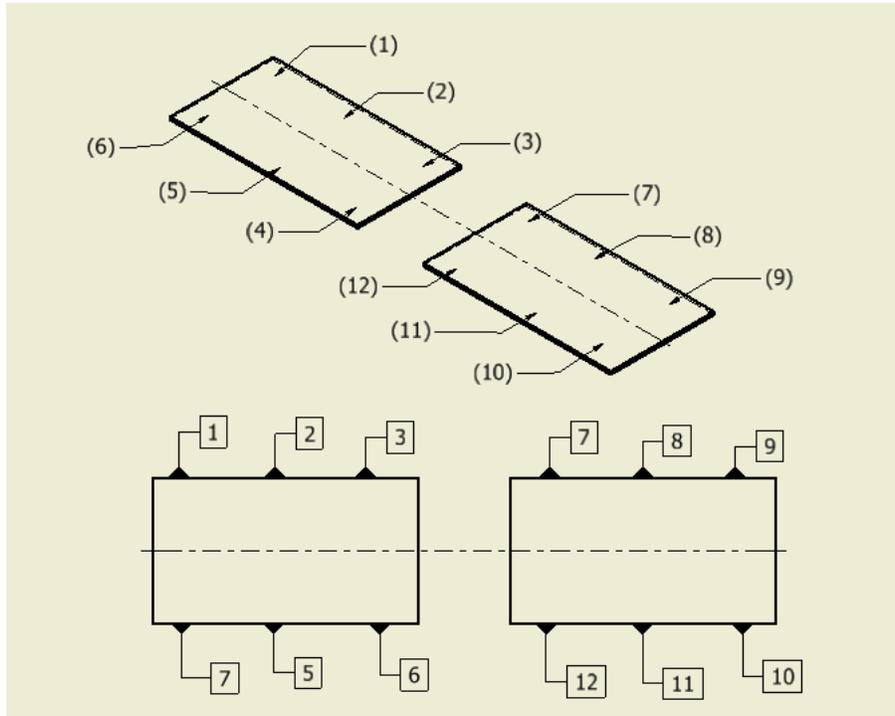


Ilustración 19 Puntos de toma de datos de irradiancia.

Conforme a las muestras que se tomaron por medio del piranometro iniciando el 28 de julio y con permiso de la coordinación de investigación y del departamento de seguridad de la universidad, se dispuso el tiempo para subir a la azotea de la sede P para tomar en diferentes días y a diferentes horas la irradiancia recibida.

Este proceso se realizó durante 11 días culminando el 5 de agosto. A partir de la medición de estos datos se pudo determinar que en el transcurso de esos días se obtuvo una potencia indicada de 66.85685737 KWh (Anexo 1).

Conforme a la información obtenida por parte del IDEAM se realizó la separación de datos por día para obtener un total del mismo, y poder determinar de igual manera la radiación por unidad de área que se tenía, como la radiación entregada a nuestro sistema teniendo en cuenta el área de nuestro sistema fotovoltaico (9.76456 m^2). A si mismo se tuvo en cuenta la eficiencia de la celda (0.17) para determinar que potencia final se obtenía por día. Tras lo anterior, y realizando este mismo proceso día a día, se logra obtener el total de potencia al mes y así poder determinar un estimado del año 2015 periodo 1 de Enero – 16 de Julio. Después de realizar este proceso los resultados nos arrojaron que durante ese periodo de tiempo en el 2015 a nuestro sistema de paneles solares ingreso 1281772.63 Wh lo que equivale a unos 1281.77263 KWh (Anexo 2).

CODENSA cada año determina el costo del consumo energético según el estrato y determina el valor a pagar según los KWh consumidos por los usuarios. De acuerdo a lo anterior la tarifa de energía eléctrica (\$/KWh) regulada por la comisión de regulación de energía y gas (CREG) es en promedio 322.43865 \$/KWh para estrato 3, y un costo de 418.2988 \$/KWh para la Universidad por estar bajo un régimen no residencial, modalidad Industrial y comercial con contribución tipo sencilla.

Por lo anterior se puede obtener un valor económico que representa la cantidad monetaria, que gracias a que los paneles solares han suministrado energía renovable a la universidad, han logrado economizar en gastos a la misma.

Costo CODENSA (\$/KWh)	Potencia – sistema 1Enero – 16 Julio 6.5 meses (KWh)	Gasto ahorrado Sede P (\$)
418.2988	1281.77263	536,163.953

Durante el periodo del 1 de enero hasta el 16 de julio, la Universidad ECCI sede P gracias a la implementación de un sistema de paneles fotovoltaicos integrados a la red ha conseguido disminuir sus gastos en consumo energético en \$ 536,163.953.

Haciendo un estimado de un costo de \$ 40,000 mensuales en consumo de energía eléctrica para una casa estrato 3, vemos que en un periodo de seis meses y medio se tendría que cancelar a la empresa de energía la suma de $(\$40,000 \times 6.5) = \$260,000$. Lo cual haciendo una relación con respecto al valor económico que ha logrado suplir el sistema fotovoltaico de la sede P vemos que;

Gasto ahorrado Sede P en 6.5 meses (\$)	Gasto estrato 3 En 6.5 meses (\$)	Relación Sede P / casa E 3 En 6.5 meses
536,163.953	260,000	2.06216905

El sistema de paneles fotovoltaicos con ángulo de inclinación fijo de la sede P de la Universidad en el periodo del 1 de enero hasta el 16 de julio haciendo una comparación ha logrado suplir la demanda energética de dos viviendas estrato 3 durante el mismo periodo de tiempo, haciendo un estimado de \$ 40,000 el costo de consumo eléctrico en el mes.

Todo lo anterior se evaluó económicamente basado en la información entregada y corregida por el IDEAM. Ahora teniendo en cuenta el estudio realizado en la toma de datos de irradiación propia del proyecto cuyo resultado fue un total de potencia indicada de 66.85685737 KWh para el periodo del 28 de julio – 5 de agosto, tomando 11 días en estudio el ahorro económico fue el siguiente;

Costo CODENSA (\$/KWh)	Potencia – sistema 28 julio – 5 agosto (KWh)	Gasto ahorrado Sede P (\$)
418.2988	66.85685737	27,966.14321

A partir del 12 de agosto se procede a realizar mediciones de la corriente que está generando los paneles solares en corriente continua, tanto de la corriente entregada a la sede por parte del convertidor en corriente alterna (Anexo 3). La disposición de la conexión de entrada de los paneles solares viene de dos polaridades cada una con tres cables. Y tanto a la entrada como salida del convertidor de a dos cables de corriente alterna. Los datos obtenidos durante este tiempo se graficaron para poder ver el comportamiento de la corriente durante el tiempo. Así es posible evidenciar como a medida que el sol se desplaza de igual manera como durante el transcurso del día la nubes obstruyen el sol, de igual manera va cambiando la corriente generada por los paneles solares y así mismo el funcionamiento del convertidor al suprimir o no corriente de la red.

Comercial mente el rango de eficiencia de los módulos fotovoltaicos va del 14% al 22% por lo que se realiza una tabla comparativa de la variación de la potencia entregada según como varia la eficiencia de las celdas fotovoltaicos del sistema partiendo de un rango del 10% al 22% (Anexo 2 – tabla, Energía vs eficiencia).

Con lo anterior se puede observar como la potencia va en aumento a medida que también lo hace la eficiencia, consiguiendo al 22 % de eficiencia un total de 1658.7646 KWh para el mismo periodo de tiempo del 1 de enero al 16 de Julio que representa una diferencia de 376.99197 KWh equivalente a un 29.41176627 % más de potencia para el sistema que tiene una eficiencia del 17%.

- Angulo de incidencia de la radiación solar

La ciudad de Bogotá posee una latitud de $04^{\circ} 38' N$ es decir 4 grados y 38 minutos Norte que equivale a $4,6333^{\circ} N$. de acuerdo al ángulo de declinación (δ) que varía dependiendo del año y observando el ángulo zenit se puede observar el comportamiento que debe tener la inclinación del panel solar en el transcurso del año (Anexo 4). Donde se ve como en el día 1, es decir el primero de enero el ángulo del panel solar es de 27,35 grados, y así va cambiando a medida que los días transcurren llegando a un ángulo positivo máximo de 27,871 grados el día número 353 del año. Cabe aclarar que según el levantamiento del proyecto, el sistema de paneles solares instalado en la sede P de la universidad cuenta con un ángulo de 65 grados, lo que clara mente supera el Angulo máximo que se debe tener para el sistema. A parte de eso hay que tener presente que los paneles solares de la universidad están en posición hacia el oriente lo que también influye aún más en la eficiencia del sistema.

Hay que tener en cuenta que el ángulo zenit marca el ángulo óptimo para cada día del año, a medio día. Lo que nos brinda mejores características debido a que es en ese mismo instante de tiempo donde la distancia perpendicular entre el sistema y el sol es menor, por ende existe de igual manera una menor capa de aire que impida la emisión de radiación a la superficie. El sol en su trayectoria recorre aproximadamente 15 grados por hora lo que evidencia el hecho de que un sistema de paneles solares estático solo nos brinda un tiempo corto de máximo punto de eficiencia energética.

Teniendo en cuenta que Alemania es líder mundial en sistemas fotovoltaicos, se ha implementado para el proyecto un software de la compañía Valentin de Berlín, PV*SOLAR® un programa diseñado para sistemas conectados a la red, que permite simular el almacenamiento de energía del sistema con baterías y determinar las perdidas. Permite igualmente el posicionamiento de los módulos acceder a datos climáticos y resumen de resultados. Por ende se ha usado este software para realizar 3 simulaciones, una en que nos permita evaluar el actual estado del sistema con las condiciones propias de este. Y dos simulaciones más evaluando la eficiencia de los sistemas bajo dos parámetros de ángulo uno a 5 grados y otro a 27 grados ya que fueron estos los ángulos que se encontraron como óptimos para el funcionamiento según el ángulo zenit (anexo 5).

De acuerdo al software la eficiencia total del sistema actual de la sede P está en un 11,5% como ya fue mencionado anteriormente con un ángulo de 65 grados sentido oriente. Ahora teniendo encuentra como primera simulación a 5 grados sentido Norte se logra una eficiencia total del sistema de 15,49% y de igual manera con un ángulo de 27 grados una eficiencia de 13,86% de eficiencia (anexo 5).

12. Conclusiones

El sistema de paneles fotovoltaicos que encontramos en la sede P se encuentra de cierta manera descuidado, ya que se puede evidenciar daños estructurales que afectan el funcionamiento óptimo de los equipos. Por lo que se hace necesario implementar un plan de mantenimiento a estos equipos. De igual forma se observa que el lugar en el que fue distribuido el espacio y el lugar de los equipos no fue el más preciso, debido a que se está perdiendo tiempo valioso de luz en las horas de la mañana debido a las estructuras frente a los paneles.

De acuerdo al diagnóstico inicial realizado, me dispongo a enunciar algunas propuestas de mejora de tipo técnico;

- Desmontar la estructura que contiene las baterías y convertidor, para así poder dar soporte técnico a las estructuras metálicas que se encuentran corroídas por la humedad.
- Realizar el desmontaje de las baterías y proceder a la debida limpieza de los bornes, como del remplazo de los elementos desgastados.
- Verificar el correcto estado de toda la línea eléctrica y reemplazar aquellos elementos que estén en mal estado así como los que están ausentes.

De igual manera se puede ver como a pesar de las malas condiciones en las que se encuentra el sistema, tanto en ubicación como en diseño logra aportar una considerable cantidad de potencia a la universidad representada en un valor económico que podría aumentar siempre y cuando se tenga en cuenta los arreglos y modificaciones necesarias, como lo son la reubicación del equipo, el estudio de un posible sistema de seguimiento solar.

De acuerdo a la eficiencia de los paneles solares podemos encontrar dos maneras de aumentar sus capacidades. La primera consiste en hacer un incremento en las cualidades propias del panel solar que nos permita alcanzar mayores niveles de eficiencia. Como segunda instancia encontramos los seguidores solares que nos permiten seguir en cada momento del día la mayor intensidad de radiación posible para el sistema. Entre los seguidores solares podemos encontrarlos de según su movimiento como seguidores de un solo eje y seguidores a dos ejes. Y según su algoritmo también se pueden encontrar como seguidores por punto luminoso como seguidores con programación astronómica (29).

Por ende es indispensable que un sistema de paneles solares se le instale un seguidor solar, lo que aumentaría en un 15 a 20 % su eficiencia. Lo cual para el actual sistema que fue evaluado entre los meses de enero y julio, y cuya potencia estuvo en el margen de los 1281.77263 KWh, y un aumento no más del 15 % equivaldría a un incremento de la potencia de 192.2658945 KWh que de igual manera ajustándose a las tasas de condensa representa un valor de \$ 80.424,5929 que se podrían sumar al total de beneficio energético del sistema. Esto teniendo en cuenta solamente la implementación de un seguidor solar sin dejar a un lado que solo el posicionamiento adecuado del equipo brinda aproximadamente 4% más de eficiencia.

13. Anexos

13.1 Anexo 1.

Datos Irradiación – Paneles fotovoltaicos sede P.

	celda 1					
puntos	1	2	3	4	5	6
fecha / irradiación (Wh/m ²)						
28/07/2015 ; 9-10 am	566	411	369	330	464	479
	467	505	518	419	462	518
	902	885	851	649	430	465
promedio	645,0	600,3	579,3	466,0	452,0	487,3
varianza	51987,000	62985,333	60902,333	27097,000	364,000	754,333
desviación estándar	228,007	250,969	246,784	164,612	19,079	27,465
	celda 2					
	7	8	9	10	11	12
	691	583	413	308	266	249
	532	452	403	302	265	261
	719	628	968	656	676	690
promedio	647,3	554,3	594,7	422,0	402,3	400,0
varianza	10172,333	8360,333	104558,333	41076,000	56170,333	63111,000
desviación estándar	100,858	91,435	323,355	202,672	237,003	251,219
Promedio celda 1	538,3					
Promedio celda 2	503,4					
Total (w/m ²)	1041,777778					

Área del sistema (m ²)	9,76456
------------------------------------	---------

radiación 2015 periodo 1 enero - 16 Julio (Wh)	1281772,63
---	------------

	radiación solar (wh/m ²)	radiación solar (Wh)
Total Julio (w/m ²)	5231,611111	51084,38059
Total Agosto (w/m ²)	1615,277778	15772,47678
total	6846,888889	66856,85737

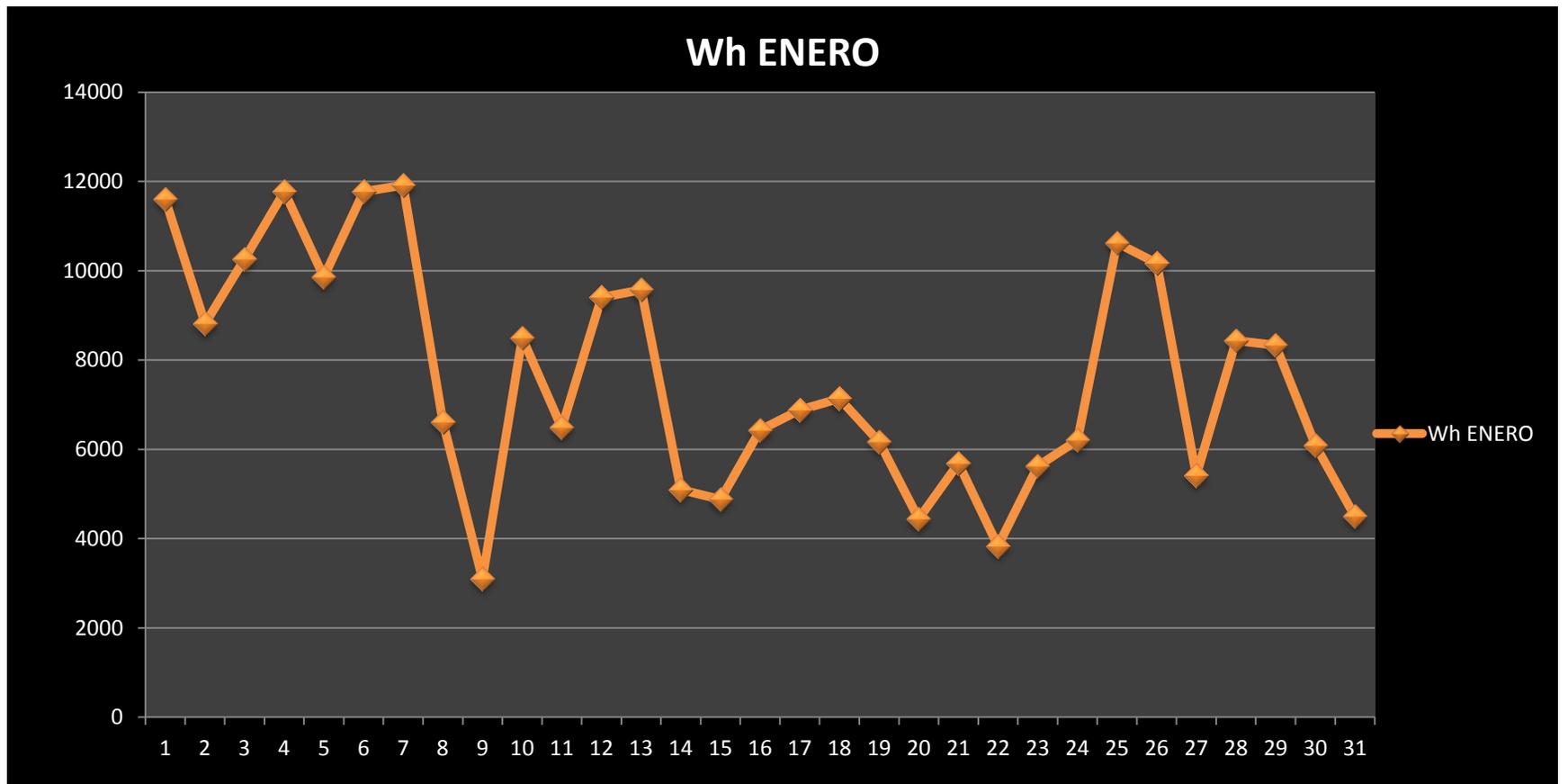
total 2015 1 enero- 5 agosto (Wh)	1348629,487
---	-------------

13.2 Anexo 2.

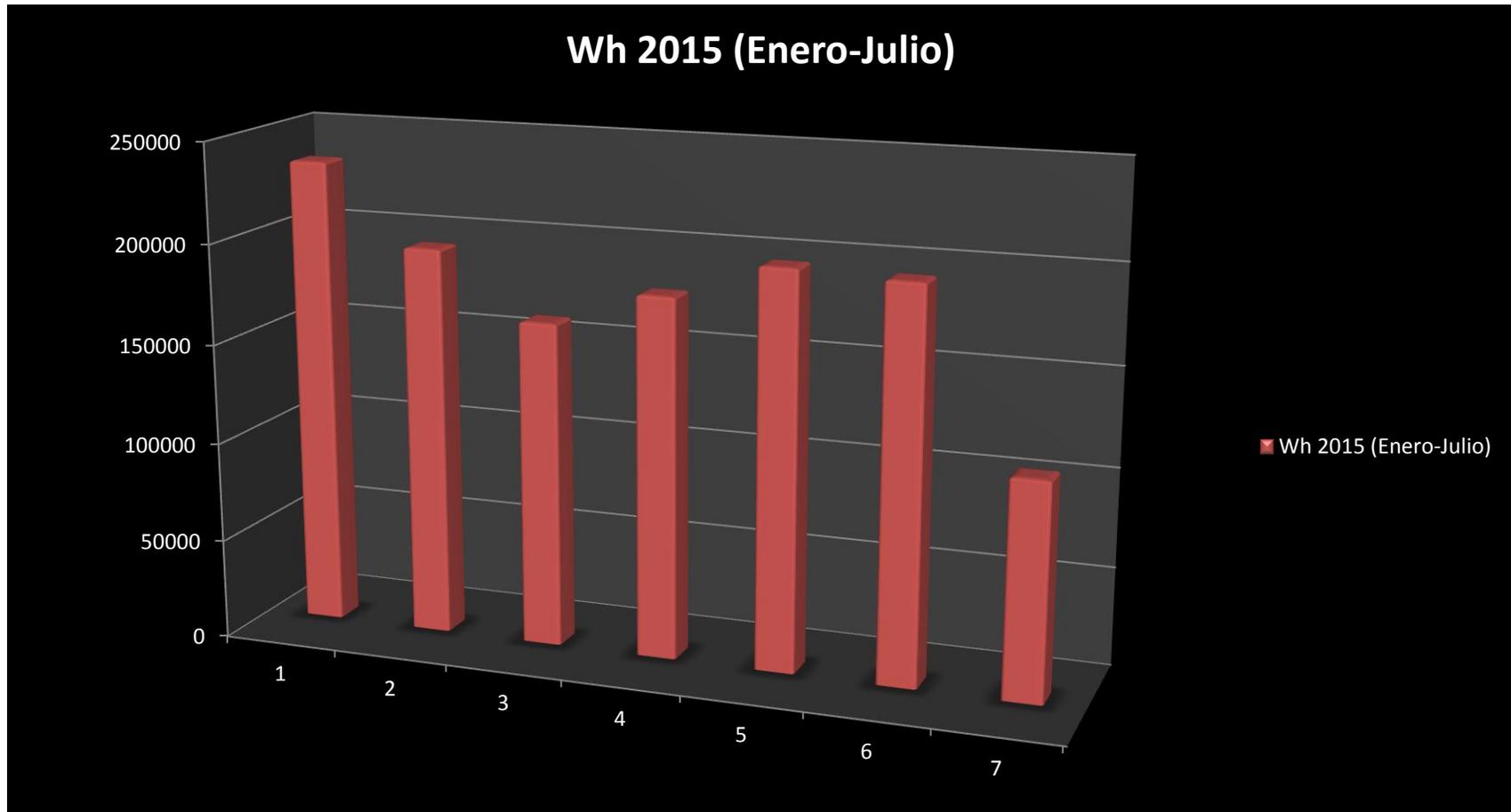
Información Radiación solar en Bogotá periodo 1 Enero - 16 Julio 2015

2015	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Total 2015
Total (Wh)	235661,09	196039,8	163585,605	181241,094	199267,5	196870,709	109106,9	1281772,6

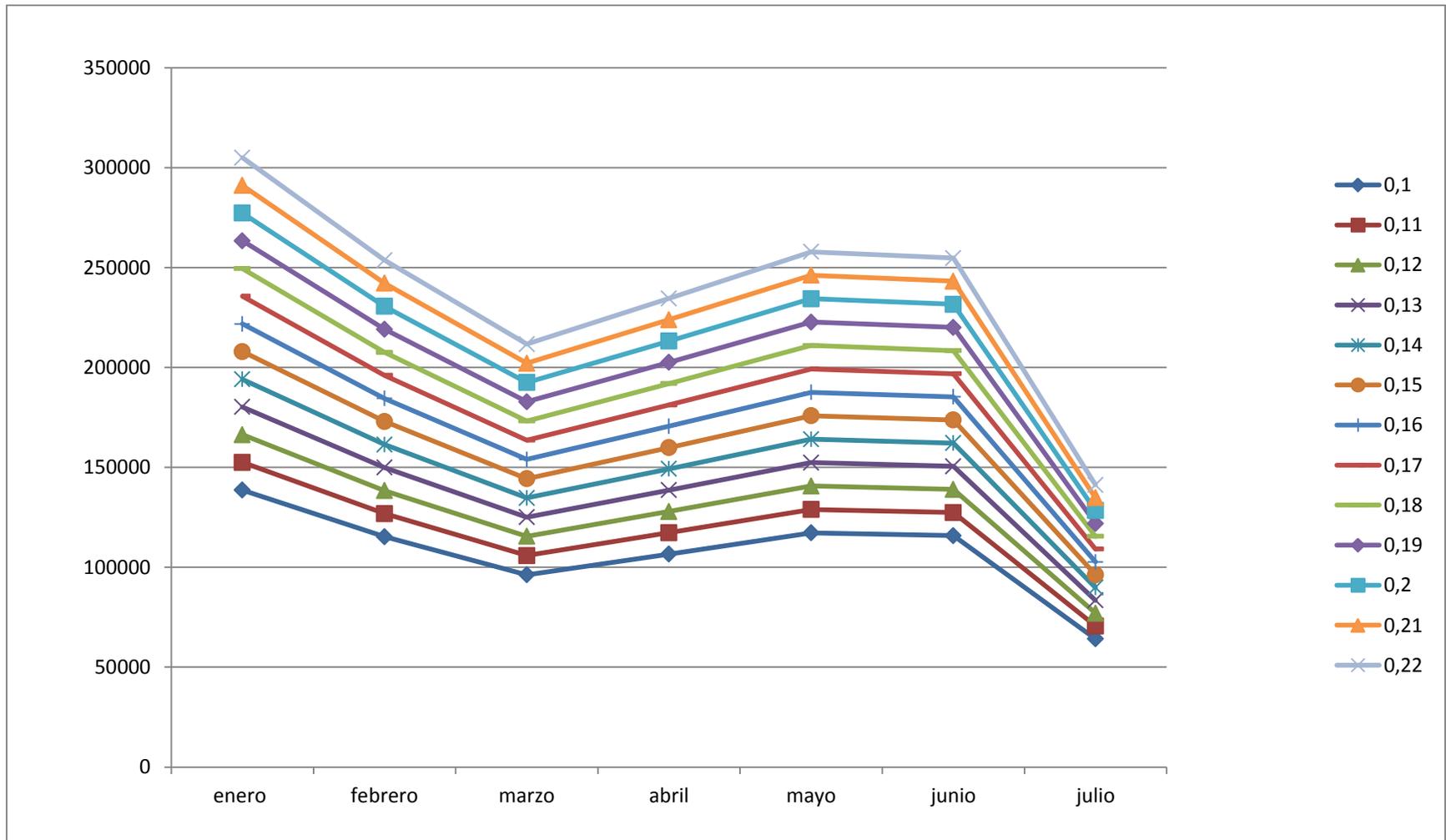
Potencia mes de Enero



Potencia Periodo 1 enero – 16 julio del 2015



Energía (Wh) Vs Eficiencia

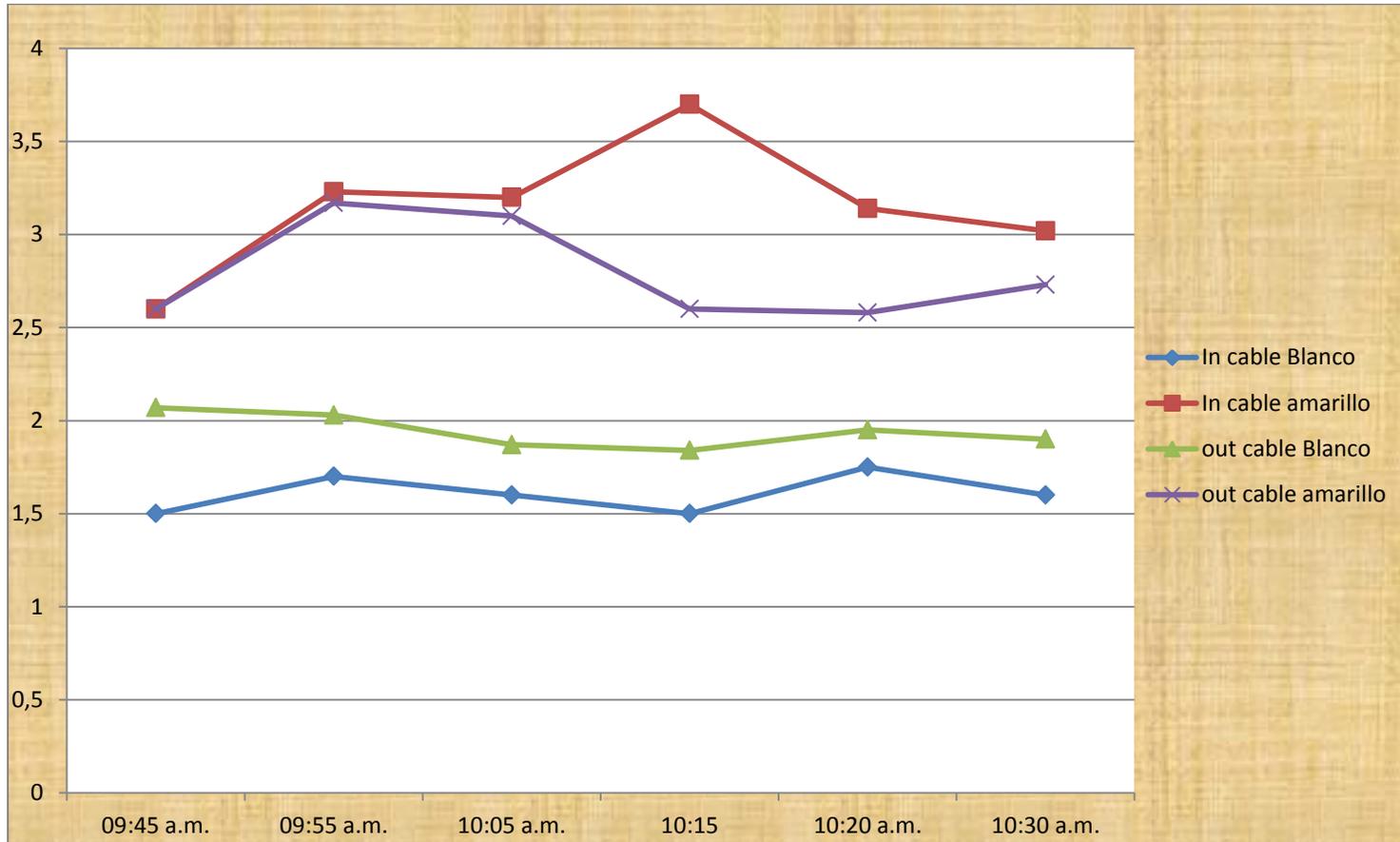


13.3 Anexo 3.

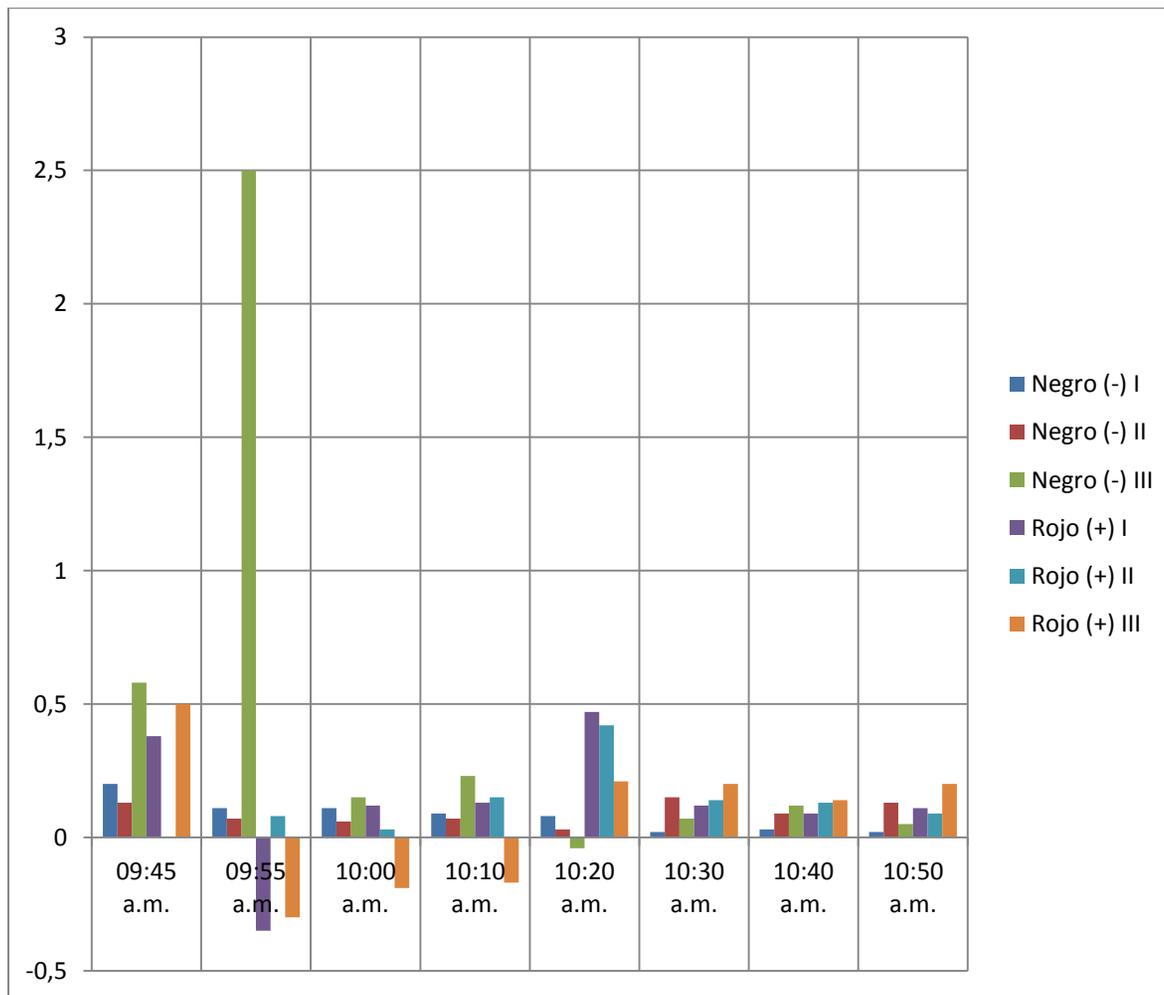
Corriente celdas fotovoltaicas – in out convertidor.

	Fecha 12 / 08 / 2015		voltaje 110	
Hora	corriente alterna (amperios)			
	In		out	
	cable Blanco	cable amarillo	cable Blanco	cable amarillo
09:45 a.m.	1,5	2,6	2,07	2,6
09:55 a.m.	1,7	3,23	2,03	3,17
10:05 a.m.	1,6	3,2	1,87	3,1
10:15	1,5	3,7	1,84	2,6
10:20 a.m.	1,75	3,14	1,95	2,58
10:30 a.m.	1,6	3,02	1,9	2,73
promedio	1,60833	3,14833	1,94333	2,79667
varianza	0,010417	0,126177	0,008307	0,072027
desviación estándar	0,10206	0,35521	0,09114	0,26838
potencia = I.V (W)	176,9167	346,3167	213,7667	307,6333

Variación de la corriente a la entrada y salida del convertidor Fecha 12 / 08 / 2015



Corriente continua al convertidor					
Negro (-)			Rojo (+)		
I	II	III	I	II	III
0,2	0,13	0,58	0,38	0,32	0,5
0,11	0,07	2,5	-0,35	0,08	-0,3
0,11	0,06	0,15	0,12	0,03	-0,19
0,09	0,07	0,23	0,13	0,15	-0,17
0,08	0,03	-0,04	0,47	0,42	0,21
0,02	0,15	0,07	0,12	0,14	0,2
0,03	0,09	0,12	0,09	0,13	0,14
0,02	0,13	0,05	0,11	0,09	0,2
Promedio 0,0825	Promedio 0,09125	Promedio 0,4575	Promedio 0,13375	Promedio 0,148571429	Promedio 0,07375
Varianza 0,0037	Varianza 0,0017	Varianza 0,7158	Varianza 0,0587	Varianza 0,0160	Varianza 0,0722
D. están. 0,0570	D. están. 0,0389	D. están. 0,7914	D. están. 0,2265	D. están. 0,1173	D. están. 0,2513
Potencia = I.V (W) 9,075	Potencia = I.V (W) 10,0375	Potencia = I.V (W) 50,325	Potencia = I.V (W) 14,7125	Potencia = I.V (W) 16,34285714	Potencia = I.V (W) 8,1125



13.4 Anexo 4.

		Angulo de declinación	Angulo de Zenit
latitud de Bogotá: 4,6333 °	día del año (n)	$\delta = 23.45^\circ * \text{Sen} \left(\frac{360 (n - 80)}{365} \right)$	$\theta_z = \phi - \delta$
	1	-22,93054361	27,56384361
	353	-23,44804565	28,08134565

13.5 Anexo 5.

Simulación software PV*SOLAR®

- Estado actual del sistema

Datos del proyecto

Número de oferta: 01 Puesta en marcha: 20/02/2016
 Autor: Santiago Andres Barragan Vega Nombre del proyecto: 01

Datos del cliente

Número de cliente: 01
 Persona de contacto: Javier Alejandro Bonilla
 Empresa: ECCI
 Teléfono: 3537171
 Fax: -
 E-mail: -
 Dirección: Carrera 19 No. 49 - 20

Representación del proyecto: 

Descripción del proyecto: Hacer el estudio de eficiencia de los paneles solares de la sede P de la universidad ECCT.

Dirección de la instalación: 

[Cargar](#) [Borrar](#)

Tipo de instalación, clima y red

Tipo de instalación: Sistema FV conectado a la red con consumidores eléctricos



Datos climáticos

País: Colombia Ubicación: Bogotá

Latitud: 4° 36' 34" (4,61°) Suma anual de irradiación global: 1572 kWh/m²
 Longitud: -74° 4' 54" (-74,08°)
 Huso horario: UTC-5 Media anual de temperatura: 13,1 °C
 Período de tiempo: 1986 - 2005
 Resolución: Por hora [Parámetros de simulación](#)

Red de CA

Tensión (N+L): 230 V
 Número de fases: 3-fásico
 cos φ: 1
 Limitación de la potencia de inyección: No

[Introducir](#)

Módulos FV

Superficie fotovoltaica 1

Datos del módulo: Example poly 200 W
 Fabricante: PV*SOL
 Número de módulos: 18
 Potencia generador FV: 3,6 kWp
 Incl. de los módulos FV: 30 °
 Orientación: 180 °
 Situación de montaje: Paralelo a la cubierta

Inversores: 2 x Inversor 1 Example
 Fabricante: PV*SOL
 Conexión: MPP 1: 1 x 9

Datos del proyecto

Nombre del proyecto: 01
 Número de oferta: 01
 Autor: Santiago Andres Barragan Vega
 Puesta en marcha: 20/02/2016

Tipo de instalación, clima y red

Tipo de instalación: Sistema FV conectado a la red con consumidores eléctricos
 Datos climáticos: Bogotá
 Resolución de los datos: 1 h
 Red de CA: 230 V 3-fásico
 Limitación de la potencia de i...: No

Consumo

Consumo total: 0 kWh
 Pico de carga: 0,0 kW
 Resolución de los datos: 1 h

Módulos FV

Superficie fotovoltaica 1

Datos del módulo: Example poly 200 W
 Fabricante: PV*SOL
 Número de módulos: 18
 Potencia generador FV: 3,6 kWp
 Incl. de los módulos FV: 30 °
 Orientación: 180 °
 Situación de montaje: Paralelo a la cubierta

Inversores

Datos del proyecto

Nombre del proyecto: 01
 Número de oferta: 01
 Autor: Santiago Andres Barragan Vega
 Puesta en marcha: 20/02/2016

Tipo de instalación, clima y red

Tipo de instalación: Sistema FV conectado a la red con consumidores eléctricos
 Datos climáticos: Bogotá
 Resolución de los datos: 1 h
 Red de CA: 230 V 3-fásico
 Limitación de la potencia de i...: No

Consumo

Consumo total: 0 kWh
 Pico de carga: 0,0 kW
 Resolución de los datos: 1 h

Módulos FV

Superficie fotovoltaica 1

Datos del módulo: Example poly 200 W
 Fabricante: PV*SOL
 Número de módulos: 6
 Potencia generador FV: 1,2 kWp
 Incl. de los módulos FV: 65 °
 Orientación: 90 °
 Situación de montaje: Paralelo a la cubierta

Inversores

Potencia generador FV: 1,2 kWp
 Superficie generador FV: 10,1 m²

Inversores

Conexionar conjuntamente las superficies

PRUEBA VALORES MODIFICAR

✓ **CONEXIÓN: 1.628**

✗ INVERSOR 1:

1 x PV*SOL Example

✓ MPP 1: 1 Línea x 6 Módulos en serie

Neuer Wechselrichter

Superficie fotovoltaica:

1.628 6 x Example poly 200 W = 1,2 kWp

Opciones:

[Comprobar la instalación](#)

[Límites de conexión](#)

Seleccionar inversores sólo de favoritos

Resultados

- Resumen
- Simulación
 - Editor de diagramas
 - Resultados por superficie...
 - Pronóstico rendim. con c...
 - Coefficiente de rendimen...
 - Irradiación
 - Temperatura
 - Energía de generador F...
 - Balance energético de instal...
- Evaluación económica
 - Tabla de flujo de caja
 - Cashflow acumulado (caja)
 - Evolución de los costes ...

Evaluación económica		Calidad técnica de la instalación fotovoltaica	
Rentabilidad del activo	11,50 %	Energía de generador FV (Red CA)	1.150 kWh/año
Erlöse und Einsparungen	211,1 \$/año	Rendimiento anual espec.	958,23 kWh/kWp
Cashflow acumulado (caja)	2.800,38 \$	Coefficiente de rendimiento de la	81,6 %

Integración de sistema	
Referencia red	929.792 kWh/año
Inyección en la red	492 kWh/año



Datos del proyecto

Nombre del proyecto 01

Número de oferta 01

Autor Santiago Andres Barragan Vega

Puesta en marcha 20/02/2016

Tipo de instalación, clima y red

Tipo de instalación Sistema FV conectado a la red con cons...

Datos climáticos Bogotá

Resolución de los datos 1 h

Red de CA 230 V 3-fásico

Limitación de la potencia de l... No

Consumo

Consumo total 0 kWh

Pico de carga 0,0 kW

Resolución de los datos 1 h

Módulos FV

1.628

Datos del módulo Example poly 200 W

Fabricante PV*SOL

Número de módulos 6

Potencia generador FV 1,2 kWp

Inclin. de los módulos FV 65 °

Orientación 90 °

Situación de montaje Paralelo a la cubierta

Datos del proyecto

Nombre del proyecto 01

Número de oferta 01

Autor Santiago Andres Barragan Vega

Puesta en marcha 20/02/2016

Tipo de instalación, clima y red

Tipo de instalación Sistema FV conectado a la red con cons...

Datos climáticos Bogotá

Resolución de los datos 1 h

Red de CA 230 V 3-fásico

Limitación de la potencia de l... No

Consumo

Consumo total 930449 kWh

Pico de carga 235,7 kW

Resolución de los datos 1 h

Módulos FV

1.628

Datos del módulo Example poly 200 W

Fabricante PV*SOL

Número de módulos 6

Potencia generador FV 1,2 kWp

Inclin. de los módulos FV 65 °

Orientación 90 °

Situación de montaje Paralelo a la cubierta

Inversores

1.628

- Informe

Ciente

ECCI

Carrera 19 No. 49 - 20

Persona de contacto:
Javier Alejandro Bonilla

Teléfono: 3537171

Fax: -

E-mail: -

Proyecto

Dirección:

Fecha de puesta en marcha: 20/02/2016

Descripción del proyecto:
Hacer el estudio de eficiencia de los paneles solares de la sede P de la universidad ECCI.

Sistema FV conectado a la red con consumidores eléctricos

Datos climáticos

Bogotá (1986 - 2005)

Potencia generador FV

1,2 kWp

Superficie generador FV

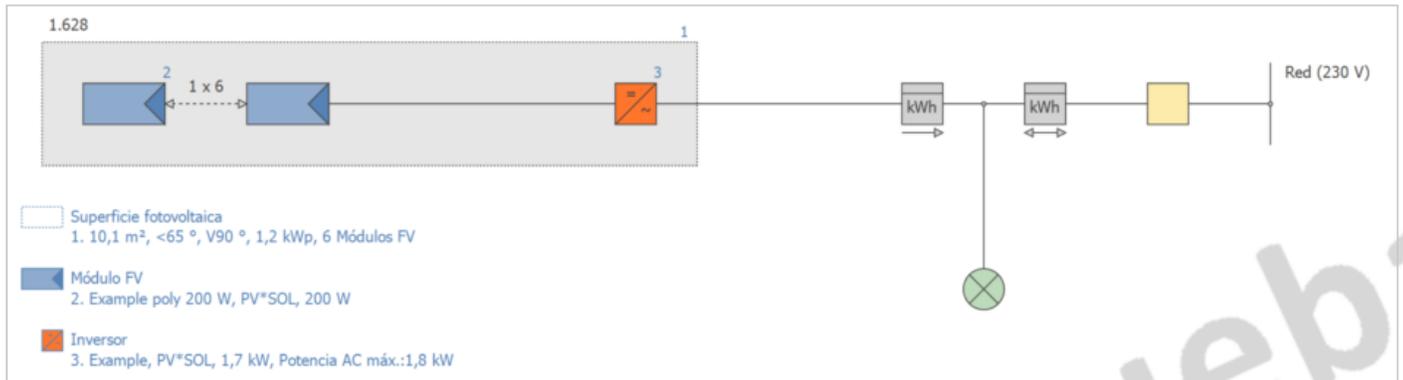
10,1 m²

Número de módulos FV

6

Número de inversores

1



Consumo

Consumo total	930449 kWh
Pico de carga	235,7 kW

Generador FV Superficie fotovoltaica

Nombre	1.628
Módulos FV*	6 x Example poly 200 W
Fabricante	PV*SOL
Inclin. de los módulos FV	65 °
Orientación	Este 90 °
Situación de montaje	Paralelo a la cubierta
Superficie generador FV	10,1 m ²

- simulación a 5 grados sentido Norte.

Módulos FV

Empresa: PV*SOL | Modelo: Example poly 200 W

Selección sólo de favoritos

Photo Plan - Vista fotográfica preliminar de la asignación del tejado

Asignación gráfica

Número de módulos: 6 | 1,20 kWp [Proporción deseada con respecto al consumo](#)

Situación de montaje: Paralelo a la cubierta

Seguimiento: Ninguno

Inclin. de los módulos FV: 5 °

Orientación: 360 °



Acimut 180°

[Parámetros adicionales](#)

Datos del proyecto

Nombre del proyecto: 01
 Número de oferta: 01
 Autor: Santiago Andres Barragan Vega
 Puesta en marcha: 20/02/2016

Tipo de instalación, clima y red

Tipo de instalación: Sistema FV conectado a la red con cons...
 Datos climáticos: Bogotá
 Resolución de los datos: 1 h
 Red de CA: 230 V 3-fásico
 Limitación de la potencia de i...: No

Consumo

Consumo total: 930449 kWh
 Pico de carga: 235,7 kW
 Resolución de los datos: 1 h

Módulos FV

1.628

Datos del módulo: Example poly 200 W
 Fabricante: PV*SOL
 Número de módulos: 6
 Potencia generador FV: 1,2 kWp
 Inclin. de los módulos FV: 5 °
 Orientación: 360 °
 Situación de montaje: Paralelo a la cubierta

Inversores

1.628

Potencia generador FV: 1,2 kWp
 Superficie generador FV: 10,1 m²

Resultados

Evaluación económica

Rentabilidad del activo	15,49 %
Erlöse und Einsparungen	271,9 €/año
Cashflow acumulado (caja)	4.127,13 \$

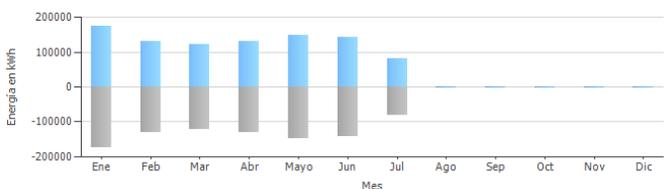
Calidad técnica de la instalación fotovoltaica

Energía de generador FV (Red CA)	1.503 kWh/año
Rendimiento anual espec.	1.252,32 kWh/kWp
Coefficiente de rendimiento de la	81,1 %

Integración de sistema

Referencia red	929.576 kWh/año	Inyección en la red	629 kWh/año
----------------	-----------------	---------------------	-------------

Pronóstico rendim. con consumo



Legend: Energía de generador FV (Red CA) (yellow), Consumidores (grey), Consumo Stand-by (dark grey), Referencia red (light blue), Inyección en la red (dark blue)

Datos del proyecto

Nombre del proyecto: 01
 Número de oferta: 01
 Autor: Santiago Andres Barragan Vega
 Puesta en marcha: 20/02/2016

Tipo de instalación, clima y red

Tipo de instalación: Sistema FV conectado a la red con cons...
 Datos climáticos: Bogotá
 Resolución de los datos: 1 h
 Red de CA: 230 V 3-fásico
 Limitación de la potencia de i...: No

Consumo

Consumo total: 930449 kWh
 Pico de carga: 235,7 kW
 Resolución de los datos: 1 h

Módulos FV

1.628

Datos del módulo: Example poly 200 W
 Fabricante: PV*SOL
 Número de módulos: 6
 Potencia generador FV: 1,2 kWp
 Inclin. de los módulos FV: 5 °
 Orientación: 360 °
 Situación de montaje: Paralelo a la cubierta

Inversores

1.628

- simulación a 27 grados sentido Norte.

Módulos FV

Empresa: PV*SOL | Modelo: Example poly 200 W

Selección sólo de favoritos:

Photo Plan - Vista fotográfica preliminar de la asignación del tejado:

Asignación gráfica:

Número de módulos: 6 | 1,20 kWp | [Proporción deseada con respecto al consumo](#)

Situación de montaje: Paralelo a la cubierta

Seguimiento: Ninguno

Inclin. de los módulos FV: 27 °

Orientación: 360 °

Acimut 180°

[Parámetros adicionales](#)

Datos del proyecto

Nombre del proyecto: 01
 Número de oferta: 01
 Autor: Santiago Andres Barragan Vega
 Puesta en marcha: 20/02/2016

Tipo de instalación, clima y red

Tipo de instalación: Sistema FV conectado a la red con cons...
 Datos climáticos: Bogotá
 Resolución de los datos: 1 h
 Red de CA: 230 V 3-fásico
 Limitación de la potencia de i...: No

Consumo

Consumo total: 930449 kWh
 Pico de carga: 235,7 kW
 Resolución de los datos: 1 h

Módulos FV

1.628
 Datos del módulo: Example poly 200 W
 Fabricante: PV*SOL
 Número de módulos: 6
 Potencia generador FV: 1,2 kWp
 Inclin. de los módulos FV: 27 °
 Orientación: 360 °
 Situación de montaje: Paralelo a la cubierta

Inversores

1.628

Potencia generador FV: 1,2 kWp
Superficie generador FV: 10,1 m²

Resultados

Evaluación económica

Rentabilidad del activo: 13,86 %
 Erlöse und Einsparungen: 246,2 \$/año
 Cashflow acumulado (caja): 3.577,72 \$

Calidad técnica de la instalación fotovoltaica

Energía de generador FV (Red CA): 1.350 kWh/año
 Rendimiento anual espec.: 1.125,03 kWh/kWp
 Coeficiente de rendimiento de la: 80,4 %

Integración de sistema

Referencia red: 929.646 kWh/año | Inyección en la red: 546 kWh/año

Pronóstico rendim. con consumo

Evaluación económica

- Tabla de flujo de caja
- Cashflow acumulado (caja)
- Evolución de los costes de er

Datos del proyecto

Nombre del proyecto: 01
 Número de oferta: 01
 Autor: Santiago Andres Barragan Vega
 Puesta en marcha: 20/02/2016

Tipo de instalación, clima y red

Tipo de instalación: Sistema FV conectado a la red con cons...
 Datos climáticos: Bogotá
 Resolución de los datos: 1 h
 Red de CA: 230 V 3-fásico
 Limitación de la potencia de i...: No

Consumo

Consumo total: 930449 kWh
 Pico de carga: 235,7 kW
 Resolución de los datos: 1 h

Módulos FV

1.628
 Datos del módulo: Example poly 200 W
 Fabricante: PV*SOL
 Número de módulos: 6
 Potencia generador FV: 1,2 kWp
 Inclin. de los módulos FV: 27 °
 Orientación: 360 °
 Situación de montaje: Paralelo a la cubierta

Inversores

- Rango de eficiencia del sistema

EFICIENCIA %	15,49	15,35	14,86	14,26	14,1	13,86
ANGULO	5	10	15	20	25	27

14. Referencias

1. **energy, World.** World energy consumption. *wikipedia*. [En línea] 19 de junio de 2014. [Citado el: 15 de abril de 2015.] http://commons.wikimedia.org/wiki/File:World_energy_consumption_es.svg.
2. **Accidente nuclear fukushima. Casimiro , soriguer y sanchez , Carlos.** 15, Sevilla : universidad Pablo de Olavide, 2014, Revista de ciencia de la Universidad Pablo de Olavide , Vol. 15.
3. **cirsis, las tres.** las Tres Crisis. [En línea] 30 de Agosto de 2014.
<http://monitorizandoelmundo.blogspot.com/2014/08/estadistica-energia-mundial-2013.html>.
4. Acuerdo nuclear con iran empuja hacia arriba el petroleo. *El Portafolio*. 2015.
5. **chart-es.svg, World energy usage width.** Wikipedia. [En línea] 17 de 7 de 2008. [Citado el: 16 de Abril de 2015.] http://commons.wikimedia.org/wiki/File:World_energy_usage_width_chart-es.svg.
6. Mercado Internacional Carbon. [En línea]
http://www.carbunion.com/panel/carbon/uploads/mercado_internacional_3.pdf.
7. **Universo, El.** El Universo. *Vida y estilo - ecologia*. [En línea] [Citado el: 18 de Abril de 2015.]
<http://www.eluniverso.com/2012/01/08/1/1430/energia-renovable-cobre-129-demanda-mundial.html>.
8. **Sevilla, Martin, Golf, Emilio y M., Oana.** *las energias renovables en españa*. Alicante : Estudios de Economia Aplicada , 2013. 1133-3197.
9. **fotovoltaica, Situacion actual de la energia solar.** Suelosolar. [En línea] IDAE, 2008. [Citado el: 14 de Abril de 2015.] <http://www.suelosolar.es/newsolares/newsol.asp?id=6209>.
10. *Como implementar una ley de balance neto.* **Bergahusen Perez, Jorge.** 0212-4157, 2012, Era Solar.
11. *aprovechamiento de la energia solar en la argentina y en el mundo.* **C. Duran, Julio y M. Godfrin, Elena.** 1, s.l. : departamento de fisica centro atomico constituyentes, 2004.
12. **Cantillo Guerrero, Ernesto Fidel y Conde Danies, Fernando.** *Diagnostico tecnico y comercial del sector fotovoltaico en la region caribe colombiana*. s.l. : universidad autonoma del caribe, 2011. págs. 81-88.
13. **Hurtado Gonzalez, Julia.** *Energia solar*. s.l. : Alhambra, 1978.
14. Celulas fotovoltaicas. [En línea] http://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lula_fotoel%C3%A9ctrica.
15. **Perpinan , Oscar, Colmenares, Antonio y Alonso, Manuel.** *Diseño de sistemas fotovoltaicos*. 1.22. s.l. : creative commons, 2012.
16. **Renewable energy.** Renewable energy world.com. [En línea] 31 de Agosto de 2011.
<http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2011/08/a-silver-lining-in-declining-solar-prices>.
17. **Forum, OECD global science.** conference on scientific challenges for energy research. [En línea] 17 - 18 de Mayo de 2006. http://home.cc.umanitoba.ca/~vsmil/pdf_pubs/oecd.pdf.
18. *chatarra vestida de verde.* **Photon.** 2, 2008, Photon, págs. 92-93.
19. **The World.** Sunny Uplands. *The Economist*. [En línea] 2013.
<http://www.economist.com/news/21566414-alternative-energy-will-no-longer-be-alternative-sunny-uplands>.
20. *Modelo de un sistema fotovoltaico interconectado.* **Hernandez, Jhoan Alexander, Trujillo, Cesar Leonardo y Vallejo, William Andres.** julio de 2013, Tecnura, Vol. 17.
21. **Serrano Trujillo, Pablo Jesus.** *Sistema fotovoltaico autonomo para casa de campo en colmenar (Tesis)*. s.l. : universidad internacional de andalucia, 2009.
22. Efecto Fotoelectrico. [En línea] http://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_fotoel%C3%A9ctrico.
23. **Total Primary Energy Supply.** Sunlight. [En línea] 2010. http://www.ez2c.de/ml/solar_land_area/.
24. *Incorporacion de la correccion por el angulo de incidencia al metodo de sherouse.* **Morales, N. y Garcia, M.** 1, s.l. : revista de fisica medica, 2011, Revista de Fisica Medica, Vol. 12.
25. *Optimizando el angulo de inclinacion de los paneles solares.* **Arrieta Paternina, Mario, Olmos , Luis Carlos y Izquierdo, Jorge Luis.** 6 de 2012, Prospectiva.
26. **Congreso de Colombia.** Ley 1715 del 2014. [En línea] 13 de Mayo de 2014.
<http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Leyes/Documents/LEY%201715%20DEL%2013%20DE%20MAYO%20DE%202014.pdf>.
27. **Panel fotovoltaico.** kikipedia. [En línea] http://es.wikipedia.org/wiki/Panel_fotovoltaico#Historia.
28. *Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas.* **Rodriguez Murcia, Humberto.** s.l. : revista de los andes, 15 de enero de 2009, Revista de ingeniería de los Andes.
29. *Solar tracker, optimizing ofimprovementof the solar energy.* **Machado Toranzo, Noel, y otros, y otros.** 2015, Ingeniería Energetica .

