



SISTEMA DE CONCENTRACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE CELDAS FOTOVOLTAICAS DE ALTA EFICIENCIA

González-Camarillo Héctor I.^a, Anguera Romero Ernesto^a, Pérez Rábago Carlos A.^a, Pérez-Enciso Ricardo A.^b, Cabanillas López Rafael E.^b,
García Gutiérrez Rafael^b, Estrada Claudio A.^{a,b} || a. Instituto de Energías Renovables - Universidad Nacional Autónoma de México || b.
Universidad de Sonora

I.RESUMEN

La tecnología de Concentración Fotovoltaica (CPV, por sus siglas en inglés), recientemente ha cobrado mucho interés como una alternativa de generación de electricidad solar para el abastecimiento de servicios públicos. La industria de CPV ha permanecido en constante investigación con el fin de competir con otras tecnologías fotovoltaicas en el mercado. Por otra parte, es muy importante atender la problemática y enfocarse en la creciente necesidad de realizar desarrollos tecnológicos innovadores que atiendan los distintos retos que enfrenta el país en materia del aprovechamiento sustentable de la energía solar de concentración fotovoltaica en un futuro próximo. En este artículo se presenta el diseño y construcción de un sistema de concentración solar fotovoltaica CPV con la finalidad de utilizarlo en la caracterización de celdas fotovoltaicas de alta eficiencia (celdas de triple unión y fototermioónicas), ya que este sistema CPV tiene la capacidad de producir distribuciones de flujo radiativo uniforme en la zona focal con niveles de concentración en un rango dinámico de 1X a 1300x (soles o número de veces la radiación normal del sol).

II.INTRODUCCIÓN

Desde sus inicios, la tecnología CPV surgió como una alternativa costo-competitiva para reducir los costos de la electricidad generada por energía solar. La idea básica detrás de esta tecnología se ha perseguido por muchos años, la cual ha sido reducir significativamente el alto costo del material semiconductor en un módulo de área reducida compuesto de celdas fotovoltaicas de alta eficiencia ($\eta > 35\%$) [1]. Los sistemas CPV, son sistemas de generación de energía prometedores por sus altos rendimientos del área activa de los módulos y la potencia nominal en comparación con los sistemas fotovoltaicos de silicio cristalino (Si-PV, por sus siglas en inglés) [2].

Los sistemas CPV constan de elementos ópticos como lentes o espejos para enfocar y concentrar luz solar directa sobre celdas fotovoltaicas de un área relativamente pequeña, la cual convierte la energía de la luz solar concentrada en energía eléctrica. En comparación con los sistemas convencionales, los sistemas CPV utilizan la radiación solar directa, por lo que es importante seguir permanentemente el movimiento aparente del Sol durante el día, y por lo tanto incorporar un mecanismo de seguimiento solar automático con la capacidad suficiente para montar y colocar la óptica del concentrador de tal manera que la radiación solar directa siempre se concentre sobre el área de las celdas o módulos.

Los módulos de potencia de los sistemas CPV utilizan celdas solares multiunión compuestas de distintas capas de materiales semiconductores apiladas de tal forma que sean capaces de aprovechar la mayor parte del espectro de radiación solar y con ello, aumentar la eficiencia en la conversión de la energía solar.

Recientemente, Ryan France del National Renewable Energy Laboratory (NREL) anunció una nueva celda solar de alta eficiencia con 6 uniones que eleva a un récord mundial de conversión de la energía solar a 47.1% [3] con una razón de concentración de 144 soles en un espectro AM1.5D.

Teniendo en cuenta el aumento continuo de la eficiencia de las celdas solares, la tecnología CPV muestra un potencial prometedor en la reducción de costos. Sin embargo, a pesar de tener esta ventaja, se necesitan costos adicionales por el uso de dispositivos ópticos, lentes, seguidores, costos de operación y mantenimiento, por lo que es necesario eliminar algunas barreras técnicas y económicas para reducir los costos de producción de electricidad y lograr que esta tecnología pueda competir en los mercados fotovoltaicos. **Es por ello que surge la necesidad de generar un sistema con las capacidades suficientes para realizar los estudios de generación de distribuciones de flujos radiativos a los que se puedan someter nuevos desarrollos de celdas fotovoltaicas de alta eficiencia de distintas tecnologías en un rango dinámico de la relación de concentración solar.**

Por otra parte, a través de esta investigación se pretende fincar bases y generar la infraestructura necesaria para que el estado de Sonora sea un referente en la tecnología de concentración solar fotovoltaica con el fin de impulsar la producción de energía limpia en el país y con esto disminuir la dependencia de los mercados internacionales en materia de generación de energía fotovoltaica.

III. PROYECTO CONCENTRADOR FOTOVOLTAICO TIPO FRESNEL

Antecedentes del proyecto

El Instituto de Energías Renovables de la Universidad Nacional Autónoma de México es una institución que ha impulsado líneas de investigación entre las que se encuentran las tecnologías de concentración solares fotovoltaicas.

Particularmente en el Laboratorio Nacional de Concentración y Química Solar (LACYQS) [4] se han realizado estudios que se enmarcan en la creciente necesidad de realizar desarrollos tecnológicos innovadores que atiendan los distintos retos que enfrenta el país en materia del aprovechamiento sustentable de la energía de concentración solar fotovoltaica en el futuro próximo. Estas investigaciones permitirán impulsar el desarrollo de nuevas tecnologías con el fin de fortalecer las capacidades del sector energético del país.



Figura 1. Sistema FRESNEL instalado en la PSH en Hermosillo, Sonora.

Dentro de las principales proyectos de LACYQS, se tiene la Plataforma Solar de Hermosillo (PSH) concebido principalmente como Campo Experimental de Torre Central (CEToC). Esta instalación ha sido creada conjuntamente por la Universidad de Sonora y la Universidad Nacional Autónoma de México, principalmente para llevar a cabo investigación, desarrollo e innovación sobre tecnología de plantas solares de potencia de torre central. Dentro de las instalaciones de la PSH, se encuentra en desarrollo el proyecto del concentrador FRESNEL para caracterización de celdas fotovoltaicas de alta eficiencia el cual tiene la capacidad de producir distribuciones de flujo radiativo uniforme en el receptor, con lo que se podrá llevar a cabo el estudio de celdas fotovoltaicas de alta eficiencia y así analizar las tecnologías de concentración solar que se encuentran en desarrollo para posteriormente lograr su inmersión en un mercado fotovoltaico competitivo.

Diseño del CPV FRESNEL

Después de revisar varias alternativas de concentradores solares, se concluyó que la mejor opción de diseño para un sistema de evaluación de celdas fotovoltaicas de alta eficiencia era concentrar la radiación solar mediante un conjunto de espejos planos orientados hacia una misma zona focal, esto produce una distribución de flujo radiativo homogénea sobre dicha área. Este tipo de sistemas de concentración solar se denominan helióstatos focalizadores de no imagen, en los cuales la alta razón de concentración solar se consigue mediante la superposición de todas las imágenes especulares en el objetivo fijo. [5]

El nuevo sistema no solo está diseñado para concentrar la luz solar en varios cientos de soles, sino también para reducir significativamente la variación de la distribución del flujo solar en la muestra.

FRESNEL (Focusing Retractable heliostat as Evaluator System for Non-imaging concentrated solar Electric generators, por sus siglas en inglés), que en español se traduce como heliostato focalizador retráctil como sistema de evaluación para generadores eléctricos con concentración solar de no imagen.

El Sistema FRESNEL utiliza la superposición de la radiación reflejada por 1800 espejos planos de 5X5 cm (con un área reflectiva aproximada de 4.5 m²).

Estos espejos planos son de segunda superficie y se encuentran distribuidos de forma circular en anillos concéntricos; los espejos están inclinados con respecto a un plano óptico definido por una estructura metálica que los soporta, a esta configuración de los espejos la hemos llamado Arreglos Semicirculares del Primer Elemento Óptico (ASPEO), que a su vez descansa sobre la Estructura de Soporte del Primer Elemento Óptico (ESPEO) esto concentra un flujo de radiación uniforme que permite evaluar el desempeño de dispositivos fotovoltaicos en un Dispositivo de Desfocalización de Muestras (DIDEM). Previo a la incidencia de los rayos sobre el DIDEM tenemos un dispositivo de refocalización tipo Cassegrain el cual está sujeto al ESPEO mediante la Estructura de Posicionamiento del Segundo Elemento Óptico (EPSEO). [5]

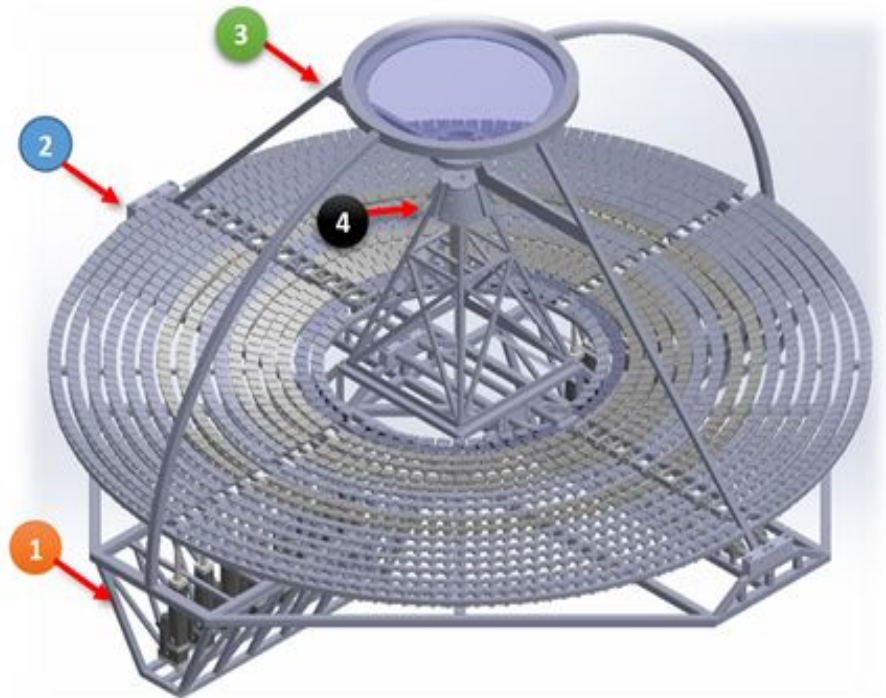


Figura 2. Componentes Mecánicos del FRESNEL: 1) ESPEO. 2) ASPEO. 3) EPSEO. 4) DIDEM.

Diseño óptico del FRESNEL

El dispositivo concentra la radiación solar mediante la superposición de imágenes reflejadas de 1800 espejos cuadrados de 5cm de lado, con la que se puede obtener una distribución de flujo de radiación uniforme máxima de 25 cm², en el receptor.

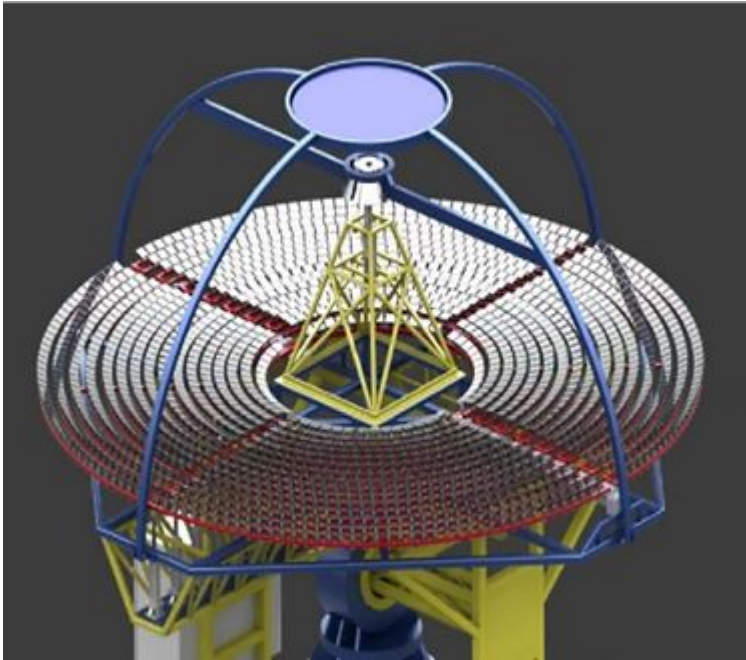


Figura 3. Vista Isométrica del Sistema FRESNEL

Primer Elemento óptico (POE).

El primer elemento óptico del FRESNEL es un concentrador Fresnel reflectivo de matriz circular, está compuesto por 1800 espejos de segunda superficie con geometría cuadrada de 5cm de lado.

El nivel de concentración máximo al que opera el equipo tiene un aproximado a los 1300 soles en un área con distribución de flujo radiativo uniforme de 25 cm² para un receptor que se encuentra a 1.25 m del origen sobre el eje óptico.

Arreglo	Radio (m)	No. De Espejos
0	0.55	40
1	0.60	64
2	0.66	72
3	0.72	80
4	0.79	84
5	0.86	92
6	0.93	100
7	1.00	108
8	1.07	116
9	1.14	124
10	1.21	132
11	1.29	140
12	1.37	148
13	1.45	156
14	1.53	164
15	1.61	168

Tabla 1. Número de espejos y distancia radial de los arreglos del POE.

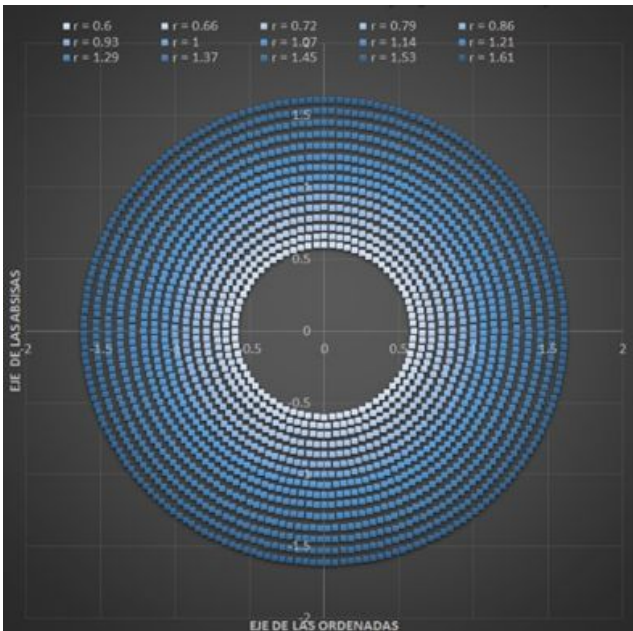


Figura 4. Posición de los espejos del POE sobre el plano.

Segundo elemento óptico

El segundo elemento óptico del FRESNEL es un espejo plano de primera superficie con geometría circular de 75cm de diámetro, con un corte central de 10cm de diámetro, ubicado a 1.5m del POE.

Este elemento óptico es un componente fundamental para cualquier concentrador del tipo Cassegrain, este fue construido en placa rectificada de aluminio para optimizar la remoción de calor de forma pasiva, su maquinado fue llevado a cabo con la colaboración con el Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica (INAOE) y la empresa de diseño mecánico PIRAMIDE. Para su construcción se especificó que se requería de una superficie reflectiva con un 95% de reflectancia, con un recubrimiento de aluminio para su protección a la intemperie.

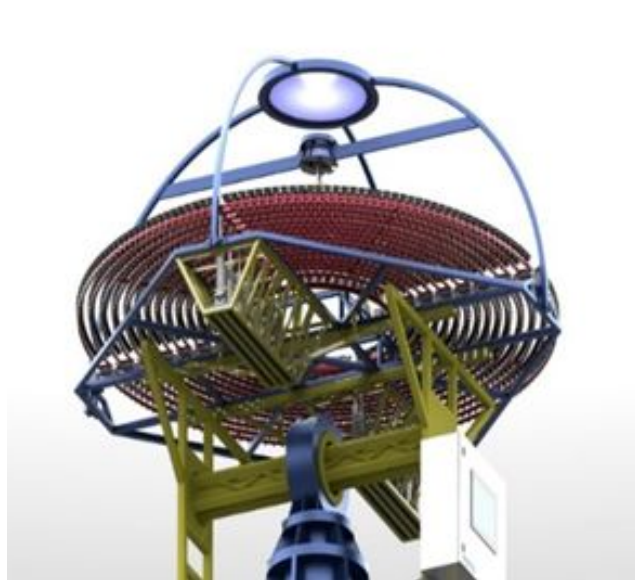


Figura 5. Vista inferior del FRESNEL y estructura de soporte del SOE.

Parámetro	Valor
Tipo de espejo	Plano de primera superficie
Diámetro (mm)	750
Tolerancia para el Diámetro (cm)	+0/-0.04
Grosor (mm)	25.4
Tolerancia del grosor (mm)	±1.5
Planitud de superficie	$\lambda/10$
Calidad superficial	80-50
Substrato	Duraluminum
Especificaciones de recubrimiento	Ravg >95% @ 200 - 3000 nm
Límite de densidad energética	0.8 J/cm ² @ 300 nm & 800 nm, 10 ns
Recubrimiento (Coating)	Protección de Aluminio
Rango de longitud de onda (nm)	200 - 3000
Rango de longitud de onda (μm)	0.2 - 3
Ángulo de incidencia (°)	55

Tabla 2. Parámetros ópticos del espejo secundario.

IV. ENSAMBLAJE Y MONTAJE DEL FRESNEL

Construcción de los componentes del FRESNEL

La fabricación de cada una de las componentes del sistema se realizo durante distintas etapas y para los distintos elementos del FRESNEL. En primera instancia se fabricaron los componentes mecánicos para realizar depuraciones y ajustes a los diseños originales.

Esta optimización se lleva a cabo mediante la aplicación de mejoras a los elementos de soldadura, componentes mecánicas y estructuras de soporte, así como adecuaciones a los ensambles de los distintos soportes de actuadores neumáticos y eléctricos. Después de aplicar estas mejoras, se aplica pintura resistente a condiciones de intemperie para proteger los componentes a oxidación y degradación.



Figura 6. Construcción del FRESNEL en taller especializado.

La estructura del FRESNEL se instaló sobre un sistema de seguimiento con dos ejes de movimiento (elevación y acimut) ubicado en el campo de pruebas de la Plataforma solar de Hermosillo (PSH) ya que se busca enriquecer este espacio con nuevas tecnologías de concentración solar además de que la ubicación posee mejores condiciones de radiación solar durante la mayor parte del año por lo que facilitaría realizar labores de experimentación



Figura 7. Ensamblaje de componentes del FRESNEL en la PSH

El diseño, fabricación y puesta en marcha fue un trabajo en equipo de investigadores, ingenieros, estudiantes de posgrado y licenciatura que trabajaron en distintas etapas para tener un sistema y que aún se encuentra en etapa de desarrollo a fin de cumplir los principales objetivos.



Figura 8. Montaje del FRESNEL sobre estructura de seguimiento solar

La importancia de establecer un sistema, a nivel laboratorio, referente en la evaluación de tecnologías de celdas solares de alta eficiencia, es de alto impacto tecnológico debido a que en **México existen muy pocos desarrollos de este tipo de tecnologías,** por lo que contar con este sistema CPV pueden dar la pauta para desarrollar e innovar en futuros proyectos para la maduración de las tecnologías de concentración solar en el país.



Figura 9. Sistema FRESNEL para caracterización de celdas de alta eficiencia en Plataforma Solar de Hermosillo, Sonora.

VI. CONCLUSIONES

El desarrollo de esta investigación se enmarca en la creciente necesidad de realizar desarrollos tecnológicos innovadores que atiendan los distintos retos que enfrenta el país en materia del aprovechamiento sustentable de la energía solar fotovoltaica de concentración en el futuro próximo. La investigación e innovación en este ámbito permitirá impulsar el desarrollo de nuevas tecnologías con el fin de fortalecer las capacidades del sector académico e industrial.

VII. REFERENCIAS

1. M. Steiner, T. Gerstmaier, and A. W. Bett, *Concentrating photovoltaic systems*. Elsevier Ltd., 2017.
2. R. Mikami, M. Inagaki, M. Moriguchi, K. I. Kitayama, H. Konaka, and T. Iwasaki, "Advantages of concentrator photovoltaic system in high solar radiation region," *SEI Tech. Rev.*, no. 82, pp. 136–140, 2016.
3. Geisz F., R. Fance, K. L. Schulte, M. A. Steiner, A. G. Norman, L. H. Guthrey, M. R. Young, Y. Song and T. Moriarty, "Six-junction III–V solar cells with 47.1% conversion efficiency under 143 Suns concentration," *nature energy*, vol. 5, pp. 326–335, 2020.
4. IER-UNAM, «Laboratorio Nacional de Concentración y Química Solar (LACYQS),» 2015. [En línea]. Available: <http://www.concentrationsolar.org.mx/>. [Último acceso: 07 Septiembre 2021].
5. E. Anguera Romero, «Sistemas de Concentración Solar de Alto Flujo Radiativo Homogéneo para la Caracterización de Celdas Fotovoltaicas,» Temixco, Morelos, 2021.