

Diseño y construcción de comal Tolokatsin de concentrador solar a partir de materiales alternativos

DÍAZ-ZAMORANO, Ana†*, LUNA-PADILLA, Ivo, LAGUNA-PÉREZ, Emmanuel y OLIVARES-RAMÍREZ, Juan.

Recibido Octubre 6, 2016; Aceptado Noviembre 21, 2016

Resumen

En la presente investigación se diseñó un concentrador solar con un ángulo de aceptación de 5° y una razón de concentración de 4 soles. El concentrador solar fue construido con madera para su soporte mecánico y se utilizaron materiales alternativos de fácil acceso en cualquier parte del país para permitir la réplica del modelo. Se construyeron tres concentradores solares para validar la reflexión y absorción de la irradiancia en el mismo instante. Los materiales reflejantes utilizados fueron papel metálico, cinta aluminio y envoltura de frituras. Se construyeron tres absorbedores de irradiancia de acero al carbono, pintando una cara con aerosol negro mate, ahumado y natural. Los resultados muestran que podemos alcanzar una temperatura de hasta 121.8 °C.

Concentrador, Energía Solar, Material de uso común.

Abstract

In this research a solar concentrator was designed with an acceptance angle of 5° and a concentration ratio of 4 suns. The solar concentrator was built with wood for mechanical support and easily accessible alternative materials were used anywhere in the country to allow replication of the model. Three solar concentrators were constructed to validate the reflection and absorption of irradiance at the same instant. The materials used were reflective foil, aluminum tape and wrap fritters. Three absorbers of carbon steel irradiance were built, painting a face with matte black, smoked and natural aerosol. The results show that we can attain a temperature up to 121.8 °C.

Concentrator, Solar Energy, Material commonly used.

Citación: DÍAZ-ZAMORANO, Ana, LUNA-PADILLA, Ivo, LAGUNA-PÉREZ, Emmanuel y OLIVARES-RAMÍREZ, Juan. Diseño y construcción de comal Tolokatsin de concentrador solar a partir de materiales alternativos. Revista de Aplicaciones de la Ingeniería 2016, 3-9: 72-82.

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: jmolivar01@yahoo.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La energía solar es uno de los recursos energéticos más aprovechables en la tierra. México es uno de los países con alta incidencia de energía solar [1].

Se cuenta con una posición geográfica privilegiada en cuanto a irradiación solar, con un promedio anual de 5.3 kWh/m² por día [2-5]. Dicho potencial en energía solar aun no es aprovechado al máximo debido al elevado precio de las tecnologías desarrolladas para el uso de la energía solar. Ver Fig. 1.

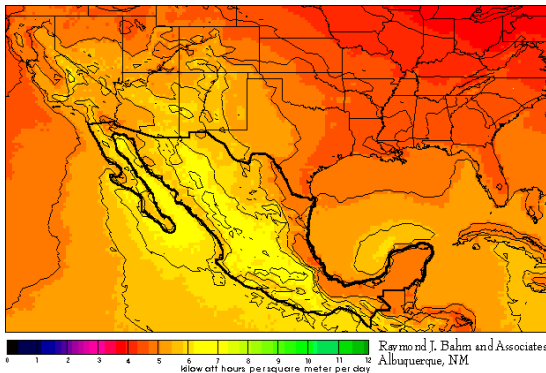


Figura 1 Mapa de irradiación solar en México.

Usos posibles de la energía solar:

Calefacción domestica

Refrigeración

Calentamiento de agua

Destilación

Generación de energía

Fotosíntesis

Hornos solares

Cocinas

Evaporación

Acondicionamiento de aire

Control de heladas

Secado de hierbas y frutas

Una de las principales áreas de oportunidad para el aprovechamiento del recurso solar en México, es la cocción y procesamiento de alimentos por medio de concentradores, hornos, deshidratadores y comales solares.

Uno de estos artefactos es el comal Tolokatsin El nombre es una palabra Nahuatl que significa «toluqueñita», por haber sido diseñadas en Toluca [6].

Este comal consiste en una placa de acero inoxidable, un concentrador y un reflector [7-9]. Se puede construir con diversos materiales; acero, madera, vidrio, aluminio, etc. Una de las principales ventajas de este dispositivo es la cocción de alimentos sin el uso de combustibles fósiles, lo cual representa un ahorro en el consumo de gas LP y contribuye al cuidado del medio ambiente [10].

Metodología

La figura 2 muestra los pasos a seguir para la construcción y caracterización del sistema de concentración solar, siendo este el mismo para los tres prototipos construidos.



Figura 2 Metodología de la caracterización.

a) Teoría y diseño.

Para el diseño se aplican los principios de la óptica geométrica, la cual se ocupa de las trayectorias de los rayos luminosos bajo las leyes de Snell de la reflexión y refracción, además se aplican la ecuación de la parábola y la recta para calcular la superficie del concentrador.

Ley de reflexión

Nos dice que el ángulo incidente es igual al ángulo reflejado con la perpendicular al espejo. La figura 3 muestra el comportamiento de los rayos solares al incidir primeramente en el espejo y posteriormente en el concentrador parabólico compuesto (CPC).

$$\theta_r = \theta_i \tag{1}$$

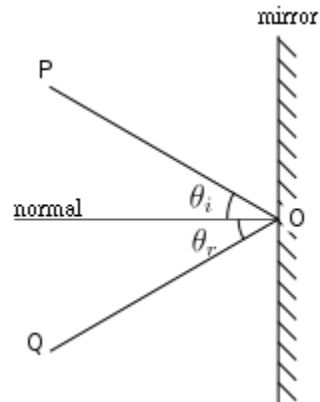


Figura 3 Fenómeno de reflexión

Ecuación de la parábola

La parábola está definida como el conjunto de puntos cuya distancia del foco (punto fijo) y la directriz (línea fija) son iguales. Ver figura 4.

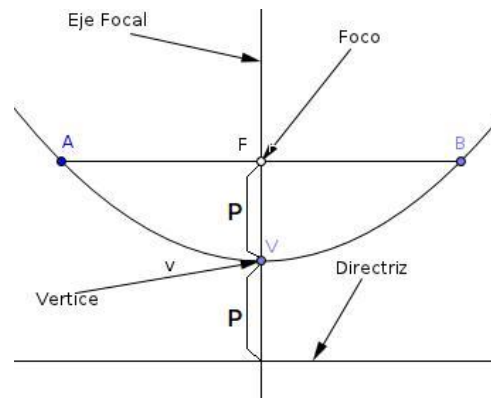


Figura 4 Esquema de la parábola.

Para la construcción del concentrador partimos del diseño realizado en AutoCAD. Ver figura 5

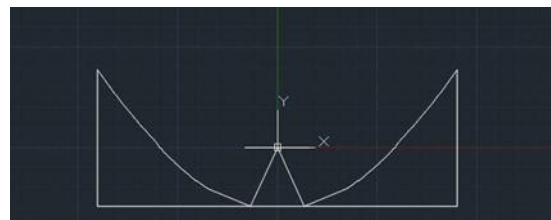


Figura 5 Plano del concentrador.

Resultados

Materiales alternativos

Para la construcción de los dispositivos se utilizó materiales de fácil obtención como la madera de triplay y el MDF (aglomerado elaborado con fibras de madera aglutinadas con resinas sintéticas).

Como superficie reflectora se experimentó con 3 materiales: cinta de aluminio (48 mm), papel metálico común y envolturas de frituras (polipropileno biorientado –BOPP).

El comal fue de acero al carbono, para experimentar se utilizó dos recubrimientos; pintura en aerosol negro mate y ahumado. Se cortaron tres placas de acero y solo un comal quedó al natural (sín recubrimiento). Ver figura 7.



Figura 7 Concentradores y reflectores armados.

Pruebas de campo

Para validar la experimentación se pusieron a prueba los tres concentradores bajo las mismas condiciones de radiación solar.

Las variables a medir fueron; temperatura en la superficie del comal (70 puntos de medición) y radiación solar (3 mediciones; al comenzar la toma de temperatura del comal, a la mitad y al final.

Los 70 puntos de medición del comal son las intersecciones de la cuadrícula trazada sobre su superficie, esto para obtener una mayor precisión en los datos. Ver figura 7.

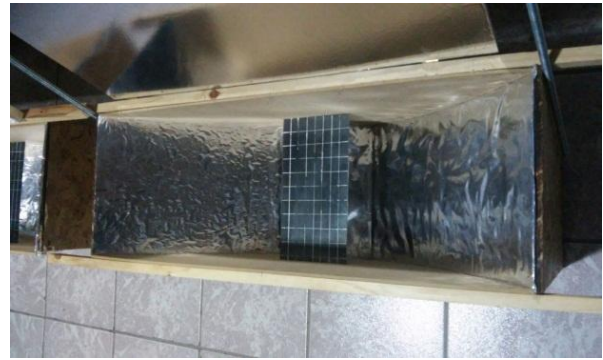


Figura 7 Vista superior del concentrador y reflector.

Concentrador de papel metálico y comal ahumado

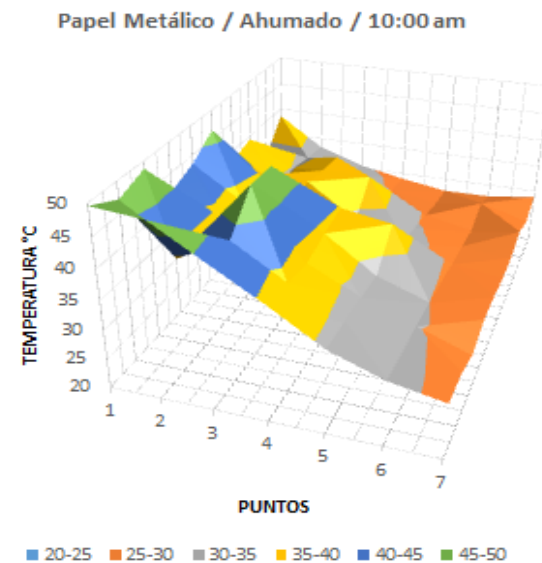


Gráfico 1 Comportamiento de la superficie del comal ahumado.

Con una temperatura promedio de 35.11 °C, este prototipo no alcanza una temperatura uniforme debido a la presencia de nubes al momento de la medición. Ver Gráfico 1.

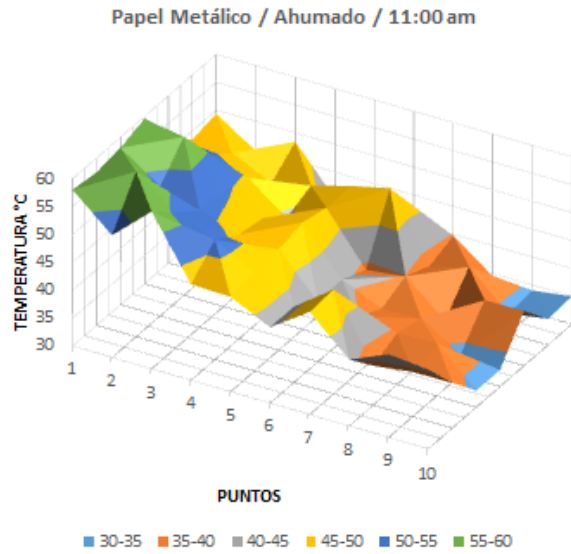


Gráfico 2 Comportamiento a las 11:00 am.

Con una temperatura promedio de 44.77 °C, y una irradiancia promedio de 801.66 W/m² a las 11:00 a.m. Cuando se alcanzó una radiación de 1090 W/m², el prototipo tuvo un mejor comportamiento con temperaturas altas (59.60°C) en la totalidad del comal. Ver Gráfico 2.

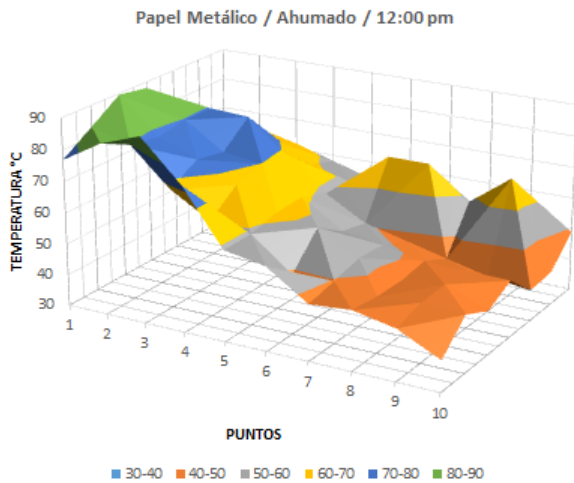


Gráfico 3 Temperatura obtenida a las 12:00 pm.

Con una temperatura promedio de 59.96 °C y una radiación de 1025 W/m² el prototipo mejoro su comportamiento alcanzando temperaturas de 70°C a 89°C en su parte superior. Ver Gráfico 3.

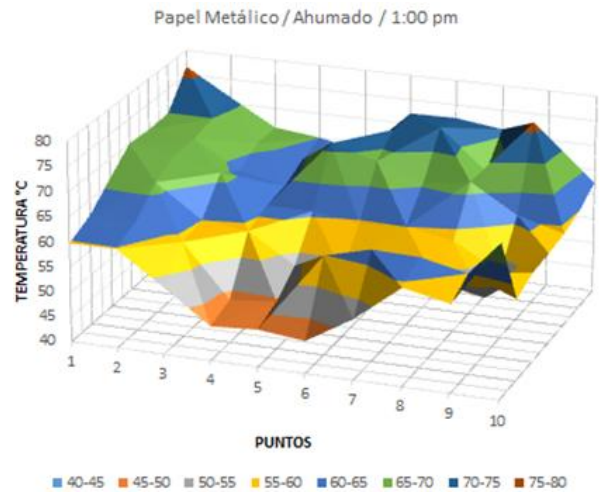


Gráfico 4 Comportamiento a la 1:00 pm.

Con una temperatura promedio de 62.16 °C y una irradiancia de 869 W/m² el comal mostró una temperatura que oscilo entre los 50 y 70 °C. Ver Gráfico 4.

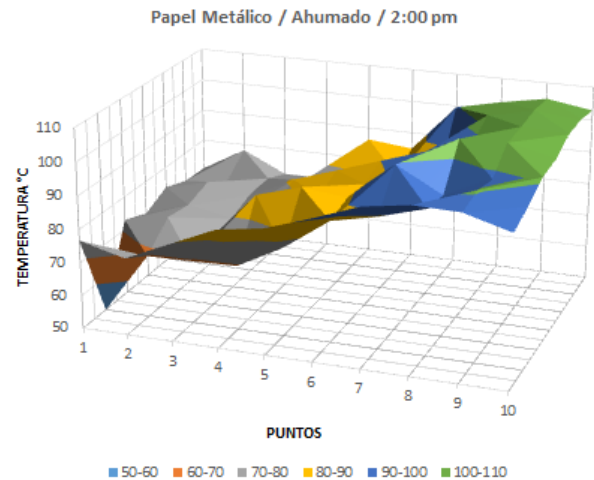


Gráfico 1 Temperaturas registradas a las 2:00 pm.

Con una temperatura promedio de 85.62, y una radiación cercana a los 1000 W/m² el comal mejoro con respecto a las temperaturas previamente alcanzadas. Ver Gráfico 5.

Este comal presento una temperatura promedio de 80.20°C y comportándose de una manera muy similar al anterior pero con una irradiación menor que oscilo entre los 700 y 800 W/m². Ver Gráfico 6.

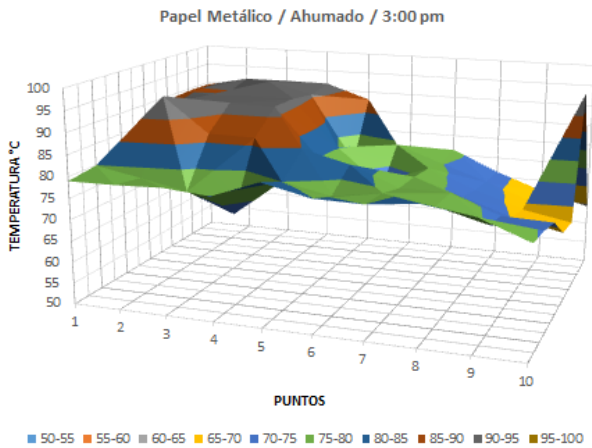


Gráfico 6 Temperatura registrada a las 3:00 pm.

Este comal presento una temperatura promedio de 74.29°C, con la particularidad que en la zona izquierda se presentaron las mayores temperaturas además de una radiación cercana a los 1000 W/m². Ver Gráfico 7.

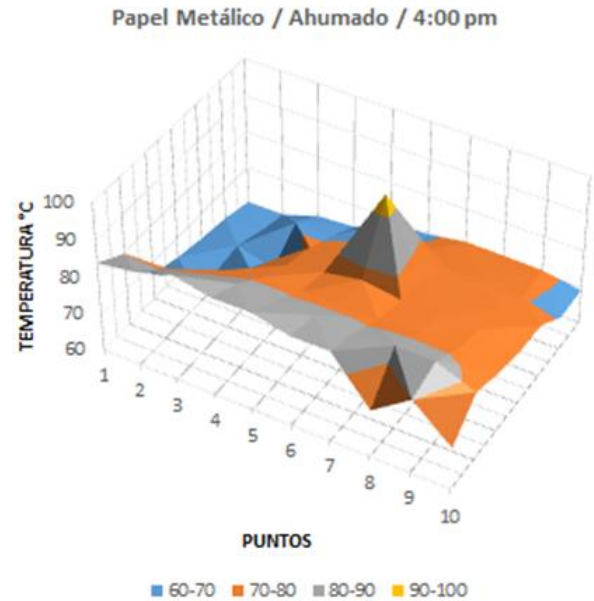


Gráfico 7 Comportamiento del comal a las 4:00 pm.

El papel metálico resulto ser un excelente reflejante al tener una superficie casi lisa, sin imperfecciones, pero el recubrimiento ahumado no obtuvo temperaturas altas en la totalidad de su superficie.

Concentrador de cinta de aluminio y comal natural

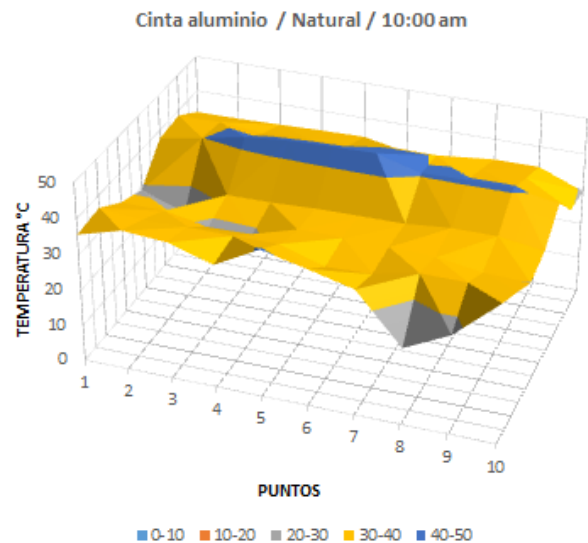


Gráfico 8 Comportamiento del comal sin recubrimiento.

El siguiente concentrador obtuvo una temperatura promedio de 34.88 °C, con el comal natural. La temperatura fue uniforme en casi toda su superficie. Ver Gráfico 8.

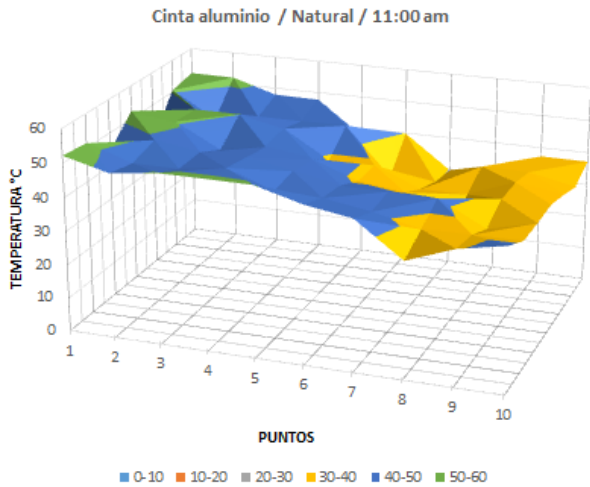


Gráfico 9 Temperatura registrada a las 11:00 am.

Con una temperatura promedio de 42.32 °C este comal fue uniforme aunque sin llegar a los 55°C, con una radiación por encima de los 1100 W/m². Ver Gráfico 9.

El comal obtuvo una temperatura promedio de 57.17 °C, con una radiación por encima de los 1000 W/m². Una alta temperatura en la parte superior del comal y menor en la parte de inferior. Ver Gráfico 10.

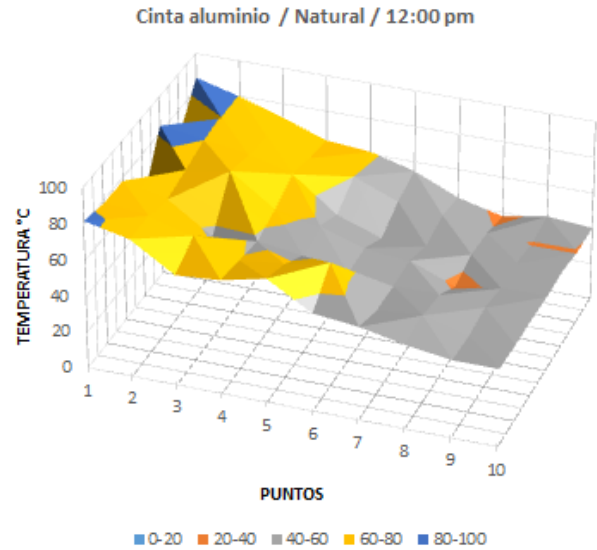


Gráfico 10 Medición de la superficie del comal.

El comal obtuvo una temperatura promedio de 71.86°C, las mejores temperaturas se observaron en el centro del comal. La radiación no superó los 900 W/m². Ver Gráfico 11.

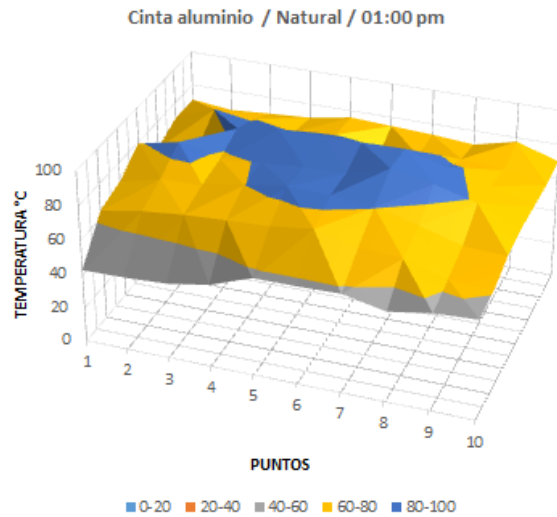


Gráfico 11 Temperatura registrada en el comal sin recubrimiento.

Este comal obtuvo una temperatura promedio de 80.12°C, y en la parte inferior derecha se presentaron las temperaturas más altas que fueron cercanas a los 100°C. Ver Gráfico 12.

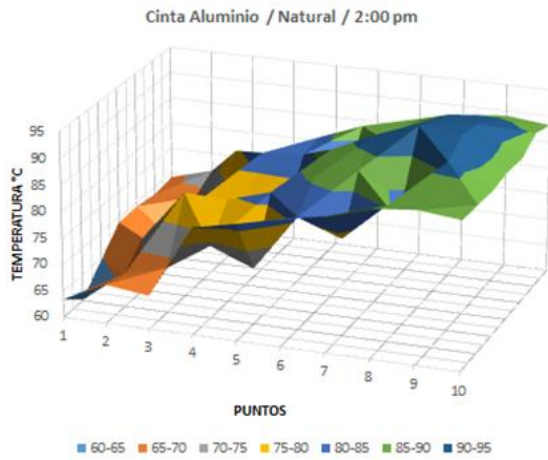


Gráfico 12 Comportamiento de la temperatura en la superficie del comal.

Este comal tuvo una temperatura promedio de 59.11 °C, siendo de los de menor eficiencia en la prueba, notar que es el comal sin modificar y el reflejante de cinta. La radiación se mantuvo por encima de los 1000 W/m². Ver Gráfico 13.

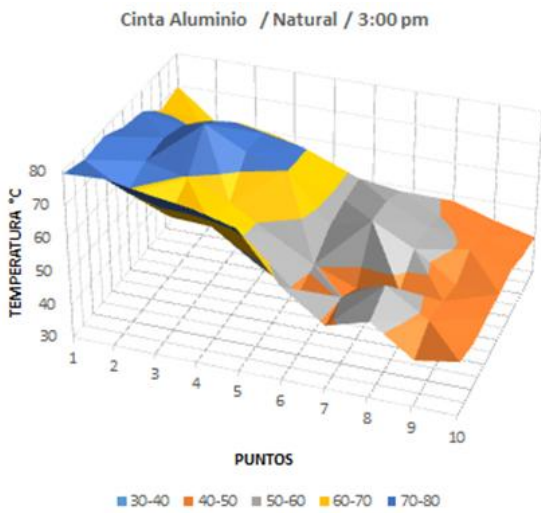


Gráfico 13 Temperaturas registradas a las 3:00 pm.

Concentrador de envoltura y comal pintado

En este concentrador no se superó los 40°C pero mantuvo temperaturas uniformes, a pesar de que los niveles de radiación fueron superiores a 1000 W/m² la reflexión de los rayos solares no fue la óptima. Promedio de temperatura 28.65°C. Ver Gráfico 14.

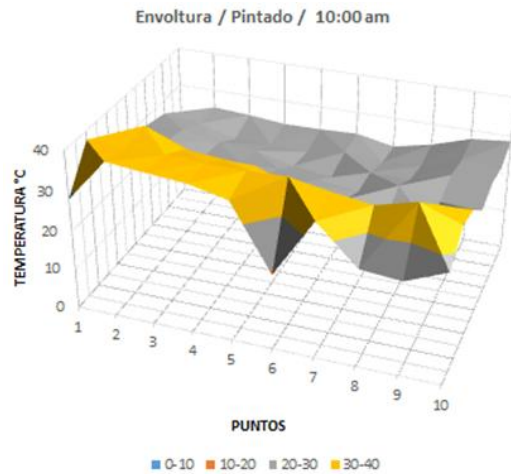


Gráfico 14 Temperaturas registradas en la superficie del comal.

En esta medición se obtuvieron valores entre 39 y 49 °C en casi toda la superficie del comal con una radiación de 1040 W/m². El promedio de temperatura fue de 41.71°C. Ver Gráfico 15.

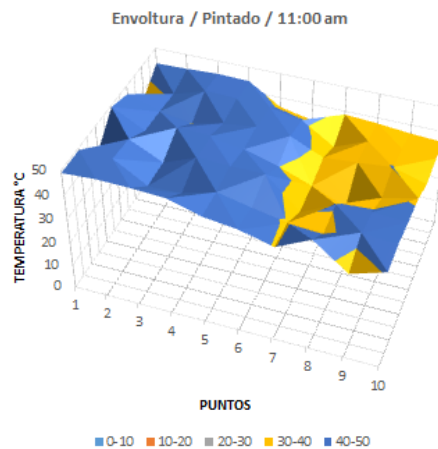


Gráfico 15 Comportamiento de la temperatura a las 11:00 am.

Alcanzado casi los 80°C en algunos puntos del comal y con una radiación superior a los 1000 W/m², mejoro la temperatura en la parte superior. Promedio de temperatura 58.01°C. Ver Gráfico 16.

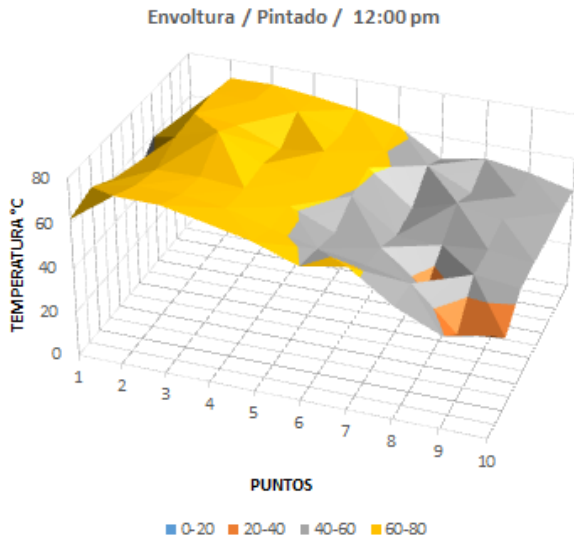


Gráfico 16 Temperatura registrada en la superficie del comal.

A la 01:00 pm se registraron temperaturas de 50 a 79 °C, principalmente en la parte izquierda del comal con una radiación de 1024 W/m². Promedio de temperatura 63.30°C. Ver Gráfico 17.

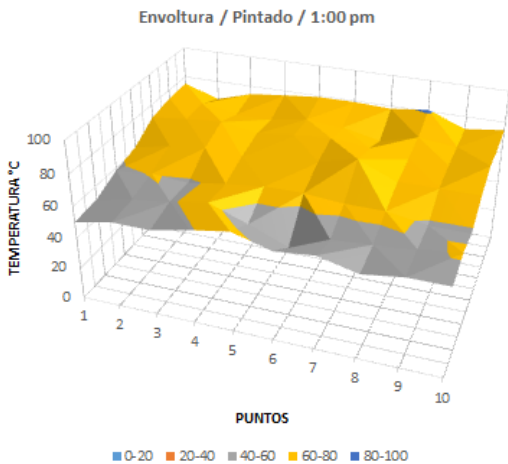


Gráfico 17 Registro de temperatura a la 1:00 pm.

Con un promedio de 76.37°C, el comal en algunos puntos de la parte izquierda alcanzaron los 90°C con una radiación de 1003 W/m². Ver Gráfico 18.

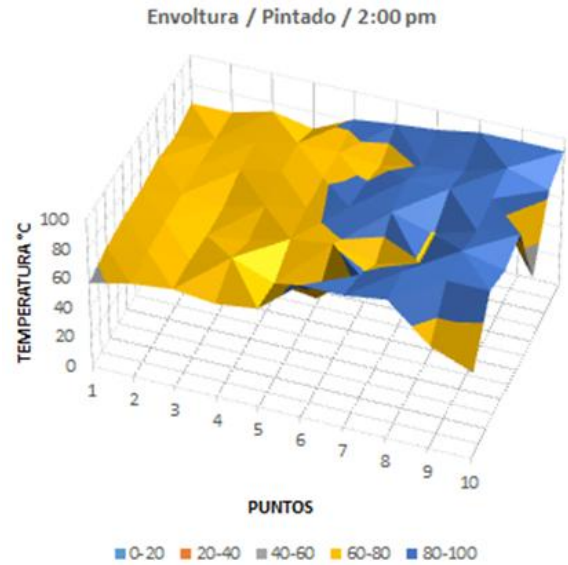


Gráfico 2 Temperatura de la superficie del comal con recubrimiento en negro mate.

La temperatura más alta fue de 92.3°C, el resto de la superficie se mantuvo entre 60 y 80°C. Promedio de temperatura 71.84°C. Ver Gráfico 19.

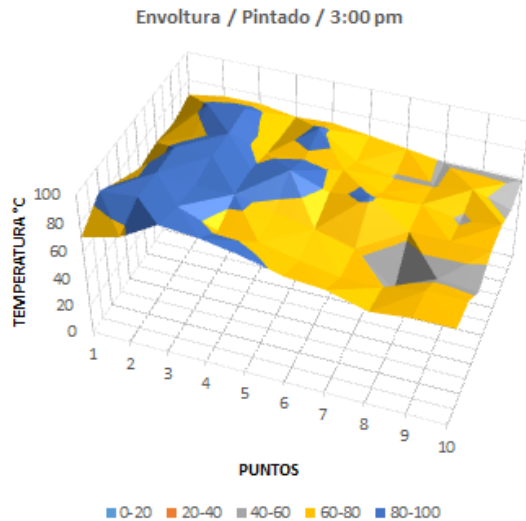


Gráfico 19 Temperatura registrada a las 3:00 pm.

Con un promedio de 55.9°C , se presentó un descenso en la temperatura y la radiación no superó los 950 W/m^2 . Ver Gráfico 20.

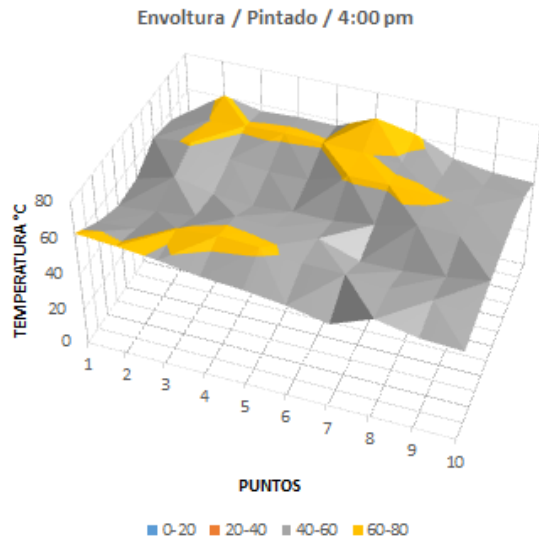


Gráfico 20 Comportamiento de la temperatura a las 4:00 pm.

Conclusiones

El diseño se realizó mediante los cálculos descritos se recomienda utilizar por lo menos una tabla de Excel para automatizar el proceso de cálculo. El prototipo fue elaborado en Auto CAD lo cual favorece el grado de exactitud en las curvaturas del CPC con este molde obtenido a partir de la impresión a escala 1:1 del CPC se construyó el prototipo con madera y materiales ya especificados. La utilización de estos materiales permite tener un prototipo fácil de reproducir, ensamblar, desensamblar, transportar y viable económicamente.

Cuando se tiene papel metálico como reflector y el comal ahumado por la parte inferior se obtuvo una temperatura promedio de 35.11°C , desviación estándar de 7.56 bajo una irradiancia promedio de 595.66 W/m^2 y una desviación estándar de 390.73 con una temperatura máxima de 49.60°C , con una eficiencia del 86.32%, lo cual es un comportamiento típico para las 10:00 am con nubosidad. El mejor comportamiento se obtuvo a las 4:00 pm con una temperatura promedio de 74.29°C y una desviación estándar de 6.43 bajo una irradiancia promedio de 928 W/m^2 y una desviación estándar de 2.16 con una temperatura máxima de 93.90°C . Y una eficiencia térmica de 56.24%. El experimento realizado a las 10:00 am presenta una mayor eficiencia comparado con el de las 4:00 pm debido a que el comal alcanza menores temperaturas por lo tanto tuvo menor pérdida de calor hacia el ambiente. El papel metálico destacó por tener mayor eficiencia en la reflexión en comparación con la cinta de aluminio y envoltura de frituras.

Con el concentrador fabricado de cinta aluminio y comal sin recubrimiento la temperatura promedio obtenida fue de 34.88°C con una desviación estándar de 4.27 bajo una irradiancia promedio de 517.33 W/m^2 y una eficiencia de 30.5% a las 10:00 am, la temperatura máxima fue de 43.90°C . La experimentación realizada a las 3:00 pm se obtuvo una temperatura promedio de 59.11°C con una desviación estándar de 2.16 bajo una irradiancia promedio de 1020 W/m^2 , la temperatura máxima fue de 79.80°C y una eficiencia de 46.6%. Con estos valores de temperatura ya es posible el calentamiento de los alimentos.

Mediante las pruebas de campo se demostró que el material de papel aluminio fue el mejor reflejante al tener una superficie totalmente uniforme, logro dirigir los rayos solares directo a la placa de acero al carbono (comal).

Como mejor recubrimiento del comal se demostró que la pintura en aerosol negro mate logra una mejor absorción de los rayos solares, alcanzando una temperatura promedio de 90°C. Los materiales que utilizamos a pesar de ser comunes lograron un buen funcionamiento aunque siempre se puede mejorar algunos aspectos del diseño del concentrador y reflector.

Referencias

- [1] Associates, R. J. (2000). *Albuquerque, NM*. Obtenido de <http://www.ecotec2000.de/espanol/sun6.htm>
- [2] Eduardo A. Rincón Mejía, Á. E. (2006). Empleo de la energía solar para la cocción de alimentos. *Universidad Autónoma de la Ciudad de México*.
- [3] Garcia, A. (07 de Octubre de 2009). *Cocina Solar* . Obtenido de <https://cocinasolar.wordpress.com>
- [4] Gonzalez, J. R. (30 de Marzo de 2008). *Wikipedia*. Obtenido de *Optica Geometrica*: <http://es.m.wikipedia.org>
- [5] Ingeniería, U. N.-F. (Abril de 2011). *UNAM* . Obtenido de <http://www.unam.mx>
- [6] Kletenik. (s.f.). *Geometría analítica*. Moscú: Editorial Mir.
- [7] Mejía, D. E. (2007). *Comales Solares* . *International Solar Energy Society* .
- [8] Mejía, E. A. (2008). Cocinas solares, a la vanguardia en México. *Revista Solar/ ANES*, 2-10.
- [9] Mejía, E. A. (2010). Aplicaciones de la óptica anidólica. *Universidad Autónoma de la Ciudad de México / Programa de Energía*.
- [10] Villamar, J. M. (Septiembre de 2013). *Inventario de Energía Renovable*. Obtenido de <http://www.ineel.mx/boletin032013/divulga.pdf>