



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

**Soluciones provisión de energía a escala humana, a partir del
harvesting de energía solar**

TRABAJO DE TITULACIÓN.

AUTOR: Rojas Ramírez, Alexander German

DIRECTOR: Jaramillo Pacheco, Jorge Luis, Ing.

LOJA – ECUADOR

2017



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Septiembre, 2017

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ingeniero.

Jorge Luis Jaramillo Pacheco.

COORDINADOR DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: Soluciones provisión de energía a escala humana, a partir del harvesting de energía solar, realizado por Rojas Ramírez Alexander German, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, Marzo de 2017

f)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Rojas Ramírez Alexander German declaro ser autor del presente trabajo de titulación: Soluciones provisión de energía a escala humana, a partir del harvesting de energía solar, de la titulación Electrónica y Telecomunicaciones, siendo Ingeniero Jorge Luis Jaramillo Pacheco director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f.

Autor. Alexander German Rojas Ramírez

Cédula. 1104637259

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo primero a Dios por prestarme la vida, y mantenerme con salud hasta cumplir mis objetivos, por darme la fuerza, “esfuérate que yo estaré contigo”.

De igual manera a mi Padre Reinaldo, que siempre demostró confianza en mí, supo guiarme y fortalecerme con sus sabios consejos “Estudiarás para todo en la vida, excepto para ser un Señor, eso te lo ganas”.

A mi madre Rocío, que con su amor nunca me abandonó y es la que sabe hasta lo más profundo de mis sentimientos y secretos, por prestarme siempre su atención y nunca dejar de creer en mí.

A mis dos hijos Dyland y Bethsabe, los que amo con mi vida, que mas que mis hijos son el motor de mi vida siendo parte importante para yo poder culminar esta etapa de mi vida. Gracias a su amor y comprensión supieron llenar de momentos inolvidables y fueron la fuerza para seguir adelante.

A mis hermanas, Gaby e Ivanna, que han llenado mi vida de carácter, valor acompañándome en los momentos difíciles.

Mis abuelitos Honorato (+), Angélica, Adán (+), Carmen (+), que me llenaron de sabiduría con su ejemplo y amor, que me enseñaron a ser honestos y nunca perder la humildad.

Mis primos Diego, Ignacio, Celin, Wafer, que más que primos fueron hermanos, que me ayudaron cuando necesite de ellos.

A todos mis Tíos y familiares que fueron importantes con sus consejos y ejemplos.

Y finalmente mis amigos y compañeros que ayudaron a mi formación personal.

AGRADECIMIENTO

Este proyecto no hubiese sido posible sin la ayuda de mi Dios bendito, y muchas personas que siempre estuvieron pendientes que culmine mis estudios.

En especial agradezco a mis padres: Reinaldo Rojas y Roció Ramírez que siempre estuvieron pendientes de mis estudios, a mi tutor Ing. Jorge Luis Jaramillo que desinteresadamente guió mi tema desde un principio hasta el final del mismo, a mis compañeros que me ayudaron con sus opiniones e información que fue de mucha ayuda, a los Ingenieros docentes que me supieron brindar de sus conocimientos, experiencia.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA.....	I
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VI
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO 1.	5
1. INGENIERÍA DE CONCEPTO.....	5
1.1. Nociones fundamentales del aprovechamiento de energía solar.....	6
1.1.1. Radiación solar.....	6
1.1.2. Constante solar.....	7
1.1.3. Longitud del día.....	7
1.1.4. Radiación solar global.....	7
1.2. Lentes.....	8
1.2.1. Tipos de lentes.....	8
1.2.2. Refracción y reflexión de la luz.....	9
1.2.3. Ley de Snell de refracción de la luz.....	10
1.3. Sobre los concentradores solares.....	10
1.3.1. Un poco de historia.....	10
1.3.2. Tipos de concentradores solares.....	11
CAPÍTULO 2.	16
2. INGENIERÍA BÁSICA.....	16
2.1. Sobre las opciones de diseño.....	17
2.1.1. Sobre la primera opción de diseño.....	17
2.1.2. Sobre la segunda opción de diseño.....	18
2.1.3. Sobre la tercera opción de diseño.....	18
2.1.4. Sobre la cuarta opción de diseño.....	19
2.1.5. Sobre la quinta opción de diseño.....	20
2.2. Selección del modelo de referencia.....	20
2.3. Diseño del prototipo a implementar.....	21
2.3.1. Sobre el diseño del módulo del concentrador solar.....	21
2.3.2. Sobre el diseño del módulo de seguimiento solar.....	23
2.3.3. Sobre el diseño del módulo de generación fotovoltaica.....	27

2.3.4.	<i>Sobre el diseño del módulo de interface de usuario.....</i>	28
2.3.5.	<i>Sobre el diseño del soporte mecánico.....</i>	28
CAPÍTULO 3.	30
3.	INGENIERÍA DE DETALLE.....	30
3.1.	Sobre la implementación del colector solar tipo.....	31
3.2.	Sobre las pruebas efectuadas para determinar el desempeño del prototipo.	34
3.2.1.	<i>Planeación del experimento.....</i>	34
3.2.2.	<i>Discusión de resultados.....</i>	35

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos al diseñar, implementar y evaluar el desempeño de un concentrador solar tipo. En la etapa de ingeniería de concepto, se explica algunos conceptos fundamentales del aprovechamiento de la energía solar, se describe los aspectos fundamentales de las lentes; y se explica el estado del arte en el diseño y construcción de concentradores solares, en general, y de concentradores solares esféricos en particular. En la etapa de ingeniería básica, se describe la estructura, geometría y óptica de la esfera concentradora, se explica el funcionamiento del circuito de generación eléctrica y se describe la arquitectura y funcionamiento del sistema de seguimiento solar. Finalmente, en la etapa de ingeniería de detalle, se presentan los resultados obtenidos al implementar y evaluar el desempeño del concentrador solar desarrollado.

PALABRAS CLAVES: energía, energía renovable, energía solar, concentrador de radiación solar, concentrador solar esférico.

ABSTRACT

In this work the results obtained when designing, implementing and evaluating the performance of a solar concentrator type are presented. In the stage of concept engineering, explains some fundamental concepts of the use of solar energy, describes the fundamental aspects of lenses; And explains the state of the art in the design and construction of solar concentrators in general and of spherical solar concentrators in particular. In the basic engineering stage, the structure, geometry and optical of the concentrator sphere are described, the operation of the electric generation circuit is explained and the architecture and operation of the solar tracking system are described. Finally, in the stage of detailed engineering, the results obtained when implementing and evaluating the performance of the developed solar concentrator are presented.

KEYWORDS: Energy, renewable energy, solar energy, solar concentrator, spherical solar concentrator.

INTRODUCCIÓN

Dada su posición de privilegio en el planeta, el Ecuador tiene un gran potencial de aprovechamiento de energía solar. De acuerdo al Atlas Solar con fines de generación eléctrica, elaborado por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), la insolación difusa promedio alcanza los 2737,05 Wh/m²/día, mientras que la insolación directa promedio es de 2543,01 Wh/m²/día, y la insolación global promedio es de 4574,99 Wh/m²/día (CONELEC, 2008). Según el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), los niveles de insolación solar registrados bien podrían posicionar al Sol como la tercera fuente de energía aprovechable en el país, luego del petróleo y la hidroelectricidad (Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, 2014).

Para lograr este posicionamiento, no es solo necesario mejorar la tecnología disponible para el aprovechamiento de la energía solar, sino también romper las barreras del entorno urbano y cultural hacia la incorporación de esta fuente de energía a la vida cotidiana del país. Especial interés merece el incluir tecnología para el aprovechamiento termosolar y/o fotovoltaico en espacios arquitectónicos ya consolidados, en los que existen serias limitaciones en cuanto a espacio disponible, sin dejar de lado los criterios para la integración arquitectónica de la tecnología. En este contexto, los **concentradores solares** aparecen como una opción válida para resolver el problema planteado.

Los concentradores solares son capaces de capturar la mayor cantidad posible de energía solar, en un mínimo de superficie disponible, para aprovecharla en forma directa (calor o iluminación diurna) o indirecta (generando electricidad a través de un sistema mecánico, químico o físico para producir electricidad) (Paredes, 2012). Los concentradores solares constan de un concentrador y de un receptor. El concentrador es un instrumento óptico que se encarga de dirigir la radiación solar hacia el receptor, por medio de espejos u otras opciones. En receptor, ubicado en el foco sobre el eje de simetría del concentrador, es el encargado de absorber la radiación que luego será transformada en otro tipo de energía (González, 2009). Los concentradores solares se caracterizan por el denominado coeficiente de concentración, definido por la relación entre la superficie de captación en el concentrador y la superficie de absorción en el receptor (García Badell, 1983).

En el marco de este proyecto, de entre los diferentes tipos de concentradores solares existentes, se planteó el diseño e implementación experimental de un concentrador solar esférico, tomando como base referencial el prototipo Beta.ray, desarrollado por André Broessel (Illuminet, 2014), que consta de tres componentes fundamentales: una esfera para concentrar los rayos de Sol incidentes, un panel fotovoltaico actuando como receptor para la generación de electricidad, y un dispositivo de seguimiento solar.

Los resultados obtenidos en el trabajo se presentan en tres capítulos. En el primero, referido a la etapa de ingeniería de concepto, se explica algunos conceptos fundamentales del aprovechamiento de la energía solar, se describe los aspectos fundamentales de las lentes; y se explica el estado del arte en el diseño y construcción de concentradores solares, en general, y de concentradores solares esféricos en particular.

En el segundo capítulo o ingeniería básica, se describe la estructura, geometría y óptica de la esfera concentradora, se explica el funcionamiento del circuito de generación eléctrica y se describe la arquitectura y funcionamiento del sistema de seguimiento solar.

En el tercer capítulo, de ingeniería de detalle, se presentan los resultados obtenidos al implementar y evaluar el desempeño del concentrador solar desarrollado.

A lo largo del proyecto se aplicó modelos de abordaje y métodos científicos y técnicos relacionados al diseño y construcción de colectores solares y aplicaciones fotovoltaicas; y se utilizó aplicativos de software para el diseño mecánico como Sketchup (Sketchup, 2016)

CAPÍTULO 1.

1. INGENIERÍA DE CONCEPTO

1.1. Nociones fundamentales del aprovechamiento de energía solar.

1.1.1. Radiación solar.

El Sol es la principal fuente de energía para nuestro planeta, puesto que aporta el 99 % de la energía disponible; solo el 1 % restante proviene del interior del planeta. La energía solar que llega a la Tierra, tiene origen en los procesos de fusión nuclear que se producen en el Sol (Sendiña Nadal & Pérez Muñuzuri, 2006). De toda la energía solar que recibe el planeta en un año, solo un tercio alcanza la superficie del planeta, atravesando la atmósfera. De esta fracción de energía solar, el 70 % se radia sobre los mares (Delgado Orellana & Orellana Samaniego, 2015). El espectro de la radiación solar que llega al planeta, se extiende desde el infrarrojo hasta el ultravioleta.

La **irradiancia** es la medida de la potencia solar incidente en una unidad de superficie, expresada en W/m^2 . La irradiancia se afecta por las condiciones atmosféricas. Para determinar parámetros nominales de la tecnología de aprovechamiento solar, se ha normalizado el valor de irradiancia con cielo despejado en $1000 W/m^2$ (Cantos Serrano, 2016).

Se denomina **radiación directa** a aquella que proviene directamente del disco solar, y que no ha sido absorbida ni dispersada por la atmósfera terrestre; por lo que su dirección no ha cambiado, y que proyecta una sombra definida en los objetos opacos que la interceptan (Cabrera Silva, Lissi Gervaso, & Honeyman Mauro, 2005).

Se llama **radiación difusa** a aquella que tiene su origen en la intercepción de fotones provenientes del Sol por átomos o moléculas que, sin absorberlos, los reflejan en varias direcciones en función de la longitud de onda (λ) o del tamaño de la partícula o molécula. Se conoce dos tipos de dispersión: de Rayleigh y de Mie. La **dispersión Rayleigh** proviene de la interacción entre los fotones y gases como el N_2 y O_2 , en la que el cambio de dirección se produce por la colisión con una molécula de diámetro menor que la longitud de onda de un fotón. En la **dispersión Mie** los fotones solares interactúan con moléculas de mayor tamaño que su longitud de onda, como sucede cuando la interacción se produce con aerosoles, gotas de agua o granizo (Cabrera Silva, Lissi Gervaso, & Honeyman Mauro, 2005).

La **radiación reflejada** es aquella que se refleja en la superficie terrestre, cuya magnitud depende del albedo o coeficiente de reflexión de la superficie (Cabrera Silva, Lissi Gervaso, & Honeyman Mauro, 2005).

Por su parte, la **radiación solar** es la suma de la radiación directa, difusa y reflejada (Cabrera Silva, Lissi Gervaso, & Honeyman Mauro, 2005).

1.1.2. Constante solar.

Se conoce como **constante solar** a la cantidad de radiación solar (incluidas todas las longitudes de onda del espectro) por unidad de área, que incide en un plano normal a la dirección de los rayos solares, en la parte externa de la atmósfera terrestre, a la distancia media entre el Sol y la Tierra (Reyes Coca, 2002).

La constante solar sería la misma durante todo el año, si la Tierra tuviera una órbita circular. La órbita elíptica provoca que el valor de la constante solar oscile un 1%, siendo máximo en el perihelio (distancia mínima entre el Sol y la Tierra) y mínimo en el afelio (distancia máxima entre el Sol y la Tierra). En el valor de la constante solar también influye la actividad solar (Delgado Orellana & Orellana Samaniego, 2015).

1.1.3. Longitud del día.

Se denomina **longitud del día** al tiempo durante el cual la faz del planeta está expuesta a la radiación solar. En el Ecuador, la longitud del día es de aproximadamente 12 h, mientras que en los polos varía desde 0 h (en el invierno) hasta 24 h (en el verano) (Reyes Coca, 2002).

1.1.4. Radiación solar global.

La radiación solar aprovechable en un sitio determinado depende principalmente de las horas de insolación (Delgado Orellana & Orellana Samaniego, 2015). Entre los modelos más conocidos para aproximar la radiación solar global (RG) disponible en un lugar determinado, destaca el denominado método de Angstrom–Prescott, expresado en la fórmula (1), que muestra a la RG como una fracción de la radiación solar global extraterrestre (RA) recibida en un plano horizontal, para un día determinado, sobre la localización deseada. La disponibilidad de RG es función entonces de un modelo lineal

simple que vincula al número de horas de brillo solar medido en la superficie (n), y a la duración del día obtenida a partir de consideraciones astronómicas (N). En el modelo, a y b son coeficientes de regresión. (Guzmán Martínez, Baldión Rincón, Simbaqueva Fonseca, Zapata, & Chacón Cardona, 2013).

$$\frac{RG}{RA} = (a + b \frac{n}{N}) \quad (1)$$

1.2. Lentes.

1.2.1. Tipos de lentes.

Las lentes son elementos ópticos transparentes, capaces de desviar la trayectoria de la luz para formar imágenes. Las lentes pueden estar hechas de materiales como vidrio, cristal o plástico.

Las lentes constan de dos superficies, cuya variación de curvatura se muestra en las Figuras 1 y 2. Si la distancia entre las dos superficies es pequeña con respecto a los radios de curvatura, entonces las lentes son **delgadas**, pero si la distancia entre estas dos superficies es mayor, las lentes son **gruesas**. Las lentes pueden ser **convergentes o divergentes**, dependiendo de si las distancias focales son positivas o negativas. Las lentes divergentes siempre muestran una imagen virtual de la fuente real, mientras que lentes convergentes muestran o una imagen real o una virtual, dependiendo si el objeto está a una distancia de la lente, mayor o menor que la distancia focal (Rossi, 2003).

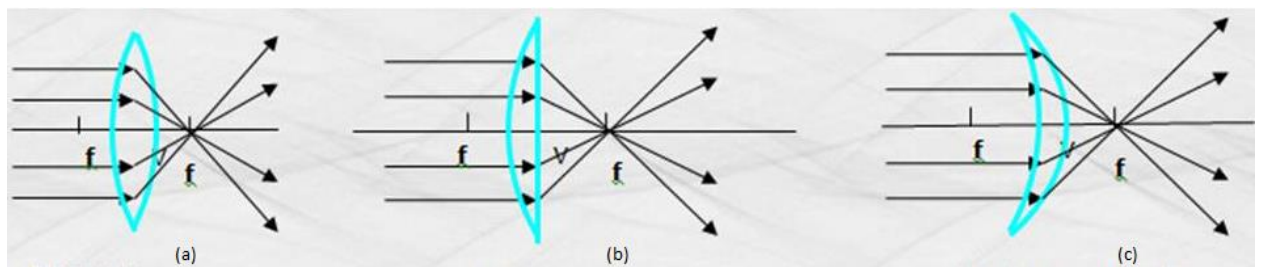


Figura 1. Lentes convergentes: a) Biconvexa b) Plano-convexa c) Menisco convergente.
Fuente: (Braulio, Morales , & Díaz , 2013) (Instituto Politécnico Nacional CECYT #7 "CUAUHTÉMOC").

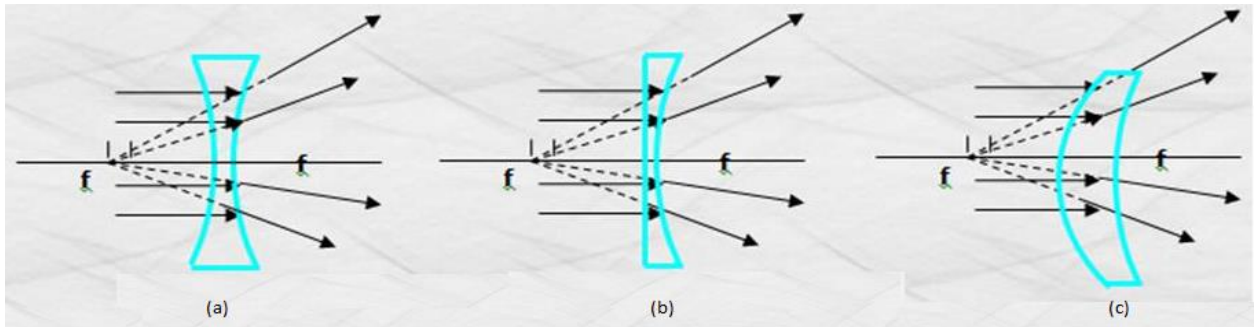


Figura 2. Lentes divergentes: a) Bicóncava b) Plano-cóncava c) Menisco divergente.
 Fuente: (Braulio, Morales , & Díaz , 2013) (Instituto Politécnico Nacional CECYT #7 "CUAUHTÉMOC").

1.2.2. Refracción y reflexión de la luz.

La refracción y reflexión de la luz ocurren cuando, en una superficie que separa dos medios en los que la velocidad de la luz varía, parte de la energía luminosa se transmite de un medio a otro (refracción) y parte se refleja (reflexión) (Universitas Nebrissensis S.A.).

La **refracción de la luz** es un fenómeno óptico que experimenta un haz de luz al pasar de un medio a otro con distinto índice refractivo, cambiando su dirección y velocidad como se muestra en la Figura 3. (Universitas Nebrissensis S.A.).

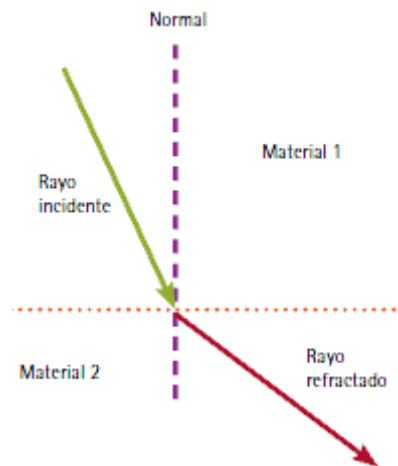


Figura 3. Refracción de la luz en una lente.
 Fuente: (Discover Physiks, 2012)

La **reflexión de la luz** es un fenómeno óptico representado por el cambio de dirección de un rayo, sobre una superficie que separa dos medios, de tal forma que el rayo regresa a su medio inicial, como se muestra en la Figura 4. (Universitas Nebrissensis S.A.).

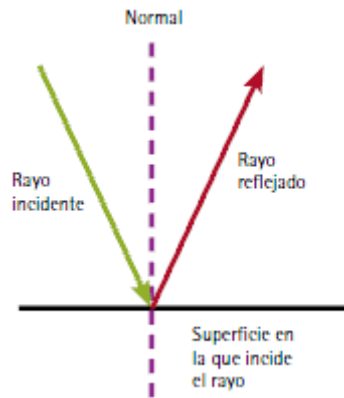


Figura 4. Refracción de la luz en un espejo.
Fuente: (Discover Physiks, 2012)

1.2.3. Ley de Snell de refracción de la luz.

La ley de Snell describe el comportamiento de la luz al momento de pasar de un medio transparente a otro medio transparente con distinto índice de refracción, una parte de la energía se sigue propagando en el primer medio reflejándose con el mismo ángulo de incidencia ($\theta_i = \theta_r$), el resto pasa al otro medio refractándose de acuerdo a la ley de Snell (Ministerio de educación, cultura y deporte España, 2000).

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_t; \text{ donde } n_1 \text{ distinto } n_2$$

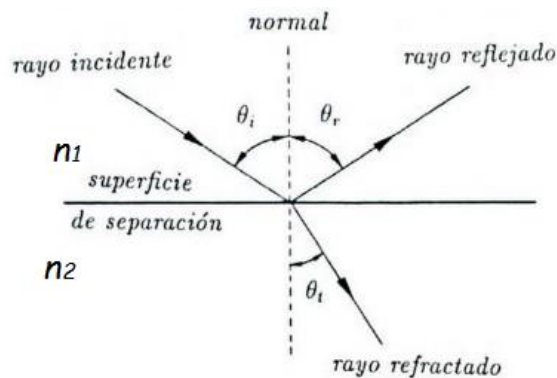


Figura 5. Ley de Snell refracción de la luz.
Fuente: (Ministerio de educación, cultura y deporte España, 2000)

1.3. Sobre los concentradores solares.

1.3.1. Un poco de historia.

El ser humano ha aprovechado la energía solar desde siempre, pero la primera referencia sobre el diseño y construcción de tecnología específica para el aprovechamiento solar se relaciona al relato del uso de espejos ustorios, con los que

Arquímedes incendió los bajeles romanos de la flota de Marcelo, en Siracusa, en el siglo III AC. En 1515, Leonardo da Vinci propuso producir calor industrial y vapor a través de un concentrador solar de 6 Km de diámetro, empleando espejos cóncavos. A mediados del siglo XVIII, Georges - Luis Lecler, Conde de Buffon, logró encender una sustancia de brea y polvo de carbón, a distancias variables utilizando arreglos de espejos (Recuerdos de Pandora, 2010).

En 1900, Aubrey Eneas fundó la primera empresa dedicada al diseño y construcción comercial de tecnología para aprovechamiento de la energía solar, The Solar Moto Co. En 1911, Frank Schuman fundó Sun Power Co, que construyó las plantas termosolares de Tancony (Estados Unidos) de 20 KW, y de Maadi (Egipto) de 88 KW (Recuerdos de Pandora, 2010).

En los últimos años, el reto de diseño y construcción de concentradores solares se orienta no solo a aprovechar el recurso disponible en espacios abiertos, sino también aprovechar el recurso en espacios urbanizados. Los concentradores solares actuales cuentan con un conjunto de dispositivos mecánicos y electrónicos que facilitan la concentración de energía solar, para luego ser aprovechada como calor o electricidad (EFE, 2014).

1.3.2. Tipos de concentradores solares.

En términos generales, en función del comportamiento de la luz en el concentrador, los equipos se clasifican en concentradores de reflexión y de refracción.

1.3.2.1. Concentradores de reflexión.

Los concentradores de reflexión utilizan espejos o superficies reflejantes. En el mercado es posible encontrar colectores cilíndricos parabólicos, discos parabólicos, y sistemas de receptor central.

Los **colectores cilíndricos parabólicos**, como el mostrado en la Figura 6, son de foco lineal, y transforman la radiación solar directa en energía térmica, a través del calentamiento de un fluido absorbente contenido en el receptor, que en condiciones favorables puede alcanzar hasta los 400 °C (Paredes, 2012). El índice de concentración alcanza valores entre 70 y 100, con potencias unitarias entre los 50 MW o superiores (Villasante, 2010). El rendimiento global de estos sistemas depende en

gran parte de la calidad termodinámica del absorbente (López Guzmán, 2012). Estos sistemas cuentan con mecanismos para el seguimiento solar, a fin de que la radiación solar llegue lo más perpendicularmente posible al colector, y se mantengan en el foco lineal continuamente

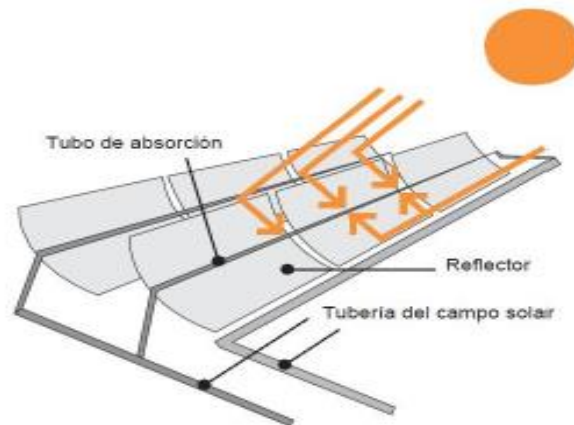


Figura 6. Esquema CCP.
Fuente: (Paredes, 2012)

Los **discos parabólicos** constan de uno o varios reflectores paraboloides, siempre orientados al sol (ver Figura 7.). El índice de concentración alcanza valores entre 1000 y 5000, con potencias unitarias que varían entre 5 KW y 25 KW (Lozada Godoy, 2014). En el foco se sitúa un receptor que puede alcanzar hasta 1500 °C (Paredes, 2012).

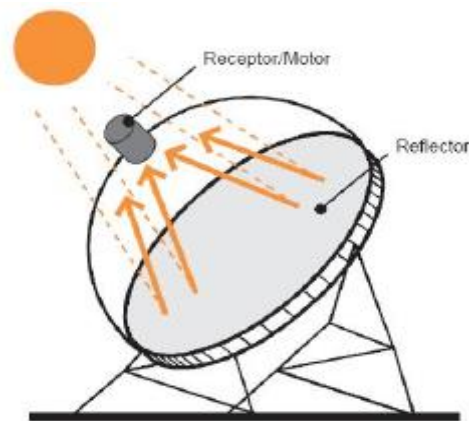


Figura 7. Esquema DP.
Fuente: (Paredes, 2012)

Los **sistemas de receptor central, sistemas de torre central, o sistemas de torre**, constan de una planta de heliostatos o espejos que reflejan la luz solar a un receptor situado en lo alto de una torre, por el cual circulan sales de nitrato fundidas. Estas sales capturan la energía solar y la transfieren a un intercambiador de calor para la generación de vapor de agua (ver Figura 8.) (Torresol Energy, 2010). La contracción de radiación solar se realiza en 3 dimensiones, alcanzando temperaturas de hasta de

1500 °C (Paredes, 2012). Estos sistemas son maduros y han sido ampliamente explotados (Lozada Godoy, 2014).

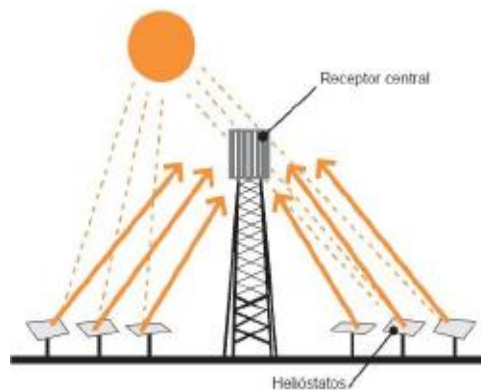


Figura 8. Esquema STC.
Fuente: (Paredes, 2012)

1.3.2.2. **Concentradores de refracción.**

Los concentradores de refracción utilizan lentes. Entre los más comunes se encuentra a los concentradores Fresnel y a los colectores esféricos.

Los **concentradores Fresnel** utilizan este tipo específico de lentes. Las lentes de Fresnel son elementos ópticos, planos por una cara y con una serie de anillos concéntricos de sección triangular convexa por la otra (ver Figura 9.) (Ecured, 2013). Las lentes de Fresnel son vidrios tallados o plásticos, cuya función es desviar los rayos solares a un solo punto, comportándose como un lente plano convexo. Los rayos de luz que llegan paralelos al eje óptico tienden a concentrarse en un punto llamado foco. (Jaramillo Mora, 2014). Los rayos que atraviesan paralelamente a las lentes de Fresnel tienden a focalizarse, y viceversa cuando los rayos salen desde el foco se proyectan paralelos a la lente de Fresnel (Ecured, 2013).

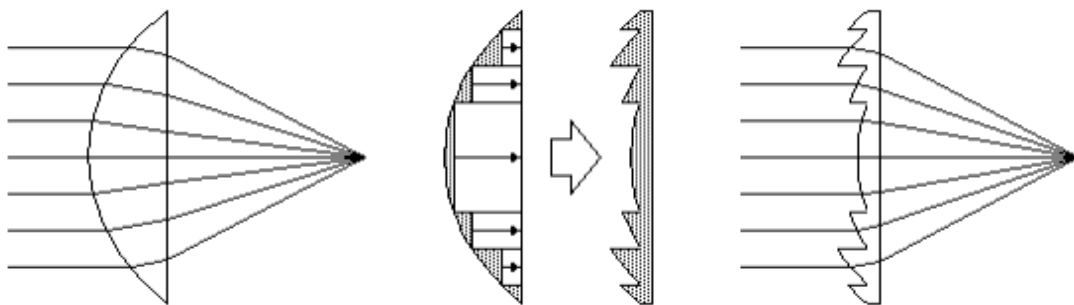


Figura 9. Esquema lentes de Fresnel.
Fuente: (Jaramillo Mora, 2014)

Las lentes de Fresnel tienen diversas aplicaciones como la focalización de la luz en detectores internos en los sensores de movimiento, la iluminación en lámparas tipo "spot" (luz concentrada) o "flood" (luz formando un abanico de 60 °), y la concentración en cocinas solares u hornos alcanzando temperaturas de hasta 600 °C.

Los **concentradores esféricos** son dispositivos ópticos que pueden focalizar la energía solar para su mejor aprovechamiento, siendo utilizados como lentes convexas (ver Figura 10.)

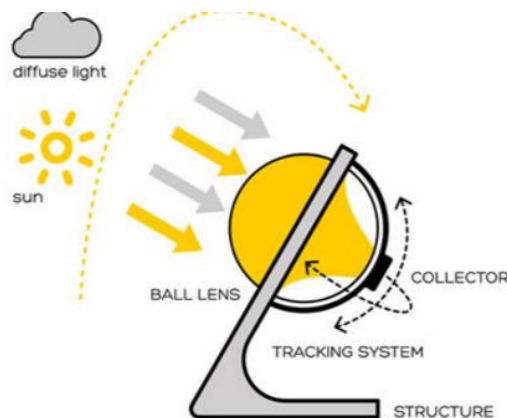


Figura 10. Esquema concentrador esférico.
Fuente: (Rawlemon, 2013)

Cuando un concentrador solar esférico se utiliza para aplicaciones fotovoltaicas, se puede producir hasta 4 veces más energía que en un sistema fotovoltaico convencional, por lo que se necesita 4 veces menos luz (Illuminet, 2014). El sistema puede capturar hasta un 70 % más energía que en un panel fotovoltaico convencional, y un 35 % más que en un diseño fotovoltaico con doble seguidor solar. Además, el sistema puede aprovechar la energía solar en días soleados, días nublados, e inclusive en noches despejadas (Sustentar Tecnología y Ambiente, 2014).

En el mercado es posible encontrar algunas aplicaciones previas de concentradores esféricos, como los utilizados en las luminarias de faros de vehículos y motocicletas (faros antiniebla) en los que cumplen la función de maximizar la luz proveniente de una lámpara alógena, logrando mayor alcance y mayor iluminación, con mucho menos energía que un faro antiniebla convencional. Un faro antiniebla puede registrar 3000 lúmenes, con un alcance de 300 m (Masluz, 2016).

Por otra parte, la revisión bibliográfica mostró que los últimos tiempos, un gran impacto en el estado del arte en el uso de los concentradores esféricos para aplicaciones fotovoltaicas fue provocado por la aparición del prototipo denominado Betaray,

desarrollado por André Broessel (Illuminet, 2014). En este prototipo, la luz del sol atraviesa un instrumento óptico esférico y converge en un haz intenso, similar al producido por una lupa. La luz concentrada impacta sobre una placa fotovoltaica de reducidas dimensiones, que se desplaza a la par que el Sol. El sistema se calibra automáticamente para asegurar el ángulo óptimo de luz, recogiendo la máxima cantidad posible de energía, y evitando los complicados mecanismos de desplazamiento de las placas convencionales (Experimenta Magazine , 2014). Este prototipo será considerado como modelo referencial para el diseño en este proyecto.

CAPÍTULO 2.

2. INGENIERÍA BÁSICA

2.1. Sobre las opciones de diseño.

Terminada la fase de ingeniería de concepto, el equipo de trabajo identificó cinco posibles opciones para el diseño de un colector esférico solar, los que se muestran en la Figura 11. En el marco de este proyecto, el índice de refracción en el cuarzo se consideró de 1,544 y en el aire de 1. Considerando que la celda solar tiene dimensiones de 12 cm por 9 cm, el radio de la esfera se estimó en 7,5 cm. El peso de la esfera será de 2,26 Kg.

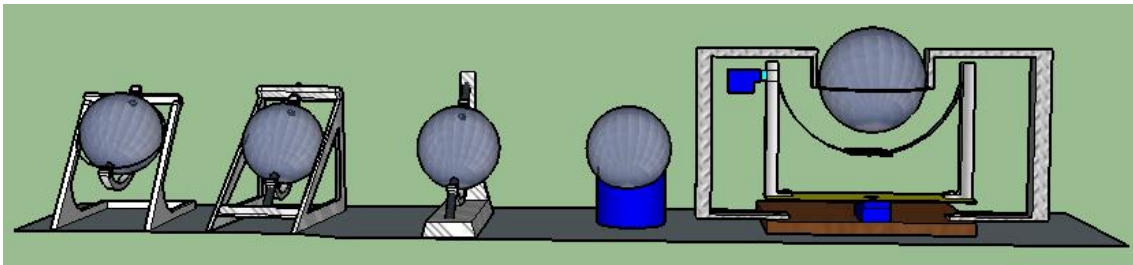


Figura 11. Opciones de diseño de un colector solar esférico.
Fuente: Autor, realizado en programa Sketchup 2016.

2.1.1. Sobre la primera opción de diseño.

La opción 1 es similar a la propuesta por Broessel en el proyecto Beta.ray (Rawlemon, 2013), con la variante de que en la parte superior de la estructura no es ovalada sino recta. El colector tendrá una altura de 18 cm, y un largo de 20 cm. La esfera concentradora estará sostenida por una estructura semiovalada (ver Figura 12).

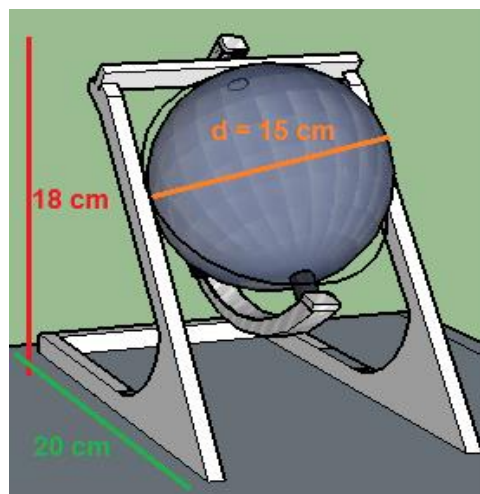


Figura 12. Primera opción para el diseño del colector solar esférico.
Fuente: Autor, realizado en programa Sketchup 2016.

La aerodinámica de esta opción permite soportar vientos y lluvia, aunque no distribuye en forma óptima el peso de la esfera, pudiendo colapsar por exceso de peso. Otro punto negativo está relacionado a la producción de sombra sobre el panel solar.

2.1.2. Sobre la segunda opción de diseño.

La segunda opción es una adaptación de la primera, cuyo objetivo es distribuir mejor el peso de la esfera concentradora, empleando una barra en forma de triángulo. La geometría general del colector se mantiene (ver Figura 13).

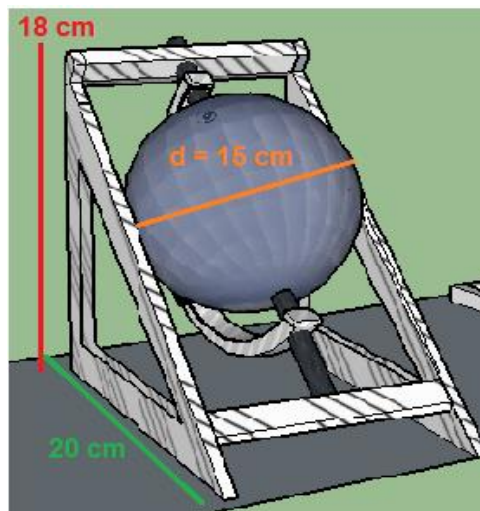


Figura 13. Segunda opción para el diseño del colector solar esférico.
Fuente: Autor, realizado en programa Sketchup 2016.

El diseño permite distribuir mejor el peso de la esfera, pero también puede producir sombras sobre el panel solar, mientras que las bases limitan el desplazamiento del sistema para compensar el movimiento del Sol.

2.1.3. Sobre la tercera opción de diseño.

La tercera opción está basada en un heliógrafo, instrumento meteorológico que mide la intensidad de insolación diaria. La geometría general del colector se mantiene (ver Figura 14).

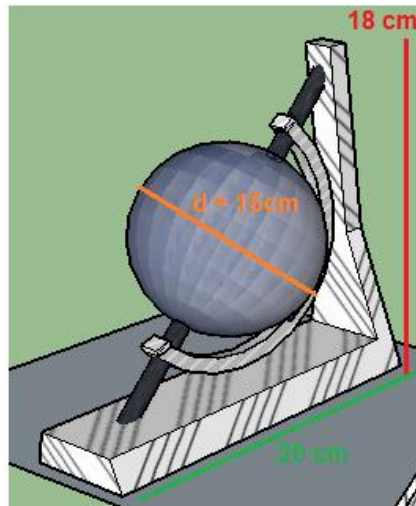


Figura 14. Diseño 3, colector solar esférico.
Fuente: Autor, realizado en programa Sketchup 2016.

Este diseño permite distribuir mejor el peso de la esfera, sin producir sombra sobre la celda solar, y permitiendo que el sistema de seguimiento solar pueda desplazarse de forma libre siguiendo al Sol por debajo la superficie de la esfera.

2.1.4. Sobre la cuarta opción de diseño.

La cuarta opción es un diseño basado en el proyecto beta.ey de André Broessel donde la esfera va sentada sobre un cilíndrico hueco y en su interior el dispositivo de seguimiento solar. El colector tendrá una altura de 18 cm, y un largo de 10 cm. (ver Figura 15).

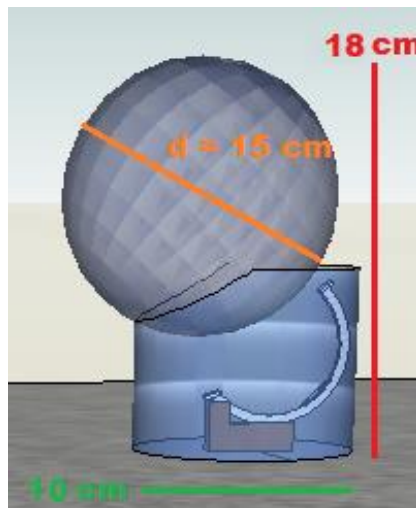


Figura 15. Diseño 4, colector solar esférico.
Fuente: Autor, realizado en programa Sketchup 2016.

Este diseño distribuye de forma uniforme el peso del colector esférico, gracias a que el colector esférico va sentado sobre el cilindro hueco, donde a su vez va ubicado dentro el seguimiento solar permitiendo el libre movimiento del mismo.

2.1.5. Sobre la quinta opción de diseño.

El quinto diseño tiene una estructura más robusta, con un anillo de acero donde está sentado el colector esférico, que a su vez se une a una estructura hecha de varilla de hierro sujeta en una base de madera fija. Costa de un seguidor solar de doble eje donde los encargados de darle el movimiento serán dos servo motores de 5 V (como lo muestra la Figura 16).

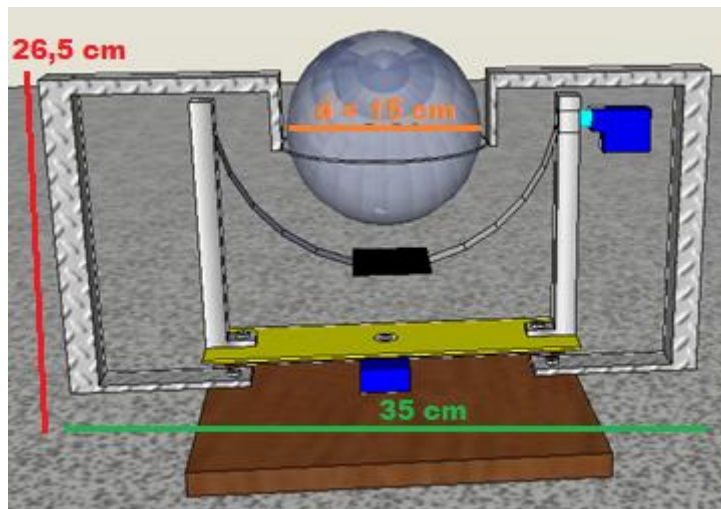


Figura 16. Diseño 5, colector solar esférico.
Fuente: Autor, realizado en programa Sketchup 2016.

Este diseño me permite más obtención de energía ya que vamos a poder utilizar una celda fotovoltaica de mayores dimensiones (9 cm x 12 cm), gracias a su robusta forma puede utilizarse a la intemperie sin que le pueda afectar lluvia, viento entre otros fenómenos naturales.

2.2. Selección del modelo de referencia.

Como resultado del análisis comparativo entre las opciones de diseño, el equipo de trabajo decidió utilizar la quinta opción descrita en el apartado anterior. La Figura 17 muestra el diagrama de bloques funcionales del modelo a implementar.

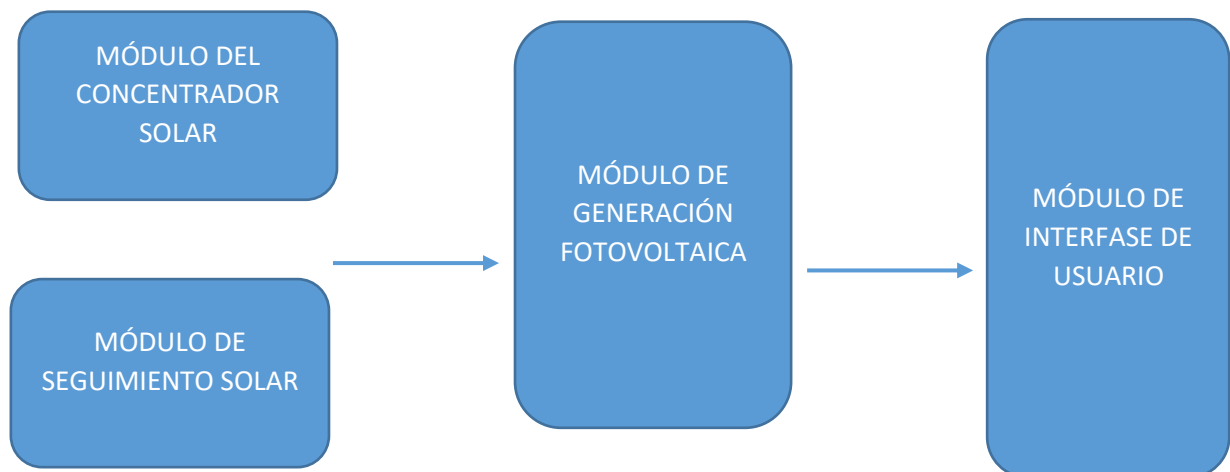


Figura 17. Diagrama de bloques funcionales del prototipo a implementar.
Fuente: Autor, realizado en Microsoft Word 2010.

El modelo a implementar estará conformado por un concentrador esférico, un circuito de seguimiento solar y una placa fotovoltaica, montadas sobre una estructura de aluminio. Los rayos solares atraviesan el instrumento óptico esférico, convergiendo en un haz intenso e incidiendo en el panel fotovoltaico, ubicado en el foco del concentrador esférico. El circuito electrónico de seguimiento solar se calibra automáticamente para asegurar el ángulo óptimo de incidencia de los rayos solares (90 grados). La energía eléctrica generada se entrega al usuario a través del circuito eléctrico de interface que no solo alimenta a la carga, sino que también proporciona energía al circuito electrónico de seguimiento solar.

2.3. Diseño del prototipo a implementar.

El diseño del prototipo a implementar se atendió en cinco fases: diseño del módulo del concentrador solar, diseño del módulo de seguimiento solar, diseño del módulo de generación fotovoltaica, diseño del módulo de interface de usuario, y finalmente diseño del soporte mecánico.

2.3.1. Sobre el diseño del módulo del concentrador solar.

La esfera del concentrador esférico se construyó de cuarzo. Este material transparente deja pasar los rayos solares con una reflexión mínima. Además el cuarzo es resistente a factores externos.

En un concentrador solar esférico, los rayos solares inciden sobre el plano ecuatorial de la esfera de radio R y de índice de refracción n , con un ángulo de incidencia i . Entonces, el foco de la esfera se ubica a la distancia d , donde se corta el rayo refractado con el eje del sistema, tal como lo muestra la Figura 18.

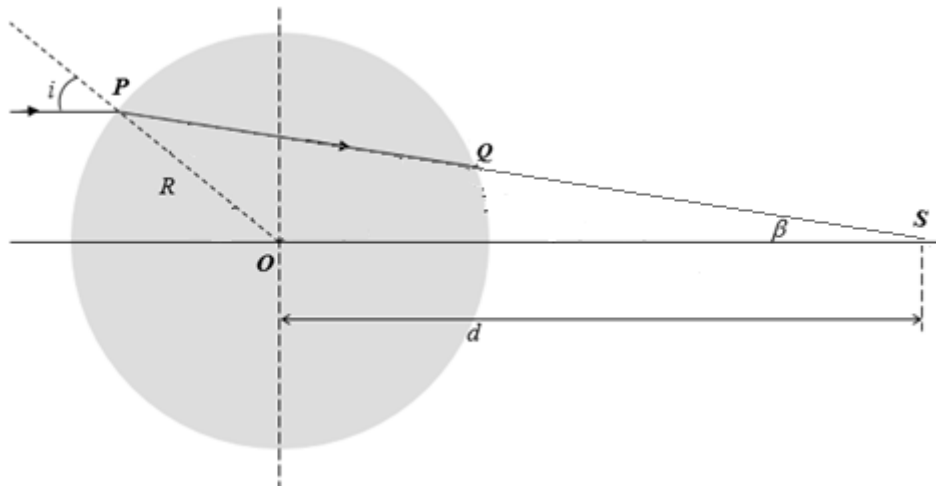


Figura 18. Ubicación del foco de la esfera de acuerdo a la Ley de Snell.
Fuente: Autor.

En dónde,

- i , es el ángulo de incidencia, grados
- R , es el radio de la esfera concentradora, cm
- n , es el índice de refracción de la esfera concentradora
- d , es la distancia donde se refracta el rayo, cm

La distancia focal de la esfera se calculó mediante la ecuación 2, que se la obtiene mediante la Ley de Snell (ecuaciones 3 y 4) que me permite determinar el ángulo r mostrado en la Figura 19, a partir del índice de refracción n y n' .

$$d = \frac{R \operatorname{sen}(r)}{\operatorname{sen}(r-\alpha)} \quad (2)$$

$$n' \operatorname{sen} i = n \operatorname{sen} r \quad (3)$$

$$r = \operatorname{sen}^{-1}\left(\frac{n' \operatorname{sen} i}{n}\right) \quad (4)$$

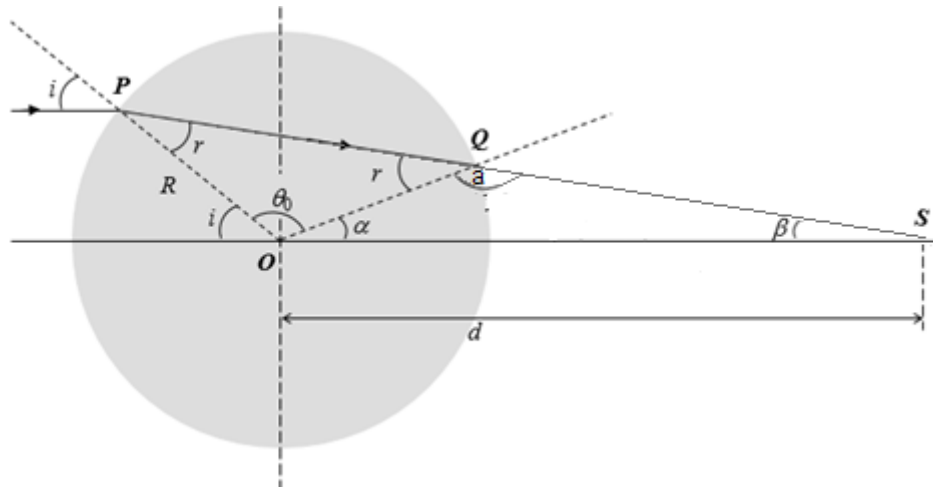


Figura 19. Aplicación de la Ley de Snell para cálculos del concentrador solar esférico.
Fuente: Autor.

Considerando un índice de refracción en el cristal de 1,544, un radio de la esfera concentradora de 7,5 cm de distancia, y aplicando conceptos trigonométricos, el foco se determinó a una distancia equivalente a 6,18 cm. La posición del foco fuera de la esfera, permitirá entonces concentrar los rayos solares sobre una celda fotovoltaica.

2.3.2. Sobre el diseño del módulo de seguimiento solar.

La Figura 20 muestra el esquema general del módulo de seguimiento solar. Un módulo Atmega 328 controlará el movimiento de dos servomotores de 1,5 W alimentados en 5V, responsables de mover la celda fotovoltaica horizontalmente en un rango de 90 ° y verticalmente en un rango de 180 °. La dirección de rotación de los servomotores se determina a partir de 4 fotoresistores (LDR) ubicados a cada lado de la celda fotovoltaica. Un súper condensador de 3,5 V suministra energía a la placa electrónica y a los servomotores. El súper condensador se alimenta de la energía recolectada por la celda fotovoltaica.

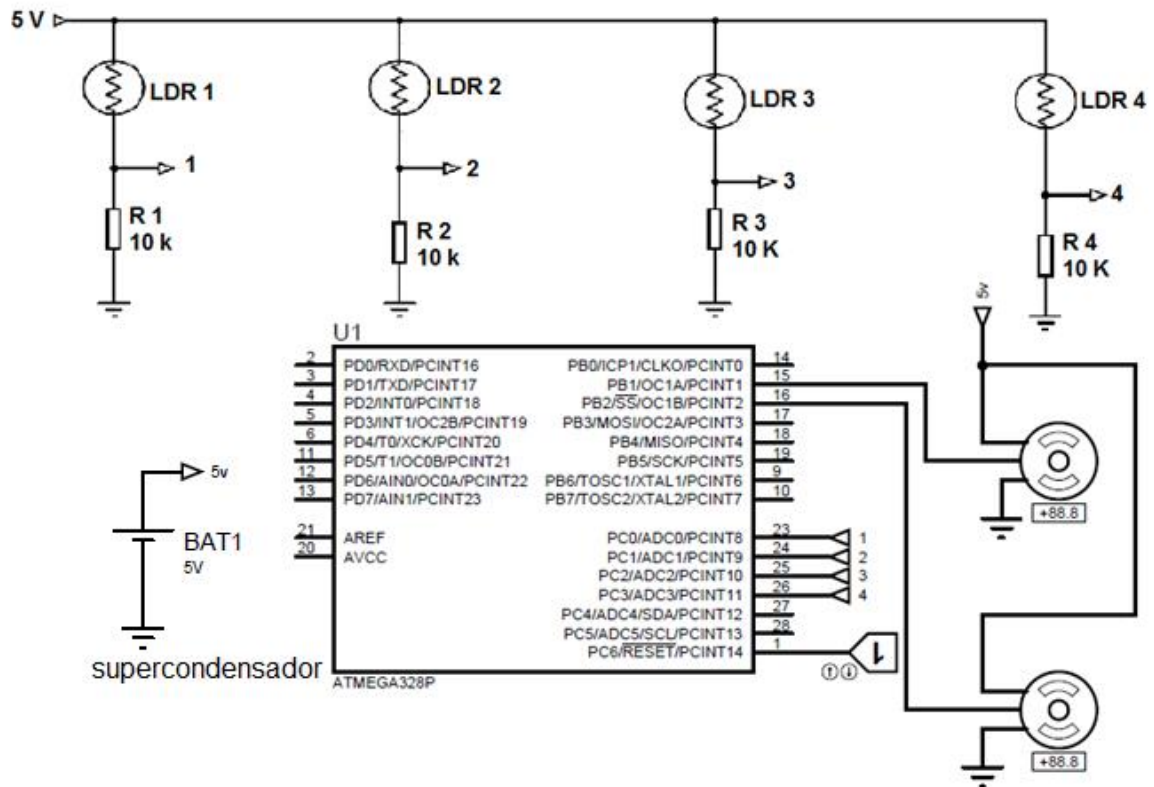


Figura 20. Diseño del módulo de seguimiento solar.
Fuente: Autor, diseñado en Proteus 8.0.

Las Figuras 21 y 22 muestran los flujogramas utilizados para la programación del movimiento de los servos para el seguimiento solar y corrección de trayectoria. El funcionamiento del Atmega 328P se basa en una resta de los valores registrados en los LDR. Si la diferencia entre los valores registrados en los sensores para el seguimiento solar es igual a cero, el servo motor se mantiene en su lugar. Si el valor es mayor a cero, el servo se mueve en un sentido, mientras que, si la diferencia es menor a cero, entonces se mueve en sentido contrario. Lo mismo sucede para los sensores para la corrección de trayectoria. El código generado se muestra en el anexo 1.

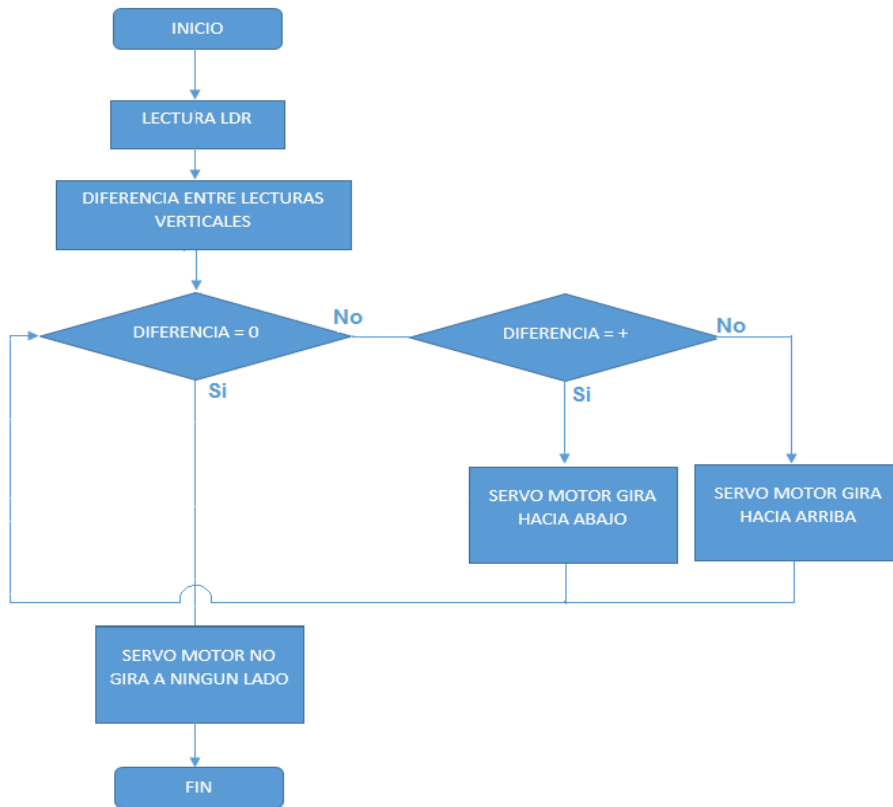


Figura 21. Flujograma para servo motores para seguimiento solar.
Fuente: Autor, realizado en Microsoft Word.

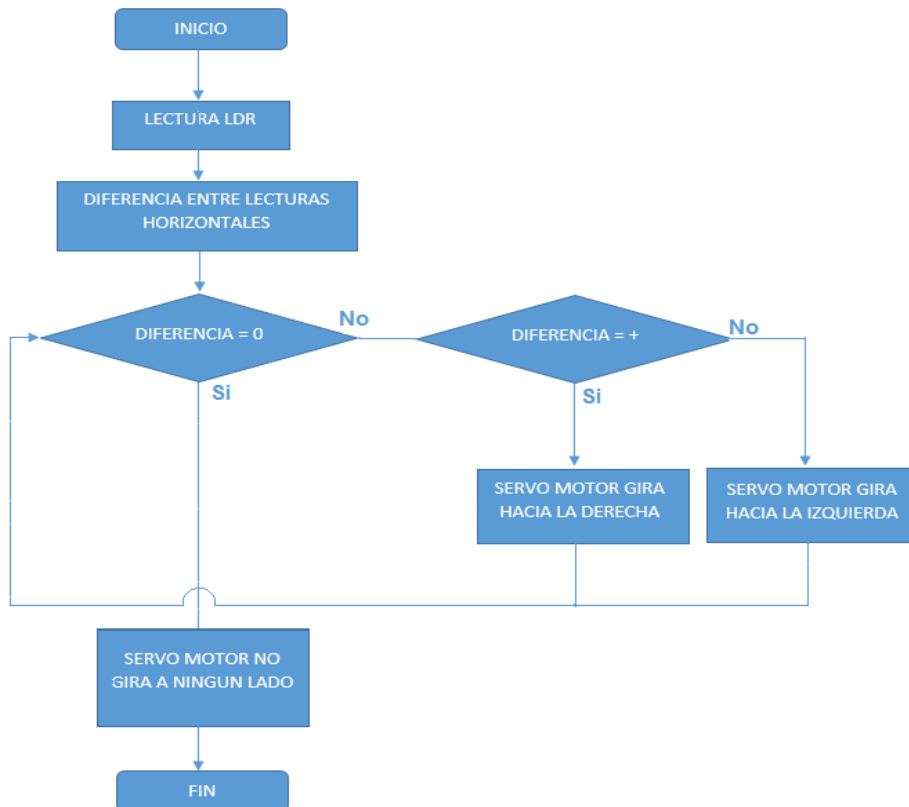


Figura 22. Flujograma para servo motores para corrección de trayectoria.
Fuente: Autor, realizado en Microsoft Word.

La capacidad de trabajo del módulo de seguimiento solar se probó utilizando el aplicativo de software Proteus versión 8.0 (Labcenter Eletronics Ltd, 2017). Las Figuras 24 y 25 muestran los resultados obtenidos para el seguimiento solar en tres posiciones extremas: amanecer, medio día y atardecer. El seguimiento se inicia con la celda fotovoltaica perpendicular a la línea de horizonte. Al salir el Sol el fotoresistor ubicado en la parte inferior del panel se ilumina, mientras que el fotoresistor en la parte superior permanece en la penumbra. En este caso, el servomotor mantiene en su posición.

El segundo caso, al medio día, los dos fotoresistores reciben igual iluminación, entonces el servomotor se mueve a la posición de 90 ° respecto del inicio. La Figura 23 muestra este movimiento como “giro del motor horizontal”.

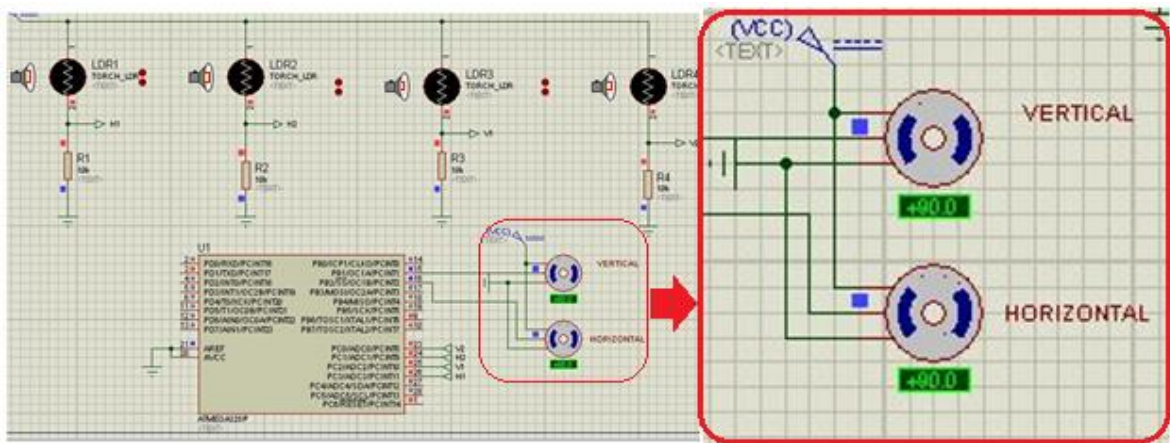


Figura 23. Simulación del ángulo de giro del servo del módulo de seguimiento solar al medio día.
 Fuente: Autor, diseñado en Proteus 8.0.

El tercer caso (ver Figura 24), en el atardecer, el fotoresistor inferior pierde iluminación mientras que el superior la gana. En esta situación el servomotor gira a la posición 180 ° respecto a la posición inicial.

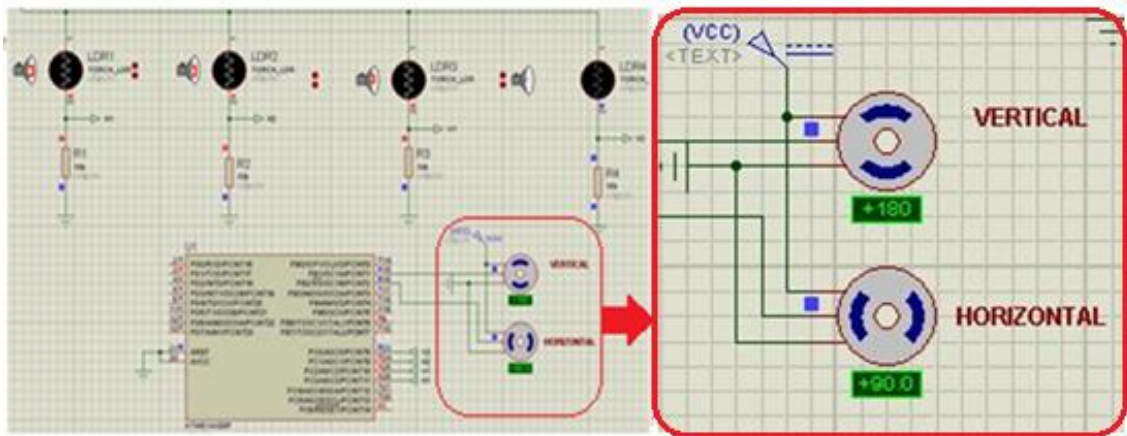


Figura 24. Simulación del ángulo de giro del servo del módulo de seguimiento solar al atardecer
Fuente: Autor, diseñado en Proteus 8.0.

Cabe indicar que la simulación demostró que el servomotor para la corrección de trayectoria era innecesario, puesto que por la posición geográfica de la ciudad de Loja, las variaciones en la trayectoria del Sol sobre la ciudad, son insignificantes a lo largo del año.

2.3.3. Sobre el diseño del módulo de generación fotovoltaica.

La celda fotovoltaica es la encargada de recolectar la energía que proviene del colector esférico, para transformarla en energía eléctrica. Durante las horas de producción, la energía generada en la celda fotovoltaica se almacenará en dos baterías de 9 V, para ser utilizada en las horas de demanda. La batería estará conectada a un regulador de carga (ver Figura 25).

En este módulo se empleará una celda fotovoltaica de mercado de 12 V (12090), dos baterías de 9 V, dos diodos de germanio (1n5400) y un regulador de voltaje (lm7805).

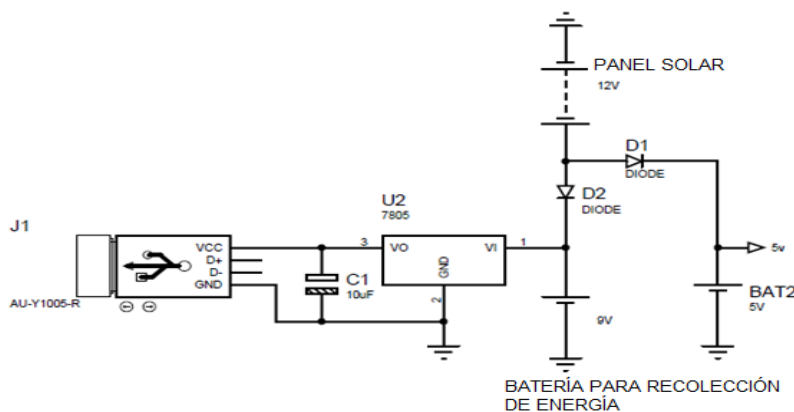


Figura 25. Diseño del módulo de generación fotovoltaica.
Fuente: Autor, diseñado en Proteus 8.0.

2.3.4. Sobre el diseño del módulo de interface de usuario.

Una vez acumulada la energía, el suministro al usuario se realizará a través de un regulador de voltaje, para proteger de sobrecargas o descargas excesivas. El suministro se realizará exclusivamente como corriente directa. En este diseño, el usuario se conectará mediante un cable USB hembra (Ver Figura 26).

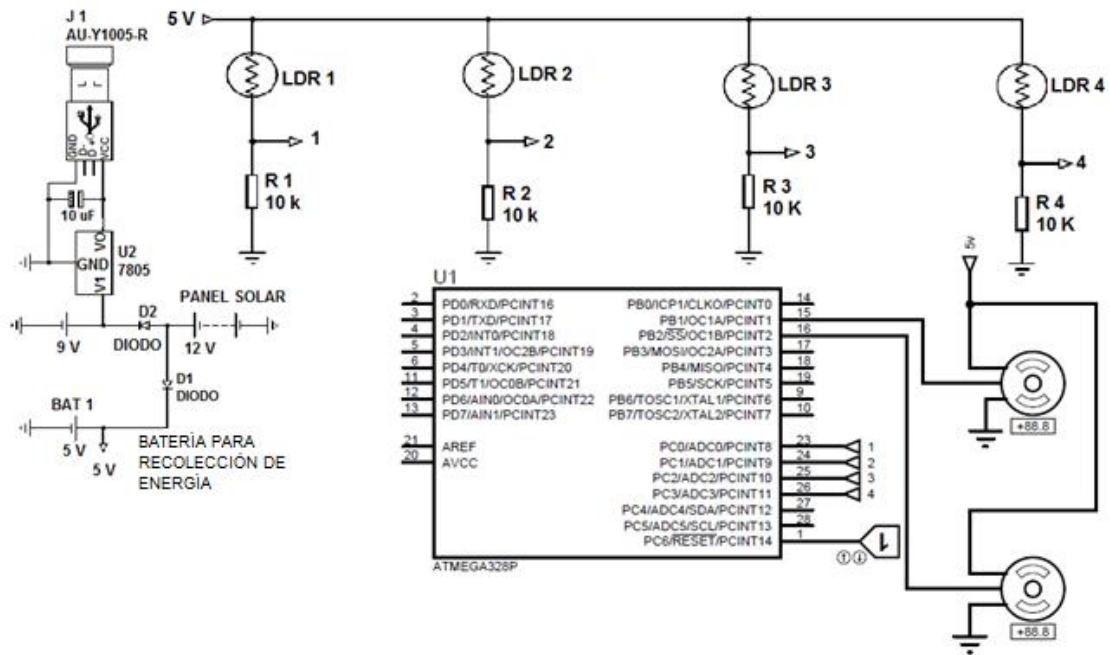


Figura 26. Diseño del módulo de interface de usuario.
Fuente: Autor, diseñado en Proteus 8.0.

2.3.5. Sobre el diseño del soporte mecánico.

El soporte mecánico soporta la esfera del colector y la celda fotovoltaica, incluyendo los componentes del módulo de seguimiento solar.

El soporte es una estructura rectangular robusta, de 26,5 cm de alto por 35 cm de largo, construida de varilla de hierro, que incluye un anillo de acero de 13 cm de diámetro que sostiene la esfera (ver Figura 27). La estructura se sujeta a una base de madera de 22 cm de lado.

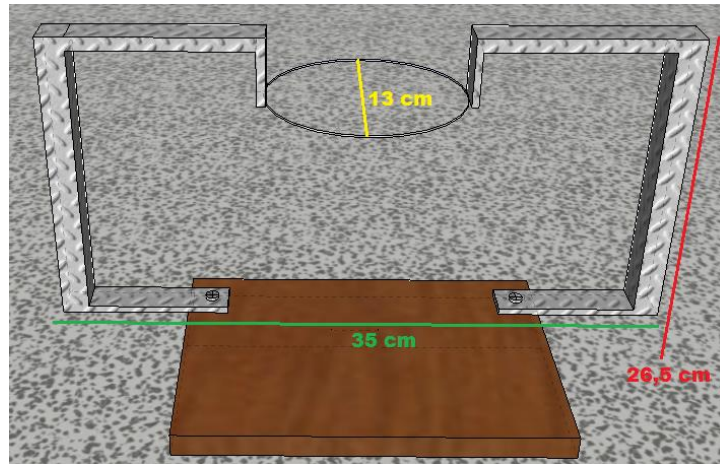


Figura 27. Soporte mecánico del concentrador esférico.
Fuente: Autor, diseñado en el programa Sketchup 2016.

Los elementos activos del módulo de seguimiento solar se montan sobre un segundo soporte en forma de U, de 14 cm por 26 cm, tal como lo muestra la Figura 28. Un servomotor se ubica en la base de madera y facilita la rotación del soporte. El otro servomotor se ubica sobre el soporte y permite la rotación de un tubo de aluminio de forma elíptica, sobre el cual se ubica el panel solar.

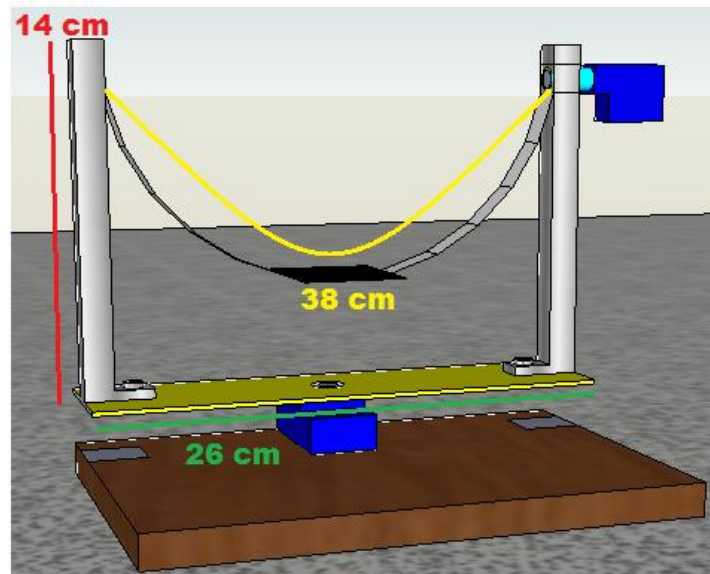


Figura 28. Soporte mecánico del seguidor solar.
Fuente: Autor, diseñado en el programa Sketchup 2016.

CAPÍTULO 3.

3. INGENIERÍA DE DETALLE

En este capítulo se describe los resultados obtenidos al construir y validar el prototipo.

3.1. Sobre la implementación del colector solar tipo.

Ante la falta de recursos en el medio para construir una esfera adecuada a las condiciones del proyecto, el equipo de trabajo decidió adquirir una esfera de cuarzo, de 15 cm de diámetro, y un peso de 2,26 Kg (ver Figura 29). Esta decisión facilita la implementación del colector, pero impide controlar la calidad del material de la esfera, por lo que los procesos ópticos no tendrán la calidad óptima.



Figura 29. Esfera a utilizar en el colector esférico.
Fuente: Autor.

La Figura 30 muestra la primera versión de la estructura de soporte del colector esférico. Esta tuvo que cambiarse a la mostrada en la Figura 31, por cuanto impedía el movimiento de seguidor solar.



Figura 30. Primer diseño de la estructura de soporte del colector esférico.
Fuente: Autor.

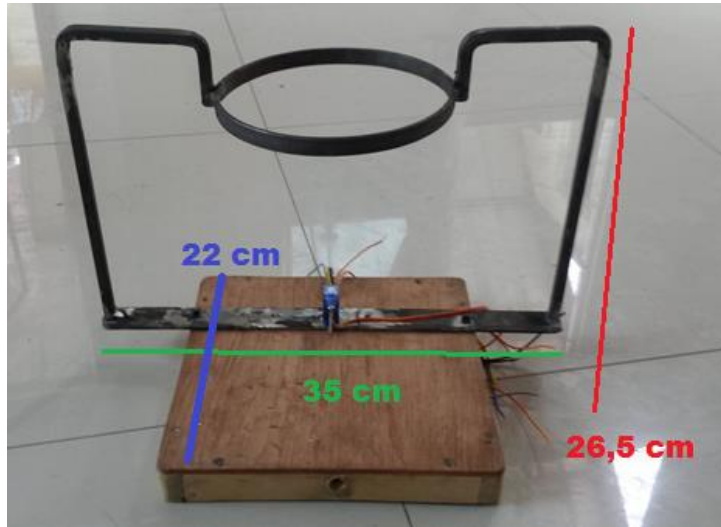


Figura 31. Segundo diseño de la estructura de soporte del colector esférico.
Fuente: Autor.

Las Figuras 32 y 33 muestran el ensamblaje del módulo de seguimiento solar en la estructura de apoyo del colector esférico.

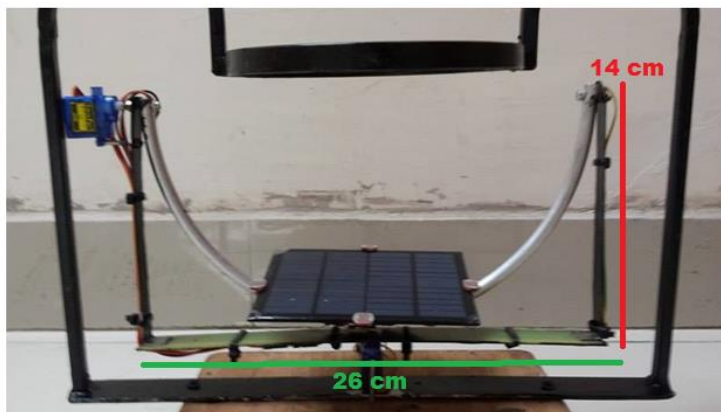


Figura 32. Módulo de seguimiento solar montado en la estructura de apoyo.
Fuente: Autor.

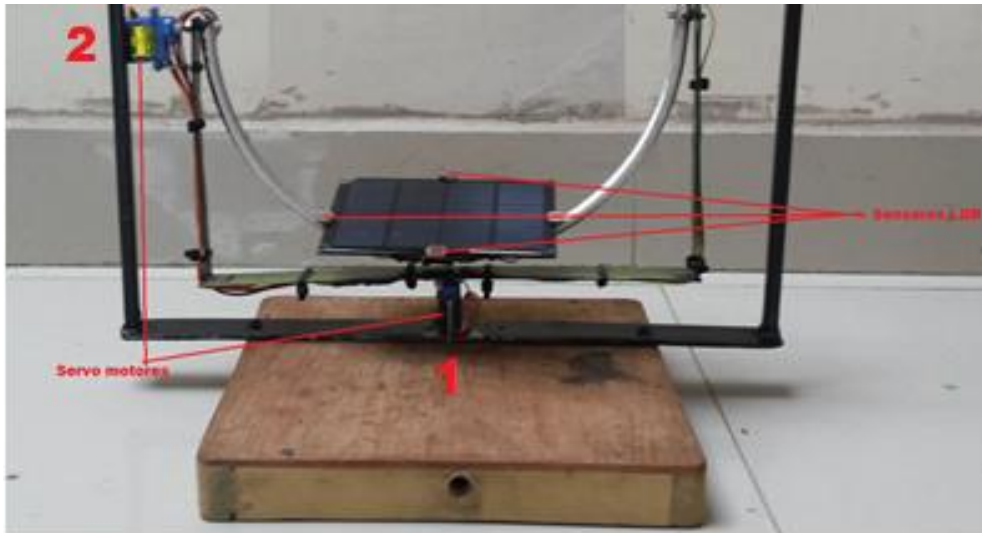


Figura 33. Panorámica del concentrador solar tipo.
Fuente: Autor.

Bajo la base de madera del módulo de soporte (ver Figura 34) se monta la tarjeta Atmega 328P, conectada a un breadboard Arduino uno. En el breadboard, las entradas ADC (Analog to Digital Converter) A0 y A2 están asignados para los LDR horizontales, mientras que las entradas A1 y A3 atienden los LDR verticales. Los servomotores se conectan a las salidas PWM (Pulse Width Modulation) 9 (horizontal) y 10 (vertical).

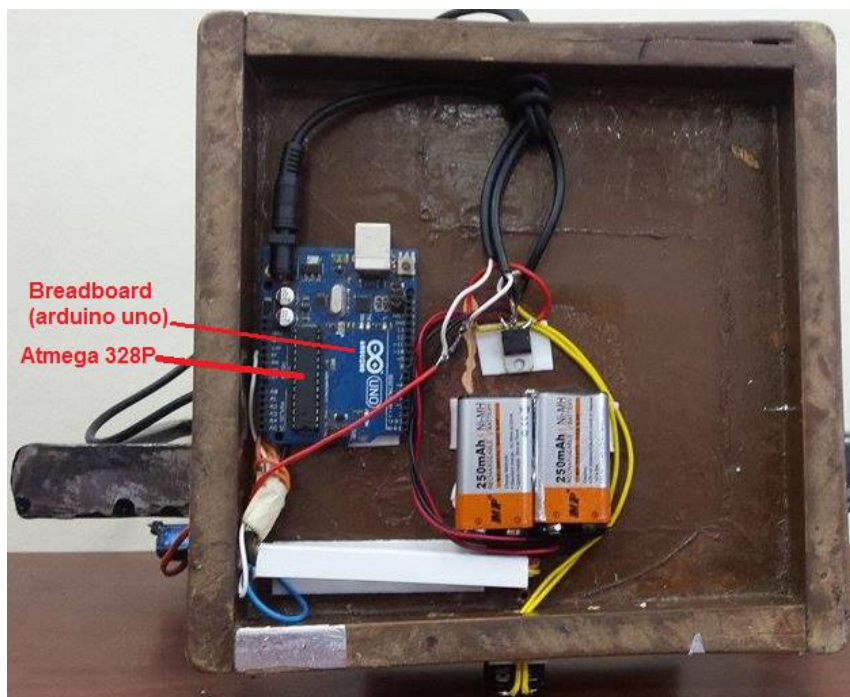


Figura 34. Montaje de elementos bajo la base de madera del prototipo.
Fuente: Autor.

Bajo la base de madera del módulo de soporte (ver Figura 35) también se montan las baterías y el regulador de voltaje. El diodo mostrado cumple con la función de polarizar el panel solar con el almacenador de energía y el súper condensador.

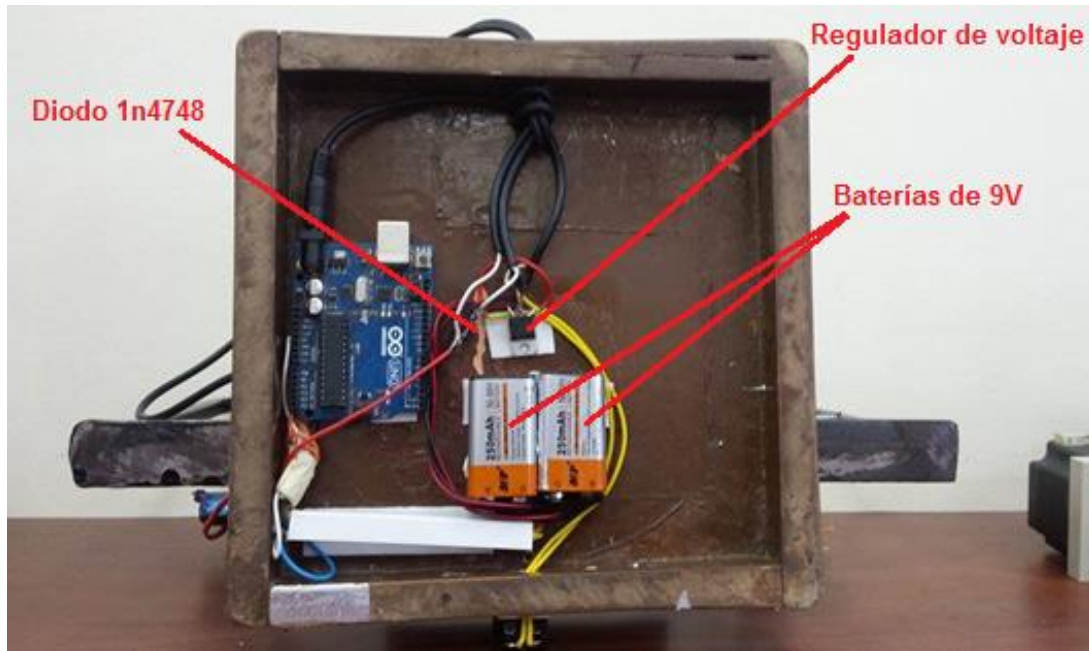


Figura 35. Sistema eléctrico.
Fuente: Autor.

3.2. Sobre las pruebas efectuadas para determinar el desempeño del prototipo.

3.2.1. Planeación del experimento.

Para validar el desempeño del prototipo, se planeó determinar el voltaje y la corriente entregada a una carga experimental de $1\text{ K}\Omega$, en el período comprendido entre las 6h00 y las 18h00, con toma de muestras en intervalos de una hora.

Se planteó la necesidad de comparar el desempeño del prototipo contra el desempeño de una celda fotovoltaica con seguidor solar y una celda fotovoltaica fija inclinada 45° con respecto a la horizontal.

Los experimentos se realizaron en el campus de la UTPL, entre el 14 y 15 del mes de febrero de 2017. La Figura 36 muestra una panorámica del experimento realizado. La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos.



Figura 36. Equipamiento para la evaluación del desempeño del prototipo.
Fuente: Autor.

Tabla 1.

Resultados de los experimentos para determinar el desempeño del prototipo

Hora	Voltaje, V			Corriente, A		
	Prototipo	Celda con seguimiento solar	Celda sin seguimiento solar	Prototipo	Celda con seguimiento solar	Celda sin seguimiento solar
6h00	7,23	7,28	5,92	7,61	7,66	6,23
7h00	8,25	8,79	7,02	8,68	9,25	7,39
8h00	10,56	11,03	9,39	11,12	11,61	9,88
9h00	11,02	11,65	10,89	11,60	12,26	11,46
10h00	12,68	12,97	12,98	13,35	13,65	13,66
11h00	12,89	13,42	13,01	13,57	14,13	13,69
12h00	13,02	13,46	12,91	13,71	14,17	13,59
13h00	13,27	13,87	12,53	13,97	14,60	13,19
14h00	12,75	12,96	12,35	13,42	13,64	13,00
15h00	13,17	13,67	12,03	13,86	14,39	12,66
16h00	10,23	10,87	9,57	10,77	11,44	10,07
17h00	10,64	11,02	8,98	11,20	11,60	9,45
18h00	10,05	10,56	7,65	10,58	11,12	8,05

Fuente: Autor

3.2.2. Discusión de resultados.

La Figura 37 muestra la variación de voltaje en cada uno de los experimentos (prototipo P, celda con seguimiento solar CFSS, y celda fija CFF) a lo largo del día. La gráfica muestra que el mejor desempeño se obtiene para la CFSS, mientras que el más pobre corresponde a la CFF.

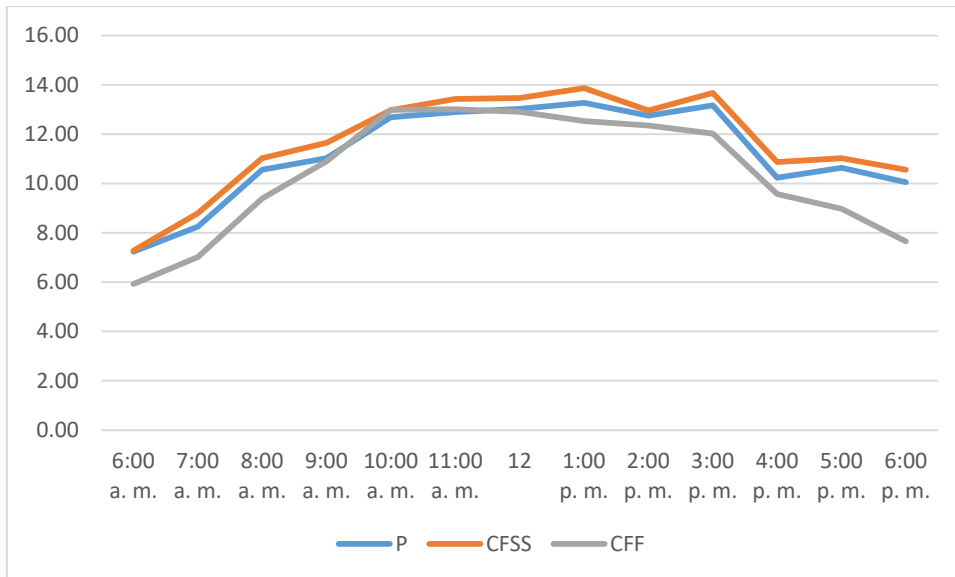


Figura 37. Variación de niveles de voltaje en los tres experimentos
Fuente: Autor, realizado en Excel 2016.

La Figura 38 muestra la variación de corriente en cada uno de los experimentos a lo largo del día. Nuevamente, la gráfica muestra que el mejor desempeño se obtiene para la CFSS, mientras que el más pobre corresponde a la CFF.

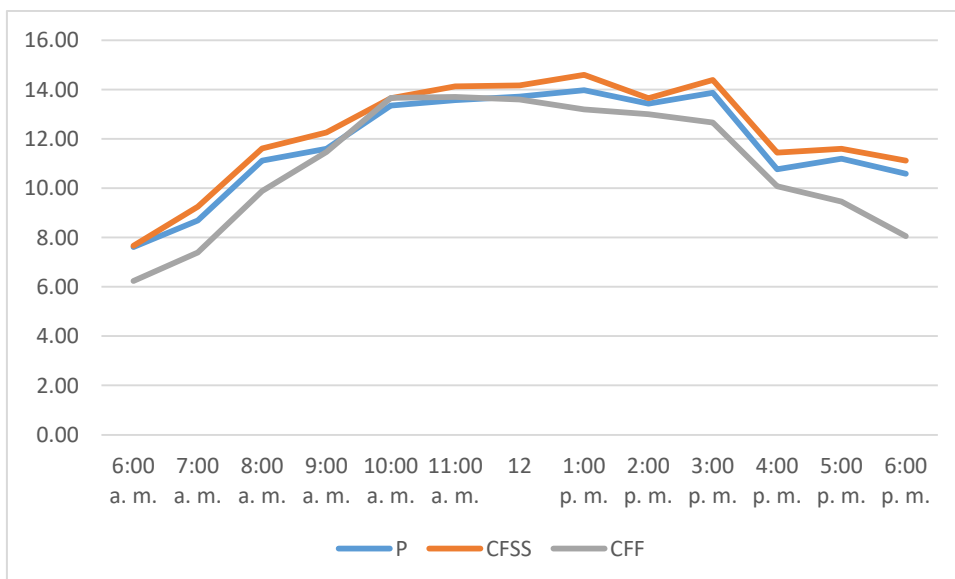


Figura 38. Variación de niveles de corriente en los tres experimentos
Fuente: Autor, realizado en Excel 2016.

Los resultados obtenidos no revelan una mejora significativa de los indicadores del concentrador solar esférico versus la celda fotovoltaica. El equipo de trabajo identificó dos posibles causas. La primera está relacionada con la **calidad de la esfera**. Ante la imposibilidad de construirla en la ciudad de Loja, se procedió a la adquisición de una

en el mercado, lo que no permite garantizar la calidad del material y por ende de los procesos ópticos.

La segunda se refiere a la relación entre el área iluminada por el foco de la esfera y el tamaño de la celda fotovoltaica. Esta situación incide en que el rayo concentrado de la esfera incide solo sobre una pequeña área de la celda.

Este problema deberá ser atendido en una siguiente versión del prototipo.

CONCLUSIONES

Ecuador es un lugar privilegiado para la recolección de energía solar, debido a que se encuentra en la línea ecuatorial en la que los rayos caen perpendicularmente y la trayectoria del Sol no varía significativamente.

Desde algunos años atrás, los concentradores esféricos se utilizan para maximizar la luz proveniente de una fuente. Como resultado de los trabajos de André Broessel, los concentradores esféricos empezaron a utilizarse en aplicaciones solares.

Como resultado del análisis de los 5 diseños de concentradores solares propuestos por el grupo de trabajo, se priorizó la implementación de aquel con mejores perspectivas de desempeño, por poseer un soporte para el colector esférico y un módulo de seguimiento solar.

Al diseñar el módulo del concentrador esférico se elaboró un modelo matemático que permitió explicar los fenómenos ópticos ocurrientes en la esfera y ubicar la posición del foco, actividad importante para la implementación del prototipo.

Como resultado de la simulación del desempeño del módulo de seguimiento solar, se puede suprimir el servo para corrección de trayectoria, por cuanto se demostró su poca aplicabilidad.

Para validar el desempeño del prototipo, se planeó determinar el voltaje y la corriente entregada a una carga experimental de $1\text{ K}\Omega$, en el período comprendido entre las 6h00 y las 18h00, con toma de muestras en intervalos de una hora. Los resultados obtenidos mostraron que el mejor desempeño se obtiene para una celda fotovoltaica con seguimiento solar, mientras que el más pobre corresponde a una celda fotovoltaica fija.

Los resultados obtenidos no revelan una mejora significativa de los indicadores del concentrador solar esférico versus la celda fotovoltaica. El equipo de trabajo identificó dos posibles causas: la calidad del material y por ende de los procesos ópticos, y la relación entre el área iluminada por el foco de la esfera y el tamaño de la celda fotovoltaica. Este problema deberá ser atendido en una siguiente versión del prototipo.

BIBLIOGRAFÍA

- Braulio, B. G., Morales, R. C., & Díaz, H. B. (2013). *Polilibro de física IV*. México. Recuperado el 31 de Octubre de 2016, de <http://www.academico.cecyt7.ipn.mx/FisicalV/unidad2/lentes.htm>
- Cabrera Silva, S., Lissi Gervaso, E., & Honeyman Mauro, J. (2005). *Radiación ultravioleta y salud*. Santiago de Chile, Chile: Editorial Universitaria, S.A. Recuperado el 12 de Junio de 2016, de https://books.google.com.ec/books?id=KrUfTWblPhMC&pg=PA88&dq=radiacion+directa&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjS6LXfi_NAhUJpR4KHfiFDVYQ6AEIjAB#v=onepage&q=radiacion%20directa&f=false
- Cantos Serrano, J. (2016). *Configuración de instalaciones fotovoltaicas*. Madrid: Paraninfo. Recuperado el 12 de Septiembre de 2016
- CONELEC. (Agosto de 2008). *Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica*. Recuperado el 22 de Junio de 2016, de CONELEC: http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/11/Atlas-Solar-Ecuador-CONELEC-CIE-2008-dic_2014.pdf
- Delgado Orellana, G. J., & Orellana Samaniego, M. L. (Febrero de 2015). *Estimación de la radiación solar global diaria en el cantón Cuenca mediante la aplicación del modelo Bristow y Campbell*. Recuperado el 4 de Julio de 2016, de Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8428/1/UPS-CT004934.pdf>
- Discover Physiks. (15 de Abril de 2012). *¿Existe la luz Invisible? Reflexión, Refracción y Ondas EM*. Recuperado el 31 de Octubre de 2016, de Discover Physiks: <http://fisikamir.blogspot.com/2011/03/27-reflexion-de-la-luz.html>
- Ecured. (9 de Mayo de 2013). *Lente de Fresnel*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2016, de Ecured: https://www.ecured.cu/Lente_de_Fresnel
- EFE. (23 de Octubre de 2014). *Los paneles fotovoltaicos están superados: llegan los concentradores solares!* Recuperado el 18 de Julio de 2016, de América Economía: <http://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/los-paneles-fotovoltaicos-estan-superados-llegan-los-concentradores-solares>
- Experimenta Magazine . (29 de Mayo de 2014). *Rawlemon: el futuro de la energía solar tiene forma de esfera*. Recuperado el 18 de Julio de 2016, de Experimenta Magazine : <http://www.experimenta.es/noticias/industrial/rawlemon-futuro-energia-solar-esfera-4424/>
- García Badell, J. J. (1983). *Cálculo de la energía solar*. Madrid: Neografis. Recuperado el 12 de Septiembre de 2016
- González, J. V. (2009). *Energías renovables*. Barcelona, España: Reverté. Recuperado el 12 de Septiembre de 2016

- Guzmán Martínez, O., Baldión Rincón, J. V., Simbaqueva Fonseca, O., Zapata, H. J., & Chacón Cardona, C. (2013). *Coeficientes para estimar la radiación solar global a partir del brillo solar en la zona cafetera colombiana*. Recuperado el 12 de SEPTIEMBRE de 2016, de CENICAFÉ: [http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/526/1/arc064\(01\)60-76.pdf](http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/526/1/arc064(01)60-76.pdf)
- Iluminet. (8 de Enero de 2014). Rawlemon: Gerenerdor Solar. *Iluminet*, 1. Recuperado el 10 de Junio de 2016, de <http://www.iluminet.com/rawlemon-generador-solar-esferico/>
- Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables. (12 de Diciembre de 2014). *Potencial Energético del Sol*. Recuperado el 10 de Junio de 2016, de Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables: http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/12/SOLAR_DOSSIER.pdf
- Jaramillo Mora, A. (Noviembre de 2014). *Diseño de un Concentrador Solar con Lente de Fresnel para propósitos académicos y de experimentación*. Recuperado el 3 de Agosto de 2016, de Universidad Nacional Autónoma de México: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/6707/Tesis.pdf?sequence=1>
- Labcenter Eletronics Ltd. (2017). *Proteus*. Recuperado el 14 de Febrero de 2017, de Proteus: <https://www.labcenter.com/>
- López Guzmán, V. (2012). *CCPS*. Lima: Guzlop. Recuperado el 18 de Julio de 2016, de http://www.guzlop-editoras.com/web_des/ener01/enersolar/pld0524.pdf
- Lozada Godoy, C. (Septiembre de 2014). *Diseño de receptor de torre central para generación directa de vapor con perfil de potencia variable longitudinal y transversal*. Recuperado el 18 de Julio de 2016, de Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía: http://oa.upm.es/32877/1/PFC_CARLOS_LOSADA_GODOY.pdf
- Masluz. (2016). *Faros antiniebla con lupa*. Recuperado el 21 de SEPTIEMBRE de 2016, de Masluz: <http://www.masluz.mx/par-de-faros-auxiliares-antiniebla-con-lupa/p>
- Ministerio de educación, cultura y deporte España. (2000). *La física y la química: a la intervención*. Madrid: Solana e hijos A.G S.A. Recuperado el 1 de Diciembre de 2016, de <https://books.google.com.ec/books?id=Jc60V565-rwC&pg=PA122&dq=ley+de+snell+refraccion+de+la+luz&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwigwsWruNPQAhXDRCYKHRNSCdoQ6AEIHTAB#v=onepage&q=ley%20de%20snell%20&f=false>
- Paredes, V. C. (Septiembre de 2012). *Diseño de captador solar cilíndrico parabólico para aplicaciones rurales en Paraguay*. Recuperado el 04 de Julio de 2016, de Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas: http://oa.upm.es/14011/1/PFC_CARMEN_PAREDES_VELASCO.pdf
- Rawlemon. (2013). *Betaray*. Recuperado el 21 de Septiembre de 2016, de Rawlemon: <https://www.indiegogo.com/projects/rawlemon-solar-devices#/>
- Recuerdos de Pandora. (11 de Marzo de 2010). *Historia de la energía solar*. Recuperado el 20 de Junio de 2016, de Recuerdos de Pandora: <http://recuerdosdepandora.com/historia/inventos/historia-de-la-energia-solar/>

- Reyes Coca, S. (2002). *Introducción a la meteorología*. California: Mexicali. Recuperado el 12 de Julio de 2016
- Rossi, B. (2003). *Fundamentos de óptica*. España: Editorial Reverté S.A. Recuperado el 3 de Agosto de 2016, de <https://books.google.com.ec/books?id=Hr76qpY-roMC&pg=PA86&dq=lentes+convergentes+y+divergentes&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjajvSNnabOAhUF6iYKHbVxAlgQ6AEIGjAA#v=onepage&q=lentes&f=false>
- Sendiña Nadal, I., & Pérez Muñuzuri, V. (2006). *Fundamentos de meteorología*. Recuperado el 4 de Julio de 2016, de Manuais Universtarios: https://books.google.com.ec/books?id=HE3xtRmNg4kC&pg=PP3&lpg=PP3&dq=fundamentos+de+meteorología+universidad+santiago+de+compostela&source=bl&ots=VweTww5fe&sig=JhRBUUsDfYNACsNAUiPiQVONSyr0&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi0_szl09rNAhWJ1B4KHQAHBalQ6AEIGjAA#v=onepage&
- Sketchup. (2016). *Sketchup*. Recuperado el 15 de Julio de 2016, de Sketchup: Sketchup
- Sustentar Tecnología y Ambiente. (2 de Marzo de 2014). *Betaray*. Recuperado el 21 de Septiembre de 2016, de Sustentar tecnología y Ambiente: <http://www.sustentartv.com/concentradores-solares-esfericos/>
- Timbre Buildings. (2016). *Sketchup*. Recuperado el 14 de Febrero de 2017, de Sketchup: <http://www.sketchup.com/es>
- Torresol Energy. (2010). *Tecnología de torre central*. Recuperado el 18 de Julio de 2016, de Torresol Energy: <http://www.torresolenergy.com/TORRESOL/tecnologia-torre-central/es>
- Universitas Nebrissensis S.A. (s.f.). *Módulo 5: Reflexión y Refracción*. Recuperado el 3 de Agosto de 2016, de Universitas Nebrissensis S.A.: https://www.nebrija.es/~cmalagon/Fisica_Aplicada/transparencias/05-Luz/18_-_reflexion_y_refraccion.pdf
- Villasante, C. (2010). *Tecnologías solares termoeléctricas*. Recuperado el 18 de Julio de 2016, de Tecnologías solares termoeléctricas: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/energias-renovables/temas/termoelectrica/revision/revision.html>

ANEXOS

ANEXO 1

1.1. Código de programación de arduino

```
#include <Servo.h> // librería para los servomotores

// 180 horizontal MAXIMO
Servo horizontal; // declaramos el valor para el servo horizontal
int servoh = 90; // valor por defecto al iniciar el código

int servohLimitHigh = 160; // límite para posición superior en grados
int servohLimitLow = 10; // límite para posición inferior en grados

Servo vertical; // servomotor de posicionamiento
int servov = 100; // valor por defecto al iniciar el código
int servovLimitHigh = 170; // límite para posición superior en grados
int servovLimitLow = 10; // límite para posición inferior en grados

int ldrLt = 0; // conexión de los LDR
int ldrRt = 1;
int ldrLd = 2;
int ldrRd = 3;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  horizontal.attach(9); //servo horizontal pin digital 9
  vertical.attach(10); // servo vertical pin digital 10
  horizontal.write(90);
  vertical.write(90);
  delay(100); // tiempo de muestreos
}

void loop()
{
  int lt = analogRead(ldrLt); // top left (superior izquierdo)
  int rt = analogRead(ldrRt); // top right (superior derecho)
  int ld = analogRead(ldrLd); // down left (inferior izquierdo)
  int rd = analogRead(ldrRd); // down rigt (inferior derecho)

  // int dtime = analogRead(4)/20; // Opcional si utilizamos potenciómetros para la
  // velocidad
  // int tol = analogRead(5)/4;
  int dtime = 5; // límite de tiempo de ajuste
  int tol = 300;
```

```

int avt = (lt + rt) / 2; // valor superior máximo
int avd = (ld + rd) / 2; // valor inferior máximo
int avl = (lt + ld) / 2; // valor izquierdo máximo
int avr = (rt + rd) / 2; // valor derecho máximo

int dvert = avt - avd; // diferencia entre LDR superior y LDR inferior
int dhoriz = avl - avr; // diferencia entre LDR izquierdo y LDR derecho


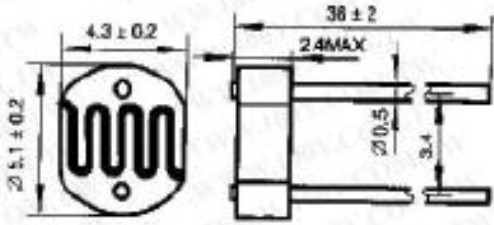
if (-1*tol > dvert || dvert > tol) // revisar la diferencia para cambiar al ángulo vertical
{
if (avt > avd) // si es mayor vertical 1 a vertical 2 decrece el valor en grados
{
servov = --servov; // establece el límite máximo de giro (170 grados o 10 )
dependiendo del valor tomado anteriormente en la variable de grados
if (servov > servovLimitHigh)
{
servov = servovLimitHigh;
}
}
else if (avt < avd) // si es menor LDR vertical 1 a LDR vertical 2 decrece el valor en
grados
{
servov = ++servov; // establece el límite máximo de giro (170 grados o 10 )
dependiendo del valor tomado anteriormente en la variable de grados
if (servov < servovLimitLow)
{
servov = servovLimitLow;
}
}
vertical.write(servov);
}
if (-1*tol > dhoriz || dhoriz > tol) // revisar la diferencia para cambiar el ángulo
horizontal
{
if (avl > avr)
{
servoh = --servoh;
if (servoh < servohLimitLow)

```

```
{
  servoh = servohLimitLow;
}
}
else if (avl < avr)
{
  servoh = ++servoh;
  if (servoh > servohLimitHigh)
  {
    servoh = servohLimitHigh;
  }
}
horizontal.write(servoh);
}
delay(dtime); // retraso de tiempo en segundos
}
```

ANEXO 2

1.2. Datasheet de fotoresistores LDR

CdS PHOTOCONDUCTIVE CELLS		GL5528														
		<ul style="list-style-type: none"> ▲ Epoxy encapsulated ▲ Quick response ▲ Small size ▲ High sensitivity ▲ Reliable performance ▲ Good characteristic of spectrum 														
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Light Resistance at 10Lux (at 25°C)</td> <td style="padding: 2px;">8~20KΩ</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Dark Resistance at 0 Lux</td> <td style="padding: 2px;">1.0MΩ(min)</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Gamma value at 100-10Lux</td> <td style="padding: 2px;">0.7</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Power Dissipation(at 25°C)</td> <td style="padding: 2px;">100mW</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Max Voltage (at 25°C)</td> <td style="padding: 2px;">150V</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Spectral Response peak (at 25°C)</td> <td style="padding: 2px;">540nm</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Ambient Temperature Range:</td> <td style="padding: 2px;">- 30~+70°C</td> </tr> </table>	Light Resistance at 10Lux (at 25°C)	8~20KΩ	Dark Resistance at 0 Lux	1.0MΩ(min)	Gamma value at 100-10Lux	0.7	Power Dissipation(at 25°C)	100mW	Max Voltage (at 25°C)	150V	Spectral Response peak (at 25°C)	540nm	Ambient Temperature Range:	- 30~+70°C	<p style="text-align: center;">Outline</p> 	
Light Resistance at 10Lux (at 25°C)	8~20KΩ															
Dark Resistance at 0 Lux	1.0MΩ(min)															
Gamma value at 100-10Lux	0.7															
Power Dissipation(at 25°C)	100mW															
Max Voltage (at 25°C)	150V															
Spectral Response peak (at 25°C)	540nm															
Ambient Temperature Range:	- 30~+70°C															

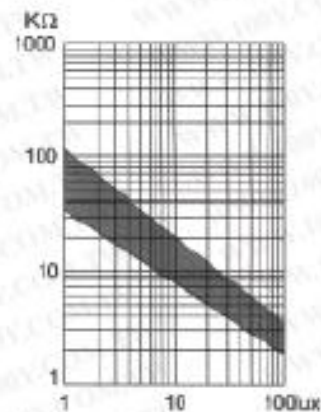
Measuring Conditions

1. Light Resistance:
measured at 10 lux with standard light A (2854k color temperature) and 2h pre-illumination at 400-600 lux prior to testing.
2. Dark Resistance:
measured 10 seconds after pulsed 10 lux.
3. Gamma Characteristic:
between 10 lux and 100 lux and given by

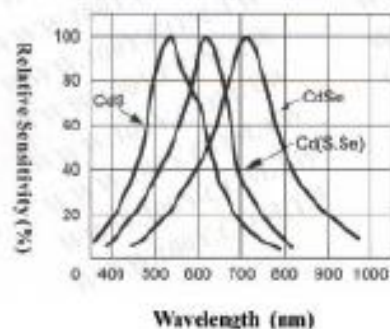
$$T = \frac{\log(R_{10}/R_{100})}{\log(100/10)} = \log(R_{10}/R_{100})$$
 R10, R100 cell resistance at 10 lux and 100 lux.
The error of T is +0.1.
4. Pmax:
Max. power dissipation at ambient temperature of 25°C.
5. Vmax:
Max. voltage in darkness that may be applied to the cell continuously.

勝特力材料 886-3-5753170
 勝特力电子(上海) 86-21-54151736
 勝特力电子(深圳) 86-755-83298787
[Http://www.100y.com.tw](http://www.100y.com.tw)

Illuminance Vs. Photo Resistance



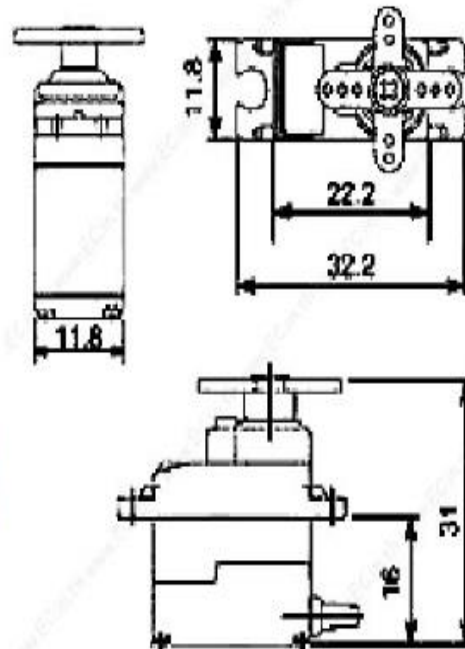
Spectral Response



ANEXO 3

1.3. Datasheet de servo motor

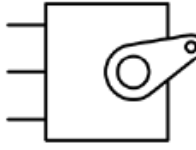
SG90 9 g Micro Servo

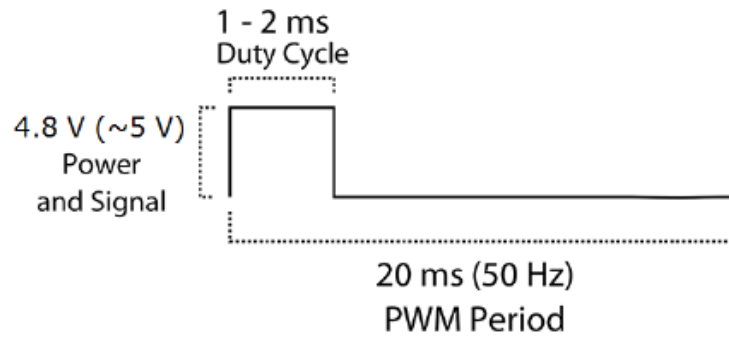


Tiny and lightweight with high output power. Servo can rotate approximately 180 degrees (90 in each direction), and works just like the standard kinds but *smaller*. You can use any servo code, hardware or library to control these servos. Good for beginners who want to make stuff move without building a motor controller with feedback & gear box, especially since it will fit in small places. It comes with a 3 horns (arms) and hardware.

Specifications

- Weight: 9 g
- Dimension: 22.2 x 11.8 x 31 mm approx.
- Stall torque: 1.8 kgf·cm
- Operating speed: 0.1 s/60 degree
- Operating voltage: 4.8 V (~5V)
- Dead band width: 10 μ s
- Temperature range: 0 °C – 55 °C

PWM=Orange (⏏) 
Vcc = Red (+)
Ground=Brown (-)



Position "0" (1.5 ms pulse) is middle, "90" (~2 ms pulse) is all the way to the right, "-90" (~1 ms pulse) is all the way to the left.

ANEXO 4

1.4. Datasheet de supercondensador

Panasonic Electric Double Layer Capacitors (Gold Capacitor)

Stacked Coin Type

Series : NF



Features

- Endurance : +70 °C 1000 h
- RoHS compliant

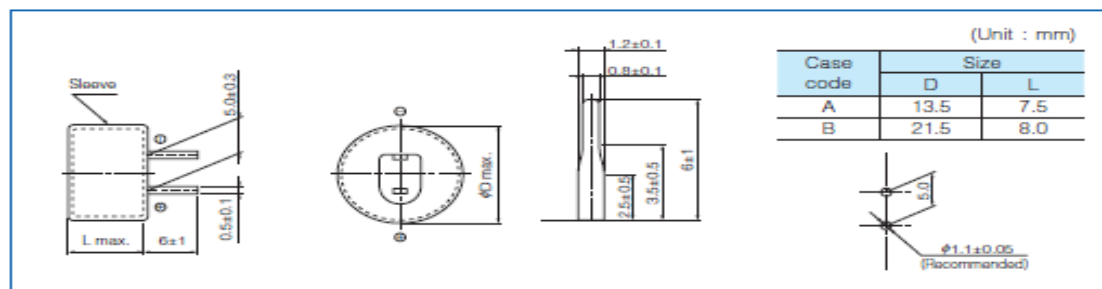
Recommended applications

- Memory back-up for video and audio equipment, cameras, telephones, printers, data terminals, rice cookers and intelligent remote controls.

Specifications

Category temp. range	-25 °C to +70 °C	
Maximum operating voltage	5.5 V.DC	
Nominal cap.range	0.22 F to 1.5 F	
Characteristics at low temperature	Capacitance change	±30 % of initial measured value at +20 °C (at -25 °C)
	Internal resistance	≤ 5 times of initial measured value at +20 °C (at -25 °C)
Endurance	After 1000 hours application of 5.5 V.DC at +70 °C, the capacitor shall meet the following limits.	
	Capacitance change	±30 % of initial measured value
Shelf life	After 1000 hours storage at +70 °C without load, the capacitor shall meet the specified limits for Endurance.	
	Internal resistance	≤ 4 times of initial specified value

Dimensions in mm(not to scale)



Characteristics list

Maximum operating voltage (V.DC)	Capacitance (F)	Capacitance tolerance (F)	Internal resistance (initial specified value) (Ω) at 1 kHz	Recommended discharge current	Parts number	Case code	Mass (Reference value) (g)	Min. packaging q'ty (pcs)
5.5	0.22	0.176 to 0.396	≤ 75	300 μ A or less	EECF5R5U224	A	2.6	200
	0.47	0.376 to 1.41	≤ 30	1 mA or less	EECF5R5U474	B	7.9	100
	1.0	0.80 to 1.80	≤ 30	1 mA or less	EECF5R5U105	B	8.1	100
	1.5	1.20 to 2.70	≤ 30	1 mA or less	EECF5R5U155	B	8.1	100

ANEXO 5

1.5. Datasheet de diodo 1n5400



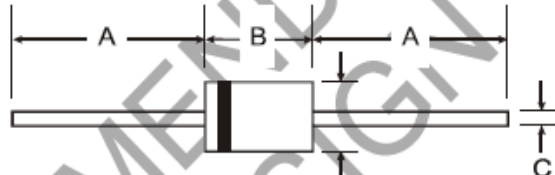
NOT RECOMMENDED FOR NEW DESIGN
USE S3A-S3M Series

1N5400 - 1N5408

3.0A RECTIFIER

Features

- Diffused Junction
- High Current Capability and Low Forward Voltage Drop
- Surge Overload Rating to 200A Peak
- Low Reverse Leakage Current
- Lead Free Finish, RoHS Compliant (Note 3)



Mechanical Data

- Case: DO-201AD
- Case Material: Molded Plastic. UL Flammability Classification Rating 94V-0
- Moisture Sensitivity: Level 1 per J-STD-020C
- Terminals: Finish — Tin. Plated Leads Solderable per MIL-STD-202, Method 208 (B3)
- Polarity: Cathode Band
- Marking: Type Number
- Weight: 1.1 grams (approximate)

SMB		
Dim	Min	Max
A	25.4	-
B	7.20	9.50
C	1.20	1.30
D	4.80	5.30
All Dimensions in mm		

Maximum Ratings and Electrical Characteristics @T_A = 25°C unless otherwise specified

Single phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%.

Characteristic	Symbol	1N	1N	1N	1N	1N	1N	1N	Unit
		5400	5401	5402	5404	5406	5407	5408	
Peak Repetitive Reverse Voltage	V _{RRM}								V
Working Peak Reverse Voltage	V _{RWM}	50	100	200	400	600	800	1000	V
DC Blocking Voltage	V _R								V
RMS Reverse Voltage	V _{R(RMS)}	35	70	140	280	420	560	700	V
Average Rectified Output Current @ T _A = 105°C (Note 1)	I _O	3.0							A
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current 8.3ms Single half sine-wave superimposed on rated load	I _{FSM}	200							A
Forward Voltage @ I _F = 3.0A	V _{FM}	1.0							V
Peak Reverse Current @ T _A = 25°C	I _{RM}	10							μA
at Rated DC Blocking Voltage @ T _A = 150°C	I _{RM}	100							μA
Typical Total Capacitance (Note 2)	C _T	50				25			pF
Typical Thermal Resistance Junction to Ambient	R _{θJA}	15							°C/W
Operating and Storage Temperature Range	T _J , T _{STG}	-85 to +150							°C

- Notes:
1. Valid provided that leads are kept at ambient temperature at a distance of 9.5mm from the case.
 2. Measured at 1.0MHz and applied reverse voltage of 4.0V DC.
 3. RoHS revision 13.2.2003. Glass and high temperature solder exemptions applied, see EU Directive Annex Notes 5 and 7.

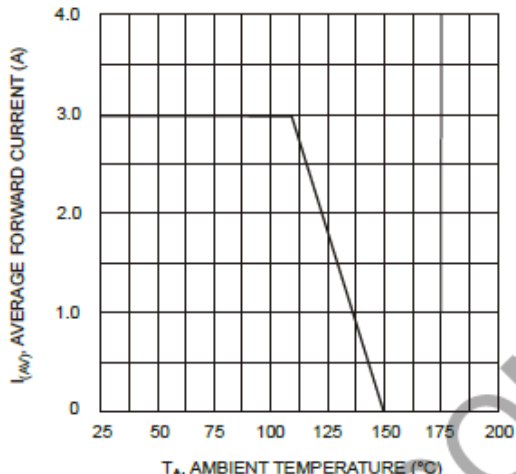


Fig. 1 Forward Current Derating Curve

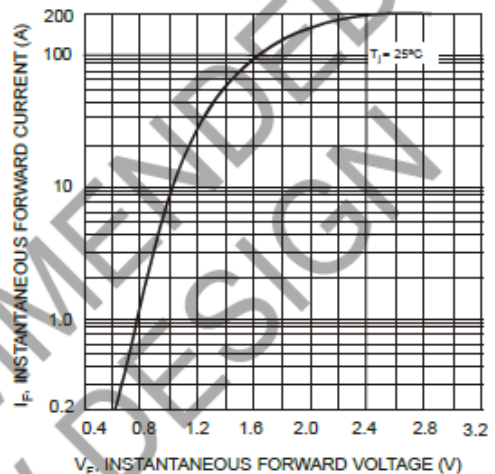


Fig. 2 Typical Forward Characteristics

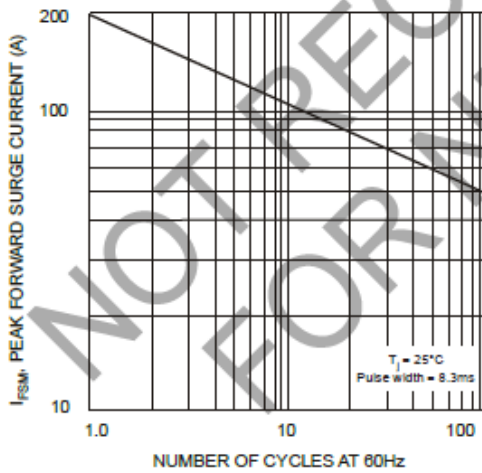


Fig. 3 Maximum Non-Repulsive Surge Current

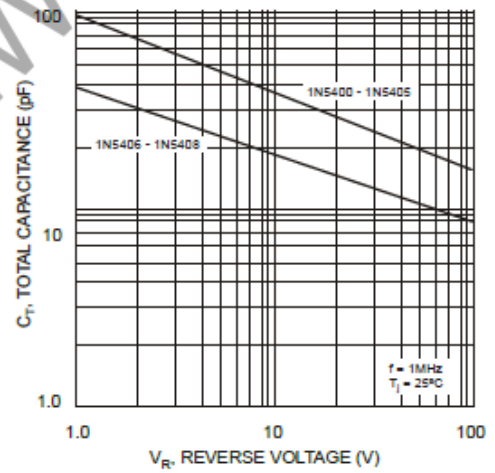


Fig. 4 Typical Total Capacitance

Ordering Information (Note 4)

Device	Packaging	Shipping
1N5400-B	DO-201AD	500 Bulk
1N5400-T	DO-201AD	1.2K/Tape & Reel, 13 inch
1N5401-B	DO-201AD	500 Bulk
1N5401-T	DO-201AD	1.2K/Tape & Reel, 13 inch
1N5402-B	DO-201AD	500 Bulk
1N5402-T	DO-201AD	1.2K/Tape & Reel, 13 inch
1N5404-B	DO-201AD	500 Bulk
1N5404-T	DO-201AD	1.2K/Tape & Reel, 13 inch
1N5406-B	DO-201AD	500 Bulk
1N5406-T	DO-201AD	1.2K/Tape & Reel, 13 inch
1N5407-B	DO-201AD	500 Bulk
1N5407-T	DO-201AD	1.2K/Tape & Reel, 13 inch
1N5408-B	DO-201AD	500 Bulk
1N5408-T	DO-201AD	1.2K/Tape & Reel, 13 inch

Notes: 4. For Packaging Details, go to our website at <http://www.diodes.com/datasheets/ap02008.pdf>.

IMPORTANT NOTICE

Diodes Incorporated and its subsidiaries reserve the right to make modifications, enhancements, improvements, corrections or other changes without further notice to any product herein. Diodes Incorporated does not assume any liability arising out of the application or use of any product described herein; neither does it convey any license under its patent rights, nor the rights of others. The user of products in such applications shall assume all risks of such use and will agree to hold Diodes Incorporated and all the companies whose products are represented on our website, harmless against all damages.

LIFE SUPPORT

Diodes Incorporated products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without the expressed written approval of the President of Diodes Incorporated.

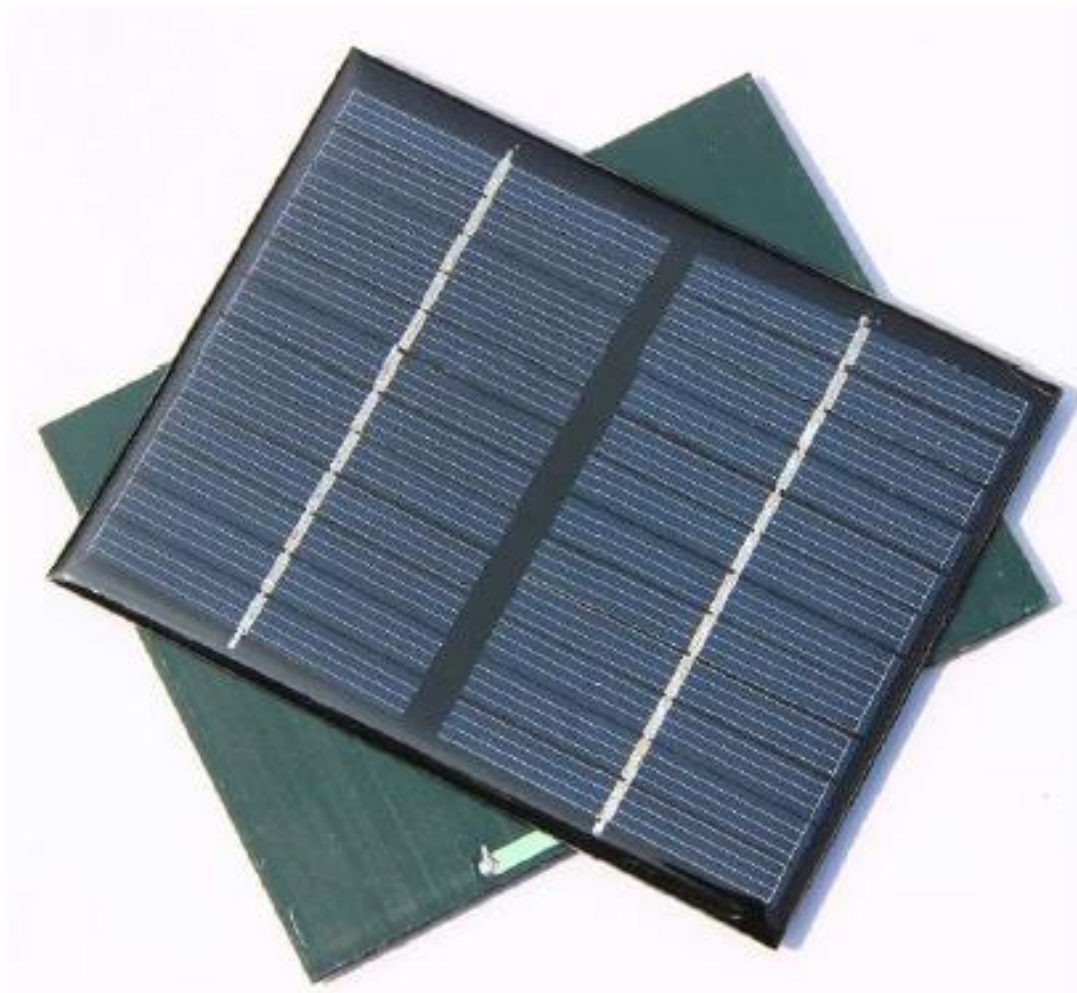
ANEXO 6

1.6. Datasheet de celda fotovoltaica de 12 V



www.rambal.com

Panel fotovoltaico 12V 1.45W. (Traducido por Rambal Ltda.)



Descripción

Este producto es un moderno mini panel solar, contiene celdas solares las cuales están encapsuladas y protegidas por un marco durable de silicón poli cristalino exterior.

Las dimensiones de este panel solar son 114mm x 89mm x 3mm.

Este panel solar posee muchas aplicaciones como: pequeños proyectos caseros, proyectos científicos, aplicaciones electrónicas, para cargar pequeñas baterías DC, para construir sus propios modelos o juguetes autoalimentados.

Características:

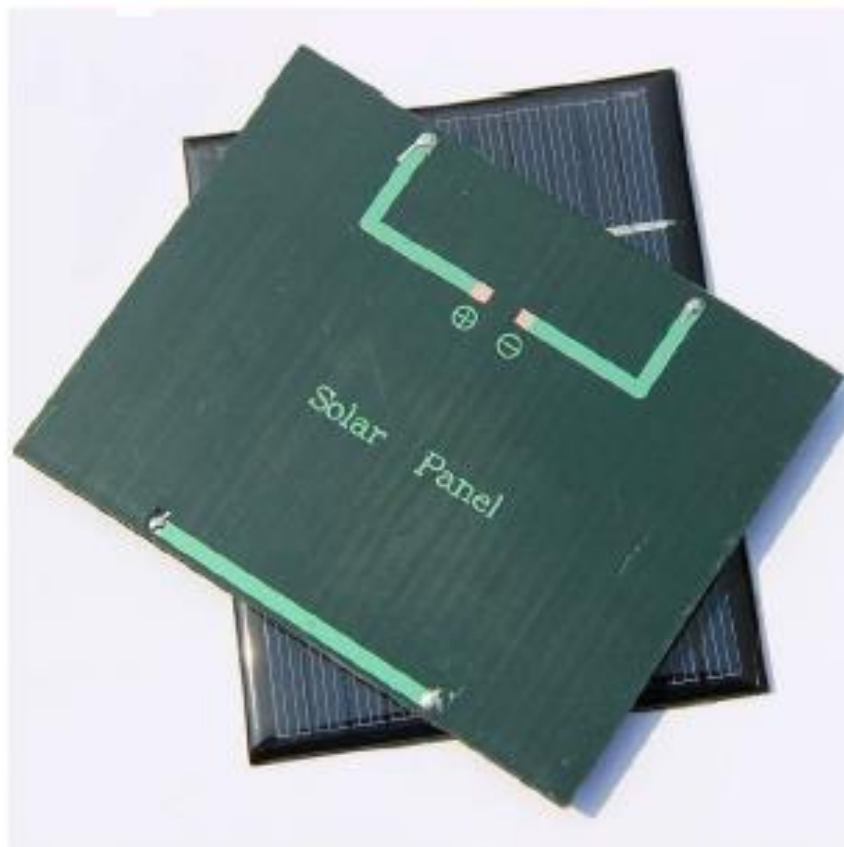
- Cumple con normas de ROHS.
- Celdas solares protegidas con un marco de silicón.
- Material polycrystalline silicon.
- Voltaje máximo de trabajo: 12V.
- Corriente máxima de trabajo: 0-120ma MAX.
- Poder: 1.45W.
- Dimensiones: 114mm x 89mm x 3mm.

Aplicaciones:

- Cargar baterías DC (agregando modulo electrónico).
- Alimentación de placas electrónicas (Arduino, etc.).
- Alimentación de pequeños motores etc.
- Proyectos educativos.

Nota: Recuerde que todos los paneles fotovoltaicos deben estar dirigidos al sol de forma directa para obtener la eficiencia indicada por el fabricante.

Imágenes:



ANEXO 7

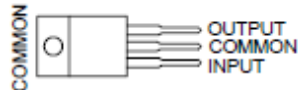
1.7. Datasheet de regulador de voltaje LM7805

μA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

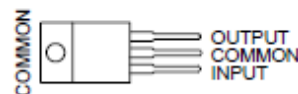
SLV0056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

- 3-Terminal Regulators
- Output Current up to 1.5 A
- Internal Thermal-Overload Protection
- High Power-Dissipation Capability
- Internal Short-Circuit Current Limiting
- Output Transistor Safe-Area Compensation

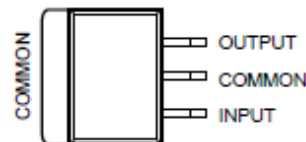
KC (TO-220) PACKAGE
(TOP VIEW)



KCS (TO-220) PACKAGE
(TOP VIEW)



KTE PACKAGE
(TOP VIEW)



description/ordering information

This series of fixed-voltage integrated-circuit voltage regulators is designed for a wide range of applications. These applications include on-card regulation for elimination of noise and distribution problems associated with single-point regulation. Each of these regulators can deliver up to 1.5 A of output current. The internal current-limiting and thermal-shutdown features of these regulators essentially make them immune to overload. In addition to use as fixed-voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable output voltages and currents, and also can be used as the power-pass element in precision regulators.

ORDERING INFORMATION

T _J	V _{O(NOM)} (V)	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
0°C to 125°C	5	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7805CKTER	μA7805C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7805CKC	μA7805C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7805CKCS	
	8	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7808CKTER	μA7808C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7808CKC	μA7808C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7808CKCS	
	10	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7810CKTER	μA7810C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7810CKC	μA7810C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7810CKCS	μA7810C
	12	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7812CKTER	μA7812C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7812CKC	μA7812C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7812CKCS	
15	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7815CKTER	μA7815C	
	TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7815CKC	μA7815C	
	TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7815CKCS		
24	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7824CKTER	μA7824C	
	TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7824CKC	μA7824C	

†Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.

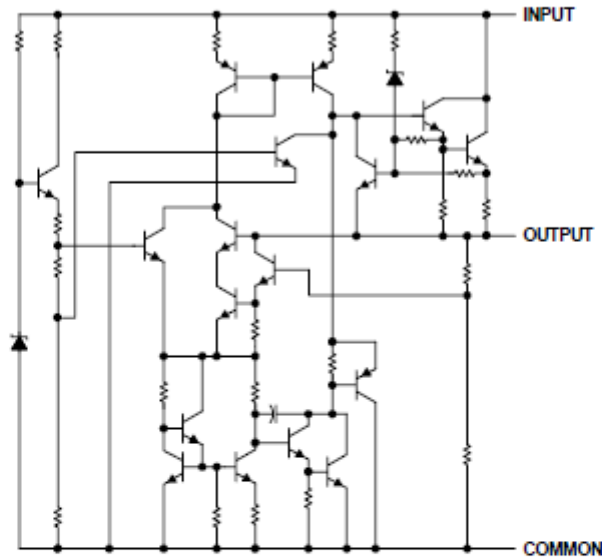


Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

μA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLV8056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

schematic



absolute maximum ratings over virtual junction temperature range (unless otherwise noted)†

Input voltage, V_i : $\mu A7824C$	40 V
All others	35 V
Operating virtual junction temperature, T_J	150°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	260°C
Storage temperature range, T_{stg}	-65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

package thermal data (see Note 1)

PACKAGE	BOARD	θ_{JC}	θ_{JA}
POWER-FLEX (KTE)	High K, JESD 51-5	3°C/W	23°C/W
TO-220 (KC/KCS)	High K, JESD 51-5	3°C/W	19°C/W

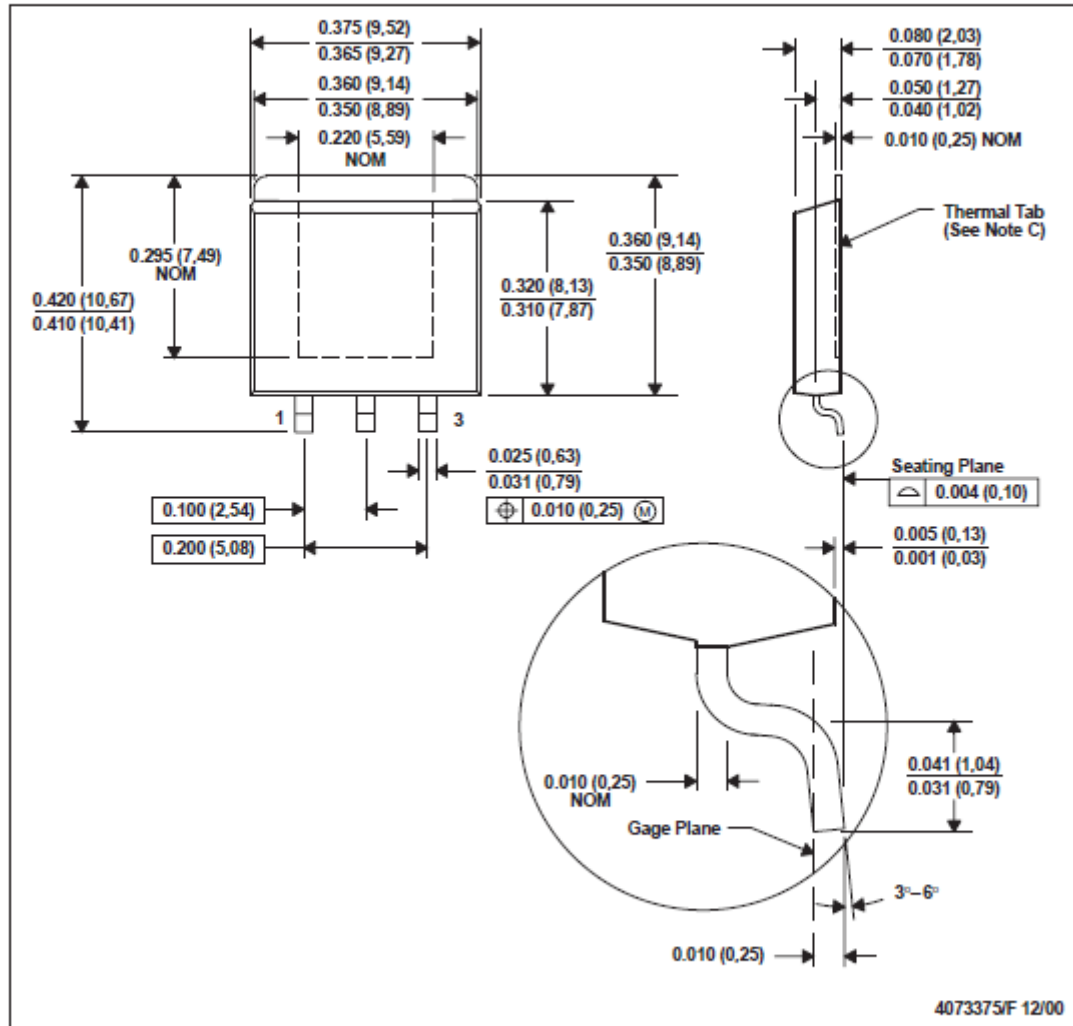
NOTE 1: Maximum power dissipation is a function of $T_J(\max)$, θ_{JA} , and T_A . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(\max) - T_A)/\theta_{JA}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.

MECHANICAL DATA

MPFM001E - OCTOBER 1994 - REVISED JANUARY 2001

KTE (R-PSFM-G3)

PowerFLEX™ PLASTIC FLANGE-MOUNT



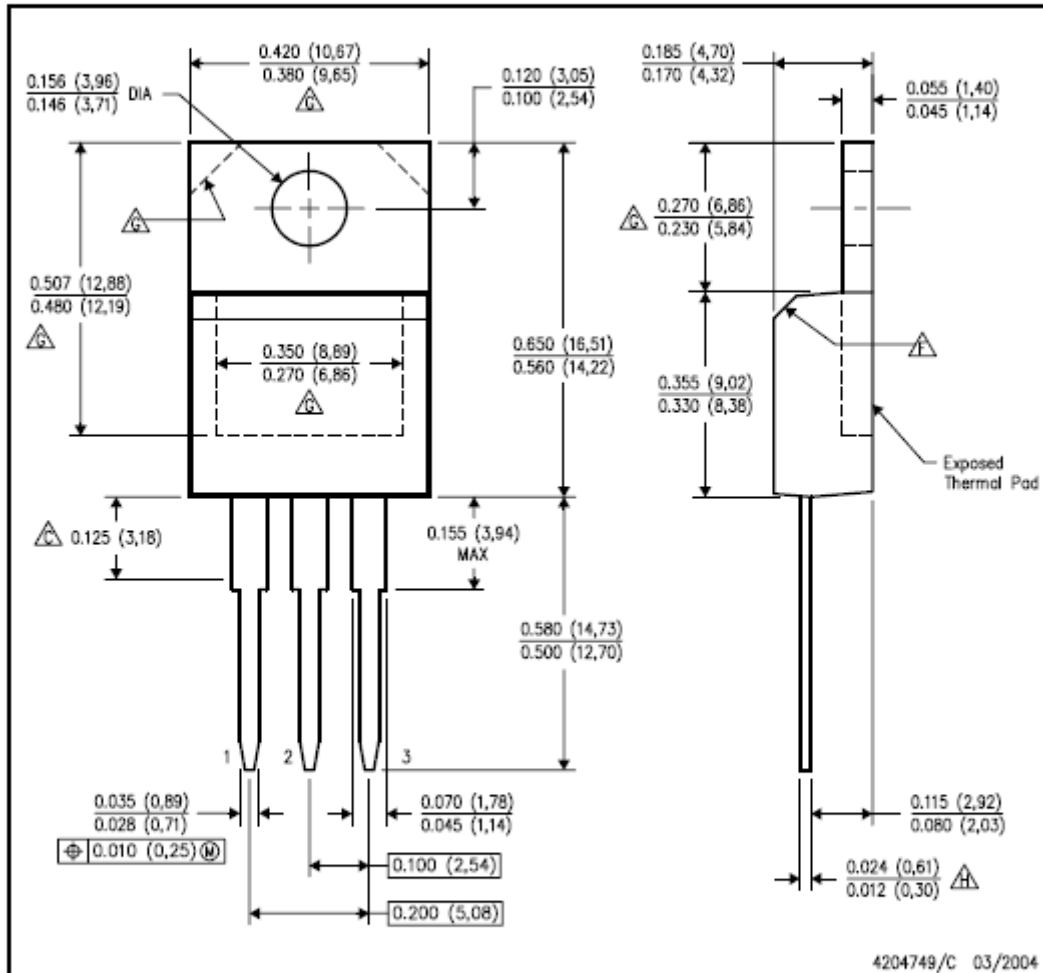
4073375/F 12/00

- NOTES: A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 B. This drawing is subject to change without notice.
 C. The center lead is in electrical contact with the thermal tab.
 D. Dimensions do not include mold protrusions, not to exceed 0.006 (0,15).
 E. Falls within JEDEC MO-169

MECHANICAL DATA

KCS (R-PSFM-T3)

PLASTIC FLANGE-MOUNT PACKAGE



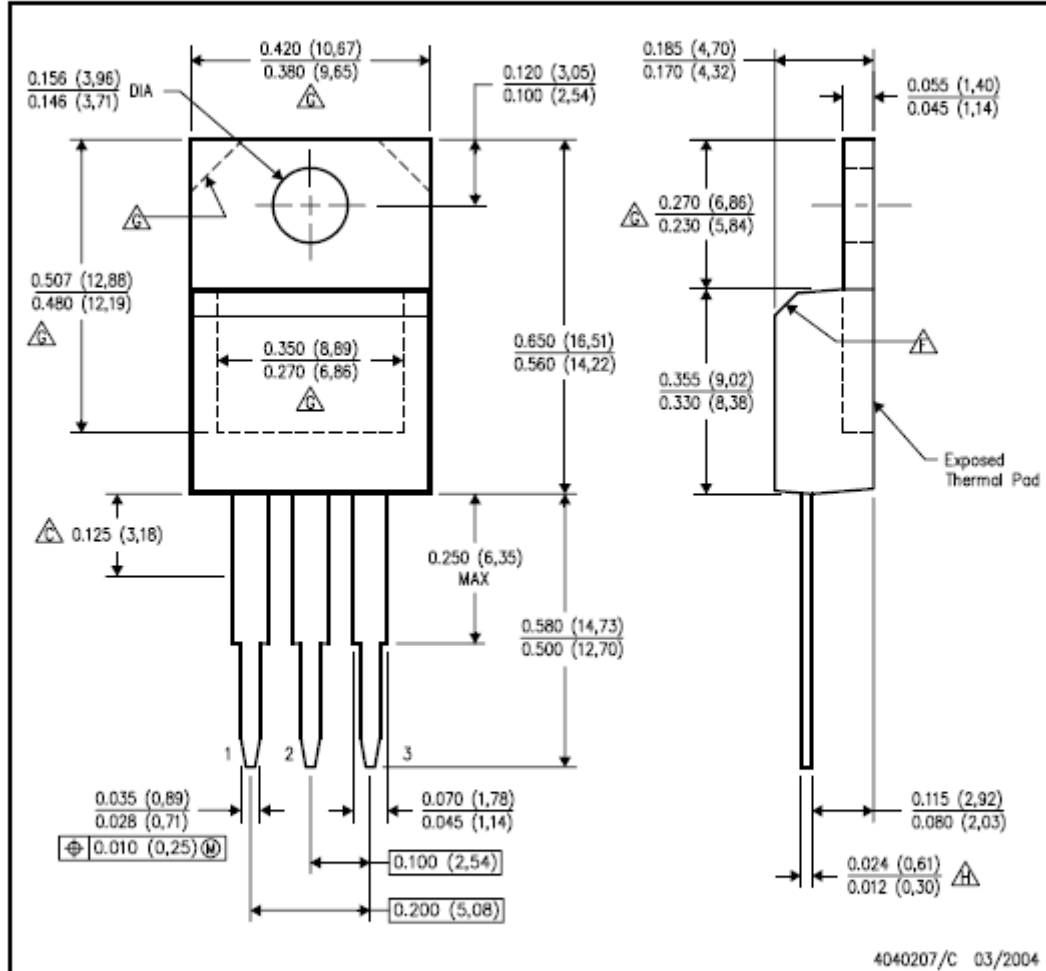
4204749/C 03/2004

- NOTES:
- All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - This drawing is subject to change without notice.
 - Lead dimensions are not controlled within this area.
 - All lead dimensions apply before solder dip.
 - The center lead is in electrical contact with the mounting tab.
 - The chamfer is optional.
 - Thermal pad contour optional within these dimensions.
 - Falls within JEDEC TO-220 variation AB, except minimum lead thickness.

MECHANICAL DATA

KC (R-PSFM-T3)

PLASTIC FLANGE-MOUNT PACKAGE



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - Lead dimensions are not controlled within this area.
 - D. All lead dimensions apply before solder dip.
 - E. The center lead is in electrical contact with the mounting tab.
 - The chamfer is optional.
 - Thermal pad contour optional within these dimensions.
 - Falls within JEDEC TO-220 variation AB, except minimum lead thickness.