

# Fabricación de un Concentrador Solar Parabólico Compuesto (CPC) para desinfección de agua de consumo en Comunidades Rurales

# Manufacture of a Compound Parabolic Solar Concentrator (CPC) for the disinfection of consumer water in Rural Communities

MUÑOZ-HERNANDEZ, José Alejandro†, HERNÁNDEZ-ORTIZ, Teresa, MONTIEL-GONZÁLEZ, Moisés\* y SALGADO-TRANSITO, Iván

Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Av. Universidad, Cuernavaca, Morelos, CP 62209, México

CONACYT-Centro de Investigaciones en Óptica (CIO). Aguascalientes, Aguascalientes CP 20200, México.

ID 1<sup>er</sup> Autor: *José Alejandro, Muñoz-Hernandez* / **ORC ID:** 0000-0001-9196-2018, **Researcher ID Thomson:** G-2671-2019, **CVU CONACYT ID:** 357348

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Teresa, Hernández-Ortiz* / **ORC ID:** 0000-0002-3174-4868, **Researcher ID Thomson:** G-2698-2019, **CVU CONACYT ID:** 646428

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Moisés, Montiel-González* / **ORC ID**; 0000-0001-6726-9344; **Researcher ID Thomson**: T-7690-2018, **CVU CONACYT ID**: 230353

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Iván, Salgado-Transito* / **ORC ID:** 0000-0002-8379-3629, **Researcher ID Thomson:** C-2338-2009, **CVU CONACYT ID:** 165713

**DOI:** 10.35429/JUSD.2019.17.5.13.19

Recibido: 30 de Junio, 2019; Aceptado 20 de Noviembre, 2019

## Resumen

En este artículo se presenta la selección de materiales y el proceso de fabricación de un concentrador solar parabólico compuesto (CPC), el cual es utilizado en un sistema de desinfección de agua potable para consumo de comunidades rurales. El volumen de agua a tratar es 100 litros/día, cantidad promedio de agua para servicios de una familia de 6 personas, incluyendo lavado de utensilios y preparación de alimentos. La selección de los materiales para la fabricación del CPC se realizó considerando la vida útil, bajo costo y disponibilidad en el mercado industrial mexicano. Los componentes principales de un concentrador solar CPC son: 1. El sección de la involuta, fabricado con lamina de acero galvanizado calibre 20 (0.9 mm) con acabado cromo brillante para lograr una superficie reflejante, 2. Sistema hidráulico, integrado por elementos de acoplamiento entre 6 líneas de tubos de cristal borosilicato de 44 mm de diámetro exterior y 1.6 mm de espesor con accesorios de PVC y 3. Estructura mecánica de soporte del CPC, la cual fue diseñada con inclinación variable, para ser ajustada acorde a la latitud del sitio de operación, esta se fabricó con procesos industriales de pailería y se utilizó perfil tubular reforzado PTR de acero calibre 14 (1.9 mm de espesor).

## Energía solar, Diseño de CPC, Desinfección de agua

## Abstract

This paper presents the selection of supply materials and describes the manufacturing process of a solar compound parabolic solar concentrator (CPC) to disinfect drinking water for consumption by rural communities. The volume of water to be treated is 100 liters/day, average amount of water for services of a family of 6 people, including washing of kitchen utensils and food preparation. The selection of supply materials for the CPE manufacture was made considering the lifetime, low cost and availability in the Mexican industrial market. The main components of the CPC are: 1. the profile of the involute, made of galvanized steel sheet gauge 20 (0.9 mm) with bright chrome finish to achieve a reflective surface, 2. Hydraulic system, integrated by coupling elements between 6 lines of borosilicate glass tubes of 44 mm outside diameter and 1.6 mm thickness with PVC accessories and 3. Mechanical support structure of the CPC, which was designed with a variable angle, to adjust according to the latitude of the operation site, this was manufactured with industrial processes of pailería and reinforced tubular profile (PTR) of 14 gauge steel (1.9 mm thickness) was used.

## Manufacturing process, Solar composite parabolic concentrator, Disinfecting drinking water

**Citaci3n:** MUÑOZ-HERNANDEZ, José Alejandro, HERNÁNDEZ-ORTIZ, Teresa, MONTIEL-GONZÁLEZ, Mo s y SALGADO-TRANSITO, Iván. Fabricaci3n de un Concentrador Solar Parab3lico Compuesto (CPC) para desinfecci3n de agua de consumo en Comunidades Rurales. Revista del Desarrollo Urbano y Sustentable. 2019. 5-17: 13-19

\*Correspondencia al autor (Correo electrónico: moises.montiel@uaem.mx.)

† Investigador contribuyendo como primer autor

## Introducción

A pesar de que el 70% del planeta está compuesto por agua, solo 2.5% es agua dulce y menos del 1% se encuentra disponible para uso humano y para el mantenimiento de los ecosistemas (Carabias y Landa, 2005). De esa pequeña cantidad de agua la mayor parte es contaminada por diversas actividades humanas, por lo cual no la hace adecuada para el consumo humano.

Por lo anterior, es necesario investigar, desarrollar y aplicar tecnologías para desarrollar nuevos métodos de desinfección de agua, pero desde una perspectiva de sustentabilidad mediante el aprovechamiento de las energías renovables, como la solar.

La posición geográfica de México es privilegiada, ya que recibe una irradiación solar anual promedio de 4.4 kWh/m<sup>2</sup> por día en la zona centro y hasta 6.3 kWh/m<sup>2</sup> por día en el norte del país (Ballestrin y Marzo, 2012). Estos niveles de irradiación hacen factible el uso de sistemas de captación solar para diferentes aplicaciones, entre ellas, la desinfección de agua (Almanza y Muñoz, 2003).

El proceso de desinfección solar es un proceso fotoquímico que consiste en la eliminación de microorganismos por los efectos de la radiación solar en el UV. (Solsona y Mendez, 2002). La concentración de la irradiación solar mediante dispositivos ópticos que reflejan o refractan la radiación permiten incrementar la intensidad del flujo de radiación en una zona focal llamada absorbedor. Sin embargo, los concentradores solares únicamente colectan la componente directa de la irradiación solar, y no así la componente difusa.

Esto es particularmente importante en los sistemas de desinfección solar ya que hasta el 50% de la radiación UV incidente sobre el colector proviene de la componente difusa. Adicionalmente los sistemas de alta concentración solar requieren de costosos sistemas de seguimiento solar, por ello es que para aplicaciones de desinfección solar se recomienda utilizar sistemas estáticos y de baja concentración. (Khonkar y Sayigh, 1995; Mendez y Cuervo, 2011).

El concentrador parabólico compuesto (CPC) es un colector que distribuye de manera eficiente la energía solar sobre una zona focal (Winston et.al., 2005; Tapia, 2009). Los CPC son concentradores estáticos con una óptica de no imagen cuya principal ventaja es que pueden captar la radiación incidente en un rango de ángulos amplio. Al permitir múltiples reflexiones de los rayos del sol, permite que cualquier rayo sobre el área de apertura con un ángulo de incidencia menor al semi-ángulo de aceptación del CPC, este rayo llegará a la superficie del absorbedor ubicada en la parte inferior del colector (Rabl, 1976).

Los CPC son colectores que pueden funcionar según la temporada o anualmente con mínimos requerimientos de seguimiento, ya que tienen la capacidad de reflejar al receptor toda la radiación incidente en la apertura, si está dentro los rangos del ángulo medio de aceptación del CPC. Este tipo de colectores se consideran de baja concentración y de no imagen, es decir, la radiación no se concentra en un punto geométrico, sino que se distribuye más o menos de forma similar en una región y tienen la capacidad de concentrar la radiación solar directa y difusa, a pesar de mantenerse estáticos, alcanzándose una eficiencia térmica de hasta un 60% (Duffie y Beckman, 2013). En este artículo se presenta el diseño y las etapas del proceso de manufactura de un concentrador solar tipo CPC para desinfección de agua. Se describe la metodología utilizada en su fabricación, procurando utilizar materiales de bajo costo y disponibles en el mercado Nacional, lo cual lo hace accesible para el usuario final. Su aplicación en la desinfección de agua permitirá disminuir algunos de los microorganismos causantes de enfermedades gastrointestinales y en consecuencia mejorará la calidad de vida de la comunidad de Ahuatenco, Ocuilan, Estado de México.

## Metodología de diseño y fabricación

### Área de Ubicación

El prototipo CPC se ubicó en la localidad de Ahuatenco, perteneciente al municipio de Ocuilan, en el Estado de México. Hay un aproximado de 960 habitantes y el clima predominante es templado sub-húmedo, con una temperatura media anual de 15.5 °C. Ahuatenco tiene una altura de 1950 metros sobre el nivel del mar y se encuentra en las coordenadas GPS:

MUÑOZ-HERNANDEZ, José Alejandro, HERNÁNDEZ-ORTIZ, Teresa, MONTIEL-GONZÁLEZ, Moisés y SALGADO-TRANSITO, Iván. Fabricación de un Concentrador Solar Parabólico Compuesto (CPC) para desinfección de agua de consumo en Comunidades Rurales. Revista del Desarrollo Urbano y Sustentable. 2019.

Longitud: -99.332778 y Latitud: 18.947778 (Pueblos de América, 2019). En la figura 1 se muestra la ubicación de Ahuatenco.



**Figura 1** Ubicación de Ahuatenco Ocuilán, Estado de México

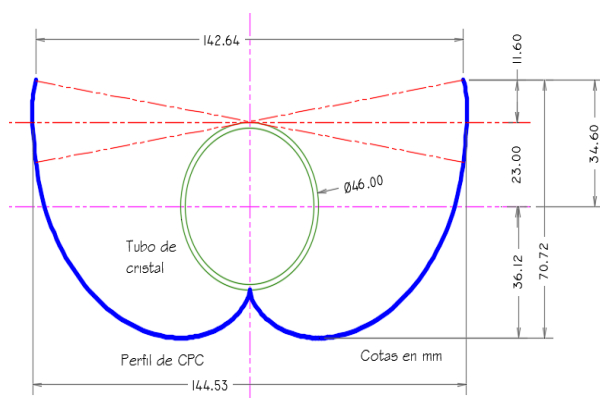
Fuente: Map data® Google 2019 INEGI, 2018

## Geometría del CPC

Las geometrías que componen el CPC están descritas por las ecuaciones que describe Rabl, A., en 1976 para la involuta y la parábola. La figura 2 muestra los segmentos del CPC. Para determinar el punto de truncamiento de la involuta, es importante calcular el factor de concentración solar que se necesita, el cual se obtiene con la relación entre el área del colector y el tubo receptor como lo menciona González-Avilés, 2017.

## Construcción del CPC

Una vez calculados y definidos los parámetros geométricos del CPC (Barraque, 1979; Ferdinand, 1990; Virgil, 1993) se trazó la involuta obteniendo el siguiente perfil que se muestra en la figura 2.



**Figura 2** Trazo del CPC

Fuente: Elaboración Propia

Para realizar el diseño del CPC, se investigaron diferentes diámetros de tubería de cristal disponible en el mercado industrial mexicano, la tubería seleccionada es de vidrio borosilicato Duran 3.3 R® de Schott con un diámetro exterior de 46 mm y un espesor de pared de 1.6 mm.

## Fabricación de la involuta

La involuta del CPC, se fabricó con lamina de acero galvanizado cal 20 (0.9 mm). Para lograr dar forma de los diferentes radios se realizó en dos pasos, en el primer paso se aproximó al radio mayor de la involuta por medio de una roladora mecánica con rodillos de 4" (101 mm) de 7.5 hp (5592 W) de potencia y en un segundo paso el perfil parabólico se formó utilizando barras de acero al carbón 1018 y tubos de acero al carbón cedula 30 de diferentes diámetros entre 1" (24.5 mm) a 3" (76.2 mm) ejerciendo presión sobre la lámina en una prensa hidráulica de 15 toneladas de capacidad y para ello se requirió de la fabricación de un molde o escantillón, por medio de forja en caliente con solera de acero al carbón de 1 1/2 (38 mm) x 1/8" (3.8 mm) para continuar la forma del perfil completo de la involuta y utilizarlo como guía hasta lograr semejanza entre la involuta de lámina y el escantillón. Después, se utilizó técnica de hojalatería para eliminar las abolladuras o daños causados por el conformado, dejando la superficie limpia y preparada para la aplicación posterior del recubrimiento. Para lograr un acabado brillante de la superficie superior de la involuta se realizó un recubrimiento de cromo con aplicación en frío.

## Diseño e implementación del sistema hidráulico

Para el diseño del sistema hidráulico del CPC se requiere garantizar que el agua recorra todos los tubos de vidrio en forma continua, por lo que fue necesario realizar conexiones entre cada tubo en forma alternada, formando un serpentín. Debido a que no existen comercialmente conexiones para unir tubo de vidrio contra PVC y en el diseño no se debe depender de un sellador, por lo que se rediseñaron y maquinaron coples de PVC, para obtener una junta hermética por medio de anillos "O" de neopreno, lo que permitió el movimiento por posible expansión y/o dilatación, garantizando el sellado entre material de vidrio y PVC.

MUÑOZ-HERNANDEZ, José Alejandro, HERNÁNDEZ-ORTIZ, Teresa, MONTIEL-GONZÁLEZ, Moisés y SALGADO-TRANSITO, Iván. Fabricación de un Concentrador Solar Parabólico Compuesto (CPC) para desinfección de agua de consumo en Comunidades Rurales. Revista del Desarrollo Urbano y Sustentable. 2019.

Las conexiones que se utilizaron fueron PVC hidráulico cedula 40 de 1 1/2 pulgadas de diámetro (38 mm).

Aplicando la ecuación de continuidad se calculó el volumen de los tubos de vidrio, considerando un tiempo de residencia hidráulica (TRH) de 30 min, para tratar un volumen de 100 L en 6 horas de radiación pico al día.

### Diseño y manufactura de la estructura de soporte

La estructura que soportará el CPC se diseñó con ángulo de inclinación variable, para ajustar de acuerdo a la latitud del lugar. El material de fabricación utilizado fue perfil tubular reforzado (PTR) de acero al carbón calibre 14 (1.9 mm de espesor). Posterior al armado, soldadura y esmerilado, se aplicó primario epóxico anticorrosivo y acabado esmalte brillante.

La estructura metálica de soporte se fabricó mediante procesos industriales de pailería aplicando soldadura por proceso GMAW (Gas Metal Arc Welding) o arco metálico con protección de gas, utilizando una máquina de Microalambre Mod. Delta Mig 335 Marca INFRA con microalambre de 0.035" (0.88 mm) diámetro, de acero al carbón con atmosfera gas CO<sub>2</sub>, con las características mecánicas descritas a continuación:

- Resistencia a la tensión: 480 MPa (70 000 psi)
- Esfuerzo de cedencia: 400 MPa (58 000 psi)
- Elongación 22%
- Resistencia al impacto: 27 J a - 30°C (20 lb ft a - 20 °F)

La Integración de los componentes del CPC lo conforman los tubos de vidrio, la involuta, el perfil parabólico y las conexiones hidráulicas para formar el serpentín, fueron ensambladas en un bastidor rectangular, el cual se fabricó con lamina de acero galvanizado calibre 20 (0.9 mm), por proceso de pailería y soldadura, utilizando una dobladora mecánica de muelas intercambiables de 1.8 m de longitud de contacto y una cizalla de 1.2 m de longitud de corte con capacidad de 5 toneladas de presión.

### Resultados

En las siguientes figuras se muestra la evidencia fotográfica de los procesos anteriormente descritos.



**Figura 3** Aproximación al radio de la parábola por medio de una roladora mecánica

*Fuente: Elaboración Propia*



**Figura 4** Aproximación al radio de la involuta por medio de una roladora mecánica

*Fuente: Elaboración Propia*







**Figura 5** Presión sobre la lámina en una prensa hidráulica de 15 toneladas  
*Fuente: Elaboración Propia*



**Figura 6** Técnica de hojalatería para eliminar las abolladuras o daños causados por el conformado  
*Fuente: Elaboración Propia*



**Figura 7** Fabricación de la estructura metálica de soporte  
*Fuente: Elaboración Propia*



**Figura 8** Diseño y maquinado de coples de PVC  
*Fuente: Elaboración Propia*

Así mismo se logró con éxito la colocación de cromo brillante en la superficie de la involuta pero aún no se conoce la durabilidad, lo cual se analizará durante el periodo de evaluación y operación del CPC. Para determinar el tiempo de vida útil del recubrimiento.

## Conclusiones

En este trabajo se presentó el diseño y proceso de manufactura de un CPC para desinfección de agua.

Se logró fabricar un CPC con materiales de bajo costo, disponibles en el mercado y de fácil implementación, lo cual permitió desarrollar tecnología accesible, factible y sustentable para el usuario final.

La fabricación se realizó utilizando procesos industriales de manufactura comunes, tales como: pailería, soldadura, cizallado, doblado, rolado y torneado de piezas mecánicas. Los procesos de manufactura y tecnología desarrollada poseen altas posibilidades de producción industrial, ya que después de realizar ingeniería de procesos, se mejoran la metodología sustituyendo actividades artesanales por industriales, garantizando repetitividad y calidad de producto final.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) del Gobierno de México, porque con la beca de doctorado se desarrollo de esta investigación.

## Referencias

Almanza, R. y Muñoz-Gutiérrez, F., 2003 "Ingeniería de la energía solar". Serie Ingeniería. Editorial Cromocolor, pp 418. ISSN 2444-4987

Ballestrín, J., Marzo, A. 2012. Solar radiation, attenuation in solar tower. Plants. Solar Energy. Vol. 86, Pag. 388–392. DOI:10.1016/j.solener.2011.10.010

Barraque, Ch., et.al. 1979. Manual Técnico del Agua. Editorial GRAFO. Bilbao España. ISBN: 84-300-1651-1

Beer P. Ferdinand, Russell Johnston E, Phillip J. Cornwell. 1990. Mecánica Vectorial para Ingenieros. Ed. Mc. Graw Hill/interamericana. ISBN 968-422-564-4

Carabias, J. y Landa, R., 2005. Agua, medio ambiente y sociedad. México, Universidad Nacional Autónoma de México, El Colegio de México, Fundación Gonzalo Río Arronte.

ISSN 2414-4932

ECORFAN® Todos los derechos reservados

Del Pilar, Y., & Villanes, H. (2019). Tratamiento de aguas residuales de la Universidad Nacional del Centro del Perú por fotocátalisis heterogénea.

Duffie, J. A. y Beckman, W. A. 2013. Solar Engineering of Thermal Processes, 4 edition. Wiley, DOI: 10.1002/9781118671603

Estrada-Martínez, A., Ortega-Ruiz, J., Cardenas, I. D. U., Enamorado-Montes, G., & Marrugo-Negrete, J. (2019). Fotocatálisis heterogénea para el tratamiento de aguas residuales generadas en el baño del ganado. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 10 (2).

González-Avilés, M., López-Sosa, L. B., Servín-Campuzano, H., González-Pérez, D., 2017. Adopción tecnológica sustentable de cocinas solares en comunidades indígenas y rurales de Michoacán, Revista Mexicana de Ingeniería Química, Vol. 16, No. 1, pp. 271-28

Khonkar, H. E. I. y Sayigh, A. A. M. 1995. Optimization of the Tubular Absorber Using a Compound Parabolic Concentrator, Renewable Energy: 6(1), 17-21. [https://doi.org/10.1016/0960-1481\(94\)00061-A](https://doi.org/10.1016/0960-1481(94)00061-A)

Méndez, J., & Cuervo, R. 2011. Energía Solar Térmica. Editorial Fundación Comfemetal, Pag. 507, Madrid. ISBN 9788492735464

Pueblos de América. (<https://mexico.pueblosamerica.com>). Consultado el 17 de marzo de 2019.

Rabl Ari, Optical and thermal properties of compound parabolic concentrators. 1976. Sol. Energy, vol. 18, núm. 6, pp. 497–511. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(76\)90069-4](https://doi.org/10.1016/0038-092X(76)90069-4)

Rabl Ari, 1976b. Solar concentrators with maximal concentration of cylindrical absorbers, Appl. Opt., 15 (7): 1871-1873. <https://doi.org/10.1364/AO.15.001871>

Solsona, F. y Méndez, J.P., 2006. Desinfección del agua. OPS/CEPIS/PUB/O2 .83. 2006. Disponible en <http://www.cepis.ops-oms.org>

Sómer, Martín M. (2019). Optimización de reactores fotocatalíticos para el tratamiento de aguas: fuente de iluminación, configuración y tipo de catalizador. Tesis Doctoral, Universidad Rey Juan Carlos

MUÑOZ-HERNANDEZ, José Alejandro, HERNÁNDEZ-ORTIZ, Teresa, MONTIEL-GONZÁLEZ, Moisés y SALGADO-TRANSITO, Iván. Fabricación de un Concentrador Solar Parabólico Compuesto (CPC) para desinfección de agua de consumo en Comunidades Rurales. Revista del Desarrollo Urbano y Sustentable. 2019.

Tapia, S., y J. A. Del Rio., 2009. Concentrador parabólico compuesto: una descripción opto-geométrica. *Revista Mexicana de Física E* 55, 141-153.

Virgil Moring Faires. 1993. *Diseño de Elementos de Maquinas*. Editorial Limusa. ISBN: 968-18-4207-3

Winston, R., Minano, J. C., & Benitez, P. G., 2005. *Nonimaging Optics*. 1st Edition, Academic Press

Zúñiga Rodríguez, C. A. (2019). *Diseño de sistema prototipo para optimizar tratamiento y gestión de heces humanas en sistemas de saneamiento seco*.