

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

**IMPLEMENTACIÓN DE UN PANEL FOTOVOLTAICO CON RASTREADOR SOLAR
Y MEDICIÓN DE SU EFICIENCIA PARA LA EXTRACCIÓN DE ENERGÍA,
TENIENDO EN CUENTA EL GASTO ENERGÉTICO DE LOS MOTORES**

MARLON DAVID PEÑUELA PARDO

EDGAR ANDRÉS TORRES MÁRQUEZ

JHON JAIRO ROJAS MONTANO

Ingeniería Electrónica

Director. ANDRÉS FELIPE TOBÓN MEJÍA

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
FACULTAD DE INGENIERÍA
13 DE SEPTIEMBRE DE 2016**

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

En el presente proyecto se midió la energía transformada por un panel fotovoltaico ajustado a un seguidor de sol en donde se hizo la comparación de la eficiencia cuando el panel se encuentra en estado estático y cuando el seguidor de sol se encuentra en estado de movimiento, teniendo en cuenta el gasto energético por parte motor del seguidor de sol. Al final se concluye si el panel (A-12V2.4W) mejora su eficiencia con el seguidor de sol propuesto.

Para ello se hizo necesario el desarrollo del proyecto en dos etapas: En una primera fase se implementó un prototipo que fuese capaz de orientar los paneles solares en dirección perpendicular al sol, y para la subsiguiente etapa se procedió a realizar el desarrollo experimental y así dar las conclusiones pertinentes.

Palabras clave: Panel solar, servomotor, leguaje de programación, rayo incidente, ortogonalidad, modulación por ancho de pulso.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Le damos gracias a Dios por permitir llevar este proyecto a cabo. Este proyecto fue realizado bajo la supervisión de nuestro asesor Andrés Felipe Tobón Mejía, a quien le expresamos nuestro gran profundo agradecimiento por ayudarnos a resolver todas las inquietudes que se fueron presentando a medida que se avanzaba en el proyecto y cumplir con todos y cada uno de los objetivos propuestos, muchas gracias a él por su gran apoyo. Agradecemos al comité de trabajo de grado. Gracias especiales a nuestros familiares porque siempre estuvieron allí presentes brindándonos su apoyo y alentándonos para superar todos los obstáculos. Por último queremos darle gracias a todos nuestros amigos que colaboraron de alguna u otra forma para que nuestro trabajo salga adelante. A todos mil gracias.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

LDR: Light-Dependent Resistor (Resistencia dependiente de la Luz).

PWM: Pulse-Width Modulation (Modulación por ancho de pulso).

AC: Alternating Current (Corriente alterna).

DC: Direct Current. (Corriente directa).

FEM: Fuerza Contra-Electromotriz.

CCTV: Closed Circuit Television (Circuito Cerrado de Televisión).

SRAM: Static Random Access Memory (Memoria estática de acceso aleatorio).

ROM: Read Only Memory (Memoria de solo lectura).

E2PROM: Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (ROM programable y borrable eléctricamente).

MJ: Multi-Junction (Multi-unión de células solares).

CPV: Concentrator Photovoltaics (Concentrador fotovoltaico).

CSP: Concentrated Solar Power (Poder solar concentrado).

PV: Photovoltaic (Fotovoltaico).

CR: Capacidad Carga Radial Dinámica.

COR: Capacidad de Carga Radial Estática.

ICSP: In-Circuit Serial Programming (Programación en circuito serial).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

IMPLEMENTACIÓN DE UN PANEL FOTOVOLTAICO CON RASTREADOR SOLAR Y MEDICIÓN DE SU EFICIENCIA PARA LA EXTRACCIÓN DE ENERGÍA, TENIENDO EN CUENTA EL GASTO ENERGÉTICO DE LOS MOTORES. 1

TABLA DE CONTENIDO 5

1. INTRODUCCIÓN 7

2. MARCO TEÓRICO 9

 2.1. ¿Qué Es La Energía Solar?.....9

 2.1.1. Irradiación..... 10

 2.1.2. Insolación..... 10

 2.2. Panel Fotovoltaico 12

 2.3. Parámetros característicos de un módulo fotovoltaico. 12

 2.4. Factores de eficiencia de un panel Fotovoltaico 13

 2.6. Métodos de conexión en los módulos fotovoltaicos..... 15

 2.7. Motores 16

 2.7.1. Servomotor 16

 2.8. ¿Qué es Arduino? 16

 2.8.1. Arduino Uno 17

 2.9. ¿Qué es un lenguaje de programación?..... 18

 2.10. Fotorresistencia (LDR) 18

 2.11. USB-TESTER Medidor De Voltaje y De Corriente..... 18

 2.12. Multímetro Fluke true-RMS REF 117..... 18

 2.13. Multímetro UNI-T UT139A 18

 2.13.1. Aplicaciones 19

3. METODOLOGÍA 20

 3.1. Generación preliminar de una metodología. 20

 3.2. Adaptación de la metodología para el desarrollo del prototipo y selección de instrumentos de medida..... 21

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.3. Adaptación de la metodología para la etapa experimental	22
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	42
REFERENCIAS.....	43
APÉNDICE	45

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

Con el pasar del tiempo las reservas de las fuentes tradicionales de energía como los combustibles fósiles son cada vez más escasos y su uso contamina el medio ambiente, es por esto que hoy por hoy se ha llegado a la necesidad de encontrar soluciones alternativas, para la producción de energías que sean renovables; tales como la eólica, mareomotriz, hídrica, térmica, solar, entre otras.

La energía eléctrica en Colombia proviene principalmente de plantas hidroeléctricas, puesto que el país es rico en fuentes de agua en gran parte de su territorio. Esto trae consigo una gran ventaja con respecto a otros países para el aprovechamiento de este tipo de energía; Sin embargo, las energías limpias tales como la geotérmica, eólica y solar no se les ha dado el suficiente aprovechamiento, aun cuando este país cuenta con dos ubicaciones privilegiadas estratégicas; en el trópico y en la cadena montañosa de los andes (CVN, 2015).

Si bien la existencia de dispositivos solares es conocida. La necesidad de aprovechar y mejorar la eficiencia en dichos dispositivos, hace que surja la siguiente pregunta: ¿Alcanza mayor eficiencia la transformación de energía por medio de un panel fotovoltaico en estado de movimiento, incluyendo el gasto energético de los motores, que en estado estático?

Para solucionar el problema se tuvo presente como objetivo general el siguiente:

- Realizar un análisis comparativo de la energía de un panel fotovoltaico en estado de movimiento incluyendo el gasto energético de los motores, con la energía generada en estado estático, para determinar en qué estado es más eficiente.

Para poder llevar a cabo este objetivo general se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Se desarrolló un prototipo que permitió orientar los paneles fotovoltaicos en dirección perpendicular al sol.
- Se encontró una herramienta que permita medir la generación de energía del seguidor solar mientras está en movimiento y estático.
- Se elaboró una fase experimental del prototipo para la recolección de los datos, en cada uno de los dos estados; movimiento y estático.
- Se analizaron los resultados obtenidos en la fase experimental y se concluyó en qué estado es más eficiente el prototipo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En el presente trabajo de grado se dieron a conocer los diferentes conceptos que se tuvieron en cuenta para llevar a cabo el proyecto, así como las especificaciones técnicas que nos brinda el fabricante en la hoja de datos de los dispositivos empleados. También se hace una descripción de la metodología empleada explicando de manera concisa el camino que tomará el proyecto, el plan de investigación que permitirá cumplir con los objetivos que ya se han propuesto. Para finalizar se concluye con unos resultados obtenidos del experimento, algunas recomendaciones y trabajos futuros.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ¿Qué Es La Energía Solar?

Es la energía radiante producida por el sol, como resultado de reacciones nucleares de fusión que llegan a la Tierra a través del espacio en paquetes de energía llamados fotones (luz), que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestres.

Sin la presencia del sol no existiría vida en la tierra. El planeta sería demasiado frío, no crecerían las plantas ni habría vida alguna, excepto algunas bacterias. Todos nuestros recursos energéticos provienen indirectamente del sol. Los combustibles fósiles son plantas y árboles muy antiguos, que crecieron gracias a la luz solar y han sido comprimidos durante millones de años. La energía eólica e hidráulica es generada mediante procesos conducidos por el sol. La madera para combustible es obtenida de los árboles, los cuales no podrían crecer sin luz solar (Orbegozo & Arivilca, 2010).

Ahora bien, la potencia de la radiación depende del momento del día, las condiciones Atmosféricas y la ubicación. Bajo condiciones óptimas se puede asumir un valor aproximado de irradiación de 1000 W/m² en la superficie terrestre. Esta radiación puede llegar a la tierra en forma directa o difusa. (SRL, 2016).

- La radiación directa es, como su propio nombre lo indica, la que proviene directamente del sol.
- La radiación difusa es aquella recibida de la atmósfera como consecuencia de la dispersión de parte de la radiación del sol en la misma. Esta energía puede suponer aproximadamente un 15% de la radiación global en los días soleados, pero en los días nublados, en los cuales la radiación directa es muy baja, la radiación difusa supone un porcentaje mucho mayor. Por otra parte, las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que "ven" toda la semiesfera celeste, mientras que las superficies verticales reciben menos porque solo "ven" la mitad de la semiesfera celeste.
- La radiación reflejada es, como su propio nombre indica, aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo. Por otra parte, las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no "ven" superficie terrestre, mientras que las superficies verticales son las que más reciben. (ANONIMO, 2012).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Existen distintos tipos de tecnologías que permiten utilizar la energía proveniente del sol, los cuales se nombran a continuación:

- Energía solar pasiva: aprovecha el calor del sol sin necesidad de mecanismos o sistemas mecánicos.
- Energía solar térmica: aprovecha la energía calórica del sol para calentar algún tipo de fluido a baja temperatura, normalmente agua, para uso sanitario y calefacción, los sistemas utilizados para esto se denominan colectores solares.
- Energía solar fotovoltaica: aprovecha la energía lumínica del sol para producir electricidad mediante placas de semiconductores que se alteran con la radiación solar, estos sistemas se llaman Paneles Solares Fotovoltaicos (PFV).
- Energía solar termoeléctrica: aprovecha la energía calórica para producir electricidad, esto se logra a través de un ciclo termodinámico convencional, mediante el cual se calienta algún tipo de fluido a alta temperatura (aceite térmico).
- Energía solar híbrida: consiste en utilizar además de la energía solar, otro tipo de energía. Esto se conoce como hibridación y dependiendo con el tipo de energía que se combine será:
 - Renovable: biomasa, energía eólica.
 - Fósil.
- Energía eólico solar: consiste en utilizar el aire calentado por el sol, para hacer girar unos generadores ubicados en la parte superior de una chimenea. (SRL, 2016).

2.1.1. Irradiación

Es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética. En este caso corresponde a radiación proveniente del sol, la cual se puede percibir en forma de calor o luz (visible o no visible, lo cual dependerá de cada longitud de onda en particular). Su unidad de medida en el sistema internacional es W/m^2 . (SRL, 2016)

2.1.2. Insolación

La Insolación corresponde a la cantidad de energía en forma de radiación solar que llega a un lugar de la Tierra en un día concreto (insolación diurna) o en un año (insolación anual). En otras palabras es la energía radiante que incide en una superficie de área conocida en un intervalo de tiempo dado. Su unidad de medida es el Watts-hora por metro cuadrado ($W-h/m^2$). La insolación también se expresa en términos de horas solares pico. Una hora horas de energía es equivalente a la energía recibida

durante una hora, a una irradiancia promedio de 1.000 W/m². La energía útil que entrega el panel(es) fotovoltaico(s) es directamente proporcional a la insolación incidente.

Para calcularla se puede asumir que no hay atmósfera o que se mide en la parte alta de ella y se denomina insolación diurna o anual no atenuada, otra forma es medir en la superficie de la Tierra teniendo en cuenta la presencia de la atmósfera, en este caso se denomina insolación atenuada siendo más complejo calcularla. En la Figura 1 se muestra la insolación correspondiente a un día, la cual es representada por el área amarilla de la figura.

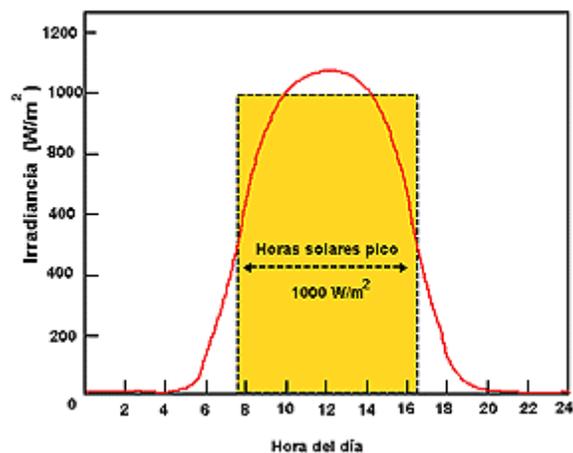


Fig. 1 curva de irradiación diaria y horas solares pico

La insolación es un parámetro muy importante en el diseño de sistemas solares. Los factores climáticos y el ángulo de posicionamiento del panel con respecto al sol afectan en demasía la insolación sobre la superficie de captación. En zonas de poco sol, ya sea por nubes, neblina u otro factor, la insolación promedio en un periodo de tiempo es menor. En días de invierno los niveles de insolación promedio son considerablemente menores en comparación a los días de verano, esto se da para lugares cuya latitud sea mayor a los 15°.

Debido a que la insolación depende del ángulo del panel con respecto a la posición del sol, se usa la insolación horizontal para referirse al potencial solar del lugar. A partir de la insolación horizontal se puede estimar la insolación a un azimut y elevación determinado. La insolación será máxima cuando el panel se encuentre en posición horizontal frente al sol. Para conseguir esto sería necesario ajustar el ángulo de azimut para seguir el movimiento diario del sol de este a oeste y el ángulo de elevación para seguir el movimiento anual de la trayectoria solar en la dirección nortesur. (SRL, 2016).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2. Panel Fotovoltaico

La energía solar que llega a la superficie de la tierra puede ser transformada directamente en energía eléctrica de corriente continua mediante paneles fotovoltaicos, que son un arreglo de celdas de semiconductores capaces de generar electricidad en corriente continua. La cantidad de electricidad generada depende principalmente del tipo de material, la superficie de material semiconductor expuesto, la radiación incidente (en ese instante), la orientación de la luz respecto de la superficie y la eficiencia de las celdas fotovoltaicas.

Respecto de los equipos asociados, los paneles tienen (por sus características físicas) un punto de generación de máxima eficiencia, que se caracteriza por una tensión y una corriente de generación óptima. Para aprovechar esto, se han diseñado equipos electrónicos para extraer la electricidad en este particular punto, para un amplio rango de condiciones de operación. Se utilizan bancos de baterías para almacenar la energía en el momento que se genera y proporcionar en los momentos que no haya generación o suplir el déficit de energía entre el consumo y la generada. Baterías estacionarias de descarga profunda y de mayor nivel de energía almacenada se han desarrollado para estas aplicaciones (Camilla, 2007).

2.3. Parámetros característicos de un módulo fotovoltaico.

Un módulo fotovoltaico está constituido por varias células solares conectadas eléctricamente entre sí. Si todas las células son iguales y trabajan en las mismas condiciones de irradiación y temperatura, la tensión, intensidad y potencia que puede proporcionar un módulo fotovoltaico cumple las siguientes relaciones:

U_M : Tensión del módulo (V)

U_C : Tensión de una célula solar (V)

N_S : Número de células asociadas en serie

$$U_M = N_S \times U_C \quad [1]$$

I_M : Intensidad del módulo (A)

I_C : Intensidad de una célula solar (A)

N_P : Numero de células/ramas en paralelo

$$I_M = N_P \times I_C \quad [2]$$

P_M : Potencia del módulo (W)

P_C : Potencia de una célula solar (W)

$$P_M = N_S \times N_P \times P_C \quad [3]$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

N_s : Numero de células asociadas en serie

N_p : Numero de células/ramas en paralelo

Como se puede deducir de las expresiones anteriores, los parámetros eléctricos de un módulo fotovoltaico tienen una relación directa con los parámetros eléctricos de sus células y con la cantidad y el conexionado serie-paralelo de las mismas (Castejon Oliva & Santamaría Herranz).

2.4. Factores de eficiencia de un panel Fotovoltaico

- **Punto de potencia máxima (Pmp)**: corresponde a la máxima potencia que el panel puede entregar, la cual se da cuando el voltaje y la corriente alcanzan sus valores máximos en forma simultánea, esto se puede ver en el rectángulo inscrito dentro la curva IV de la Figura 3.4.3, donde el vértice sobre la curva, denominado Pmp, representa el valor de potencia. Este valor se consigue de acuerdo a la Ecuación 4. (SRL, 2016)

$$P_{mp} = V_{mp} \times I_{mp} \quad [4]$$

- **Eficiencia en la conversión de energía ("eta")**: La eficiencia de un panel fotovoltaico, corresponde al porcentaje de energía eléctrica generada en relación a la cantidad de energía luminosa recibida desde el sol, cuando el panel se encuentra conectado a un circuito eléctrico. La Ecuación 5 define la eficiencia. (SRL, 2016)

$$\eta = \frac{P_{mp}}{E \cdot A_c} = \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{P_i} \quad [5]$$

Donde:

η : representa a la eficiencia de la conversión de la energía.

Pmp: punto de potencia máxima (W).

E: nivel de radiación solar en la superficie del panel (W/m²), bajo condiciones STC.

A_c: Superficie del panel fotovoltaico (m²).

P_i: Potencia Recibida por el panel.

- **Factor de forma (FF)**: También se conoce como Fill Factor en inglés y define la eficacia de un panel solar, relacionando el punto de máxima potencia (Pm), dividido por el producto entre el voltaje a

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

circuito abierto (V_{oc}) y la corriente de cortocircuito (I_{sc}). Esto se muestra en la Ecuación 6. (SRL, 2016)

$$FF = \frac{P_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} = \frac{\eta \cdot A \cdot E}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad [6]$$

2.5. Factores que afectan el rendimiento de un Panel Fotovoltaico.

- Condiciones de ensayo standard:** Los módulos solares producen energía DC. El rendimiento de los módulos solares es determinado por el fabricante en unas condiciones standard (Standard Test conditions ó STC). Las condiciones son temperatura de la célula 25 °C; irradiancia solar (intensidad) = 1000 W/m² (a menudo referido como intensidad luminosa pico, y es comparable a la intensidad durante un mediodía de verano. Un fabricante que clasifica el rendimiento de un módulo solar en 100 W de energía bajo condiciones STC, fabrica un módulo con una tolerancia de producción de +/- 5 %. Eso quiere decir que el módulo producirá de 95 w a 105 w. (todoproductividad, 2010). (todoproductividad, 2010)
- Temperatura:** La potencia del módulo se reduce cuando la temperatura se incrementa. Cuando se opera sobre un tejado, el módulo se calentará sustancialmente, alcanzando su temperatura interior valores que van de 50 - 75 °C. De esta forma, para módulos cristalinos, un factor de reducción de temperatura típico recomendado por el CEC (California Energy Commission) es del 89 % o 0,89. De esta forma un módulo típico de 100 vatios operará a aproximadamente 85 w (95 w x 0,89 = 85 vatios) en el mediodía de un día de primavera u otoño, bajo buenas condiciones de luminosidad. (todoproductividad, 2010)
- Suciedad y polvo:** Polvo y suciedad pueden acumularse en la superficie del módulo solar y bloquear la luz. Dependiendo de lo lluvioso del sitio se limpiará más o menos. Un factor típico de reducción es del 93 % o 0,93 %. Así, un módulo de 100 w operando con polvo acumulado trabajaría a 79 w. (todoproductividad, 2010)
- Pérdidas por acoplamiento y cableado:** La máxima energía suministrada por un panel fotovoltaico es siempre la suma de la salida máxima de los módulos individuales. Esta diferencia es un resultado de ligeras inconsistencias en el rendimiento de un módulo al siguiente llamado desacoplamiento y origina una pérdida de energía del 2 % en el sistema. También se pierde por la resistencia en el cableado del sistema. Estas pérdidas deben mantenerse al mínimo mediante aplicación de

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

procedimientos adecuados, pero es difícil conseguir que bajen del 3 %. (todoproductividad, 2010).

- **Energía de la luz incidente:** Para producir el movimiento de los electrones y generar flujo de corriente, es necesario que el nivel de radiación que incide sobre el panel (fotones) posea una cantidad de energía entre ciertos límites. Debido a que la luz incidente tiene distintas longitudes de onda, cerca del 50% de la radiación recibida no está dentro del margen aceptado por los paneles solares disponibles comercialmente y se pierde, ya sea por poca o demasiada energía. Por otro lado la corriente es directamente proporcional a la radiación incidente y aceptada por el panel, por lo que un bajo nivel de energía radiante provocará que la corriente generada también sea baja. (SRL, 2016).
- **Reflexión:** este tipo de pérdidas se produce en la superficie del panel, debido a la reflexión de los rayos incidentes. Para disminuir este tipo de pérdidas, en el proceso de fabricación se están utilizando capas antirreflejo y superficies rugosas. (SRL, 2016)
- **Efecto de la sombra:** El efecto de sombras sobre los paneles solares, afecta notoriamente el rendimiento de estos, es por esto que se debe procurar al momento de diseñar una instalación fotovoltaica, situar los paneles en lugares donde no sufran este tipo de interferencias. este efecto es más notorio en instalaciones de paneles conectados en serie, ya que si un panel es sombreado no generará los mismos niveles de energía que los que se encuentran descubiertos, por lo cual consumirá energía, en vez de generarla. (SRL, 2016)

2.6. Métodos de conexión en los módulos fotovoltaicos

La intensidad y la tensión de un módulo fotovoltaico no siempre satisfacen los requisitos de tensión e intensidad de un sistema. Es necesario agrupar varios módulos para conseguir valores adecuados, teniendo en cuenta que conectando módulos en serie se aumenta la tensión del sistema y conectando módulos en paralelo se aumenta la intensidad del sistema. Se denomina generador fotovoltaico al conjunto de todos los módulos de un sistema.

Siempre que se agrupan módulos fotovoltaicos se debe cumplir la condición de que sean iguales. Esta igualdad implica que tengan las mismas características y que además sean del mismo fabricante.

Se pueden realizar tres tipos de conexión en función de las necesidades:

- Conexión serie: para elevar la tensión del generador.
- Conexión paralelo: para elevar la intensidad del generador.
- Conexión serie/paralelo: para elevar la tensión y la intensidad del generador (Castejon Oliva & Santamaría Herranz).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.7. Motores

En todos los ámbitos de la vida moderna podemos encontrar hoy en día muchos dispositivos y equipos que emplean motores eléctricos de diversos modelos, tamaños y potencias para realizar un determinado trabajo. Todos ellos, sin excepción, funcionan con corriente alterna (C.A.), o de lo contrario con corriente directa (C.D.), conocida también como corriente continua (C.C.). Sin embargo, la mayoría de los dispositivos y equipos que requieren poca potencia para poner en funcionamiento sus mecanismos emplean solamente motores de corriente directa de pequeño tamaño, que utilizan como fuente suministradora de corriente eléctrica o fuerza electromotriz (F.E.M.) pilas, batería, o un convertidor de corriente alterna en directa (García Álvarez, 2015).

2.7.1. Servomotor

Un servomotor es conocido también como servo, es un aparato muy parecido a un motor DC, el servo tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación y mantenerse estable en dicha posición. Esto lo hace gracias a un sistema de control, que trae de manera interna que consta de un potenciómetro y una tarjeta de comparación. Los servomotores tienen la capacidad de ser controlados en posición y velocidad.

Los servos se utilizan frecuentemente en sistemas de radio control, robótica y en sistemas automatizados. En un circuito cerrado de televisión (CCTV) y hasta las puertas automáticas de un ascensor son sencillos ejemplos de su aplicación.

Es posible modificar un servomotor para obtener un motor DC, con esto se pierde la capacidad de control pero se conserva la fuerza y la velocidad que caracteriza a los servomotores. Generalmente los servos traen tres cables por lo cual son muy sencillos de usar, dos cables para la alimentación y un tercero para el control donde puedes aplicar PWM (Modulación del ancho del pulso) para que se logre un posicionamiento preciso y rápido. Se puede usar un Arduino. Para realizar este tipo de control (Ramirez , Lema, & Idrovo, s.f.).

2.8. ¿Qué es Arduino?

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basado en hardware y software fácil de usar. Está dirigido a cualquier persona que hace proyectos interactivos. Las tarjetas Arduino están diseñadas

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

para leer entradas y activar salidas digitales y/o análogas. Se puede programar mediante instrucciones que son llevadas a cabo por un microcontrolador interno y se puede programar en lenguaje propio de Arduino basado en “Wiring”, también hay un entorno de desarrollo del software propio de la marca (arduino.cc, s.f.).

2.8.1. Arduino Uno

El Arduino uno es una placa electrónica basada en el ATmega328P. Cuenta con 14 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un cristal de cuarzo de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador; simplemente conectarlo a un ordenador con un cable USB y alimentarlo con un adaptador de AC a DC.

Arduino ha venido evolucionando para nuevos lanzamientos. La tarjeta Uno es la primera en una serie de placas Arduino que se comunican por USB y el modelo de referencia para la plataforma Arduino. Para ver la información más detallada de las características técnicas del Arduino ver Tabla 1. (arduino.cc, s.f.).

Microcontroller	ATmega328P
OperatingVoltage	5 V
Input Voltage (recommended)	7 V -12 V
Input Voltage (Limit)	6 V – 20 V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3 V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloasder
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

Tabla 1. Especificaciones técnicas del Arduino

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.9. ¿Qué es un lenguaje de programación?

El término programación se define como un conjunto de instrucciones consecutivas y ordenadas que llevan a ejecutar una tarea específica. Dichas instrucciones se denominan “código fuente”, el cual es único para cada lenguaje y está diseñado para cumplir una función o propósito específico. Usan diferentes normas o bases para controlar el comportamiento de un dispositivo y también pueden ser usados para crear programas informáticos (Morales, 2014).

2.10. Fotorresistencia (LDR)

Una fotorresistencia es un componente electrónico cuya resistencia disminuye con el aumento de intensidad de luz incidente. Puede también ser llamado foto resistor, fotoconductor, célula fotoeléctrica o resistencia dependiente de la luz, cuyas siglas, LDR, se originan de su nombre en inglés light-dependent resistor (Caraballen, 2011).

2.11. USB-TESTER Medidor De Voltaje y De Corriente.

Dispositivo electrónico capaz de medir con una excelente exactitud los valores de corriente y voltaje que están siendo usados por un determinado puerto USB.

2.12. Multímetro Fluke true-RMS REF 117

El multímetro Fluke 117 es el instrumento idóneo para entornos de trabajo tan exigentes como edificios comerciales, hospitales y colegios. El modelo 117 incluye la función de detección de tensión sin contacto para un trabajo más rápido (fluke, 2015).

2.13. Multímetro UNI-T UT139A

El multímetro UT139A es una herramienta ideal como equipo de medidas, mantenimiento y reparación, ampliamente necesario en electrónica, escuelas, metalúrgica, comunicaciones, manufactura, petróleo, defensa nacional, industria química. Etc. Dentro de las características principales se encuentran su alta exactitud y precisión (llegando a medir corriente directa desde los 200 uA hasta 10 A, con una precisión del $\pm(0.7\%+2)$). (Uni-Trend, 2016).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.13.1. Aplicaciones

Una herramienta ideal por probar los equipos, mantenimiento y reparación ampliamente usado en electrónica, electricidad, escuelas, metalúrgica, comunicaciones, manufactura, petróleo, defensa nacional e industria química. (Uni-Trend, 2016)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

Basados en dispositivos fotovoltaicos seguidores de luz ya existente, se midió la eficiencia de un panel fotovoltaico comparando sus dos estados (movimiento y estático). Para ello se desarrolló un prototipo eficiente y liviano que es capaz de sostener cuatro celdas fotovoltaicas y moverlas libremente conforme el sol se desplace.

3.1. Generación preliminar de una metodología.

En primera instancia se identificaron los componentes electrónicos que permitan la elaboración de un seguidor de sol, para ello se realizó una búsqueda de los materiales y componentes necesarios para el desarrollo del dispositivo. Se prestó especial atención en la elección de los paneles solares; y se optó por un panel solar que ofrezca un excelente desempeño entre peso y potencia. Es claro señalar que se debieron buscar materiales livianos pero que brinden la resistencia estructural necesaria para soportar el panel, así como también diseñar un prototipo que presente un equilibrio óptimo que evitará un consumo de energía innecesario.

Una vez el diseño del prototipo se encuentre listo, la siguiente etapa del proyecto consistió en la búsqueda de los dispositivos necesarios para la medición de la energía generada y consumida por el dispositivo. Esta etapa tiene un peso especial dentro del proceso del desarrollo del proyecto ya que se deben seleccionar dispositivos que sean confiables para realizar el trabajo.

Posteriormente vendrá una fase experimental en donde se realizó la unión del prototipo con los dispositivos de medición, para esta fase se tuvo en cuenta factores ambientales que pudieron afectar la captura de los datos, por lo mismo se procedió a dividir la etapa experimental en dos:

En una primera fase el desarrollo experimental fue llevado a cabo en condiciones controladas, para ello se seleccionó una fuente de luz que proporcione la suficiente radiación y simule el recorrido del sol para realizar el registro de los datos.

En la segunda fase experimental las pruebas fueron llevadas a cabo en condiciones ambientales normales. El seguidor solar estuvo en un lugar en donde la radiación solar directa sea la mayor posible. Se tuvo en cuenta que al momento de realizar estas pruebas, se hicieron en la época del año en donde el índice de radiación en Colombia es mayor, en verano.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la etapa final del proyecto se analizarán los resultados obtenidos para determinar en qué estado el dispositivo es más eficiente.



Figura 2 – Metodología para la realización del proyecto panel fotovoltaico con rastreador solar.

En la Figura 2 se resume la metodología que se realizará en el desarrollo del proyecto

3.2. Adaptación de la metodología para el desarrollo del prototipo y selección de instrumentos de medida.

La estrategia para la implementación del prototipo se detalla en los siguientes pasos:

- La elección de los paneles solares cuenta con un especial interés; se eligen cuatro paneles solares de idénticas características, los cuales se conectan en paralelo, lo que nos aportará una mayor corriente de salida. La elección de los paneles se realiza de manera que ofrezcan el máximo desempeño entre peso y potencia.
- Los materiales que se elegirán para el soporte de los paneles solares en el desarrollo del prototipo, deben cumplir con características de desempeño ideales entre dureza y peso. Un peso excesivo en las partes móviles del prototipo haría que el consumo de potencia del motor aumentara considerablemente. Por lo mismo la construcción del soporte de los paneles se hará con acrílico. Material liviano, resistente y de fácil manejo.
- La elección del controlador y el motor se realizará teniendo en cuenta que el motor no debe estar sobredimensionado para el arreglo de paneles que disponemos. Para ello se tienen en cuenta las características técnicas de consumo del controlador y del motor que se usará.
- Una vez dispongamos del prototipo y este se encuentre funcionando, la etapa siguiente será realizar la búsqueda de los dispositivos necesarios para realizar la toma de datos. Se tendrá en cuenta que dichos dispositivos deben contar con la exactitud y precisión requerida para que los datos sean confiables.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.3. Adaptación de la metodología para la etapa experimental

Para el desarrollo de la fase experimental se detalla en los siguientes pasos y será dividida en dos partes principales.

- Las pruebas en la primera fase serán llevadas a cabo en condiciones ambientales controladas, para ello se buscará una fuente de radiación que simule el comportamiento natural del sol, la elección de dicha fuente deberá tener en cuenta el espectro de funcionamiento del panel solar seleccionado, así como también la radiación necesaria para que el panel funcione. Las pruebas se tomaran con los paneles solares en estado estático y en movimiento. Para ello la fuente de energía simulará el comportamiento del sol desplazándose a través del tiempo como lo haría el sol.
- En la segunda fase las pruebas serán llevadas a cabo en condiciones ambientales normales, al aire libre y con la fuente de energía natural (el sol). En esta fase también se tomaran medidas para los dos estados estático y en movimiento.
- Con los resultados de la fase experimental se podrán dar las conclusiones pertinentes acerca de en qué estado es mayor la eficiencia de un panel fotovoltaico. Estos es en movimiento o estático.

En la Tabla 2 podemos evidenciar el cronograma propuestos para el desarrollo del trabajo de grado. En la Tabla 3 se evidencia el cuadro de tareas correspondiente a cada uno de los objetivos junto con sus respectivos resultados.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES (Meses)												
Metas - Actividades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Elaboración De Objetivos para la propuesta principal.	■	■	■	■								
Elaboración De Marco Teórico y Metodología Propuesta.	■	■	■	■								
Entrega Final Propuesta.	■	■	■	■								
Identificar los componentes electrónicos que permitan elaborar un seguidor de sol.					■							
Desarrollar un prototipo que permita orientar los paneles fotovoltaicos en dirección perpendicular al sol.					■	■	■					
Determinar qué tipo de motor es más eficiente para ser utilizado en el seguidor de sol.					■	■	■					
Identificar una herramienta para controlar la etapa de potencia del seguidor de sol.					■	■	■					
Encontrar una herramienta que permita medir la recolección de energía del seguidor solar mientras está en movimiento y estático.	■	■	■	■	■	■	■					
Marco investigativo para la realización del seguidor solar.	■	■	■	■	■	■	■	■				
Documentación de herramientas e implementos electrónicos a utilizar.	■	■	■	■	■	■	■	■				
Elaborar fase experimental del prototipo para la recolección de los datos, en cada uno de los dos estados; movimiento y estático								■	■	■	■	
Documentar el marco investigativo, de manera clara, concisa y en orden cronológico.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

en movimiento y estático.	la medida de las variables	Selección de multímetro UNI-T UT139A
		Selección de USB-TESTER Medidor De Voltaje y De Corriente:
	Búsqueda y selección de fuente emisora de radiación	Selección de fuente emisora de radiación en el espectro de luz visible bombilla T8 58W
<ul style="list-style-type: none"> Elaborar fase experimental del prototipo para la recolección de los datos, en cada uno de los dos estados; movimiento y estático 	Proceso de construcción de condiciones ambientales controladas	Construcción condiciones ambientales controladas. Cuarto oscuro sin fuente externas de radiación
	Desarrollo de fase experimental con condiciones controladas	Datos de condiciones ambientales controladas.
	Desarrollo de fase experimental con condiciones ambientales normales	Datos de condiciones ambientales normales

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

<ul style="list-style-type: none"> Analizar los resultados obtenidos en la fase experimental, para concluir en qué estado es más eficiente el prototipo. 	Análisis de los datos obtenidos en la fase experimental	Resultados
	Desarrollo informe final	Trabajo de grado.

Tabla 3. Cuadro de tareas.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se diseñó un prototipo capaz de orientar cuatro paneles fotovoltaicos de referencia de fabricante: A-12V2.4W en dirección perpendicular a la incidencia del sol (Figura 2). El panel tiene una eficiencia del 16%. Cada uno de estos paneles genera 12 V y 200 mA. En condiciones de pruebas estándar: masa de aire 1.5, irradiancia $1000\text{W}/\text{m}^2$, temperatura del panel 25°C . Se colocaron en paralelo de forma tal que entre los cuatro generen un voltaje de salida equivalente a 12 V y 800 mA en teoría. En el experimento, se hicieron las pruebas con dos tipos de luces; luz artificial producida por un arreglo de bombillas de 58 Watts y Luz solar natural.



Figura 2. Seguidor solar

Un panel fotovoltaico, es un dispositivo que genera voltaje y corriente dependiendo de la luz solar que en él incide; si este no está ortogonalmente con los rayos del sol, el panel entregará medidas de voltaje y corriente de dimensiones más pequeñas que las máximas entregadas por él, ya que la radiación solar no llega directamente a ellos.

A continuación se describen todas las partes que componen el seguidor solar; una breve descripción de estos y criterios de selección.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 4. Panel Fotovoltaico 2.4W (140 x 140) mm

En la Figura 4, podemos ver el panel usado en el proyecto, cuya referencia es PS-2.4W-12V, este panel solar tiene un voltaje de salida de 12 voltios y una corriente máxima de 200 mA, con un peso de 147g. Se seleccionó este panel porque este era el que presentaba mejor relación peso/potencia, las características técnicas de este panel se pueden ver en el apéndice D (Características técnicas de equipos), de igual manera adjuntamos o a través del siguiente enlace: <http://www.ensolar.com/pv/panel-datasheet/Monocrystalline/25841>



Figura 5. Rodamiento de (12x32x14) mm

La Figura 5 ilustra, un rodamiento como el usado en el prototipo del seguidor de sol. Este rodamiento nos permite reducir las pérdidas por fricción en el movimiento de rotación del seguidor solar y nos sirve de soporte para sostener la parte móvil del mismo con un Cr de 6,905 kiloNewton [KN] Y con un Cor de 3,100 kiloNewton [KN].

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

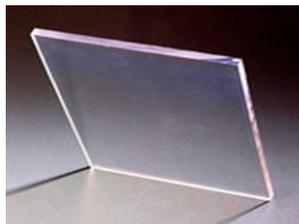


Figura 6. Lamina de acrílico (400x400x5) mm

La elección para la estructura de soporte de los paneles solares se observa en la Figura 6, es una lámina de acrílico de 40x40x0.5 cm, se seleccionó el acrílico debido a su bajo peso y alta resistencia, además de la facilidad que ofrece el material para realizar trabajos.



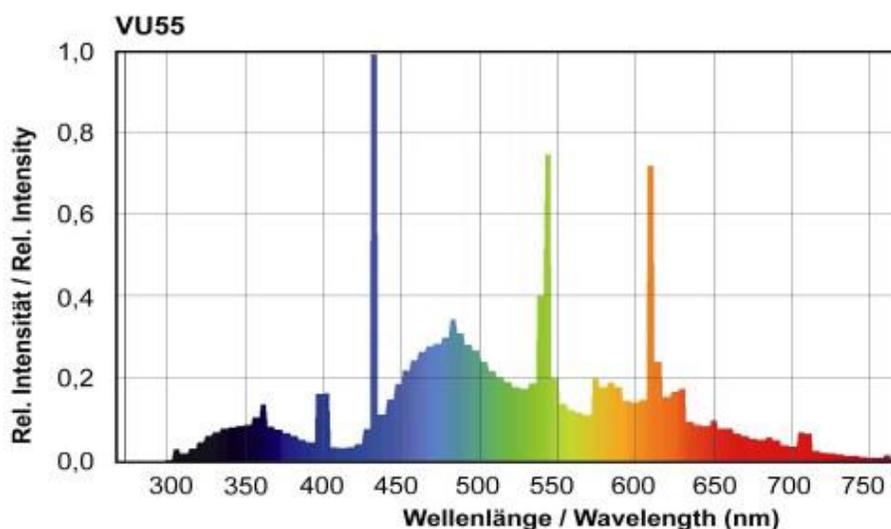
Figura 7. Micro-servo (400x400x5) mm

El micro-servo nos ofrece muchas ventajas frente a otro tipo de motores, como su alto torque y su facilidad para ser posicionado en cualquier ángulo de giro. El micro servo usado en el proyecto fue un micro-servo Tower pro de referencia SG90 (Figura 7), este motor tiene un peso de 9g, su torque es de 1,98 kg/cm a 4,8 V, cuenta con un ángulo de rotación de 180°, es muy empleado en aplicaciones de robótica.

Para este proyecto, el procedimiento experimental se dividió en dos etapas:

La primera etapa del experimento se realizó bajo condiciones controladas; en un espacio cerrado, aislado de perturbaciones, tales como: lluvia, Luz externa, vientos, entre otros. En una segunda parte se realizaron pruebas con el seguidor solar al aire libre, para observar el comportamiento y darnos una idea de la eficiencia que pueda tener este en espacios despejados. Se tomaron todas las medidas necesarias de voltaje y corriente con el fin de poder hacer un análisis comparativo de dichas medidas reflejadas en unas gráficas para sus dos estados (movimiento y estático).

Para La primera etapa se procedió a registrar medidas de la energía entregada por los paneles del seguidor solar en estado estático. Para simular el movimiento del sol, se desarrolló un prototipo que simulaba la traslación relativa parabólica del sol con respecto al panel, se deja en claro que se realizó una considerable disminución en el tiempo de recorrido de nuestro sol artificial. Los paneles solares actuales operan en el espectro de luz visible y la lámpara T8 58W proporciona la intensidad y longitud de onda necesaria para que el panel opere simulando condiciones de radiación normales (ver Grafica 1).



Grafica 1. Espectro electromagnético de bombilla

Temperatura [°C]	Radiación [W/m ²]	Angulo [°]	T[s]	GASTO DE ARDUINO+ MOTOR			SALIDA DE LOS PANELES		
				I[A]	V[V]	P[w]	I[A]	V[V]	P[w]
27,6	980	0	0	0	0	0	0,0054	9,18	0,049572
27,6	980	15	50	0	0	0	0,0198	10,86	0,215028
27,6	980	30	100	0	0	0	0,12	12,39	1,4868
27,6	980	45	150	0	0	0	0,19	13,42	2,5498
27,6	980	60	200	0	0	0	0,32	13,65	4,368
27,6	980	75	250	0	0	0	0,52	13,65	7,098
27,6	980	90	300	0	0	0	0,6151	13,65	8,396115
27,6	980	105	350	0	0	0	0,535	13,58	7,2653
27,6	980	120	400	0	0	0	0,315	13,65	4,29975
27,6	980	135	450	0	0	0	0,225	13,52	3,042
27,6	980	150	500	0	0	0	0,125	12,53	1,56625
27,6	980	165	550	0	0	0	0,019	10,8	0,2052
27,6	980	180	600	0	0	0	0,0049	9,16	0,044884

Tabla 4. Mediciones para el seguidor solar en estado estático.

Los datos registrados en la Tabla 4 hacen referencia a cada una de las medidas tomadas para diferentes ángulos de luz que incidieron en los paneles desde la bombilla. Estas medidas fueron tomadas en tramos de 50 segundos, mientras se desplazaba parabólicamente cada 15 grados la bombilla (figura 8).

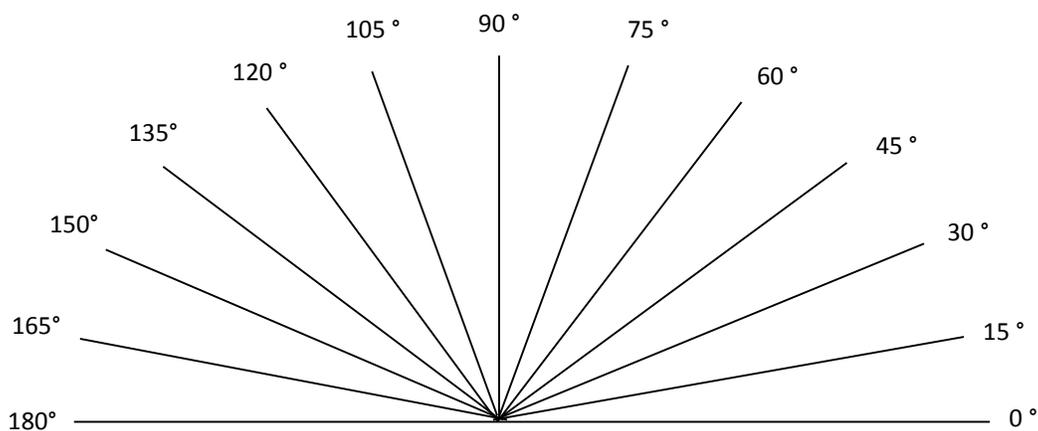


Figura 8. Recorrido de la bombilla, cada 15 grados en tramos de 50 segundos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la Tabla 4, se puede ver en las columnas 1 y 2 de izquierda a derecha, los valores de temperatura y radiación en el espacio cerrado donde se realizó esta prueba; nos podemos dar cuenta que la temperatura en dicho espacio es de 27,6 °C y la radiación es de 980 W/m², a una distancia focal de 30 cm. En las columnas 3 y 4 están respectivamente, el ángulo de desplazamiento de la lámpara y el tiempo que tarda para trasladarse a cada punto. Las columnas 5, 6 y 7, corresponde a las medidas de consumo del motor y el Arduino en estado estático. Como el seguidor solar se encontraba en modo estático no hay consumo por parte del controlador (Arduino) y el motor, es por eso que la potencia consumida será igual a cero en todo momento.

En las columnas 8 I[A], 9 V[V], 10 P[W] de la misma tabla se puede observar la corriente, el voltaje y la potencia generada por los paneles solares. Si observamos cuidadosamente los valores de potencia generados (columna 10) nos podemos dar cuenta que estos aumentan a medida que la bombilla (sol artificial), se va orientando perpendicularmente a la dirección de los paneles. En la Figura 9 se observa claramente este comportamiento a medida que el ángulo cambia.

Para el registro de la energía generada por los paneles se usaron dos multímetros un FLUKE ref. 117 y un multímetro UNIT TU139A. EL multímetro UNIT se usó para medir corriente mientras que el FLUKE para medir voltaje, con los dos datos obtenidos se obtuvo la potencia suministrada de forma indirecta.

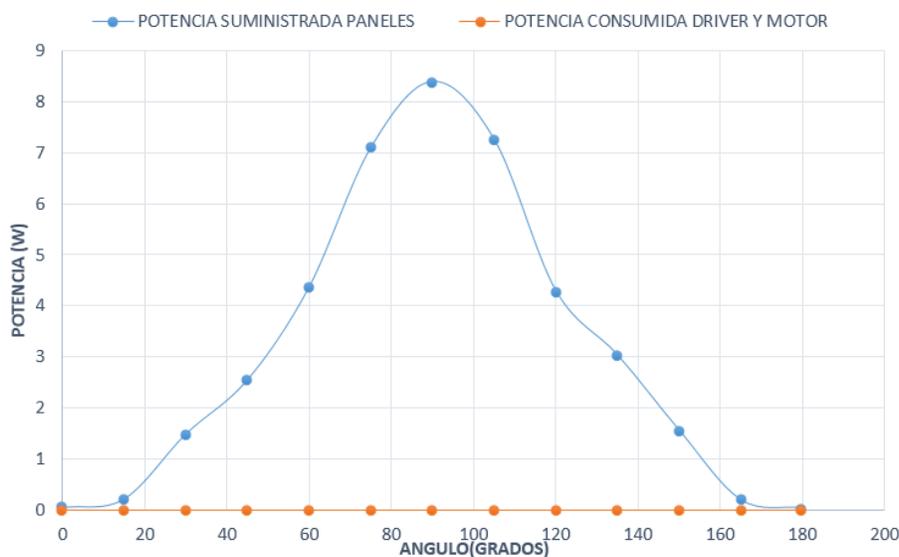


Figura 9. Potencia generada por los paneles – Potencia consumida por el driver y el motor en estado estático.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la Figura 9, La grafica de color azul se obtuvo a partir de los valores medidos por los paneles fotovoltaicos del seguidor de sol en estado estático. De igual modo se ve de color naranja la graficas del consumo del driver y el motor. Como se observa en la gráfica azul, estos valores van en incremento hasta un valor máximo y en decremento desde ese mismo valor, debido a que los paneles no se encuentran siempre perpendiculares a la luz incidente. Cuando la potencia generada es la máxima se debe a que los paneles solares están perpendicularmente a la luz incidente, simulando las doce del mediodía.

Repitiendo el experimento pero ahora con el seguidor solar en estado de movimiento, se procede a tomar las mismas medidas.

Como el seguidor solar estará en movimiento se verá reflejado un consumo por parte del driver y el motor.

Las medidas para el gasto energético del Arduino y el motor, fueron tomadas con un dispositivo Usb-Tester medidor de voltajes y corriente (Figura 10a). Este dispositivo se conectó a la computadora portátil y a la salida de este se conectó el controlador con el motor; básicamente mostraba en un display la corriente y voltaje consumido. Luego con estas dos medidas fue posible calcular la potencia en Watts (W). El voltaje y la corriente a la salida de los paneles se midieron con los mismo multímetros usados anteriormente. Los datos de radiación solar fueron tomados con el radiómetro solar referencia SLM018c-2 (Figura 10d).



Figura 10a. USB-tester, medidor de voltaje y corriente



Figura 10b. Multímetro fluke true-RMS REF 117.



Figura 10c. Multímetro Uni-T UT139A



Figura 10d. Radiómetro solar SLM018c-2

Temperatura [°C]	Radiación [W/m ²]	Angulo [°]	T[s]	GASTO DE ARDUINO+ MOTOR			SALIDA DE LOS PANELES		
				I[A]	V[V]	P[w]	I[A]	V[V]	P[w]
27,6	980	0	0	0,36	4,98	1,7928	0,28	13,36	3,7408
27,6	980	15	50	0,06	5,07	0,3042	0,36	13,42	4,8312
27,6	980	30	100	0,08	5,06	0,4048	0,36	13,42	4,8312
27,6	980	45	150	0,12	5,05	0,606	0,402	13,2	5,3064
27,6	980	60	200	0,13	5,06	0,6578	0,5	13,4	6,7
27,6	980	75	250	0,13	5,07	0,6591	0,6	13,6	8,16
27,6	980	90	300	0,06	4,98	0,2988	0,618	13,64	8,42952
27,6	980	105	350	0,14	4,98	0,6972	0,595	13,59	8,08605
27,6	980	120	400	0,13	5,05	0,6565	0,52	13,45	6,994
27,6	980	135	450	0,11	5,05	0,5555	0,415	13,32	5,5278
27,6	980	150	500	0,09	5,06	4,554	0,36	13,42	4,8312
27,6	980	165	550	0,06	5,06	0,3036	0,35	13,36	4,676
27,6	980	180	600	0,36	4,98	1,7928	0,295	13,25	3,90875

Tabla 5. Mediciones para el seguidor solar en estado de movimiento.

En la Tabla 5, se puede observar el gasto energético por parte del Arduino y el motor (Columnas 5 I[A], 6 V[V], 7 P[W]) y en la Figura 11 se puede ver el consumo a partir del ángulo de incidencia. Se puede

observar que el gasto energético varía dependiendo del posicionamiento del panel y el esfuerzo que tiene que realizar el motor para mantener el panel perpendicular a la bombilla. Vale aclarar que para generar este movimiento se contó con un micro-servo de referencia SG90 y los valores registrados en la Tabla 5 corresponde a valores promedios.

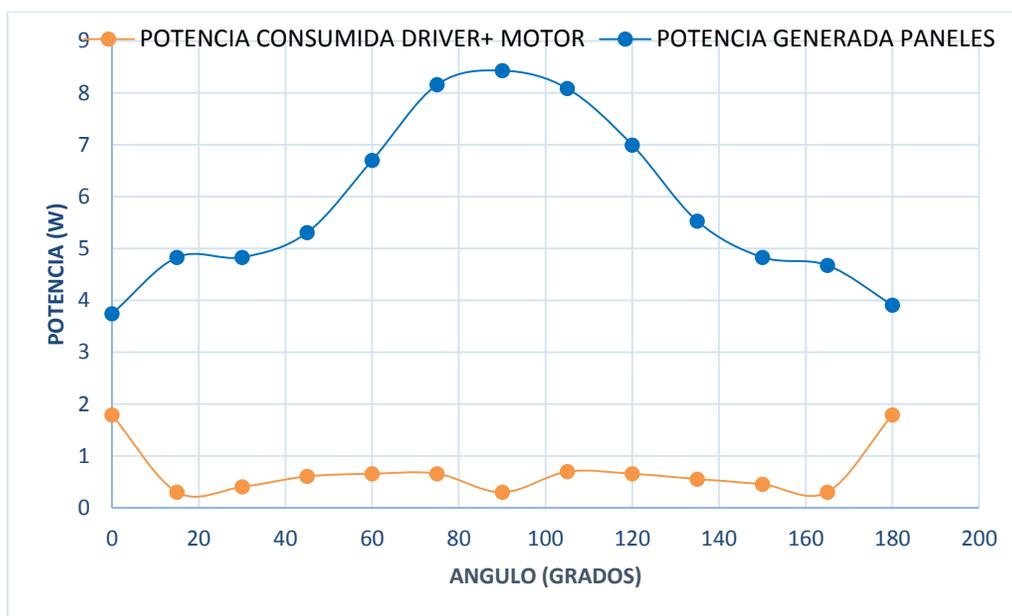


Figura 11. Potencia consumida por el driver y el motor- Potencia generada por los paneles en estado de movimiento.

En la Figura 11, se puede observar de color azul la gráfica obtenida a partir de los valores medidos por los paneles fotovoltaicos del seguidor de sol en estado de movimiento y de color naranja podemos apreciar la gráfica del consumo del driver y el motor. Como podemos darnos cuenta el consumo varía con el ángulo, ya que la estructura móvil que sostiene los paneles se encuentra en posiciones diferentes, esto hace que el motor requiera en algunos puntos más esfuerzo que en otros, por tanto el consumo del driver y el motor varía.

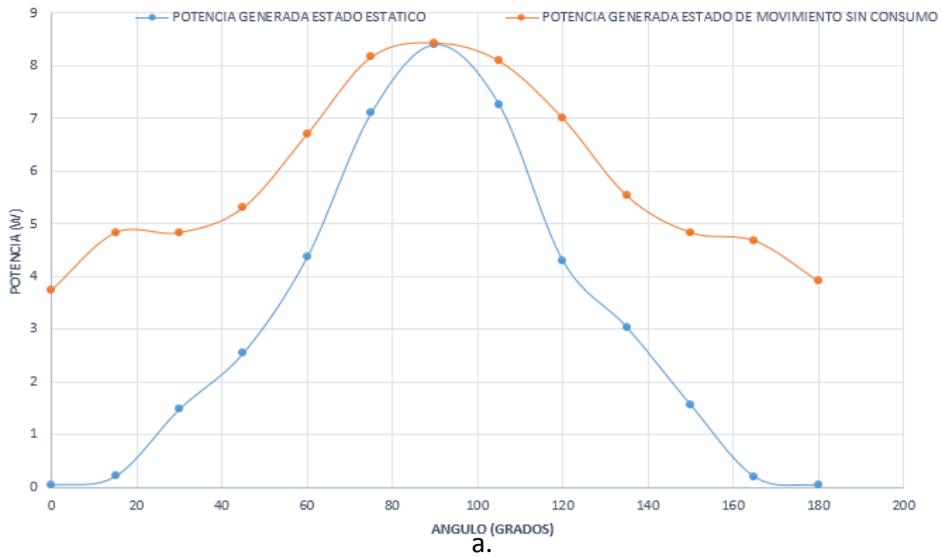


Figura 12a. Potencia generada por los paneles en estado estático y movimiento sin tener en cuenta el consumo del controlador y el motor.

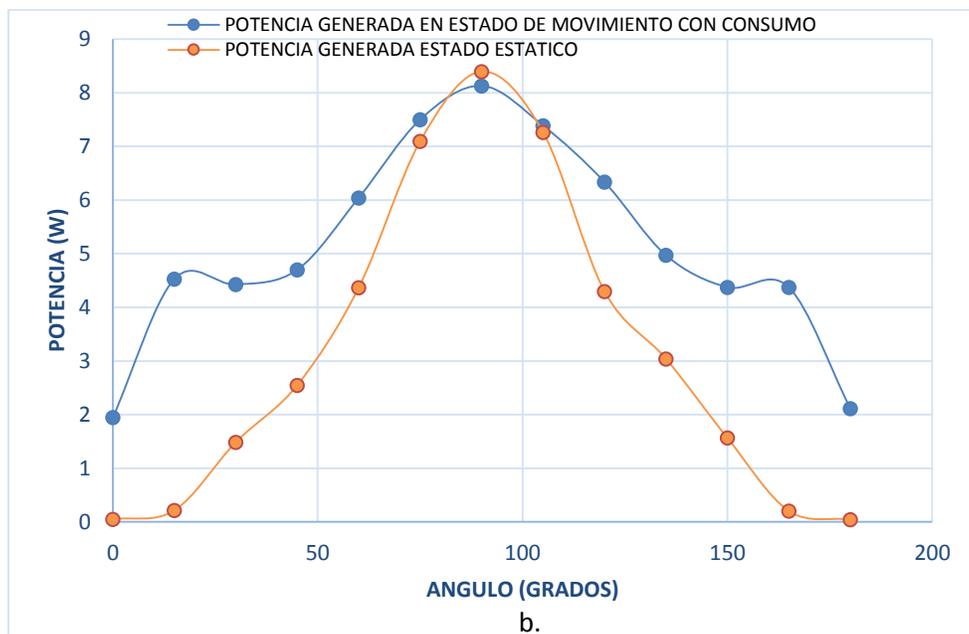


Figura 12b. Potencia generada por los paneles en estado estático y movimiento teniendo en cuenta el consumo del controlador y el motor.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la Figura 12a. se hace una comparación a partir de los datos obtenidos para la generación de energía de los paneles del seguidor solar en sus dos estados (movimiento y estático), pero sin tener en cuenta el gasto energético del controlador y el motor. En esta figura podemos ver que el seguidor solar en estado de movimiento (Grafica naranja), genera mayor potencia en la mayoría de los puntos donde se tomaron las medidas.

En la Figura 12b. Se hace la misma comparación, pero esta vez teniendo en cuenta el gasto energético del controlador y el motor. Nos podemos dar cuenta que el seguidor solar sigue generando más energía en estado de movimiento que en estado estático, haciendo solo una excepción en un solo punto del recorrido, cuando el panel se encuentra en el punto de 90°.

En la segunda etapa del experimento veremos qué puede pasar si se coloca el seguidor fotovoltaico al aire libre. Las pruebas se hicieron en días templados, en donde el sol radiaba intensamente, no se presentaron lluvias, pero si algunas perturbaciones como nubes y viento las cuales hacían que lógicamente la potencia de los paneles disminuyera. Pero nos podemos dar una idea, para saber cuánta potencia generan los paneles en sus dos estados en condiciones reales y poder hacer las conclusiones pertinentes. Vale resaltar que el procedimiento para realizar las medidas al aire libre, se realizaron de la misma manera que se hizo cuando el seguidor se encontraba en un espacio cerrado con variables controladas. El periodo de duración de la pruebas fue de 10 horas y los valores registrados en la Tabla 6 y 7 corresponden a valores promedios.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Temperatura [°C]	Radiación [W/m ²]	t(h)	GASTO DE ARDUINO+ MOTOR			SALIDA DE LOS PANELES		
			I[A]	V[V]	P[w]	I[A]	V[V]	P[w]
20	203	7:00	0	0	0	0,1419	13,05	1,851795
24,5	400	8:00	0	0	0	0,2864	13,65	3,90936
30,1	850	9:00	0	0	0	0,459	13,68	6,27912
30,1	1029	10:00	0	0	0	0,735	12,84	9,4374
28,8	1023	11:00	0	0	0	0,7	13,71	9,597
26,3	1146	12:00	0	0	0	0,84	13,74	11,5416
29,6	1052	13:00	0	0	0	0,73	13,67	9,9791
28,5	866	14:00	0	0	0	0,621	13,56	8,42076
30,1	960	15:00	0	0	0	0,4500	13,45	6,0525
28,4	912	16:00	0	0	0	0,4	13,25	5,3
28,6	215	17:00	0	0	0	0,1525	13,08	1,9947

Tabla 6. Mediciones para los paneles en estado estático al aire libre.

Temperatura [°C]	Radiación [W/m ²]	t(h)	GASTO DE ARDUINO+ MOTOR			SALIDA DE LOS PANELES		
			I[A]	V[V]	P[w]	I[A]	V[V]	P[w]
20	355	7:00	0,36	4,98	1,7928	0,30000	12,9	3,87
22	615	8:00	0,06	5,07	0,3042	0,41500	13,5	5,6025
26	938	9:00	0,08	5,06	0,4048	0,48500	13,64	6,6154
22,3	1263	10:00	0,12	5,05	0,606	0,89500	13,64	12,2078
24,2	1163	11:00	0,13	5,06	0,6578	0,89000	13,77	12,2553
26,5	1225	12:00	0,13	5,07	0,6591	0,97100	13,74	13,34154
27	1116	13:00	0,06	4,98	0,2988	0,88500	13,72	12,1422
25,4	957	14:00	0,14	4,98	0,6972	0,88000	13,66	12,0208
24,1	992	15:00	0,13	5,05	0,6565	0,72000	12,83	9,2376
26,7	896	16:00	0,11	5,05	0,5555	0,67500	13,57	9,15975
24,5	600	17:00	0,09	5,06	0,4554	0,58500	13,4	7,839

Tabla 7. Mediciones para los paneles en estado de movimiento al aire libre.

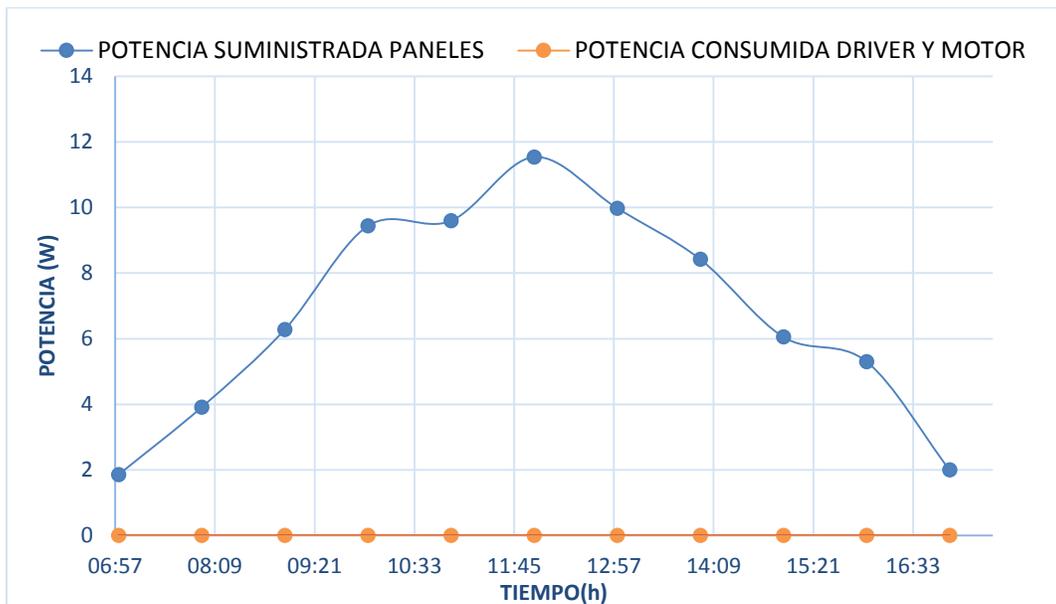


Figura 13. Potencia generada por los paneles, Potencia consumida por el driver y el motor en estado estático.

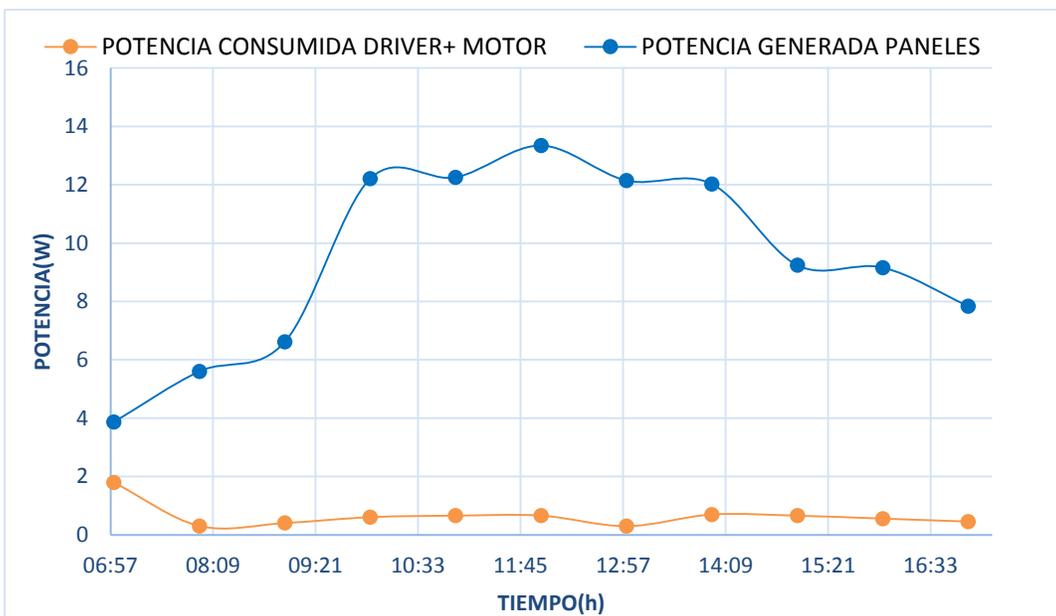


Figura 14. Potencia generada por los paneles, Potencia consumida por el driver y el motor en estado de movimiento.

Las gráficas de las Figuras 13 y 14, fueron obtenidas a partir de las Tablas 6 y 7 respectivamente. En dichas figuras podemos ver la potencia que los paneles generan en sus dos estados (movimiento y estático) al aire libre. Las gráficas anteriores fueron las mejores obtenidas, puesto que las medidas se tomaron en días despejados donde no hubo muchas nubes que afectaran la generación de energía de los paneles solares, proporcionando así la mayor energía posible en esos días.

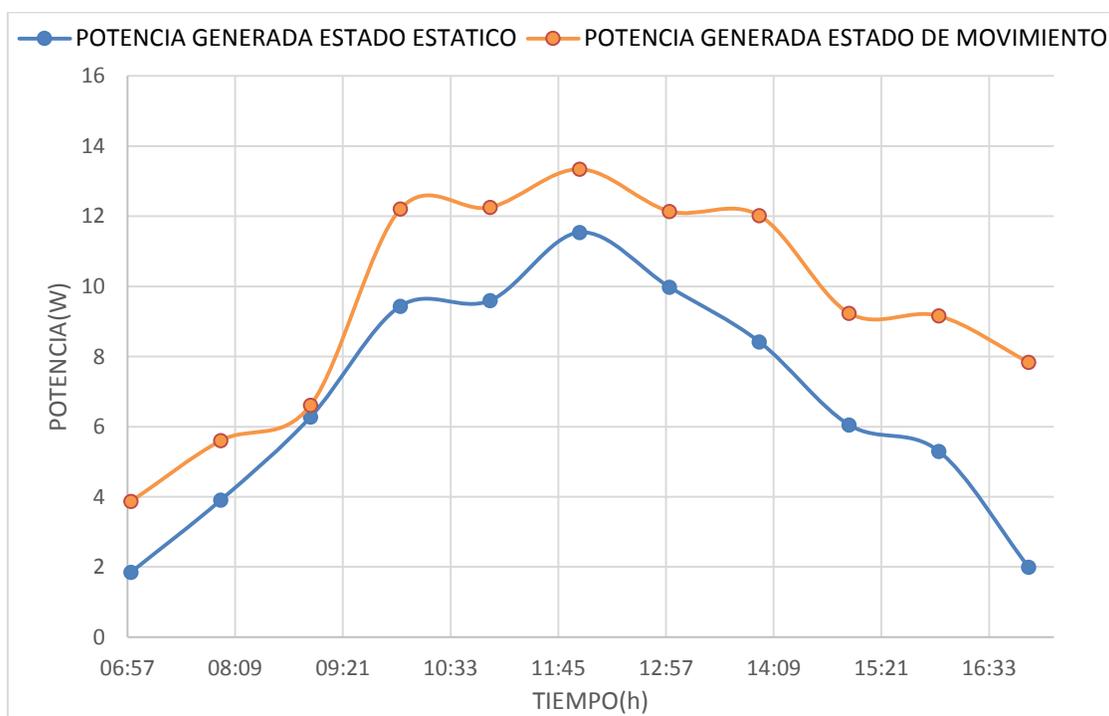


Figura 15. Potencia generada por los paneles en estado estático y movimiento sin tener en cuenta el consumo del controlador y el motor.

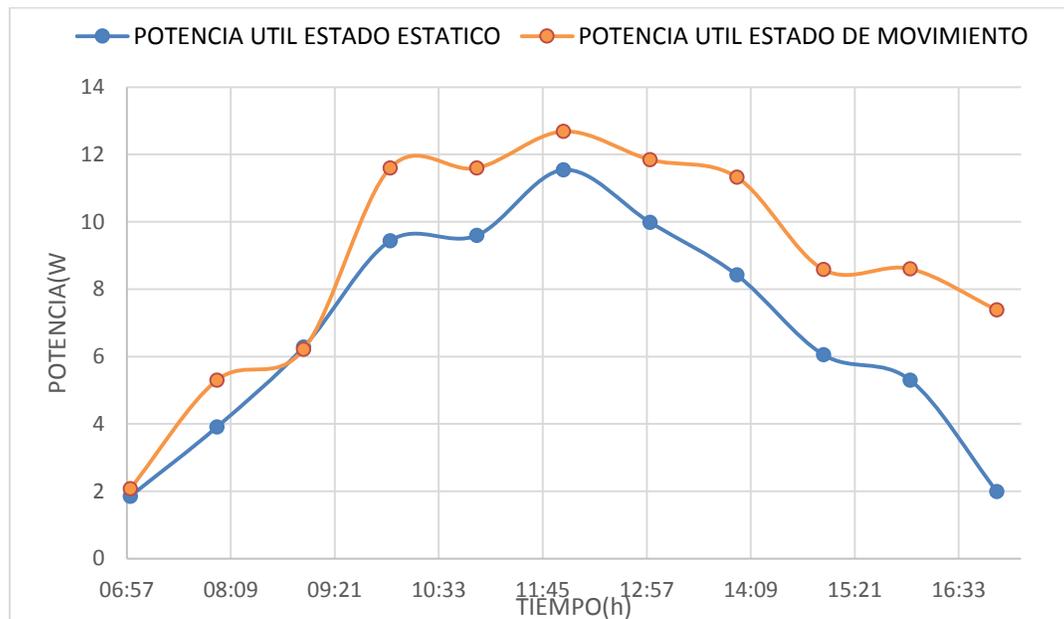


Figura 16. Potencia generada por los paneles en estado estático y movimiento teniendo en cuenta el consumo del driver y el motor.

En la Figura 15 se puede observar, que los paneles del seguidor generaran más energía en estado de movimiento que estático, esto sin tener en cuenta el gasto energético por parte del motor y el driver. En la Figura 16, se hace la misma comparación pero ya se tiene en cuenta el gato energético del controlador y del motor. Podemos ver que la energía útil de los paneles es mayor cuando estos se encuentran en estado de movimiento.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Después de haber analizado los resultados obtenidos en el experimento del panel fotovoltaico seguidor de sol, tanto en condiciones controladas como en condiciones de ambiente naturales, se concluye que si se justifica utilizar un panel seguidor de sol como generador de energía. Pues según las tablas y gráficas obtenidas en la fase experimental, la energía útil que se genera en estado de movimiento es mayor que la generada en estado estático dando como resultados que en condiciones ambientales naturales nos muestran un aumento en la producción de la energía del 30,71%.

Se puede mejorar la toma de los datos, para ello se recomienda: Que las medidas se realicen en días de completo sol, realizando el proceso por lo menos durante 10 días consecutivos. Aunque la planta se diseñó lo más equilibrada posible, este fue un factor crítico a la hora de medir y tomar los datos para el consumo de la energía, debido a que un ligero desequilibrio de la plataforma que sostiene los paneles, puede ocasionar aumento en el consumo de los motores.

Sin duda alguna es posible reducir el consumo del controlador y el motor haciendo mejoras en la programación. Los datos obtenidos se realizaron de forma manual; en un futuro se puede implementar un sistema de adquisición de datos automático que mejore la toma de datos que permita hacer un mejor análisis. Una buena opción para esta tarea podría ser el uso de Labview o Matlab.

Se han realizado muchos avances en este campo, hoy en día se pueden conseguir paneles fotovoltaicos auto orientativo, que presentan una eficiencia mayor que en estado estático, aunque el costo de la construcción de las estructuras que soportan estos paneles hace que sea poco viable, desde el punto de vista económico. (Martínez, 2014)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- ANONIMO. (28 de 02 de 2012). *EOI*. Obtenido de http://www.eoi.es/wiki/index.php/Radiaci%C3%B3n_directa,_difusa_y_reflejada_en_Ecomateriales_y_construcci%C3%B3n_sostenible
- arduino.cc. (s.f.). *arduino.cc/*. Obtenido de arduino.cc/: <https://www.arduino.cc/>
- Camilla, L. (2007). Paneles Fotovoltaicos. *Electro Industria*.
- Carballen, G. (6 de 2 de 2011). *ElectronicaDigital*. Obtenido de ElectronicaDigital: <http://electronicaradical.blogspot.com/2011/02/fotoresistencia-ldr.html>
- Castejon Oliva, A., & Santamaría Herranz, G. (s.f.). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Editex, S. A.
- CVN, C. V. (19 de 2 de 2015). *mineducacion.gov.co*. Obtenido de .mineducacion.gov.co: <http://www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/article-117028.html>
- D., I. L. (s.f.). *Máquinas eléctricas y transformadores*. Electric Machinery and Transformers.
- ENF Solar. (23 de 05 de 2016). *enfsolar*. Obtenido de <http://www.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/Monocrystalline/25841>
- fluke. (2015). *www.fluke.com*. Obtenido de www.fluke.com: <http://www.fluke.com/fluke/uses/multimetros-digitales/fluke-117.htm?pid=55996>
- García Álvarez, J. (23 de 4 de 2015). *asifunciona.com*. Obtenido de asifunciona.com: http://www.asifunciona.com/electrotecnia/af_motor_cd/af_motor_cd_1.htm
- Martínez, J. (27 de julio de 2014). *vanguardia.com*. Obtenido de <http://www.vanguardia.com/actualidad/tecnologia/271066-energia-solar-realmente-es-mas-economica>
- Mellit, A. &. (2008). *Artificial intelligence techniques for photovoltaic applications*.
- Morales, R. (1 de 9 de 2014). *Colombia Digital*. Obtenido de Colombia Digital: <http://www.colombiadigital.net/actualidad/articulos-informativos/item/7669-lenguajes-de-programacion-que-son-y-para-que-sirven.html>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Mosallat, F. E. (1 de 09 de 2013). *Mosallat, F., ELMekkawy, T., Friesen, D. L., Molinski, T., Loney, S., & Bibeau, E. L. (2013). Modeling, Simulation and Control of Flat Panel Solar Collectors with Thermal Storage for Heating and Cooling Applications. Procedia Computer Science, 19(Sept), 6.* Obtenido de http://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-417930282-cargador-de-corriente-usb-tester-medidor-de-voltajes-_JM

Orbegozo, C., & Arivilca, R. (2010). Energía Solar Fotovoltaica. *Green Energy Consultoría y Servicios SRL ©*, 11.

Ramirez, Y., Lema, M., & Idrovo, M. (s.f.). *monografias*. Obtenido de monografias: <http://www.monografias.com/trabajos60/servo-motores/servo-motores2.shtml>

Rampinelli, G. a. (08 de 03 de 2014). *Mathematical models for efficiency*. Obtenido de Wikipedia: http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_corriente_continua

SRL, S. C. (2016). *SIMEC CHILE*. CHILE.

Tirado, S. (08 de 2009). *monografias*. Obtenido de monografias: <http://www.monografias.com/trabajos74/motores-corriente-directa/motores-corriente-directa.shtml>

todoproductividad. (21 de 02 de 2010). *todoproductividad*. Obtenido de todoproductividad.blogspot: <http://todoproductividad.blogspot.com.co/2010/02/factores-que-afectan-al-rendimiento-de.html>

Uni-Trend. (26 de 04 de 2016). *www.uni-trend.com*. Obtenido de True RMS Digital Multimeters: http://www.uni-trend.com/en/product/2014_0711_590.html

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

APÉNDICE

Apéndice A:

Programa con LDR

```
#include<Servo.h>

Servo myservo; // create servo object to control a servo

int pos = 0;
int angulo = 90;

int LDR1 = A0; // seleccionamos la entrada análoga A0 para la LDR1
int LDR2 = A1; // seleccionamos la entrada análoga A1 para la LDR2

int potenciometro = A2; // seleccionamos la entrada análoga A2 para el potenciómetro (es un
ajuste de sensibilidad de las LDRS)

int IZQUIERDA = 7; // LED PIN 7 INDICACIÓN GIRO IZQUIERDA
int DERECHA = 8; // LED PIN 8 INDICACIÓN GIRO DERECHO

int SENSOR_VALOR_DERECHO = 0; // Inicialización de los valores de las LDRS
int SENSOR_VALOR_IZQUIERDO = 0;
int sensibilidad = 0; //Inicialización valores de sensibilidad
int ajuste = 200; //inicialización ajustar los valores de la TOLERANCIA del LDR

void setup() {

pinMode(IZQUIERDA, OUTPUT); //declaración de pines 7 y 8 como salida
pinMode(DERECHA, OUTPUT);

Serial.begin(9600); //Inicialización de serial

///// servo/////

myservo.attach(9); // declaración de la librería de control del servo por el pin 9
```

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

}

////////////////////////////////funciones de rotar////////////////////////////////////

```
//funcion rotar a la derecha//
voidrotarDerecha() {
if (angulo< 180) {
digitalWrite(IZQUIERDA, LOW);
digitalWrite(DERECHA, HIGH);
angulo++;
myservo.write(angulo);
delay(15);
}
}
```

```
//funcion rotar a la izquierda//
```

```
voidrotarIzquierda() {
if (angulo> 0) {

angulo--;
myservo.write(angulo);
delay(15);
}
}
void loop()
{
// read the value from the sensor:
SENSOR_VALOR_DERECHO = analogRead(LDR1);
SENSOR_VALOR_IZQUIERDO = analogRead(LDR2);
sensibilidad = analogRead(potenciometro);

//visualizacion por serial de valores LDRS Y POTENCIOMETRO
Serial.print(" LDR1 ");
Serial.print(SENSOR_VALOR_DERECHO - ajuste);

Serial.print(" potenciometro ");
Serial.print(sensibilidad);
```

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```

Serial.print(" LDR2 ");
Serial.print(SENSOR_VALOR_IZQUIERDO);

Serial.println();
delay(100);

//////////////////////PARTE LOGICA PARA LA PROGRAMACION//////////////////////
if (abs((SENSOR_VALOR_DERECHO - ajuste) - SENSOR_VALOR_IZQUIERDO) >potenciometro)
{
if ((SENSOR_VALOR_DERECHO - ajuste) > SENSOR_VALOR_IZQUIERDO)
{

rotarlzquierda();
}
if ((SENSOR_VALOR_DERECHO) < SENSOR_VALOR_IZQUIERDO)
{
rotarDerecha();
}
}
}

```

Apéndice B: Esquemático

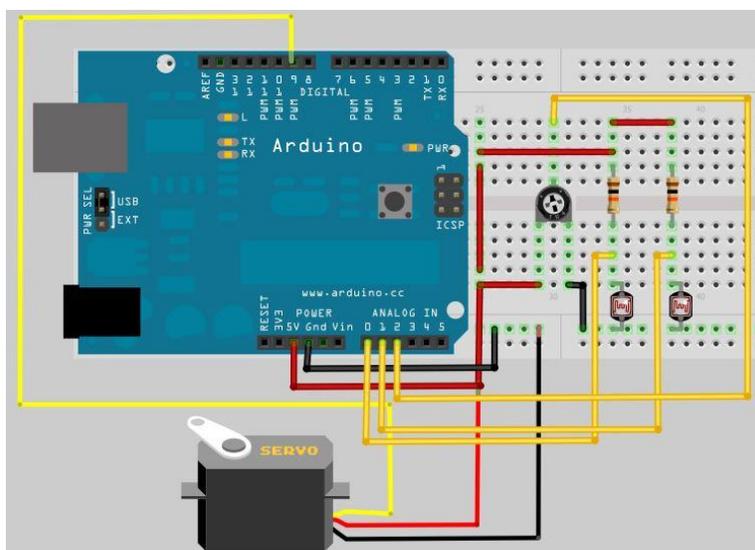


Figura 15. Esquemático del montaje de control

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Apéndice C: Cálculos para obtener la potencia generada por los paneles del seguidor solar en estado de movimiento

Tomando en cuenta que el sol en el trópico puede ser hasta de 12 horas dependiendo de la época del año asumiremos que en el día dura 12 horas de sol. Esto tomando como base el mapa de brillo solar en Colombia:

Así calcularemos cuanto se mueve el sol cada hora:

$$grados * hora = \frac{180grados * 1hora}{12horas} = 15gradosporhora \quad [4]$$

Para realizar las pruebas reducimos este tiempo 72 veces y realizamos las pruebas en un tiempo de 10 minutos; es decir nuestro día de sol dura 10 minutos y la lámpara hará el recorrido de los 180 grados en ese tiempo así:

$$numerodeminutoscada15grados = \frac{10minutos * 15grados}{180grados} = 0.83minutos \quad [5]$$

Convirtiendo 0.83 minutos a segundos:

$$tiempoensegundos = \frac{0.83min * 60segundos}{1minuto} = 49.8segundos = 50segundos \quad [6]$$

Para simular y hacer un escalamiento de la posición del sol lo más cercana posible tenemos que garantizar que cada 50 segundos la lámpara realice un movimiento de 15 grados. Para asegurar el movimiento se usó una medida por medio de un transportador.

Obtenemos que: la potencia generada total considerando el panel estático es de: 74,363335 W por día

La potencia generada total considerando un día de 10 horas de sol y el panel dinámico sería de 104,29189

La potencia total útil total generada por un panel con movimiento sería: 97,20379w

Lo que nos traduce en un aumento en la generación de energía de: 30.71 %

$$P97.203 \frac{W * 100}{74.363335W} = 130,71$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Apéndice D: Características técnicas de equipos

Características de las Fotorresistencias

- Los valores típicos varían entre 1 MΩ, o más, en la oscuridad y 100 Ω con luz brillante.
- Disipación máxima, (50 mW-1W).
- Voltaje máximo (600V).
- Respuesta Espectral.
- El tiempo de respuesta típico de un LDR está en el orden de una décima de segundo (Caraballen, 2011).

Características técnicas del USB-TESTER Medidor De Voltaje y De Corriente:

- compatible con teléfono celular y computadora.
- mini tamaño para facilitar su transporte.
- ampliamente utilizado por las fábricas, laboratorios, etc.
- Con LED pantalla digital, puede exhibir el voltaje de los equipos de suministro de energía.
- compacto, puede ser muestra de tensión y corriente simultáneamente en la misma pantalla.
- final de la entrada, de salida en ambos extremos.
- utiliza el proceso SMT sofisticado, tan buena consistencia.
- 8. dos deportes de salida: salida IN - transmisión de datos y carga; salida II - sólo cargar su móvil.
- Fuente de voltaje: 3.2V-10V.
- Prueba corriente: 0-3A (hasta 10A).
- Display: 0.28 "color LED doble (rojo y azul).
- Tamaño: 69 × 26 × 19 mm.
- LED Color: rojo y azul/rojo.
- USB cable de extensión: =120mm.
- Medición de velocidad: =500mS / tiempos.
- Compacto, puede hacer muestra de tensión y corriente simultáneamente en la misma pantalla.
- Final de la entrada, de salida en ambos extremos.
- Salida (doble función): funciones de comunicación de datos, salida de voltaje de carga.
- Min suministro de voltaje: 3, 2V
- Máximo suministro de voltaje: 10V
- Temperatura de funcionamiento: -10 ~ + 65
- Humedad: 10 ~ 80%
- Trabajo de presión: 80 ~ 106kPa
- La luz del sol: No exposición directa

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Características técnicas del multímetro fluke true-RMS REF 117

- Tecnología VoltAlert™ para detección de tensión sin contacto.
- Función AutoVolt para selección automática de la tensión CA/CC.
- Baja impedancia de entrada: ayuda a evitar las lecturas falsas producto de la "tensión fantasma".
- Gran pantalla LCD blanca retro iluminada para trabajar en zonas con condiciones de iluminación deficiente.
- Tecnología de verdadero valor eficaz para unas medidas precisas en cargas no lineales.
- Medidas de hasta 20 A (intervalos de 30 segundos; 10 A continuo).
- Resistencia, continuidad, frecuencia y capacidad.
- Registro de valores mínimos, máximos y promedio con indicación del tiempo transcurrido para detectar fluctuaciones de la señal.
- Diseño ergonómico y compacto para su utilización con una sola mano.
- Compatible con correa con imán opcional (ToolPak™) para trabajar cómodamente con ambas manos.
- Categoría de seguridad CAT III 600 V (fluke, 2015).

Características técnicas del multímetro UNI-T UT139A

- Verdadero RMS para todas las series.
- Medición de señales con frecuencia variable(VFC);
- Medición de capacitancia hasta 100mF;
- No contacto voltaje diseñado para todas las series, una necesidad para electricistas.
- Baterías AA v1.5V, fácil de usar, comprar y reemplazar.
- Manija magnética sostenedora que facilita las pruebas en locaciones especiales.
- Fusible de rápido reemplazo, solo abriendo la tapa que cubre la batería.
- Fiable con el uso de 2 piezas fusibles internos con alta capacidad de ruptura.
- Protección contra entrada de voltaje de 600 V/1 minuto.
- Rango de seguridad: CAT III 600V (Uni-Trend, 2016).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Características técnicas del panel solar

Condiciones de prueba estándar (STC): masa de aire 1.5, irradiación 1000W/m², temperatura de la celda 25°C (ENF Solar, 2016)

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS PANEL A-12V2.4W	CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL
Máxima Potencia (Pmax) = 2.4 W	Dimensión del panel=140x140x2.7 mm
Voltaje a máxima potencia (Vmpp)= 12 V.	Tipo de celda = mono-cristalina
Corriente a máxima potencia (Impp) = 0.2 A.	Tipo de encapsulado= PET
Voltaje de circuito abierto(Voc)=14.4 V	
Corriente de cortocircuito (Isc)= 0.22A.	

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Características técnicas de Lámpara T8 58W



Spezifikation

Specification

Nennleistung (W)	58W	Nominal wattage (W)
Bemessungsleistung (W)	58W	Rated wattage (W)
Lichtfarbe	955	Light colour

Technische Daten

Technical data

Nennlichtstrom (lm)	3400lms	Nominal luminous flux (lm)
Bemessungslichtstrom (lm)	3400lms	Rated luminous flux (lm)
Ähnlichste Farbtemperatur CCT (K)	5500K	Correlated colour temperature CCT (K)
Farbwiedergabeindex CRI	96	Colour Rendering Index CRI
Energieeffizienzklasse	B	Class of energy efficiency
Temperatur für max. Lichtstrom (°C)	25	Temperature for max. luminous flux (°C)
Energieeffizienz (lm/W)	58,6	Energy efficiency (lm/W)
Zündzeit (s)	< 3	Turn-on time (s)
Anlaufzeit (s)	< 60s	Time to luminous flux (s)
Leistungsfaktor		Lamp power factor
Eignung für Innenbel. bei Raumtemp.	ja/yes	Suitable for ind. Lightning at st. room temp.
Dimmbar	ja/yes	Dimmable
mittlerer Quecksilbergehalt (mg)	5	Average mercury content (mg)
Maße Breit (mm)	26	Size width (mm)
Maße Lang (mm)	1500	Size length (mm)
Sockel	T8 / G13	Cap / Base
Temperaturbereich	-20 °C to + 60 °C	Temperature Range

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Lebensdauerdaten
Lifetime data

Mittlere Lebensdauer (h)	> 24,000	Average Lifetime (h)
Anzahl der maximalen Schaltzyklen	-	Number of max. switching cycles
Lichtstrom nach 15.000 h	auf Anfrage / by request	Luminous flux after 15.000 hrs

Bestelldaten
Ordering data

Bestellnummer	1126-05	Order number
EAN Code Einzelverpackung	9421900287314	EAN code single packing
Inhalt Verpackungseinheit	25/100	Content of packing unit

Versanddaten
Shipping data

Gewicht Lampe Einzelverpackung (g)	255	Weight lamp single box (g)
Gewicht Verpackungseinheit Inner (kg)	7	Weight packing unit inner (kg)
Gewicht Verpackungseinheit Outer (kg)	-	Weight packing unit outer (kg)
Maße Verpackungseinheit Inner (mm)	156x15,5x15,5	Size of packing unit inner (mm)
Maße Verpackungseinheit Outer (mm)	-	Size of packing unit outer (mm)

Entsorgung
Disposal

Informationen für Deutschland unter	www.interseroh.com	Informations for Germany at
Informationen für Europa unter	www.elcfd.org	Informations for Europe at
Informationen zur Bruchbeseitigung unter	www.viva-lite.com	Informations for break-disposal at

Características técnicas de radiómetro solar Mac-Solar (SLM018c-2)

	P_{tot}	T	P_n	U_n	I_n	hour
Unidad	W/m ²	°C	%	%	%	h
Rango	0 ... 1500	-40 ... +85	0 ... 150	0 ... 150	0 ... 150	0 ... 9999
Resolución	1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1 / 1

Desviación máxima < 2 % ±1 digit (P_{tot}) rango 100 ... 1000 W/m² / AM1,5 espectro / radiación en eje normal (opcional con certificado ISO < 1 % ±1 digit)

Potencia necesaria (sleep / active mode) 0,6 / 4 mW

Potencia nominal del módulo solar integrado 180 mW

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Capacidad de la memoria de datos	64 kb
Transmisión de datos	interfaz de serie RS 232
Rango de temperatura ambiental	-20 ... +45 °C
Humedad máxima	95 % H.r.
Pantalla	pantalla LCD de 13mm (ind. máx. 199,9) contraste ajustable
Alimentación	por célula solar propia
Dimensiones	130 x 90 x 30 mm
Peso	170 g
Comprobaciones / Normas	CE / EN 50081, 50082, 55014, 55022, 60068, 60529, IEC68

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES: 
Edgar A. Torres.
Jhon Jairo Rojas M.

FIRMA ASESOR: 

FECHA ENTREGA: 09/08/2016

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO___ ACEPTADO___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____