



**Adecuación al diseño geométrico de un horno artesanal  
para homogenizar la temperatura durante la cocción de  
ladrillos; en Chiapa de Corzo, Chiapas**

**Tesis para obtener el grado de  
Maestro en arquitectura y urbanismo**

Presenta:

**Roberto Radamés Román Cadenas**

Director de tesis:

**Dr. Eddy González García**

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Noviembre de 2019.

TUXTLA GUTIÉRREZ CHIAPAS;  
07 DE NOVIEMBRE DE 2019.

**MTRO. JOSÉ LUIS JIMÉNEZ ALBORES**  
Director de la Facultad de Arquitectura  
**UNACH**  
**P R E S E N T E**

Con base en los acuerdos obtenidos en la Sesión Ordinaria del Comité de Investigación y Posgrado de esta Facultad, efectuada el día 04 de noviembre del presente año, donde se nos asigna como jurado de Examen de Grado del Proyecto Terminal de la Maestría denominado: **"Adecuación al diseño geométrico de un horno artesanal para homogenizar la temperatura durante la cocción de ladrillos: en Chiapa de Corzo, Chiapas"**, que para obtener el Grado de Maestro en Arquitectura y Urbanismo presenta el **C. Roberto Radamés Román Cadenas**, por este medio, y de acuerdo con la revisión realizada, nos permitimos informar a usted que otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO** de autorización de impresión del documento.


Lo anterior es con la finalidad de que se realicen los trámites y el examen correspondiente.

**ATENTAMENTE**

**"Por la Conciencia de la Necesidad de Servir"**

  
**DR. LORENZO F. ESCAMIROSA MONTALVO**  
**PRESIDENTE**

  
**DR. RAÚL PAVEL RUIZ TORRES**  
**SECRETARIO**

  
**DR. EDDY GONZÁLEZ GARCÍA**  
**VOCAL**

C.c.p. DRA. TERESA DEL ROSARIO ARGÜELLO MÉNDEZ, COORDINADOR DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO.  
C.c.p. DR. JOSÉ FRANCISCO GÓMEZ COUTIÑO, JEFE DEL AREA DE ACREDITACIÓN Y GESTIÓN DE CALIDAD.  
C.C.P. Archivo/Munitario  
TRAM/afve\*

*Boulevard Belisario Domínguez, Km. 1081, Calzada a Rectoría Sin Número,  
Terón Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, C.P. 29050.  
Tel: (961) 6 15-09-35, 61 5 4043, 61 54248  
visite nuestra página: [www.arquitectura.unach.mx](http://www.arquitectura.unach.mx)*

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Energía del Universo por darme luz y perseverancia para llegar hasta este momento importante de mi vida.

A la Triada Santísima y a María por darme luz en el tema, permitir conocer personas en el desarrollo de la elaboración y dejar que me recuperará de salud y seguir con este tema apasionante.

De la misma manera a la familia Román Cadenas por la comprensión del tema, a mis berrinches y presión que tuve: MARTHA ROMÁN, CARLOS ROMÁN, JORGE ROMÁN, GEORGINA ROMÁN y a mis Padres JORGE ROMÁN y VIRGINIA CADENAS este trabajo dedicado a ellos.

A mi querida y adorada Ana Lucia por tu apoyo, consejos y darme ánimos cada vez que flaqueaba durante estos 2 años arduos de estudio. Gracias por tu amistad.

Mis gracias infinitas a ARMANDO GUTIERREZ CORDOVA y MIGUEL ALEJANDRO MARQUEZ AGUILAR, que sin su ayuda durante los experimentos en campo, su experiencia en los temas de Arduinos y procesos de investigación no hubiera logrado iniciar el tema, continuar con la investigación al darme ánimos y al acompañarme hasta el final de los trabajos de campo, MI AGRADECIMIENTO TOTAL.

A mi director de tesis Dr Eddy González García que desde el inicio me fue llevando en este tema basto de ladrillos, hornos, geometría y poder calorífico, gracias por tu acompañamiento de inicio a fin.

Al Dr Franco Escamiroso Montalvo y Dr. Raúl Pavel Ruíz por ser parte de los investigadores que se convirtieron en mis revisores y sinodales de este trabajo, Gracias por sus consejos.

A la Dra. Veymar Tacías Pascacio que por su conocimiento logre desde el inicio entender y comprender como realizar un tema de investigación, sin tu enseñanza no lo hubiera logrado.

A Los catedráticos con los que conviví y aprendí de ellos de sus experiencias y conocimiento durante estos dos años de la Maestría: Mtra. Nguyen Molina, Sergio Narain, Monserrat Ibarra, Ruber Trujillo, Bersaín Cortez, Carlos Uriel, Edwin Zet, Marco Constantino así como a la Dra. Teresa del Rosario Argüello coordinadora de posgrado que con su tesis doctoral logre ampliar el tema en el aspecto social.

Gracias al Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentable que en conjunto con el área de Componentes y Condicionantes de la Vivienda de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), proporcionaron el equipo que se usó para las pruebas y resultados del trabajo de campo, así como la capacitación que hubo por parte de los doctores encargados en el tema: Dr. Raúl Pavel y Dr. Gabriel Castañeda.

Al igual el laboratorio de materiales de la Facultad de Arquitectura de la UNACH que con su apoyo se logró realizar las pruebas de resistencia a los ladrillos de muestreo y obtener resultados en cuanto a la mejora del trabajo realizado.

A la Coordinación de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH), que asesoró en la adquisición y el manejo de instrumentos de medición interna, en especial al Dr. Rubén Vázquez.

A mis compañeros del posgrado: Miguel Márquez, Martín Gómez, Mauricio Jiménez, Jesús Bustamante y Alfredo Alfaro por su apoyo y amistad durante esta aventura de nuestra formación profesional.

Al equipo TUAM: Salvador Cruz, Ana Isabel Moguel, Luis Enrique Flores, Lourdes Moreno, Luis García, Juan Flores, Antonio Moreno, Miguel Márquez, Alexis Bustamante, Gerardo Jiménez, Sonia Pérez, Karla Alfaro, por apoyarme siempre en los temas de la escuela y en ayudarme a generar temas de esta tesis. Agradecimiento eterno a nuestro querido Cristian Angeles(☩) que con él inicie en la oficina el apoyo para ir generando el cuerpo de este trabajo de investigación, mil gracias!!

A Fernanda Vila, por darle el ultimo toque especial a esta tesis en forma y estilo, gracias por tu valioso apoyo en posgrado.

Al resto de amigos con los cuales sacrifique días de fiesta, fines de semana, con tal de estudiar y lograr el objetivo en especial a Rodrigo Hernández.

Y a todos con los que tuve un cruce en esta vida y que me apoyaron moralmente o con consejos en el tema, gracias a todos.

## ÍNDICE

<b>Introducción.....</b>	<b>6</b>
<b>1. Planteamiento del problema .....</b>	<b>8</b>
1.1. Antecedentes de los hornos de ladrillos.....	9
1.1.1. El uso de la arcilla a través de la historia.....	9
1.1.2. Los hornos de cocción de ladrillos a través del tiempo.....	16
1.1.3. Tipos de hornos y sus adecuaciones.....	20
1.1.4. Los hornos artesanales de mayor uso en el país .....	32
1.2. Descripción de la problemática .....	35
1.3. Justificación.....	36
1.4. Hipótesis .....	38
1.5. Objetivos .....	38
<b>2. Estado del arte .....</b>	<b>39</b>
2.1. Proceso de fabricación de ladrillos.....	41
2.2. Arcilla .....	43
2.2.1. Características químicas de la arcilla .....	44
2.3. Principios básicos de transferencia de calor de diseños de hornos .....	46
2.4. Análisis e interpretación .....	50
<b>3. Materiales y Métodos .....</b>	<b>51</b>
3.1. Materiales.....	51
3.2. Equipo y herramienta .....	53
3.2.1. Instrumentos de medición externo.....	54
3.2.2. Instrumentos de medición internos .....	57
3.3. Metodología.....	60
<b>4. Diagnóstico..</b>	<b>62</b>
4.1. Ubicación del área de estudio .....	62
4.2. Localización de los hornos .....	63
4.3. Ponderación del horno seleccionado .....	65
4.4. Análisis del medio físico natural .....	67
<b>5. Análisis del Estado actual del horno .....</b>	<b>72</b>
5.1. Análisis del horno .....	72
5.2. Experimentación en el horno actual .....	84
<b>6. Adecuación del horn .....</b>	<b>89</b>
6.1. Descripción de las necesidades del horno .....	90
6.2. Requerimientos del horno artesanal de ladrillos.....	90
6.3. Estrategias de diseño.....	91
<b>7. Simulación térmica de los hornos .....</b>	<b>92</b>
7.1. Modelación de los diseños de los hornos.....	95
7.2. Modelación del horno actual.....	96

7.2.1.	Modelación del horno (Propuesta 1) .....	100
7.2.2.	Modelación del horno (Propuesta 2) .....	101
7.2.3.	Modelación del horno (propuesta 3) .....	102
7.3.	Ponderación .....	107
<b>8.</b>	<b>Adecuación en campo del horno de ladrillos seleccionado</b>	<b>108</b>
8.1.	Construcción del horno propuesto.....	111
8.2.	Cambios en la propuesta .....	112
8.3.	Climatología desfavorable .....	113
8.4.	Experimentación en el horno propuesto.....	114
<b>9.</b>	<b>Resultados</b>	<b>121</b>
9.1.	Resultados de medición del horno actual.....	121
9.2.	Resultados de las simulaciones .....	128
9.3.	Resultados de medición del horno propuesto. ....	129
9.4.	Análisis físico mecánico de los tabiques de arcilla obtenidos en el horno tradicional y en el propuesto.....	134
9.5.	Discusión.....	135
9.5.1.	Discusión teórica .....	140
<b>10.</b>	<b>Conclusiones.</b>	<b>141</b>
10.1.	Conclusiones Generales .....	143
10.2.	Conclusiones particulares .....	144
	<b>Recomendaciones..</b>	<b>145</b>
	<b>Literatura citada</b>	<b>149</b>
	<b>Anexos ..</b>	<b>158</b>



## Introducción

El sector ladrillero artesanal en México es importante por la generación de empleo e ingreso para las familias de los productores ladrilleros. Datos del INEGI (2009) expresan que anualmente se generan alrededor de 35,483 empleos y se logra un valor de la producción de 3,117 millones de pesos. Sin esta actividad miles de familias se quedarían sin el sustento diario, lo cual representaría un enorme problema social para el gobierno de México, ya que no habría una actividad donde poder insertarlos. Muchos de los productores de ladrillo artesanal no tienen otra actividad que desempeñar, se han dedicado toda su vida al oficio de ladrillero, por lo tanto se hace más difícil su transición a otro oficio o actividad productiva. <sup>(53)</sup>

Datos obtenidos del Censo Económico 2009 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), expresan que en México había 10 mil 251 unidades económicas de fabricación de ladrillos, aunque la Red de Información de Productores de Ladrillos (Red Ladrilleras) estima que en el país existen 16 mil 953 unidades de producción (AIC, 2016).

Según datos expresos en el Diagnóstico nacional del sector ladrillero artesanal de México (2006) se obtiene que en el estado de Chiapas se cuenta con aproximadamente 26 municipios con producción ladrillera, con un total de 247 ladrilleras inventariadas y una producción anual de 247, 227,238 ladrillos. Al año se realizan 18 quemas por ladrillera en promedio, (proceso de cocción del ladrillo) en las cuales el principal combustible es la cáscara de café, y en menor grado leña de especies arbóreas típicas de la región. <sup>(53)</sup>

En el presente trabajo se describe el proceso de la adecuación al diseño geométrico de un horno artesanal de tipo “Escocés (vertical)” utilizado por productores de ladrillos en la localidad de Chiapa de Corzo, Chiapas, México. Con la adecuación al diseño geométrico del horno se observa una mayor homogenización del calor durante el proceso de cocción de ladrillos y reducción de merma.

Por lo anterior mencionado la zona de estudio seleccionada para esta investigación, no está ajena a estos cambios y adaptaciones. En el caso de los hornos artesanales esta adaptación a los cambios industriales y tecnológicos no se ha visto de manera continua y homogeneizada ya que como se ha mencionado depende de la región en donde estos se ubiquen, así como las adaptaciones a las mejoras en los cambios estructurales, de diseño y de suministro de energía; lo cual va relacionado con el medio social y de la cooperación de la misma población que tiene el sustento económico al trabajar en esta industria. Por lo tanto, la investigación toma importancia ya que requiere un mejoramiento de los hornos tradicionales existentes en la zona de estudio, siendo está la adaptación geométrica como posible solución para lograr la homogenización adecuada de la temperatura,

para alcanzar la correcta cocción de los ladrillos, reduciendo el tiempo de cocción y los porcentajes de merma en cada quema. El objetivo principal es adecuar el diseño geométrico de un horno artesanal de ladrillos para la homogenización de la temperatura interna del mismo, en el sector sur-oriente de la localidad de Chiapa de Corzo, Chiapas.

Para llegar al objetivo de esta investigación se realizó la metodología de 7 fases, siendo la primera de ellas la descripción del estado del arte; es la investigación exhaustiva en periódicos, revistas científicas, congresos, memorias de congresos, tesis relacionados al tema, biblioteca, entre otro tipo de bibliografía que nos permita conocer el proceso de la descripción de la fabricación de ladrillos, la composición de la arcilla así como comprender los principios básicos de la transferencia de calor.

La segunda fase es el diagnóstico, primeramente es delimitar el área de estudio; conocer las condiciones naturales de la zona, la localización de las ladrilleras, la selección a través de una ponderación de selección del horno con menores ventajas.

En la fase 3 se describe el diseño geométrico de un horno artesanal de tipo “Escocés (vertical)” utilizado por productores de ladrillos en la localidad de Chiapa de Corzo, Chiapas, México. En el cual el primer análisis a realizar es el del estado actual del horno existente, siendo este la descripción física que presenta así como del entorno en donde se encuentra. Esto llevará a realizar el proceso de medición de la temperatura interna y externa del horno artesanal durante una quema tradicional, obteniendo datos reales de los valores de temperatura en muros, techo y en el interior del mismo, con lo cual la información que se registre en las mediciones por los equipos y softwares a utilizar para tal actividad como el caso del uso del Arduino uno y del smartview, se logrará conocer el comportamiento de la temperatura la cual logra un horno de este tipo desde su inicio de la quema hasta el punto en donde se obtiene el mayor valor en la temperatura lo cual conlleva a considerar la cocción total del lote de ladrillos.

Lo anterior llevará a la cuarta fase que para adecuar el horno de ladrillos tipo artesanal, se describen las necesidades del horno actual, desde el tipo y cantidad de producción que se realiza por quema, la temperatura máxima alcanzada, así como cantidad de combustible utilizado y merma obtenida. Esto generará que se logren los requerimientos y necesidades del mismo generando las estrategias de diseño tanto en espesores de muros y forma del techo.

Una vez generadas las propuestas de diseño, la información se procesará en otro software Ansys, llegando a la fase 5 para generar la simulación térmica de los hornos; esto se logrará creando el modelo, con los valores de la geometría actual del horno, se realizará el enmallado correspondiente y se introducirán en el software valores sobre la propiedad del material utilizado, que es la arcilla, así como los valores del combustible a utilizar que es el olote; con esta información se da inicio



a la modelación del diseño del horno en donde se llegará con los parámetros utilizados, a un método de solución logrando un análisis de resultados.

Logrando la modelación del horno actual, se generará los modelos de las propuestas, ya que la base de la información de parámetros establecidos requeridos dentro del software serán datos que se volverán una constante, lo que diferencia cada una de las tres propuestas a realizar serán los espesores y la forma de los techos, en donde la simulación térmica arrojará los resultados de las temperaturas obtenidas de acuerdo a las 3 adecuaciones geométricas modeladas, los cuales al generar una ponderación de estos, considerando variables que son de importancia para esta investigación como es tiempo de cocción, tipo y cantidad de combustible, recubrimiento del horno, temperatura interna del horno, capacidad y espesores del mismo, así como dimensiones, determinaran el modelo a seleccionar para adecuarla en campo.

La fase 6 es la realización del modelo seleccionado que llevará a la construcción del horno, siguiendo las especificaciones de construcción, medidas, forma y espesores.

Posteriormente se da la experimentación del horno propuesto, la cual arrojará las mediciones de temperatura externas de los muros e internas de logradadas en la cámara de cocción.

Por último la séptima fase son los resultados de las mediciones en ambos hornos, el actual y la propuesta construida, llevará a tener una comparativa en el comportamiento de ambos, con lo cual se comprobará la mejora que hay en cuanto al alcance de la temperatura interior, pérdida de calor en muros, tiempos de cocción, cantidad de combustible a emplear, así como la merma obtenida y la diferencia de la resistencia que alcanzan los ladrillos en ambos experimentos. Con lo cual se llegará a una discusión de estos resultados y a generar una conclusión donde se demuestre el alcance de los objetivos y la comprobación de la hipótesis.

## **1. Planteamiento del problema**

### **1.1. Antecedentes de los hornos de ladrillos**

La historia del horno es en realidad la evolución en un largo período de tiempo desde la simple hoguera (o el hoyo) hasta una estructura fija diseñada para dirigir y contener el calor del fuego. El primer perfeccionamiento del hoyo fue utilizar un muro bajo de barro para mantener el fuego en los lados, el paso siguiente (crucial para el proceso) fue la innovación de introducir fuego en la base de la carga, de tal manera que el calor pase hacia arriba a través de la cerámica. Finalmente, la etapa siguiente fue techar la parte superior para formar una estructura cerrada para concentrar y distribuir mejor el calor durante el proceso de cocción. <sup>(8)</sup>

#### **1.1.1. El uso de la arcilla a través de la historia**

Antropológicamente, el período de sedentarismo de los seres humanos se inicia cuando las poblaciones se establecen en sitios fijos debido al favorecimiento de las condiciones naturales de un área determinada, principalmente por la presencia del elemento agua (cercanía a un río, lago, laguna, oasis, etc.). Este principal factor influyó sobre las actividades humanas generando un período de transición entre el nomadismo al sedentarismo en el cual las poblaciones pasan de ser comunidades recolectoras a cultivar sus propios alimentos (nacimiento de la agricultura). También se presenta la necesidad de salir de las cuevas para habitar estructuras fijas cercanas o colindantes a sus zonas de cultivo y producción de alimentos, donde se pretende construir un refugio con materiales resistentes a las condiciones naturales de la zona y dejar de lado materiales perecederos o de rápida degradación por efecto de la lluvia, viento, asoleamiento, etc., tales como pieles, madera, ciertas hojas fibrosas, entre otros, los cuales tenían que ser sustituidos constantemente. <sup>(8)</sup>

La evidencia antropológica e histórica expresa que las chozas de los cazadores, precedente de las primeras casas correspondía a simples refugios temporales de ramas y arbustos. Se han encontrado restos de tiendas de cazadores construidas con pieles y huesos de mamut con una antigüedad de 35,000 a 10,000 a. C.

Los campamentos de invierno en madera para grandes grupos familiares de cazadores nómadas europeos se datan con una antigüedad de aproximada de 12,000 a. C. <sup>(8)</sup>

Este período de transición entre la vida nómada a un estilo de vida sedentario se presenta entre 9,000 – 10,000 años a. C. en el período neolítico, iniciándose en Mesopotamia en las riberas de los ríos Tigris y Eufrates, pasando luego a Egipto, en el río Nilo y oasis de Siwa; y de este a Roma y Grecia, río Tíber y el Aliakmonas que es la puerta de entrada hacia el norte de Europa (río Rhin y Danubio) hasta difundirse hacia Oriente Medio, río Indo y río Ganges (Pakistán e India). <sup>(8)</sup>

Hacia el Oriente lejano se han encontrado evidencias del uso de ladrillos de arcilla que datan de hace 3,900 años en la región de X'ian en China, siendo en la dinastía Song en donde se dan las primeras descripciones del proceso de producción de ladrillos. Conforme las civilizaciones se desarrollaban, así también el uso de la arcilla iba perfeccionándose, iniciando la mezcla como un tipo “bajareque” primitivo que era la mezcla de materia orgánica y arcilla, el cual con los vientos, tormentas de arena y posibles precipitaciones de los monzones (Oriente medio), estos terminaban deteriorándose rápidamente. Los primeros vestigios de este tipo se encontraron en las regiones de Mesopotamia de Tell Mureybet (actual Siria) y Ali Kosh (actual Irán). En las mismas regiones 1,000 años después, en el 8,000 a. C. se usa la arcilla como mortero en las construcciones que usaban materiales calcáreos, así como los primeros adobes realizados con arcilla y arena limosa aglutinados con agua. Es hasta el año 5,500 a. C. en el auge de la región de Sumeria al sur de Mesopotamia, en la Cultura Samarra, donde se encontró evidencia del uso de adobe para la construcción. <sup>(67)</sup>

Es hacia el año 3,000 a. C., en el Palacio de Nippur donde se encontró evidencia del uso de ladrillo cocido como elemento decorativo y recubrimiento de los muros hechos con adobe. Poco a poco durante el mismo milenio, de Mesopotamia pasó a Egipto el uso del ladrillo cocido combinado con el adobe para la construcción de viviendas o elementos no jerárquicos. <sup>(67)</sup>

En Mesoamérica, en la región donde se asentó la cultura Olmeca, actualmente el estado de Tabasco y Sur del estado de Veracruz, en México; hace más de tres mil años, la falta de piedras y otros materiales para la construcción no fue impedimento para que manos olmecas levantaran magníficas pirámides y conjuntos residenciales hechos de tierra o arcilla mezclada con materia vegetal (bajareque). Hoy día, y tras varias centurias, esta milenaria técnica de construcción se sigue utilizando en algunas comunidades indígenas de México. <sup>(35)</sup>

Los olmecas, fueron una de las primeras civilizaciones en utilizar la arquitectura de tierra durante el periodo formativo, es decir, en la época pre-clásica y clásica. De hecho, los más antiguos centros ceremoniales planificados y contruidos sobre plataformas y basamentos hechos de tierra compacta están fechados entre 1200 y 900 a. C. como fueron La Venta (Tabasco), Tres Zapotes y San Lorenzo (sur de Veracruz), Al igual que las pirámides contruidas con piedras o lajas, las de tierra llegaron a medir hasta 25 metros, las majestuosas construcciones tuvieron bien definidas todas sus áreas, cuerpos, escalinatas, alfardas, columnas y pisos, todos de tierra apisonada, tan resistente como las piedras. La resistencia de los materiales es tal, que hasta nuestros días las construcciones olmecas sólo están erosionadas por el paso del tiempo. <sup>(35)</sup>

En la misma región sureste del actual territorio mexicano, los límites territoriales de la Cultura Maya en el estado de Tabasco; la zona arqueológica de Comalcalco, cuyo significado es "lugar de la casa del comal" es uno de los sitios mayas más relevantes de esta cultura, en el cual se desarrolló una importante tradición constructiva a base de ladrillos, en la que destacan tres grupos

arquitectónicos: la Plaza Norte, la Gran Acrópolis y la Acrópolis Este. Este período de construcción con ladrillos se da en el año 500 D.C.

En Comalcalco se desarrollaron diferentes sistemas constructivos como los edificios hechos con núcleos de tierra compactada y las construcciones de mampostería de ladrillos, en ambos casos con aplanados de cal. Asimismo, se utilizaron materiales perecederos como guano, bejuco y madera para edificar construcciones de culto y habitacionales. Con el mortero, obtenido de la cal de las conchas de ostión, se pegaron ladrillos; las construcciones se recubrieron y decoraron con esculturas modeladas en bulto que representaban personajes ataviados, animales, deidades y motivos simbólicos. En los alrededores del sitio hay numerosos montículos que fueron unidades habitacionales hechas con materiales perecederos. <sup>(4)</sup>

De acuerdo a las investigaciones arqueológicas en los diversos edificios que conforman esta ciudad maya, se detectó que la ubicación de los ladrillos decorados en ciertos lugares de la arquitectura, fue una práctica intencional que reflejó la ideología de quien construye, modela y pinta, erigiendo en sí un espacio mágico y religioso, y no fue producto de la ociosidad artesanal que también pudo existir. <sup>(4)</sup>

Es hasta el año 1,000 a. C. que en la época greco-romana, tanto en el sur de Europa como en el Norte de África se volvió habitual el uso de adobe con ladrillo cocido en la mayor parte de las edificaciones. El mundo Romano fue el gran difusor de la construcción con ladrillo cocido que permitió la edificación de los vastos complejos monumentales del imperio, tarea difícil de complementar con cualquier otro material. De esta forma, los romanos se convirtieron en los grandes difusores del uso de ladrillo cocido, pues a su accesibilidad se añadía la posibilidad de producir grandes cantidades a corto plazo, con la consiguiente reducción de costos y de tiempo, además constituían un material muy resistente que podía conseguirse de diversas formas y tamaños. <sup>(18)</sup>

Hacia la Europa medieval (400 a 1,400 d. C.) el uso del ladrillo cocido se dio principalmente en el norte de Italia, Alemania y Países Bajos. En Inglaterra este auge se dio durante la etapa renacentista (López-Arce, 2011). El caso de España no se puede tomar aislado, ya que al ser una potencia de ultramar, el uso de ladrillo cocido durante la invasión árabe a la península en el año 711 a 1492, hizo que grandes edificios fueran construidos con este material dándose en la península el estilo arquitectónico mudéjar, encontrándose grandes ejemplos en Castilla, Aragón y Andalucía, no obstante la conquista árabe dejó esta riqueza que con el descubrimiento de América hacia 1492, los Hispanos llevaron las formas de edificación y el uso de materiales que les dejaron en un momento dado sus conquistadores ahora ellos lo aplicarían en sus conquistados. <sup>(67)</sup>

Durante la conquista y colonización del nuevo mundo, principalmente en la Nueva España, hacia la segunda mitad del siglo XVI se establecieron en Puebla y Tlaxcala los primeros alfareros españoles, la mayoría originarios de Talavera de la Reina, estos alfareros reprodujeron las técnicas y diseños característicos de la cerámica de su lugar de origen lo cual transformo el nombre de la cerámica poblana a "talavera de la Puebla". Los alfareros poblanos produjeron en abundancia loza designada al comercio local y aun a otras colonias; pero también hicieron objetos de carácter ostentoso y decorativo que les dio fama y prestigio dentro de la Nueva España y fuera de ella. El auge del uso de ladrillo en la época Barroca del siglo XVI y XVII, creando edificaciones de valor constructivo únicos como es la Casa de los Muñecos y el acceso principal al atrio del templo del Carmen en la actual ciudad de Puebla. <sup>(34)</sup>

En el siglo XVIII con el neogótico y neoclasicismo se volteó a ver de nuevo a materiales como la piedra, cantera y el mármol para las edificaciones principalmente en Europa; en la Nueva España se sigue el ejemplo de Francia, España y Alemania principalmente; creando edificaciones con cantera en puntos específicos de México como lo fue Mérida (cantera blanca), San Luis Potosí y Zacatecas (cantera rosa), que son sitios en donde se usó mayoritariamente este tipo de materiales. <sup>(34)</sup>



Durante la revolución industrial y el consecuente *boom* en la construcción la demanda de ladrillos se incrementó. Siendo pioneros de la producción masiva Inglaterra, utilizado principalmente para la construcción de las viviendas de los obreros y algunos elementos constructivos de las fábricas que iban apareciendo en las grandes ciudades inglesas. <sup>(34)</sup>

La primera máquina para fabricar ladrillos en masa fue patentada por Henry Clayton en 1855. Durante el siglo XX y con la construcción de edificios y rascacielos el ladrillo pasó un poco al olvido, ya que se priorizó el uso de yeso, concreto y acero <sup>(7)</sup>; llegando esta tendencia del uso de acero y otros materiales a América hasta finales del siglo XIX principios del siglo XX. <sup>(34)</sup>

A mediados del Siglo XX a nuestros días el uso de ladrillos de arcilla ha ido menguando en algunas partes del mundo, principalmente en Occidente y sobre todo en Latinoamérica, siendo sustituido este material por el cemento, acéró, madera, blocks de cemento, siendo este último la sustitución del ladrillo de arcilla y siendo más aceptado en la construcción debido a que es más económico su producción y por ende la venta al consumidor final es menor que el costo de un ladrillo de arcilla. <sup>(34)</sup>

México no es la excepción y de la misma manera que el resto del continente, la producción de ladrillos ha sido afectada por factores como la baja inversión en el mantenimiento o adaptación de los hornos tradicionales, ya que por lo regular se sigue el mismo patrón de diseño del horno generalizado en todo el país, no existiendo una adecuación del horno de acuerdo a la región y a las condiciones del entorno. De acuerdo al programa de eficiencia energética en ladrilleras artesanales de América Latina para mitigar el cambio climático <sup>(11)</sup>, implementado en varios países latinoamericanos incluido México, por el Instituto Swisscontact en 2011. Esta generalización en México se ha agrupado geográficamente en 3 zonas, Norte, aplicando el programa en el estado de Chihuahua; región Centro realizando los experimentos en la zona del Bajío en el estado de Guanajuato; y la zona sur-sureste, ejecutando el programa en el estado de Oaxaca.

La problemática encontrada en esta investigación en las tres regiones de México y que coincide con otros autores de trabajos similares es sobre las emisiones a la atmósfera, en la combustión incompleta de los combustibles empleados lo cual produce emisión de gases contaminantes como el CO, CO<sub>2</sub> y gases sulfurosos, entre otros; además de baja eficiencia térmica lo que redundará en un aumento en el costo de las quemas con el consecuente encarecimiento de los procesos de producción. <sup>(24)</sup>

Lo anterior confirma que el tipo de contaminación que estos hornos artesanales emiten es muy alto; sin embargo, los productores se muestran renuentes a invertir recursos para cambiar su método de cocción ya que consideran que sus ingresos se verán afectados debido al alto costo de adaptación. <sup>(37)</sup>

De manera regional, en el sureste del país, las condiciones de operación de los hornos de ladrillo, así como del medio ambiente natural, social y económico de cada una de las subregiones que conforman el sureste son muy diferentes entre sí. Por lo que lo aplicado y adaptado en Oaxaca, puede ayudar parcialmente o no causar una mitigación a los problemas en otros estados de la zona como Chiapas o Tabasco, por ejemplo.

En el caso de Chiapas, la problemática igual se va ajustando por microrregiones del estado, ya que no es la misma problemática en la zona costa del Soconusco a la región Fraylesca del Centro o la zona indígena de los Altos.

En el caso del estado de Chiapas la problemática generalizada es la forma de los hornos que no ayudan a la eficiencia energética durante la cocción, sumándose que estos hornos no tienen mantenimiento o reestructuración de los elementos que lo conforman, originando que el calor se escape y no se logre la temperatura adecuada mínima necesaria para una cocción más completa y homogénea. Esto genera mermas de al menos el 20% de la producción promedio de cocción por lote que es de 6,000 ladrillos por cada quema. (INEEC *et al*, 2013).

### 1.1.2. Los hornos de cocción de ladrillos a través del tiempo.

Así como fue evolucionando el uso de los ladrillos desde los inicios así ha sido los requerimientos de la evolución misma del horno para la cocción de la arcilla, ya sea de forma de alfarería o de ladrillos de arcilla empleados para la construcción.

- **Hogueras abiertas, 3,000 a. C.**

Desde el neolítico, las civilizaciones iniciales comenzaron con el uso de alfarería para crear elementos de uso diario para poder almacenar el agua o mantener en superficies aisladas y limpias sus alimentos, esta cerámica primitiva hecha con arcilla fue cocida en hogueras abiertas y hoyos poco profundos que contenían fuego.

En investigaciones del siglo XX se llegó a la conjetura que el problema presente este tipo de horno primitivo es el aislamiento térmico, el cual no es el adecuado por presentar fuga de calor y temperatura poco elevada (650° C). Para compensar las pérdidas de calor se utilizaba excremento seco de vaca. La diferencia de temperaturas era brusca, así mismo, las variaciones de temperatura en diferentes partes del horno eran distintas, lo cual conducía a que parte de la alfarería que se cocía no era aprovechable. En la actualidad este horno se sigue utilizando por ceramistas mediante la técnica de cocción con aserrín, el cual va quemándose de abajo hacia arriba logrando que el calor se disperse mejor y se obtenga mayor cocción de las piezas de cerámica (750 °C). <sup>(59)</sup>

- **Horno Romano, siglo I**

El horno romano responde a esquemas constructivos característicos de este tipo de estructuras, con una función muy determinada: la cocción de objetos cerámicos.

Esta estructura se forma a partir de una cámara de cocción circular construida a partir de muros perimétricos conformando una circunferencia. En el interior de esta estructura se localiza una parrilla sustentada por un pilar central del que parten una serie de arcos que ayudaban a su sostenimiento, del pilar podemos observar un alzado de unos 15 cm, separada por la parrilla y sobre la cámara de combustión se

localizaría la cámara de cocción, donde se colocaban los objetos cerámicos sin contacto directo con el fuego. El acceso a la cámara de combustión se realizaba a través de una abertura denominada praefurnium. Este se halla orientado al sur y la cámara de cocción dispone de un acceso simple al Este. El horno se encuentra rodeado por tres muros o contrafuertes que lo rodean sirviéndole posiblemente de protección contra los vientos y de ayuda para su sustentación. El horno responde a esquemas constructivos bien implantados, caracterizados básicamente por su forma circular y parrilla sostenida por un pilar central. Otro elemento muy común dentro de estas estructuras es la construcción de muros perimétricos que las engloban. *(idem)*

- **Hornos de leña, siglo I a. C. - siglo XVIII d. C.**

Se caracterizaba por la utilización eficaz del combustible, el control de la temperatura, la atmósfera del horno y el logro de temperaturas superiores a las 1,200 °C. Los hornos más sobresalientes de este tipo son los realizados en China superando a los hornos utilizados en Occidente. *(idem)*

- **Horno de cueva Japonés, siglo V d. C.**

Llamado también anagama, se hacía excavando un agujero alargado en un terraplén con una inclinación de unos 30°; en la parte de atrás se abría un agujero de chimenea que llegaba hasta el nivel del suelo en la parte de arriba. El horno era en realidad como una larga chimenea que descansaba en una pendiente. El fuego está en la entrada del horno, la parte más baja, y puede ser estrechamente vigilado y controlado. El tiro, en lugar de moverse directamente hacia arriba como en los hornos verticales, se mueve a través de la cerámica, pero con suficiente inclinación para dar movimiento a los gases calientes. *(idem)*

El combustible utilizado es madera que se consume rápidamente, por ello necesita un mantenimiento constante para que la temperatura del horno no baje de 1400 °C. La combustión de la madera produce cenizas volátiles que terminan por adherirse al interior del horno creando una capa protectora y sellante con el paso

de los años. La posición de las piezas dentro del horno determinará su acabado, las piezas más próximas al hogar tendrán una capa de ceniza, otras pueden incluso tocar las brasas quedando parcialmente quemadas y las situadas en un punto intermedio apenas experimentarán variaciones. La posición del combustible es muy importante para garantizar la cocción correcta de las piezas y las características de acabado que se busquen en dicha cocción. Tradicionalmente se trataba de hornos comunitarios y posteriormente industriales. <sup>(55)</sup>

- **Hornos de Cámaras o escalonado, siglo VI, d. C.**

Varias cámaras están enlazadas entre sí sobre un lugar pendiente. Este diseño utiliza una circulación de tiro ascendente y el calor que escapa de cada cámara se utiliza para calentar la siguiente. Al encender el fuego en el hogar de la boca principal se calienta el conjunto del horno y un fuerte tiro se desarrolla en las cámaras ascendentes. Cuando se alcanza una temperatura suficiente en el hogar, la primera cámara habrá alcanzado la temperatura del rojo. Entonces se introduce combustible en la primera cámara a través de una abertura en la puerta lateral. Así la cocción va avanzando hacia arriba por la pendiente. Este tipo de horno era para la cocción de grandes cantidades de cerámica. Hay mejora en la eficiencia térmica, así mismo, la cocción se mantiene en general a una alta temperatura de 1,300° C, siendo el combustible utilizado la leña. <sup>(59)</sup>

- **Horno Medieval Español, siglo V - siglo XV**

Estos hornos eran estructuras de tipo circular con dos o más bocas de hogar y circulación ascendente, es probable que algunos de estos hornos contasen con parrillas de hierro fundido para el carbón. Así, el horno de tiro superior que quema carbón con forma característica de botella, se convirtió en el equipo estándar para la cocción de porcelana. <sup>(ídem)</sup>

- **Hornos del siglo XIX - Siglo XX**

La mejora en el diseño de los hornos en Europa durante el siglo XIX está relacionada por completo con el diseño, construcción y circulación del calor, en lugar de con los hogares y combustibles, puesto que el carbón y la madera continuaban siendo los únicos combustibles disponibles para la cocción de cerámica hasta que empezaron a utilizarse los derivados del petróleo en los primeros años del siglo XX. El gas llegó más tarde y la electricidad no empezó a utilizarse para cocer cerámica hasta después de la 1ª. Guerra mundial. El horno de tiro inferior o llama invertida puede considerarse el desarrollo final de los hornos que queman combustible. En estos el recorrido del calor atraviesa la carga de arriba a abajo para evacuar finalmente conectado con la chimenea desde la parte inferior del horno. (*ídem*)

- **Hornos del siglo XXI**

Actualmente los hornos de gran rendimiento para la gran producción industrial son hornos continuos tipo túnel o de Hoffman en los que la cerámica es transportada lentamente sobre vagonetas a través del túnel. La gran ventaja de estos hornos es que no se pierde calor en el calentamiento y enfriamiento periódico del horno. La temperatura de cocción llega hasta los 950 °C. (*ídem*)

El horno Hoffman es una estructura en la que los productos de arcilla que van a ser quemados pasan en furgones a través de un largo túnel horizontal. La quema de productos tiene lugar en la parte central del túnel. Este tipo de túnel es considerado la más avanzada tecnología en la manufactura de ladrillos. Las principales ventajas de la tecnología del horno de túnel consiste en su capacidad para quemar una amplia variedad de productos de arcilla, mejor control sobre los procesos de quema y alta calidad de los productos. La tecnología del horno de túnel fue desarrollada a mediados del siglo XIX en Alemania; sin embargo, su uso en la quema de ladrillos data del siglo XX. Después de la Segunda Guerra Mundial, esta tecnología fue ampliamente adoptada y llevó a la transformación de la industria



ladrillera europea de varios miles de pequeñas y dispersas unidades de fabricación de ladrillo a unos

cientos de unidades de hornos a gran escala altamente mecanizados. La tecnología se aplicó en el sudeste de Asia, China y Vietnam durante la década de 1970 y ahora existen cientos de hornos en túneles en operación. En India existen muy pocas unidades de hornos ladrilleros de túnel. <sup>(15)</sup>

### **1.1.3. Tipos de hornos y sus adecuaciones.**

En la época contemporánea, los hornos de cocción de ladrillo a nivel mundial se han adaptado de acuerdo a las regiones en donde la producción se desarrolla y en donde las condiciones sociales, culturales y ambientales son distintas entre todas ellas.

A mayor demanda mayor producción y por ende mayores problemas sociales y principalmente ambientales que han afectado los ecosistemas en donde están inmersos como son problemas edafológicos, ya que se alteran las condiciones físico-químicas de los bancos de arcilla y la mayor parte de esta afectación se desarrolla en la morfología del suelo al transformar los sitios de los bancos, ya que se ve el desgaste de las capas de suelo en donde la extracción realizada de la arcilla, son sitios que en su mayoría no se les da el tratamiento o la remediación correspondiente, provocando que en ocasiones el problema ambiental del suelo se transmite hacia otro problema ambiental en el aspecto hídrico, debido a que al no tener una planeación de extracción se ven afectados los mantos freáticos al quedar expuesto y provocar que zonas con aguas subterráneas se convierten en aguas superficiales.

Sumándose a lo anterior el uso excesivo de biomasa como combustible el daño ambiental en el tema forestal se vuelve un factor de afectación al tener año con año zonas deforestadas las cuales son contribución para la industria ladrillera artesanal, teniendo en promedio una deforestación de 4 hectáreas en promedio por

año por horno de ladrillos en México <sup>(26)</sup> y en países como Perú son en promedio de 6 a 8 hectáreas por año por horno, convirtiéndose hasta en 22 mil hectáreas en todo el país que se deforestan para tal actividad (INECC *et al*, 2015).

De la misma manera, el uso de combustibles fósiles como el carbón, o derivados del petróleo como el diésel e incluso gasolina, gas natural, gas l.p., contribuyen a la contaminación ambiental, generando emisiones a la atmósfera como son el dióxido y monóxido de carbono, dióxido de azufre, monóxido de azufre.<sup>(32)</sup> Esta contribución de emisiones también se da cuando hay uso de residuos sólidos urbanos como el pet e incluso llantas usadas que se utilizan como combustible, siendo estos últimos mencionados los más utilizados por los hornos artesanales generando la mayor cantidad de gases y humos emitidos. (INECC *et al*, 2015), ya que al ser el combustible de menor costo para adquirirlos y utilizarlos en las ladrilleras, se vuelven el combustible más utilizado principalmente en países de América Latina.

Lo anterior con lleva a que problemas ambientales de índole atmosférico son más puntuales en Latinoamérica, mientras que las de índole edafológico son más marcados en países de Asia, esto debido a que al tener mayor producción ladrillera mayor es la búsqueda y consumo de la materia prima, arcilla, para generar ladrillos cocidos, pero con un uso de combustibles regionales como son el cascajo de arroz, como en China, Bangladesh, Vietnam, India y en el caso de América Latina el uso de residuos sólidos urbanos y de biomasa como México, Guatemala, Colombia y mayor uso de gas natural en países del cono sur como Argentina, Bolivia y Perú, en donde las contribuciones de contaminantes es a la atmosfera. (INECC *et al*, 2015)

Con referencia a la situación social, la problemática se refleja en la resistencia a los cambios tecnológicos, en donde la mayor parte de los productores de ladrillos de hornos artesanales, no aceptan o no se adaptan a que los hornos que ellos han trabajado de generación tras generación como cooperativas familiares, acepten elementos de semi-industrialización que ayuden a generar mayor producción de ladrillos. (Pral, 2008). Esto debido a que la mayor parte de los productores de

ladrillos, son de escasos recursos y no tienen el capital suficiente para adquirir equipos que les ayuden a tener mayor producción, así también a poder pagar salarios de personal que les ayude durante el proceso de generación de tabiques, cocción de los mismos así como adquirir combustibles que contaminen menos y que tengan mayor capacidad calorífica para poder tener menor merma en su producción, esto lleva a que de acuerdo a la situación social de los productores los recursos a su alcance están limitados para su adquisición. *(idem)*

Lo anterior ha generado que durante el proceso de adaptación a cambios tecnológicos, de combustible, y a la conformación de la cooperativa para generar trabajo remunerado, ocasiona que después de cierta temporalidad, las adaptaciones realizadas a hornos de ladrillo en regiones escogidas por organismos internacionales, se vuelvan, en un promedio de tiempo de 12 meses, hornos prototipo o pilotos abandonados, que técnicamente no ha fallado pero socialmente es donde la debilidad es demostrada. <sup>(68)</sup>

La problemática mundial ha llevado a que Institutos de investigación como SwissContact y organismos internacionales como la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación COSUDE, Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Unión Europea, así como Institutos, universidades, ministerios y municipalidades de cada país, han generado investigaciones que han llevado a realizar adaptaciones a hornos existentes en cada región del mundo donde están detectados los problemas ambientales como es emisiones a la atmósfera, hidrología subterránea y superficial, edafología y deforestación; y se ha llegado a los resultados para encontrar la mitigación a considerar; así como el volumen de producción a lograr, y el tipo de combustible adecuado para el tipo de horno adaptado. *(idem)*

De acuerdo con las necesidades presentes en cada región en que se producen ladrillos artesanales, el diseño y la estructura son variables. Los principales tipos de hornos presentes en el mundo adaptados, prototipos artesanales o industriales, son los siguientes:

- **Horno de fuego dormido**

Es un horno artesanal, construido en forma circular, generando una especie de bóveda circular abierta, conocido también como horno cilíndrico. Posee una puerta lateral por donde se carga el material. Estos hornos se cargan con una capa de carbón, posteriormente una de ladrillos y consecutivamente una de carbón y otra de ladrillos, hasta que se alcanza el tope del horno. Una vez se ha terminado el apilamiento se prende el horno. La cocción dura aproximadamente entre 20 y 40 días. La producción en estos hornos varía según el tamaño del mismo al igual que el consumo de combustible (carbón). Estos hornos son de baja producción y elevada contaminación, debido a una quema no homogénea y la combustión incompleta, el material producido es de baja calidad, pues algunos ladrillos quedan requemados, mientras otros quedan crudos. <sup>(18)</sup>

- **Horno pampa**

Los hornos Pampa o escocés se constituyen en cuartos rectangulares descubiertos en la parte superior con puertas de salida y entrada a través de las cuales se extraen e introducen los materiales antes o después de la cocción; además poseen unas bóvedas en la parte inferior formadas por material a quemar, por los cuales se introduce el combustible para la cocción.

Son hornos de rápida cocción (aproximadamente 7 días), alta producción y alta contaminación. El apilamiento del horno debe comenzarse con unos ladrillos de canto, ya cocidos de modo que cubra un cuadrado de 10 a 15 metros de largo. La principal desventaja de este horno es que necesita que el combustible genere mucha llama para que ardiendo con la máxima rapidez, pueda llegar a penetrar hacia arriba y cocer los ladrillos de la parte superior. Son llamados de tipo escocés en América Latina. <sup>(ídem)</sup>

- **Horno baúl.**

Tiene igual diseño que el horno Pampa, pero dispone de una bóveda y evacúa los gases de combustión por tiro natural, mediante una chimenea situada al lado del

horno. En este horno se reduce significativamente la emisión de humos y material particulado. *(Idem)*

- **Horno colmena**

También conocidos como hornos redondos de Llama Invertida, son hornos cerrados, intermitentes en donde a diferencia de los Pampa se puede regular mejor el tiro, el cual puede ser natural o forzado. La alimentación del material seco se realiza por una puerta lateral. El suministro del combustible puede realizarse manualmente mediante parrillas colocadas en la pared del horno o automáticamente. Están contruidos en forma de cámaras circulares con paredes y techo en bóveda de ladrillo; poseen hogares laterales distribuidos uniformemente donde se quema el combustible. Una ventaja de estos hornos es que el combustible y sus residuos no están en contacto inmediato con el producto debido a la pared separadora y conductora de gases del hogar. La bondad de esta ventaja radica en que la coloración de los productos presenta tonalidades rojizas muy homogéneas y no se presentan productos tiznados por efectos del humo ni de las cenizas. Los gases de combustión ascienden entre la pared del horno y la pared frontal del hogar, llegando hasta la bóveda (parte superior del horno) y luego son obligados a salir por la parte inferior del horno atravesando la carga de arriba hacia abajo (debido a esto son llamados hornos de Llama Invertida) abandonando el horno por el conducto de abducción de gases que se encuentra en el centro del suelo del horno y conduce los gases hacia la chimenea. *(Idem)*

- **Horno vagón**

Consiste en 1 o 2 cámaras rectangulares con techo plano o curvo, en las cuales se introducen un vagón cargado con las piezas a quemar. La alimentación es lateral y el tiro se realiza por el lado opuesto a la zona de quema, interiormente tiene un revestimiento de ladrillo refractario en la bovedilla de quema y semi-refractario en las paredes internas del horno. En el techo tiene un recubrimiento de fibra refractaria. El tiempo promedio de quema es de 36 horas y la capacidad del vagón

es de 19.600 unidades por quema. La carga se monta sobre un gran vagón del tamaño del horno. *(Idem)*

- **Horno rápido intermitente**

Consta de 2 cámaras contiguas de manera que se aprovecha el aire de enfriamiento de una para calentar la otra, haciendo que la operación tenga continuidad. Los quemadores son ubicados lateralmente por una sola pared de cada una de las cámaras. Otra modalidad consiste en una cámara con varios vagones, de manera que mientras uno se somete a cocción, el otro se descarga y carga nuevamente. Se trata de un horno modular que permite su traslado y reubicación en caso de ser necesario, su proceso de cocción opera de manera semicontinua y tiene un ciclo de 36 Horas. *(Idem)*

- **Horno Hoffman**

Consiste en 2 galerías paralelas, formadas por compartimientos contiguos, en cuyos extremos se unen por un pasa fuegos. Son hornos continuos de alta producción, donde no se puede producir materiales vitrificados. En estos hornos el fuego se mueve a través del horno en dirección opuesta a las manecillas del reloj, este sistema permite obtener una alta eficiencia térmica y de producción, ya que el calor obtenido en la cámara de combustión se utiliza en el precalentamiento de las cámaras precedentes.

Aproximadamente una semana es el tiempo que toma realizar un ciclo completo de quema (el fuego llega al punto de donde partió). Cada galería está formada por varias cámaras, cada una de ella con su respectiva puerta, para el cargue y descargue del horno y un canal de salida que va al colector principal que conduce a la chimenea, cada cámara comunica con el colector, por un conducto de humos, los cuales se cierran herméticamente con válvulas. Para mantener la circulación horizontal de los gases a través de las cámaras, es preciso que la carga deje libre 1/3 de la sección transversal. La alimentación del combustible se realiza en la parte superior del horno, mediante alimentación manual o con la ayuda de



carbojet (alimentación neumática), la cual debe realizarse en forma dispersa, evitando chorros que provoquen combustión incompleta. *(Idem)*

- **Horno BTK**

El antecesor del horno Hoffman de Bock bien podría ser el horno Bull's Ring (horno de cámaras, anular u ovalado), el cual consiste básicamente en una sola zanja anular u ovalada excavada en el suelo; sus dimensiones pueden variar considerablemente, aunque el tipo más corriente suele tener un diámetro de 30 a 50 m; la zanja tiene aproximadamente 6 m de ancho por 2,5 m de profundidad. Al terminar de llenar la zanja con los ladrillos que se van a cocer, en los pisos (hiladas) superiores, los ladrillos se colocan unos contra otros (unidos) sirviendo así de bóveda o cobertura del horno; en las capas de cobertura se van dejando abiertos unos orificios convenientemente dispuestos para la introducción del combustible. Al igual que en el horno de Bock, la cobertura de los ladrillos del horno se recubre a continuación con una delgada capa de material removible que puede ser ceniza, arena o una mezcla de ambas. El Bull's Ring difiere del Hoffman de Bock, en cuanto a que las zanjas de éste último son 2 zanjas paralelas conectadas por ambos extremos. *(Idem)*

- **Horno Hoffman de Bock**

Cuando se trata de construir un horno en poco tiempo y a bajo costo, o bien cuando se trata de obtener una buena producción en un clima muy cálido, se utiliza el horno llamado de Bock, que es un horno Hoffman pero sin bóveda. Para la construcción del horno de Bock, se excavan 2 zanjas en el terreno y se levantan paredes de revestimiento delgadas pues no tienen que soportar la presión de una bóveda. Es condición indispensable para la construcción de un horno de esta clase que el subsuelo sea seco, lo que reafirma aún más su conveniencia en climas cálidos. Los ladrillos a cocer se cubren con 1 capa de ladrillo cocido y 1 sobrecubierta de tierra magra o arena. El suministro del combustible, al igual que en los Hoffman

convencionales, se hace por orificios dispuestos en la parte superior los cuales atraviesan la capa de ladrillo cocido y la capa de sobrecubierta. *(Idem)*

- **Horno Hoffman Abierto**

De manera antagónica al horno Bull's Ring, el horno Hoffman abierto o Hoffman sin techo aparece como el sucesor del Hoffman de Bock, con lo cual se superaron los inconvenientes derivados de tener un horno enterrado a un nivel diferente del resto de la planta industrial. Al estar completamente expuesto sobre la superficie, el Hoffman sin techo tiene paredes más anchas que sus 2 antecesores para asegurar el aislamiento térmico; sin embargo, sus paredes son más delgadas y de menor complejidad que las paredes de los Hoffman convencionales, pues no tienen que soportar ni el peso ni la presión lateral que ejercen las bóvedas. Al horno Hoffman sin techo, su nombre lo describe de manera breve y exacta. Este tipo de horno surgió en los países en desarrollo para darle solución de manera práctica e ingeniosa a los mayores inconvenientes que presenta la construcción de un horno Hoffman tradicional en medio de economías débiles. Su uso está ampliamente difundido en países como la India y Pakistán. El cargue de los productos dentro del horno Hoffman abierto se realiza de la misma manera que se realiza en los Hoffman con bóveda, es decir, dejando libre 1/3 de la sección transversal para permitir la circulación horizontal de los gases a través de las cámaras; cuando se trata de productos perforados como los ladrillos hueco, no es necesario dejar espacio entre los ladrillos, pues los gases circulan a través de las perforaciones.

Una vez apilados los productos, el horno se cubre en la parte superior de manera idéntica como se realiza en los hornos de Bock y en el Bull's Ring; en algunas fábricas suele tenderse papel periódico entre la capa de ladrillos cocidos y la capa de arena con el fin de mejorar el aislamiento y no permitir el ingreso de aire falso a la sección de quema. Adicionalmente, en todo horno Hoffman se levanta un tabique de papel para separar la zona de quema de la zona de cargue y descargue; la colocación del papel o tabique de papel en el horno Hoffman es imprescindible, puesto que se trata de dirigir el tiro en el mismo sentido que va el fuego, y de no

colocar el tabique de papel no podría conseguirse el avance del fuego en la dirección del tiro. En cualquiera de las modalidades del horno Hoffman, la alimentación del combustible se hace de igual manera; el combustible se introduce por la parte superior, ya sea de manera manual o con la ayuda de alimentadores mecánicos, carbojet. *(idem)*

- **Horno de túnel**

Son hornos continuos, de bajo nivel de contaminación, en donde el material se moviliza mediante vagones que se desplazan a través de la galería. La concepción de este horno responde a la idea de fijar una zona de fuego y hacer pasar los productos a cocer, siguiendo la curva de calentamiento del horno. Ello supone la ventaja de ahorro de calorías en el enfriamiento y precalentamiento del horno, además de la economía de mano de obra en el cargue y descargue de los ladrillos y mayor rapidez en la etapa de cocción. La longitud del horno fluctúa entre 70 a 150 m. El combustible se suministra por la parte superior mediante un sistema de transporte neumático, el cual disminuye totalmente la contaminación en esta etapa. Este horno es utilizado por industrias altamente tecnificadas y con altos niveles de producción. *(idem)*

- **Horno de rodillo**

Los hornos de rodillos son una modificación del horno Túnel, son hornos continuos en donde el material a cocer no es transportado en vagonetas, sino mediante una serie sucesiva de rodillos cerámicos, de donde proviene su nombre. Estos hornos tienen generalmente 2 o 3 líneas de flujo por donde circula el material a cocer. El combustible utilizado en estos hornos es gas y su utilización prevé una economía de combustible. El gas es introducido por la parte lateral; existen varios tipos de quemadores, uno frente al otro, un sistema diferente es que el quemador de la izquierda lanza el fuego hacia la bóveda y el de la derecha hacia la carga a cocer. La alimentación de gas en cada mechero está regulada por un registro y poco antes

del quemador se encuentra una cámara de combustión. El colector supone una gran economía, pues las cámaras son muy pequeñas. El aire secundario para ser insuflado en los quemadores, es calentado previamente. *(idem)*

- **Horno de cámaras múltiples**

Consiste en una serie de cámaras individuales pero conectadas entre sí y comparten el mismo cañón de chimenea; existen hasta de 20 cámaras en algunos casos, son hornos de alta producción. Su funcionamiento es muy sencillo, el encendido se inicia en la primera cámara haciendo pasar el calor residual de los gases de combustión a las siguientes cámaras para precalentar y completar el secado de los productos cargados, cuando la primera cámara ha alcanzado la temperatura de cocción, la segunda cámara estará entre los 300 a 400°C.; para cuando esto suceda se inicia la combustión en la segunda cámara y la tercera cámara aprovechará el calor residual de la segunda cámara así sucesivamente hasta completar la serie, cabe indicar que cada cámara tiene su compuerta para la combustión. Estos hornos son muy eficientes puesto que reducen enormemente el tiempo de operación, como también los costos de operación. Es importante tener presente, que siendo un horno continuo, por estar conformado por múltiples cámaras paralelas interconectadas, cada cámara se puede considerar como un horno independiente, donde podemos ajustar las tres etapas básicas para la quema de productos cerámicos: precalentamiento, cocción y enfriamiento.

Su funcionamiento es muy sencillo y similar al Hoffman, ya que el fuego se desplaza a través de las cámaras y por ductos en la parte inferior del horno, el cual constituye otra trampa adicional para las cenizas que no se depositen en el hogar de combustión. Cada cámara consta de la zona de combustión, zona de arrume o apilamiento del material y laberintos de tiro y succión-conducción del aire a la siguiente cámara; en la zona de combustión están las toberas de quema y el ducto de tiro y está separada de la zona del material mediante un muro y en la zona del

material se encuentra las mirillas o cánulas para control de temperatura y observación y la tobera de recuperación de aire caliente para el secadero. Cabe anotar que el piso de esta zona es un emparrillado compensado que permite el paso del aire caliente hacia la otra cámara a través del laberinto, laberinto diseñado de tal manera que la succión sea homogénea en toda la cámara. *(ídem)*

La zona de combustión es una sección dentro de cada cámara y es donde se mezcla el aire secundario de combustión con el primario y el combustible; el aire secundario proviene de las cámaras inmediatamente anteriores y que no se aprovecha en la recuperación para el secadero. Este aire por encontrarse a temperaturas entre 600- 700°C benefician la combustión.

- **Horno vertical BSVK**

El horno vertical – VSBK, por sus siglas en inglés, consta de una o más cámaras situadas dentro de una estructura de bloques rectangulares. Estas son de 1 a 1,25 metros de ancho con una longitud nominal de 1 m, 1,5 m, 1,75 m o 2,0 m. La altura del horno varía dependiendo el número de lotes que se vayan a cocer por ciclo, generalmente es entre 8 y 13 lotes. La cámara se carga desde la parte superior con un lote de ladrillos crudos. Cada lote contiene típicamente cuatro capas de ladrillos colocados en un patrón predeterminado. Este lote descansa sobre unas barras de apoyo cuadradas, las cuales se puede remover o insertar, y apoyado a su vez por un par de vigas horizontales a través de los arcos en el túnel de descarga. Para la evacuación de los gases de escape se disponen de dos chimeneas rectangulares en las esquinas opuestas de cada cámara. Se utilizan unas cubiertas para cubrir la parte superior de la cámara dirigiendo los gases de la chimenea a través del cañón de la misma. Durante el arranque del horno, el fuego es encendido en la cámara de combustión en la parte inferior (o superior) del horno. Durante el funcionamiento continuo, un lote de ladrillos crudos es cargado en capas por la parte superior. La descarga se realiza desde la parte inferior con un carro de descarga, que se desplaza sobre rieles a lo largo de la longitud del túnel. El siguiente lote de ladrillos crudos se carga en la parte superior subiéndolos a la plataforma de carga. La

frecuencia de descarga - carga varía entre 90 a 150 minutos. El tiempo de residencia de un lote en el horno varía entre 15 a 30 horas. *(Ídem)*

- **Horno MK y MK III**

El Horno MK es un horno que busca canalizar el flujo (Energía y gases de combustión) a través de la arcilla cruda. Para logra esto es necesario considerar un horno de dos etapas. En primer lugar para canalizar el flujo a través de arcilla, era necesario para cubrir el techo abierto del horno tradicional; esta etapa por sí sola genera una reducción de las emisiones dañinas (PM, SOx, NOx, CO), debido a que el horno se hizo más eficiente térmicamente y su quema más limpia, mientras que una pequeña chimenea de escape de combustión permite un flujo adecuado. En segundo lugar la chimenea estaba cubierta y el efluente del horno se alimenta, a modo de conectar los canales de flujo, a través de un horno doble lleno de ladrillos sin cocer, que sirvió como un filtro de elemento pasivo para reducir aún más las emisiones. El papel activo y pasivo de los dos hornos se invierten en el éxito quemar, y así sucesivamente.

El MK-3 es una modificación del horno MK original, el sistema se compone de tres hornos modulares, en vez de dos; que se caracterizan por estar interconectados por túneles subterráneos por los cuales circulan los gases calientes de cocción de uno a otro módulo. El funcionamiento es simultáneo en dos de ellos (uno de cocción y el segundo de calentamiento), mientras que el tercero está siendo vaciado y posteriormente cargado con ladrillos crudos. Así se produce una suerte de rotación y trabajo continuo. *(Ídem)*



Tabla 1.1. Adaptación de hornos en el mundo <sup>(18)</sup>

INSTITUCION	PAIS	PROBLEMÁTICA	MITIGACION	PRODUCCION POR QUEMA	HORNO ADAPTADO	COMBUSTIBLE
SWISSCONTACT	BANGLADESH	AMBIENTAL: HIDROLOGICO/EDAFOLOGICO	CONSERVACION HIDRICA SUBTERRANEA Y SUPERFICIAL	50 A 70 MIL	VERTICAL/HOFFMAN	CARBON/RESIDUOS DE ARROZ
SWISSCONTACT	CHINA	AMBIENTAL: HIDROLOGICO/EDAFOLOGICO	CONSERVACION HIDRICA SUBTERRANEA Y SUPERFICIAL	50 A 70 MIL	VERTICAL/CAMARAS MULTIPLES/HOFFMAN	CARBON/RESIDUOS DE ARROZ
SWISSCONTACT	INDIA	AMBIENTAL: EDAFOLOGICO	COMPENSACION DE SUELOS	60 A 80 MIL	VERTICAL/CAMARAS MULTIPLES/HOFFMAN	CARBON/RESIDUOS DE ARROZ
SWISSCONTACT	VIETNAM	AMBIENTAL: HIDROLOGICO	CONSERVACION HIDRICA SUBTERRANEA Y SUPERFICIAL	50 MIL	VERTICAL/CAMARAS MULTIPLES	CARBON/RESIDUOS DE ARROZ/LEÑA
SWISSCONTACT	SENEGAL	AMBIENTAL: EDAFOLOGICO	COMPENSACION DE SUELOS	20 MIL	COLMENA/VERTICAL/HOFFMAN	LEÑA/CARBON
SWISSCONTACT/UNION EUROPEA	BRASIL	AMBIENTAL: ATMOSFERICO/DEFORESTACION	REDUCCION DE EMISIONES A LA ATMOSFERA	20 MIL	ESCOCES/COLMENA	RSU/LEÑA
SWISSCONTACT	BOLIVIA	AMBIENTAL: ATMOSFERICO	REDUCCION DE EMISIONES A LA ATMOSFERA	20 A 40 MIL	ESCOCES/CAMPAÑA/VERTICAL/MARK	LEÑA/GAS NATURAL
SWISSCONTACT	PERU	AMBIENTAL: ATMOSFERICO/DEFORESTACION	REDUCCION DE EMISIONES A LA ATMOSFERA	20 A 40 MIL	ESCOCES/CAMPAÑA/VERTICAL	LEÑA/GAS NATURAL
SWISSCONTACT	ECUADOR	AMBIENTAL: ATMOSFERICO	REDUCCION DE EMISIONES A LA ATMOSFERA	10 MIL	ESCOCES/CAMPAÑA/VERTICAL	LEÑA/GAS NATURAL
SWISSCONTACT	COLOMBIA	AMBIENTAL: ATMOSFERICO	REDUCCION DE EMISIONES A LA ATMOSFERA	10 MIL	ESCOCES/CAMPAÑA/MARK	LEÑA/CASCABILLO DE CAFÉ
SWISSCONTACT	MEXICO	AMBIENTAL: ATMOSFERICO/DEFORESTACION	REDUCCION DE EMISIONES A LA ATMOSFERA/	10 MIL	ESCOCES/CAMPAÑA/MARK/COLMENA	LEÑA/GAS LP

**Tabla 1.2, matriz de comparación de hornos utilizados en Asia, África y América Latina <sup>(18)</sup>**

Criterios	Horno de Fuego Dormido	Horno Pampa	Horno Baúl	Horno Colmena	Horno Vagón	Horno Rápido intermitente	Horno Hoffman	Horno Bull's Trench Kiln (BTK)	Horno Hoffman de Bock	Horno Hoffman Abierto	Horno Túnel	Horno de Rodillos	Horno de Cámaras Múltiples	Horno Vertical VSBK	Horno MK
Capacidad de Horno	Regular	Alta	Alta	Baja	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Regular	Regular	Regular
Tipo de Horno	Intermitente	Intermitente	Intermitente	Intermitente	Semi Continuo	Semi Continuo	Continuo	Continuo	Continuo	Continuo	Continuo	Continuo	Continuo	Continuo	Continuo
Tipo de combustible	Variable	Variable	Variable	Variable	Fijo	Fijo	Fijo	Fijo	Fijo	Fijo	Fijo	Fijo	Variable	Fijo	Fijo
Permite cambiar a otro combustible	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	No	Si
Homogeneidad de temperatura	Regular	Regular	Regular	Media	Media	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Energía por Kg/ de ladrillo	Alta	Alta	Alta	Media	Media	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
Permite recuperar calor para el secado	NO	NO	NO	NO	NO	NO	Si	NO	NO	NO	Si	Si	Si	No	Si
Habilitado para producir tejas	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	NO	NO	NO	Si	Si	Si	No	Si

#### **1.1.4. Los hornos artesanales de mayor uso en el país**

##### **Hornos de campo o campaña (Centro y norte del país)**

- El horno tipo Campaña es el más utilizado en Latinoamérica.
- Se arman apilando los adobes en forma de pirámide trunca.
- Dimensiones variables, 10 a 15 m de largo por 6 a 10 m de ancho y una altura de alrededor de 4.50 m.
- Cocimiento variado de 50 a 80 mil ladrillos. <sup>(11)</sup>

##### **Hornos tipo pampa o tipo Escocés (Centro y sur del país)**

- En Chiapas se denomina Horno Tradicional
- Horno de forma rectangular, para producción de 12,000 ladrillos.
- Ubicado por lo regular cercano a los bancos de arcilla.
- Temperaturas entre 800 a 1,000 °C.
- El combustible utilizado es de aserrín o leña. <sup>(idem)</sup>

##### **Hornos tipo colmena (Centro del país)**

- Horno de forma cilíndrica, para producción de 6,000 ladrillos.
- Temperaturas entre 800 a 1,000 °C.
- El combustible utilizado es de aserrín o leña o gas L. P. <sup>(idem)</sup>

##### **Hornos tipo Cámara o Escalonado (Centro del país)**

- Varias cámaras están enlazadas entre sí sobre un lugar con pendiente.
- Este diseño utiliza una circulación de tipo ascendente.
- Hay mejora en la eficiencia térmica, así mismo, la cocción se mantiene en general a una alta temperatura de 1,300° C.
- Producción de 6,000 ladrillos por cámara. <sup>(idem)</sup>

## 1.2. Descripción de la problemática

De acuerdo con investigaciones realizadas alrededor del mundo sobre los tipos de hornos utilizados en la cocción de ladrillos, la problemática que se ha presentado y se sigue presentando en hornos artesanales es el de la eficiencia energética, en donde los diseños que se han implementado pierden el calor al momento de la cocción de los ladrillos y no se distribuye de manera uniforme dentro de él, por lo que se genera un aprovechamiento poco eficiente del combustible en el proceso de cocimiento. <sup>(59)</sup>

Rhodes <sup>(59)</sup> considera que los principales factores que contribuyen en la ineficiencia de hornos artesanales en las diversas poblaciones ladrilleras del país son:

- ✓ Baja inversión en los materiales de construcción y estructuración del horno artesanal.
- ✓ No existe un diseño adecuado respecto a la forma del horno artesanal en la zona de producción.
- ✓ No existe calentamiento homogéneo en el interior del horno.
- ✓ Pérdida de calor por fisuras en hornos.
- ✓ Alto desperdicio de piezas por sobrecocimiento o falta de cocción (merma).
- ✓ Existe variabilidad en los grosores de muros y recubrimientos en los hornos existentes.
- ✓ Resistencia a la introducción de nuevas tecnologías de producción de ladrillos debido a patrones culturales (tradición familiar) arraigados en productores artesanales de la zona.
- ✓ La inversión económica es nula para adaptar la geometría y espesores del horno de acuerdo a la experiencia empírica de los ladrilleros.
- ✓ Encarecimiento del combustible utilizado en el proceso de cocción de ladrillos conforme a la temporada de producción de la biomasa, principalmente olotes de maíz y cascabillo de café.

Por lo tanto haciendo referencia con lo anteriormente mencionado, en la zona de estudio, la cabecera municipal de Chiapa de Corzo, tiene problemáticas

similares, añadiendo que la mayoría de los ladrilleros rentan las tierras en donde se extrae la arcilla y donde tienen los hornos artesanales, ya que los pagos que realizan a los propietarios provoca que los hornos convencionales no estén bien conformados ya que la mayoría no tiene el recurso económico para arreglarlos; por lo que se genera en los hornos mismos el problema de no alcanzar la temperatura necesaria para una cocción de los ladrillos de manera homogénea ya que hay mucha pérdida de calor tanto en muros como techos de estos hornos, presentándose mermas considerables. Otra situación que se presenta es el uso de diferentes tipos de combustibles ya que depende de la temporada y del precio de los mismos es como van adquiriéndolos siendo desde uso de cascabillo de café, aserrín y olote principalmente, sumándose a esto la resistencia en la implementación de otras tecnologías o de hacerle modificaciones a la forma de los hornos que deriva por la falta del recurso monetario o por cuestiones de usos y costumbres del uso de la misma forma de los hornos que han utilizado en la tradición familiar ladrillera.

### **1.3. Justificación**

Desde el comienzo de la era industrial, los mayores ahorros de energía se han conseguido mediante modificaciones en los procesos productivos y los hornos de ladrillos no son la excepción, ya que durante años, de acuerdo con la región donde se ubique la producción local de ladrillos para abastecer cierta área de un país, los hornos se han adaptado desde su forma hasta el tipo de combustible a utilizar para la cocción de la producción. Estas adaptaciones han ido en la búsqueda de ahorros de energía mediante mejoras de aislamientos, rediseño a las formas de las edificaciones de los hornos y el empleo de energías alternativas como combustible.

(59)

En el caso de los hornos artesanales esta adaptación a los cambios industriales y tecnológicos no se ha visto de manera continua u homogeneizada ya que como se ha mencionado depende de la región en donde estos se ubiquen, así como las adaptaciones a las mejoras en los cambios estructurales, de diseño y de

suministro de energía; lo cual va relacionado con el medio social y de la cooperación de la misma población que tiene el sustento económico al trabajar en esta industria.  
(Ídem)

La fabricación de ladrillos en México se realiza básicamente mediante técnicas de fabricación artesanal y con hornos de diferentes tipos principalmente rectangulares y cilíndricos (tipo campaña y escocés) que se ajustan a las condiciones socioeconómicas de los fabricantes. Estos hornos tradicionales se caracterizan por utilizar combustibles contaminantes como basura, llantas, residuos agrícolas, plásticos, viruta de madera, aceites usados, entre otros. Por la creciente importancia y los efectos que ocasionan los combustibles contaminantes en el medioambiente y en el ser humano, en México se han explorado diferentes alternativas en el uso de tecnologías que permitan disminuir o eliminar esta problemática. Estas alternativas integran hornos tradicionales mejorados, hornos semicontinuos con utilización de biomasa y hornos con dos cámaras <sup>(53)</sup>; estas adecuaciones se han realizado de acuerdo con estudios y cooperaciones internacionales en el noreste de México (Coahuila), en la zona centro-sur (Guanajuato), y en el suroeste (Oaxaca), es decir se generan prototipos adecuados por regiones geográficas y sociales muy bastas; pero no aterrizadas puntualmente. Ya que el prototipo realizado en la zona mixteca de Oaxaca, no significa que funcione en la zona centro del estado de Chiapas o en la costa Grande de Guerrero.

Según observaciones de Zea-Osorio <sup>(67)</sup>, se considera que el proceso de producción cambia en cada región, principalmente por la calidad de la arcilla, pudiendo ser de bancos de arcilla que estén a orillas del río o cercanos a costas o en el sitio donde se asientan los hornos, se tomará siempre la arcilla más cercana a los mismos, por lo que la calidad de estas varían ocasionando que no haya control de calidad de los ladrillos ni en el modo de cocción. Otra situación que depende de la región en la que se ubican los hornos corresponde al tipo de empresa, ya sea familiar o sociedad cooperativa, donde la realización de ladrillos y utilización de cierto tipo de hornos va pasando de generación en generación, siendo única fuente de ingresos de las personas o comunidades que trabajan en esta industria, por lo

que los cambios o adecuaciones a los sistemas de producción no se asimilan rápidamente por la población o se genera cierto rechazo a las nuevas técnicas y tecnologías de producción.

Como se ha mencionado anteriormente, los combustibles empleados cambian por región, inclusive dentro de un estado, por ejemplo en Chiapas no es lo mismo la costa donde puede obtenerse biomasa del café, a la zona centro donde la biomasa es el olote; o el norte del estado donde la biomasa es la hoja de plátano. Lo mismo se genera en otros estados del país donde en la zona del Bajío, por ser zona con mayor industria los combustóleos y aceites quemados es lo que más se utiliza, o en el caso del norte del país en Nuevo León la red de gas natural puede emplearse en la producción de ladrillos y esto conlleva a que cada horno esté adaptado al combustible. <sup>(26)</sup>

Además de los puntos comentados, la investigación toma importancia ya que requiere un mejoramiento de los hornos tradicionales existentes en la zona de estudio, siendo está la adaptación geométrica como posible solución para lograr la homogenización adecuada de la temperatura, para alcanzar la correcta cocción de los ladrillos, mejorando las características físicas y mecánicas del producto, reduciendo el tiempo de cocción y los porcentajes de merma en cada quema.

#### **1.4. Hipótesis**

- La adecuación al diseño geométrico de un horno artesanal de ladrillos utilizado en el sector sur-oriente de localidad de Chiapa de Corzo, Chiapas, homogenizará la temperatura dentro de la cámara de cocción para optimizar el proceso de cocción de ladrillos y reducirá el número de piezas de merma.



## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo general**

- Adecuar el diseño geométrico de un horno artesanal de ladrillos para la homogenización de la temperatura interna del mismo, en el sector sur-oriente de la localidad de Chiapa de Corzo, Chiapas.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Evaluar las temperaturas exteriores e interiores del horno tradicional durante una quema típica analizando su comportamiento térmico.
- Realizar la simulación térmica de 3 propuestas de horno en el programa Ansys determinando la mejor alternativa para su construcción.
- Construir el horno propuesto en sitio para la evaluación del comportamiento térmico del mismo y la optimización de la cocción de ladrillos.
- Analizar la resistencia a la compresión de los ladrillos del horno tradicional y adaptado de acuerdo a la NMX-C-441-ONNCE-2011 de tabiques no estructurales.

## **2. Estado del arte**

La propuesta para el diseño geométrico del horno artesanal se encuentra fundamentado con base en investigaciones realizadas principalmente a nivel Latinoamérica, mismas que fungirán como información complementaria para adecuar propuestas para el mejoramiento del diseño. Los temas que se encuentran directamente relacionados al proyecto de investigación son los siguientes:

- I. Modelamiento y simulación de un horno túnel industrial. Realizado por Gómez Gutiérrez y Carlos Andrés <sup>(27)</sup>, en Colombia. El estudio genera propuestas para la adaptación de hornos a nivel industrial, haciendo énfasis en cálculos de

niveles de producción de ladrillos y estableciendo propuestas acerca de las dimensiones y volúmenes de los mismos.

- II. Diseño de un horno para cocción de ladrillos refractarios en una empresa del sector ladrillero. Realizado por: Emanuel de Jesús Fontalvo Porras y Eliver José Gutiérrez Robles <sup>(27)</sup>, en Colombia. El proyecto de investigación propone diversos tipos de diseños de hornos industriales, así como información específica sobre los montos de inversión, propuestas para la fabricación de diferentes tipos de ladrillos, así como la descripción de la operatividad de los hornos. Cabe destacar que la propuesta no es ejecutada, por lo que únicamente presenta bases teóricas.
- III. Tecnología para fabricar ladrillos. Realizada por Robert Márquez y adaptada por Ingeniero sin Fronteras (2015), en México. El estudio se centra en la adaptación de un horno cilíndrico con chimenea adosada, que tiene como propósito disminuir las emisiones generadas en la zona, a partir del cambio de combustible (leña) por lubricantes con alto valor calorífico. La propuesta no brinda especificaciones técnicas.
- IV. Ingeniería para ladrilleras. Mario Sisti <sup>(64)</sup>, en Argentina. El artículo establece las expectativas a futuro sobre la comercialización y expansión del mercado de las ladrilleras artesanales, haciendo énfasis sobre los beneficios de la semi-industrialización que presentaría la técnica.
- V. Residuos de biomasa utilizados en la fabricación de ladrillos de cerámica roja en el estado de Chiapas. Realizado por Eddy González García <sup>(30)</sup>, En México. La investigación se centra en la propuesta de utilización de cascabillo de café como aditivo a la mezcla de arcilla para la producción de ladrillos. El estudio genera una metodología para el aprovechamiento eficiente de la biomasa agrícola. Se hace la comparativa de la resistencia del ladrillo cocido a diferentes

porcentajes de mezcla en relación al ladrillo convencional y otras biomásas agrícolas.

- VI. Propuesta de automatización y modernización de horno para cocido de ladrillo rojo. Realizado por Luis Ramírez y Evelyn Rosas (2016), en México. Establece bases teóricas sobre los procesos de ingeniería para la automatización de los hornos, sobre la cual se prevé una mayor producción y minora en las emisiones a la atmosfera.
- VII. Mejoramiento de la eficiencia térmica de un horno convencional para fabricar ladrillo artesanal. Realizado por Abdiel Gómez, Isamar Jiménez, Osiris Ávila, Celerino Reséndiz (2016), en Bolivia. Se presenta un estudio teórico-experimental de un horno convencional de producción de ladrillos para mejorar su eficiencia energética, se lleva a cabo un análisis de la transferencia de calor en el horno, determinando los perfiles de temperatura y el flujo de calor requerido para la cocción adecuada de ladrillos. Información basada en campo en lo que se observa en el horno convencional existente y en la entrevista al operador del horno en relación al comportamiento y temperatura alcanzable. La modelación de la mejora del horno se da a 4 caras, sin considerar la quinta cara que es el techo del mismo; la modelación en ansys fluent arroja las dimensiones recomendadas y el número de chimeneas que debería tener.

## 2.1. Proceso de fabricación de ladrillos

El proceso de fabricación del ladrillo no ha cambiado mucho a través del tiempo; las etapas que intervienen son extracción, mezclado, modelado, secado y cocción.

- a) **EXTRACCIÓN.** La extracción en sitio de la arcilla, se realiza con herramienta básica como pico y pala, separando los residuos que pueden ser orgánicos

como raíces, pequeñas ramas y hojas, así como inorgánicos como pequeñas rocas, con el fin de evitar la contaminación de la arcilla, previniendo la fabricación de ladrillos que puedan contener defectos.

- b) **MEZCLADO.** La forma de hacer la mezcla consiste en formar un montículo en forma de recipiente por donde se deja caer el agua. Primero se revuelve con la ayuda de una pala, después se amasa con los pies hasta quedar de manera uniforme, dejando reposar la mezcla durante 24 horas. En algunas ocasiones se utilizan materiales como la arena o cascabillo de café para que la mezcla sea más manejable y se pueda trabajar sin el inconveniente de que se pegue al molde. Esta práctica se realiza sin considerar las consecuencias que tiene en la calidad final del ladrillo, puesto que en el momento de llevarla a cabo, lo más importante es precisamente la facilidad con que el la pieza se despegue del molde. <sup>(30)</sup>
- c) **MODELADO.** El moldeado se realiza de manera artesanal. Las formas de moldear los ladrillos crudos se realizan de la siguiente manera: hecho a mano, es arcaico y rudimentario, presenta una superficie rugosa que proporcionan condiciones especialmente adecuadas para recibir revoques. El modelado se efectúa a mano introduciendo la arcilla en un molde doble, para dos adobes <sup>(32)</sup>, o molde de madera para 5 ladrillos. <sup>(30)</sup> El molde de madera es un bastidor que se asemeja a una caja sin tapa ni fondo, las dimensiones son poco mayores que las del ladrillo terminado teniendo en cuenta la retracción de la materia prima, que dependerá de sus componentes; seguidamente con una tablilla se retira el barro sobrante y así es llevada a la cancha de oreo, donde viene depositado en el suelo, se retira el molde y se limpia con agua en la misma mesa o sitio de moldeo para volver a usarlo. <sup>(32)</sup>
- d) **SECADO.** Al terminar el moldeado, se deja secar al sol durante 24 horas, de manera que los ladrillos que van perdiendo la humedad inicial sean colocados de canto; luego son puestos en hileras, en donde se terminan de

secar. El tiempo de secado varía según las condiciones del clima que puede ser de 3 a 10 días. En el caso de la temporada de lluvia los ladrillos se cubren con lonas de polímeros comúnmente llamadas plásticos.

- e) **COCCIÓN.** Una vez que los ladrillos están secos se colocan dentro del horno de cocción; el llenado inicia por la base del mismo y la forma de acomodarlos es en forma de arco o de arquería, para que puedan soportar su propio peso y para que el calor se distribuya de mejor manera. <sup>(30)</sup> El tipo de horno utilizado es por lo regular del tipo intermitente a cielo abierto, campaña, escocés o de colmena <sup>(18)</sup>; Los diferentes hornos presentan capacidades variables de 5000 (INECC, 2012) a 30,000 ladrillos; el tiempo promedio de cocción es de 30 horas. <sup>(30)</sup> El combustible utilizado es madera residual, residuos sólidos urbanos (PET) o llantas usadas; en el caso de la biomasa se utiliza leña, cascabillo de café, olote, residuo de caña de azúcar, entre otros. <sup>(idem)</sup>



Figura 2.1 Proceso de elaboración de ladrillos artesanales. Fuente: Autor propio.

## 2.2. Arcilla

La principal materia prima en la elaboración de ladrillos es la arcilla (barro), la cual es extraída del suelo. La arcilla se compone por material sedimentario descompuesto y se constituye por agregados de silicatos de aluminio hidratados

procedentes de la descomposición de rocas que contienen feldespato (como el granito). Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, desde el blanco (cuando es pura) hasta el rojo anaranjado. <sup>(26)</sup>

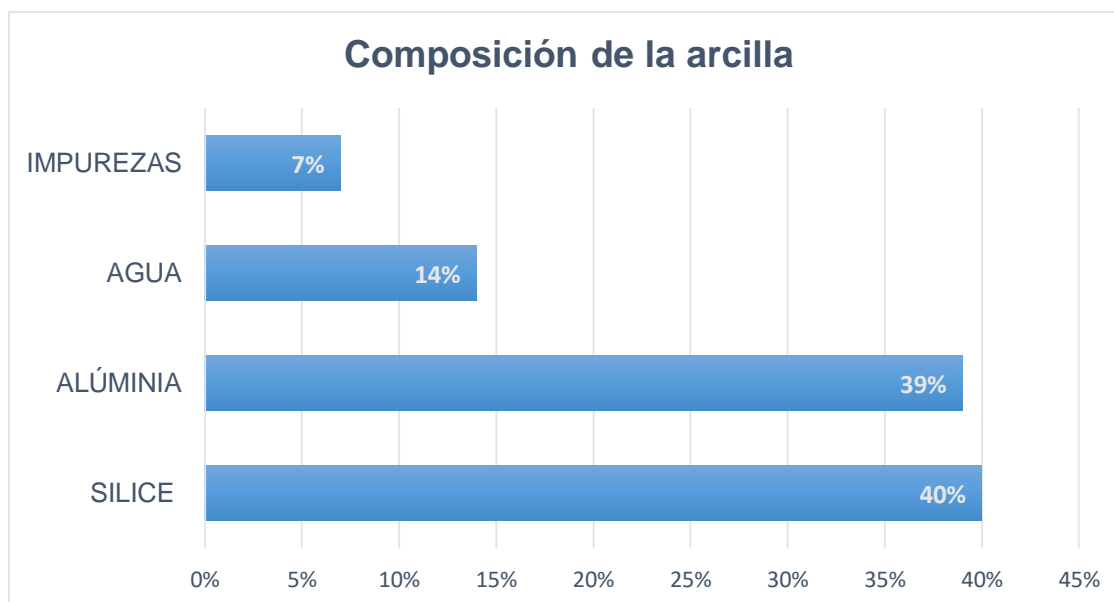
De forma general, se considera arcilla a todo material sedimentado poco constituido, integrado en su mayor parte por los denominados minerales de arcillas; filo silicatos de aluminio, magnesio y hierro, entre los que merecen mencionarse la caolinita, montmorillonita, illita, vermiculita, hallysita, etc. <sup>(idem)</sup>

### 2.2.1. Características químicas de la arcilla

La composición y naturaleza de la arcilla, determinan el uso y valor de esta. Es así que algunos de sus componentes tienen influencia sobre algunas de sus propiedades. El cuarzo disminuye la plasticidad y la retracción y contribuye a hacerla refractaria. El silicio en forma coloidal aumenta la plasticidad. El aluminio la hace refractaria. El óxido de hierro, disminuye la temperatura de fusión, actúa como fundente y también es un poderoso agente colorante. Un poco de óxido de hierro colorea intensamente la arcilla tostada pero una gran cantidad la convierte en un producto rojo o blanco si tiene el 5% o menos. Los filosilicatos de aluminio, manganeso y hierro le proporcionan a la arcilla cualidades plásticas y si bien es cierto que intervienen otros que tienen propiedades diferentes, contribuyen a darles cualidades que determinan su uso. <sup>(16)</sup>

La composición química de la arcilla de manera porcentual, está conformada por sílice, agua, alúmina y otras impurezas presentes en la tierra: Silicio: 40%, Agua 14%, Alúmina 39%; e impurezas como óxido de hierro y calcio, potasio, sodio (Gráfico 2.1; Tabla 2.1).

**Gráfico 2.1. Composición porcentual (%) de la arcilla <sup>(16)</sup>**



**Tabla 2.1.- Componentes químicos de la arcilla. <sup>(32)</sup>**

COMPONENTE	CORTEZA TERRESTRE %	ARCILLA ROJA COMUN %
Óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ )	59.14	57.02
Alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	15.34	19.15
Óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	6.88	6.70
Óxido de magnesio ( $\text{MgO}$ )	3.49	3.08
Óxido de calcio ( $\text{CaO}$ )	5.08	4-26
Óxido de sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ )	3.84	2.38
Óxido de potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ )	3.13	2.03
Agua ( $\text{H}_2\text{O}$ )	1.15	3.45
Óxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ )	1.05	0.91



## 2.3 Principio básicos de transferencia de calor de diseños de hornos

Hacer mención de la transferencia de calor es hablar de la termodinámica y sus principios, esta es la ciencia que se ocupa de la cantidad de transferencia de calor desde un estado de equilibrio inicial a otro, y no hace ninguna referencia o indicación a la duración del proceso. Es decir un análisis termodinámico simplemente nos dice cuánto calor debe ser transferido para realizar un cambio de un estado de equilibrio específico a otro, para satisfacer el principio de conservación de la energía. <sup>(58)</sup>

Los actores principales de esta transferencia son el calor y la temperatura, la primera es la energía total del movimiento molecular en una sustancia, mientras temperatura es una medida de su energía molecular media. El calor depende de la velocidad de las partículas, su número, su tamaño y su tipo. La temperatura no depende del tamaño, del número o del tipo sino de la energía térmica total acumulada. <sup>(54)</sup>

La transferencia de energía (el calor) se realiza siempre desde el medio de temperatura más alta (medida más elevada) a la de temperatura más baja y se detiene cuando los dos medios alcanzan la misma temperatura y por lo tanto un estado de equilibrio térmico. <sup>(58)</sup>

La determinación de las velocidades de transferencia de calor hacia o desde un sistema y, por lo tanto, los tiempos de calentamiento o enfriamiento, así como la va

La transferencia de juega un papel determinante en el diseño de prácticamente todos los equipos y dispositivos que nos rodean, inclusive del tema del proyecto de investigación que es un horno artesanal para la producción de ladrillos.

El calor puede transferirse de tres maneras que son los métodos por conducción, por convección y por radiación y siempre uno de ellos predomina sobre los demás.

La transferencia de calor por conducción está basado en el contacto directo entre los cuerpos o a través de un mismo cuerpo. En la conducción no se produce transferencia de materia, sólo de energía. En un espacio a mayor temperatura, las moléculas vibran o se mueven con una mayor velocidad. Al interactuar con las moléculas vecinas de menor temperatura, ya sean del mismo cuerpo o de otro que esté en contacto con el primero, les transfieren parte de su energía. <sup>(44)</sup>

La transferencia de calor se mide en términos matemáticos con la fórmula de la Ley de Fourier, con la cual se afirma que la velocidad de conducción/transferencia de calor a través de un cuerpo por unidad de sección transversal es proporcional al gradiente de temperatura que existe en el cuerpo:

$$Q = -k \times A \times \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

El factor de proporcionalidad  $k$  se denomina conductividad térmica del material e indica la cantidad de calor que se transfiere por unidad de tiempo, por grado de temperatura y por unidad de longitud.  $A$  es un área que puede cambiar si depende de la distancia ( $dx$ ), por lo que se debe usar una media adecuada ( $A_m$ ). En el caso de una sección normal constante – paredes de un edificio – ,  $A_m = A$ . <sup>(44)</sup>

Siendo la ley de Fourier la utilizada en el diseño y experimentación de la transferencia de calor en el interior del horno artesanal.

Las otras dos leyes no aplican en el tema de investigación, el método de la convección, la cual transfiere calor por el intercambio de moléculas frías y calientes. Se presenta cuando una superficie a cierta temperatura está en contacto con un fluido en movimiento a temperatura diferente. En esta aplica la fórmula de la

ley del enfriamiento de Newton, la cual define el calor transmitido desde la superficie de un sólido a un fluido en movimiento. <sup>(58)</sup>

El método por radiación es la transferencia de calor que se realiza a través de ondas electromagnéticas. Se podría catalogar como transporte molecular ya que la energía es producida por los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas constitutivas y transportadas por las ondas electromagnéticas o fotones. No existe contacto directo entre los dos medios y el intermedio o interfase no participa en las funciones de intercambio – en la mayoría de ocasiones es el aire, aunque también hay transferencia de calor a través del vacío. <sup>(58)</sup>

La ley de Max, se basa en la expresión matemática de la mecánica estadística para formular la ley fundamental de la radiación. Esta fórmula relaciona la intensidad de la energía radiante que emite un cuerpo en una longitud de onda determinada, con la temperatura del cuerpo; para cada temperatura y cada longitud de onda existe un máximo de energía radiante. Esta contribución de todas las longitudes de onda a la energía radiante emitida se denomina poder emisor del cuerpo, y corresponde a la cantidad de energía emitida por unidad de superficie del cuerpo y por unidad de tiempo. <sup>(44)</sup>

En el diseño de hornos se puede diferenciar tres tipos según su tiro o más bien según la dirección que siguen los gases en el interior de la cámara, los de tiro ascendente, tiro cruzado y tiro descendente o invertido.

En general tienen un mejor rendimiento los de tiro invertido y es que el fundamento de esta idea es que el fuego y los gases calientes estén en la cámara el mayor tiempo posible. Cuando se habla de rendimiento no es solamente de hornos que funcionan mejor o peor sino de la relación entre carga (número de piezas/volumen) y el combustible consumido, otra ventaja del tiro invertido es que reparte mejor el calor y tiende a hacer horneadas más uniformes. Sin embargo los de tiro ascendente o tiro superior tienen la ventaja de ser más sencillos de construir

y con la práctica y una buena relación entre el aire secundario y la chimenea podemos conseguir un horno relativamente uniforme. En el caso del diseño de tiro cruzado, el proceso lleva a generar elementos separados en el diseño del horno desde la cámara de combustibles, que al generar el calor pasa desde la parte inferior y que por la naturaleza de los gases y el aire caliente ascienden pero al no tener una salida en la parte superior, el aire caliente desciende y busca salida hacia la chimenea ubicada en el otro extremo de la cámara de combustible, en donde estos encuentran la salida. <sup>(32)</sup> Siendo un diseño de tiro cruzado no funcional para hornos tipo artesanal totalmente, ya que las modificaciones a las chimeneas y construcción de las mismas adosadas al horno, son complicadas de realizar y por ende el tiro de las mismas serían altas complicando su realización artesanal.

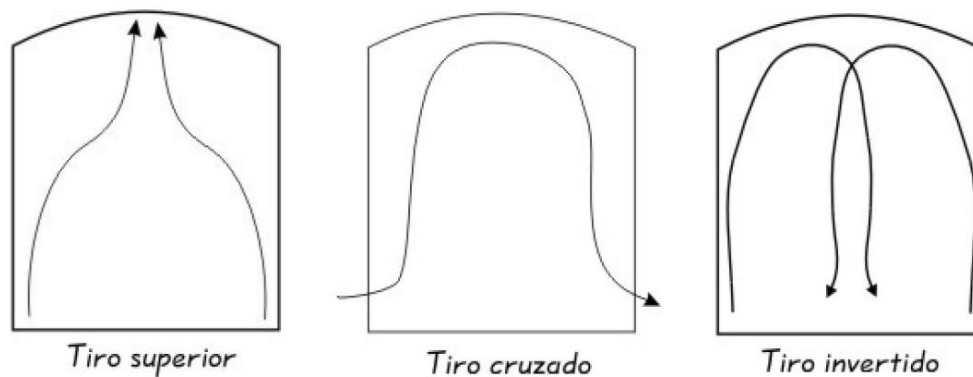


Figura 2.2. Principio básico de diseño de hornos Fuente: Gutiérrez. <sup>(32)</sup>

Lo anterior mencionado conlleva a que utilizando el método de Convección y empleando la Ley de Fourier y siguiendo el diseño de tiro superior o ascendente se realizará la experimentación a escala real en la adecuación geométrica a un horno artesanal de producción de ladrillos para lograr la homogenización interior de la temperatura para obtener la cocción de los tabiques de arcilla en relación a los resultados obtenidos en la simulación de los flujos de calor internos y externos del horno artesanal.

## 2.4 Análisis e interpretación

Mediante el desarrollo de la investigación de campo se establece que la información recopilada en los recorridos y generada en las entrevistas realizadas a los productores ladrilleros del sector sur-oriente de la localidad de Chiapa de Corzo, Chiapas, es de gran importancia para comprender el diseño, funcionamiento y métodos de cocción de los hornos utilizados en la localidad actualmente.

Sobre los temas relacionados al tema de tesis, la mayor parte habla de reducción de emisiones a la atmósfera, esto se da con cambio de combustible principalmente uso de gas l.p. o gas natural, generando hornos semi-industriales e industriales, se menciona en los temas las ingenierías de procesos de como armar el horno; hablan de generar mayor producción de ladrillos, se enfocan en el tema social de ampliar la calidad de vida de los productores de ladrillos así como de generar mayor economía al agruparse en cooperativas; así también en utilizar herramientas de apoyo para acelerar el calentamiento de los hornos. En si la temática es hacia el cambio climático, costo beneficio, así como también semi-industrialización.

En relación al tema de tesis que es la adaptación del horno artesanal, al realizar esta mejora en el horno tipo de la región de estudios es para la reducción de la merma y mejorar la homogenización térmica, en los estudios y artículos encontrados a nivel mundial y principalmente de Latinoamérica no hay investigaciones centradas en el tema de tesis en cuanto a la adaptación de espesores que ayude a homogenizar la temperatura, el más cercano en el tema es una adaptación a un horno patentado en Estados Unidos en una zona de México donde el horno tipo es el de campaña o el escocés; así como una investigación realizada en Hidalgo en donde a través de la observación de las características de un horno existente hacen simulaciones de acuerdo a lo mencionado por el encargado del horno, realizando esta simulación considerando el espesor de las 4 paredes del horno, sin considerar la quinta cara (techado), ya que la importancia era demostrar la colocación de chimeneas, se basan en el software Ansys.

Por lo anterior es en el contexto antes discutido que la propuesta toma relevancia debido que al tema seleccionado el de la mejora geométrica para homogenizar la temperatura es el primero en realizarse en la zona de ladrilleras artesanales de la parte central del Estado de Chiapas. Por lo que se continuará con el tema de investigación para conocer el comportamiento actual (temperatura, diseño actual, producción y merma) y realizar el proyecto de adaptación del horno para lograr las mejoras a las variables ya mencionadas.

### 3. Materiales y Métodos

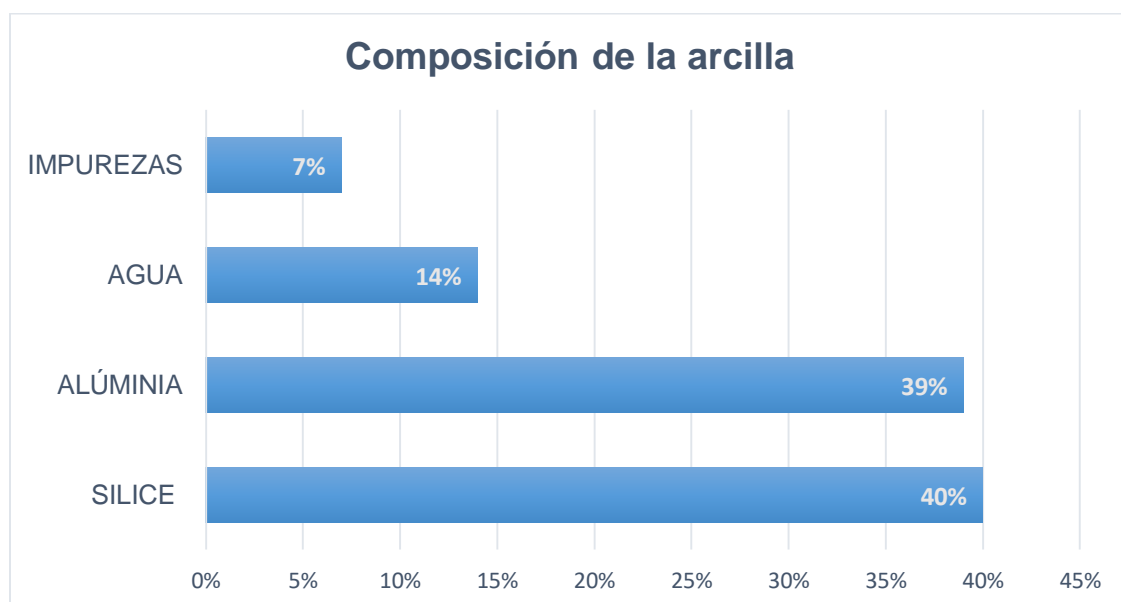
#### 3.1. Materiales

##### \*Arcilla

La composición y naturaleza de la arcilla, determinan el uso y valor de esta. Es así que algunos de sus componentes tienen influencia sobre algunas de sus propiedades. El cuarzo disminuye la plasticidad y la retracción y contribuye a hacerla refractaria. El silicio en forma coloidal aumenta la plasticidad. El aluminio la hace refractaria. El óxido de hierro, disminuye la temperatura de fusión, actúa como fundente y también es un poderoso agente colorante. Un poco de óxido de hierro colorea intensamente la arcilla tostada pero una gran cantidad la convierte en un producto rojo o blanco si tiene el 5% o menos. Los filosilicatos de aluminio, manganeso y hierro le proporcionan a la arcilla cualidades plásticas y si bien es cierto que intervienen otros que tienen propiedades diferentes, contribuyen a darles cualidades que determinan su uso. <sup>(16)</sup>

La composición química de la arcilla de manera porcentual, está conformada por sílice, agua, alúmina y otras impurezas presentes en la tierra: Silicio: 40%, Agua 14%, Alúmina 39%; e impurezas como óxido de hierro y calcio, potasio, sodio. (Gráfico 3.1; Tabla 3.1)

**Gráfico 3.1. Composición porcentual (%) de la arcilla.**





Fuente: Del Busto. <sup>(16)</sup>

**Tabla 3.1.- Componentes químicos de la arcilla**

COMPONENTE	CORTEZA TERRESTRE %	ARCILLA ROJA COMUN
		%
Óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ )	59.14	57.02
Alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	15.34	19.15
Óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	6.88	6.70
Óxido de magnesio ( $\text{MgO}$ )	3.49	3.08
Óxido de calcio ( $\text{CaO}$ )	5.08	4-26
Óxido de sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ )	3.84	2.38
Óxido de potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ )	3.13	2.03
Agua ( $\text{H}_2\text{O}$ )	1.15	3.45
Óxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ )	1.05	0.91

Fuente: Gutiérrez. <sup>(32)</sup>

### 3.2. Equipo y herramienta

Para poder realizar el análisis del estado actual del horno, en el caso del trabajo de campo, llevo 16 horas continuas, desde el inicio de llenar con combustible orgánico la cámara de cocción hasta alcanzar empíricamente la temperatura idónea en donde se determina por parte de la experiencia del ladrillero que la cocción se ha completado en su totalidad.

Este trabajo de campo conlleva a una planeación previa desde la adquisición de insumos que facilitarán 16 horas de la mayor comodidad y seguridad posible en el sitio; así como del tiempo en la búsqueda de la adquisición de los instrumentos de medición externa y la capacitación rápida y puntual del uso de los equipos que el Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentable que en conjunto con el área de Condicionantes y Componentes de la Vivienda de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), proporcionaron.

Los equipos proporcionados por la UNACH fueron los de medición externa; conformados por los siguientes equipos:

1. Cámara termográfica modelo Ti 400-150 606 63 fluke termographic.
2. Quest Emp'36 thermal environment monitor;
3. Smart View 4.3, Software para la interpretación de la información capturada por la cámara termográfica.

En el caso de la medición interna, la Coordinación de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH), asesoró en la adquisición y el manejo de instrumentos de medición interna como son

1. Módulo digital de temperatura MAX6675 con termopar tipo K con cable dupont.
2. Laptop HP Probook, para utilizar el software para la medición interna.
3. Hardware arduino uno.
4. Software Libre de Arduino.

### 3.2.1. Instrumentos de medición externo

De acuerdo a la página web de Fluke Corporation, La Cámara termográfica modelo Ti 400-150 606 63 fluke termographic, tiene las siguientes características:

- Enfoque automático con el LaserSharp la cual obtiene imágenes consistentemente enfocadas, lo cual es gracias a la tecnología láser de precisión, se puede enfocar el objetivo con precisión milimétrica y obtener la imagen y las mediciones de temperatura correctas que necesita.
- Aplicación Fluke Connect Teniendo las opciones de manejo de ver, guardar y compartir.
- Observación de los detalles cruciales que son necesarios para ayudar a identificar potenciales problemas con imágenes visuales combinadas e infrarrojas
- Interfaz sencilla de manejo.
- La pantalla táctil resistente de 8.9 cm (3.5 in) diagonal, horizontal, a color VGA (640 × 480) con retroiluminación para lograr una navegación del menú rápida.
- Uso de 3 baterías recargables inteligentes y extraíbles con pantalla LED de cinco segmentos para mostrar los niveles de carga
- Medición de alta temperatura hasta 1.200 °C
- Es una cámara digital de prestaciones industriales de 5 megapíxeles para ofrecer una calidad de imagen de alta definición.
- Incluye software de análisis e informes para aplicaciones SmartView.



Figura 3.1 cámara termo gráfica modelo Ti-400. Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo al distribuido en México 3M ciencia aplicada a la vida; El medidor Quest Emp'36 thermal environment monitor, posee los siguientes beneficios al usarse:

Las capacidades del sensor de parámetros múltiples permite la acumulación de los datos de temperatura, humedad y velocidad del aire, los cuales son necesarios para el cálculo de una gran variedad de índices de confort térmico.

Optimiza el tiempo de trabajo bajo condiciones seguras con una guía en tiempo real para los turnos de trabajo / descanso.

Elimina la necesidad de tablas, guías de bolsillo y porta-papeles en el campo

La comprensión de las condiciones meteorológicas con los valores del índice térmico y el índice Humidex.



Figura 3.2 medidor Quest emp '36. Fuente: Elaboración Propia.

### El uso del Smartview 4.3

De acuerdo al distribuido Fluke, el software para cámaras termográficas, tiene las bondades en la optimización de imágenes referente a:

- La calibración de las imágenes es con herramientas de optimización de imágenes para comunicar problemas con claridad o demostrar que los problemas se han resuelto.
- Combinación de imágenes infrarrojas parcialmente transparentes con imágenes visibles en una única vista que le permitirá identificar los problemas de manera simple.
- Modo Imagen en imagen el cual proporciona un marco visible alrededor de la imagen por infrarrojos para orientar y hacer referencia a áreas de interés.
- Alarmas de color en donde se aísla las zonas problemáticas para identificar y comunicar problemas de manera clara.

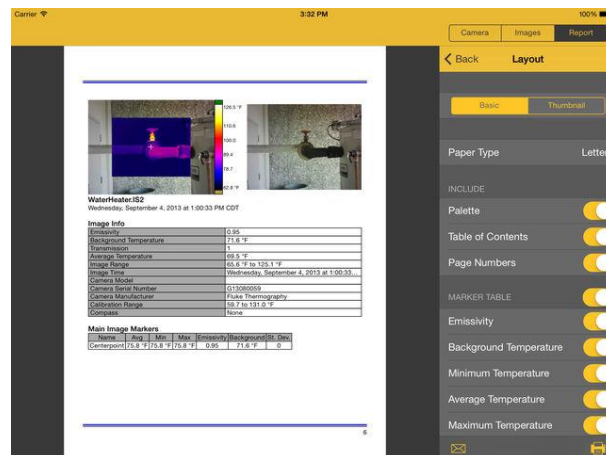


Figura 3.3 software smartview 4.3. Fuente: Elaboración Propia.

### 3.2.2. Instrumentos de medición internos

#### Módulo digital de temperatura MAX6675 con termopar tipo K con cable dupont.

El proveedor en México Geek Factory, hace mención que el módulo digital de temperatura MAX6675 con termopar tipo K con cables dupont Descripción: El módulo digital MAX6675 cuenta con lo siguiente: Voltaje de funcionamiento: 3.0 ~ 5.5 V Circuito de compensación de unión fría interna integrada; Señal de temperatura se puede convertir en bits digital Resolución de la temperatura de: 0.25 grados; Rango de compensación de unión fría: -20 ~ + 80 grados, Circuitos de detección de rotura de termopar incorporado. Utilizando SPI comunicación 3 hilos Incluye un termopar tipo K de 50 cm de longitud, con un rango de temperatura -200 a 1362 °C.

El módulo 6675 que es el circuito que acondiciona la señal hace más fácil la lectura, arduino cuenta con una librería para el mismo. La desventaja es que ese módulo está diseñado para temperaturas a partir de 0 ° c. <sup>(20)</sup>



Figura 3.4 Módulo digital de temperatura MAX6675 con termopar tipo K con cable dupont. Fuente: Elaboración Propia.

### **Laptop HP Probook.**

La laptop utilizada en campo es para utilizar el software para la medición interna; programar las lecturas en intervalos de tiempo de los datos arrojados de la temperatura del interior del horno, leer las lecturas dadas por el hardware de arduino cada 30 segundos.

El cuidado sobre el equipo de cómputo es protegerlo de la humedad atmosférica, las cenizas y humos provenientes del horno, así como evitar que el equipo este expuesto a altas temperaturas del horno como del medio ambiente.

### **Arduino**

Es una placa basada en un microcontrolador ATMEL. Los microcontroladores son circuitos integrados en los que se pueden grabar instrucciones a través de un lenguaje de programación. Estas instrucciones permiten crear programas que interactúan con los circuitos de la placa.

El microcontrolador de Arduino posee una interfaz de entrada, que es una conexión en la que podemos conectar en la placa diferentes tipos de periféricos que en el tema de estudio se conecta al módulo digital de temperatura MAX6675 y este a su vez tiene conectado el termopar tipo K con cable dupont (Arduino, 2019).

Un arduino también cuenta con una interfaz de salida, que es la que se encarga de llevar la información que se ha procesado en el Arduino a otros periféricos. Este se trasladará al microcontrolador, el cual se encargará de procesar los datos que le lleguen a través de ellos. En el caso del proyecto en estudio los periféricos son un teclado y una pantalla (computadora portátil). <sup>(6)</sup> En el proyecto de investigación se utiliza el llamado Arduino Uno, que es una placa electrónica basada en el microcontrolador ATmega328. Cuenta con 14 entradas/salidas digitales, de las cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM (Modulación por ancho de pulsos) y otras 6 son entradas analógicas.



De acuerdo al proveedor arduino, Las partes que componen el arduino uno son las siguientes:

- Potencia - USB (1) / Conector de Adaptador
- Pines (5V, 3.3V, GND, Analog, Digital, PWM, AREF)
- Botón de reinicio
- Indicador LED de alimentación
- LEDs RX TX
- Microcontrolador
- Regulador de Voltaje

### Software Libre de Arduino

El driver CH340 es el software requerido para operar el circuito integrado de la interfaz USB en el sistema operativo Windows. El driver CH340 se encuentra disponible para su descarga en la página oficial <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>. Los ficheros de diseño de referencia (CAD) están disponibles bajo una licencia abierta y se adaptan de acuerdo a las necesidades del proyecto.

El driver CH340, está escrito en el lenguaje de programación C++ y aunque la referencia para el lenguaje de programación de Arduino está en <http://arduino.cc/en/Reference/HomePage>, también es posible usar comandos estándar de C++ en dicha programación. En el caso del proyecto no manipulamos ni sobrescribimos en el lenguaje C++, sino directamente se usa el driver CH340, que viene con las herramientas para la medición de los datos de temperatura a intervalos de tiempo a cada 30 segundos. <sup>(20)</sup>



Figura 3.5 arduino uno Rev3. Fuente: Elaboración Propia.

### 3.3. Metodología

La investigación de este trabajo de investigación, está con conceptos relacionados con parte del diseño del horno donde implica la definición de la configuración geométrica y espesores para su construcción; por lo tanto se divide en 7 fases (figura 3.6):

1. Búsqueda de la información, donde se hará una revisión bibliográfica de investigaciones y trabajos cuyo objetivo sea relacionado al tema con la homogenización de los hornos artesanales, la geometría, espesores de muros.
2. Diagnóstico del sitio: se realizará un recorrido a las ladrilleras de Chiapa de Corzo, Chiapas. Donde se realizará una ponderación para determinar el horno a estudiar, posteriormente se realizará el diagnóstico del sitio, para conocer sus características de su contexto natural, como la ubicación, altitud, temperatura, edafología, geología, fisiografía, hidrografía, vegetación.
3. Análisis del estado actual del horno: se analizará su forma del horno, su altura, ancho, largo, espesor de muros, que cantidad de ladrillos queman, tipo de combustible, por último, se realizara el diagnostico durante la cocción de los ladrillos, midiendo el comportamiento térmico de los muros exteriores e interiores y la parte superior del horno.
4. Adaptación del horno artesanal: se describirán las necesidades y/o requerimientos del horno



Figura 3.6 Metodología de trabajo

Fuente: Elaboración Propia.

artesanal, se pondrán parámetros para el diseño, se realizará ficha técnica del mismo.

5. Simulación térmica de los hornos artesanales: primero se modelará el horno actual, posteriormente se realizarán la propuesta 1, 2 y 3, para la simulación de los modelos del horno artesanal con ayuda del software Ansys; por último, se efectuará la ponderación de las propuestas para elegir el mejor para la elaboración en campo de la adaptación del horno artesanal.
6. Análisis del horno propuesto: se describirá el proceso de la medición del horno propuesto, desde la planeación para su correcta ejecución, hasta la medición térmica de los muros exteriores e interiores, como la parte superior del mismo, posteriormente se interpretará los resultados de la practica realizada.
7. Resultados, son los datos que arroja la investigación, como primera etapa se obtienen los datos de temperatura interior y exterior del horno tradicional, con la información conseguida se obtiene los requerimientos del diseño para la adaptación del horno, posteriormente se realizara la ponderación de los resultados de la simulación térmica que se ejecutó en el *software* “ANSYS”, adquiriendo datos de espesores y tipos de muros, tipos de techos, tipos de salidas de aire, que nos llevara al modelo idóneo para su construcción en campo, que por último, se obtendrán los datos de la adecuación del horno construido, para analizar si hubo mejor con el horno tradicional.

## 4. Diagnóstico

### 4.1. Ubicación del área de estudio

El área de estudio corresponde a la localidad de Chiapa de Corzo, Chiapas, México, y se ubica a una altitud aproximada de 430 msnm; se localiza entre los paralelos 16° 42' 27" de latitud norte y 93° 00' 46" de longitud oeste (Figura 4.1). El sitio presenta un clima cálido subhúmedo con lluvias de verano, menos húmedo con temperatura media anual de 38 - 40 °C, con régimen de precipitación de 900 - 1000 mm (periodo mayo – octubre) y 25 – 50 (periodo noviembre – abril). El origen geológico de este sitio es de tipo aluvial. La unidad de suelo predominante en la zona es de tipo vertisol. El tipo de uso de suelo y vegetación es de agricultura de riego. La localidad se encuentra contiguo al cuerpo de agua superficial de tipo perenne denominado río Grijalva. <sup>(13)</sup>

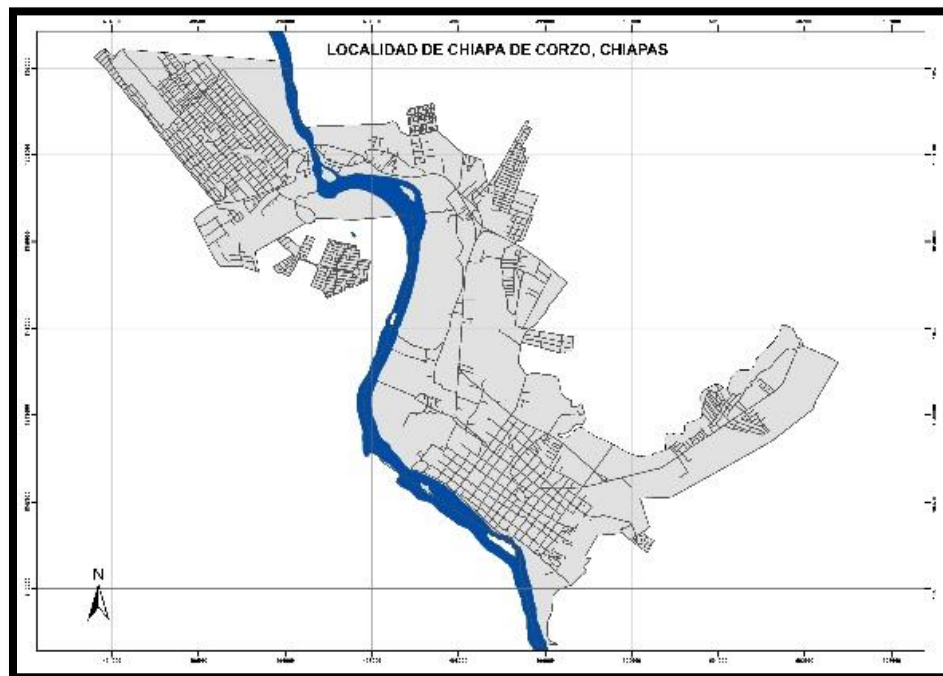


Figura 4.1. Localización geográfica de la localidad de Chiapa de Corzo, Chiapas.

Fuente: Elaboración propia a partir de metadatos de CEIEG. <sup>(14)</sup>

## 4.2. Localización de los hornos

En la localidad de Chiapa de Corzo, Chiapas se visitó un total de cinco ladrilleras artesanales donde se identificaron hornos de tipo “Escocés (vertical)” (Figura 4.2 y 4.3). En cada punto de muestreo se realizó una entrevista personal con los dueños de las ladrilleras, se tomó evidencia fotográfica y se hicieron las mediciones correspondientes a las estructuras.



Figuras 4.2 y 4.3 Hornos de ladrillo tipo escocés “vertical”, encontrados en la localidad de Chiapa de Corzo, Chiapas. Fuente: Elaboración Propia.



Los hornos visitados dentro de la localidad de Chiapa de Corzo, Chiapas, son los siguientes (Figura 4.4):

- **Horno 1)** 16°41'44.42" latitud N, 93° 0'35.40"longitud O, altitud de 399 msnm;
- **Horno 2)** 16°41'45.76"latitud N, 93°00'36.44"longitud O, altitud de 397 msnm;



- **Horno 3)** 16°41'47.28" latitud N, 93° 00' 35.94" longitud O, altitud de 400 msnm;
- **Horno 4)** 16°43'13.53"latitud N 93° 01' 17.29" longitud O, altitud de 400 msnm;
- **Horno 5)** 16°43'16.09" latitud N, 93° 01' 18.16" longitud O, altitud de 397 msnm.



Figura 4.4. Distribución geográfica de los hornos de ladrillos visitados en la localidad de Chiapa de Corzo, Chiapas. Fuente: Elaboración propia a partir de metadatos de CEIEG (2018).

### 4.3. Ponderación del horno seleccionado

Después de la visita a las ladrilleras, se realizó un cuadro de ponderación mediante el cual se calificaron diferentes variables (Tabla 4.1); posteriormente se analizaron las puntuaciones y se procedió a elegir el horno con menor calificación. El horno seleccionado presenta deficiencias físicas, estructurales y de producción, por lo que se realizarán las adecuaciones correspondientes para mejorar su eficiencia y funcionalidad.

**Tabla 4.1. Ponderación para selección del horno de estudio.**

Tabla de Ponderación de los hornos de ladrillos visitados										
Características	Horno 1		Horno 2		Horno 3		Horno 4		Horno 5	
Nombre de la empresa	Agustín		San Vicente		Santa Elena		Manuel		Seferino	
Número de trabajadores	3	1	4	1	5	2	5	2	3	1
Tipo de Horno	Escocés	2	Escocés	2	Escocés	2	Escocés	2	Escocés	2
Espesor del horno	2 hiladas (0.30 m)	1	2 hiladas (0.30 m)	1	2 hiladas (0.30 m)	1	2 hiladas (0.30 m)	1	2 hiladas (0.30 m)	1
capacidad de horno (número de ladrillos por quema)	15,000	1	18,000	1	18,000	1	20,000	2	20,000	2
Temperatura del horno	no sabe	0	no sabe	0	600	1	no sabe	0	700	1
quemados por año	12 (una quema por mes)	1	12 (una quema por mes)	1	12 (una quema por mes)	1	12 (una quema por mes)	1	12 (una quema por mes)	1
material del horno	Arcilla	1	Arcilla	1	Arcilla	1	Arcilla	1	Arcilla	1
recubrimiento del interior del horno	no	0	no	0	no	0	no	0	no	0
tipo de combustible	Madera, Cascabillo de café, olote	2	Madera, Cascabillo de café, olote	2	Madera, Cascabillo de café, olote	2	Madera, Cascabillo de café, olote	2	Madera, Cascabillo de café, olote	2

Adecuación al diseño de un horno artesanal de ladrillos para homogenizar la temperatura durante la cocción de ladrillos; Chiapa de Corzo, Chiapas

porcentaje de combustible por quema	3 toneladas	1	4 Toneladas	2	6 Toneladas	1	6 Toneladas	1	5 Toneladas	1
tiempo de cocción	24 horas	1	20 horas	2	24 horas	1	24 horas	1	20 horas	2
merma por producción	400 piezas	1	800 piezas	1	1,000 piezas	0	600 piezas	1	200 piezas	2
tiempo de secado del materia	60 horas	1	32 horas	1	72 horas	0	48 horas	2	24 horas	2
capacidad de almacenamiento	40,000 piezas	1	40,000 piezas	1	30,000 piezas	0	40,000 piezas	1	40,000 piezas	1
<b>Total</b>		<b>16</b>		<b>18</b>		<b>15</b>		<b>20</b>		<b>21</b>

2. Bueno 1. Regular 0. Malo

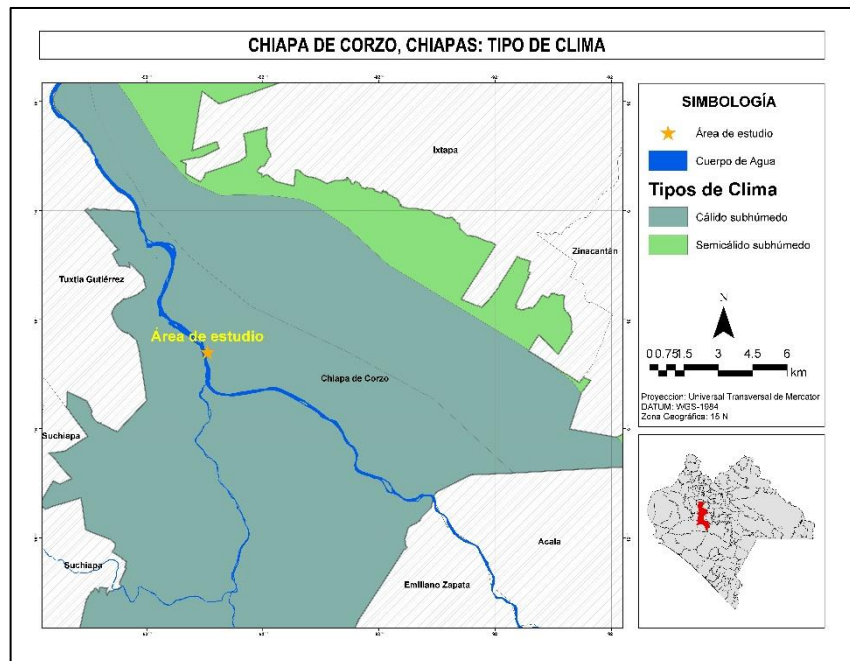
Fuente: Elaboración propia.



#### 4.4. Análisis del medio físico natural

Con base en prospecciones realizadas en el área de estudio, su entorno inmediato y la localidad de acuerdo a información obtenida del Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica de Chiapas <sup>(13)</sup>, Servicio Meteorológico Nacional de México adscrita a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2018), y cartas temáticas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía <sup>(36)</sup>, se obtiene la siguiente información:

**Tipo de clima:** Los climas existentes en el municipio son: Cálido subhúmedo con lluvias de verano, menos húmedo (99.97%), Cálido subhúmedo con lluvias de verano, humedad media (0.03%), Semicálido subhúmedo con lluvias de verano y humedad media (0%). En la zona de estudio el tipo de clima predominante es Cálido Subhúmedo.



.Figura 4.5 Conjunto de Datos Vectoriales Climáticos. Fuente: INEGI. (2017).

**Temperaturas:** En los meses de mayo a octubre, las temperaturas mínimas promedio se distribuyen porcentualmente de la siguiente manera: de 15 a 18 °C (7.22%), de 18 a 21 °C (92.46%) y de 21 a 22.5 °C (0.33%). En tanto que las máximas promedio en este periodo son: de 27 a 30 °C (9.16%), de 30 a 33 °C

(80.7%) y de 33 a 34.5 °C (10.14%). Durante los meses de noviembre a abril, las temperaturas mínimas promedio se distribuyen porcentualmente de la siguiente manera: de 12 a 15 °C (98.28%) y de 15 a 18 °C (1.72%). Mientras que las máximas promedio en este mismo periodo son: de 24 a 27 °C (6.97%), de 27 a 30 °C (47.24%) y de 30 a 33 °C (45.79%). En los meses de mayo a octubre, la precipitación media es: de 900 a 1000 mm (91.41%) y de 1000 a 1200 mm (8.59%). En los meses de noviembre a abril, la precipitación media es: de 25 a 50 mm (67.65%), de 50 a 75 mm (16.93%), de 75 a 100 mm (7.6%), de 100 a 125 mm (2.36%), de 125 a 150 mm (2.91%) y de 150 a 200 mm (2.55%).

En la zona de estudio se presentan climas variados a lo largo del año, las temperaturas máximas presentes en el periodo noviembre-abril son de 30 a 33° C; y en el periodo mayo-octubre de 33 a 34.5° C. Las temperaturas mínimas promedio para el periodo noviembre-abril son de 15 a 18° C; y para el periodo mayo-octubre de 21 a 22.5° C.

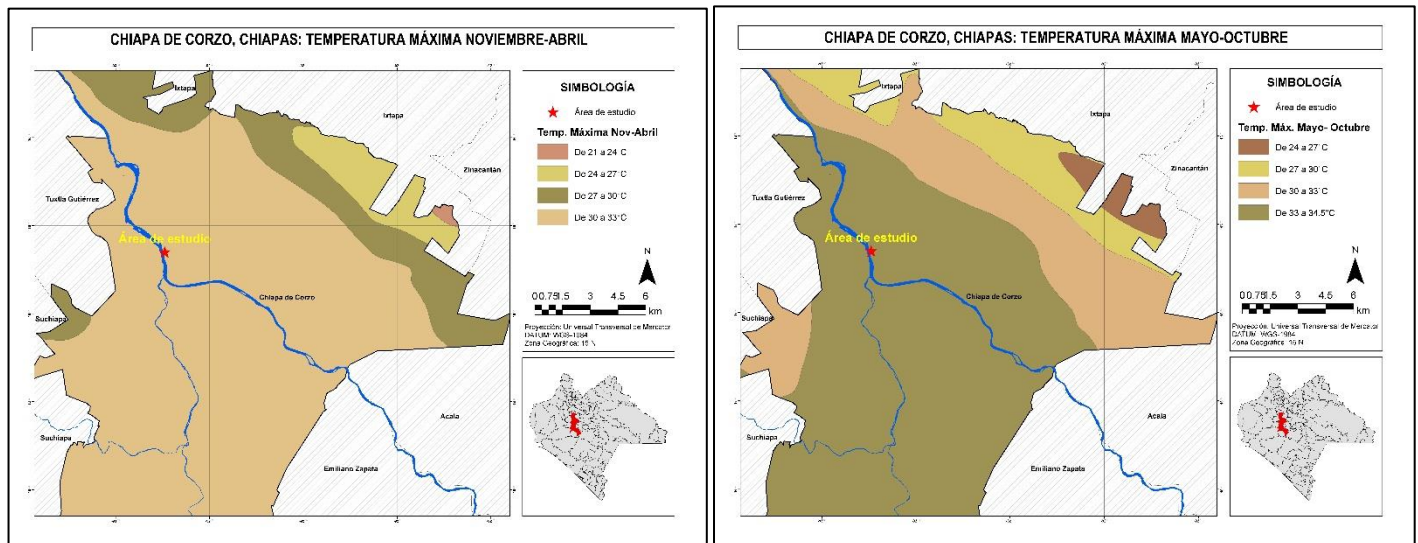


Figura 4.6 Conjunto de Datos Vectoriales. Efectos Climáticos Regionales.. Fuente: INEGI. (2017).

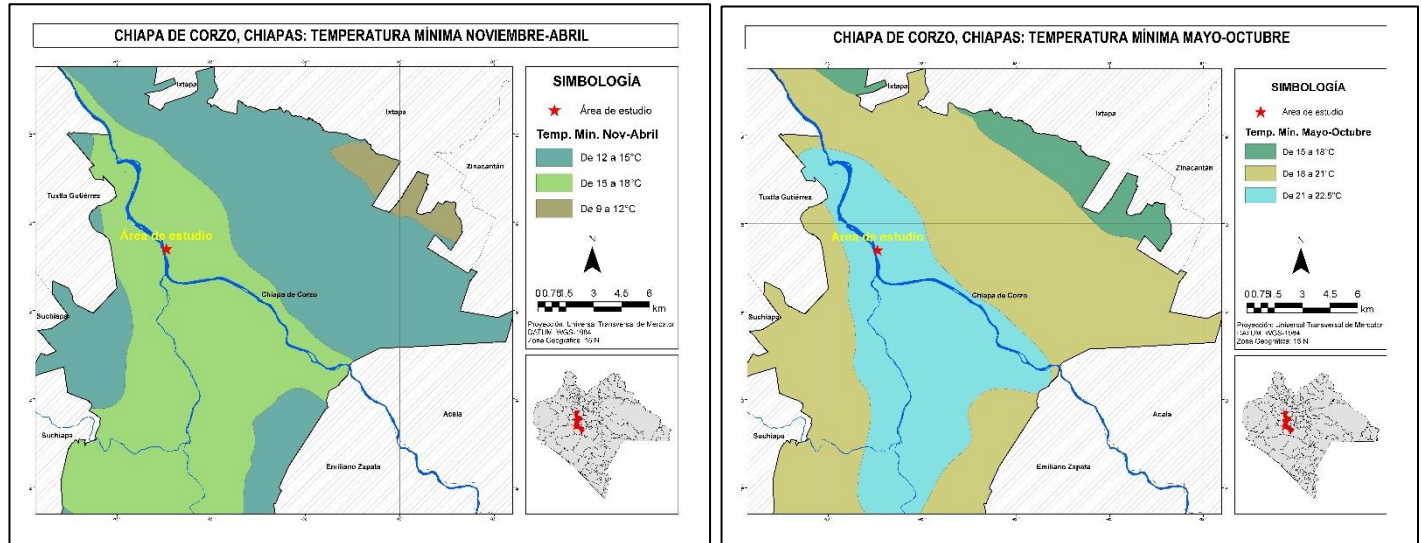


Figura 4.7 Conjunto de Datos Vectoriales Efectos Climáticos Regionales.. Fuente: INEGI.(2017).

## Edafología

Los tipos de suelos presentes en el municipio son: Leptosol (35.37%), Regosol (18.64%), Vertisol (18.31%), No aplica (16.3%) y Luvisol (11.38%). El tipo de suelo constitutivo presente en la zona de estudio es de tipo Vertisol.

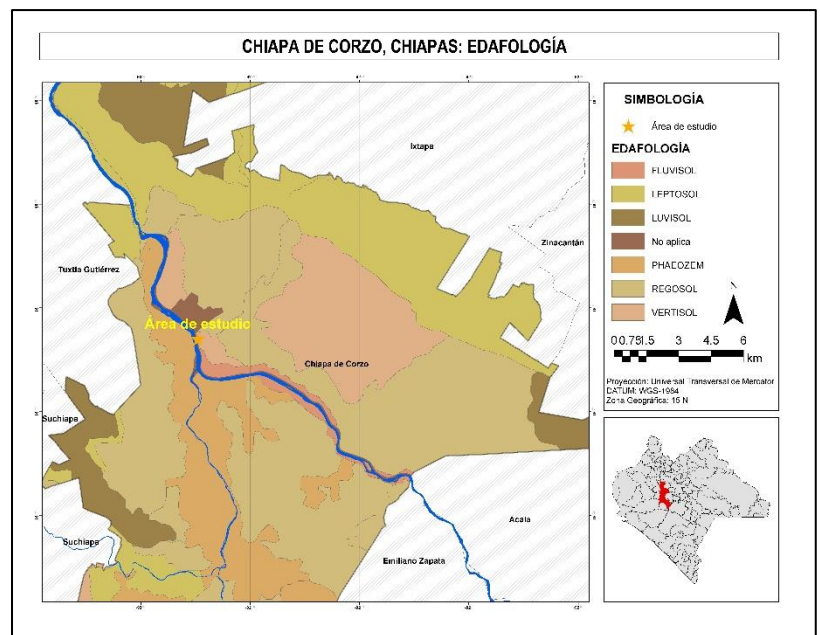


Figura 4.8. Conjunto de Datos Vectoriales.Carta Edafológica. Fuente: INEGI (2017).



**Geología:** Los tipos de roca que conforman la corteza terrestre en el municipio son: Caliza-Lutita (roca sedimentaria) (38.05%), Caliza (roca sedimentaria) (24.81%), Aluvial (suelo) (20.78%), Limolita-Arenisca (roca sedimentaria) (11.5%) y Lutita-Arenisca (roca sedimentaria) (4.88%). Los tipos de rocas constitutivos de la zona de estudio son de tipo aluvial, principalmente por la presencia del Rio Grijalva, cuerpo de agua ubicado a un costado.

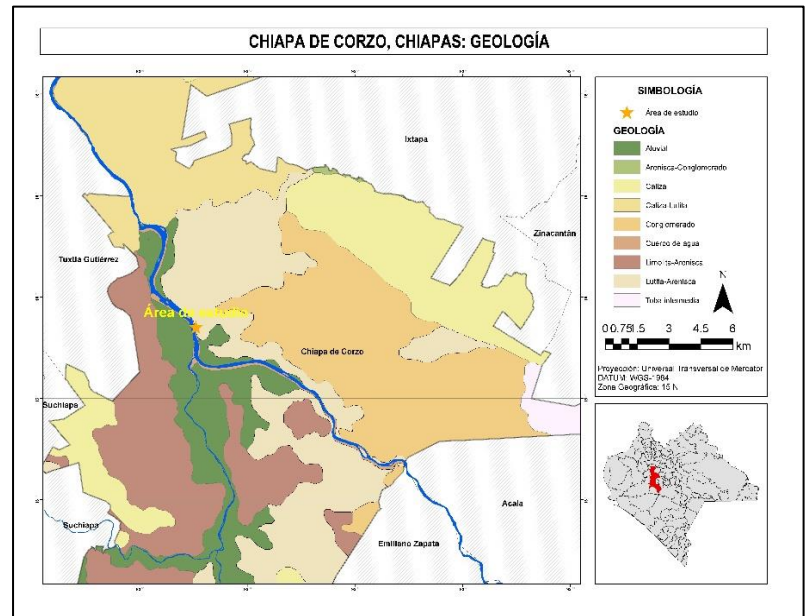


Figura 4.9. Conjunto de Datos Vectoriales. Carta Geológica  
Fuente: INEGI (2017).

**Fisiografía:** El municipio forma parte de las regiones fisiográficas Montañas del Norte, Depresión Central y Altos de Chiapas. La altura del relieve varía entre los 300 m. y los 1,400 msnm. Llanura aluvial con lomerío (34.99%), Sierra alta de laderas tendidas (29.73%), Meseta típica (25.16%), Valle de laderas tendidas con lomerío (4.21%), Lomerío típico (3.85%) y Cañón típico (2.06%). El sistema de topoformas de la zona de estudio es de tipo valle de laderas tendidas con lomeríos.

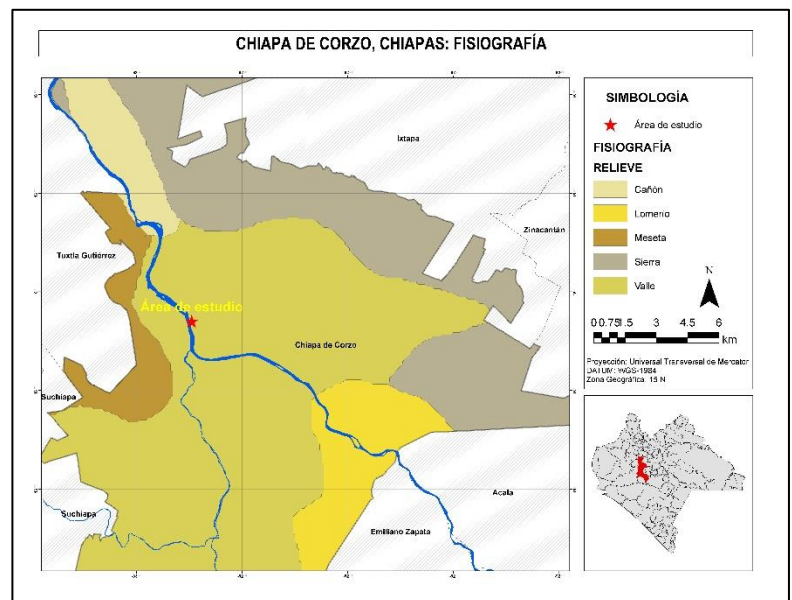


Figura 4.10 Conjunto de Datos fisiográficos Vectoriales. Carta Geográfica De Chiapas. Fuente: INEGI (2017).

**Hidrografía:** El municipio se ubica dentro de las subcuencas Tuxtla Gutiérrez, R. Suchiapa, R. Alto Grijalva y R. Santo Domingo que forman parte de la cuenca R. Grijalva - Villahermosa. Las principales corrientes de agua en el municipio son: Río Grijalva, Arroyo San Agustín y Arroyo El Sabinal; y las corrientes intermitentes: Arroyo De La Lanza, Arroyo El Recreo, Arroyo Limón, Arroyo Guadalupe, Arroyo San Francisco, Arroyo Yatipak, Arroyo Totopoztle, Arroyo Zapotal, Arroyo Grande y Arroyo El Sope.

**Vegetación:** La cobertura vegetal y el aprovechamiento del suelo en el municipio se distribuye de la siguiente manera: Selva baja caducifolia (secundaria) (32.28%), Agricultura de temporal (29.18%), No aplicable (29.09%), Pastizal inducido (3.52%), Pastizal cultivado (1.65%), Bosque de encino (secundaria) (1.43%), Sin vegetación aparente (1.26%), Selva mediana subperennifolia (secundaria) (0.88%) y Selva baja caducifolia (0.71%). El tipo de uso de suelo en la zona es de tipo Agricultura de riego.

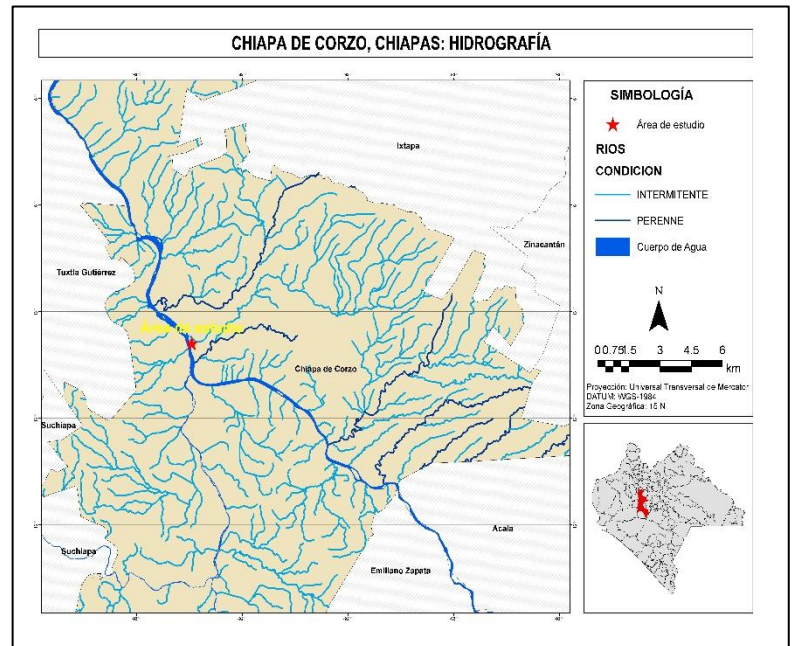


Figura 4.11 Conjunto de Datos Vectoriales Red Hidrográfica..  
Fuente: INEGI (2017).

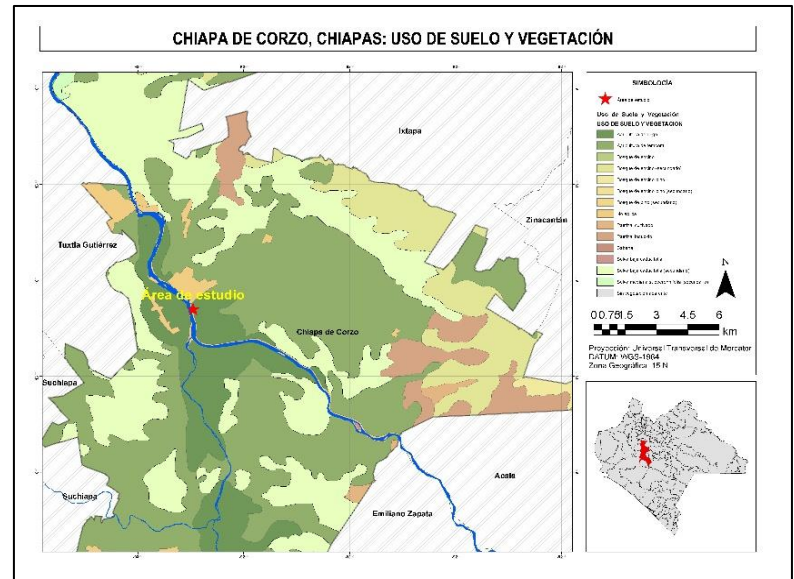


Figura 4.12 Conjunto de Datos Vectoriales. Uso De Suelo Y Vegetación Fuente: INEGI (2017).

## 5. Análisis del Estado actual del horno

### 5.1. Análisis del horno

El horno seleccionado para realizar las adecuaciones geométricas corresponde al horno denominado “Santa Elena”, el cual presenta una estructura realizada completamente con ladrillos de barro cocido y argamasa de arcilla. Dos de sus paredes se encuentran alzadas con ladrillos y las dos paredes restantes son parte del sistema edáfico del terreno circundante. La parte superior de la estructura corresponde a un techo de lámina de hierro galvanizado.

En la zona de estudio se identificó un horno tipo “Escocés (vertical)” como el más utilizado en la producción de ladrillos de arcilla (Figura 4). El horno identificado presenta una forma de prisma rectangular (vertical) con dos cámaras:

**a) cámara de combustible:** presenta paredes conformadas por dos hiladas de ladrillos y recubrimiento de barro (arcilla). Presenta dos oquedades al frente que funcionan como compartimientos de combustible. Se separa de la cámara de cocción por medio de soportes de ladrillos en forma de arco;

**b) Cámara de cocción,** está conformada por paredes de ladrillo de una hilada y techo de lámina de acero. Se observan defectos en el diseño de la estructura por la presencia de fisuras en los muros y espacios entre el techo de lámina y los muros de ladrillos. Este espacio cuenta con una capacidad de ocho mil ladrillos.



Figura 5.1. Imagen de un horno tipo “Escocés (Vertical)”. Fuente: Elaboración Propia

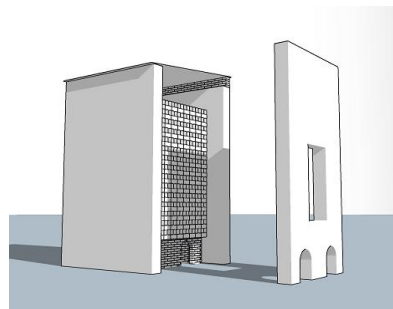


Figura 5.2 Diseño funcional de un horno tipo “Escocés (Vertical)”. Modelación en 3D mediante software SKETCHUP.”. Fuente: Elaboración propia



## 5.2. Proceso de medición del horno

Posterior a la ponderación de las ladrilleras de la zona de estudio, se comienza el acuerdo verbal con el dueño del horno artesanal, para lograr la experimentación en campo y planear la fecha de la misma, considerando que el horno tiene una quema cada mes.

La exploración y reconocimiento de las condiciones y características del sitio, lleva a identificar las condiciones actuales de los espacios para la producción de ladrillos que tiene el dueño del horno, considerando desde la ubicación de las áreas de amasado, moldeado y secado de los tabiques de arcilla; se considera el apilamiento principal de combustible orgánico, así como del aprovisionamiento del mismo cerca de la cámara de combustible del horno, así también de la colocación del producto terminado. Se toma en cuenta los depósitos de agua, las zonas de estacionamiento, de carga y descarga de material y equipo; los espacios libres que quedan para movilidad del personal, colocación de equipos auxiliares, de los equipos de medición y del campamento mismo.



Figura 5.3 vista con dron. Fuente: Elaboración propia.

Considerando la identificación antes descrita este espacio se divide en dos zonas: la primera denominada “zona alta” orientada al norte del predio tomada como nivel de terreno natural; y la segunda llamada “zona baja” que está conformada por oquedades para la obtención de la arcilla que es la materia prima para la producción de tabiques de arcilla; generando un desnivel marcado en promedio de 3.50 metros. Teniendo identificado las condiciones fisiográficas, se observa que el horno

artesanal en estudio se ubica en la parte baja del mismo y por ende la zona de producción de tabiques de arcilla, terminando al ras de la zona alta (techo del horno); siendo en esta zona, donde una vez cocidos los ladrillos son retirados del horno por el techo que no tiene estructura alguna y son colocados a pie del camino existente, disminuyendo el esfuerzo por parte del ladrillero de desplazar el producto terminado.

Se considera los requerimientos en sitio para realizar la experimentación de una manera segura y lo más cómoda posible, se ubica el Norte para considerar la dirección de los vientos los cuales llevaran los humos provenientes del horno artesanal; el asoleamiento desde el amanecer hasta el atardecer; tomando en cuenta la posición del horno actual, ya que este conjunto de variables que se tiene en sitio determinara la movilidad del equipo profesional, la ubicación del campamento así como del equipo de medición, la movilidad vehicular así como la colocación de los equipos auxiliares para realizar el experimento en sitio.



Figura 5.4 vista aérea del horno tradicional. Fuente: Propia del autor.

Teniendo claro el contexto del sitio de experimentación, se inicia desde la selección del combustible, que en la zona de estudio se utiliza el cascabillo de café, aserrín y el olote. Para el tema de investigación el propietario del horno emplea el olote debido a que es la temporada (Diciembre-Abril), donde se consigue de manera más rápida y económica por lo que se considera para esta quema un “viaje” de 6 m<sup>3</sup>. En el caso del tema de investigación se tomará como variable secundaria este combustible para considerar los datos del poder calorífico de este en el laboratorio, durante la simulación que se realizará para la transferencia de calor.



Teniendo el combustible a utilizar, se establece la fecha para la quema oficial de la primera experimentación; se establece la fecha y hora de inicio, considerando que esta quema pudiese llegar a las 16 horas de cocción.



Figura 5.5 combustible del horno. Fuente: Propia del autor.

Se denominara lado A al muro oriente del horno, lado B al muro sur donde se ubica la puerta de acceso al horno y lado C a la parte superior del horno (techo), para el proceso de medición de la temperatura.

Se determina que en la logística de 16 horas en sitio se debe tomar en cuenta doce horas previas y doce horas posteriores al tiempo de experimentación; ya que previamente se debe tener en cuenta la provisión de alimentos con alto contenido de carbohidratos y de proteínas, así como de bebidas con alto contenido de glucosa que ayuden al equipo humano de trabajo a estar hidratado y con energía, soportando las condiciones climáticas en el sitio, principalmente el lapso de tiempo de mayor incidencia solar.



Figura 5.6 Insumos para la medición. Fuente: Propia del autor.

Se suma a los requisitos del experimento instalar un campamento de trabajo, teniendo los elementos necesarios como mesas de trabajo, sillas suficientes, carpas para proteger del clima a los equipos de trabajo; se considera una casa de campaña para descansos cortos; hieleras para mantener las bebidas frías; así también la ubicación de puntos para la colocación de residuos sólidos urbanos generados; lámparas de emergencia, baterías desechables para los equipos de instrumentación a utilizar; el uso de repelente de insectos, desechables para alimentos y bebidas, entre otros.



Figura 5.7 Colocación de casa de campaña. Fuente: Propia del autor.

Se debe considerar la renta de equipo auxiliar como andamios y sus aditamentos como escalera y tablonés que ayudarán a tener mayor altura (3 metros) sobre el horno artesanal para realizar la medición termográfica de la quinta cara (techo). La planta generadora de luz de 4000 w y 7.5 HP que ayudara desde el atardecer hasta la media noche en tener iluminación en sitio lo cual facilitará a continuar con las actividades de medición en sitio y evitar las molestias de los insectos sobre el cuerpo y cara de cada integrante del equipo humano de trabajo. El generador ayudará a recargar las baterías de los celulares y de las computadoras portátiles que se utilizarán en la investigación.



Figura 5.8 Instalación complementaria. Fuente: Propia del autor.

Los instrumentos de medición externa, con e 30 días de anticipación se solicitará vía escrito al Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentable y al Centro de Investigación de Condicionantes y Componentes de la Vivienda (COCOVI) de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), el equipo requerido para la medición externa del horno artesanal.

Al ser aprobada esta solicitud, el Laboratorio dará la capacitación que lleva a las indicaciones básicas para el manejo de los equipos solicitados; entregando los equipos 48 horas antes de la experimentación con el fin de familiarizarse con los mismos, probar la funcionalidad de los equipos, recarga de las baterías portátiles, entre otros.

Los equipos proporcionados por la UNACH de medición externa estará conformado por lo siguiente: Cámara termográfica modelo Ti 400-150 606 63 fluke termographic; Quest Emp'36 thermal environment monitor; Smart View 4.3, Software para la interpretación de la información capturada por la cámara termográfica.



Figura 5.9 Capacitación del manejo de equipo. Fuente: Propia del autor.

En el caso de la medición interna, la Coordinación de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH), dará la asesoría en la adquisición y el manejo de instrumentos de medición como son Módulo digital de temperatura MAX6675 con termopar tipo K con cable dupont; arduino uno; Software Libre de Arduino, utilización de un equipo portátil de computo siendo una HP Probook, para utilizar el software para la medición interna. Se solicitará sobre pedido los módulos digitales de temperatura y los arduinos, teniendo los instrumentos 7 días antes de la experimentación.



Figura 5.10 Colocación arduino al interior del horno. Fuente: Propia del autor.

Las mediciones externas se consideran en intervalos de tiempo a cada 60 minutos tomando en cuenta el uso de la cámara termográfica, la revisión de la información en el equipo de medición ambiental (humedad, temperatura exterior, etc.); al igual con la medición interna a través el módulo digital de temperatura, los datos obtenidos de las lecturas se dará en intervalos de 30 segundos.

El montaje y desmontaje del campamento, del equipo auxiliar, así como en la logística de los tiempos de la adquisición de alimentos y bebidas para el personal, adquisición de combustible, traslado de equipo y del personal de apoyo antes, durante y al finalizar los trabajos de la experimentación se realizará de manera programada durante la experimentación.

El equipo humano de trabajo estará conformado por un equipo multidisciplinario de varios profesionistas y auxiliares especializados o con destreza en el tema de investigación. Dentro de los participantes en la experimentación inicial, se considera al líder del proyecto de investigación en la línea de edificación siendo el tema del horno artesanal para la cocción de ladrillos quien en acompañamiento de un profesionista harán la medición externa de la temperatura en las paredes y techo del horno y realizarán la interpretación de datos y procesamiento de la información. Un profesionista y su auxiliar para el uso de hardware y software para la medición interna de la temperatura del horno actual. Como apoyo habrá participación de profesionistas con experiencia en los principios básicos de transferencia de calor y uso de software para realizar la simulación de acuerdo a los resultados obtenidos; el tema de riesgo y vulnerabilidad del horno y del sitio; en medio ambiente y uso de tecnologías de apoyo (manejo de drones). Dos auxiliares en la logística del armado del campamento, alimentos y equipos auxiliares. En total el equipo de investigación está conformado por 9 personas. Como apoyo externo al equipo de trabajo en asesoramiento técnico y de investigación estará el director y codirector del tema de investigación; más 2 revisores del tema por parte de la UNACH y 2 asesores técnicos por parte de la UNICACH, considerándose a 6 participantes en la temática.



A)



B)



C)

Figura 5.11 A),B) y C); proceso de medición del horno (investigadores de la UNICACH y UNACH). Fuente: Propia del autor.

En el caso del horno artesanal la preparación del mismo es a cargo del productor de ladrillos cocidos, ya que él y su personal tienen que tener la producción ya puesta en el interior del horno, siendo 8,000 ladrillos a cocer colocados de manera entrelazada creando pilas y ocupando el interior total del horno. Esta colocación se da durante los 3 días previos al inicio de la quema. En el caso del combustible orgánico a utilizar que en esta quema fue con olote, este se deja listo en las cercanías del horno un día antes. El mismo ladrillero y sus auxiliares son los que cierran la puerta frontal, por donde son introducidos los ladrillos para su cocción, hacen este cerramiento con ladrillos de sobra de quemas anteriores (merma) y lo

recubren con una capa de arcilla para evitar que el calor escape por esta puerta. De la misma manera ellos preparan el cierre del techo con una sola fila de ladrillos de merma para evitar que el calor escape rápidamente por el techo; realizándose 12 horas antes de la quema.

Después de la quema y de acuerdo a la experiencia empírica del dueño del horno, él determinará el día en que considere que el horno se ha enfriado y es seguro realizar el retiro del interior de la cámara de cocción de la producción de ladrillos cocidos, por lo regular son 7 días posteriores a la quema; esto conllevará a realizar una visita al sitio para observar las condiciones del horno y del lote de ladrillos cocidos, el conteo de la merma que se obtuvo y a recolectar de las muestras de ladrillos cocidos para poder realizar las pruebas de resistencia en el laboratorio de materiales de la Facultad de Arquitectura de la UNACH para tener una referencia de la calidad de los mismos.



Figura 5.12 colocación de los ladrillos. Fuente: Propia del autor.

Después de los trabajos de campo se genera el modelo del horno actual para procesar la información obtenida a través de los equipos de medición interna y externa de temperatura, conjuntando con la forma del horno actual, con esto se logrará la simulación de la temperatura de los registros y que en teoría los valores

obtenidos deberán acercarse a los datos obtenidos en campo. El proceso en tiempo del modelado y de la simulación es de 21 días.

Con la simulación del horno actual procesada, se realizarán las propuestas adecuadas para la adaptación al diseño de la geometría, espesores; obteniendo varias propuestas seleccionando las 3 más adecuadas para la zona en estudio. Los modelados y simulaciones de las propuestas tendrán una duración en su elaboración de 8 semanas (60 días). Teniendo las propuestas sugeridas, se hace extenso el tema al propietario del horno para que tenga participación y en conjunto se determine la opción que se apegue a la realidad del sitio, a las necesidades de producción y la familiarización del ladrillero con la adaptación a desarrollarse; recordando que la inclusión social del propietario enriquece el tema de investigación con el empirismo y practica que tiene en el tema.

Previo a la selección del horno propuesto, el ladrillero tiene un mes para poder generar los ladrillos que utilizará para la adecuación del horno así como los ladrillos para la cocción. Así también tiene el mismo lapso de tiempo para realizar la adquisición del combustible orgánico, que en el tema de investigación continuará siendo el olote.

Seleccionando la mejor opción de adecuación, se presenta la etapa de financiamiento para poder construir la propuesta, supervisar la construcción del mismo; el tiempo de ejecución estimado de acuerdo a la experiencia del ladrillero será de 2 semanas.





Figura 5.13 visita al horno. Fuente: Propia del autor

Logrando la construcción del horno adecuado se programará la quema en el horno propuesto (prototipo) de experimentación para comparar los resultados de la simulación en relación a la quema real en sitio en el horno nuevo.

Durante la experimentación en sitio sobre el horno propuesto y con la experiencia en campo de las mediciones de temperatura del horno original, se repetirá nuevamente la mayor parte de las acciones realizadas durante el primer experimento, se corregirán las omisiones y fallos y se buscará la eficientización de los recursos humanos, técnicos y de equipo.

Con lo anterior se llegaría a la última etapa de toda la investigación al procesar la información de la experimentación del horno propuesto al obtener los datos de las temperaturas externas e internas del horno; en la etapa de enfriamiento del horno se realizará la visita para observar las condiciones del horno así como de quema del lote de ladrillos; se hará el conteo de la merma que se genere y se recolectará las muestras de ladrillos cocidos para que nuevamente en el laboratorio de materiales de la Facultad de Arquitectura de la UNACH se realicen las pruebas de resistencia y se obtengan los datos para la referencia de calidad de los mismos en relación a las condiciones del horno artesanal propuesto.

Se realizará la comparación de los resultados obtenidos de ambos trabajos de campo y se llegaría a las conclusiones y recomendaciones en el tema, logrando este objetivo en un lapso de tiempo de 2 semanas.

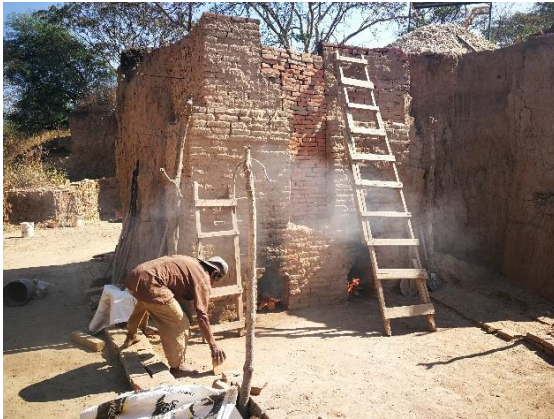


Figura 5.14 inicio de la quema del horno. Fuente: Propia del autor.

### 5.3. Experimentación en el horno actual

El día del inicio del experimento en el horno, el equipo de trabajo inicial llega a la hora acordada por el ladrillero (7:00 a.m.) para la instalación del campamento parcial en la zona baja del predio, hacia el nor-poniente del horno debido a que los taludes de arcilla dan la sombra suficiente para mantener al personal y al equipo de medición a salvo de los rayos del sol, ubicando el campamento a unos 7 metros de las paredes del horno; se colocan las mesas de trabajo y se preparan los equipos de medición externa. Se coloca la carpa hacia el sur-poniente del horno para que los equipos y personal se protejan de la incidencia solar que estará a su máximo de las 12 del día hasta las 5 de la tarde. Ubicando el campamento en la zona baja del predio a unos 20 metros del horno.

Se inicia con la barrenación de dos muros del horno para colocar los termopares que mandarían la información a los arduinos y estos hacia el equipo de

cómputo portátil que recibirá la información, teniendo preparado las conexiones a las 8:00 am.

La preparación de la quema inicia desde las 7:00 de la mañana, cuando inician a prender el horno; las mediciones comienzan extraoficialmente a las 8:00-9:00 am, comprobando la calibración de los equipos, a partir de las 10:00 de acuerdo a lo que menciona el dueño del horno es cuando inicia la quema oficial, ya que el horno comienza a calentarse. Las mediciones externas se dan cada 60 minutos y las internas cada 30 segundos, realizando el registro de datos tanto en los aparatos como en los formatos escritos que se tienen de apoyo.



Figura 5.15 proceso de medición del horno. Fuente: Propia del autor.

El equipo de logística tiene indicado las horas para el desayuno y la comida; así como para la colocación del resto del campamento para dejar preparado los equipos auxiliares, ocurriendo esto en un horario de 7:00 a 9:00 am y de 2:00 a 4:00 pm.



Figura 5.16 colocación de andamios. Fuente: Propia del autor.

El equipo de profesionistas en sus correspondientes disciplinas llega al medio día para observar y analizar las condiciones del horno artesanal en funcionamiento, la



forma de trabajar del resto del equipo, la manera en que se organiza y se coordina el dueño del horno y su personal para proveer de combustible al horno; ambos equipos el de investigación y el de producción desarrollan sus actividades de manera constante sin intervenir entre la rutina de la quema de ladrillos y las actividades de la experimentación, salvo en los tiempos del desayuno y de la comida, durante este lapso de tiempo ambos equipos de trabajo se turnan para que exista registro de datos y el horno siga alimentándose con olote para elevar su calor interno. Los profesionistas de apoyo en los temas se van retirando del sitio antes de las 5.00 pm

En cuanto al asesoramiento técnico y de investigación, un miembro del equipo de apoyo externo (Revisor del tema de investigación) se presenta en el sitio, explicándole el proceso, lo que se ha realizado y el tiempo que falta para terminar la cocción de ladrillos.



Figura 5.17 proceso de medición del horno. Fuente: Propia del autor.

La planta generadora de luz, comienza a funcionar desde el ocaso hasta el final de la quema durante la madrugada, facilitando los trabajos de investigación en la noche y ayudando a que los insectos en el área sean atraídos hacia la luz.

De acuerdo a la literatura encontrada sobre las temperaturas que alcanzan los hornos artesanales, el del caso de estudio logra una media en su interior de 420

grados Centígrados, por lo que conocer las fluctuaciones internas arroja información valiosa que ayudará a generar el modelo y la simulación del mismo y conocer el porqué del comportamiento en la temperatura alcanzada.

En cuanto al comportamiento del horno, en el caso de las caras laterales y frontales superan en lapsos de tiempo los 240 grados Centígrados, siendo esta pérdida registrada en la llamada puerta del horno. En el caso de la quinta cara (el techo), las mediciones que se realizan y el registro de los datos obtenidos en la temperatura son la información más valiosa que se obtendrá, ya que se registra en tiempo real mediciones externas, encontrándose las zonas con mayor fuga de calor, alcanzando pérdidas cercanas a los 350 grados Centígrados. Estas pérdidas de temperatura en la quinta cara es lo que empíricamente el dueño del horno hace mención que “la lumbre sube” a la parte alta del horno, logrando la cocción total de los ladrillos y dejando que este “fuego” se consuma para dar por terminado el ciclo de la quema.

La medición de temperatura de principio a fin dura 15 horas, siendo en horario oficial de la quema de las 10:00 am del día 12 de febrero a las 01:00 am del día 13 de febrero de 2019.



Figura 5.18 proceso de medición del horno. Fuente: Propia del autor.

Después de la terminación de la “quema”, se procede a resguardar la información obtenida, a dejar protegidos los equipos de medición interna y externa; se deja

levantado las herramientas y mobiliario del campamento, para que en la mañana siguiente el apoyo de logística arribe al sitio para disponer de los equipos y mobiliarios de acuerdo a lo planeado.

En el caso del combustible utilizado en este experimento, fue el olote; los usos y costumbres así como las características del horno, genera que el consumo del combustible para quemar de ladrillos sea al 100%, es decir “un viaje” de 6 m<sup>3</sup> de olote, en sí, de acuerdo a los datos para el Programa de Ensayos Internacionales de Maíz hace la referencia que en 1 m<sup>3</sup> de mazorca el peso del olote es de 170 kilogramos, por lo que 6 m<sup>3</sup> representarían aproximadamente 1,000 kilos de olote. Por lo que el consumo en esta quema del experimento realizado es en su totalidad.

Transcurren 7 días después de la quema, para volver al sitio y observar las condiciones en que queda el horno, de por sí el horno presentaba fisuras, están se vuelven más marcadas después de la quema; se encuentra retirada tanto la pared de ladrillos que se utilizaron para cerrar la puerta del horno así como los ladrillos que cubrían el techo. La producción ha sido colocada en la zona alta del sitio y la merma en la zona baja junto al horno. La merma se observa que ha sido aproximadamente de 1,000 ladrillos siendo un 12.5% de la producción total, que de acuerdo al propietario del horno la mayor parte de este desperdicio se da en la parte superior del horno. Se recolectan 18 ladrillos para que en laboratorio de materiales se realice la prueba de resistencia a la compresión.



Figura 5.19 merma de la primera quema. Fuente: Propia del autor.

## 6. Adecuación del horno

### 6.1. Descripción de las necesidades del horno

El horno artesanal de ladrillos, actualmente maneja una producción mensual de 8,000 ladrillos, que se realiza de forma artesanal, que se presenta una quema por mes, con una duración de 14 a 16 horas dependiendo de las condiciones del clima, con una vida útil de 5 o 6 quemas, donde la merma actual es de 850 ladrillos que corresponde al 10.62% del total, estas presentan problemas de calidad, ya sea por sobre cocción o falta de la misma. El resultado del estado actual muestra que no tiene una homogenización de la temperatura, al tener picos altos y bajos de temperatura como en el muro B (en la parte que se ubica la puerta para la entrada y salida de los ladrillos) presenta una temperatura exterior de  $290^{\circ}\text{C}$ , en el lado C (parte superior del horno) presenta una temperatura exterior de  $333.5^{\circ}\text{C}$ . Además, es necesario diseñar un nuevo horno que cumpla con las expectativas, que pueda mejorar la calidad, cantidad del producto y la homogenización térmica del horno.

## 6.2. Requerimientos del horno artesanal de ladrillos

El nuevo diseño del horno, es capaz de quemar 8500 ladrillos realizando de 10 a 12 quemas por año, bajando la duración de tiempo promedio, para mejorar el rendimiento de producción, con las adecuaciones geométricas del horno, tener un control de la merma, bajándole un 6% del total de ladrillos, obteniendo una cantidad neta de 7,990 ladrillos, ahorrar combustible, que a su vez reduzca el tiempo de cocción, y optimice los recursos humanos del trabajador. Para comprobar la calidad del ladrillo se seleccionan 5 piezas por cada sección del horno, para este estudio se han de tomar 5 piezas parte inferior, 5 piezas parte media y 5 piezas parte superior del horno, dando un total de 15 ladrillos, posteriormente se debe realizar el cabeceado a cada una de las piezas, como nos indica la norma NMX-C-404-ONCCE-2011, que a partir de los 28 días de la elaboración de los tabiques se debe realizar la prueba de fuerza de compresión mediante una fuerza puntual sobre la superficie en contacto de la pieza, lo cual se realizó sobre la prensa hidráulica, que se ubica en el laboratorio de la Universidad Autónoma de Chiapas, en la Facultad de Arquitectura, con la supervisión del personal encargado.

En la propuesta de diseño se realizaron los siguientes criterios que definen restricciones a respetar en el diseño, los cuales fueron obtenidos de acuerdo a las necesidades y requerimientos del horno:

- Por disposición del propietario del horno, Don Vicente Hernández Pérez, recomienda que la forma fuese de cubo con dos cámaras de combustible, para su correcta ejecución.
- Las dimensiones para el horno son los siguientes:
  - Altura: 3.50m
  - Ancho: 3.40 m
  - Largo: 3.40 m
- Se propusieron diferentes tipos de muros, modificando las dimensiones del espesor como en forma, así también se modificó la parte superior para la homogenización del horno.



- En el caso del muro se propuso que tuviera un ancho mínimo de 30 cm y/o máximo de 1 metro.
- La puerta debe continuar de la misma manera en que se encuentra actualmente, buscando la forma más adecuada para no tener pérdidas de calor.
- La parte superior del horno se debe de contar con un multiperforado o chimeneas para disminuir la pérdida de calor.
- Se aumentó el peralte de la parte superior del horno.
- El material de construcción a emplear es una combinación de ladrillos cocidos y ladrillos sin cocción, garantizando una estructura sólida, así como el repello en ambas caras con arcilla del lugar (interior una capa de 8 milímetros y exterior de 4 milímetros) para reducir las posibles fracturas del horno durante la cocción.
- Las dimensiones de la puerta de la cámara de cocción son las siguientes:
  - Altura: 0.80 m
  - Ancho: 0.45 m

### 6.3 Estrategias de diseño

En las estrategias de diseño se buscara la forma que la temperatura no se escape, que se distribuya de una manera más homogénea para poder tener una mejor cocción y las piezas tengan la resistencia adecuada, que no sea mucha; por lo tanto se deberá modificar los muros para esto se emplearan las siguientes estrategias:

La primera parte se modificará los muros de ancho y forma, que tengan una base de 0.50 m para terminar en 0.25 m teniendo la forma de pirámide trunca, para la siguiente se propondrá un muro de 3 capas de ladrillos quedando con un ancho de 0.39 m y por último se propondrá los muros de forma vertical, pero en esta propuesta se tiene una capa de doble muro, un espacio de aire y nuevamente una capa de doble muro de ladrillos. Esto con el fin de que el aire pueda funcionar como aislante entre los muros y con ello tener mayor eficiencia en al horno.

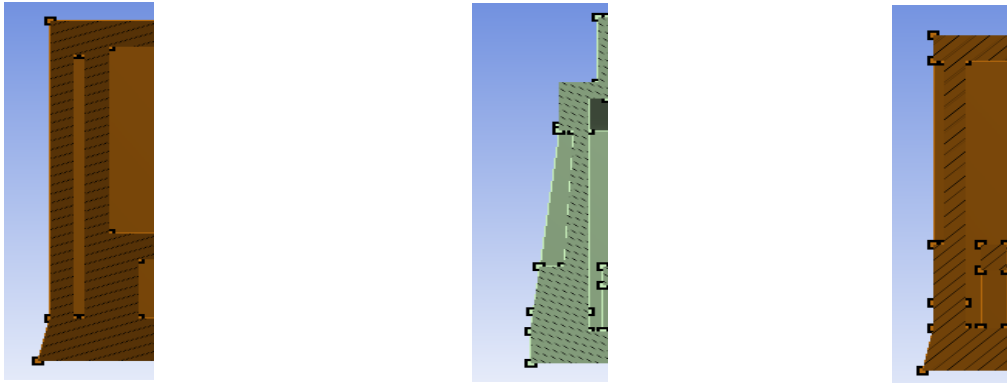
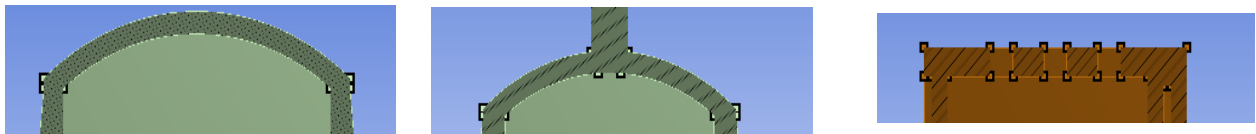


Figura 6.1 tipos de muros para el modelado. Fuente: Propia del autor.

La segunda parte se modificara el lado C que es el techo del horno, (parte superior), se propondrá una bóveda con el fin de mantener uniforme la temperatura en esa zona y evitar grandes pérdidas de calor. Posteriormente se agregan chimeneas en el techo para que puedan salir los restos que se generan al quemar el combustible, las dimensiones lo dará la simulación y se propondrá el techo convencional pero aumentándole a 3 capas teniendo un ancho de 0.15 metros.



. Figura 6.2 modelos de techo para el horno Fuente: Propia del autor

## 7. Simulación térmica de los hornos

La información de datos externos e internos se obtiene a través de los software utilizados durante el diseño y experimento en campo, utilizando el software Smartview 4.3, con el cual se obtiene la información de datos y de gráficos los cuales quedan almacenados en la cámara termográfica, así también en el software se procesa la información al obtener las imágenes, gráficas, datos puntuales de las temperaturas registradas.

En el caso del arduino uno, el software libre denominado driver CH340 es el software para determinar las temperaturas interiores del horno artesanal, este software se programa en tiempo de registro. El cual el registro de estos datos van captándose a través de la interfaz de entrada hacia el arduino uno para obtener los datos y en la interfaz de salida la cual procesa los datos y son observados y monitoreados en el hardware de interpretación (computadora portátil). Al tener procesados los datos se grafica la información.

Para hacer la combinación de la información procesada del smartview 4.3 y del driver CH340, se utiliza otro software denominado matlab que sirve para realizar los ajustes de los resultados externos e internos.

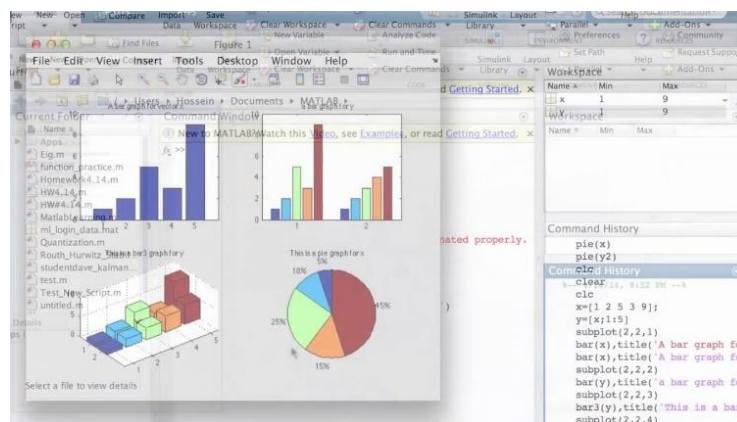


Figura 7.1 información gráfica que procesa el software matlab

De acuerdo al distribuidor del software en América Latina Mathworks, MATHLAB es un sistema en línea que proporciona ayuda mecánica para los procesos

simbólicos mecánicos encontrados en un análisis. Es capaz de realizar, de forma automática y simbólica, procedimientos comunes tales como los ajustes de información, da la solución de ecuaciones lineales simultáneas<sup>(43)</sup>; es decir simplifica los datos de picos o de información que estén fuera del margen de error aceptado.

Al tener los ajustes necesarios en el procesamiento de la información se utiliza el software Ansys 18.1 que es el programa que se utilizará para la modelación del horno y modelación de la distribución de la temperatura interna.

De acuerdo al proveedor oficial ANSYS Inc 2019, el software está dividido en tres herramientas principales llamados módulos: pre-procesador (creación de geometría y mallado), procesador y post-procesador. Tanto el pre-procesador como el post-procesador están provistos de una interfaz gráfica. Este procesador de elemento finito es un método numérico general para la aproximación de solución de ecuaciones diferenciales parciales complejas se utiliza principalmente para dar solución a las estructuras dinámicas y estáticas (ambas para problemas lineales y no lineales), análisis de transferencia de calor así como la fluidodinámica, y también problemas de acústicas y de electromagnetismo. Normalmente el uso de estas herramientas se utiliza simultáneamente logrando mezclar problemas de estructuras junto a problemas de transferencia de calor como un todo. Este software es usado en ingeniería civil, mecánica, eléctrica, física y química.<sup>(2)</sup>

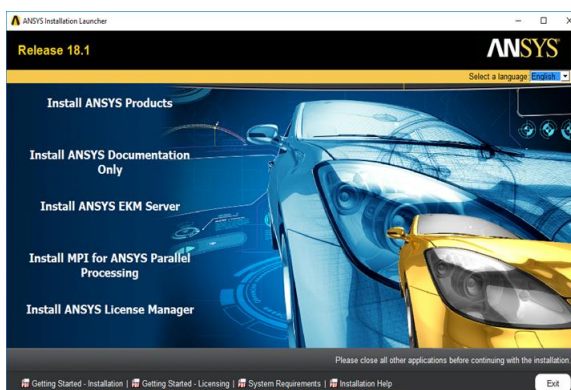
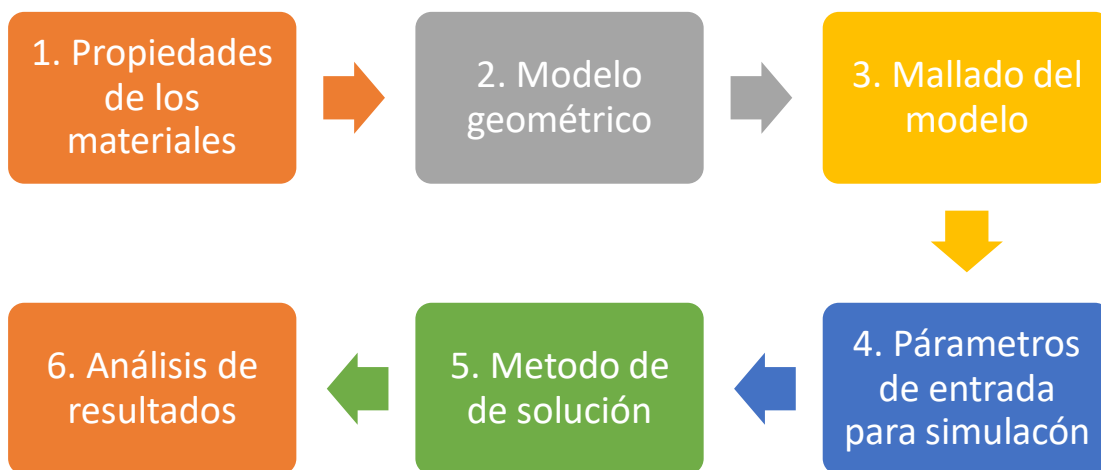


Figura 7.2. software Ansys 18.1 Fuente: Propia del autor.

En el caso del proyecto de investigación del horno artesanal para cocción de ladrillos, se crea el modelo (geometría), se realiza el mallado, se alimenta el software con información sobre propiedades del material con que se realizara el modelo, producto del interior así como de la fuente de calor, lo cual llevará al objetivo de analizar la homogenización de la transferencia de calor en el modelo y llegar a la mejor propuesta para aplicarlo en campo.

## 7.1 Modelación de los diseños de los hornos

**Gráfico 7.1 Proceso para realizar la simulación térmica con ANSYS**



Fuente: Propia del autor

1. Se agregan datos de los materiales que se utilizan: en este proceso se requiere los datos de conductividad térmica de los materiales que conforman el modelo.
2. Se realiza el modelo físico con las dimensiones reales.

3. El mallado en ANSYS es el proceso en el cual se divide el modelo geométrico en pequeñas porciones que son conectados en puntos comunes que se les conoce como nodos, con el objetivo de crear una red que abarque a todo el modelo geométrico.
4. Los parámetros de entrada son los datos de temperatura que se agrega al modelo; datos que se obtienen previamente.
5. Una vez realizado los pasos anteriores, se procede realizar la simulación térmica en estado estacionario, donde se calculan las temperaturas en todos los puntos.
6. Una vez realizado la simulación, se observan los resultados de forma gráfica, donde se pueden identificar los puntos de temperatura en todo el objeto y así como también los flujos de calor. Con los resultados obtenidos se pueden identificar los lugares donde se tiene mayores pérdidas caloríficas.

## **7.2 Modelación del horno actual**

En los días posteriores a la experimentación en sitio, se da inicio a la utilización del software, es procesada la información durante los siguientes 7 días, se descarga la información de los equipos de medición externa e interna; se da la interpretación a los datos obtenidos de los resultados de temperatura del interior y exterior del horno.

Se reciben las asesorías correspondientes por parte del equipo externo de apoyo técnico y de experimentación en cuanto al modelado y al uso del simulador Ansys; donde dan las indicaciones de las variables a considerar para el modelado del horno original, como son medidas, espesores, duración de la quema, temperaturas alcanzadas en la cámara de combustible y en la cámara de cocción así como de los muros externos y techo del horno y la información obtenida en campo de la temperatura de la fuente de calor del combustible empleado; así también se indica



tomar en cuenta los datos de la temperatura ambiente, humedad relativa, vientos durante el tiempo de las mediciones de temperatura.

Con la información obtenida, se procede en laboratorio realizar a través del programa Ansys el modelado del horno original con las medidas y espesores tal cual trabajó durante la experimentación siendo de 3.40 x 3.40 metros la cámara de cocción, altura de 3.00 metros; espesores de muros en su parte baja de 26 centímetros y la parte alta de 13 centímetros. La cubierta de ladrillos utilizada en techo de 5 centímetros; obtenido el modelado de la forma del horno, se alimenta el programa de datos que servirán para la simulación, siendo los datos mencionados en el párrafo anterior.

El modelo del horno artesanal actual para cocción de ladrillos es el que se muestra en la figura 7.3. Donde se puede ver que está conformado por muros de ladrillos previamente cocidos, las cuales poseen una pequeña capa de arcilla para recubrir grietas y uniones entre ladrillos. También se puede apreciar que en la pared derecha tiene un gran talud de tierra donde es utilizado como una de los muros del horno, además de que en la parte inferior de las otras paredes tiene una doble capa de ladrillo.



*Figura 7.3. Modelo de horno tipo escocés (vertical).* Fuente: Propia del autor.

Se realizó la cocción de los ladrillos en el horno el día 12 de febrero de 2019, donde también se estuvieron monitoreando y tomando mediciones de las temperaturas; al interior con sensores de temperatura y al exterior con al exterior con una cámara termográfica.

De los datos más representativos obtenidos en el experimento de campo son los que se pueden ver en la siguiente tabla.

**Tabla 7.1. Temperatura interior y exterior del horno original.**

Parámetro	°C
Temperatura del aire interior	600
Temperatura del aire exterior	28
Temperatura de la fuente de calor	950

Fuente: Propia del autor

Los datos recopilados se utilizaron para hacer la simulación con ANSYS del horno mostrado en la Tabla 7.1, con el fin de identificar las posibles pérdidas de calor en el horno.

1. Se agregaron datos de los materiales que se utilizaron, considerando los datos de conductividad térmica de los materiales que conforman el modelo. Como se están utilizando en su mayoría los ladrillos para la envolvente del horno, se asignó la conductividad térmica del ladrillo que es de  $0.87 \text{ W kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
2. Se realizó el modelo físico con las dimensiones reales del horno artesanal.

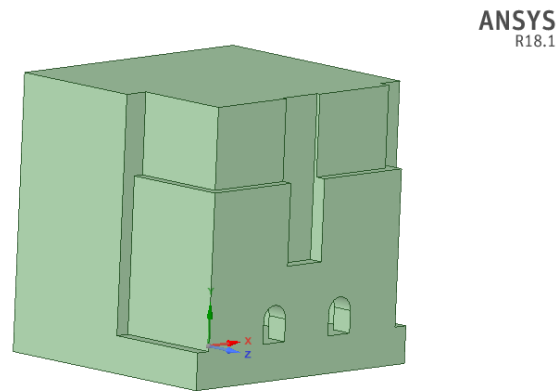


Figura 7.4. Modelo real del horno en ANSYS. Fuente: Propia del autor.

3. Se realizó el mallado en ANSYS sobre el modelado, dividiéndolo en pequeñas porciones, conectando los nodos.

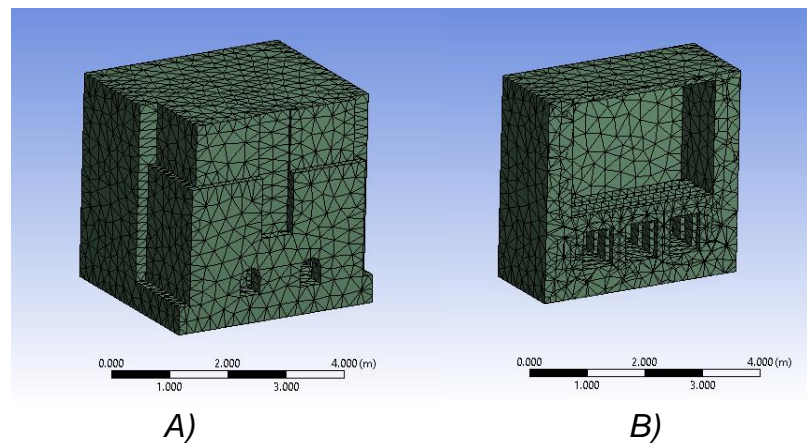


Figura 7.5. Mallado del modelo del horno en ANSYS. A) Vista isométrica y B) Corte de vista isométrica Fuente: Propia del autor

4. Se alimenta el software con los datos de entrada de temperatura que se agrega al modelo; dichos datos se han obtenido previamente y se encuentran en la Figura 7.6.

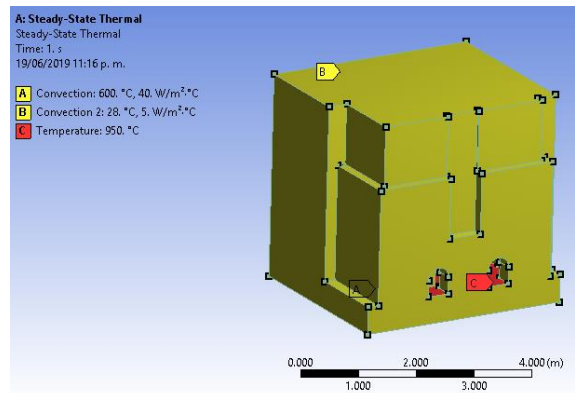


Figura 7.6. Parámetros de datos de entrada en el modelo del horno Fuente: Propia del autor.

- Se procede a realizar la simulación térmica, calculando las temperaturas del horno en todos los puntos.
- Obtención de los resultados de forma gráfica, donde se pueden identificar los puntos de temperatura en todo el horno y así como también los flujos de calor.

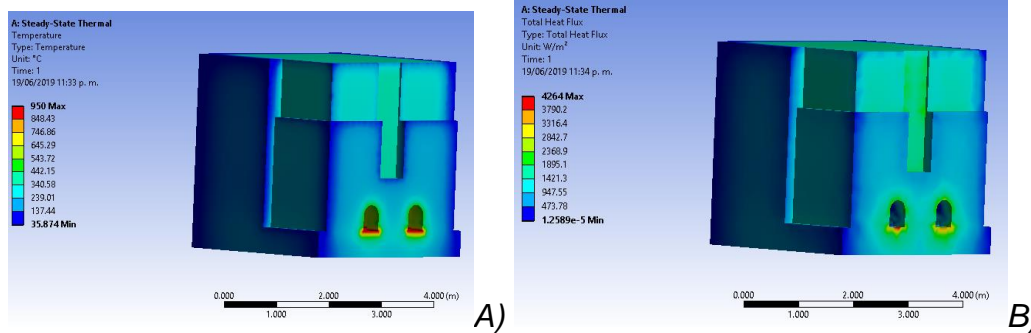


Figura 7.7. Resultado de la simulación térmica del horno. A) Temperatura del horno y B) Flujo de calor Fuente: Propia del autor.

### 7.2.1 Modelación del horno (Propuesta 1)

Esta propuesta tiene mayor espesor de muro en la parte inferior y menor en la parte superior, para tener un horno tipo pirámide, como se muestra en la Figura 7.8. Además de que se le agregó una bóveda en el techo con el fin de mantener uniforme la temperatura en esa zona y evitar grandes pérdidas de calor.

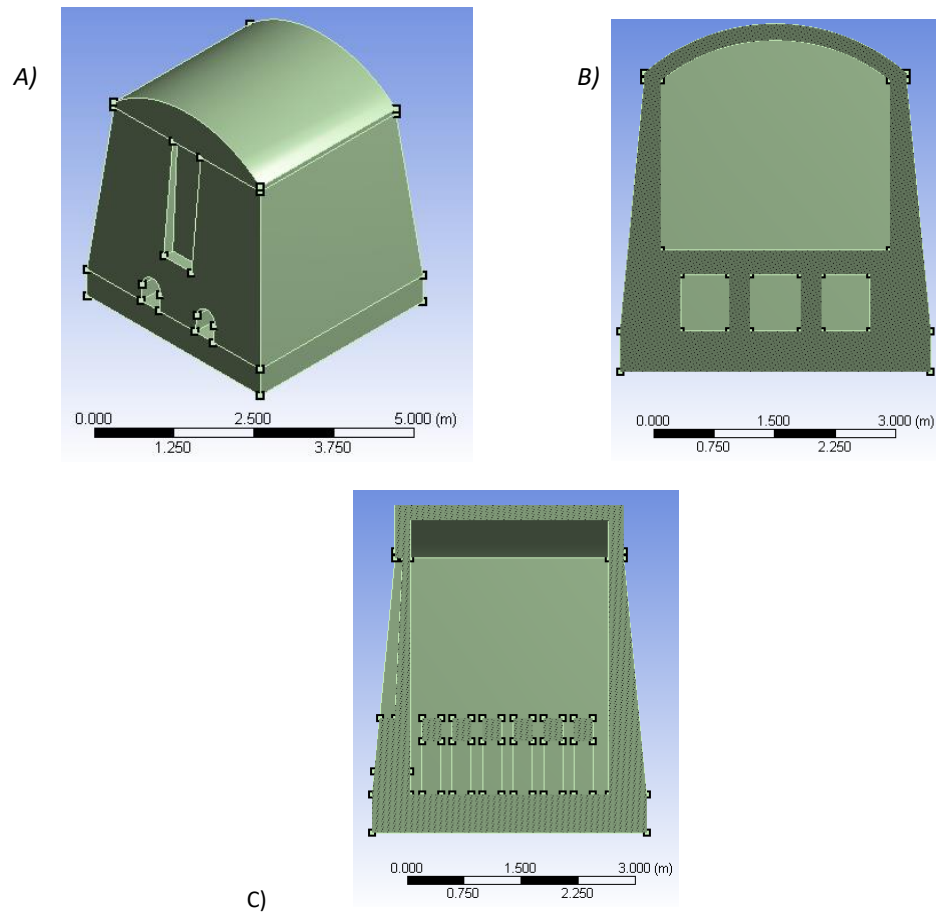


Figura 7.8 Propuesta 1 de mejoras al horno. A) vista isométrica, b) Vista de corte frontal y C) vista de corte lateral. Fuente: Propia del autor.

Para esta propuesta se tiene en la parte inferior del muro un espesor de 50 centímetros mientras que en la parte superior es de 25 centímetros, la bóveda tiene un espesor de 25 centímetros y una altura de 50 centímetros.

## 7.2.2 Modelación del horno (Propuesta 2)

Es similar a la propuesta número uno, con mejoras en el espesor de muros y también se agregan chimeneas en el techo para que puedan salir los restos que se generan al quemar el combustible.

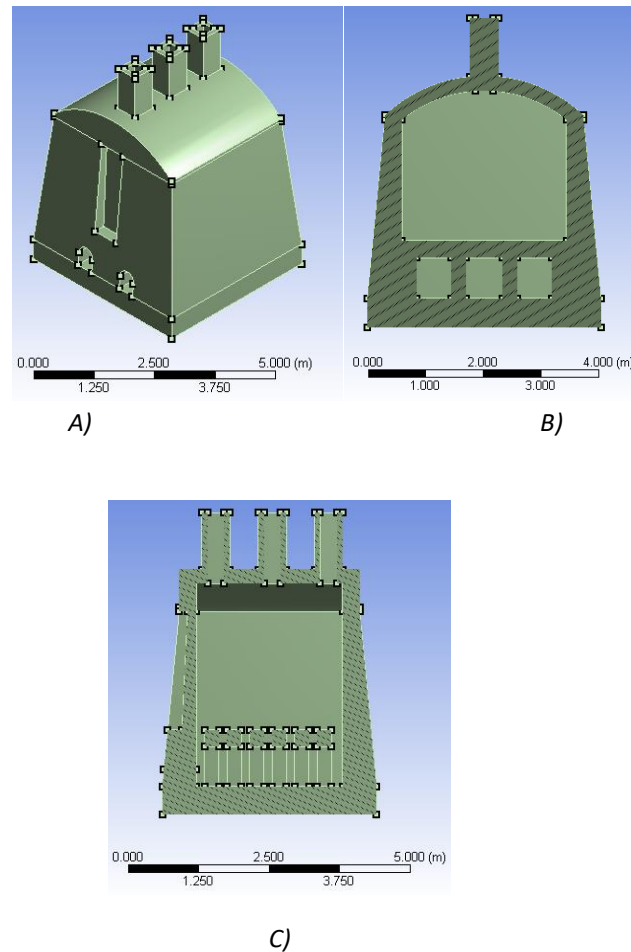


Figura 7.9. Propuesta 2 de mejoras al horno. A) Vista isométrica, B) Vista corte frontal y c) vista corte lateral.  
Fuente: Propia del autor.

Para esta mejora los muros tienen mayor espesor, en la parte inferior es de 60 centímetros y en la parte superior de 30 centímetros, el domo mantiene el mismo espesor que la propuesta 1 (25 cms.), pero además se agregaron tres chimeneas que tiene una abertura de 30x30 centímetros con una altura de 50 centímetros.

### 7.2.3 Modelación del horno (propuesta 3)

Para la última propuesta se retomaron los muros de forma vertical, pero en esta propuesta se tiene una capa de doble muro, un espacio de aire y nuevamente una



capa de doble muro de ladrillos. Esto con el fin de que el aire pueda funcionar como aislante entre los muros y con ello tener mayor eficiencia en el horno.

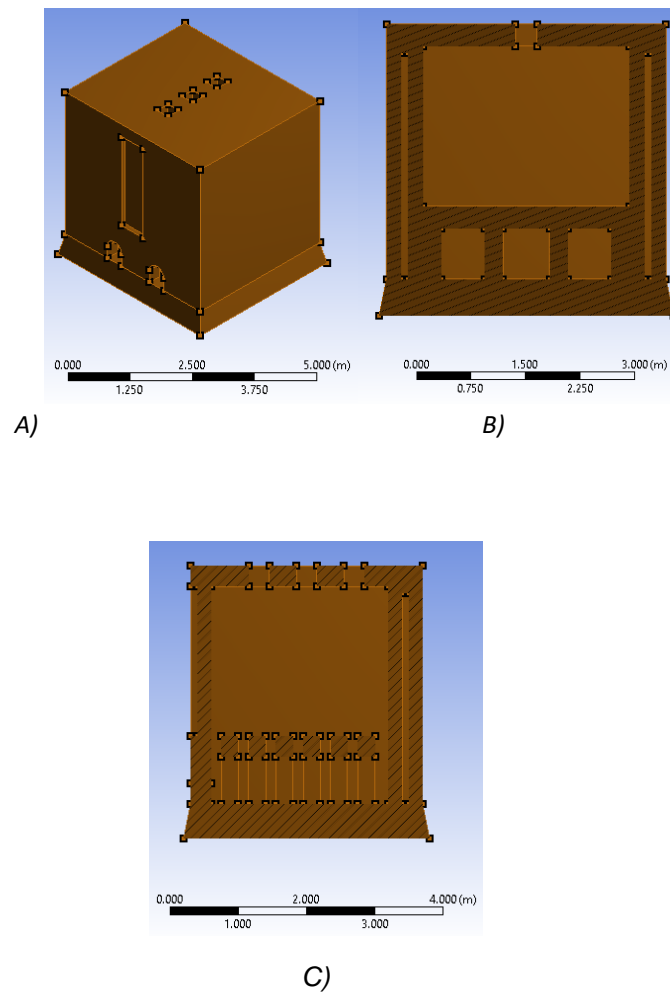


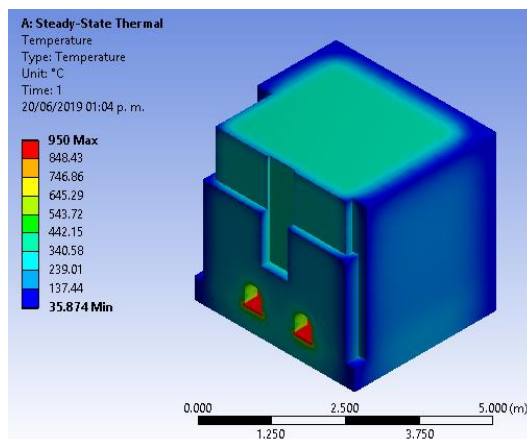
Figura 7.10. Propuesta 3 de mejoras al horno. A) Vista isométrica, B) vista corte frontal y C) vista corte lateral.  
Fuente: Propia del autor.

En esta última propuesta de dos capas de doble muro con una cámara de aire entre ellos, el ancho del primer muro es de 20 centímetros seguido con una separación de 10 centímetros de aire y por último la capa exterior de muro de 20 centímetros; esto se puede apreciar mucho mejor en la Figura 7.10. B). Además de los doubles muros, se tiene un mayor espesor en el techo para evitar grandes pérdidas de calor

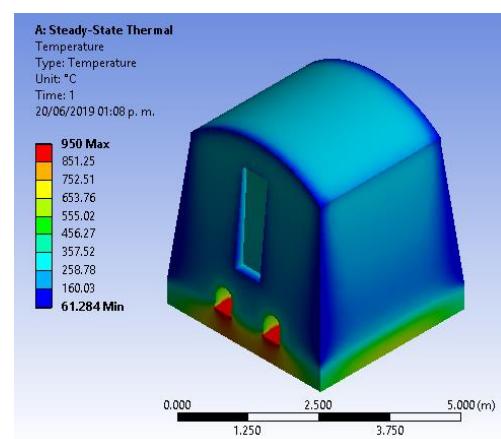
en esa zona, para esta propuesta tiene un espesor de 40 cm que también cuenta con tres ranuras de 30x30 cm que va ser el conducto de los desechos del combustible.

## Simulación térmica de los hornos

Para las tres propuestas, se realizó el mismo proceso de simulación del caso del horno original bajo las mismas condiciones de operación y mallado. Se analizaron los diferentes resultados de cada propuesta para hacer la comparación de que tanto se mejora el proceso de cocción de los ladrillos. En las siguientes figuras se muestran los resultados de temperaturas obtenidos para el caso del horno original y de las propuestas de mejoras en el horno.



A)



B)

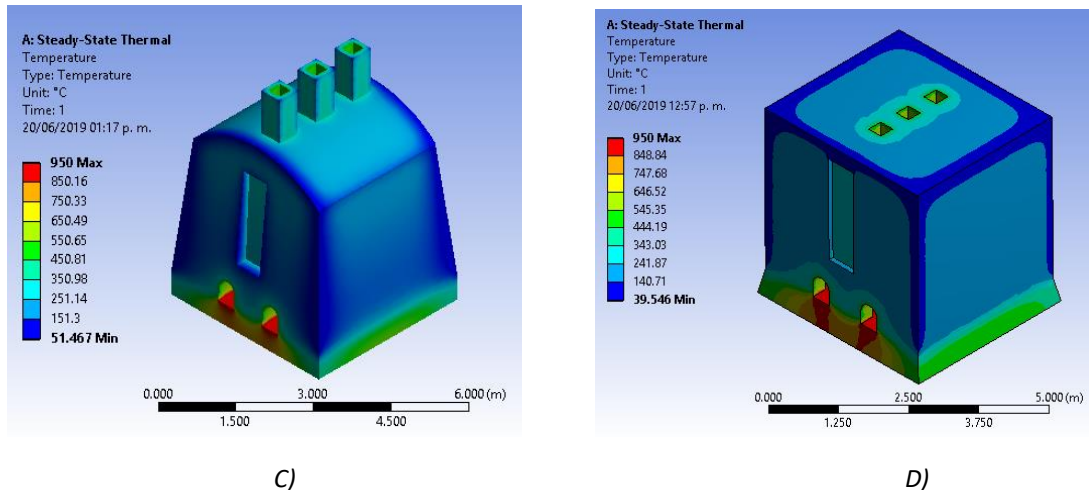


Figura 7.11. Temperatura del horno de A) Caso real, B) propuesta 1, C) propuesta 2 y D) propuesta 3. Fuente: Propia del autor.

En la figura 7.12 se puede apreciar que en el caso del horno artesanal original tiene mayores pérdidas de temperatura en el techo, esto como ya se había mencionado que tiene una capa muy delgada, aunque se muestra que tiene la menor temperatura, no significa que este uniforme en todo el horno, solo en las zonas donde la capa de ladrillos es mayor. En el caso donde los muros tienen el mismo espesor de pared se puede ver mejor la distribución de temperaturas.

Si solo se analizan los tres casos de propuestas el que mejor comportamiento tiene es de la propuesta dos, el cual posee la bóveda, debido a que el espesor de muro es mayor y además de que cuenta con un espacio de aire. Los hornos que se utilizan para producir ladrillos utilizan como fuente de energía el calor, y si se encuentra con la mejor distribución podría optimizarse el proceso, esto se logra con la propuesta tres que mostró mejores resultados de temperaturas.

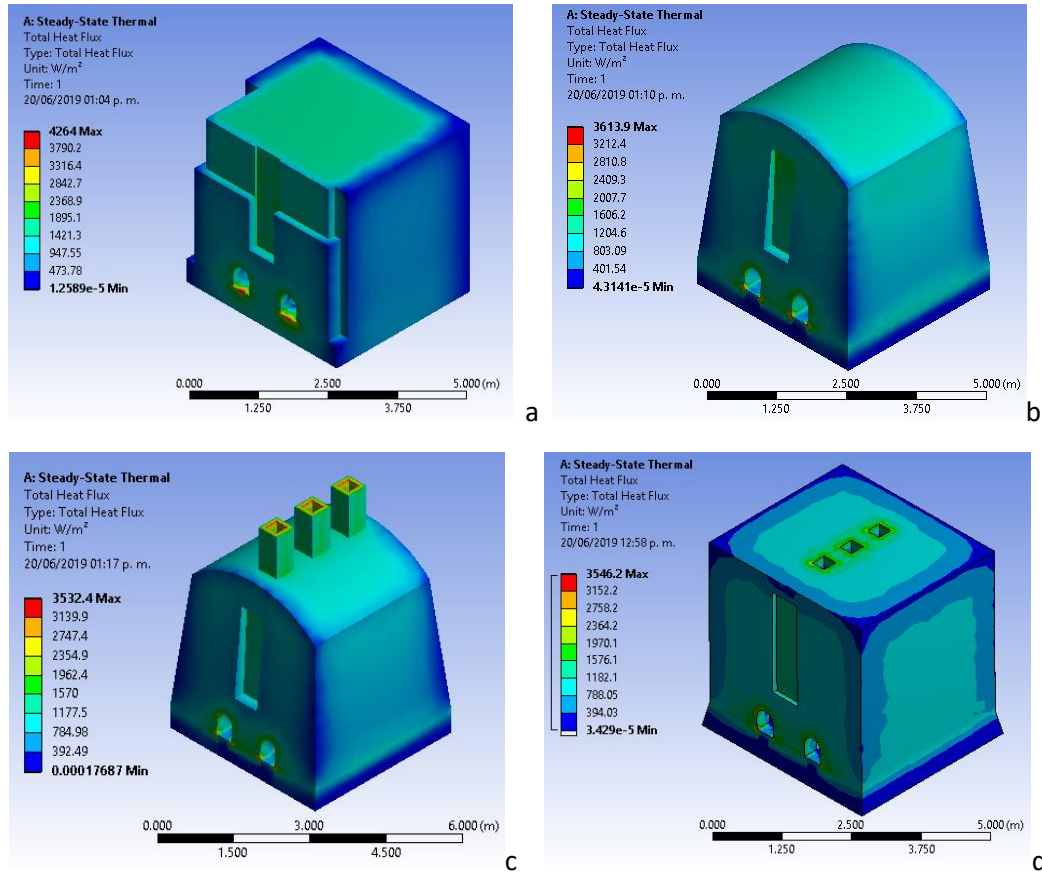
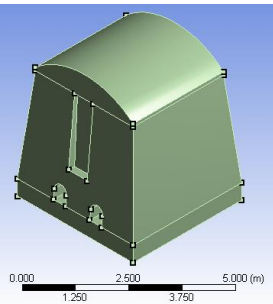
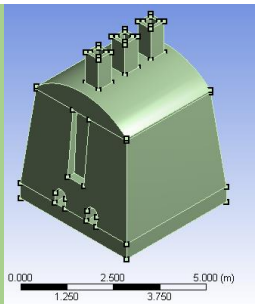
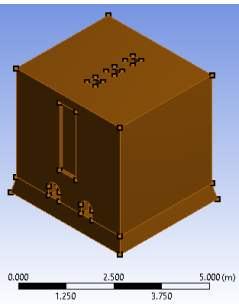


Figura 7.12. Flujos de calor en el horno de A) horno original, B) propuesta 1, C) propuesta 2 y D) propuesta 3.  
Fuente: Propia del autor.

### 7.3 Ponderación

**Tabla 7.2. Ponderación para selección del horno propuesta.**

Características	Propuesta 1		Propuesta 2		Propuesta 3	
Forma del horno						
Altura, Ancho, Largo	4.5 x 3.5 x 3.5 metros	1	5 x 3.5x 3.5	1	3.5 x 3.4 x 3.4	2
Tipo de Horno	Escocés	2	Escocés	2	Escocés	2
Espesor del horno	4 hiladas (0.50 m) a 2 hiladas (.0.25 m)	1	4 hiladas (0.60 m) a 2 hiladas (.0.30 m)	1	2 hiladas (0.30 m) + cámara de aire de 0.10 metros y 2 hiladas (0.30 metros)	1
capacidad de horno (número de ladrillos por quema)	8,500	1	8,500	1	8,500	1
Temperatura del horno	1100!°C	0	1200!°C	0	1000!°C	1
quemadas por año	12 (una quema por mes)	1	12 (una quema por mes)	1	12 (una quema por mes)	1
material del horno	Arcilla	1	Arcilla	1	Arcilla	1
recubrimiento del interior del horno	si	0	si	0	si	0
tipo de combustible	olote	2	olote	2	olote,	2
combustible por quema	1.02 toneladas	1	1.02Toneladas	2	1.02 Toneladas	1
tiempo de cocción	13 horas	1	10 horas	2	12 horas	1

merma por producción	-	1	-	1	-	0
<b>Total</b>		<b>16</b>		<b>18</b>		<b>15</b>

FUENTE: Elaboración personal.

Se colocaron las características de las tres propuestas realizadas, tales como la forma del horno, dimensiones, tipo de horno, espesor de muros, capacidad de cocción, temperatura que llega el horno, quema por año que realiza, tipo de material, tipo de combustible, cantidad de combustible, tiempo de cocción.

Quedando como mejor propuesta el horno dos con una dimensión de 5 m x 3.5 m x 3.5 m, de tipo escoses, con un espesor de 0.60 siendo doble muro, con cámara de aire, alcanzado hasta una temperatura de 1200°C, con un tiempo de cocción de 10 horas, superando a las otras dos propuestas con una puntuación total de 18.



## 8 Adecuación en campo del horno de ladrillos seleccionado

En los días posteriores a la experimentación en sitio, se da inicio a la utilización del software, es procesada la información durante los siguientes 7 días, se descarga la información de los equipos de medición externa e interna; se da la interpretación a los datos obtenidos de los resultados de temperatura del interior y exterior del horno.

Se reciben las asesorías correspondientes por parte del equipo externo de apoyo técnico y de experimentación en cuanto al modelado y al uso del simulador Ansys; donde dan las indicaciones de las variables a considerar para el modelado del horno original, como son medidas, espesores, duración de la quema, temperaturas alcanzadas en la cámara de combustible y en la cámara de cocción así como de los muros externos y techo del horno y la información obtenida en campo de la temperatura de la fuente de calor del combustible empleado, el cual fue el olote, siendo de 950 grados Centígrados; así también se indica tomar en cuenta los datos de la temperatura ambiente, humedad relativa, vientos durante el tiempo de las mediciones de temperatura.

Con la información obtenida y las recomendaciones de las asesorías recibidas, se procede en laboratorio realizar a través del programa Ansys el modelado del horno original con las medidas y espesores tal cual trabajó durante la experimentación siendo de 3.40 x 3.40 metros la cámara de cocción, altura de 3.00 metros; espesores de muros en su parte baja de 26 centímetros y la parte alta de 13 centímetros. La cubierta de ladrillos utilizada en techo de 5 centímetros; obtenido el modelado de la forma del horno, se alimenta el programa de datos que servirán para la simulación, siendo los datos mencionados en el párrafo anterior.

Al lograr esta recreación del comportamiento de las temperaturas tanto internas como externas se hará la comparativa de los resultados de campo con los

obtenidos en el software. Encontrando que la información procesada en el modelado y la simulación recreada en Ansys son similares.

Con lo anterior resuelto se procede al inicio de la modelación de las propuestas en donde la importancia de las adecuaciones se realizará en espesores de muros y forma de la cubierta del techo. Recreando espesores de muros máximos que puedan ser contruidos sin que se soporten por estructuras; consideración de dobles muros, cámaras de aire; así como formas de cubiertas cóncavas en forma de bóveda con espesores que estructuralmente no cedan ante la gravedad y consideración de cubiertas planas con espesores máximos. Lo anterior conlleva a que en el modelado debe considerarse la salida de los humos y el calor que se genera en la cámara de cocción, con lo cual se lograrán modelados en techos de bóveda o plano con 2 a 3 chimeneas o aberturas. A su vez el modelado considerará el espesor adecuado de la pared de ladrillos que cubrirán la puerta de la cámara de cocción del horno.

La simulación en laboratorio utilizando el software Ansys R18.1, con lleva a que en un tiempo de 8 semanas se logre obtener las propuestas adecuadas de las cuales se seleccionaran las 3 mejores de acuerdo a su eficiencia, que presenten menos perdida de calor y a las características físicas que puedan ser fácil para su construcción.

Una vez seleccionadas se procedió a mostrar al dueño del horno, las 3 mejores alternativas, quedando la opción con el techo en forma de bóveda y 3 aberturas y en el caso de los espesores de los muros estos quedan en doble muro con una cámara de aire entre ambos, teniendo un espesor total de 60 centímetros es decir la colocación de los ladrillos “al hilo” (con la cara del ladrillo denominada tabla de manera horizontal en relación a la formación del muro), para crear un muro doble de 26 centímetros, un espacio de acuerdo al modelado de 6 centímetros que fungirá como cámara de aire y un segundo muro doble de 26 centímetros colocados también “al hilo”, (considerando que el ancho o tizón del ladrillo a emplear es de 13 centímetros), las caras internas (cámara de cocción) y externas del horno tendría

recubrimiento de arcilla, considerándose de 1 centímetro el espesor del mismo en cada cara.

De acuerdo a las dimensiones de los ladrillos a emplear en relación al molde que utiliza el ladrillero es de 26x13x5 centímetros, el horno propuesto llevaría en sus muros aproximadamente 7,330 ladrillos. En el caso del techo en forma de bóveda el espesor de la misma sería de 15 centímetros, ocupando un total aproximado de 1,014 piezas; al considerar una cámara de cocción de 3.40 x 3.40 metros por lado y de 3.50 metros de altura. La producción de ladrillos para su cocimiento sería de 8,500 unidades.

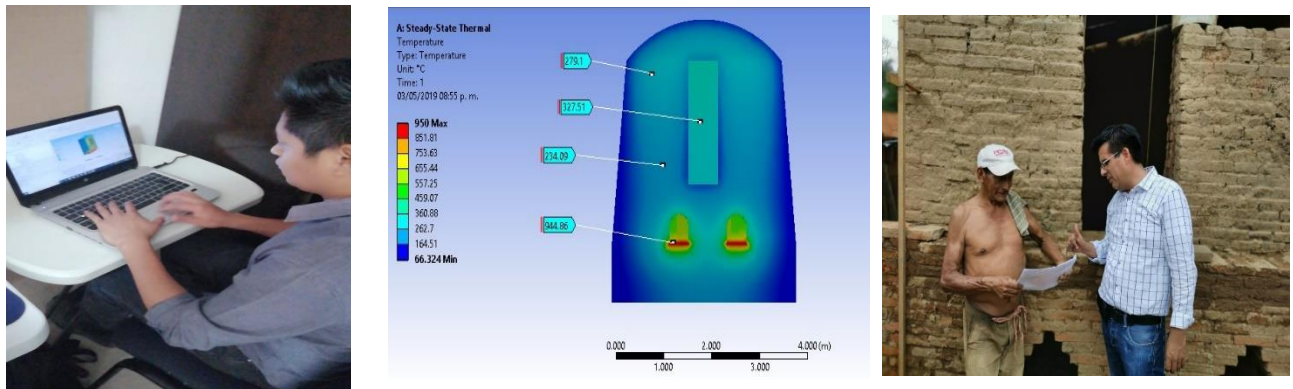


Figura 8.1. Elaboración de la simulación y presentación de las propuestas a Don vicente Fuente: Propia del autor.

## 8.1 Construcción del horno propuesto

Al tener los datos específicos del número de piezas a emplear en producción y para la construcción del horno, el compromiso del propietario, es realizar los ladrillos para su producción en 4 semanas y la construcción del horno en 2 semanas. Por lo que a partir de los datos dados por el dueño, se realiza la programación para la producción de ladrillos que servirán para tal fin.

Durante la generación de la producción así como de la construcción del horno, por parte del equipo de investigación realiza las visitas para observar y dar fe del cumplimiento de acuerdo a las especificaciones técnicas constructivas, las cuales fueron entregadas al propietario del horno para su ejecución e iba siguiendo de acuerdo a las instrucciones dadas.

En el caso del combustible al estar en un mes fuera de temporada de olote, este combustible se adquirió desde el mes de marzo “un viaje” de 6 m<sup>3</sup> (1,000 kilos), resguardándolo en el sitio con la finalidad que el día de la experimentación en el horno adecuado, fuese el mismo tipo de combustible a utilizar.



. Figura 8.2 Proceso de elaboración del Horno adaptado Fuente: Propia del autor

## 8.2 Cambios en la propuesta

Finalizando la primera semana de ejecución del horno propuesto, se presentan los problemas sociales para la construcción del horno; de acuerdo a los usos y costumbres de la zona, un propietario de un horno de ladrillos, no significa que sea dueño del terreno donde está instalado el horno. Por lo que el poseedor del predio tiene injerencia en cómo debe ser la producción de ladrillos y como debe ser la forma y altura de los hornos; al enterarse que el ladrillero realizaría un nuevo horno, este se opone a su ejecución, ya que si hay modificaciones al tipo de horno, el ladrillero paga más regalías o porcentajes por cada quema. Por lo que económicamente el poseedor del horno no lo considera redituable o una buena negociación con el propietario del predio. Por lo que decide desistir en la modificación del techo, ya que este sobresalía entre 50 a 70 centímetros más de la altura autorizada que tenía impuesta originalmente.

Por lo anterior mencionado y al ser un problema social entre propietarios de predios y hornos, así como una afectación económica futura que se provocaría por cada quema de ladrillos. Se decide a realizar la modificación inmediata a la cubierta. Considerándose la segunda mejor propuesta obtenida en la simulación; por lo que los espesores, forma y recubrimiento en muros del horno siguen igual, y el cambio se da al sustituir la bóveda por un techo plano movable, es decir se realizaría la colocación de 4 capas de ladrillos para lograr un espesor de 40 centímetros, teniendo un entrelazado de estas capas para formar aberturas en el techo, considerando 3 de estas con dimensiones de 30x30 centímetros.

La experiencia empírica del ladrillero, hace mención que el valoraría si se deja las 3 aberturas con las dimensiones ya mencionadas o dejaría aberturas menores distribuidas a lo largo y ancho del techo, considerando entre 8 a 12 espacios con dimensiones menores para poder sacar el calor excesivo y los humos generados durante la cocción. Por lo anterior se vuelve a respetar el empirismo de la persona así como los usos y costumbres a la resistencia a los cambios en las formas de los hornos. Llegando al entendimiento, se reactiva la construcción del

mismo habiendo un desfase en tiempo de 3 días, mientras se tomaban las decisiones para los cambios y acuerdos correspondientes.



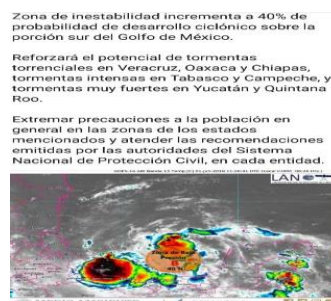
### 8.3 Climatología desfavorable

Al iniciar la temporada de lluvias oficial a partir del 15 de mayo, la observancia a las condiciones del clima es relevante debido a que la planeación programada para la quema en el horno propuesto podría estar en riesgo, ya que si la quema se realizaba en un día con probabilidad de lluvia alta, tanto la producción como el combustible podrían estropearse, provocando un retraso mayor a 30 días para volver hacer la quema, lo cual en tiempo se pondría en riesgo el proyecto de investigación experimental en campo, logrando solo quedar el tema con un trabajo de una simulación de las características de un horno con las adecuaciones necesarias para alcanzar la temperatura requerida para una cocción más homogénea de los ladrillos que es entre 800 y 1,000 grados centígrados.

Por lo que la decisión que fuese el día 5 de junio de 2019 en la madrugada, se debió a que de acuerdo al Servicio Meteorológico Nacional, la semana del 3 al 9 de junio, los días con menos probabilidades de lluvia sería el 4 y 5 de junio.

Lo cual de una manera acertada con información científica más la suma del empirismo de los ladrilleros en donde coincidía los días para la cocción, de acuerdo a la noción de las fases de la luna, se determinó en conjunto acuerdo realizar la quema el día ya mencionado.

Figura 8.3 Información del clima Fuente: Propia del autor



### 8.4 Experimentación en el horno propuesto

El día acordado para la quema sería durante la madrugada del 4 de junio de 2019, al tener la fecha para el trabajo de investigación, se planea nuevamente con varios

días de anticipación la logística para el establecimiento del campamento, compra de víveres y arrendamiento de equipo auxiliar que es la planta de energía y los andamios, adquisición del combustible para el funcionamiento de la planta; así también se hace la eficientización del personal de apoyo que asistirá al experimento y de los equipos y mobiliario de trabajo que se llevarán al sitio.

Los participantes en la experimentación del horno adecuado, se considera al líder del proyecto de investigación en la línea de edificación, el apoyo de un profesionista para realizar la medición externa de la temperatura en las paredes y techo del horno. Un profesionista para el uso de hardware y software para la medición interna de la temperatura del horno actual y el profesionista con experiencia en los principios básicos de transferencia de calor y uso de software quien realizó la simulación de la adecuación y quien corrobora que lo plasmado en el software se asemeje lo más cercano en datos al comportamiento real del horno propuesto; siendo 4 personas quienes asisten al experimento. El equipo de asesores de la UNACH y UNICACH se mantiene en 6 investigadores.

El dueño del horno menciona que el techo del mismo le hace adaptación diferente a la planteada en la simulación es decir, en lugar de dejarle un espesor de 20 centímetros conformada con 4 capas de ladrillo y 3 aberturas de 30x30 centímetros; coloca 3 capas de ladrillo con espesor de 15 centímetros y deja conformado 8 aberturas de 20x20 centímetros aproximadamente; siendo la primera adaptación física del horno realizada en relación a la propuesta dada en la simulación. Es a través de las mediciones de temperaturas externas de la quinta cara que se conocerían el comportamiento de este cambio ocurrido.

Se dará el inicio de la quema a las 3.00 am; esto debido a que ya es temporada de lluvias, y por costumbre y experiencia de los ladrilleros se inicia por las noches o madrugadas. Por lo que el funcionamiento de los equipos auxiliares se da desde la llegada del personal a las 2:00 am hasta las 7:00 am. Para que ellos puedan trabajar con iluminación durante el tiempo de oscuridad y la luz de las lámparas atraigan a los insectos.

El 3 de junio a partir de las 2:00 pm el equipo de logística acude al sitio del horno de ladrillos, para armar el campamento en la parte baja del predio, colocando la lona que protegería de la incidencia mayor del sol desde las 12:00 hasta las 5:00 pm; colocándolo al sur del horno a una distancia de 20 metros, de la misma manera coloca el equipo auxiliar de apoyo en la zona alta del predio en la misma área donde fue colocado en la primera experimentación, se deja protegido la planta de energía en caso que se presentará una lluvia, así mismo se arma el andamio al norte del horno a unos 5 metros de distancia, con la altura establecida para la observación y toma de datos, que es de 3 metros de altura.

El equipo de trabajo inicial llega a las 2:00 am para la instalación del campamento parcial colocándose frente al horno a 15 metros de distancia, en dirección sur. Se preparan los equipos de medición de temperatura interna y externa, así como la preparación del software en las computadoras portátiles. Las paredes del horno ya presentaban las barrenaciones, las cuales fueron indicadas su ubicación durante la construcción del horno, esto para poder introducir en su interior el termopar que mandará los datos al módulo digital de temperatura y de este al arduino que a su vez enviará los datos al equipo de cómputo portátil para poder leer la información obtenida, siendo las 4:00 am cuando los equipos están listos.

Las mediciones externas se dan cada 60 minutos y las mediciones internas cada 30 segundos. Se prepara el equipo de medición de temperatura y humedad ambiente, estas mediciones inician desde las 3:00 a.m.

Al haber llovido durante la noche del 3 de junio la cual cede a la 1:00 a.m. del 4 de junio, las condiciones de arranque de prendido del horno se dificultan para que empiece a calentar. Ya que tanto los muros del horno, suelo alrededor del mismo y el ambiente presenta una humedad excesiva; por lo que la humedad ambiente registrada llega al 100% entre las 3:00 a 5:00 a.m. es hasta esta última hora que logra generarse la elevación de la temperatura del interior del horno, comprobándose con los equipos de medición interna.

Hacia las 7:00 am, el campamento parcial es movido al nor-poniente del horno a la zona de los taludes de arcilla que dan la sombra suficiente para mantener al personal y al equipo de medición a salvo de los rayos del sol, se ubica este campamento a unos 7 metros de las paredes del horno; se colocan las mesas de trabajo y se preparan los equipos de medición externa.

El equipo de logística tiene indicado las horas para el desayuno y la comida, ocurriendo esto a 9:00 am y de 2:00 pm.



Figura 8.4 Proceso de medición del Horno adaptado Fuente: Propia del autor.



Figura 8.5 Proceso de medición del Horno adaptado Fuente: Propia del autor.

En cuanto al asesoramiento técnico y de investigación, los doctores en la línea de investigación, revisores, el director del tema de investigación, así como un miembro integrante de COCOVI se presentan al sitio del experimento a las 10:30 pm, se les explica el proceso de la investigación, las condiciones del experimento inicial y del horno original, se les hace mención las adecuaciones que se hicieron al horno, el comportamiento del mismo durante el trabajo de investigación experimental que se está realizando y se les informa de los datos obtenidos de las mediciones internas y externas. Dan sus recomendaciones y sugerencias al tema.

De la misma manera que durante la noche, en el día las mediciones externas se siguen desarrollando con intervalos de tiempo de 60 minutos y las mediciones internas cada 30 segundos. Como era de esperarse en el tema de investigación y de acuerdo a los datos que se obtuvieron de la simulación de la propuesta final que se adaptó en sitio, la temperatura desde las 5:00 a.m. comienza a presentar un comportamiento ascendente, fluctuando entre los 600 y 700 grados centígrados en el lapso de tiempo de las 9:00 a las 13:00 horas. Logrando la máxima temperatura a esperarse a las 14:00 horas cuando supera los 800 grados. Los registros obtenidos durante esta experimentación ayudará a conocer si se logra la homogenización y estabilidad de la temperatura en el interior del horno.





Figura 8.6 Proceso de medición del Horno adaptado Fuente: Propia del autor.



Figura 8.7 Proceso de medición del Horno adaptado visita de investigadores de la UNACH Fuente: Propia del autor

A su vez, las caras laterales y frontales superan en lapsos de tiempo variable los 70 grados Centígrados, siendo esta pérdida registrada en la llamada puerta del horno. En el caso de la quinta cara, el techo, las mediciones que se realizan y el registro de los datos obtenidos en la temperatura son la información más valiosa obtenida ya que se registra en tiempo real mediciones externas, encontrándose las zonas con mayor fuga de calor, alcanzando pérdidas cercanas a los 150 grados Centígrados. En el punto máximo del alcance de la temperatura interior del horno.

Estas pérdidas de temperatura en la quinta cara es lo que empíricamente el dueño del horno hace mención que el “fuego sube” a la parte alta del horno, logrando la cocción total de los ladrillos y dejando que este “fuego” se consuma para dar por



terminado el ciclo de la quema. Los usos y costumbres siguen presentes en la temática de las quemas de lotes de ladrillos.

El fenómeno que ocurre durante el lapso de tiempo del alcance máximo de la temperatura, las tres capas de ladrillos que forman el techo del horno, por la presión formada por la temperatura y el calor alcanzado, y por la salida del humo, provoca que los ladrillos se separen, fenómeno que ocurre más hacia la zona cercana a la puerta del horno. Así también se observa que muchos ladrillos se cristalizan y se fragmentan por el mismo calor, fenómeno que no se presentó durante la primera experimentación del horno original utilizado.

Lo anterior conlleva a que el ladrillero y su personal comienzan 2 horas antes del alcance máximo de temperatura, a acomodar nuevamente los ladrillos que se separaron por la presión del calor y a sustituir los ladrillos cristalizados. Así también el propietario del horno coloca una cuarta capa de ladrillos sobre el techo para conservar el calor y con este terminar la quema total de los ladrillos, por lo que de 3 capas originales se forman 4, pasando de 15 a 20 centímetros de espesor el techo. Por lo que empíricamente 5 centímetros más ayudarán a que el calor se mantenga el mayor tiempo posible, el cual de acuerdo a lo observado en campo se logra 2 horas después, es decir a las 3:00 pm.

En el caso del combustible empleado, a las 3:00 p.m. que alcanzó la temperatura máxima, de la pila de olote se habían consumido  $\frac{3}{4}$  partes de este. Que en kilos representaría aproximadamente 750 kilogramos. Y que con esta porción utilizada era suficiente para mantener la temperatura alcanzada por un par de horas más. Por usos y costumbres de los ladrilleros, es terminar el combustible total, por lo que después de la hora en que alcanzo la temperatura punta, siguió alimentándose el horno con los aproximadamente 250 kilogramos de olote que aún quedaban.



Figura 8.8 Proceso de medición del Horno adaptado Fuente: Propia del autor.

Esta medición de temperatura de principio a fin dura 12 horas, siendo en horario oficial de la quema de las 03:00 am y terminando a las 03:00 pm del 4 de Junio de 2019.

En sitio, a partir de las 03:00 pm la misión de la experimentación concluye, por lo que se procede durante la siguiente hora a dejar resguardada la información obtenida, se apagan y guardan los equipos de medición interna y externa; se deja levantado las herramientas y mobiliario del campamento, se recoge el equipo auxiliar planta de luz y andamios, finalizando las actividades de cierre a las 4:00 pm. El apoyo de logística arriba al sitio del proyecto a las 6:00 pm para recoger el campamento y los equipos auxiliares arrendados, se da por terminada la experimentación en campo del horno adaptado.

Transcurren 7 días después de la quema, para regresar al sitio y observar las condiciones en que queda el horno, se observa que se encuentra retirada tanto la pared de ladrillos que se utilizaron para cerrar la puerta del horno así como los ladrillos que cubrían el techo. La producción ha sido colocada en la zona alta del sitio y la merma en la zona baja junto al horno. La merma se observa que ha sido aproximadamente de 80 ladrillos siendo un 0.94% de la producción total, que de acuerdo al propietario del horno la mayor parte de este desperdicio se da en la parte superior del horno. Se toman muestras de ladrillos para que puedan realizarse las pruebas de resistencia a la compresión en el laboratorio de materiales de la Facultad

de Arquitectura de la UNACH, con el fin de realizar la comparación de esta prueba entre el lote de prueba del horno original y el horno propuesto.



Figura 8.9 guardar equipo que funciono de apoyo para la quema Fuente: Propia del autor.

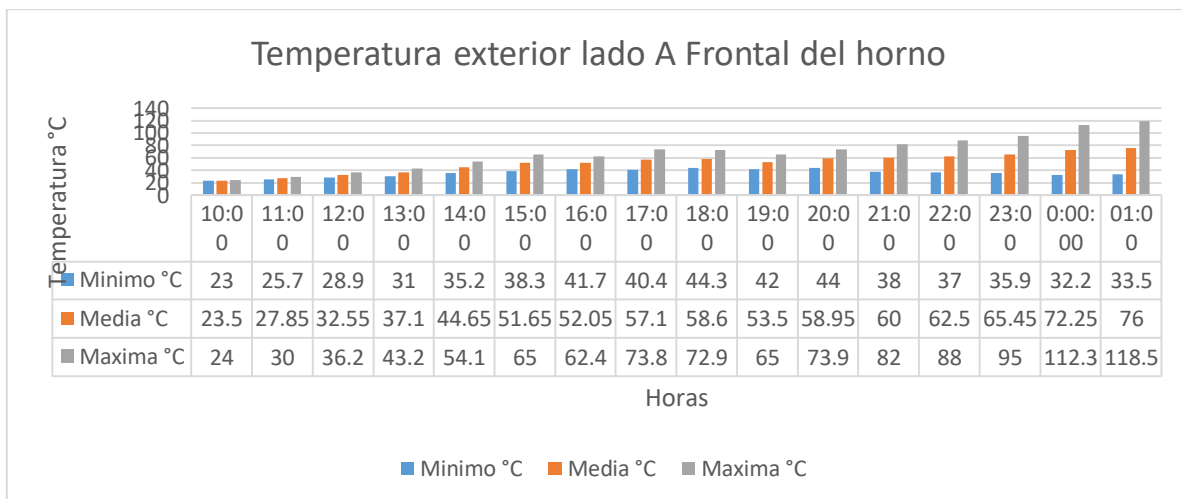
## 9 Resultados

### 9.1 Resultados de medición del horno actual.

Los resultados térmicos del estado actual del horno, realizado en Chiapa de Corzo. Presentando de la siguiente manera la primera parte es la evaluación térmica de la temperatura exterior de lo horno, la segunda será la medición interior, se presentará las gráficas de ambas para analizar. Por último, se comprobará los resultados estadísticamente con Matlab, que es un software, para conocer su confiabilidad.

En la primera etapa, se levantó consecuente de esta forma: Lado A es lado frontal del horno, lado B es el frente del horno y lado C es lado superior del horno, se tomaron la mínima, media y máxima de las 3 caras del horno, donde se midió a cada hora, empezando desde las 10:00 horas hasta la 01:00 horas, teniendo 16 horas continuas.

**Tabla 9.1: Temperatura exterior del horno lado A**



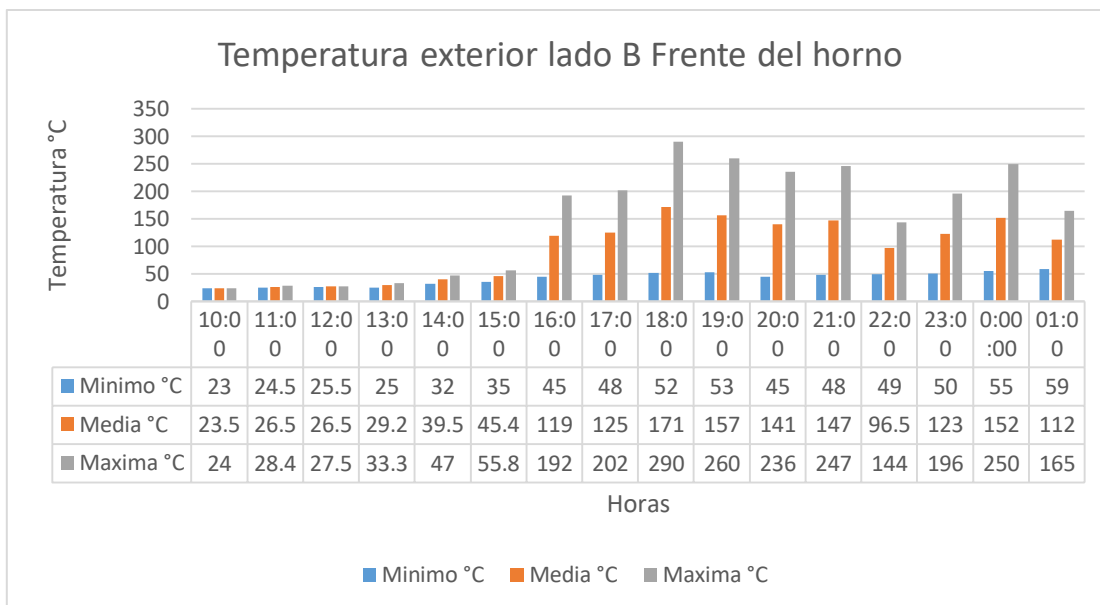
Fuente: Propia del autor.

En la tabla 9.1, se muestran los resultados de la medición de la temperatura exterior del lado A, que es el lado frontal del horno, donde se obtiene que a las 10:00 horas tiene una temperatura de 24 °C, a las 18:00 horas, una temperatura de 72.9 °C y a las 01:00 horas una temperatura de 118.5 °C. Teniendo un aumento de temperatura de la mínima de 10.5 °C, la media de 52.5 °C y la máxima de 94.5 °C, el horno tiene

una altura total de 3.10 metros con el espesor de 0.30 metros a una altura de 2.10 metros y termina con un espesor de 0.15 metros para el resto de la altura, por ese motivo tiene una diferencia de 84.5°C de diferencia entre la mínima y máxima.

Como se observa en la tabla 9.2, Los resultados de la medición de la temperatura exterior del lado B, que es el lado de frente del horno, donde se obtiene que a las 10:00 horas tiene una temperatura de 24 °C, a las 18:00 horas, una temperatura de 290 °C y a las 00:00 horas una temperatura de 249.5 °C. Teniendo un aumento de temperatura de la mínima de 36 °C, la media de 88.4 °C y la máxima de 225.5 °C, el horno tiene una altura total de 3.10 metros con el espesor de 0.30 metros a una altura de 2.10 metros y termina con un espesor de 0.15 metros para el resto de la altura, por ese motivo tiene una diferencia de 189.5°C de diferencia entre la mínima y máxima.

**Tabla 9.2: Temperatura exterior del horno lado B**

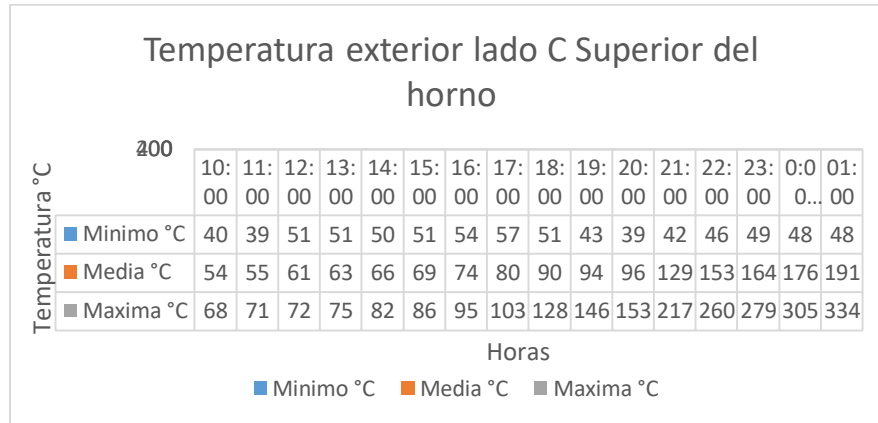


Fuente: Propia del autor.

Se observa en la tabla 9.3, la medición de la temperatura exterior del lado C, que es el lado superior del horno, donde se obtiene que a las 10:00 horas tiene una temperatura de 24 °C, a las 18:00 horas, una temperatura de 128.2 °C y a las 00:00 horas una temperatura de 333.5 °C. Teniendo un aumento de temperatura de la

mínima de 8.8 °C, la media de 136.4 °C y la máxima de 265.8 °C. esta es la cara con más pérdida de calor.

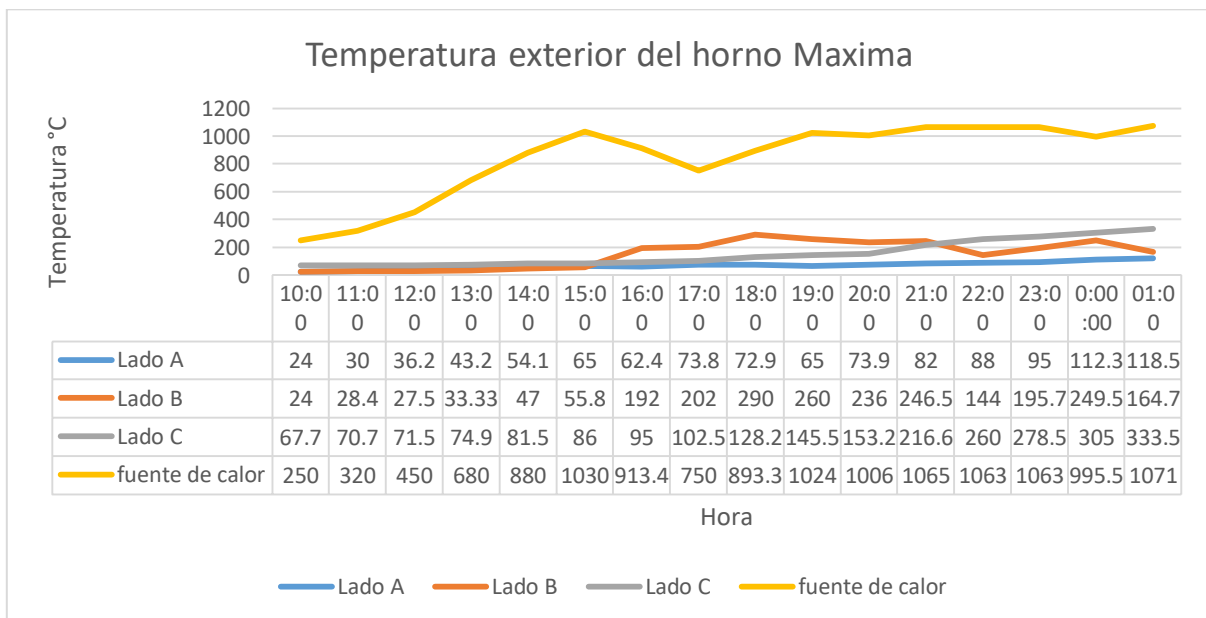
**Tabla 9.3: Temperatura exterior del horno lado C**



Fuente: Propia del autor

Los resultados de todas las pruebas de temperatura mínima, media y máxima, se presentan en las tablas 9.4, 9.5 y 9.6 respectivamente, en la cual se observa la perdida de calor con respecto a la fuente de calor que empieza con una temperatura de 250°C, hasta llegar 1071°C, se obtiene que el lado C es la cara con más perdida de calor.

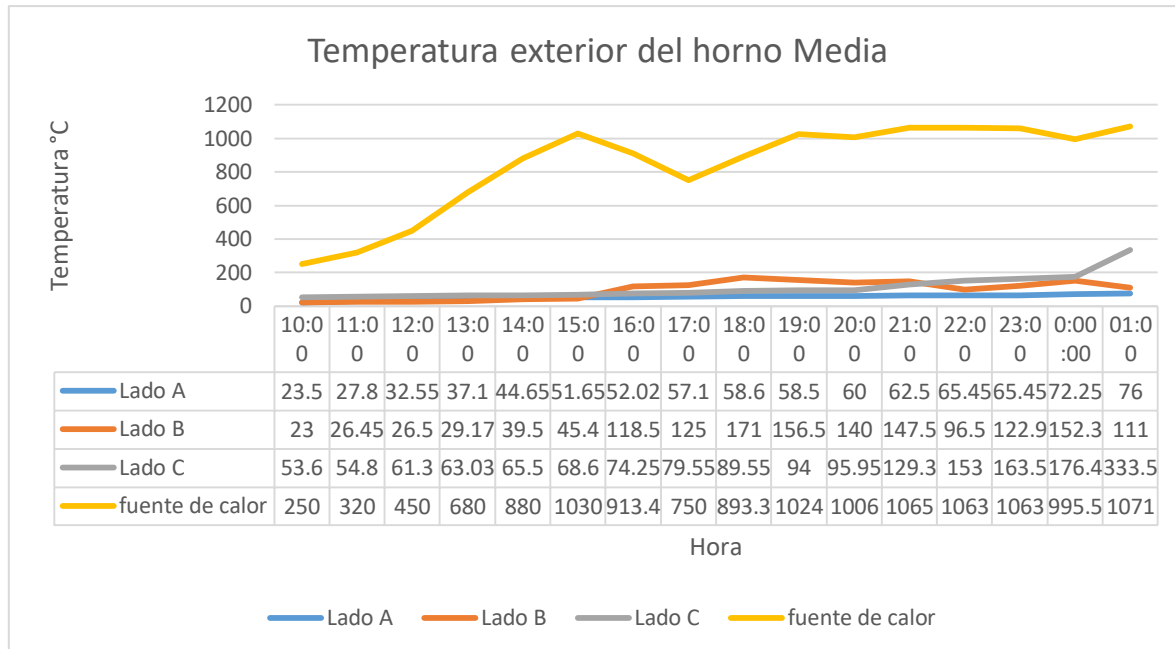
**Tabla 9.4: Temperatura exterior máxima de las caras del horno**



Fuente: Propia del autor.

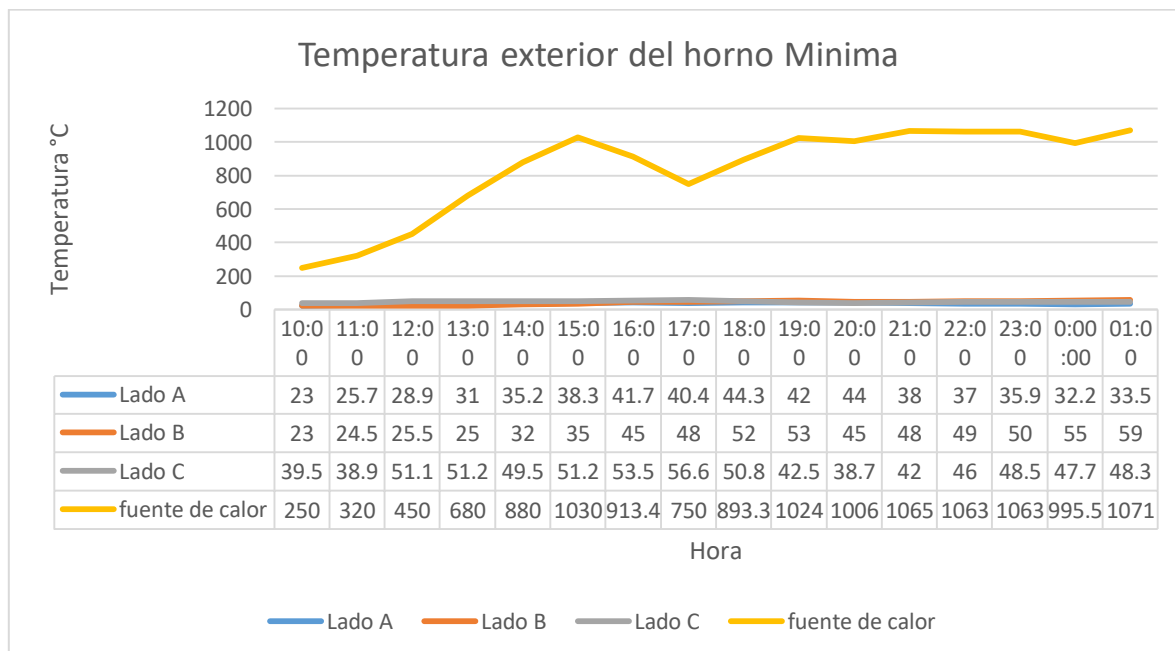


**Tabla 9.5: Temperatura exterior media de las caras del horno**



Fuente: Propia del autor.

**Tabla 9.6: Temperatura exterior mínima de las caras del horno**



Fuente: Propia del autor

La segunda etapa, se levantó la temperatura interior con los arduinos de la siguiente manera: Lado A es lado frontal del horno, lado B es el frente del horno y lado C es lado superior del horno, se tomaron la mínima, media y máxima de las 3 caras del horno, donde se midió a cada hora, empezando desde las 11:00 horas hasta la 01:00 horas, teniendo 15 horas continuas.

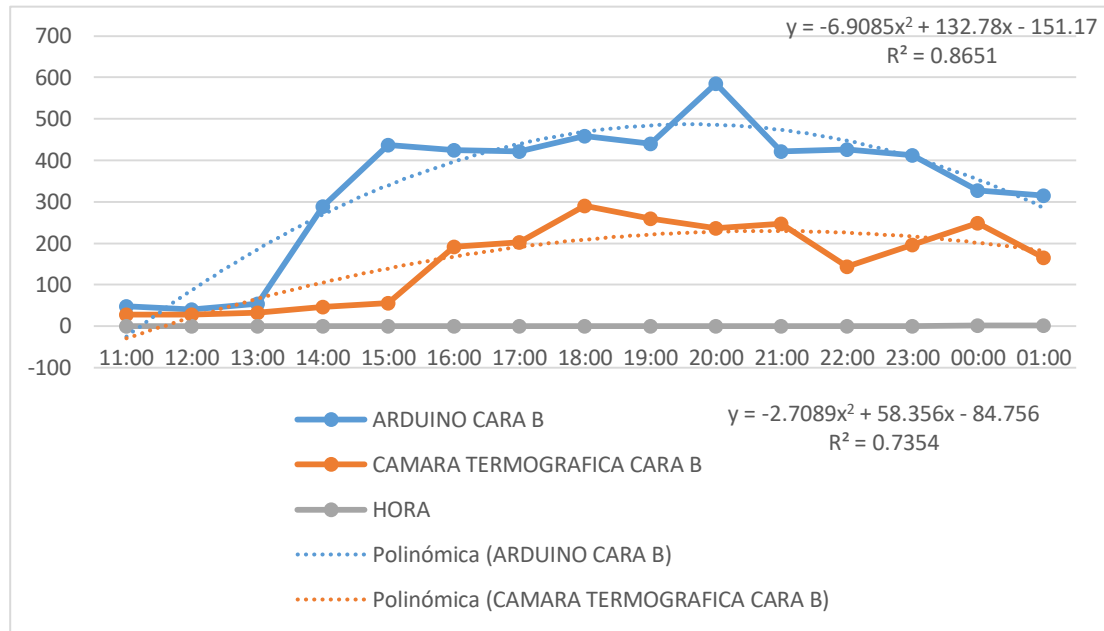
Como se observa en las tablas 9.7 y 9.8, se midió la temperatura exterior e interior del lado B, que es el lado de frente del horno, donde se obtiene que a las 11:00 horas tiene una temperatura de 28.4°C y 47.5 °C, a las 18:00 horas, una temperatura de 290 °C y 458°C, y por ultimo a las 00:00 horas una temperatura de 249.5 °C. y 326.75 °C. Teniendo un aumento de temperatura de 19.1 °C, 168 °C y 77.25 °C, respectivamente.

**Tabla 9.7: Temperatura exterior e interior del lado B del horno**

HORA	Cámara termografía cara B temperatura °C	Arduino cara B temperatura °C
11:00	28.4	47.5
12:00	27.5	40
13:00	33.33	53.75
14:00	47	288.25
15:00	55.8	437.75
16:00	192	425.3
17:00	202	421.75
18:00	290	458
19:00	260	440.36
20:00	236	584.75
21:00	246.5	421.75
22:00	144	426
23:00	195.7	412.75
00:00	249.5	326.75
01:00	164.7	315

Fuente: Propia del autor

**Tabla 9.8: Temperatura exterior e interior del lado B del horno**



Fuente: Propia del autor

## 9.2 Resultados de las simulaciones

Con los resultados obtenidos en el horno original se pueden identificar los lugares donde se tiene mayores pérdidas de calor. La distribución de temperatura del horno, donde se aprecia las superficies de mayor temperatura que otras, especialmente en los lugares donde se tiene menor espesor de muros, que es en la denominada puerta del horno, y esto es un punto determinante ya que es en esa zona donde se puede tener la mayor pérdida de calor del horno. Los flujos de calor y se complementa lo que se muestra en la figura de temperaturas, en las partes donde se tiene menor espesor es donde se tiene mayor pérdida de calor.

La simulación demuestra que no se tiene buena uniformidad térmica dentro del horno. Este problema está ligado también con la geometría que tiene el mismo, debido a la falta de uniformidad en todos los muros además de que en el techo se tiene un espesor muy delgado; donde también se pueden apreciar grandes pérdidas de calor.

En los flujos de calor se puede apreciar donde se tienen las mayores pérdidas de calor. Para el caso del horno original se encuentra en las zonas de menor espesor de muro. Cuando se uniformizan los muros; como en las propuestas 1, 2 y 3, se pueden ver la uniformidad de los flujos de calor. Eso quiere decir que dentro del horno la distribución de temperatura es más uniforme.

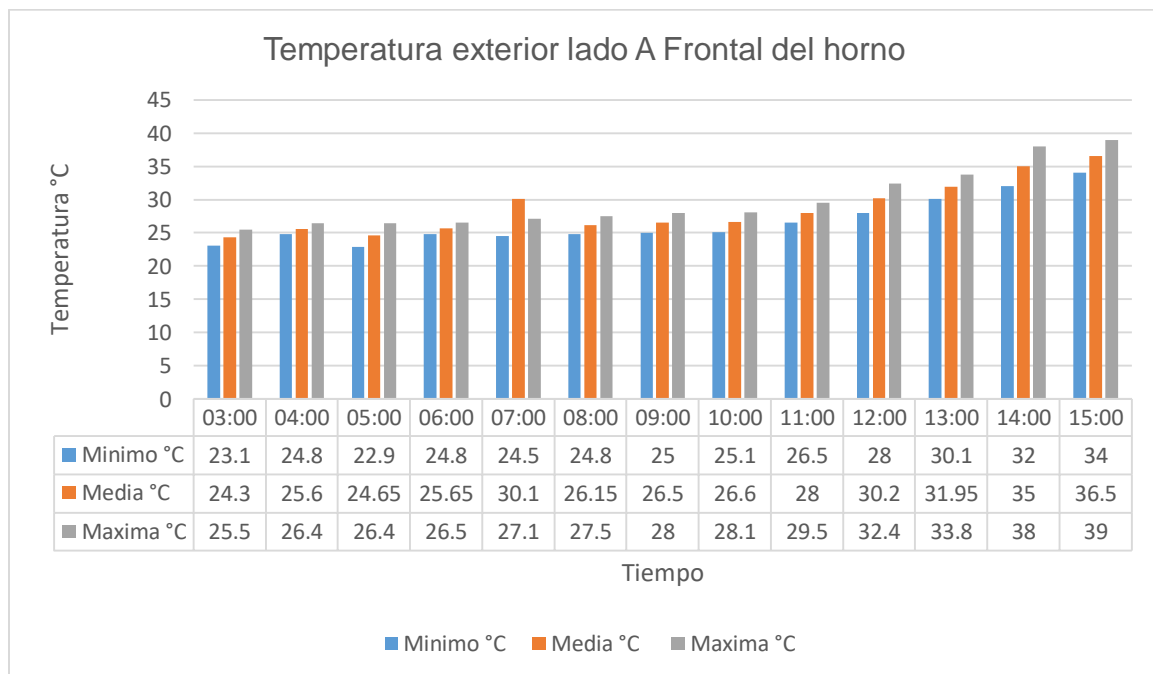
Si hacemos la comparación de flujos de calor de la propuesta dos que tiene mejores resultados de temperatura con el caso real que tuvo una máxima de 4264 W/m<sup>2</sup>, se puede tener una mejora del 16.8 % de mejora en el horno. Se puede considerar una mejora considerable pero además un punto importante es la uniformidad del calor dentro del horno para que todos los ladrillos reciban el mismo tratamiento térmico y así mejorar la calidad de los mismos. Por lo que el orden en la mejor propuesta a seleccionar es propuesta 2, propuesta 3, propuesta 1.

### 9.3 Resultados de medición del horno propuesto.

La segunda etapa, se levantó consecuente de esta forma: Lado A es lado frontal del horno, lado B es el frente del horno y lado C es lado superior del horno, se tomaron la mínima, media y máxima de las 3 caras del horno, donde se midió a cada hora, empezando desde las 03:00 horas hasta la 15:00 horas, teniendo 12 horas continuas

Como se observa en la tabla 9.9, se midió la temperatura exterior del lado A, que es el lado frontal del horno, donde se obtiene que a las 03:00 horas tiene una temperatura de 23.1 °C, a las 09:00 horas, una temperatura de 25 °C y a las 15:00 horas una temperatura de 34 °C. Teniendo un aumento de temperatura de la mínima de 10.9 °C, la media de 12.20 °C y la máxima de 13.50 °C, el horno tiene una altura total de 3.50 metros con el espesor de 0.60 metros a una altura de 3.10 metros y termina con un espesor de 0.30 metros para el resto de la altura.

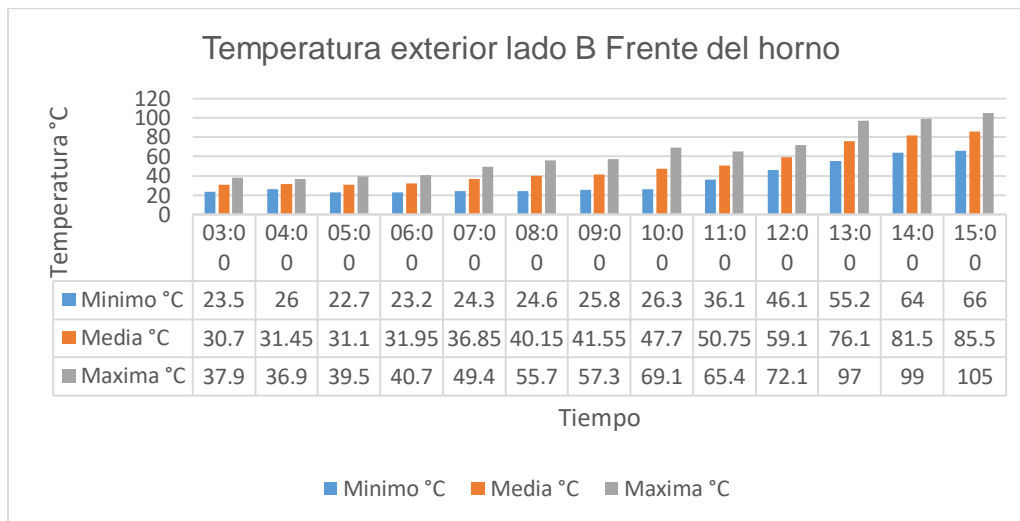
**Tabla 9.9: Temperatura exterior del lado A del horno..**



Fuente: Propia del autor

Como se observa en la tabla 9.10, se midió la temperatura exterior del lado A, que es el lado frontal del horno, donde se obtiene que a las 03:00 horas tiene una temperatura de 30.7 °C, a las 09:00 horas, una temperatura de 41 °C y a las 15:00 horas una temperatura de 85.50°C. Teniendo un aumento de temperatura de la mínima de 42.50 °C, la media de 54.80 °C y la máxima de 67.04 °C, el horno tiene una altura total de 3.50 metros con el espesor de 0.60 metros a una altura de 3.10 metros y termina con un espesor de 0.30 metros para el resto de la altura.

**Tabla 9.10: Temperatura exterior del lado A del horno**

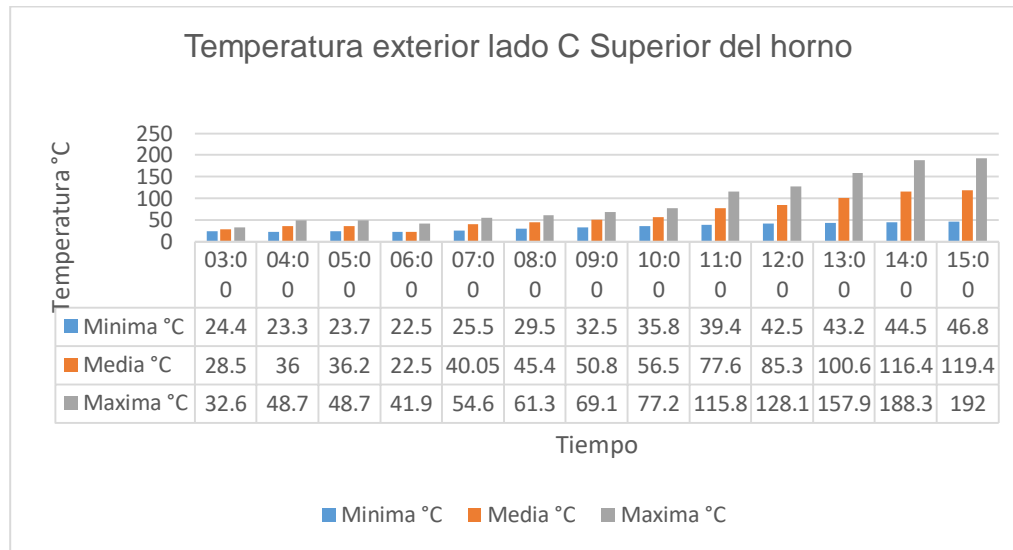


Fuente: Propia del autor.

Como se observa en la tabla 9.11, se midió la temperatura exterior del lado A, que es el lado frontal del horno, donde se obtiene que a las 03:00 horas tiene una temperatura de 23.1 °C, a las 09:00 horas, una temperatura de 25 °C y a las 15:00 horas una temperatura de 34 °C. Teniendo un aumento de temperatura de la mínima de 22.4°C, la media de 90.90 °C y la máxima de 159.40 °C, el horno tiene una altura total de 3.50 metros con el espesor de 0.60 metros a una altura de 3.10 metros y termina con un espesor de 0.30 metros para el resto de la altura.

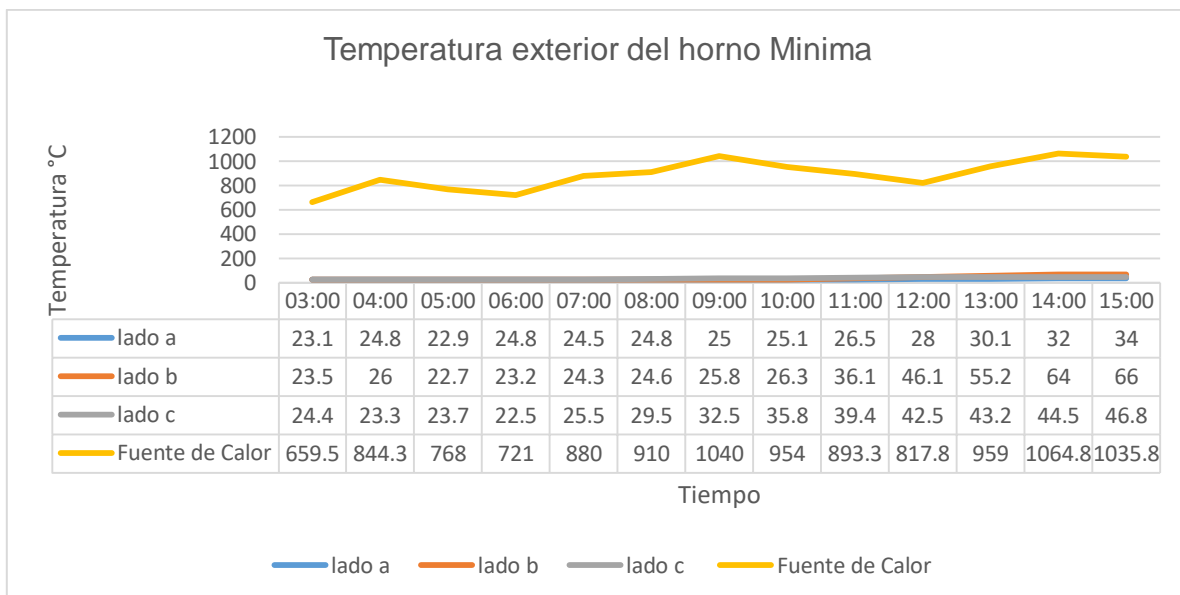


**Tabla 9.11: Temperatura exterior del lado A del horno**



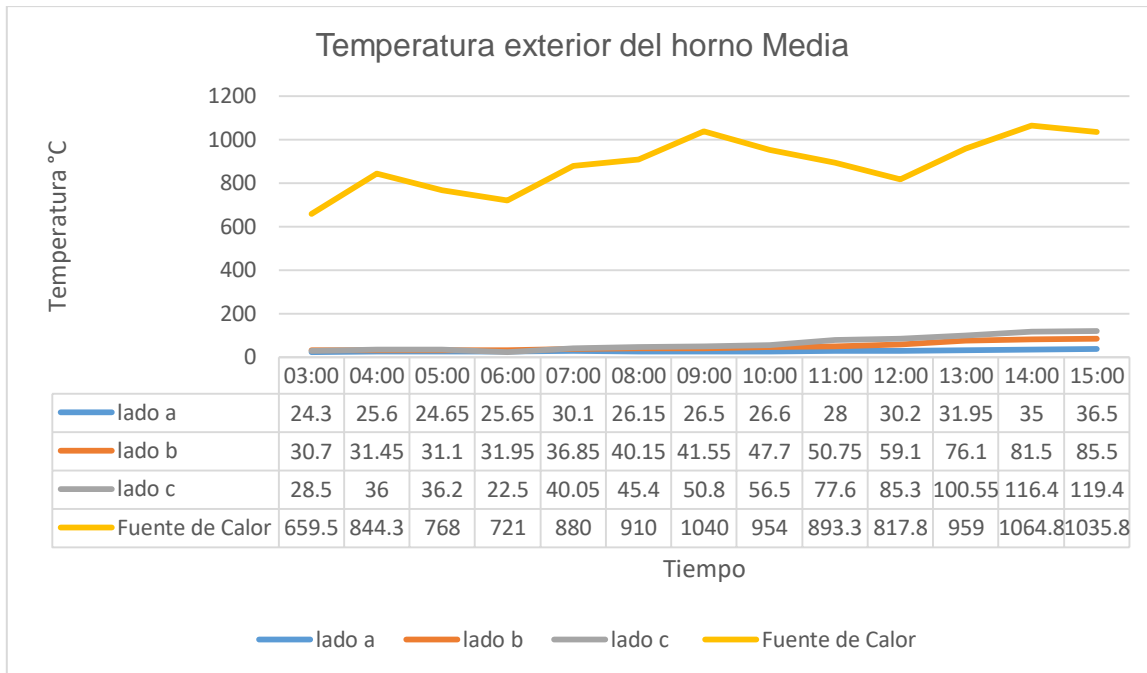
Fuente: Propia del autor.

**Tabla 9.12: Temperatura exterior del lado A del horno**



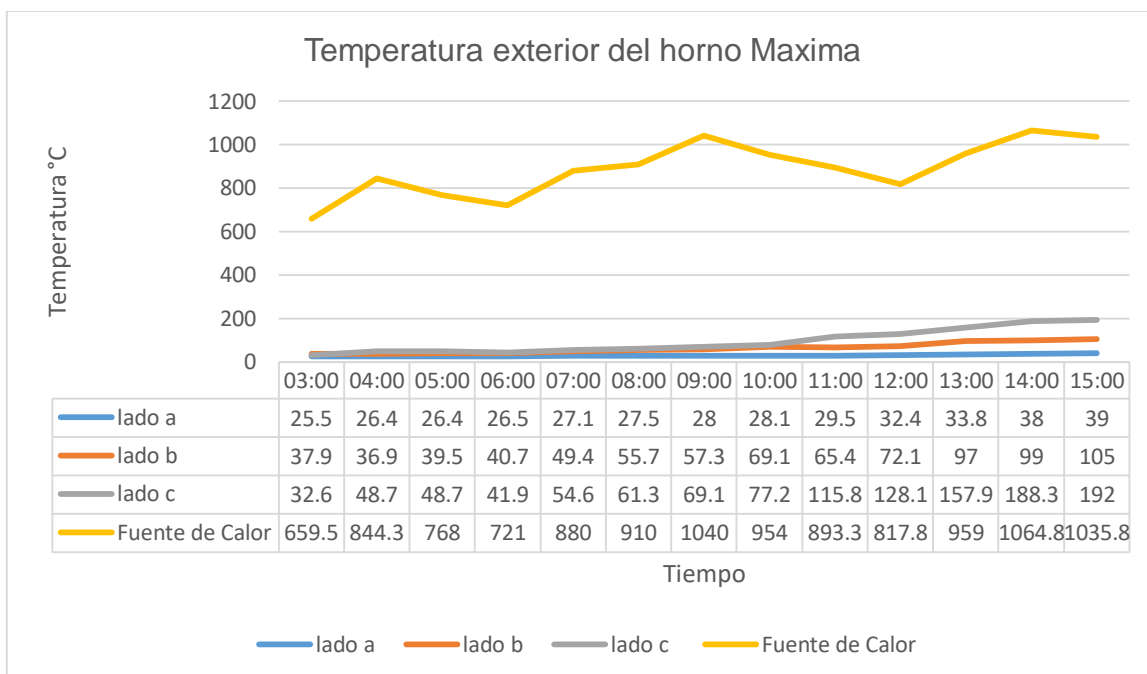
Fuente: Propia del autor.

**Tabla 9.13: Temperatura exterior del lado A del horno.**



Fuente: Propia del autor

**Tabla 9.14: Temperatura exterior del lado A del horno**



Fuente: Propia del autor.

La segunda etapa, se levantó la temperatura interior con los arduinos de la siguiente manera: Lado b, donde se ubica la puerta, para esta medición se realizó a cada 10 minutos para tener un mayor monitorio sobre las temperaturas del interior, y poder analizarlo, se empezó a las 05:00 horas hasta la 14:00 horas, teniendo 9 horas continuas.

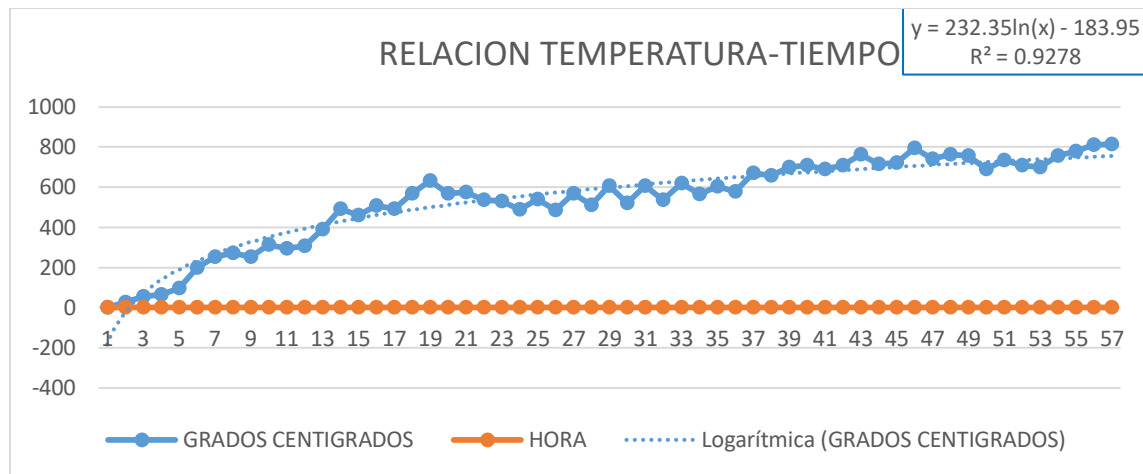
Como se observa en las tablas 9.15 y 9.16, se midió la temperatura exterior e interior del lado B, que es el lado de frente del horno, donde se obtiene que a las 05:00 horas tiene una temperatura de 65.5C, a las 11:00 horas, una temperatura de 672°C, y por ultimo a las 14:00 horas una temperatura de 812.20 °C. Teniendo un aumento de temperatura constante, como se muestra en la siguiente gráfica. Con la adaptación que se realizó al horno se puede comprobar que se homogenea la temperatura, evitando las fugas de calor y concentrando el calor sobre el interior, optimizando recurso de combustible, tiempo y mejor cocción de los ladrillos.

. Tabla 9.15: Temperatura exterior del lado B del horno interior y exterior

HORA	Cámara termografía cara B temperatura °C	Arduino cara B temperatura °C
05:00	31.1	55.75
06:00	31.95	252.25
07:00	36.85	389.35
08:00	40.15	632.75
09:00	41.55	538.75
10:00	47.7	608.2
11:00	50.75	670.5
12:00	58.1	763
13:00	76.1	756
14:00	81.3	812.76

Fuente: Propia del autor

Tabla 9.16: Temperatura exterior del lado B del horno interior



Fuente: Propia del autor

#### **9.4 Análisis físico mecánico de los tabiques de arcilla obtenidos en el horno tradicional y en el propuesto**

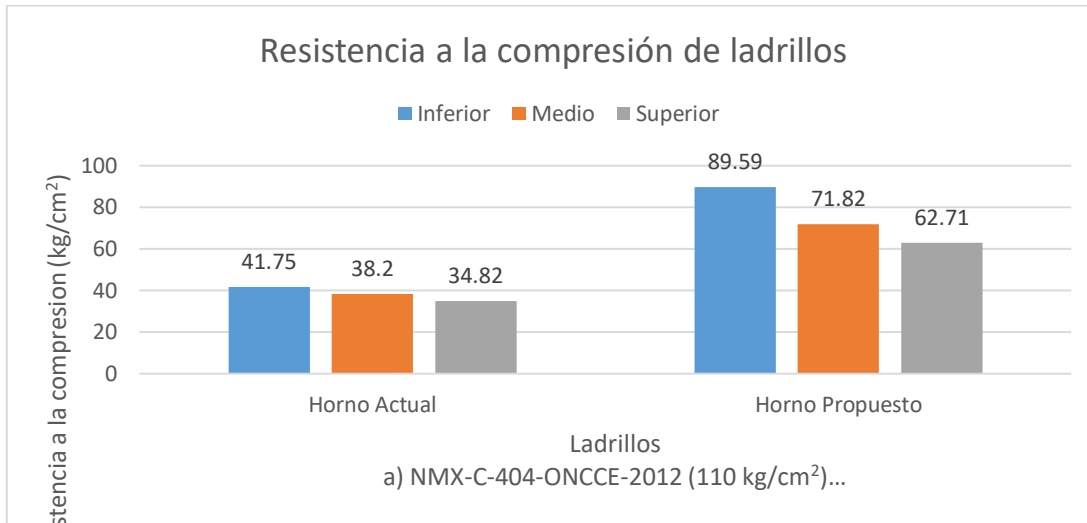
Como se hace mención en la tabla 9.17, en las pruebas que se realizaron a ladrillos de tabiques, la cual fue la prueba de comprensión, los cuales después de haber sido preparados con yeso, “cabeceado”, para tener superficie de contacto de forma homogénea, se pasaron por la prensa eléctrica, en el laboratorio de materiales de la facultad de arquitectura, de la UNACH.

En el caso de los tabiques de arcilla tomados del horno tradicional, las pruebas arrojaron resistencia mayores NMX-C-441-ONNCCE-2012 (50), donde los parámetros mínimos de resistencia para ladrillos o tabiques no estructurales es de 30 kg/cm<sup>2</sup>; los cuales en las pruebas realizadas se lograron resultados promedios de los tabiques seleccionados de la parte inferior, media y alta del horno; de lo cual se logra una ponderación de 41.75 kg/cm<sup>2</sup> en la parte inferior, de 38.2 kg/cm<sup>2</sup> en la media obtenida de los tabiques de la parte media y de 34.82 kg/cm<sup>2</sup> en el resultado ponderado de los tabiques seleccionados de la parte superior. Se realizaron las mismas pruebas a los ladrillos de arcilla obtenidos del horno propuesto, logrando resultados superiores a los obtenidos en el horno tradicional, alcanzando resistencia a la compresión de 89.59 kg/cm<sup>2</sup> de los seleccionados en la parte inferior; de 71.82 kg/cm<sup>2</sup> de la ponderación de la selección de la parte media y de 62.71 kg/cm<sup>2</sup> de los escogidos de la parte superior; estando aun dentro de la Norma mexicana ya citada, que es de tabiques no estructurales. En ambos casos la mayor resistencia de los ladrillos se obtuvo de las muestras tomadas de la parte inferior del horno que es la parte más cercana a la cámara de combustible.

Con lo anterior se demuestra que con la mejora del horno propuesto en cuanto a homogenización de la distribución del calor el cual hace que disminuya el tiempo de cocción, así como el uso de combustible en relación al horno tradicional, la resistencia a la compresión de los ladrillos obtenidos es mejorada, con un cocimiento más homogéneo dentro de la cámara de cocción del horno, quedando a

un valor de 20.41 kg/cm<sup>2</sup> para alcanzar la resistencia requerida en la Norma Mexicana para ladrillos estructurales que es la NMX-C-404-ONNCCE-2012(49).

**Tabla 9.17. Discusión de los resultados de tabique de arcilla del horno actual y del horno propuesto.**



FUENTE: Elaboración personal

## 9.5 Discusión

La discusión al tema de investigación se dará en relación a la experimentación realizada en el horno original y a la registrada en el horno adaptado, por lo anterior se presenta la siguiente tabla donde se da la comparación de los resultados e información más relevante ocurrida durante el proceso del trabajo de investigación.

Se puede discutir finalmente que en este trabajo de investigación pese a que no se realizó en escala real la propuesta 2, que fue la que tendría mejores resultados en relación a la homogenización de la temperatura y a la pérdida de calor, con la propuesta seleccionada (propuesta 3), por los problemas sociales entre el dueño del predio y el propietario del horno artesanal, que repercutirían en problema económico hacia el segundo; esta opción seleccionada alcanzó los objetivos plasmados en este tema de investigación, ya que de igual forma se logró esa reducción en la pérdida de calor principalmente en techo, así como la disminución de la merma y en el tiempo de cocción; por lo que si se hubiera realizado el horno con las mejores condiciones los resultados probablemente habrían superado a los obtenidos en esta experimentación. Esta comprobación solo puede ser soportada realizando a escala real el horno y realizando el registro de los datos tal cual fue realizado en la propuesta seleccionada.

**Tabla 9.18. Discusión de los resultados de campo**

	HORNO ORIGINAL	HORNO ADAPTADO	DISCUSION
<b>FORMA</b>	Vertical tipo escocés	Vertical tipo escocés	Adaptación en sitio
	Medidas de 3.40x3.40 mts. cámara de cocción, altura de 3 mts.	Medidas de 3.40x3.40 mts. Cámara de cocción; altura de 3.5 mts.	Medidas similares, aumento de la altura 0.50 mts.



	<p>Espesor de muros hasta los 2 metros de 30 cms; parte baja (1.50 mts); muro de 15 cms, resto de la altura</p>	<p>Espesor de muros total de 60 cms, 2 dobles muros con cámara de aire intermedio,</p>	<p>Uniformizó el espesor, y creación de una cámara de aire, para evitar pérdida de calor igual o mayor al del horno original, adaptación de acuerdo a empirismo del ladrillero; acercamiento a los parámetros obtenidos en la simulación</p>
TECHO	<p>Sin techo, recubrimiento o con una sola capa de ladrillos de 5 cms, para evitar pérdida de calor</p>	<p>Sin techo, recubrimiento con 4 filas de ladrillos, acomodado para dejar aberturas aleatorias de 20x20 cms; espesor de 20 cms.</p>	<p>Mejoramiento de la cobertura del techo, menos pérdida de calor en horno adaptado, similitud a la simulación, adaptación de acuerdo a empirismo del ladrillero.</p>
TEMPERATURA EXTERIOR EN MUROS	<p>59 ° C - 290 ° C</p>	<p>66 °C- 105°C</p>	<p>Eficiencia en la fuga de calor, bajando 185 °C esta pérdida. Mejoramiento en un 63.79 %</p>
HORA DE ALCANCE	<p>01:00 hrs- 18:00 hrs</p>	<p>15:00 hrs-15:00 hrs</p>	<p>En el horno original fue a las 15 hrs de cocción la temperatura mínima , la máxima a 8 horas despues del inicio de la quema. En el horno nuevo la minima y máxima se dan a las 12 hrs de cocción.eficientand o el tiempo en la homogenización de la temperatura hasta el final de la</p>

			<b>cocción de los ladrillos.</b>
<b>TEMPERATURA INTERIOR EN CAMARA DE COCCION</b>	<b>40°C- 584.75 °C</b>	<b>55.75°C-812.76 °C</b>	Un aumento en la temperatura de 228.01 °C; el mejoramiento al aumentar la temperatura para una buena cocción. Mejoramiento de un 39.04 % en relación a la temperatura máxima obtenida en el horno original.
<b>HORA DE ALCANCE</b>	<b>12:00 hrs-20:00 hrs</b>	<b>5:00 hrs-14:00 hrs</b>	En el horno original 5 horas antes del cocimiento total se logra la máxima temperatura. En el horno adaptado, se completa a las 12 horas de la cocción.
<b>TEMPERATURA EN TECHOS</b>	<b>56.6°C- 333.5 °C</b>	<b>46.8°C-192°C</b>	Se disminuye la perdida de calor en techo en 141.5°C, un porcentaje de mejora del 73.69% en relación a la fuga del horno adaptado
<b>HORA DE ALCANCE</b>	<b>17:00 hrs-01:00 hrs</b>	<b>15:00 hrs-15:00 hrs</b>	A la última hora determinada por el ladrillero, para completar el ciclo de la cocción de los ladrillos.

COMBUSTIBLE	Uso del olote, 1,000 kgs.	Uso de olote, 750 kgs	Ahorro de 1/4 parte del combustible empleado, por lo que en la 5ta quema se genera un ahorro en la adquisición de combustible. Ahorro del 25% del combustible utilizado.
TIEMPO DE COCCION	15 horas	12 horas	Mejoramiento en tiempo por 3 horas, debido al clima
CLIMA	Seco, invierno	Lluvias, primavera	La experimentación del horno antigua tenía mejores condiciones de clima, en comparación al experimento en el horno adaptado, debido a que por ser temporada de lluvias, la humedad era un factor importante que alentaba el proceso de calentamiento del horno y de iniciar el ascenso de la temperatura desde el inicio de la cocción.

<b>VARIABLES EXTRAORDINARIAS</b>	<b>Ninguna</b>	<b>Problema social- económico</b>	La adaptación de la forma del horno, quedó la 2da mejor propuesta, debido a que el dueño del predio no le permitió al dueño del horno modificar alturas y forma del mismo; ya que al hacerlo el dueño del horno tendría que pagar mayor cuota por cada quema que realizará, cuestión que no convenció al dueño del horno aceptar tal trato.
<b>MERMAS</b>	<b>1,000 piezas</b>	<b>80 piezas</b>	Una disminución considerable en la pérdida de ladrillos. Por lo que la mejora en esta variable fue del 92% en relación a las pérdidas obtenidas en ambos experimentos, y fue de un 12.5% en relación al lote total que se coció (8,500 piezas)

FUENTE: Elaboración personal.

### 9.5.1 Discusión teórica

En relación a otras investigaciones realizadas y en donde la temática tiene referencias similares al caso de estudio, ladrillos, hornos, temperatura, diseño y resistencia; se hace la siguiente discusión en cuanto a resultados puntuales. González y Lizárraga (2015), menciona que para alcanzar la resistencia a la compresión para ladrillos no estructurales de acuerdo a lo indicado en la NMX-C-441-ONNCCE-2013 y a las pruebas que realizó en laboratorio en un horno tipo industrial, de la arcilla obtenida en la Rivera de Cupía, municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas, México, cercana al área de estudio de esta investigación; la temperatura mínima recomendada es de 800 °C para ladrillos de arcilla ordinarios y de 900 a 1000°C en relación a mezclas con diferentes biomásas agrícolas. En el caso del ladrillo ordinario de acuerdo a la prueba de resistencia realizada, alcanza 83 kg/cm<sup>2</sup>. En el caso del horno artesanal del tema de investigación alcanza la temperatura de 817°C y la resistencia de los ladrillos alcanza 81 kg/cm<sup>2</sup>. Por lo que se puede discutir que aun artesanalmente y con una cámara de cocción que logra elevar la temperatura a la mínima recomendada por la Norma Mexicana, se logran los resultados similares a un proceso de cocción industrial y que esto va en relación a la calidad de la arcilla así como del tiempo de cocción.

Con lo anterior descrito, González y Lizárraga (2015), confirma lo mencionado en sus recomendaciones de continuar con estudios de ahorro energético empleando arcillas de mejor calidad, con lo que se logra establecer las comparaciones con los ladrillos fabricados de manera tradicional.

En cuanto a lo comentado por Gómez *et al*<sup>(25)</sup>; en una investigación realizada a un horno artesanal de ladrillos, en la zona de Actopan, Hidalgo, donde el estudio fue teórico-experimental, de acuerdo a los datos proporcionados por el operario del horno donde indica que la temperatura interior es de 950°C y la del exterior de 20°C y a las características físicas del horno, logran hacer el modelo en el programa ANSYS, tomando en cuenta esta información hacen el modelado y la simulación de la temperatura en donde hacen la adecuación en el *software*, implementando tres canales de encendido (cámara de combustible) para distribuir el calor de forma

uniforme e incorporan un techo con tres chimeneas para tener un mayor control en la temperatura del horno para tener mayor estabilidad térmica considerando que este tipo de hornos llega a 1,200°C, información obtenida de fuentes bibliográficas oficiales. Por lo que en la simulación consideran temperaturas de 1,000 °C en la parte inferior y de 450°C y manejan espesores en muros de 1.00 metro en la parte inferior y de 0.50 metros en la parte superior del horno. Quedando el estudio hasta la recomendación dada por el simulador ANSYS, pero no implementado de manera práctica.

En el caso del tema de investigación de este trabajo, en simulación la temperatura considerada varía de acuerdo al modelado realizado teniendo temperaturas para los hornos con bóveda y abertura de 1,100°C, con bóveda y 3 chimeneas de 1,200°C y de techo plano con aberturas de 1,000 °C, el espesor de muros si fue considerado diferente, teniendo dos dobles uros con una cámara de aire de intermedio, considerando las mejores alternativas para llevarlas a cabo en campo es decir se pasó de lo teórico y experimental en simulador a lo experimental a escala real de acuerdo a los valores de medidas y características dados por el programa ANSYS.

A diferencia de los resultados obtenidos por Gómez *et al* (2016), los resultados obtenidos en simulador y los de campo difieren en algunos aspectos, debido a que en el primero e considerando que no hay variables o factores externos que intervengan alterando o modificando los datos arrojados en el *software*, a diferencia que en experimentación a escala real hay factores que siempre intervendrán como es el caso de este experimento los problemas sociales que se generaron previo al experimento del horno adaptado, a las condiciones climatológicas, a la alimentación con combustible de manera constante, entre otros. Por lo que los resultados obtenidos entre el simulador y el horno adecuado a escala real, difieren en cuanto a temperatura, alcanzando los 800°C en lugar de los 1,000°C, a pesar de esta diferencia se logra estar dentro de los parámetros de la

NMX-C-441-ONNCCE-2013, en cuanto a la temperatura mínima que debe tener una cámara de cocción.

Se coinciden con Gómez *et al* <sup>(25)</sup>, en las conclusiones dadas por ellos y que se reflejan en este trabajo de investigación, siendo que se determina que en la cámara de combustible debe tomarse el control para ir incrementando de manera adecuada la temperatura y así permitir que la cocción de ladrillos sea la adecuada, así también se coincide que de manera experimental en *software*, el caso de estudio de ellos en relación al horno en escala real de este experimento el flujo de calor direccional se localiza en la puerta del horno, siendo en el estudio de Actopan Hidalgo enfocado a la salida de gases de combustión y en el caso del tema a tratar en este trabajo, en donde se refleja la mayor pérdida de calor.



## Conclusiones

### 10.1 Conclusiones Generales

En este tema de investigación se puede mencionar que los estudios térmicos son de gran ayuda para identificar las principales fuentes o fugas de calor de diferentes procesos que pudieran alterar el funcionamiento de un sistema donde su principal fuente de energía es el calor.

Los estudios para medir la transferencia de calor del sistema bajo estudio solo se pueden hacer de dos formas, las cuales son:

- a) Experimental: donde se utilizan diversos dispositivos para la medición de calor y/o temperatura, siendo mediciones en los espacios internos de la edificación o externos sobre las caras que conforman los muros y techos.
- b) Teórica: usando software de simulación.

Para este último, tiene ventaja de reducir costos y tiempo de respuesta, ya que sin necesidad de construir el modelo real se pueden realizar diversos estudios variando diferentes parámetros.

En el caso del tema de investigación presentada se realizó de las dos formas antes descritas, primero realizando la experimentación en campo registrando los datos obtenidos en el horno original en funcionamiento; para posteriormente entrar en la etapa teórica utilizando la simulación por medio del software ANSYS, que dentro de su interface tiene el apartado para realizar estudios térmicos en estado estacionario, alimentado con los datos reales de medidas y temperaturas; con dicha información se logró las adecuaciones para la mejora del horno experimental obteniendo varias propuestas con diferentes parámetros los cuales analizándose se opta por la mejor solución en menor fuga de calor y mejor homogenización de la temperatura dentro del horno.

Con la información procesada se llega nuevamente a la forma experimental, construyendo el modelo a escala real con las adecuaciones necesarias para comprobar con mediciones internas y externas el acercamiento a los datos

plasmados teóricamente en un simulador con las variables obtenidas en campo en la mejora realizada al horno.

## 10.2 Conclusiones particulares

- ✓ Se puede decir que en esta investigación se conjuntó la teoría que ayudo a realizar las modificaciones necesarias para optimizar el proceso, la parte práctica de construcción respetando lo máximo posibles las especificaciones dadas en un simulador con las adecuaciones que llegan a surgir en una obra, sumándose el empirismo práctico que le ha dado el tiempo al usuario que opera este tipo de edificación y sabe con certeza las necesidades requeridas para su mejor funcionamiento de acuerdo a la fuente de energía que es el calor.
- ✓ Se comprueba la hipótesis establecida en este trabajo ya que se logra la adecuación geométrica del horno artesanal, se mejora la distribución del calor dentro de la cámara de cocción, se optimiza el proceso de cocimiento de ladrillos al pasar de 15 horas a 12 horas, reduciendo implícitamente el uso de combustible para tal fin; y se reduce considerablemente las piezas de merma pasando de 1,000 piezas (12.5%) a 80 piezas (0.94%) durante la experimentación.
- ✓ La diferencia de temperatura lado A del exterior entre el horno tradicional al horno adaptado es de 39°C generando una menor perdida en el muro del 51%, mientras del lado B tiene una diferencia de 66.75°C generando una perdida menor del 56% de temperatura y por último el lado C tiene una diferencia 71.5°C generando una perdida menor sobre el techo de 37%.
- ✓ Se mejora la característica mecánica del producto que se generó en el horno tradicional al horno adaptado con un aumento de resistencia a la compresión de 36.45 kg/cm<sup>2</sup>, que su relación es el doble.
- ✓ Por lo que se puede concluir con que se logró la comprobación de la hipótesis y el cumplimiento del objetivo general y objetivos específicos mencionados en este tema de investigación denominado Adecuación al diseño geométrico de un horno artesanal de ladrillos en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas.

## Recomendaciones

De acuerdo a la experiencia obtenida en este trabajo de investigación tanto en la investigación de campo, la forma de experimentación práctica y teórica, se puede mencionar las siguientes recomendaciones:

**Social:** considerar siempre la inclusión social, que en esta investigación fue de gran importancia, debido a que la experimentación práctica y a escala real se llevo a cabo en acuerdos con el dueño del horno, el apoyo brindado fue primordial ya que los datos reales obtenidos en cuanto a temperaturas internas y externas de un horno artesanal en funcionamiento fue durante las “quemadas” reales que el propietario realiza mes con mes, por lo que considerar los tiempos de ellos sin provocarles afectación se logra a través de la comunicación directa con los ladrilleros. Respetar los acuerdos entre propietarios de predios y dueños de los hornos, ya que en una investigación de esta índole puede truncarse totalmente sino se consideran las decisiones tomadas entre ellos, por eso hay que tener varias propuestas para lograr la mayor parte de los objetivos de una investigación.

**Cultural:** Involucrar al ladrillero para la mejora en la eficiencia de calor de su horno así como la adecuación física del mismo, es respetar los usos y costumbre que ellos tienen, no se puede llegar como investigador a imponer los cambios o las acciones que ellos deben realizar durante la experimentación en campo y durante el manejo real de sus hornos. Por lo que solo puede dárseles el comentario y la sugerencia en cuanto a la forma que él propietario puede ir experimentando y mejorando las “quemadas” en el horno adaptado; así también de acuerdo al empirismo irán aceptando e incluyendo las mejoras que ellos mismos determinen ir implementando.

**Medio ambiental y de riesgo:** concientizar al ladrillero que con la adecuación del nuevo horno, la cocción se redujo en tiempo y por ende el uso de combustible que conlleva a generar menos merma en su producción, así como en su contribución al medio ambiente al indicarle que su horno emite menos emisiones a la atmósfera.

De la misma manera se hace mención que en el caso de esta investigación se desarrolló el dictamen de riesgo y vulnerabilidad para valor los riesgos potenciales a los que está expuesto el sitio de la ladrillera y la funcionalidad del horno durante la cocción de ladrillos; lo anterior para darle saber al propietario del horno a la vulnerabilidad a la que está expuesto durante los trabajos de quema y pueda él y sus trabajadores estar consciente de la situación de riesgo que vive durante la producción de ladrillos cocidos.

**Económico:** hacerle saber al dueño del horno, que la nueva adecuación al horno, le permitirá un ahorro económico al adquirir el combustible a usar para la quema, que en el caso del olote, por cada 4 “quemadas”, el 1/4 de combustible ahorrado, en la quema número 5, se ahorraría un viaje de combustible a adquirir. Así también tendría menos merma y por ende tendría más ladrillos para su venta.

**Técnico:** indicarle que tome en consideración las adecuaciones realizadas a su horno y que lo realizado es para mejorar la forma, su funcionamiento y lograr una mejor optimización en tiempo, producción y desperdicio, de acuerdo a los puntos considerados que se analizaron y se resolvieron de una manera sencilla para poder construir la propuesta más adecuada.

Lo anterior descrito conlleva a que el presente estudio de investigación establezca futuras líneas de investigación que requieran de un trabajo multidisciplinario en particular en el diseño del horno, uso de combustible, salud en el trabajo, medio ambiente, emisiones a la atmósfera, y mejoras en la línea de producción:

1. Desarrollar mejoras estructurales en las cámaras de cocción, de combustible y principalmente en la adecuación a la forma del techo en hornos con diseño de dobles muros y con cámara de aire.
2. Generar el estudio de la mejora en techos de hornos con mejoramiento calorífico, en donde se propongan techos en forma de bóvedas, domos o techos planos con los espesores adecuados y las aberturas o chimeneas de manera puntual con las dimensiones adecuadas para permitir la salida

del calor y de los gases producto de la combustión del material orgánico utilizado como combustible.

3. Proyectar nuevos modelos geométricos de hornos artesanales, adecuándolos de acuerdo a la región en estudio considerando la situación social y económica que se viven de manera puntual en las zonas de producción de ladrillos.
4. Realizar el estudio correspondiente a los combustibles que se utilizan mayormente en la quema de ladrillos, siendo estos aserrín, olote, cascabillo de café. Conociendo de una mejor manera el poder calorífico de estos, la cantidad a utilizarse para la quema, así como las temperaturas que alcanza el combustible; lo anterior utilizando los principios de la termodinámica y de la eficiencia energética.
5. Explorar las posibilidades de usar nuevos combustibles orgánicos que contribuyan a emitir menos emisiones a la atmósfera.
6. Estudiar las diferentes sustancias y generación de contaminantes hacia la atmosfera que generan los hornos adaptados y que tienen una mejorar calorífica durante la quema de ladrillos.
7. Evaluar la calidad de la salud y las enfermedades que pueden generarse en los trabajadores de hornos artesanales al estar en contacto directo, por períodos constantes, con las emisiones a la atmosfera así como con la generación de calor que proviene directamente de la cámara de combustible de los hornos.
8. Estudiar los usos y costumbres de la zona de ladrilleras, en donde el tema de propiedad de los predios y de los hornos son un factor determinante para ser eficientes con nuevos modelos de hornos la producción de ladrillos, debido a que el tema económico juega un papel importante para aceptar los cambios técnicos en los hornos actuales.
9. Explorar el uso de materiales que se utilizan en la construcción y que puedan ser cocidos en un mismo horno adaptado, conociendo el comportamiento de estos en la cocción, en mermas y resistencia de ellos. Siendo ejemplos la teja, ladrillos artesanales, petatillo, entre otros.

10. Generar los estudios para lograr la homogenización más idónea en la parte baja y alta de la cámara de cocción de un horno artesanal con el fin de lograr una resistencia a la compresión que logre alcanzar los parámetros que solicita la NMX-C-404-ONNCCE (2012), "Industria de la construcción – mampostería – bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural.



## Literatura citada

- (1) 3M. (02 de 01 de 2019). Monitores de Área de Estrés Térmico 32/34/36 3M® QUESTemp™. Obtenido de [https://www.3m.com.mx/3M/es\\_MX/inicio/todos-los-productos-3m/~/Monitores-de-%C3%81rea-de-Estr%C3%A9s-Termico-32-34-36-3M-QUESTemp-/?N=5002385+3294390261&rt=rud](https://www.3m.com.mx/3M/es_MX/inicio/todos-los-productos-3m/~/Monitores-de-%C3%81rea-de-Estr%C3%A9s-Termico-32-34-36-3M-QUESTemp-/?N=5002385+3294390261&rt=rud).
- (2) ANSYS. (02 de 01 de 2019). ANSYS. Obtenido de <https://www.ansys.com/products/fluids/ansys-fluent>.
- (3) Arduino. (02 de 01 de 2019). Arduino uno REV3. Obtenido de <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>.
- (4) Armijo Torres, R. (04 de 03 de 2016). Arqueología mexicana, Comalcalco, la antigua ciudad maya de ladrillos. Obtenido de <https://arqueologiamexicana.mx/mexico-antiguo/comalcalco-la-antigua-ciudad-maya-de-ladrillos>.
- (5) Armijo Torres, R., Laura, C. C., & Carlos, (2009). La arquitectura de Comalcalco, Tabasco a través de sus ladrillos. Ciudad de Guatemala, Guatemala: INAH.DEA.
- (6) Basics, X. (21 de julio de 2018). xataka.com. Obtenido de <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>.
- (7) Belisario-Blaksley, Mariana. (28 de marzo de 2016). homify. Obtenido de homify: [www.homify.com.ar/libros\\_de\\_ideas/603089/el-ladrillo-un-material-de-construccion-con-mucha-historia](http://www.homify.com.ar/libros_de_ideas/603089/el-ladrillo-un-material-de-construccion-con-mucha-historia).
- (8) Bianucci, Mario A. (2009). El ladrillo: Orígenes y desarrollo. Cátedra: Introducción a la tecnología. Área de la tecnología y la producción. FAU-UNNE.
- (9) Bickel, Jon. (2010). Políticas integrales para ladrilleras artesanales, un desafío para América Latina.
- (10) Ceja, P.J.J., M.D. Gutiérrez, M.G. Ozuna, S. Pacheco, M.A. Pérez G., J.J. Bravo, R. Arieta, H. Ortiz S. Cuantificación de metales pesados y otros elementos tóxicos producidos durante la fabricación manual de tabique y su repercusión patológica. Parte II. Memorias, Xxi Congreso de Química Pura y Aplicada. Rev. Soc. Quím. Méx. 30(5):284 (1986).
- (11) Centeno, V. L. (2014). Programa Eficiencia Energética en Ladrilleras y Yeseras EELA, Bolivia. El Hornero, 4.
- (12) CIMMYT. (1995). Programa de Ensayos Internacionales de Maíz. Ciudad de México: CIMMYT.
- (13) Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica. (CEIEG, 2015). Conjunto de Datos vectoriales del medio geográfico.
- (14) Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica. (CEIEG, 2015). <http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/perfiles/>

- (15) COSUDE, A. S. (DICEIMBRE de 2013). [www.redladrilleras.net](http://www.redladrilleras.net).  
Obtenido de [http://www.redladrilleras.net/apps/manual\\_ccac/pdf/es/Horno-Tunel-Asia\\_Esp.pdf](http://www.redladrilleras.net/apps/manual_ccac/pdf/es/Horno-Tunel-Asia_Esp.pdf)
- (16) Del Busto A. (1991) La arcilla aplicada en la industria de la construcción para la fabricación de ladrillos y acabados cerámicos. Perú. Colegio de Ingenieros del Perú
- (17) Ecuador, R. E. (2010). Producción Ecológica y Económicamente Sustentable de Ladrillos en Chambo, Ecuador. Ecuador: Union Europea-Werkhof Darmstadt.
- (18) EELA, (2015). Programa Eficiencia Energética en Ladrilleras y Yeseras. Número 5. Bolivia.
- (19) EHRLICH, L.E, 1973 El Problema de la Industria Tabiquera Manual en México. Memorias, I Reunión Nacional sobre problemas de Contaminación Ambiental, 2: 1111-1122. México.
- (20) Factory, G. (02 de 01 de 2019). Inicio / Tienda / Modulos para desarrollo / MAX6675 Módulo interfaz para termopar tipo K. Obtenido de <https://www.geekfactory.mx/tienda/modulos-para-desarrollo/max6675-modulo-interfaz-termopar/>
- (21) Fontalvo Porras Emanuel de Jesús, Gutiérrez Robles Eliver José (2014) Diseño de un Horno para Cocción de Ladrillos Refractarios en una Empresa del Sector Ladrillero. Colombia, Universidad Autónoma del Caribe.
- (22) Fluke. (12 de 12 de 2018). Fluke, cámaras termográficas. Obtenido de fluke, categoría de productos: <https://www.fluke.com/es-es/productos>
- (23) Fluke. (02 de 01 de 2019). software para cámaras termográficas. Obtenido de smartview 4.3: <https://www.fluke.com/es-mx/soporte/descargas-de-software/software-para-cameras-infrarrojas-de-fluke>
- (24) Gómez Abdiel, Isamar Jiménez, Osiris Ávila, Celerino Reséndiz (2015). Caracterización y reformulación de materiales para la elaboración de ladrillo artesanal en México. Memorias del XXI congreso internacional anual de la SOMIN (págs. 663-669). Coatzacoalcos, Veracruz, México: SOMIN.
- (25) Gómez Abdiel, Isamar Jiménez, Osiris Ávila, Celerino Reséndiz (2016). Mejoramiento de la eficiencia térmica de un horno convencional para fabricar ladrillo artesanal. Revista Tecnología e Innovación, 85-94.
- (26) Gómez Cesar; Farrera Neín; López Pascual; Domínguez Francisco; Moreira Joel. (2011). Estudio Exploratorio del impacto ambiental generado por la industria ladrillera del municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas, México. Lacandonia, 89-96.
- (27) Gómez Gutiérrez, Carlos Andrés. (2010). Modelamiento y Simulación de un horno túnel industrial. Medellín, Colombia. Universidad Nacional de Colombia.
- (28) González Galván Paula, Paula Caryan; (2010), La introducción de hornos ecológicos en una comunidad ladrillera: factores de adopción y resistencia al cambio tecnológico; Colegio de la Frontera Norte

- (29) González García Eddy, L. M. (2015). Evaluación de las propiedades físico mecánicas de ladrillo de arcilla recocida, elaborados con incorporación de residuos agrícolas, caso Chiapas, México. Ingeniería Revista Académica Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Yucatán., 91-101.
- (30) González García Eddy. (marzo 2016). Residuos de biomasa utilizados en la fabricación de ladrillos de cerámica roja en el estado de Chiapas. Universidad de Sonora.
- (31) Guerrero, A. L. (18 de Julio de 2016). CONACYT, Agencia Informativa. Obtenido de <http://conacytprensa.mx/index.php/centros-conacyt/8729-analiza-ciatic-mercado-de-la-industria-ladrillera-artesanal>
- (32) Gutiérrez Serrano Luis Enrique, Ramírez Ramírez Lady Laura, Ramos Rosas Evelyn (2016) Propuesta de Automatización y Modernización de Horno para Cocido de Ladrillo Rojo, México. Instituto Politécnico Nacional.
- (33) Howell John R.; Buckius Richard O. (1990). Principios de Termodinámica para Ingenieros. McGraw Hill. México.
- (34) Ibarra, Daniel. (2012). Arquitectura barroca del siglo XVII y XVIII en Puebla, Tlaxcala y Veracruz. Obtenido de: <https://sites.google.com/site/neriibarra71/home/arquitectura-barroca-del-siglo-xvii-y-xviii-en-puebla-tlaxcala-y-veracruz>
- (35) INAH. (04 de JULIO de 2008). arquitectura-en-tierra. Obtenido de <https://www.inah.gob.mx/boletines/2240-arquitectura-en-tierra>
- (36) Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2005). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Venustiano Carranza, Chiapas. Clave geoestadística 07106.
- (37) Juárez, L. (2015). Estudio teórico-experimental de la optimización de un horno para fabricar ladrillos. Pachuca, Hidalgo, México: Instituto Tecnológico de Pachuca.
- (38) Ley N° 1333. Ley del Medio Ambiente. Gaceta Oficial de Bolivia, La Paz, Bolivia, 15 de Junio de 1992.
- (39) Lisette, Z. O. (2005). Caracterización de las arcillas para la fabricación de ladrillos artesanales. Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala.
- (40) López-Arce, Paula. (2011). Caracterización de Ladrillos Históricos. España: Instituto de Geociencias IGEO.
- (41) Luisa, G. A. (18 de Julio de 2016). CONACYT, Agencia Informativa. Obtenido de <http://conacytprensa.mx/index.php/centros-conacyt/8729-analiza-ciatic-mercado-de-la-industria-ladrillera-artesanal>
- (42) Mariana, B. B. (28 de marzo de 2016). homify. Obtenido de homify: [www.homify.com.ar/libros\\_de\\_ideas/603089/el-ladrillo-un-material-de-construccion-con-mucha-historia](http://www.homify.com.ar/libros_de_ideas/603089/el-ladrillo-un-material-de-construccion-con-mucha-historia)
- (43) Mathworks. (02 de 01 de 2019 (L., 2015)). MATLAB para inteligencia artificial. Obtenido de <https://la.mathworks.com/>

- (44) Müller, E. A. (2002). Termodinámica Básica. En E. A. Müller, Termodinámica Básica (págs. 1-14). Sevilla, España: Consultora Kemiteknik C.A.
- (45) Norma ASTM-C-67. Standard test methods of sampling and testing brick and structural clay tile international. ASTM. 2011. Estados Unidos.
- (46) Norma NTC 4205. (2000). Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. Instituto Colombiano de Normas Técnicas. Bogotá D.C. Colombia.
- (47) NMX-C-036-ONNCCE-2013, Tabiques o ladrillos, tabicones y adoquines resistencia a la comprensión-método de prueba. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. México
- (48) NMX-037-ONNCCE-2013, Industria de la construcción –mampostería-bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural-especificaciones y métodos de ensayo. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. México
- (49) NMX-C-404-ONNCCE-2012, industria de la construcción-mampostería-bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural, especificaciones y métodos de ensayo. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. México
- (50) NMX-C-441-ONNCCE-2012, industria de la construcción-mampostería-bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso no estructural, especificaciones y métodos de ensayo. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. México
- (51) NMX-AA-164-SCFI-2013, edificación sustentable, criterios y requerimientos ambientales mínimos.
- (52) NMX-C—006-1976, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1976
- (53) Ortiz Herrera, L. A. (2012). Diagnóstico Nacional del Sector Ladrillero Artesanal de México. SwissContact.
- (54) Pirobloc. (12 de diciembre de 2016). Principios de transferencia de calor en ingeniería. Obtenido de ingeniería térmica: <https://www.pirobloc.com/blog-es/principios-de-transferencia-de-calor-en-ingenieria/>
- (55) Prieto, Nuria. (5 de julio de 2013). Anagama. Obtenido de <http://tectonicablog.com/?p=69985>
- (56) Ramírez Rodríguez, J; Diego Nava, F; Martínez Alvarez, C; Méndez Lagunas, L; Aguilar Lescas, M. (2004). Perfiles de Temperatura de un Horno Ladrillero. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 209-217.
- (57) Roa G, Olveros C.E.; Alvarez J.; Ramírez C.A.; Sanz J.R.; Dávila M.T.; Alvarez J.R.; Zambrano D.A.; Puerta G.I.; Rodríguez N. Beneficio Ecológico del Café. Chinchina, (Colombia). Cenicafe. 1999,. 300 p.

- (58) Rochín, V. R. (3 de Abril de 2014). Termodinámica. Termodinámica. ciudad de México, Ciudad de México, México: UNAM.
- (59) Rhodes, Daniel. (2004). Hornos para ceramistas. España: CEAC.
- (60) Rodríguez Ramírez, J.; Diego Nava, F.; Martínez Alvarez, C.; Méndez Lagunas, L.; Aguilar Lescas, M. (2004). Perfiles de temperatura en un horno ladrillero. Revista Mexicana de Ingeniería Química, vol. 3, núm. 2, , pp. 209-217.
- (61) Rosario, A. M. (01 de Octubre de 2010). Los Materiales de Construcción para la Edificación Progresiva y Mejoramiento de la Vivienda Popular en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. . Barcelona, Cataluña, España: Argüello Méndez Teresa del Rosario.
- (62) Sánchez-Albavera, Fernando; Vargas, Alejandro. (2005). La volatilidad de los precios del Petróleo y su impacto en Latinoamérica.
- (63) Secretaría de Energía, (2014). Panorama Minero del Estado de Chiapas.
- (64) Sisti, M. (2017). ing Mario Sisti. Obtenido de <http://www.ingenieromariosisti.com/>
- (65) Suma Quispe Celso; Gutiérrez Samanez Julio; Suma Quispe Rodolfo. (2008); Estudio de Definición de Tipo de Horno Apropriado para el Sector Ladrillero. CONAM, Perú.
- (66) Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. Distrito Federal, México
- (67) Zea-Osorio, Noma Lissette (2005). Caracterización de las arcillas para la fabricación de ladrillos artesanales. Universidad de San Carlos Guatemala, Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería civil.
- (68) Swisscontact *et al*, 2011.

- a) Formato de entrevista a ladrilleros
- b) Informe general de la cámara termográfica del horno actual
- c) Informe general de la cámara termográfica del horno propuesto.