

**OFERTA DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTÁICA EN EL CAMPUS DE LA  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA, SECCIONAL BUCARAMANGA,  
AREA METROPOLITANA Y LA MESA DE LOS SANTOS**

**NICOLÁS MAURICIO SOLANO GARCÍA.**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2014**

**OFERTA DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTÁICA EN EL CAMPUS DE LA  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA, SECCIONAL BUCARAMANGA,  
ÁREA METROPOLITANA Y LA MESA DE LOS SANTOS**

**NICOLÁS MAURICIO SOLANO GARCÍA.**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero  
Civil.**

**Director**

**Ing. M.Sc. Iván Andrés Herrera Galvis.**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2014**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bucaramanga, Enero de 2014

## DEDICATORIA

*A mis padres, por su apoyo incondicional, su amor y su bondad, a quienes les debo lo que soy por haber sembrado en mí, la semilla de la responsabilidad y el amor a lo que hago. A mi hermana quien siempre me brinda su apoyo y me motiva a ser mejor cada día. A mis tías, Blanca, Aura, Consuelo, Alba y Lusaira, quienes han sido testigos de mi formación, mis triunfos y mis desdichas. A Benjamín, a quien llevo prendido en el alma*

**Nicolás Solano.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a Dios por haberme dado la sabiduría para poder culminar mi carrera profesional.

A mi familia que me apoyó incondicionalmente y me motivó siempre a seguir adelante con la investigación.

A la Universidad Pontificia Bolivariana y a la facultad de Ingeniería Civil por formarme como profesional integral y capaz.

Mi más sincero agradecimiento al equipo de profesores, quienes me guiaron para culminar con éxito mis estudios y de quienes me llevo recuerdos gratos.

A mis muy nuevas amigas Lina Martínez y Paula Güiza, quienes con paciencia y desvelo me ayudaron en la elaboración de este proyecto.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
LISTA DE TABLAS	9
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE GRÁFICAS	11
LISTA DE ANEXOS	12
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN	15
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	17
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.2 JUSTIFICACIÓN	19
1.3 OBJETIVOS	211
1.3.1 General	211
1.3.2 Específicos	211
1.4 ANTECEDENTES	222
1.4.1 Protocolo de Kioto.	222
1.4.2 Libro blanco de adaptación al Cambio Climático	233
1.4.3 Libro verde de adaptación al Cambio Climático	233
1.4.4 Mecanismos de política a nivel mundial	244
1.4.5 Aplicaciones en el mundo y en Colombia	255
1.4.6 Energía solar fotovoltaica en el mundo	277
1.4.7 Mercados Mundiales de Energía Solar FV	299
1.5 MARCO TEÓRICO	344
1.5.1 Energías renovables	344
1.5.1.1 Energía Solar	355

1.5.1.2 Energía Eólica	355
1.5.1.3 Biomasa	355
1.5.1.4 Energía Geotérmica	355
1.5.1.5 Energía Hidráulica	355
1.5.2 Oferta natural	366
1.5.3 El sol como fuente de energía	366
1.5.4 Medición de la radiación solar sobre la superficie de la tierra.	399
1.5.4.1 Pirheliómetro	399
1.5.4.2 Piranómetro	40
1.5.4.3 Heliógrafo (Sunshine Recorder)	411
1.5.5 Ángulos tierra – sol	433
1.5.5.1 Ángulo del cenit ( $\theta_z$ )	433
1.5.5.2 Ángulo de azimut solar ( $\gamma_{sun}$ )	433
1.5.5.3 Ángulo horario ( $\omega$ )	433
1.5.5.4 Declinación solar ( $\delta$ )	444
1.5.5.5 Ángulo de incidencia ( $\theta_i$ )	455
1.5.6 El efecto fotovoltaico	477
1.5.7 Energía solar fotovoltaica	477
1.5.8 Paneles solares fotovoltaicos	488
1.5.9 Sistemas de seguimiento	499
1.5.10 Tipos de instalaciones solares FV	51
1.5.10.1 Instalaciones Solares FV aisladas	51
1.5.10.2 Instalaciones Solares FV conectadas a la red eléctrica.	51
1.5.10.3 Centrales Solares FV	511
1.5.11 Componentes de las instalaciones solares FV	511
1.5.11.1 Módulos o paneles fotovoltaicos.	511
1.5.11.2 Reguladores de carga.	522
1.5.11.3 Baterías.	522
1.5.11.4 Inversor.	522
1.5.12 Cálculo de una instalación solar FV	522

2. METODOLOGÍA	544
2.1 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN. (REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA).	544
2.2 INSTRUMENTOS UTILIZADOS	555
2.3 INSTALACIÓN DE MEDIDORES	588
2.4 DATOS CLIMATOLÓGICOS Y DE RADIACIÓN	599
2.5 ORGANIZACIÓN Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	60
2.6 INSTALACIÓN DE LOS SISTEMAS	611
2.7 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN Y CÁLCULOS	633
2.8 RESULTADOS	633
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	644
3.1 DATOS DE RADIACIÓN, POTENCIAS Y TEMPERATURAS.	644
3.2 OFERTA DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	70
3.3 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	755
3.4.1 Cálculo del costo que representa durante una hora cualquier dispositivo electrónico:	788
3.4.2 Estimativo del Consumo Eléctrico para los requerimientos convencionales de oficina en los edificios del edificio K de la Universidad Pontificia Bolivariana	799
3.4.3 Promedio potencia desarrollada durante el día: 546.6 W; equivalentes 0.5466 kW.	799
3.4.4 Rentabilidad del Panel Solar..	811
4. CONCLUSIONES	844
5. RECOMENDACIONES	877
BIBLIOGRAFÍA	899
ANEXOS	933



## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Categorías e Instrumento Político.	244
Tabla 2. Potencial de energía solar en Colombia por regiones	33
Tabla 3. Tabla de Datos tipo.	655
Tabla 4. Valores diarios acumulados de Potencia en vatios (W)	744
Tabla 5. Consumo promedio de electrodomésticos convencionales.	766
Tabla 6. Costo por hora según consumo de diferentes electrodomésticos convencionales.	788
Tabla 7. Especificaciones técnicas del panel solar KYOCERA.	799
Tabla 8. Resumen de número de unidades encendidas por hora y ahorro en pesos.	811

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Evolución del mercado fotovoltaico. Fuente: Propuesta para el desarrollo de la Energía Solar FV. 2005.	30
Figura 2. Mercado fotovoltaico mundial. Fuente: IPSE.	30
Figura 3. Distribución de Instalaciones Solares FV en Latinoamérica.	311
Figura 4. Pérdidas de radiación incidente Sol-Tierra. (IPSE, 2011).	377
Figura 5. Mapa de Radiación Solar Global.	388
Figura 6. Pirheliómetro. Imagen tomada de Google Images, Pirheliómetro.	40
Figura 7. Piranómetro convencional. (Fundamentals of Photovoltaic)	411
Figura 8. Heliómetro. Google Images. Bandas de medición de insolación.	422
Figura 9. Ángulos de azimut solar, altitud y altitud solar sobre un punto P.	433
Figura 10. Ángulo de declinación solar.	455
Figura 11. Ángulo de incidencia sobre una superficie inclinada.	466
Figura 12. Panel tipo teja de bajo formato	499
Figura 13. Recorrido de un seguidor solar de dos ejes. Fuente IPSE	50
Figura 14. Panel solar usado para las mediciones.	555
Figura 15. Especificaciones eléctricas del panel solar utilizado.	566
Figura 16. Controlador solar usado para los registros de potencia.	577
Figura 17. Piranómetro usado para medir la radiación.	588
Figura 18. Sistema fotovoltaico instalado para las mediciones.	622
Figura 19. Controlador solar TRISTAR instalado al panel solar.	622
Figura 20. Costo en pesos por kilovatio hora en Santander.	777
Figura 21. Imagen ilustrativa de la página web de Amazon	833

## LISTA DE GRÁFICAS

	<b>Pág.</b>
Gráfica 1. Comportamiento de la Potencia del panel con cambios de Temperatura.	666
Gráfica 2. Incremento de Potencia Generada o Real vs Radiación.	677
Gráfica 3. Pérdidas por Temperatura.	688
Gráfica 4. Influencia de la Temperatura Ambiente y la Radiación sobre la Temperatura del panel.	688
Gráfica 5. Influencia de la Radiación y la Temperatura del Panel sobre la Potencia Generada.	699
Gráfica 6. Registro de potencias horarias nominales durante el período de medición.	70
Gráfica 7. Potencia Promedio horaria de los días estudio.	722
Gráfica 8. Potencia real generada promedio diaria.	733
Gráfica 9. Oferta de Energía Solar en forma de Potencia diaria acumulada.	755

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A. Registros de los datos diarios de medición.	944
Anexo B. Curvas de rendimiento, comportamiento y generación de Potencia por días.	1088
Anexo C. Registro de las velocidades de viento durante el período de medición.	172
Anexo D. Registro organizado de temperaturas promedio por hora.	173
Anexo E. Tabla de registro de consumo de algunos electrodomésticos convencionales	174

## RESUMEN

**TÍTULO:** OFERTA DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA, SECCIONAL BUCARAMANGA, AREA METROPOLITANA Y LA MESA DE LOS SANTOS.

**AUTOR:** NICOLÁS MAURICIO SOLANO GARCÍA

**FACULTAD:** Ingeniería Civil

**DIRECTOR:** Ing. M.Sc. Iván Andrés Herrera Galvis.

### DESCRIPCIÓN:

En este trabajo se determinó la oferta de energía eléctrica fotovoltaica y las ventajas económicas que representa a través de un análisis de las condiciones meteorológicas de la zona de influencia de la estación instalada en la Universidad Pontificia Bolivariana.

Para ello, se utilizó un panel solar marca KYOCERA de potencia máxima 135 W, un controlador solar marca Morningstar, un piranómetro CC20 de Kipp & Zonen y una estación meteorológica Davis Advantage PRO, instrumentos con los que se recolectaron los datos de radiación incidente, potencia y temperaturas tanto ambiente como del panel solar, desarrolladas entre los meses de diciembre de 2013 y enero del presente año.

Los datos fueron organizados en hojas de cálculo y se graficó el comportamiento diario de las variables potencia, radiación y temperatura del panel. Se llegó a la conclusión que las menores pérdidas se producen cuando el panel se mantiene en temperaturas inferiores a los 30 °C.

El análisis demostró además que los picos máximos de potencia se generan entre las 12 pm y la 1 pm alcanzando unos 70 W/h. Esto significa que con un sistema de almacenamiento continuo de la energía producida por hora se pueden generar 0.546 kW; cantidad de potencia representada en 7 televisores LCD encendidos durante una hora continua, por ejemplo.

Además, se convierte en una alternativa interesante, ya que esto significa generar 0.07 kw/h exentos de pago por un período superior a 10 años, según el período de retorno y la vida útil del panel.

**PALABRAS CLAVE:** Energía Solar. Radiación Incidente. Potencia. Temperatura del Panel Piranómetro CC20 Kipp & Zonen.

## ABSTRACT

**TITLE:** PHOTOVOLTAIC SOLAR POWER SUPPLY IN UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA COLLEGE CAMPUS, BUCARAMANGA BRANCH, METROPOLITAN AREA, AND LA MESA DE LOS SANTOS.

**AUTHOR:** NICOLÁS MAURICIO SOLANO GARCÍA

**DIRECTOR:** Ing. M.Sc. Iván Andrés Herrera Galvis.

### DESCRIPTION:

In this work, the supply of photovoltaic power and the economic advantages through an analysis of weather conditions in the area of influence of the station installed at the Universidad Pontificia Bolivariana was determined.

For this, a KYOCERA solar panel Maximum Power 135 W, a solar controller Morningstar, a pyranometer Kipp & Zonen CC20 and a weather station Davis Advantage PRO were used. Instruments with which the incident radiation data, power, and ambient temperatures and of the solar panel, were collected between the months of December 2013 and January this year.

Data were organized at spread sheets, and the daily behavior of the variables, power, radiation and panel temperature was plotted in graphics. It is concluded that minor losses occur when the panel is kept in temperatures below 30 ° C.

The analysis also showed that the maximum peak power generated was between 12 m to 1 pm reaching about 70 W / h. This means that a system of continuous storage of the energy produced per hour can generate 0.546 kW, amount of power represented in 7 LCD television sets during one continuous hour, for example.

Besides, it becomes an interesting alternative, as this means generating 0.07 kW / h exempt from payment for a period exceeding 10 years, according to the return period and the life of the panel.

**KEYWORDS:** Solar Energy. Radiation Incident. Power. Temperature Panel. CC20 Pyranometer Kipp & Zonen.

## INTRODUCCIÓN

Los recursos fósiles han sido para el mundo un factor de gran importancia en el desarrollo de las sociedades, gracias a que se convirtieron en la principal materia prima para la generación de energía; sin embargo nunca se contempló el impacto que traería consigo una extrema dependencia a ellos. Éste impacto ha cobrado críticas señalamientos a través del tiempo al considerarse hoy en día uno de los principales focos de contaminación en el mundo.

Se hace necesario que con prontitud se fomente la aplicación de fuentes de energía limpias y eficientes, para reducir las emisiones generadas por los combustibles fósiles.

Por tal motivo, las energías provenientes de fuentes renovables que son técnicamente accesibles y abundantes, constituyen un polo a desarrollar que puedan catapultar esta tecnología a volverse una alternativa atractiva.

No obstante, son muchos los paradigmas que existen acerca de los recursos energéticos renovables en países como el nuestro, a causa de la falta de investigaciones, aplicaciones y sistemas que ayuden a romper tales paradigmas.

El clima cálido y radiaciones solares que oscilan en el adecuado promedio hacen de Bucaramanga un panorama prometedor para la producción de energía solar.

A continuación se expone la elaboración de un estudio que permite cuantificar el potencial de generación de energía eléctrica a partir de energía solar en datos de tiempo real, y que sirven para estimar la viabilidad de aplicar estas alternativas en

la zona de influencia de la estación meteorológica instalada en la Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Bucaramanga.



## **1. GENERALIDADES DEL PROYECTO**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Hoy en día no es un secreto que el consumo desmesurado de los recursos naturales ha hecho que las consecuencias de un cambio climático, sean cada vez más severas y devastadoras. Fenómenos naturales más intensos, inviernos más fríos y veranos insostenibles que vienen acompañados de desastres, como inundaciones, incendios, erosión, socavación y graves daños en los asentamientos urbanos son visibles evidencia de ello.

La falta de conciencia ciudadana y la falta de sentido de preservación por el medio ambiente es un factor que ha llevado a la sociedad a volverse completamente ciega por el consumismo y la extrema dependencia por los recursos fósiles a causa de gobiernos que han convertido el sistema energético mundial en un negocio poco o nada sostenible, dejando siempre de lado las energías renovables y sus aplicaciones como la producción de energía eléctrica en casos que se han desarrollado e investigado lenta y tímidamente.

En consecuencia, son muchos los paradigmas que existen alrededor de las energías alternativas en países como Colombia, que aún se encuentra rezagado en este aspecto. Esto, causante de la falta de investigaciones, de aplicaciones y de sistemas que ayuden a romper tales paradigmas, aumenta en gran medida la incertidumbre que trae imponer algo innovador como la energía solar fotovoltaica.

A sabiendas de que el protocolo de Kioto hoy resulta insuficiente, se hace necesario que desde la academia se lance una voz de alerta que permita crear estrategias para mitigar las consecuencias causadas por el hombre;

investigaciones sobre las energías renovables como la solar FV, a fin de eliminar el alto grado de incertidumbre que existe por la ausencia de investigación y desarrollo en ésta área mediante datos certeros tomados en tiempo real que brinden unos resultados concretos de los beneficios que trae aplicar esta tecnología para la producción de energía eléctrica, es una de las iniciativas para lograrlo.

Esto lleva a la formulación de la siguiente pregunta; a fin de contribuir a la mitigación de los efectos sobre el clima producidos por la extrema dependencia a los recursos fósiles, ¿Es Bucaramanga apta para la generación de energía eléctrica a partir de la energía solar fotovoltaica?

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

Uno de los temas que más se mueven hoy en día dentro de las agendas políticas mundiales es el aseguramiento del suministro energético en vista de los incrementos en el precio del petróleo y su innegable tendencia a la desaparición en los próximos años a causa de la extrema dependencia que se ha creado en la humanidad hacia los recursos fósiles.

Por tal motivo, las energías provenientes de fuentes renovables que son técnicamente accesibles para todo el mundo y que son en exceso abundantes, constituyen un polo a desarrollar que puedan catapultar esta tecnología a volverse una alternativa tentadora y atractiva. Su oferta puede ser capaz de producir seis veces más energía de la que se consume actualmente<sup>1</sup>.

En los últimos años, es notorio el aumento de las instalaciones de energía solar térmica y fotovoltaica debido a la creciente sensibilidad de la sociedad desarrollada hacia la necesidad de sustituir los combustibles fósiles y, avanzar en obtener mejoras en la calidad de vida con ambientes más limpios.

No obstante, la tendencia mundial mencionada en el párrafo anterior aún se mantiene rezagada en el país, siendo aún los Recursos energéticos renovables (ER) un tema tratado con timidez en Colombia, por lo que su fomento, sabiendo que tienen un enorme potencial, aumentaría la diversidad de mercados de suministro de energía de tal manera que se asegure el suministro de energía sostenible a largo plazo y en consecuencia se reducirían las emisiones atmosféricas locales y globales.

---

<sup>1</sup> EUROPEAN RENEWABLE ENERGY COUNCIL and GREENPEACE INTERNATIONAL. Revolución Energética: Un futuro energético para la Argentina. En: Informes Analíticos [en línea]. 2009.

El panorama desolador alienta esta investigación. Debido a que Bucaramanga, catalogada de clima cálido, y cuyas radiaciones oscilan en el promedio necesario para la producción de energía solar, se propuso la elaboración de un estudio que permitiera cuantificar el potencial de generación de energía eléctrica a partir de energía solar en datos de tiempo real y que sirvan para estimar la viabilidad de aplicar estas alternativas en las zonas de estudio.

Por tal motivo, es tarea de las universidades y de la academia en general motivar investigaciones que estén encaminadas a ser ese puente intercomunicador que brinde a las sociedades soluciones a las necesidades del ahora y del mañana con el fin de desvincular la generación de energía eléctrica de la emisión directa de Gases Efecto Invernadero (GEI); destacándose esta universidad por su compromiso con el desarrollo sostenible y las generaciones futuras.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 General**

Analizar la información de la zona de influencia de la estación meteorológica instalada en la Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Bucaramanga, para la estimación de generación de energía eléctrica a partir de paneles solares.

### **1.3.2 Específicos**

- Calcular el número de horas, tanto de incidencia solar y velocidades del viento efectivas durante el período de tiempo de estudio.
- Evaluar y/o cuantificar la capacidad de energía desarrollada y la eficiencia presentada por el sistema instalado.
- Comparar la capacidad de producción de energía eléctrica con los requerimientos de tipo convencional promedio de los edificios del campus UPB.
- Analizar económicamente la implementación de las tecnologías en la producción de energía para determinar si es una alternativa atractiva y competitiva.

## 1.4 ANTECEDENTES

A nivel mundial, la humanidad ha puesto especial preocupación por el calentamiento global el cual actualmente trasciende fronteras, afectando a cada país sin contemplación alguna. Por tal razón, internacionalmente se han reconocido una serie de acuerdos relacionados con el cambio climático que además proponen de manera urgente fomentar la aplicación de fuentes de energía limpias, para reducir las emisiones generadas por los combustibles fósiles.

**1.4.1 Protocolo de Kioto.** El 11 de diciembre de 1997, se firma el tratado que compromete a las naciones industrializadas a reducir el total de sus emisiones de gases a un nivel inferior en no menos de 5% al de 1990 en el período de compromiso comprendido entre el año 2008 y el 2012<sup>2</sup>, a fin de hacer frente al cambio climático y sus efectos como una alternativa de cumplimiento al objetivo principal que es disminuir el calentamiento global de origen antropogénico cuya base es el efecto invernadero. Según las cifras de la ONU, se prevé que la temperatura media de la superficie del planeta aumente entre 1,4 y 5,8 °C de aquí a 2100, a pesar que los inviernos son más fríos y violentos. Esto se conoce como calentamiento global.

(ONU, 1997) Con el fin de promover el desarrollo sostenible, se pactó el cumplimiento de los compromisos cuantificados de limitación y reducción de las emisiones por parte de las naciones en cuanto a que aplicarán y seguirán elaborando políticas y medidas de conformidad con sus circunstancias nacionales como el fomento de la eficiencia energética en los sectores de la economía, promoción de prácticas y modalidades agrícolas y de gestión forestal sostenibles a la luz de las consideraciones del cambio climático y por último la investigación,

---

<sup>2</sup> ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. Convención Marco sobre el Cambio Climático [en línea]. <<http://www.un.org/documents/ga/res/42/ares42-187.htm>.> [citado el 20 de agosto de 2013].

promoción, desarrollo y aumento del uso de formas nuevas y renovables de energía y de tecnologías avanzadas y novedosas que sean ecológicamente racionales.

**1.4.2 Libro blanco de adaptación al Cambio Climático** Los libros blancos son documentos desarrollados por la Unión Europea que contienen propuestas de acciones específicas en un área determinada. El Libro Blanco hace referencia al cambio climático que está provocando un aumento de las temperaturas y modificando la cantidad y los regímenes de las precipitaciones, lo que tendrá como efecto una elevación media global del mar, la aparición de riesgos de erosión en las costas y un probable agravamiento de las catástrofes naturales ligadas al clima, trayendo consigo repercusiones importantes en ámbitos como la industria, el aprovisionamiento de alimentos, la sanidad, los transportes y la integridad de los ecosistemas, con consecuencias económicas y sociales.

Ante el cambio climático se requieren dos respuestas; por un lado medidas de mitigación que permitan reducir las emisiones de gases efecto invernadero y por el otro, las actuaciones a realizar para hacer frente a los impactos inevitables que ya se han generado, es decir, medidas de adaptación que permitan al planeta recuperarse de los efectos de los gases de efecto invernadero que ya están en la atmósfera (Comisión de la Unión Europea, 2009). En este sentido, el libro blanco establece un marco para reducir la vulnerabilidad al impacto del cambio climático<sup>3</sup>. (IPSE).

**1.4.3 Libro verde de adaptación al Cambio Climático** En el libro verde se presenta una estrategia para que la comunidad europea logre una energía sostenible, competitiva y segura. Se fundamenta en tres pilares principales que son la combinación de todos los tipos de transporte, el mejor aprovechamiento de

---

<sup>3</sup> UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA y MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Energía Solar para zonas no interconectadas, IPSE. Medellín. 2011.

los sistemas de transporte inteligente y la apuesta por el uso de nuevas tecnologías energéticas, aunque su alcance es netamente europeo, plantea cuestiones para el debate y sugiere además, posibles medidas de mitigación y solución.

**1.4.4 Mecanismos de política a nivel mundial** Los mecanismos de fomento a la energía eléctrica renovable se pueden clasificar en cuatro categorías: políticas obligatorias, políticas económicas, políticas de investigación y desarrollo y políticas de gestión y operación.

En la siguiente tabla se muestra una tabla que ilustra la categoría junto con el instrumento político.

**Tabla 1. Categorías e Instrumento Político.**

<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>INSTRUMENTO POLÍTICO</b>
<i>Políticas Obligatorias</i>	<i>Regulación y Reglas Generales. Obligaciones/Portafolio estándar.</i>
<i>Políticas económicas</i>	<i>Incentivos tributarios Subsidios Financiación Impuestos sobre combustibles fósiles.</i>
<i>Políticas de Investigación Y de Desarrollo</i>	<i>Investigación y Desarrollo.</i>
<i>Políticas de Gestión y Operación.</i>	<i>Sistemas de Licitación Compras del gobierno Sistemas de precios verdes Certificados comerciables de Energía Renovable Programas Conciencia pública. Electrificación Rural Mediciones y registros.</i>

Fuente: IPSE



Estas políticas de se convierten en medidas que toman los gobiernos para orientar su política energética general, y al interior de ellas se define la política con respecto a las energías renovables. Siendo el caso del Portafolio estándar mencionado en la tabla anterior que es más que todo un sistema de obligaciones que hacen partícipe a la energía renovable en un porcentaje de la generación o del consumo de energía en un país.

Económicamente, existen dos alternativas que manejan los gobiernos para propender el desarrollo y sustento de estas energías; una de ellas se refiere a incentivos económicos; incentivos tributarios, precios garantizados, subsidios y otra está estrechamente relacionada con políticas que obstaculicen y disminuyan el interés por las fuentes convencionales de energía, siendo a manera de ejemplo el impuesto a combustibles convencionales de origen fósil el más citado.

Destaca además, las políticas de operación y gestión. Este tipo de instrumentos incluyen un esquema de competencia licitatorio de manera que se seleccione la propuesta con más bajo costo de generación. No obstante, este no es el único papel del gobierno de un país para promover esta tecnología, usando su potencial como consumidor, fomenta la necesidad a los vendedores de ofrecer energía proveniente de fuentes renovables, favoreciendo la adopción de nuevas fuentes.

Aunque generalizar estos aspectos, medidas o políticas gubernamentales sería un tanto egoísta, ya que cada país en el que se apliquen debe atender bien a las particularidades del mismo.

**1.4.5 Aplicaciones en el mundo y en Colombia** Europa tiene compromisos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, y evidencia de ello es el incremento con el tiempo a los precios de las energías convencionales.

Para el caso de España, cabe resaltar que hace unos 30 años no existían aplicaciones con fuentes no convencionales de energía y que al surgir las leyes e incentivos gubernamentales, como por ejemplo, el aumento de programas de financiación para energías renovables ha logrado posicionarse como uno de los líderes a nivel mundial después de Alemania.

Israel es el único país con una política a nivel nacional que obliga a las nuevas edificaciones a disponer de agua caliente obtenida de la energía solar. Esto ha hecho que mediante un proceso paulatino desde 1980, los hogares de Israel ahora dispongan de colectores de energía solar para tal fin.

Adicionalmente, se definió a la energía solar térmica como un componente estratégico para el sector eléctrico; por tal motivo, desde el año 2006 se implementaron incentivos por tarifa para la electricidad generada en centrales solares térmicas de más de 20 MW con respaldos de combustible fósil inferior al 30%, lo que motivó a que en el 2007 se iniciara la construcción de dos centrales térmicas solares de 80 y 125 MW y una central fotovoltaica con una potencia instalada de 15 MW<sup>4</sup>.

Turquía, cuenta con un potencial solar de alrededor de los 130 TWh por año, con base en esto, el gobierno promulgó una ley en 2005 que garantiza incentivos al uso de energías renovables para la generación de energía eléctrica, con la que se introdujeron tarifas reguladas para la electricidad generada a partir de fuentes no convencionales de energía; se espera que para el 2020, Turquía alcance una generación de 4.2 TWh por año a partir de energía solar<sup>5</sup>.

El gobierno indio estima que con instalaciones en solo el 1% de la tierra firme de la India, se podrían cubrir las necesidades energéticas propias hasta el año 2030.

---

<sup>4</sup> UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA y MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Energía Solar para zonas no interconectadas, IPSE. Medellín. 2011.

<sup>5</sup> Ibid., p. 74.

Por lo tanto, se cuenta con un plan de acción sobre el cambio climático, en el que se tiene medidas específicas que van desde la investigación hasta la disminución de los costos de operación y mantenimiento, de allí se crea un centro de investigación sobre energía solar para lograr la meta de generar en el 2017, 1000 MW de energía solar térmica instalada<sup>6</sup>.

En 2004, China instaló alrededor de 10 millones de m<sup>2</sup> de colectores de energía solar térmica. Estas cifras suponen aproximadamente un 78% de la nueva capacidad instalada globalmente en 2004<sup>7</sup>

Actualmente, China cuenta con alrededor de 60 millones de m<sup>2</sup> de colectores que suministran agua caliente a 35 millones de familias chinas, con estas cifras a la actualidad China ha experimentado un crecimiento anual medio de 28.5%, un resultado bastante alto si se compara con el crecimiento experimentado de Europa<sup>8</sup>.

Además de China y la Unión Europea, hay al menos 18 países y posiblemente más, que proporcionan ayudas para las instalaciones de aprovechamiento de energía solar. Entre estos países se encuentran: Australia, Austria, Bélgica, algunas regiones de Canadá, Chipre, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Hungría, Japón, Holanda, Nueva Zelanda, Portugal, España, Suecia, Reino Unido y muchos estados de EEUU. Las ayudas consisten, generalmente, en subvenciones de entre un 20 y un 40% de los costes de instalación<sup>9</sup>.

**1.4.6 Energía solar fotovoltaica en el mundo** La energía solar fotovoltaica está teniendo una gran expansión en todo el mundo, tanto en países desarrollados

---

<sup>6</sup> Ibid., p. 74.

<sup>7</sup> MONTROYA, Carlos. Energía Solar Fotovoltaica. En: Master profesional en Ingeniería y Gestión Medioambiental. Madrid, España. 2010.

<sup>8</sup> Ibid., p. 11.

<sup>9</sup> G. N. TIWARI and SWARNIL DUBEY. Fundamentos de los Módulos Fotovoltaicos y sus aplicaciones. Centro de Estudios para la Energía, Instituto Indio de Tecnología. 2010. Nueva Delhi, India.

como en vías de desarrollo y, desde los últimos 20 años ha experimentado un crecimiento constante.

Alemania es la nación en donde el mercado fotovoltaico más impulso ha tomado, en gran medida al mayor incentivo gubernamental. En los años 70, se inició un programa demostrativo con 70 proyectos que más adelante en los años 90 se convertiría en un programa de 1000 techos solares que se acogió de manera tal que generó una sobredemanda, obligando al gobierno alemán a redimensionar el programa, logrando hasta los 2000 sistemas fotovoltaicos que fueron instalados durante los años comprendidos entre 1991 y 1996<sup>10</sup>.

A causa del éxito del programa, en 1991 se promulgó la ley Stromeinspeisungsgstz (Inyección de Electricidad a la Red), dando un nuevo impulso a la generación de electricidad con energías renovables<sup>11</sup>.

En el año 2000, se establece una nueva ley de energías renovables, amplía la contribución de estas dentro de la oferta de energía eléctrica de entre el 10 por ciento para el año 2010, dando un impulso sin precedentes a las instalaciones FV en ese país.

Estos sistemas de incentivo, dieron como resultado un crecimiento anual de alrededor del 42% para el período entre 1992 y 1999. Al finalizar este período, el Ministerio de Economía y Tecnología, lanzó el programa de “cien mil techos solares” que permitió a los interesados en obtener créditos a 10 años con tasas de interés que iban desde el 0 al 1.7%. La meta del programa fue conseguir cifras concretas, dando paso a la instalación de 300 MW al finalizar el año 2003.

---

<sup>10</sup> Ibd., p. 41

<sup>11</sup> AGREDANO, Jaime. *Prospectiva de las Tecnología Solar Fotovoltaica para la Generación de Electricidad*. En: Instituto de Investigaciones Eléctricas, División de Energías Alternas. 2008. Cuernavaca, Mexico.

Hoy en día, este crecimiento sin precedentes, ha logrado que desde enero del 2004 las compañías productoras de módulos fotovoltaicos lleguen a satisfacer una demanda por encima de los 90 MW/año.

Se estima que la demanda energética continuará creciendo con tasas de entre 30 y 40 por ciento a partir del año 2010<sup>12</sup>.

Una de las aplicaciones que se le da a la captación de la energía solar es la de producir calor y destacable es la mayor planta solar termoeléctrica en el mundo que se desarrolló en Arizona (USA) a unos 100 kilómetros de la ciudad de Phoenix y que fue puesta en funcionamiento en el año 2012. Su generación de potencia es de unos 250 – 280 Megavatios, lo que representa una producción superior a la de muchas centrales nucleares. La energía producida permite atender el consumo de 70.000 hogares norteamericanos, evitando arrojar a la atmósfera 450.000 – 475.000 toneladas de productos contaminantes. La superficie que se requirió es de aproximadamente unas 770 hectáreas<sup>13</sup>.

**1.4.7 Mercados Mundiales de Energía Solar FV** El mercado fotovoltaico ha ido creciendo durante los últimos años, en gran parte se debe a los estímulos gubernamentales, como por ejemplo, las políticas de precios verdes de los proveedores del servicio eléctrico, por lo que hoy día es común encontrar instalaciones fotovoltaicas a nivel residencial en edificios conectados a la red eléctrica en países como Alemania, Suiza, Estados Unidos y Japón.

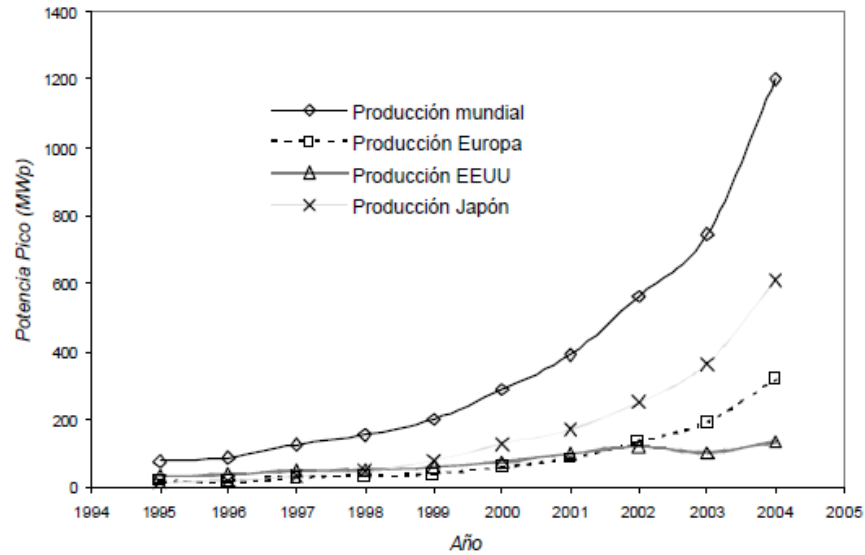
En la siguiente figura se aprecia la evolución de la producción mundial FV desde el año 1994 hasta el 2005.

---

<sup>12</sup> Ibid. p. 13.

<sup>13</sup> MADRID, Ana, MADRID, Antonio y ESTEIRE, Eva. Manual Técnico de Energías Renovables. Madrid. Editorial AMV Ediciones, Mundi – Prensa, 2010. p. 70.

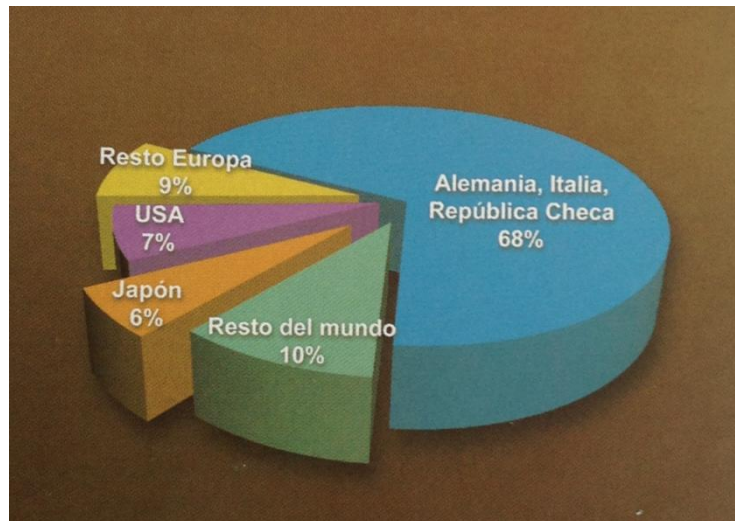
**Figura 1. Evolución del mercado fotovoltaico.**



**Fuente: Propuesta para el desarrollo de la Energía Solar FV. 2005.**

Los países que aportan la mayoría de la energía generada son los europeos tal y como se aprecia en la figura 2, destacándose Alemania, Italia y República Checa, con alrededor del 70%, unos 5.60 GW. Luego de Europa, sigue Estados Unidos con un 7% y de tercer lugar Japón, con escasos 5%.

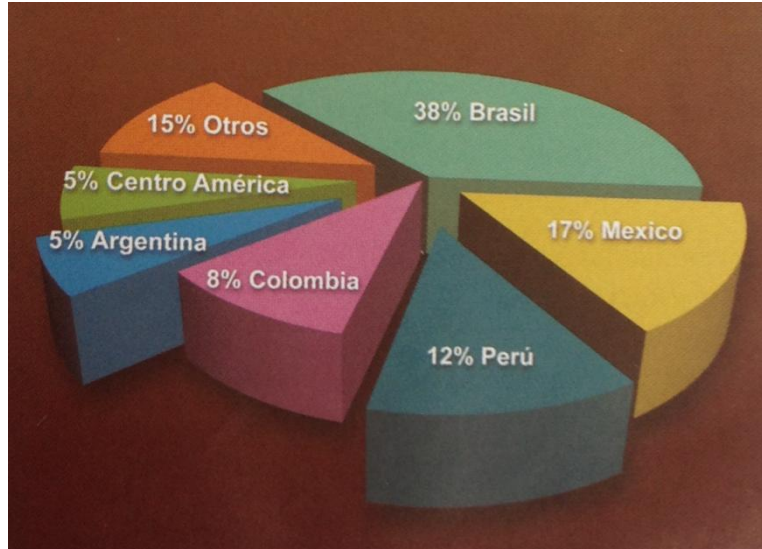
**Figura 2. Mercado fotovoltaico mundial. Fuente: IPSE.**



Fuente: IPSE

En el caso de Latinoamérica, los principales productores son Brasil con 2400 kWp, Mexico 110 kWp, Perú 750 kWp, tal como se ve en la figura 3.

**Figura 3. Distribución de Instalaciones Solares FV en Latinoamérica.**



Fuente: IPSE

Entre los años 2003 y 2007 Argentina consiguió la instalación de más de 1500 sistemas fotovoltaicos para escuelas rurales y viviendas privadas. Brasil instaló 1900 con una potencia total de 1.4 MW para escuelas rurales y en Chile en el 2005, se instalaron unos 360 kWp de potencia.

En el 2009, la producción de celdas solares alcanzó los 9.34 GW, muy por encima de los 6.8 GW logrados en el 2008; previendo que para el 2014, el mercado fotovoltaico supere en 2.5 veces el tamaño del mercado actual.

Pasando ahora a un ámbito nacional, en Colombia el desarrollo de las tecnologías solares se ha dado en calentadores y algunos sistemas FV con el firme propósito de abastecer parcial o totalmente la demanda energética de una región particular.

La crisis del petróleo en el año de 1973, hizo que universidades como la de los Andes, la Nacional, la del Valle, entre otras, aunaran esfuerzos junto con La

Fundación del Centro Experimental Las Gaviotas a instalar calentadores solares domésticos y grandes sistemas de calentamiento de agua para uso en centros de servicios comunitarios. (Murcia, 2008).

Hace más de 20 años se construyó en el oleoducto Caño Limón, Coveñas, un sistema fotovoltaico de 3.4 kW, el cual aún se encuentra en operación.

En Noviembre de 2005, la empresa Chevron Texaco, pone a disposición del centro de salud de Mayapo en la Guajira, un sistema FV para la generación de electricidad con una potencia de 520 Wp. Al año siguiente, en Antioquia se instalaron 92 sistemas FV para generación de energía eléctrica en escuelas rurales con una potencia de 58 Wp<sup>14</sup>.

Adicionalmente, se pueden encontrar investigaciones a nivel internacional y nacional sobre la aplicación de tecnologías solares, que muestran las experiencias exitosas que han tenido; entre artículos y estudios de caso se consolidan las referencias para futuras investigaciones. A continuación, se mencionarán algunos que se consideraron relevantes.

Florina Benoit-Xavier, presenta un artículo en el que discute la promoción del uso de energía solar en los campos de refugiados de Tamil Nadu, India, como un recurso de preparación para el retorno voluntario a Sri Lanka. La autora ofrece un análisis de las ventajas de la energía solar como tecnología renovable, así como una evaluación de su posible papel en el reasentamiento de los refugiados<sup>15</sup>.

---

<sup>14</sup> UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA y MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Energía Solar para zonas no interconectadas, IPSE. Medellín. 2011.

<sup>15</sup> BENOIT-XAVIER, Florina. 2011. Energías renovables en los campos de Tamil Nadu. En: Migraciones Forzadas [base de datos en línea] Edición 37. (Noviembre, 2011). p. 34. [Citada el 18 de Agosto de 2013]. Disponible en EBSCO HOST Research Database.



En México también se presentan investigaciones que llevan a artículos que hablan sobre los esfuerzos que hacen diferentes países por la recolección y aprovechamiento de la energía solar y eólica.

Alain Pertzal, menciona en su artículo las maneras de captar la energía solar, fotovoltaica y térmica; así como los problemas que impiden el desarrollo de esta tecnología en dicho país, como por ejemplo los altos costes involucrados<sup>16</sup>.

Por otro lado, Rolando Flores Cartas, presenta un análisis de la generación de energía eléctrica por medio de terminales eólicas. Aquí el autor discute además las ventajas ambientales y económicas de este tipo de energía<sup>17</sup>.

En Colombia, también se han desarrollado proyectos encaminados hacia la generación de energía mediante fuentes renovables haciendo el respectivo estudio del potencial solar, como muestra Humberto Murcia Rodríguez en su artículo publicado en noviembre de 2008 de título Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas<sup>18</sup>.

Tabla 2. Potencial de energía solar en Colombia por regiones.

Región del país	Radiación Solar (kWh/m <sup>2</sup> /año)
Guajira	2 000 - 2 100
Costa Atlántica	1 730 - 2 000
Orinoquía-Amazonía	1 550 - 1 900
Región Andina	1 550 - 1 750
Costa Pacífico	1 450 - 1 550

Fuente: Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas

<sup>16</sup> PERTZEL, Alain. 2012. Energía solar: una solución renovable [base de datos en línea] Edición 572. p. 78. [Citada el 18 de Agosto de 2013]. Disponible en EBSCO HOST Research Database.

<sup>17</sup> FLORES, Rolando. 2013. Con el viento a nuestro favor: energía eólica segura y viable. En: Ideas para el cambio [base de datos en línea]. Edición 598. p. 72. [Citada el 18 de Agosto de 2013]. Disponible en EBSCO HOST Research Database.

<sup>18</sup> MURCIA, Humberto. 2008. Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. En: Revista de Ingeniería [base de datos en línea]. Edición 28. p. 83. [Citada el 18 de Agosto de 2013]. Disponible en EBSCO HOST Research Database.

## 1.5 MARCO TEÓRICO

**1.5.1 Energías renovables** Las energías renovables son aquellas de origen natural cuyas materias primas se pueden renovar obteniendo así un bajo impacto, como la biomasa, por ejemplo; además pueden ser empleadas ilimitadamente, ya que su suministro es abundante o inagotable (el sol).

El concepto es similar cuando se habla de energías alternativas, haciendo referencia a aquellas que pueden suplir las necesidades actuales con un menor efecto contaminante o por su capacidad de renovación. Consecuente a esto, algunos autores, incluyen la energía nuclear como una energía alternativa.

Aunque la energía nuclear produce muy poco dióxido de carbono, su operación presenta grandes amenazas para el ser humano y para el medio ambiente: riesgos y daños medioambientales provocados por la minería de uranio, su procesamiento y transporte; el peligro de la proliferación de armamento nuclear; el problema aún no resuelto de los residuos radiactivos y el riesgo potencial que conlleva un grave accidente.

Estas fuentes incluyen la energía eólica, la biomasa, la fotovoltaica, la termosolar, la geotérmica, la de los océanos y pequeñas hidroeléctricas. Todas ellas tienen algo en común: generan cantidades muy pequeñas o ninguna cantidad de Gases Efecto Invernadero (GEI), y se basan en fuentes naturales prácticamente inextinguibles como “combustible”.

Haciendo una breve descripción de las energías renovables más importantes en la actualidad, se tienen cinco; energía solar, energía eólica, energía por biomasa, energía geotérmica y energía hidráulica.

**1.5.1.1 Energía Solar** Es la base de las demás energía. Recogiendo de forma adecuada la radiación solar, esta puede transformarse en otras formas de energía como energía térmica (calentadores, aires acondicionados, piscinas) o energía eléctrica (energía solar fotovoltaica) utilizando paneles solares.

Ventajosamente la energía solar permite la generación de energía en el mismo lugar de consumo mediante la integración con la arquitectura en edificaciones, lo que se conoce como energía solar pasiva.

**1.5.1.2 Energía Eólica** Es la energía procedente del viento, que en la actualidad se emplea sobre todo para producir electricidad. Para ello se disponen parques eólicos con modernos molinos de viento. También se pueden colocar pequeños molinos eólicos en casas, granjas o edificios aislados, para producir la energía que necesitan en forma de electricidad.

**1.5.1.3 Biomasa** Es la energía que lleva la materia orgánica y que se puede liberar por combustión, fermentación, rotura celular, etc. En la actualidad se está fomentando mucho el uso de biomásas en forma de productos vegetales, semillas como el girasol y basuras para producir energía de tipo biodiesel, biogás y bio-etanol.

**1.5.1.4 Energía Geotérmica** Se aprovecha la energía que produce el núcleo de la tierra en forma de calor para climatizar viviendas, edificios, conservar alimentos entre otros usos.

**1.5.1.5 Energía Hidráulica** La energía de los saltos de agua para producir electricidad está ampliamente extendida en todo el mundo, hasta el punto que en

la actualidad el 90% de la electricidad de origen limpio corresponde a dichos saltos de agua.<sup>19</sup>

Las ER pueden proporcionar opciones comercialmente atractivas para satisfacer necesidades de servicios de energía, particularmente en los países en desarrollo que requieren llevarla hasta las zonas más alejadas de la urbe en pro de su crecimiento y desarrollo social; tanto así que muchos países las incluyen dentro de los planes de acción para mitigar las precarias condiciones de vida de algunas poblaciones.

Una de las tecnologías más prometedoras es la fotovoltaica, que puede concebirse como autónoma, comprometiendo su rendimiento con las condiciones meteorológicas, o bien como sistemas híbridos que están conectados a la red de energía. Esta tecnología no solo abarca los países en desarrollo, también se han implementado en países desarrollados que ven en estos sistemas una alternativa a la dependencia fósil.

**1.5.2 Oferta natural** Los recursos naturales constituyen las fuentes de riqueza que se pueden aprovechar y utilizar para brindar al hombre el potencial para generar su propio desarrollo socio-económico. Por tanto, los combustibles, la radiación solar, el viento, el agua entre otros, pueden ser utilizados como materia prima para la producción de energía, cuya optimización depende del conocimiento que el hombre tenga de ellas y de las leyes que rigen su conservación.

**1.5.3 El sol como fuente de energía** El sol como fuente de energía se considera renovable, básicamente por su disponibilidad por varios millones de años, siendo esta la más abundante de la Tierra.

---

<sup>19</sup> MADRID, Ana, MADRID, Antonio y ESTEIRE, Eva. Manual Técnico de Energías Renovables. Madrid. Editorial AMV Ediciones, Mundi – Prensa, 2010. p. 70.

La energía proveniente del sol es prácticamente la fuente de las demás formas de energía que se conoce. Esta energía llega a la Tierra en forma de radiación que varía entre los 1300 y los 1400 W/m<sup>2</sup> aproximadamente<sup>20</sup>, como se muestra en la figura 4 dependiendo de la ubicación geográfica (latitud y longitud) de la zona, de las condiciones climatológicas y del período del año en que se toma<sup>21</sup>.

Sin embargo, de la radiación total recibida por el planeta, el 30% es reflejada al espacio exterior, el 47% absorbida por la atmósfera, mares y tierra para mantener la temperatura ambiente.

**Figura 4. Pérdidas de radiación incidente Sol-Tierra. (IPSE, 2011).**



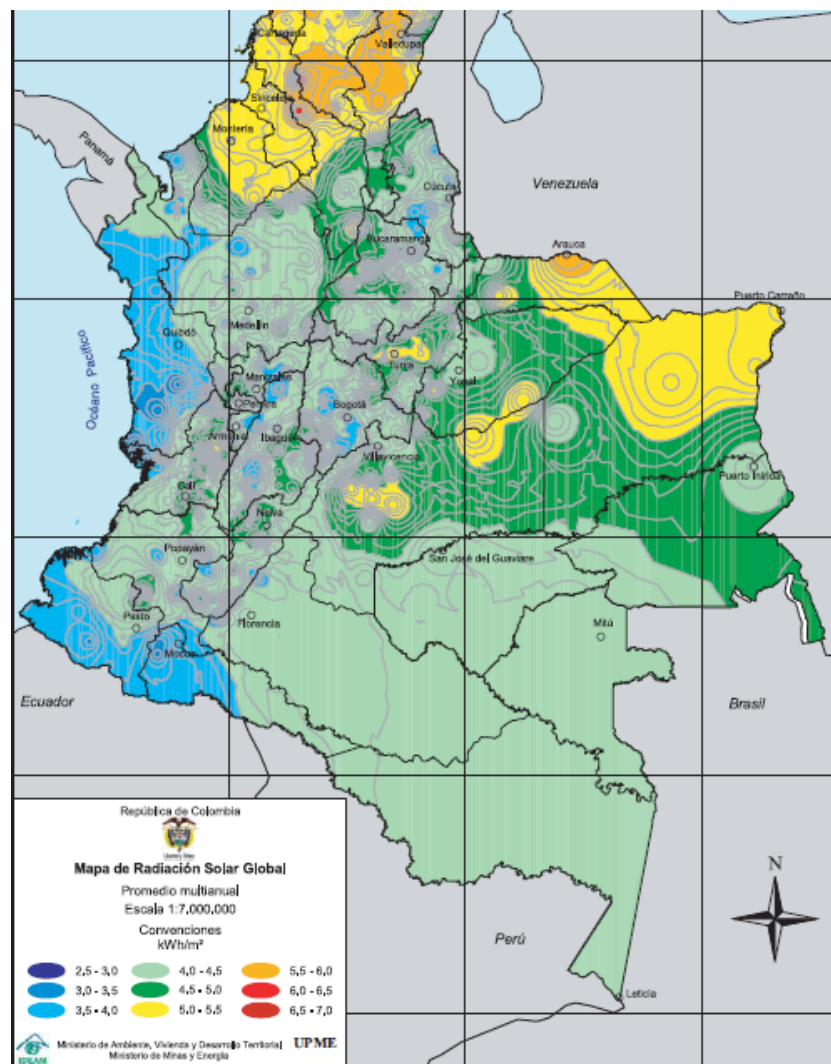
Fuente: IPSE

<sup>20</sup> UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA y MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Energía Solar para zonas no interconectadas, IPSE. Medellín. 2011.

<sup>21</sup> Ibid., p. 63

Sobre la mayor parte del territorio colombiano, la incidencia de la radiación solar global tiene promedios entre 4.0 y 4.5 kWh/m<sup>2</sup> por día. El departamento de Santander no es ajeno a este promedio, y su incidencia también oscila entre estos valores; tal como se puede evidenciar en el mapa solar de Colombia emitido por el IDEAM de la figura 5<sup>22</sup>.

**Figura 4. Mapa de Radiación Solar Global.**



Fuente: Atlas de Radiación Solar en Colombia, IDEAM.

<sup>22</sup> IDEAM. Mapas de Radiación Solar Global sobre una Superficie Plana. En: Biblioteca Virtual del IDEAM, Documentos y Publicaciones [base de datos en línea] Santafé de Bogotá. [Citada el 5 de Agosto de 2013]. Disponible en IDEAM.

**1.5.4 Medición de la radiación solar sobre la superficie de la tierra.** La energía a partir de fuente solar puede obtenerse de dos maneras; mediante radiación solar directa y radiación solar difusa. La primera es la que se obtiene del contacto directo con el foco solar, sin efectos intermediarios como la reflexión o la refracción. La segunda es la que proviene de todas partes, es la que se logra a través de la emisión de la bóveda celeste debido a los fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes y demás elementos atmosféricos y terrestres.

La radiación solar alcanzada en la superficie de la Tierra a través de la atmósfera puede ser clasificada en dos componentes como ya se había mencionado anteriormente; directa ( $I_b$ ) y difusa ( $I_d$ ). La suma de ambos tipos de radiación, se conoce como Radiación Global ( $I_G$ ).

Los siguientes elementos se usan comúnmente para la medición de la radiación solar sobre la superficie de la Tierra:

**1.5.4.1 Pirheliómetro** Es un instrumento que mide el componente de la radiación solar directa en dirección normal de la incidencia. Esto significa que el instrumento siempre está directamente apuntando al foco solar mediante un mecanismo de rastreo que continuamente lo está siguiendo. El aparato es sensible a las longitudes de onda entre los intervalos de 280 a 3000 nm.

La irradiación solar entra en el instrumento a través de una “ventana” de cristal de cuarzo sellada y la luz del sol se dirige hacia una termopila que convierte el calor en una señal eléctrica que se puede grabar.

**Figura 5. Pirheliómetro.**



Fuente: Imagen de tomada de Google Imágenes.

**1.5.4.2 Piranómetro** Es un tipo de actinómetro (instrumento que se usa para medir la intensidad de la luz), utilizado para medir el espectro de irradiancia solar en una superficie plana y posee un sensor que está diseñado para medir la densidad de flujo de radiación solar (en vatios por metro cuadrado) de un campo de visión de 180°.

El principio de funcionamiento de un piranómetro es el mismo que el de un pirheliómetro excepto por el hecho de que una superficie sensible se expone a la radiación global (radiación directa y circundante o difusa reflejada hacia la Tierra). Para las medidas de radiación difusa y semiesférica la radiación directa se suprime utilizando un disco que actúe como parasol.

La superficie sensible está cubierta por dos cúpulas semiesféricas de vidrio concéntricas para protegerlo del viento y la lluvia, y además, ayuda a reducir las corrientes de convección.



Cabe señalar que los piranómetros están calibrados con el fin de medir la radiación solar sobre una superficie horizontal, por tanto ofrece máxima respuesta cuando el flujo incide perpendicularmente sobre el sensor (0 grados) y respuesta nula cuando el Sol está en el horizonte (90 grados).

**Figura 6. Piranómetro convencional.**



Fuente: Tomada de fundamentos de los módulos fotovoltaicos y sus aplicaciones

Un piranómetro típico no requiere energía para funcionar y se utilizan con frecuencia en meteorología, climatología, los estudios de la energía solar e incluso en la construcción y por tanto al estar involucrados con varias disciplinas, están estandarizados según la norma ISO 9060 y por la Organización Meteorológica Mundial (WMO por sus siglas en inglés).

**1.5.4.3 Heliógrafo (Sunshine Recorder)** Se utiliza para indicar la cantidad de luz solar en un lugar determinado, en otras palabras, es un instrumento utilizado para medir la insolación.

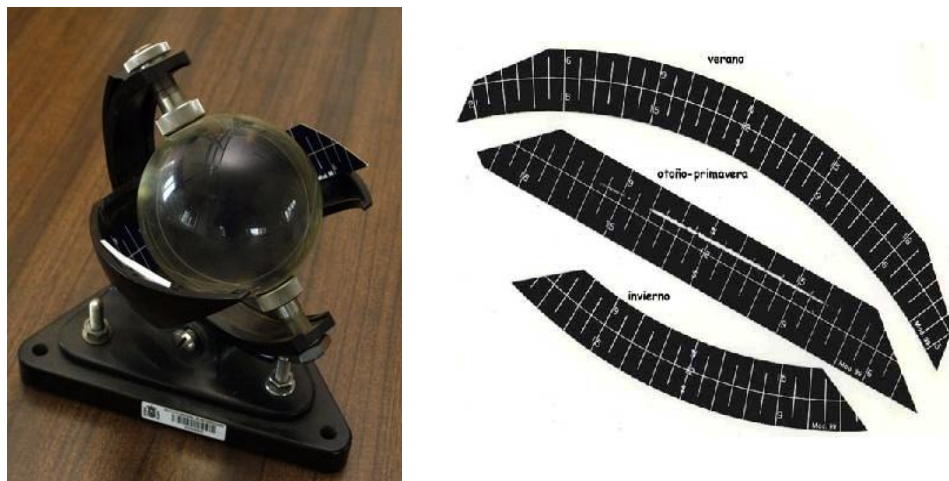
La duración de la insolación se halla concentrando los rayos solares sobre una banda de cartulina teñida de azul que se quema en una trayectoria según el recorrido del sol.

Se utiliza como focalizador una esfera de cristal de forma que no es necesario mover este foco constantemente en consecuencia del movimiento aparente del sol a lo largo del día. La banda se fija por medio de ranuras a un soporte curvo y concéntrico con la esfera y tiene impresa una escala de 30 minutos.

Si el sol permanece durante todo el día sobre la banda se forma una traza carbonizada continua y la duración de la insolación se determina midiendo la longitud de la traza carbonizada. Si el sol brilla de forma discontinua, dicha traza es intermitente. En este caso, la insolación se determina sumando la longitud de las trazas resultantes.

Hay diferentes tipos de bandas de acuerdo a la época del año y al hemisferio en que se tome; de largo curvo en verano, corta curvada para el invierno y bandas planas en los equinoccios (Muestra de bandas en la figura 8).

**Figura 7. Heliómetro. Bandas de medición de insolación.**

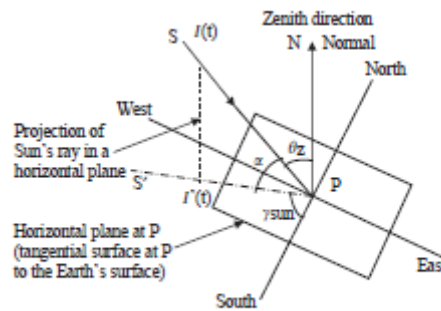


Fuente: Tomada de Google Imágenes

## 1.5.5 Ángulos tierra – sol

**1.5.5.1 Ángulo del cenit ( $\theta_z$ )** Sea P un punto de la superficie de la Tierra que sea la posición del observador y N sea una normal al plano horizontal como se muestra en la figura 9. La dirección PN se conoce como la dirección del cenit. El ángulo cenital ( $\theta_z$ ) es el ángulo que forman los rayos del sol con la dirección del cenit, que varía desde  $0^\circ$  hasta  $90^\circ$

**Figura 8. Ángulos de azimut solar, altitud y altitud solar sobre un punto P.**



Zenith, solar altitude and solar azimuth angles.

Fuente: Tomada de fundamentos de los módulos fotovoltaicos y sus aplicaciones

**1.5.5.2 Ángulo de azimut solar ( $\gamma_{sun}$ )** Es el ángulo entre la dirección sur y la proyección de los rayos del Sol en un plano.

Este ángulo se mide con respecto a la dirección sur; siempre será un sur geográfico y no magnético. Por ejemplo, una persona que esté de pie al mediodía, si se enfrenta al sol, entonces esa dirección será el sur geográfico y la parte posterior de la persona, será el norte.

**1.5.5.3 Ángulo horario ( $\omega$ )** El ángulo horario es el ángulo que la Tierra tiene que girar para que el plano meridiano de cualquier punto o lugar quede bajo el sol.

Este ángulo disminuye continuamente desde el amanecer hasta el mediodía, se convierte en cero al mediodía y luego comienza a aumentar cuando su valor se convierte en positivo. Al atardecer, el ángulo horario es positivo máximo y al amanecer es negativo máximo para cualquier lugar.

En otras palabras, el ángulo horario es la medida del desplazamiento angular del Sol a través del cual la Tierra tiene que girar para llevar el meridiano del lugar directamente bajo el sol. Este ángulo se expresa convencionalmente en unidades de tiempo (horas, minutos y segundos), lo que da el tiempo transcurrido desde el último tránsito del cuerpo celeste en el meridiano del observador (para un ángulo horario positivo), o el tiempo de espera para el próximo tránsito (para un ángulo horario negativo), en donde 1 hora representa 15°.

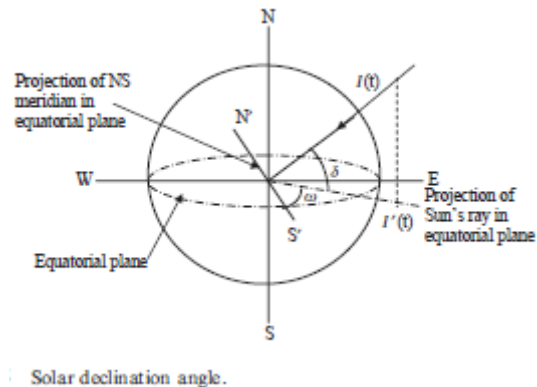
Una expresión para el ángulo horario,  $\omega$  (en grados), está dada por:

$$\omega = (HS - 12) * 15$$

Donde, HS es la hora solar local.

**1.5.5.4 Declinación solar ( $\delta$ )** El ángulo que los rayos del sol forman con el plano ecuatorial es conocido como ángulo de declinación (figura 10). En otras palabras, los rayos solares golpean nuestro planeta en cierto ángulo con respecto al ecuador; este ángulo es la declinación solar. En cualquier día,  $\delta$  se toma como una constante que cambia en el día siguiente.

**Figura 9. Ángulo de declinación solar.**



Fuente: Tomada de fundamentos de los módulos fotovoltaicos y sus aplicaciones  
 Puede utilizarse la relación empírica de Cooper para calcular el ángulo de declinación solar en grados, así:

$$\delta = 23.45 * \sin \left[ (284 + n) * \frac{360}{365} \right]$$

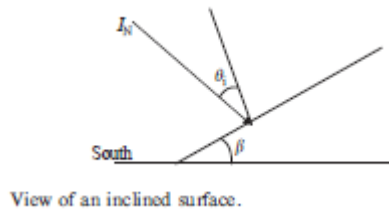
Donde;

n= día del año ( $1 \leq n \leq 365$ ).

La declinación solar también se puede definir como el ángulo formado por la línea que une los centros del Sol y la Tierra y su proyección sobre el plano ecuatorial. La declinación solar cambia debido principalmente a la rotación de la Tierra alrededor de un eje. Su valor máximo es de 23.451 el 21 de diciembre y el mínimo es de - 23.451 el 21 de junio.

**1.5.5.5 Ángulo de incidencia ( $\theta_i$ )** El ángulo de incidencia es el ángulo entre un rayo incidente sobre una superficie y la línea perpendicular a la superficie en el punto de incidencia, llamada normal.

**Figura 10. Ángulo de incidencia sobre una superficie inclinada.**



Fuente: Tomada de fundamentos de los módulos fotovoltaicos y sus aplicaciones  
Una expresión para hallar el  $\cos\theta_i$ ; está dada por:

$$\begin{aligned} \cos\theta_i = & [(\cos\phi * \cos\beta + \sin\phi * \sin\beta * \cos\gamma) * \cos\delta * \cos\omega] \\ & + (\cos\delta * \sin\omega * \sin\beta * \sin\gamma) + [(\sin\phi * \cos\beta - \sin\phi * \cos\beta * \sin\gamma)] \\ & * \sin\delta \end{aligned}$$

Donde,  $\beta$  es la inclinación del plano (una superficie sobre la que cae el haz de radiación solar) con la superficie horizontal y  $\gamma$  es el ángulo de azimut (al sur) que especifica la orientación de la superficie.

Además,  $\phi$  es el ángulo de latitud (haciendo la respectiva conversión a grados de los minutos y segundos) sobre el cual está ubicada la superficie;  $\delta$  representa la declinación solar que se obtiene de la ecuación de Cooper y  $\omega$  se calcula con la ecuación del ángulo horario.

De este modo, si el plano en consideración es horizontal, es decir  $\beta=0$  y además,  $\gamma=0$ , entonces el ángulo de incidencia ( $\theta_{ih}$ ) se puede calcular con la siguiente expresión obtenida a partir de la ecuación anterior;

$$\cos\theta_{ih} = \cos\phi * \cos\delta * \cos\omega + \sin\phi * \sin\delta$$

**1.5.6 El efecto fotovoltaico** Es posible producir electricidad por la acción directa de las radiaciones solares sobre paneles especiales que convierten las citadas radiaciones en electricidad.

Sin embargo, estos paneles están compuestos por una “células fotovoltaicas” que es donde realmente tiene lugar la transformación de la energía luminosa (fotones) en electricidad (electrones en movimiento).

Las células fotovoltaicas permiten transformar directamente en electricidad la energía de parte de los fotones que componen el espectro visible de la luz solar.

Esto es posible gracias al material del que están construidas dichas células, los semiconductores, cuya conductividad se incrementa drásticamente cuando son alcanzados por los fotones pertenecientes a la radiación visible, componentes del espectro solar que alcanza la superficie de la Tierra.

Para conseguir una corriente eléctrica a partir del movimiento caótico de los electrones producto del efecto fotovoltaico, es necesario direccionarlo, y se hace a través de una corriente. De este modo puede conseguirse la transformación de la energía electromagnética en electricidad. La velocidad de este proceso de transporte depende del tipo de material y de la temperatura.

**1.5.7 Energía solar fotovoltaica** Como se mencionó anteriormente, la energía solar fotovoltaica consiste en la transformación de la radiación solar en energía eléctrica basada en el efecto fotoeléctrico.

Esta conversión se realiza mediante los dispositivos llamados celdas solares o celdas fotovoltaicas que están constituidos por materiales semiconductores en los que se les ha creado un campo eléctrico constante, mediante sustancias llamadas “dopantes”,

En esta tecnología las celdas solares más comunes son las que se realizan con silicio cristalino. Cuando sobre la celda incide la luz del sol en forma de fotones, estos transmiten su energía al material semiconductor que genera una corriente eléctrica capaz de circular por un circuito externo.

**1.5.8 Paneles solares fotovoltaicos** Los paneles solares consisten en la unión en serie de varias células fotovoltaicas que alcanzan un cierto voltaje. El conjunto viene encapsulado en plástico para protegerse del exterior y se montan sobre un marco metálico firmemente fijado al suelo para que permanezcan en el sitio durante los 25 años que corresponde a su vida útil.

El armazón de los módulos debe ser resistente y ligero; se suele fabricar de aluminio con resinas para hacerlo hermético. La cubierta del panel suele ser de cristal templado, resistente a impactos y que permita el paso de las radiaciones solares en más de un 92%

Dentro de la tecnología se ofrecen varias alternativas con diferentes porcentajes de eficiencia. Los paneles que más se encuentran en el mercado son los de silicio monocristalino. Estos paneles contienen secciones de una barra de silicio puro cristalizado en una sola pieza, con los que se han logrado rendimientos máximos del 24% en condiciones de laboratorio y del 18% en los comerciales.

Existen también otros tipos de paneles diferenciados por su costo y eficiencia; el de silicio policristalino, silicio tipo "ribbon". Los primeros son hechos de una cristalización aleatoria, en vez de seguir un patrón homogéneo, permitiendo reducir los costos respecto al monocristalino; se consigue más economía y menor rendimiento, Los segundos, se consiguen básicamente de tomar un lingote de silicio y cortarlo en discos muy delgados y estirarlo hasta llegar al espesor deseado.



Además el mercado posee una variada oferta de paneles que es posible clasificarlos en función de la forma que poseen.

Comúnmente se pueden encontrar de bajo formato, tipo teja o baldosa que permiten ser combinados en gran número para cubrir grandes superficies, como los tejados de las viviendas. Por otro lado están los paneles bifaciales, capaces de transformar la radiación solar que reciben por cualquiera de sus dos caras en electricidad, utilizándose para ello superficies blancas que permitan reflejar la luz hacia el reverso.

**Figura 11. Panel tipo teja de bajo formato**



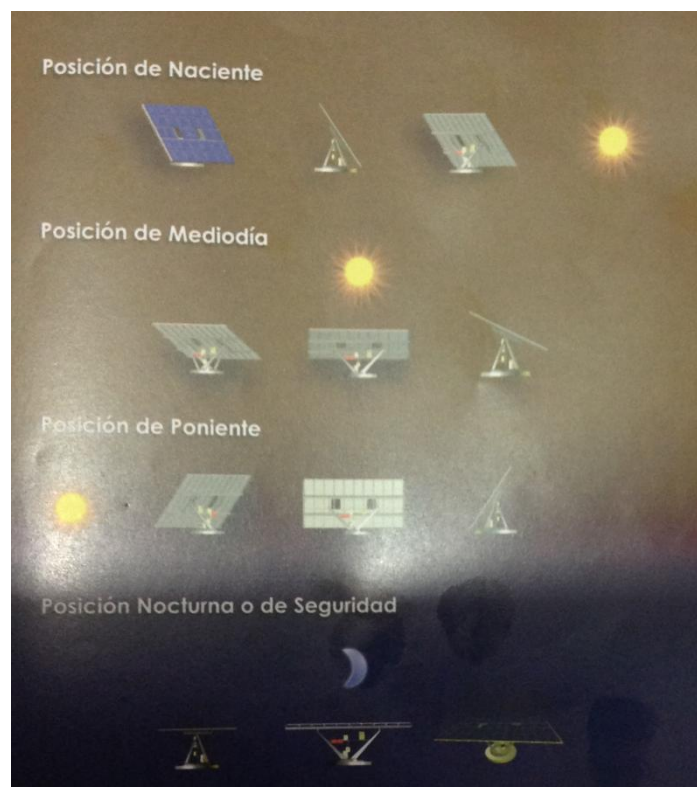
Fuente: Escuela de Organización industrial, Master en Ingeniería y Gestión Medioambiental. Carlos Montoya, 2011.

**1.5.9 Sistemas de seguimiento** La tecnología solar fotovoltaica además de ser dependiente de condiciones externas al sistema, se le suma el movimiento del sol. Por tal razón, existe la posibilidad de emplear elementos capaces de seguir la trayectoria del sol orientando los paneles solares de tal manera que permanezcan perpendiculares a los rayos solares; desde el este en la salida del sol, hasta el oeste en su puesta.

Para esto existen un sistema llamado seguimiento solar de dos ejes que mediante sensores detectan cuándo no incide la radiación de forma perpendicular, enviando una señal que corrige la posición mediante motores eléctricos; permitiendo realizar un seguimiento total al sol, en altitud y azimut, consiguiendo la incidencia perpendicular de la radiación solar sobre el panel, y en consecuencia, obteniendo la mayor captación posible.

A continuación en la figura 13 se presenta una ilustración del funcionamiento de estos seguidores.

**Figura 12. Recorrido de un seguidor solar de dos ejes.**



Fuente: IPSE

**1.5.10 Tipos de instalaciones solares FV** Básicamente existen tres tipos de instalaciones solares FV; las aisladas, las que están conectadas a la red eléctrica y las centrales solares.

**1.5.10.1 Instalaciones Solares FV aisladas** Se construyen con el único fin de brindar un suministro de electricidad a las comunidades aisladas donde no llega la red de distribución o bien a casas urbanas que no están conectadas a la red eléctrica. Este tipo de instalaciones pueden variar en magnitud; por tanto, también se pueden encontrar en las señales de carretera, en puestos meteorológicos en las partes altas de una montaña, entre otros usos.

**1.5.10.2 Instalaciones Solares FV conectadas a la red eléctrica.** En este caso, la finalidad es auto-consumo. La instalación permite prescindir del servicio energético de electricidad en algunas horas del día y dependiendo de la capacidad instalada. Se usan en casas, edificios, centros comerciales y establecimientos urbanos privados o públicos; obteniendo un beneficio económico en forma de ahorro.

**1.5.10.3 Centrales Solares FV** Así como las anteriores producen electricidad para su propio consumo, estas operan bajo el mismo principio a gran escala. Su finalidad es producir electricidad para venderla a la red eléctrica. Requieren de enormes superficies para optimizar la producción.

## **1.5.11 Componentes de las instalaciones solares FV**

**1.5.11.1 Módulos o paneles fotovoltaicos.** Son los encargados de recibir las radiaciones solares y las convierten en una corriente eléctrica continua.

**1.5.11.2 Reguladores de carga.** Se encargan de regular el paso de la electricidad desde los módulos a los puntos de consumo o a la batería. Controla la tensión (voltaje) y la corriente (intensidad).

**1.5.11.3 Baterías.** Aquí se acumula la energía eléctrica generada por los paneles durante los períodos de exposición al sol, para ser usadas posteriormente en horas nocturnas o períodos de días nublados. Se usan reguladores de carga que controlen la energía ya que están sometidas a continuos ciclos de carga y descarga.

**1.5.11.4 Inversor.** También se le suele llamar convertidor, se usa para transformar la corriente continua recibida de los paneles en corriente alterna que es la que utilizan los aparatos electrodomésticos modernos (televisores, computadores, hornos microondas, etcétera).

**1.5.12 Cálculo de una instalación solar FV** Calcular la demanda media de electricidad.

Para esto es necesario saber los equipos que se conectarán a la instalación y su consumo promedio, teniendo en cuenta si funcionan con corriente alterna o continua. Considerando que la mayoría de los aparatos modernos funcionan con esta última, se puede aplicar la siguiente fórmula:

$$CT = Fc \times \sum Ca * t$$

Donde, CT representa el consumo total, Ca, el consumo de cada aparato y t, es el tiempo, es decir, las horas que cada aparato permanecerá conectado. Fc es un factor de corrección cuyo valor es 1.4 y sirve para compensar las pérdidas en la instalación y en el paso de corriente continua a alterna.

Calcular la energía diaria que puede suministrar un módulo.

Se deben especificar las radiaciones de la zona, las horas de sol, la inclinación y la orientación que sean más adecuadas para el módulo. Se puede aplicar la siguiente fórmula:

$$E = P \times Fr$$

Donde, E es la electricidad suministrada por un módulo, P es la potencia del módulo y Fr es un factor regional que para Bucaramanga oscila entre 4 y 4.5 como se vio en la figura del atlas solar para el departamento de Santander. O puede ser superior dependiendo de las radiaciones solares de la ubicación.

Cálculos de los módulos solares FV necesarios.

Se determinan mediante la siguiente expresión:

$$FV = \frac{DMD}{Ed}$$

Donde, FV son los módulos fotovoltaicos necesarios, DMD es la demanda media diaria y E es la energía suministrada por el módulo en períodos de un día.

## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN. (REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA).**

Para la elaboración de este trabajo de grado, se dio inicio con la exhaustiva búsqueda del material bibliográfico presente en la biblioteca de la Universidad Pontificia Bolivariana, encontrando el título Energías Renovables: Manual Técnico de Eva Esteire, Fundamentos de los Módulos Fotovoltaicos y sus aplicaciones, de TIWARI y SWAPNIL y Centro de Innovación Tecnológica con énfasis en Energía Solar, de la Universidad Nacional de Colombia en convenio con el Ministerio de Minas y Energía. Haciendo uso principalmente del Manual Técnico de Energías Renovables y Centro de Innovación Tecnológica con énfasis en Energía Solar como guía para este estudio. A fin de presentar un marco teórico que fuera de fácil entendimiento para quienes decidan investigar más del tema o bien implementar un sistema de este tipo, ya que actualmente la temática se maneja con nivel científico y los autores lo que presentan es una guía y experiencias exitosas en comunidades aisladas respectivamente; dando pie al fácil entendimiento y aplicación del tema en la cotidianidad.

Se recurrió además a la consulta de las páginas web de Entidades y Empresas Nacionales, las páginas consultadas y los temas de estudio en ellas se presentan en la bibliografía junto con los demás títulos estudiados.

## 2.2 INSTRUMENTOS UTILIZADOS

- Panel Solar Fotovoltaico:

El panel solar que se utilizó para la generación de energía eléctrica es marca KYOCERA , modelo KD135SX-UPU de 135 W de potencia máxima, el cual consta de una celda mono-cristalina seccionada por cápsulas. La celda está cubierta por un vidrio templado de alta transparencia dentro de una estructura rodeada por un marco de aluminio. El panel tiene unas medidas en milímetros de 1500x668x46, de 12.5 kg de peso y una eficiencia de rango medio bajo del 13.9%.

El panel presenta en cuanto a características eléctricas las siguientes:

- Potencia Máxima ( $P_m$ ) en Watts: 140.
- Voltaje Máximo ( $V_m$ ) en Voltios: 17.7.
- Intensidad de Corriente Máxima ( $I_m$ ) en Amperes: 7.63.
- Corriente de Corto Circuito ( $I_{sc}$ ): 8.37.

**Figura 13. Panel solar usado para las mediciones.**



Fuente: Sitio web de KYOCERA SOLAR.

**Figura 14. Especificaciones eléctricas del panel solar utilizado.**

KYOCERA PHOTOVOLTAIC MODULE			
MODEL	KD135SX-UPU		
IRRADIANCE AND CELL TEMPERATURE	1000W/m <sup>2</sup> AM 1.5 25°C	800W/m <sup>2</sup> AM 1.5 47.9°C	MAXIMUM SYSTEM VOLTAGE
P <sub>max</sub>	135 W	95 W	600 V
V <sub>pmax</sub>	17.7 V	15.7 V	
I <sub>pmax</sub>	7.63 A	6.10 A	MASS
V <sub>oc</sub>	22.1 V		
I <sub>sc</sub>	8.37 A		12.5 Kg
SERIAL NO	101MYM1392		
WARNING			
Photovoltaic modules generate electricity when exposed to light. Hazardous Electricity can shock, burn or cause death. Do not touch terminals when exposed to light. When connected or disconnected to the output cable upper surface should be shaded from light. Must comply with local safety standards prior to installation.			
UL LISTED 208PP	FIRE RATING CLASS C	Groups A, B, C and D, TSC	SERIES FUSE 15A
	FIELD WIRING STRANDED COPPER ONLY (10-14MG) INSULATED FOR 90°C MIN.		
PHOTOVOLTAIC MODULE FOR USE IN HAZARDOUS LOCATIONS CLASS 1 DIV 2			
MADE IN MEXICO			

Fuente: El autor

- **Controlador Solar:**

El controlador solar que se usó para el estudio, es un TRISTAR de MORNINGSTAR CORPORATION con capacidad de detección del punto de máxima potencia para paneles fotovoltaicos independientes de la red eléctrica. Este controlador tiene un rendimiento del 99%. Aplica un avanzado algoritmo de seguimiento de carga para extraer la máxima potencia del panel fotovoltaico. Hace un barrido extremadamente rápido de toda la curva I-V para determinar la ubicación del pico de potencia.

El dispositivo presenta las siguientes especificaciones técnicas:

- Rendimiento pico: 99%
- Voltaje nominal del sistema: 12, 24, 36 o 48 VCC
- Voltaje máximo del panel a circuito abierto: 150 VCC
- Rango de voltaje de servicio de batería: 8-72 VCC
- Consumo propio máximo: 2.7 Watts
- Protección contra picos transitorios: 4500 Watts/conector



**Figura 15. Controlador solar usado para los registros de potencia.**

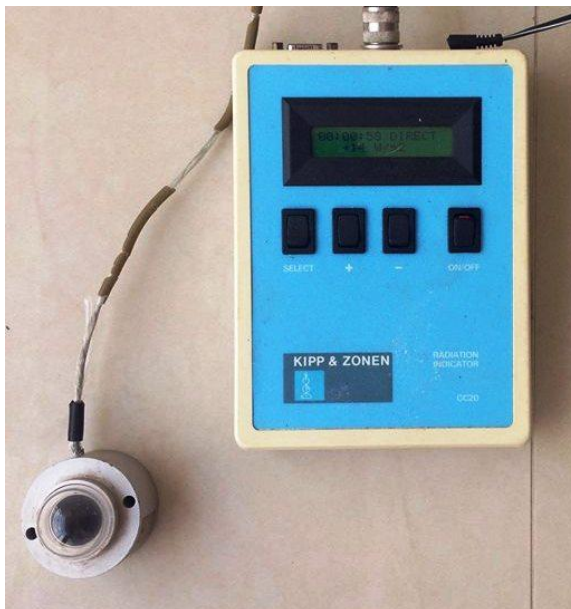


Fuente: El autor.

- **Piranómetro:**

Se utilizó para los registros de radiación un piranómetro KIPP & ZONEN CC20 de radiación máxima 1000 W/m<sup>2</sup>. Es un Instrumento meteorológico utilizado para medir de manera muy precisa la radiación solar incidente sobre la superficie. El piranómetro usado, debido a la antigüedad del mismo (16 años), y a la complejidad de encontrar un software compatible, no se ha podido llevar a cabo una calibración del mismo por los docentes de la facultad de Ingeniería Mecánica, lo que conlleva a que los datos generados por este dispositivo no estén exentos de un margen de error.

**Figura 16. Piranómetro usado para medir la radiación.**



Fuente: El autor.

- Estación meteorológica:

La estación meteorológica utilizada es propiedad de la Universidad Pontificia Bolivariana de referencia DAVIS VANTAGE PRO. Está destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas. Estos datos se utilizan tanto para la elaboración de predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos como para estudios climáticos.

## 2.3 INSTALACIÓN DE MEDIDORES

Para la ejecución de este estudio, se usó la estación meteorológica marca DAVIS VANTAGE PRO, propiedad de la Universidad Pontificia Bolivariana, la cual proporciona datos con intervalos de mínimo diez minutos de temperatura y humedad, puntos de rocío, velocidades y direcciones de los vientos, datos de sensación térmica, índices de calor y rangos de precipitaciones.

Los datos que se utilizaron en este estudio fueron los de temperatura ambiente durante el día y los registros de precipitación (no se presentaron lluvias durante el período de medición). Los intervalos de tiempo con los que se manejaron los datos fue cada diez minutos, es decir el mínimo intervalo que puede manejarse con la estación, esto con el fin de que los promedios de temperatura fueran mucho más precisos y proporcionaran una curva más suavizada y sin picos abruptos en las gráficas.

## **2.4 DATOS CLIMATOLÓGICOS Y DE RADIACIÓN**

Los datos se recolectaron durante el período de luz solar de un día, iniciando el día 10 de diciembre de 2013 a las ocho de la mañana y terminando el último día de recolección de datos, el día 7 de enero de 2013 pasadas las cinco de la tarde.

No se pudo conseguir el software que permitiera configurar el piranómetro con el que cuenta la Universidad Pontificia Bolivariana, debido a la antigüedad del instrumento. Esto lleva a que los datos de radiación tengan un amplio margen de error, ya que al momento de tomar el dato de radiación la atmósfera contaba con nubosidad lo que impedía que los rayos solares incidieran directamente sobre el piranómetro, no obstante, es una condición que puede cambiar en los siguientes minutos consecutivos a la medición, aumentando considerablemente el registro de radiación de la hora.

Para la investigación, fue necesario mantenerse en lo posible al lado del piranómetro, para monitorear personalmente los cambios de radiación. Se tomó el valor que se observaba más transitorio durante la hora del día en que se midió.

## 2.5 ORGANIZACIÓN Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

De la estación meteorológica se tomaron los datos de temperatura ambiente y velocidades de los vientos para el período en el que se realizó la medición, despreciando los de precipitaciones pues no se presentaron lluvias durante los días que se realizaron las mediciones. Estos datos se organizaron a través del software Excel de Microsoft Office de manera horaria, ya que al pasarlos al ordenador estos se presentan con la configuración previa en intervalos de diez minutos.

Adicionalmente, la manera en que se organizó la información de radiación y potencias fue a través de tablas en una hoja de cálculo en Excel, de esta manera se facilitó los cálculos promedios para cuantificar la oferta de energía producida diaria y horaria por el panel solar propiedad de la Universidad Pontificia Bolivariana. Los datos tabulados en Excel, se graficaron para obtener las curvas de potencia diaria del sistema fotovoltaico utilizado, así como su relación con la temperatura del panel, la radiación incidente y las pérdidas por temperatura que se producen según el calentamiento de las celdas solares entre la potencia generada por el panel y la potencia teórica que debería producir en las condiciones de voltaje y corriente en Amperes presentes en el sistema.

Se graficaron juntas las curvas de Potencia, Radiación y Temperatura del panel, para poder analizar sobre la potencia la influencia de las otras dos variables y su comportamiento a lo largo del día en las diferentes horas de registro medido.

Los datos de radiación y potencia, se tomaron personalmente en tiempo real, es decir, el monitoreo se hizo en forma presencial y los datos se recolectaron de forma escrita. Esto debido a que el piranómetro utilizado no contaba con un software que permitiera almacenar los datos de radiación en períodos de tiempo. Por otra parte, el controlador solar, sí contaba con un software, pero que por

sugerencia del director de tesis, se prefirió tomar a mano los datos registrados de cada hora.

## **2.6 INSTALACIÓN DE LOS SISTEMAS**

La instalación de los instrumentos, se realizó inicialmente en la planta del primer piso del edificio K de la Universidad Pontificia Bolivariana a las afueras de los talleres de Ingeniería Mecánica. Inicialmente se tenía pensada la instalación en la placa del último piso del mismo edificio; no fue posible debido a algunas actividades de impermeabilización que coincidían con el período de muestreo.

Por razones institucionales, no se permitió el ingreso a la Universidad en el período comprendido entre el 25 de diciembre y el día 31 del mismo mes, razón por la que se hizo necesario el traslado de los instrumentos hacia el área metropolitana de Bucaramanga, en la zona de Cañaveral.

El sistema se instaló en la placa del último piso del edificio Vista Azul Campestre ubicado en la Transversal 154 No. 24-125 a una altura de 72 metros sobre el nivel del suelo. En este lugar se continuaron las mediciones a partir del 26 de diciembre de 2013 hasta el día 7 de enero de 2014.

Para la instalación del controlador solar al panel, bastó con conectar el cable positivo y el cable negativo del panel solar en los polos receptores del controlador que se conectó además a una batería M-TEK de plomo para celdas fotovoltaicas, con el fin de verificar que el panel estuviera cargando la batería. Tal como se muestra en la figura 18 y la figura 19.

**Figura 17. Sistema fotovoltaico instalado para las mediciones.**



Fuente. El autor.

**Figura 18. Controlador solar TRISTAR instalado al panel solar.**



Fuente. El autor.

## **2.7 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN Y CÁLCULOS**

Con el sistema instalado, se procedió entonces con la recolección de los datos de temperatura ambiente y la del panel solar. De esta manera se logró hacer el seguimiento del rendimiento y comportamiento del sistema, el cual se ve afectado por las condiciones de estos factores.

Con la información de los promedios diarios acumulados de potencia generada tabulados previamente en Excel, se calculó el período de retorno del panel solar fotovoltaico que se usó para las mediciones con el fin de determinar qué tan atractiva y competitiva económicamente es la instalación de estos sistemas para la generación de energía eléctrica, al comparar en conjunto, los consumos promedio de aparatos electrónicos de oficina y los costos en pesos por kW/h que se ofrecen en el departamento de Santander, con respecto a la energía generada por el panel en un período de vida útil de 25 años.

Los demás datos se exponen en el análisis de resultados.

## **2.8 RESULTADOS**

Teniendo las potencias promedio diarias de todos los días, los costos por kWh que se cobran en el departamento, se logra determinar la viabilidad de generar energía con un sistema fotovoltaico. Esto significa, que se pudo determinar un período de tiempo en el que es posible generar energía eléctrica exenta de pago.

### **3. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Los períodos de medición comenzaron el día 10 de diciembre de 2013 a partir de las 8 de la mañana en el campus de la Universidad Pontificia Bolivariana, ubicándose los elementos de medición en el edificio K planta del primer piso durante un período continuo hasta el día 23 de diciembre de 2013, día en el que fue necesario hacer un traslado de los elementos de medición hacia el área Metropolitana de Bucaramanga, zona de Cañaveral, debido a que se iban a realizar unas labores de mantenimiento en la Universidad, razón por la que el ingreso de gente fue suspendido. No obstante, se logró que las condiciones de intemperie fueran igual o similares a las presentadas en el campus de la UPB.

Con el traslado de los instrumentos fue posible hacer un monitoreo continuo de las potencias desarrolladas por el panel durante las 12 horas de luz solar del día.

Las mediciones se dieron por terminadas el día 7 de enero de 2014, recolectando el último dato a las 5:10 pm de ese día.

#### **3.1 DATOS DE RADIACIÓN, POTENCIAS Y TEMPERATURAS.**

Los datos obtenidos en los distintos días de medición, varían tanto como las condiciones climáticas de la hora. Sin embargo, en el análisis individual del comportamiento de las gráficas, se encontraron unos patrones comunes que afectan a las variables Potencia y Eficiencia que se tomaron en cuenta, determinando un día que se convirtiera en representativo de todos los demás para analizar mejor el comportamiento de las curvas. Los demás días que se utilizaron



para establecer los patrones de comportamiento, se presentan como anexo en el anexo B al final del documento.

En la tabla 3, se presenta un día de medición que corresponde al 20 de diciembre del año 2013 en el Campus de la Universidad Pontificia Bolivariana.

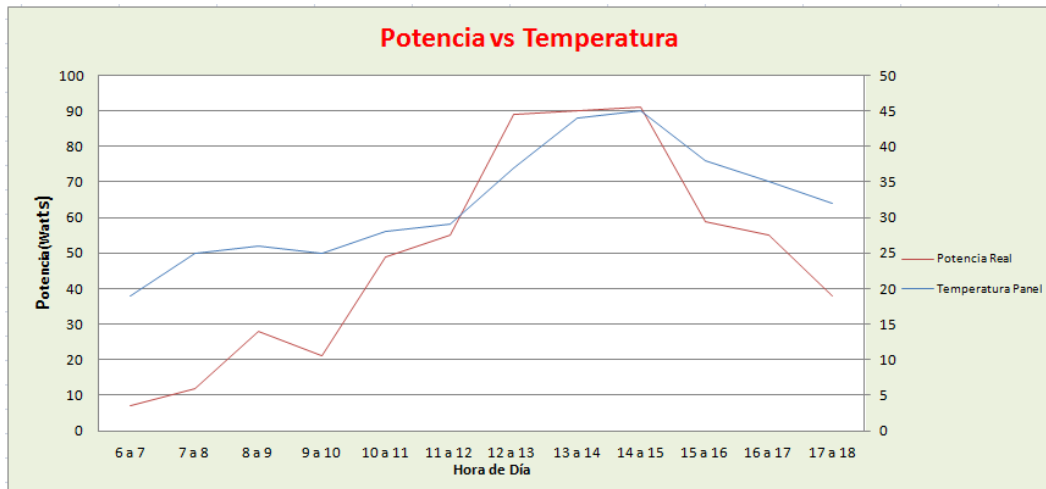
**Tabla 3. Tabla de Datos tipo.**

Día 11: Diciembre 20/2013								
Hora	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Potencia real (W)	Radiación (W/m <sup>2</sup> )	Temp. Panel (°C)	Temp. Amb (°C)	PÉRDIDAS
6 a 7	7	1,2	8,4	7	62	19	18,23	0,17
7 a 8	8	1,6	12,8	12	72	25	19,23	0,06
8 a 9	11,4	2,6	29,64	28	204	26	21,98	0,06
9 a 10	9,9	2,21	21,879	21	146	25	24,23	0,04
10 a 11	13	4,15	53,95	49	425	28	25,33	0,09
11 a 12	14	4,44	62,16	55	504	29	26,73	0,12
12 a 13	12	7,9	94,8	89	930	37	27,88	0,06
13 a 14	13,3	7,5	99,75	77	942	44	27,18	0,23
14 a 15	13,3	7,1	94,43	75	950	45	27,72	0,21
15 a 16	12	7	84	59	712	38	27,28	0,30
16 a 17	13	5,3	68,9	55	199	35	26,18	0,20
17 a 18	13	3,51	45,63	38	69	32	24,97	0,17

Fuente. El autor

El análisis de estos datos, muestra que la potencia generada por el panel KYOCERA en WATTS, se ve afectada por el calentamiento de la celda fotovoltaica. La potencia tiende a mostrar una disminución en los niveles más altos de temperatura tal como se ilustra en la gráfica 1.

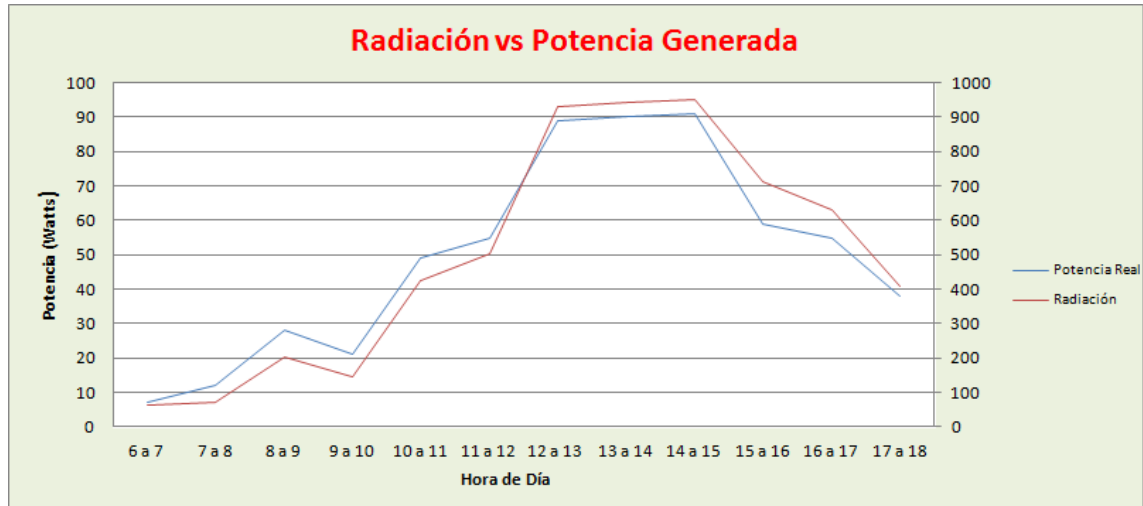
**Gráfica 1. Comportamiento de la Potencia del panel con cambios de Temperatura.**



Fuente. El autor.

En la gráfica anterior, es notorio que a partir de las 11 de la mañana, los niveles de temperatura empiezan a aumentar pero también lo hace la potencia. Lo anterior se debe a que en las horas anteriores, los niveles de radiación eran mucho menores y por tanto se generaba menos potencia, registrando desde las 11 am hasta las 3 pm, los niveles más altos de radiación. En la gráfica siguiente se puede apreciar dicho comportamiento.

**Gráfica 2. Incremento de Potencia Generada o Real vs Radiación.**

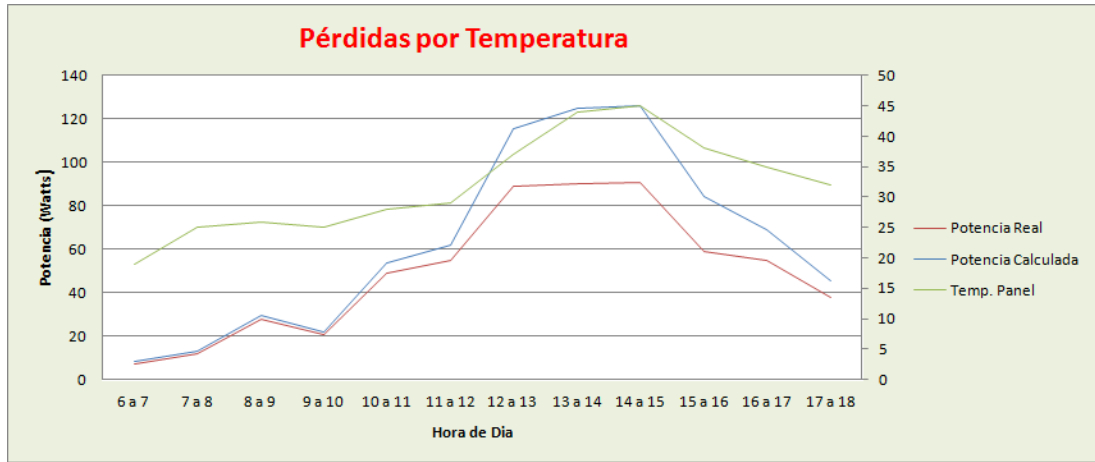


Fuente. El autor.

En consecuencia, se puede afirmar que la potencia aumenta al aumentar también la radiación incidente sobre el panel solar que empieza un proceso de calentamiento que afecta directamente la potencia, generando pérdidas. En la gráfica 3, se puede ver que cuando la celda solar oscila entre los 25 y los 30 °C de temperatura, las curvas Potencia Generada y Potencia Calculada no se alejan mucho una de la otra, es decir que las pérdidas son pocas y pueden fluctuar entre el 4 y el 11%. Al presentarse un incremento súbito en la temperatura, por encima de los 30 °C, la eficiencia del sistema comienza a verse comprometida, puesto que las pérdidas empiezan a tomar valores considerables, entre el 20 y el 28% para temperaturas de hasta 44 °C.

Así, a medida que la temperatura va en aumento y los niveles de radiación permanecen constantes, la brecha entre las curvas Potencia Generada y Potencia Calculada se va haciendo más grande.

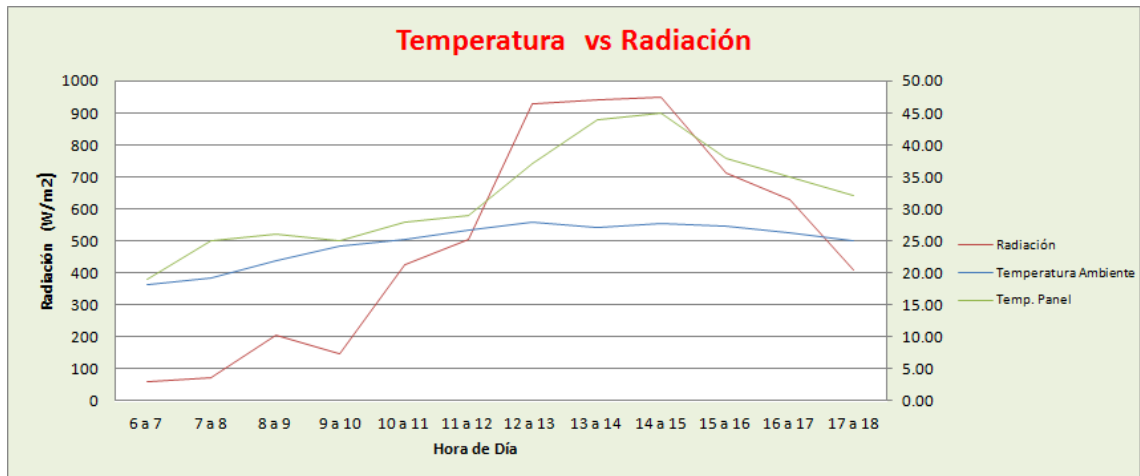
**Gráfica 3. Pérdidas por Temperatura.**



Fuente. El autor.

Según se observa a continuación en la gráfica 4, la temperatura del panel, únicamente se ve influenciada por la radiación incidente, siendo la temperatura ambiente un factor climático que no juega un papel determinante en el comportamiento y/o eficiencia del panel. Sin embargo, al ser un factor climático, sí está relacionada con la radiación que se afecta además por las condiciones atmosféricas en la zona de estudio.

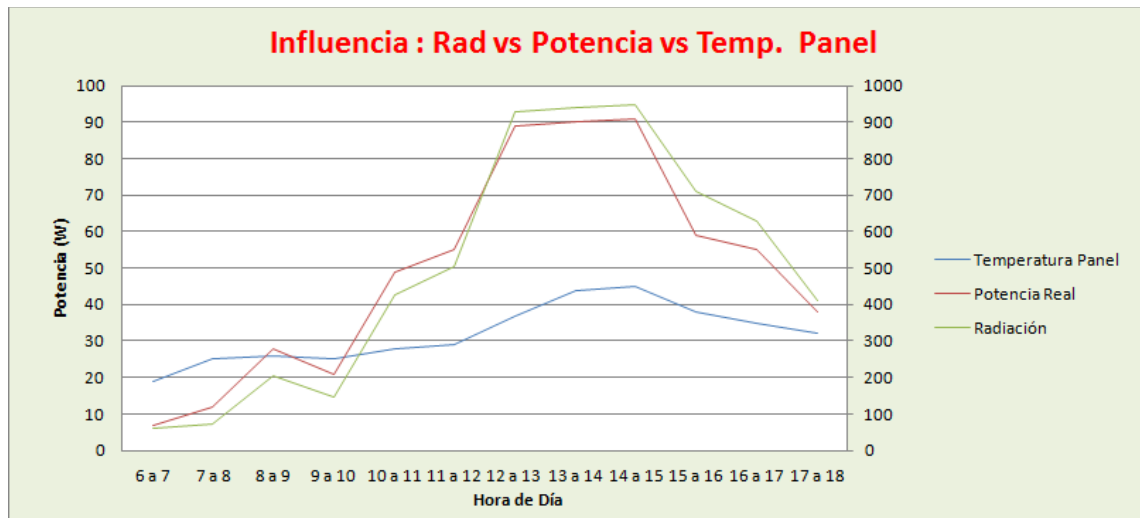
**Gráfica 4. Influencia de la Temperatura Ambiente y la Radiación sobre la Temperatura del panel.**



Fuente. El autor.

A continuación se presenta la gráfica de influencia (gráfica 5), allí muestra que la potencia que está directamente relacionada con la radiación y que a su vez la radiación incide sobre la temperatura del panel, ocasionando que este se caliente y se vea afectada seriamente la potencia. Al escudriñar en las gráficas diarias de los diferentes días del período de medición, se determinó que al elevarse la temperatura por encima de los 30 °C las pérdidas se incrementan hasta llegar casi al 30% para temperaturas cercanas a los 56 °C en las células fotovoltaicas. Es evidente también, que en los mayores niveles de temperatura, suele estar la mayor potencia generada, esto se debe a que si el panel se calienta, es porque la radiación incidente sobre el mismo está también en aumento y cercana a los 1000 W/m<sup>2</sup>.

**Gráfica 5. Influencia de la Radiación y la Temperatura del Panel sobre la Potencia Generada.**



Fuente. El autor.

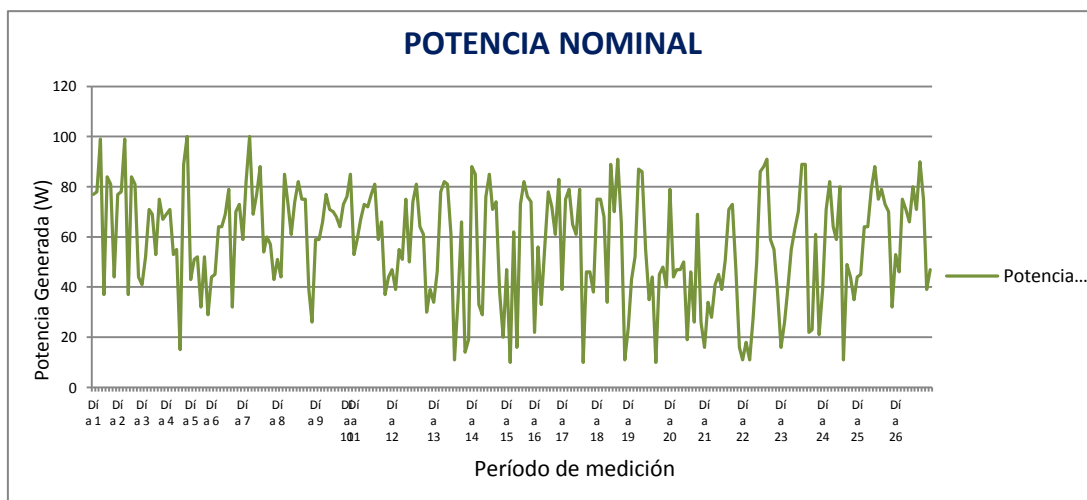
### 3.2 OFERTA DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Los registros de los datos de la Potencia Generada se tomaron con la ayuda del panel solar KYOCERA KD135SX-UPU, el cual desarrolló una potencia máxima de 100 W. Se incorpora al estudio un piranómetro KIPP & ZONEN (Solar Radiation Measurement System) que se utilizó para tomar los correspondientes niveles de radiación incidente sobre el panel solar. Para los registros de las condiciones que permiten controlar la energía solar, se utilizó un controlador solar TRISTAR de MORNINGSTAR, el que se conectó al panel a través de una batería de plomo.

Los registros de radiación que se muestran en la gráfica 6 corresponden a las potencias nominales en Watts, generadas por el panel que se usó para el estudio. El período es diario y los picos muestran los valores alcanzados por hora.

Se puede observar que las potencias que se generan, contrario a lo que se pensaría, no son constantes durante las horas de luz solar del día a lo largo de los días.

**Gráfica 6. Registro de potencias horarias nominales durante el período de medición.**



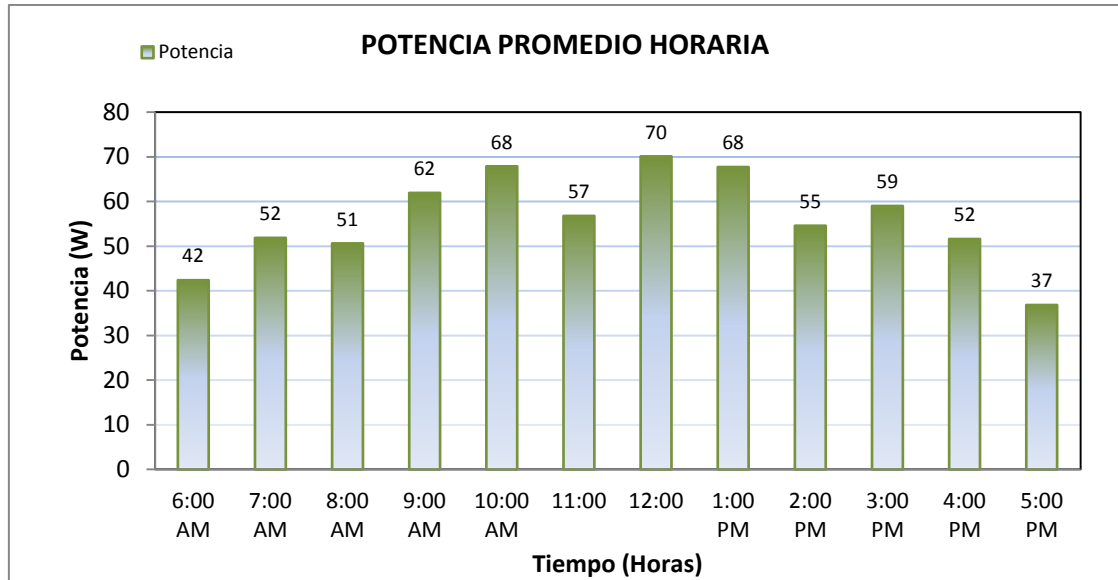
Fuente. El autor.

La gráfica anterior evidencia cómo la generación de energía se ve directamente influenciada por las condiciones climáticas de la zona. Aunque para este estudio no hubo precipitaciones durante las mediciones, sí se nubló el cielo en ocasiones, alterando la radiación incidente sobre el panel que está estrechamente relacionada con la potencia generada. De esta manera se pudo determinar que en el cuarto día, de fecha Diciembre 13 de 2013, entre las 4 pm y las 5 pm se presentó la mayor eficiencia y el mayor rendimiento del panel solar KYOCERA KD135SX-UPU con las condiciones atmosféricas siguientes; una radiación incidente de 942 W/m<sup>2</sup> y una temperatura de la celda solar de 27 °C. De esta manera se generó la máxima potencia que puede entregar el panel equivalente a 100 W y cuyas pérdidas respecto al valor teórico calculado fueron de 2.55%. En conclusión, el día 13 de Diciembre de 2013, se generó la potencia máxima del panel (100 W) entre las 4 pm y las 5 pm, siendo este el punto más eficiente del estudio, con unas pérdidas del 2.55%.

Para establecer una relación con datos menos dispersos y en respuesta de cuantificar un valor horario de energía eléctrica como oferta, se promediaron los valores de potencia diarios por hora, dando como resultado el siguiente patrón promedio para los días de medición; se tuvieron potencias más altas durante las horas de la mañana; entre las 9 am y la 1 pm como se puede ver en la gráfica 7, a partir de esta hora la potencia empieza con un valor promedio de 62 Watts; aumentando dependiendo de la radiación que incidió sobre el panel hasta las 3 pm, luego de esta hora, la potencia empieza a disminuir, coincidiendo con la gráfica 6 de la potencia nominal. La potencia promedio horaria máxima generada se dio entre las 12 pm y la 1 pm, alcanzando una cantidad de 0.07 kW/h. Este valor de kilovatio hora, representa una eficiencia del 53% en el panel usado cuya potencia es de 0.13 kW/h.

El estado del panel, la antigüedad del mismo y el uso para el que se adquirió, hacen que su eficiencia disminuya, ya que el beneficio depende de los objetivos a desarrollar del investigador y los recursos con los que cuenta.

**Gráfica 7. Potencia Promedio horaria de los días estudio.**

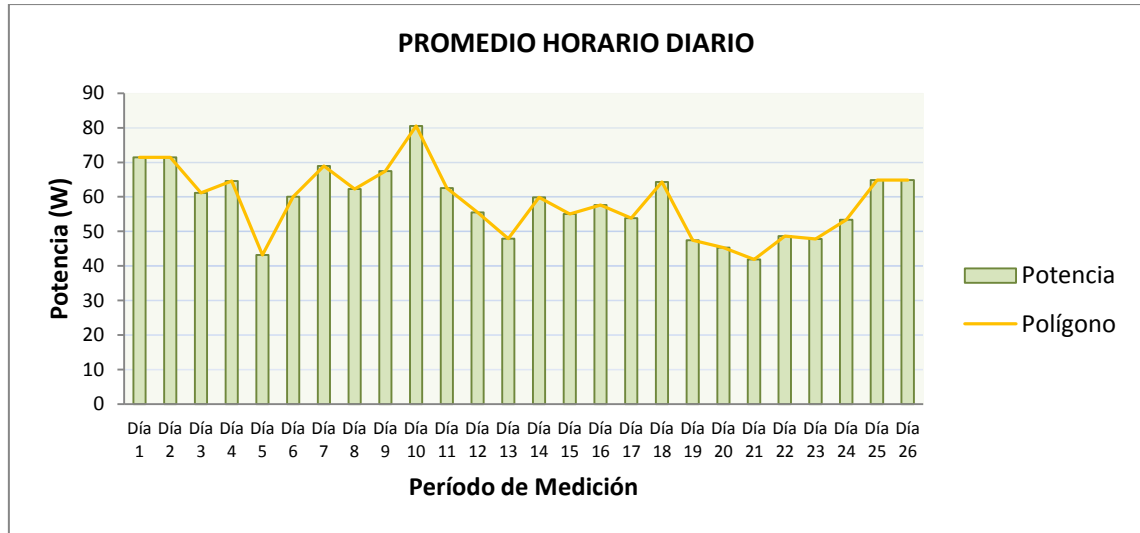


Fuente. El autor.

Sin embargo, para definir los picos más altos de potencia durante el período de estudio, se hizo necesario promediar los registros hora de cada día para saber con menor incertidumbre los rangos sobre los que fluctúa la potencia en el tiempo de medición. La gráfica 8 ilustra los promedios diarios que se tuvieron durante cada día. Allí se observa que los valores se encuentran dentro de un rango constante entre 55 y 80 vatios. Las potencias se vieron afectadas en su promedio debido a que en ocasiones la recolección de los datos no se hizo durante las 12 horas de luz solar, razón por la que el promedio tiende a verse afectado por esos datos que están desviados de los demás.



**Gráfica 8. Potencia real generada promedio diaria.**



Fuente. El autor.

Aunque la gráfica 8 ponga en discusión la generación de energía eléctrica a partir de la luz solar por los rangos bajos de potencia, el sistema involucra unas baterías de almacenamiento donde se acumula la potencia generada por el panel solar durante los períodos de tiempo en que se tuvo contacto directo con la radiación incidente.

La generación de energía a través del panel solar, es continua. Esto implica que las células fotovoltaicas generan energía acumulable durante las horas de luz solar. Entonces, a fin de obtener unos comparativos con los electrodomésticos convencionales de tipo oficina, se hace más fácil, cuantificando en cantidad de aparatos electrónicos la potencia diaria acumulada durante el día. Es así como se obtiene la tabla 4, que presenta los valores diarios acumulables de energía que representan los ahorros en el consumo eléctrico mensual. En promedio se lograron 0.55 kW durante el día, alcanzando un máximo de 0.7 kW. Cabe resaltar que las potencias pudieron ser mucho más altas, debido a que en algunos días se realizó la recolección de los datos durante 9 o 10 horas y no durante las 12 horas de luz solar incidente.

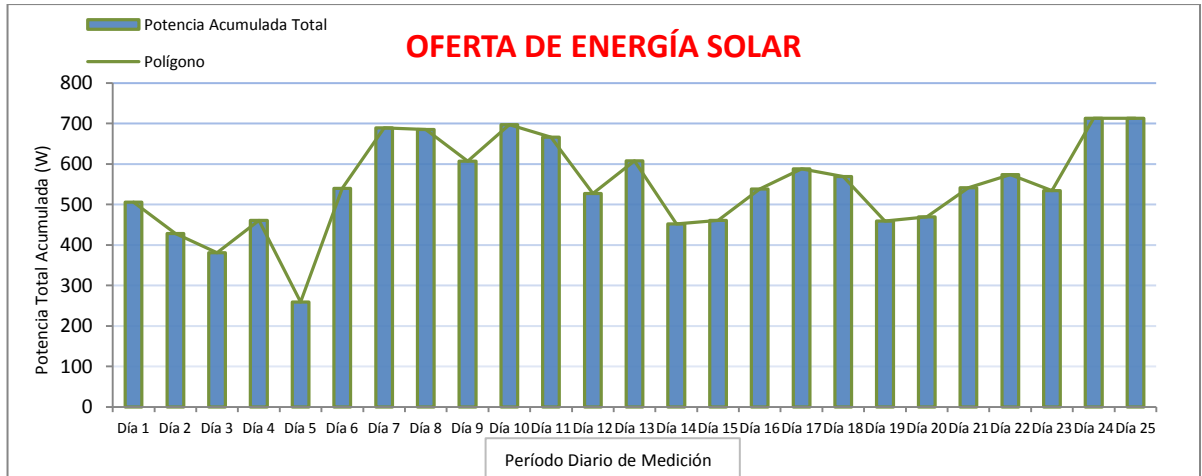
**Tabla 4. Valores diarios acumulados de Potencia en vatios (W)**

Período	Potencia Total Acumulada (W)
Día 1	506
Día 2	428
Día 3	381
Día 4	461
Día 5	259
Día 6	540
Día 7	689
Día 8	685
Día 9	607
Día 10	697
Día 11	666
Día 12	527
Día 13	608
Día 14	452
Día 15	461
Día 16	538
Día 17	588
Día 18	569
Día 19	459
Día 20	469
Día 21	541
Día 22	574
Día 23	534
Día 24	713
Día 25	713
<b>TOTAL</b>	<b>13665</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>546.6</b>

Fuente. El autor.

A continuación se presenta la gráfica 9 de fluctuación de las potencias diarias acumuladas en kilovatios durante los días de medición del estudio que oscila entre los 500 y 700 Watts. Al final del día 26 se habían generado un total de 13665 WATTS (13.67 KW); con un promedio total acumulado diario de 546.6 W.

**Gráfica 9. Oferta de Energía Solar en forma de Potencia diaria acumulada.**



Fuente. El autor.

### 3.3 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Para seleccionar el tipo de sistema y panel adecuado, es necesario conocer las necesidades de energía eléctrica que se deben suplir, determinado por el tipo de uso que se le asignará; uso de oficina, residencial, industrial, etc. Se busca, que los niveles de radiación sean bastante altos, cercanos a los 1000 W/m<sup>2</sup> y paneles solares con potencias superiores al usado en esta investigación (100 W).

Con los datos suministrados por los registros de las Empresas Públicas de Medellín presentados al final del documento en el anexo E, cuya última actualización fue en septiembre de 2011, se extrajeron los datos que se muestran en la tabla 5 para el cálculo del rendimiento económico de la energía solar en este estudio.

**Tabla 5. Consumo promedio de electrodomésticos convencionales.**

<b>ELECTRODOMÉSTICO</b>	<b>CONSUMO (W)</b>	<b>EQUIVALENTE (kW/h)</b>
Bombillos Fluorescentes	40	0.04
Cafetera	900	0.9
Nevera	180	0.18
Horno microondas	1000	1
Comp. Mesa	140	0.14
Comp. Portátil	150	0.12
Televisor LCD	75	0.075

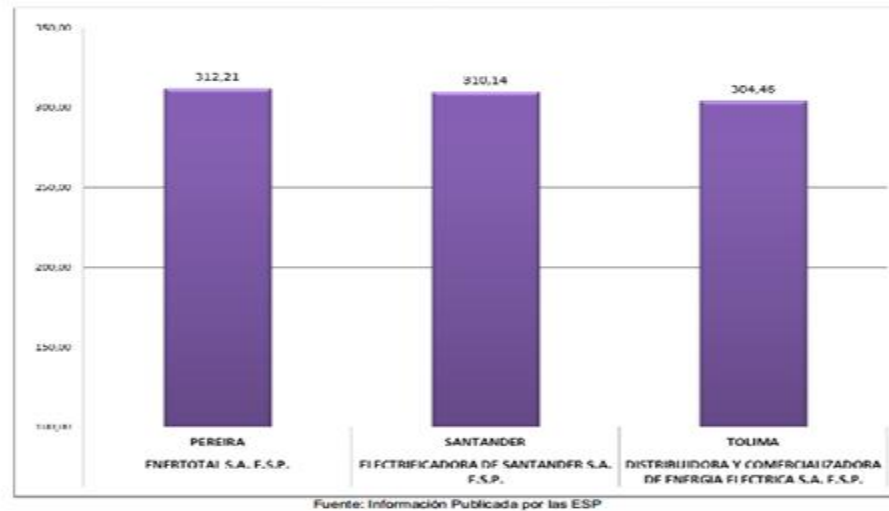
Fuente. El autor.

En Colombia, la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, presenta en su página web el precio por kilovatio hora en los diferentes departamentos del país. Para el caso de Santander, el precio por hora hasta diciembre del 2012 fue de \$ 310.14. Un precio que se encuentra por debajo de la media nacional (\$ 355.9), como se puede ver en la figura 20.

Figura 19. Costo en pesos por kilovatio hora en Santander.

SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS  
PÚBLICOS DOMICILIARIOS  
REPÚBLICA DE COLOMBIA

Igualmente las empresas que aplicaron los costos más bajos de prestación del servicio son:



El precio promedio ponderado de compra en contratos nacional Mc para el mes de diciembre de 2012 presentó un valor de 136,84 \$/kWh, mientras el CU promedio nacional ascendió a 355,9 \$/KWh.

Fuente: Boletín Tarifario Enero de 2013. Documento publicado en la página web de la Superintendencia de Servicios Públicos Domociliarios.

Para los cálculos de consumo y ahorro de energía en pesos, se tomó como referente \$ 310,14; valor que corresponde al precio por kilovatio hora en Santander.

### 3.4 CÁLCULOS

#### 3.4.1 Cálculo del costo que representa durante una hora cualquier dispositivo electrónico:

- Bombillo Fluorescente:

$$COSTO HORA = Consumo (kW) * Precio \left( \frac{\$}{kW} \right) * 1 hora$$

$$COSTO HORA = 0.04 kW * 310,14 \frac{\$}{kW} * 1 hora$$

$$COSTO HORA = \$ 12,4056$$

A continuación se presenta en la tabla 6, los costos por hora calculados para diferentes dispositivos electrónicos y electrodomésticos comunes en el edificio K de la Universidad Pontificia Bolivariana a los que se les asignaron un consumo promedio determinado por la Empresa de Servicios Públicos de Medellín y que se presentó en el ANEXO D.

**Tabla 6. Costo por hora según consumo de diferentes electrodomésticos convencionales.**

ELECTRODOMÉSTICO	CONSUMO (W)	EQUIVALENTE (kW/h)	COSTO HORA(\$)
Bombillos Fluorescentes	40	0.04	12.4056
Cafetera	900	0.9	279.126
Nevera	180	0.18	55.8522
Horno microondas	1000	1	310.14
Comp. Mesa	140	0.14	43.4196
Comp. Portátil	150	0.12	37.2168
Televisor LCD	75	0.075	23.2605

Fuente. El autor.

**3.4.2 Estimativo del Consumo Eléctrico para los requerimientos convencionales de oficina en los edificios del edificio K de la Universidad Pontificia Bolivariana.** La celda solar utilizada cuyas especificaciones técnicas, se muestran en la tabla 7, presentó un promedio de potencia utilizable acumulada durante el día de **546,6 W**, potencia que puede distribuirse durante las horas de la noche; bien sea en el uso de un dispositivo electrónico por varias horas o de varios dispositivos electrónicos iguales, durante una hora.

**Tabla 7. Especificaciones técnicas del panel solar KYOCERA.**

<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PANEL SOLAR KYOCERA KD135SX-UPU</b>	
POTENCIA MÁXIMA (Watts)	135
VOLTAJE MÁXIMO (Voltios)	17.7
CORRIENTE MÁXIMA (Amperes)	7.6
CORRIENTE CORTOCIRCUITO (Amperes)	8.37
CÉLULAS	36
TAMAÑO (mm)	1500 x 668 x 46
PESO (kg)	13

Fuente: Especificaciones técnicas pegadas al respaldo del panel.

Teniendo el costo por hora y el promedio de la potencia desarrollada que se acumuló durante el día, se calculó número de unidades que se podrían tener encendidas durante una hora continua.

**3.4.3 Promedio potencia desarrollada durante el día: 546.6 W; equivalentes 0.5466 kW.**

- Cálculo de unidades de bombillas fluorescentes durante una hora:

$$No. UD = \frac{POTENCIA DESARROLLADA DÍA (kW)}{CONSUMO EQUIVALENTE (kW)} * 1 hora.$$

$$No.UD = \frac{0.5466 \text{ kW}}{0.04 \text{ kW}} * 1 \text{ hora}$$

$$No.UD = 13.67 = 13 \text{ Bombillas Fluorescentes}$$

De tal manera, el número de unidades de dispositivos electrónicos y/o electrodomésticos que se pueden mantener encendidas de forma continua durante una hora representan un rubro económico que no sería incluido dentro del consumo eléctrico mensual, considerándose como un ahorro promedio diario en pesos.

- Cálculo ahorro promedio diario en pesos de las bombillas fluorescentes:

$$AHORRO PROMEDIO DIARIO (\$) = No.UD * COSTO HORA$$

$$AHORRO PROMEDIO DIARIO (\$) = 13 * 12.4056$$

$$AHORRO PROMEDIO DIARIO (\$) = \$ 161.27$$

A continuación se presenta la tabla de resumen (tabla 8) con los dispositivos electrónicos representativos de uso común en oficina cuyos consumos en kilovatios hora, se presentan en el anexo D, con los costos que representan diariamente su uso y las unidades a las que se les puede dar uso continuo durante una hora con la potencia generada por el panel.



**Tabla 8. Resumen de número de unidades encendidas por hora y ahorro en pesos.**

<b>ELECTRODOMÉSTICO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO POR UNIDAD (\$)</b>	<b>COSTO POR DÍA (\$)</b>
Bombillos Fluorescentes	13	12.4056	161.2728
Comp. Mesa	3	43.4196	130.2588
Comp. Portátil	4	37.2168	148.8672
Televisor LCD	7	23.2605	162.8235

Fuente. El autor.

### **3.4.4 Rentabilidad del Panel Solar..**

- Período de Retorno (Tr):

$$Tr = \frac{CP}{CA}$$

Donde, CA corresponde al costo anual de la Potencia Promedio Horaria máxima generada por el panel solar. CP, es el costo del panel, que varía dependiendo de los requerimientos de energía que se tenga y CB, se refiere al costo de la batería de almacenamiento que también varía dependiendo de la capacidad de almacenaje.

- **Potencia Promedio Horaria máxima del Panel: 70 W, equivalente, 0.07 kW/h.**
- **Costo kW/h en Santander: \$ 310.14.**

$$0.07 \text{ kW/h} * \$ 310.14 = \$ 21.71 \text{ kW/h.}$$

Si se mantiene el panel conectado, esto representa por hora \$ 21.71 que se dejan de pagar a la Electrificadora debido a que es una energía que se está generando por cuenta propia.

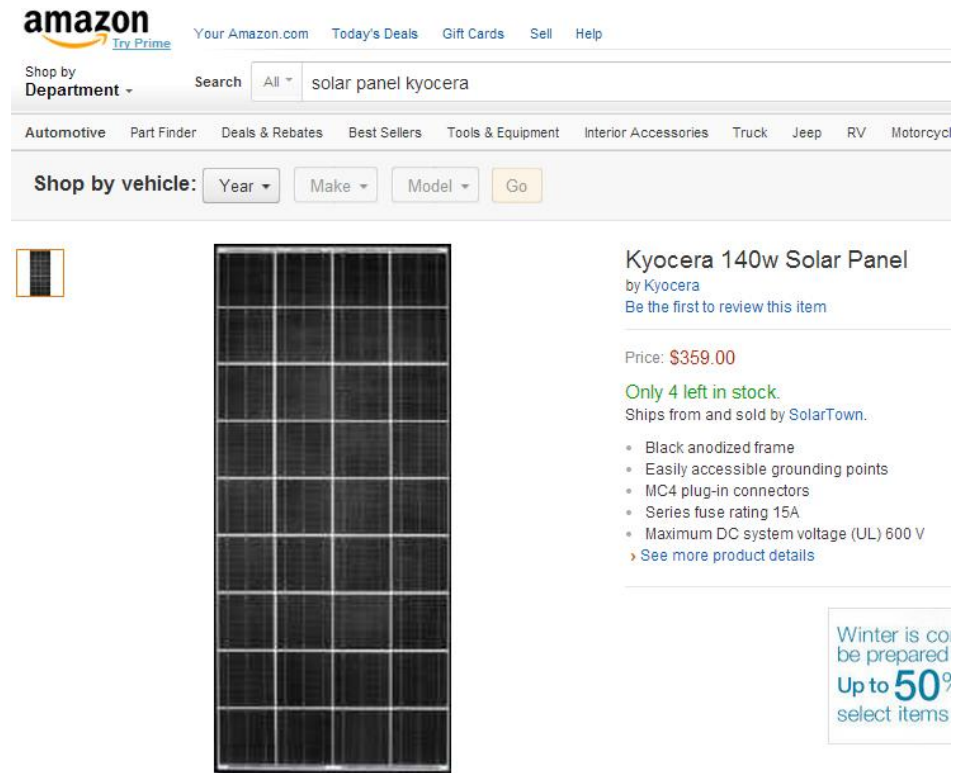
El tiempo de vida útil de los paneles solares no es inferior a los 25 años, por lo que se calcula la cantidad de dinero ahorrada al cabo de ese tiempo.

- **\$ 21.71 \* 12 horas = \$ 260.52 día.**
- **\$ 260.52 \* 30 días = \$ 7 815.53 mes.**
  - **\$ 7815.53 \* 12 meses = \$ 93 786 año.**
  - **\$ 93786 año \* 25 años = \$ 2 344 658**

Al cabo de 25 años, cuando la vida útil del panel baja al 80% aproximadamente, los ahorros en dinero en los consumos energéticos serán de \$ 2 344 658 (Dos millones trescientos cuarenta y cuatro seiscientos cincuenta y ocho pesos). Esto producido por el uso de un único panel generador de potencia y de bajo rendimiento como el que se usó para la presente investigación. Además, se debe tener en cuenta que un panel más nuevo y por lo tanto más moderno, genera más energía, lo que incrementa el ahorro al final de su vida útil.

El panel solar que se usó en este estudio con las especificaciones dadas en la tabla 7 mencionada anteriormente, mantiene un precio en el mercado colombiano que oscila entre los \$ 4 500 y \$ 5 500 por vatio. Además, en páginas web internacionales de libre comercio tales como Amazon que se puede ver en la figura 21, se comercializan a un precio un poco inferior que depende de la tasa representativa del mercado y, que al día de hoy, equivale a \$ 689 818.

Figura 20. Imagen ilustrativa de la página web de Amazon



Fuente: Sitio web de Amazon

$$Tr = \frac{\$ 359 * 1 929.50}{\$ 93 786}$$

$$Tr = 7.39 \text{ años.}$$

El período de retorno ( $Tr$ ) para un panel solar como el que se usó durante el tiempo que duraron las mediciones es de 7.39 años. Esto significa, que al cabo de ese período de tiempo, al precio de hoy, el panel solar se habría pagado completamente. Esto indica que al iniciar el octavo año de uso de energía solar, y hasta el año 25 que corresponde al período de vida útil del panel, se tendría con ese mismo y único panel en condiciones similares de clima, una energía promedio de 0,5466 kW diarios, exentos de pago por un período aproximado de 17 años.

#### 4. CONCLUSIONES

- Las gráficas de pérdidas por temperatura, muestran que la potencia se ve seriamente afectada por los incrementos de temperatura del panel. Observando que entre mayor es la temperatura del panel, la brecha entre las curvas de la potencia real generada y la potencia teórica calculada se vuelve menos estrecha, alejándose una de la otra en el mismo punto y generando unas pérdidas considerables. En ocasiones se tuvieron pérdidas de hasta el 50% con una temperatura de aproximadamente 56 °C y en los puntos donde la temperatura era más baja y se mantenía entre los 25 °C y los 30 °C, las pérdidas oscilaban entre el 1% y el 7%.
- Se involucraron los datos de la temperatura ambiente. Sin embargo, los resultados demostraron que no es un factor determinante dentro de la generación de potencia, pues se mantiene dentro de un rango constante durante las mediciones. Los cambios de temperatura en el panel no se ven afectados por la temperatura ambiente, sino por la radiación que incide sobre el panel.
- En el mercado existen paneles solares capaces de generar el doble de la potencia generada por el que se usó en el estudio y no representan el doble del costo del panel usado. Lo que aumentaría la eficiencia y los ahorros.
- Para garantizar la buena utilización el panel, es preferible que falte energía que pueda suplirse con red eléctrica convencional y no que sobre energía que se esté desperdiciando.

- Se logró determinar que bajo criterios de ahorro, la implementación de la energía solar fotovoltaica representa ventajas económicas durante su vida útil; esto significa un período de retorno de 7 a 12 años y un tiempo de energía exenta de pago de 12 a 17 años. La variación del período de retorno se debe a la adición de una batería de almacenamiento de tamaño mediano al costo del panel. Su valor promedio es de \$ 400 000.
- El promedio por hora generado por el panel solar, es de 0.07 kW/h. Al costo con el que se comercializa la energía en Santander de \$ 310.14 por kilovatio hora, representa en dinero \$ 93 786 al año por kilovatio hora.
- Los datos pueden tener un margen de error debido a la calibración del piranómetro usado para las mediciones y la antigüedad del mismo.
- Se logró cuantificar la oferta de energía eléctrica producida a partir de fuentes renovables de energía con base en los datos meteorológicos tomados en tiempo real en el campus de la Universidad Pontificia Bolivariana, arrojando una potencia
- El panel generó un promedio diario acumulada de 546.6 W durante un día de medición. Esta energía puede emplearse durante una hora para mantener encendidos de forma continua alguno de los siguientes aparatos electrónicos de oficina en las cantidades especificadas, trece bombillos fluorescentes de 40 W, tres computadores de escritorio, cuatro computadores portátiles o siete televisores LCD, lo cual, aún con las limitaciones de los instrumentos, se hace una alternativa viable y que se puede mejorar.
- La eficiencia presentada por el sistema se calculó en un 53% con la potencia promedio horaria de todos los días, siendo esta de 0.07 kW/h entre las 12 pm y la 1 pm frente a la potencia que debería generar el panel de 0.135 kW/h.

- De acuerdo con el anexo C, no existe un número de horas efectivas que puedan usarse para la generación de energía eólica, ya que las velocidades mínimas de arranque de un generador eólico deben estar por encima de los 4.5 m/s. Las velocidades que se obtuvieron durante el período de estudio en el área de influencia de la estación meteorológica ubicada en el campus de la Universidad Pontificia Bolivariana muestran que no es viable la energía eólica como fuente de energía eléctrica en el campus de la UPB, ya que las velocidades del viento promedio horarias, oscilan entre los 0.93 y 1.26 m/s. Siendo éste último valor, la velocidad máxima del viento en el período de estudio.
- Debido a que en la ejecución de la investigación no se contó con fondos para financiarla, no fue posible realizar el estudio comparativo en las demás zonas de afectación del área metropolitana de Bucaramanga y la Mesa de Los Santos, esta comparación requería de dos estaciones meteorológicas que estuvieran monitoreando datos continuos y al mismo tiempo.
- Debido a que los datos de radiación son los principales factores que involucran la producción de energía eléctrica a partir de la luz solar, no fue posible realizar una proyección anual, ya que depende de las condiciones climáticas del día y de la hora, siendo afectadas por las condiciones de nubosidad del día. Por lo que es necesario, aumentar la periodicidad de las mediciones de radiación con intervalos más pequeños y con instrumentos capaces de almacenar los registros para ser descargados posteriormente en un computador.

## 5. RECOMENDACIONES

- Es de suma importancia conocer las condiciones climáticas y los niveles de radiación de la zona sobre la que se desarrolle un proyecto de energía solar fotovoltaica para así seleccionar el sistema generador más eficiente y de esta manera viabilizar las energías renovables como fuente alterna de energía eléctrica.
- Para futuros estudios es recomendable que estén asociadas otras facultades, tales como la mecánica y la electrónica para obtener una integralidad en la investigación ya que se debe buscar la manera de incorporar algún mecanismo de enfriamiento en el panel con el que se logre mantener una temperatura constante de hasta 30 °C para garantizar las menores pérdidas posibles.
- Utilizar instrumentos más modernos y más sensibles que permitan almacenar los datos con intervalos pequeños de tiempo para disminuir la incertidumbre de sucesos, ya que en una hora pueden ocurrir cambios de las condiciones atmosféricas tales como nubosidad por minutos, afectando la radiación que es la fuente de potencia energía del panel solar.
- Instalar el panel solar en lugares donde la radiación incida de manera constante y directa, es decir que tenga contacto con los rayos solares en un ángulo de 360°, libre de obstáculos generadores de sombra.
- Aumentar el período de estudio y en menores intervalos para conseguir unos datos muchos más precisos y unas gráficas del comportamiento más suavizadas.

- Hay personas que disponen de baterías de auto, las cuales también pueden usarse en un sistema fotovoltaico. De esta manera no representa un rubro económico directo, disminuyendo el período de retorno del panel solar.
- Al momento de seleccionar el tipo de sistema y panel adecuado, es necesario conocer las necesidades de energía eléctrica que se deben suplir, determinado por el tipo de uso que se le asignará; uso de oficina, residencial, industrial, etc. Se busca, que los niveles de radiación sean bastante altos, cercanos a los 1000 W/m<sup>2</sup> y paneles solares con potencias superiores al usado en esta investigación (135 W).



## BIBLIOGRAFÍA

AGREDANO, Jaime. *Prospectiva de las Tecnología Solar Fotovoltaica para la Generación de Electricidad*. Instituto de Investigaciones Eléctricas, División de Energías Alternas. Cuernavaca, Mexico.

ÁLVAREZ, M. 2010. Electrificación Rural Sostenible mediante energía solar fotovoltaica. Quinto Simposio Internacional Energía y Frontera tecnológica en el sector rural. Sabaneta, Antioquia.

ARENAS y OVIEDO. 2009. Estudio técnico y financiero de implementación de paneles solares en centros comerciales. Universidad Industrial de Santander, Tesis de Grado. Bucaramanga.

BENOIT-XAVIER, Florina. 2011. Energías renovables en los campos de Tamil Nadu. Revista Migraciones Forzadas. Edición 37. Pág. 34. Recuperado el día 18 de Agosto de 2013. Del sitio web de EBSCO HOST: <http://ehis.ebscohost.com/ehost/detail?sid=697af9a9-77ad-4a9f-bab3-305cc3c33910%40sessionmgr13&vid=1&hid=7&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1l aG9zdC1saXZl#db=a9h&AN=61022984>.

ESTEIRE, MADRID, MADRID. 2010. Energías Renovables: Manual Técnico. Madrid, España. AMV Ediciones, Mundi – Prensa.

FLORES, Rolando. 2013. Con el viento a nuestro favor: energía eólica segura y viable. Ideas para el cambio. Edición 598. Pág. 72. Recuperado el día 18 de Agosto de 2013. Del sitio web de EBSCO HOST: <http://ehis.ebscohost.com/ehost/detail?sid=f15e7e6e-33ec-42e4-bd0b->

[f94a7a02f596%40sessionmgr15&vid=1&hid=3&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#db=a9h&AN=86747088](http://www.researchgate.net/publication/228211111_f94a7a02f596%40sessionmgr15&vid=1&hid=3&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#db=a9h&AN=86747088).

G. N. TIWARI and SWAPNIL DUBEY, 2010. Fundamentos de los Módulos Fotovoltaicos y sus aplicaciones. Centro de Estudios para la Energía, Instituto Indio de Tecnología. Nueva Deli, India.

GONZALES, Velasco. 2009. Energías Renovables. Barcelona, España. Editorial Reverté, S.A. Consultado el día 4 de Agosto de 2013. De la biblioteca virtual de Google Books, en la siguiente dirección web: [http://books.google.com.co/books?id=bl6L8E\\_9t1kC&pg=PP9&dq=antecedentes+energia+solar+y+eolica&hl=es&sa=X&ei=EWoIUpt9FIXb2QWYy9YHwCw&ved=0C-DIQ6AEwAQ#v=onepage&q=antecedentes%20energia%20solar%20y%20eolica&f=false](http://books.google.com.co/books?id=bl6L8E_9t1kC&pg=PP9&dq=antecedentes+energia+solar+y+eolica&hl=es&sa=X&ei=EWoIUpt9FIXb2QWYy9YHwCw&ved=0C-DIQ6AEwAQ#v=onepage&q=antecedentes%20energia%20solar%20y%20eolica&f=false).

GREENPEACE INTERNATIONAL, EUROPEAN RENEWABLE ENERGY COUNCIL (EREC). 2009. Artículo Revolución Energética: Un futuro energético sustentable para la Argentina. Buenos Aires, Argentina. Greenpeace International ORG.

IDEAM. Mapas de Radiación Solar Global sobre una Superficie Plana. Biblioteca Virtual del IDEAM. Documentos y Publicaciones. Santafé de Bogotá. Documento extraído el 11 de Agosto de 2013. Del sitio web del IDEAM:

MONTOYA, Carlos. 2010. Energía Solar Fotovoltaica. Master profesional en Ingeniería y Gestión Medioambiental. Madrid, España. Escuela de Organización Industrial.

MURCIA, Humberto. 2008. Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. Revista de Ingeniería. Edición 28. Pág. 83. Recuperado el día 18 de

Agosto de 2013. Del sitio web de EBSCO HOST:  
<http://ehis.ebscohost.com/ehost/detail?sid=017444bb-8475-4b0d-bb78-ddb6648c403d%40sessionmgr4&vid=1&hid=3&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#db=a9h&AN=36980791>.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS ONU. 1987. Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Consultado el 20 de agosto de 2013. Del sitio

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS ONU. 1998. Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Consultado el 20 de agosto de 2013. Del sitio web de las Naciones Unidas:  
<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>.

PERTZEL, Alain. 2012. Energía solar: una solución renovable. Edición 572. Pág. 78. Recuperado el día 18 de Agosto de 2013. Del sitio web de EBSCO HOST:  
<http://ehis.ebscohost.com/ehost/detail?sid=245bc2e1-b571-43c9-a606-ab13d42504ee%40sessionmgr10&vid=1&hid=7&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#db=a9h&AN=82315213>.

POLO, RODRÍGUEZ Y SARMIENTO. 2008. Potencial de generación de energía a lo largo de la costa colombiana mediante el uso de corrientes inducidas por mareas. Revista de Ingeniería. Edición 28. Pág. 99. Recuperado el día 18 de Agosto de 2013. Del sitio web de EBSCO HOST:  
<http://ehis.ebscohost.com/ehost/detail?sid=618b99f6-fc28-4096-b966-4905a6f54928%40sessionmgr13&vid=1&hid=3&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#db=a9h&AN=36980782>.

UNAL, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. 2011. Centro de Innovación Tecnológica con énfasis en Energía Solar. Medellín, Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas – IPSE.

# **ANEXOS**

## **Anexo A. Registros de los datos diarios de medición.**

Día 1.  
 Diciembre 10 de 2013.  
 Campus Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga

Día 1								
Hora	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Potencia real (W)	Radiación (W/m <sup>2</sup> )	Temp. Panel (°C)	Temp. Amb (°C)	PÉRDIDAS
6 a 7								
7 a 8								
8 a 9	13,6	7,34	99,824	77	654	31	23	0,228642
9 a 10	13,52	9,33	126,1416	90	887	35	21	0,286516
10 a 11	13,6	8,1	110,16	80	704	38	20	0,273784
11 a 12	11	4,4	48,4	37	354	29	20	0,235537
12 a 13	13,58	8,8	119,504	87	754	39	22	0,271991
13 a 14	14	10	140	84	985	49	22	0,4
14 a 15								
15 a 16								
16 a 17	13,6	4,1	55,76	44	322	25	21	0,210904
17 a 18	14,1	1,2	16,92	6	68	22	19	0,64539

Día 2.  
 Diciembre 11 de 2013.  
 Campus Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga

Día 2								
Hora	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Potencia real (W)	Radiación (W/m <sup>2</sup> )	Temp. Panel (°C)	Temp. Amb (°C)	PÉRDIDAS
6 a 7								
7 a 8								
8 a 9								
9 a 10	13,6	5,11	69,496	41	380	35	23,03333333	0,410038
10 a 11	14,33	6,05	86,6965	52	546	41	25,16666667	0,400206
11 a 12	13,11	8,11	106,3221	71	852	48	26,61666667	0,332218
12 a 13	14,33	7,33	105,0389	69	910	51	27,21666667	0,343101
13 a 14								
14 a 15	12	6,13	73,56	53	576	39	25,43333333	0,2795
15 a 16	13,13	7,4	97,162	75	914	41	26,33333333	0,228093
16 a 17	14,1	6,14	86,574	67	540	35	26,15	0,226096

Día 3.  
 Diciembre 12 de 2013.  
 Campus Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga

Día 3								
Hora	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Potencia real (W)	Radiación (W/m <sup>2</sup> )	Temp. Panel (°C)	Temp. Amb (°C)	PÉRDIDAS
6 a 7	0	0	0	0	0	0	0	
7 a 8	12	2,78	33,36	32	208	26	20,5	0,040767
8 a 9	12,6	3,9	49,14	43	599	29	23,2166667	0,124949
9 a 10	13,3	3,58	47,614	45	411	26	25,6166667	0,0549
10 a 11	14,4	4,3	61,92	58	599	29	26,1333333	0,063307
11 a 12	11,4	9,5	108,3	99	811	31	26,2333333	0,085873
12 a 13								
13 a 14								
14 a 15	13,3	6,24	82,992	76	780	30	27,3666667	0,084249
15 a 16	8,6	5,63	48,418	44	429	28	26,55	0,091247
16 a 17	14,2	3,86	54,812	52	210	28	24,3333333	0,051303
17 a 18	13	2,52	32,76	33	21	25	22,9333333	-0,00733

Día 4.  
 Diciembre 13 de 2013.  
 Campus Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga

Día 4								
Hora	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Potencia real (W)	Radiación (W/m <sup>2</sup> )	Temp. Panel (°C)	Temp. Amb (°C)	PÉRDIDAS
8 a 9	12,11	1,22	14,7742	9	65	20	19,0833333	0,39083
9 a 10	14,4	6,13	88,272	69	769	34	19,5666667	0,218325
10 a 11	14	5,79	81,06	71	853	35	20,7666667	0,124106
11 a 12	13,33	5	66,65	53	428	31	23,6833333	0,204801
12 a 13	14,11	4,4	62,084	55	620	32	25,9666667	0,114103
13 a 14								
14 a 15	14	1,21	16,94	15	132	28	25,15	0,114522
15 a 16	14,33	6,52	93,4316	89	899	29	24,2333333	0,047431
16 a 17	14	7,33	102,62	100	218	27	22,6166667	0,025531



Día 5.  
 Diciembre 14 de 2013.  
 Campus Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga

Día 5								
Hora	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Potencia real (W)	Radiación (W/m <sup>2</sup> )	Temp. Panel (°C)	Temp. Amb (°C)	PÉRDIDAS
6 a 7								
7 a 8								
8 a 9	12	3,68	44,16	43	216	26	21,83333333	0,026268
9 a 10	13	4,58	59,54	51	565	30	23,76666667	0,143433
10 a 11	12,2	5,6	68,32	52	675	30	24,61666667	0,238876
11 a 12								
12 a 13								
13 a 14	13	3,58	46,54	32	408	38	26,1	0,312419
14 a 15	13,3	5,16	68,628	52	715	38	25,46666667	0,242292
15 a 16	12,4	3,21	39,804	29	255	38	26,26666667	0,27143
16 a 17							25,7	
17 a 18							24,48333333	

Día 6.  
 Diciembre 15 de 2013.  
 Campus Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga

Día 6								
Hora	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Potencia real (W)	Radiación (W/m <sup>2</sup> )	Temp. Panel (°C)	Temp. Amb (°C)	PÉRDIDAS
6 a 7								
7 a 8	14	3,97	55,58	44	237	25	20,51666667	0,208348
8 a 9	12,21	3,71	45,2991	45	287	27	22,46666667	0,006603
9 a 10	14	6	84	64	745	32	24,41666667	0,238095
10 a 11	13,3	5,87	78,071	64	658	31	25,66666667	0,180233
11 a 12								
12 a 13								
13 a 14	14	5,9	82,6	69	750	36	26,45	0,164649
14 a 15	13,3	7,44	98,952	79	931	37	26,51666667	0,201633
15 a 16	12	4,1	49,2	39	540	35	26,55	0,207317
16 a 17	12	2,8	33,6	22	229	28	25,35	0,345238
17 a 18	12	2,1	25,2	19	31	26	24,25	0,246032

Día 7.  
 Diciembre 16 de 2013.  
 Campus Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga

Día 7								
Hora	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Potencia real (W)	Radiación (W/m <sup>2</sup> )	Temp. Panel (°C)	Temp. Amb (°C)	PÉRDIDAS
6 a 7	13	5	65	59	150	19	18,7666667	0,092308
7 a 8	12	6,97	83,64	82	576	26	20,5	0,019608
8 a 9	10,4	7,1	73,84	71	612	27	22,85	0,038462
9 a 10	12	6	72	69	83	30	25,5166667	0,041667
10 a 11	12	7,9	94,8	87	859	35	26,95	0,082278
13 a 14	13	8	104	88	623	39	26,55	0,153846
14 a 15	12,6	8,9	112,14	81	964	46	26,9833333	0,277689
15 a 16	12	6,9	82,8	60	951	45	26,8833333	0,275362
16 a 17	12	5,9	70,8	55	487	39	26,5833333	0,223164
17 a 18	14	4	56	43	34	31	25,15	0,232143

Día 8.  
 Diciembre 17 de 2013.  
 Campus Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga

Día 8								
Hora	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Potencia real (W)	Radiación (W/m <sup>2</sup> )	Temp. Panel (°C)	Temp. Amb (°C)	PÉRDIDAS
6 a 7								
7 a 8	9,5	4,4	41,8	40	213	26	21,3666667	0,043062
8 a 9	12	5,11	61,32	44	581	33	23,95	0,282453
9 a 10	12	6,9	82,8	71	796	35	25,4666667	0,142512
10 a 11	10,9	7,7	83,93	62	758	41	27,15	0,261289
11 a 12	13	7,1	92,3	61	803	49	27,6	0,339112
12 a 13	13,6	8	108,8	80	943	49	28,4833333	0,264706
13 a 14	12	8	96	69	789	47	28,6	0,28125
14 a 15	14,4	7,4	106,56	79	998	56	28,8333333	0,258634
15 a 16	14	6,6	92,4	69	867	50	27,4166667	0,253247
16 a 17	12,6	5,2	65,52	39	139	49	26,4833333	0,404762
17 a 18	14	0	0	1	60	38	25,6166667	

Día 9.  
Diciembre 18 de 2013.  
Campus Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga

Día 9								
Hora	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Potencia real (W)	Radiación (W/m <sup>2</sup> )	Temp. Panel (°C)	Temp. Amb (°C)	PÉRDIDAS
8 a 9	12	6	72	59	789	44	24,1166667	0,180556
9 a 10	13,9	7	97,3	59	802	45	26,3333333	0,393628
10 a 11	13	7	91	66	792	45	27,7166667	0,274725
11 a 12	14	7,2	100,8	77	965	51	28,5833333	0,236111
12 a 13	14,2	7,65	108,63	71	991	55	29,1166667	0,346405
13 a 14	13	6,6	85,8	70	900	54	28,5666667	0,184149
14 a 15	12	7	84	68	896	54	28,45	0,190476
15 a 16	14	8,1	113,4	64	703	50	28,8	0,435626
16 a 17	12	7,7	92,4	73	675	47	27	0,209957

Día 11.  
Diciembre 20 de 2013.  
Campus Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga

Día 11								
Hora	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Potencia real (W)	Radiación (W/m <sup>2</sup> )	Temp. Panel (°C)	Temp. Amb (°C)	PÉRDIDAS
6 a 7	13,2	4,5	59,4	53	325	20	18,4166667	0,107744
7 a 8	12	5,3	63,6	59	593	29	21,0166667	0,072327
8 a 9	14	6,32	88,48	67	761	35	24,2833333	0,242767
9 a 10	12	7,68	92,16	73	916	44	26,9666667	0,207899
10 a 11	12	7,71	92,52	72	950	50	27,4166667	0,22179
11 a 12	14,4	7,8	112,32	77	999	56	29,3333333	0,314459
12 a 13	14	6,3	88,2	81	923	51	29,5666667	0,081633
13 a 14	13,1	6	78,6	59	685	48	27,7666667	0,249364
14 a 15	12,22	5,24	64,0328	35	488	44	27,2	0,453405
15 a 16	13	7,1	92,3	66	697	34	27,5166667	0,28494
16 a 17	14,4	3	43,2	37	269	33	27,0333333	0,143519
17 a 18	13	4,45	57,85	44	104	28	25,8	0,239412

Día 12.  
Diciembre 21 de 2013.  
Campus Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga

Día 12								
Hora	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Potencia real (W)	Radiación (W/m <sup>2</sup> )	Temp. Panel (°C)	Temp. Amb (°C)	PÉRDIDAS
6 a 7	13,3	3,1	41,23	38	323	18	19,9666667	0,078341
7 a 8	14	3	42	39	251	29	21,18333333	0,071429
8 a 9	12	5,15	61,8	55	543	33	24,43333333	0,110032
9 a 10	14	4,29	60,06	51	759	34	25,9666667	0,150849
10 a 11	14,2	6,65	94,43	79	853	35	27,18333333	0,163401
11 a 12	13	6,7	87,1	64	912	37	28,0666667	0,265212
12 a 13	14	7,2	100,8	74	608	35	27,1166667	0,265873
13 a 14	14	7,13	99,82	81	728	36	26,4666667	0,188539
14 a 15	11,3	6,42	72,546	56	655	35	27,7666667	0,228076
15 a 16	12	6,19	74,28	61	429	33	27,73333333	0,178783
16 a 17	14	2,97	41,58	30	471	30	27,2	0,278499
17 a 18	12	3,14	19	9	110	29	25,2	0,526316

Día 13.  
Diciembre 22 de 2013.  
Campus Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga

Día 13								
Hora	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Potencia real (W)	Radiación (W/m <sup>2</sup> )	Temp. Panel (°C)	Temp. Amb (°C)	PÉRDIDAS
6 a 7	12	5	60	0	207	18	19,45	1
7 a 8	12	2,78	33,36	34	249	26	21,5666667	-0,01918
8 a 9	12	4	48	46	317	30	24,35	0,041667
9 a 10	13	9	117	78	776	35	25,83333333	0,333333
10 a 11	14,4	7,2	103,68	82	983	41	26,6666667	0,209105
11 a 12	14,4	6,9	99,36	81	916	42	27,8166667	0,184783
12 a 13	14	5,82	81,48	61	593	36	28,1166667	0,25135
13 a 14	14	1	14	11	109	29	28,7166667	0,214286
14 a 15	13	3,21	41,73	35	268	31	26,65	0,161275
15 a 16	13	6	78	66	559	35	26,8166667	0,153846
16 a 17	14	1,8	25,2	14	452	30	25,78333333	0,444444
17 a 18	14	2	28	19	185	32	24,85	0,321429

Día 14.  
 Diciembre 23 de 2013.  
 Campus Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga

Día 14								
Hora	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Potencia real (W)	Radiación (W/m <sup>2</sup> )	Temp. Panel (°C)	Temp. Amb (°C)	PÉRDIDAS
6 a 7	9,4	5	47	34	350	20	20,18333333	0,276596
7 a 8	13	7,4	96,2	88	792	31	20,2166667	0,085239
8 a 9	14,2	6,9	97,98	79	922	41	21,75	0,193713
9 a 10	14	3	42	33	371	35	24,3	0,214286
10 a 11	14	3,33	46,62	33	582	37	25,83333333	0,292149
11 a 12	13	7,74	100,62	76	792	40	27,1	0,244683
12 a 13	12,9	8,7	112,23	85	986	46	26,33333333	0,242627
13 a 14	13	8,4	109,2	71	735	44	27,05	0,349817
14 a 15	12	7,8	93,6	74	884	44	26,65	0,209402
15 a 16	12	3,7	44,4	38	574	41	25,93333333	0,144144
16 a 17	13	1,4	18,2	9	267	30	25,03333333	0,505495
17 a 18	14	2,54	35,56	20	54	24	23,7666667	0,43757

Día 15.  
 Diciembre 26 de 2013.  
 Campus Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga

Día 15								
Hora	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Potencia real (W)	Radiación (W/m <sup>2</sup> )	Temp. Panel (°C)	Temp. Amb (°C)	PÉRDIDAS
6 a 7								
7 a 8	12	5	60	47	452	32	20,5	0,216667
8 a 9	13	1,67	21,71	10	82	29	22,38333333	0,539383
9 a 10	14	5,86	82,04	62	634	34	24,6	0,244271
10 a 11	13	1	13	1	192	31	26,43333333	0,923077
11 a 12	12	2,56	30,72	16	225	36	27,2166667	0,479167
12 a 13	14	7,49	104,86	80	872	40	27,78333333	0,237078
13 a 14	13	1,11	14,43	9	540	30	27,83333333	0,376299
14 a 15	14	7,1	99,4	82	915	36	26,53333333	0,17505
15 a 16	13,8	6,48	89,424	76	887	35	26,78333333	0,150116
16 a 17	12	1	12	11	322	28	26,33333333	0,083333
17 a 18	12	7,38	88,56	74	82	34	24,3	0,164408

Día 16.  
 Diciembre 27 de 2013.  
 Campus Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga

Día 16								
Hora	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Potencia real (W)	Radiación (W/m2)	Temp. Panel (°C)	Temp. Amb (°C)	PÉRDIDAS
6 a 7	12	2,14	25,68	22	286	19	19,4166667	0,143302
7 a 8	12	5,14	61,68	56	487	32	21,2833333	0,092088
8 a 9	14	2,48	34,72	33	262	27	21,8666667	0,049539
9 a 10	12	5,16	61,92	56	487	30	24,6	0,095607
10 a 11	14	7,1	99,4	90	841	34	25,45	0,094567
11 a 12	14,2	6,9	97,98	87	804	34	26,5833333	0,112064
12 a 13	12	6,07	72,84	61	654	32	27,4333333	0,162548
13 a 14	13,9	7	97,3	88	927	35	26,85	0,095581

Día 17.  
 Diciembre 28 de 2013.  
 Campus Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga

Día 17								
Hora	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Potencia real (W)	Radiación (W/m2)	Temp. Panel (°C)	Temp. Amb (°C)	PÉRDIDAS
8 a 9	12,6	3,4	42,84	43	364	25	23,7333333	-0,00373
9 a 10	13	6,99	90,87	75	877	31	25,0333333	0,174645
10 a 11	13	7,16	93,08	79	949	42	26,55	0,151268
11 a 12	14	6,11	85,54	63	740	40	27,2333333	0,263502
12 a 13	14,2	5,71	81,082	64	669	38	27,9333333	0,210676
13 a 14	14	7,1	99,4	77	937	47	28,2833333	0,225352
14 a 15	13,9	1,48	20,572	10	140	31	26,4666667	0,513902
15 a 16	14	4,1	57,4	46	537	33	26	0,198606
16 a 17	13	4,52	58,76	46	534	34	25,8166667	0,217155
17 a 18	14	2,9	40,6	38	125	29	24,7833333	0,064039

Día 18.  
Diciembre 29 de 2013.  
Campus Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga

Día 18								
Hora	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Potencia real (W)	Radiación (W/m <sup>2</sup> )	Temp. Panel (°C)	Temp. Amb (°C)	PÉRDIDAS
8 a 9	13	6,9	89,7	83	820	29	21,28333333	0,074693
9 a 10	12	8,03	96,36	91	842	31	21,2	0,055625
10 a 11	12	6,09	73,08	68	745	30	21,91666667	0,069513
11 a 12	12	2,87	34,44	34	213	26	23,11666667	0,012776
12 a 13	14,3	7,1	101,53	85	974	35	24,43333333	0,162809
13 a 14	13	6,96	90,48	80	715	35	24,45	0,115827
14 a 15	12	1	12	9	79	28	25,11666667	0,25
15 a 16	12	7,45	89,4	90	866	33	25,85	-0,00671
16 a 17	13	5,61	72,93	66	713	31	25,75	0,095023
17 a 18	6	1,23	7,38	0	13	29	24,48333333	1

Día 19.  
Diciembre 30 de 2013.  
Campus Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga

Día 19								
Hora	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Potencia real (W)	Radiación (W/m <sup>2</sup> )	Temp. Panel (°C)	Temp. Amb (°C)	PÉRDIDAS
6 a 7	13	2	26	24	125	22	19,06666667	0,076923
7 a 8	12	3,78	45,36	43	348	27	20,4	0,052028
8 a 9	14	4,75	66,5	52	462	29	22,35	0,218045
9 a 10	14	7,52	105,28	87	943	40	22,76666667	0,173632
10 a 11	14	7,49	104,86	81	957	41	23,46666667	0,227541
11 a 12	14	5,48	76,72	55	627	36	24,08333333	0,283107
12 a 13	13	3,6	46,8	35	489	35	25,38333333	0,252137
13 a 14	13	4,4	57,2	44	529	36	27,25	0,230769
14 a 15	12	1,65	19,8	10	219	33	27,55	0,494949
15 a 16	13	4,33	56,29	45	584	33	26,96666667	0,200568
16 a 17	14	3,97	55,58	48	570	30	27,1	0,13638
17 a 18	12	1,7	20,4	11	180	30	25,31666667	0,460784

Día 20.  
 Diciembre 31 de 2013.  
 Campus Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga

Día 20								
Hora	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Potencia real (W)	Radiación (W/m <sup>2</sup> )	Temp. Panel (°C)	Temp. Amb (°C)	PÉRDIDAS
6 a 7	12	7,1	85,2	79	843	20	18,25	0,07277
7 a 8	12	4	48	44	349	28	19,23333333	0,0833333
8 a 9	14,4	4,21	60,624	47	584	33	23,2166667	0,224729
9 a 10	13	4,63	60,19	47	568	32	25,35	0,219139
10 a 11	12	4,8	57,6	50	475	30	26,88333333	0,131944
11 a 12	14	1,8	25,2	19	387	30	28,33333333	0,246032
12 a 13	12	5,02	60,24	46	440	33	27,13333333	0,236388
13 a 14	12	3,9	46,8	40	410	30	28,3666667	0,145299
14 a 15	12	4,4	52,8	44	516	33	28,08333333	0,166667
15 a 16	12	3,5	42	35	391	29	27,6	0,166667
16 a 17	12	7,23	86,76	69	124	36	26,6666667	0,204703
17 a 18	12	3,54	42,48	26	88	30	25,5666667	0,387947

Día 21.  
 Enero 2 de 2014.  
 Campus Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga

Día 21								
Hora	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Potencia real (W)	Radiación (W/m <sup>2</sup> )	Temp. Panel (°C)	Temp. Amb (°C)	PÉRDIDAS
6 a 7	14	1,65	23,1	16	149	20	18,6	0,307359
7 a 8	14	2,51	35,14	34	302	26	20,68333333	0,032442
8 a 9	14	2,48	34,72	28	415	33	23,6666667	0,193548
9 a 10	13	5	65	41	510	35	25,3	0,369231
10 a 11	13	4,56	59,28	45	586	39	27,38333333	0,240891
11 a 12	14	3,55	49,7	39	368	31	27,88333333	0,215292
12 a 13	13	5	65	51	668	42	26,3	0,215385
13 a 14	14	6,6	92,4	71	900	47	25,38333333	0,231602
14 a 15	12,1	9,1	110,11	73	919	48	25,5166667	0,337027
15 a 16	13	5,45	70,85	47	630	36	25,03333333	0,336627
16 a 17	13	1,9	24,7	16	210	30	24,5166667	0,352227
17 a 18	13	0,8	10,4	8	172	28	23,83333333	0,230769



Día 22.  
Enero 3 de 2014.  
Campus Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga

Día 11: Diciembre 20/2013								
Hora	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Potencia real (W)	Radiación (W/m <sup>2</sup> )	Temp. Panel (°C)	Temp. Amb (°C)	PÉRDIDAS
6 a 7	7	1,2	8,4	7	62	19	18,23	0,17
7 a 8	8	1,6	12,8	12	72	25	19,23	0,06
8 a 9	11,4	2,6	29,64	28	204	26	21,98	0,06
9 a 10	9,9	2,21	21,879	21	146	25	24,23	0,04
10 a 11	13	4,15	53,95	49	425	28	25,33	0,09
11 a 12	14	4,44	62,16	55	504	29	26,73	0,12
12 a 13	12	7,9	94,8	89	930	37	27,88	0,06
13 a 14	13,3	7,5	99,75	77	942	44	27,18	0,23
14 a 15	13,3	7,1	94,43	75	950	45	27,72	0,21
15 a 16	12	7	84	59	712	38	27,28	0,30
16 a 17	13	5,3	68,9	55	199	35	26,18	0,20
17 a 18	13	3,51	45,63	38	69	32	24,97	0,17

Día 23.  
Enero 4 de 2014.  
Campus Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga

Día 23								
Hora	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Potencia real (W)	Radiación (W/m <sup>2</sup> )	Temp. Panel (°C)	Temp. Amb (°C)	PÉRDIDAS
6 a 7	14	0,88	12,32	16	131	18	18,8833333	-0,2987
7 a 8	12	2,2	26,4	26	159	24	20,2666667	0,015152
8 a 9	12	3,5	42	39	411	27	22,7833333	0,071429
9 a 10	13	4,67	60,71	55	643	29	24,95	0,094054
10 a 11	12	6,12	73,44	63	752	34	26,2	0,142157
11 a 12	13,3	6,95	92,435	70	877	37	26,7833333	0,242711
12 a 13	14	6,57	91,98	64	914	46	27,4666667	0,304197
13 a 14	12	7,7	92,4	89	932	46	27,5833333	0,036797
14 a 15	13	2,4	31,2	22	208	33	26,7666667	0,294872
15 a 16	13	2,5	32,5	23	216	32	26,05	0,292308
16 a 17	12	6,1	73,2	61	779	37	24,9333333	0,166667
17 a 18	12	2,6	31,2	21	168	28	24,1333333	0,326923

Día 24.  
Enero 5 de 2014.  
Campus Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga

Día 24								
Hora	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Potencia real (W)	Radiación (W/m2)	Temp. Panel (°C)	Temp. Amb (°C)	PÉRDIDAS
6 a 7							18,7166667	
7 a 8							20,35	
8 a 9	14	2,77	38,78	39	336	25	23,9333333	-0,00567
9 a 10	13	6,99	90,87	71	891	31	25,9833333	0,218664
10 a 11	13	8,16	106,08	82	910	42	26,7666667	0,226998
11 a 12	13	6,11	79,43	64	694	40	27,4166667	0,194259
12 a 13	14	5,71	79,94	59	670	38	27,5333333	0,261946
13 a 14	13	7,58	98,54	80	912	47	28,3166667	0,188147
14 a 15	12	1,48	17,76	11	111	31	28,2166667	0,380631
15 a 16	14	4,1	57,4	49	535	33	27,7333333	0,146341
16 a 17	13	4,52	58,76	44	569	34	26,9166667	0,251191
17 a 18	14	2,9	40,6	35	220	29	25,2833333	0,137931

Día 25.  
Enero 6 de 2014.  
Campus Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga

Día 25								
Hora	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Potencia real (W)	Radiación (W/m2)	Temp. Panel (°C)	Temp. Amb (°C)	PÉRDIDAS
6 a 7							20,3666667	
7 a 8	14	4,1	57,4	44	237	25	20,7166667	0,233449
8 a 9	12,21	4,1	50,061	45	287	27	24,5833333	0,101097
9 a 10	14	5,87	82,18	64	745	32	25,7333333	0,221222
10 a 11	13,3	6,3	83,79	64	658	31	27,1833333	0,236186
11 a 12	13,1	6,95	91,045	79	711	35	29,1333333	0,132297
12 a 13	12,2	7,7	93,94	79	816	37	28,65	0,159038
13 a 14	14	6,9	96,6	75	750	36	28,15	0,223602
14 a 15	13,3	7,41	98,553	79	707	37	30,0666667	0,198401
15 a 16	12	7,1	85,2	73	695	35	29,1333333	0,143192
16 a 17	14,4	6	86,4	70	751	36	27,95	0,189815
17 a 18	14	3,36	47,04	32	213	27	25,8333333	0,319728

Día 26.  
Enero 7 de 2014.  
Campus Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga

Día 26								
Hora	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Potencia real (W)	Radiación (W/m <sup>2</sup> )	Temp. Panel (°C)	Temp. Amb (°C)	PÉRDIDAS
6 a 7								
7 a 8	13,33	4,03	53,7199	53	213	26	21,28333333	0,013401
8 a 9	12	4,9	58,8	46	581	31	23,41666667	0,217687
9 a 10	12	10	120	75	796	40	25,68333333	0,375
10 a 11	8	10,5	84	71	311	37	26,9	0,154762
11 a 12	13	6,8	88,4	66	458	38	27,56666667	0,253394
12 a 13	14	6,6	92,4	76	943	41	27,18333333	0,177489
13 a 14	14,4	6,9	99,36	82	789	41	26,63333333	0,174718
14 a 15	14,4	7,2	103,68	90	998	43	25,58333333	0,131944
15 a 16	12,6	8,7	109,62	75	867	40	25,31666667	0,315818
16 a 17	12,6	4,1	51,66	39	694	39	24,93333333	0,245064
17 a 18	14	3,9	54,6	47	379	36	24,26666667	0,139194

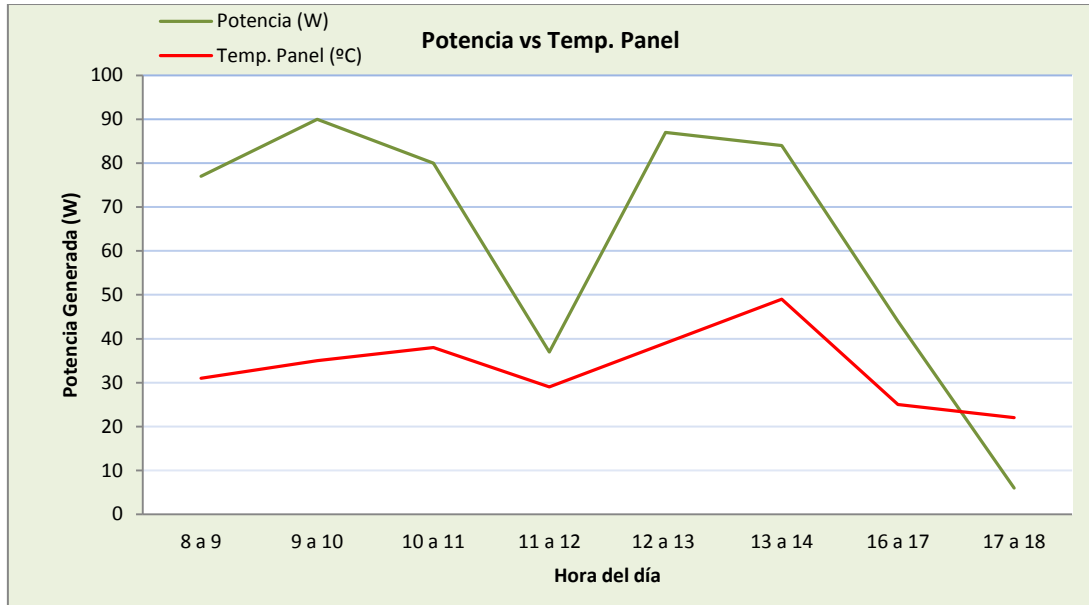
**Anexo B. Curvas de rendimiento,  
comportamiento y generación de Potencia por  
días.**

Día 1.

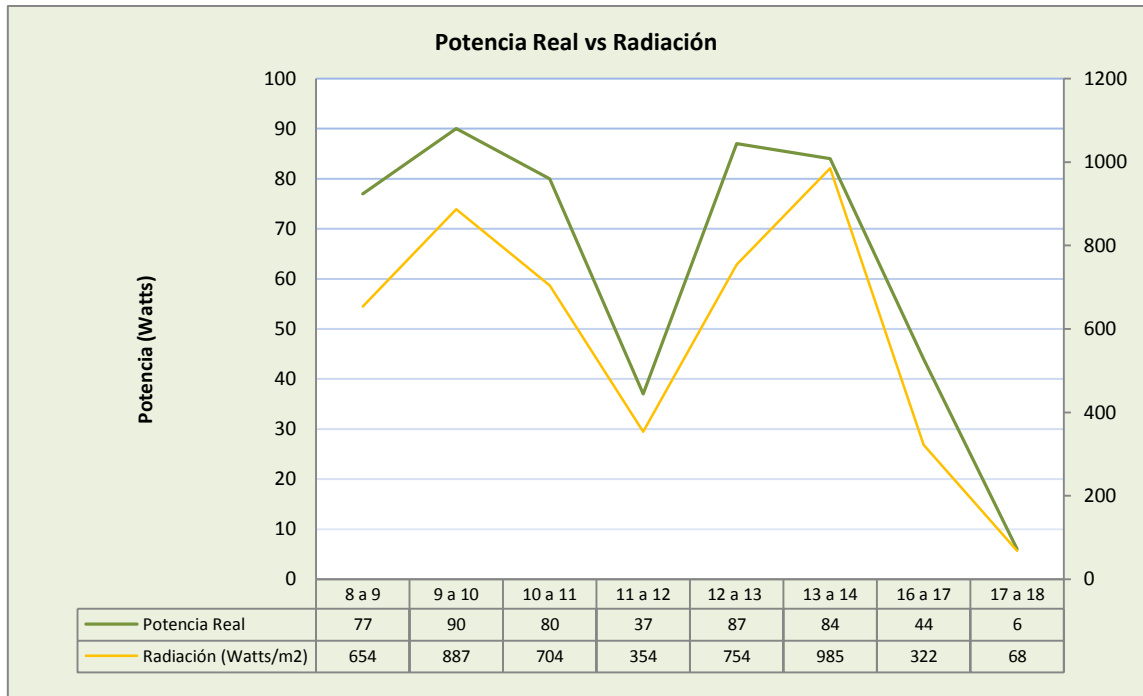
Fecha: Diciembre 10 de 2013

Lugar: Planta primer piso Edificio K, campus Universidad Pontificia Bolivariana. Seccional Bucaramanga.

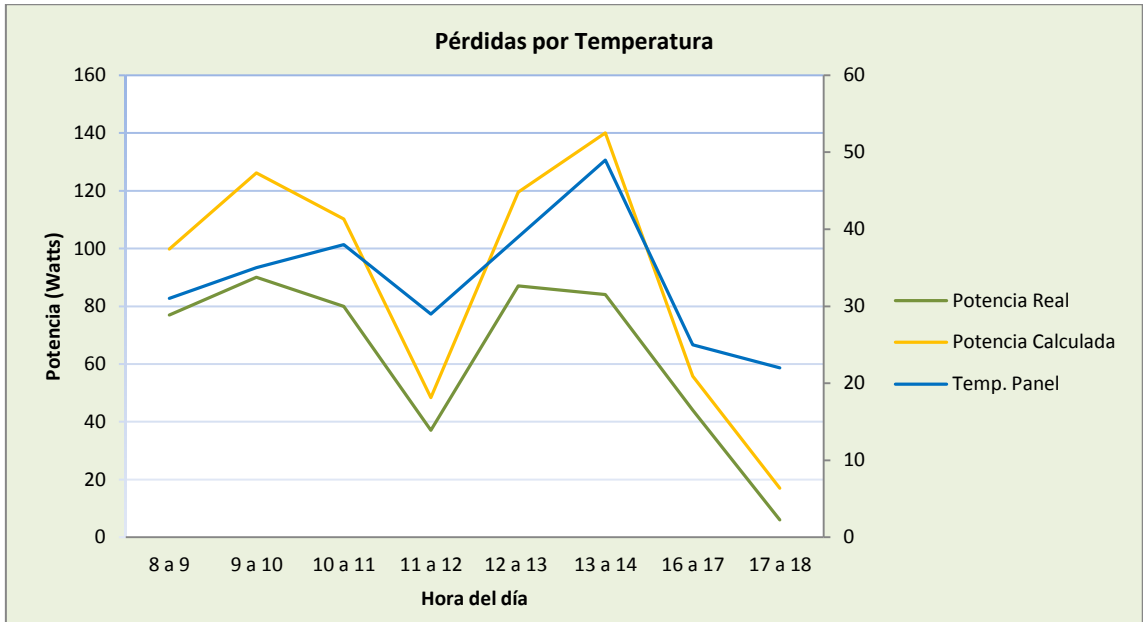
**Comportamiento de la potencia del panel con los cambios de temperatura.**



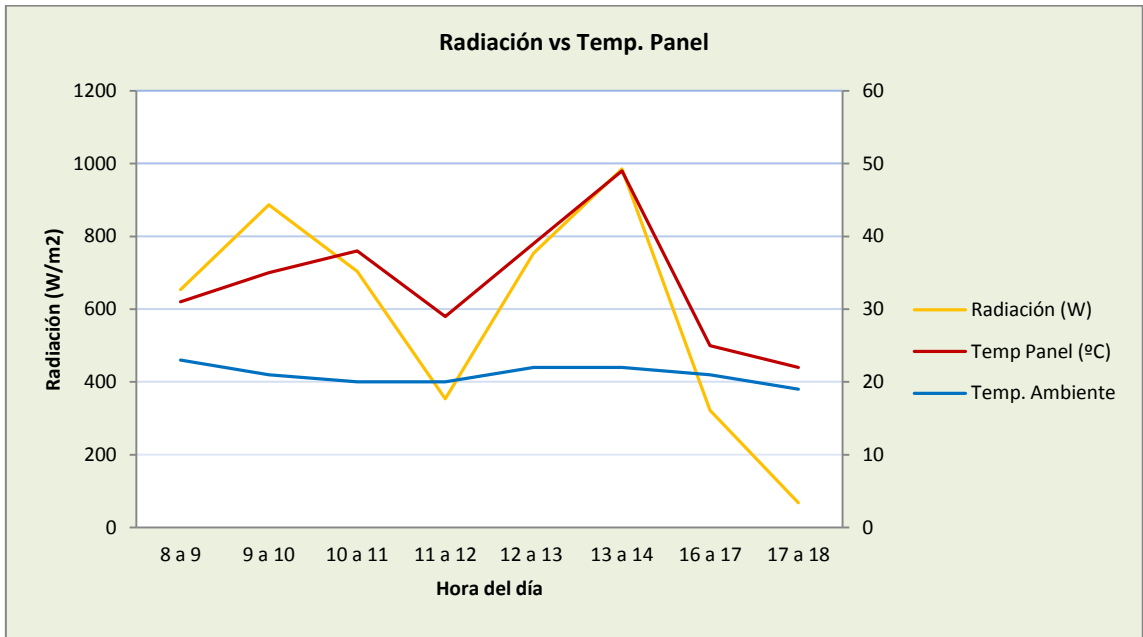
**Incremento de potencia generada o real vs radiación.**



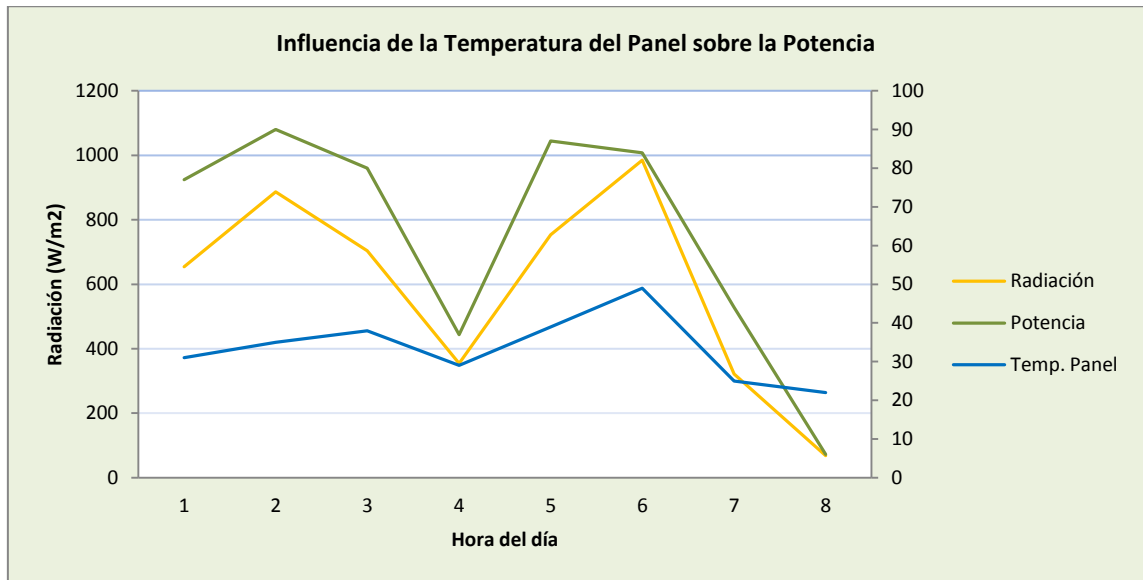
### Pérdidas por temperatura.



### Influencia de la temperatura ambiente y la radiación sobre el panel.



**Influencia de la radiación y la temperatura del panel sobre la potencia generada.**

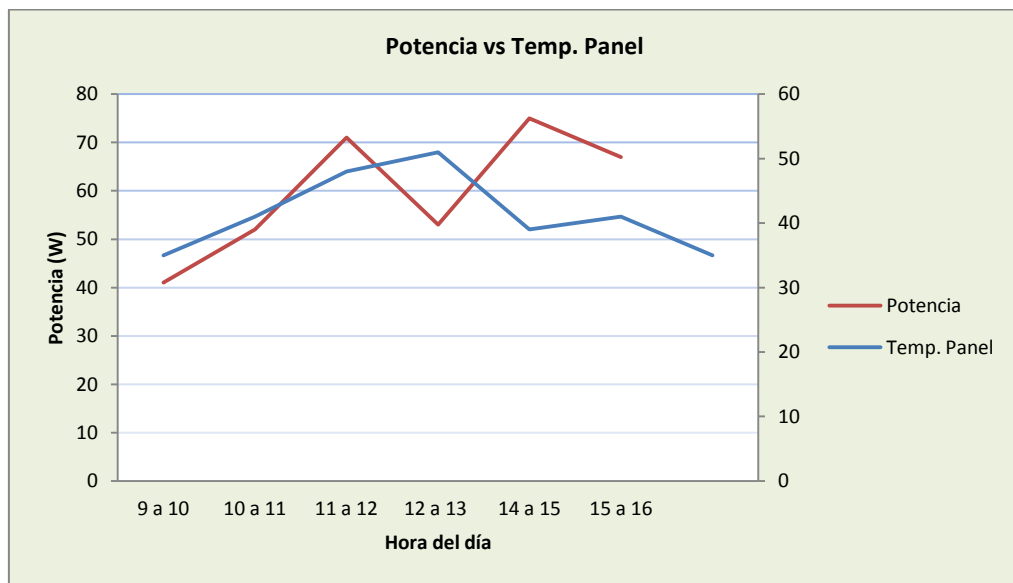


Día 2.

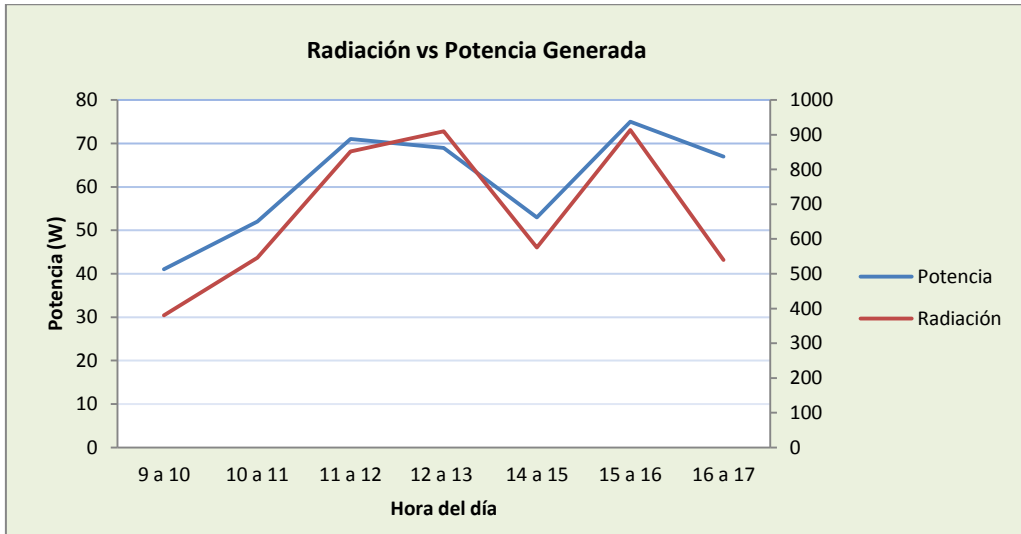
Fecha: Diciembre 11 de 2013

Lugar: Planta primer piso Edificio K, campus Universidad Pontificia Bolivariana. Seccional Bucaramanga.

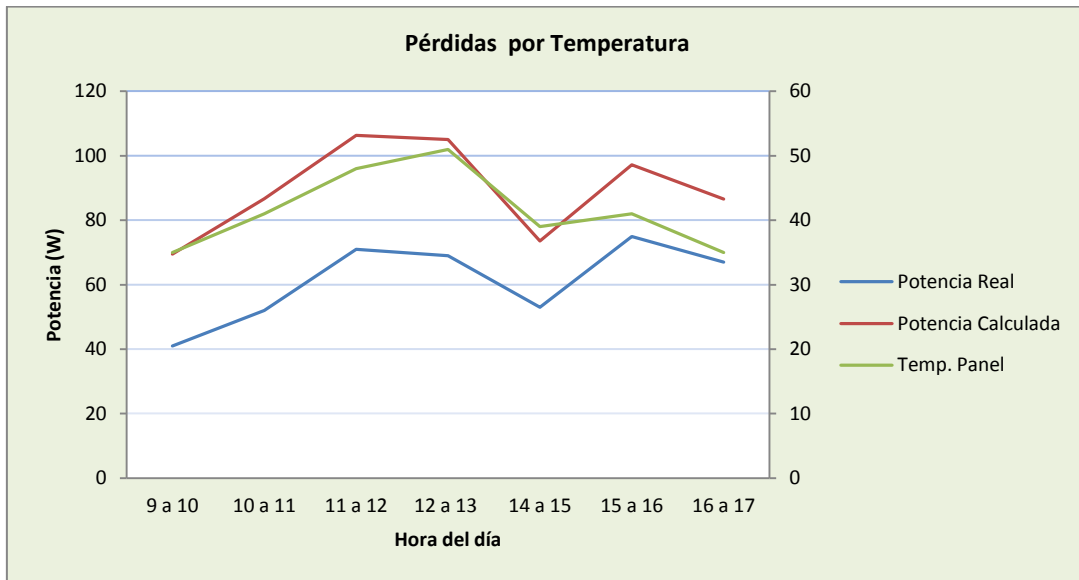
**Comportamiento de la potencia del panel con los cambios de temperatura.**



### Incremento de potencia generada o real vs radiación.

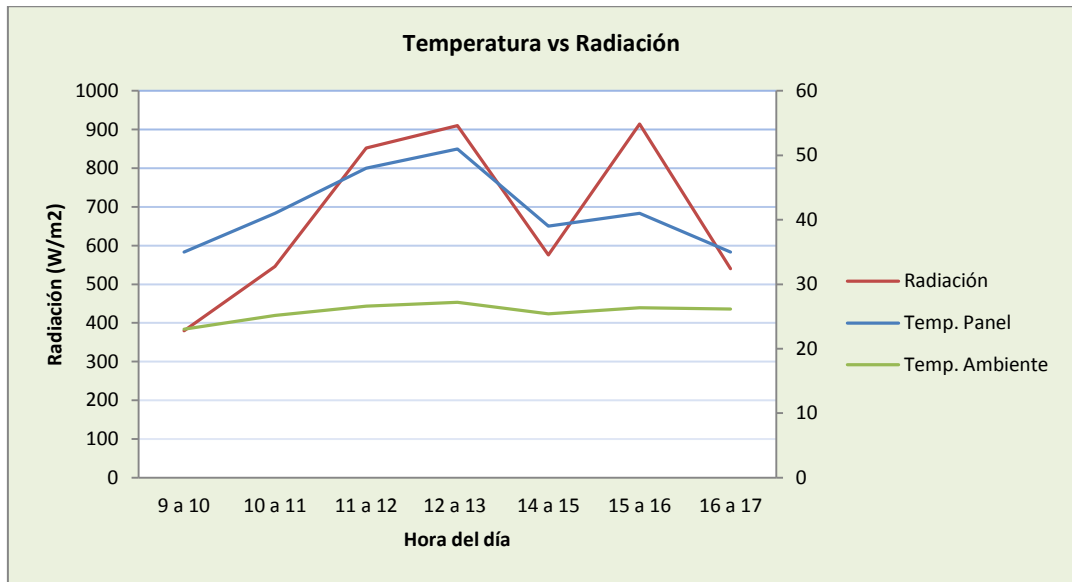


### Pérdidas por temperatura.

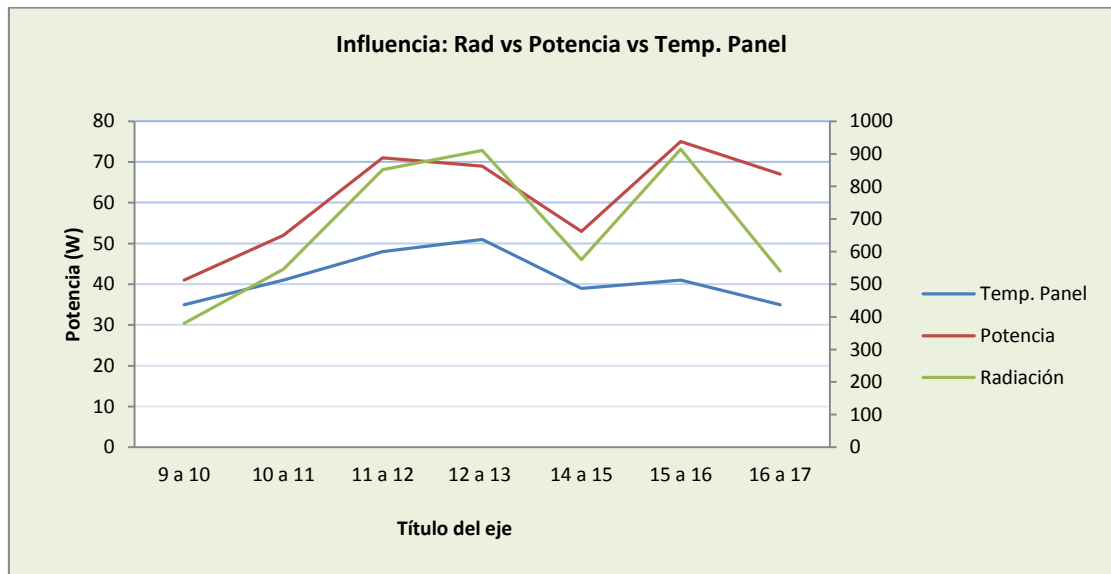




**Influencia de la temperatura ambiente y la radiación sobre el panel.**



**Influencia de la radiación y la temperatura del panel sobre la potencia generada.**

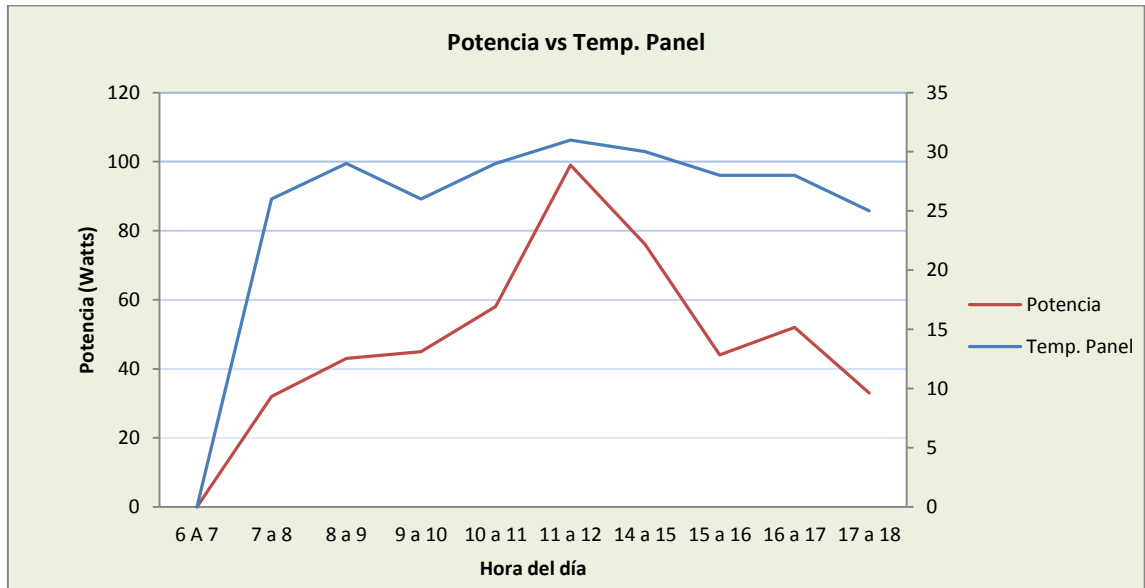


Día 3

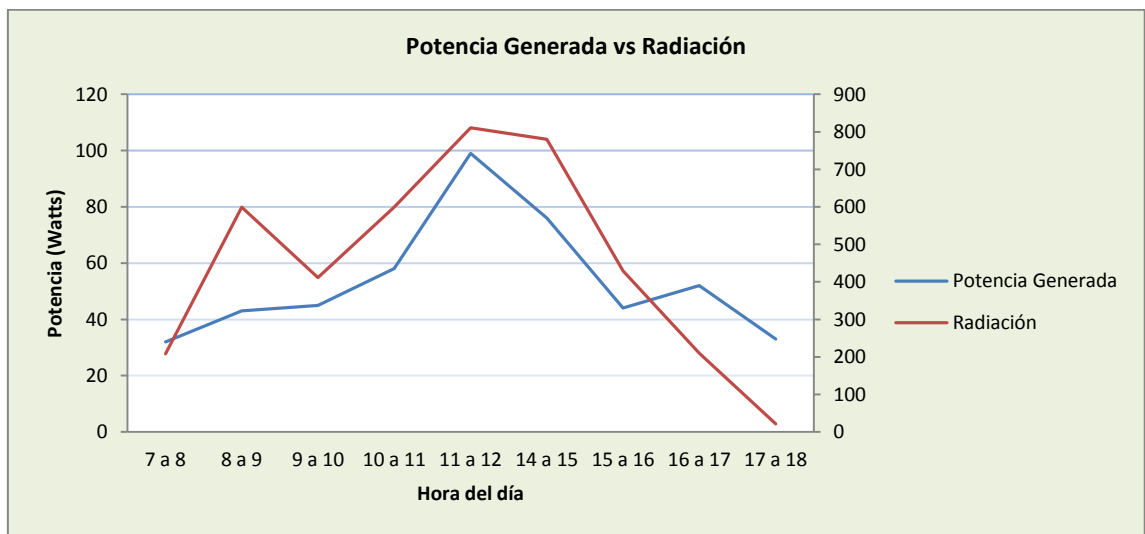
Fecha: Diciembre 12 de 2013

Lugar: Planta primer piso Edificio K, campus Universidad Pontificia Bolivariana. Seccional Bucaramanga.

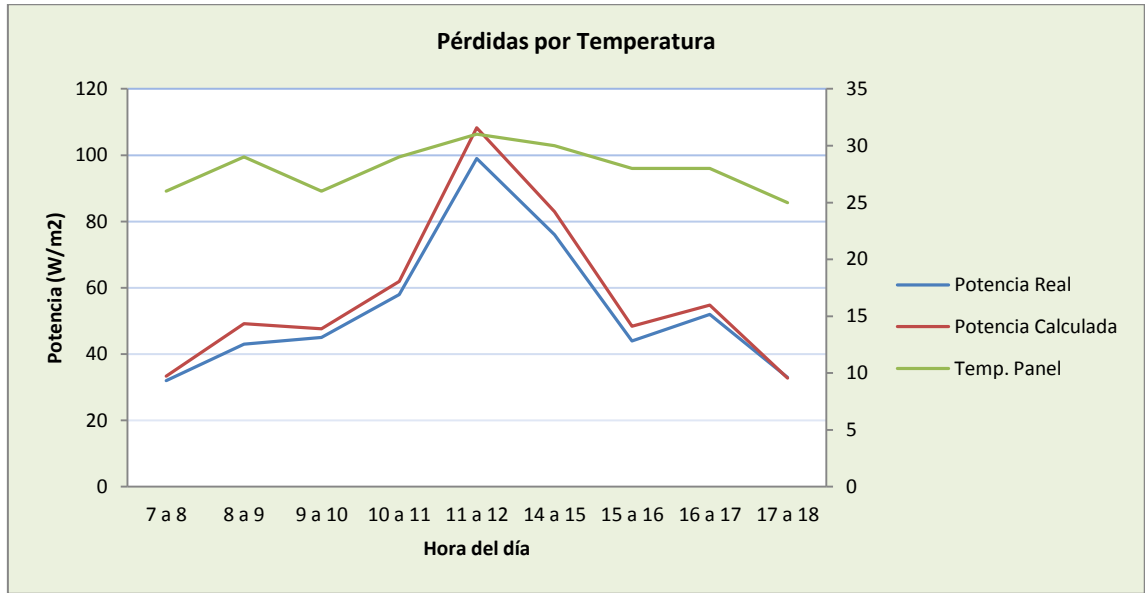
### Comportamiento de la potencia del panel con los cambios de temperatura.



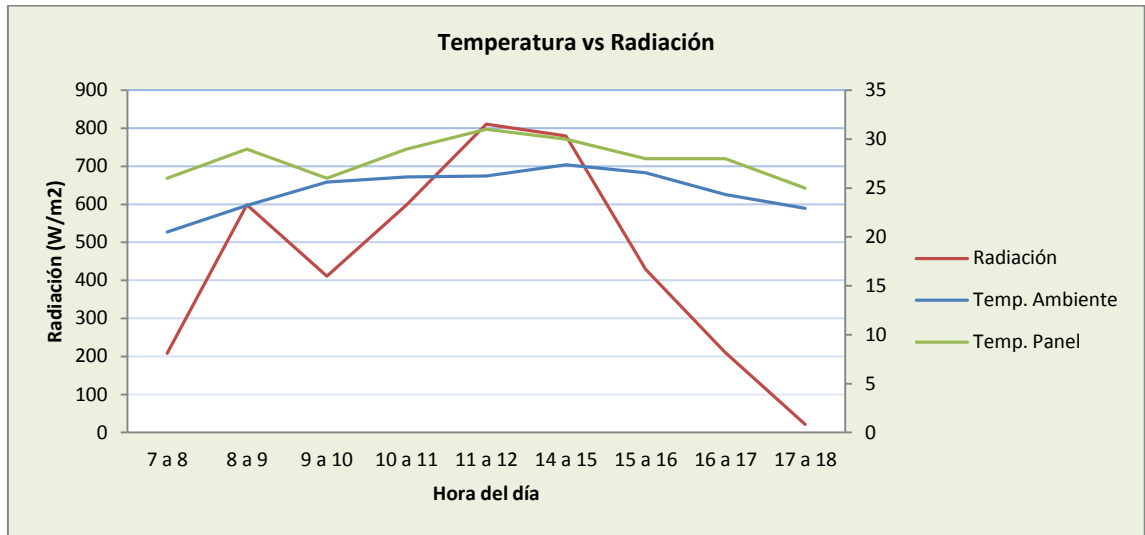
### Incremento de potencia generada o real vs radiación.



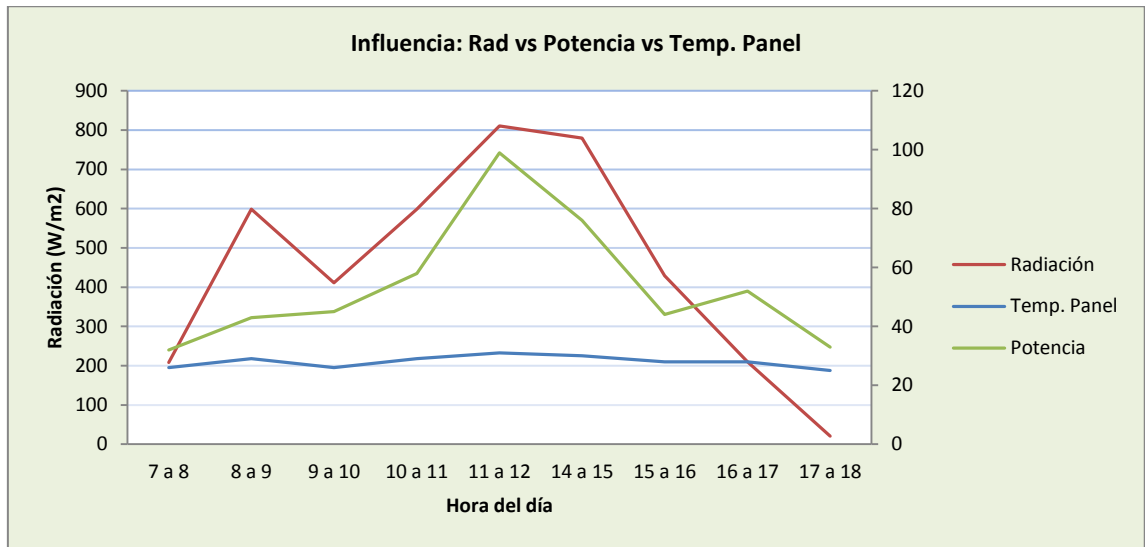
### Pérdidas por temperatura.



### Influencia de la temperatura ambiente y la radiación sobre el panel.



**Influencia de la radiación y la temperatura del panel sobre la potencia generada.**

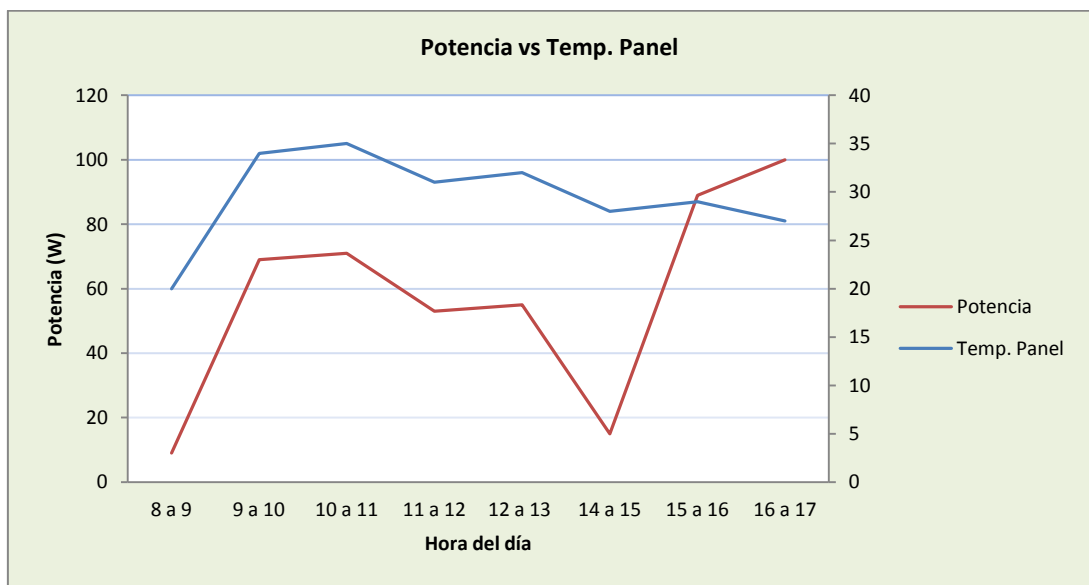


Día 4

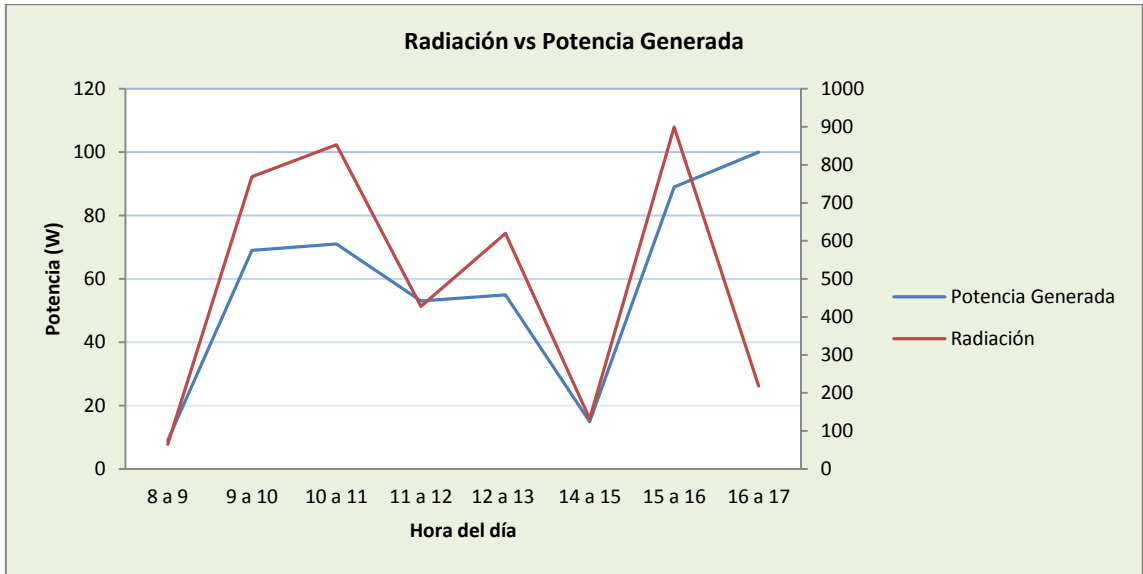
Fecha: Diciembre 13 de 2013

Lugar: Planta primer piso Edificio K, campus Universidad Pontificia Bolivariana. Seccional Bucaramanga.

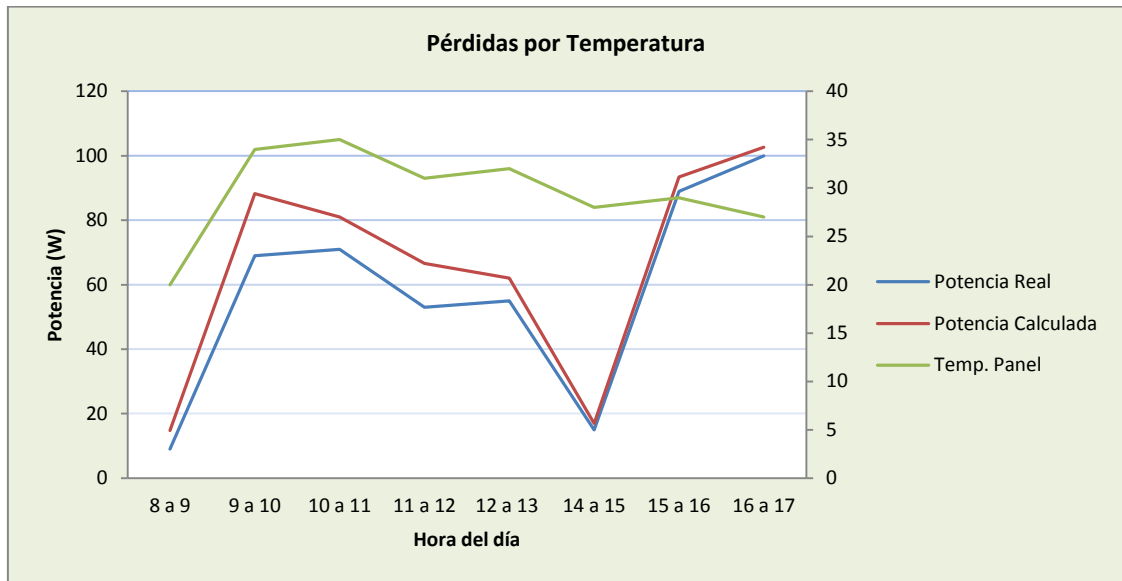
**Comportamiento de la potencia del panel con los cambios de temperatura.**



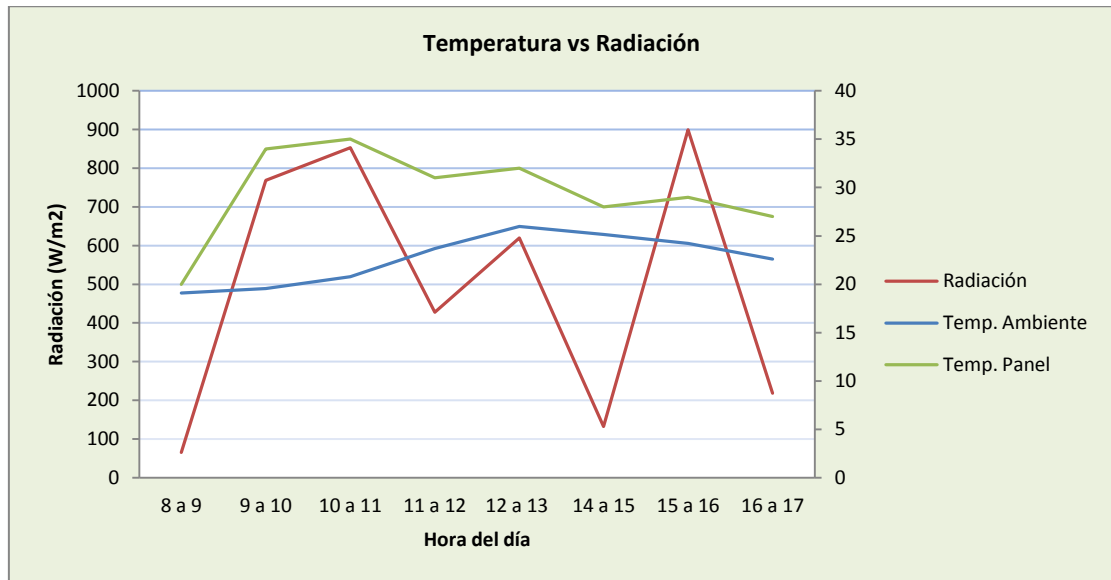
### Incremento de potencia generada o real vs radiación.



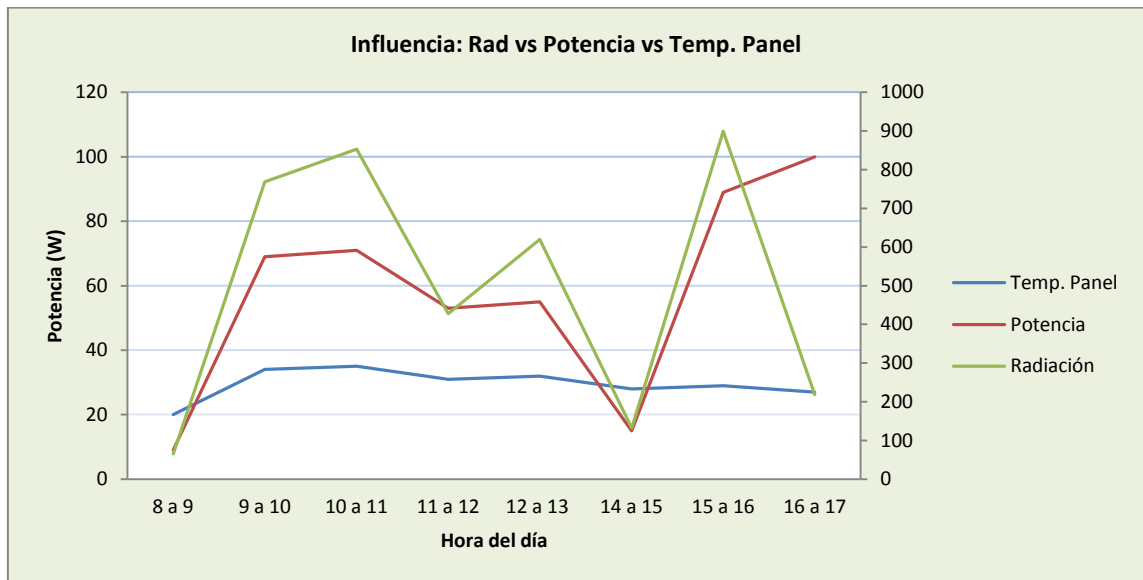
### Pérdidas por temperatura.



### Influencia de la temperatura ambiente y la radiación sobre el panel.



### Influencia de la radiación y la temperatura del panel sobre la potencia generada.

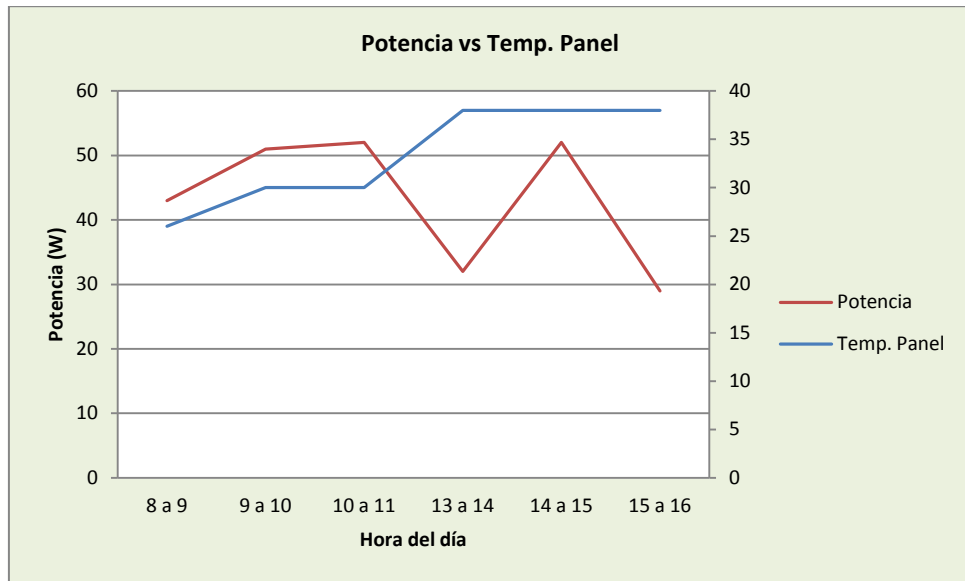


Día 5

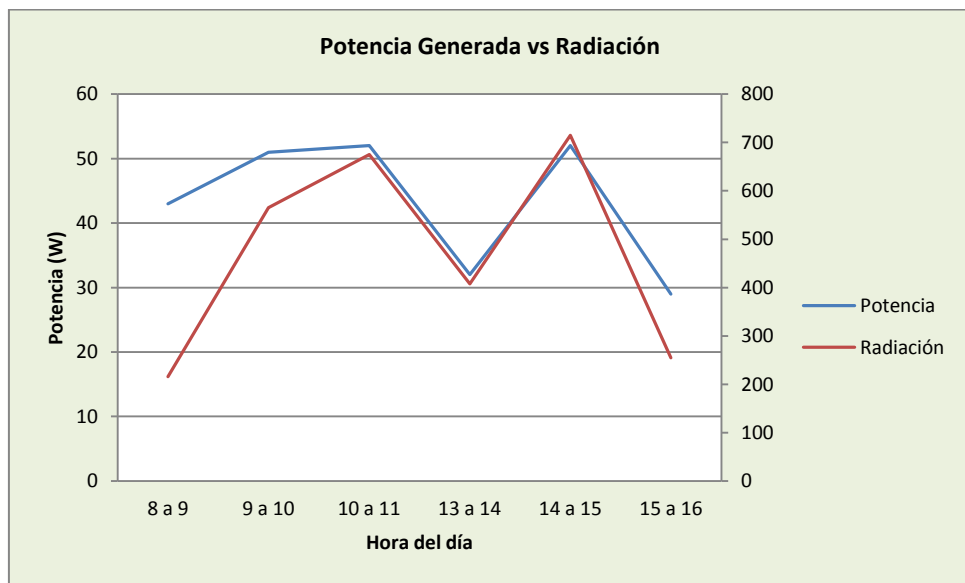
Fecha: Diciembre 14 de 2013

Lugar: Planta primer piso Edificio K, campus Universidad Pontificia Bolivariana. Seccional Bucaramanga.

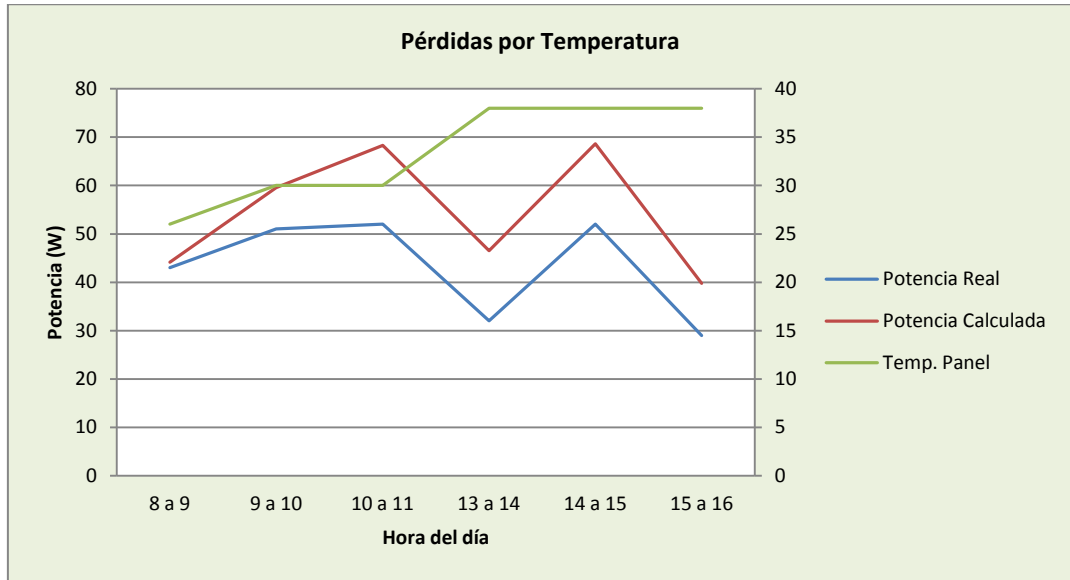
**Comportamiento de la potencia del panel con los cambios de temperatura.**



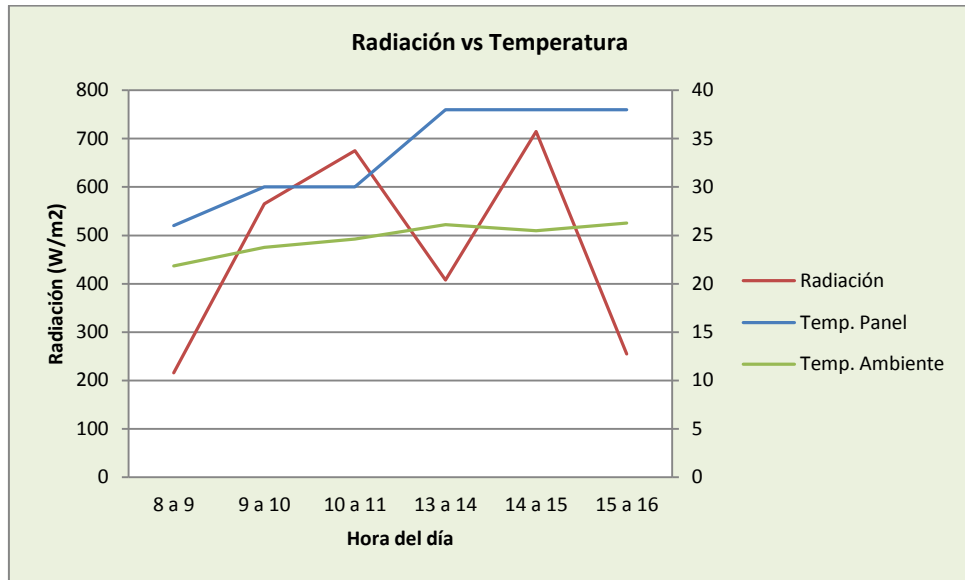
**Incremento de potencia generada o real vs radiación.**



### Pérdidas por temperatura.

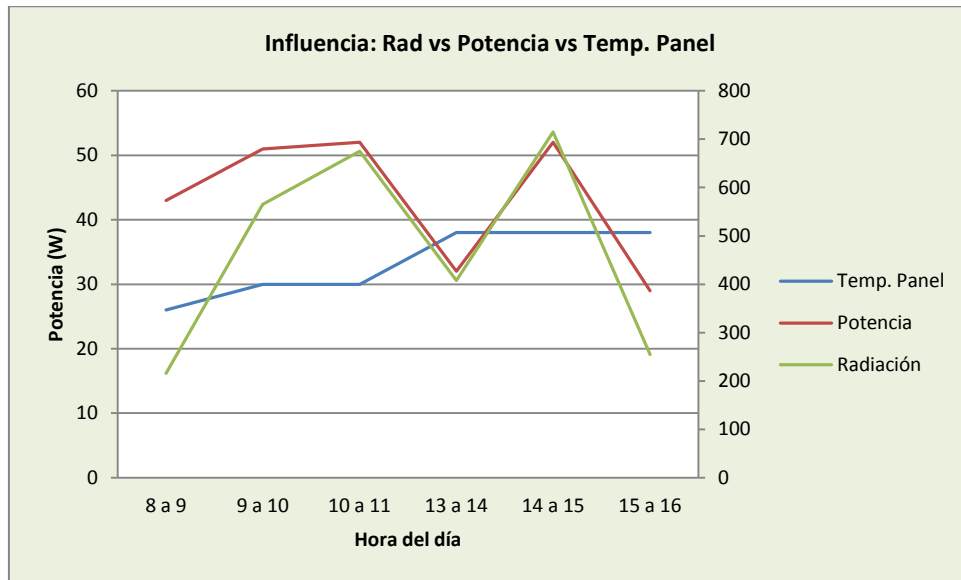


### Influencia de la temperatura ambiente y la radiación sobre el panel.





**Influencia de la radiación y la temperatura del panel sobre la potencia generada.**

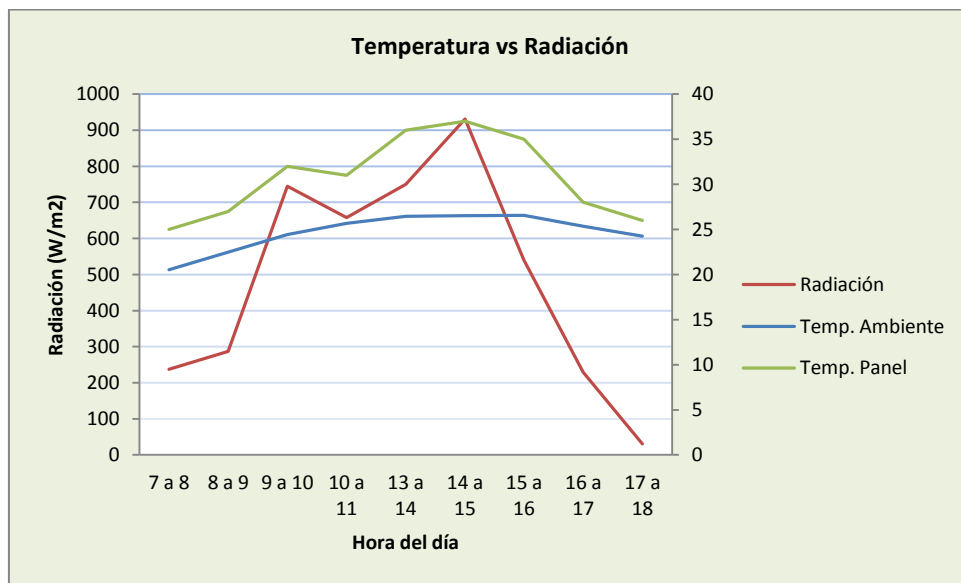


Día 6

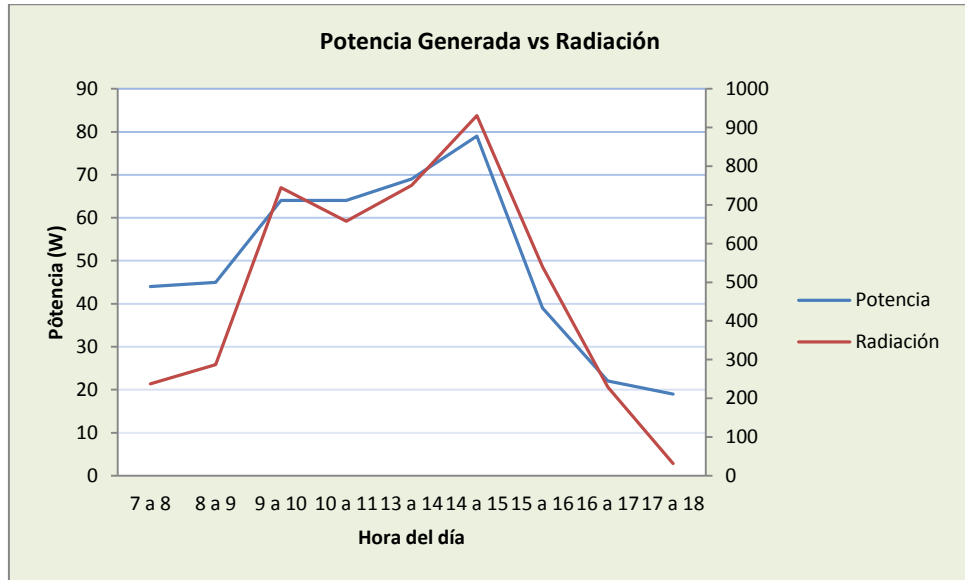
Fecha: Diciembre 15 de 2013

Lugar: Planta primer piso Edificio K, campus Universidad Pontificia Bolivariana. Seccional Bucaramanga.

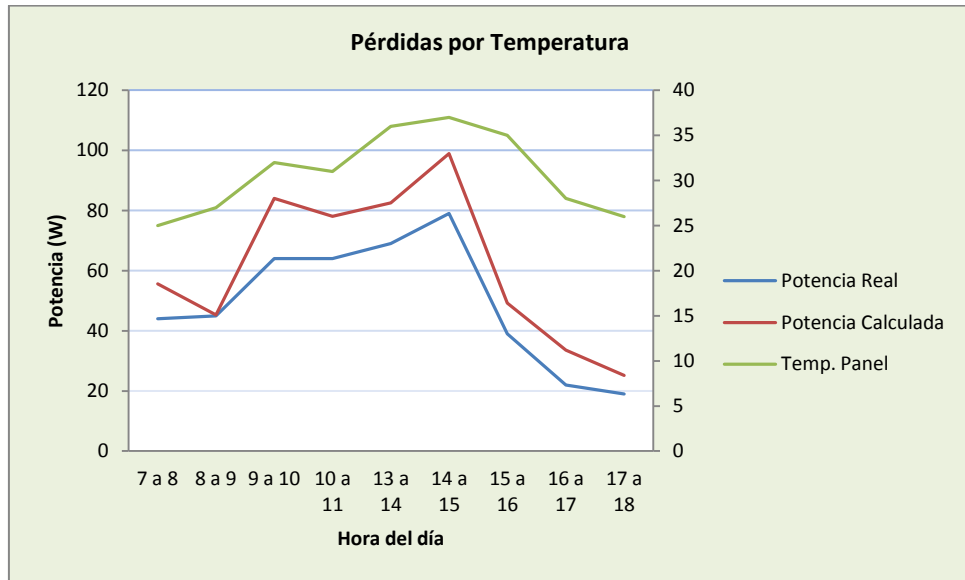
**Comportamiento de la potencia del panel con los cambios de temperatura.**



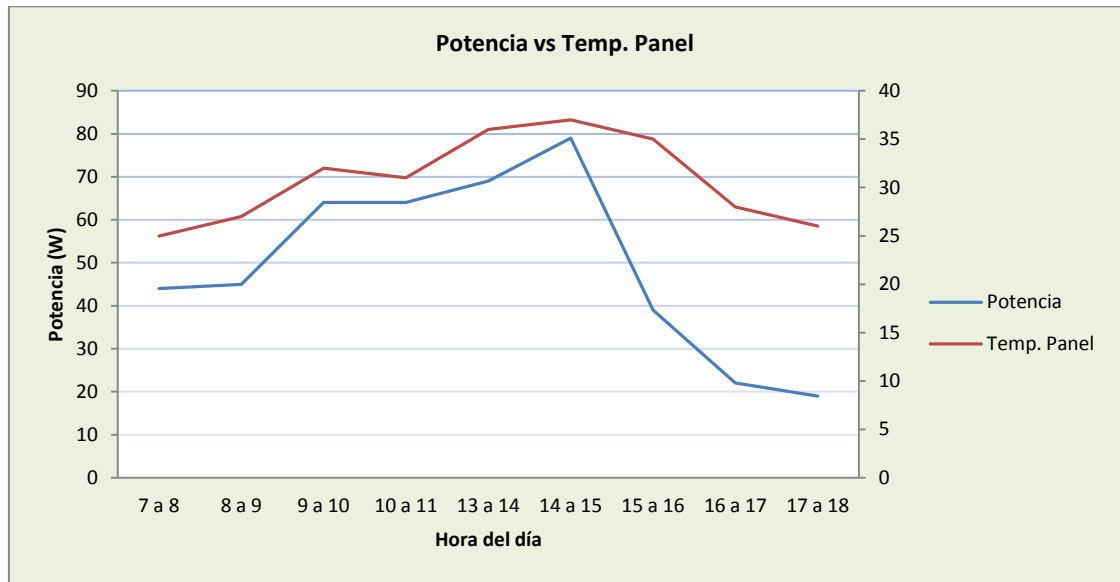
**Incremento de potencia generada o real vs radiación.**



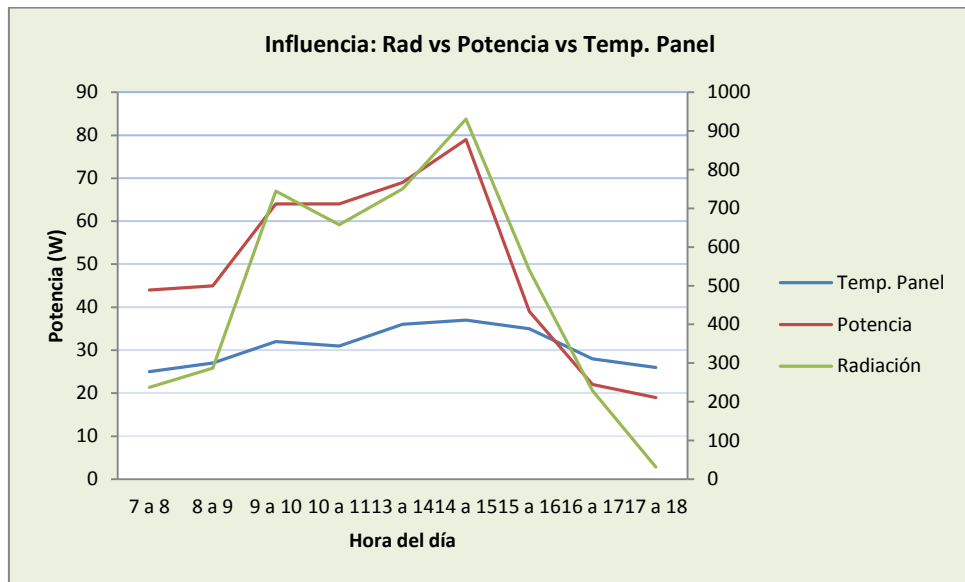
**Pérdidas por temperatura.**



**Influencia de la temperatura ambiente y la radiación sobre el panel.**



**Influencia de la radiación y la temperatura del panel sobre la potencia generada.**

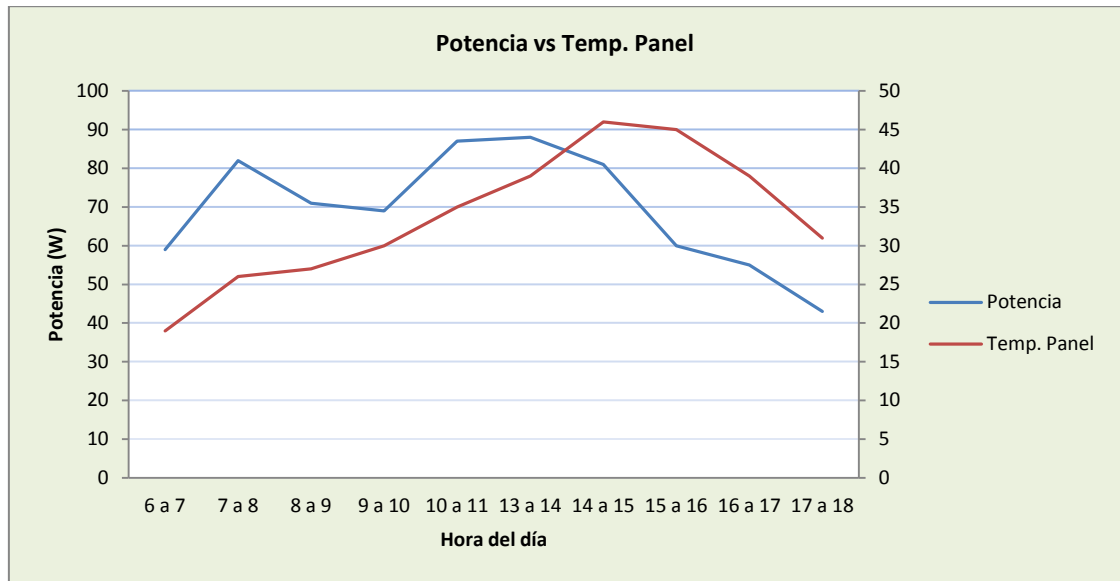


Día 7

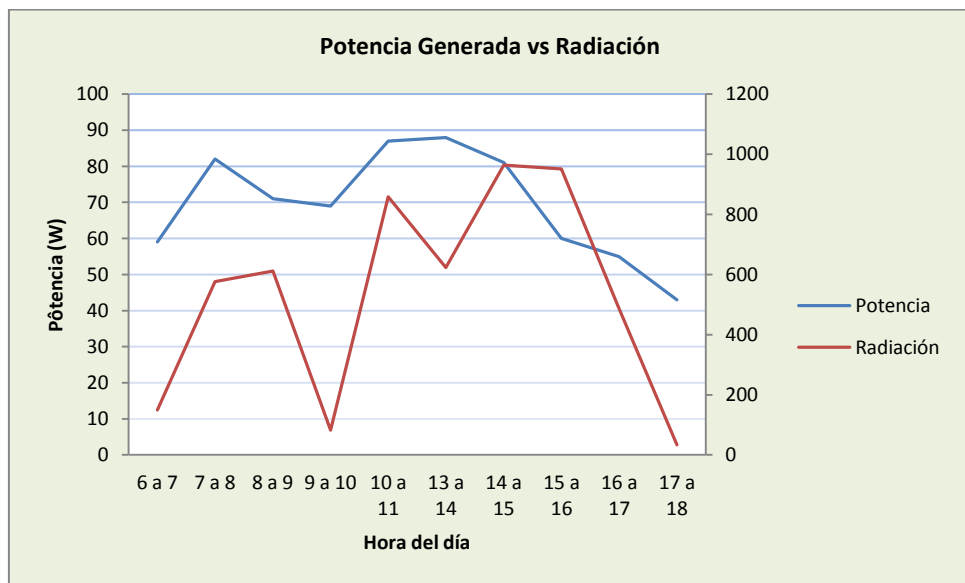
Fecha: Diciembre 16 de 2013

Lugar: Planta primer piso Edificio K, campus Universidad Pontificia Bolivariana. Seccional Bucaramanga.

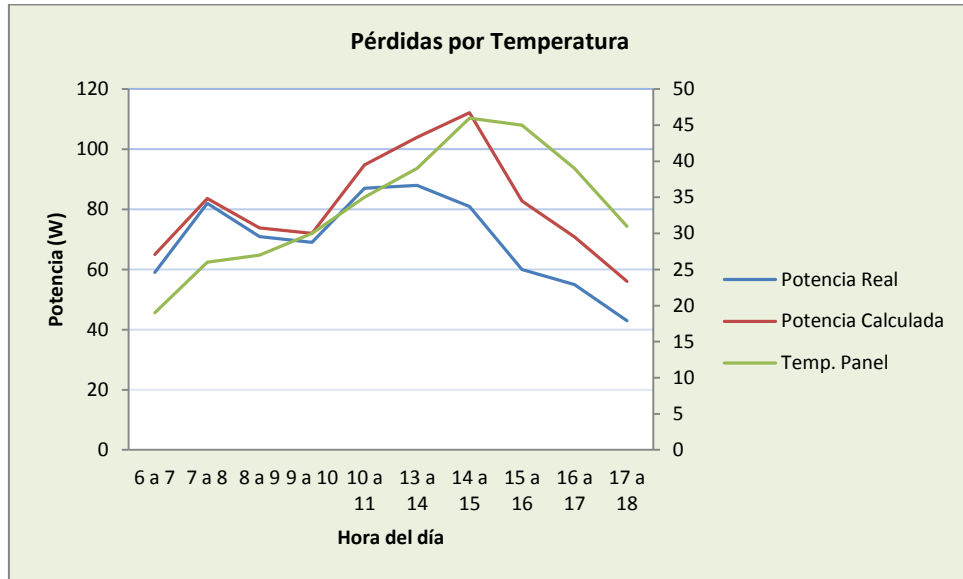
### Comportamiento de la potencia del panel con los cambios de temperatura.



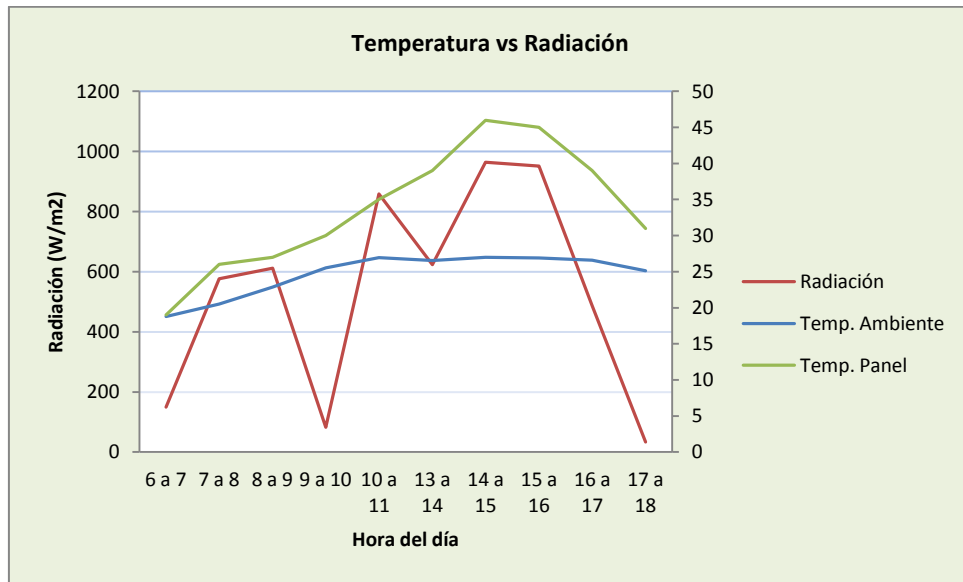
### Incremento de potencia generada o real vs radiación.



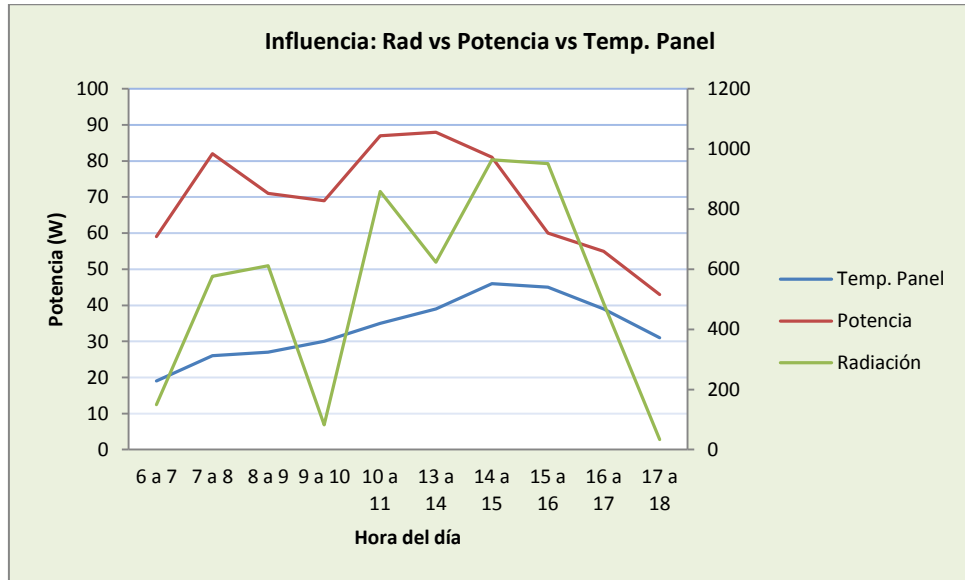
### Pérdidas por temperatura.



### Influencia de la temperatura ambiente y la radiación sobre el panel.



**Influencia de la radiación y la temperatura del panel sobre la potencia generada.**

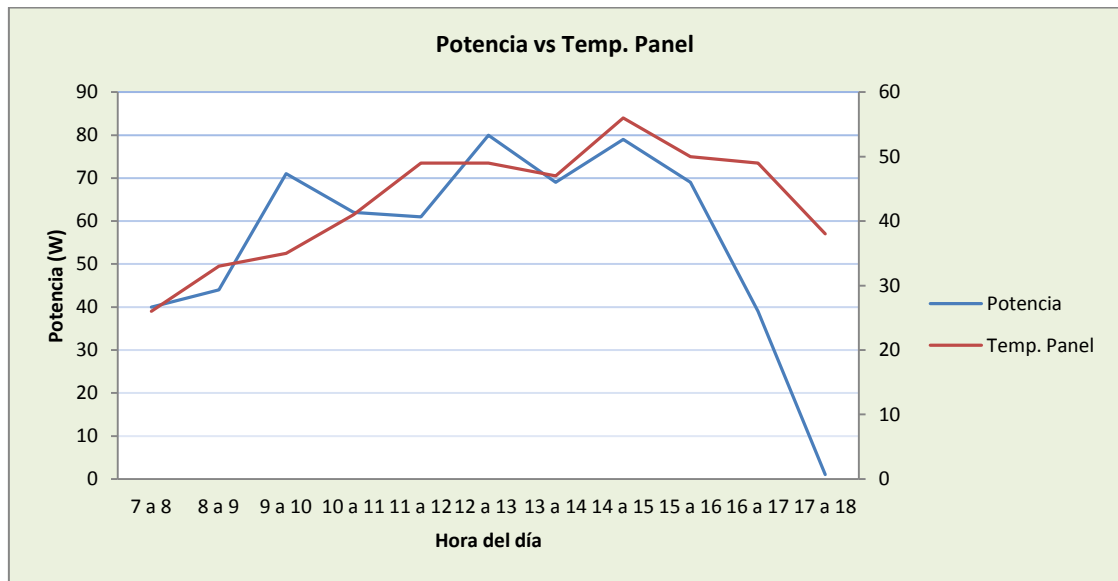


Día 8

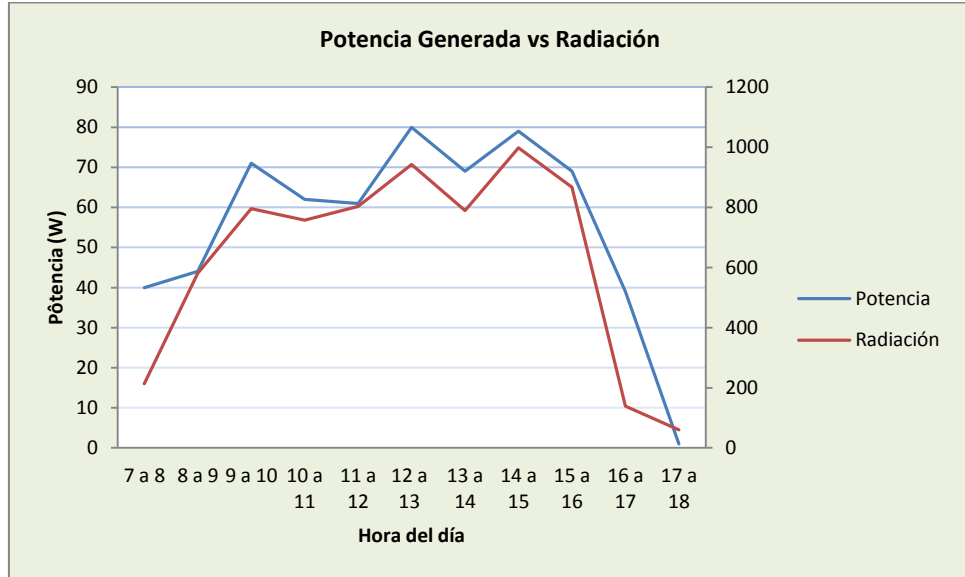
Fecha: Diciembre 17 de 2013

Lugar: Planta primer piso Edificio K, campus Universidad Pontificia Bolivariana. Seccional Bucaramanga.

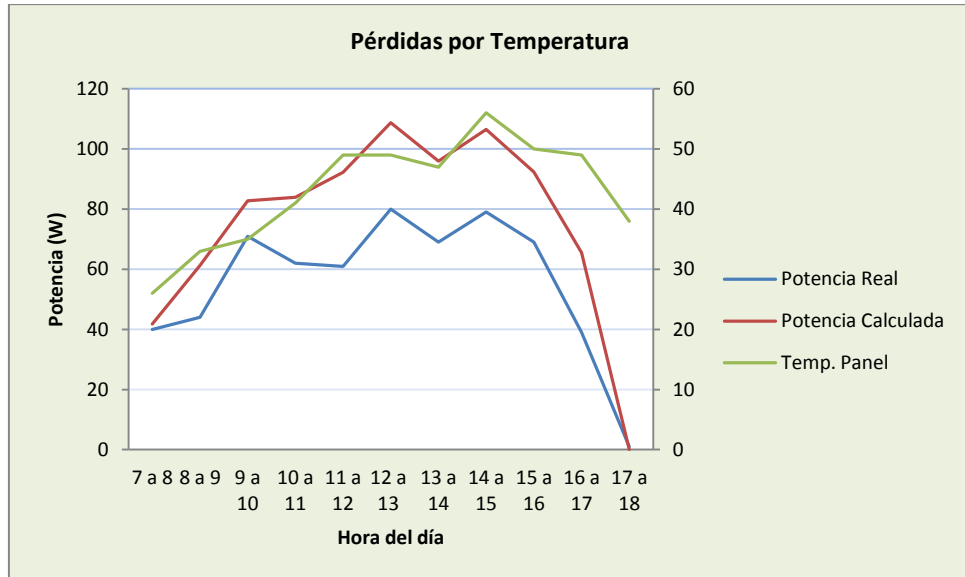
**Comportamiento de la potencia del panel con los cambios de temperatura.**



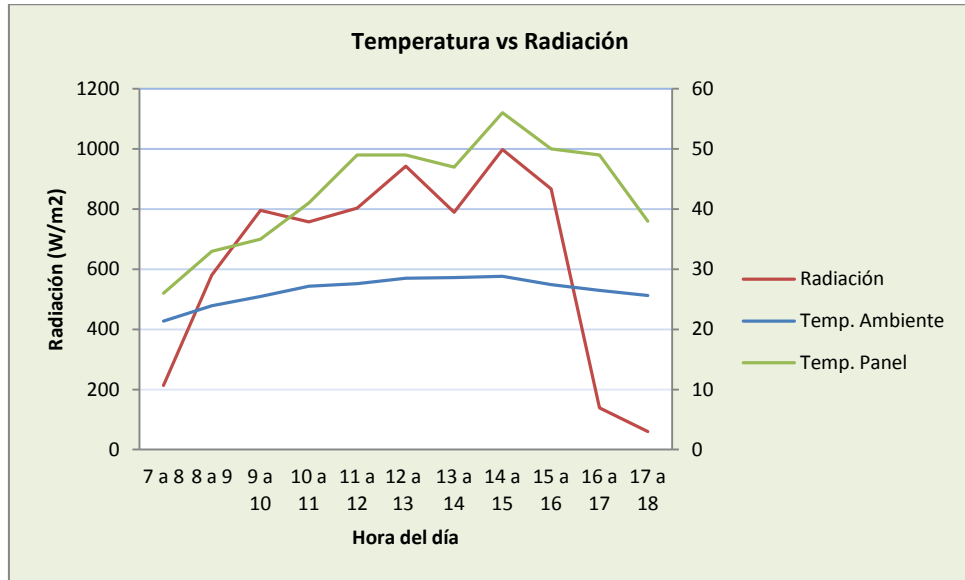
**Incremento de potencia generada o real vs radiación.**



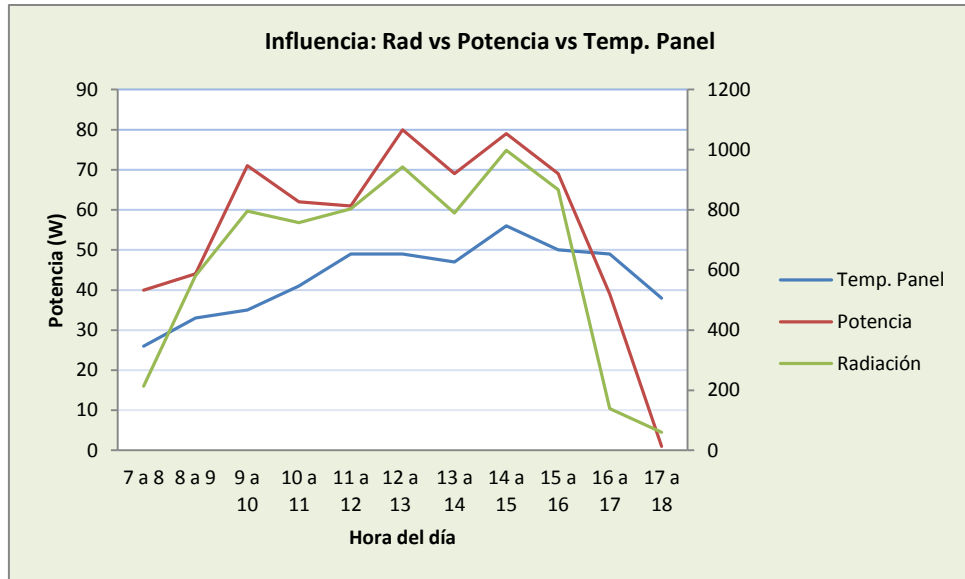
**Pérdidas por temperatura.**



**Influencia de la temperatura ambiente y la radiación sobre el panel.**



**Influencia de la radiación y la temperatura del panel sobre la potencia generada.**



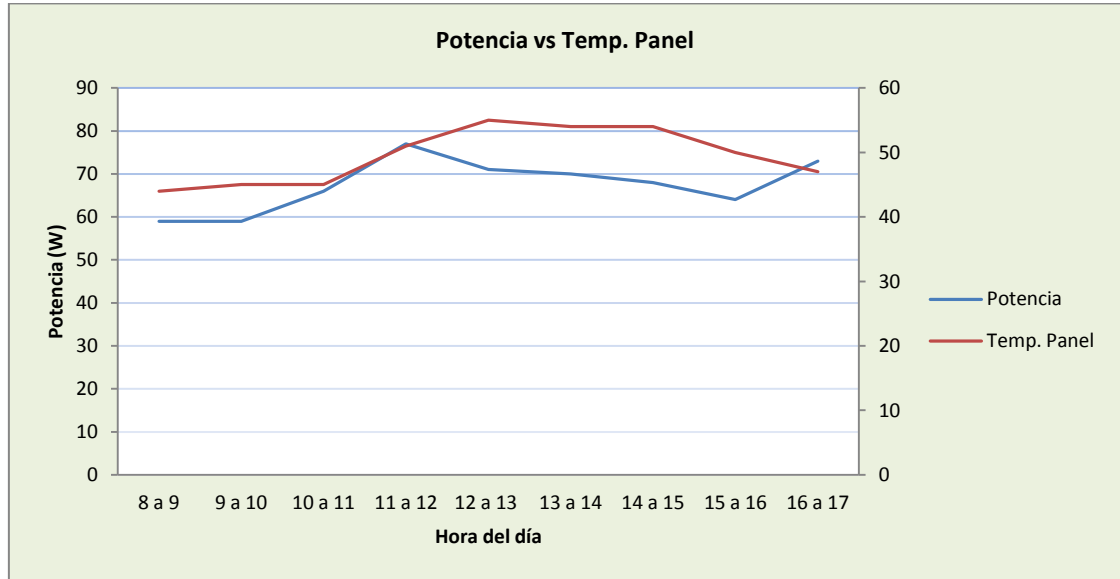


Día 9

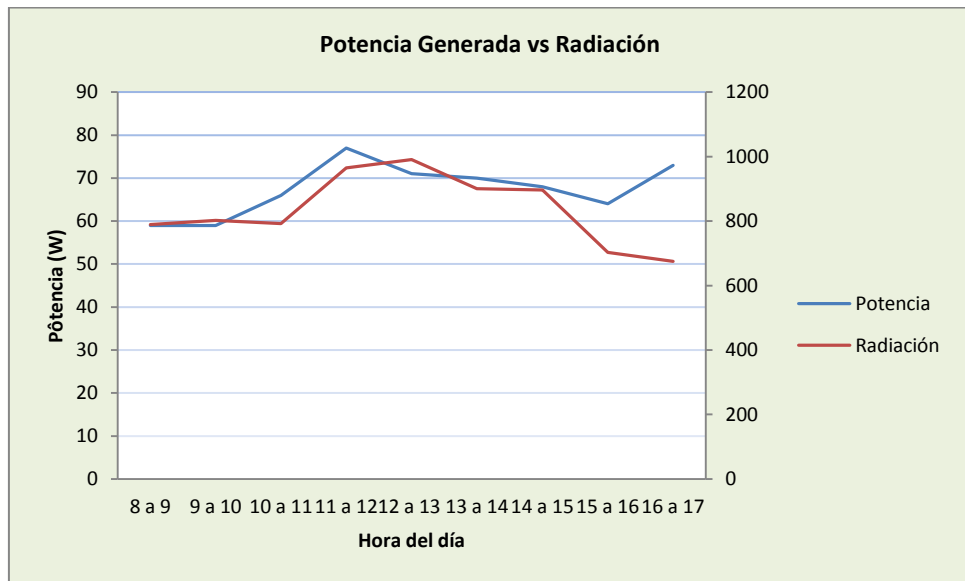
Fecha: Diciembre 18 de 2013

Lugar: Planta primer piso Edificio K, campus Universidad Pontificia Bolivariana. Seccional Bucaramanga.

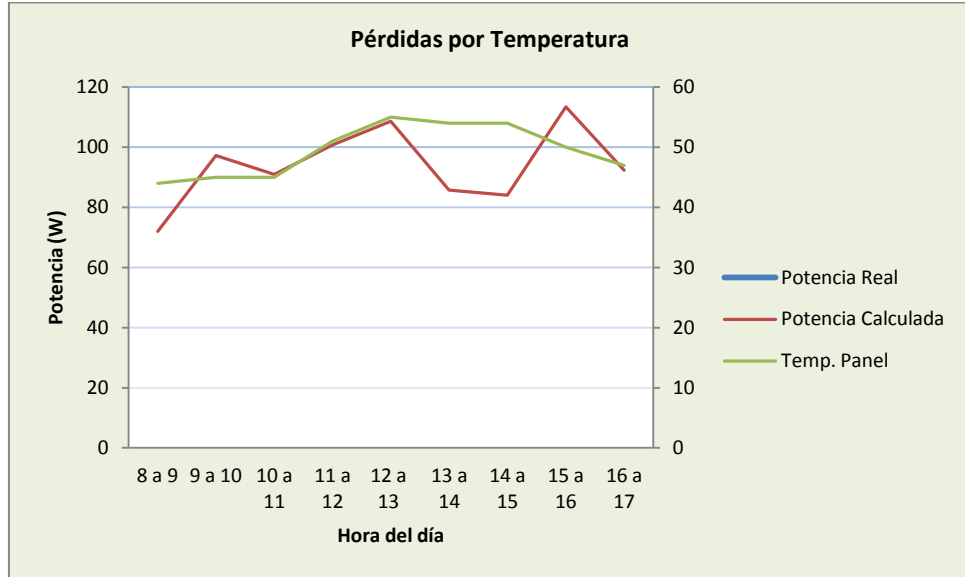
### Comportamiento de la potencia del panel con los cambios de temperatura.



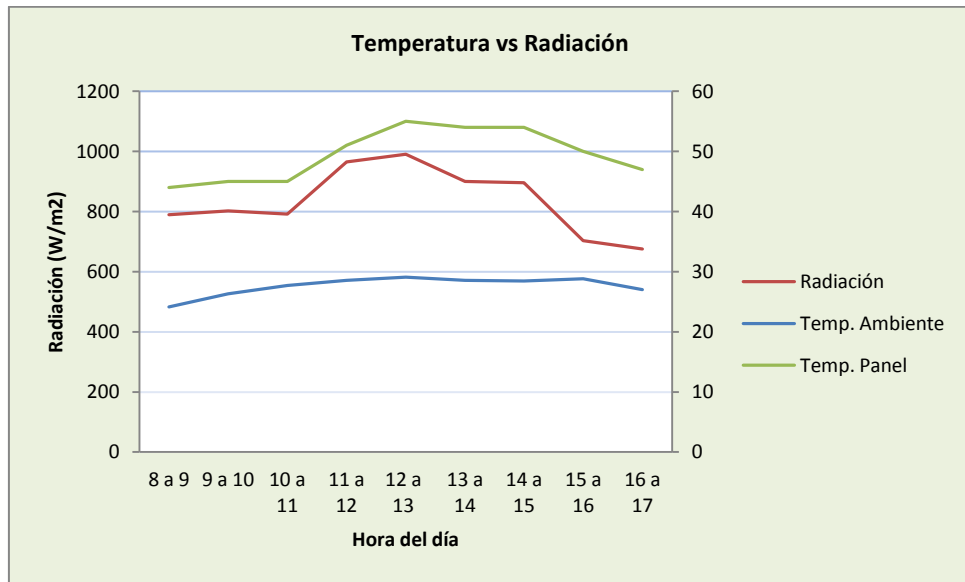
### Incremento de potencia generada o real vs radiación.



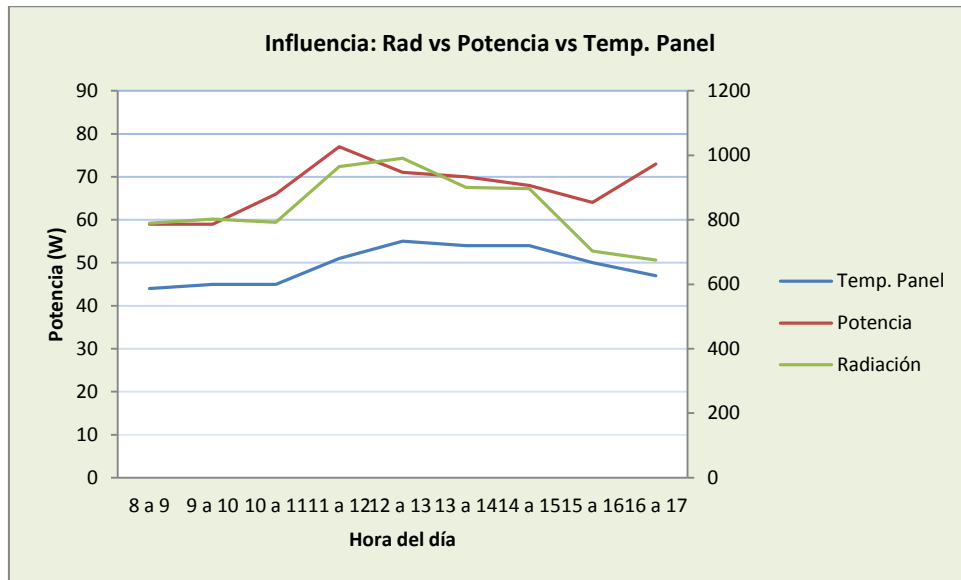
### Pérdidas por temperatura.



### Influencia de la temperatura ambiente y la radiación sobre el panel.



**Influencia de la radiación y la temperatura del panel sobre la potencia generada.**

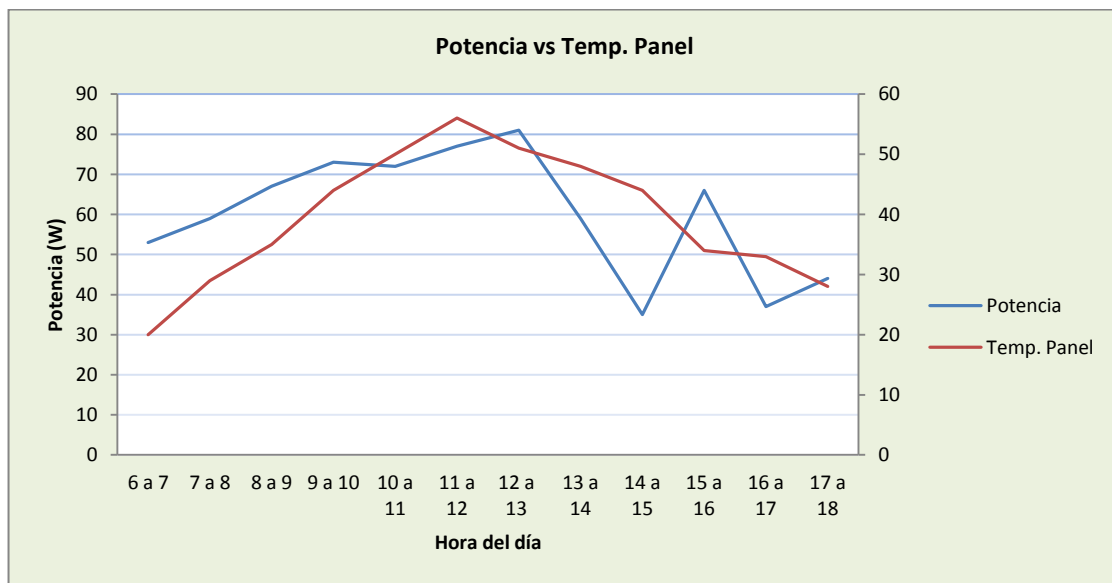


Día 11

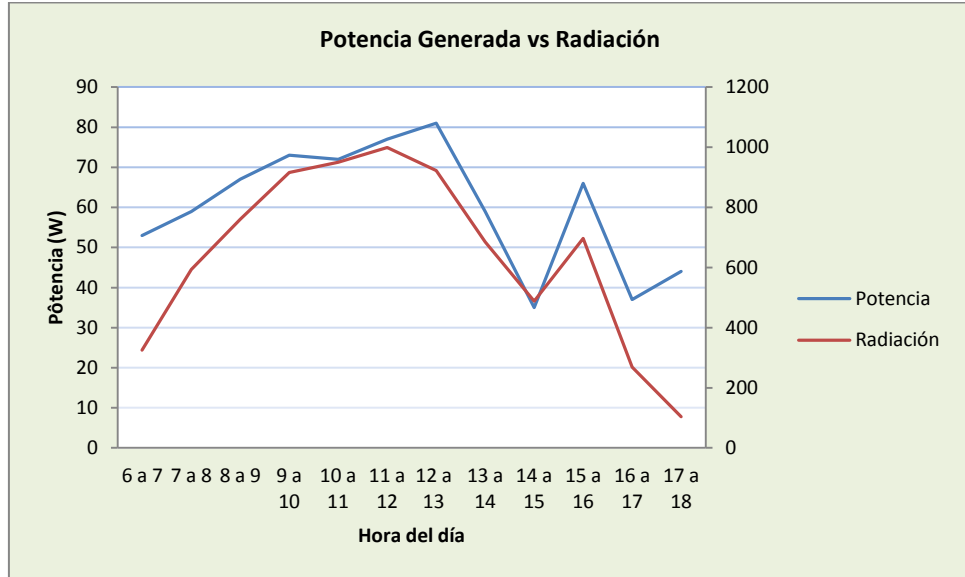
Fecha: Diciembre 20 de 2013

Lugar: Planta primer piso Edificio K, campus Universidad Pontificia Bolivariana. Seccional Bucaramanga.

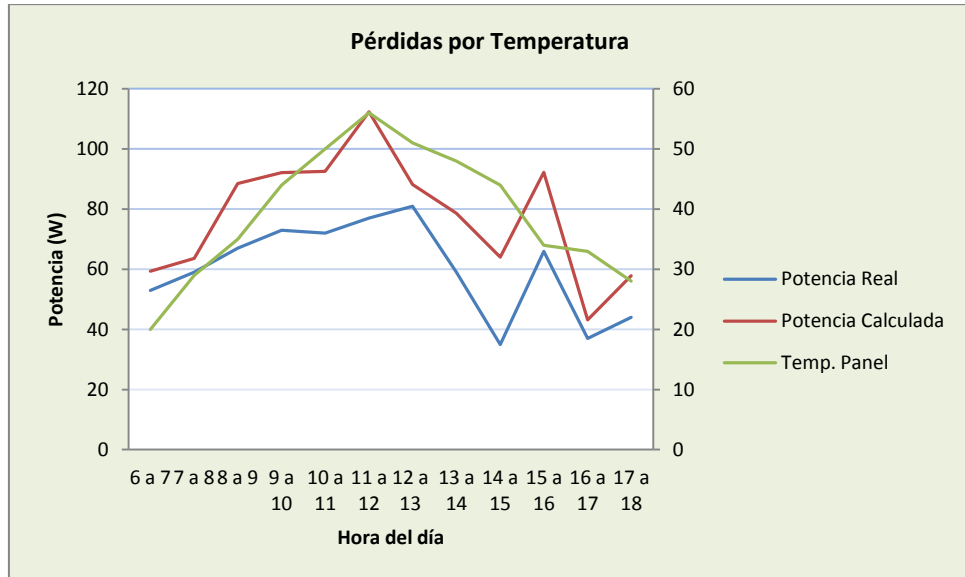
**Comportamiento de la potencia del panel con los cambios de temperatura.**



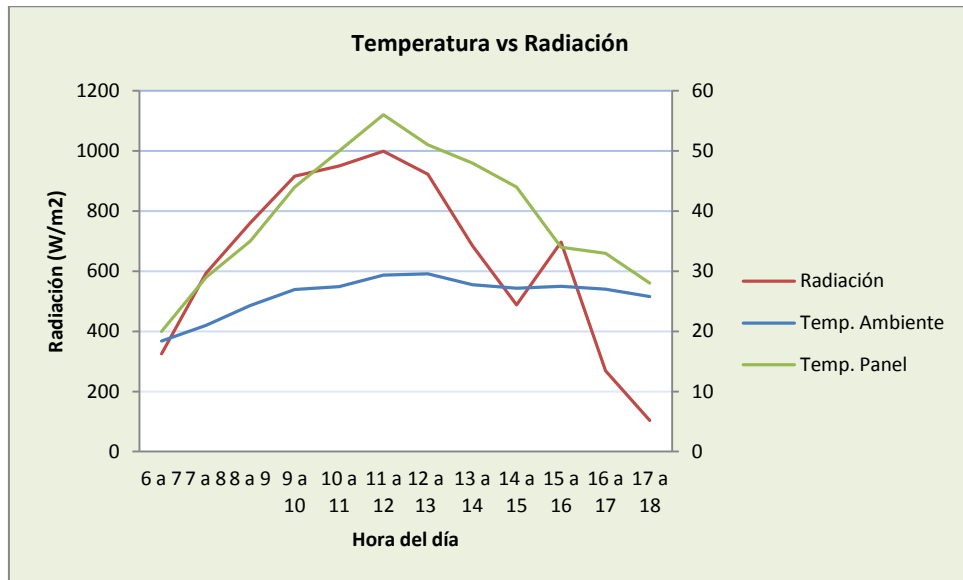
**Incremento de potencia generada o real vs radiación.**



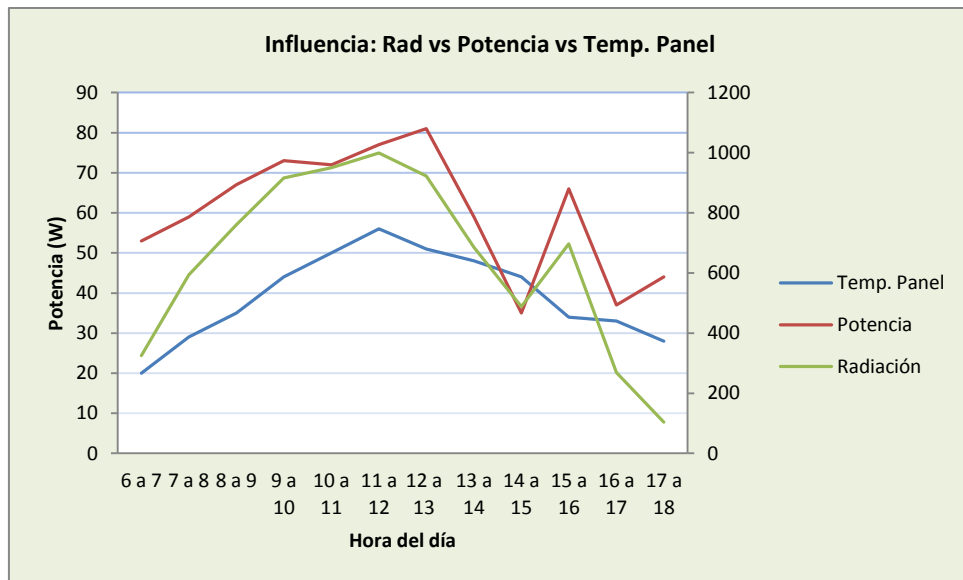
**Pérdidas por temperatura.**



### Influencia de la temperatura ambiente y la radiación sobre el panel.



### Influencia de la radiación y la temperatura del panel sobre la potencia generada.

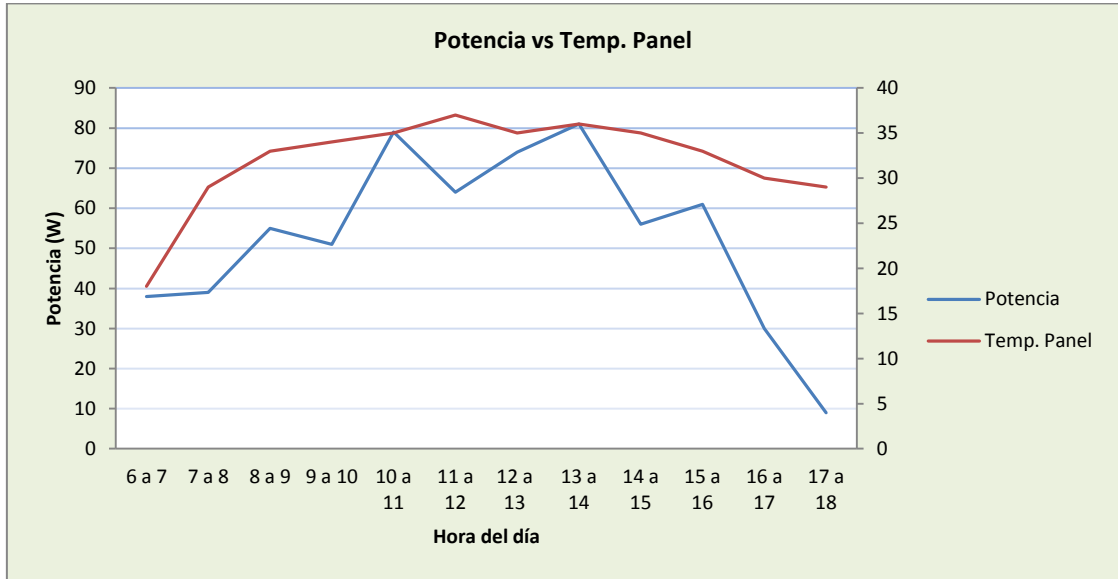


Día 12

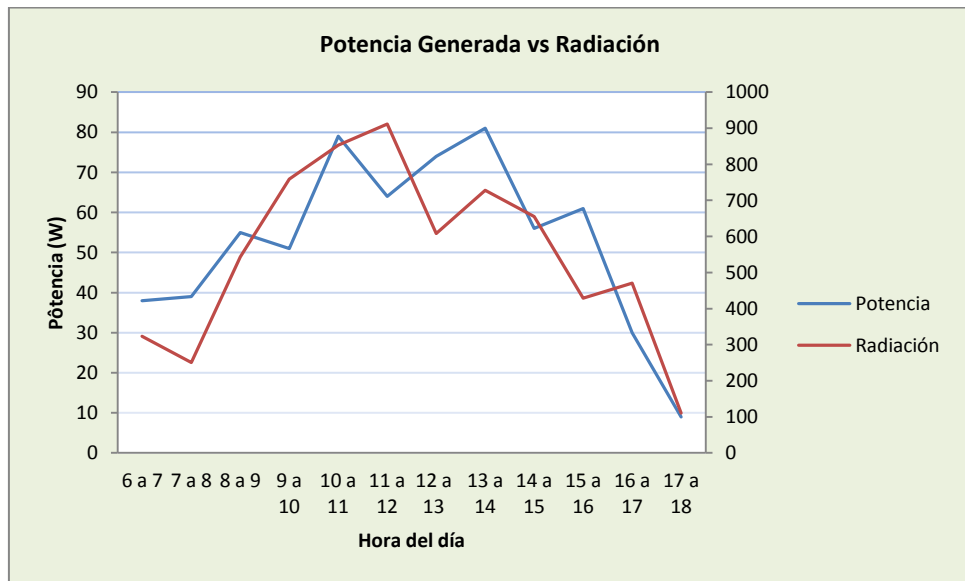
Fecha: Diciembre 21 de 2013

Lugar: Planta primer piso Edificio K, campus Universidad Pontificia Bolivariana. Seccional Bucaramanga.

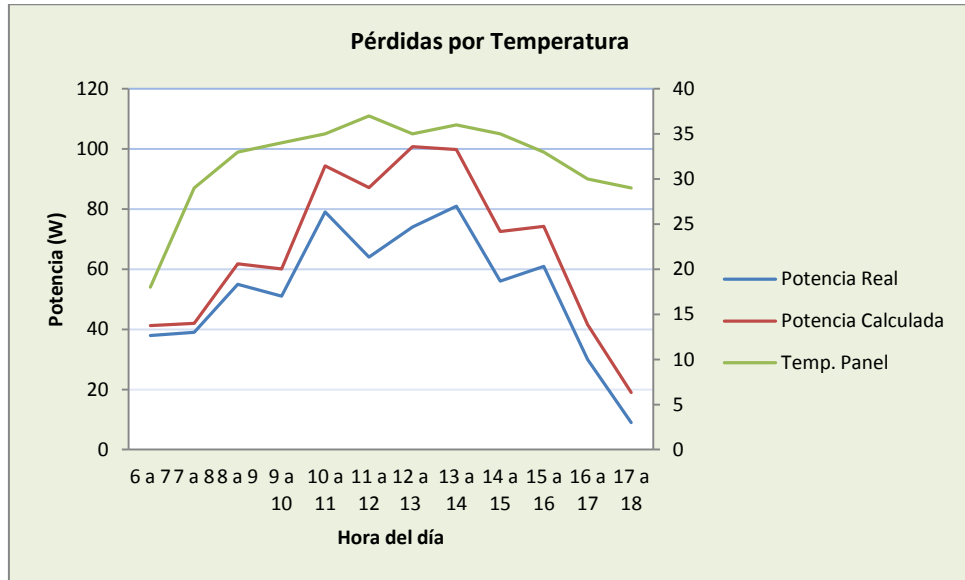
**Comportamiento de la potencia del panel con los cambios de temperatura.**



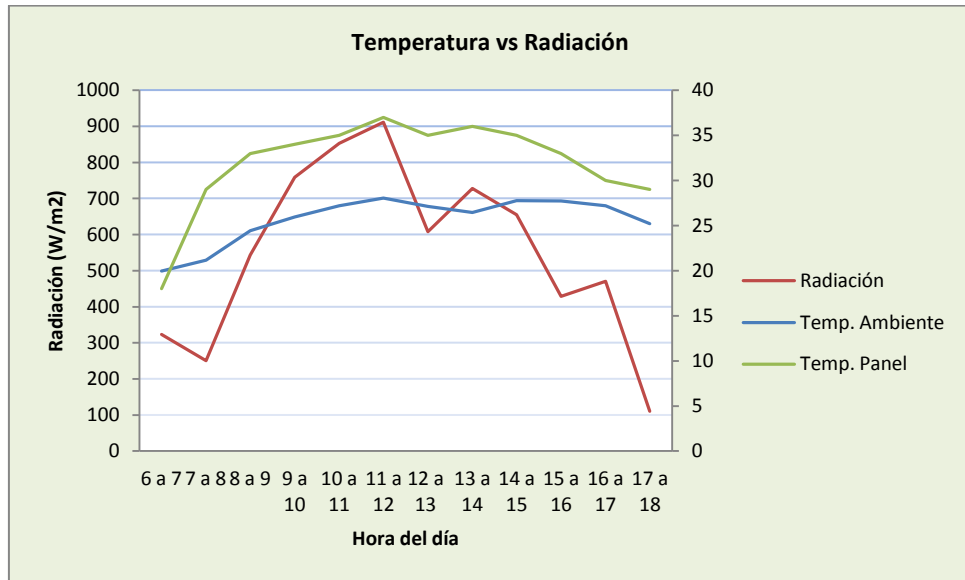
**Incremento de potencia generada o real vs radiación.**



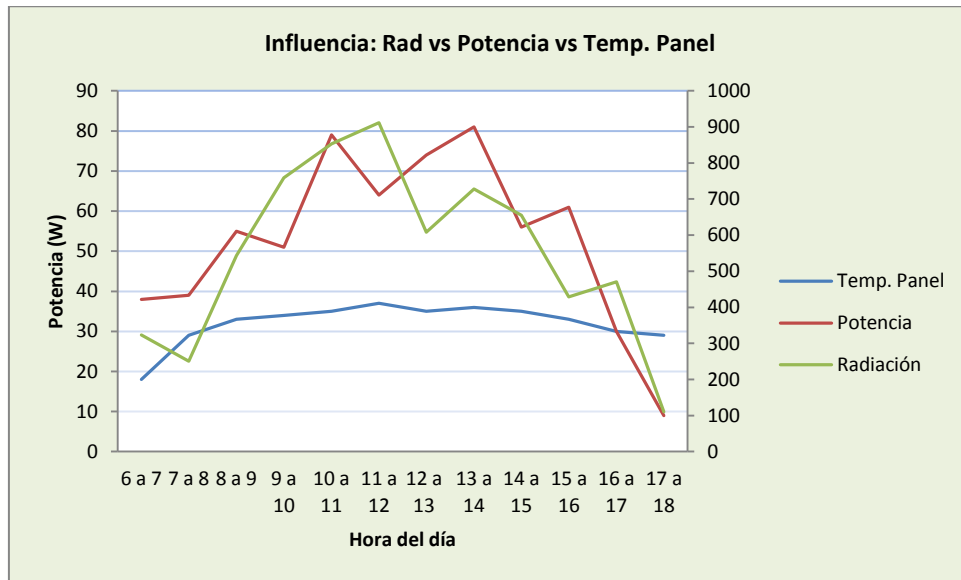
### Pérdidas por temperatura.



### Influencia de la temperatura ambiente y la radiación sobre el panel.



**Influencia de la radiación y la temperatura del panel sobre la potencia generada.**

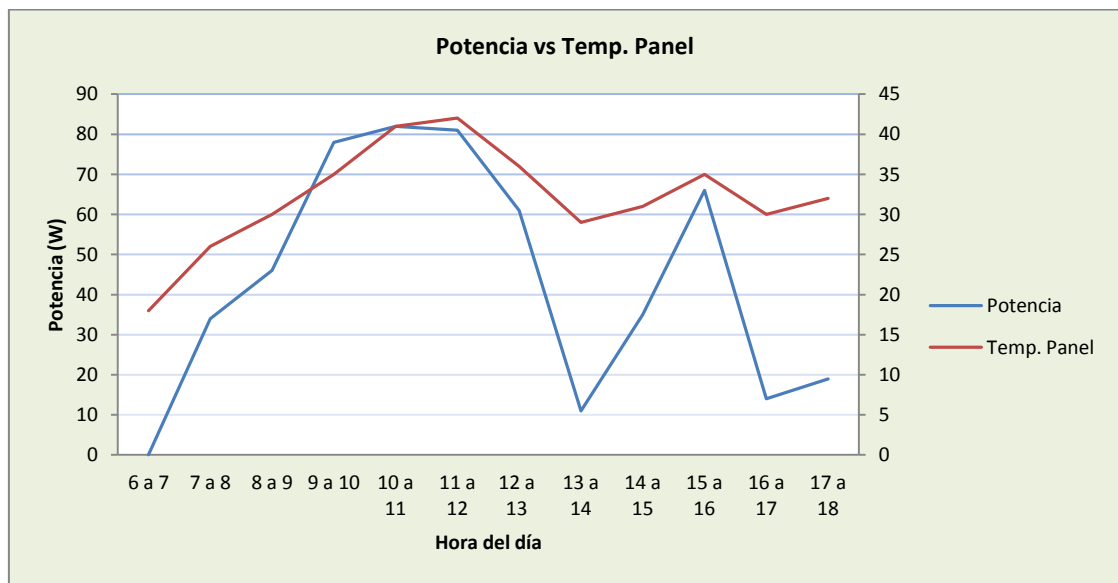


Día 13

Fecha: Diciembre 22 de 2013

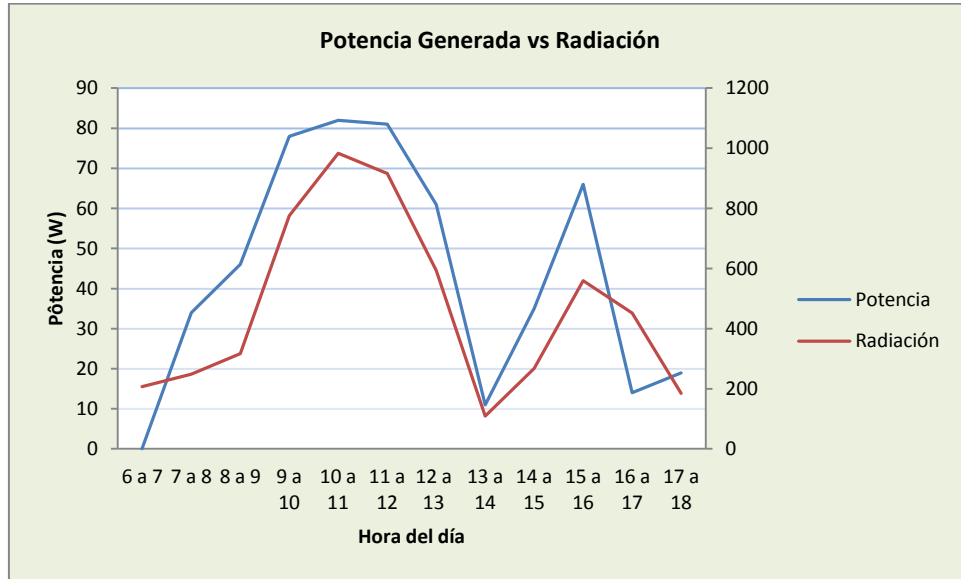
Lugar: Planta primer piso Edificio K, campus Universidad Pontificia Bolivariana. Seccional Bucaramanga.

**Comportamiento de la potencia del panel con los cambios de temperatura.**

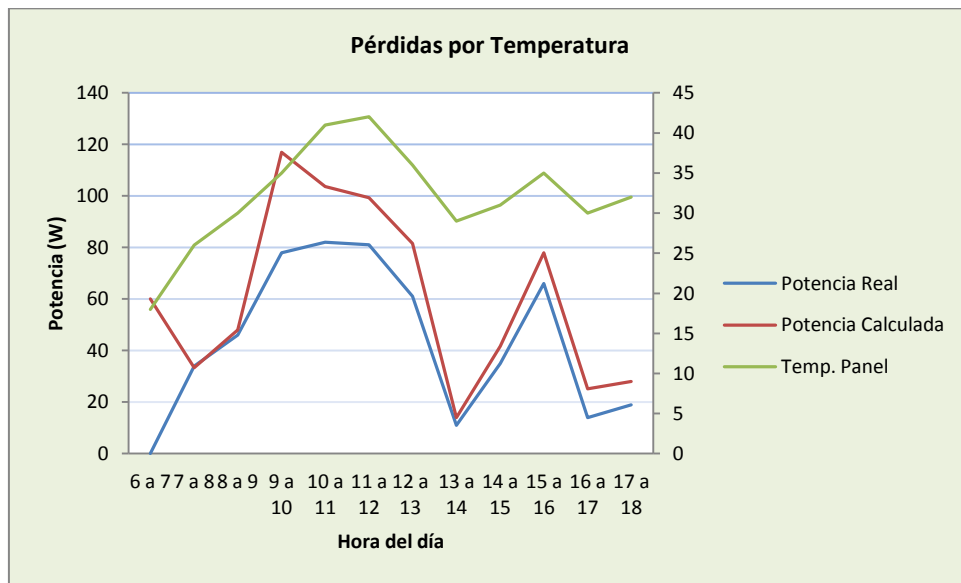




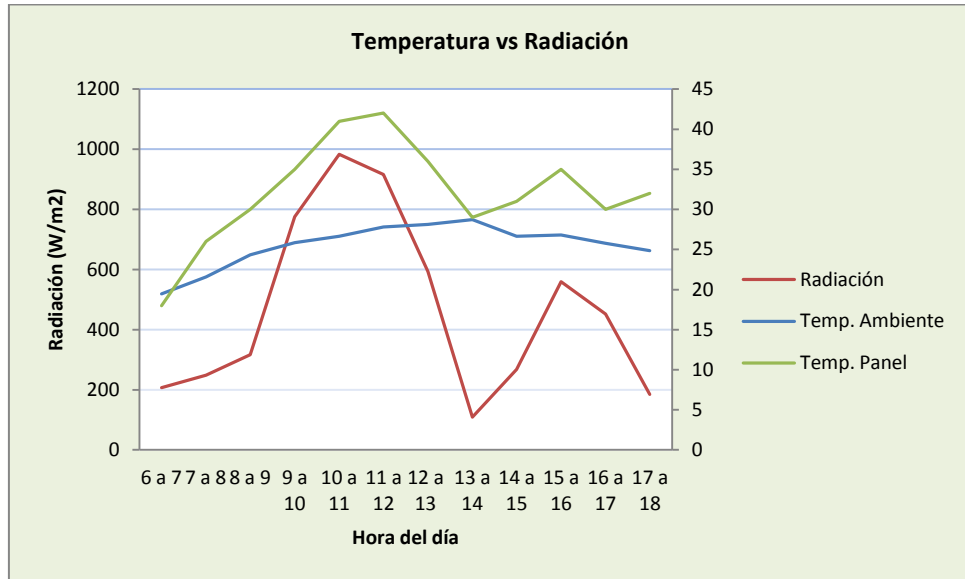
### Incremento de potencia generada o real vs radiación.



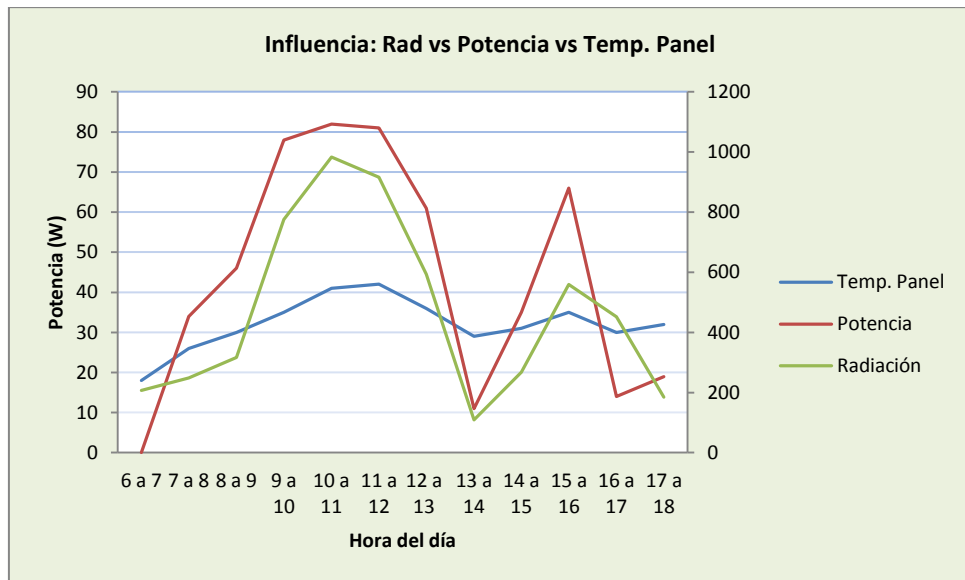
### Pérdidas por temperatura.



**Influencia de la temperatura ambiente y la radiación sobre el panel.**



**Influencia de la radiación y la temperatura del panel sobre la potencia generada.**

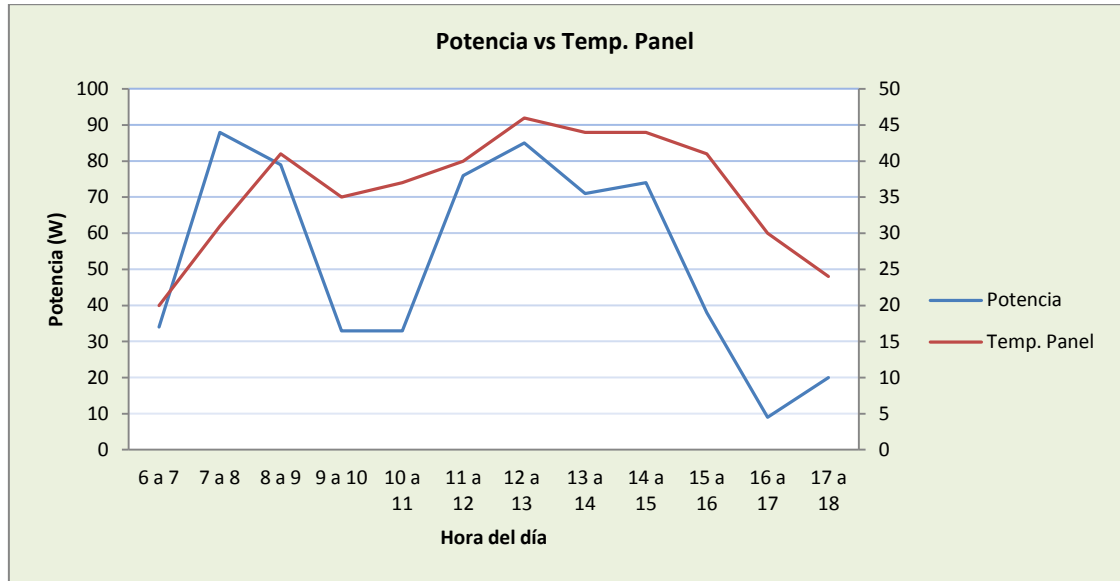


Día 14

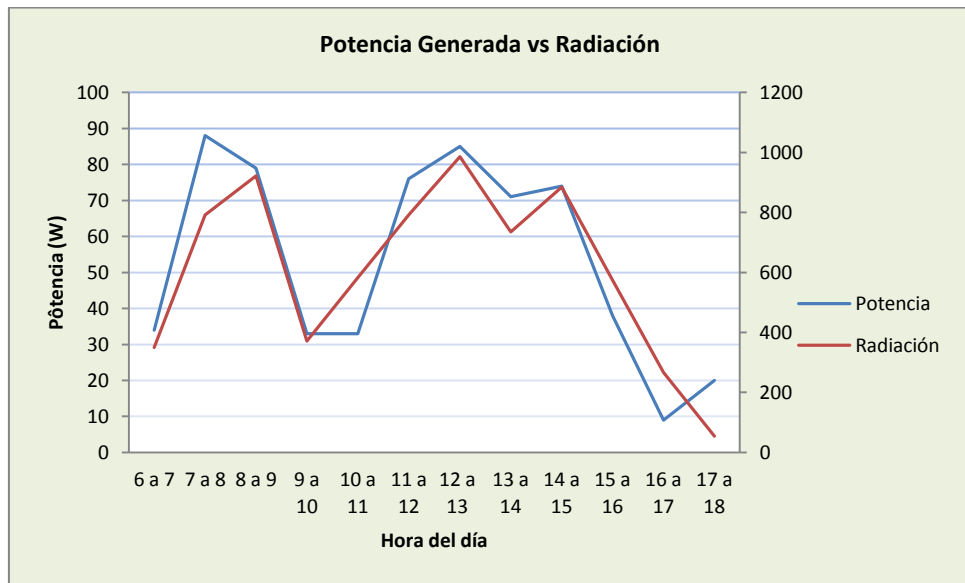
Fecha: Diciembre 23 de 2013

Lugar: Planta primer piso Edificio K, campus Universidad Pontificia Bolivariana. Seccional Bucaramanga.

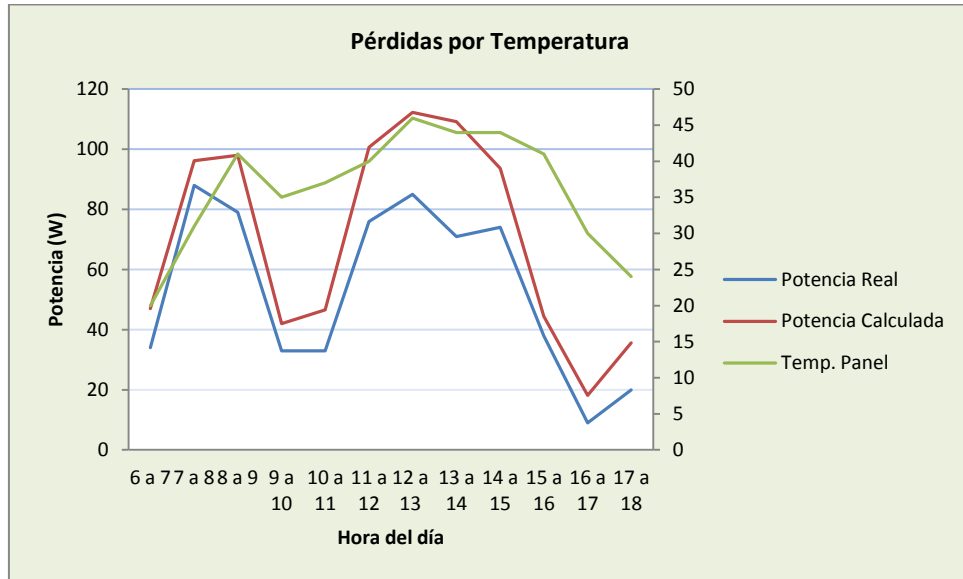
**Comportamiento de la potencia del panel con los cambios de temperatura.**



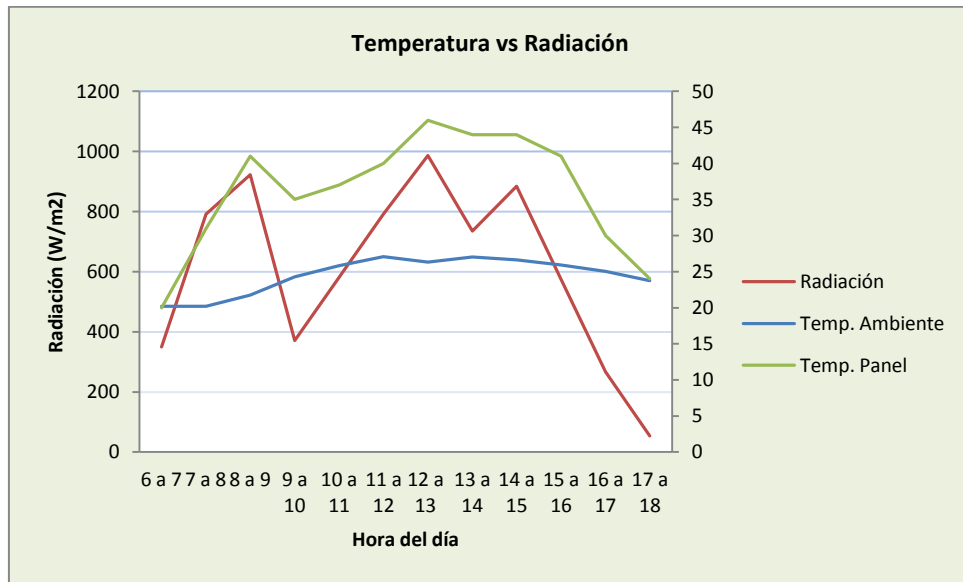
**Incremento de potencia generada o real vs radiación.**



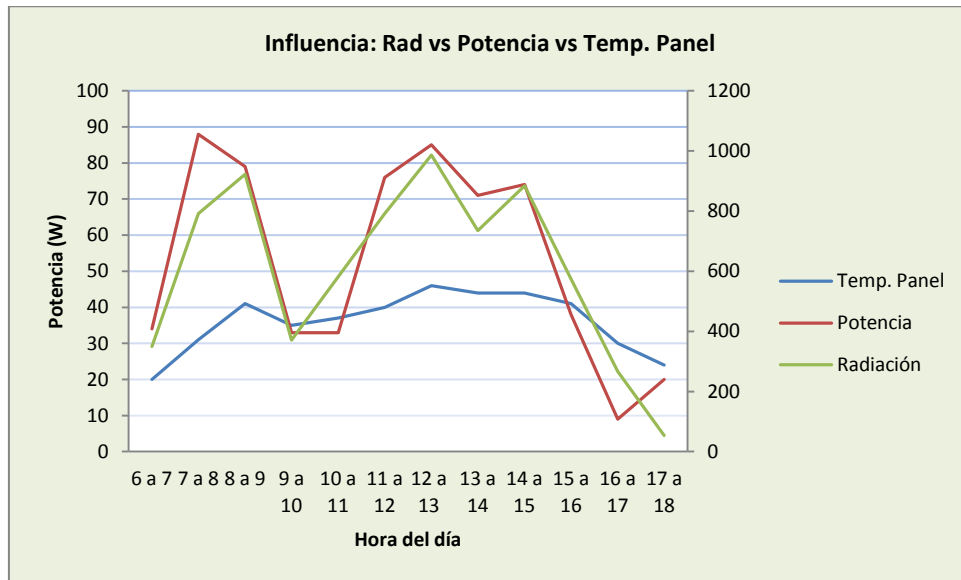
### Pérdidas por temperatura.



### Influencia de la temperatura ambiente y la radiación sobre el panel.



**Influencia de la radiación y la temperatura del panel sobre la potencia generada.**

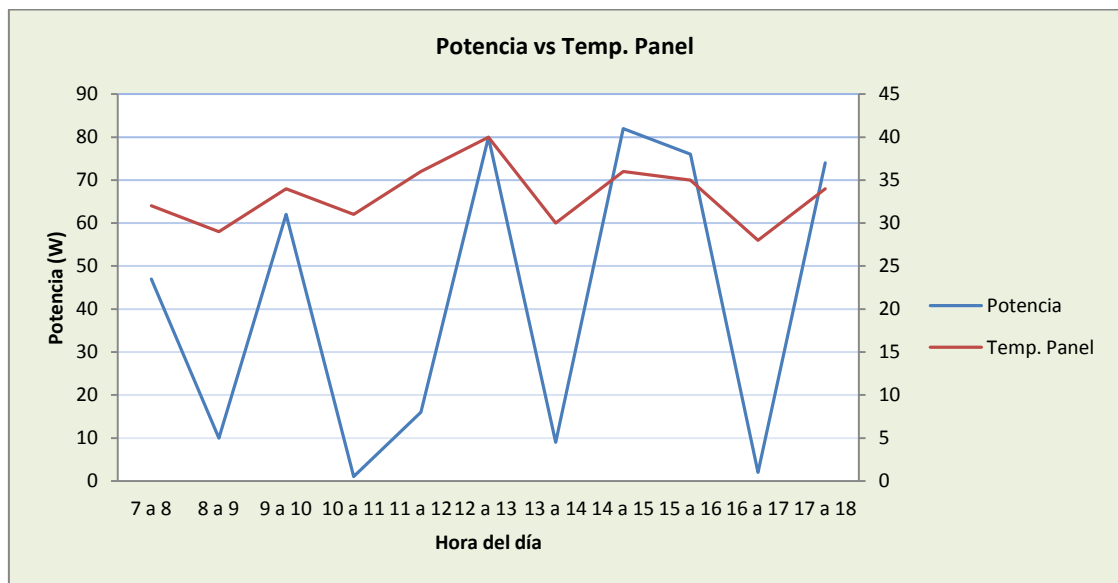


Día 15

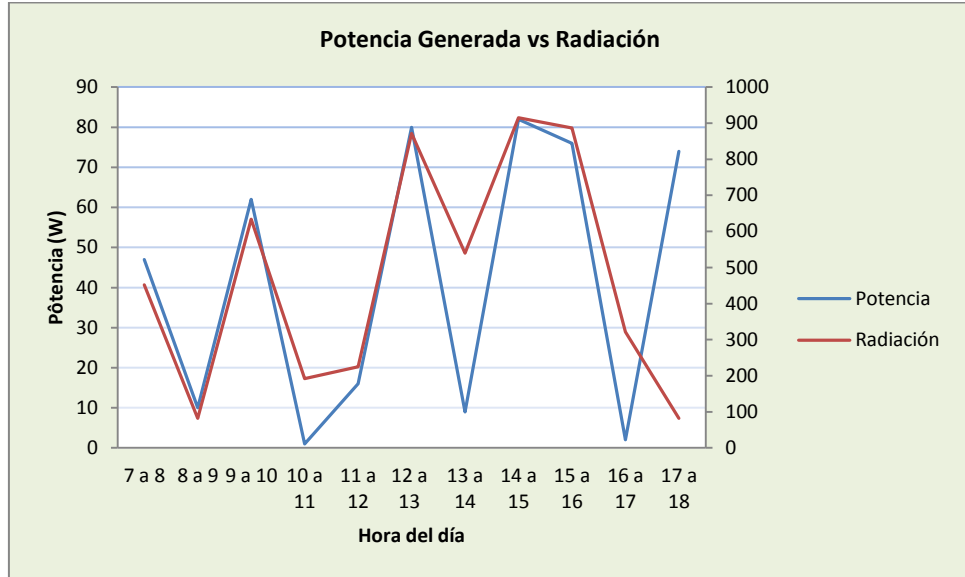
Fecha: Diciembre 26 de 2013

Lugar: Placa último piso (piso 26) del Edificio Vista Azul Campestre en la zona de Cañaverl, Área Metropolitana de Bucaramanga. Altura: 72 metros sobre el nivel del suelo.

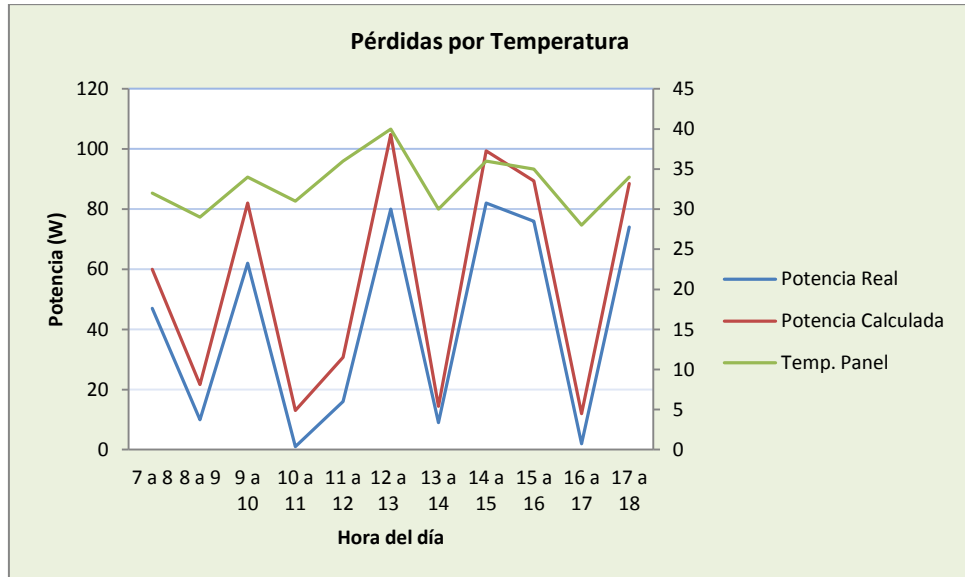
**Comportamiento de la potencia del panel con los cambios de temperatura.**



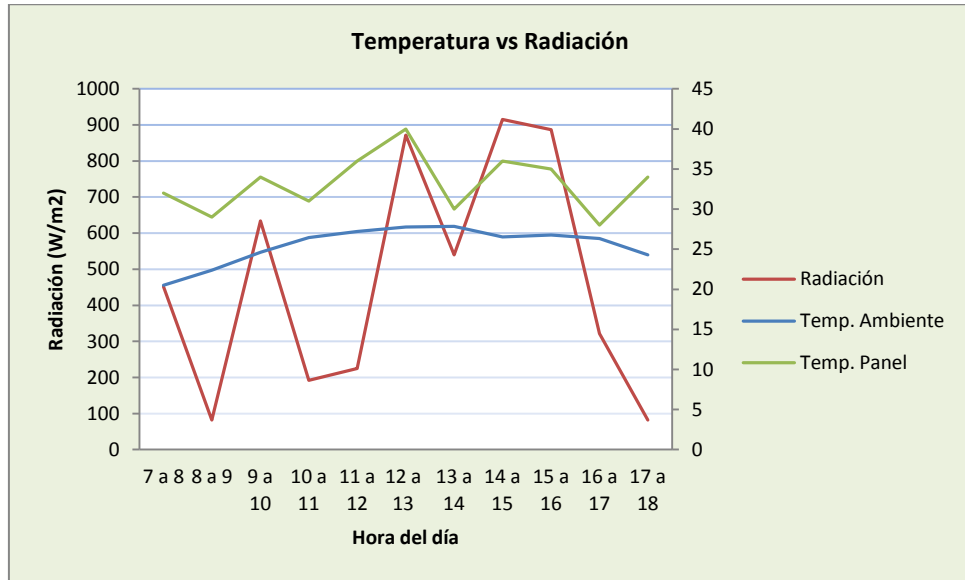
**Incremento de potencia generada o real vs radiación.**



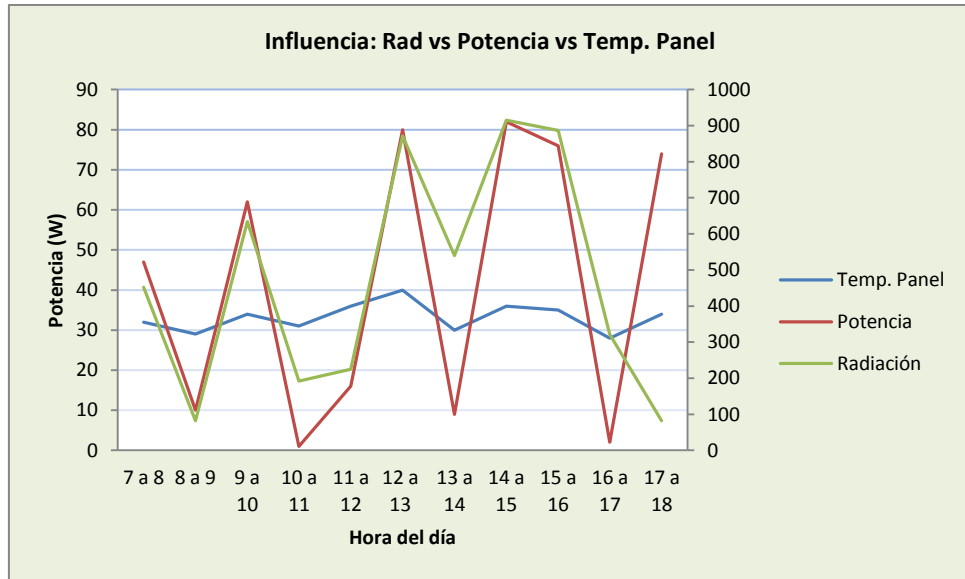
**Pérdidas por temperatura.**



**Influencia de la temperatura ambiente y la radiación sobre el panel.**



**Influencia de la radiación y la temperatura del panel sobre la potencia generada.**

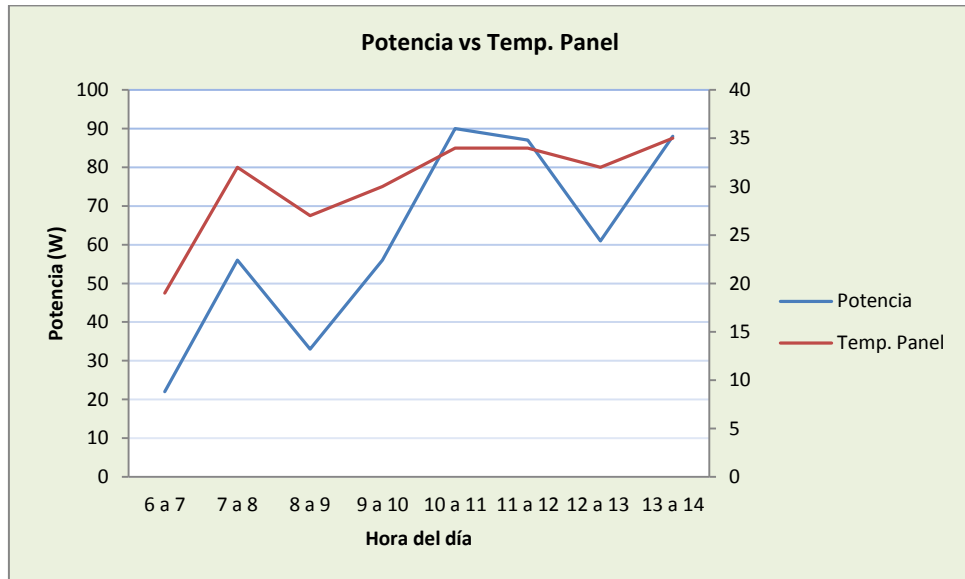


Día 16

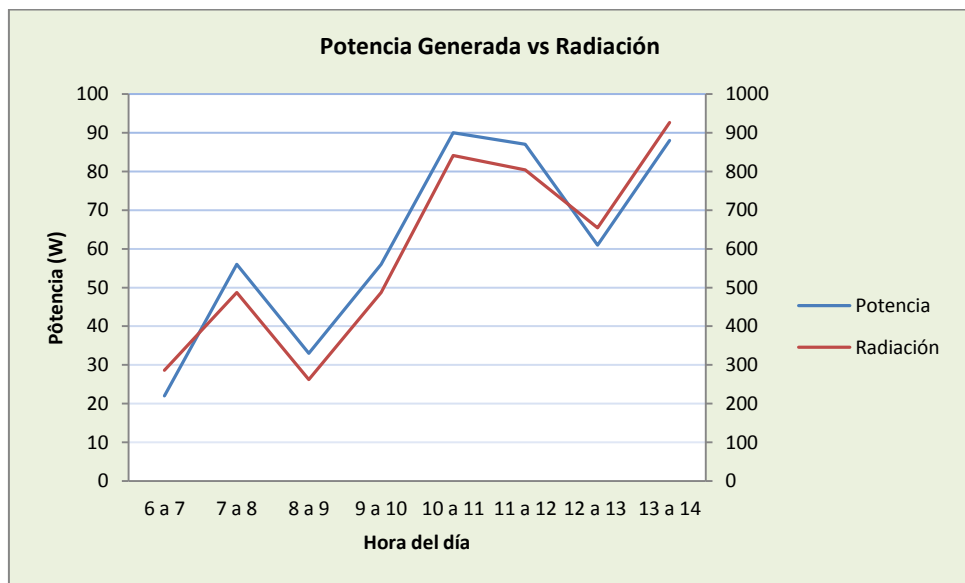
Fecha: Diciembre 27 de 2013

Lugar: Placa último piso (piso 26) del Edificio Vista Azul Campestre en la zona de Cañaveral, Área Metropolitana de Bucaramanga. Altura: 72 metros sobre el nivel del suelo.

**Comportamiento de la potencia del panel con los cambios de temperatura.**

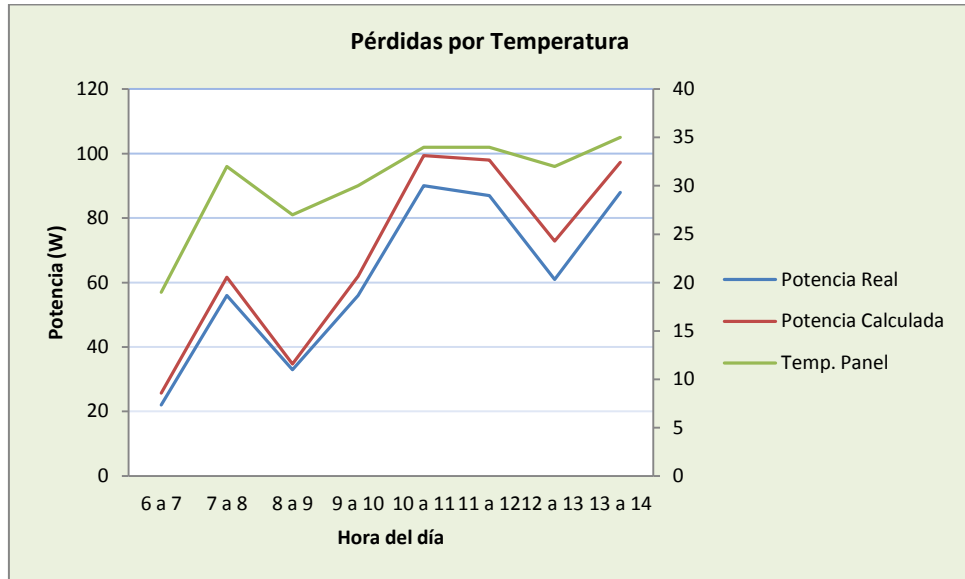


**Incremento de potencia generada o real vs radiación.**

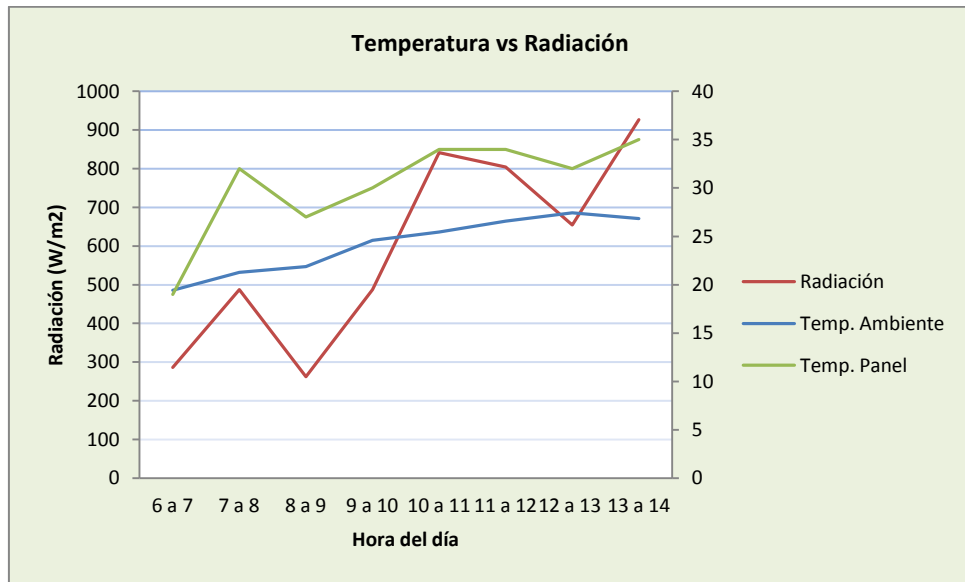




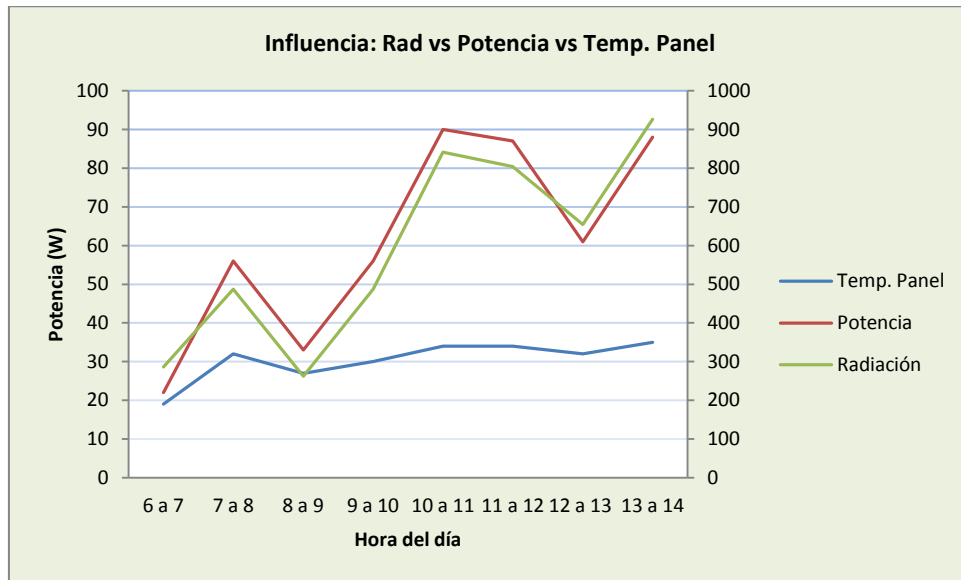
### Pérdidas por temperatura.



### Influencia de la temperatura ambiente y la radiación sobre el panel.



**Influencia de la radiación y la temperatura del panel sobre la potencia generada.**

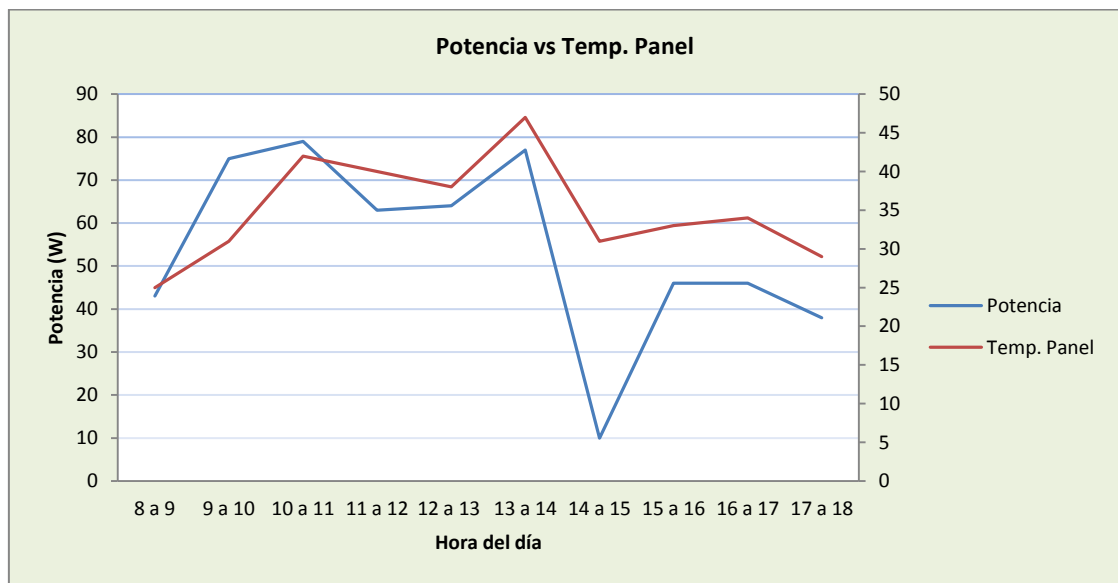


Día 17

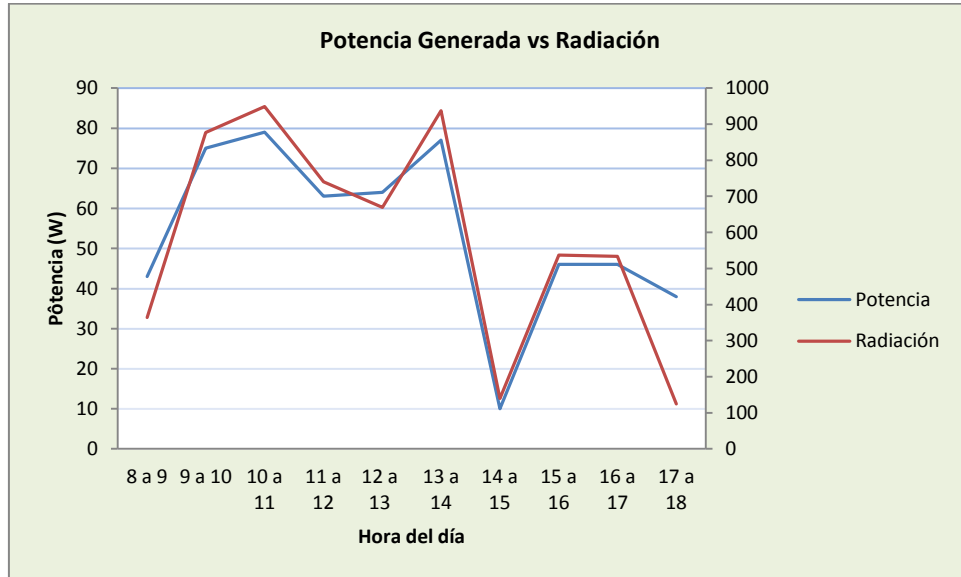
Fecha: Diciembre 28 de 2013

Lugar: Placa último piso (piso 26) del Edificio Vista Azul Campestre en la zona de Cañaverl, Área Metropolitana de Bucaramanga. Altura: 72 metros sobre el nivel del suelo.

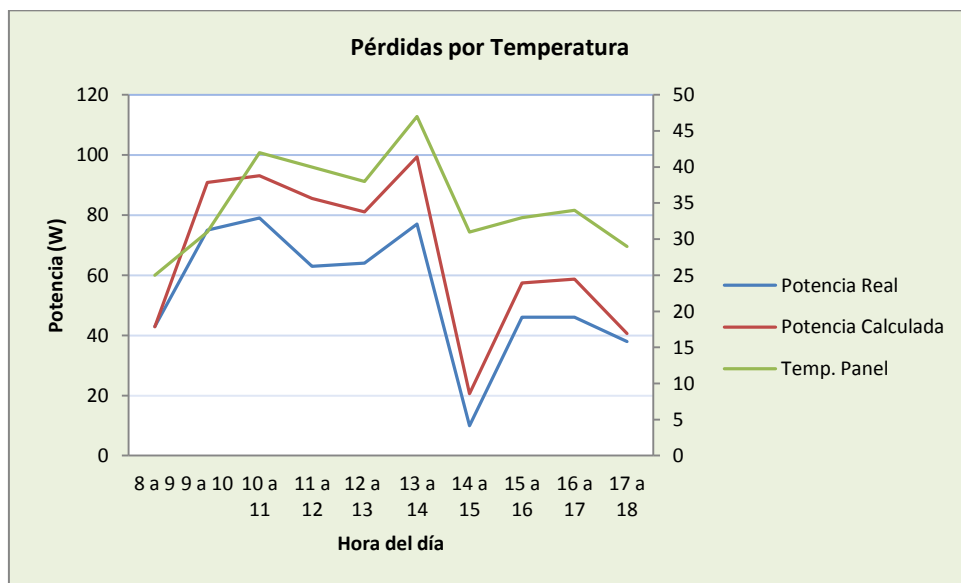
**Comportamiento de la potencia del panel con los cambios de temperatura.**



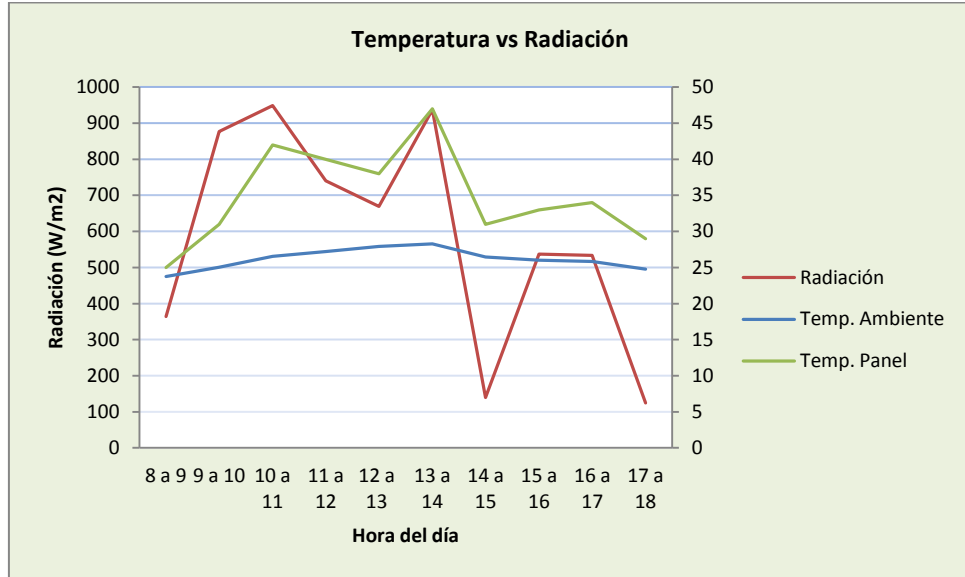
### Incremento de potencia generada o real vs radiación.



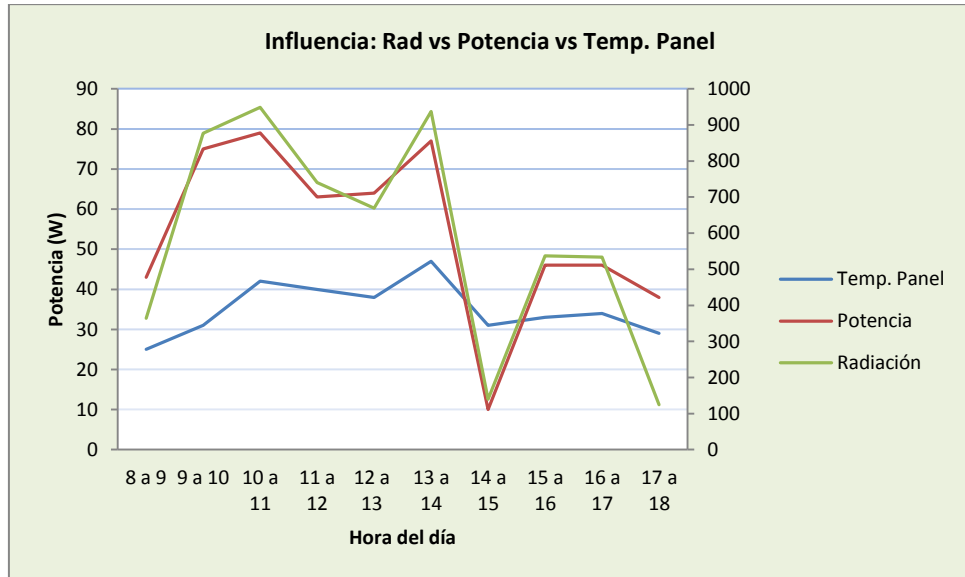
### Pérdidas por temperatura.



**Influencia de la temperatura ambiente y la radiación sobre el panel.**



**Influencia de la radiación y la temperatura del panel sobre la potencia generada.**

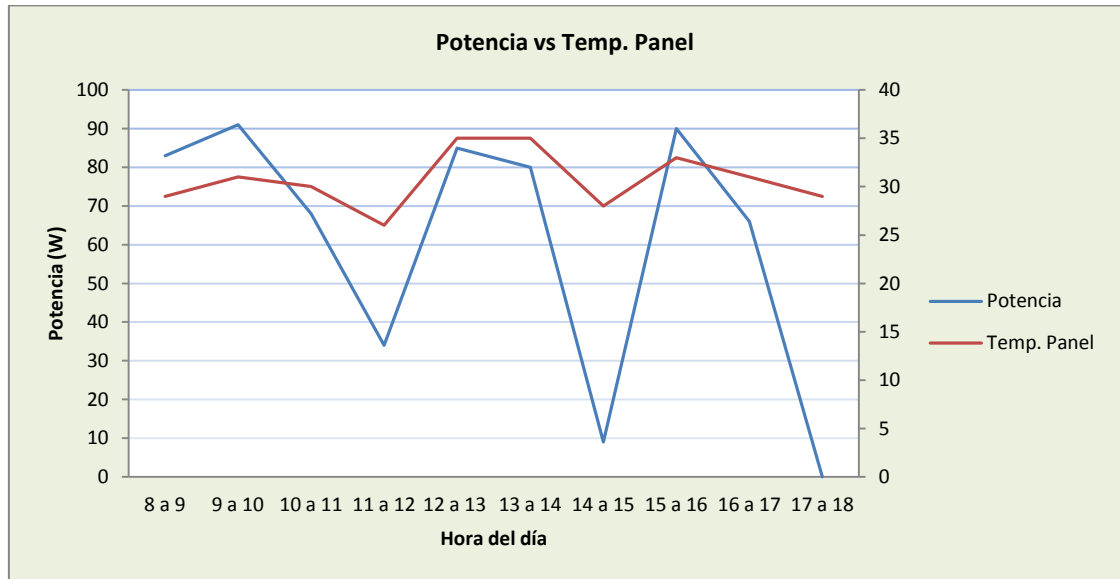


Día 18

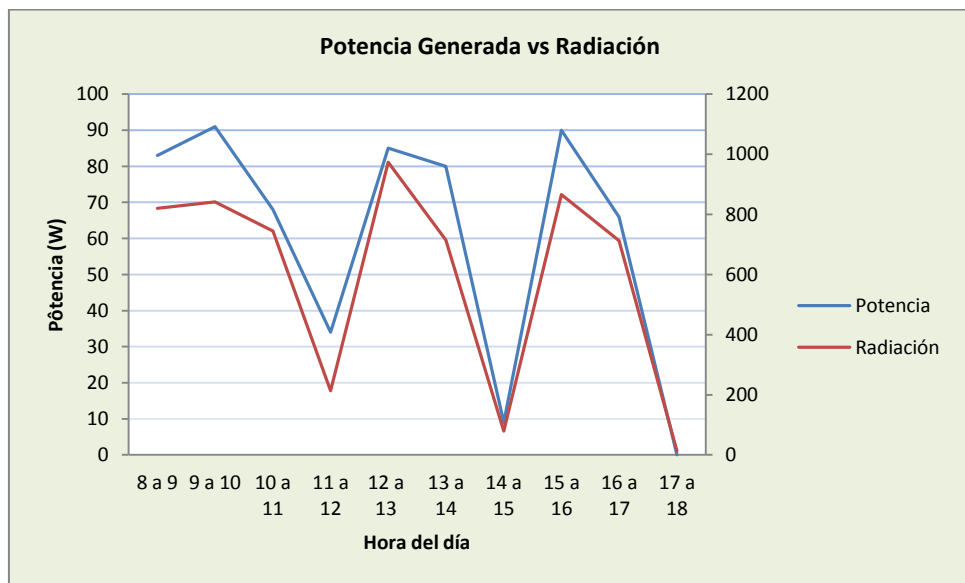
Fecha: Diciembre 29 de 2013

Lugar: Placa último piso (piso 26) del Edificio Vista Azul Campestre en la zona de Cañaveral, Área Metropolitana de Bucaramanga. Altura: 72 metros sobre el nivel del suelo.

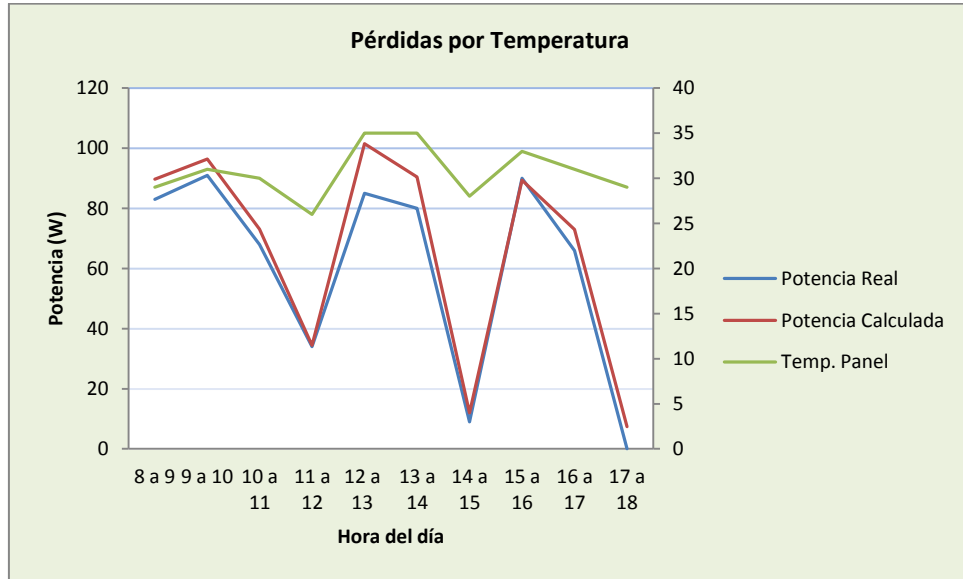
**Comportamiento de la potencia del panel con los cambios de temperatura.**



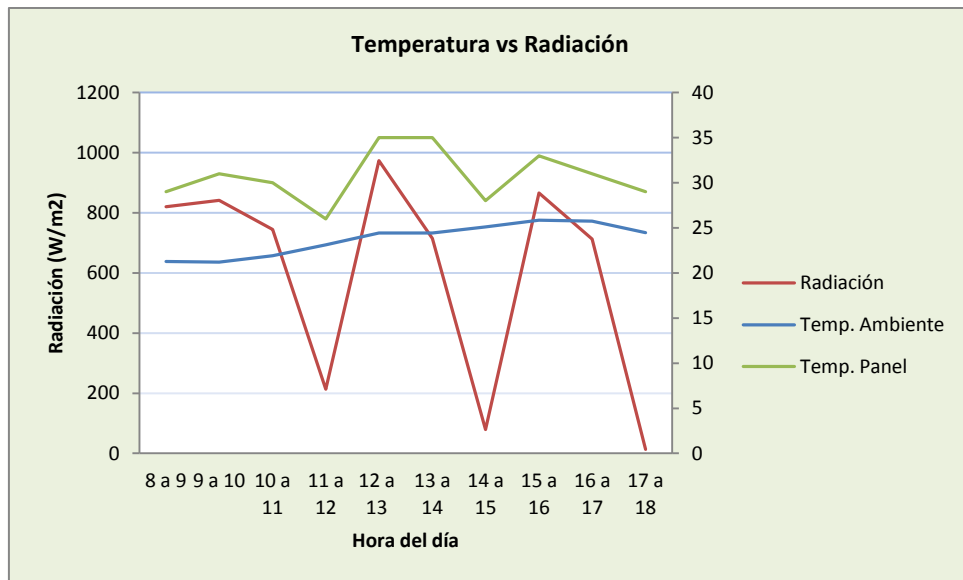
**Incremento de potencia generada o real vs radiación.**



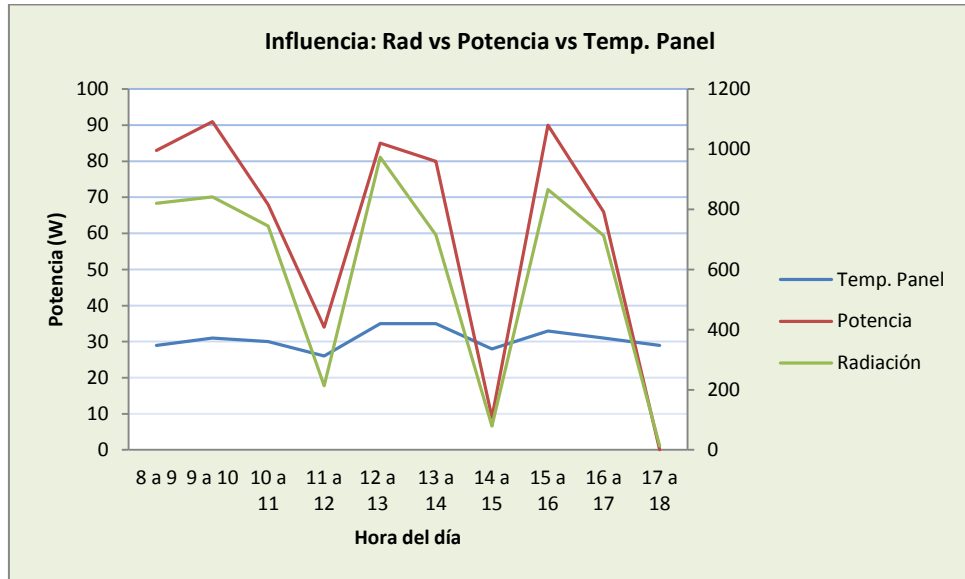
### Pérdidas por temperatura.



### Influencia de la temperatura ambiente y la radiación sobre el panel.



**Influencia de la radiación y la temperatura del panel sobre la potencia generada.**

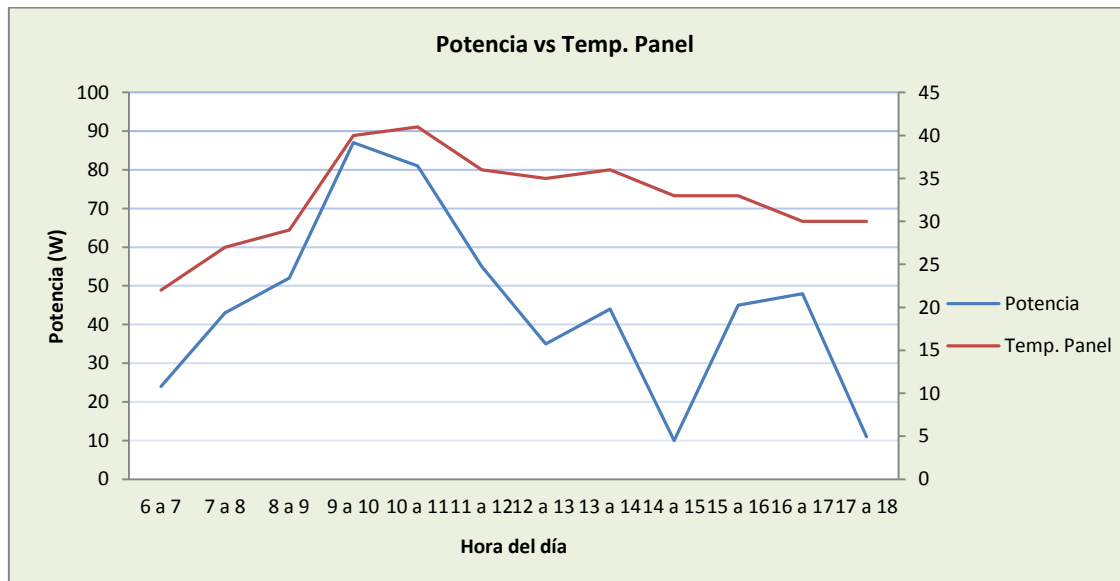


Día 19

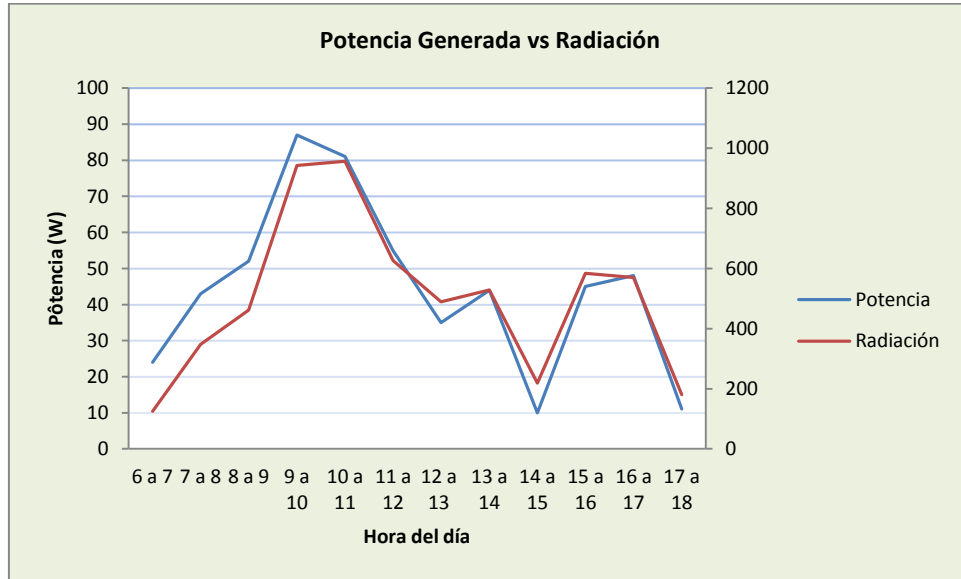
Fecha: Diciembre 30 de 2013

Lugar: Placa último piso (piso 26) del Edificio Vista Azul Campestre en la zona de Cañaveral, Área Metropolitana de Bucaramanga. Altura: 72 metros sobre el nivel del suelo.

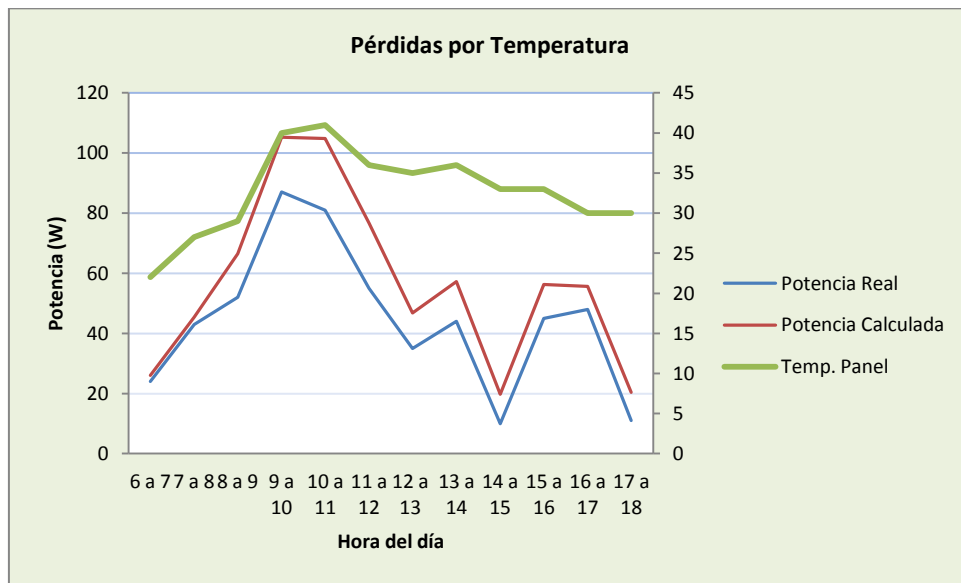
**Comportamiento de la potencia del panel con los cambios de temperatura.**



### Incremento de potencia generada o real vs radiación.

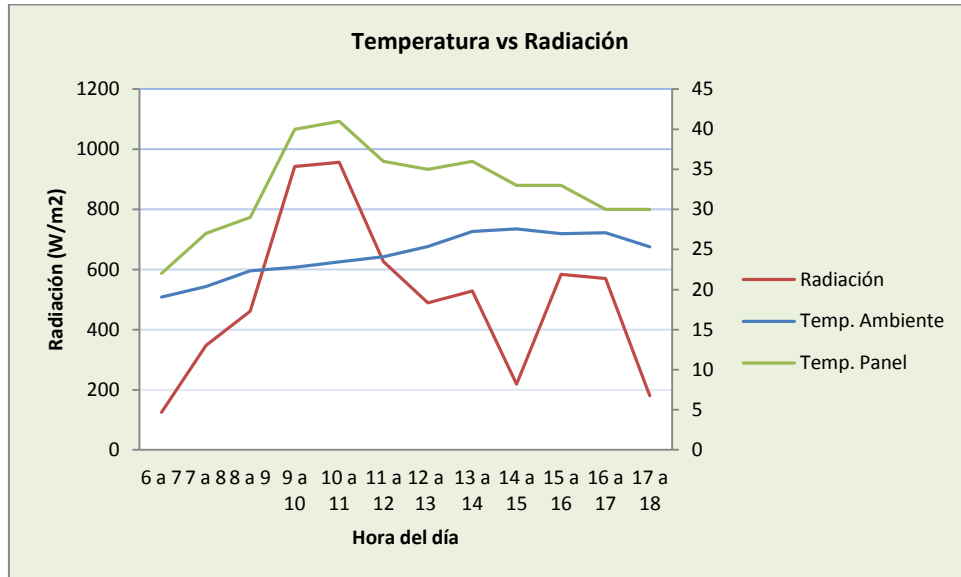


### Pérdidas por temperatura.

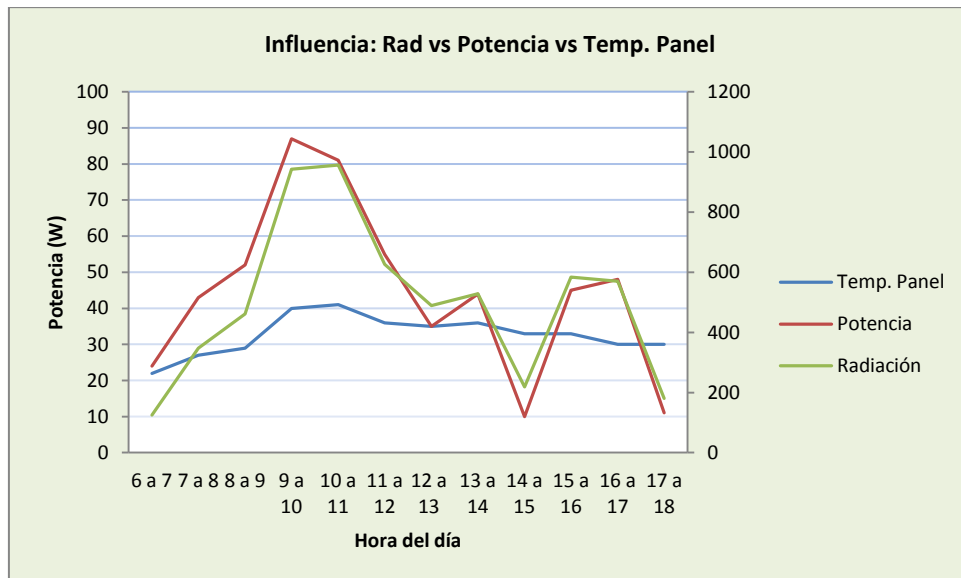




### Influencia de la temperatura ambiente y la radiación sobre el panel.



### Influencia de la radiación y la temperatura del panel sobre la potencia generada.

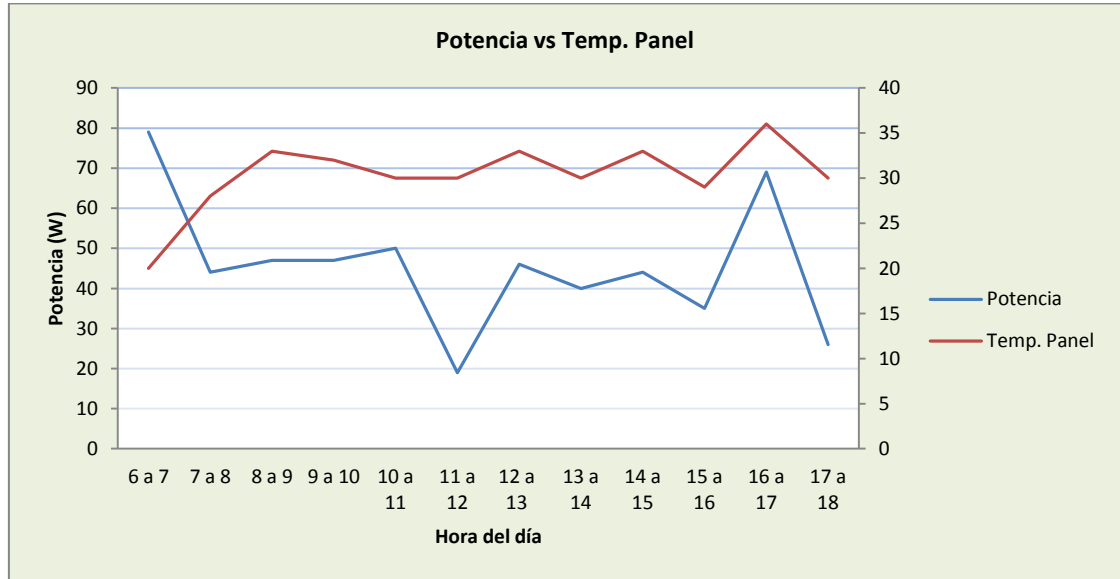


Día 20

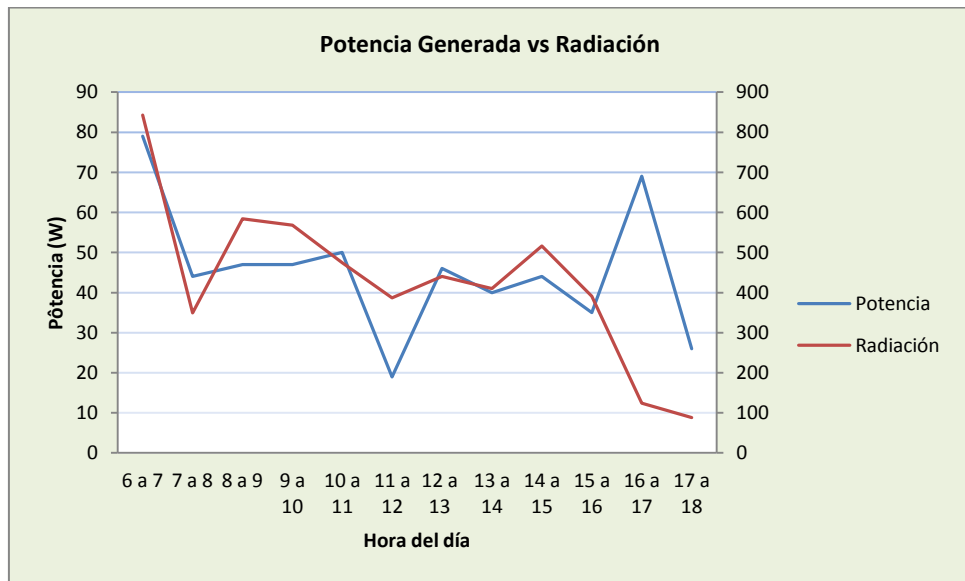
Fecha: Diciembre 31 de 2013

Lugar: Placa último piso (piso 26) del Edificio Vista Azul Campestre en la zona de Cañaveral, Área Metropolitana de Bucaramanga. Altura: 72 metros sobre el nivel del suelo.

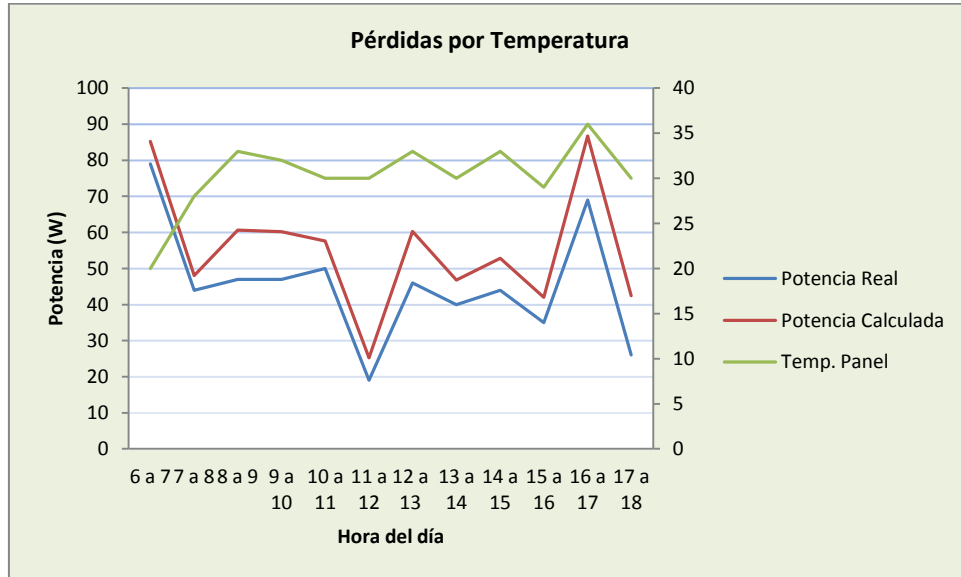
**Comportamiento de la potencia del panel con los cambios de temperatura.**



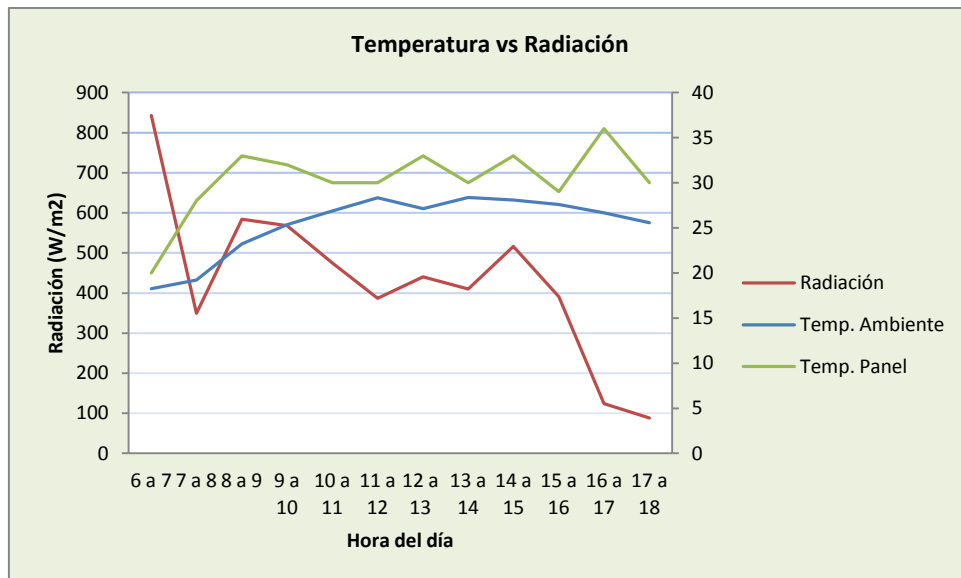
**Incremento de potencia generada o real vs radiación.**



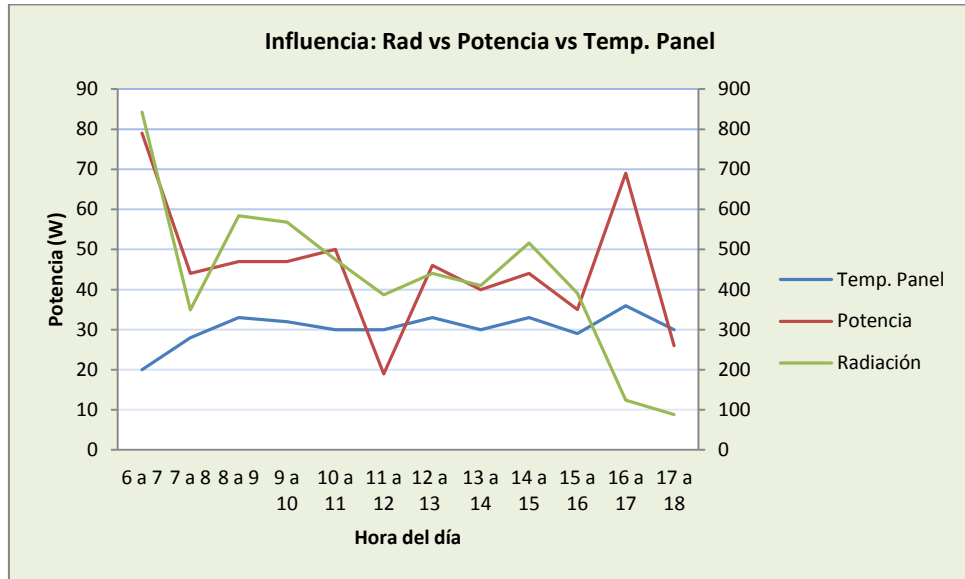
### Pérdidas por temperatura.



### Influencia de la temperatura ambiente y la radiación sobre el panel.



**Influencia de la radiación y la temperatura del panel sobre la potencia generada.**

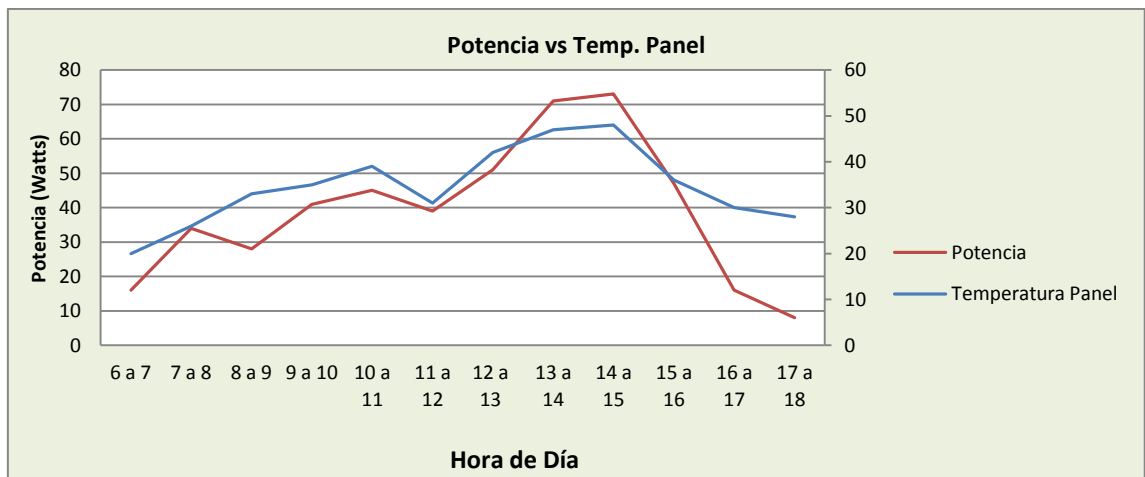


Día 21

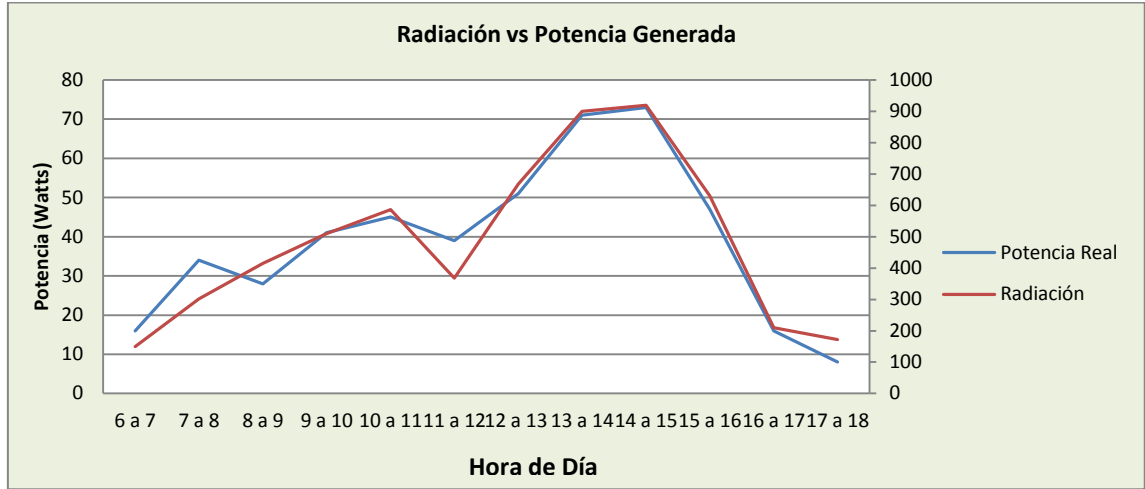
Fecha: Enero 2 de 2013

Lugar: Placa último piso (piso 26) del Edificio Vista Azul Campestre en la zona de Cañaverall, Área Metropolitana de Bucaramanga. Altura: 72 metros sobre el nivel del suelo.

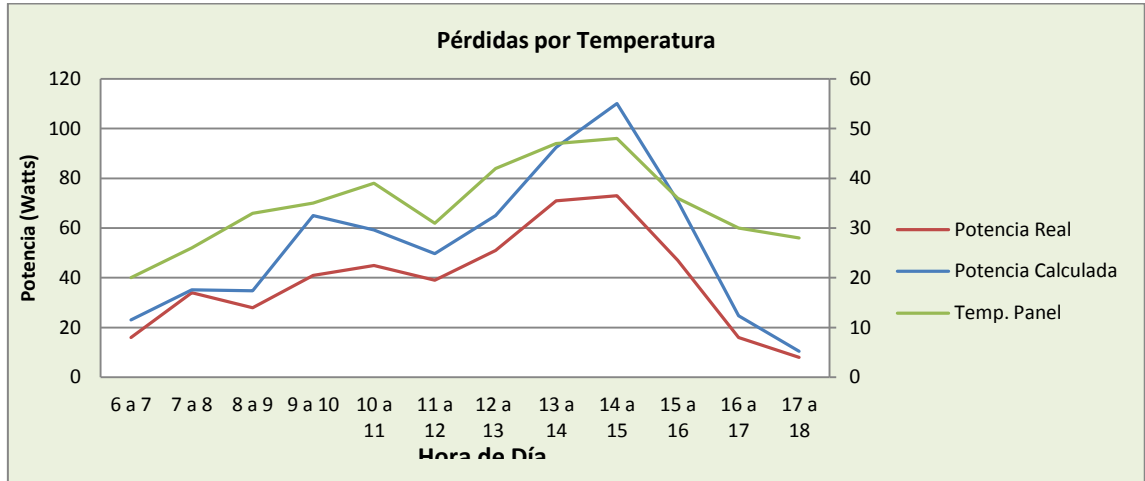
**Comportamiento de la potencia del panel con los cambios de temperatura.**



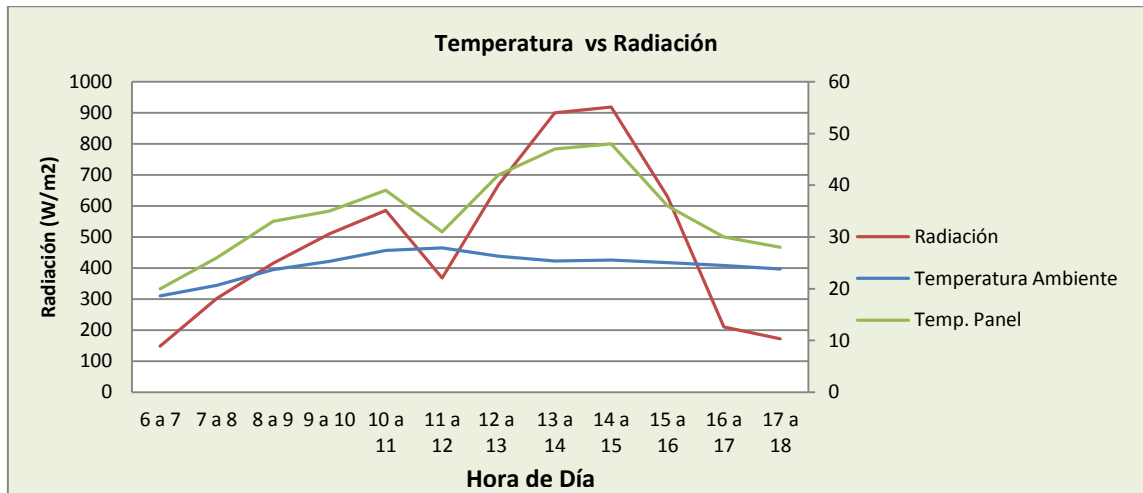
### Incremento de potencia generada o real vs radiación.



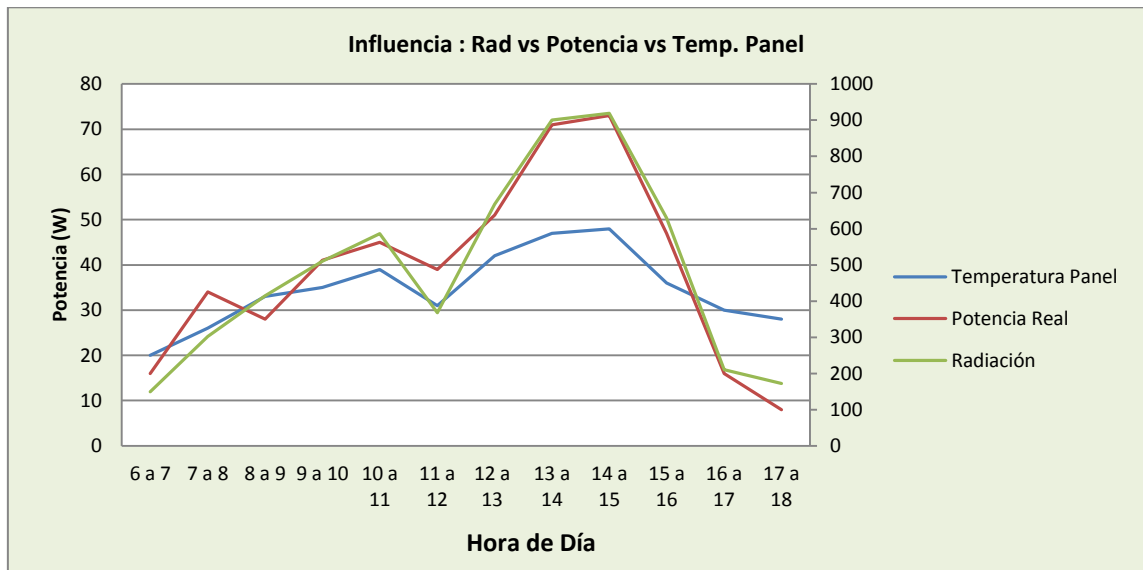
### Pérdidas por temperatura.



**Influencia de la temperatura ambiente y la radiación sobre el panel.**



**Influencia de la radiación y la temperatura del panel sobre la potencia generada.**

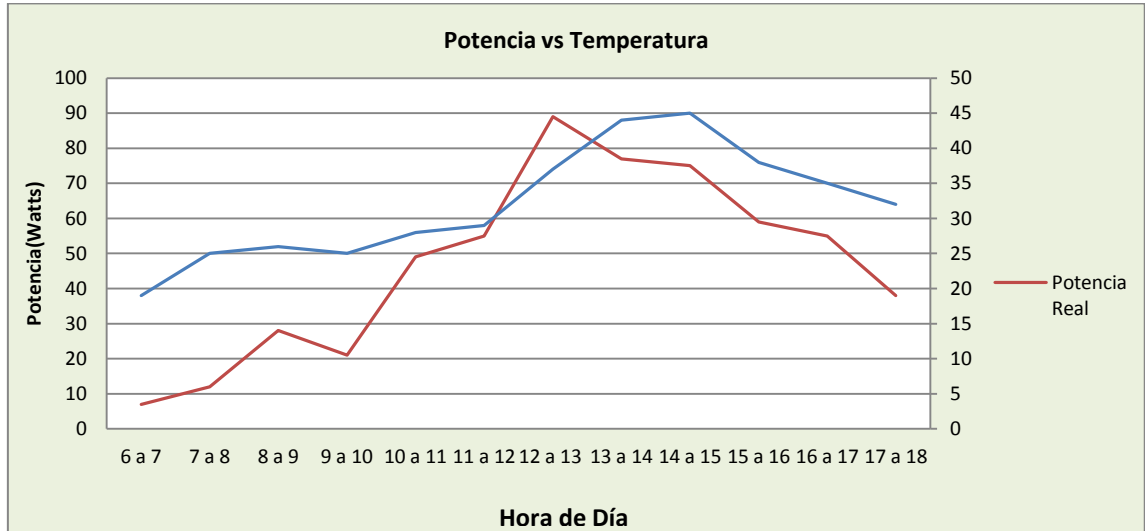


Día 22

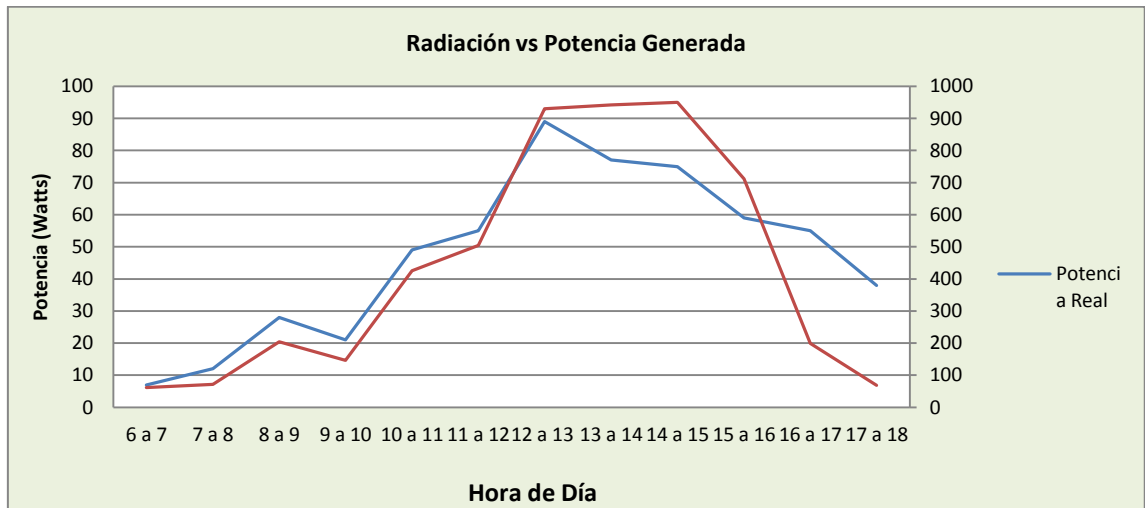
Fecha: Enero 3 de 2013

Lugar: Placa último piso (piso 26) del Edificio Vista Azul Campestre en la zona de Cañaveral, Área Metropolitana de Bucaramanga. Altura: 72 metros sobre el nivel del suelo.

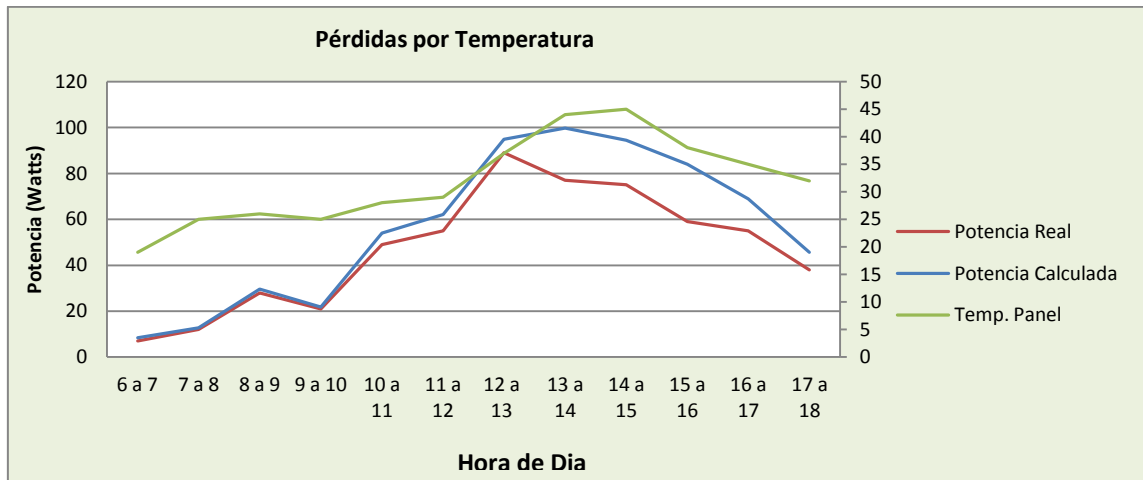
### Comportamiento de la potencia del panel con los cambios de temperatura.



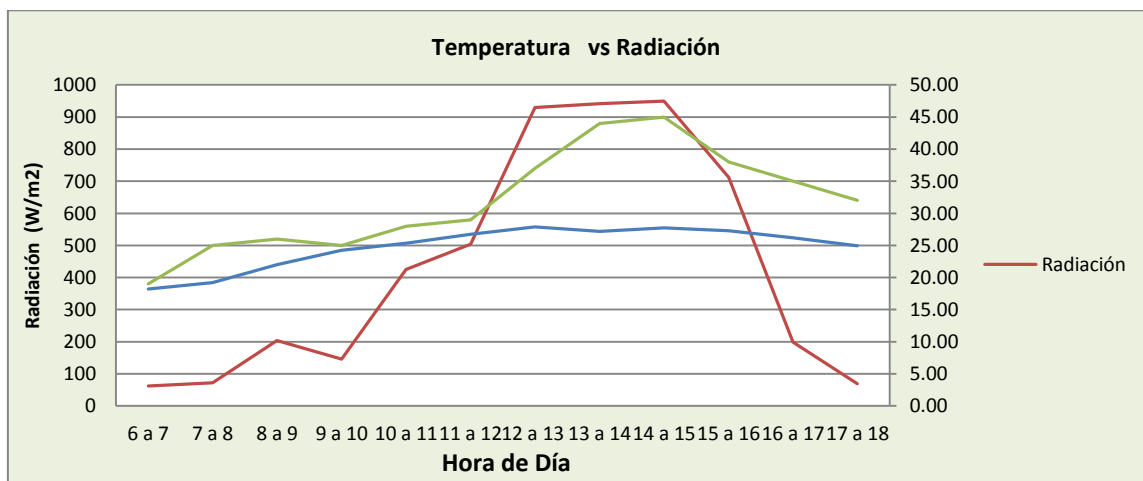
### Incremento de potencia generada o real vs radiación.



### Pérdidas por temperatura.

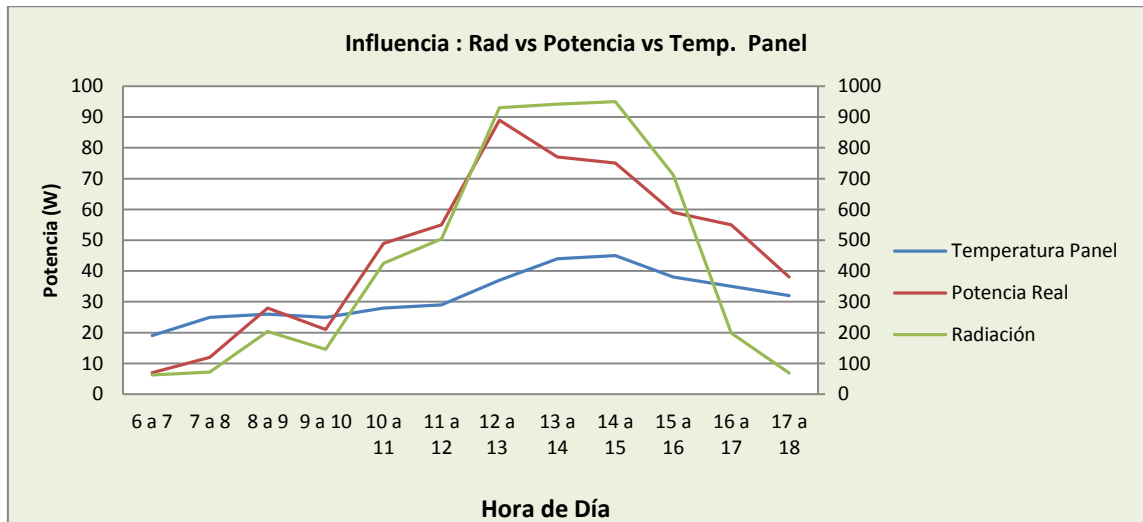


### Influencia de la temperatura ambiente y la radiación sobre el panel.





**Influencia de la radiación y la temperatura del panel sobre la potencia generada.**

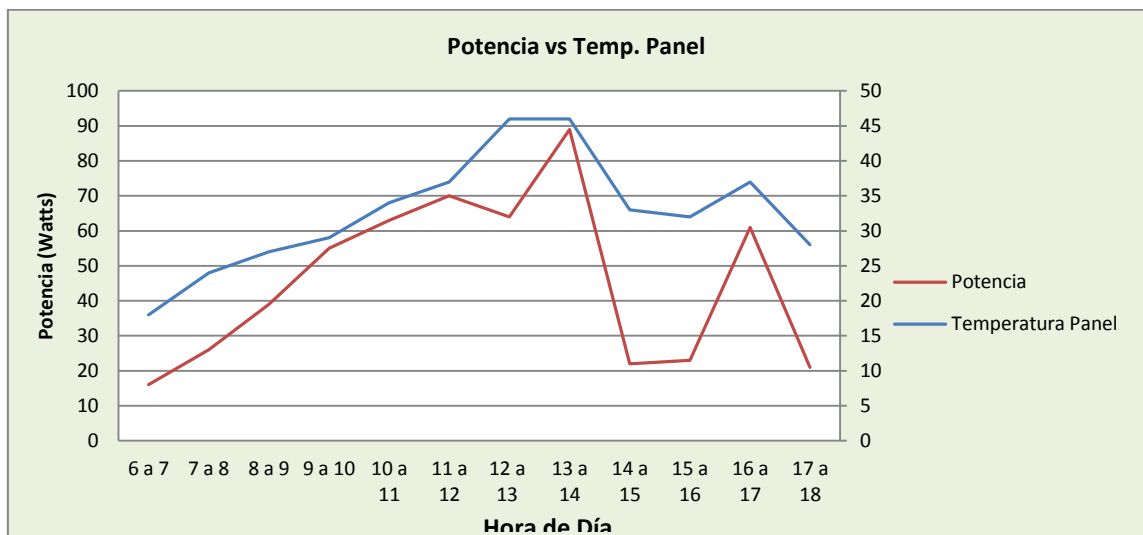


Día 23

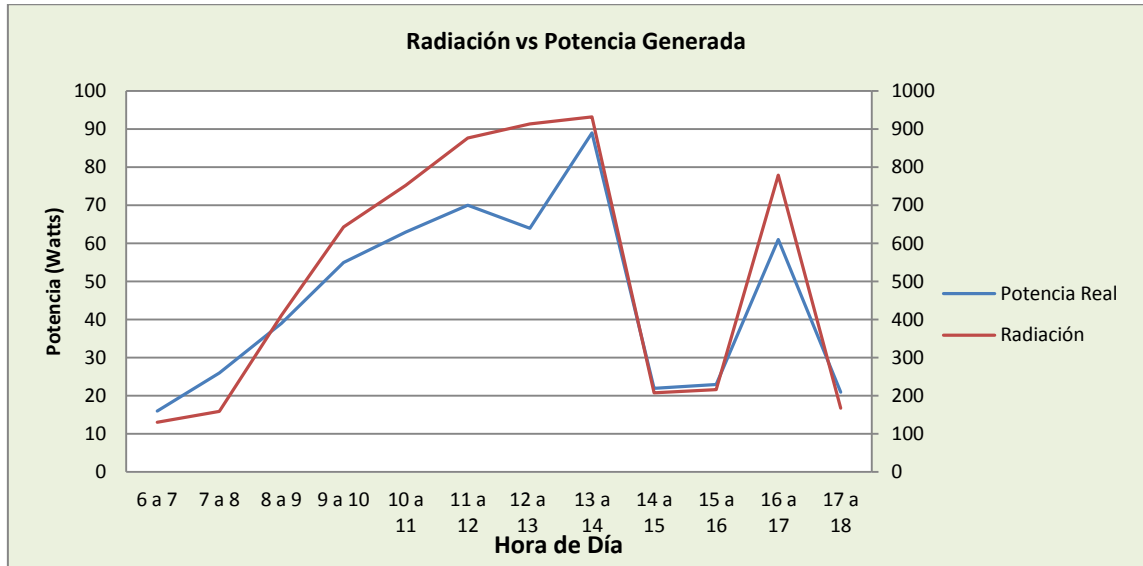
Fecha: Enero 4 de 2013

Lugar: Placa último piso (piso 26) del Edificio Vista Azul Campestre en la zona de Cañaveral, Área Metropolitana de Bucaramanga. Altura: 72 metros sobre el nivel del suelo.

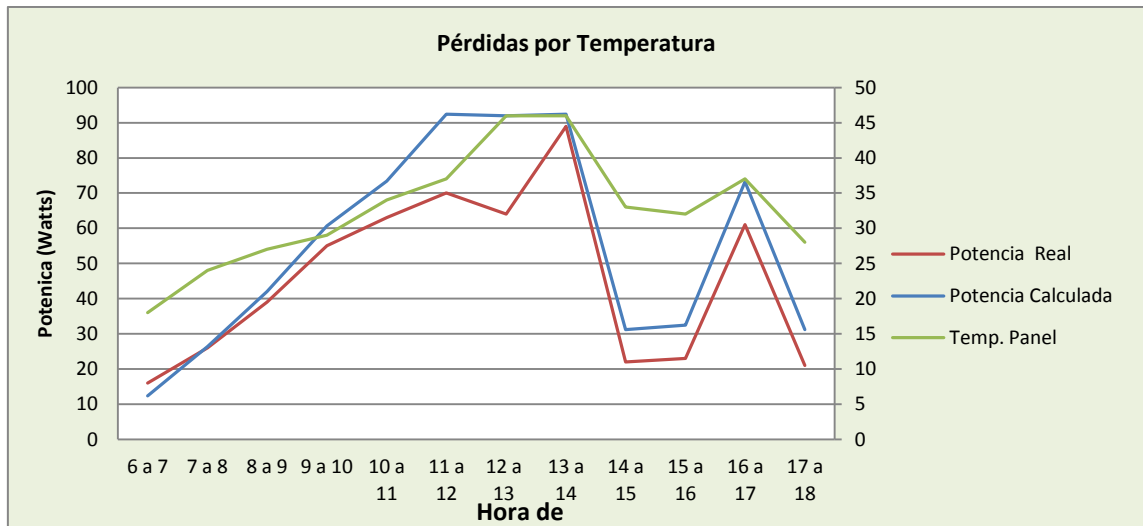
**Comportamiento de la potencia del panel con los cambios de temperatura.**



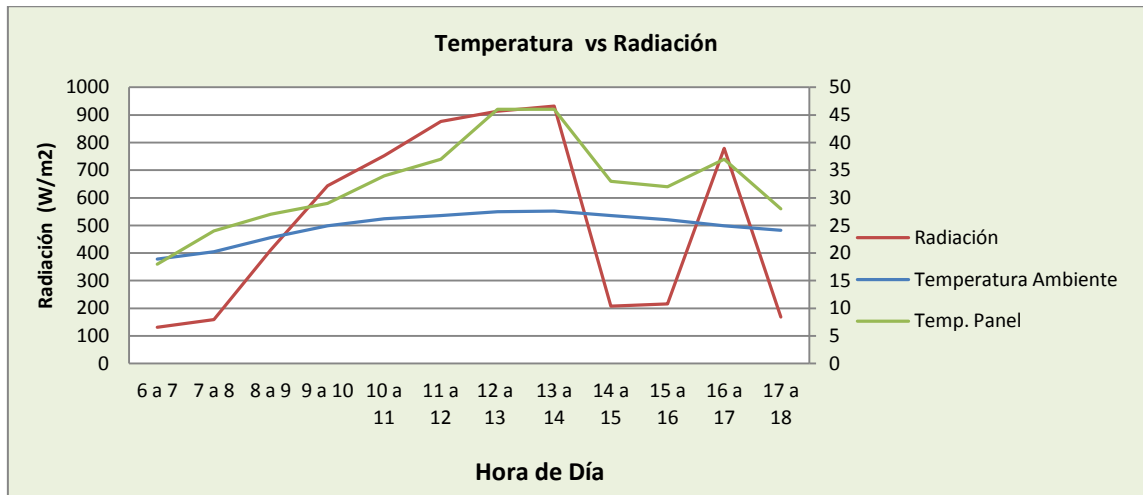
### Incremento de potencia generada o real vs radiación.



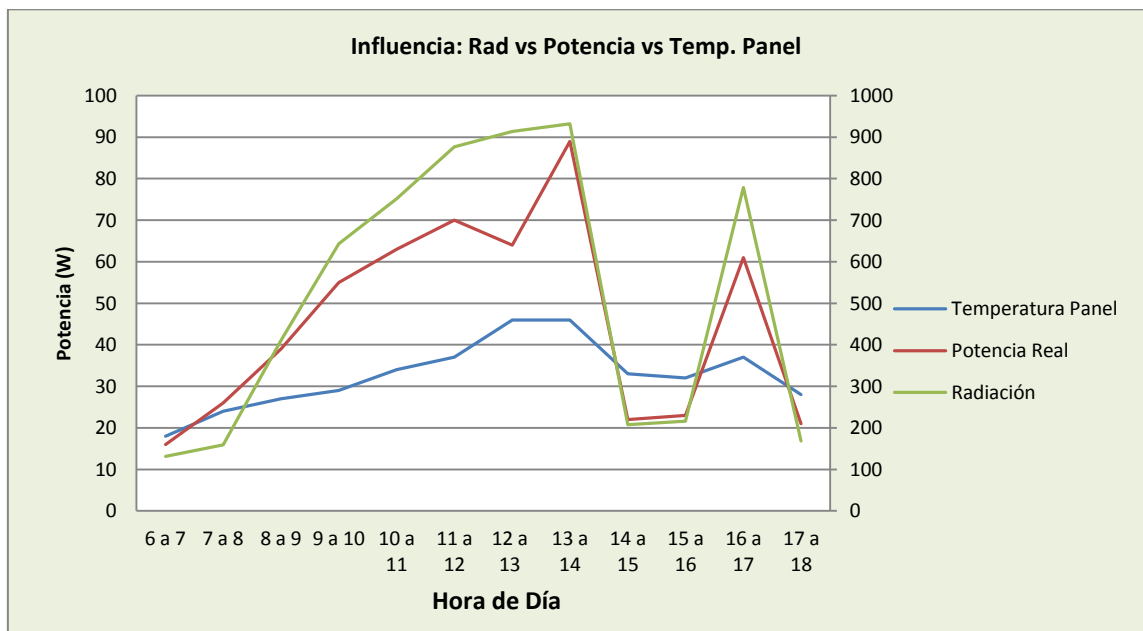
### Pérdidas por temperatura.



### Influencia de la temperatura ambiente y la radiación sobre el panel.



### Influencia de la radiación y la temperatura del panel sobre la potencia generada.

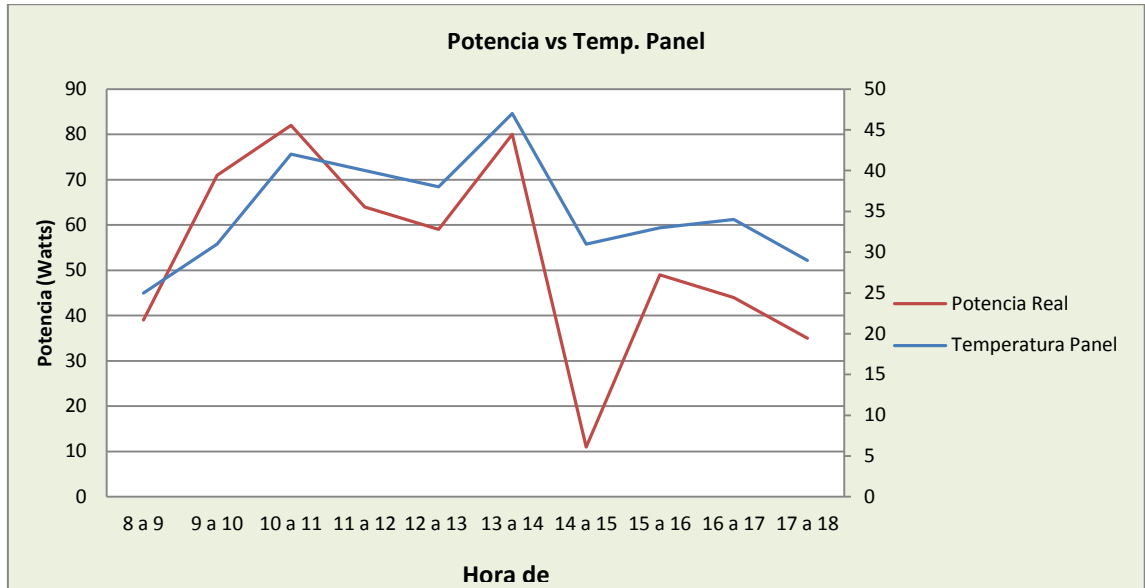


Día 24

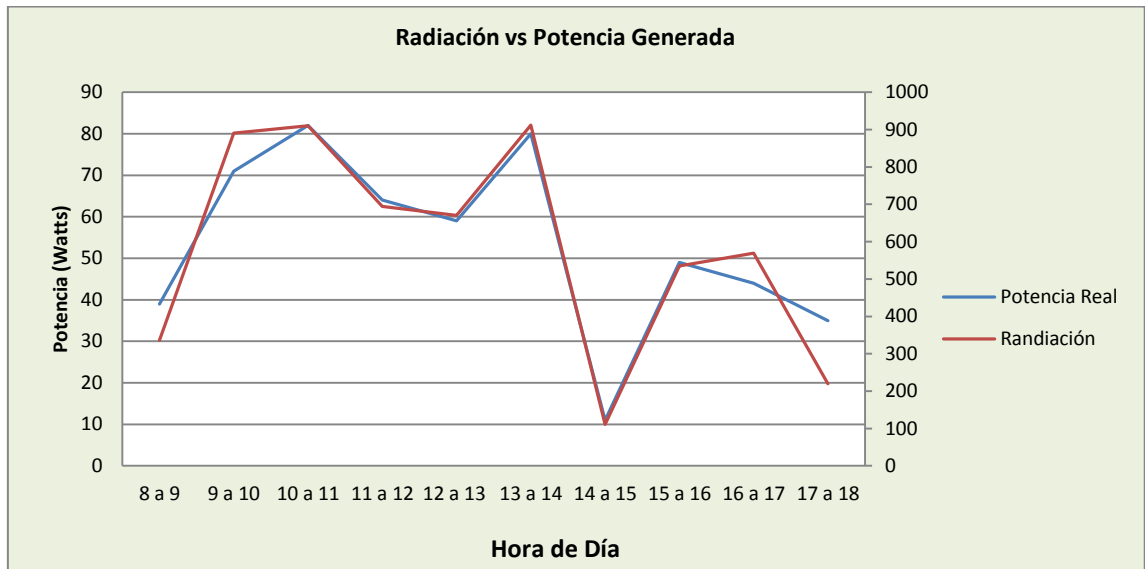
Fecha: Enero 5 de 2013

Lugar: Placa último piso (piso 26) del Edificio Vista Azul Campestre en la zona de Cañaveral, Área Metropolitana de Bucaramanga. Altura: 72 metros sobre el nivel del suelo.

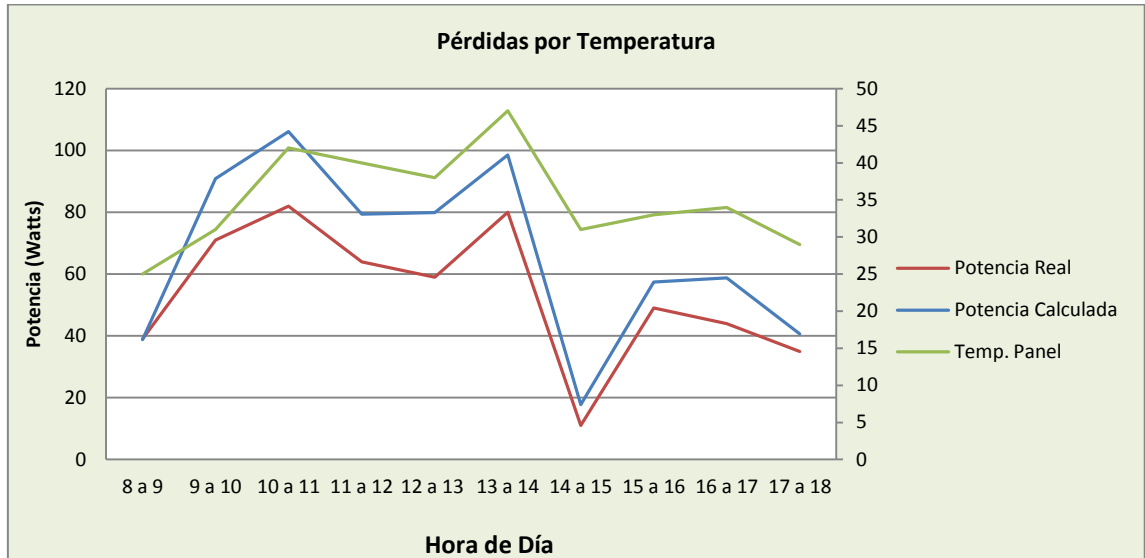
### Comportamiento de la potencia del panel con los cambios de temperatura.



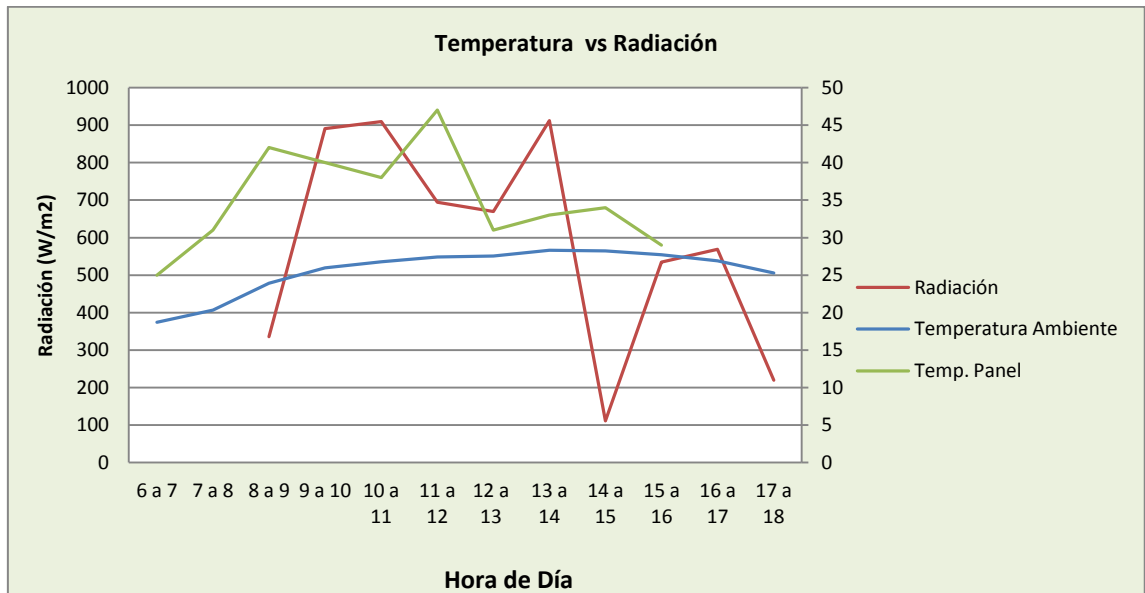
### Incremento de potencia generada o real vs radiación.



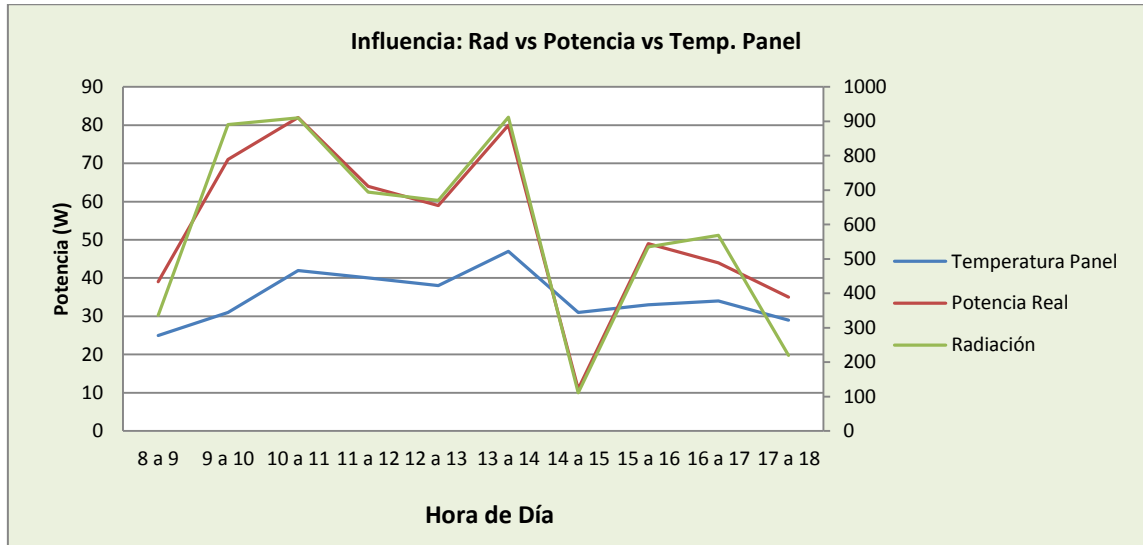
### Pérdidas por temperatura.



### Influencia de la temperatura ambiente y la radiación sobre el panel.



**Influencia de la radiación y la temperatura del panel sobre la potencia generada.**

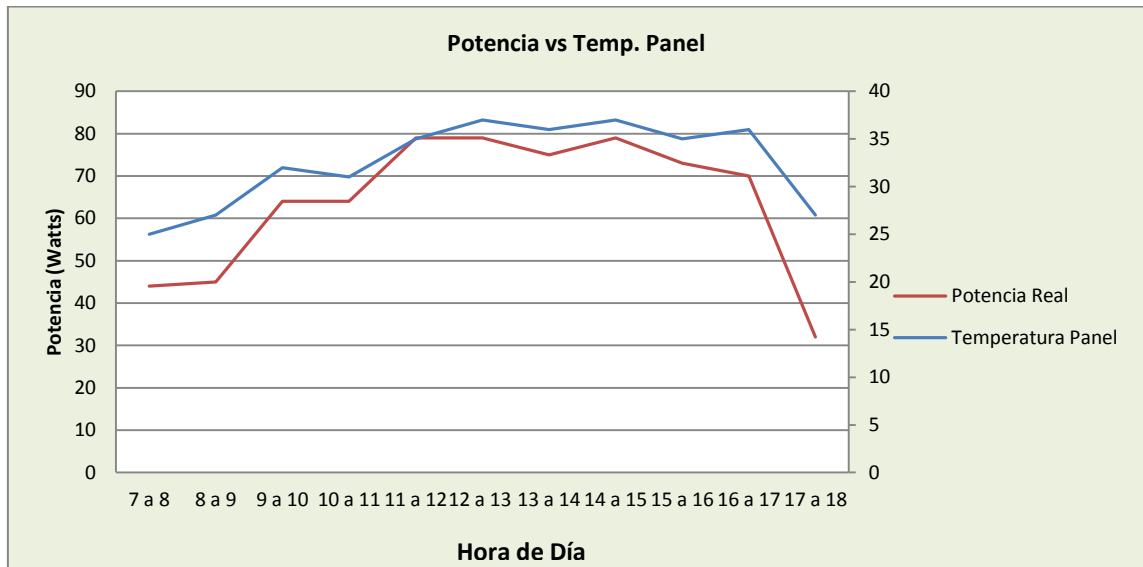


Día 25

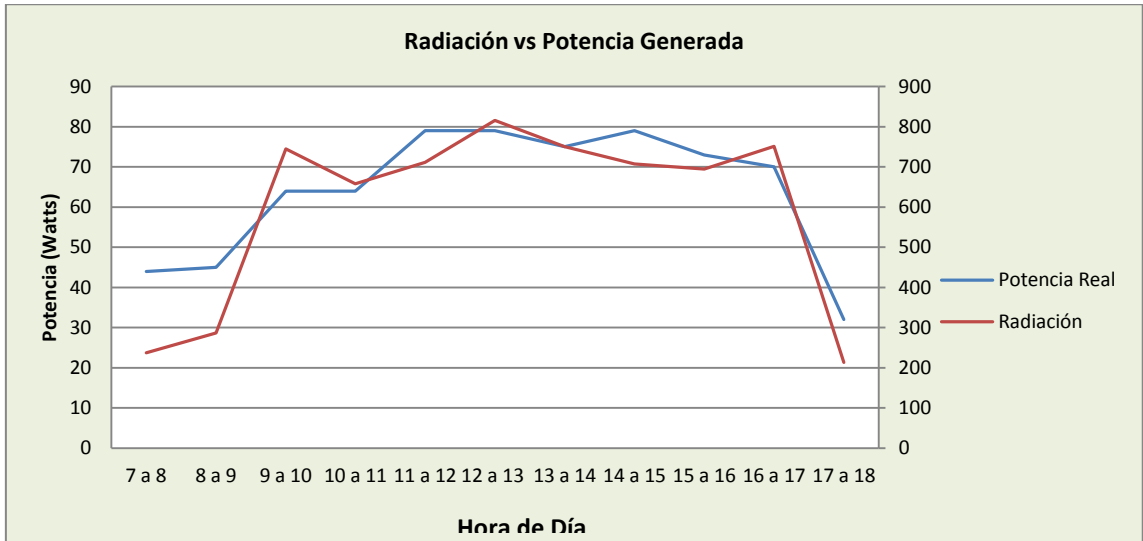
Fecha: Enero 6 de 2013

Lugar: Placa último piso (piso 26) del Edificio Vista Azul Campestre en la zona de Cañaveral, Área Metropolitana de Bucaramanga. Altura: 72 metros sobre el nivel del suelo.

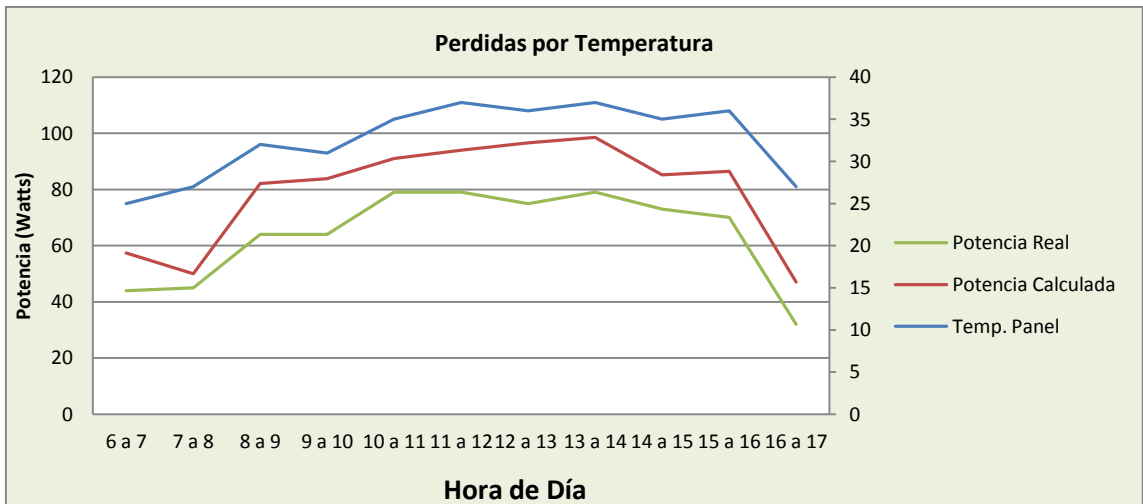
**Comportamiento de la potencia del panel con los cambios de temperatura.**



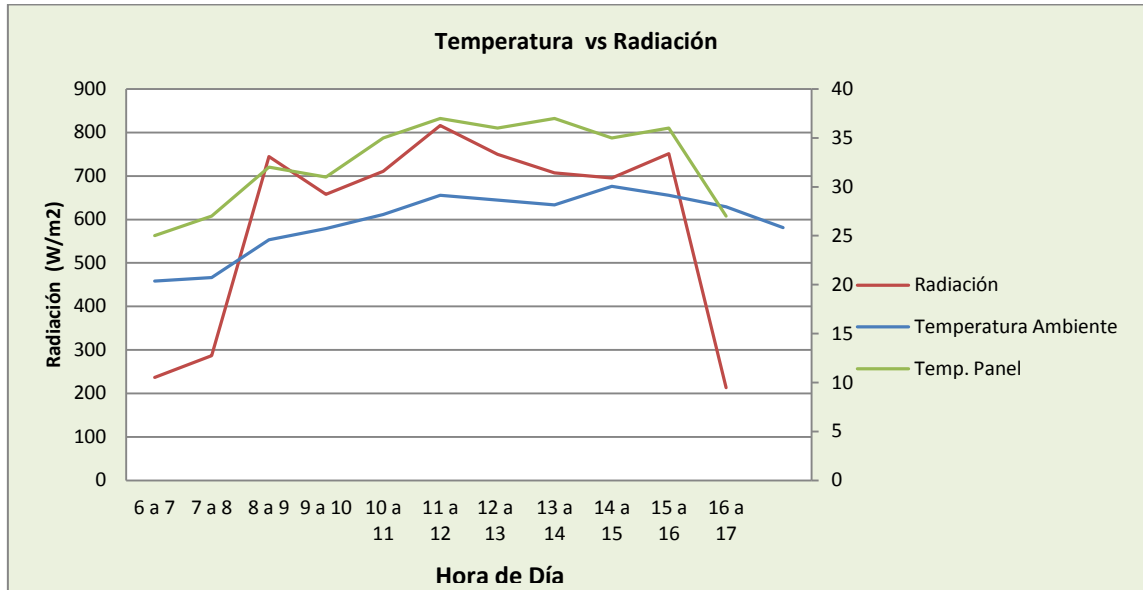
### Incremento de potencia generada o real vs radiación.



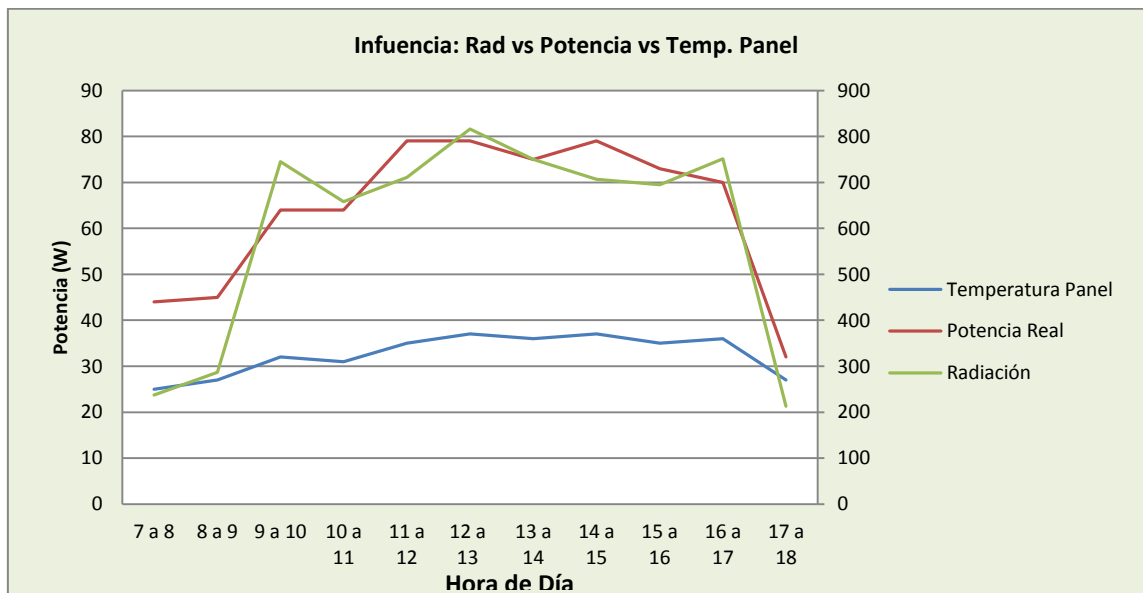
### Pérdidas por temperatura.



### Influencia de la temperatura ambiente y la radiación sobre el panel.



### Influencia de la radiación y la temperatura del panel sobre la potencia generada.



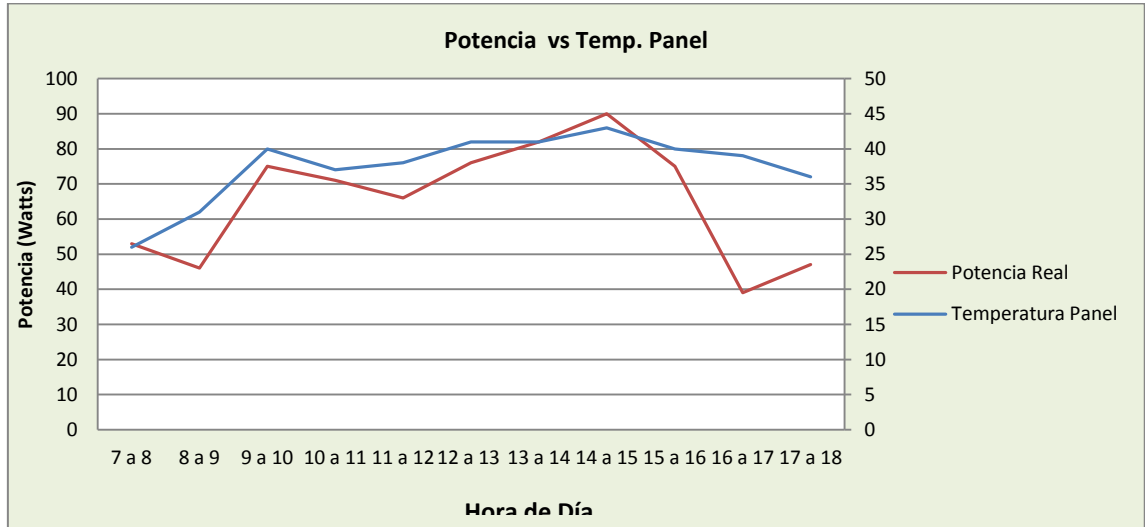


Día 26

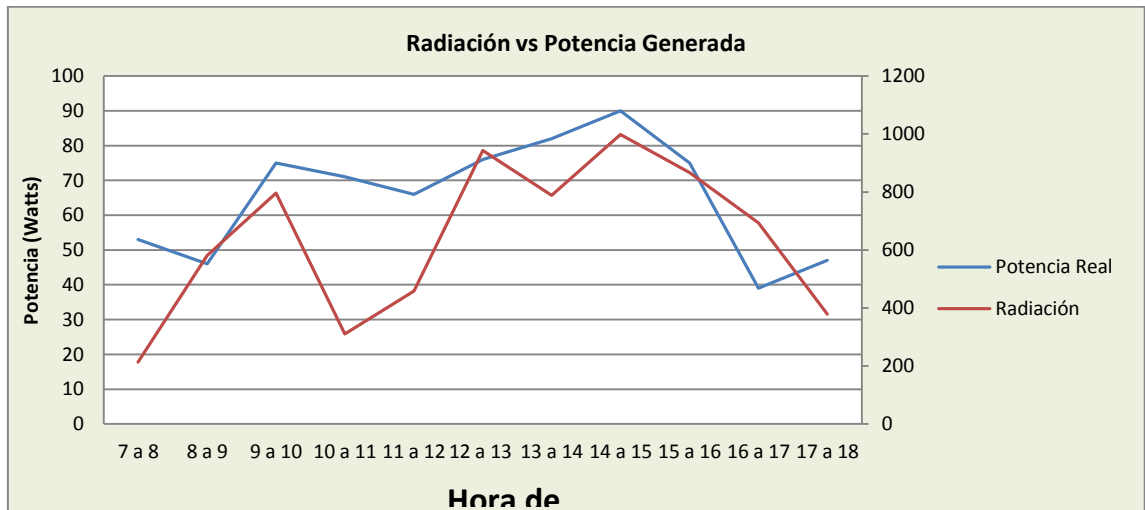
Fecha: Enero 7 de 2013

Lugar: Placa último piso (piso 26) del Edificio Vista Azul Campestre en la zona de Cañaveral, Área Metropolitana de Bucaramanga. Altura: 72 metros sobre el nivel del suelo.

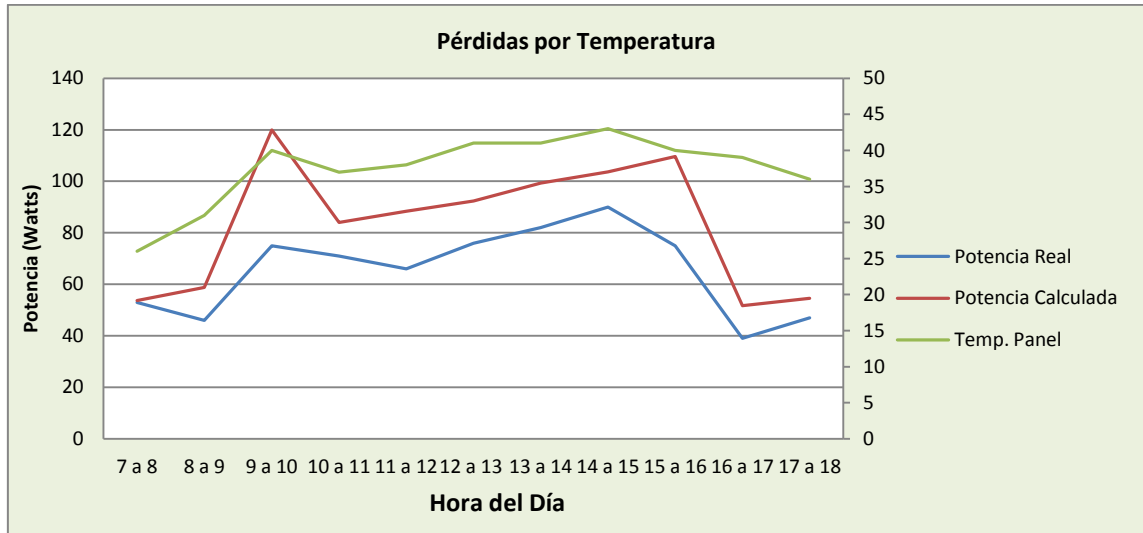
**Comportamiento de la potencia del panel con los cambios de temperatura.**



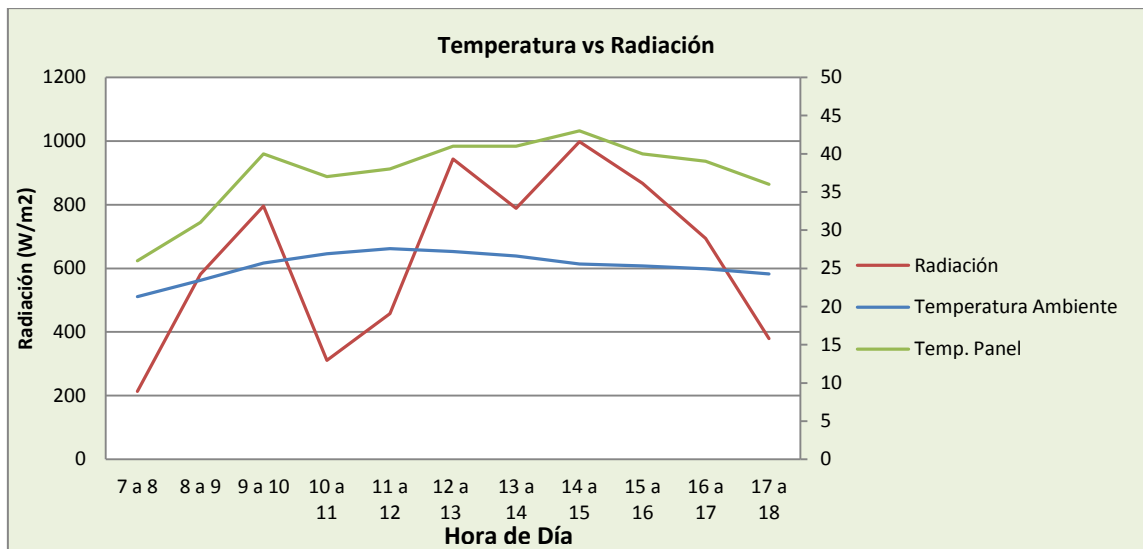
**Incremento de potencia generada o real vs radiación.**



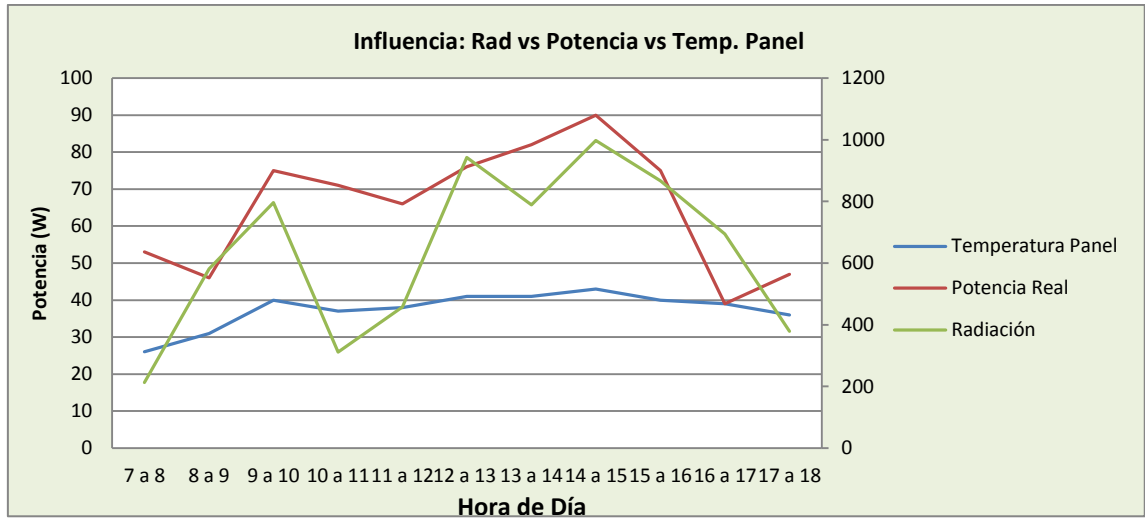
### Pérdidas por temperatura.



### Influencia de la temperatura ambiente y la radiación sobre el panel.



**Influencia de la radiación y la temperatura del panel sobre la potencia generada.**



### Anexo C. Registro de las velocidades de viento durante el período de medición (m/s).

Horas	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14	Día 15	Día 16	Día 17	Día 18	Día 19	Día 20	Día 21	Día 22	Día 23	Día 24	Día 25	Día 26	PROMEDIO	
0	1	1,32	0,00	0,20	0,00	0,00	0,22	0,00	0,07	1,63	0,87	2,62	3,65	2,58	3,80	2,90	3,87	2,38	1,23	0,30	0,07	0,00	0,00	0,00	0,43	0,07	0,00	1,08
1	2	1,02	0,00	1,70	0,00	0,13	0,58	0,28	0,87	1,80	2,90	2,98	4,25	2,50	3,72	2,90	4,63	0,43	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00	0,13	0,00	0,07	0,13	1,20
2	3	1,62	0,35	0,37	0,00	0,58	0,20	0,63	2,00	2,32	3,33	1,83	2,83	2,15	5,22	2,08	2,90	0,00	0,00	0,07	0,35	0,00	0,13	0,00	0,00	0,45	0,00	1,13
3	4	1,70	0,13	0,95	0,00	0,20	0,63	1,70	2,67	3,33	3,52	2,75	3,42	2,60	3,63	0,87	2,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,22	0,07	0,42	1,23
4	5	1,55	0,13	0,55	0,00	0,72	2,30	1,47	3,50	4,33	3,50	3,73	3,88	2,68	3,27	0,35	0,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,07	0,00	0,07	0,00	1,26
5	6	0,60	0,00	0,00	0,00	2,28	3,20	2,45	3,35	3,72	1,63	2,45	1,68	2,37	0,63	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,15	0,00	0,15	0,07	0,00	0,07	0,00	0,96
6	7	0,13	0,00	0,22	0,35	2,52	3,95	2,45	3,88	3,88	1,25	2,30	1,78	1,18	0,00	0,00	0,13	0,13	0,07	0,00	0,00	0,00	0,72	0,07	0,00	0,00	0,63	0,99
7	8	0,20	0,27	1,32	1,53	2,90	2,02	2,13	3,72	3,33	0,57	2,15	1,25	0,00	0,22	0,00	0,13	0,00	0,00	0,20	0,28	0,00	0,00	0,22	0,43	0,22	1,02	0,93
8	9	0,33	2,07	2,52	1,93	3,03	1,77	1,93	3,57	2,60	0,93	0,60	0,27	0,00	0,07	0,07	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,37	0,07	2,77	0,97
9	10	2,80	2,38	3,25	2,20	1,32	3,43	3,72	1,92	1,55	0,07	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	1,35	1,57	2,75	1,10
10	11	2,38	4,23	2,97	2,90	2,22	3,87	1,78	0,27	0,00	0,00	0,00	0,28	0,00	0,07	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,37	0,13	0,07	0,50	1,70	2,22	2,75	1,11
11	12	2,30	3,57	1,63	2,15	1,70	3,05	1,38	0,00	0,20	0,00	0,13	0,78	0,00	0,07	0,13	0,00	0,00	0,07	0,07	0,00	0,20	0,93	2,00	2,07	2,90	3,05	1,09
12	13	3,37	3,95	3,65	1,08	2,68	0,00	0,58	0,00	0,07	0,07	0,00	0,00	0,00	1,55	0,07	0,00	0,00	0,00	0,20	0,22	0,30	0,78	2,37	3,63	3,57	2,90	1,19
13	14	1,70	2,82	4,63	0,90	0,42	0,00	0,13	0,00	0,07	0,00	0,00	0,37	0,07	0,07	0,37	0,07	0,00	0,20	0,20	0,48	1,57	1,32	2,90	4,10	2,88	3,87	1,12
14	15	3,03	2,52	3,88	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,42	0,97	0,13	0,00	0,00	0,13	0,20	0,22	0,13	0,13	0,27	1,72	1,78	2,38	5,37	3,72	3,87	3,03	1,31
15	16	3,88	0,50	2,43	0,13	0,00	0,00	0,00	0,15	0,13	0,13	0,00	0,27	0,30	0,22	0,00	0,00	0,52	1,10	1,62	2,37	1,25	2,75	3,22	1,40	1,92	4,33	1,10
16	17	3,42	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,07	0,00	0,22	0,00	0,43	0,07	0,00	0,20	1,85	2,75	3,35	2,52	4,50	2,00	0,78	1,62	3,12	1,04
17	18	1,15	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,22	0,07	0,72	3,05	2,77	2,97	2,22	5,32	3,40	0,78	0,93	1,70	1,00
18	19	0,00	0,07	0,13	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,20	0,13	0,20	0,20	0,30	0,37	0,13	0,00	0,85	4,33	2,67	3,80	2,68	4,92	4,40	0,35	0,37	0,07	1,01
19	20	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,28	0,00	0,28	0,13	0,27	1,62	1,60	0,07	0,63	4,70	0,82	4,32	1,62	3,27	3,43	0,00	0,07	0,00	0,89
20	21	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28	1,10	0,72	0,15	0,00	0,27	2,23	2,43	0,72	1,93	4,25	1,77	2,07	1,78	1,57	2,02	0,00	0,07	0,07	0,90
21	22	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,35	0,22	0,00	0,00	0,28	0,65	0,20	0,95	2,75	3,65	1,77	3,28	2,58	2,02	0,48	0,43	0,07	0,88	0,22	0,00	0,07	0,80
22	23	0,00	0,00	0,80	0,28	0,13	0,00	0,22	0,00	0,07	0,22	1,08	0,93	2,67	3,78	3,67	2,23	3,57	2,22	1,77	0,58	0,50	0,00	0,43	0,00	0,00	0,07	0,97
23	24	0,00	0,35	0,00	0,28	0,07	0,07	0,13	0,07	0,07	0,20	1,92	1,85	3,80	4,23	4,78	1,25	3,12	1,70	0,72	0,00	0,13	0,00	0,00	0,15	0,22	0,07	0,97
24	25	0,13	0,37	0,00	0,07	0,07	0,07	0,00	0,07	0,50	2,08	2,68	2,75	3,80	4,47	4,57	3,72	4,18	2,22	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,07	1,23

### Anexo D. Registro organizado de temperaturas promedio por hora (°C).

Diciembre																										
Hora - Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
12 - 1 am	19,93	20,75	20,17	20,35	20,67	20,37	20,72	21,98	20,05	19,72	21,20	21,15	21,50	21,50	21,15	20,72	19,72	20,98	20,08	19,10	20,42	20,70	21,30	20,88	21,30	22,28
1 - 2 am	18,87	20,73	20,33	19,55	20,58	20,20	20,62	21,60	20,03	19,17	20,37	20,90	20,72	21,23	20,67	20,57	19,28	21,05	19,42	18,62	20,02	20,33	20,38	20,77	20,95	21,75
2 - 3 am	18,52	20,33	19,62	19,38	20,33	19,87	20,50	21,28	19,68	18,73	20,05	20,53	20,40	21,12	20,17	20,25	18,77	21,12	19,27	18,22	19,85	20,20	19,53	19,87	21,05	21,67
3 - 4 am	18,37	20,18	19,10	19,13	20,00	19,53	19,97	21,02	19,23	18,40	19,95	20,62	20,25	20,48	19,77	20,08	18,17	20,58	19,80	18,05	19,17	19,57	19,82	20,03	21,17	20,98
4 - 5 am	18,28	19,62	19,20	19,10	19,78	19,47	19,45	20,82	19,02	18,43	19,58	20,45	19,78	20,38	19,47	19,77	18,32	20,43	19,90	18,52	19,35	19,10	19,92	19,22	21,40	20,50
5 - 6 am	18,48	19,28	19,27	18,97	19,42	19,75	18,90	20,63	18,67	18,18	19,13	19,83	19,75	20,77	19,10	19,57	17,70	20,60	19,85	18,30	18,57	18,88	19,57	18,63	20,90	20,23
6 - 7 am	18,55	18,83	19,33	18,95	19,35	19,73	18,77	20,50	18,65	18,28	18,42	19,97	19,45	20,18	19,00	19,42	17,50	20,43	19,07	18,25	18,60	18,23	18,88	18,72	20,37	20,30
7 - 8 am	19,08	18,38	20,50	19,08	20,13	20,52	20,50	21,37	21,27	20,93	21,02	21,18	21,57	20,22	20,50	21,28	20,18	20,73	20,40	19,23	20,68	19,23	20,27	20,35	20,72	21,28
8 - 9 am	20,45	19,47	23,22	19,08	21,83	22,47	22,85	23,95	24,12	23,65	24,28	24,43	24,35	21,75	22,38	21,87	23,73	21,28	22,35	23,22	23,67	21,98	22,78	23,93	24,58	23,42
9 - 10 am	22,43	23,03	25,62	19,57	23,77	24,42	25,52	25,47	26,33		26,97	25,97	25,83	24,30	24,60	24,60	25,03	21,20	22,77	25,35	25,30	24,23	24,95	25,98	25,73	25,68
10 - 11 am	23,92	25,17	26,13	20,77	24,62	25,67	26,95	27,15	27,72		27,42	27,18	26,67	25,83	26,43	25,45	26,55	21,92	23,47	26,88	27,38	25,33	26,20	26,77	27,18	26,90
11 - 12 am	25,90	26,62	26,23	23,68	26,65	26,50	26,87	27,60	28,58		29,33	28,07	27,82	27,10	27,22	26,58	27,23	23,12	24,08	28,33	27,88	26,73	26,78	27,42	29,13	27,57
12 - 1 pm	27,33	27,22	27,02	25,97	25,83	26,13	25,67	28,48	29,12		29,57	27,12	28,12	26,33	27,78	27,43	27,93	24,43	25,38	27,13	26,30	27,88	27,47	27,53	28,65	27,18
1 - 2 pm	28,08	26,13	26,73	26,15	26,10	26,45	26,55	28,60	28,57		27,77	26,47	28,72	27,05	27,83	26,85	28,28	24,45	27,25	28,37	25,38	27,18	27,58	28,32	28,15	26,63
2 - 3 pm	26,32	25,43	27,37	25,15	25,47	26,52	26,98	28,83	28,45		27,20	27,77	26,65	26,65	26,53	26,83	26,47	25,12	27,55	28,08	25,52	27,72	26,77	28,22	30,07	25,58
3 - 4 pm	27,30	26,33	26,55	24,23	26,27	26,55	26,88	27,42	28,80		27,52	27,73	26,82	25,93	26,78	25,85	26,00	25,85	26,97	27,60	25,03	27,28	26,05	27,73	29,13	25,32
4 - 5 pm	26,73	26,15	24,33	22,62	25,70	25,35	26,58	26,48	27,00		27,03	27,20	25,78	25,03	26,33	25,90	25,82	25,75	27,10	26,67	24,52	26,18	24,93	26,92	27,95	24,93
5 - 6 pm	24,75	24,77	22,93	21,92	24,48	24,25	25,15	25,62	25,80		25,80	25,20	24,85	23,77	24,30	25,12	24,78	24,48	25,32	25,57	23,83	24,97	24,13	25,28	25,83	24,27
6 - 7 pm	23,20	23,65	21,78	20,82	22,83	23,05	23,78	24,62	24,88		24,75	24,15	23,93	23,23	23,42	23,97	23,43	22,30	24,12	24,65	22,98	23,68	23,22	24,10	24,55	23,50
7 - 8 pm	22,05	22,53	21,37	20,27	22,03	21,87	23,18	23,43	23,60		24,30	23,17	23,22	22,62	23,08	23,37	23,13	21,92	23,23	23,80	22,78	22,78	22,37	23,57	24,35	23,00
8 - 9 pm	21,33	22,03	21,15	20,38	21,07	21,38	22,68	21,97	22,27		23,32	22,65	22,67	22,32	22,55	22,47	22,55	21,72	22,33	22,50	22,57	22,33	21,43	22,75	23,72	22,57
9 - 10 pm	21,08	21,80	21,18	20,33	20,50	21,22	22,33	21,40	21,28		22,22	22,60	22,08	22,20	21,27	21,58	21,93	21,38	20,97	21,60	21,93	21,90	21,02	21,92	23,35	21,97
10 - 11 pm	20,98	21,68	21,05	20,37	20,60	21,32	22,28	20,95	20,82		21,58	22,43	21,52	21,60	21,28	21,00	21,60	20,77	19,90	21,47	21,25	21,68	20,63	22,02	22,92	20,70
11 - 12 pm	20,75	21,10		20,48	20,48	20,78	22,33	20,47	20,35		21,47	22,17	21,45	21,12	20,98	20,05	21,08	20,53	19,43	21,10	20,93	21,65	20,62	21,87	22,45	20,03

## Anexo E. Tabla de registro de consumo de algunos electrodomésticos convencionales

**Tabla de consumos (actualizada a septiembre de 2011)**

Tu consumo de energía depende de dos cosas: Los vatios de potencia de tus electrodomésticos y el tiempo que los utilizas.					
	Electrodoméstico	Vatios de potencia	Equivalencia en kW	Tiempo de uso en horas al mes	Consumo en kWh mes
Iluminación	Bombillo 100 vatios	100	0,1	120	<b>12</b>
	Bombillo 60 vatios	60	0,06	120	<b>7,2</b>
	Bombillo ahorrador 25 vatios	25	0,025	120	<b>3</b>
	Bombillo ahorrador 15 vatios	15	0,015	120	<b>1,8</b>
	Bombillo LED	7	0,007	120	<b>0,84</b>
	Instalación navideña de 100 luces LED	9	0,009	180	<b>1,62</b>
Electrodomésticos que producen calor	Parrilla grande en alto	1.800	1,8	30	<b>54</b>
	Parrilla pequeña en alto	1.500	1,5	30	<b>45</b>
	Tina 20 galones	1.500	1,5	15	<b>22,5</b>
	Ducha eléctrica	1.500	1,5	7	<b>10,5</b>
	Parrilla grande en bajo	450	0,45	30	<b>13,5</b>
	Plancha de ropa	1.000	1	12	<b>12</b>
	Horno estufa	3.300	3,3	1	<b>3,3</b>
	Olla arrocera	600	0,6	15	<b>9</b>
	Cafetera	900	0,9	10	<b>9</b>
	Secador de pelo	1.500	1,5	4	<b>6</b>
	Plancha para el pelo	1.000	1	4	<b>4</b>
	Tostadora	500	0,5	0,5	<b>0,25</b>
Electrónicos	Televisor LCD de 20 pulgadas	150	0,15	180	<b>27</b>
	Televisor de 20 pulgadas	75	0,075	180	<b>13,5</b>
	Horno microondas	1.000	1	10	<b>10</b>
	Equipo de sonido	150	0,15	60	<b>9</b>
	Computador de mesa	140	0,14	60	<b>8,4</b>
	Computador portátil	120	0,12	60	<b>7,2</b>

	Videojuegos	36	0,036	120	4,32
	Grabadora	14	0,014	180	2,52
	Radio	10	0,01	180	1,8
	Radio reloj digital	2	0,002	720	1,44
	DVD	30	0,03	4	0,12
	Cargador con celular conectado	12	0,012	16	0,192
	Cargador sin celular conectado	5	0,005	16	0,08
Electrodomésticos que funcionan con motor	Nevera	180	0,18	300	54
	Ventilador	100	0,1	360	36
	Lavadora	750	0,75	12	9
	Licuadora	400	0,4	15	6
	Batidora	200	0,2	1	0,2
	Picatodo	500	0,5	1	0,5
	Afeitadora eléctrica	15	0,015	4	0,06
	Máquina de coser	100	0,1	2	0,2
	Aspiradora	1.000	1	2	2

Fuente. Documento publicado por la Empresa de Servicios Públicos de Medellín de Medellín en su página web para gestionar el uso inteligente de los servicios públicos.