

**EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL RENDIMIENTO ENERGETICO <sup>i</sup>  
DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTONOMO CON CARGA  
VARIABLE EN DC UTILIZANDO PANEL SOLAR MONOCRISTALINO  
VERSUS POLICRISTALINO, EN CONDICIONES CLIMATICAS DEL  
MUNICIPIO DE FUSAGASUGA**

**LUISA FERNANDA SANABRIA PEREZ**

Código:162213143

**LUZ ANGELA CRUZ PARDO**

Código:162213113

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
INGENIERIA ELECTRONICA  
FUSAGASUGA, MAYO 2018**

**EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL RENDIMIENTO ENERGETICO <sup>ii</sup>  
DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTONOMO CON CARGA  
VARIABLE EN DC UTILIZANDO PANEL SOLAR MONOCRISTALINO  
VERSUS POLICRISTALINO, EN CONDICIONES CLIMATICAS DEL  
MUNICIPIO DE FUSAGASUGA**

**LUISA FERNANDA SANABRIA PEREZ**

Código:162213143

**LUZ ANGELA CRUZ PARDO**

Código:162213113

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de ingeniero  
Electrónico

Director

**MSc CARLOS HUMBERTO MONTUFAR BENAVIDES**

Codirector externo

**Phd(c) YIMY EDISSON GARCIA VERA**

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**INGENIERIA ELECTRONICA**

**FUSAGASUGA, MAYO 2018**

**Nota de aceptación<sup>iii</sup>**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Presidente del jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Nota obtenida:** \_\_\_\_\_

**Mayo de 2018**

## **DEDICATORIA**

Este proyecto de grado va dedicado principalmente a Dios por dotarnos de perseverancia y constancia en nuestro propósito de formación profesional, a nuestros padres y hermanos, por su ayuda, e incondicional apoyo, animándonos y dándonos siempre una voz de aliento para no desfallecer y así poder alcanzar esta meta.

## AGREDECIMIENTOS

Le agradecemos a nuestro padre creador por darnos salud y sabiduría en el transcurrir de del proyecto, a todas las personas que creyeron en nuestro trabajo, en especial a nuestros padres y hermanos quienes nos apoyaron, nos colaboraron y nos brindaron sus consejos.

A nuestros directores de proyecto de grado, Msc. Carlos Humberto Montufar e Msc. Yimy García Vera, por su especial asesoría en el desarrollo de este proceso.

A la Universidad de Cundinamarca y los docentes de la Facultad de Ing. Electrónica por instruirnos y contribuir en nuestra formación profesional e Ingenieril.

Por último, y no menos importante a nuestros compañeros y amigos con los que compartimos muchos momentos trabajo y esfuerzo, pero también de vivencias y alegrías, en busca del objetivo de culminar la carrera.

## RESUMEN

En la actualidad el abastecimiento de la demanda energética en Colombia presenta uno de los problemas ambientales más importantes del momento, de ahí la discusión de si de incursionar en el empleo de modelos energéticos, basados en energía renovables es favorable ante la relación de generación energía y rendimiento de esta.

El siguiente trabajo presenta el diseño e implementación de dos sistemas fotovoltaicos uno de tipo monocristalino y el otro de tipo policristalino, ubicado en la sede principal de la Universidad de Cundinamarca en el municipio de Fusagasugá, para comparar el rendimiento energético en ambos paneles solares, mediante la evaluación de las características de funcionamiento con cargas dc variable.

La metodología consistió en el registro de variables sobre el panel y la carga de voltajes, corrientes, potencias, temperatura y humedad (estas dos últimas solo en los modulo) por medio de un sistema de adquisición de datos automático; en cuanto a la irradiancia esta medición se realizó de forma manual. Partiendo de los datos obtenidos se generaron gráficas y análisis que dieron como resultado preliminar diferencias en el comportamiento del rendimiento energético con carga para ambos paneles en algunos intervalos de tiempo. No obstante, con el uso del método estadístico prueba *t-student* se obtiene un valor de  $p=0,445$  concluyendo que no existen diferencias significativas en cuanto al rendimiento energético con carga para ambos de los paneles empleados en este estudio.

**PALABRAS CLAVES:**

Rendimiento energético, panel monocristalino, panel policristalino, cargas dc variables, sistema fotovoltaico, irradiancia, corriente, voltaje y potencia.

## TABLA DE CONTENIDO

viii

TITULO .....	12
1. INTRODUCCION .....	13
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	15
3. JUSTIFICACION .....	17
4. OBJETIVOS .....	19
4. 1. Objetivo General.....	19
4.2. Objetivos Específicos.....	19
5. ALCANCES Y LIMITACIONES .....	20
5.1. Alcances.....	20
5.2. Limitaciones.....	21
6. ESTADO DEL ARTE.....	22
7. MARCO REFERENCIAL.....	38
7.1. Marco Conceptual.....	38
7.1.1. Energías Renovables.....	38
7.1.2. Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE).....	38
7.1.3. Celda Fotovoltaica .....	39
7.1.4. Efecto Fotovoltaico.....	40
7.1.5. Irradiancia .....	41
7.1.6. Sistemas Fotovoltaicos.....	41
7.1.7. Sistemas conectados a la red eléctrica .....	42
7.1.8. Sistemas aislados o autónomos.....	43
7.1.9. Elementos de un sistema fotovoltaico.....	44
7.1.9.1. Panel Fotovoltaico .....	44
7.1.9.1.1 Panel policristalino.....	45
7.1.9.1.2 Panel monocristalino.....	46
7.1.9.2. Controlador o Regulador de carga .....	47
7.1.9.3. Inversor .....	49
7.1.9.4. Batería.....	51
7.1.9.5. Carga de alimentación.....	53
7.1.9.6. Prueba <i>t-student</i> .....	54
7.2. Marco Legal.....	56
7.2.1. Ley 697 de 2001.....	56
7.2.3. Ley 1665 de 2013.....	56
7.2.4. Ley 1715 de 2014.....	57
8. METODOLOGIA .....	58
9. DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA.....	61
9.1. Dimensionamiento y cálculos .....	61
9.2. Diagrama general de conexiones .....	65
9. 3. Montaje e Instalación los sistemas fotovoltaicos.....	66
9. 4. Banco de cargas en DC.....	68
9. 5. Sistema de adquisición de datos .....	71

9.5.1. Arduino Mega 2560 R3 .....	74
9.5.2. Modulo sensor de voltaje .....	75
9.5.3. Modulo sensor de corriente ACS712 de 20A .....	75
9.5.4. Sensor de temperatura y humedad DHT11 .....	76
9.5.5. Piranómetro SM-206.....	77
9.5.6. Modulo reloj de la precisión RTC DS3231 .....	78
9.5.7. Lector TF SPI/SDIO Micro SD .....	79
9.5.8. Placa I2C adaptadora LCD1602 .....	79
9.5.9. LCD 16x2 Backlight Azul .....	80
9.5.10. Programación del código para el sistema de adquisición de datos .....	81
9.5.11. Calibración de los sensores empleados.....	83
10. DATOS Y ANALISIS DE RESULTADOS.....	87
10.2. Datos Meteorológicos de referencia .....	87
10.3. Datos Obtenidos en circuito abierto y corto circuito .....	89
10.4. Promedios diarios de todas las variables .....	91
10.4.1. Promedios diarios con carga .....	99
10.5. Datos y graficas obtenidos con carga variable.....	104
10.5.1. Prueba t de student .....	112
11. PRESUPUESTO .....	114
11.1. Insumos Equipos y materiales .....	114
12. CONCLUSIONES .....	116
REFERENCIAS.....	132

## LISTA DE FIGURAS

x

Figura 1 Diagrama Esquemático del Sistema fotovoltaico.....	24
Figura 2 Esquema del sistema de monitoreo utilizado .....	28
Figura 3 Diagrama de bloques del sistema propuesto .....	33
Figura 4 Celda fotovoltaica.....	39
Figura 5 Efecto fotovoltaico .....	41
Figura 6 . Esquema Sistema fotovoltaico de conexión a red .....	43
Figura 7 Esquema Sistema fotovoltaico aislado autónomo .....	44
Figura 8 Panel policristalino .....	45
Figura 9 Panel monocristalino .....	46
Figura 10 Regulador de carga .....	48
Figura 11 Regulador de carga .....	48
Figura 12 Inversor.....	51
Figura 13 Batería.....	52
Figura 14 Características de descarga de la batería .....	53
Figura 15 Cargas de alimentación.....	53
Figura 16 Cargas del proyecto .....	54
Figura 17 Promedio de radiación mensual Fusagasugá.....	62
Figura 18 Esquema general del sistema.....	66
Figura 19 Instalación paneles fotovoltaicos monocristalino y policristalino.....	67
Figura 20 Caja de conexiones del regulador y la batería. ....	68
Figura 21 Curva de verificación cuadro de cargas.....	70
Figura 22 Implementación banco de cargas.....	71
Figura 23 Diagrama de bloques medición de variables .....	71
Figura 24 Implementación sistema de adquisición de datos.....	73
Figura 25 Placa arduino mega 2560 R3 .....	74
Figura 26 Modulo sensor de voltaje.....	75
Figura 27 Modulo sensor de corriente ACS712 .....	75
Figura 28 Sensor de temperatura y humedad DHT11 .....	76
Figura 29 Piranómetro SM-206 .....	77
Figura 30 Modulo reloj de la precisión RTC DS3231 .....	78
Figura 31 Lector TF SPI/SDIO Micro SD.....	79
Figura 32 Placa I2C adaptadora LCD1602 .....	79
Figura 33 LCD 16x2 Backlight Azul.....	80
Figura 34 Diagrama de flujo del código para el sistema de adquisición de datos .....	81
Figura 35 Panorámica sistema completo. ....	83
Figura 36 Esquema de Funcionamiento del Módulo sensor de voltaje .....	85
<i>Figura 37 Temperatura promedio Fusagasugá.....</i>	<i>87</i>
Figura 38 Humedad relativa promedio en Fusagasugá.....	88
Figura 39 Precipitaciones en febrero, marzo y abril de 2018 en Fusagasugá.....	89
Figura 40 Curva característica de I-V del panel monocristalino .....	90
Figura 41 Curva característica panel policristalino .....	90
Figura 42 Promedios diarios de corriente en los paneles.....	92

Figura 43 Promedio de Voltaje paneles .....	93
Figura 44 Promedios diarios de potencia en los paneles .....	94
Figura 45 Temperatura ambiente y de los módulos, día 13 de marzo de 2018 .....	95
Figura 46 Humedad de los modulos vs humedad relativa en el ambiente .....	96
Figura 47 Humedad relativa y potencia entregada por los paneles .....	97
Figura 48 Potencia de los paneles vs irradiancia día 23-marzo .....	98
Figura 49 Promedio diario de potencias con carga de 7W mes febrero-marzo .....	99
Figura 50 Promedio diario de potencias con carga de 13W mes marzo .....	100
Figura 51. Potencias con carga de 14W mes marzo .....	101
Figura 52 Promedio diario de potencia con carga de 6W mes abril-mayo .....	102
Figura 53 Promedio diario de potencia con carga de 20W mes abril-mayo .....	103
Figura 54 Potencia máxima según cada carga mes febrero-marzo .....	104
Figura 55 Potencia máxima según cada carga mes abril-mayo .....	105
Figura 56 Curva de rendimiento energético con carga variable 14 de marzo .....	106
Figura 57 Curva de rendimiento energético con carga variable 20 de marzo .....	107
Figura 58 Curva de rendimiento energético con carga variable 23 de marzo .....	108
Figura 59 Curva de rendimiento energético con carga variable 3 de abril .....	109
Figura 60 Curva de rendimiento energético con carga variable 9 de abril .....	109
Figura 61 Curva de rendimiento energético con carga continua 10 de abril .....	110
Figura 62 Potencia con carga Vs irradiancia 26 de abril .....	111

## **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1 Características Tecnicas panel policristalino .....	45
Tabla 2 Características técnicas panel monocristalino .....	46
Tabla 3 Cuadro de cargas panel monocristalino y policristalino .....	69
Tabla 4 Datos de Isc y Voc del panel policristalino y monocristalino según la irradiancia. ....	91
Tabla 5 Estadísticas de grupo .....	112
Tabla 6 Prueba para muestras independientes .....	112
Tabla 7 Presupuesto de insumos, equipos y materiales .....	115

**TITULO****EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL RENDIMIENTO  
ENERGETICO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTONOMO  
CON CARGA VARIABLE EN DC UTILIZANDO PANEL SOLAR  
MONOCRISTALINO VERSUS POLICRISTALINO, EN  
CONDICIONES CLIMATICAS DEL MUNICIPIO DE  
FUSAGASUGA**

## 1. INTRODUCCION

Colombia al igual que muchos países tiene un sistema de energía eléctrica basado en el empleo de combustibles fósiles, pero debido a las diversas desventajas que presenta este sistema, como la generación de los gases tóxicos, gases de efecto invernadero entre ellos el CO<sub>2</sub>, aumento del costo, crecimiento del gasto energético y agotamiento de los recursos, es así, como a partir del año 2014 el país ha empezado a esforzarse en buscar otras fuentes alternativas o renovables para la producción de energía eléctrica y potencializar su desarrollo. Como muestra de esto, tenemos la ley 1715 del 2014 en la cual, se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema de energético nacional, con el propósito de promocionar e incentivar a las personas al uso de fuentes no convencionales de energía, con garantías como realizar reducciones en declaraciones de renta a quienes hagan uso de estas. (Ministerio de minas y energía CO, 2014)

Por ende, la realización e implementación de sistemas fotovoltaicos representan una notoria solución a tantas problemáticas, puesto que contribuyen a la disminución de niveles de gasto energético y producción de gases invernadero. De acuerdo con lo anterior, surge la necesidad de desarrollar proyectos de impacto social y medioambiental que ayuden a las personas a tomar conciencia y a la vez brinden garantías tanto a proveedores como clientes pertenecientes a empresas que abarquen el mercado de la

energía solar, con herramientas informativas y estadísticas de funcionamiento del tipo de material óptimo en paneles fotovoltaicos, de acuerdo con la ubicación geográfica.

El objetivo de este proyecto es realizar el montaje de un sistema fotovoltaico con dos paneles solares, el primero de tipo monocristalino y el otro de tipo policristalino, ubicado en la sede principal de la Universidad de Cundinamarca, con el propósito de estudiar su comportamiento con respecto a una carga variable en las condiciones geográficas de este lugar, durante un tiempo aproximado de 3 meses. Las mediciones a registrar son voltaje, corriente, temperatura del panel, e irradiancia, empleando la tarjeta de adquisición de datos Arduino Mega, la cual efectuará mediciones diarias y el recaudo para el análisis de la información se realizará semanalmente, obteniendo así, estadísticas y gráficas del comportamiento de las variables en estas condiciones climáticas y de esta manera poder comparar el rendimiento energético con carga dc variable para cada uno de los módulos.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Durante años se ha venido evidenciado la complicada situación en la que se encuentra el planeta tierra, esto debido en gran forma al mal aprovechamiento y el impacto ambiental que genera la producción de energía eléctrica a partir de la quema de combustibles fósiles, los cuales a su vez se han encargado del debilitamiento en la capa de atmosfera con la emisión continua de gases de invernadero como el CO<sub>2</sub>. Sumado a esto, el elevado costo de la energía eléctrica y la falta de acceso a la misma en zonas de difícil alcance, son problemáticas que nos afectan a todos.

La Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático que lidera el IDEAM y el PNUD, en coordinación con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Cancillería, Departamento Nacional de Planeación con la financiación del GEF (Fondo Mundial para el Ambiente) presentan en su reciente documento Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Colombia, un estudio que determino que en 20 años las emisiones del país aumentaron en un 15% (36 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes), pasando de 245 Mton en el año 90 a 281 Mton en el año 2010. Se establece que en el año 2012 Colombia emitió 258 millones de toneladas (Mton), el dato más reciente y actualizado con el que cuenta el país y para el cálculo del cual aportaron valiosa información entidades nacionales, regionales y municipales (IDEAM, 2016).

De acuerdo con las consideraciones anteriores, el uso de energías renovables es una importante alternativa a indagar, de esta forma se logra combatir el desconocimiento y desconfianza por parte de la sociedad frente a la aplicación de esos sistemas, puesto que se trae a colación otra problemática, como es el hecho de que en la actualidad no se conocen estudios ni datos estadísticos del rendimiento energético con carga dc variable en paneles monocristalino y policristalino para la zona geográfica del municipio de Fusagasugá, que a su vez permitan orientar a la sociedad, empresas y usuarios acerca de las características de funcionamiento para implementación de sistemas fotovoltaicos.

### **2.1 PREGUNTA PROBLEMA**

¿Qué tipo de panel (monocristalino o policristalino) empleado en este estudio presenta un mejor desempeño en términos de rendimiento energético bajo las condiciones climáticas del municipio de Fusagasugá?

### 3. JUSTIFICACION

En la actualidad se ha vuelto de gran importancia el empleo de fuentes de energías limpias y amigables con el medio ambiente como lo es la energía solar fotovoltaica, la cual se obtiene del aprovechamiento de la radiación solar y se caracteriza principalmente por ser un tipo de energía abundante e inagotable. La posición geográfica en la que se encuentra situada Colombia y al abundante recurso solar existente, hace de la energía solar fotovoltaica una importante y viable alternativa para la producción de energía y sustitución de los combustibles fósiles, además que son sistemas de fácil instalación, mantenimiento, bajos costos de funcionamiento, fiables y no generan ningún tipo de ruido, es por esto que con la llegada de estos sistemas más países en el mundo están optando por su aprovechamiento y se espera que las cifras sigan incrementándose durante los próximos años.

A través del estudio del comportamiento de paneles solares monocristalino y policristalino para la instalación fotovoltaica ubicada en la sede principal de la Universidad de Cundinamarca, es posible comparar el rendimiento energético de ambos paneles, en estas condiciones climáticas, de lo cual se espera obtener resultados que permitan evidenciar características de funcionamiento en cuanto a la generación de energía sobre una carga dc variable. Asu vez, se pretende tener mayor precisión en los

datos obtenidos, mediante un sistema de adquisición calibrado, un diseño y dimensionamiento del sistema, teniendo en cuenta el empleo de cargas en dc variables, y la comparación entre los datos suministrados por el fabricante en condiciones estándar de cada módulo con respecto a los datos obtenidos en el lugar de instalación, logrando de esta forma corroborar el correcto funcionamiento de cada uno de los paneles empelados en el estudio.

“De acuerdo con el Plan de Expansión de Referencia Generación- Transmisión 2011- 2025, el sistema eléctrico colombiano requiere la instalación progresiva de 7,914 MW, un aumento de casi 60% sobre la capacidad instalada actual, para suplir la demanda futura. Esta capacidad estará conformada por 6,088 MW de proyectos hídricos, 760 MW de proyectos de gas natural, 864 MW de proyectos de carbón y 202 MW de combustibles líquidos. Con base en lo anterior, se espera que las emisiones de CO<sub>2</sub>e se dupliquen entre 2011 y 2025. En este escenario hay un aumento importante de las emisiones generadas por el uso de carbón mineral y combustibles líquidos, que pasan de representar el 2.9% y 34.3% de las emisiones al 5.9% y 41.2% respectivamente.” [1] (L.Calderon, 2014)

Cabe resaltar, el importante impacto ambiental de la concientización y la apropiación del uso de energías renovables, contribuyendo así a la reducción del gasto energético y la disminución de generación de gases de invernadero, una de las principales causas de contaminación atmosférica, producto de la quema de combustibles fósiles para la generación de energía.

## **4. OBJETIVOS**

### **4. 1. Objetivo General**

Comparar el rendimiento energético de los paneles monocristalino y policristalino, mediante la evaluación practica y experimental de las características de funcionamiento con cargas dc variable, en las condiciones climáticas del municipio de Fusagasugá.

### **4.2. Objetivos Específicos**

- Realizar el diseño e implementación de dos sistemas fotovoltaicos autónomos de 20W de potencia uno con panel monocristalino y otro con policristalino en el municipio de Fusagasugá.
- Diseñar y calibrar un sistema de adquisición de datos que mida las variables de temperatura sobre el módulo, voltaje, corriente e irradiancia, junto con un banco de prueba de carga variable y tiempo controlado.

- Analizar e interpretar los datos de las variables obtenidas en los dos paneles solares para comparar su desempeño.

## **5. ALCANCES Y LIMITACIONES**

### **5.1. Alcances**

Se plantea implementar dos sistemas fotovoltaicos de 20 W, de tipo monocristalino y policristalino, ubicado en las instalaciones de la Universidad de Cundinamarca del municipio de Fusagasugá; con el objetivo de obtener una medición constante y sincronizada entre estos dos sistemas, con respecto a las variables de voltajes, corrientes y potencias tanto en los paneles como en la carga, junto con la temperatura y humedad sobre cada módulo; lo cual permita comparar el rendimiento energético con carga de variable para cada panel, en estas condiciones climáticas.

Así mismo, la realización del control de los datos obtenidos a partir de estadísticas y gráficas comparativas de las variables medidas, como base fundamental para la realización y presentación del trabajo de grado.

## **5.2. Limitaciones**

La medición de la variable radiación solar se realiza de manera manual y en horas específicas, debido a que no se cuenta con un módulo que efectúe esta medición de forma constante y en sincronía con las demás variables a obtener.

En cuanto a la variable de temperatura sobre el panel, cabe aclarar que en paneles solares de mayor tamaño pueden llegarse a presentar algunas variaciones, puesto que la captación temperatura sobre un panel menor tamaño no es la misma que para uno mayor tamaño.

## 6. ESTADO DEL ARTE

En el presente estado del arte se enuncian algunas bibliografías de gran relevancia y relación con la investigación a desarrollar, las cuales permiten analizar otras perspectivas y servir de guía, puesto que brindan una temática y manejan contextos similares a los planteados. También se ofrece una visión de diversas problemáticas, las acciones empleadas y los resultados obtenidos, generando algunas ideas para los trabajos posteriores.

El documento titulado “Análisis Comparativo del Desempeño de las Células FV Monocristalinas y Multicristalinas en Condiciones Climáticas Semiáridas: Caso de Jordania”, elaborado por M. R. Abdelkader, A. Al-Salame, Z. Al-Hamamre, Firas Sharaf, y publicado en JJMIE (Jordania Revista de Ingeniería Mecánica e Industrial) nos muestra la necesidad de reducir la dependencia de recursos como el petróleo para cubrir las necesidades energéticas, debido a que Jordania es un país de producción no petrolera, que se preocupa por el cuidado del medio ambiente y el aumento de la contaminación atmosférica a causa de las emisiones de CO<sub>2</sub>, presentan una estrategia de transformación energética y económica desde el año 2002 mediante la implementación de un programa rural de energía fotovoltaica que busco beneficiar a usuarios rurales y de bajos ingresos.

El empleo de la energía fotovoltaica en Jordania es fundamental, ya que existen muchos lugares aislados y de difícil conexión a la red eléctrica nacional, es así, como su

aplicación se da tanto para sistemas en conexión a red “on-grid” como fuera de red “off-grid”, en los sistemas on-grid la energía se alimenta directamente a la red eléctrica, no es necesario el uso de baterías, las capacidades típicas son de 2 a 4 kW y para edificios comerciales hasta de 100kW, de esta forma se evidencia una reducción de costos y el beneficio medioambiental. El Distrito Municipal de Servicios Públicos de Sacramento (SMUD) en California ha estado implementando un plan para instalar más de 1 MW por año de PV distribuido en su área de servicio.

El estudio realizado se basó en el análisis y comparación de las células fotovoltaicas Monocristalinas y multicristalinas, se emplearon un módulo fotovoltaico de células solares hechas de monocristalino y un módulo fotovoltaico de células solares de cristal multicristalino o también conocido como policristalino, se instalaron en un mismo soporte, orientados hacia el sur de Jordania en un ángulo de  $32^\circ$ , aumentando la energía incidente sobre la placa durante el día, ya que es fundamental la orientación e inclinación del sistema para evitar pérdidas de eficiencia y potencia de salida.

Este estudio se llevó a cabo en la sede de la universidad de Jordania ubicada en Aman, Jordania, durante los meses de enero hasta finales de mayo, registrando medidas tres días aleatorios de cada mes en horarios de las 8:00 am a las 4:00 pm, sobre cada módulo fotovoltaico, los datos tomados fueron tensión de circuito abierto y corriente de cortocircuito producidas en la salida de la célula fotovoltaica, radiación solar, temperatura ambiente, humedad y velocidad del viento. También se realizaron cálculos

de la eficiencia de cada panel bajo las condiciones registradas, la potencia de entrada mediante la multiplicación de la radiación solar incidente por el área fotovoltaica y con los datos de voltaje y tensión generada, se determinó la potencia de salida. Por otra parte, se emplearon programas informáticos para conocer el periodo de recuperación del sistema.

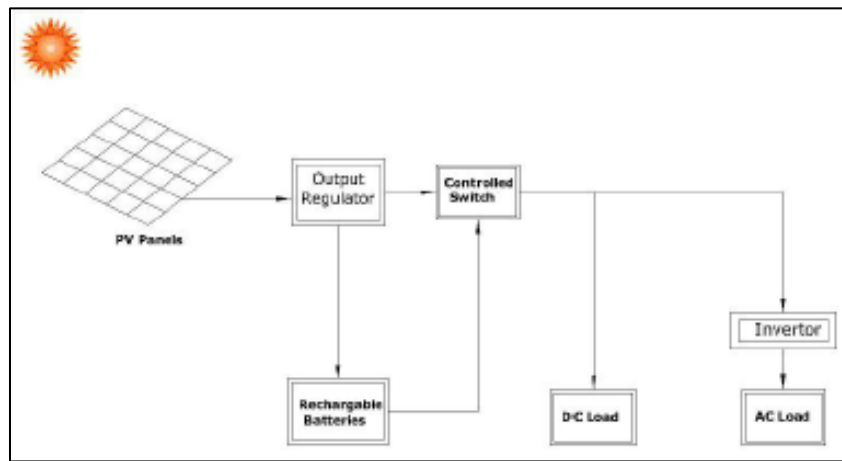


Figura 1 Diagrama Esquemático del Sistema fotovoltaico

Los resultados obtenidos fueron múltiples, en cuanto a la radiación esta varía notablemente de un día al otro cada mes y dependiendo la estación ya que el ángulo de inclinación de los rayos del sol cambia, la intensidad es mayor en días soleados y disminuye en tiempo nublado, pero su punto máximo se da al medio día cuando el sol está en ángulo más alto. De igual forma la variación de la temperatura influye en la eficiencia, debido a que la intensidad de la radiación no es la misma, afectando la corriente de salida del sistema, es así como los meses de enero a marzo cuando se

presenta la temporada de invierno la radiación es baja pero lo suficiente para poder hacer funcionar el sistema fotovoltaico, y aumenta durante primavera en los meses de abril y mayo.

El voltaje de circuito abierto y corriente de corto circuito fueron medidas en cada panel sin conexión de baterías ni cargas, determinando que la corriente de salida producida por el panel monocristalino fue mayor que la producida por el panel monocristalino durante todos los días de medición en cada mes, a medida que la temperatura ambiente aumenta, la tensión del circuito abierto disminuye y la corriente de cortocircuito se hace más alta alcanzando una corriente de salida máxima. En consecuencia, las células monocristalinas tuvieron un valor de eficacia del mayor alcanzando un 18% mientras que las células multicristalinas tuvieron una eficiencia del 17%, así mismo, la potencia de salida del panel monocristalino fue mayor que el del multicristalino.

Por último, aunque el estudio determinó que el rendimiento de las células monocristalinas fue mejor que el de las multicristalinas, esta diferencia es muy pequeña considerando todos los factores a tener en cuenta y que básicamente radicarón en tipo y material del que estaba elaborada cada placa, su desgaste a lo largo del ciclo de vida y las condiciones climáticas presentes durante el tiempo de la investigación. (M. R. Abdelkader, 2010)

El artículo titulado Comparación entre la energía generada a partir de tres tipos de módulos fotovoltaicos c-Si y la temperatura e irradiancia de la ciudad de Pasto, Colombia, presentado por Francisco Javier Eraso Checa, Edison Escobar Rosero, y Olger Ferledy Erazo De La Cruz, es un estudio desarrollado por el grupo de investigación RAMPA de la Institución Universitaria CESMAG en la ciudad de Pasto en el año 2014, en el cual se analiza la capacidad de generación de energía y la eficiencia de la tecnología monocristalina, policristalina y amorfa apreciando condiciones de irradiancia y temperatura propias de la ciudad de pasto.

En primer lugar, se eligieron seis módulos fotovoltaicos inclinados con una ángulo de  $45^\circ$  hacia el este, distribuidos del número uno al cuatro en tecnología monocristalina, el quinto era policristalino y el sexto de silicio amorfo, tomando en cuenta las características de operación brindadas por el fabricante y sabiendo que las células de silicio monocristalino estas elaboradas de un sólido cristalino intacto sin límites de grano que sigue un mismo patrón de simétrico repetitivo, las células de silicio policristalino están hechas de pequeños granos cristalinos procedentes de diferentes fuentes situados con orientaciones aleatorias y por último que las células de silicio amorgo está constituidas de una película fina de silicio amorfo como absorbente con sustrato de vidrio u otro material flexible, presentando una estructura desordenada en una red aleatoria, por su manera de fabricación cada una tiene una respuesta diferente incluso si las condiciones de irradiancia y temperatura son las mismas.

La adquisición de datos de irradiación y temperatura se realizó mediante la estación meteorológica DAVIS Vantage Pro y una segunda estación desarrollada por los autores, llamada ESMERA (Estación Meteorológica RAMPA) y proporcionaba datos de irradiancia, temperatura e intensidad luminosa. Para los datos de potencia generada por los paneles, se elaboró un sistema de monitoreo de voltaje y corriente y se tuvo en cuenta que estos módulos alimentaban unas cargas de carácter resistivo, la adquisición de los valores de voltaje se efectuó mediante un microcontrolador y un sensor de efecto Hall ACS714-05BT1 que registro la corriente, el procesamiento, almacenamiento y transmisión de estas señales se enviaban a un servidor remoto a través de transceptores Xbee en configuración punto a punto. El software del sistema se diseñó en Visual Basic .NET versión 2010, que descodificó los datos obtenidos por el sistema de monitoreo de potencia, la estación ESMERA y la estación DAVIS; estos valores se almacenaron en una base de datos administrada por el gestor de código abierto MySQL y su análisis se realizó en Matlab.

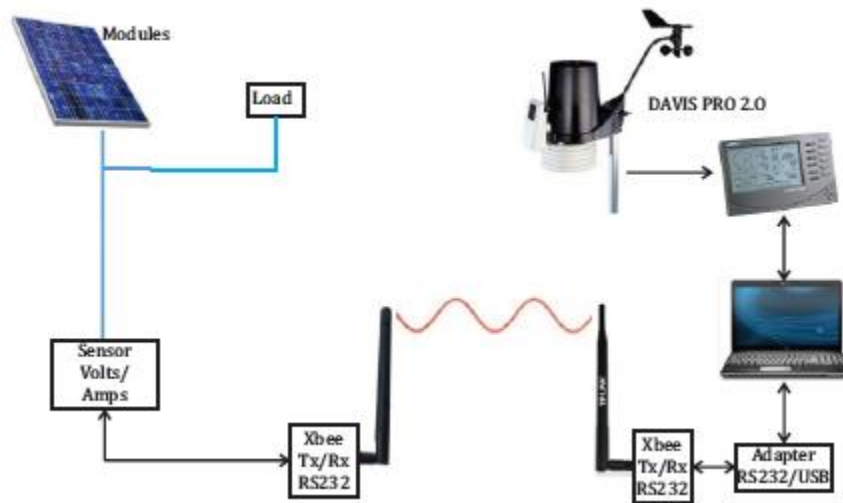


Figura 2 Esquema del sistema de monitoreo utilizado

En cuanto a los resultados obtenidos durante el periodo de registro de datos durante los doce meses del año 2014 entre los horarios de 8:00am y 4:00pm, la irradiancia promedio anual fue de 391; 97W/m<sup>2</sup>, y los mayores niveles de irradiancia se registraron entre las horas de las 10:00 am y las 2:00 pm, con un pico de irradiación de 1475 W/m<sup>2</sup>, se logró observar que la irradiación es estable lo largo del todo el año. También mediante el método de trapecio con la hora de irradiación por horas, se determinó las horas de sol diarias promedio para la ciudad de Pasto, las cuales fueron de 3.6 horas al día con una radiación de 1000W /m<sup>2</sup>.

El comportamiento promedio de la temperatura fue de 16,82°C; los valores más altos fueron de 15,4°C en el mes de febrero y la temperatura más baja ocurrió en agosto

con un dato de  $13,8^{\circ}\text{C}$ , en cuando a la temperatura interna del módulo, esta depende de la temperatura ambiente, el viento, la radiación y el parámetro NOCT del módulo, siendo la temperatura interna casi la misma para cada módulo. Las potencias generadas se diferenciaron notoriamente unas entre otras, por lo tanto, se realizó una comparación de densidad de potencia generada dividiendo el valor de la potencia generada por el área de cada módulo, esto arrojó el mayor valor de potencia generada entre las 9:00am y 10:00am, así mismo, la tecnología monocristalina presentó el mejor comportamiento, pero la tecnología amorfa mostró mejores resultados a cambios de irradiación en comparación con la policristalina y monocristalina

La relación de los parámetros de temperatura, irradiación y potencia generada por los módulos se estimó mediante diversos modelamientos matemáticos y la aplicación del algoritmo de actualización cuasi-Newton con BFGS. Finalmente, la eficiencia de cada módulo se calculó de la relación entre la potencia generada y la irradiancia percibida aplicando el método de trapecio; la eficiencia de los módulos monocristalinos fue de 12,45%, en la tecnología policristalina de 11,04% y para el silicio amorfo la eficiencia fue de 6,32%, lo cual de acuerdo a las características proporcionadas por los fabricantes, la eficiencia para la tecnología monocristalina y policristalina era de 15% y para la tecnología amorfa del 7%, siendo esta última la más exacta a condiciones reales.

Este estudio permitió conocer el rendimiento energético de los módulos mediante algoritmos matemáticos y frente a variables de irradiación y temperatura, haciendo

posible el cálculo de la cantidad de módulos requeridos según la tecnología a emplear y de manera más precisa poder diseñar sistemas fotovoltaicos que generen la energía necesaria para el consumo requerido. (Francisco Javier Eraso Checa, 2015)

En la tesis titulada estudio comparativo entre variables fotovoltaicas de dos sistemas de paneles solares (monocristalino y policristalino) en Bogotá, presentado por Janett Barbosa Urbano se realizó una investigación basada en el comportamiento de las variables fotovoltaicas sobre un panel monocristalino y policristalino tomando medidas de voltajes, corrientes y potencias, todo esto realizado en condiciones climáticas de la ciudad de Bogotá, los datos adquiridos fueron obtenidos durante 5 meses, para llevar a cabo las mediciones se tuvieron en cuenta datos sobre las condiciones climáticas de Bogotá, siendo estos obtenidos del instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM) de acuerdo a esto se observó que los valores de radiación máxima se presentaban entre las 10 a.m y las 2 p.m, esto debido a que el sol se encuentra de manera perpendicular sobre la superficie del país, con relación a la temperatura en Bogotá el promedio se encuentra entre 6°C a 8° C mínima y máxima entre los 12°C a 22°C ; teniendo en cuenta estas condiciones climáticas se tomaron inicialmente datos de voltaje en circuito abierto sin ningún tipo de carga conectada, los datos obtenidos mostraron un voltaje 19,07V en el panel monocristalino y un voltaje de 19,07 sobre el panel policristalino; al realizar la conexión de una carga de 30 Ohm, se obtuvo un voltaje promedio del panel monocristalino de 12,77V y para el policristalino de 13,59V obteniendo de esta manera un porcentaje alcanzado según el fabricante de un 67% para el

monocristalino y un 77% para el policristalino; de esta manera se pudieron diferenciar datos de las variables fotovoltaicas de cada panel y se realizó su comparación con los datos suministrados por el fabricante. (Barbosa, 2013)

En la tesis diseño experimental de un sistema tradicional de panel solar de pequeña escala ubicado en la ciudad de Barranquilla realizado por Raúl Alexander Chona Suarez de la Universidad Autónoma del Caribe, presenta una investigación relacionada con las variables que influyen significativamente en la eficiencia energética de un panel solar fotovoltaico durante diferentes horas del día y distintos ángulos de posición, la instalación este sistema se realizó en la plazoleta de la nueva biblioteca de la universidad autónoma del Caribe para una evaluación en el mes de Marzo el cual presenta mayores índices de radiación en el año, observando de esta manera la posición más conveniente para tener una óptima generación en las condiciones climáticas de Barranquilla. En este experimento se llegó a encontrar que la hora propicia para garantizar valores óptimos corresponde a las 12:00 p.m, con una temperatura de 31°C a 33°C, un ángulo de 0° de inclinación y un índice de radiación positivo lo cual indica una incidencia directa de la radiación sobre la superficie terrestre, teniendo en cuenta estas condiciones se encontraron los puntos máximos y mínimos de operación del sistema corresponden al valor de 21.3V y 17.4 V respectivamente; el punto máximo se obtuvo con una medición a las 12:00 p.m, a un ángulo nulo, bajo un índice de radiación solar positivo y una temperatura ambiente de 33°C; en cuanto a las condiciones determinantes del punto mínimo fueron tomadas con parámetros opuestos, la hora de toma de datos fue a las

14:00 pm, con un índice de radiación negativo, un ángulo de inclinación de  $60^{\circ}\text{C}$  y con una temperatura ambiente de  $29^{\circ}\text{C}$ ; de esta manera se logró determinar el ambiente óptimo para la eficiencia energética de este panel solar en estas condiciones climáticas. (Raul Alexander Chona Suarez, 2013)

Otra documentación de gran importancia realizada en la ciudad de Bogotá, es el trabajo de grado titulado "Estimación de la eficiencia de un sistema de energía Eléctrica basado en paneles solares considerando variables ambientales en la ciudad de Bogotá", de la autoría de Raúl Ramírez Bernal, presenta un estudio con el empleo de paneles de tipo monocristalino y policristalino de igual capacidad de potencia en un sistema fotovoltaico autónomo y conectado a una carga en DC representada por una lámpara, con la finalidad de determinar la eficiencia de los mismos, con respecto a las condiciones ambientales propias de esta ciudad. En primer lugar, diseñan una estación meteorológica que mide temperatura, humedad, velocidad del viento, irradiación del sol y pluviometría, de igual forma implementan un sistema de medición de potencia para los dos paneles a partir de la corriente y el voltaje, este estudio se llevó a cabo por un periodo aproximado de 30 días.

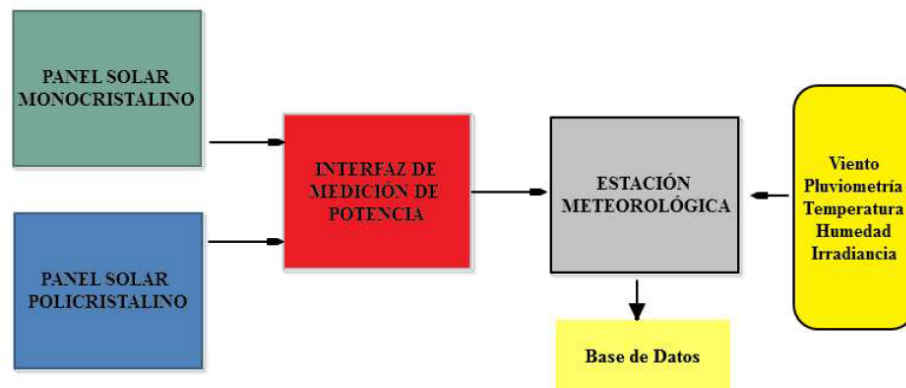


Figura 3 Diagrama de bloques del sistema propuesto

La verificación de las variables registradas por la estación meteorológica se comparan con los registros del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), entre los registros almacenados por la estación se incluyen los datos de hora y fecha, velocidad del viento (m/s), pluviometría (mm), Irradiancia (W/m<sup>2</sup>), humedad relativa (%), Temperatura (°C), Voltaje (V) y Corriente de salida (mA) del panel monocristalino, Voltaje (V) y Corriente de salida del panel policristalino (mA). Posteriormente se hace la relación de las todas las variables climáticas obtenidas con respecto a la irradiación y luego con potencia generada del panel policristalino y monocristalino.

Se logró determinar que la tecnología de tipo monocristalino es más eficiente pero que se encuentra alrededor de un 4% por debajo de las especificaciones del fabricante, esto mismo aplico para la tecnología de tipo policristalino, la cual disminuye en misma proporción. En cuanto a las variables medidas, las de mayor influencia positiva con la

potencia generada por los paneles fotovoltaicos fueron la temperatura y la irradiancia, y la de mayor influencia negativa fue la humedad, las demás variables no tienen una influencia notoria en la mayoría de los casos. (Martinez, 2017)

El artículo titulado "Análisis de rendimiento y comparación de diferentes tecnologías de módulos fotovoltaicos bajo diferentes condiciones climáticas en Casablanca" presentado por Elmehdi Karami, Mohamed Rafi, Amine Haibaoui, Abderraouf Ridah, Bouchaib Hartiti, Philippe Thevenin y demás colaboradores; consta del estudio del rendimiento de tres módulos fotovoltaicos de diferentes tecnologías (monocristalino (c-si), policristalino (p-si) y amorfo (a-si)) instalados en la azotea del Benm'sik en la universidad Hassan II, en Casablanca, Marruecos. Las medidas de parámetros eléctricos fueron potencia, corriente y tensión, junto con parámetros climáticos de irradiación solar, temperatura ambiente, temperatura del módulo, velocidad y dirección del viento, tomadas con una frecuencia de cinco minutos cada una.

Los resultados obtenidos en cuanto a la eficiencia del módulo fotovoltaico en un día nublado fueron de 8.21% para el panel amorfo, 14.56% para el panel monocristalino y 13.55% para el panel policristalino, en un día claro la eficiencia fue de 93.50% para el panel amorfo, 94.14% para el panel monocristalino y 95.55% para el panel policristalino. Se determina que los módulos de tipo monocristalino y policristalino según su rendimiento son los de mejor desempeño en días nubados, claros y lluviosos, aun así, en

condiciones climáticas desfavorables, los módulos de tipo amorfo comienzan a funcionar mejor. (Elmehdi Karami, 2017)

El trabajo titulado "Estudio comparativo del rendimiento de tres diferentes tecnologías fotovoltaicas" realizado por Constance Kalu, Isaac A. Ezenugu y Anthony Mfonobong Umoren, es un proyecto de simulación para el análisis comparativo de diferentes tecnologías fotovoltaicas (PV), paneles de tipo policristalino, monocristalino y película fina PV, fueron los elegidos para el desarrollo de las pruebas de modelamiento y simulación. Los datos meteorológicos usados fueron la incidencia de insolación promedio mensual sobre una superficie horizontal (kwh / m<sup>2</sup> / día) y una temperatura media mensual, tomados de la base de datos meteorológica mundial de la NASA (Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio), la cual cuenta con registro anuales a lo largo de 22 años.

Para la simulación se hace uso de software de planificación de instalaciones fotovoltaicas PVsyst, teniendo en cuenta los datos meteorológicos en el sitio de instalación, la demanda de carga, los requisitos de rendimiento y las especificaciones de los componentes del sistema, de igual forma PVsyst se utiliza para realizar el análisis económico del sistema en cuanto al coste unitario de la energía generada para cada una de las tecnologías fotovoltaicas. Con respecto a los resultados obtenidos, la eficiencia de los módulos policristalino y monocristalino es de 7,76% y 7,62% respectivamente, mientras que la de la película delgada es mucho menor con 4.10%, pero en rendimiento

fue la de mayor relación con 61,8% en comparación con las otras dos tecnologías, aun así, la tecnología de tipo policristalino es la elegida, según las consideraciones del estudio. (Constance Kalu, 2016)

El artículo titulado “El rendimiento de tres paneles solares diferentes para la electricidad solar que aplican un dispositivo de seguimiento solar en la condición climática de Malasia” presentado por Azhar Ghazali M y Abdul Malek Abdul Rahman, desarrolla un estudio para medir y determinar la eficiencia de tres módulos solares, de silicio policristalino, monocristalino y amorfo mediante la aplicación de un seguidor solar de tiempo. El sistema fue diseñado para soportar los tres tipos de paneles fotovoltaicos para permitir moverlos con un solo grado de libertad (horizontalmente) de acuerdo con la orientación del sol de este a oeste.

Los paneles fotovoltaicos se orientarán hacia el sol para maximizar la insolación en periodos de tiempo entre las 09:00am y las 4:00pm todos los días con las mediciones de Corriente (A), Tensión (V), Temperatura del módulo (oC) y Potencia (W) y los parámetros para determinar la condición ambiental que influye en el rendimiento del módulo fotovoltaico fueron la Radiación Solar ( $W / m^2$ ) y Temperatura ambiente (oC). La eficiencia de la salida de potencia, la eficiencia promedio del módulo y la relación de rendimiento para cada tipo de paneles se realizó de manera formulista, obteniendo los resultados que concluyeron que el panel solar de tipo policristalino es el más adecuado en

las condiciones climáticas malasia cuando se aplica un seguidor solar de un solo eje de fecha y hora. (Azhar Ghazali M, 2012)

## **7. MARCO REFERENCIAL**

### **7.1. Marco Conceptual**

#### **7.1.1. Energías Renovables**

“Podemos definir las energías renovables como aquéllas que son inagotables desde el punto de referencia del período de existencia de la humanidad, tengan o no su origen en el sol. Fuentes de energías renovables son la radiación solar, la atracción gravitacional de la luna y el sol, y el calor interno de la tierra.” (Mario Ortega Rodríguez, 2000)

#### **7.1.2. Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE)**

Son aquellos recursos de energía disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleados o son utilizados de manera marginal y no se comercializan ampliamente. Se consideran FNCE la energía nuclear o atómica y las FNCER. Otras fuentes podrán ser consideradas como FNCE según lo determine la UPME. (Congreso de la república de Colombia, 2014)

### 7.1.3. Celda Fotovoltaica

Es el dispositivo en el que se produce la conversión de luz en electricidad gracias a las propiedades de los semiconductores por una parte y a las estructuras (unión pn, hetero unión, interfaz solido-electrolito etc.) que permiten extraer los electrones excitados de la célula, antes de que vuelvan a su estado de equilibrio térmico, hacia un circuito exterior para que realicen un trabajo. (Grupo NAT, 2002)

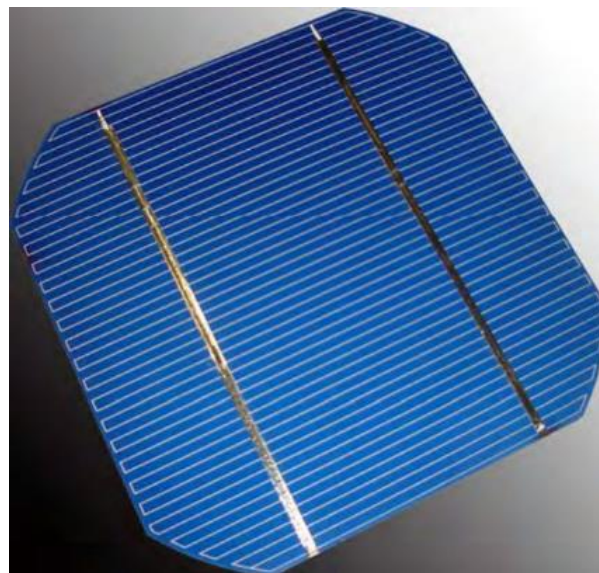


Figura 4 Celda fotovoltaica

#### **7.1.4. Efecto Fotovoltaico**

El efecto fotovoltaico se basa sobre la capacidad de algunos semiconductores, como el silicio, de generar directamente energía eléctrica cuando se exponen a la radiación solar. La conversión de la radiación solar en energía eléctrica tiene lugar en la célula fotovoltaica, que es el elemento base del proceso de transformación de la radiación solar en energía eléctrica.

La luz solar formada por partículas, los fotones, que transportan energía, cuando un fotón con suficiente energía golpea la célula, es absorbido por los materiales semiconductores y libera un electrón. El electrón, una vez libre, deja detrás de si una carga positiva llamada hueco. Por lo tanto, cuanto mayor será la cantidad de fotones que golpean la célula, tanto más numerosas serán las parejas electrón-hueco producidas por el efecto voltaico y por lo tanto más elevada la cantidad de corriente producida. (ITER)

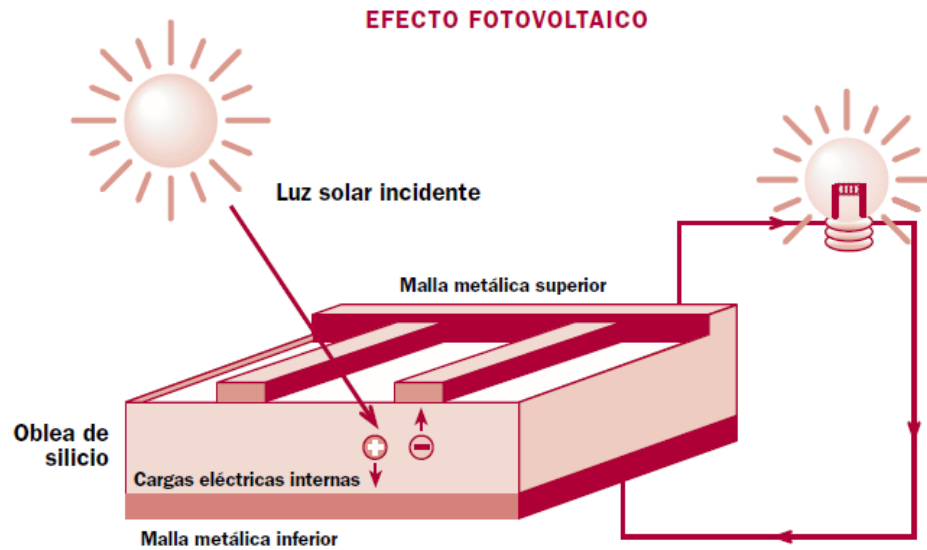


Figura 5 Efecto fotovoltaico

### 7.1.5. Irradiancia

Es el flujo de radiación solar que incide sobre la unidad de superficie por unidad de tiempo y se da en  $KW/m^2$  (Viloria, 2010), nos permite conocer la cantidad de energía captada sobre un área es decir la cantidad de radiación solar que cae sobre una superficie terrestre.

### 7.1.6. Sistemas Fotovoltaicos

Se defina sistema fotovoltaico como un conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren a captar y transformar la energía solar disponible,

transformándola en utilizable como energía eléctrica. Estos sistemas, independientemente de su utilización y del tamaño de potencia, se pueden dividir en dos categorías: (ITER)

- Sistemas conectados a la red (on-grid)
- Sistemas aislados o autónomos (off-grid)

#### **7.1.7. Sistemas conectados a la red eléctrica**

En los lugares que disponen de electricidad, la conexión a red de los sistemas fotovoltaicos contribuye a la reducción de emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmosfera. Al instalar un sistema fotovoltaico conectado a la red, se dispone de una minicentral eléctrica que inyecta kWh a la red para que se consuman allí donde sean demandados lo que elimina las pérdidas en transporte de electricidad.

En las instalaciones conectadas a red, el tamaño de la instalación no depende del consumo de electricidad de la vivienda o edificio, lo que simplifica enormemente su diseño. Para dimensionar la instalación es necesario conocer el espacio disponible y la inversión inicial. Es importante recordar que el consumo de electricidad es independiente de la energía generada por los paneles fotovoltaicos. El usuario sigue comprando la electricidad que consume a la distribuidora al precio establecido y además es propietario de una instalación generadora de electricidad que puede facturar lo kWh producidos a un precio superior. (Asociación de la industria Fotovoltaica ASIF).

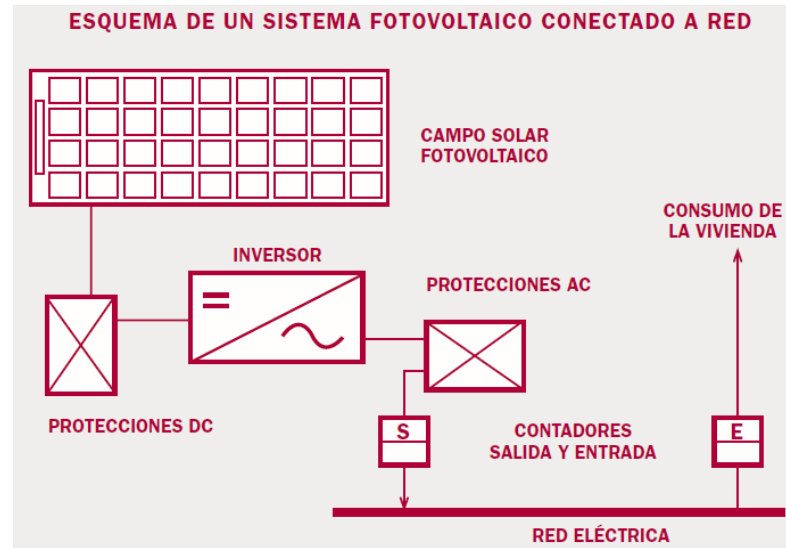


Figura 6 . Esquema Sistema fotovoltaico de conexión a red

### 7.1.8. Sistemas aislados o autónomos

Estos sistemas se emplean sobre todo en aquellos lugares en los que no se tiene acceso a la red eléctrica y resulta más económico instalar un sistema fotovoltaico que tener una línea entre la red y el punto de consumo. Como los paneles solo producen energía en las horas de sol y la energía se puede necesitar durante las 24 horas del día, es necesario un sistema de acumulación. Durante las horas de luz solar hay que producir más energía de la que se consume para acumular el exceso y posteriormente poder utilizarlo cuando no se esté generando.

La cantidad de energía que se necesita acumular se calcula en función de las condiciones climáticas de la zona y el consumo de electricidad. De tal manera que en una

zona donde haya muchos días soleados al año habrá que acumular poca energía. Si el periodo sin luz es muy largo, hay que acumular más energía. (Asociación de la industria Fotovoltaica ASIF)

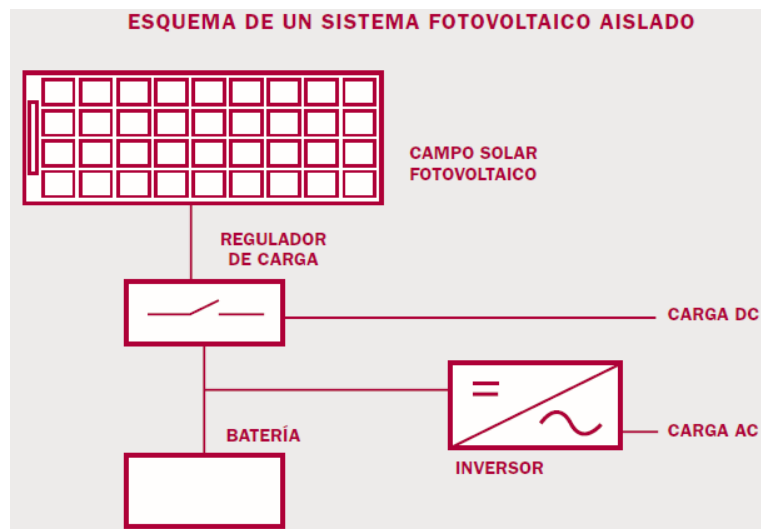


Figura 7 Esquema Sistema fotovoltaico aislado autónomo

## 7.1.9. Elementos de un sistema fotovoltaico

### 7.1.9.1. Panel Fotovoltaico

Es el que permite transformar la energía solar en energía eléctrica. También se le llama módulo fotovoltaico y está conformado por varias celdas fotovoltaicas. Produce corriente continua (CC). Las celdas fotovoltaicas están hechas de materiales semiconductores que recibieron un tratamiento especial para poder crear el efecto fotovoltaico. (EnDev/GIZ, 2013). Dentro de las tecnologías de paneles más usadas actualmente se encuentran la monocristalina y policristalina. Para la implementación de

los dos sistemas fotovoltaicos se utilizó un módulo de tipo policristalino (*Ver figura 8*) y uno de tipo monocristalino (*ver figura 9*) cada uno con una potencia de salida de 20W.

### 7.1.9.1.1 Panel policristalino

Este tipo de celda contiene varias regiones de silicio cristalino que se mantienen juntas a través de un enlace covalente y separados por límites de grano. Estas celdas son fabricadas en una forma cuadrada. Esto es debido a que el líquido fundido en los lingotes (cuadrado) no es para ser extruido o ir a través de otro proceso, sino para producir un bloque de silicio fuera de los cuales las pequeñas células son cortadas. Las uniones entre los granos tienen un efecto interesante en la eficiencia de la celda solar. (Esco-tel, s.f.)



Figura 8 Panel policristalino  
Fuente: Propia

<b>Model</b>		<b>SP020P</b>
<i>Pack Power</i>	<i>Pmax</i>	20 Watts
<i>Maximum Power Current</i>	<i>Imp</i>	1.111 A
<i>Maximum Power Voltage</i>	<i>Vmp</i>	18.00 V
<i>Short Circuit Current</i>	<i>Isc</i>	1.202 A
<i>Open-Circuit Voltage</i>	<i>Voc</i>	22.50 V
<i>Power Tolerance</i>		± 5%
<i>Application Class</i>		A
<i>Weight</i>	<i>Kgs</i>	1.9
<i>Dimension</i>	<i>mm</i>	440*350*25
<i>Maximum System Voltage</i>	<i>V</i>	750

Tabla 1 Características Técnicas panel policristalino

### 7.1.9.1.2 Panel monocristalino

Las celdas monocristalinas se fabrican con **bloques de silicio o ingots**, que son de forma cilíndrica. Para optimizar el rendimiento y reducir los costes de cada celda solar monocristalina, se recortan los cuatro lados de los bloques cilíndricos para hacer láminas de silicio, y que les da esa apariencia característica. (Costalago, s.f.)



Figura 9 Panel monocristalino  
Fuente: Propia

<b>Produc code</b>		<b>SPV-20M36</b>
<i>Maximum power</i>	<i>Pmax</i>	20 Watts
<i>Voltage at Pmax</i>	<i>Vmp</i>	17.2 V
<i>Current at Pmax</i>	<i>Imp</i>	1.16 A
<i>Open-Circuit Voltage</i>	<i>Voc</i>	21.5 V
<i>Short Circuit Current</i>	<i>Isc</i>	1.25 A
<i>Power Tolerance</i>		0 to $\pm 5\%$
<i>Weight</i>	<i>Kgs</i>	2.20
<i>Module dimension</i>	<i>mm</i>	510x290x25
<i>Maximum System Voltage</i>	<i>V</i>	1000VDC

Tabla 2 Características técnicas panel monocristalino

#### **Eficiencia:**

$$\eta = \frac{P_{max}}{R_{st} * A} * 100\% \quad (1)$$

**Pmax:** Potencia máxima del panel

**Rst:** Radiación estándar de 1000W/m<sup>2</sup>

**A:** Área del panel en metros cuadrados

#### **Eficiencia del panel monocristalino.**

$$\eta = 100\% * \left( \frac{20w}{0,510m * 0,290m * 1000W/m^2} \right) = 13,52\%$$

#### **Eficiencia del panel Policristalino**

$$\eta = 100\% * \left( \frac{20w}{0,440m * 0,350m * 1000W/m^2} \right) = 12,98\%$$

#### **7.1.9.2. Controlador o Regulador de carga**

Se encarga de conectar y desconectar el panel fotovoltaico, dependiendo de si la batería está cargada o descargada. Además, deja al panel fotovoltaico en circuito abierto cuando debe desconectarlo. Los reguladores deben cumplir estas funciones:

- Limitar la carga de la batería.
- Tener protecciones contra: sobre intensidad, polaridad inversa, corto circuito, y diodo de bloqueo, el cual previene la descarga de la batería durante la noche.
- Indicadores (LED's) o una pantalla que informa sobre el estado de carga de la batería.

- Controlar la descarga, para que la batería no se descargue totalmente y se dañe.  
(EnDev/GIZ, 2013)



Figura 10 Regulador de carga

El controlador de carga escogido para este proyecto fue solar charge controler 12/24 Voltios y 10 Amperios ver figura 11 este controlador es de tipo de carga PWM por medio del cual se garantizara mayor duración de la batería y un mejor rendimiento del sistema. Lo cual permite tener unos ciclos de carga eficiente evitando sobre tensiones y sobre corrientes.



Figura 11 Regulador de carga

#### Especificaciones técnicas

- Voltaje del sistema 12/24V
- MAX entrada de voltaje del panel solar 55V
- Tipo de carga PWM
- Corriente de carga: 10<sup>a</sup>
- Corriente de autoconsumo: < 12 mA.
- Tipo de carga: PWM
- Temperatura de trabajo: -20°C a 55 °C
- Voltaje de carga flotante: 13.8 V
- Temperatura de Compensación: -24mv/°C/Celda
- Dimensiones: 168 \* 92 \* 41.5cm
- Peso: 320g

El regulador PWM es capaz de llenar por completo la batería gracias a que introduce la carga de forma gradual, a pulsos de tensión, en la fase de flotación, fase de llenado último de la batería. Así, la corriente se va introduciendo poco a poco hasta que la batería se llena de manera óptima y estable. (monsolar, s.f.)

#### **7.1.9.3. Inversor**

Estos componentes, no están incorporados en todos los sistemas fotovoltaicos, pero para aspectos prácticos es necesario conocer su funcionamiento.

El inversor tiene como función transformar la tensión de corriente continua (CC) de la batería a corriente alterna (CA) y poder utilizar los equipos y artefactos que normalmente funcionan con este tipo de corriente, que suelen ser los convencionales a 110V / 220V. Hay tres tipos de inversores:

**Onda cuadrada:** No tienen mucho control en el voltaje de salida, ni limitan la sobretensión. Estos no se recomiendan para aplicaciones de uso doméstico.

**Onda cuadrada modificada:** pueden manejar grandes sobretensiones, son bastante recomendados para uso doméstico. La desventaja es que producen ruido eléctrico que afecta algunos artefactos electrónicos.

**Onda Sinusoidal:** Permite el uso de equipos electrónicos muy sensibles. Tienen una alta capacidad de sobretensión y pueden hacer arrancar muchos tipos de motores fácilmente. (EnDev/GIZ, 2013)



Figura 12 Inversor

#### 7.1.9.4. Batería

Es el componente que almacena la energía eléctrica que recibe del panel fotovoltaico para luego distribuir la electricidad en el momento que se necesite. Las baterías realizan tres funciones importantes dentro del sistema fotovoltaico:

- Almacenar energía eléctrica cuando hay mucha radiación solar o hay poco consumo de energía eléctrica.
- Proporcionar la energía eléctrica necesaria cuando hay baja o nula radiación solar. En las zonas rurales se usa la 19 energía de la batería mayormente en la noche para hacer funcionar luminarias, radios o televisores.
- Distribuir la energía eléctrica de forma estable y adecuada para utilizar los aparatos eléctricos. Por ejemplo, cuando encendemos un televisor o durante el arranque de un pequeño motor eléctrico. (EnDev/GIZ, 2013)

La Batería utilizada para este proyecto fue la batería Netion de 12V/ 12AH, es una batería seca libre de mantenimiento, de ciclo profundo, de alto rendimiento y resistencia eléctrica contra descargas excesivas *Ver Figura 13.*



Figura 13 Batería

### Especificaciones técnicas

- Capacidad en 25°C: 20hR (0.6A) 12.00Ah
- Dimensiones: 97.5mm 151mm 98mm
- Peso: 3.35Kg
- Resistencia interna: Carga completa en 25°C Aproximadamente 18mOhms
- Auto descarga: a 25°C, después de 3 meses 91%, después de 6 meses 82%, después de 12 meses 64%.
- Afectación de capacidad por temperatura: 40°C 102%, 25°C 100%, 0°C 85%, -15°C 65%
- Voltaje de carga (25°C): 13.5-13.8V

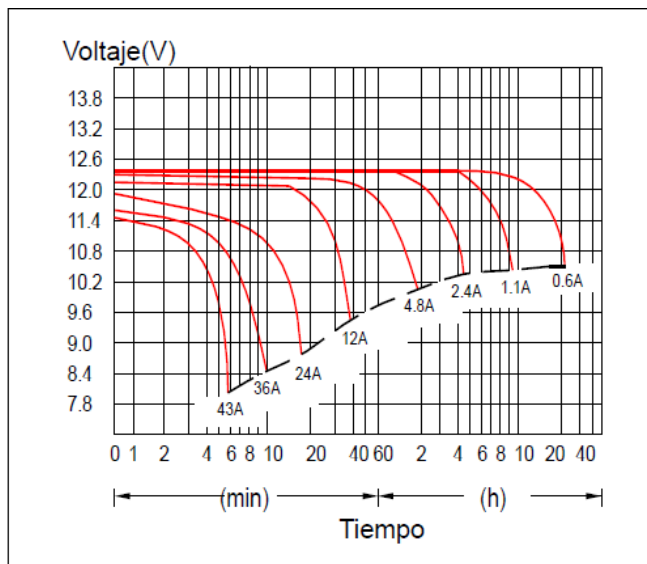


Figura 14 Características de descarga de la batería

#### 7.1.9.5. Carga de alimentación

Nos referimos a los dispositivos y artefactos electrodomésticos que pueden funcionar con la energía que se genera con el sistema fotovoltaico. Es muy importante conocer el consumo de los artefactos que usamos, para poder utilizar mejor la energía de que disponemos. (EnDev/GIZ, 2013)



Figura 15 Cargas de alimentación

Con el propósito de poder estudiar el rendimiento energético de los paneles solares se seleccionaron dos cargas de 7w y una de 6w a 12V para cada sistema, las cuales permitieran ocupar todo el rango de potencia de los paneles que para este caso es de 20w.

Dichas cargas presentan las siguientes características:

	<p><i>Modelo: LED B22</i></p> <p><i>E27</i></p> <p><i>Potencia: 7W</i></p> <p><i>Tensión: 12V</i></p> <p><i>Lúmenes: 425~800Lm</i></p> <p><i>Frecuencia: 50/60hz</i></p>		<p><i>Modelo: LED E27</i></p> <p><i>Potencia: 6W</i></p> <p><i>Tensión: 12V</i></p> <p><i>Lúmenes: 55~65Lm</i></p> <p><i>Frecuencia: 50/60hz</i></p>
--	--	---	--

Figura 16 Cargas del proyecto

#### **7.1.9.6. Prueba *t*-student**

La prueba *t*-student se deriva de las distribuciones *t* (Hinkle, Wiersma, y Jurs, 1994) Las distribuciones *t* son una familia de distribuciones simétricas con forma de campana (distribución normal). La forma de estas distribuciones cambia conforme el tamaño de la muestra.

Las pruebas t-student se pueden usar para comparar diferencias entre los promedios de dos grupos u observaciones (independientes), o para comparar los promedios de dos observaciones (pareadas o apareadas) realizadas a la misma persona. (Jimenez, 2005)

Para el análisis estadístico de los datos del presente estudio se realizó la *prueba t-student* para muestras independientes. En los contrastes con muestras independientes, la hipótesis nula  $H_0$  es que los valores obtenidos en una y otra muestra son similares, frente a la hipótesis alternativa  $H_1$  de que son diferentes. El valor obtenido en la significación nos permite decir si se rechaza o no la hipótesis nula. (Montiel)

La prueba t- student para dos medias: se basa en contrastar si las medidas de cada grupo son similares. Este tipo de contraste es válido cuando se da alguna de las siguientes condiciones:

- Las varianzas son similares y las observaciones de cada muestra son normales
- Las varianzas son similares y los tamaños muestrales son grandes.
- Hay diferencia notable entre las varianzas de cada grupo, pero los tamaños de cada muestra son similares y además las muestras son aproximadamente normales

## **7.2. Marco Legal**

El marco legal de la propuesta se fundamenta principalmente en la Ley 697 de octubre 3 de 2001, la Ley 1665 de junio 16 de 2013 y la Ley 1715 de mayo 13 de 2014 del Congreso de la república de Colombia.

### **7.2.1. Ley 697 de 2001**

La Ley 697 de octubre 03 de 2001 “Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones”. Esta Ley declaró el Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE) como un asunto de conveniencia nacional. Además, creó el Programa Nacional de URE (PROURE), en el que se promueven la eficiencia energética y otras formas de energías no convencionales. (Colombia C. d., 2001)

### **7.2.3. Ley 1665 de 2013**

La Ley 1665 de julio 16 de 2013 por medio de la cual se aprueba el “Estatuto de la Agencia Internacional de Energías Renovables (Irena)”, hecho en Bonn, Alemania, el 26 de enero de 2009. Este estatuto promueve la implantación generalizada y reforzada y uso sostenible de todas las formas de energía renovables, lo que incluye; la bioenergía, la energía geotérmica, la energía hidráulica, la energía marina incluidas la energía obtenida

de las mareas y de las olas y la energía térmica oceánica, la energía solar y la energía eólica. (Colombia C. d., 2013)

#### **7.2.4. Ley 1715 de 2014**

La Ley 1715 del 13 de mayo de 2014 “Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional”. Esta ley tiene como objetivo, promover la eficiencia energética y la utilización de Fuentes No Convencionales de Energía Renovables (FNCER), en el SIN y en las Zonas No Interconectadas (ZNI), reducir las emisiones de GEI y cumplir acuerdos internacionales. Entre los incentivos definidos en esta Ley, se destaca la reducción de 50% del valor de la inversión en FNCE sobre el total de la renta durante 5 años posteriores a la inversión. Además, los equipos, maquinaria y servicios para producir energía a partir de FNCER, serán excluidos del pago de IVA y aranceles (para nuevos proyectos y la maquinaria/equipo no fabricada en el País). (Colombia C. d., 2016)

## 8. METODOLOGIA

El diseño e implementación consta de dos sistemas de fotovoltaicos de tipo monocristalino y otro policristalino, ubicado en el tercer piso del auditorio Emilio Sierra junto a la oficina de salud y seguridad en el trabajo en la sede principal de la Universidad de Cundinamarca en el municipio de Fusagasugá; basándonos en datos de radiación solar generados por la plataforma meteorológica de la NASA y el IDEAM, de igual forma se tendrá en cuenta la información suministrada por los proveedores en las fichas técnicas sobre el comportamiento en condiciones óptimas para los paneles a emplear. Se manejará una autonomía de un día para el diseño del sistema en caso de tiempo nublado y la aplicación de cálculos para suplir esta capacidad, lo que es parte fundamental para estimar su comportamiento de acuerdo con el uso y el dispositivo a conectar, por lo cual se realizará el dimensionamiento de dicho sistema con referencia a cargas en dc variables.

El sistema estará compuesto de un panel solar de 20W monocristalino y un panel de 20W policristalino, dos reguladores de 10 Amperios cada uno, dos baterías secas de 12 amperios 12 voltios y cargas en dc variable conectadas a cada uno de los módulos; Para el sistema de adquisición de datos se emplea la tarjeta Arduino Mega 2560, haciendo uso de: Un módulo RTC (Real Time Clock) o "Reloj de tiempo real Ds3231, sensor de temperatura y humedad DHT11, módulo sensor de corriente Acs742, modulo sensor de voltaje, modulo SD card , un módulo I2C y una lcd 2x16, los cuales tendrán un proceso de calibración para corroborar la precisión en las mediciones a registrar.

Con una regularidad diaria durante un periodo de tiempo de 3 meses en intervalos de tiempo aproximados de 8:00 am a 5:00pm se hace la toma de los datos de temperatura sobre el panel, voltaje, corriente y potencia en cada uno de los paneles y en sus respectivas cargas en dc, las cuales serán variadas simultáneamente. A la vez, se tienen en cuenta estos datos para ser comparados con los suministrados por el fabricante en condiciones óptimas, con el objetivo de verificar el correcto funcionamiento de los paneles y por ende de las medidas registradas por el sistema.

La eficiencia se obtiene de la relación entre la potencia generada por los módulos y la potencia incidente, la cual depende directamente del producto de la irradiación percibida y el área de la célula, de igual forma se tiene en cuenta la influencia de la temperatura en parámetros como el voltaje de circuito abierto y la irradiancia en la corriente de corto circuito para determinación de su potencia de salida y por tanto su eficiencia. Por otra parte en cuanto a la curva de rendimiento energético para cada tipo de panel, resulta de la relación de la potencia de salida en una unidad de tiempo, para este estudio, la curva de energía también dependerá la variación constante de cargas en dc.

Los resultados obtenidos nos permitirán conocer el comportamiento real de cada uno de los paneles empleados en las mismas condiciones, a su vez, se establecerá una base de datos que permita el análisis y comparación de los mismos, mediante gráficos estadísticos, logrando dar respuesta al interrogante de qué tipo de panel (monocristalino o

policristalino) empleado en este estudio presenta un mejor desempeño en términos de rendimiento energético, en las condiciones climáticas del municipio de Fusagasugá.

## 9. DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA

### 9.1. Dimensionamiento y cálculos

Para el desarrollo de la investigación, en primer lugar, se realizó el dimensionamiento de los dos sistemas fotovoltaicos autónomos con paneles de 20W cada uno, los cálculos empleados para cada uno de los equipos fueron los siguientes:

$$\# \text{ de Paneles} = \frac{\text{Potencia total}}{\text{Potencia de cada panel}} \quad (2)$$

Como en este caso se sabe que cada sistema trabaja con un panel de 20W, se debe hallar la potencia diaria que genera o en otras palabras la capacidad de consumo que se puede tener; en términos de diseño se tiene en cuenta la radiación promedio mensual más baja a lo largo del año, junto con un factor de sobre dimensionamiento, el cual para el proyecto fue de un 25%.

$$P(G) = \frac{Fs * Consumo}{Radiacion} \quad (3)$$

Despejando de la ecuación (3) el consumo que en otras palabras es la misma potencia que genera el módulo fotovoltaico obtenemos la ecuación (4).

$$\text{Consumo} = \frac{\text{Radiacion} * P(G)}{F_s} \quad (4)$$

Sustituyendo los datos de la ecuación (4), empleamos el promedio de radiación más bajo para la ciudad de Fusagasugá Cundinamarca de 4,60 kWh/m<sup>2</sup>/d correspondiente a los meses de noviembre y diciembre, dato obtenido de la plataforma meteorológica y de energía solar de la NASA (*Ver figura 17*), la potencia nominal del generador y el factor de sobre dimensionamiento de 25%, obteniendo una potencia generada de 73,6W/día, siendo este dato el máximo de vatios a consumir por las cargas en un día.

Month	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days	Cooling degree-days
	°C	%	kWh/m <sup>2</sup> /d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
January	19.2	76.6%	4.86	85.7	1.6	20.6	0	292
February	19.7	75.1%	4.83	85.7	1.7	21.4	0	277
March	19.7	78.8%	4.91	85.7	1.7	21.4	0	305
April	19.6	80.8%	4.65	85.7	1.6	21.2	0	289
May	19.4	79.7%	4.72	85.8	1.6	20.8	1	292
June	18.9	77.8%	4.83	85.9	1.9	20.2	2	267
July	18.9	70.8%	5.00	85.9	2.0	20.3	3	275
August	19.7	63.9%	5.07	85.9	1.8	21.4	0	303
September	20.2	65.0%	5.03	85.8	1.7	22.1	0	307
October	19.7	74.5%	4.70	85.8	1.5	21.4	0	302
November	19.2	81.1%	4.60	85.7	1.5	20.5	0	278
December	19.0	80.7%	4.60	85.7	1.7	20.2	0	286
<b>Annual</b>	19.4	75.4%	4.82	85.8	1.7	20.9	6	3473
Measured at (m)					10.0	0.0		

Figura 17 Promedio de radiación mensual Fusagasugá  
Fuente: (NASA, s.f.)

$$Consumo = \frac{4,6KW * 20W}{1,25} = 73,6Whdia$$

El cálculo de la batería que se debía utilizar se realizó en dos partes, primero se obtuvo la capacidad en vatios de la batería a partir de la ecuación (5) y posteriormente con el dato obtenido se aplicó la ecuación (6) para conocer la capacidad de la batería en amperios.

$$C \text{ Bateria} = \frac{Consumo * Dias \text{ autonomia}}{P. Descarga} \quad (5)$$

Remplazando los términos de la ecuación (5), se propone un día de autonomía para el sistema, lo cual es fundamental en el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos, puesto que se debe tener en cuenta los días pocos soleados y de baja radiación. También se determina una profundidad de descarga de la batería de un 80%, esto con el objetivo de garantizar la vida útil de la misma.

$$C. \text{ Bateria} = \frac{73,6Wh * 1 \text{ dia}}{80\%} = 92Wh$$

Sabiendo la capacidad de la batería en vatios, mediante la ecuación (6) se halla el amperaje necesario de la batería a emplear.

$$C. Bateria(Amp) = \frac{C. Bateria}{Volt sistema} \quad (6)$$

Se remplazan los datos, y se obtiene que la batería debe cumplir con un mínimo de capacidad de 8,76Amp, por lo tanto, se elige un batería de 12V/12Amp que es la comercialmente más cercana al valor calculado.

$$C. Bateria(Amp) = \frac{92Wh}{12V} = 7,6 Ah$$

En el cálculo del regulador y para mayor exactitud se debe conocer la corriente de corto circuito (Isc) del panel solar y la cantidad de paneles que se concretaran en paralelo, además de un factor de sobre dimensionamiento como se observa en la ecuación (7).

$$Regulador = Fs * \# de paneles en Paralelo * Isc \quad (7)$$

Como en este caso se manejó un panel solar policristalino y otro monocristalino de 20W, se tiene en cuenta las corrientes  $I_{sc}$  de cada uno de los módulos, así como también se utiliza un factor de sobre dimensionamiento del 25%,

$$\text{Regulador } P_{\text{monocristalino}} = 1,25 * 1 * 1,25 = 1,56A$$

$$\text{Regulador } P_{\text{policristalino}} = 1,25 * 1 * 1,202 = 1,50A$$

Finalmente, cabe nombrar que en el cálculo de los equipos no se incluye el inversor debido a que se trabajó con cargas en dc conectadas directamente al regulador. (Villar, 2010)

## **9.2. Diagrama general de conexiones**

Posteriormente se diseñó e implemento el diagrama de conexiones del sistema (*ver figura 18*), en el cual se observan los módulos fotovoltaicos policristalino y monocristalino, los reguladores de carga, las baterías, las cargas eléctricas compuestas por 6 bombillas activadas mediante interruptores y el sistema de adquisición de datos con la placa Arduino Mega, sensores de corriente ACS712, módulos sensores de voltaje,

sensores temperatura y humedad DHT11, un módulo de reloj RTC DS3231 y el módulo lector de micro SD .

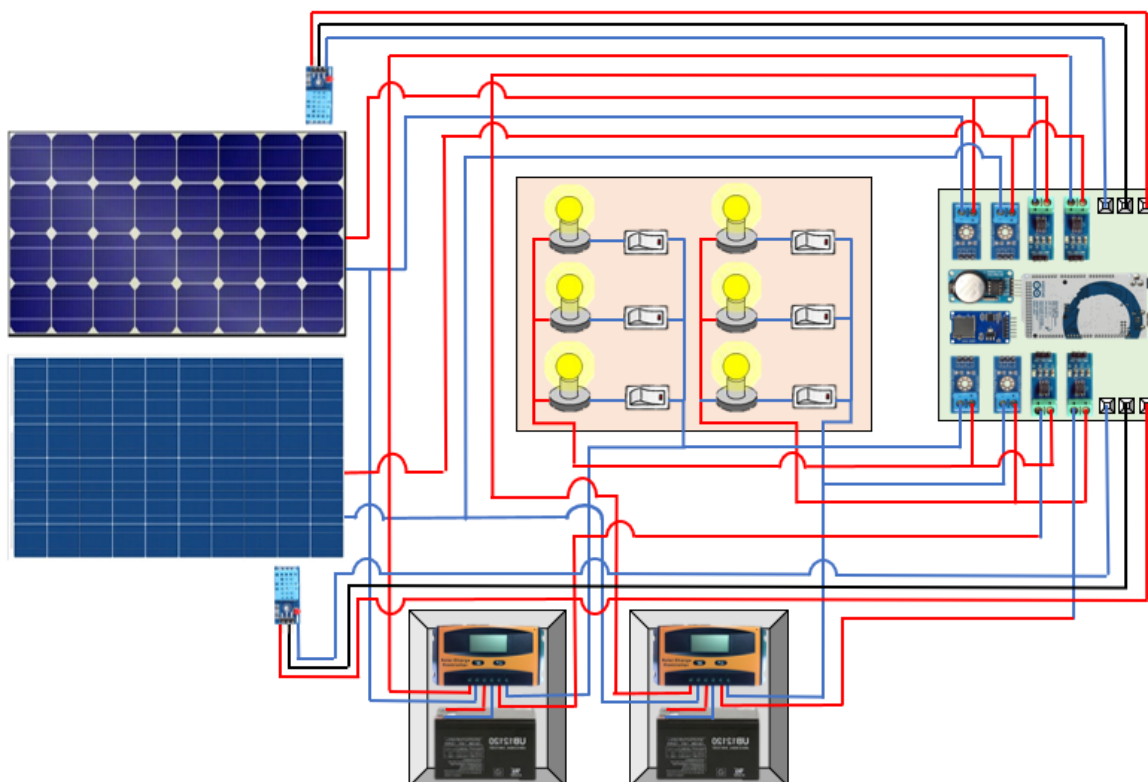


Figura 18 Esquema general del sistema

### 9. 3. Montaje e Instalación los sistemas fotovoltaicos

La instalación de los sistemas fotovoltaicos tuvo lugar en el tercer piso del auditorio Emilio Sierra junto a la oficina de salud y seguridad en el trabajo de la Universidad de Cundinamarca sede Fusagasugá, en este espacio se ubicaron los paneles fotovoltaicos (Monocristalino y policristalino), con el propósito de poder obtener la mayor radiación en el día se evaluó la orientación correcta para los paneles (ángulo

acimut) y la inclinación óptima (ángulo de inclinación), para determinar los dos aspectos anteriormente expuestos se vio la necesidad de indagar con relación al recorrido del sol en el tiempo de toma de datos y la latitud de la ubicación geográfica, teniendo esto claro se optó por orientar los paneles hacia el sur con una inclinación de  $15^\circ$ .



Figura 19 Instalación paneles fotovoltaicos monocristalino y policristalino  
Fuente: Propia

Cada panel se conectó a una caja de conexiones en la cual se encontraba ubicado el regulador y la batería como se muestra en la figura 20, de igual forma del regulador se conectó el banco de cargas variables en dc.



Figura 20 Caja de conexiones del regulador y la batería.  
Fuente: Propia

#### 9. 4. Banco de cargas en DC

Con el fin de variar y disponer de cargas eléctricas que fueran alimentadas por los dos sistemas fotovoltaicos, se diseñó e implementó de un banco de cargas en DC conformadas por 6 bombillas a 12 voltios (4 de 7W y 2 de 6W) distribuidos de la siguiente manera; una bombilla de 6W y dos de 7W conectadas al sistema fotovoltaico del panel policristalino, así mismo, una bombilla de 6W y dos de 7W conectadas al sistema fotovoltaico del panel monocristalino, de esta forma para cada uno de los sistemas fotovoltaicos se completó la potencia máxima brindada por cada panel de 20W de acuerdo a las horas de uso diario y la potencia total diaria calculada, como se evidencia en el cuadro de cargas de la tabla 3.

<b>Tipo</b>	<b>Potencia c / u</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Horas de Uso</b>	<b>Consumo día</b>
Bombilla LED 12V	6W	1	3	18Wh
Bombilla LED 12V	7W	2	4	56Wh
<b>Total, consumo diario</b>				74Wh/día

Tabla 3 Cuadro de cargas panel monocristalino y policristalino.

De igual forma el día 7 de mayo se realizaron pruebas con el fin de corroborar el dimensionamiento y cálculos realizados para ambos sistemas fotovoltaicos y las cargas a alimentar, obteniendo la gráfica de la figura 21 , en la cual se evidencia que desde las 9:28 de la mañana hasta la 12:30 de la tarde se dejó un total de 3 horas dos cargas de 7W y una de 6W, completando un valor de carga total de 20W para un consumo de 60Wh/d y de las 12:30 p.m. a las 4:00 p.m. una carga de 6W generando un consumo aproximado de 18Wh/d. Revisando los consumos totales con activación de estas cargas se obtiene un valor de 78Wh/d, teniendo un rendimiento con 4Wh/d por encima del valor calculado.

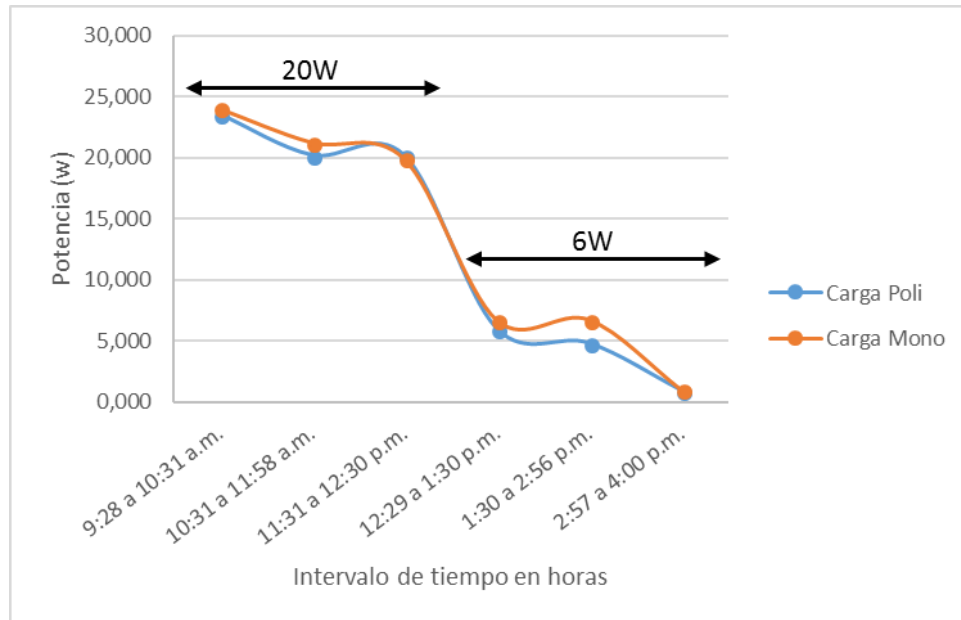


Figura 21 Curva de verificación cuadro de cargas

El montaje se implementó en una base de madera para mayor estabilidad y la conexión de las cargas de los dos sistemas fotovoltaicos se realizó en paralelo, contando cada bombilla con su respectivo interruptor de encendido y apagado; esto con el objetivo de variar fácilmente el valor de carga y así mismo obtener datos de variables como la corriente, lo cual nos permitiría conocer sobre el comportamiento de cada uno de los sistemas fotovoltaicos. (Ver figura 22)



Figura 22 Implementación banco de cargas  
Fuente: propia

### 9. 5. Sistema de adquisición de datos

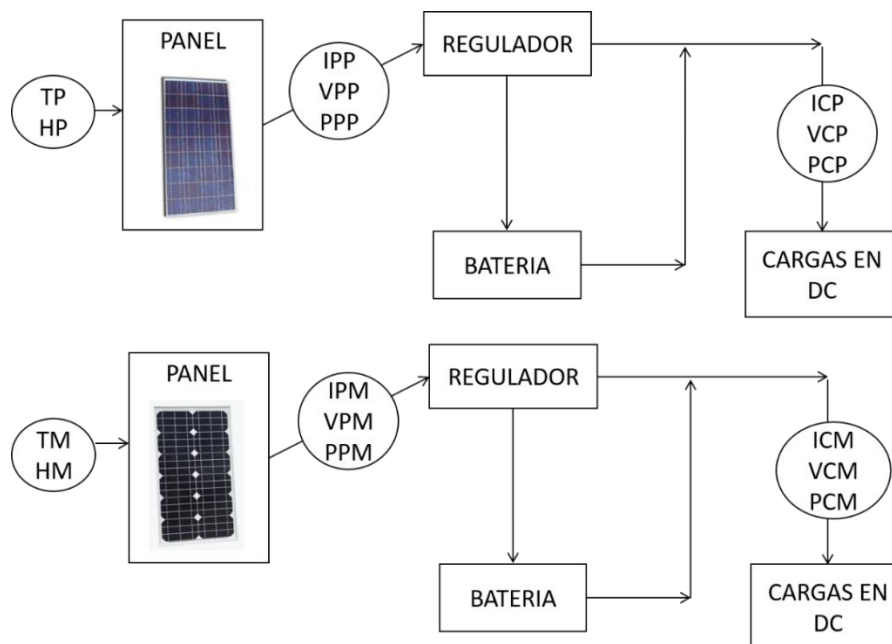


Figura 23 Diagrama de bloques medición de variables

Con el propósito de medir las variables de voltaje, corriente, y temperatura en cada uno de los paneles, al igual que los voltajes y corrientes sobre la carga (Ver figura 23), para de esta forma conocer la potencia, se diseñó un sistema de adquisición de datos que permitía guardar las variables medidas en un archivo DATALOG con extensión CSV, brindando la facilidad de visualizar los datos en el programa Excel de Microsoft por medio de tablas que con los siguientes indicativos para cada variable:

**IPP:** Corriente del panel policristalino

**VPP:** Voltaje del panel policristalino

**PPP:** Potencia del panel policristalino

**TP:** Temperatura de panel policristalino

**HP:** Humedad del panel policristalino

**IPM:** Corriente del panel monocristalino

**VPM:** Voltaje del panel monocristalino

**PPM:** Potencia del panel monocristalino

**TM:** Temperatura de panel policristalino

**HM:** Humedad del panel policristalino

En el sistema de adquisición de datos se empleó la tarjeta Arduino Mega 2560 R3 la cual cuenta con suficientes entradas análogas y pines digitales, 4 módulos sensores de

voltaje con un rango de detección entre 0.02445V a 25V, 4 módulos sensores de corriente ACS712 de rango de medición disponible hasta 20A y 2 módulos sensores de temperatura y humedad DHT11, estos sensores nos brindaron las corrientes y voltajes tanto del panel como sobre la carga y en el caso del sensor DHT11 nos proporcionó el dato de temperatura sobre cada panel.

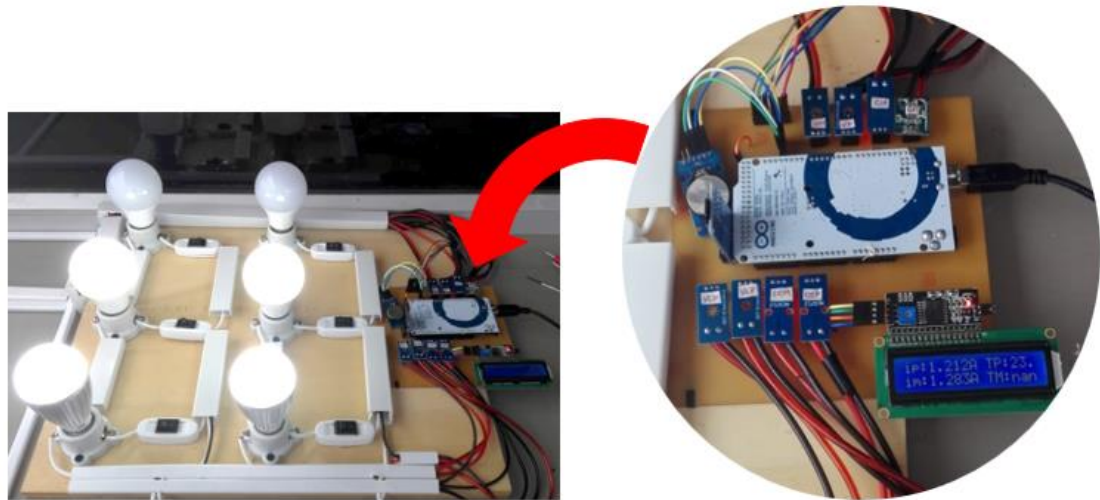


Figura 24 Implementación sistema de adquisición de datos  
Fuente: Propia

Con el fin de obtener mayor claridad en la medición de las variables se utilizó un módulo reloj de la precisión RTC DS3231 para conocer la fecha y la hora exacta de la toma de los datos, así como también un módulo lector de microSD para el almacenamiento de los registros en una base de datos que permitiera su posterior análisis. Por otra parte, las mediciones de los niveles radiación y temperatura ambiente se hicieron de forma manual y con base a registros suministrados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM

### 9.5.1. Arduino Mega 2560 R3

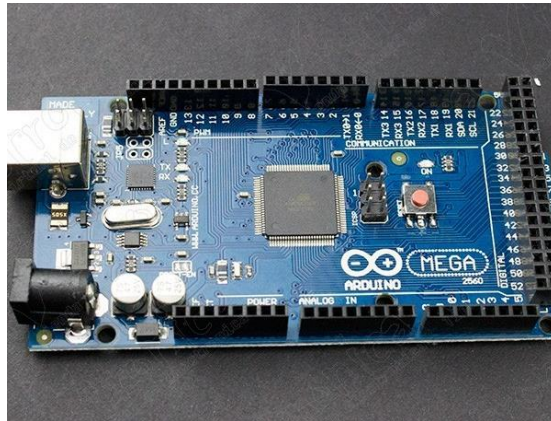


Figura 25 Placa arduino mega 2560 R3  
Fuente: Vistrónica

- Microcontrolador: ATMEGA2560
- Voltaje de operación: 5V
- Entrada de voltaje recomendada: 7V-12V
- Límites de entrada de voltaje: 6V-20V
- Pines digitales entradas/salidas: 54 (15 pines para señal PWM a la salida)
- Pines analógicos de entrada: 16
- Corriente de salida DC total de todas las líneas de entradas/salidas: 40mA
- Corriente DC por el pin de 3.3V: 50mA
- Memoria Flash: 256KB (8KB para el arranque)
- SRAM: 8KB
- EEPROM: 4KB
- Frecuencia de reloj: 16MH

### 9.5.2. Modulo sensor de voltaje



Figura 26 Modulo sensor de voltaje  
Fuente: Vistronica

- Rango de entrada de voltaje: 0V ~ 25V
- rango de detección de voltaje: 0.02445V ~ 25V
- Resolución analógica de tensión: 0.00489V

### 9.5.3. Modulo sensor de corriente ACS712 de 20A



Figura 27 Modulo sensor de corriente ACS712  
Fuente: Vistronica

- Voltaje de alimentación: 5V
- Maximo voltaje inverso: 0.1V
- Corriente de salida: 3mA (Fuente) 10mA (inversa)
- Voltaje de salida: 0V~5V
- Rangos disponibles (Capacidad de corriente): 20A
- Sensibilidad: · 20A (a una salida de 180mV/A)
- Salida cuando no detecta corriente:  $VCC / 2$
- Aislamiento eléctrico total: Entre el sensor de efecto Hall y la salida de voltaje
- Error máximo de linealidad a la salida: 1.5% a 25°C

#### 9.5.4. Sensor de temperatura y humedad DHT11

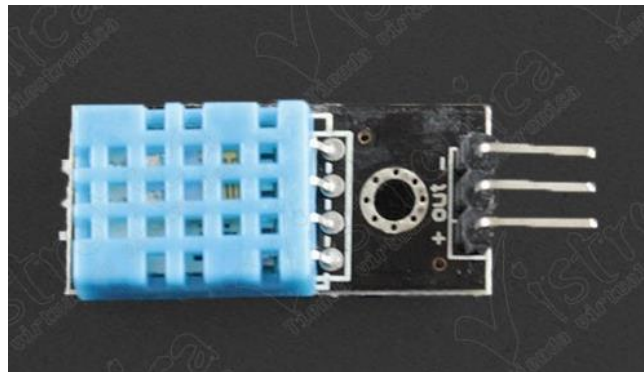


Figura 28 Sensor de temperatura y humedad DHT11  
Fuente: Vistronica

- Sensor de temperatura: 100K 1% termistor
- Sensor de humedad: HR202 resistencia a la humedad
- Voltaje de operación: 3V~5.5V

- Corriente de operación: 0.2mA~0.5mA
- Rango Humedad: 20%~95% de Humedad Relativa
- Rango temperatura: 0°C~50°C
- Resolución Humedad: 1RH / 8 bits
- Resolución Temperatura: 1°C / 8 bits
- Precisión de medición de humedad: 0.5%RH
- Precisión de medición temperatura: 2°C
- Tiempo de respuesta: < 5 segundos

#### 9.5.5. Piranómetro SM-206



Figura 29 Piranómetro SM-206

Fuente: viaindustrial

- Rango de error:  $\pm 10 \text{ w} / \text{m}^2$  [ $\pm 3 \text{ Btu} / (\text{ft}^2\text{-h})$ ] o  $\pm 5\%$  del valor medido
- Pantalla:  $\pm 0.38 \text{ W} // \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$  [ $\pm 0.12 \text{ Btu} / (\text{pies}^2\text{-h}) / \text{ } ^\circ\text{C}$ ] desviación a 25 °C

- Sobrecarga de pantalla:  $<\pm 3\%$  / año
- Tiempo de muestreo: 0.1 a 399.9 W / m<sup>2</sup>, 1-3999 W / m<sup>2</sup>, 0.1 a 399.9 Btu / (ft<sup>2</sup>- h), 1-3999 Btu / (ft<sup>2</sup>- h)
- Temperatura de trabajo y humedad: 0. 25s / tiempo
- Temperatura de almacenamiento y humedad: -10 ° C a 60 ° C <70% HR
- Dimensiones y peso: 132 (L) X 60 (W) X 38 (H) MM
- Peso aproximado: 150 g

#### 9.5.6. Modulo reloj de la precisión RTC DS3231

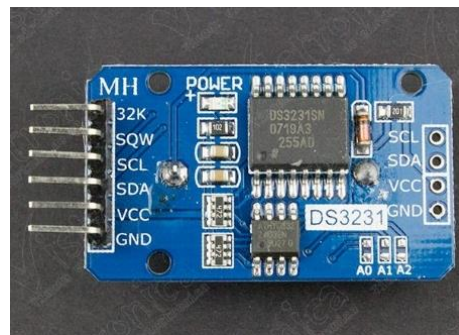


Figura 30 Modulo reloj de la precisión RTC DS3231  
Fuente: Vistronica

- Voltaje de entrada: 3.3V-5V
- Chip: DS3231
- Onda de salida: Cuadrada programable
- Soporte calendario: Hasta el año 2100
- Precisión del sensor de temperatura:  $\pm 3$  grados
- Chip de memoria: AT24C32
- Capacidad chip de memoria: 32

### 9.5.7. Lector TF SPI/SDIO Micro SD

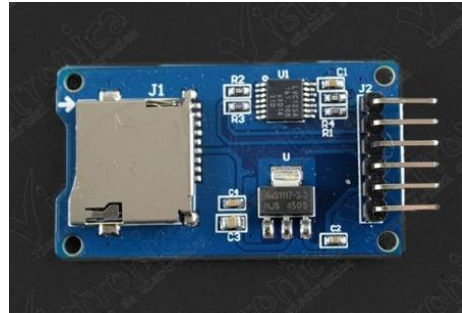


Figura 31 Lector TF SPI/SDIO Micro SD  
Fuente: Vistronica

- Modelo: TF SPI/SDIO
- Voltaje de operación: 3.3V/5V

### 9.5.8. Placa I2C adaptadora LCD1602



Figura 32 Placa I2C adaptadora LCD1602  
Fuente: Vistronica

- Voltaje de entrada: 5V~9V
- Voltaje de salida: 3.3V/5V
- Pines digitales entradas/salidas: 14
- Pines analógicos entradas/salidas: 6

- Interfaz (protocolo): I2C/TWI/SPI
- Potenciómetro: Ajustar contraste y luz de fondo
- Líneas de salida: 4
- Dirección del dispositivo: 0x20/0x27
- Tamaño: 5.4cm x 1.9cm

### 9.5.9. LCD 16x2 Backlight Azul



Figura 33 LCD 16x2 Backlight Azul  
Fuente: Vistronica

- Formato de presentación: Carácter 16x2
- Tipo de pantalla: STN, Reflectiva, Azul Negativo
- Controlador: SPLC780D1 o controlador equivalente
- Interfaz: 4-bit 8-bit de interfaz paralelo
- Esquema de conducción: 1/16 Ciclo de trabajo, 1/5 Bias
- Voltaje de alimentación: 5V
- Voltaje LCD ajustable para el mejor contraste: 5V

### 9.5.10. Programación del código para el sistema de adquisición de datos

El proceso de programación del arduino se resume en el diagrama de flujo de la figura 34, el cual contiene el funcionamiento general del programa que se utilizó para efectuar las mediciones de las distintas variables.

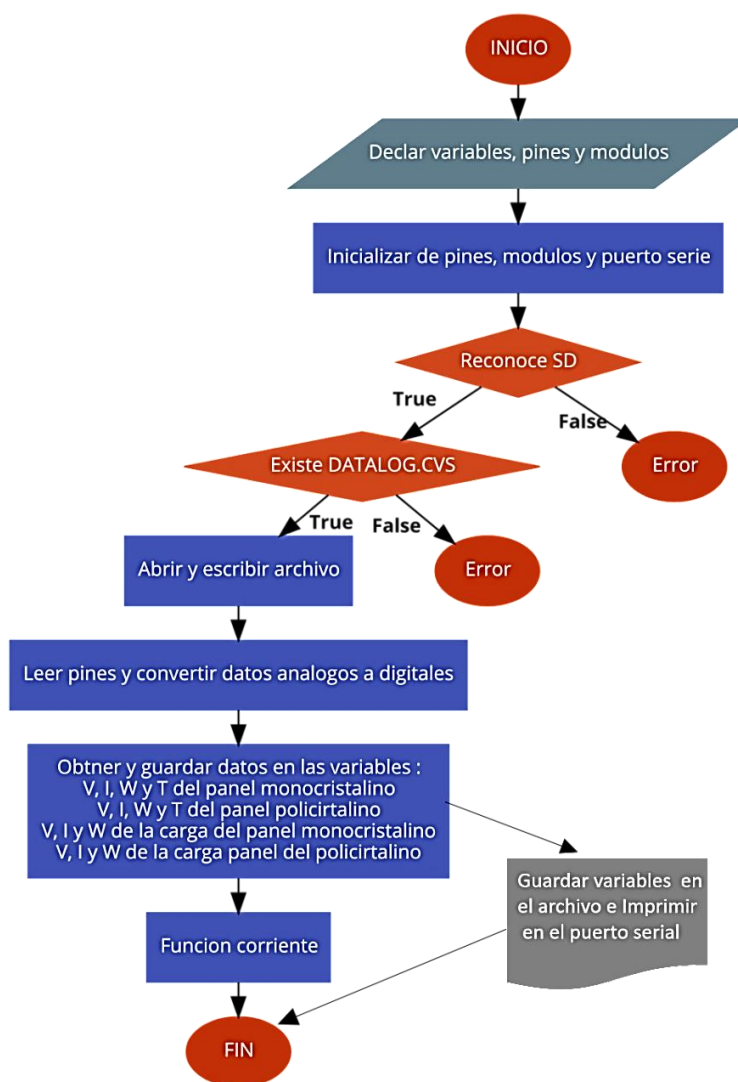


Figura 34 Diagrama de flujo del código para el sistema de adquisición de datos

En primer lugar, se incorporan las librerías para poder utilizar los sensores de corriente, voltaje, temperatura y humedad, juntos con los módulos de reloj, lector de microSD, placa I2C y LCD 2x16. Posteriormente se declaran variables de sensibilidad para los sensores de corriente, valores de resistencias para obtener el voltaje, el módulo de reloj, la placa I2C creando el objeto LCD con su respectiva dirección, se declara un archivo “dataFile” que permita almacenar los datos obtenidos y se asignan los pines digitales para la microSD y los sensores de temperatura y humedad.

Continuando con la secuencia, entramos a la primera función dentro del programa de arduino “void setup()”, en la cual inicializamos los pines de los sensores de temperatura y humedad, el módulo de reloj, el puerto I2C, la LCD y lector de micro SD, de esta forma se crea el archivo DATALOG.CSV para guardar los datos de las mediciones registradas. Posteriormente, en la función “void loop()” se abre el archivo DATALOG.CSV para su escritura; aquí se obtienen las corrientes de los paneles y de las cargas llamando las funciones “get\_corriente()” visibles al final del código, en el caso del voltajes del sistema se leen los pines análogos conectados a los sensores y se realiza la conversión de análogo a digital para tener el valor real de los voltajes, conociendo estos datos se adquieren mediante operación matemática la potencia de cada uno de los paneles al igual que en las cargas.

También, en esta parte del programa se obtienen los datos de temperatura y humedad de cada panel, llamando desde la librería las funciones que realizan este

proceso, es así, como cada uno de los datos obtenidos de corrientes, voltajes, potencias, temperaturas y humedades del sistema son asignados a distintas variables, las cuales, a su vez, son guardadas en el archivo DATALOG.CSV en forma base datos, o en su defecto pueden se visualizadas en el monitor serie.



Figura 35 Panorámica sistema completo.  
Fuente: propia

#### 9.5.11. Calibración de los sensores empleados

Los sensores utilizados para la toma de datos se calibraron de la siguiente manera:

El sensor de corriente ACS712 se calibro partiendo de la ecuación (8) con la cual se obtiene la corriente, en esta ecuación solo tenemos dos constantes, los 2.5 que es el voltaje del sensor cuando la corriente es 0A y la sensibilidad, que equivale a la pendiente de la recta Voltaje Vs Corriente, aun así, puesto que cada sensor tiene su propia

característica debemos calcular los valores reales de estas constantes siguiendo la ecuación (9).

$$I = \frac{V - 2,5}{Sensibilidad} \quad (8)$$

$$Sensibilidad = m = \frac{V2 - V1}{I2 - I1} \quad (9)$$

Las lecturas de voltaje del sensor se realizaron mediante programa en arduino y con ayuda de un multímetro, cuando la corriente que pasaba por el sensor ACS712 era 0A se tomó el voltaje obteniendo el primer punto P1(I1, V1), posteriormente y con ayuda de un circuito en el cual la corriente medida era de 1A se tomó el segundo voltaje para el punto P2(I2,V2), de esta forma se completó la ecuación (9), obteniendo las constantes y calibrando cada uno de los sensores de corriente.

En cuanto al módulo sensor de voltaje la lectura del dato del voltaje se obtuvo mediante las ecuaciones (10), (11) y (12), como se sabe el arduino lee una unidad de 0 a 1023 que se correlaciona con un voltaje de 0 a 5, por lo tanto ***el valor de un voltaje leído en arduino*** se obtiene de multiplicar el dato leído en el puerto análogo por 5 que es el voltaje máximo en lecturas, dividido en 1023 que es la unidad en la que mide el arduino como se observa en la ecuación (10).

$$V_{\text{arduino}} = \frac{5}{1023} * \text{SensorValue} \quad (10)$$

Sabiendo esto, el módulo sensor de voltaje trabaja bajo el concepto de un divisor de voltaje que maneja dos resistencias  $R1=30000\Omega$  y  $R2=7500\Omega$  siguiendo el esquema de la figura 36, es decir, que si se desea conocer el voltaje leído por el sensor se debe hacer un trabajo matemático; en primer lugar, se puede saber el voltaje leído por el arduino a través de la resistencia  $R2$  del sensor, haciendo el divisor de voltaje de la ecuación (11), donde el voltaje leído por el sensor se multiplica por la resistencia  $R2$  y se divide por la suma de las resistencia  $R1$  y  $R2$ .

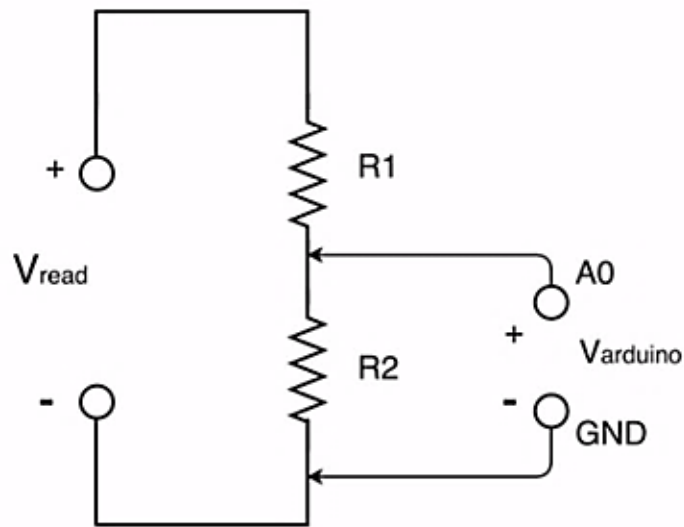


Figura 36 Esquema de Funcionamiento del Módulo sensor de voltaje

$$V_{arduino} = \frac{V_{read} * R2}{R1 + R2} \quad (11)$$

Con la información previa de la ecuación (11) donde se halla el voltaje que lee el arduino empleando un módulo sensor de voltaje, se obtiene la ecuación (12), para la cual se reemplaza la ecuación (11) en la ecuación (10) y se despeja la variable del voltaje que lee el módulo sensor voltaje, obteniendo finalmente el valor real del voltaje leído por el sensor. Cabe resaltar, que todo este proceso es necesario debido a que necesitamos incorporar la forma de tomar datos del arduino con el funcionamiento y lecturas del módulo sensor de voltaje, de igual forma los datos obtenidos se corroboraron con un multímetro obteniendo un error muy pequeño de 100mV a 200mV.

$$V_{read} = \frac{5}{1023} * SensorValue * (R1 + R2) \quad (12)$$

El sensor de temperatura y humedad DHT11 tiene la ventaja de ser digital, por lo tanto, la información la envía a través de un pin digital, lo que permite a la vez proteger frente a problemas de ruido, también es estrictamente calibrado en laboratorio brindando alta confiabilidad en las medidas registradas. Para este caso, la verificación de las medidas registradas por el sensor, se realizaron de forma manual con ayuda de un termómetro, siendo satisfactorias en su totalidad.

## 10. DATOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

En el siguiente apartado se realiza el análisis de los datos obtenidos durante los meses de febrero, marzo, abril y mayo, estas mediciones se realizaron de forma alternada entre días soleados, lluviosos y nublados con cargas variables en dc, para de esta manera poder observar los efectos de los factores tanto externos como propios del panel sobre los parámetros de salida de cada uno de los módulos y por ende su rendimiento energético.

### 10.2. Datos Meteorológicos de referencia

Como referencia para el estudio comparativo realizado se tomaron como base algunos datos proporcionados por el Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM para este caso específico la temperatura del aire, la humedad relativa y las precipitaciones para el municipio de Fusagasugá de la estación meteorológica Pasca automático y el Pinar.

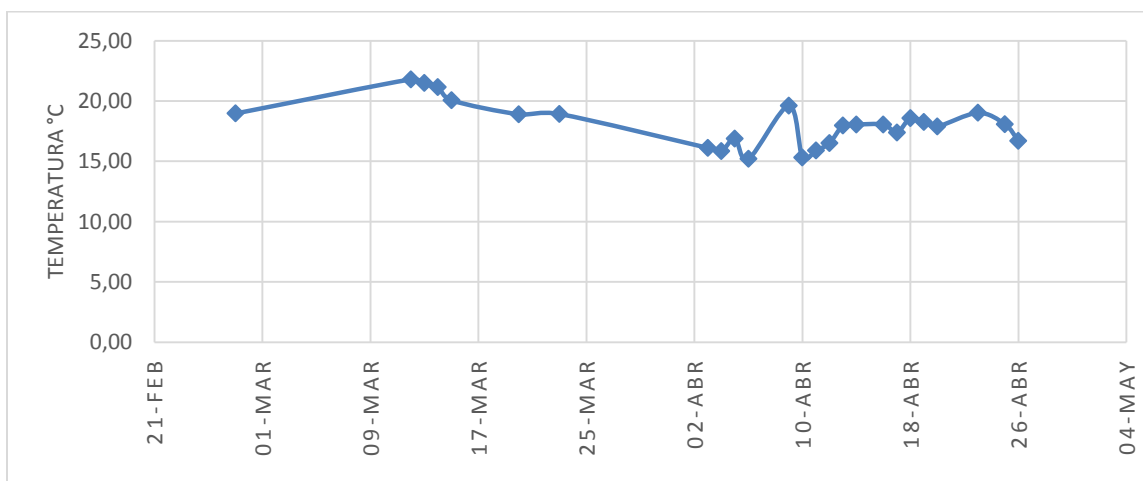


Figura 37 Temperatura promedio Fusagasugá

En cuanto a la temperatura del aire esta se mantuvo en un promedio de 18,11°C, teniendo un máximo de temperatura de 21,8° y 19,61°C los días 12 marzo y 9 de abril y una reducción durante el mes de abril con temperaturas mínimas de hasta 15,2 °C los días 6 y 10 de abril.

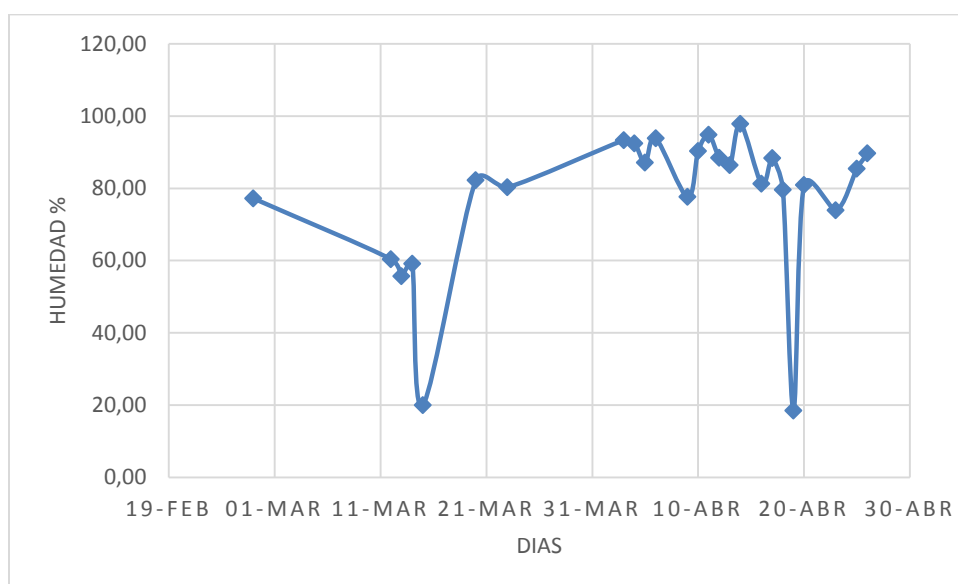


Figura 38 Humedad relativa promedio en Fusagasugá

Como se puede observar en la figura 38 la humedad relativa en el municipio de Fusagasugá durante el tiempo de toma de datos tiene un promedio del 77%, en la gráfica se pueden evidenciar dos días de baja humedad que son los días 15 de marzo y 19 de abril con un valor de 19,98% y 18,48% respectivamente y el de mayor humedad el día 14 de abril con 97,80%.

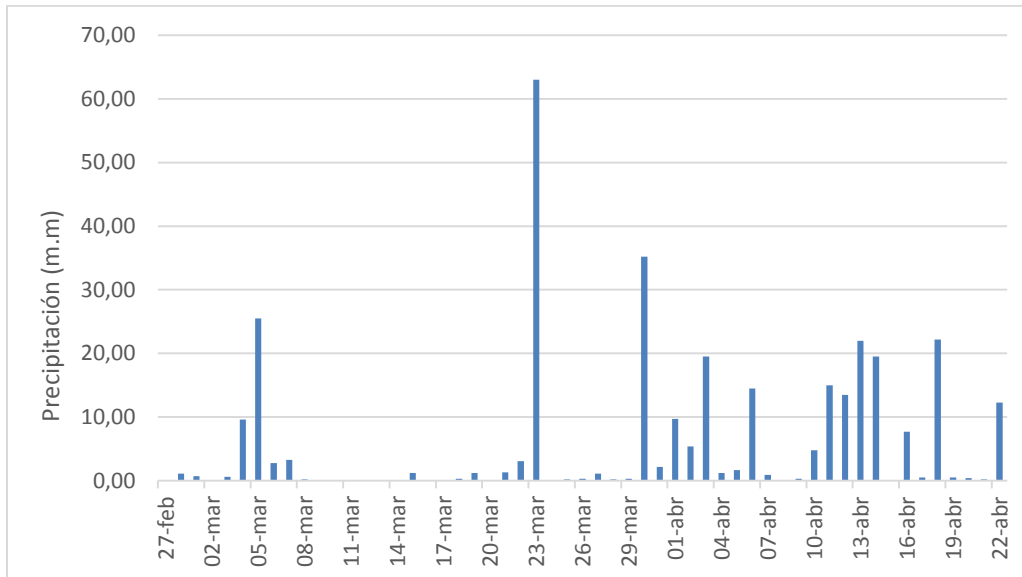


Figura 39 Precipitaciones en febrero, marzo y abril de 2018 en Fusagasugá

Las precipitaciones mostradas para el municipio de Fusagasugá presentan algunos intervalos de lluvias en los días del 4 al 7 de marzo, el 23 de marzo, del 30 al 6 de abril, del 10 al 14 de abril, los días 16, 18, y 22 de abril y los intervalos de baja precipitación se encuentran en su mayoría durante el mes de marzo entre los días del 8 al 22.

### 10.3. Datos Obtenidos en circuito abierto y corto circuito

Con el objetivo de comparar las especificaciones técnicas suministradas por los fabricantes de cada uno de los paneles (Ver figura 40 y figura 41), puesto que estos datos son realizados en condiciones de laboratorio; se tomaron datos de voltaje en circuito abierto ( $V_{oc}$ ) y corriente en corto circuito ( $I_{sc}$ ) en condiciones climáticas reales, teniendo presente que la temperatura del módulo estuviera en  $25^{\circ}\text{C}$ . (Ver Tabla 4.)

Characteristics

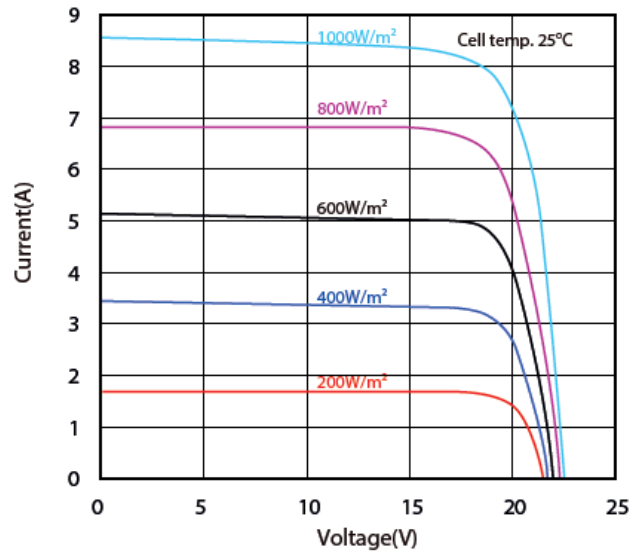


Figura 40 Curva característica de I-V del panel monocristalino

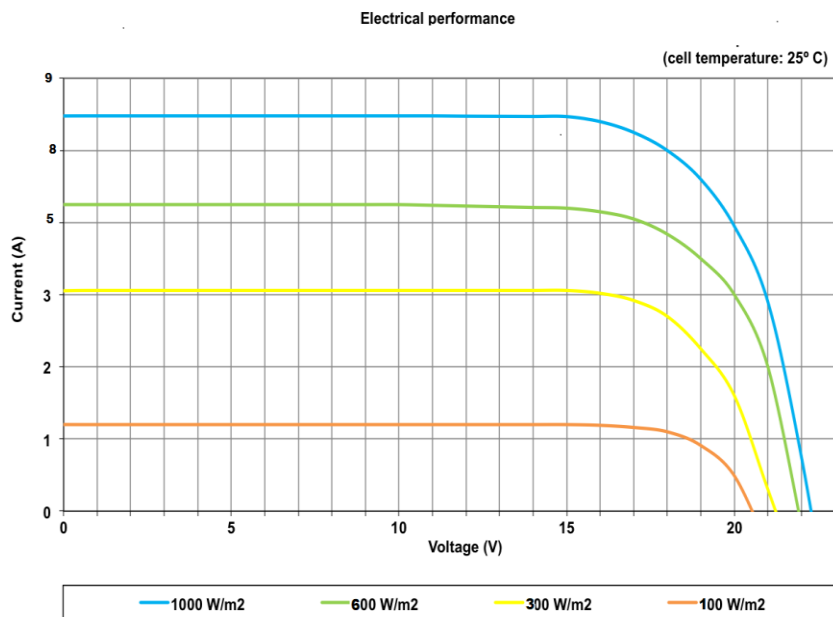


Figura 41 Curva característica panel policristalino

Irradiancia(W/m <sup>2</sup> )	Monocristalino		Policristalino	
	Voc(V)	Isc(A)	Voc(V)	Isc(A)
200	20,4	0,210	19,8	0,210
253	20,5	0,260	19,9	0,260
300	20,7	0,300	20,1	0,300
370	21,0	0,370	20,3	0,360
400	21,2	0,400	20,5	0,390
529	21,3	0,510	20,6	0,510
600	21,3	0,580	20,6	0,570
721	21,2	0,700	20,7	0,690
822	21,6	0,810	20,9	0,780
1000	21,3	0,950	20,8	0,960

Tabla 4 Datos de Isc y Voc del panel policristalino y monocristalino según la irradiancia.

Mediante la gráfica de curvas características de I-V de cada uno de los paneles y los datos medidos en el lugar de la instalación, se logró verificar y determinar que en condiciones climáticas reales los módulos fotovoltaicos tuvieron una respuesta un poco mayor y muy cercana a los suministrados por los fabricantes.

#### 10.4. Promedios diarios de todas las variables

En las siguientes graficas se podrá ver el comportamiento con relación a la corriente y voltaje correspondiente a cada uno de los módulos durante el transcurso del estudio, cabe resaltar que los datos presentados se tomaron teniendo presente la conexión de los módulos al regulador de carga.

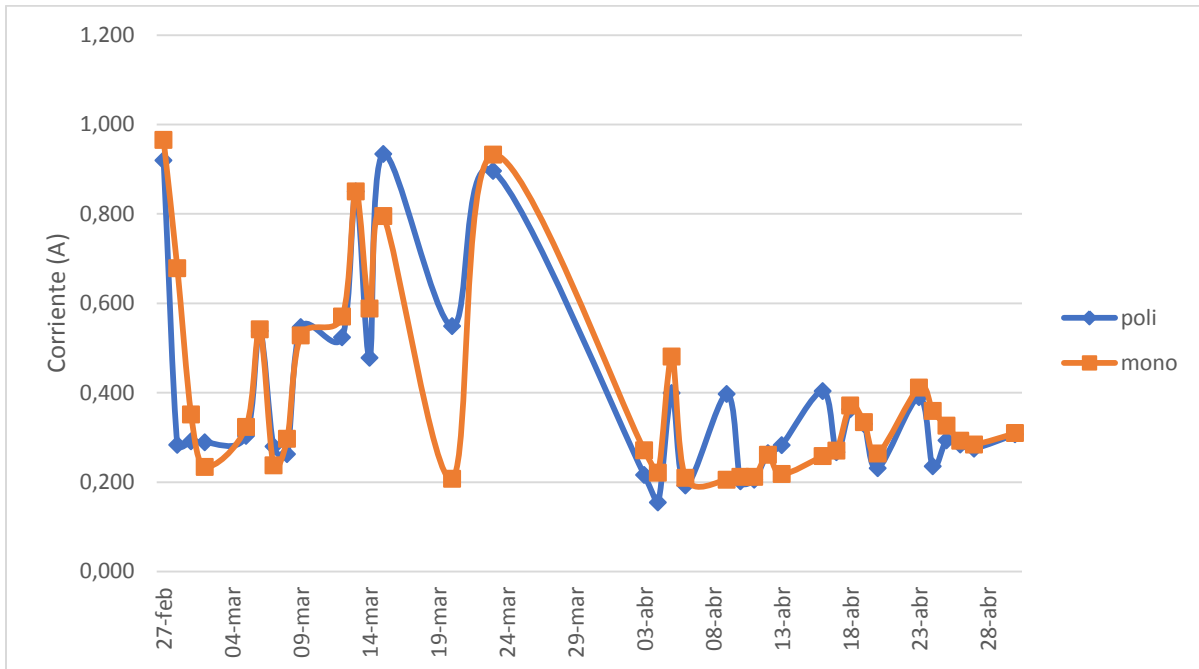


Figura 42 Promedios diarios de corriente en los paneles

En esta grafica se puede observar como el comportamiento de la corriente es muy similar en cada tipo de panel, en cuanto a los datos se presentan algunos picos de corriente cercanos a 1A esto de acuerdo a la alta irradiancia (medida de forma manual) presentada en los días 27 de febrero ,15 y 23 de marzo, las cuales fueron en su mayoría entre los  $1000 \text{ w/m}^2$  hasta los  $1400\text{w/m}^2$ , por lo que es evidente la forma en la que influye la irradiancia en las corrientes de cada módulo.

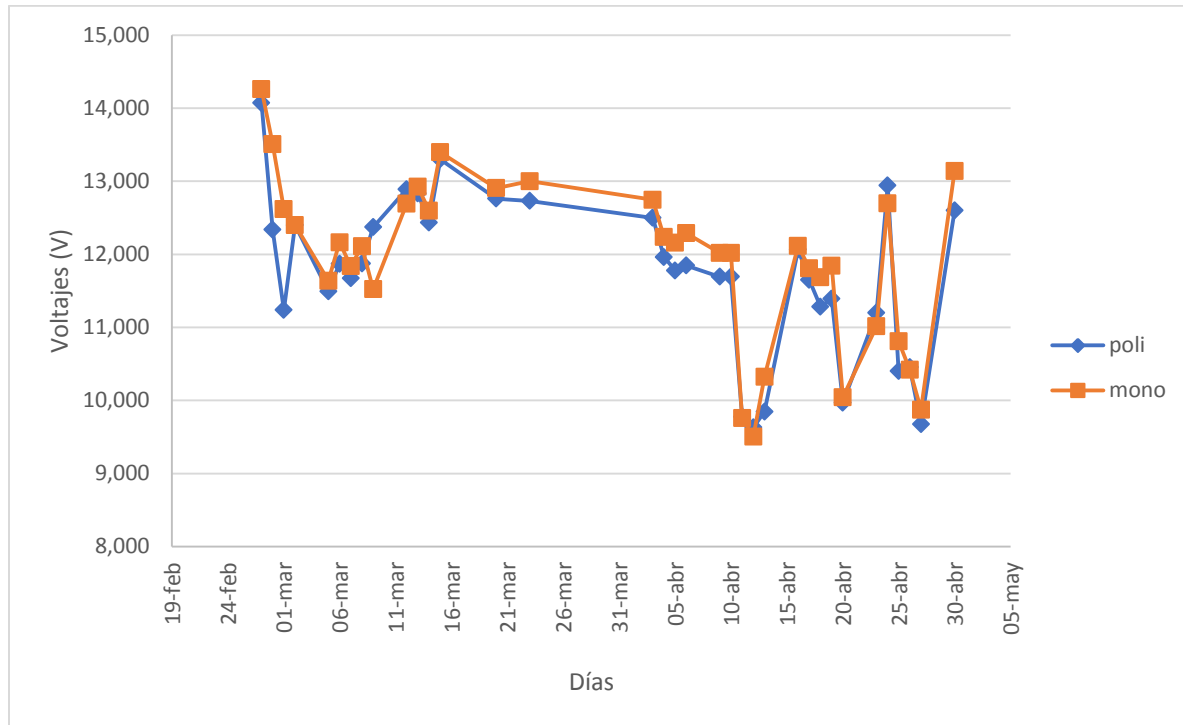


Figura 43 Promedio de Voltaje paneles

Se observa un comportamiento bastante parejo con relación a los voltajes del panel esto se debe a que el panel se encuentra conectado a el regulador de carga en este caso específico de tipo PWM por lo que es de esperar que este nos regule el voltaje suministrado por el panel a un valor de aproximadamente 12V.

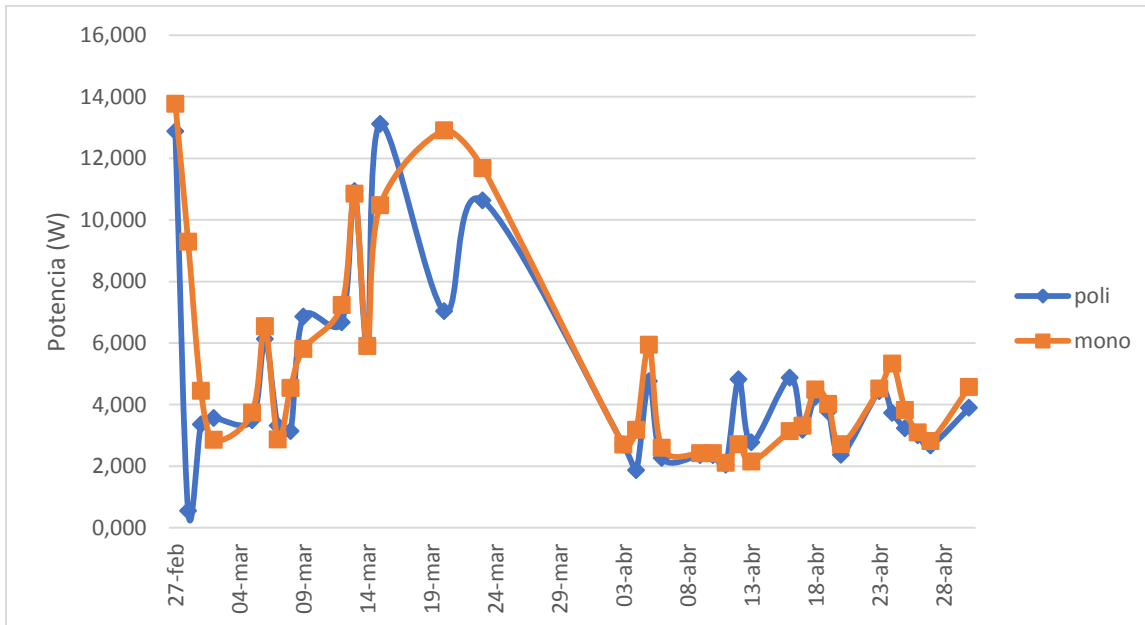


Figura 44 Promedios diarios de potencia en los paneles

Podemos observar el comportamiento de la potencia suministrada por cada una de las tecnologías de paneles fotovoltaicos, uno de los parámetros que vario constantemente fue la corriente obtenida por el panel ya que el voltaje permaneció constante esto debido a la conexión al regulador, dentro de las máximas potencias obtenidas durante el estudio esta la del día 27 de febrero con un valor de 13W para el monocristalino de 12,8W para el policristalino; también se puede ver como los datos de cada uno de los paneles se encuentran en un rango muy similar.

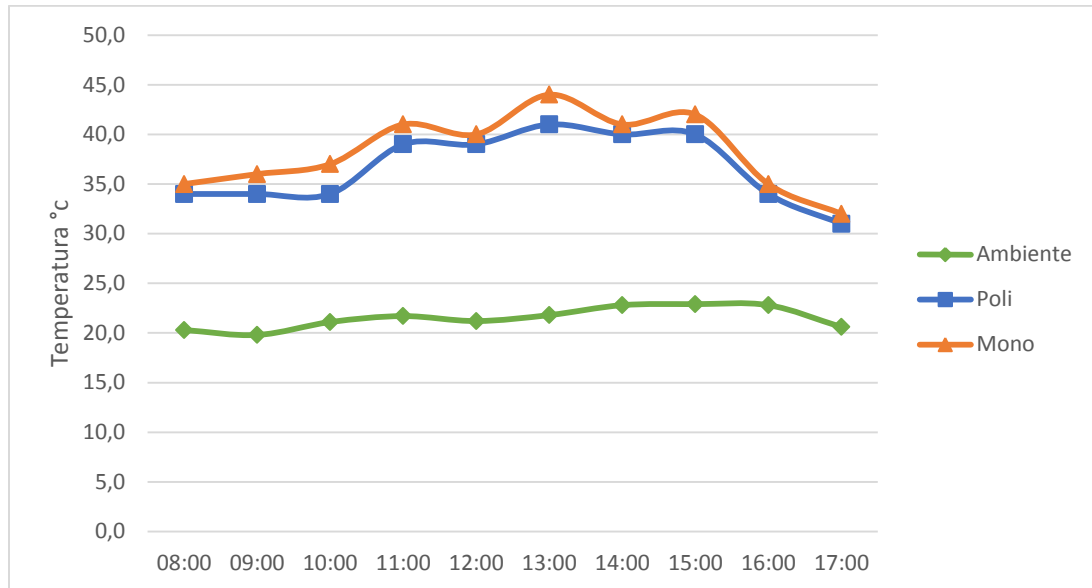


Figura 45 Temperatura ambiente y de los módulos, día 13 de marzo de 2018

La variación de la temperatura de cada módulo y la temperatura ambiente permite observar como la temperatura sobre el módulo se mantiene por encima de la temperatura ambiente, esto debido a la producción de calor generada por el proceso fotovoltaico como se demuestra en (Muhammad Anser Bashir, 2014). Comprobando de esta manera que la mayoría de radiación que impacta sobre una celda solar no es convertida a electricidad si no que se convierte el calor aumentando de esta manera la temperatura interna del panel.

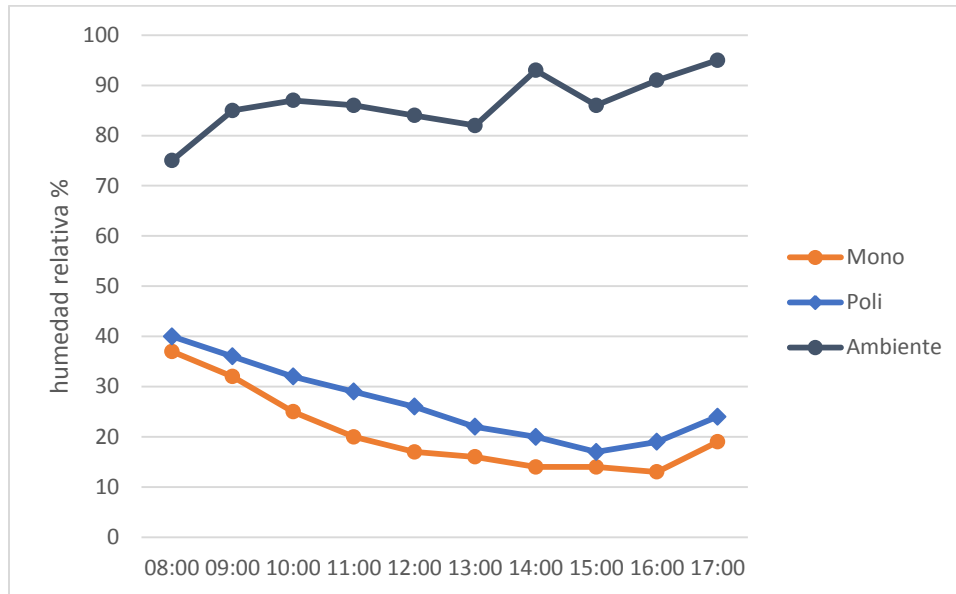


Figura 46 Humedad de los modulos vs humedad relativa en el ambiente

El valor de la humedad relativa se encuentra por encima de los valores de humedad de los paneles es causado ya que el panel mantiene una temperatura alta debido a que en el proceso fotovoltaico se genera calor ocasionando de esta manera un aumento en la temperatura y por ende disminución de la humedad.

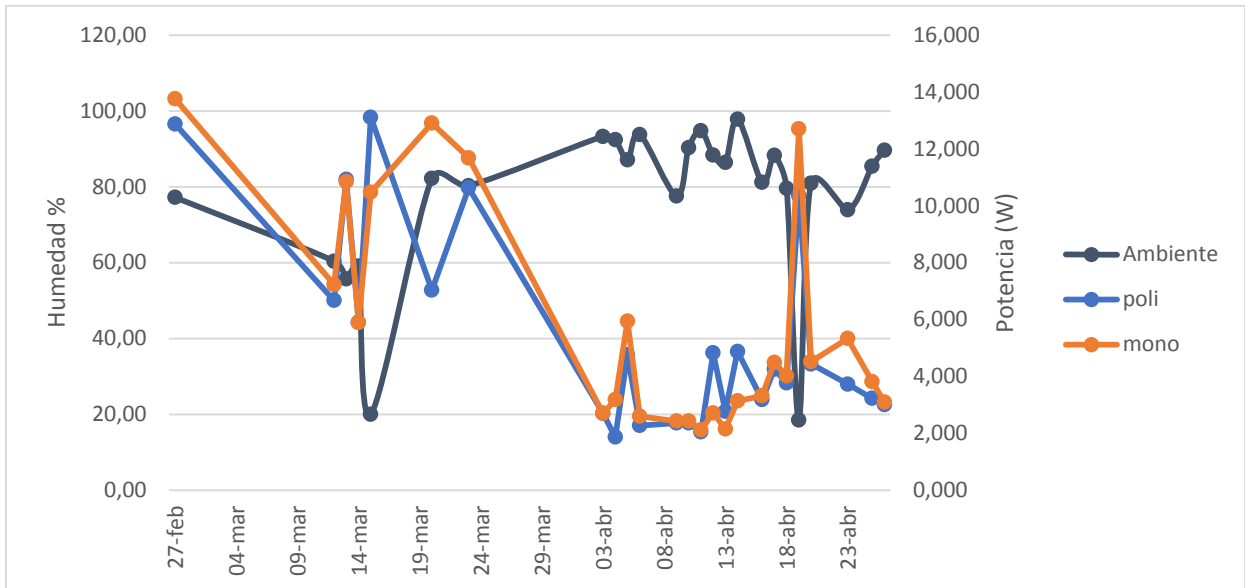


Figura 47 Humedad relativa y potencia entregada por los paneles

De esta grafica es posible apreciar como la potencia de los paneles aumenta cuando los niveles de humedad disminuyen como es el caso del día 15 de marzo donde la humedad fue de 19,9% y la potencia del monocristalino fue de 10,4W y del policristalino de 13,1W en tanto que el día 14 de abril cuando la humedad estaba en 97,8% la potencia de los paneles disminuyo en 4,87W y 3,13W en el panel policristalino y monocristalino respectivamente

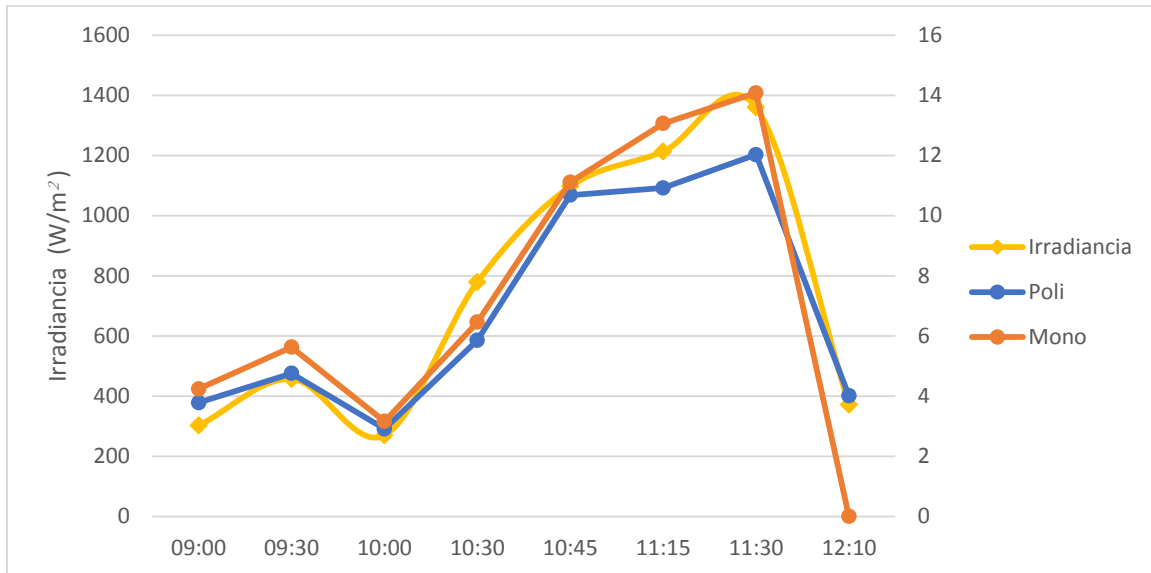


Figura 48 Potencia de los paneles vs irradiancia día 23-marzo

De la anterior grafica se puede ver como varia la potencia entregada por cada una de los paneles con relación a la irradiancia, mostrando un comportamiento bastante similar, el cual en principio varía según la relación proporcional entre la irradiancia y la corriente suministrada por el módulo, de esta grafica también es posible observar que la potencia máxima entregada durante el día 23 de marzo fue de 14W para el monocristalino y de 12 W para el policristalino a una irradiancia de  $1360 \text{ W/m}^2$  a las 11:30 a.m y la potencia mas baja fue de 3,16W en el monocristalino y de 2.90W en el policristalino a una irradiancia de  $270 \text{ w/m}^2$ .

### 10.4.1. Promedios diarios con carga

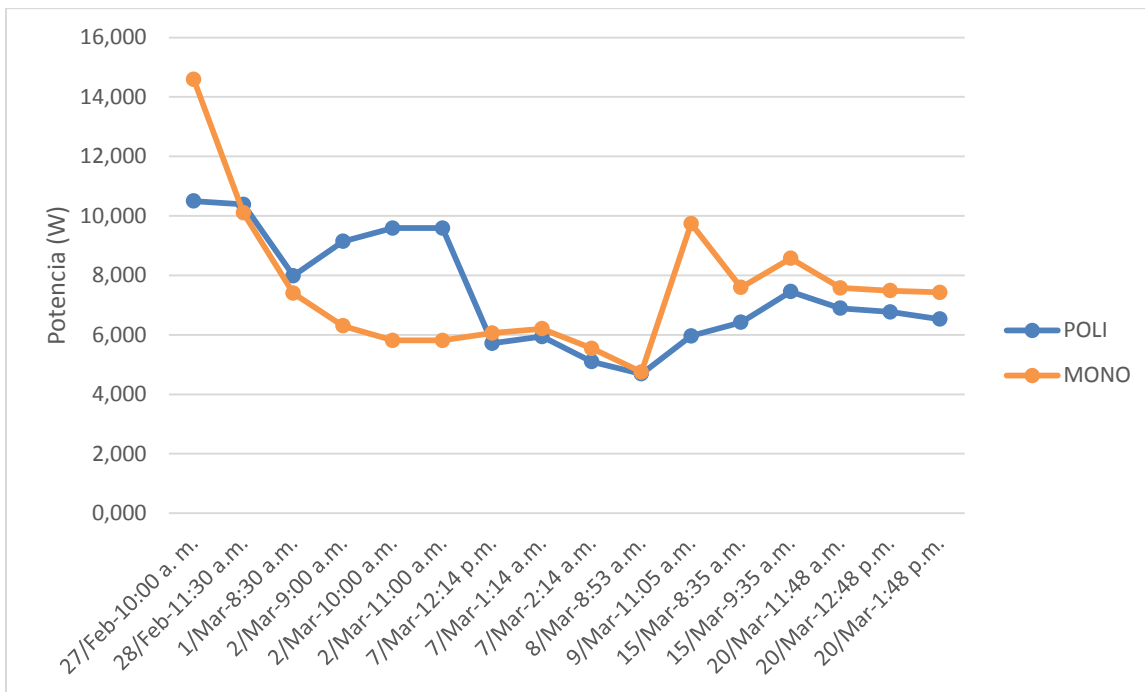


Figura 49 Promedio diario de potencias con carga de 7W mes febrero-marzo

La grafica de la figura 49, corresponde al promedio diario de datos de potencia obtenidos en los dos paneles con una carga de 7W durante el mes de febrero-marzo, inicialmente la diferencia de potencia entre un módulo y el otro es de un 4W puesto que en este día la corriente del panel monocristalino fue mayor, mientras que el día 2 de marzo el panel monocristalino monstro un menor desempeño, alcanzando valores de potencias entre los 5W y 6W con respecto al panel policristalino que alcanzó los 9W. El día 9 de marzo hay una diferencia de 1,63W en los valores obtenidos para cada uno de los paneles, resumiendo con esto, que en la mayoría de las muestras tomadas con la carga de 7W, las dos tecnologías de paneles tienen un margen bajo de variación.

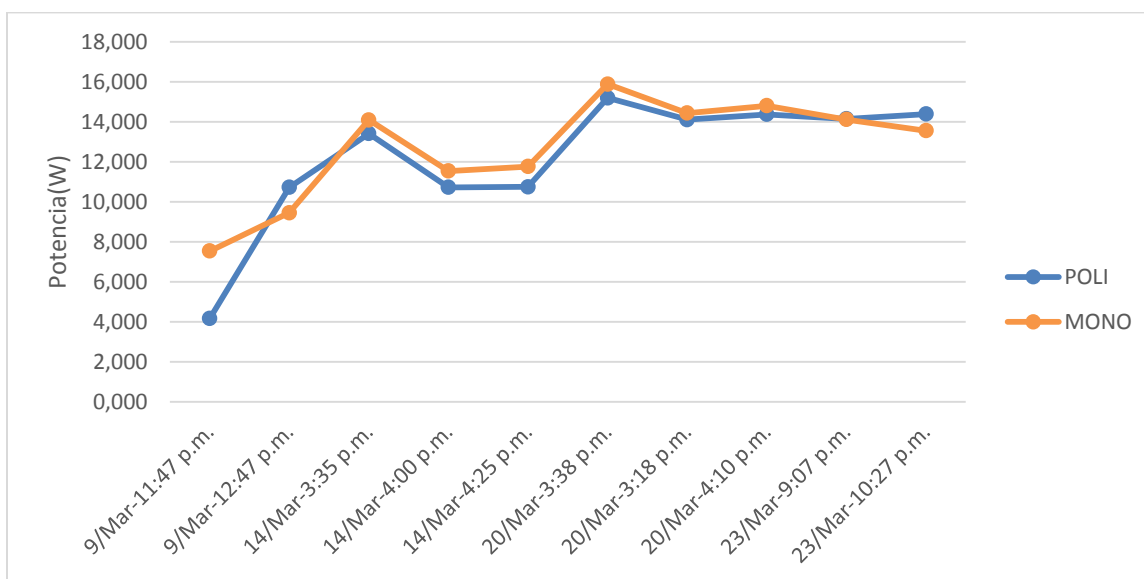


Figura 50 Promedio diario de potencias con carga de 13W mes marzo

El anterior grafico es el de la potencia del panel policristalino y monocristalino con carga de 13W para el mes de marzo, se puede observar que las potencias pico fueron el día 20 de marzo a las 3:38 de la tarde con valores para el panel policristalino de 15,189W y para el panel monocristalino de 15,877W marcando una tendencia muy similar en los datos obtenidos a lo largo de este mes con esta carga en funcionamiento.

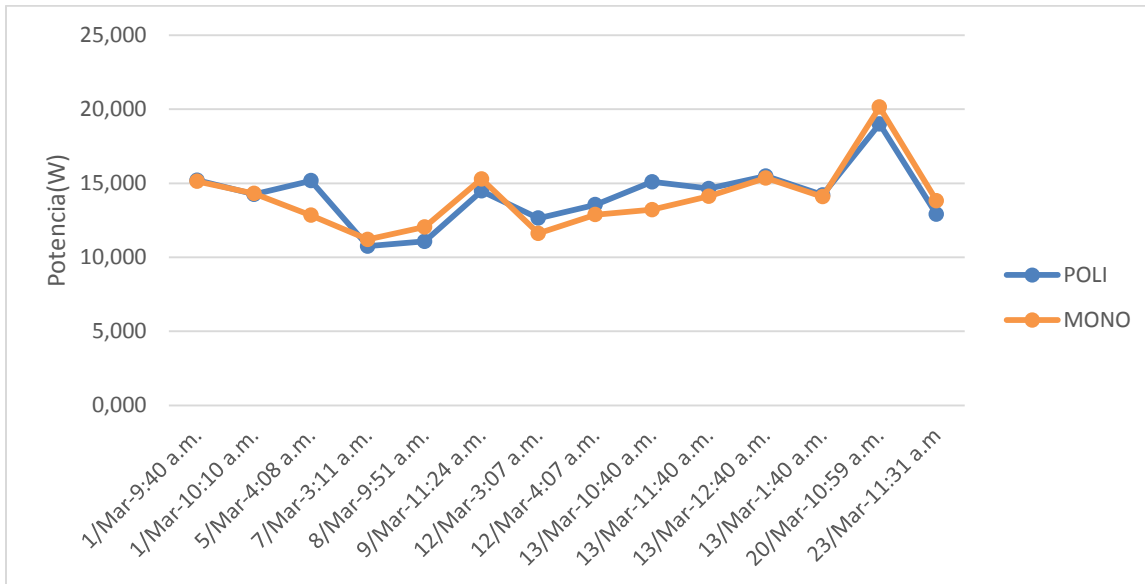


Figura 51. Potencias con carga de 14W mes marzo

La grafica de promedios de potencias con carga de 14W para marzo que se encuentra en figura 51, refleja gran homogeneidad en los segmentos de todos los días analizados, alcanzado un valor pico del panel policristalino y monocristalino de 19W y 20W respectivamente.

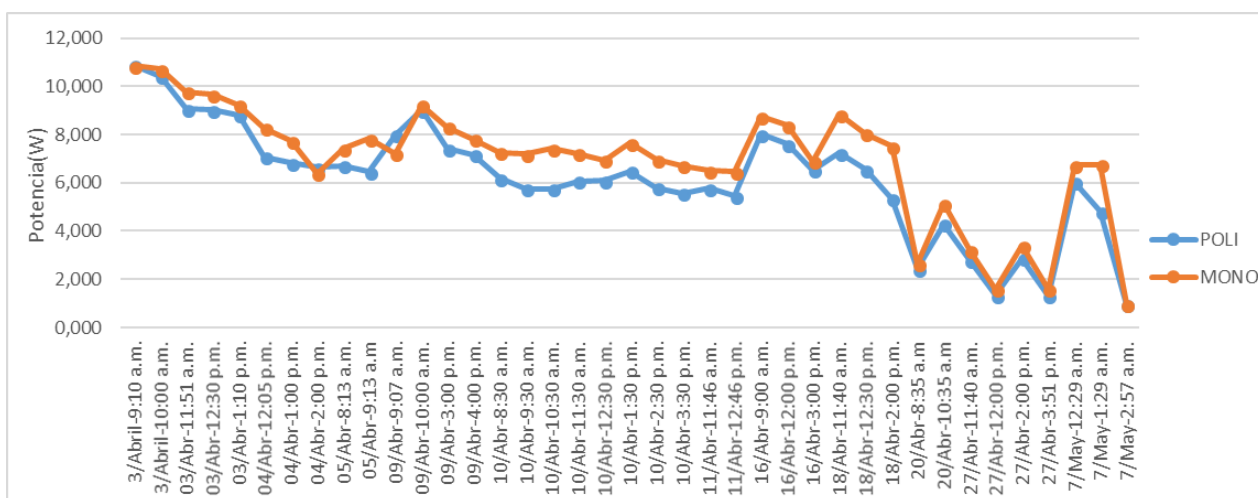


Figura 52 Promedio diario de potencia con carga de 6W mes abril-mayo

Para los meses de abril y mayo en la figura 52 se observan los promedios de potencias de los días y en los horarios que se conectaron las cargas 6W a cada uno de los paneles, los picos hacia abajo más notorios se dieron los días 20 y 27 de abril y 7 de mayo producto de la desconexión del regulador por batería baja, dejando la carga en funcionamiento directo con el panel, de esta forma se puede evidenciar que hubo momentos de alta y baja radiación. En general se parte de una potencia pico para cada uno de paneles de 10,874W y 10,837W y se mantiene alrededor de la media de 6,164W para el panel policristalino y para el monocristalino de 6,951W.

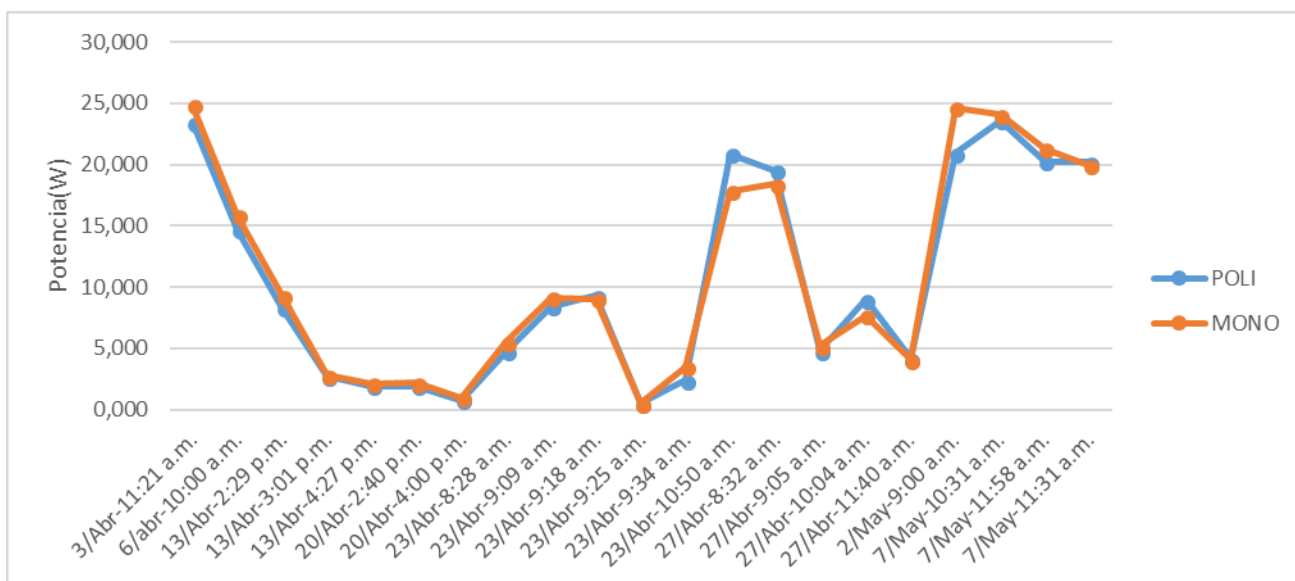


Figura 53 Promedio diario de potencia con carga de 20W mes abril-mayo

La carga de 20W muestra los promedios de potencia diarios en la figura 53, donde los días 3 y 6 de abril junto con los días 2 y 7 de mayo las potencias variaron desde los 14,67W hasta 24,855W, se observan los picos más bajos de la gráfica los días 13 de abril entre las horas de las 3:01 p.m. a 4:27 p.m. a causa de sombra en los paneles bajando de esta forma la potencia en la carga, el día 20 de abril entre las 2:40 p.m. y 4:00 p.m. la radiación es baja entre los 255 y 266 W/m<sup>2</sup>, y se desconecta el regulador para carga de la batería, y el día 23 de abril entre las horas de las 9:18 y 9:34 los paneles reciben sombra disminuyendo en la carga su potencia. Durante los días de 27 de abril, 2 y 7 de mayo las potencias de la carga se elevan entre los 9W y 27W.

Finalmente, en esta parte del estudio se encontró el resultado preliminar de que con cargas de menor valor, el comportamiento de los paneles tiene una notoria diferencia

desde los 689mW hasta los 4W con respecto al empelo de cargas de mayor valor donde se aprecia menor diferencia en los datos obtenidos.

### 10.5. Datos y graficas obtenidos con carga variable

En primer lugar, se muestran las gráficas de las potencias máximas alcanzadas durante la activación de cada una de las cargas que variaban desde los 6W a los 20W durante los meses de febrero a mayo.

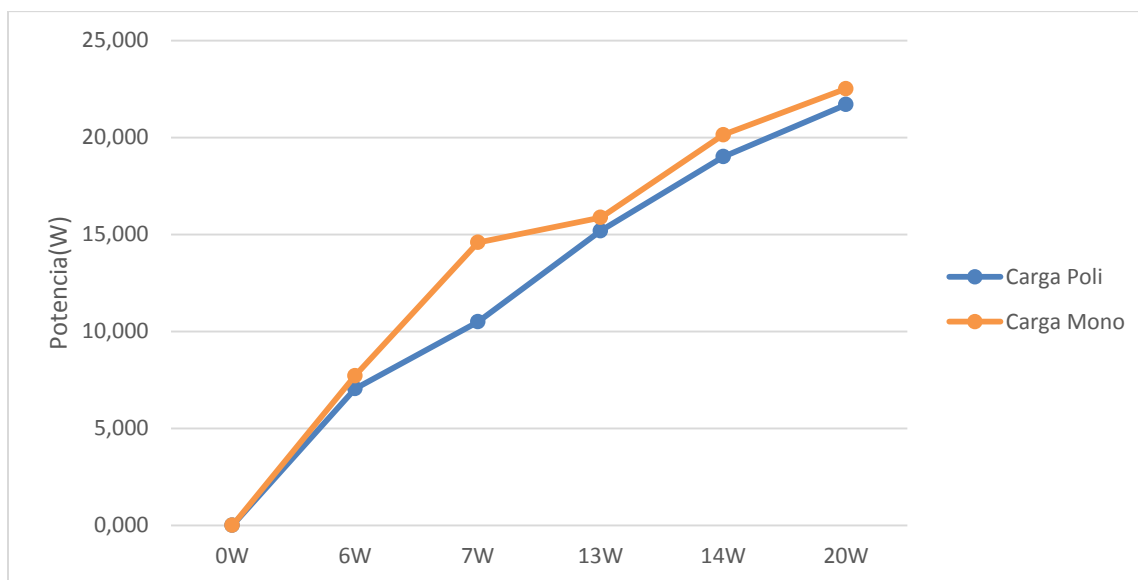


Figura 54 Potencia máxima según cada carga mes febrero-marzo

En la figura 54 la potencia máxima con carga de 7W difiere entre un panel y el otro, con un valor de 10,497W con panel policristalino y 14,590W con el panel monocristalino, siendo este el único valor con notoria diferencia, puesto que con las

cargas de 6W, 13W, 14W y 20W la diferencia de potencia máxima vario de 670mW a un máximo de 1,130W.

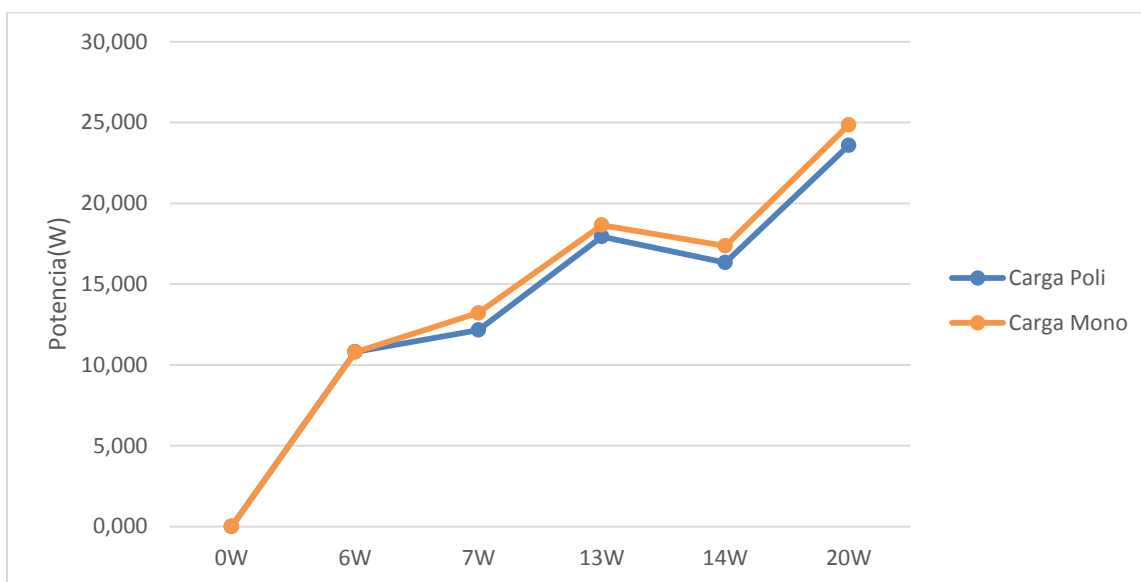


Figura 55 Potencia máxima según cada carga mes abril-mayo

Para los meses de abril y mayo la gráfica de la figura 55, presenta una mejor congruencia en comparación con los valores de potencias máximas alcanzadas con respecto a los anteriores meses, para este caso los datos con cargas de 6W, 13W y 20W las potencias máximas fueron mayores, mientras que con las cargas de 7W y 14W disminuyó la potencia máxima para estos meses. No obstante, los datos de potencia máxima con estas cargas para el panel policristalino y el panel monocristalino son más estables entre sí, manejando un rango de 1,028W a 1,067W de diferencia.

Posteriormente y con la finalidad de contrastar el rendimiento energético del panel policristalino vs el panel monocristalino, se realizó la conexión de un banco de cargas en dc donde se midieron corrientes y voltajes sobre las mismas, logrando obtener a partir de estos datos diversas graficas de potencias en intervalos de tiempo determinados. Mediante la aplicación de la prueba t de studen en el programa SPSS se le dio un tratamiento estadístico a los datos de las gráficas de rendimiento energético con distintas cargas, para determinar dos hipótesis fundamentales; H0: El rendimiento energético con carga para ambos paneles solares es similar y homogéneo o H1: El rendimiento energético con carga para ambos paneles solares es diferente, por lo tanto si el factor de significancia resultante de esta prueba era menor a 0,05 se aprobaba la hipótesis H1, pero de lo contrario, si llegaba a ser mayor se aceptaba la hipótesis H0.

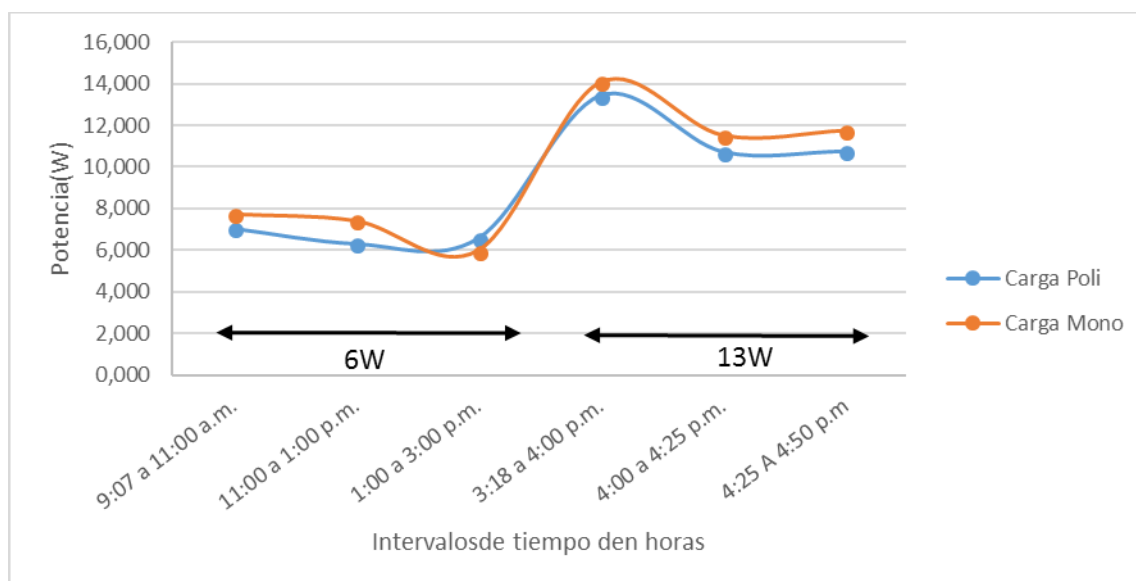


Figura 56 Curva de rendimiento energético con carga variable 14 de marzo

La grafica de la figura 56, corresponde a la variación con cargas de 6W y 13W el día 14 de marzo con condiciones climáticas soleadas entre las 9:07 de la mañana a las 4:50 de la tarde, dejando un promedio de 6 horas continuas la carga de 6W y 2 horas la carga de 13W. Las potencias máximas de la carga de 6W inicialmente fueron muy similares entre los 7,047W y 7,717W, pero al término de las 6 horas de funcionamiento continuo la potencia del panel policristalino fue un poco mayor con 6,566W y 5,959 para la del panel monocristalino. Con las cargas de 13W las potencias tuvieron un margen de diferencia entre sí, de 677mW inicialmente y al finalizar de 1W.

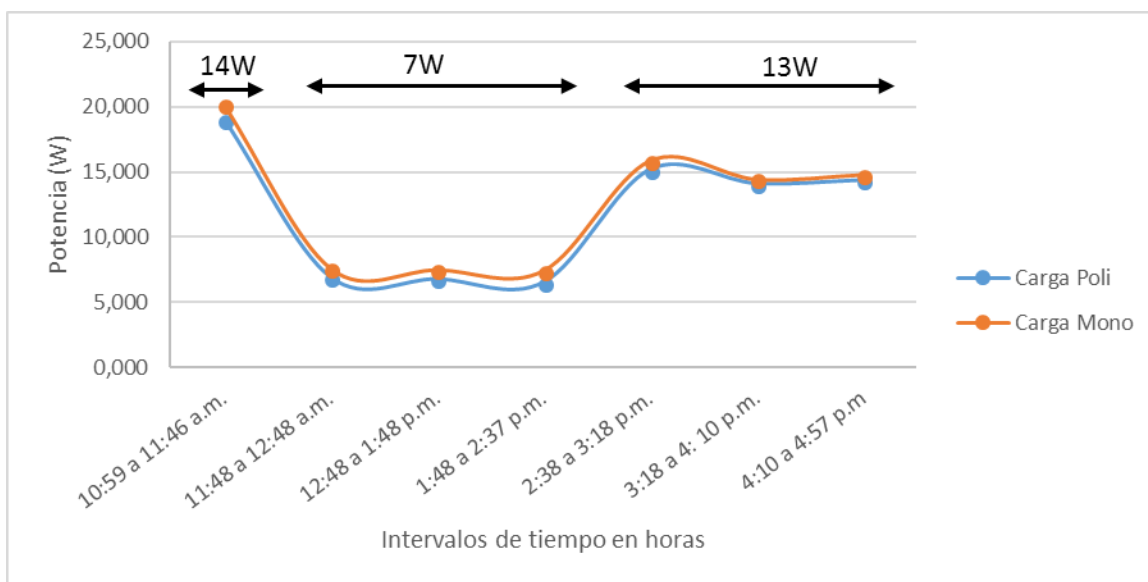


Figura 57 Curva de rendimiento energético con carga variable 20 de marzo

El día 20 de marzo se tomaron datos con cargas de 7W, 13W y 14W para cada uno de los paneles como se observa en la figura 57, determinando que los mayores datos potencia fueron 19,008W para el panel policristalino y 20,138W para el monocristalino

durante el periodo de conexión de la carga de 20W, mientras que con una carga de 7W se observa un valle que vario entre las potencias de 6,528W y 7,579W para ambos paneles.

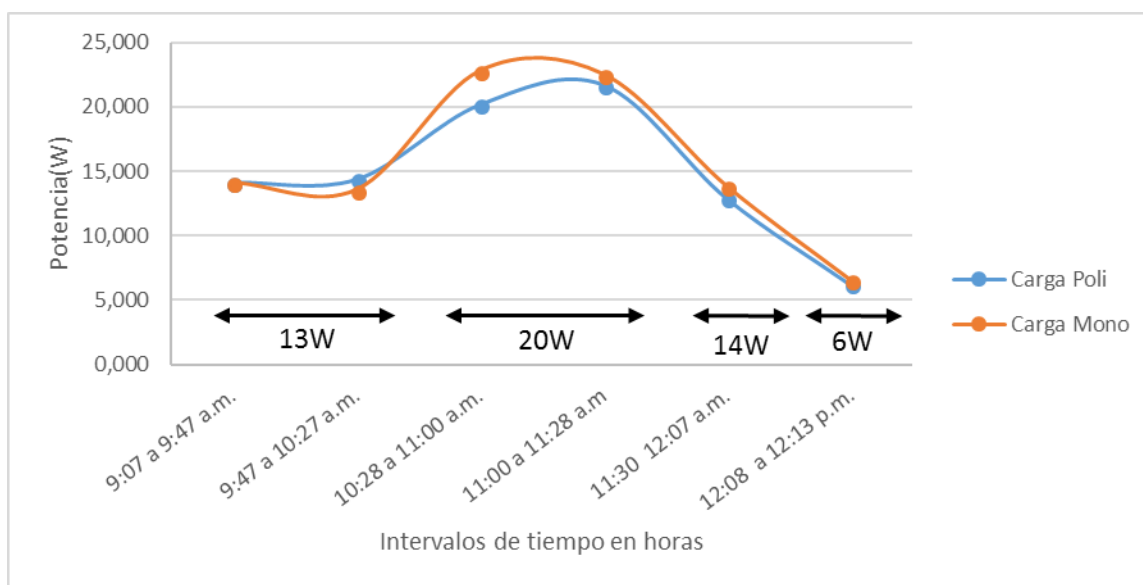


Figura 58 Curva de rendimiento energético con carga variable 23 de marzo

Se presenta la figura 58 la cual corresponde al día 23 de marzo y muestra la variación de cargas de 6W, 13, 14W y 20W desde las 9:07 de la mañana hasta las 12:13 de la tarde, el clima en este día fue de sol con intervalos nublados, se observa que a medida que se incrementa el valor de la carga aumenta la potencia siendo mayor en el intervalo de la carga de 20W con potencias de 20,152W y 21,696W para el panel policristalino y de 22,779W y 22,518W para el panel monocristalino, así mismo percibimos gran similitud en el comportamiento de la potencia de ambos paneles durante la alternación de la distintas cargas.

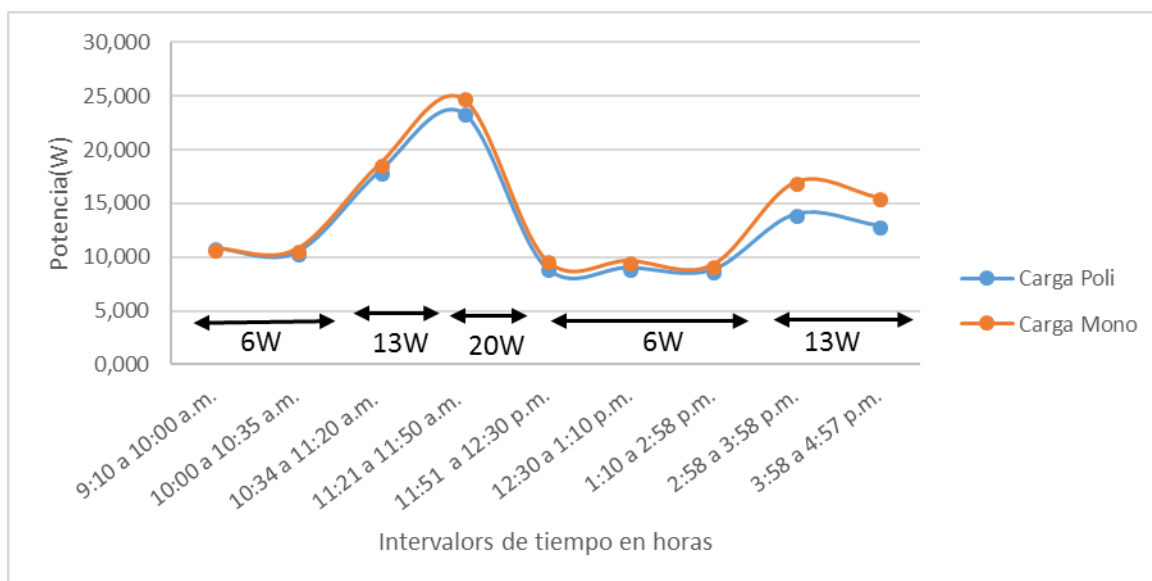


Figura 59 Curva de rendimiento energético con carga variable 3 de abril

En el mes de abril el día 3 tuvo una condición climática de tiempo soleado y se tomaron medidas de ambos paneles solares conectados a cargas de 6W, 13W y 20W en el transcurso de las 9:10 a.m. y 4:57 p.m. cómo se evidencia en la gráfica de la figura 59, para un promedio de horas de uso diario de 4 horas para la carga de 6W, 2 horas y 45 minutos para la de 13W y 1 hora y 10 minutos para la carga de 20W, se observa que en la horas de la tarde de 2:58 a 4:57 p.m. hay un mayor rango de diferencia de 2,67W y 3W entre los datos obtenidos con las cargas de cada panel.

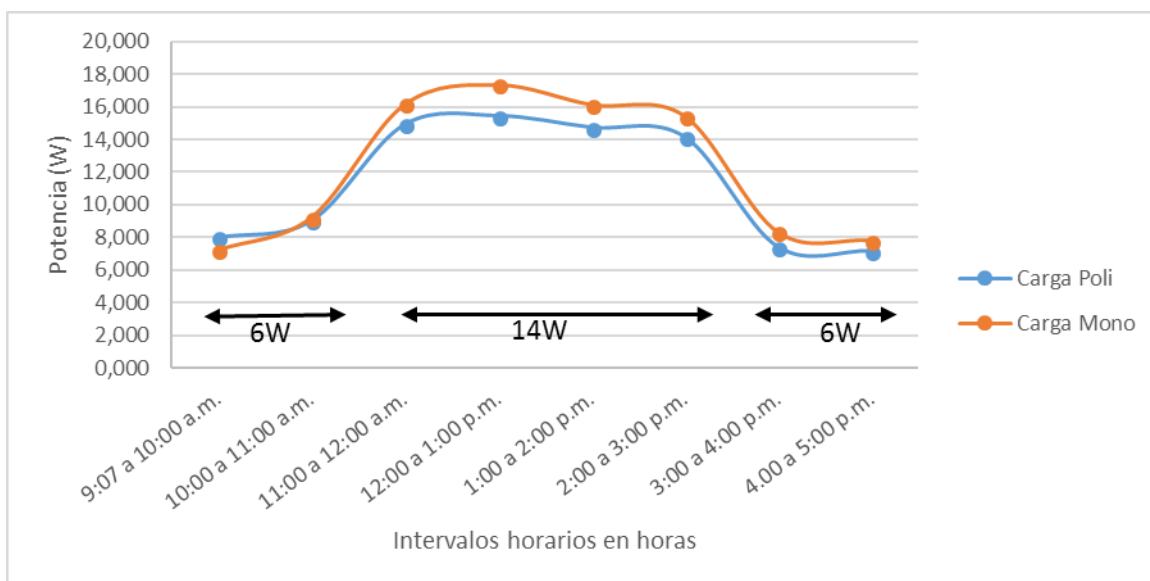


Figura 60 Curva de rendimiento energético con carga variable 9 de abril

Siguiendo con el análisis, las grafica 60, el día 9 de abril se muestra la conexión de dos cargas de 6W y 14W durante distintos intervalos de tiempo entre las 9:07 a.m. y las 5:00 p.m. en los cuales la carga de 6W muestra ser constante al iniciar y finalizar el día, teniendo potencias de alrededor de 7,171W y 9,228W con ambos paneles. Durante las 4 horas en las que se conectó la carga de 14W las potencias obtenidas tuvieron un comportamiento similar con una diferencia entre sí de 1,2W y 1,9W.

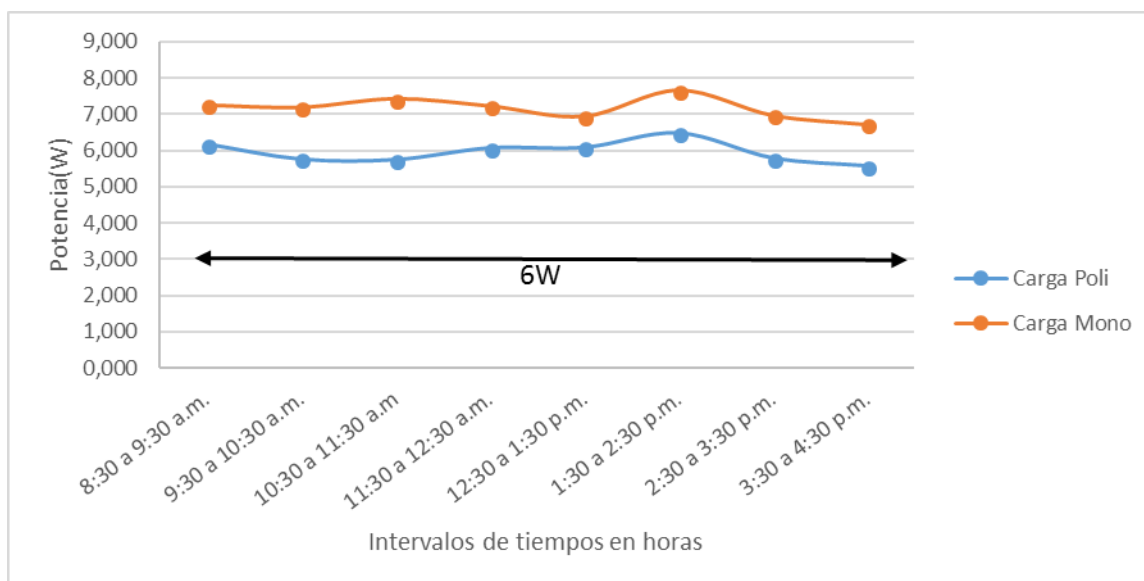


Figura 61 Curva de rendimiento energético con carga continua 10 de abril

La figura 61 de curva de rendimiento energético se efectúa con una carga continua de 6W durante todo el día del 10 de abril entre las 8:30 de la mañana hasta las 4:30 de la tarde, a diferencia de las anteriores gráficas, esta se caracteriza por un comportamiento constante en la potencia tanto de la carga del panel policristalino como de la del panel monocristalino. Las cargas del panel policristalino y monocristalino tuvieron una potencia mínima de 5,575W y 6,720W entre las horas de 3:30 p.m. a 4:30 p.m. y máxima de 6,477W y 7,648W entre la 1:30 p.m y 2:30 respectivamente.

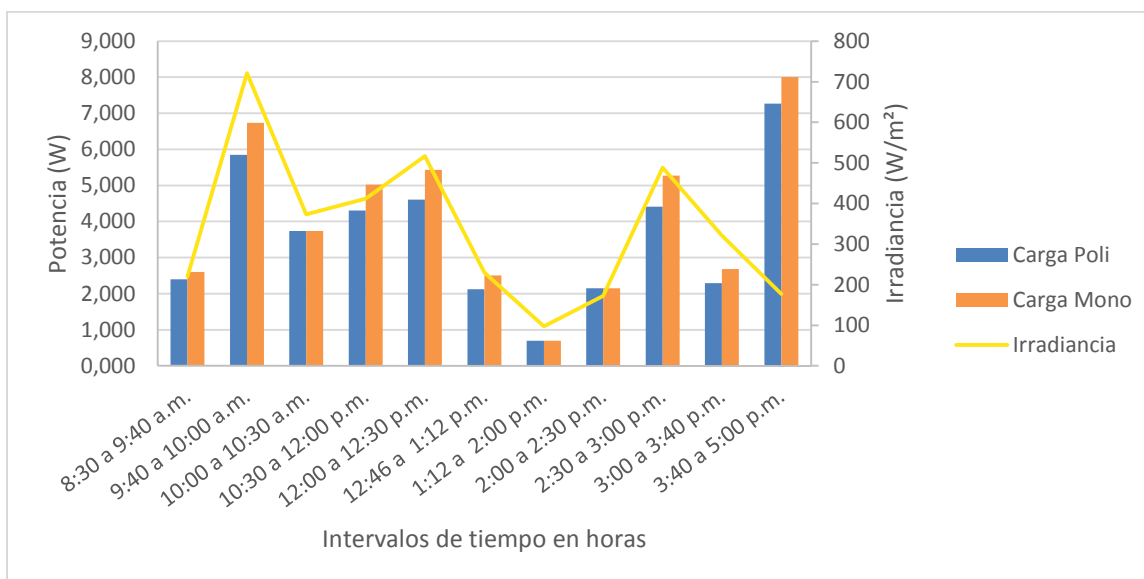


Figura 62 Potencia con carga Vs irradiancia 26 de abril

El análisis realizado en la figura 62, pertenece al día 26 de abril donde se evaluó el desempeño energético con cargas de 7W para cada panel, con respecto a una variable adicional, la cual fue la irradiancia, esto mediante la desconexión del regulador, dejando la carga en funcionamiento directo con los paneles. La medición de la variable de la irradiancia se realizó de forma manual y de acuerdo a los datos obtenidos de corriente en la carga, se observó que la irradiancia afecta directamente el dato de corriente en cada uno de los intervalos tiempo, puesto que a medida que la irradiancia aumenta la corriente también lo hace en forma proporcional y muy similar a esta, mientras que el voltaje se comporta de forma más constante. Cabe nombrar que en el intervalo de tiempo de 3:40 p.m. y 5 :00 p.m. se conectó nuevamente el regulador subiendo la potencia de la carga independientemente de la radiación medida en estas horas.

### 10.5.1. Prueba t de student

Paneles		N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Paneles POLI		55	9,4916	5,28603	0,71277
MONO		55	10,2847	5,56609	0,75053

Tabla 5 Estadísticas de grupo

Paneles		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias					95% de intervalo de confianza de la diferencia	
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
Se asumen varianzas iguales		0,101	0,751	-0,766	108	0,445	-0,79318	1,03505	-2,84484	1,25847
No se asumen varianzas iguales				-0,766	107,713	0,445	-0,79318	1,03505	-2,84490	1,25854

Tabla 6 Prueba para muestras independientes

La tabla 5 y 6 de resultados de SPSS nos muestra las dos posibles condiciones que se pueden dar en relación a la varianza, que los datos medidos sean iguales o no. En nuestro caso el estadístico de Levene toma el valor 0,101 y su valor p (también conocido como significación estadística) toma el valor 0,751 esto nos dice que se puede asumir el supuesto de igualdad de las varianzas de las muestras en los dos paneles. El valor del

estadístico  $t$  es igual a  $-0,766$  y su valor en  $p$  es  $0,445$ , dándonos el intervalo de confianza que comprende la diferencias de medias para poder aceptar la hipótesis  $H_0$  de que el rendimiento energético con carga para ambos paneles solares es igual y homogéneo, y nos dice que la diferencia estará comprendida entre los valores  $-2,84484$  y  $1,25847$ , y dado que la diferencia entre las dos medias es de  $1,03505$  y este valor se encuentra dentro del intervalo de confianza, también nos permite aceptar que no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento energético en cada uno de los paneles en lo referente a su media.

## 11. PRESUPUESTO

El presupuesto que a continuación se muestra está financiado principalmente por parte de las estudiantes en lo relacionado con equipos para la instalación y la adquisición de datos; el respaldo por parte de la universidad es con la colaboración del docente Carlos Montufar como director del proyecto y el ingeniero Yimy García como asesor externo del mismo.

### 11.1. Insumos Equipos y materiales

DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	RECURSOS DE FINANCIACION	
				PROPIOS	UDEC
Panel Monocristalino 20W/12V	1	\$ 74.000	\$ 74.000	\$ 74.000	
Panel Policristalino 20W/12V	1	\$ 60.000	\$ 60.000	\$ 60.000	
Regulador 10 Amp	2	\$ 65.000	\$ 130.000	\$ 130.000	
Bateria 12Ah 12V	2	\$ 74.000	\$ 148.000	\$ 148.000	
Bombillos de 7W	4	\$ 10.000	\$ 40.000	\$ 40.000	
Bombillos de 6W	2	\$ 7.000	\$ 14.000	\$ 14.000	
Rosetas	6	\$ 1.200	\$ 7.200	\$ 7.200	
Switches	6	\$ 2.300	\$ 13.800	\$ 13.800	
Cable para conexiones (metros)	10	\$ 1.400	\$ 14.000	\$ 14.000	
Cable duplex 2x14	10	\$ 800	\$ 8.000	\$ 8.000	
Canaleta x 3 mtrs	4	\$ 4.000	\$ 16.000	\$ 16.000	
Cinta aislante	2	\$ 1.500	\$ 3.000	\$ 3.000	
Soldadura en metros	4	\$ 2.000	\$ 8.000	\$ 8.000	
Baquela 15x20	1	\$ 6.000	\$ 6.000	\$ 6.000	
Cloruro Férrico	1	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	
Regletas	5	\$ 1.000	\$ 5.000	\$ 5.000	
Jumpers paq x 10	1	\$ 7.750	\$ 7.750	\$ 7.750	
Soportes para paneles	2	\$ 70.000	\$ 140.000	\$ 140.000	
Cofre de conexiones	2	\$ 25.000	\$ 50.000	\$ 50.000	
Modulo SLOT o adaptador de SD	1	\$ 9.700	\$ 9.700	\$ 9.700	

Micro SD 8GB	1	\$ 18.000	\$ 18.000	\$ 18.000	
Arduino MEGA+ cable	1	\$ 46.450	\$ 46.450	\$ 46.450	
Fuente 12V / 2A	1	\$ 11.100	\$ 11.100	\$ 11.100	
Módulo de corriente ACS712 / 10Amp	4	\$ 14.250	\$ 57.000	\$ 57.000	
Módulo RTC Ds1302	1	\$ 8.500	\$ 8.500	\$ 8.500	
Sensor de temperatura y humedad DHT11	2	\$ 7.650	\$ 15.300	\$ 15.300	
Lcd 16x2	1	\$ 8.500	\$ 8.500	\$ 8.500	
Módulo I2C para lcd	1	\$ 6.450	\$ 6.450	\$ 6.450	
Tabla para conexiones carga variable	1	\$ 6.000	\$ 6.600	\$ 6.000	
Piranómetro	1	\$ 130.000	\$ 130.000	\$ 130.000	
<b>TOTAL</b>				\$	1.063.250

Tabla 7 Presupuesto de insumos, equipos y materiales

## 12. CONCLUSIONES

- La determinación del rendimiento energético del panel monocristalino y policristalino, se logró a partir de la evaluación práctica y experimental de las características de funcionamiento con cargas variables en dc, dando a partir del análisis de las gráficas, como primeras conclusiones; 1. Que el tipo de panel monocristalino mostraba un mejor rendimiento con cargas durante mayores intervalos tiempo (Ver figura 59 y 60), y 2. Se apreció en la graficas de promedios diarios que con cargas de mayor valor (13W, 14W y 20W) el comportamiento en ambos paneles era muy semejante sobreponiéndose uno sobre el otro (Ver figura 49, 50 y 52) y que para las cargas de menor valor (6W y 7W) los datos con panel monocristalino estaban un poco por encima de los datos con panel policristalino (Ver figura 59 y 60).

Es así, como se decide realizar un análisis más completo y de tipo relacional que trabaje a partir de variables numéricas, utilizando la herramienta de métodos estadísticos prueba t de student mediante el programa SPSS, en el cual dando un tratamiento estadístico a los datos obtenidos, se obtuvo un valor  $p = 0,445$  mayor al dato de referencia de nivel de significancia de 0,05 indicando que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los datos de rendimiento energético con carga para cada uno de los paneles solares, a las vez nos da el intervalo de confianza entre los valores -2,84484 y 1,25847 que comprende la diferencia de medias para poder aceptar la hipótesis  $H_0$  de que el rendimiento energético con carga para ambos paneles solares es semejante.

**Otras conclusiones:**

- Los parámetros de corriente y potencia de ambos módulos fotovoltaicos mostraron alta dependencia con respecto a las variables de irradiación solar, humedad y temperatura del módulo, como es el caso de la afectación negativa en los valores de corriente y potencia generada causa de altos niveles de humedad y temperatura sobre el módulo.
- El estudio realizado, aplica a los paneles solares policristalino y monocristalino de 20W empleados en desarrollo del trabajo, y genera un proceso metodológico de cómo se podría hacer el análisis de datos en un nivel de profundización más avanzando, escalizando la potencia generada a través del manejo de un mayor número de panel solares, con lo cual se pudiera llegar a determinar qué tipos de tecnología presentan mejor rendimiento energético de acuerdo a las condiciones climáticas del lugar.
- La originalidad del proyecto reside en ser el primer estudio realizado en la ciudad de Fusagasugá, en el cual por medio del manejo de cargas variables en dc, se logró comparar el rendimiento energético en las mismas, ya que en trabajos anteriores solamente se habían ejecutado pruebas sin cargas y de mayor interés en el comportamiento de los módulos solares, a diferencia del diseño circuital propuesto en este proyecto, donde se pudo observar como la corriente variaba de acuerdo a la

activación simultánea de cada una de las cargas en dc, permitiendo a su vez analizar el rendimiento energético en ambos sistemas.

- Mediante el diseño y calibración de los sensores empleados en las diferentes mediciones del sistema de adquisición de datos, se pudieron realizar registros automáticos de las variables y su consolidación en bases de datos que permitieron su posterior análisis. No obstante, cabe nombrar que, para trabajos futuros a mayor escala, es necesario robustecer el sistema de adquisición de datos junto con la automatización de la medición de irradiancia, manejando placas de programación más avanzada y sensores con mayores rangos alcance de acuerdo a las necesidades presentes.

**APENDICE A: Tabla de promedios generales de los paneles sin carga**

Días	TPP(°C)	HP	TPM(°C)	HM	IPP(A)	IPM(A)	VPP(V)	VPM(V)	PPP(W)	PPM(W)
27-feb	33,20	29,16	35,76	23,53	0,919	0,965	14,074	14,262	12,877	13,765
28-feb	-----	-----	-----	-----	0,283	0,678	12,337	13,508	0,549	9,290
1-mar	-----	-----	-----	-----	0,291	0,351	11,238	12,620	3,354	4,449
2-mar	18,91	93	-----	-----	0,289	0,234	12,400	12,400	3,562	2,852
5-mar	-----	-----	-----	-----	0,303	0,324	11,493	11,638	3,494	3,743
6-mar	-----	-----	-----	-----	0,538	0,542	11,871	12,163	6,128	6,542
7-mar	-----	-----	-----	-----	0,280	0,238	11,672	11,838	3,313	2,865
8-mar	-----	-----	-----	-----	0,263	0,297	11,875	12,109	3,138	4,542
9-mar	-----	-----	-----	-----	0,546	0,528	12,371	11,522	6,858	5,803
12-mar	33,42	35,48	34,40	34,46	0,524	0,570	12,891	12,693	6,668	7,230
13-mar	37,43	24,86	39,23	18,74	0,850	0,850	12,834	12,923	10,927	10,844
14-mar	35,32	26,70	37,25	20,97	0,478	0,588	12,436	12,595	5,899	5,899
15-mar	34,46	41,88	36,36	37,66	0,934	0,795	13,300	13,396	13,111	10,476
20-mar	28,56	51,13	29,14	50,60	0,549	0,207	12,761	12,905	7,033	12,905
23-mar	38,35	37,54	39,35	38,54	0,896	0,932	12,730	13,001	10,632	11,683
3-abr	27,15	60,59	28,11	83,00	0,216	0,271	12,499	12,747	2,697	2,697
4-abr	25,64	59,40	26,64	58,39	0,154	0,221	11,962	12,236	1,868	3,180
5-abr	35,04	37,13	33,99	38,08	0,399	0,481	11,777	12,156	4,759	5,947
6-abr	22,69	69,60	21,68	70,57	0,192	0,210	11,846	12,287	2,269	2,598
9-abr	37,93	27,72	36,91	28,71	0,397	0,205	11,693	12,019	2,360	2,425
10-abr	28,38	57,13	29,39	55,98	0,202	0,211	11,693	12,019	2,360	2,425
11-abr	23,24	70,16	24,23	69,13	0,205	0,211	9,776	9,758	2,046	2,113
12-abr	21,35	77,25	22,34	76,20	0,265	0,261	9,630	9,502	4,825	2,715
13-abr	23,40	71,46	22,40	72,46	0,283	0,218	9,847	10,324	2,770	2,149
16-abr	25,00	62,52	26,00	61,52	0,404	0,258	12,064	12,115	4,874	3,138

<b>17-abr</b>	24,35	69,69	23,36	70,72	0,267	0,271	11,650	11,809	3,184	3,315
<b>18-abr</b>	24,18	66,84	25,16	65,78	0,363	0,371	11,284	11,685	4,249	4,493
<b>19-abr</b>	25,21	61,96	25,21	61,96	0,329	0,334	11,391	11,844	3,774	4,020
<b>20-abr</b>	24,95	62,45	24,95	62,45	0,231	0,264	9,969	10,044	2,368	2,709
<b>23-abr</b>	28,58	47,73	29,60	46,76	0,390	0,412	11,198	11,014	10,368	12,709
<b>24-abr</b>	24,98	65,52	25,94	64,42	0,235	0,359	12,941	12,696	3,730	5,332
<b>25-abr</b>	26,97	58,41	27,97	57,41	0,294	0,326	10,402	10,811	3,226	3,820
<b>26-abr</b>	23,24	74,84	22,25	75,89	0,284	0,293	10,454	10,419	3,002	3,094
<b>27-abr</b>	24,12	69,23	23,13	70,26	0,275	0,284	9,674	9,874	2,672	2,817
<b>30-abr</b>	27,10	65,75	28,11	63,77	0,307	0,309	12,599	13,140	3,895	4,575

**APENDICE B: Promedios de temperatura y humedad de cada módulo día 13 de marzo y datos de temperatura ambiente y humedad relativa**

Fecha	Hora	Temp-ambiente	TPP	HP	TPM	HM	Humedad-relativa
13-mar	8:00	20,3	34	40	35	37	75
13-mar	9:00	19,8	34	36	36	32	85
13-mar	10:00	21,1	34	32	37	25	87
13-mar	11:00	21,7	39	29	41	20	86
13-mar	12:00	21,2	39	26	40	17	84
13-mar	13:00	21,8	41	22	44	16	82
13-mar	14:00	22,8	40	20	41	14	93
13-mar	15:00	22,9	40	17	42	14	86
13-mar	16:00	22,8	34	19	35	13	91
13-mar	17:00	20,6	31	24	32	19	95

**APENDICE C: Promedio de datos humedad relativa y potencias entregadas por el panel**

Fecha	Humedad relativa	PPP	PPM
27-feb	0,48	12,877	13,765
12-mar	0,48	6,668	7,230
13-mar	0,48	10,927	10,844
14-mar	0,48	5,899	5,899
15-mar	0,42	13,111	10,476
20-mar	0,48	7,033	12,905
23-mar	0,48	10,632	11,683
3-abr	0,48	2,697	2,697
4-abr	0,48	1,868	3,180
5-abr	0,48	4,759	5,947
6-abr	0,47	2,269	2,598
9-abr	0,48	2,360	2,425
10-abr	0,51	2,360	2,425
11-abr	0,48	2,046	2,113
12-abr	0,48	4,825	2,715
13-abr	0,48	2,770	2,149
14-abr	0,48	4,874	3,138
16-abr	0,48	3,184	3,315
17-abr	0,48	4,249	4,493
18-abr	0,48	3,774	4,020
19-abr	0,52	10,368	12,709
20-abr	0,48	4,435	4,522
23-abr	0,48	3,730	5,332
25-abr	0,48	3,226	3,820
26-abr	0,35	3,002	3,094

**APENDICE D: Valores de irradiancia y potencia promedio para el día 23 de marzo de 2018**

Horas	Irradiancia W/m <sup>2</sup>	PPP(W)	PPM(W)
9:00	302	3,785	4,238
9:30	457	4,758	5,626
10:00	270	2,909	3,162
10:30	779	5,856	6,458
10:45	1097	10,680	11,111
11:15	1213	10,920	13,065
11:30	1360	12,029	14,079
12:10	372	4,010	4,693

**APENDICE E: Tabla de promedios diarios de todas las variables con carga de 7W mes febrero-marzo.**

FECHA /HORA	ICP	ICM	VCP	VCM	PCP	PCM
27/Feb-10:00 a. m.	0,731	0,957	14,301	15,214	10,497	14,590
28/Feb-11:30 a.m.	0,782	0,739	13,373	13,653	10,385	10,102
1/Mar-8:30 a.m.	0,610	0,569	13,058	13,012	7,985	7,400
2/Mar-9:00 a.m.	0,731	0,506	12,523	12,450	9,141	6,301
2/Mar-10:00 a.m.	0,770	0,470	12,454	12,369	9,589	5,809
2/Mar-11:00 a.m.	0,654	0,462	12,659	12,329	9,589	5,809
7/Mar-12:14 p.m.	0,496	0,514	11,524	11,604	5,715	6,060
7/Mar-1:14 a.m.	0,516	0,527	11,511	11,599	5,940	6,204
7/Mar-2:14 a.m.	0,450	0,467	11,330	11,401	5,096	5,540
8/Mar-8:53 a.m.	0,419	0,414	11,180	11,260	4,689	4,744
9/Mar-11:05 a.m.	0,503	0,791	11,627	12,115	5,962	9,742
15/Mar-8:35 a.m.	0,523	0,598	12,274	12,524	6,418	7,595
15/Mar-9:35 a.m.	0,580	0,671	12,731	12,725	7,452	8,574
20/Mar-11:48 a.m.	0,547	0,590	12,586	12,637	6,891	7,579
20/Mar-12:48 p.m.	0,540	0,585	12,524	12,592	6,768	7,488
20/Mar-1:48 p.m.	0,527	0,571	12,385	12,471	6,528	7,426

**APENDICE F: Tabla de promedios diarios de todas las variables con carga de 13W mes marzo.**

DIA/HORA	ICP	ICM	VCP	VCM	PCP	PCM
9/Mar-11:47 p.m.	0,347	0,710	12,002	10,463	4,172	7,533
9/Mar-12:47 p.m.	0,843	0,968	12,506	10,050	10,724	9,446
14/Mar-3:35 p.m.	1,109	1,161	12,085	12,135	13,407	14,084
14/Mar-4:00 p.m.	0,903	0,960	11,867	12,013	10,724	11,534
14/Mar-4:25 p.m.	0,920	0,982	11,687	11,973	10,747	11,759
20/Mar-3:38 p.m.	1,241	1,246	12,237	12,228	15,189	15,877
20/Mar-3:18 p.m.	1,158	1,140	12,176	12,170	14,102	14,433
20/Mar-4:10 p.m.	1,184	1,177	12,131	12,228	14,364	14,797
23/Mar-9:07 p.m.	1,176	1,107	12,030	12,054	14,146	14,109
23/Mar-10:27 p.m.	1,199	1,100	11,997	11,991	14,383	13,553

**APENDICE G: Tabla de promedios diarios de todas las variables con carga de 14W mes marzo.**

DIA/HORA	ICP	ICM	VCP	VCM	PCP	PCM
1/Mar-9:40 a.m.	1,189	1,168	12,790	12,952	15,206	15,122
1/Mar-10:10 a.m.	1,120	1,105	12,727	12,946	14,252	14,307
5/Mar-4:08 a.m.	1,328	1,104	11,420	11,622	15,171	12,832
7/Mar-3:11 a.m.	0,959	0,991	11,122	11,120	10,747	11,210
8/Mar-9:51 a.m.	0,979	1,053	11,318	11,247	11,079	12,044
9/Mar-11:24 a.m.	1,192	1,274	12,086	11,725	14,473	15,289
12/Mar-3:07 a.m.	0,993	0,961	12,698	12,558	12,645	11,617
12/Mar-4:07 a.m.	1,068	1,015	12,683	12,570	13,544	12,882
13/Mar-10:40 a.m.	1,203	1,028	12,536	12,694	15,089	13,214
13/Mar-11:40 a.m.	1,174	1,114	12,478	12,578	14,645	14,118
13/Mar-12:40 a.m.	1,248	1,216	12,411	12,535	15,485	15,354
13/Mar-1:40 a.m.	1,154	1,126	12,309	12,419	14,207	14,092
20/Mar-10:59 a.m.	1,488	1,489	12,771	12,607	19,008	20,138
23/Mar-11:31 a.m.	1,073	1,122	12,020	12,012	12,900	13,820

**APENDICE H: Tabla de promedios diarios de todas las variables con carga de 6W mes abril-mayo.**

DIA/HORA	ICP	ICM	VCP	VCM	PCP	PCM
3/Abril-9:10 a.m.	0,857	0,832	12,716	12,627	10,874	10,837
3/Abril-10:00 a.m.	0,840	0,812	12,400	12,652	10,415	10,706
03/Abr-11:51 a.m.	0,764	0,784	11,876	12,449	9,070	9,765
03/Abr-12:30 p.m.	0,755	0,777	11,962	12,417	9,026	9,648
03/Abr-1:10 p.m.	0,729	0,748	12,091	12,335	8,812	9,231
04/Abr-12:05 p.m.	0,694	0,690	10,183	11,974	7,068	8,266
04/Abr-1:00 p.m.	0,664	0,654	10,274	11,824	6,825	7,732
04/Abr-2:00 p.m.	0,632	0,510	10,496	11,600	6,630	6,382
05/Abr-8:13 a.m.	0,602	0,635	11,213	11,701	6,716	7,428
05/Abr-9:13 a.m.	0,629	0,663	10,267	11,802	6,456	7,831
09/Abr-9:07 a.m.	0,665	0,607	11,759	11,522	7,987	7,220
09/Abr-10:00 a.m.	0,746	0,749	12,083	12,308	9,018	9,228
09/Abr-3:00 p.m.	0,635	0,690	11,672	12,046	7,408	8,310
09/Abr-4:00 p.m.	0,619	0,657	11,593	11,856	7,171	7,816
10/Abr-8:30 a.m.	0,567	0,597	10,891	11,774	6,176	7,249
10/Abr-9:30 a.m.	0,563	0,594	10,235	11,736	5,759	7,188
10/Abr-10:30 a.m.	0,567	0,608	10,135	11,750	5,743	7,420
10/Abr-11:30 a.m.	0,558	0,601	10,866	11,732	6,066	7,223
10/Abr-12:30 p.m.	0,546	0,581	11,141	11,675	6,080	6,946
10/Abr-1:30 p.m.	0,571	0,631	11,349	11,817	6,477	7,648
10/Abr-2:30 p.m.	0,520	0,572	11,132	11,561	5,792	6,969
10/Abr-3:30 p.m.	0,503	0,568	11,089	11,528	5,575	6,720
11/Abr-11:46 a.m.	0,502	0,557	11,502	11,650	5,780	6,503
11/Abr-12:46 p.m.	0,481	0,555	11,353	11,613	5,461	6,449
16/Abr-9:00 a.m.	0,661	0,714	12,116	12,238	8,011	8,744
16/Abr-12:00 p.m.	0,636	0,691	11,943	12,104	7,593	8,370
16/Abr-3:00 p.m.	0,567	0,550	11,592	11,836	6,520	6,887
18/Abr-11:40 a.m.	0,608	0,724	11,686	11,955	7,234	8,830
18/Abr-12:30 p.m.	0,555	0,669	11,781	12,006	6,540	8,030
18/Abr-2:00 p.m.	0,468	0,603	11,420	11,805	5,345	7,511
20/Abr-8:35 a.m.	0,246	0,281	9,812	9,984	2,432	2,631
20/Abr-10:35 a.m.	0,400	0,465	10,601	10,894	4,275	5,121
27/Abr-11:40 a.m.	0,270	0,316	10,197	10,127	2,767	3,189
27/Abr-12:00 p.m.	0,144	0,171	9,245	9,290	1,343	1,597
27/Abr-2:00 p.m.	0,285	0,332	9,991	10,176	2,874	3,394

27/Abr-3:51 p.m.	0,144	0,172	9,204	9,297	1,324	1,597
7/May-12:29 a.m.	0,498	0,550	12,062	12,182	6,014	6,731
7/May-1:29 a.m.	0,419	0,555	11,491	12,124	4,811	6,746
7/May-2:57 a.m.	0,099	0,162	9,462	10,078	0,938	0,979

**APENDICE I: Tabla de promedios diarios de todas las variables con carga de 20 W mes abril-mayo.**

FECHA	ICM	ICP	VCM	VCP	PCM	PCP
3/Abr-11:21 a.m.	2,039	2,051	11,506	12,121	23,447	24,855
6/abr-10:00 a.m.	1,423	1,398	10,316	10,841	14,673	15,840
13/Abr-2:29 p.m.	0,823	0,949	9,527	9,461	8,285	9,319
13/Abr-3:01 p.m.	0,303	0,322	8,887	8,842	2,707	2,798
13/Abr-4:27 p.m.	0,219	0,251	8,683	8,669	1,900	2,146
20/Abr-2:40 p.m.	0,221	0,250	8,684	8,716	1,924	2,181
20/Abr-4:00 p.m.	0,089	0,114	8,353	8,299	0,743	0,953
23/Abr-8:28 a.m.	0,493	0,578	9,183	9,601	4,743	5,508
23/Abr-9:09 a.m.	0,709	0,766	11,750	11,830	8,386	9,145
23/Abr-9:18 a.m.	0,830	0,819	11,211	10,273	9,323	9,047
23/Abr-9:25 a.m.	0,501	0,959	9,296	10,365	0,501	0,501
23/Abr-9:34 a.m.	0,267	0,382	8,794	9,001	2,366	3,484
23/Abr-10:50 a.m.	1,737	1,538	12,021	11,534	20,884	17,820
27/Abr-8:32 a.m.	1,648	1,563	11,845	11,642	19,524	18,434
27/Abr-9:05 a.m.	0,507	0,561	9,458	9,372	4,816	5,240
27/Abr-10:04 a.m.	0,870	0,788	10,338	9,901	9,012	7,655
27/Abr-11:40 a.m.	0,441	0,453	9,440	9,283	4,170	4,079
2/May-9:00 a.m.	1,749	1,993	11,966	12,302	20,936	24,630
7/May-10:31 a.m.	1,936	1,925	12,176	12,321	23,585	24,041
7/May-11:58 a.m.	1,779	1,740	11,378	12,095	20,230	21,265
7/May-11:31 a.m.	1,697	1,650	11,915	11,958	20,215	19,929

**APENDICE J: Tabla de potencias máximas alcanzadas mes febrero-marzo**

POTENCIA	ICP	ICM	VCP	VCM	IPP	IPM
0W	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6W	0,525	0,617	12,113	12,547	7,047	7,717
7W	0,782	0,957	14,301	15,214	10,497	14,590
13W	1,241	1,246	12,237	12,228	15,189	15,877
14W	1,488	1,489	12,771	12,607	19,008	20,138
20W	1,793	1,785	12,080	12,153	21,696	22,518

**APENDICE K: Tabla de potencias máximas alcanzadas mes abril-mayo**

POTENCIA	ICP	ICM	VCP	VCM	IPP	IPM
0W	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6W	0,854	0,829	12,665	12,632	10,808	10,789
7W	0,997	1,052	12,863	13,412	12,154	13,219
13W	1,472	1,507	12,189	12,372	17,937	18,651
14W	1,430	1,470	12,184	12,206	16,333	17,361
20W	2,039	2,051	12,176	12,321	23,585	24,855

**APENDICE L: Tabla de curva de rendimiento energético con carga variable 14 de marzo**

CARGA	HORA	ICP	ICM	VCP	VCM	IPP	IPM
6W	9:07 a 11:00 a.m.	0,581	0,617	12,113	12,489	7,047	7,717
6W	11:00 a 1:00 p.m.	0,525	0,590	12,020	12,547	6,318	7,403
6W	1:00 a 3:00 p.m.	0,536	0,490	12,255	12,152	6,566	5,959
13W	3:18 a 4:00 p.m.	1,109	1,161	12,085	12,135	13,407	14,084
13W	4:00 a 4:25 p.m.	0,903	0,960	11,867	12,013	10,724	11,534
13W	4:25 A 4:50 p.m	0,920	0,982	11,687	11,973	10,747	11,759

**APENDICE M: Tabla de curva de rendimiento energético con carga variable 20 de marzo**

CARGA	HORA	ICP	ICM	VCP	VCM	IPP	IPM
14W	10:59 a 11:46 a.m.	1,488	1,489	12,771	12,607	19,008	20,138
7W	11:48 a 12:48 a.m.	0,547	0,590	12,586	12,637	6,891	7,579
7W	12:48 a 1:48 p.m.	0,540	0,585	12,524	12,592	6,768	7,488
7W	1:48 a 2:37 p.m.	0,527	0,571	12,385	12,471	6,528	7,426
13W	2:38 a 3:18 p.m.	1,241	1,246	12,237	12,228	15,189	15,877
13W	3:18 a 4: 10 p.m.	1,158	1,140	12,176	12,170	14,102	14,433
13W	4:10 a 4:57 p.m	1,184	1,177	12,131	12,228	14,364	14,797

**APENDICE N: Tabla de curva de rendimiento energético con carga variable 23 de marzo**

CARGA	HORA	ICP	ICM	VCP	VCM	IPP	IPM
13W	9:07 a 9:47 a.m.	1,176	1,107	12,030	12,054	14,146	14,109
13W	9:47 a 10:27 a.m.	1,199	1,100	11,997	11,991	14,383	13,553
20W	10:28 a 11:00 a.m.	1,696	1,637	11,863	11,831	20,152	22,779
20W	11:00 a 11:28 a.m.	1,793	1,785	12,080	12,143	21,696	22,518
14W	11:30 a 12:07 a.m.	1,073	1,122	12,020	12,012	12,900	13,820
6W	12:08 a 12:13 p.m.	0,532	0,551	11,782	11,965	6,238	6,552

**APENDICE O: Tabla de curva de rendimiento energético con carga variable 3 de abril**

CARGA	HORA	ICP	ICM	VCP	VCM	IPP	IPM
6W	9:10 a 10:00 a.m.	0,857	0,832	12,716	12,627	10,874	10,837
6W	10:00 a 10:35 a.m.	0,840	0,812	12,400	12,652	10,415	10,706
13W	10:34 a 11:20 a.m.	1,472	1,507	12,189	12,372	17,937	18,651
20W	11:21 a 11:50 a.m.	2,039	2,051	11,506	12,121	23,447	24,855
6W	11:51 a 12:30 p.m.	0,764	0,784	11,876	12,449	9,070	9,765
6W	12:30 a 1:10 p.m.	0,755	0,777	11,962	12,417	9,026	9,648
6W	1:10 a 2:58 p.m.	0,729	0,748	12,091	12,335	8,812	9,231
13W	2:58 a 3:58 p.m.	1,334	1,410	10,494	12,048	13,988	16,995
13W	3:58 a 4:57 p.m.	1,235	1,316	10,473	11,825	12,941	15,562

**APENDICE P: Tabla de curva de rendimiento energético con carga continua 9 de abril**

CARGA	HORA	ICP	ICM	VCP	VCM	IPP	IPM
6W	9:07 a 10:00 a.m.	0,665	0,607	11,759	11,522	7,987	7,220
6W	10:00 a 11:00 a.m.	0,746	0,749	12,083	12,308	9,018	9,228
14W	11:00 a 12:00 a.m.	1,260	1,344	11,840	12,028	14,923	16,167
14W	12:00 a 1:00 p.m.	1,302	1,423	11,865	12,197	15,451	17,361
14W	1:00 a 2:00 p.m.	1,257	1,347	11,726	11,987	14,741	16,150
6W	2:00 a 3:00 p.m.	1,219	1,302	11,613	11,861	14,155	15,445
6W	3:00 a 4:00 p.m.	0,635	0,690	11,672	12,046	7,408	8,310
6W	4.00 a 5:00 p.m.	0,619	0,657	11,593	11,856	7,171	7,816

**APENDICE Q: Tabla de curva de rendimiento energético con carga continua 10 de abril**

CARGA	HORA	ICP	ICM	VCP	VCM	IPP	IPM
6W	8:30 a 9:30 a.m.	0,567	0,597	10,891	11,774	6,176	7,249
6W	9:30 a 10:30 a.m.	0,563	0,594	10,235	11,736	5,759	7,188
6W	10:30 a 11:30 a.m.	0,567	0,608	10,135	11,750	5,743	7,420
6W	11:30 a 12:30 a.m.	0,558	0,601	10,866	11,732	6,066	7,223
6W	12:30 a 1:30 p.m.	0,546	0,581	11,141	11,675	6,080	6,946
6W	1:30 a 2:30 p.m.	0,571	0,631	11,349	11,817	6,477	7,648
6W	2:30 a 3:30 p.m.	0,520	0,572	11,132	11,561	5,792	6,969
6W	3:30 a 4:30 p.m.	0,503	0,568	11,089	11,528	5,575	6,720

**APENDICE R: Potencia con carga de 7W Vs Irradiancia 26 de abril**

CARGA	HORA	ICP	ICM	VCP	VCM	PCP	PCM
7W	8:30 a 9:40 a.m.	0,230	0,264	10,402	10,402	2,396	2,599
7W	9:40 a 10:00 a.m.	0,505	0,583	11,486	11,409	5,849	6,736
7W	10:00 a 10:30 a.m.	0,314	0,361	10,278	10,200	3,736	3,736
7W	10:30 a 12:00 p.m.	0,396	0,464	10,770	10,793	4,309	5,022
7W	12:00 a 12:30 p.m.	0,414	0,490	10,903	10,918	4,607	5,428
7W	12:46 a 1:12 p.m.	0,215	0,256	9,613	9,613	2,122	2,506
7W	1:12 a 2:00 p.m.	0,056	0,082	8,713	8,523	0,696	0,696
7W	2:00 a 2:30 p.m.	0,190	0,224	9,473	9,439	2,150	2,150
7W	2:30 a 3:00 p.m.	0,407	0,481	10,672	10,857	4,409	5,270
7W	3:00 a 3:40 p.m.	0,236	0,276	9,712	9,742	2,292	2,680
7W	3:40 a 5:00 p.m.	0,595	0,651	12,211	12,124	7,264	8,003

## REFERENCIAS

- Asociacion de la industria Fotovoltaica ASIF, C. O. (s.f.). *Energia Solar Fotovoltaica en la Comunidad de Madrid*. Madrid.
- Azhar Ghazali M, A. M. (2012). *El rendimiento de tres paneles solares diferentes para la electricidad solar que aplican un dispositivo de seguimiento solar en la condición climática de Malasia*. Canadian Center of Science and Education.
- Barbosa, J. (2013). *ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE VARIABLES*. Bogota, Colombia. Colombia, C. d. (3 de Octubre de 2001). *umpe*. Obtenido de <http://www.upme.gov.co:81/sgic/sites/default/files/Ley%20697%20de%202001.pdf>
- Colombia, C. d. (16 de julio de 2013). *MINMINAS*. Obtenido de [http://servicios.minminas.gov.co/compilacionnormativa/docs/pdf/ley\\_1665\\_2013.pdf](http://servicios.minminas.gov.co/compilacionnormativa/docs/pdf/ley_1665_2013.pdf)
- Colombia, C. d. (13 de Mayo de 2016). *upme*. Obtenido de [http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY\\_1715\\_2014.pdf](http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf)
- Congreso de la republica de Colombia. (13 de 05 de 2014). LEY 1715. Bogotá, Colombia.
- Constance Kalu, I. A. (2016). *Varepsilon*. Obtenido de <http://varepsilon.com/index.php/mse/article/view/13/15>
- Costalago, I. B. (s.f.). *ENERGIAS RENOVABLES*. Obtenido de <http://www.energiasrenovablesinfo.com/solar/tipos-paneles-fotovoltaicos/>
- Elmehdi Karami, M. R. (2017). Análisis de rendimiento y comparación de diferentes tecnologías de módulos fotovoltaicos bajo diferentes condiciones climáticas en Casablanca. *Revista de Fundamentos de Energías Renovables y Aplicaciones*, 6.
- EnDev/GIZ, P. (Marzo de 2013). *Energypedia*. Obtenido de [https://energypedia.info/images/0/0b/Gu%C3%ADa\\_de\\_instalaci%C3%B3n\\_de\\_SFD\\_-\\_2013.pdf](https://energypedia.info/images/0/0b/Gu%C3%ADa_de_instalaci%C3%B3n_de_SFD_-_2013.pdf)
- Esco-tel. (s.f.). *Esco-tel Sistemas de energía solar*. Obtenido de <http://www.esco-tel.com/>
- Francisco Javier Eraso Checa, E. E. (2015). *Comparison between the energy generated from three types of c-Si photovoltaic modules and the temperature and irradiance of the city of Pasto, Colombia*. Pasto, Colombia: IEEE.
- Grupo NAT, C. O. (2002). *Energia Solat Fotovoltaica*. Madrid.
- IDEAM, P. (3 de 11 de 2016). *Programa de naciones unidas para el desarrollo en Colombia*. Obtenido de [documentation.ideam.gov.co/openbiblio/virtual/023634/INEGI.pdf](http://documentation.ideam.gov.co/openbiblio/virtual/023634/INEGI.pdf)
- ITER, I. T. (s.f.). *Agencia Insular de Energia De Tenerife*. Obtenido de [http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234267189\\_ENERGIA\\_SOLAR\\_FOTOVOLTAICA\\_ITER.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234267189_ENERGIA_SOLAR_FOTOVOLTAICA_ITER.pdf)

- Jimenez, J. M. (2005). *Estadística Para Ciencias Del Movimiento Humano*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- L. Calderon. (19 de 05 de 2014). *Fedesarrollo*. Obtenido de [http://www.fedesarrollo.org.co/wp-content/uploads/2011/08/WWF\\_Analisis-costo-beneficio-energias-renovables-no-convencionales-en-Colombia.pdf](http://www.fedesarrollo.org.co/wp-content/uploads/2011/08/WWF_Analisis-costo-beneficio-energias-renovables-no-convencionales-en-Colombia.pdf)
- M. R. Abdelkader, A. A.-S.-H. (2010). A comparative Analysis of the Performance of Monocrystalline and Multicrystalline PV Cells in Semi Arid Climate Conditions: the Case of Jordan. *JJMIE*, 543-552.
- Mario Ortega Rodríguez. (2000). *Energías Renovables*. S.A. EDICIONES PARANINFO.
- Martinez, R. B. (2017). *Universidad Santo Tomas*. Obtenido de <http://repository.usta.edu.co/handle/11634/3238>
- Ministerio de minas y energia CO. (13 de 05 de 2014). Obtenido de <https://www.minminas.gov.co/documents/10180//23517//22602-11506.pdf>
- monsolar. (s.f.). *monsolar.com*. Obtenido de <https://www.monsolar.com/blog/como-funcionan-los-reguladores-de-carga-solares-pwm-y-mppt/>
- Montiel, F. T. (s.f.). *Apuntes Bioestadística*.
- NASA. (s.f.). *NASA Surface meteorology and Solar Energy*. Obtenido de <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?email=rets%40nrcan.gc.ca&step=1&lat=4.337222&lon=-74.364444&submit=Enviar>
- Raul Alexander Chona Suarez, J. M. (2013). Barranquilla, Colombia.
- Raul Alexander Chona Suarez, J. M. (2013). *DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA TRADICIONAL DE PANEL SOLAR*. Barranquilla, Colombia.
- Villar, P. D. (2010). *Energía solar y fotovoltaica*. Ediciones Roble S.L.
- Viloria, J. R. (2010). *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. Madrid, España: Parainfo.