

# **INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE**

Reconocimiento de validez oficial de estudios de nivel superior según acuerdo secretarial 15018, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 29 de noviembre de 1976.

---

Departamento del Hábitat y Desarrollo Urbano  
MAESTRÍA EN PROYECTOS Y EDIFICACIÓN SUSTENTABLES



## **PROTOTIPO DE HORNO SOLAR PARA LA COCCIÓN SUSTENTABLE DE LADRILLO DE ARCILLA EN TONALÁ, JALISCO.**

Trabajo recepcional que para obtener el grado de  
MAESTRO EN PROYECTOS Y EDIFICACIÓN SUSTENTABLES

Presenta: Arq. Rodrigo Arana Barba

Tutor: Dr. Nayar Cuitláhuac Gutiérrez Astudillo

San Pedro Tlaquepaque, Jalisco. Abril de 2018.

**Agradecimientos:**

A la Madre Naturaleza.

A mis padres y hermanos: MAC, MZGBC, ZAB, MAB.

A mi tutor Dr. Nayar Cuitláhuac Gutiérrez Astudillo, al Dr. David Vargas del Río por su invaluable ayuda con el concentrador solar y al Mtro. Luis Enrique Flores Flores.

A mis amigos Alejandro Sierra Guiza y María Alejandra Núñez Villalobos por sus aportes al proyecto.

Al CONACYT que me permitió con su beca realizar mis estudios.

**“Lo admirable es que el hombre siga luchando y creando belleza en medio de un mundo bárbaro y hostil”**

- Ernesto Sábato, *Antes del fin*, 1999.

# **Prototipo de horno solar para la cocción sustentable de ladrillo de arcilla en Tonalá, Jalisco.**

## **Resumen**

En **Tonalá, Jalisco** se asientan familias productoras de ladrillo de arcilla. El proceso tradicional de cocción de ladrillo es térmicamente ineficiente y requiere la quema de grandes cantidades de material combustible como leña, madera de desecho industrial, basura, residuos plásticos inclusive llantas. Los humos generados de la producción de ladrillo contribuyen a la mala calidad del aire, la cual genera problemas de salud para el ser humano. En este trabajo se propone el diseño y desarrollo de un prototipo de **horno solar** para la cocción sustentable de **ladrillo de arcilla**, en él se presentan los avances de las pruebas de concepto donde se utilizó un concentrador solar con **lente de Fresnel** para aplicar **energía solar** térmica a diferentes geometrías de arcilla. En las pruebas se lograron cocer piezas pequeñas de arcilla con un buen aspecto rojizo similar al ladrillo de primera calidad. Este proyecto busca resolver la problemática de la emisión de contaminantes atmosféricos generados por las ladrilleras tradicionales en **Tonalá, Jalisco**, mediante una eficiente cocción pasiva de arcilla.

Palabras clave: **Horno solar; lente de Fresnel; ladrillo de arcilla; energía solar; Tonalá, Jalisco.**

## Índice.

1. Introducción.	10
1.1 Antecedentes.	11
1.2 Justificación de la investigación.	20
1.2.1 Proyecto de investigación aplicada	20
1.2.2 Demandas sectoriales.	20
1.2.3 Factibilidad solar	22
1.3 Hipótesis.	24
1.4 Objetivos.	24
2. Metodología.	25
2.1 Selección del modelo operacional.	27
2.2 Diseño de instrumentos y pruebas.	28
2.3 Respaldo teórico de la experimentación	30
3. Experimentación y resultados	33
3.1 Descripción de resultados de la observación directa	33
3.1.1 Memoria fotográfica de observación directa ordinaria en visita a la ladrillera en la colonia La Guadalupana, Tonalá, Jalisco.	35
3.1.2 Memoria fotográfica de observación directa ordinaria en visita a la ladrillera en Tesistán, Zapopan, Jalisco.	36
3.2 Descripción de resultados de la experimentación primera etapa	38
3.2.1 Pruebas de concepto	38
3.2.2.1 Prueba de concepto 01: Cámara de cocción de aluminio	38
3.2.2.2 Prueba de concepto 02: Ladrillo estándar directo al haz de energía	41

3.2.2.3 Prueba de concepto 03: Cámara de cocción de cobre _____	42
3.2.2.4 Prueba de concepto 04: Cámara de cocción de cobre con aislamiento de yeso _____	45
3.3 Experimentos segunda etapa _____	48
3.3.1 Prueba de cocción de ladrillos a escala _____	48
3.3.2 Prueba de compresión simple ladrillos a escala _____	53
3.3.3 Prueba de cocción de esfera hueca de arcilla _____	58
3.3.4 Prueba de cocción de ladrillo en cámara de cocción metálica 01 _____	62
3.3.5 Pruebas de cocción de ladrillo en cámara de cocción metálica 02, con y sin aislamiento de yeso _____	66
3.3.6 Prueba de cocción de cubos de arcilla _____	71
3.3.7 Prueba simple de compresión cubos de arcilla _____	77
4. Conclusiones _____	75
4.1 Conclusiones observación directa _____	80
4.2 Conclusiones de experimentación _____	81
4.3 Conclusiones generales _____	84
4.4 Propuesta de prototipo _____	86
4.5 Líneas de investigación futuras _____	87
5. Anexos. _____	90
5.1 Literatura citada _____	90
5.2 Técnicas de recopilación de información. _____	94
5.2.1 Observación directa ordinaria. _____	94
5.2.1.1 Metodología para observación directa ordinaria. ____	94
5.2.1.2 Machote de formulario para visita en campo con	

observación directa ordinaria _____	96
5.2.1.3 Observación directa ordinaria en visita a la ladrillera en la colonia La Guadalupana, Tonalá, Jalisco ____	97
5.2.1.4 Observación directa ordinaria en visita a la ladrillera en Tesistán, Zapopan, Jalisco. _____	99
5.2.2 Diseño de experimento _____	101
5.2.2.1 Metodología de diseño de experimento. _____	101
5.2.2.2 Pruebas de concepto _____	106
5.2.2.2.1 Protocolo de experimentos _____	106
5.2.2.2.2 Prueba de concepto 01: Cámara de cocción aluminio. _____	108
5.2.2.2.3 Prueba de concepto 02: Ladrillo estándar directo al haz de energía. _____	111
5.2.2.2.4 Prueba de concepto 03 – Cámara de cocción de cobre. _____	115
5.2.2.2.5 Prueba de concepto 04 – Cámara de cocción de cobre con aislamiento de yeso _____	117
5.2.3 Experimentos segunda etapa _____	120
5.2.3.1 Prueba de cocción de ladrillos a escala _____	120
5.2.3.2 Prueba simple de compresión ladrillos a escala ____	121
5.2.3.3 Prueba de cocción de esfera hueca de arcilla ____	124
5.2.3.4 Prueba de cocción de ladrillo en cámara de cocción metálica 01 _____	125
5.2.3.5 Pruebas de cocción de ladrillo en cámara de cocción metálica 02 simple y con aislamiento de yeso ____	126
5.2.3.6 Prueba de cocción de cubos de arcilla _____	129
5.2.3.7 Prueba simple de compresión cubos de arcilla ____	130

## Índice de figuras.

Figura 000 – Hornos de cartón _____	12
Figura 001 – Diagrama de captación solar _____	13
Figura 002 – Diagrama de captación solar _____	14
Figura 003 – Vista general del laboratorio de Odeilló _____	14
Figura 004 – Heliostato _____	15
Figura 005 – Esquema CSFF _____	16
Figura 006 – Diseño de prototipo secador solar _____	17
Figura 007 – Horno solar de tres partes _____	18
Figura 008 – Principio del sistema horno MK _____	19
Figura 009 – Gráfica de radiación solar en Guadalajara _____	22
Figura 010 – Mapa de radiación solar promedio en México _____	23
Figura 011 – Gráfica de tiempo y temperatura de cocción solar. _____	30
Figura 012 – Fotos visita ladrillera Tonalá _____	35
Figura 013 – Fotos visita ladrillera Tesistán _____	36
Figura 014 – Fotos visita ladrillera Tesistán _____	37
Figura 015 – Cámara de cocción aluminio _____	38
Figura 016 – Cámara de cocción aluminio _____	39
Figura 017 – Experimento cámara de cocción aluminio _____	40
Figura 018 – Proceso ladrillo directo a haz de energía solar _____	41
Figura 019 – Ladrillo al final de la prueba _____	42
Figura 020 – Cámara de cocción de cobre, planta y corte _____	43
Figura 021 – Prueba con cámara de cocción de cobre _____	43
Figura 022 – Haz de energía sobre cámara de cocción de cobre _____	44
Figura 023 – Ladrillo resultante de la prueba de c. de cocción de cobre _____	44
Figura 024 – Diseño de cámara de cocción de cobre aislada _____	45
Figura 025 – Fabricación de cámara de cocción de cobre aislada _____	46
Figura 026 – Armado de cámara de cocción de cobre aislada _____	47
Figura 027 – Proceso de prueba cámara de cocción de cobre aislada _____	48
Figura 028 – Peso de porción de ladrillo _____	49
Figura 029 – Temperaturas ladrillo a escala 01 _____	52

Figura 030 – Temperaturas ladrillo a escala 02 _____	52
Figura 031 – Temperaturas ladrillo a escala 03 _____	53
Figura 032 – Prueba compresión simple ladrillo a escala 01 _____	55
Figura 033 – Prueba compresión simple ladrillo a escala 02 _____	56
Figura 034 – Prueba compresión simple ladrillo a escala 03 _____	56
Figura 034 – Gráfica de resistencia a la fuerza de compresión _____	55
Figura 035 – Prueba de esfera de arcilla _____	61
Figura 036 – Gráfica de temperaturas registradas (esfera) _____	61
Figura 037 – Prueba de ladrillo a escala con cámara dos piezas _____	64
Figura 038 – Prueba de ladrillo a escala con cámara dos piezas _____	65
Figura 039 – Temperaturas prueba de ladrillo (cámara 2 piezas) _____	65
Figura 040 – Prueba ladrillo con cámara de cocción metálica _____	69
Figura 041 – Temperaturas prueba de ladrillo (cámara 2 piezas) _____	69
Figura 042 – Prueba de cámara aislada _____	69
Figura 043 – Temperaturas prueba de ladrillo (cámara 2 piezas aislada) _____	70
Figura 044 – Umbrales de exposición al haz de energía solar _____	73
Figura 045 – Prueba de cocción cubos de arcilla _____	75
Figura 046 – Gráfica de temperaturas - prueba de cubos de arcilla _____	75
Figura 047 – Piezas resultantes prueba de cubos de arcilla _____	75
Figura 048 – Prueba compresión cubos de arcilla _____	79
Figura 049 – Gráfica de la resistencia a la compresión cubos de arcilla _____	79
Figura 050 – Concentrador solar con lente de Fresnel _____	101
Figura 051 – Herramientas _____	102
Figura 052 – Concepto cámara de cocción _____	104
Figura 053 – Mini fusible _____	113
Figura 054 – Nubes y sensor solar _____	114
Figura 055 – Sistema de movimiento horizontal concentrador solar _____	118

## Índice de tablas

Tabla 01 – Listado de costos por componente de concentrador solar _____	16
Tabla 02 – Definición de conceptos _____	29
Tabla 03 – Comparativa prueba de compresión en ladrillos a escala _____	57
Tabla 04 – Umbrales de exposición de energía _____	72
Tabla 05 – Factor de emisión (Kg de CO2 equivalente) _____	87
Tabla 06 – Bitácora de temperaturas prueba ladrillos a escala pieza 01 _____	120
Tabla 07 – Bitácora de temperaturas prueba ladrillos a escala pieza 02 _____	121
Tabla 08 – Bitácora de temperaturas prueba ladrillos a escala pieza 03 _____	122
Tabla 09 – Bitácora de prueba de compresión ladrillos a escala _____	123
Tabla 10 – Bitácora de prueba de esfera hueca de arcilla _____	124
Tabla 11 – Bitácora de prueba de cocción en cámara metálica 01 _____	128
Tabla 12 – Bitácora de prueba de cocción en cámara metálica 02 _____	129
Tabla 13 – Bitácora de prueba de cocción cubos de arcilla _____	130
Tabla 14 – Bitácora de prueba de compresión de cubos de arcilla _____	131

## 1. Introducción

La contaminación atmosférica puede ser definida como “la presencia en el aire de materias o formas de energía que impliquen riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza” SEMARNAT (2011). Erupciones volcánicas, tormentas de arena, incendios, descomposición de materia orgánica, polen pueden ser considerados como elementos que generan contaminación atmosférica natural. A partir del descubrimiento del fuego por el hombre se crea la contaminación atmosférica antropogénica, la cual se ha agravado a partir de la revolución industrial y el uso intensivo de combustibles fósiles. De acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADES, 2016). En 70% de los días del año la Zona Metropolitana de Guadalajara, se tiene una mala calidad del aire, violando alguna de las normas de calidad del aire. Es común encontrar rangos de 200 a 250 puntos IMECA. Los dos contaminantes más comunes y presentes a lo largo del año que rebasan la norma de calidad del aire son el ozono, (60% de los días del año), y las partículas de menos de 10 micrómetros (30% de los días del año).

Entre las principales fuentes de contaminación atmosférica se incluyen las fuentes fijas (industria) y las fuentes móviles (vehículos automotores) que generan 8,276.99 Ton por día, SEMADET (2015).

En Tonalá se asientan en la zona de Santa Paula, Jauja y San Miguel La Punta un grupo de familias productoras de ladrillo de arcilla. Esta actividad requiere la quema de grandes cantidades de material (de 1 a 2 toneladas de material combustible por horneada) para alcanzar el rango de entre 900° a 1000°C. Material que va desde la leña, madera de desecho industrial, basura, residuos plásticos hasta llantas. Los humos generados de la producción de ladrillo contribuyen a la mala calidad del aire, la cual genera problemas de salud para el ser humano en especial para niños, mujeres embarazadas y adultos mayores. Es decir, para la población en condiciones de vulnerabilidad de su sistema inmunológico; así lo demuestran estudios de Zelikoff J.T et al. (2002).

En este caso se elige al municipio de Tonalá para la aplicación del prototipo de horno solar sustentable en la producción de ladrillo, pero el proyecto es replicable en otras zonas con la

misma problemática, como Tlajomulco y Zapopan por mencionar algunas. La aplicación de este prototipo podría contribuir al desarrollo ecológico y económico de las personas que laboran en este sector productivo, ya que el sistema propuesto producirá ladrillo sin generar una combustión que contamine el aire, lo cual permitiría también el ahorro económico y de material combustible a los productores ladrilleros y una mejora sustancial en la calidad de vida y salud de los trabajadores que ya no tendrían que estar respirando las emisiones producto de la quema del ladrillo. La utilización de esos ladrillos en la edificación reduciría la huella de carbono, al requerir una menor cantidad de materiales para su producción, pero además tendría un impacto directo en la salud y calidad de vida de los vecinos en aquellos casos donde los ladrilleros convivan con zonas habitacionales.

## **1.1 Antecedentes**

Las ladrilleras de la zona de Santa Paula, San Miguel La Punta y Jauja, en el municipio de Tonalá se encuentran ubicadas a lo largo de la Carretera Libre a Zapotlanejo, en lo que tradicionalmente se conocía como la zona periférica de la Zona Metropolitana de Guadalajara (en adelante ZMG). Sin embargo, estas ladrilleras, con el crecimiento y expansión de la ciudad, conviven directamente con fraccionamientos habitacionales como el de “Hacienda Real”, generando conflictos entre productores y vecinos. Ante estos conflictos, la solución implementada por las autoridades ha sido la reubicación de los ladrilleros a sitios cada vez más lejanos, sin comprender que este sector productivo no solo genera economías de escala, sino también, que son familias que requieren de comercios, servicios y equipamiento para su vida diaria, de ahí que se requiera encontrar medidas alternativas que ataquen el problema de fondo y propongan soluciones que funcionen a largo plazo.

La idea del horno solar para cocción de ladrillo surge al tratar de comprender el fenómeno como un problema con múltiples factores que lo provocan y tratando de encontrar soluciones donde la población residente cercana, así como los ladrilleros salgan beneficiados. Por ello se tomó como base los hornos solares de almacenamiento y refracción Esteves, Alfredo, et al. (2008), (ver fig. 001) que se utilizan para cocinar en zonas rurales y otorgando una alternativa sustentable a la quema de leña como generador de calor y donde la distribución de gas licuado o gas natural es difícil dadas las condiciones naturales del territorio.



Fig. 000 Hornos de cartón – Fuente: Casado (2013).

En el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada Querétaro, Instituto Politécnico Nacional, un grupo de investigadores coordinados por el Dr. Villeda-Muñoz desarrollaron un horno solar para la cocción de ladrillos el cual funciona con un seguidor de dos ejes (elevación y rotación), que controla un helióstato que capta la energía solar. Una computadora personal controla el sistema de motores y un algoritmo con lenguaje de programación visual, calcula los ángulos necesarios para el seguimiento solar. Este sistema tiene dos seguimientos (primario y secundario), los cuales son iguales para los equinoccios y diferenciados para los solsticios, para adaptarse a la mayor altura solar que existe en verano en el hemisferio norte. Este sistema es muy eficiente ya que el seguimiento solar se realiza minuto a minuto. Villeda-Muñoz, et al. (2010).

En síntesis, el prototipo está constituido por tres componentes básicos: el helióstato, el concentrador parabólico fuera de eje y la cámara de cocción la cual tiene una capacidad de 10 ladrillos. Aun cuando este prototipo de horno es eficiente para el uso personal de las familias su capacidad es limitada cuando se requiere la cocción de 10 mil a 40 mil ladrillos, lo que lo saca de mercado. (Más referencias citadas en el diario de campo en el apartado 4.2.1 Observación directa.)

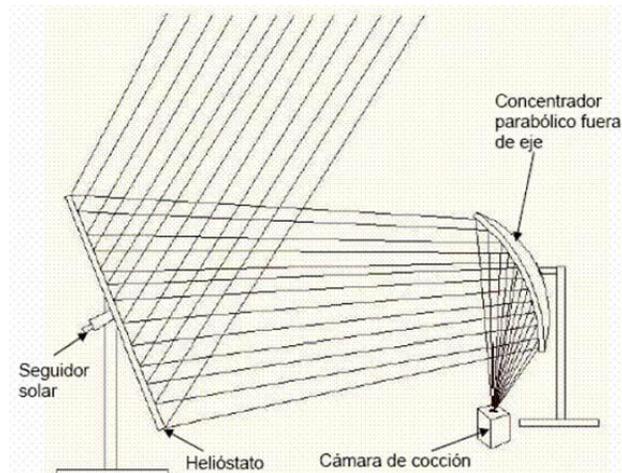


Fig. 001 Diagrama de captación solar. Fuente: Villeda-Muñoz, et al (2010).

Otro ejemplo de prototipo de hornos solares es el de Cañadas et al. (2004), explicado en su artículo titulado “Tratamiento térmico de materiales en el Horno Solar de la PSA: líneas actuales de actividad” en el cual se describe como la energía solar concentrada se pueden lograr altas densidades de flujo energético, con la característica de que estos hornos conservan un amplio espectro en longitudes de onda, permitiendo alcanzar temperaturas de hasta 3500°C en poco tiempo. “Los hornos solares, por sus características, son especialmente adecuados para aplicaciones que conlleven la transformación o síntesis de materiales, siendo instalaciones dedicadas a la investigación en los campos de tratamiento y caracterización de materiales y procesos químicos” Cañadas et al. (2004). La factibilidad de la utilización de hornos solares en el tratamiento de materiales queda comprobada con las colaboraciones en experimentos entre los diferentes centros de investigación europeos, experimentos que se llevaron a cabo en el año 2001, en el Horno Solar de la PSA.

En el artículo se narra el esquema de captación y reflexión, el cual es muy parecido al del “seguidor de dos ejes” antes mencionado, pero, al igual que ese ejemplo, la parte para la cocción de materiales es pequeña, más útil para experimentos de laboratorio que para una producción en masa.

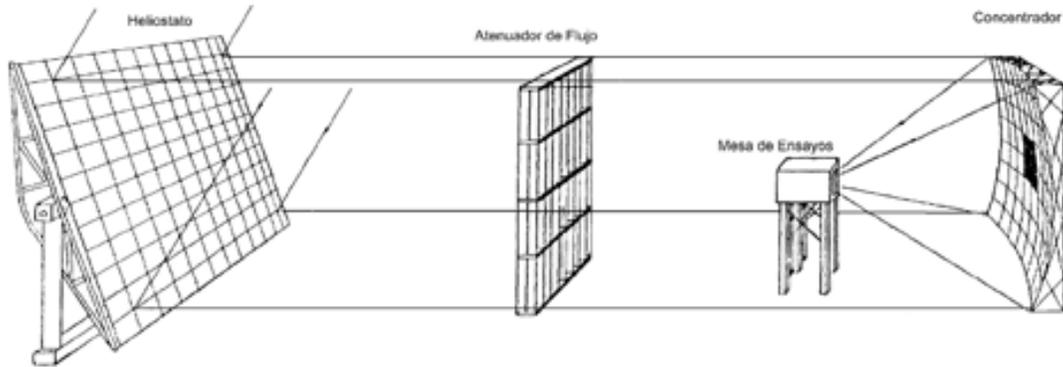


Fig. 002. Diagrama de captación solar. Fuente: Cañadas et al. (2004)

Dadas las dimensiones y necesidades de cocción es que uno de los ejemplos de horno solar a gran escala se localice en Odeilló un pueblo francés cercano a la frontera con España. Este horno, fundado en 1970 está compuesto por filas con 60 espejos situados en una pendiente que posteriormente concentran la luz solar en una segunda serie de espejos concentradores de forma de parábola (toda la fachada del edificio laboratorio). El cual refleja la luz y la concentra en el edificio central en una superficie circular de 40 cm. Este horno alcanza temperaturas superiores a los 3000°C en muy poco tiempo, la energía generada puede ser utilizada como corriente eléctrica, fundición de metales y la fabricación de combustible de hidrógeno o nanomateriales.



Fig. 003 Vista general del laboratorio de Odeilló. Fuente: Trombe, F., & Albert Le Phat, V. (1973)

Los investigadores Evans R. y Sánchez-García A. (2013) pertenecientes al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) en Baja California Norte desarrollan “Una nueva matriz de heliostato maestro-esclavo de código abierto para su uso como plataforma experimental y aplicaciones de energía solar”, proyecto en el que se resalta la utilización de componentes asequibles y la utilización de materiales como partes de bicicleta, automoción, tubería de plomería y electrónica de código abierto, esto con la finalidad de utilizar el sistema como base para experimentos científicos en energía solar, hornos solares de temperatura, calentadores de agua solares industriales, concentración de energía fotovoltaica. El sistema utiliza un nuevo diseño mecánico, un relé de estado sólido construido en casa y un sistema de seguimiento solar híbrido (activo-absoluto) simple pero preciso. Este sistema también tiene potencial de uso comercial en las microempresas; no obstante su máximo aporte es la reutilización de materiales que se utilizan para el heliostato.

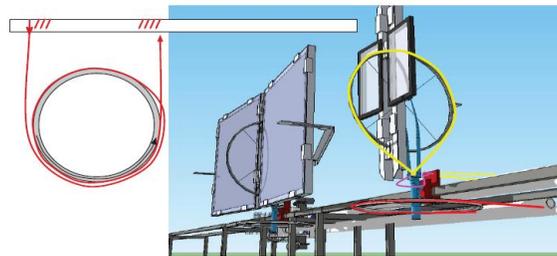


Fig. 004 Heliostato Fuente: Evans R. y Sánchez-García A. (2013).

Los investigadores Ruelas Ruiz, J.E., Velázquez Limón N., Beltrán Chacón R. (2011) del Centro de Estudio de las Energías Renovables del Instituto de Ingeniería, UABC, en su proyecto llamado “Diseño de un Concentrador Solar Acoplado a un Motor Stirling Fijo”, mediante un modelo geométrico se desarrolló un concentrador de foco fijo (CSFF), el cual utiliza coordenadas cartesianas y alimenta de energía solar un motor Stirling de 3kWe. Este proyecto arrojó algunos de los resultados muy interesantes como que “la mayor concentración se obtiene con un ángulo de borde de  $45^\circ$ , pero con la diferencia de que el receptor de cavidad se encuentra con una inclinación  $80.7^\circ$  en posición fija, obteniéndose una eficiencia térmica de dicho receptor del 88%”, Ruelas Ruiz (2011).

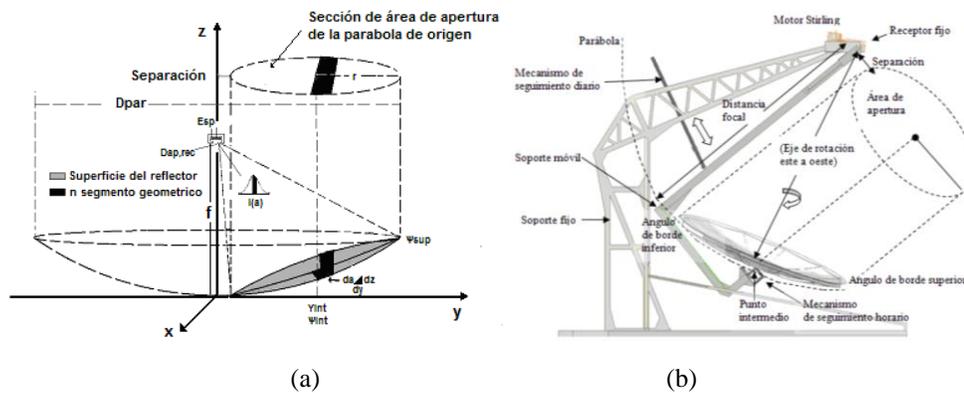


Fig 005. Esquema de la proyección de la sección área de apertura sobre la parábola que da origen al CSFF (a). Esquemas del CSFF (b). Fuente: Ruelas Ruiz, J.E., et al. (2011).

La gama de utilización de la energía térmica solar es muy amplia, como se demuestra en el proyecto de Fontana (2011) en el cual desarrolló una metodología para acoplar un concentrador solar en el proceso de industrialización de la piña. Existen varias etapas donde la potencia térmica es el principal energético requerido, se cuantificó la demanda energética y los costos de implementación. La utilización de un concentrador solar escalonado con una superficie reflejante menor a los 11 m<sup>2</sup> con las cuales se obtienen temperaturas cercanas a los 650°C con lo cual se cumplen los objetivos de obtención de piña procesada. A continuación, se presenta una tabla con los costos del prototipo, información valiosa para posteriores comparaciones y para ir visualizando opciones propias.

Descripción	Costo US. Dollar
Marco de Espejos	181.5
Eje central pivotante.	83.35
Base de la estructura.	80.08
Sistema de seguimiento continuo al sol.	126
Sistema de equilibrio.	16.8
Sistema de inclinación acimutal.	110.8
Arreglo de espejos.	466.4
Intercambiador de calor de doble tubo.	216
Pintura anticorrosiva.	71.3
Pintura de superficie del concentrador.	37
<b>TOTAL</b>	<b>1389.23</b>

Tabla 01. Listado de costos por componente y presupuesto total para la construcción del concentrador solar. Fuente: Fontana (2011).

Otro proyecto solar es el desarrollado por Castañeda et al. (2012), el cual aprovecha la energía solar con la finalidad de deshidratar productos agrícolas, esto para no perder productos resultantes de los altos rendimientos agrícolas. Por medio de control difuso en un horno solar disminuyen los tiempos de secado de los productos agrícolas de días a horas. Aplicaron

experimentos de secado usando flor de Jamaica, donde disminuyeron el tiempo de secado de cuatro días a 5 horas aproximadamente.

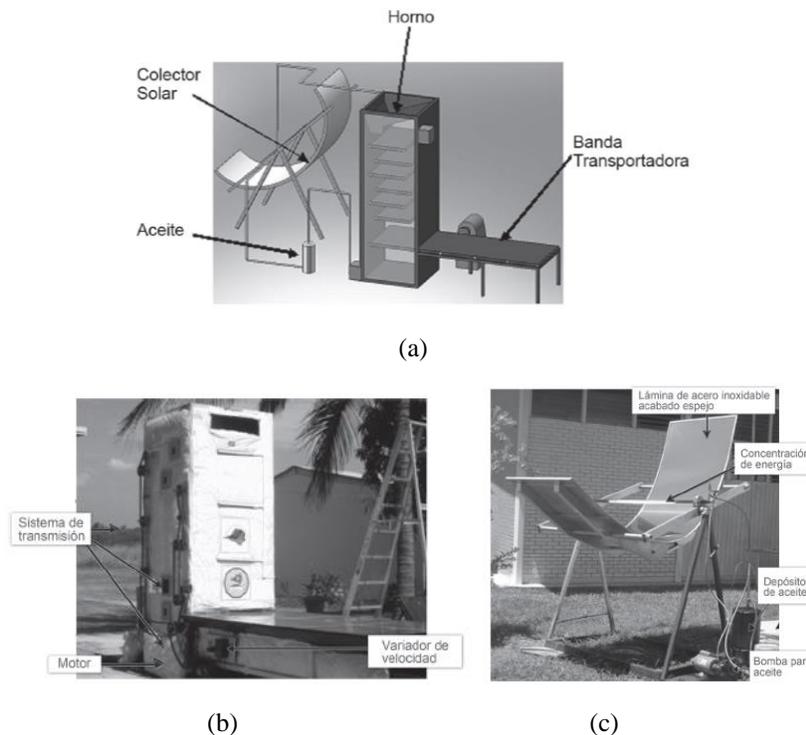


Fig. 006. Diseño de prototipo - Mecanismo de transmisión de las bandas y concentrador de energía para calentar aceite. Fuente: Castañeda et al. (2012)

El proyecto "Motor Solar" del Pap Oikos y Techné. Utiliza la energía solar para bombear agua, mediante un lente de Fresnel y un motor Stirling. Una estructura soporta el lente y focaliza la energía en el motor, además de un seguidor solar. La potencia promedio es de 13 W, un torque de 0.102 N\*m, un promedio de 1300 RPM o 135 rad/s. García-Baeza, H. J. et al (2017). Esta investigación servirá de punto de partida para la prueba de concepto con la incorporación de una cámara de cocción, aspecto que se detallara en la metodología utilizada.

Otro proyecto enfocado a un secador solar multiusos, útil por sus cálculos de energía, en el cual concluyen que “La caracterización térmica del secador (a través de los diferentes coeficientes de transferencia de calor) indican una correcta concepción en el diseño, lo cual permite hablar de un buen funcionamiento térmico del equipo, además del valor didáctico del cálculo de forma integral”. Torres-Ten, A. et al (2013).

Para este proyecto de investigación el proyecto elaborado por Villeda-Muñoz (2011), fue fundamental; proyecto que desarrolla un horno solar para cocción de ladrillo de tres partes: heliostato, concentrador y cámara de cocción. El heliostato que utilizan es de 9 m<sup>2</sup> y se compone por secciones de 1m<sup>2</sup> independientes que reflejan la energía de primera instancia, y la manda hacia un concentrador de 1.58 m que focaliza la energía en una cámara de cocción.

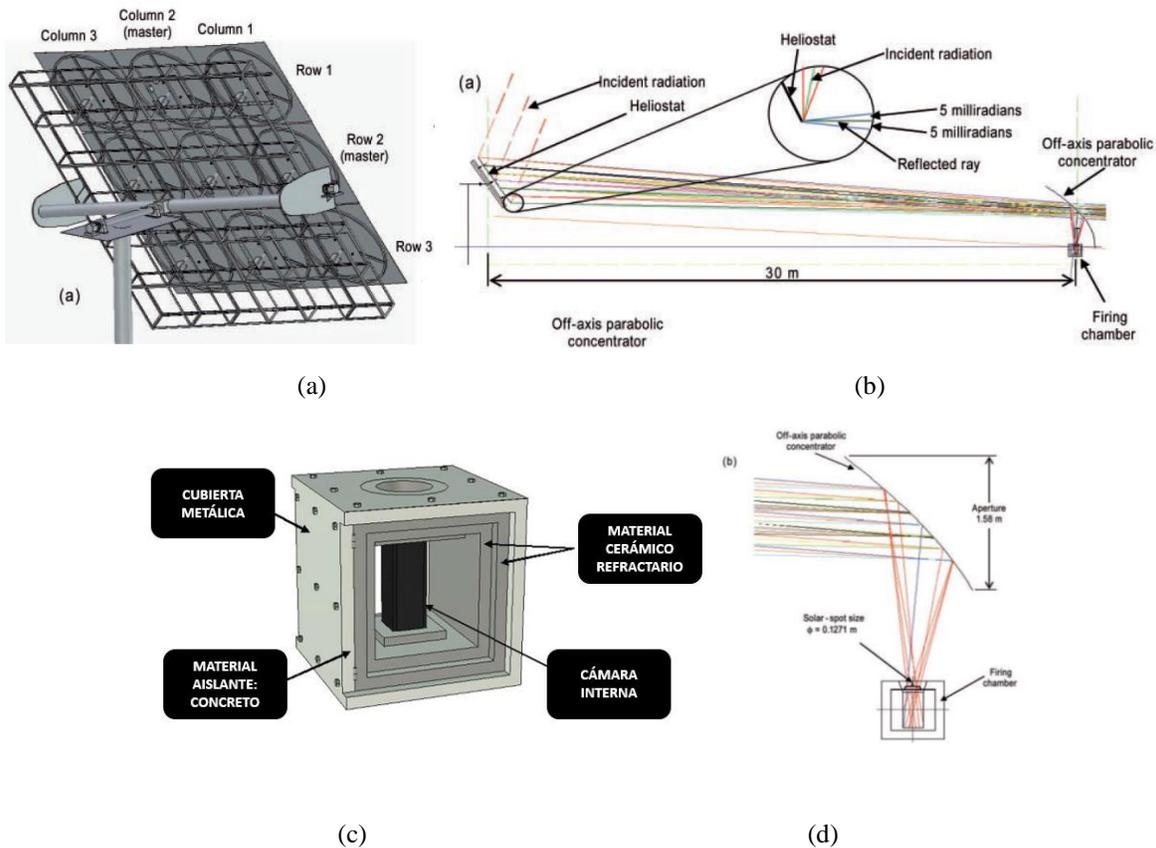


Fig.007 Horno solar de tres partes (b), heliostato (a), concentrador (d) cámara de cocción (c). Fuente: Villeda-Muñoz (2011).

Algunas de las principales críticas realizadas al proyecto de Villeda-Muñoz (2011) han sido que el gran tamaño del heliostato eleva el costo de producción del horno, lo cual provoca que no se puedan elaborar pruebas de comprobación de concepto, así como la existencia de una apertura en la cámara de cocción muy grande la cual tiende a generar pérdidas de calor por el espectro tan amplio que tienen los rayos solares reflejados en el concentrador. Así, los datos recolectados referentes al este proyecto aportan avances significativos a este proyecto de investigación.

El horno MK es un proyecto que se está desarrollando en la comunidad ladrillera, el cual es un horno con una tecnología que consiste en un domo que cubre dos hornos conectados, así el humo del horno activo se conduce al inactivo el cual sirve como filtro mientras se realiza un precalentado de los ladrillos. Este sistema reduce las emisiones de gases tóxicos al ambiente. El horno tiene una capacidad de 6000 ladrillos por cámara y es una tecnología aún en desarrollo, está en una etapa experimental ya que se sigue trabajando en su eficiencia y en la asimilación de los ladrilleros con esta nueva tecnología.

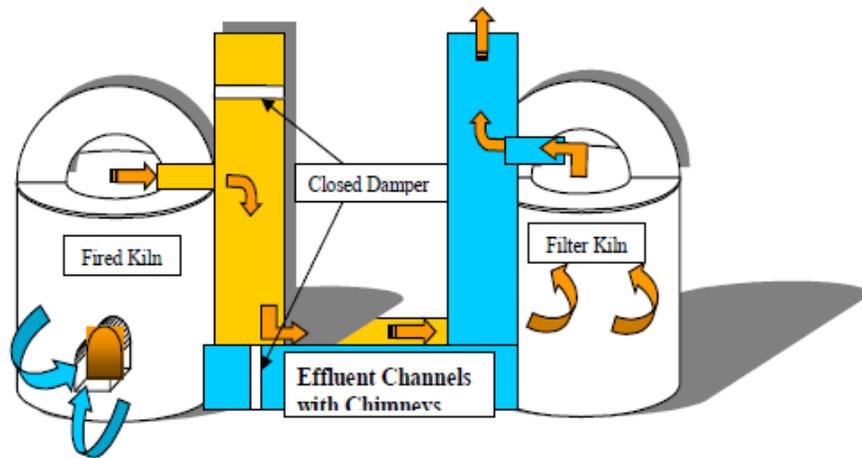


Fig. 008 Principio del sistema horno MK. Fuente: Corral-Avitia et. al (2009).

## **1.2 Justificación**

Al hablar de sustentabilidad es necesario comprender que las actividades humanas que desarrollamos han dejado una huella profunda en la naturaleza. Al ser oriundo de Tonalá, una comunidad cuyo arraigo y sentido de pertenencia es uno de sus principales aportes a la sociedad jalisciense, es imprescindible contribuir a que por medio de sus actividades sustentables se eleve la calidad de vida de sus habitantes y salga del rezago social, económico y medioambiental en el que se encuentra. Como es sabido las condiciones socioeconómicas de las personas que elaboran el ladrillo que suelen estar ligadas a niveles bajos de escolaridad, los cual repercute en su nivel de ingreso, y si a estas condiciones se le adhiere condiciones de marginación social por ser migrantes o personas no nacidas en el municipio, el escenario de precariedad social se convierte en un caldo de cultivo perfecto para, mediante el uso de nuevas tecnologías, iniciar la reconversión del sistema de producción del ladrillo de barro cocido.

Esta problemática abre muchas posibilidades de acción para iniciar un cambio que lleve a actividades más sustentables que mejoren la calidad de vida de los habitantes de las diferentes zonas aledañas a las ladrilleras, de los trabajadores de los hornos, así como de la calidad del aire y del medio ambiente del municipio de Tonalá. En el Programa para Mejorar la Calidad del Aire, Jalisco 2011-2020, el Gobierno del Estado de Jalisco plantea como objetivo: “Regular las actividades de la elaboración artesanal de ladrillos y crear un programa para que los productores apliquen las mejores prácticas en las ladrilleras”. SEMARNAT (2011). Estas acciones hacen especial énfasis en la convivencia entre zonas habitacionales y las ladrilleras, problemática enquistada en los procesos de crecimiento y expansión de la ciudad, procesos que como se ha mencionado, responde a una falta de regulación e implementación de la legislación urbana y la convivencia entre los diferentes usos de suelo.

De ahí que se haga necesario comenzar a buscar soluciones para superar el estado actual de la calidad del aire, pero más aún comprender que de no hacerlo, la vida humana está en riesgo.

### **1.2.1 Proyecto de investigación aplicada**

El trabajo propuesto es exploratorio combinando pruebas de laboratorio para registrar valores no disponibles en la literatura revisada. En la observación directa se realizó un multi-análisis

de las variables aplicadas. El diseño partió de un experimento controlado con variables comprobatorias de temperatura y tiempo en la aplicación de la cocción a las muestras de ladrillo estándar y ladrillo de azotea.

### **1.2.2 Demandas sectoriales**

El primero de agosto de 2015, representantes de la ONU de 193 países se fijaron 17 objetivos a realizarse en 2030. Estos objetivos tienen que ver con el Desarrollo Sostenible y según los expertos son más alcanzables y mejor integrados que los actuales. Los 169 indicadores contenidos en los 17 objetivos sustituirán los “Objetivos de Desarrollo del Milenio”, en ellos algunos de los temas más importantes son la erradicación de la pobreza, la promoción de prosperidad y bienestar de todos, la protección del medio ambiente y hacer frente al cambio climático entre otros. ONU (2015).

Este proyecto contribuye con el objetivo n° 7 “Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos”. ONU (2015). El cual afirma: Garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles en el año 2030 y que sean confiables y modernos. Para 2030, aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas. Para 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética. Aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a la energía limpia, incluidas las fuentes renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles, y promover la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias. De aquí a 2030, ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo, en particular los países menos adelantados, los pequeños Estados insulares en desarrollo y los países en desarrollo sin litoral, en consonancia con sus respectivos programas de apoyo. (ONU, 2015. P.9).

En acciones locales el Gobierno del Estado de Jalisco tiene vigente el Programa para Mejorar la Calidad del Aire Jalisco 2011-2020. En él, se encuentra el Objetivo 21 donde se señala que es necesario: “Regular las actividades de la elaboración artesanal de ladrillos y crear un programa para que los productores apliquen las mejores prácticas en las ladrilleras”. Así mismo se encuentran los siguientes subobjetivos: “21.5 Diseñar y ejecutar una estrategia para promover el uso de combustibles alternativos, más limpios, y mejores prácticas de

combustión en los hornos ladrilleros” y “21.6 Diseñar e implementar tecnologías para mejorar la combustión en los hornos ladrilleros”. Aunado a estos objetivos actualmente se llevan a cabo mesas de trabajo por parte de la SEMADET y su Dirección de Gestión de la Calidad del Aire, junto con algunas Universidades como el ITESO, la UAG y la UDG, además del CIATEJ y el CIATEC. Esto para establecer un reglamento estatal para las productoras de ladrillo artesanal y también para promover un plan piloto de un parque ladrillero, donde se puedan concentrar a productores e implementar acciones que eficienten la producción y reduzcan emisiones y la huella de carbono del producto.

### 1.2.3 Factibilidad solar.

De acuerdo con Beade y García (2016) México es uno de los países a nivel mundial que cuenta con condiciones naturales ideales para aprovechar la energía solar y obtener beneficios de ella. La siguiente tabla representa los datos de radiación solar captados desde la estación ubicada en el ITESO, en ella podemos observar que el punto máximo de temperatura y  $W/m^2$  se alcanza cerca de las 15:00 h. y ronda cifras de  $1000 W/m^2$  hace factible la captación de suficiente energía para la cocción de ladrillo, y reafirma datos de una insolación global media en Guadalajara donde la mínima de 4.0, la máxima es de 7.0 y la media es de  $5.6 kWh/m^2-día$ . Almanza S., R., Cajigal R., E., Barrientos A., J. (1997).

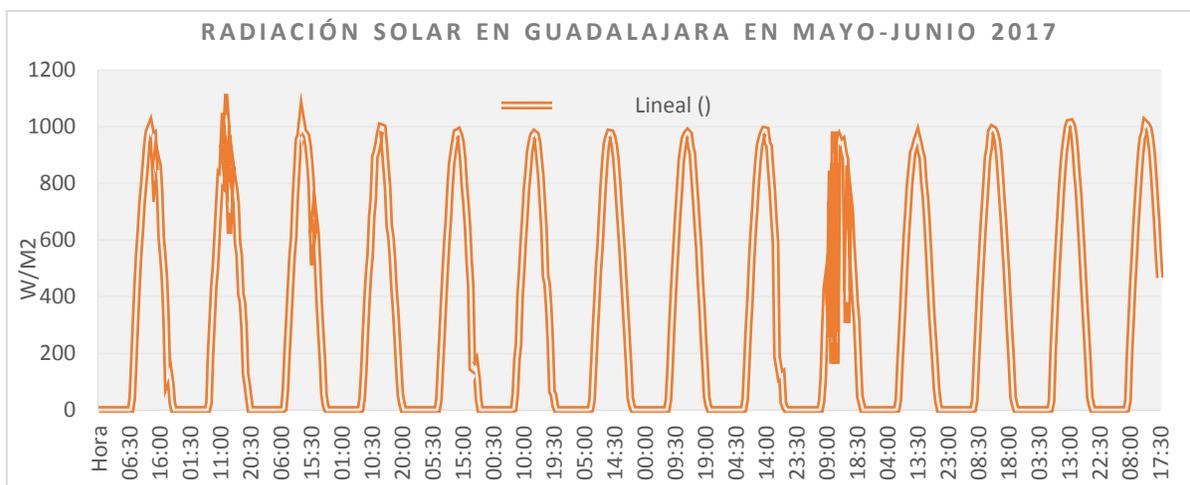


Fig. 009. Gráfica de radiación solar en Guadalajara 21 de mayo al 04 de junio 2017. Fuente: Elaboración propia ITESO.

## Radiación solar diaria promedio anual



Fig. 010. Mapa de radiación solar diaria promedio anual. Fuente: Beade & García (2016).

### 1.3 Hipótesis

La pregunta principal que guio este trabajo fue:

¿Cómo diseñar un sistema que por medio de energía solar pueda lograr la cocción de arcilla?

Las preguntas secundarias son:

¿Qué capacidad de cocción de arcilla se puede obtener?

¿Mediante una aplicación de energía solar estable se puede reducir el tiempo de cocción del ladrillo de arcilla?

¿Qué variables se deben controlar para que el proceso de cocción sea estable?

En consecuencia, la hipótesis de este proyecto es que: **“Es posible sustituir el método tradicional de cocción de ladrillo por un sistema de energía solar, y esto se puede validar a través de pruebas de concepto”**.

### 1.4 Objetivos

El objetivo general de este proyecto es: “Aplicar diferentes pruebas de concepto a geometrías hechas de mezcla para producción de ladrillo, para comprobar la posibilidad de su cocción por medios solares”.

Del objetivo general se desprenden los objetivos secundarios siguientes:

- Por medio de la aplicación de diferentes umbrales de energía solar, obtener y comparar las características de cocción en diferentes geometrías de arcilla.
- Por medio de la aplicación de diferentes tiempos de exposición de energía solar, obtener y comparar las características de cocción en diferentes geometrías de arcilla.
- Por medio de la utilización de diferentes materiales termoeficientes y aislantes, obtener y comparar las características de cocción en diferentes geometrías de arcilla.

## 2. Metodología

Este trabajo se realizó mediante la aplicación de una metodología mixta ya que se requiere de la aplicación de herramientas cuantitativas y cualitativas lo cual permitirá realizar los experimentos necesarios para el prototipo para posteriormente hacer el análisis de cambio de tecnología con los ladrilleros tradicionales y validar su factibilidad.

Las etapas del trabajo según los momentos metodológicos previstos:

- 1) Revisión del conocimiento disponible, consultando obras como artículos científicos, reportes de laboratorio, tesis universitarias, notas periodísticas, opiniones de expertos, videos de procesos, etc.
- 2) Aproximación empírica al objeto de innovación, visitando ladrilleras para registrar las diferentes etapas del proceso de fabricación de ladrillo tradicional, desglosando las variables observadas como: materiales empleados; clima y temperatura; tiempo; herramientas utilizadas; además de observables como personal empleado, constitución legal de los trabajadores, estatus legal del predio de la ladrillera, opiniones de los trabajadores y los dueños, condiciones de trabajos y observables no previstos.
- 3) La experimentación realizada en este trabajo se divide en dos partes, en ambas se utilizó un concentrador solar de lente de Fresnel que cuenta con un software de seguimiento solar, para aplicar energía solar a diferentes geometrías de arcilla y cámaras de cocción. La primera etapa de experimentos se focalizó en el cocimiento de un ladrillo estándar de manera directa, con cámara de cocción aislada y sin aislar, debido a que no se llegó a los resultados óptimos se hizo un replanteamiento de los experimentos, cambiando los alcances y las variables a analizar. Por lo que se realizó una segunda etapa de experimentos la cual se enfocó a piezas a escala menor y en variantes geométricas para comprobar lo más pertinente, a algunas de estas piezas se les realizó pruebas simples de compresión para corroborar la calidad de cocción obtenida.

- 4) Sondeo de factibilidad, presentando la propuesta ante actores sociales y sujetos institucionales para comprobar las posturas de cada sector ante la posible implementación de la nueva tecnología. Realizando un planteamiento de los beneficios que puede traer y contrastándolo con las posibles adversidades que los productores puedan plantear.

## 2.1 Modelo operacional.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS	HIPOTESIS	CONCEPTOS PRINCIPALES	DEFINICIÓN OPERATIVA	OBSERVABLES / VARIABLES	INDICADORES
<p>- El método tradicional de <b>coCCIÓN de ladrillo</b>, contamina el aire.</p> <p>- El humo de las ladrilleras afecta la salud de los trabajadores y de los vecinos.</p> <p>- La capacidad de la <b>cámara de coCCIÓN</b> de ladrillo.</p> <p>- Alcanzar al interior de la <b>cámara de coCCIÓN</b> la <b>temperatura</b> de 1000° C, lo más uniforme posible.</p> <p>- Mantener el calor de la cámara por periodos prolongados.</p>	<p>¿Cómo sustituir el método tradicional de coCCIÓN de ladrillo por un horno de energía solar?</p> <p>¿Qué materiales termoeficientes reducen al mínimo la pérdida de calor para lograr una coCCIÓN con temperatura estable?</p> <p>¿Mediante una aplicación de energía solar estable se puede reducir el tiempo de coCCIÓN del ladrillo de arcilla?</p> <p>¿Qué variables se deben controlar para que el proceso de coCCIÓN sea estable?</p>	<p>- “Aplicar diferentes pruebas de concepto a geometrías hechas de mezcla para producción de ladrillo, para comprobar la posibilidad de su coCCIÓN por medios solares”.</p> <p>- Por medio de la aplicación de diferentes umbrales de energía solar, obtener y comparar las características de coCCIÓN en diferentes geometrías de arcilla.</p> <p>- Por medio de la aplicación de diferentes tiempos de exposición de energía solar, obtener y comparar las características de coCCIÓN en diferentes geometrías de arcilla.</p> <p>- Por medio de la utilización de diferentes materiales termoeficientes y aislantes, obtener y comparar las características de coCCIÓN en diferentes geometrías de arcilla.</p>	<p>“Es posible sustituir el método tradicional de coCCIÓN de ladrillo por un sistema de energía solar, y esto se puede validar a través de pruebas de concepto”.</p>	<p>- Horno solar.</p> <p>- Materiales termoeficientes</p> <p>- Cámara de coCCIÓN solar pasiva.</p> <p>- Ladrillo de arcilla.</p> <p>- Energía solar.</p> <p>- Tonalá, Jalisco.</p>	<p>- Prototipo horno solar: Sistema de captación, concentración y cámara de coCCIÓN, utilizados para la producción de ladrillo.</p> <p>-Materiales térmicos: Materiales capaces de resistir altas temperaturas mayores a 1000°C sin fundirse.</p> <p>- Temperatura: Magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente.</p> <p>- CoCCIÓN de ladrillo: método tradicional que mediante la combustión de leña se logra la transformación de materiales arcillosos en un material para su uso en la rama de la construcción.</p> <p>- Energía Solar: energía obtenida a partir de la radiación del Sol.</p>	<p>- Medición de temperatura inicial de la cámara de coCCIÓN.</p> <p>- Materiales de la cámara de coCCIÓN.</p> <p>- Válvula térmica para extracción de vapor (cámara de coCCIÓN).</p> <p>- Materiales adicionales para captación y concentración del calor.</p> <p>- Calidad de coCCIÓN del ladrillo mediante la medición de resistencia, color, y características.</p>	<p>- Comparar ladrillo de coCCIÓN tradicional con ladrillo de coCCIÓN solar.</p> <p>- N° Ladrillo</p> <p>- Grados °C</p> <p>- Kg/cm2</p> <p>- Paleta de color.</p> <p>- Tiempo.</p>

## **2.2 Diseño de instrumentos y pruebas con definición de variables, indicadores y muestras.**

A continuación, se describen los detalles metodológicos de las diferentes técnicas de investigación previstas para este trabajo.

**Observación directa.** Con la finalidad de conocer mejor el proceso de producción de ladrillo tradicional se realizaron dos visitas en campo a ladrilleras del área metropolitana de Guadalajara. Una en la colonia Guadalupana, delegación Jauja en el municipio de Tonalá y la otra en Tesistán, municipio de Zapopan. En ellas observó las etapas del proceso de producción las cuales se nombraron como: 1. Recolección de materiales. 2. Mezcla de materiales. 3. Extrusión de tabiques. 4. Secado de material. 5. Armado de horno. 6. Quema de material 7. Enfriado de ladrillo quemado. 8. Venta de ladrillo. En la segunda visita se obtuvieron datos y las siguientes variables: A. Materiales utilizados. B. Tiempo. C. Temperatura / Clima. D. Herramientas. E. Observaciones complementarias.

Conocer el proceso de producción del ladrillo y sus variables fue indispensable para el diseño y desarrollo del prototipo de horno solar propuesto en este proyecto de investigación.

**Diseño de experimentos.** El diseño de experimento que complementará esta investigación integrará información obtenida de la búsqueda de literaria. Especialmente conceptos de termodinámica, con la que se está trabajando en la ecuación para cuantificar la energía necesaria para eliminar el agua física y química en el proceso de cocción de ladrillo. Se utilizará un concentrador solar con lente de Fresnel equipado con un seguidor solar de dos ejes. Los procesos de alta temperatura se pueden monitorear por medio de un termómetro digital SODIAL (R) 3 1/2 6802 II de doble canal 1300°C con 2K-tipo sensor sonda de termopar. Así se planea monitorear cada 30 minutos la temperatura interior y exterior de la cámara de cocción. Estas mediciones permitirán generar gráficas con la curva de calentamiento y los tiempos necesarios para el proceso.

Concepto	Definición	Unidad de medida o representación.
Radiación difusa	Radiación difusa: Radiación solar incidente proveniente de la dispersión en la atmósfera	W/m <sup>2</sup>
Radiación directa	Radiación solar incidente en el vector original proveniente del sol.	W/m <sup>2</sup>
Radiación reflejada	Radiación solar reflejada por la superficie terrestre.	W/m <sup>2</sup>
Radiación total	Es la suma de las radiaciones	W/m <sup>2</sup>
Zenit	Línea perpendicular al plano horizontal en el punto de observación.	
Ángulo zenit ( $\Theta$ )	Ángulo subtenido entre el Zenit, el punto de observación y la línea de vista del sol.	$\Theta$
Latitud	Posición angular definida respecto al ecuador.	$\varphi$
Declinación solar	Posición angular del sol en el mediodía respecto al plano del ecuador.	$\delta$
Inclinación	Ángulo definido por la superficie a estudiar y el plano horizontal.	$\beta$
Ángulo de azimut solar	Ángulo formado por la proyección sobre el plano horizontal del rayo solar. Su rango es de $-180^\circ$ a $180^\circ$ , el poniente es positivo y el norte es $0^\circ$ .	$\gamma_s$
Ángulo de azimut superficial	Ángulo de desviación de la superficie respecto al meridiano local. Se define con la proyección horizontal de la normal a la superficie. Su rango es de $-180^\circ$ a $180^\circ$ , el poniente es positivo y el norte es $0^\circ$ .	$\gamma$
Ángulo de hora solar	Posición angular del sol, con un desplazamiento debido a la rotación de la tierra a $15^\circ$ por hora. $0^\circ$ mediodía, negativo por la mañana y positivo por la tarde.	$\omega$
Ángulo de incidencia	Ángulo entre el haz de radiación directa y la normal a la superficie. En superficies horizontales, el ángulo de incidencia es igual al ángulo del zenit del sol.	$\Theta_i$
Tiempo solar	Para determinar el ángulo $\omega$ se utiliza el tiempo solar donde el mediodía ocurre cuando el sol cruza el meridiano local. Esto no coincide con el tiempo local por lo que se aplican dos factores de corrección. Uno el factor que corresponde a la diferencia entre la longitud del observador y el meridiano en el que se basa la hora local. Dos el factor que corrige la velocidad angular del sol que no es constante durante el año.	

Tabla 02. – Tabla de definición de conceptos. Fuente: Friedman (2017)

## 2.3 Respaldo teórico de la experimentación

Para llevar a cabo los experimentos fue necesario replantear el proceso de cocción, las cámaras tradicionales llegan a quemar desde 10 mil hasta 40 mil ladrillos por tanda, esto al querer ser emulado por un sistema solar se vuelve complejo, los 1000°C necesarios para la cocción se pueden alcanzar (fig. 011), pero a mayor volumen en la cámara de cocción, más difícil es su aislamiento para evitar la pérdida de calor entre el interior y el exterior. El promedio de quemas de los pequeños productores es de dos quemas por mes y la producción promedio va de 12 mil a 20 mil piezas según Márquez Estrada, C. (2011). Si pudiéramos cambiar el paradigma y realizar quemas diarias de volúmenes menores reduciríamos considerablemente la energía necesaria para la cocción. En la observación directa realizada en las ladrilleras de Tonalá y de Tesistán los trabajadores comentaron que realizan una extrusión diaria de hasta mil tabiques.

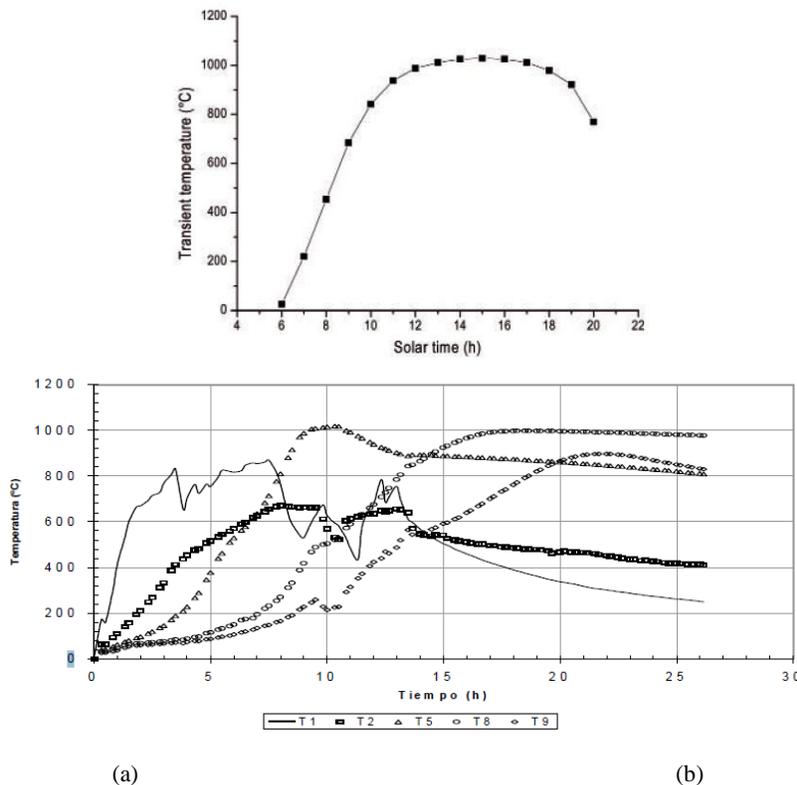


Fig. 011. Gráfica de proyección tiempo y temperatura de cocción solar (a) y cocción en horno tradicional (b). Fuente: Villeda (2011). Y Rodríguez-Ramírez J. et al. (2004)

Esta es una gráfica con la proyección del tiempo y la temperatura necesaria para alcanzar la cocción del ladrillo en un día según el proyecto de Villeda-Muñoz (2011), la cual nos sirve de referencia y de punto de comparación entre lo planteado por el autor y la prueba de muestra propuesta en este proyecto de investigación.

### Datos preexperimentales, volumetría de variables a observar.

#### Conductividades térmicas

Sustancia	Conductividad Térmica (W/m * °C)
Aluminio	238
Cobre	397
Hierro	79.5
Concreto	0.8
Vidrio	0.8
Agua	0.6
Aire	0.0234

#### Coefficientes de aislamiento

Material	Valor R (ft <sup>2</sup> * °F * h / Btu)
Bloque de concreto (núcleo relleno)	1.93
Aislamiento de fibra de vidrio (3.5 pulgadas de espesor)	10.90
Aislamiento de fibra de vidrio (6.0 pulgadas de espesor)	18.80
Espacio de aire (3.5 pulgadas de espesor)	1.01

#### Fórmulas

Para calcular la energía requerida para la cocción de un ladrillo se utilizó la siguiente metodología (Mason, 1998). Primero se determinó la energía de secado tomando como muestra una cantidad de 10 mil piezas la cual es el promedio de una tanda en horno tradicional. El peso de los ladrillos antes del secado es de 27,290 kg y de 25,920 kg después del secado, la diferencia de humedad de 1370 kg nos da un valor de energía de secado de 2,591 kJ/kg.

$$\text{Energía de secado} = (\text{energía de secado específica}) (\text{total de humedad contenida}) = 3549670 \text{ kJ}$$

$$\text{Energía para la cocción un ladrillo} = \frac{\text{Total de energía} - \text{energía de secado}}{\text{Número de ladrillos a cocer}}$$

$$Q = \text{Energía}$$

$$Q_{\text{interior}} = Q_{\text{neto}} + Q_{\text{perdida}}$$

$$Q_{\text{neto}} = \frac{(\text{Número de ladrillos}) (\text{Energía de cocción de un ladrillo})}{\text{Número de exposición de horas solares al día}}$$

$$Q_{\text{neto}} = \frac{(01) (657 \text{ Wh})}{8\text{h}} = 82.12 \text{ W}$$

Para calcular el área de captación solar necesaria para evaporar el agua contenida en los ladrillos se hizo el siguiente ejercicio:

Ce agua = Calor específico del agua = 4186 J/Kg °C

1. Elevar a 100°C la temperatura.

$$Q = mc \Delta T = (1 \text{ kg}) (4186 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C}) (80^\circ\text{C}) = 334,880 \text{ J}$$

2. Evaporar el agua.

$$Q = m L_v = (1 \text{ kg}) (2'260,000 \text{ J/kg}) = 2'260,000 \text{ J}$$

Por lo que se necesita 2'260,000 J para evaporar 1 Kg de Agua.

¿Si queremos evaporar esto en 6 horas en un estado ideal sin perdidas por transferencia de calor, de que tamaño tiene que ser nuestro concentrador, si los datos obtenidos en la estación del ITESO sabemos que el sol irradia 600w/m<sup>2</sup> y logramos captarlo al 100%?

$$\frac{2'594,880 \text{ J}}{600\text{J/s}} = \frac{1\text{W} = 1 \text{ J/s}}{600\text{J/s}} \cdot 4,324.8 \text{ seg} = 72.08 \text{ min}$$

Por una regla de 3 simple tenemos que

5 – 72 min
X – 360 min

≈ 25 ladrillos cada 6 horas con una superficie de 1 m<sup>2</sup>

Para una planta de 1000 ladrillos ¿Cuántos m<sup>2</sup> de captación?

1 m <sup>2</sup>	-	25
X	-	10,000

Se necesitarían 400 m<sup>2</sup> de captación es decir un heliostato de 20 m por lado.

### **3. Experimentación y resultados.**

#### **3.1 Descripción de resultados de la observación directa.**

Los procesos de producción de ambas ladrilleras (Tonalá y Tesistán) son muy parecidos, las etapas son las mismas, la diferencia radica en el uso de algunos materiales, herramientas. Así en este apartado se describen las diferencias sustanciales entre ambos sitios lo que permite ir elaborando un mapa general de los procesos de producción que permita la propuesta de un horno tipo que sirva en la mayoría de los escenarios posibles.

En Tonalá el proceso de producción es aún rustico, llama la atención que la mezcla de material la realizan con un caballo y que utilizan viruta de madera limpia. Los trabajadores son una pareja de esposos a los que les pagan a cada uno al día \$300.00 con la consigna de realizar al menos un millar de ladrillos por día cada uno. La capacidad del horno formado era de alrededor de 12 mil piezas, venden a \$900 pesos el millar y lo recogen en sitio. El proceso de producción se facilita debido a la existencia de un aljibe donde se almacena el agua y que el propietario de la ladrillera es también el propietario de la tierra y a la vez el propietario de una maderería.

En Tesistán, las personas que trabajan forman parte de una cooperativa, por lo que sus ingresos son mayores. La mayoría de los integrantes son hermanos, cada uno tiene como meta hacer mil ladrillos por día, por lo que una producción extra es ganancia comentan. Utilizan una máquina con motor de gasolina para realizar la mezcla, y estiércol de vaca porque, comentan, ayuda a darle el color rojizo al ladrillo. La extrusión en los moldes es complementada con una llana para que el ladrillo quede más parejo en su cara superior, detalle importante ya que entre más plana sea la cara más fácil será probarla en la prensa para conocer su resistencia. Otro aspecto relevante son sus hornos para quema de mayor tamaño, 40 mil piezas. Tienen un motor de auto que hace girar un aspa que airea los canales con la madera ardiendo (bastante peligroso, ya que no tiene rejilla de seguridad), la madera que es un producto de desperdicio que trae melaninas y otros materiales que produce humos nocivos. Tienen un solo cliente que les compra toda la producción a \$800 pesos el millar, el terreno es rentado y les cobran \$1000 pesos por mes.

Estos datos deberán ser contemplados para el diseño y desarrollo de los prototipos, ya que el proceso de la quema es el que cambiará, pero las demás etapas son las mismas. Comprender

el proceso es importante para la alternativa propuesta pueda ser apropiada y reproducida por, pero además se convierta en una herramienta asequible posible de acuerdo con sus medios.

### 3.1.1 Memoria fotográfica de la visita a la ladrillera en colonia La Guadalupana, Tonalá, Jalisco.



Fig. 012 – Proceso de fabricación de ladrillo tradicional en Tonalá (a)(b) Mezcla de material con caballo (c) Aljibe en sitio. (d) Extrusión de material. (e) Extrusión de ladrillo. (f) Secado de material. (g) Canteado de ladrillo. (h) (i) Secado de ladrillo aparejo traslapado. (j) (k) Basura para quema. (l) Quema y venta de ladrillo

### 3.1.2 Memoria fotográfica de la visita a ladrillera en Tesistán, Zapopan, Jalisco.



Fig. 013 – Proceso de fabricación de ladrillo tesistán. (a) Recolección de materiales. (b) y (c) Barro. (d) Aserrín. (e) y (f) Máquina de mezclado. (g) Extrusión de material. (h) Desmoldado de material. (i) Secado de material. (j) Secado de material (canteado). (k) y (l) Secado en torres traslapadas.



(m)



(n)



(ñ)



(o)



(p)



(q)



(r)



(s)



(t)



(u)

Fig. 014 – Proceso de fabricación de ladrillo tesistán. (m) y (n) Armado de horno. (ñ) Madera para quema. (o) Herramienta para manejo de madera y fuego. (p), (q) y (r) Quema de ladrillo. (s) Aireación horno. (t) y (u) Venta de ladrillo.

## 3.2 Descripción de resultados de la experimentación primera etapa.

En esta primera etapa se realizó una búsqueda de cocción de piezas de ladrillo estándar por medio del concentrador solar con lente de Fresnel y con/sin cámara de cocción, denominadas pruebas de concepto que a continuación se describen.

### 3.2.1 Pruebas de concepto

#### 3.2.2.1 Prueba de concepto 01: Cámara de cocción aluminio.

En esta prueba se expuso al haz de energía solar del concentrador a una cámara de cocción metálica de doble cubierta aislada entre ellas por una capa de arena de fibra de vidrio, la energía solar se introduce a la cámara por medio de una varilla de acero como se observa se en las siguientes figuras.

#### Diseño de cámara de cocción.

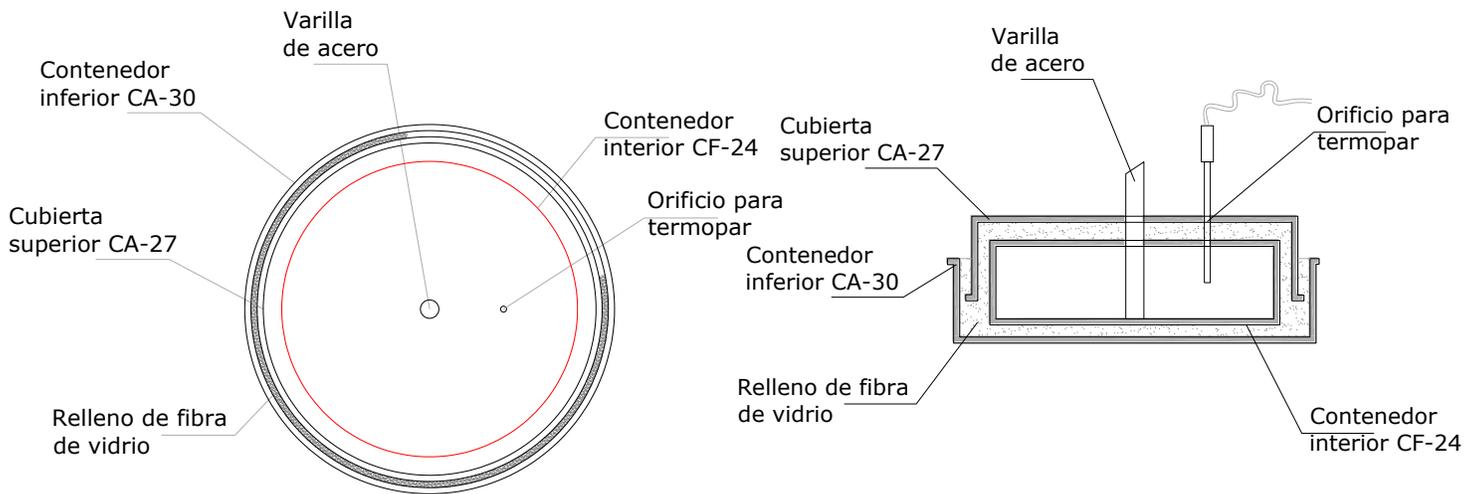


Figura 015 – Cámara de cocción de aluminio (a) Planta de cámara de cocción. (b) Corte de cámara de cocción. Fuente: elaboración propia.

En la prueba se alcanzó una temperatura promedio de 42°C al interior de la cámara.

La temperatura ambiente exterior fue de 28° C promedio de 10:30 a 12:00 horas.

Las piezas de arcilla no presentan señales de cocción.

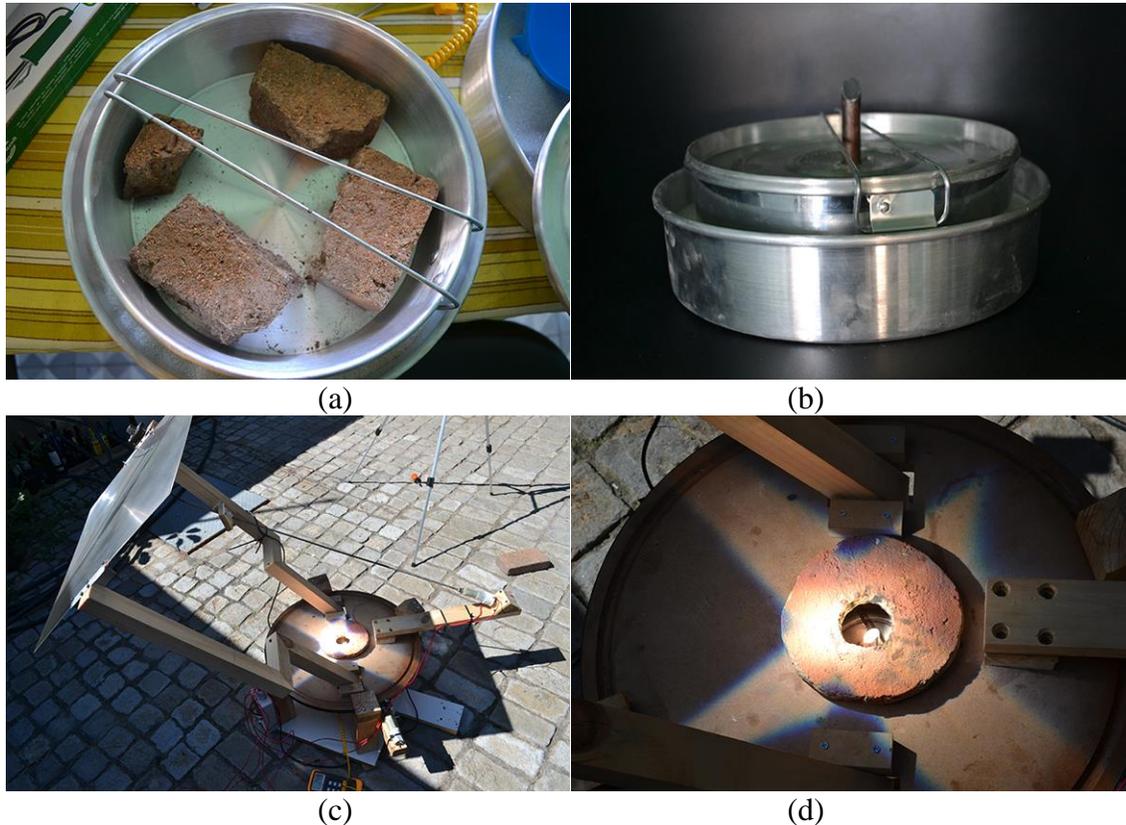


Fig. 016 – Cámara de cocción aluminio. - (a) Acomodo de pedazos de ladrillo (b) cámara de cocción parcial (c) concentrador alineado (d) haz de energía. Fuente: elaboración propia.

Las temperaturas iniciales registradas a las 10:30 horas fueron las siguientes: temperatura del haz de energía 420°C; temperatura exterior 26°C; temperatura interna de la cámara 27°C; después de 15 minutos de calentamiento la temperatura interior alcanzó los 42°C y así se mantuvo por dos horas y media hasta las 12:00 horas. Al no aumentar la temperatura interior se decide suspender la prueba porque la varilla no conducía el calor y la cámara de cocción no logra contenerlo.

- El armado de la cámara de cocción es complejo, la colocación de la arena aislante es complicada porque se debe voltear las cazuelas para armar el diseño.

- Al no caber la parte inferior de la cámara de cocción (CA24) en la parte inferior del concentrador se utilizó la parte CA22 como contenedor inferior y la F15 como contenedor del ladrillo.
- La varilla de acero no tiene una conductividad térmica suficiente.
- Al no tener tapa la cámara de cocción no retuvo el calor y el aislante no fue suficiente, alcanzó una temperatura promedio interior de  $^{\circ}42C$ . de 10:30 a 12:00 horas.



Fig. 017 – Experimento cámara de cocción aluminio. (a) Termómetro digital. (b) Varilla de acero con las marcas del calor aplicado.

### 3.2.2.2 Prueba de concepto 02: Ladrillo estándar directo al haz de energía.

En esta prueba se expuso un ladrillo estándar de 28 x 14 x 7 cm. a la energía del concentrador solar de lente de Fresnel, la pieza de ladrillo se secó previamente al sol (proceso de canteado). A lo largo de las siete horas del experimento se registraron temperaturas máximas alcanzadas por el haz de energía solar las cuales en promedio arrojaron 654°C. La medición se realizó mediante el uso de un termómetro digital con un termopar tipo “K” y durante el proceso se observó que, si se registra la temperatura solo con la punta del termopar, esta será mayor, además que los primeros números que arroja son muy altos rondando cifras de 800° a 900° C. Es necesario dejar el termopar estabilizarse para poder tomar la temperatura real, de ahí que la temperatura promedio registrada no sea válida, ya que se cometió un error de proceso.

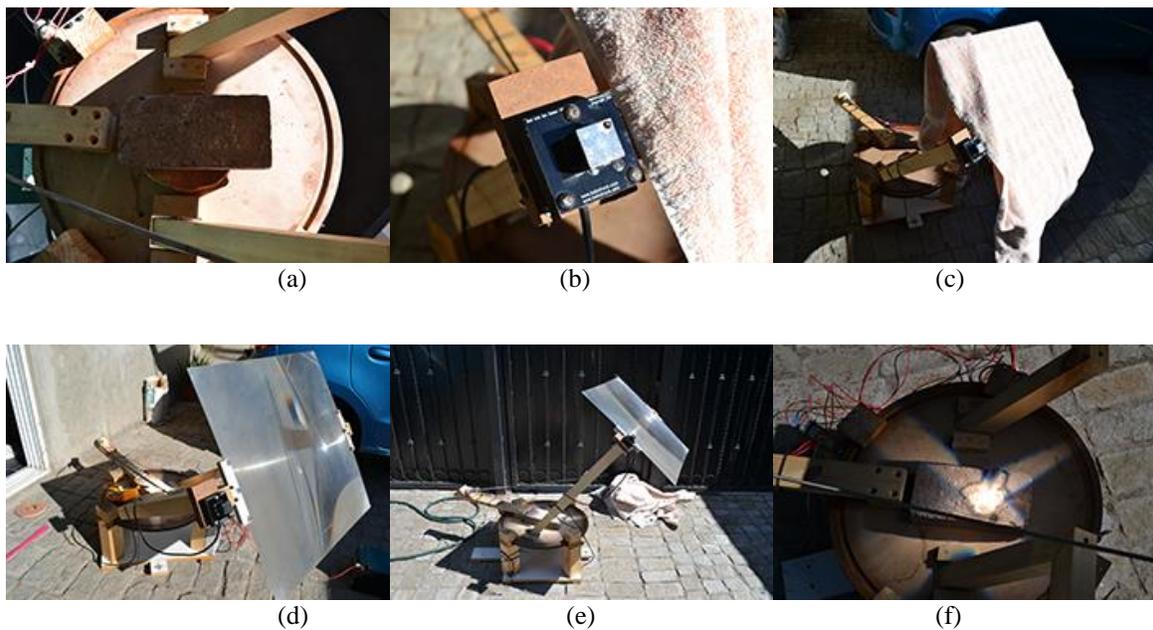


Fig. 018 – Proceso ladrillo directo a haz de energía solar (a). Colocación de ladrillo en concentrador. (b) Sensor del seguidor solar. (d) Lente de Fresnel cubierto para mover posición. (e) (f) Concentrador funcionando. Fuente: Elaboración propia.

La cocción es visible en donde el haz de luz tiene contacto con el ladrillo, pero su transmisión hacia el resto de la pieza es nula. El haz de energía deja unas marcas de diferentes colores en forma radial, en el foco deja una marca de cocción cristalizada de color negro, y a su

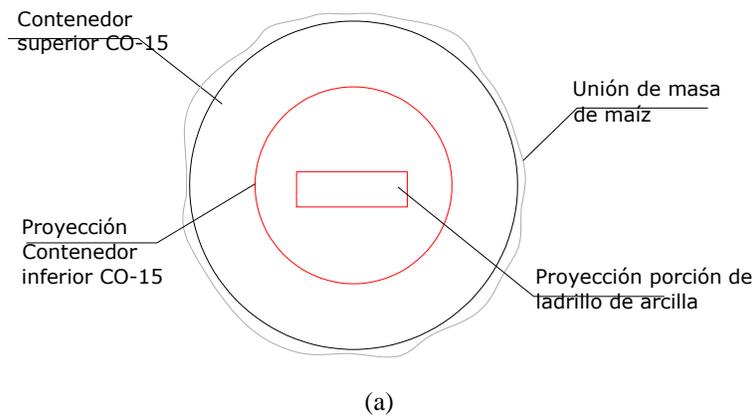
alrededor deja marcas en tonos rojizos hasta una marca perimetral exterior también en color negro (ver figura 019).



Fig. 019 – Ladrillo al final de la prueba.

### 3.2.2.3 Prueba de concepto 03 – Cámara de cocción de cobre.

El objetivo de la prueba fue observar el comportamiento de una cámara de cocción de cobre a la cual se le aplicó energía solar por medio del concentrador solar con lente de Fresnel, la cámara de cocción está compuesta por dos cazos encontrados y sellados por una capa de masa de maíz para contener el aire caliente del interior (ver figura 020), se colocó un pedazo de ladrillo de arcilla ya seco al sol previamente (proceso de canteado).



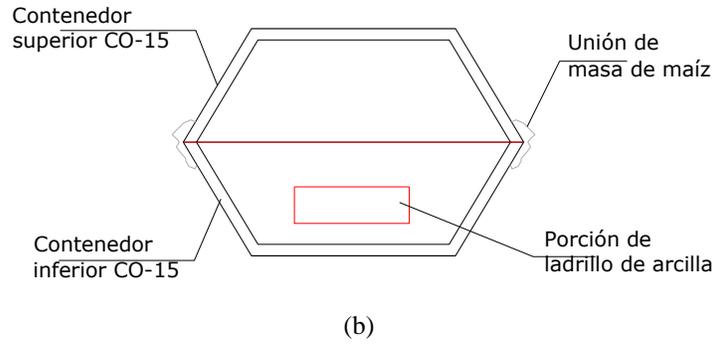


Fig. 020 – Cámara de cocción de cobre. (a). Diagrama Cámara de cocción de cobre – planta. (b). Diagrama cámara de cocción de cobre – corte. Fuente: Elaboración propia.

La cámara de cocción se colocó encima del disco del concentrador que realiza el seguimiento horizontal del sol, lo cual generó que el umbral estuviera 18 cm arriba del centro focalizado del concentrador, esto provocó que el haz estuviera muy abierto y su potencia se difuminara.

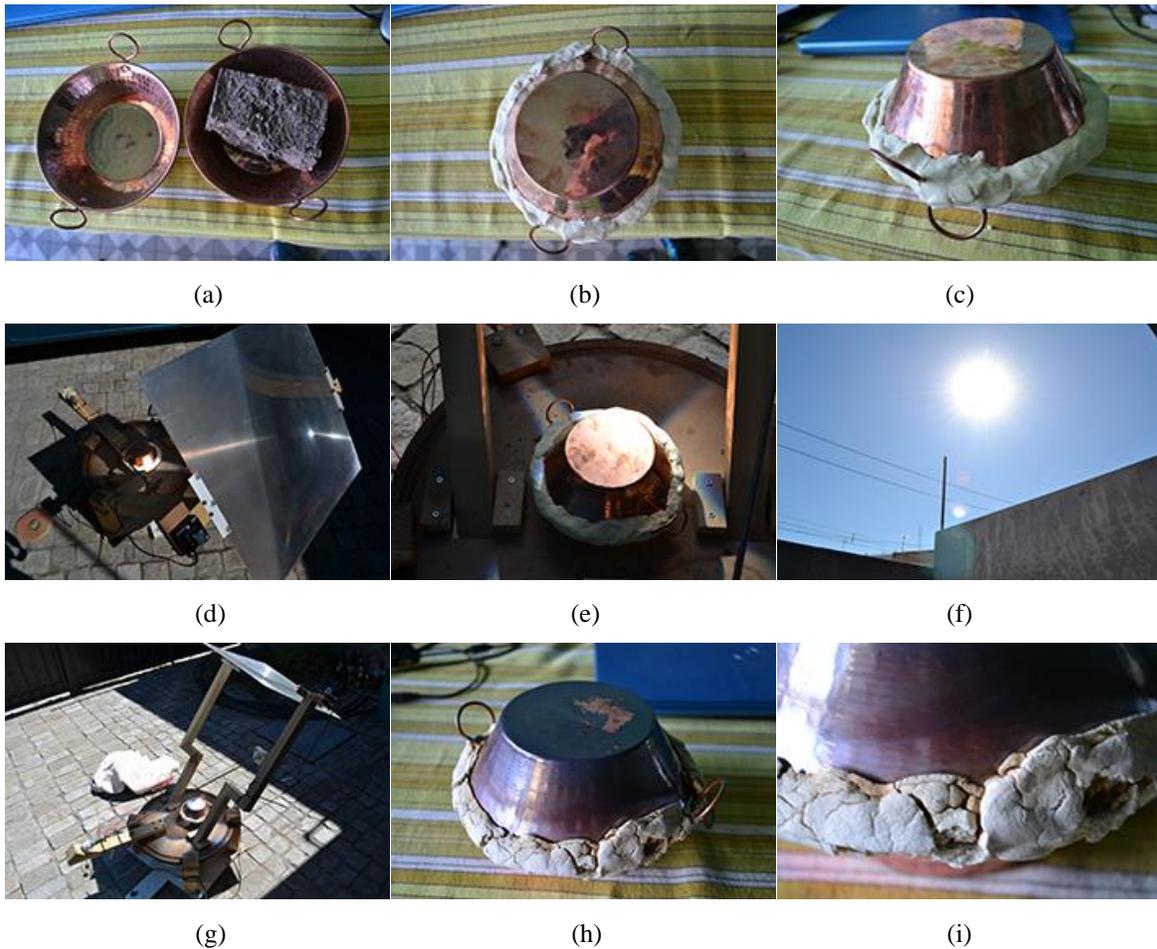


Fig. 021 – Prueba con cámara de cocción de cobre (a) (b) (c). Armado de cámara. (d) (e) (g) Concentrador en funciones. (f) Cielo despejado. (h) (i) Resultado de la exposición solar. Fuente: Elaboración propia.

El cobre es un material costoso, estos pequeños cazos tuvieron un costo de \$200 pesos c/u. su tamaño es de 15 centímetros de diámetro superior y 9 centímetros de diámetro inferior con 9 centímetros de altura. En una escala más grande el costo del cobre elevaría el costoso de la construcción de la cámara de cocción, lo que provocaría que fuera una tecnología poco asequible para los ladrilleros.



Fig. 022 – Prueba con cámara de cocción de cobre. (a) Haz de energía en contacto con la cara lateral. (b) Haz de energía en contacto con la cara superior. Fuente: elaboración propia.

Lo que es importante observar es que el estado final de la porción de ladrillo en la que se realizó la prueba fue igual a su estado inicial.



Fig. 023 – Final de la prueba (a) Apertura de la cámara de cocción de cobre. (b) Porción de ladrillo, su estado es muy parecido al anterior a la prueba. Fuente: elaboración propia.

### 3.2.2.4 Prueba de concepto 04 – Cámara de cocción de cobre con aislamiento de yeso.

El objetivo de esta prueba fue observar el comportamiento de la cámara de cocción de cobre, pero en esta ocasión aislándola con un contenedor externo relleno de yeso. Así como la inclusión de una antena hecha de alambres trenzados de cobre calibre 8, para captar y conducir el calor generador por el haz de energía solar del lente de Fresnel. La cámara de cocción se construyó en base a los diagramas presentados en la figura 024.

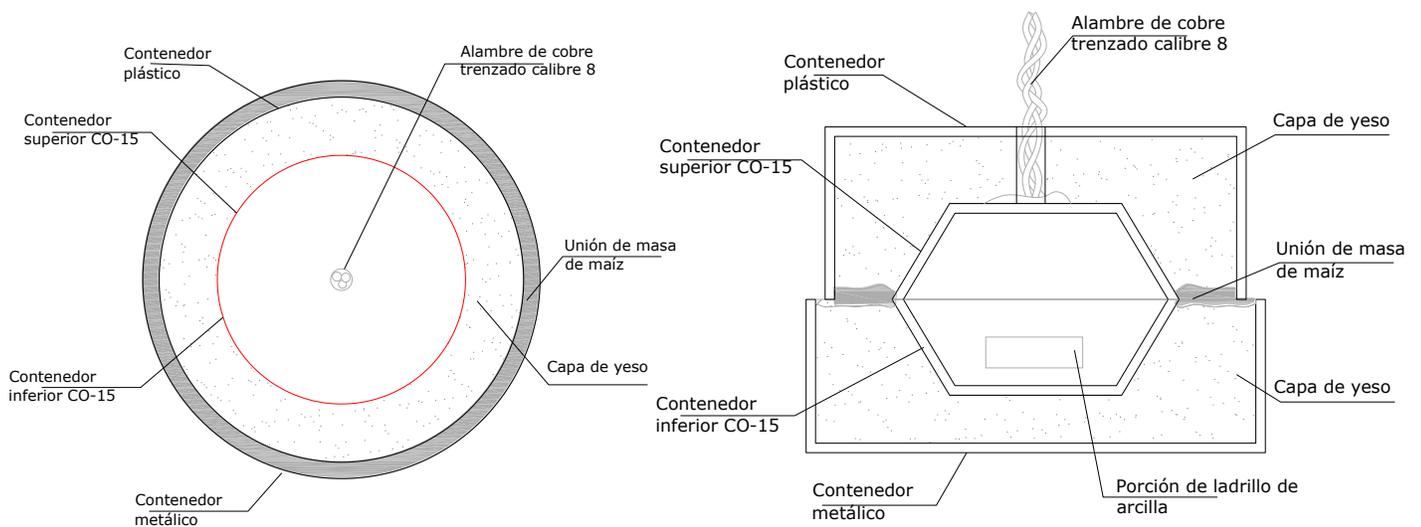


Fig. 024 – Cámara de cocción de cobre aislada. (a) Diseño cámara de cocción aislada planta. (b)

Diseño cámara de cocción aislada corte. Fuente: elaboración propia.

En este experimento no se pudo medir la temperatura interior de la cámara al estar sellada con el yeso. El experimento se realizó de las 10:00 a las 15:00 horas, la temperatura ambiente promedio fue de 27°C mientras que la temperatura promedio del haz de energía solar fue de 550°C y una máxima de 670°C.

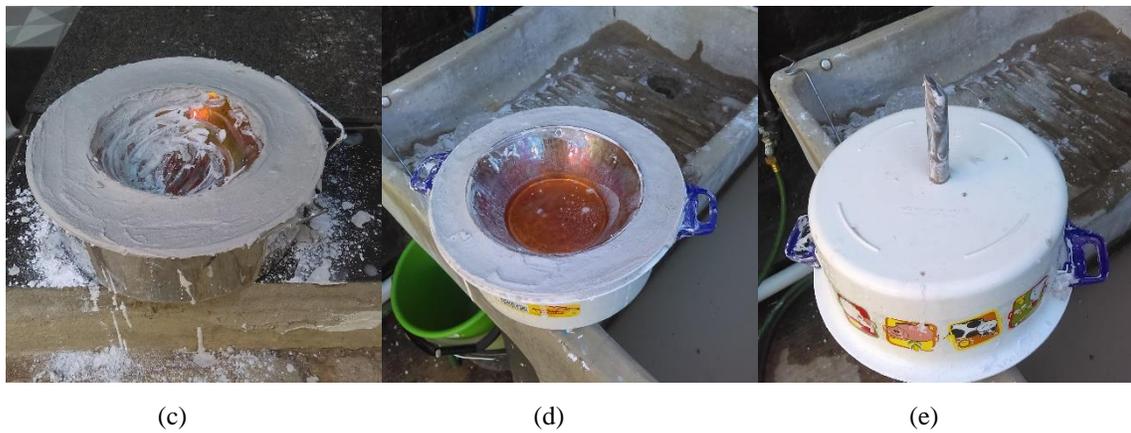
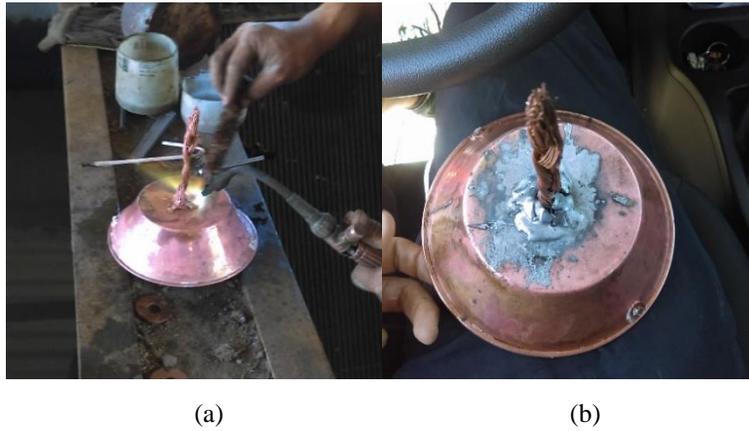


Fig. 025 Fabricación de cámara de cocción – (a) Proceso de soldado de cables de cobre calibre 8 a la cámara de cocción por medio de soldadura autógena de estaño. (b). Resultado. (c). Fabricación de aislamiento de yeso parte inferior de la cámara. (d) y (e). Fabricación de aislamiento de yeso parte superior de la cámara. Fuente: elaboración propia.

Las fotografías presentadas a continuación muestran el armado de la cámara de cocción.

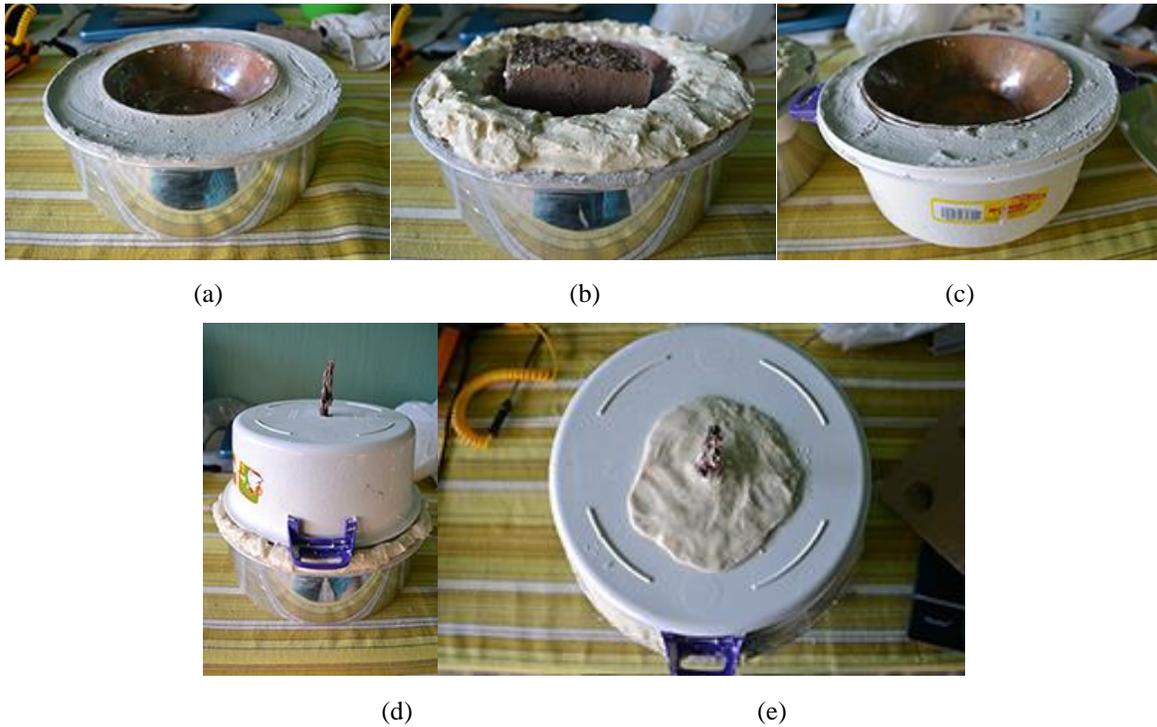


Fig. 026 Armado de cámara con aislante de yeso – (a). Parte inferior de la cámara de cocción. (b) Colocación de porción de ladrillo y aplicación de junta de masa de maíz. (c) Parte superior de la cámara de cocción. (d) Armado de la cámara de cocción. (e) Protección con masa de maíz en la zona de contacto con el haz de energía. Fuente: elaboración propia.

Durante el proceso del experimento se observó que el grosor del cable no aprovechaba toda la energía solar concentrada por el lente de Fresnel, y se podría buscar un mejor ángulo, cortar parte del cable que sobresale de la cámara y que no tiene aislamiento.





(c)

(d)

Fig. 027 Prueba con cámara de cocción aislada – (a). Haz de energía solar incidiendo en cable de cobre. (b) Cámara de cocción en la parte inferior del concentrador solar. (c). Concentrador en función. (d). Medición de temperatura del haz de energía. Fuente: elaboración propia.

### Resultados:

Se observó que la porción de ladrillo que se utilizó para el experimento está en las mismas condiciones del inicio de la prueba y al pesarlo este ganó 4 gramos, contrario a la hipótesis que debería perder peso al perder humedad.



(a)

(b)

Fig. 028 - Peso de porción de ladrillo – (a). Peso de porción de ladrillo antes de la prueba. (b). Peso de porción de ladrillo después de la prueba. Fuente: elaboración propia.

### **3.3 Experimentos segunda etapa**

Debido a que en la primera etapa del proyecto de investigación no se obtuvieron los resultados deseados, lograr la cocción de una pieza de ladrillo estándar de 7x14x28 cm., se hizo necesario replantear el objetivo propuesto al inicio, experimentando con piezas más pequeñas con diferentes geometrías (rectángulos, esferas y cubos). Así, se propusieron diferentes procesos de secado previos a la exposición al haz de energía solar, así como la utilización de diferentes moldes como cámaras de cocción y cuyos resultados se muestran a continuación.

#### **3.3.1 Prueba de cocción de ladrillos a escala de arcilla estándar de 1.7 x 3.5 x 7.0 cm con sistema de horneado mediante energía térmica solar.**

##### **Objetivo:**

Aplicar pruebas de cocción a una pieza de arcilla estándar rectangular con medidas de 1.7 x 3.5 x 7.0 cm, registrando la temperatura del haz de energía, su peso antes y después de la prueba, sus características físicas resultantes (color y textura), el tiempo de exposición a la energía solar, para posteriormente someter las piezas a una prueba de compresión simple.

##### **VARIABLES:**

##### **1. VARIABLES DE ENTRADA**

- 1.1 Ladrillo a escala de arcilla estándar. (Peso, volumen y masa).
- 1.2 Temperatura del haz de energía.
- 1.3 Temperatura final interior.
- 1.4 Tiempo del proceso.

##### **2. VARIABLES NO CONTROLADAS**

- 2.1 Clima.

##### **3. VARIABLE DE RESPUESTA**

- 3.1 Características físicas del ladrillo obtenido.

##### **DETALLES OPERATIVOS**

**Lugar de desarrollo:** Vivienda en Tonalá, Jalisco.

**Responsable de la actividad:** Rodrigo Arana Barba

**Fecha de aplicación:** 5,6 y 8 de febrero 2018.

**Supervisor de las pruebas:** Dr. Nayar Cuitláhuac Gutiérrez Astudillo.

**TIPO DE EXPERIMENTO:** Experimento controlado.

**TRATAMIENTO EXPERIMENTAL:**

Se recolectó masa de arcilla estándar de una ladrillera en Tonalá en la colonia La Guadalupana en San Miguel la Punta, la cual se compone de barro rojo, barro gris, viruta de madera, estiércol de vaca y agua. Con ella se extruyeron 3 ladrillos a escala de arcilla estándar de 1.7 x 3.5 x 7.0 cm. Las piezas se sometieron al haz de energía solar producido por el concentrador solar con lente Fresnel. Cada pieza estuvo expuesta por 4 horas al haz de energía solar (Una hora por cara, superior, inferior y laterales largas).

Las piezas resultantes de la cocción se sometieron a pruebas para registrar sus características físicas a la compresión y apariencia física.

**EQUIPO:**

Para la ejecución de las pruebas se utilizará un concentrador solar con lente de Fresnel, el cual cuenta con un seguidor solar en dos ejes, un termómetro con termopar “K” para la medición de la temperatura, cámara fotográfica para registrar el proceso, una bitácora, una pluma, un reloj para cronometrar las pruebas y una Lap top con Excel para vaciar toda la información obtenida.

**PROCESO DE INFORMACIÓN:**

En la planeación de los experimentos que se realizaran se empleará el programa de cálculo *Microsoft Excel*, ya que entre sus herramientas se permiten el registro de las variables y a la vez la graficación del comportamiento de las mismas. La graficación del comportamiento de permite a la vez observar si existen o no tendencias en los comportamientos de las variables cuando se introducen cambios o nuevos elementos inciden en el comportamiento del lente, de la cámara y del haz de luz, para así poder más o menos determinar cuál o cuáles serían las opciones variables en la construcción de un horno para la cocción de los ladrillos.

**PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA:**

1. Con la masa recolectada de la ladrillera de Tonalá se extruyen 3 ladrillos a escala de medidas 7.0 x 3.5 x 1.7 cm.

2. Las muestras se pesan en una báscula y se les toma una fotografía previa a la prueba
3. Se conecta el concentrador solar a la batería, el sensor solar detecta la posición del sol y comienza a alinear el lente de Fresnel en el eje vertical y en el eje horizontal para concentrar la energía solar. Por motivos de seguridad se coloca un paño para tapar el lente de Fresnel ya que si está desenfocado puede quemar el mismo concentrador u objetos cercanos a él.
4. Una vez alineado el lente de Fresnel se coloca el cubo de arcilla estándar en el foco con el umbral a utilizar y se descubre el lente de Fresnel, en ese momento se inicia el conteo del cronómetro.
5. A los quince minutos de incidencia solar sobre la pieza se mide la temperatura con el termómetro infrarrojo, se cubre el lente solar y con guantes de cuero se cambia la cara de la pieza para repetir el proceso por otros quince minutos.
6. Pasada una hora se cubre el lente de Fresnel y se coloca otra cara del ladrillo a escala (repetiendo el proceso por las cuatro caras más largas).
7. Se analizarán las características físicas del ladrillo ya cocido (compresión simple y apariencia externa).

**PRECAUCIONES:** Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Que el concentrador solar esté calibrado y con batería.
- Que los ladrillos a escala estén secos (3 piezas).
- Que el termómetro tenga batería.

### **VALIDACIÓN DEL PROYECTO Y PRINCIPIO DE DISEÑO:**

El experimento se repetirá 3 veces con las diferentes variables antes explicadas y así poder comparar las características resultantes.

### **Experimento 01**

#### **Pieza 01: experimento realizado el 05 de febrero de 2018.**

Cada hora se expuso al haz de energía solar por una hora, el siguiente diagrama presenta el promedio de temperaturas alcanzadas, así como el máximo y el mínimo de grados centígrados registrados.

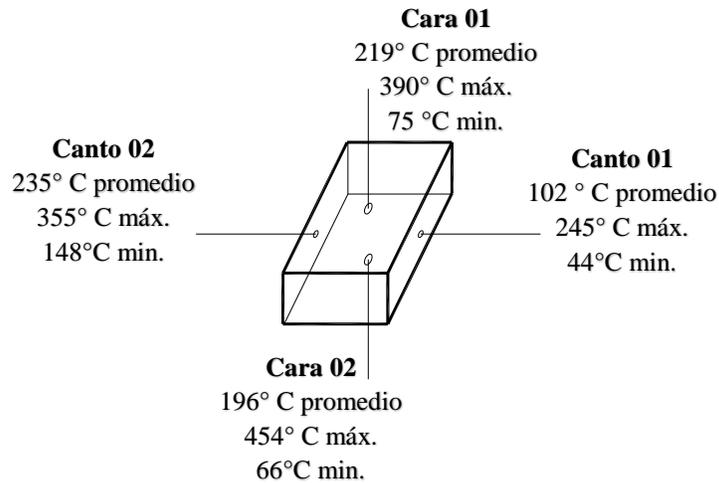


Fig. 029 – Temperaturas promedio, máximas y mínimas en ladrillo a escala 01 en sus caras y cantos expuestas. Fuente: elaboración propia.

Las temperaturas mínimas se registraron en momentos que el clima presento un nublado muy cerrado.

**Pieza 02: experimento realizado el 06 de febrero de 2018.**

Cada hora se expuso al haz de energía solar por una hora, el siguiente diagrama presenta el promedio de temperaturas alcanzadas, así como el máximo y el mínimo de grados centígrados registrados.

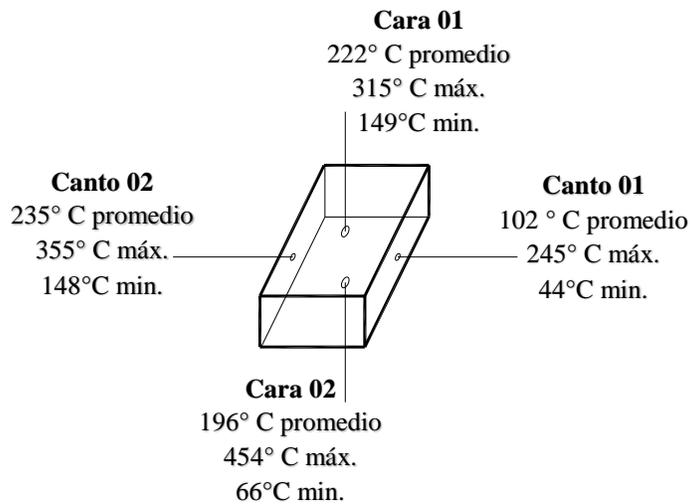


Fig. 030 – Temperaturas promedio, máximas y mínimas en ladrillo a escala 02 en sus caras y cantos expuestas. Fuente: elaboración propia.

### **Pieza 03: experimento realizado el 08 de febrero de 2018.**

Cada hora se expuso al haz de energía solar por una hora, el siguiente diagrama presenta el promedio de temperaturas alcanzadas, así como el máximo y el mínimo de grados centígrados registrados.

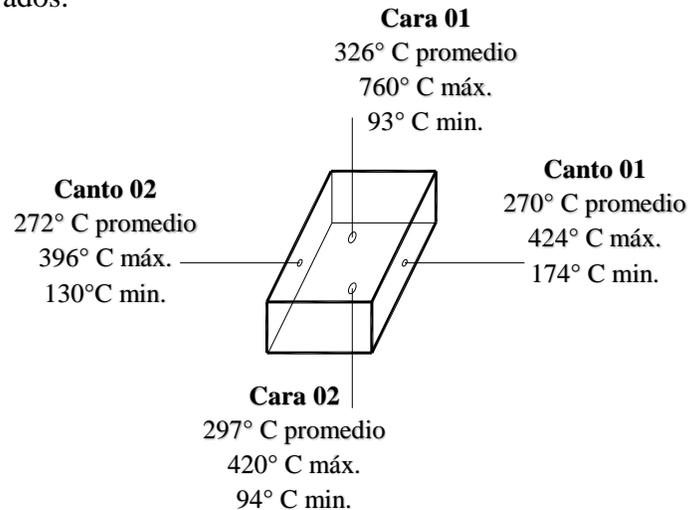


Fig. 031 – Temperaturas promedio, máximas y mínimas en ladrillo a escala 03 en sus caras y cantos expuestas. Fuente: elaboración propia.

### **3.3.2 Prueba simple de compresión a 3 ladrillos a escala de arcilla estándar de 1.7 x 3.5 x 7.0 cm con sistema de horneado mediante energía térmica solar.**

#### **Objetivo:**

Aplicar pruebas de compresión simple a 3 ladrillos a escala de arcilla estándar cocidos mediante energía solar térmica.

#### **VARIABLES:**

##### **1. VARIABLES DE ENTRADA**

- 1.1 Ladrillo a escala (Peso y volumen).
- 1.2 Área de cara superior (Área).
- 1.3 Velocidad de compresión. (mm/min)
- 1.4 Fuerza de compresión (kg).

##### **2. VARIABLES NO CONTROLADAS**

- 2.1 Punto de quiebre a la compresión.

##### **3. VARIABLE DE RESPUESTA**

- 3.1 Resistencia a la compresión simple (kg/cm<sup>2</sup>).

### 3.2 Características físicas de la pieza, interiores de las piezas.

#### **DETALLES OPERATIVOS**

**Lugar de desarrollo:** Laboratorio de estructuras menores.

**Responsable de la actividad:** Rodrigo Arana Barba

**Fecha de aplicación:** 16 de febrero 2018.

**Supervisor de las pruebas:** Dr. Nayar Cuitláhuac Gutiérrez Astudillo.

**TIPO DE EXPERIMENTO:** Experimento controlado.

#### **TRATAMIENTO EXPERIMENTAL:**

Se someterá a una prueba de compresión simple a 3 ladrillos a escala de arcilla estándar de 1.7 x 3.5 x 7.0 cm. Las cuales se sometieron a cocción con un concentrador solar con lente de Fresnel por una hora cada una y con algunas variables de diferencia. Esto con la finalidad de comparar la resistencia a compresión de cada una de ellas.

#### **EQUIPO:**

Una prensa de compresión, una cámara Nikon para grabar un video de la prueba, un tripié, un celular para grabar los datos numéricos de la prueba y poder procesarlos, un escalímetro, bitácora, una pluma, y una Lap top con Excel para vaciar toda la información obtenida.

#### **PROCESO DE INFORMACIÓN:**

Para la planificación de los experimentos a realizar se empleará el programa de cálculo *Microsoft Excel*. Este programa permite realizar los registros de las variables y presentar las gráficas que nos indiquen el comportamiento de las variables. Con esto se obtendrán datos estadísticos y numéricos que serán utilizados para generar gráficas y reportes, todo esto se documentará con fotografías y gráficos.

#### **PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA:**

1. Se mide y pesa la pieza de arcilla (cubo), y se registra mediante una fotografía.
2. Se coloca la pieza en la prensa de compresión, se colocan una capa inferior y una superior de cal para que la fuerza de compresión sea aplique uniformemente en la pieza.
3. Se aplica la fuerza de compresión a una velocidad de 1 mm por minuto.
4. Se registra la prueba con dos videos, uno de la prensa y otro de la pantalla numérica de la máquina.

5. Una vez que llega a su punto de quiebre, se suspende la aplicación de fuerza por medio de la prensa, se registra fotográficamente la falla de la pieza y sus características internas de cocción.
6. El procedimiento se repite con los demás cubos hasta completar las 5 muestras.

**PRECAUCIONES:** Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Hacer cita para utilizar la prensa de compresión.
- Tener las 3 muestras listas.
- Tener cal para la prueba.
- Que las cámaras tengan batería y memoria suficiente.

### **VALIDACIÓN DEL PROYECTO Y PRINCIPIO DE DISEÑO:**

El experimento se repetirá 3 veces con las diferentes muestras para posteriormente comparar las características resultantes.

#### **Experimento 02 - Pieza 01**

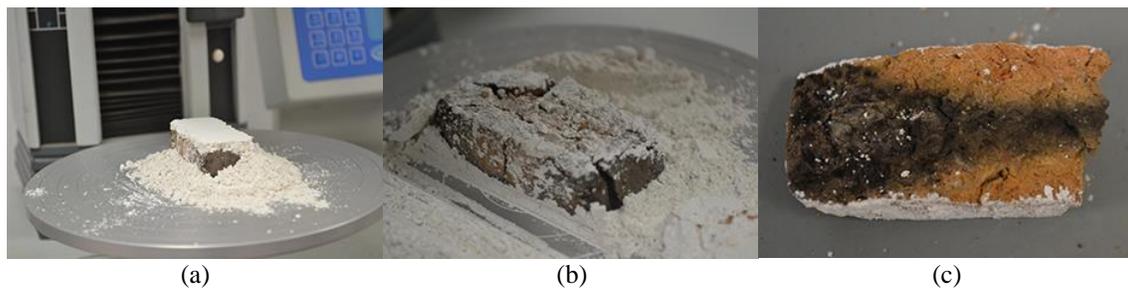


Fig. 032 – Prueba de compresión simple ladrillo a escala.

(a) Colocación con canteado de cal. (b) Pieza después de la prueba. (c) Muestra de la cocción al interior de la pieza. Fuente: elaboración propia.

La falla de la pieza muestra 3 grietas longitudinales en toda la pieza. Las partes fracturadas muestran una cocción parcial de la pieza, no llega hasta el centro, el color negro de la pieza indica que los cantos cortos no están cocidos, el cocimiento marcado por un color rojizo tiene un comportamiento radial y tiene un rango de penetración de 5 a 7 mm. La cara de la pieza que se sometió a la compresión tenía un área de 17.98 cm<sup>2</sup>, la prensa provocó el punto de quiebre a los 2.77 mm y la pieza aguantó 60.25 kg, que dividido por el área de la cara nos da 3.35 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual está muy por debajo de los 70 kg/cm<sup>2</sup> de la NOM.

### Pieza 02

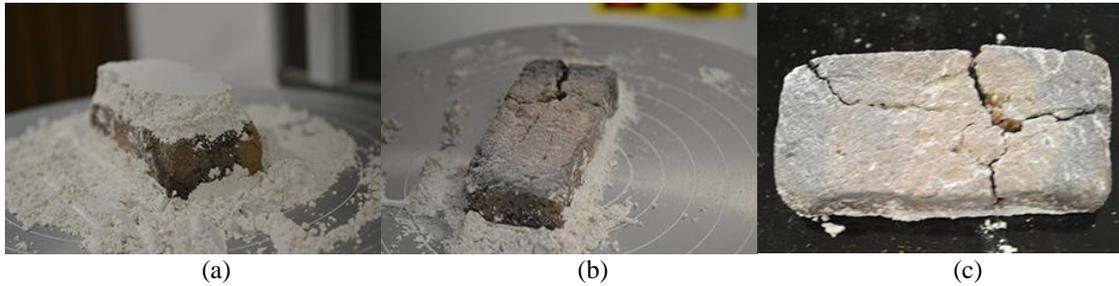


Fig. 033 – Prueba de compresión simple ladrillo a escala.

(a) Colocación con canteado de cal. (b) Pieza después de la prueba. (c) Falla de la pieza. Fuente: elaboración propia.

La pieza falló a la compresión de manera asimétrica, la grieta tiene una forma de cruz latina, el cocimiento de la pieza es similar a la pieza 01, con un cocimiento con penetración radial de 5 mm marcado en un color rojizo y con un color negro localizado al centro de la pieza y en los cantos cortos que son los más lejanos al centro. La prensa tuvo una fuerza de 73.05 kg y el punto de quiebre se dio a los 3.93 mm, dando una resistencia a la compresión de 4.06 kg/cm<sup>2</sup>.

### Pieza 03

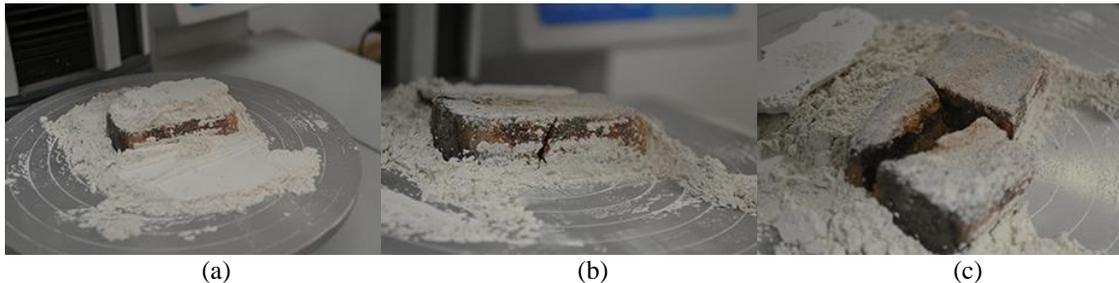


Fig. 034 – Prueba de compresión simple ladrillo a escala.

(a) Colocación con canteado de cal. (b) Pieza después de la prueba. (c) Falla de la pieza. Fuente: elaboración propia.

La tercera pieza falló a la compresión de manera asimétrica, la grieta tiene una forma de “Te” partiendo por la mitad la pieza y buscando una de las esquinas, el cocimiento de la pieza es similar a las piezas anteriores, con un cocimiento con penetración radial de 5 mm marcado en un color rojizo y con un color negro localizado al centro de la pieza y en los cantos cortos que son los más lejanos al centro. La prensa aplicó una fuerza de 133.15 kg y el punto de quiebre fue a los 4.77 mm, dando una resistencia a la compresión de 6.93 kg/cm<sup>2</sup>.

	Pieza 01	Pieza 02	Pieza 03
<b>Mm</b>	2.77	3.93	4.77
<b>Kg</b>	60.25	73.05	133.15
<b>Kg/cm2</b>	3.35	4.06	6.93

Tabla 03. – Tabla comparativa de punto de quiebre y resistencia a la compresión de las 3 piezas de ladrillo a escala. Fuente: elaboración propia.

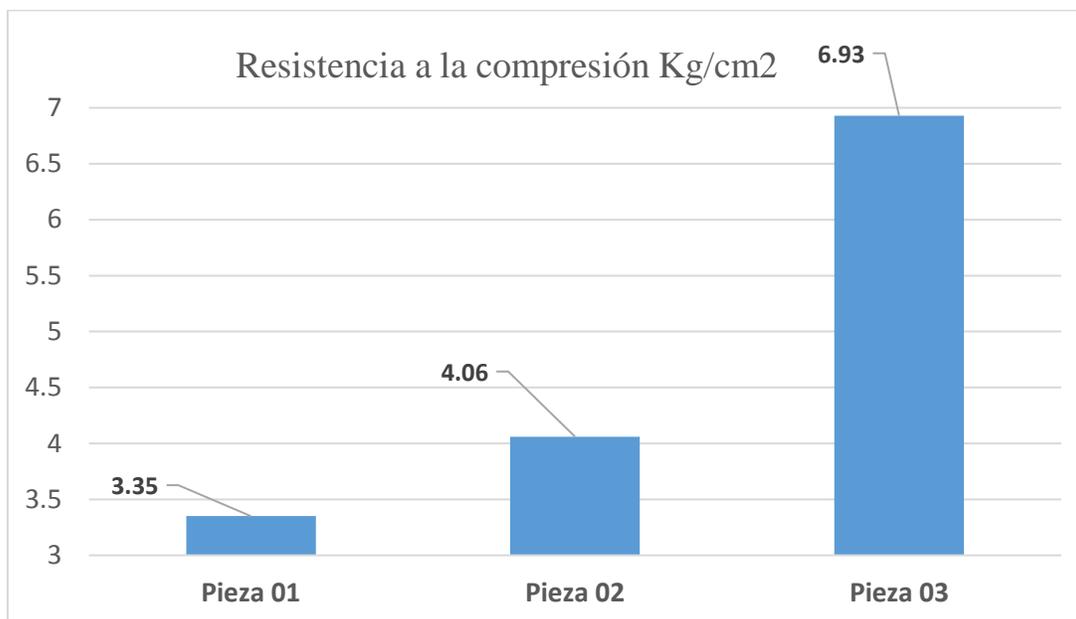


Fig. 035. – Gráfica de resistencia a la compresión de las 3 piezas de ladrillo a escala. Fuente: elaboración propia.

## Conclusiones

La resistencia a la fuerza de compresión es muy baja solo 3.35 kg/cm2 4.06 kg/cm2 y 6.93 kg/cm2 respectivamente. En el proceso de la pieza 01 tuvimos muchos intervalos con nubes, lo que hizo una aplicación de energía intermitente.

El interior de las piezas muestra la falta de cocción en los cantos cortos donde no se expuso al haz de energía. Por lo que se genera la hipótesis que un cubo puede ser geoméricamente más apto para la exposición solar.

### **3.3.3 Prueba de cocción de esfera hueca de arcilla estándar mediante un sistema de energía térmica solar.**

#### **Objetivo:**

Aplicar pruebas de cocción a una pieza esférica hueca de arcilla estándar de 1.7 x 3.5 x 7.0, registrando la temperatura del haz de energía, su peso antes y después de la prueba, sus características físicas resultantes (color y textura), el tiempo de exposición a la energía solar.

#### **VARIABLES:**

##### **1. VARIABLES DE ENTRADA**

- 1.1 Esfera hueca de arcilla estándar. (Peso, volumen y masa).
- 1.2 Temperatura del haz de energía.
- 1.3 Temperatura final interior.
- 1.4 Tiempo del proceso.

##### **2. VARIABLES NO CONTROLADAS**

- 2.1 Clima.

##### **3. VARIABLE DE RESPUESTA**

- 3.1 Resistencia a la compresión simple (kg/cm<sup>2</sup>).
- 3.2 Características físicas del ladrillo obtenido.

#### **DETALLES OPERATIVOS**

**Lugar de desarrollo:** Vivienda en Tonalá, Jalisco.

**Responsable de la actividad:** Rodrigo Arana Barba

**Fecha de aplicación:** 13 de febrero 2018.

**Supervisor de las pruebas:** Dr. Nayar Cuitláhuac Gutiérrez Astudillo.

**TIPO DE EXPERIMENTO:** Experimento controlado.

#### **TRATAMIENTO EXPERIMENTAL:**

Se recolectó masa de arcilla estándar de una ladrillera en Tonalá en la colonia La Guadalupana en San Miguel la Punta, la cual se compone de barro rojo, barro gris, viruta de madera, estiércol de vaca y agua. Con ella se extruyó una esfera de arcilla estándar, con la ayuda de un globo inflado se recubrió de arcilla y se dejó secar al sol. La pieza se sometió al haz de energía solar producido por el concentrador solar con lente Fresnel. La pieza estuvo

expuesta por 4 horas al haz de energía solar, procurando que el haz entrara por el hueco de la pieza e incidiera en el interior de la pieza.

La pieza resultante de la cocción se analizó en características y apariencia física.

### **EQUIPO:**

Para la ejecución de las pruebas se utilizará un concentrador solar con lente de Fresnel, el cual cuenta con un seguidor solar en dos ejes, un termómetro con termopar “K” para la medición de la temperatura, cámara fotográfica para registrar el proceso, una bitácora, una pluma, un reloj para cronometrar las pruebas y una Lap top con Excel para vaciar toda la información obtenida.

### **PROCESO DE INFORMACIÓN:**

Para la planificación de los experimentos a realizar se empleará el programa de cálculo *Microsoft Excel*. Este programa permite realizar los registros de las variables y presentar las gráficas que nos indiquen el comportamiento de las variables. Con esto se obtendrán datos estadísticos y numéricos que serán utilizados para generar gráficas y reportes, todo esto se documentará con fotografías y gráficos.

### **PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA:**

1. Con la masa recolectada de la ladrillera de Tonalá se extruyen 3 ladrillos a escala de medidas 7.0 x 3.5 x 1.7 cm.
2. Las muestras se pesan en una báscula y se les toma una fotografía previa a la prueba
3. Se conecta el concentrador solar a la batería, el sensor solar detecta la posición del sol y comienza a alinear el lente de Fresnel en el eje vertical y en el eje horizontal para concentrar la energía solar. Por motivos de seguridad se coloca un paño para tapan el lente de Fresnel ya que si está desenfocado puede quemar el mismo concentrador u objetos cercanos a él.
4. Una vez alineado el lente de Fresnel se coloca el cubo de arcilla estándar en el foco con el umbral a utilizar y se descubre el lente de Fresnel, en ese momento se inicia el conteo del cronómetro.

5. A los quince minutos de incidencia solar sobre la pieza se mide la temperatura con el termómetro infrarrojo, se cubre el lente solar y con guantes de cuero se cambia la cara de la pieza para repetir el proceso por otros quince minutos.
6. Pasada una hora se cubre el lente de Fresnel y se coloca otra cara del ladrillo a escala (repitiendo el proceso por las cuatro caras más largas).
7. Se analizarán las características físicas del ladrillo ya cocido (aparición externa).

**PRECAUCIONES:** Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Que el concentrador solar esté calibrado y con batería.
- Que los ladrillos a escala estén secos (3 piezas).
- Que el termómetro tenga batería.

### **VALIDACIÓN DEL PROYECTO Y PRINCIPIO DE DISEÑO:**

El experimento único, su finalidad es comprobar el calor que guarda el material y la geometría esférica.

### **Experimento 03**

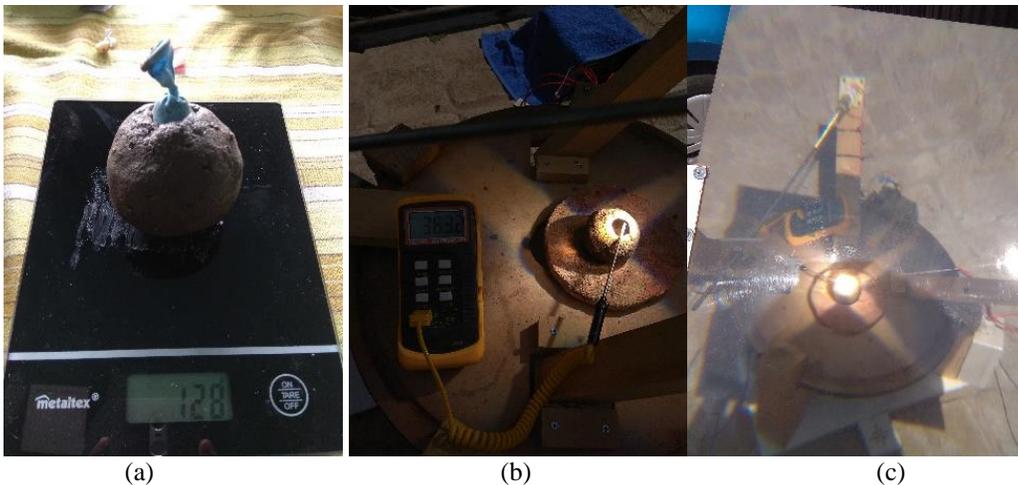




Fig.035 – Prueba esfera de arcilla.

(a) Extrusión de pieza esférica. (b) (c) Pieza expuesta al haz de energía solar. (d) Proceso. (e) Haz de energía solar en la pieza. Fuente: elaboración propia.

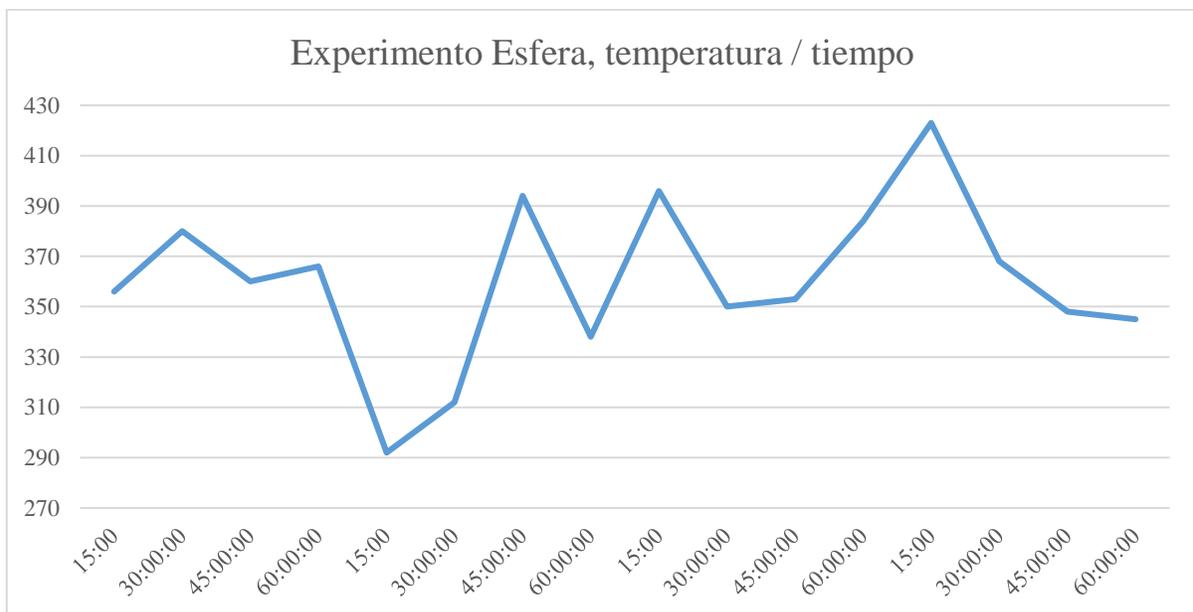


Fig.036 – Gráfica de las temperaturas registradas en las 4 horas de exposición al haz de energía solar. Fuente: elaboración propia.

## Conclusiones

- La pieza esférica se comportó de manera similar a la rectangular, ya que solo se logró la cocción en donde el haz de energía solar tenía contacto directo, a pesar de que el haz entraba al interior de la pieza la cocción no se distribuyó a otras zonas de la pieza.

### **3.3.4 Prueba de cocción de ladrillo a escala de arcilla estándar de 1.7 x 3.5 x 7.0 cm en cámara de cocción metálica de dos piezas (3 caras + 3 caras) aplicando energía térmica solar.**

#### **Objetivo:**

Aplicar pruebas de cocción a una pieza de arcilla estándar rectangular con medidas de 1.7 x 3.5 x 7.0 cm con cámara de cocción, registrando la temperatura del haz de energía, su peso antes y después de la prueba, sus características físicas resultantes (color y textura), el tiempo de exposición a la energía solar, para posteriormente someter las piezas a una prueba de compresión simple.

#### **VARIABLES:**

##### **1. VARIABLES DE ENTRADA**

- 1.1 Ladrillo a escala de arcilla estándar. (Peso, volumen y masa).
- 1.2 Temperatura del haz de energía.
- 1.3 Temperatura final interior.
- 1.4 Tiempo del proceso.

##### **2. VARIABLES NO CONTROLADAS**

- 2.1 Clima.

##### **3. VARIABLE DE RESPUESTA**

- 3.1 Características físicas del ladrillo obtenido.

#### **DETALLES OPERATIVOS**

**Lugar de desarrollo:** Vivienda en Tonalá, Jalisco.

**Responsable de la actividad:** Rodrigo Arana Barba

**Fecha de aplicación:** 5,6 y 8 de febrero 2018.

**Supervisor de las pruebas:** Dr. Nayar Cuitláhuac Gutiérrez Astudillo.

**TIPO DE EXPERIMENTO:** Experimento controlado.

#### **TRATAMIENTO EXPERIMENTAL:**

Se recolectó masa de arcilla estándar de una ladrillera en Tonalá en la colonia La Guadalupana en San Miguel la Punta, la cual se compone de barro rojo, barro gris, viruta de madera, estiércol de vaca y agua. Con ella se extruyeron 3 ladrillos a escala de arcilla estándar de 1.7 x 3.5 x 7.0 cm. Las piezas se sometieron al haz de energía solar producido por el

concentrador solar con lente Fresnel. Cada pieza se expuso por 4 horas al haz de energía solar (Una hora por cara, superior, inferior y laterales largas).

Las piezas resultantes de la cocción se sometieron a pruebas para registrar sus características físicas a la compresión y apariencia física.

### **EQUIPO:**

Para la ejecución de las pruebas se utilizará un concentrador solar con lente de Fresnel, el cual cuenta con un seguidor solar en dos ejes, un termómetro con termopar “K” para la medición de la temperatura, cámara fotográfica para registrar el proceso, una bitácora, una pluma, un reloj para cronometrar las pruebas y una Lap top con Excel para vaciar toda la información obtenida.

### **PROCESO DE INFORMACIÓN:**

Para la planificación de los experimentos a realizar se empleará el programa de cálculo *Microsoft Excel*. Este programa permite realizar los registros de las variables y presentar las gráficas que nos indiquen el comportamiento de las variables. Con esto se obtendrán datos estadísticos y numéricos que serán utilizados para generar gráficas y reportes, todo esto se documentará con fotografías y gráficos.

### **PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA:**

1. Con la masa recolectada de la ladrillera de Tonalá se extruyen 3 ladrillos a escala de medidas 7.0 x 3.5 x 1.7 cm.
2. Las muestras se pesan en una báscula y se les toma una fotografía previa a la prueba
3. Se conecta el concentrador solar a la batería, el sensor solar detecta la posición del sol y comienza a alinear el lente de Fresnel en el eje vertical y en el eje horizontal para concentrar la energía solar. Por motivos de seguridad se coloca un paño para tapan el lente de Fresnel ya que si está desenfocado puede quemar el mismo concentrador u objetos cercanos a él.
4. Una vez alineado el lente de Fresnel se coloca el cubo de arcilla estándar en el foco con el umbral a utilizar y se descubre el lente de Fresnel, en ese momento se inicia el conteo del cronómetro.

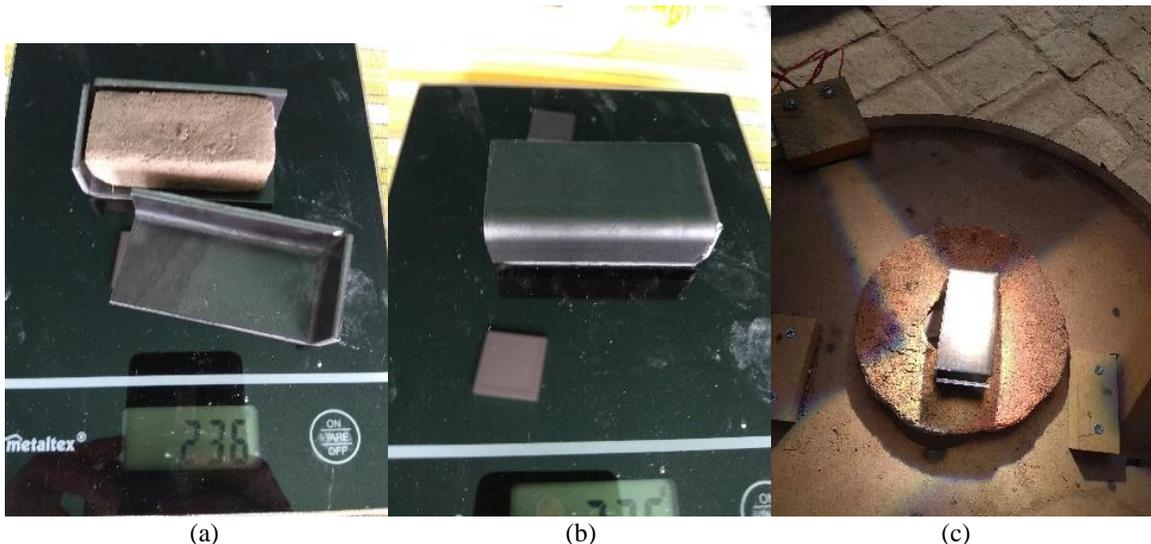
5. A los quince minutos de incidencia solar sobre la pieza se mide la temperatura con el termómetro infrarrojo, se cubre el lente solar y con guantes de cuero se cambia la cara de la pieza para repetir el proceso por otros quince minutos.
6. Pasada una hora se cubre el lente de Fresnel y se coloca otra cara del ladrillo a escala (repetiendo el proceso por las cuatro caras más largas).
7. Se analizarán las características físicas del ladrillo ya cocido (compresión simple y apariencia externa).

**PRECAUCIONES:** Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Que el concentrador solar esté calibrado y con batería.
- Que los ladrillos a escala estén secos (3 piezas).
- Que el termómetro tenga batería.

#### **VALIDACIÓN DEL PROYECTO Y PRINCIPIO DE DISEÑO:**

El experimento se repetirá 3 veces con las diferentes variables antes explicadas y así poder comparar las características resultantes.



(a) (b) Armado de cámara. (c) Pieza expuesta al haz de energía solar. Fuente: elaboración propia.



Fig.038 – Prueba ladrillo a escala con cámara de cocción metálica de dos piezas.  
 (a) Pieza resultante del proceso de cocción. Fuente: elaboración propia.

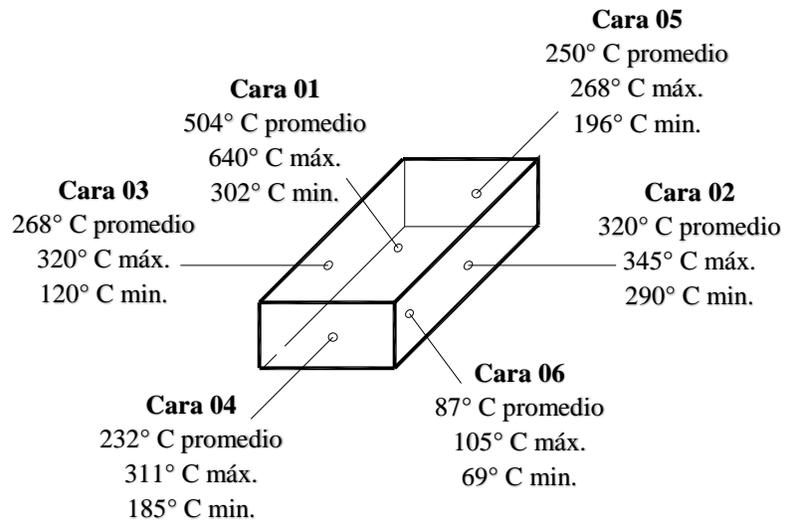


Fig. 039 – Temperaturas promedio, máximas y mínimas  
 En ladrillo a escala con cámara de cocción metálica. Fuente: elaboración propia.

### **3.3.5 Pruebas de cocción de ladrillo a escala de arcilla estándar de 1.7 x 3.5 x 7.0 cm en cámara de cocción metálica de dos piezas (5 caras + 1 cara) con y sin aislamiento de yeso aplicando energía térmica solar.**

#### **Objetivo:**

Aplicar pruebas de cocción a una pieza de arcilla estándar rectangular con medidas de 1.7 x 3.5 x 7.0 cm con cámara de cocción metálica de dos piezas (5 caras + 1 cara), registrando la temperatura del haz de energía, en sus seis caras, su peso antes y después de la prueba, sus características físicas resultantes (color y textura), el tiempo de exposición a la energía solar, para posteriormente someter las piezas a una prueba de compresión simple.

#### **VARIABLES:**

##### **1. VARIABLES DE ENTRADA**

- 1.1 Ladrillo a escala de arcilla estándar. (Peso, volumen y masa).
- 1.2 Temperatura del haz de energía y en la cara donde incide.
- 1.3 Temperatura en las caras donde no incide el haz de energía.
- 1.4 Tiempo del proceso.

##### **2. VARIABLES NO CONTROLADAS**

- 2.1 Clima.

##### **3. VARIABLE DE RESPUESTA**

- 3.1 Características físicas del ladrillo obtenido.

#### **DETALLES OPERATIVOS**

**Lugar de desarrollo:** Vivienda en Tonalá, Jalisco.

**Responsable de la actividad:** Rodrigo Arana Barba

**Fecha de aplicación:** 5,6 y 8 de febrero 2018.

**Supervisor de las pruebas:** Dr. Nayar Cuitláhuac Gutiérrez Astudillo.

**TIPO DE EXPERIMENTO:** Experimento controlado.

### **TRATAMIENTO EXPERIMENTAL:**

Se recolectó masa de arcilla estándar de una ladrillera en Tonalá en la colonia La Guadalupana en San Miguel la Punta, la cual se compone de barro rojo, barro gris, viruta de madera, estiércol de vaca y agua. Con ella se extruyeron 3 ladrillos a escala de arcilla estándar de 1.7 x 3.5 x 7.0 cm. Las piezas se sometieron al haz de energía solar producido por el concentrador solar con lente Fresnel. Cada pieza estará expuesta por 4 horas al haz de energía solar (Una hora por cara, superior, inferior y laterales largas).

Las piezas resultantes de la cocción se sometieron a pruebas para registrar sus características físicas a la compresión y apariencia física.

### **EQUIPO:**

Para la ejecución de las pruebas se utilizará un concentrador solar con lente de Fresnel, el cual cuenta con un seguidor solar en dos ejes, un termómetro con termopar “K” para la medición de la temperatura, cámara fotográfica para registrar el proceso, una bitácora, una pluma, un reloj para cronometrar las pruebas y una Lap top con Excel para vaciar toda la información obtenida.

### **PROCESO DE INFORMACIÓN:**

Para la planificación de los experimentos a realizar se empleará el programa de cálculo *Microsoft Excel*. Este programa permite realizar los registros de las variables y presentar las gráficas que nos indiquen el comportamiento de las variables. Con esto se obtendrán datos estadísticos y numéricos que serán utilizados para generar gráficas y reportes, todo esto se documentará con fotografías y gráficos.

### **PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA:**

1. Con la masa recolectada de la ladrillera de Tonalá se extruyen 3 ladrillos a escala de medidas 7.0 x 3.5 x 1.7 cm.
2. Las muestras se pesan en una báscula y se les toma una fotografía previa a la prueba
3. Se conecta el concentrador solar a la batería, el sensor solar detecta la posición del sol y comienza a alinear el lente de Fresnel en el eje vertical y en el eje horizontal para concentrar la energía solar. Por motivos de seguridad se coloca un paño para tapar el lente de Fresnel ya que si está desenfocado puede quemar el mismo concentrador u objetos cercanos a él.

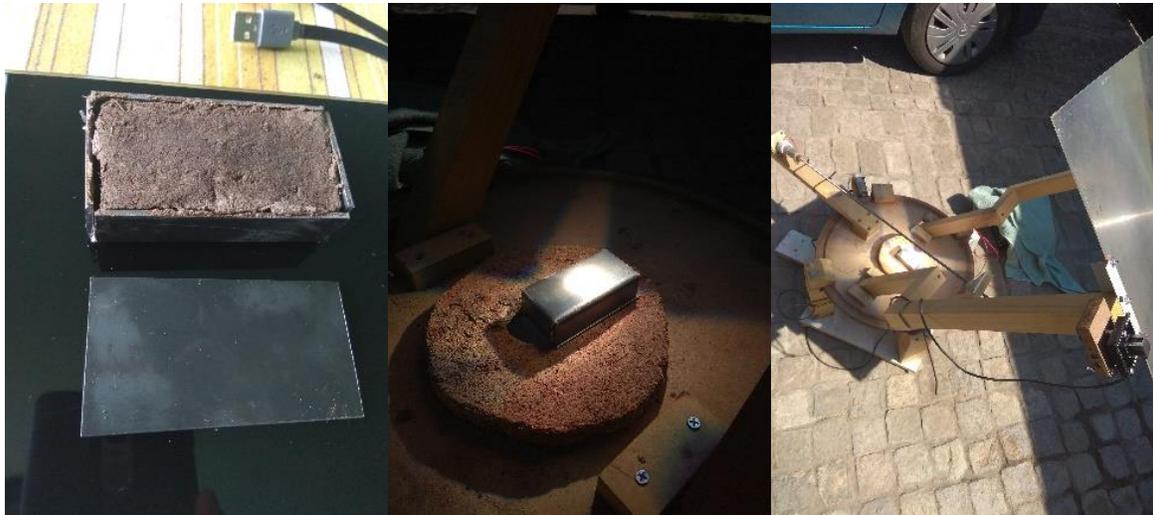
4. Una vez alineado el lente de Fresnel se coloca el cubo de arcilla estándar en el foco con el umbral a utilizar y se descubre el lente de Fresnel, en ese momento se inicia el conteo del cronómetro.
5. A los quince minutos de incidencia solar sobre la pieza se mide la temperatura con el termómetro infrarrojo, se cubre el lente solar y con guantes de cuero se cambia la cara de la pieza para repetir el proceso por otros quince minutos.
6. Pasada una hora se cubre el lente de Fresnel y se coloca otra cara del ladrillo a escala (repetiendo el proceso por las cuatro caras más largas).
7. Se analizarán las características físicas del ladrillo ya cocido (compresión simple y apariencia externa).

**PRECAUCIONES:** Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Que el concentrador solar esté calibrado y con batería.
- Que los ladrillos a escala estén secos (3 piezas).
- Que el termómetro tenga batería.

**VALIDACIÓN DEL PROYECTO Y PRINCIPIO DE DISEÑO:**

El experimento se repetirá 3 veces con las diferentes variables antes explicadas y así poder comparar las características resultantes.



(a) (b) (c)

Fig.040 – Prueba ladrillo a escala con cámara de cocción metálica.

(a) Armado de cámara. (b) Pieza expuesta al haz de energía solar. (c) Proceso. Fuente: elaboración propia.

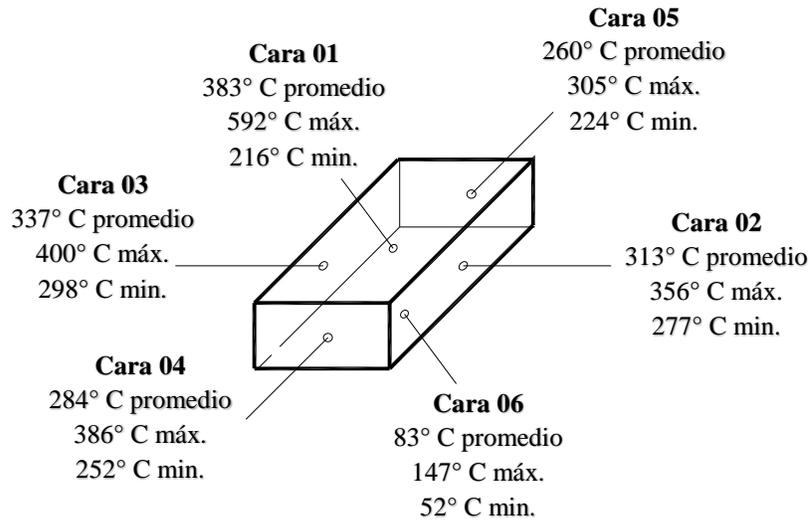


Fig. 041 – Temperaturas promedio, máximas y mínimas en ladrillo a escala con molde metálico en sus caras y cantos expuestas. Fuente: Elaboración propia



(a) (b)

Fig. 042 – Prueba con cámara aislada. (a) Exposición de la pieza al haz de energía. (b) concentrador solar. Fuente: elaboración propia

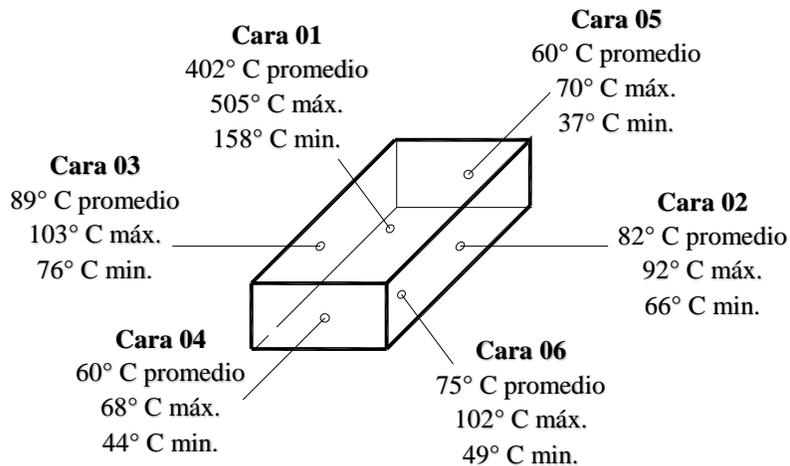


Fig. 043 – Temperaturas promedio, máximas y mínimas de ladrillo a escala con molde aislado con yeso, en sus caras y cantos expuestas. Fuente: Elaboración propia

## Conclusiones

### Sin aislante

- La pieza muestra una cocción mínima, el color es homogéneo, mostrando que el molde metálico sí distribuye correctamente el calor, pero la temperatura alcanzada no es suficiente para lograr la cocción de la pieza.

### Con aislante

- La pieza no tuvo una cocción favorable, no se contrajo lo suficiente para salir del contenedor aislante.
- El calor se distribuyó bien por el molde metálico, al presentar un color negro homogéneo, pero no fue suficiente para lograr la cocción de la pieza. La pieza presenta un color negro el cual antecede el color rojizo de una buena cocción.
- El aislante funcionó correctamente, las temperaturas de las caras fueron muy estables, salvo en algunas ocasiones como en la cara 4 que registró una temperatura mínima de 44°C, esto se dio por intervalos nublados que hacen que la temperatura caiga drásticamente.

### **3.3.6 Prueba de cocción de cubos de arcilla estándar de 2 cm<sup>3</sup> con sistema de horneado mediante energía térmica solar.**

#### **Objetivo:**

Aplicar pruebas de cocción a piezas de arcilla estándar con forma de cubo de 2cm por cara, registrando la temperatura del haz de energía, su peso antes y después de la prueba, sus características físicas (color y textura), el tiempo de exposición a la energía solar y posteriormente someter las piezas a una prueba de compresión simple.

#### **VARIABLES:**

##### **1. VARIABLES DE ENTRADA**

- 1.1 Cubo de arcilla (Peso y volumen).
- 1.2 Ladrillo a cocción (Masa).
- 1.3 Temperatura inicial interior.
- 1.4 Temperatura final interior.
- 1.5 Tiempo del proceso.
  - 1.5.1 Tiempo de cocción
  - 1.5.2 Tiempo de enfriado.
  - 1.5.3 Apertura de válvula.
  - 1.5.4 Apertura para ingreso de rayo solar.

##### **2. VARIABLES NO CONTROLADAS**

- 2.1 Temperatura ambiente exterior.

##### **3. VARIABLE DE RESPUESTA**

- 3.1 Resistencia a la compresión simple (kg/cm<sup>2</sup>).
- 3.2 Características físicas del ladrillo obtenido.

#### **DETALLES OPERATIVOS**

**Lugar de desarrollo:** Laboratorio de estructuras menores.

**Responsable de la actividad:** Rodrigo Arana Barba

**Fecha de aplicación:** Por definir

**Supervisor de las pruebas:** Dr. Nayar Cuitláhuac Gutiérrez Astudillo.

**TIPO DE EXPERIMENTO:** Experimento controlado.

### TRATAMIENTO EXPERIMENTAL:

Se recolectó masa de arcilla estándar de una ladrillera en Tonalá en la colonia La Guadalupana en San Miguel la Punta, la cual se compone de barro rojo, barro gris, viruta de madera, estiércol de vaca y agua. Con ella se produjeron 5 cubos de 2 cm por lado con un volumen de 8 cm<sup>3</sup>. Dos de ellos se extruyeron y se sometieron al haz de energía solar el mismo día mientras que las otras tres piezas se dejaron secar al sol por 24 horas.

Las piezas se sometieron al haz de energía solar producido por el concentrador solar con lente Fresnel. Cada pieza estuvo expuesta por una hora al haz de energía solar (10 minutos a cada una de las seis caras), con diferentes umbrales de concentración de energía. La siguiente tabla explica las diferentes variables entre cada pieza.

<b>Piezas</b>	<b>Pre secado al sol</b>	<b>Umbral</b>
Muestra 01 – M 01	No	3.5 cm
Muestra 02 – M02	No	9.0 cm
Muestra 03 – M03	Si	3.5 cm
Muestra 04 – M04	Si	9.0 cm
Muestra 05 – M05	Si	16.0 cm

Tabla 04 – Umbrales de exposición de energía.  
Umbral 3.5 cm (ladrillo de azotea + cubo) Umbral 9.0 cm (Ladrillo estándar + cubo) Umbral 16 cm (2 ladrillos estándar + cubo). Fuente: elaboración propia.

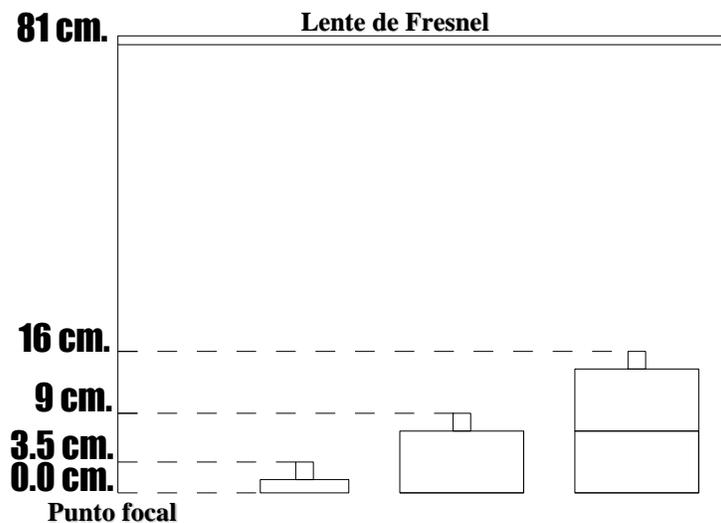


Fig. 044 – Umbrales de exposición de energía.

Umbral 3.5 cm (ladrillo de azotea + cubo) Umbral 9.0 cm (Ladrillo estándar + cubo) Umbral 16 cm (2 ladrillos estándar + cubo). Fuente: elaboración propia.

Nota: La distancia entre el lente de Fresnel y el punto máximo de concentración de energía es de 81 centímetros, los diferentes umbrales en estos experimentos se muestran en función de la distancia que los ladrillos que se utilizan de base elevan los cubos de arcilla hacia el lente de Fresnel, también se cuantifican los 2 cm de alto de los cubos.

Las piezas resultantes de la cocción se sometieron a pruebas para registrar sus características físicas a la compresión y apariencia física.

### EQUIPO:

Para la ejecución de las pruebas se utilizará un concentrador solar con lente de Fresnel, el cual cuenta con un seguidor solar en dos ejes, un termómetro infrarrojo de pistola para la medición de la temperatura, cámara fotográfica para registrar el proceso, una bitácora, un plumero, un reloj para cronometrar las pruebas y una Lap top con Excel para vaciar toda la información obtenida.

### PROCESO DE INFORMACIÓN:

Para la planificación de los experimentos a realizar se empleará el programa de cálculo *Microsoft Excel*. Este programa permite realizar los registros de las variables y presentar las gráficas que nos indiquen el comportamiento de las variables. Con esto se obtendrán datos estadísticos y numéricos que serán utilizados para generar gráficas y reportes, todo esto se documentará con fotografías y gráficos.

### **PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA:**

1. Con la masa recolectada de la ladrillera de Tonalá se extruyen 5 cubos de 2 cm por lado. Los dos primeros se utilizarán de inmediato mientras que tres de ellos se dejarán secar al sol y se utilizarán 24 horas después.
2. Las muestras se pesan en una báscula y se les toma una fotografía previa a la prueba.
3. Se conecta el concentrador solar a la batería, el sensor solar detecta la posición del sol y comienza a alinear el lente de Fresnel en el eje vertical y en el eje horizontal para concentrar la energía solar. Por motivos de seguridad se coloca un paño para tapar el lente de Fresnel ya que si está desenfocado puede quemar el mismo concentrador u objetos cercanos a él.
4. Una vez alineado el lente de Fresnel se coloca el cubo de arcilla estándar en el foco con el umbral a utilizar y se descubre el lente de Fresnel, en ese momento se inicia el conteo del cronómetro.
5. A los diez minutos de incidencia solar sobre la pieza se mide la temperatura con el termómetro infrarrojo de pistola, se cubre el lente solar y con guantes de cuero se cambia la cara de la pieza para repetir el proceso por otros diez minutos (se aplica energía en las 6 caras del cubo).
6. Se pesa la pieza después y se registran sus características con una fotografía por cada cara.
7. Se analizarán las características físicas de las piezas.

**PRECAUCIONES:** Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Que el concentrador solar esté calibrado.
- Que los cubos de arcilla estén secos (3 piezas).
- Que el termómetro de pistola laser tenga batería.

### **VALIDACIÓN DEL PROYECTO Y PRINCIPIO DE DISEÑO:**

El experimento se repetirá 5 veces con las diferentes variables antes explicadas y así poder comparar las características resultantes.

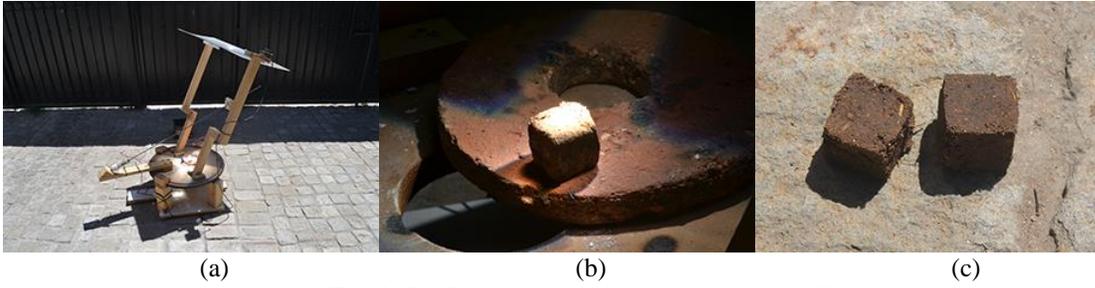


Fig. 045 – Prueba de cocción de cubos de arcilla.

(a) Concentrador solar en proceso de cocción. (b) Cubo expuesto al haz de energía solar (c) Cubos secándose al sol (proceso de canteado).

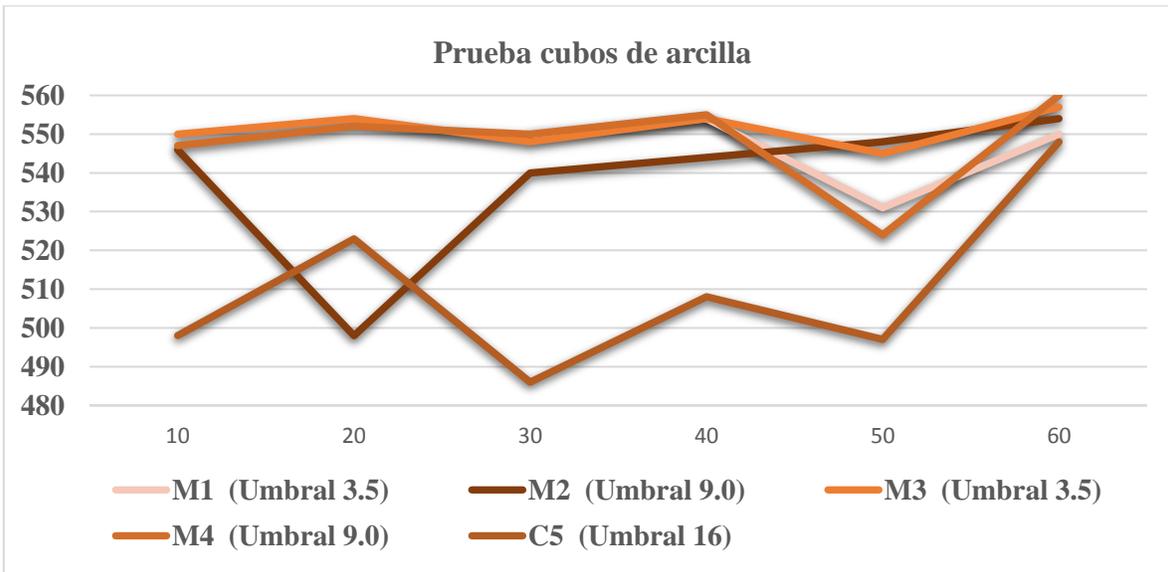


Fig.046 – Gráfica de temperaturas de los 5 cubos expuestos a la energía solar. Fuente: elaboración propia.

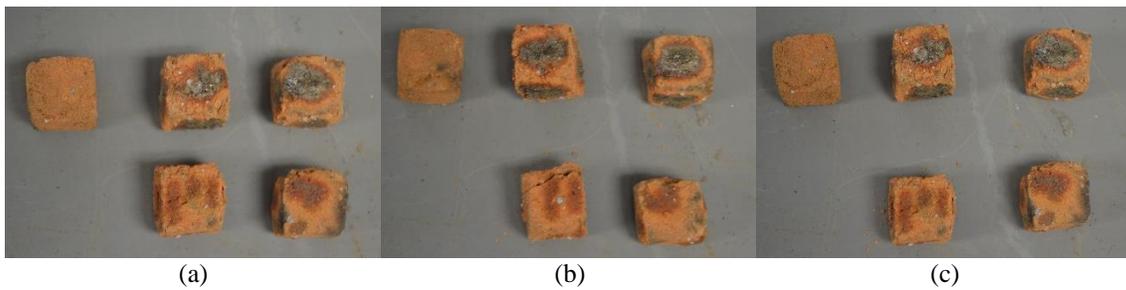


Fig.047 – Piezas cubicas después de la exposición a la energía solar.

(a) (b) (c) Caras de las 5 piezas expuestas. De izquierda a derecha comenzando por la parte superior tenemos M5 – M3 – M1 y en la parte inferior de izquierda a derecha tenemos M4 – M2 Fuente: elaboración propia.

## **Conclusiones**

Las piezas en umbrales bajos (3.5 cm) presentan una cristalización del material y un color oscuro grisáceo, así como unas pequeñas burbujas cristalinas blancas, que en algunos casos al inflarse agrietaron la pieza.

Las piezas con un umbral intermedio (9 cm) presentan una gama de colores rojizos que van del naranja claro hasta un gris oscuro, pero sin llegar a la cristalización de las otras piezas. Algunas piezas muestran el recorrido del foco del haz de energía.

La pieza que se coció en el umbral alto (16 cm) es la que tiene un color rojizo naranja más homogéneo, no tiene marcas de sobreexposición.

### **3.3.3.7 Prueba simple de compresión a 5 cubos de arcilla estándar de 2 cm<sup>3</sup> cocidos mediante energía térmica solar.**

#### **Objetivo:**

Aplicar pruebas de compresión simple a 5 cubos de arcilla estándar cocidos mediante energía solar térmica.

#### **VARIABLES:**

##### **1. VARIABLES DE ENTRADA**

- 1.1 Cubo de arcilla (Peso y volumen).
- 1.2 Área de cara superior (Área).
- 1.3 Velocidad de compresión. (mm/min)
- 1.4 Fuerza de compresión (kg).

##### **2. VARIABLES NO CONTROLADAS**

- 2.1 Punto de quiebre a la compresión.

##### **3. VARIABLE DE RESPUESTA**

- 3.1 Resistencia a la compresión simple (kg/cm<sup>2</sup>).
- 3.2 Características físicas de la pieza, interiores de las piezas.

#### **DETALLES OPERATIVOS**

**Lugar de desarrollo:** Laboratorio de estructuras menores.

**Responsable de la actividad:** Rodrigo Arana Barba

**Fecha de aplicación:** Por definir

**Supervisor de las pruebas:** Dr. Nayar Cuitláhuac Gutiérrez Astudillo.

**TIPO DE EXPERIMENTO:** Experimento controlado.

#### **TRATAMIENTO EXPERIMENTAL:**

Se sometió a una prueba de compresión simple a 5 piezas cubicas de arcilla estándar. Las cuales se sometieron a cocción con un concentrador solar con lente de Fresnel por una hora cada una y con algunas variables de diferencia. Esto con la finalidad de comparar la resistencia a compresión de cada una de ellas.

**EQUIPO:**

Una prensa de compresión, una cámara Nikon para grabar un video de la prueba, un tripié, un celular para grabar los datos numéricos de la prueba y poder procesarlos, un escalímetro, bitácora, una pluma, y una Lap top con Excel para vaciar toda la información obtenida.

**PROCESO DE INFORMACIÓN:**

Para la planificación de los experimentos a realizar se empleará el programa de cálculo *Microsoft Excel*. Este programa permite realizar los registros de las variables y presentar las gráficas que nos indiquen el comportamiento de las variables. Con esto se obtendrán datos estadísticos y numéricos que serán utilizados para generar gráficas y reportes, todo esto se documentará con fotografías y gráficos.

**PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA:**

1. Se mide y pesa la pieza de arcilla (cubo), y se registra mediante una fotografía.
2. Se coloca la pieza en la prensa de compresión, se colocan una capa inferior y una superior de cal para que la fuerza de compresión sea aplique uniformemente en la pieza.
3. Se aplica la fuerza de compresión a una velocidad de 1 mm por minuto.
4. Se registra la prueba con dos videos, uno de la prensa y otro de la pantalla numérica de la máquina.
5. Una vez que llega a su punto de quiebre, se suspende la aplicación de fuerza por medio de la prensa, se registra fotográficamente la falla de la pieza y sus características internas de cocción.
6. El procedimiento se repite con los demás cubos hasta completar las 5 muestras.

**PRECAUCIONES:** Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Hacer cita para utilizar la prensa de compresión.
- Tener las 5 muestras listas.
- Tener cal para la prueba.
- Que las cámaras tengan batería y memoria suficiente.

**VALIDACIÓN DEL PROYECTO Y PRINCIPIO DE DISEÑO:**

El experimento se repetirá 5 veces con las diferentes muestras para posteriormente comparar las características resultantes.

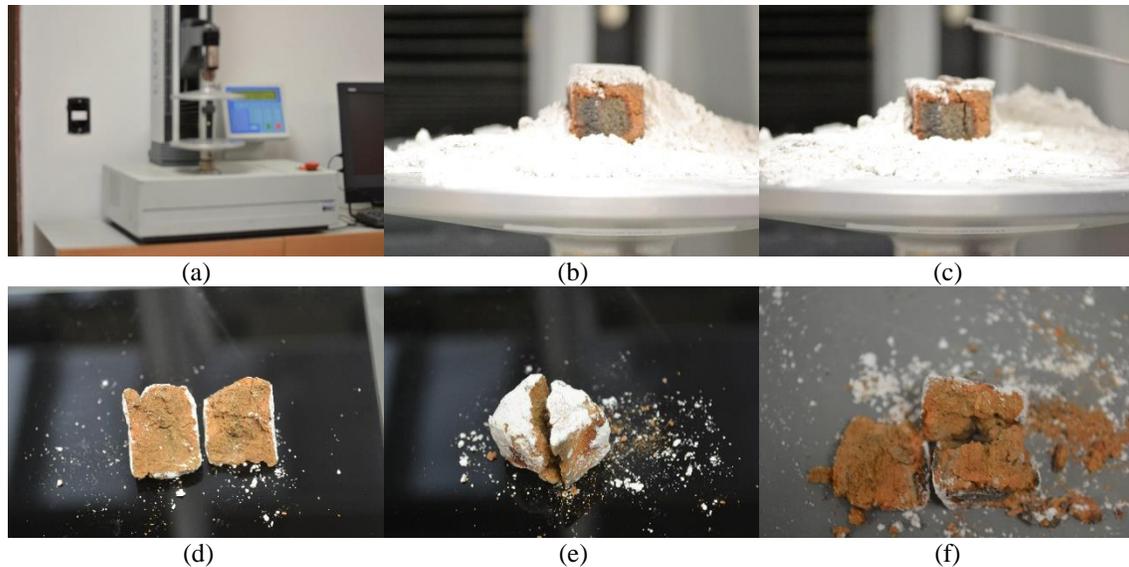


Fig.048 – Pruebas de compresión simple.

(a) Prensa de compresión, laboratorio estructuras menores edificio H del ITESO. (b) Pieza antes de la compresión. (c) Pieza después de la compresión. (d) (f) Pieza donde muestra la penetración de la cocción. (e) Pieza fracturada por la fuerza de compresión. Fuente: elaboración propia.

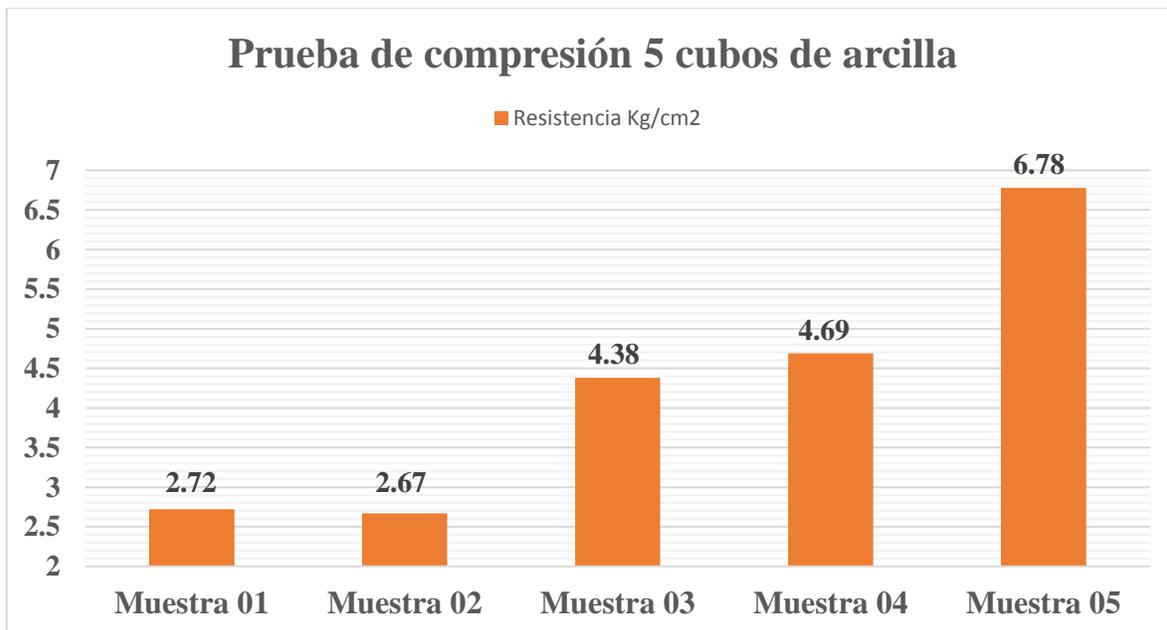


Fig.049 – Pruebas de compresión simple de 5 cubos de arcilla. Fuente: elaboración propia.

## Conclusiones.

- El canteado (secado al sol) es muy importante duplica la resistencia a la compresión obtenida en las piezas.
- Las cinco piezas muestran un color rojizo hasta el centro del cubo, en especial la muestra 05 que fue la que tiene un color más homogéneo y que coincide con una mayor resistencia

a la compresión. En estas piezas se logró el centímetro de cocción, a diferencia de los experimentos con las piezas rectangulares que solo se logró 7 mm.

- Otro punto importante es que esta cocción se logró en tan solo 10 minutos de exposición por cara. Lo cual hace factible realizar piezas en serie.

- Algunas de las fallas fueron provocadas por la dificultad en el proceso de extrusión ya que la pieza y la cimbra utilizada son muy pequeñas y la mezcla no es tan elástica. Al hacerse por pequeñas capas se favoreció la aparición de grietas en las juntas de esas capas. Con ello se formula la hipótesis de que una mejor extrusión de piezas puede llevar a mayor resistencia a la compresión.

## **4. Conclusiones**

### **4.1 Conclusiones observación directa.**

Uno de los retos más difíciles que suponen este proyecto es alcanzar los 1000° C de manera constante. Gracias a la Observación Directa que se llevó a cabo en las ladrilleras, comprobamos que cada horneada de ladrillo se lleva de 1.0 a 2.5 toneladas de material combustible. El hecho de que se esté alimentando los hornos por medios manuales y por periodos de tiempo que van de 8 a 16 horas, nos demuestra que es un proceso térmicamente ineficiente, la pérdida de calor es grande y los picos de temperatura son constantes. Cabe añadir, que en una horneada grande de 40,000 tabiques, no todos se cuecen igual, los ladrillos más alejados de los canales de quema y más cercanos al exterior no son de la misma calidad que los cercanos a la fuente de combustión, quedando ladrillos de primera y segunda calidad, lo cual también representa pérdidas económicas al no venderse todos en un mismo precio. En esquema de cooperativa los trabajadores se sienten más integrados a la empresa, ya que todos ganan lo mismo por pieza producida. En el esquema de patrón obrero, se le paga 300 pesos por 1000 ladrillos extruidos, esta cantidad es normalmente lo que un trabajador con experiencia puede producir por día. El patrón se lleva entre el 65 y 70 % de las ganancias.

## **4.2 Conclusiones experimentales**

### **Experimento 01 primera etapa**

Este experimento fue útil para familiarizarse más con el concentrador solar, y comenzar a conocer algunas de las limitantes que tiene. Por ejemplo, la varilla que controla el seguimiento vertical no es lo suficientemente larga para localizar al sol desde el crepúsculo, además que llega a tener una posición que interfiere en el haz de energía lo cual puede causar un desperfecto mayor. El sistema de seguimiento tiene un mini fusible de 8 amperes y 250 v, el cual absorbe sobrecargas eléctricas y se daña fácilmente. La parte inferior del seguidor solar es muy limitada, por lo que la cámara de cocción debe ser compacta para su fácil instalación.

El uso de arena de fibra de vidrio como aislante térmico no es una buena opción ya que es difícil de manejar.

La varilla de acero es ineficiente en el proceso de captación y de conducción de energía térmica hacia el interior de la cámara de cocción.

Por estas razones se propusieron los cambios para el segundo experimento.

### **Experimento 02 primera etapa**

En las pruebas realizadas a pesar de que se aplicaron temperaturas superiores a los 600°C la cocción de la pieza de ladrillo fue parcial y limitada a la trayectoria del haz de energía solar. Este contacto genera en su parte más focalizada una cristalización del material y a su alrededor tonos rojizos ya más parecidos a una cocción tradicional. La altura del umbral del foco del haz de energía está directamente relacionada con el aspecto de cocción del ladrillo de arcilla.

### **Experimento 03 primera etapa**

Este experimento se trabajó con una cámara de cocción de cobre, material costoso que a una mayor escala podría no ser una opción asequible para los productores de ladrillo. La cámara de cocción no guarda la energía térmica que recibe, se pierde más del 80% de la temperatura que entra por medio del haz de energía. La porción de ladrillo dentro de la cámara perdió solo 3 gramos de peso, lo cual lo hace un proceso ineficiente térmicamente. A pesar de que la cámara de cocción tiene un tamaño que cabe en la parte inferior del concentrador solar, no se pudo situar en el punto más concentrado del haz de energía.

### **Experimento 04 primera etapa**

La cámara de cocción de cobre con aislamiento de yeso tiene un armado complicado, el fraguado de yeso es difícil y generó calor y humedad al interior de la cámara, es por eso que la porción de ladrillo ganó 4 gramos de peso, por lo que en futuros experimentos se deberá trabajar con yeso previamente seco, para evitar esta problemática.

Otra parte ineficiente en cuanto a la transmisión de calor de la cámara, fueron los cables trenzados de cobre, no captan el haz de energía solar de manera óptima y tres centímetros quedan sin aislante térmico lo que hace que se pierda mucha energía. Esto se podría solucionar con un cable unifilar que mejore la transferencia térmica hacia el interior de la cámara.

### **Experimento 01 segunda etapa**

A partir de este experimento se registró la temperatura corrigiendo los errores pasados en las que se registraba las primeras temperaturas que mostraba el termopar antes de estabilizarse. Para corregir este error se colocaba el termopar un minuto antes en el haz de energía para lograr estabilizar, también se registraban 4 tomas con 30 segundos de separación entre ellas. Esto arrojó temperaturas mucho más bajas que en experimentos pasados donde se llegó a los 900°C. Aunado a que las tres piezas de este experimento tuvieron una cocción muy dispar ya que se presentaron nublados y lluvias atípicas.

### **Experimento 02 segunda etapa**

La resistencia a la fuerza de compresión es muy baja solo 3.35 kg/cm<sup>2</sup> 4.06 kg/cm<sup>2</sup> y 6.93 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. En el proceso de la pieza 01 tuvimos muchos intervalos con nubes, lo que hizo una aplicación de energía intermitente.

El interior de las piezas muestra la falta de cocción en los cantos cortos donde no se expuso al haz de energía. Por lo que se genera la hipótesis que un cubo puede ser geoméricamente más apto para la exposición solar.

### **Experimento 03 segunda etapa**

La pieza esférica se comportó de manera similar a la rectangular, ya que solo se logró la cocción en donde el haz de energía solar tenía contacto directo, a pesar de que el haz entraba al interior de la pieza la cocción no se distribuyó a otras zonas de la pieza.

### **Experimento 04 segunda etapa**

El ladrillo no presenta un cocimiento significativo, donde la pieza del molde metálico era continua se registraron las mayores temperaturas, la junta entre las dos piezas del molde es una fuga de energía.

La pieza mostro tonos negros que anteceden el color rojizo de una cocción más efectiva, la cara superior y lateral son las que presentan estas características.

### **Experimento 05 segunda etapa**

#### **Sin aislante**

En el nuevo molde se fabricó con 5 caras continuas y la tapa inferior por separado, Se colocó la mezcla de arcilla y se dejó secar al sol, previo a exponerse al haz de energía. La pieza muestra una cocción mínima, el color es negro sin llegar a los tonos rojizos de una buena cocción. Las temperaturas en las caras laterales fueron constantes, el metal del molde distribuyó de manera homogénea el calor, las caras simétricas mantuvieron casi la misma temperatura, a excepción de la cara inferior que mostró temperaturas mucho más bajas, al no tener continuidad de material.

#### **Con aislante**

La pieza no tuvo una cocción favorable, no se contrajo lo suficiente para salir del contenedor aislante. Se tuvo que raspar el yeso para sacar la pieza del molde y sufrió fracturas cuando se sacó del mismo.

El calor se distribuyó bien por el molde metálico, al presentar un color negro homogéneo, pero no fue suficiente para lograr la cocción de la pieza. La pieza presenta un color negro el cual antecede el color rojizo de una buena cocción.

El yeso mantuvo temperaturas muy estables en las caras laterales, la diferencia entre los máximos y los mínimos no fue tan grande.

La cara inferior retuvo el calor de una mejor manera que la pieza sin aislar.

### **Experimento 06 segunda etapa**

Las piezas en umbrales bajos (3.5 cm) presentan una cristalización del material y un color obscuro grisáceo, así como unas pequeñas burbujas cristalinas blancas, que en algunos casos al inflarse agrietaron la pieza.

Las piezas con un umbral intermedio (9 cm) presentan una gama de colores rojizos que van del naranja claro hasta un gris oscuro, pero sin llegar a la cristalización de las otras piezas. Algunas piezas muestran el recorrido del foco del haz de energía.

### **Experimento 07 segunda etapa**

El canteado (secado al sol) es muy importante duplica la resistencia a la compresión obtenida en las piezas.

Las cinco piezas muestran un color rojizo hasta el centro del cubo, en especial la muestra 05 que fue la que tiene un color más homogéneo y que coincide con una mayor resistencia a la compresión. En estas piezas se logró el centímetro de cocción, a diferencia de los experimentos con las piezas rectangulares que solo se logró 7 mm.

Otro punto importante es que esta cocción se logró en tan solo 10 minutos de exposición por cara. Lo cual hace factible realizar piezas en serie de poco espesor.

Algunas de las fallas fueron provocadas por la dificultad en el proceso de extrusión ya que la pieza y la cimbra utilizada son muy pequeñas y la mezcla no es tan elástica. Al hacerse por pequeñas capas se favoreció la aparición de grietas en las juntas de esas capas. Con ello se formula la hipótesis de que una mejor extrusión de piezas puede llevar a mayor resistencia a la compresión.

### **4.3 Conclusiones experimentales generales.**

Los experimentos realizados no pudieron comprobar la hipótesis que sostenía que: **“Es posible sustituir el método tradicional de cocción de ladrillo por un sistema de energía solar, y esto se puede validar a través de pruebas de concepto”**. Sin embargo, algunos de los objetivos sí se pudieron comprobar como el objetivo principal: Aplicar diferentes pruebas de concepto a geometrías hechas de mezcla para producción de ladrillo, para comprobar la posibilidad de su cocción por medios solares. En las pruebas de los cubos pudimos lograr la cocción de las piezas con buenas características de color y apariencia. Las pruebas realizadas a escala comprueban que la cocción de arcilla por medios solares sí es posible. Y que es factible por ahora la cocción de ladrillo de azotea ya que tiene de 2.0 a 2.5 cm de grosor.

De los objetivos secundarios se puede concluir lo siguiente:

El primer objetivo secundario es: “Por medio de la aplicación de diferentes umbrales de energía solar, obtener y comparar las características de cocción en diferentes geometrías de arcilla”. Las pruebas realizadas comprobamos que el cubo es la mejor geometría en el sistema de concentración solar con lente de Fresnel. La posibilidad de exponer al haz de energía sus seis caras hacen que se logre una cocción total de la pieza hasta su centro.

El segundo objetivo secundario: “Por medio de la aplicación de diferentes tiempos de exposición de energía solar, obtener y comparar las características de cocción en diferentes geometrías de arcilla”. Las pruebas más eficientes de cocción fueron las de los cubos de arcilla, con solo 10 de exposición al haz de energía por cara, tiempo suficiente para que la pieza tuviera una cocción óptima hasta su centro.

-El tercer objetivo secundario es: “Por medio de la utilización de diferentes materiales termoeficientes y aislantes, obtener y comparar las características de cocción en diferentes geometrías de arcilla”. Las pruebas en las que utilizamos cobre, aluminio y metales como cámaras de cocción (ya sea aisladas o sin aislar) no fueron positivas, no se logró la correcta captación y conducción del calor hacia los interiores, y las piezas de arcilla no presentaron mayor cambio a la inicial. Se concluye que no es suficiente la energía obtenida y si se sigue con la idea de cámaras de cocción se deberá trabajar con un concentrador solar de mayor capacidad.

A continuación, se hacen algunas conclusiones complementarias a las referentes de la hipótesis y objetivos.

La utilización de un termómetro infrarrojo de pistola es más práctica que el termómetro digital con termopar “k” y facilita el registro de la temperatura, a pesar de que el indicador láser por momentos es difícil de localizar en áreas soleadas. El registro de la temperatura de los experimentos de la primera etapa tiene variantes importantes debido a la variabilidad del termopar.

El canteado (secado al sol) es un proceso ligado directamente a la resistencia a la compresión de las piezas, el realizar esta etapa por medio del concentrador solar de lente de Fresnel

supone una disminución en su resistencia. Por lo que la idea de sustituir esa etapa del proceso no es pertinente.

Las pruebas en las que se aplicó el haz de energía solar directamente a las piezas de arcilla muestran una penetración de cocción en las piezas de 12 mm de espesor. Con este alcance no se puede lograr la cocción de un ladrillo estándar de 07 x 14 x 28 cm, pero en cambio es posible lograr la cocción de un ladrillo de azotea que tiene grosores de 1.5 a 2.5 cm.

La mezcla de arcilla para producir los ladrillos no es un material con una conducción óptima, las diferentes geometrías lo demuestran, la esfera a pesar de tener el haz de energía solar en el interior de la pieza no logró una cocción homogénea. El rectángulo (ladrillos a escala) mostró esta misma problemática, además de complicaciones para su exposición al haz en sus cantos cortos. La geometría que mejor se comportó en los experimentos fue el cubo, ya que permitió exponer cada cara al haz de energía resultando así una cocción completa hasta su centro.

Los umbrales en los que se exponen las piezas de arcilla al haz de energía solar tienen una relación directa con su apariencia posterior a la prueba, si la pieza se coloca cerca del foco, la cocción de la pieza será excesiva en donde el haz de energía tenga contacto directo con la pieza, creando una cristalización del material y una apariencia negra, que según opinión de los productores ladrilleros no es muy conveniente para la venta del producto.

#### **4.4 Propuesta de prototipo**

Se podría utilizar el mismo diseño del concentrador solar con lente de Fresnel, pero con un lente más grande, así como algunos cambios para mejorar el funcionamiento. Un lente de Fresnel de 110 cm x 100 cm permitirá crear un foco de un diámetro de 5.0 cm, si se utiliza la misma lógica de los umbrales utilizada en los experimentos de los cubos de arcilla se puede tener un foco difuso de 10 cm de diámetro capaz de lograr la cocción de un ladrillo de azotea. Las características ópticas del lente son un índice de refracción 1,491 para la longitud de referencia y 20°C de temperatura ambiente, transmitancia de 92% y una distancia focal de

130 cm. El radio focal, dato necesario para determinar las posibles aplicaciones, es de 5.0 cm.

El material del lente de Fresnel es de PMMA (Polymethyl methacrylate) también conocido como acrílico o por el nombre Plexiglas. El lente tiene un espesor de 5 mm. y una densidad de 1,18 g/cm<sup>3</sup> lo que significa un peso de 5,9 kg. Tiene un costo en ebay de aproximado de \$11,600 pesos por pieza de 110 x 100 cm.

#### 4.5 Líneas de investigación futura.

Técnicamente antes de la construcción de prototipo de mayor escala se deberá realizar una validación matemática, alimentando un programa computacional (Matlab) de cálculo para poder realizar pruebas de modelación que guíen la alternativa de producción y se pueda tener un estimado del número de ladrillos de azotea que se puede producir por día.

La posibilidad de continuar este proyecto puede traer importantes aportes a los tres pilares de la sustentabilidad, a continuación, se mencionan algunos de los aportes trazados y que no se pudieron lograr.

#### Ambiental

La quema de un kilo de gas LP equivale aproximadamente a 3.60 kilos de leña INECC (2014). Cada horneada de ladrillo se lleva de una a dos toneladas de leña, 1000 kg de leña equivalen a la quema de 277.77 kilos de gas LP y a 821.505 kg de CO<sub>2</sub> equivalente. Se deberá continuar la investigación para poder llegar a evitar estas emisiones y que se logre evitar las quemas de la producción tradicional de ladrillo.

Combustible	Consumo	Unidad	Factor de conversión	kWh	Factor de emisión (Kg de CO <sub>2</sub> eq/kWh)		Kg de CO <sub>2</sub> eq.	
Gas LP	3.6	Kg	12.6389	kWh/Kg	45.5	0.234	Kg de CO <sub>2</sub> eq/kWh	<b>10.647</b>
Gas LP	277.77	Kg	12.6389	kWh/Kg	3510.7	0.234	Kg de CO <sub>2</sub> eq/kWh	<b>821.505</b>

Tabla 05. Tabla con factor de emisión por una horneada de ladrillo tradicional de 1000 kg de leña. Fuente: INECC (2014).

## **Económico.**

El objetivo inicial del proyecto era ahorrarle al productor la tonelada de leña promedio que se utiliza por horneada, la cual tiene un costo de entre 700 a 800 pesos dependiendo de la calidad del material y de la distancia del flete, según la información recabada en la visita a la ladrillera de Tesistán. En contraste a la ladrillera de Tonalá donde observamos el uso de viruta de madera muy limpia, el dueño de la ladrillera también tiene una maderería y tiene la ventaja de utilizar sus sobrantes para la producción.

El proyecto no logró el ahorro de madera, en los experimentos no se logró la cocción del ladrillo estándar, solo se logra la cocción de ladrillos de azotea que miden 15 x 15 x 1.5 cm. Y su producción por pieza tardaría una hora aproximadamente (8 piezas por día máximo), el costo de venta promedio es de 2 pesos por pieza de ladrillo de azotea, ganancia que no hace rentable esta propuesta.

Los datos obtenidos de la observación directa comparados con los recabados en el Foro de Intercambio de experiencias en Ladrilleras (FIEL) celebrado el 4 de abril de 2017 en el CECITEC de León, Guanajuato, donde se vio que las ladrilleras en promedio producen 30 mil ladrillos por mes, en hornos ya sean fijos o de campaña (desmontables al momento de la venta). Lleva a plantear la posibilidad a futuro de tener un prototipo que en lugar de tener quemadas con producciones quincenales o mensuales pudiera racionar quemadas diarias con menor cantidad, para así poder ser una opción a las cantidades de ladrillo producidas por método tradicional y poder llegar a ser una actividad rentable.

## **Social**

Sondeo de factibilidad, presentando la propuesta ante actores sociales y sujetos institucionales para comprobar las posturas de cada sector ante la posible implementación de la nueva tecnología. Realizando un planteamiento de los beneficios que puede traer y contrastándolo con las posibles adversidades que los productores puedan plantear.

La no emisión de humo en el proceso de cocción mitigaría los problemas sociales que se presentan entre productores de ladrillo y zonas habitacionales, viviendas llenas de humo por las noches que interrumpen el descanso, ropa lavada con olor a humo, molestias en ojos y

vías respiratorias, son algunos de los malestares que tienen tanto vecinos como trabajadores de las ladrilleras. Esta situación hace que conforme la mancha urbana alcanza a las ladrilleras (normalmente ubicadas en las periferias de las urbes) estas tengan que migrar a lugares cada vez más lejanos. Una cocción sin humo podría detener esta necesidad de migrar, beneficiando a sus trabajadores que normalmente son gente de la zona, o familiares. Y también reduciría costos de fletes ya que la distancia a las obras sería menor.

## 5. Anexos

### 5.1 Literatura citada.

Almanza S., R., Cajigal R., E., Barrientos A., J. (1997). “Insolación global media inclinación A latitud en México en kWh/m<sup>2</sup>-Día”. Actualización de los Mapas de Irradiación Global solar en la República Mexicana, Apéndice A., 1-2

Cadena C. y Saravia L. (2001). “Análisis del comportamiento térmico de absorbedores de aluminio empleados en cocinas solares de concentración”. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 5, 121-126.

Cañadas, I. et al. (2004). Tratamiento térmico de materiales en el Horno Solar de la PSA: líneas actuales de actividad. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, 43, 591-595.

Casado González, Daniel. (2013). Hornos solares con cajas de cartón. Buenos Aires, Argentina: Pamiela

Castañeda Miranda, Alejandro; González Parada, Adrián; Guzmán Cabrera, Rafael; Ibarra Manzano, Oscar G. (2012). “Desarrollo de un horno solar para el secado de plantas y vegetales usando control difuso”. Acta Universitaria, Vol. 22, 14-19.

Corral-Avitia A. Y, Bruce, C., Jiménez, R., Lara, A. S., Márquez, R.O. (2009). “Implementación de una nueva tecnología para minimizar la contaminación del aire derivada de hornos ladrilleros”. Ciencia en la frontera Revista de ciencia y tecnología de la UACJ, Vol. VII, 49-54.

DIPLADEUR. (2012). Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Tonalá, 2012. Tonalá, Jalisco.: Gobierno de Tonalá.

Esteves, Alfredo, et al. (2008). “Estudio del comportamiento de hornos solares tipo caja en el tiempo y con la frecuencia de uso”. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 12, 71-78.

Evans R., Sánchez-García A. (2013). “A novel open-source master-slave heliostat array for use as an experimental platform and solar power applications”. junio 2017, de ScienceDirect Sitio web: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

Fontana Llerandi G. (2011). Acoplamiento de un concentrador solar escalonado, como fuente de energía para la industrialización del producto frutícola tropical: Piña. Científica Electrónica Ciencias Gerenciales, Vol. 19, 45-78.

Friedman Ramírez, Daniel Iván. (2017). “Sistema de concentración solar fresnel para aplicaciones solares a escala comunitaria, evaluación de prototipo”. Santiago de Chile: Universidad de Chile.

García-Baeza, Héctor J.; Andarcia-Lezama, Alfredo E.; RuizVelasco-Navarro, Hugo A. (2017). “Motor solar”. julio 2017, de Repositorio ITESO Sitio web: rei.iteso.mx

García Ubaque, C. A.; Moreno Piraján, J.C; Vaca Bohórquez, M. L. (2012). “Incineración de residuos sólidos municipales en hornos ladrilleros tipo hoffman: simulación y análisis del flujo de gases”. Tecnura, vol. 16, octubre, 2012, pp. 163-172

Gobierno del Estado de Jalisco. (2009). Código Urbano del Estado de Jalisco. Guadalajara, Jalisco.: Gobierno del Estado de Jalisco.

González, L., E. Galán, Y B. Fabbri. (Julio, agosto 1998). Problemática de las emisiones de flúor, cloro y azufre durante la cocción de materiales de la industria ladrillera. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, 37, 307-313.

Hernández Sampieri, Roberto. (2014). Metodología de la investigación. México DF: McGrawHill.

INECC. (2014). “Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México”. 16 marzo de 2018, de SEMARNAT Sitio web: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110131/CGCCDBC\\_2014\\_FE\\_tipos\\_combustibles\\_fosiles.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110131/CGCCDBC_2014_FE_tipos_combustibles_fosiles.pdf)

Machado Toranzo, Noel et al. (Mayo / Agosto 2015). Seguidor Solar, optimizando el aprovechamiento de la energía solar. Ingeniería Energética, XXXVI, 190-199.

Márquez Estrada, C. (2011). “Determinación de emisiones de gases de efecto invernadero en base a factores de emisión y monitoreos de eficiencia energética en la comunidad ladrillera El Refugio, León Guanajuato.” EELA-COSUDE-Swisscontact.

Martínez, D. et al. (1998). Tratamiento superficial de materiales mediante luz solar concentrada: una opción mediante energías renovables. <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es>, 34 N°2, 104-108.

Mason K. (1998) “*How to Measure the Energy Used to Fire Clay Bricks*”, Rugby, UK, Practical Action, Intermediate Technology Development Group, Ltd., 1998.

Martínez Rufes, Pedro. (2009). Energía solar térmica: Técnicas para su aprovechamiento. España: S.A. Marcombo.

Pacheco Lujan W. (2004). Piscina Temperada con Energía Solar. Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial, Vol. 7, 28-30.

ONU. (2015). Metas de los objetivos del desarrollo sostenible. Mayo 2017, de ONU México Sitio web: [http://www.onu.org.mx/wp-content/uploads/2017/07/180131\\_ODS-metas-digital.pdf](http://www.onu.org.mx/wp-content/uploads/2017/07/180131_ODS-metas-digital.pdf)

ONU (2015). “Sustainable Development Knowledge Platform”; (Plataforma de conocimiento sobre desarrollo sostenible). (2015). Objetivos de desarrollo Sostenible. 2015, de ONU Sitio web: <https://sustainabledevelopment.un.org/sdg7>

Passamai, V. y Passamai, M. (2002). Experiencias con Cocinas Solares tipo Cookit de costo mínimo. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 6, 33-36.

Peña Rodríguez et al. (Julio 2002). “Influencia del tamaño de grano en la conductividad térmica a altas temperaturas en polvos aislantes de MgO”. *Superficies y Vacío*, Vol. 14, 44-48.

Rodríguez-Ramírez J. et al. (2004). “Perfiles de temperatura en un horno ladrillero”. *revista Mexicana de Ingeniería Química*, Vol. 3, 209-217.

Ruelas Ruiz J.E, Velázquez Limón N., Beltrán Chacón R. (2011). “Diseño de un Concentrador Solar Acoplado a un Motor Stirling Fijo”. *Ingeniería Mecánica, Tecnología y Desarrollo*, Vol. 4, 15-22.

SEMADET. (2015). “Informe calidad del aire 2015”. Guadalajara, Jalisco.: Sistema de Monitoreo Atmosférico de Jalisco.

SEMARNAT. (2011). Programa para Mejorar la Calidad del Aire Jalisco 2011-2020. Guadalajara, Jal.: Gobierno del Estado de Jalisco.

Sistema de Monitoreo Atmosférico de Jalisco. (2015). Datos Históricos. 2016, de SEMADET Sitio web: <http://siga.jalisco.gob.mx/aire/Datos.html>

Tapia S. S., del Río P. J.A. (2009). “Concentrador parabólico compuesto: una descripción opto-geométrica. *Revista Mexicana de Física*”, Vol. 55, 141-153.

Torres-Ten, Alonso; Fonseca-Fonseca, Susana; Andi6n-Torres, Ronal; Fabr6-Maceo, Santiago. (2013). “Comportamiento térmico de un secador solar multiprop6sito con paneles aislantes”. *Tecnología Química*, XXXIII, 139-146.

Trombe, F., & Albert Le Phant, V. (1973). “Thousand kw solar furnace, built by the National Center of Scientific Research; (Horno solar de mil kw, construido por el Centro Nacional de Investigación Científica)”, in Odeillo (France). *Solar Energy*, 1557-61. doi: 10.1016/0038-092X(73)90006-6

Ulloa, H., García M., Pérez A., Meulenert, A. y Ávila D. (2011). “Clima y Radiación Solar en las grandes ciudades: Zona Metropolitana de Guadalajara (Estado de Jalisco, México)”. *Investigaciones Geográficas*, N°56, 165-175.

Villeda- Muñoz G. et al. (2010). Seguidor Solar de Dos Ejes para un Horno Solar. *Información Tecnológica*, 22(2), 95-106.

Villeda-Muñoz G. et al. (2011). “Cocción de tabiques de arcilla en un horno solar de alta temperatura”. Ingeniería Investigación y Tecnología, XII N°4, 395-40

Zelikoff, J.T et al. (2002), “The toxicology of inhaled woodsmoke; (La toxicología del humo inhalado)” Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B, No. 5, pp. 269–282.

## **5.2 Técnicas de recopilación de información.**

### **5.2.1 Observación directa ordinaria.**

#### **5.2.1.1 Metodología de observación directa ordinaria.**

##### **Identificación concreta de la actividad:**

Observación directa al proceso de fabricación de ladrillo tradicional en el área metropolitana de Guadalajara

##### **Objetivo:**

Registrar las etapas de manufactura que conforman el proceso de fabricación de ladrillo tradicional en el AMG, identificadas con anterioridad de manera bibliográfica. Estas etapas tienen diferentes variables como materiales utilizados, tiempo, clima/temperatura y herramientas. Esta observación facilitará el uso de una nueva tecnología al proceso tomando las etapas del proceso que son eficientes y no necesitan cambios.

##### **Definición de los focos de atención y observables concretos:**

El proceso se dividió en 8 etapas:

1. Recolección de material (para mezcla).
2. Mezcla de material.
3. Extrusión de tabiques.
4. Secado de material.
5. Armado de horno.
6. Quema de material (ladrillo crudo).
7. Enfriado de ladrillo quemado.
8. Venta y/o entrega de ladrillo.

En todas las etapas se observarán las siguientes variables: materiales utilizados; tiempo invertido; personal ocupado, clima/temperatura; y herramientas empleadas.

### **Determinación del lugar y fecha para la actividad, y de los sujetos participantes.**

Se han realizado dos visitas, la primera a una ladrillera en Tonalá, Jalisco el 22 de octubre de 2016 y otra a una ladrillera en Tesistán, Zapopan, Jalisco el 29 de octubre de 2016.

### **Listado de materiales necesarios.**

Las visitas podrán realizarse de manera individual o grupal, con una tabla con clip, formatos en limpio, lápiz y borrador, cinta métrica de 8m, y cámara digital.

### 5.2.1.2 Machote de formulario para visita con observación directa ordinaria.

ITESO UNIVERSIDAD JESUITA

Proceso de cocción de ladrillo tradicional en el área metropolitana de Guadalajara

Observación directa ordinaria

N° de visita: \_\_\_\_\_

Fecha de visita: \_\_\_\_\_

Ladrillera: \_\_\_\_\_

Lugar de visita: \_\_\_\_\_

Elaboró: \_\_\_\_\_

Etapa del proceso	Materiales utilizados	Tiempo	Clima / Temperatura	Herramientas utilizadas	Observaciones
Recolección de material					
Mezcla de material					
Extrusión de tabiques					
Secado de material					
Armado de horno					
Quema de material					
Enfriado de ladrillo quemado					
Venta de material					

## 5.2.1.3 Observación directa ordinaria en visita a ladrillera en la colonia La Guadalupeana, Tonalá, Jalisco.

ITESO UNIVERSIDAD JESUITA

Proceso de cocción de ladrillo tradicional en el área metropolitana de Guadalajara

Observación directa ordinaria

N° de visita:

1

Fecha de visita:

22.10.2016

Ladrillera:

de Don David

Lugar de visita:

Col. Guadalupeana, Jauja, Tonalá, Jalisco

Elaboró:

Rodrigo Arana Barba

Etapa del proceso	Materiales utilizados	Tiempo	Clima / Temperatura	Herramientas utilizadas	Observaciones
Recolección de material	Barro negro y rojo	Variable, en promedio media jornada.	Ambiente	Pico	El barro lo tienen en sitio, el tepetate lo suministran, la viruta la proporciona el dueño de la ladrillera porque tiene maderería y cuentan con un aljibe en sitio para el agua.
	Arena con tepetate			Pala	
	Viruta			Carretilla	
	Agua			Camión de volteo para surtir	
Mezcla de material	2 carretillas de barro negro	Media jornada.	Ambiente	Carretilla	Se agrega el barro, la arena y la viruta, se agrega agua y se va mezclando primero con una pala, para después pasar al caballo a que pise la mezcla, hasta que la viruta se integre y se haga una mezcla homogénea.
	2 carretillas de barro rojo			Pala	
	8 carretillas de arena tepetate			Azadón	
	1 carretilla de viruta			Caballo	
	4 botes de agua iniciales y se va agregando más.				
Extrusión de tabiques	Mezcla homogénea resultante	1 persona hace mínimo 1000 ladrillos por día	Ambiente	Molde de 8 tabiques	En una superficie plana se coloca arena para que no se pegue la mezcla, se rellena el molde mojado con la mezcla, y se desmolda.
				Molde de 6 tabiques	
Secado de material	Ladrillo extruido	3 días si hay sol	Ambiente		Se deja secar al sol un día de cara, y otro día cada canto del ladrillo (cantear), y luego se hace un aparejo cuatrasteado de 5 a 6 niveles y se deja un día más
Armado de horno	Ladrillo crudo ya seco	Dependiendo del tamaño, pero un horno para 12,000 piezas lo arman en 3 horas	Ambiente	Carretilla	Se va formando el horno, la base tiene una curvatura, se hace el aparejo dejando
				Escalera	

					túneles para la leña y el aire, los niveles superiores son más pequeños para formar el talud.
<b>Quema de material</b>	1 o 1.5 Ton. De leña	La quema directa con leña dura 6 horas y posteriormente el mismo calor interno se deja por 3 días.	Rango entre 900° y 1000° C.		El ladrillo crudo al someterse al fuego pierde humedad y se encoje, por eso el acomodo tan minucioso. Las 6 horas de quema se alimenta constantemente el fuego.
	Basura (tenían más decían que no usaban)				
<b>Enfriado de ladrillo quemado</b>	Ladrillo ya cocido	Se deja enfriar por dos días o hasta tres dependiendo de las piezas quemadas.	Ambiente		
<b>Venta de material</b>	Ladrillo ya cocido	Variable	Ambiente	Escalera	El costo del millar de ladrillo es de \$ 900 pesos, los intermediarios lo recogen y lo distribuyen.
				Carretilla	
				Camión de volteo	

## 5.2.1.4 Observación directa ordinaria en visita a la ladrillera en Tesistán, Zapopan, Jalisco.

### ITESO UNIVERSIDAD JESUITA

#### Proceso de cocción de ladrillo tradicional en el área metropolitana de Guadalajara

#### Observación directa ordinaria

N° de visita: 1  
 Fecha de visita: 29.10.2016 Ladrillera: \_\_\_\_\_  
 Lugar de visita: Tesistán, Zapopan, Jalisco Elaboró: Rodrigo Arana Barba

Etapa del proceso	Materiales utilizados	Tiempo	Clima / Temperatura	Herramienta utilizada	Observaciones
Recolección de material	Barro negro y rojo		Ambiente	Pico	El barro lo tienen en sitio, el tepetate, el aserrín y el agua lo suministran.
	Arena con tepetate			Pala	
	Aserrín			Carretilla	
	Estiércol de vaca			Camión de volteo para surtir	
	Agua				
Mezcla de material	2 carretillas de barro negro		Ambiente	Carretilla	Se agrega el barro, la arena, el estiércol con aserrín y se agrega agua, se va mezclando primero con una pala y azadón, para después introducir la premezcla a la máquina.
	2 carretillas de barro rojo			Pala	
	8 carretillas de arena tepetate			Azadón	
	2 carretilla de aserrín con estiércol			Máquina revolvedora, con motor a gasolina	
	4 botes de agua iniciales y se va agregando más.				
Extrusión de tabiques	Mezcla homogénea resultante	1 persona hace mínimo 1000 ladrillos por día	Ambiente	Molde de 8 tabiques de bóveda	En una superficie plana se coloca ladrillo molido para que no se pegue la mezcla, se rellena el molde mojado con la mezcla, y se desmolda.
				Molde de 6 tabiques adobón	
Secado de material	Ladrillo extruido	3 días si hay sol	Ambiente		Se deja secar al sol un día de cara, y otro día cada canto del ladrillo (cantear), y luego se hace un aparejo cuatrapiado de 5 a 6 niveles y se deja un día más
Armado de horno	Ladrillo crudo ya seco	Dependiendo del tamaño, pero un horno	Ambiente	Carretilla	Se va formando el horno, la base tiene

		para 35,000 piezas lo arman en 6 horas		Escalera	una curvatura, se hace el aparejo dejando túneles para la leña y el aire, los niveles superiores son más pequeños para formar el talud. Si mezclan ladrillo el grande es la base y el pequeño va arriba.
<b>Quema de material</b>	1.5 a 2.0 Ton. De madera industrial de desecho	La quema directa con la madera dura de 6 a 8 horas y posteriormente el mismo calor interno se deja por 3 días.	Rango entre 900° y 1000° C.	Ventilador mecánico, un motor de auto.  Una vara de metal para introducir la madera 5m. Aprox.	Las horas de quema se alimenta constantemente el fuego. Se recubre con ladrillo cocido y un enjarre de mezcla todo el exterior. Se utiliza el ventilador para aumentar la flama y temperatura de la madera. Y la vara metálica para empujar las brasas y alimentar con nueva madera.
<b>Enfriado de ladrillo quemado</b>	Ladrillo ya cocido	Se deja enfriar por dos días o hasta tres dependiendo de las piezas quemadas.	Ambiente		
<b>Venta de material</b>	Ladrillo ya cocido	Variable	Ambiente	Escalera Carretilla Camión de volteo	El costo del millar de ladrillo es de \$ 800 pesos, tienen un comprador fijo que les compra toda la producción.

## 5.2.2 Diseño de experimento.

### 5.2.2.1 Metodología de diseño de experimento,

#### Prueba de cocción de ladrillo de arcilla estándar con sistema de horneado mediante energía térmica solar.

##### Objetivo general:

Diseñar y construir un prototipo de horno solar de escala mínima para lograr la cocción de ladrillo por medio de energía solar.

##### Objetivos particulares:

- Realización de tres experimentos (prueba concepto, prueba con ladrillo, prueba prototipo definitivo) para comprobar el objetivo general.

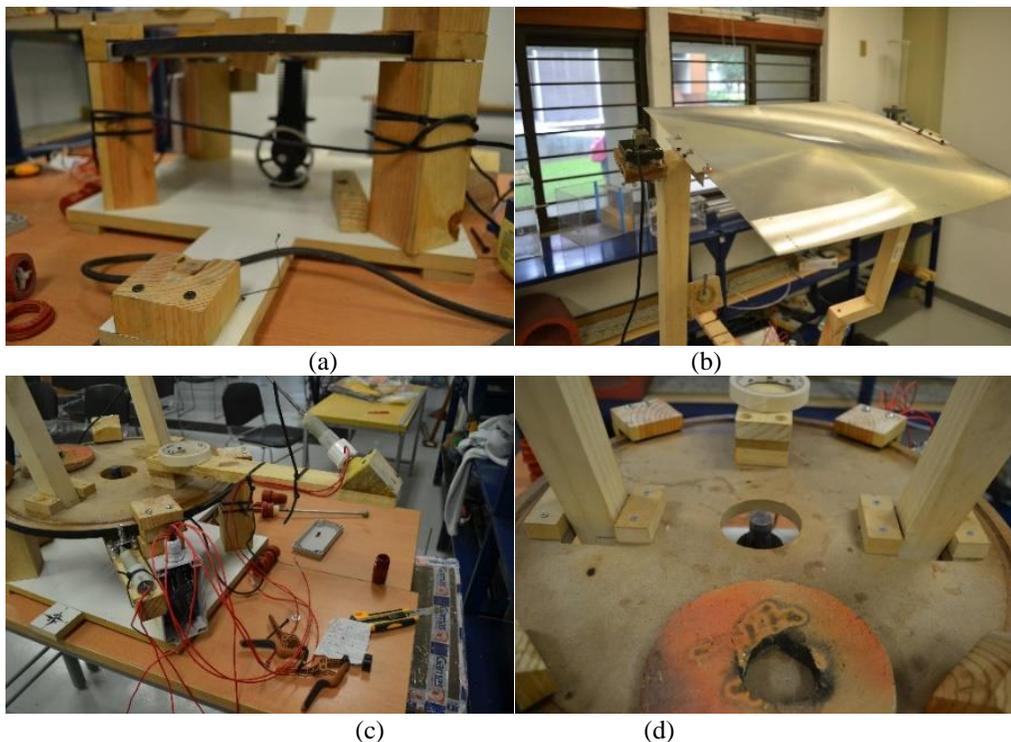


Fig. 050 Concentrador solar con lente de Fresnel (b) y seguidor solar (c) para generar energía eléctrica (d) para un motor Stirling (a). Fuente: elaboración propia.

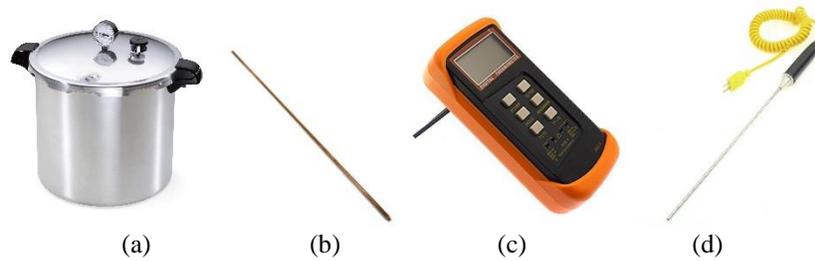


Fig. 051. Herramientas - Cámara de cocción, olla exprés con manómetro y válvula de presión (a), varilla de cobre (b), Termómetro digital SODIAL (R) 3 1/2 6802 II (c) y termopar K (bd). Fuente: Amazon.com

## Diseño de prueba de concepto:

### Objetivo:

Probar el funcionamiento del prototipo de horno solar conformado por un concentrador de lente de Fresnel con seguidor solar y una cámara de cocción metálica (olla exprés de cocina con manómetro) con recubrimiento de material aislante térmico (concreto y fibra de vidrio) y la incorporación de una varilla de cobre para la transmisión térmica. Esto para analizar las temperaturas alcanzables y utilizar los datos para la comprobación de modelo matemático.

### Variables:

#### 1. Variables de entrada:

- 1.1 Espacio a calentar (Volumen de la cámara de cocción).
- 1.2 Temperatura inicial interior de la cámara de cocción.
- 1.3 Temperatura durante proceso (cada media hora por 12 horas) hasta final de prueba, interior de la cámara de cocción.
- 1.4 Temperatura inicial exterior de la cámara de cocción.
- 1.5 Temperatura durante proceso (cada media hora por 12 horas) hasta final de prueba exterior de cámara de cocción.
- 1.6 Tiempo del proceso.
  - 1.6.1 Tiempo de cocción
  - 1.6.2 Tiempo de enfriado.
    - 1.6.3 Apertura de válvula.
    - 1.6.4 Grosor y largo de la varilla de cobre.

## **2. Variables no controladas**

2.1 Temperatura ambiente exterior.

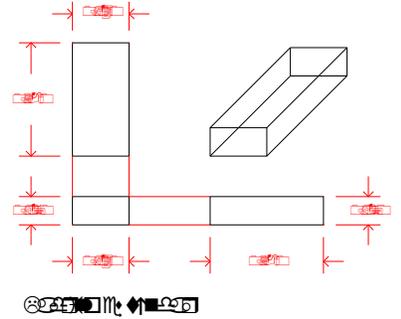
## **3. Variable de respuesta**

3.1 Temperaturas alcanzadas interior de la cámara.

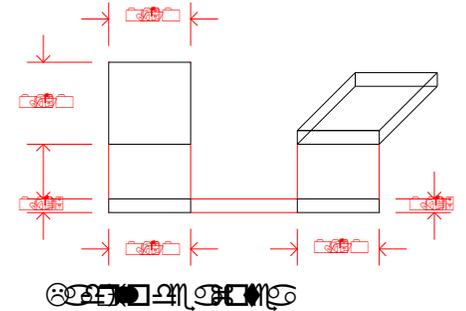
3.2 Temperaturas alcanzadas en exterior de la cámara de cocción.

**Datos pre experimentales, volumetría de variables a observar.**

Volumen de ladrillo estándar	7-14-28 cm = 0.002744 cm <sup>3</sup>
Peso del ladrillo húmedo	2.729 kg
Peso del ladrillo seco	2.592 kg
Agua a evaporar	0.137 kg



Volumen ladrillo de azotea	2.5-15-15 cm = 0.0005625 cm <sup>3</sup>
Peso del ladrillo húmedo	0.5594 kg
Peso del ladrillo seco	0.5313 kg
Agua a evaporar	0.0281 kg



Volumen de la cámara de cocción.  $V = h\pi r^2$

$V = (43) \pi (21.5)^2 = 62,444.7978 \text{ cm}^3$

$V = 0.0624447978 \text{ m}^3$

Volumen de aislante.  $V = h\pi r^2$

$V = (50) \pi (25.05)^2 = 98,568.0927 \text{ cm}^3$

$V = 0.0985680927 \text{ m}^3$  (volumen total)

$V = 98,568.0927 \text{ cm}^3 - 62,444.7978 \text{ cm}^3$

$V = 36,123.2949 \text{ cm}^3$

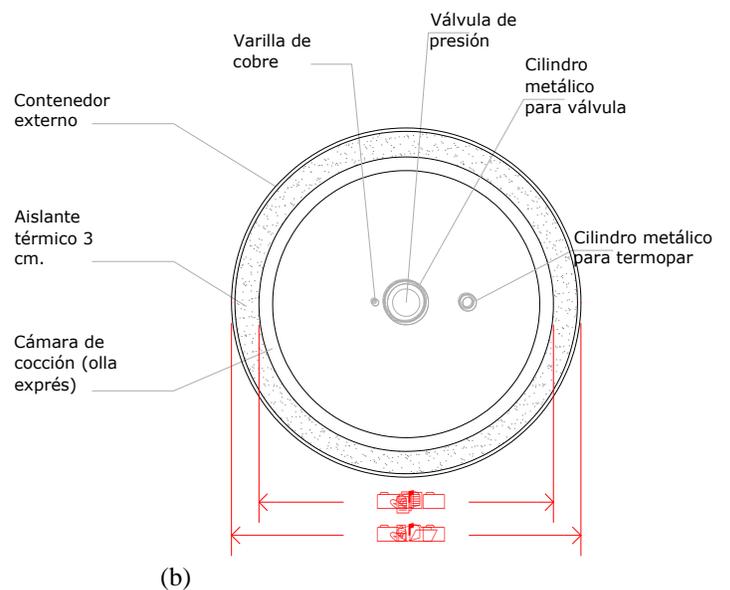
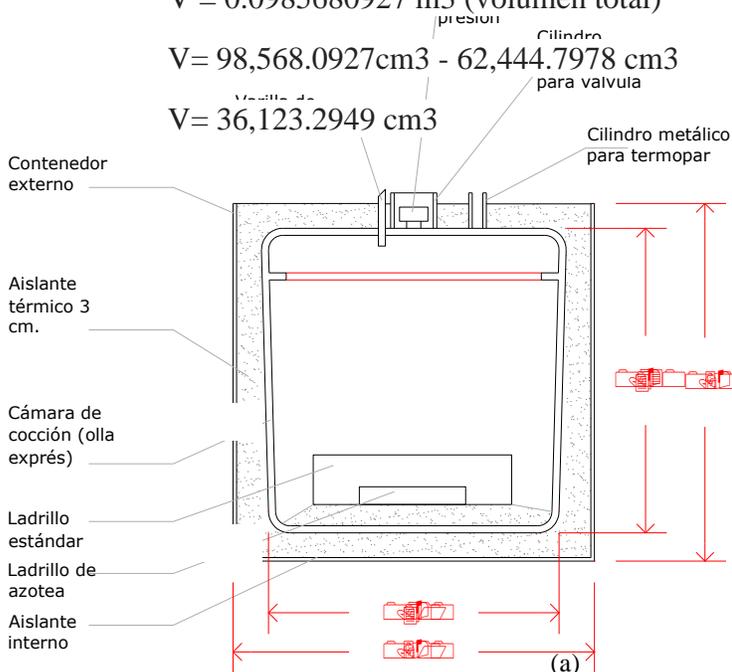


Fig. 052 – Concepto cámara de cocción (a). corte. (b) planta. Fuente: Elaboración propia.

Volumen varilla de cobre  $V = h\pi r^2$

$$V = (7) \pi (0.5)^2 = (7) (3.1416) (0.25) = 5.497 \text{ cm}^3$$

$$V = 0.000005497 \text{ m}^3$$

### Conductividades térmicas

Sustancia	Conductividad Térmica (W/m * °C)
Aluminio	238
Cobre	397
Hierro	79.5
Concreto	0.8
Vidrio	0.8
Agua	0.6
Aire	0.0234

### Coefficientes de aislamiento

Material	Valor R (ft <sup>2</sup> * °F * h / Btu)
Bloque de concreto (núcleo relleno)	1.93
Aislamiento de fibra de vidrio (3.5 pulgadas de espesor)	10.90
Aislamiento de fibra de vidrio (6.0 pulgadas de espesor)	18.80
Espacio de aire (3.5 pulgadas de espesor)	1.01

### Fórmulas

Para calcular la energía requerida para la cocción de un ladrillo se utilizó la siguiente metodología (Mason, 1998). Primero se determina la energía de secado, se tomará la cantidad de 10,000 piezas que es el promedio de una tanda en horno tradicional. Los ladrillos pesan 27,290 kg antes del secado y 25,920 kg después del secado dando un peso de humedad de 1370 kg, dando un valor de energía de secado de 2,591 kJ/kg.

$$\text{Energía de secado} = (\text{energía de secado específica}) (\text{total de humedad contenida}) = 3549670 \text{ kJ}$$

$$\text{Energía para la cocción un ladrillo} = \frac{\text{Total de energía} - \text{energía de secado}}{\text{Número de ladrillos a cocer}}$$

$$Q = \text{Energía}$$

$$Q_{\text{interior}} = Q_{\text{neto}} + Q_{\text{perdida}}$$

$$Q_{\text{neto}} = \frac{(\text{Número de ladrillos}) (\text{Energía de cocción de un ladrillo})}{\text{Número de exposición de horas solares al día}}$$

$$Q_{\text{neto}} = \frac{(01) (657 \text{ Wh})}{8\text{h}} = 82.12 \text{ W}$$

### **5.2.2.2 Pruebas de concepto**

El siguiente protocolo para la realización de las pruebas de cocción de ladrillo de arcilla por métodos solares es resultado de los conocimientos empíricos que se adquirieron en las 4 pruebas realizadas y es una base para que futuros proyectos eviten los errores cometidos en ellas.

#### **5.2.2.2.1 Protocolo de experimentos**

##### **Objetivo principal:**

- Lograr la cocción de una porción de ladrillo de arcilla ya canteado (seco) por medios solares pasivos.

##### **Objetivos secundarios:**

- Diseñar y construir una cámara de cocción, que absorba la energía del concentrador solar.
- Dotar a la cámara de cocción con un eficiente aislamiento térmico que evite pérdida de calor en el interior.

##### **Metodología.**

##### **Diseño de experimento**

##### **Justificación técnica del diseño.**

El primer diseño de cámara de cocción se utilizaron objetos de cocina sencillos y fáciles de conseguir. Así como arena de fibra de vidrio como aislante térmico.

##### **Herramientas:**

- Concentrador solar con lente de Fresnel y seguidor solar.
- Cámara de cocción.
- Termómetro láser con termopares tipo K.
- Guantes de cuero.
- Lentes para soldar.
- Cámara fotográfica digital.
- Bitácora de experimentos

**Protocolo de seguridad:**

- Para las pruebas de concepto el Dr. David Vargas del Río y el Mtro. Enrique Cueva Lomas, colaboraron con el préstamo de un concentrador solar con lente Fresnel y un sistema de seguimiento solar. Debido a las altas temperaturas que alcanza la concentración de energía de lente de Fresnel (hasta 850°C), y la concentración lumínica, es necesario utilizar protección visual (lentes para soldar) y guantes de cuero para mover la cámara de cocción. Así mismo, es necesario mover el concentrador solar, toda vez que se requiera es indispensable desconectar la batería recargable y colocar una tela en el lente de Fresnel para que el foco solar no cause ningún daño a objetos cercanos o a la persona que mueva el concentrador. Así que se recomienda:

1. Utilizar protección visual y guantes de seguridad.
2. Desconectar los cables del concentrador.
3. Cubrir en su totalidad el lente Fresnel con una tela.
4. Mover el concentrador cargándolo de la base inferior

## 5.2.2.2.2 Prueba de concepto 01: Cámara de cocción aluminio.

### Objetivo:

Probar el funcionamiento del prototipo de horno solar conformado por un concentrador de lente de Fresnel con seguidor solar y una cámara de cocción metálica de aluminio con recubrimiento de material aislante térmico (arena de fibra de vidrio) y la incorporación de una varilla de acero para la transmisión térmica. Esto para analizar las temperaturas alcanzables y utilizar los datos para la comprobación de modelo matemático.

### Diseño de cámara de cocción.

#### Partes de la cámara de cocción:

- |  |             |       |
|--|-------------|-------|
| - Cazuela arrocera de 30 cm. de diámetro | 7 cm. alto  | CA-30 |
| - Cazuela arrocera de 22 cm. de diámetro | 7 cm. alto  | CA-27 |
| - Cazuela flanera de 15 cm. con tapa     | 7 cm. alto  | CF-24 |
| - Varilla de Acero 1.5 cm de diámetro    | 13 cm largo |       |
| - Arena de fibra de vidrio.              |             |       |

### Variables:

#### 1. Variables de entrada:

1.1 Espacio a calentar (Volumen de la cámara de cocción).

Volumen =

1.2 Temperatura inicial interior de la cámara de cocción.

27° C.

1.3 Temperatura durante proceso (cada 15 minutos) hasta final de prueba, interior de la cámara de cocción.

42°C promedio de 10:30 a 12:00 hrs.

1.4 Temperatura inicial exterior de la cámara de cocción.

26° C.

1.5 Temperatura durante proceso (cada 15 minutos) hasta final de prueba exterior de cámara de cocción.

28° C. promedio de 10:30 a 12:00 horas.

1.6 Temperatura del haz de energía.

420° C. promedio de 10:30 a 12:00 horas.

1.7 Tiempo del proceso.

1.7.1 Tiempo de cocción

No aplica

1.7.2 Tiempo de enfriado.

No aplica

1.7.3 Grosor y largo de la varilla de acero.

1.5 cm. de diámetro por 13 cm. de largo, una de las puntas tiene un corte a 45° para recibir el haz de energía solar.

## **2. Variables no controladas**

2.1 Temperatura ambiente exterior.

28° C promedio de 10:30 a 12:00 horas.

## **3. Variable de respuesta**

3.1 Temperaturas alcanzadas interior de la cámara. 42°C

3.2 Temperaturas alcanzadas en exterior de la cámara de cocción. 28° C

## **Problemáticas encontradas:**

### **Previo a la prueba:**

- El armado de la cámara de cocción es complejo, la colocación de la arena aislante es complicada porque se debe voltear las cazuelas para armar el diseño.
- Al no caber la parte inferior de la cámara de cocción (CA24) en la parte inferior del concentrador se utilizó la parte CA22 como contenedor inferior y la F15 como contenedor del ladrillo.

### **Durante la prueba:**

- El seguidor solar no funcionó de manera horizontal. Se ajustó manualmente para que el foco de energía estuviera en contacto con la varilla de acero.
- El termómetro laser falla si se deja algunos minutos al rayo de sol.
- El haz de luz alcanzó el termopar y lo quemó parcialmente.
- El haz de luz es muy fuerte por lo que se necesita utilizar protección a la vista.
- Algunas piezas se calientan y se deberá utilizar guantes de seguridad de cuero.

**Posterior a la prueba:**

- La varilla de acero no tiene una conductividad térmica suficiente.
- Al no tener tapa la cámara de cocción no retuvo el calor y el aislante no fue suficiente, alcanzó una temperatura promedio interior de °42C. de 10:30 a 12:00 horas.

### **5.2.2.2.3 Prueba de concepto 02: Ladrillo estándar directo al haz de energía.**

#### **Objetivo:**

Probar el funcionamiento del prototipo de horno solar conformado por un concentrador de lente de Fresnel con seguidor solar, aplicando directamente el haz de energía a un ladrillo de arcilla estándar previamente seco al sol. Esto para analizar las temperaturas alcanzables y utilizar los datos para la comprobación de modelo matemático.

#### **Variables:**

##### **1. Variables de entrada:**

1.1 Volumen de ladrillo.

Volumen =  $7 \times 14 \times 28 \text{ cm} = 0.002744 \text{ m}^3$

1.2 Temperatura inicial interior de la cámara de cocción.

27° C.

1.3 Temperatura durante proceso (cada 30 minutos) hasta final de prueba, interior de la cámara de cocción.

No aplica

1.4 Temperatura inicial exterior de la cámara de cocción.

No aplica

1.5 Temperatura durante proceso (cada 30 minutos) hasta final de prueba exterior de cámara de cocción.

No aplica

1.6 Temperatura del haz de energía.

654° C. promedio de 9:00 a 16:00 horas.

1.7 Tiempo del proceso.

1.7.1 Tiempo de cocción

9:00 a 16:00 horas.

### 1.7.2 Tiempo de enfriado.

No aplica

## **2. Variables no controladas**

2.1 Temperatura ambiente exterior.

29° C promedio de 9:00 a 16:00

## **3. Variable de respuesta**

3.1 Temperatura máx. alcanzada en el haz de energía.

895°C.

## **Crónica de la prueba.**

La mañana del día 06 de noviembre se colocó el concentrador solar en la cochera de la vivienda, se conectó el concentrador a la batería recargable y se colocó el ladrillo de arcilla estándar en el foco del haz de energía.

8:19 – Se conecta el concentrador para que comience el seguimiento al sol.

9:15 – Fue necesario cambiar el minifusible del controlador del seguidor solar.

9:21 – La varilla que mueve el lente Fresnel en sentido vertical llegó a su límite por lo que se desconectó el sistema para que no se desarmara, así mismo en sentido horizontal el seguidor llega a su límite es necesario moverlo manualmente para que el sensor esté alineado. (observaciones valiosas para el proyecto de los Doctores Vargas y Cueva, ya que esto disminuye la captación solar casi por dos horas y media en época otoñal).

9:23 – El haz entró en contacto con el ladrillo se colocó el termopar del termómetro y la temperatura fue de 166° y se estabilizó en 313° C.

9:30 – La temperatura alcanzó los 390° C.

10:08 – La temperatura marcó un rango de 464°C y 491°C.

10:51 – Se reubicó el concentrador debido a que la sombra alcanzó el sensor.

10:56 – El seguidor se alineó con el sol.

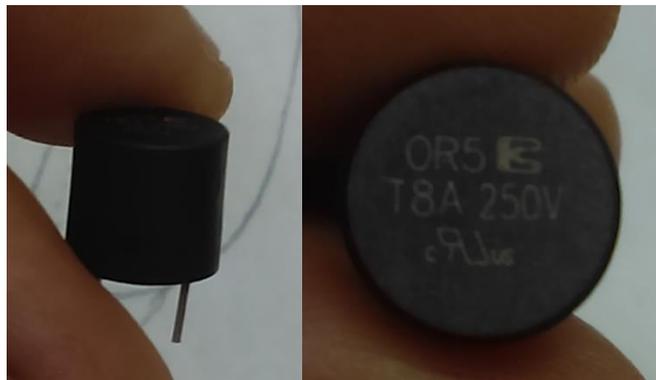
11:41 – El rango de temperatura fue de 360°C midiendo con la parte media del termopar y alcanzó los 510° C si se mide con la punta. (se comenzará a tomar las temperaturas de esta manera).

12:00 – La temperatura alcanzó los 624° C.  
13:00 – La temperatura del haz alcanzó los 932° C.  
13:30 – La temperatura alcanzó los 840°C.  
14:00 – La temperatura alcanzó los 895°C.  
14:30 – La temperatura alcanzó los 867°C.  
14:48 – Se reubicó el concentrador, se cambió de la cochera que está en la parte oriente de la vivienda al jardín en la parte poniente.  
15:00 – La temperatura alcanzó 670°C.  
16:00 – Se terminó la prueba la sombra de la barda poniente del jardín alcanzó el sensor.

**Problemáticas encontradas:**

**Previo a la prueba:**

Un corto en un mini fusible del sistema de seguimiento retrasó los experimentos, sus características de 8 amperes lo hicieron difícil de conseguir, pero una vez repuesto el sistema funcionó correctamente y se pudieron continuar con las pruebas.



(a)

(b)

Fig. 053 – (a). Mini fusible de 8 amperes y 250 V. Fuente: Elaboración propia.

**Durante la prueba:**

Cuando el sensor del seguidor solar no detecta la luz del sol a causa de una nube, automáticamente mueve los motores y cambia el foco del haz de energía, al pasar la nube vuelve la energía, pero esta vez el haz de energía está descentrado causando posibles quemaduras en objetos cercanos o en el mismo seguidor solar, por lo que se debe estar muy atento a estos eventos.



(a)

(b)

Fig. 054 – (a). Nubes obstruyendo el sol. (b). Sensor del seguidor solar del concentrador. Fuente: Elaboración propia.

**Posterior a la prueba:**

La cocción es visible en donde el haz de luz tiene contacto con el ladrillo, pero su transmisión hacia el resto de la pieza es nula.

## 5.2.2.2.4 Prueba de concepto 03 – Cámara de cocción de cobre.

### Partes de la cámara de cocción:

- Cazo de cobre de 15 cm. de diámetro superior / 9cm. de diámetro inferior / 9 cm. alto

Dos piezas

CO-15

- Masa de maíz como aislante.

### Variables:

#### 1. Variables de entrada:

1.1 Volumen de la cámara de cocción.

Volumen =  $h \cdot \pi / 3 (R^2 + r^2 + R \cdot r)$  = h=altura R= Radio inferior r=radio superior

$$9 * 3.1416 / 3 (15^2 + 9^2 + 15*9) = 4156.33 \text{ cm}^3$$

1.2 Temperatura inicial interior de la cámara de cocción.

- No aplica no se puede introducir el termopar al interior.

1.3 Temperatura durante proceso (cada 30 minutos) hasta final de prueba, interior de la cámara de cocción.

- No aplica no se puede introducir el termopar al interior.

1.4 Temperatura inicial exterior de la cámara de cocción.

24° C.

1.5 Temperatura durante proceso (cada 30 minutos) hasta final de prueba exterior de cámara de cocción.

64.5° C. promedio De 10:30 a 13:00 horas.

1.6 Temperatura promedio del haz de energía.

660° C. promedio De 10:30 a 13:00 horas.

1.7 Tiempo del proceso.

1.7.1 Tiempo de cocción

De 10:30 a 13:00 horas

1.7.2 Tiempo de enfriado.

No aplica

#### 2. Variables no controladas

2.1 Temperatura ambiente exterior.

26° C promedio de 10:30 a 13:00 horas.

### **3. Variable de respuesta**

3.1 Temperaturas alcanzadas interior de la cámara.

No aplica no es posible introducir el termopar a la cámara interior.

3.2 Temperaturas alcanzadas en exterior de la cámara de cocción.

79° C

#### **Problemáticas encontradas:**

##### **Previo a la prueba:**

El cobre es un material costoso, estos pequeños cazos tienen un costo de \$ 200 pesos c/u. y su tamaño es de 15 centímetros de diámetro superior, 9 centímetros de diámetro inferior y 9 centímetros de altura. En una escala más grande esos costos pueden llegar a ser un impedimento para una tecnología asequible a los ladrilleros.

##### **Durante la prueba:**

El haz de energía por la altura de la cámara no es el óptimo. Primero, se colocó para que recibiera la energía de manera lateral, y después se optó por que el contacto fuera por la parte superior, pero el haz está muy abierto, alcanza mayor potencia si está más focalizado.

##### **Posterior a la prueba:**

La porción de ladrillo se encontró en las mismas condiciones que al inicio de la prueba.

## 5.2.2.2.5 Prueba de concepto 04 – Cámara de cocción de cobre con aislamiento de yeso.

### Variables:

#### 1. Variables de entrada:

1.1 Volumen de la cámara de cocción.

Volumen =  $h \cdot \pi / 3 (R^2 + r^2 + R \cdot r)$  = h=altura R= Radio inferior r=radio superior

$$9 * 3.1416 / 3 (15^2 + 9^2 + 15*9) = 4156.33 \text{ cm}^3$$

1.2 Temperatura inicial interior de la cámara de cocción.

- No registrable el termopar no se puede colocar en el interior

1.3 Temperatura durante proceso (cada 30 minutos) hasta final de prueba, interior de la cámara de cocción.

- No es posible registrar la temperatura porque no se puede colocar el termopar al interior.

1.4 Temperatura inicial exterior de la cámara de cocción.

24° C.

1.5 Temperatura durante proceso (cada 30 minutos) hasta final de prueba exterior de cámara de cocción.

27° C. promedio de 10:00 a 15:00 horas.

1.6 Temperatura del haz de energía.

550° C. promedio de 10:00 a 15:00 horas.

1.7 Tiempo del proceso.

1.7.1 Tiempo de cocción

- 10:00 a 15:00 horas.

1.7.2 Tiempo de enfriado.

- No aplica

1.7.3 Grosor y largo de la varilla de acero.

- Tres cables de cobre de 8mm trenzados de un largo de 10 cm. de los cuales 3 están expuestos.

## 2. Variables no controladas

2.1 Temperatura ambiente exterior.

27° C promedio de 10:00 a 15:00 horas.

## 3. Variable de respuesta

3.1 Temperaturas alcanzadas interior de la cámara.

- No aplica.

3.2 Temperaturas máxima alcanzadas en exterior de la cámara de cocción.

670° C.

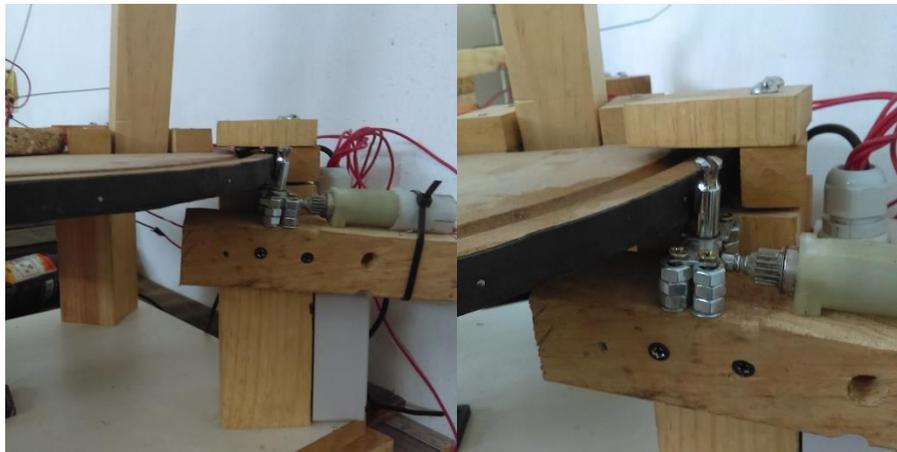
### Problemáticas encontradas:

#### Previo a la prueba:

Por medio de un cautín y soldadura de estaño se intentó soldar los cables de cobre calibre 8 al cazo, pero fue imposible por lo que se recurrió a un moflero el cual soldó los cables de una manera más industrial con soldadura autógena de estaño.

#### Durante la prueba:

El rotor que hace que el disco horizontal del seguidor solar tiene una lija para crear fricción, el pegamento con el que está adherida se desgastó por lo que el movimiento horizontal no funcionó más.



(a)

(b)

Fig. 055. Sistema movimiento horizontal – (a). Sistema de movimiento horizontal. (b). Acercamiento a rotor.

Fuente: elaboración propia.

**Posterior a la prueba:**

Se observa que la porción de ladrillo está en las mismas condiciones del inicio de la prueba y al pesarlo ganó 4 gramos, contrario a la hipótesis que debería perder peso al perder humedad.

## 5.2.3 Experimentos

### 5.2.3.1 Prueba de cocción de ladrillos a escala

Pieza 01

Fecha:	06 de febrero 2018						
Tiempo en minutos	Temperatura ° Celsius	+30 seg.	+30 seg.	+30 seg.	+30 seg.	Temp. Promedio	Clima
Cara 01							
10:00:00		370	161	300	180	<b>252.75</b>	
20:00:00						<b>0</b>	
30:00:00		390	260	245	310	<b>301.25</b>	
40:00:00						<b>0</b>	
50:00:00		360	215	240	180	<b>248.75</b>	
60:00:00		75	75	73	83	<b>76.5</b>	Nublado
Canto 01							
10:00:00						<b>0</b>	
20:00:00						<b>0</b>	
30:00:00		179	228	244	245	<b>224</b>	
40:00:00		44	52	57	57	<b>52.5</b>	
50:00:00		60	57	60	72	<b>62.25</b>	
60:00:00		63	68	75	73	<b>69.75</b>	
Canto 02							
10:00:00		66	80	85	78	<b>77.25</b>	
20:00:00		174	211	230	262	<b>219.25</b>	
30:00:00		339	454	233	222	<b>312</b>	
40:00:00		231	223	213	199	<b>216.5</b>	66
50:00:00		163	162	149	146	<b>155</b>	454
60:00:00						<b>196</b>	promedio
Cara 02							
10:00:00		180	197	278	231	<b>221.5</b>	
20:00:00		242	249	244	249	<b>246</b>	
30:00:00		161	148	165	179	<b>163.25</b>	
40:00:00		197	193	189	188	<b>191.75</b>	
50:00:00		343	355	337	293	<b>332</b>	
60:00:00		236	245	287	268	<b>259</b>	
						<b>235.5833333</b>	

Tabla 06 – Bitácora de temperaturas prueba ladrillos a escala pieza 01. Fuente: Elaboración propia

## Pieza 02

Fecha:	06 de febrero 2018							
<b>Tiempo en minutos</b>	<b>Temperatura ° Celsius</b>	<b>+30 seg.</b>	<b>+30 seg.</b>	<b>+30 seg.</b>	<b>+30 seg.</b>	<b>Temp. Promedio</b>	<b>Clima</b>	
<b>Canto 01</b>								
15:00	260	270	247	240	245	<b>252.4</b>	Soleado	
30:00:00	195	178	167	160	166	<b>173.2</b>	Nublado	
45:00:00	279	265	285	283	315	<b>285.4</b>	medio nublado	
60:00:00	210	189	178	168	149	<b>178.8</b>	medio nublado	
<b>Canto 02</b>						<b>222.45</b>	promedio	
15:00	135	136	155	141	130	<b>139.4</b>		
30:00:00	173	180	189	196	230	<b>193.6</b>		
45:00:00	214	217	217	204	211	<b>212.6</b>		
60:00:00	102	93	83	85	101	<b>92.8</b>	Muy Nublado	
<b>Cara 01</b>						<b>159.6</b>	promedio	
15:00	266	253	248	238	211	<b>243.2</b>		
30:00:00	194	191	188	185	180	<b>187.6</b>		
45:00:00	130	111	106	96	85	<b>105.6</b>		
60:00:00	74	93	250	200	176	<b>158.6</b>		
<b>Cara 02</b>						<b>173.75</b>	promedio	
15:00	429	411	336	198	230	<b>320.8</b>		
30:00:00	240	248	229	195	219	<b>226.2</b>		
45:00:00	300	289	240	255	254	<b>267.6</b>		
60:00:00	270	260	270	260	269	<b>265.8</b>		
						<b>270.1</b>	Promedio	

Tabla 07 – Bitácora de temperaturas prueba ladrillos a escala pieza 02. Fuente: Elaboración propia

## Pieza 03

Fecha:	08 de febrero 2018							
<b>Tiempo en minutos</b>	<b>Temperatura ° Celsius</b>	<b>+30 seg.</b>	<b>+30 seg.</b>	<b>+30 seg.</b>	<b>+30 seg.</b>	<b>Temp. Promedio</b>	<b>Clima</b>	<b>Profundidad de cocción</b>
<b>Cara 01</b>								
15:00	640	380	474	760	750	<b>600.8</b>	Soleado	
30:00:00	290	243	580	465	430	<b>401.6</b>		5mm
45:00:00	95	93	128	158	216	<b>138</b>	Nublado	760
60:00:00	191	178	164	157	139	<b>165.8</b>		93

Canto 01						<b>326.55</b>		
15:00	194	190	176	182	174	<b>183.2</b>		
30:00:00	358	322	286	258	238	<b>292.4</b>		5mm
45:00:00	347	270	250	260	250	<b>275.4</b>	424	max
60:00:00	347	424	309	299	276	<b>331</b>	174	min
Cara 02						<b>270.5</b>		
15:00	308	182	115	110	94	<b>161.8</b>	Nublado	
30:00:00	420	373	370	367	336	<b>373.2</b>		7mm
45:00:00	334	325	277	315	344	<b>319</b>	420	max
60:00:00	385	374	300	302	313	<b>334.8</b>	94	min
Canto 02						<b>297.2</b>		
15:00	238	150	130	178	166	<b>172.4</b>		
30:00:00	307	322	307	312	344	<b>318.4</b>		5mm
45:00:00	337	346	336	396	342	<b>351.4</b>	396	max
60:00:00	230	236	248	251	280	<b>249</b>	130	Min

Tabla 08 – Bitácora de temperaturas prueba ladrillos a escala pieza 03. Fuente: Elaboración propia

### 5.2.3.2 Prueba simple de compresión ladrillos a escala

	<b>Pieza 01</b>	<b>Pieza 02</b>	<b>Pieza 03</b>
<b>Largo - cm</b>	6.2	6.2	6.2
<b>Ancho - cm</b>	2.9	2.9	3.1
<b>Alto - cm</b>	1.8	1.7	1.7
<b>Área - cm<sup>2</sup></b>	17.98	17.98	19.22
<b>Volúmen - cm<sup>3</sup></b>	32.364	30.566	32.674

<b>Milímetros</b>	<b>Kg</b>	<b>Kg</b>	<b>Kg</b>
0	0.66	0.51	0.45
0.5	4.16	2.45	1.91
1	10.13	5.76	4.94
1.5	19.92	11.24	10.19
2	32.6	22.72	17.74
2.5	52.28	32.44	23.07
3	53	52.59	41.08
3.5	36.75	67.06	66.56
4	36.29	72.27	95.93
4.5	43.25	67.1	123.05
5	43.37		128.72
5.5	51.66		
5.8	55.98		

Tabla 09 – Bitácora de prueba de compresión ladrillos a escala. Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.3.3 Prueba de cocción de esfera hueca de arcilla

Fecha: 13 de febrero 2018

Tiempo en minutos	Temperatura ° Celsius	+30 seg.	+30 seg.	+30 seg.	+30 seg.	Temp. Promedio
<b>Hora 01</b>						
15:00	350	360	364	342	366	<b>356.4</b>
30:00:00	365	390	401	373	373	<b>380.4</b>
45:00:00	380	342	346	370	364	<b>360.4</b>
60:00:00	280	355	405	400	394	<b>366.8</b>
<b>Hora 02</b>						
15:00	279	312	303	269	300	<b>292.6</b>
30:00:00	256	332	302	340	330	<b>312</b>
45:00:00	449	388	378	376	381	<b>394.4</b>
60:00:00	293	402	337	320	340	<b>338.4</b>
<b>Hora 03</b>						
15:00	400	450	340	388	403	<b>396.2</b>
30:00:00	357	340	343	353	360	<b>350.6</b>
45:00:00	329	375	361	347	354	<b>353.2</b>
60:00:00	377	382	373	398	390	<b>384</b>
<b>Hora 04</b>						
15:00	458	374	462	414	408	<b>423.2</b>
30:00:00	345	340	380	390	383	<b>367.6</b>
45:00:00	357	338	344	335	366	<b>348</b>
60:00:00	356	356	339	327	351	<b>345.8</b>

Tabla 10. Bitácora de prueba de esfera hueca de arcilla. Fuente: Elaboración propia

Tabla 09 – Bitácora de prueba de compresión ladrillos a escala. Fuente: Elaboración propia

### 5.2.3.4 Prueba de cocción de ladrillo en cámara de cocción metálica 01

Fecha: 28 de febrero 2018

	Tiempo en minutos	C1	C2	C1	C3	C1	C4	C1	C5	C1	C6
<b>Hora 01</b>	15:00	484	305	573	120	526	311	564	196	612	69
	30:00:00	580	302	602	268	597	214	601	247	616	78
	45:00:00	583	345	302	320	435	206	625	264	380	105
	60:00:00	420	290	580	250	589	287	526	268	366	102
<b>Hora 02</b>	15:00	507	310	408	304	350	185	312	266	307	74
	30:00:00	485	332	480	251	540	203	480	256	512	78
	45:00:00	640	335	550	320	518	202	602	242	508	91
	60:00:00	580	344	412	312	436	246	590	257	410	99

Promedio	Temp.	<b>534.875</b>	<b>320.375</b>	<b>488.375</b>	<b>268.125</b>	<b>498.875</b>	<b>231.75</b>	<b>537.5</b>	<b>249.5</b>	<b>463.875</b>	<b>87</b>
	max	640	345	602	320	597	311	625	268	616	105
	min	420	290	302	120	350	185	312	196	307	69

Tabla 010. Bitácora de prueba de esfera hueca de arcilla. Fuente: Elaboración propia

### 5.2.3.5 Pruebas de cocción de ladrillo en cámara de cocción metálica 02 simple y con aislamiento de yeso

Fecha: 02 y 03 de Marzo 2018

		Temperatura ° Celsius									
	Tiempo	C1	C2	C1	C3	C1	C4	C1	C5	C1	C6
Hora 01	15:00	360	280	460	375	387	256	339	225	337	52
	30:00:00	460	298	438	400	360	386	344	232	320	67
	45:00:00	247	347	250	374	236	302	248	255	243	74
	60:00:00	309	307	390	352	332	275	297	270	334	77
Hora 02	15:00	346	303	306	348	303	297	320	265	293	73
	30:00:00	216	337	298	355	306	306	320	276	305	76
	45:00:00	305	316	298	350	336	289	392	278	368	74
	60:00:00	304	345	347	363	340	287	342	254	350	76
Hora 03	15:00	407	306	401	338	374	283	370	273	380	76
	30:00:00	370	317	347	366	376	269	379	265	360	72
	45:00:00	385	320	455	355	301	258	334	255	426	72
	60:00:00	560	302	570	340	560	304	575	253	570	76
Hora 04	15:00	502	333	477	300	498	257	511	242	480	73
	30:00:00	470	346	522	308	365	284	443	224	420	69
	45:00:00	415	356	424	333	362	262	574	297	592	70
	60:00:00	370	347	434	298	403	258	397	305	365	68
Hora 05	15:00	355	303	364	300	326	305	366	251	366	68
	30:00:00	400	298	320	301	335	309	333	246	346	147
	45:00:00	373	300	364	319	368	305	380	280	442	137
	60:00:00	379	304	360	312	343	281	390	244	393	141
Hora 06	15:00	370	320	413	303	440	255	462	252	356	140
	30:00:00	356	297	353	309	430	252	442	260	367	57
	45:00:00	410	316	376	325	379	269	442	257	396	83
	60:00:00	370	280	390	383	387	275	400	283	377	84
Hora 07	15:00	384	316	415	363	385	293	389	261	415	84
	30:00:00	364	295	407	343	356	300	384	254	405	91
	45:00:00	369	277	390	300	386	259	396	248	412	78
	60:00:00	385	305	385	330	400	282	369	279	373	92

<b>Temp. Promedio</b>	<b>376.46</b>	<b>313.25</b>	<b>391.21</b>	<b>337.25</b>	<b>370.50</b>	<b>284.21</b>	<b>390.64</b>	<b>260.14</b>	<b>385.39</b>	<b>83.82</b>
-----------------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	--------------

Tabla 11. Bitácora de prueba de cocción en cámara metálica 01. Fuente: Elaboración propia

Fecha: 09 y 10 de Marzo 2018

		Temperatura ° Celsius					
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
Hora 01 Día 01	15:00	158					
	30:00:00	180					
	45:00:00	254					
	60:00:00	323					
Hora 02 Día 01	15:00	330	68	77	50	49	64
	30:00:00	439	71	93	53	53	69
	45:00:00	360	71	84	57	56	72
	60:00:00	428	78	83	58	37	75
Hora 03 Día 01	15:00	387	80	87	58	59	73
	30:00:00	405	79	90	57	59	75
	45:00:00	408	82	87	57	61	74
	60:00:00	426	83	85	60	62	76
Hora 04 Día 01	15:00	436	88	92	60	64	75
	30:00:00	423	87	84	61	66	79
	45:00:00	500	77	94	59	66	78
	60:00:00	500	80	88	61	70	76
Hora 05 Día 02	15:00	408	80	76	44	42	49
	30:00:00	453	66	92	47	51	58
	45:00:00	403	80	85	56	59	65
	60:00:00	505	80	90	62	64	78
Hora 06 Día 02	15:00	444	85	88	63	64	78
	30:00:00	455	90	91	66	65	80
	45:00:00	447	90	99	68	66	82
	60:00:00	423	90	103	68	67	82
Hora 07 Día 02	15:00	440	85	90	66	67	81
	30:00:00	422	92	97	68	67	83

45:00:00	460	91	97	66	66	81
60:00:00	450	92	93	67	68	102
<b>PROMEDIO DE TEMPERATURA</b>	<b>402.39</b>	<b>81.88</b>	<b>89.38</b>	<b>59.67</b>	<b>60.33</b>	<b>75.21</b>

Tabla 012. Bitácora de prueba de cocción en cámara metálica 02. Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.3.6 Prueba de cocción de cubos de arcilla

Fecha: 13 y 14 de Marzo  
2018

	Temperatura ° Celsius				
Tiempo (minutos)	M1 (Umbral 3.5)	M2 (Umbral 9.0)	M3 (Umbral 3.5)	M4 (Umbral 9.0)	C5 (Umbral 16)
10		546	550	547	498
20		498	554	552	523
30	550	540	548	550	486
40	554	544	554	555	508
50	531	548	545	524	497
60	550	554	557	560	548
<b>PROMEDIO DE TEMPERATURA</b>	<b>364.17</b>	<b>538.33</b>	<b>551.33</b>	<b>548.00</b>	<b>510.00</b>

Tabla 013. Bitácora de prueba de cocción en cámara metálica 02. Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.3.7 Prueba simple de compresión cubos de arcilla

16 de marzo 2018

	Pieza 01	Pieza 02	Pieza 03	Pieza 04	Pieza 05
Largo - cm	2	2	2	1.9	1.9
Ancho - cm	2.1	2.1	2.1	2.1	2
Alto - cm	2	2	2	2	2
Área - cm <sup>2</sup>	4.2	4.2	4.2	3.99	3.8
Volúmen - cm <sup>3</sup>	8.4	8.4	8.4	7.98	7.6

Milímetros	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg
0	0	0.04	0.04	0.04	0.04
0.5	0.04	0.62	0.39	0.58	1.98
1	0.12	1.09	2.76	1.05	7.55
1.5	0.23	2.14	8.01	2.18	15.37
2	0.47	2.84	13.61	5.13	25.71
2.5	0.78	3.77	17.74	11.16	11.9
3	1.21	5.06	13.54	18.73	
3.5	1.44	6.92		12.12	
7					
7.5					
	Pieza 01	Pieza 02	Pieza 03	Pieza 04	Pieza 05
Punto de quiebre	5.86	4.49	2.39	2.97	2.01
Kg	11.44	11.2	18.4	18.71	25.75
Resistencia Kg/cm <sup>2</sup>	2.72	2.67	4.38	4.69	6.78

Tabla 014. Bitácora de prueba de compresión de cubos de arcilla. Fuente: Elaboración propia.