



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO PARA  
EL AUMENTO EN SU EFICIENCIA ENERGÉTICA, EN EL MUNICIPIO EL TEJAR,  
CHIMALTENANGO**

**Oscar David Chojolán Duarte**

Asesorado por el MSc. Ing. Marcos Vinicio Romero Chojolán

Guatemala, septiembre de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO PARA  
EL AUMENTO EN SU EFICIENCIA ENERGÉTICA, EN EL MUNICIPIO EL TEJAR,  
CHIMALTENANGO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**OSCAR DAVID CHOJOLÁN DUARTE**

ASESORADO POR EL MSC. ING. MARCOS VINICIO ROMERO  
CHOJOLÁN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Buenaventura Coronado Castillo
EXAMINADOR	Ing. Carlos Liquez Santa Cruz
EXAMINADOR	Ing. Erick Rosales Torres
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO PARA EL AUMENTO EN SU EFICIENCIA ENERGÉTICA, EN EL MUNICIPIO EL TEJAR, CHIMALTENANGO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela Estudios de Postgrado, con fecha 5 de febrero de 2017.

**Oscar David Chojolán Duarte**



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226**



ADSE-MEAPP-005-2017

Guatemala, 07 de febrero de 2017.

Director  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Escuela de **Ingeniería Civil**  
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del (la) estudiante **Oscar David Chojolan Duarte** carné número **87-12101**, quien opto la modalidad del **"PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO"**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría en Energía y Ambiente**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

**Marco Vinicio Romero Chojolán**  
Ingeniero Civil  
Colegiado No. 6218

MSc. Ing. Marco Vinicio Romero Chojolán  
Asesor (a)

**Ing. Juan C. Fuentes M.**  
M.Sc. Hidrología  
Colegiado No. 2,504

MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes M.  
Coordinador de Área  
Desarrollo social y energético

MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado



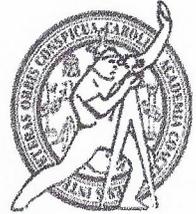
Cc: archivo  
/la



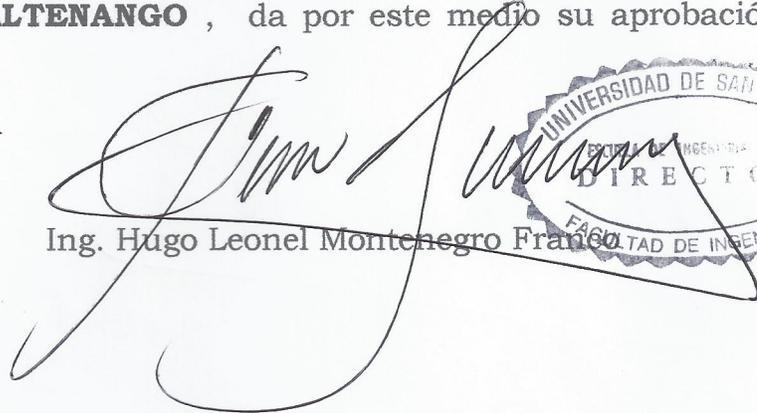
**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesor MSc. Ing. Marco Vinicio Romero Chojolán y del Coordinador del Área de Desarrollo Social y Energético MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes M. , al trabajo de graduación del estudiante Oscar David Chojolán Duarte, titulado **MEJORA EN EL DISEÑO DE UN HORNO ARTESANAL PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO PARA EL AUMENTO EN SU EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL MUNICIPIO DE EL TEJAR, CHIMALTENANGO** , da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, abril 2017

/mrrm.

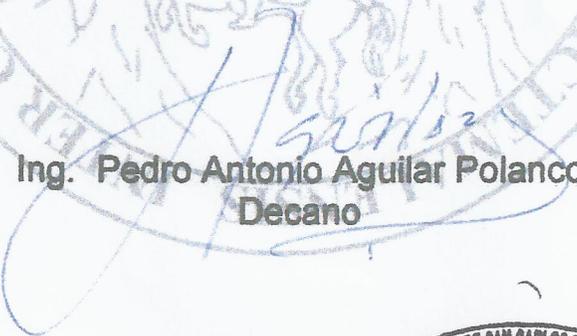


*Mas de 136 años de Trabajo y Mejora Continua*



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO PARA EL AUMENTO EN SU EFICIENCIA ENERGÉTICA, EN EL MUNICIPIO EL TEJAR, CHIMALTENANGO**, presentado por la estudiante universitaria: **Oscar David Chojolán Duarte**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, septiembre de 2017



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Mi madre** Margarita Del Carmen Duarte Martínez (q.e.p.d.), por todo su amor y dedicación a todos nosotros sus hijos.
- Mi padre** Oscar Domingo Chojolán, por estar siempre, por ser mi ejemplo de vida, por brindarme todo su apoyo, darme todo el amor del mundo y su dedicación.
- A mi esposa** Mi compañera de vida, Silvia Regina Salazar Monzón, gracias por caminar a mi lado estar siempre en lo bueno y lo malo y luchar por los dos grandes hijos que tenemos.
- A mis hijos** Marco David y Pablo Nicolás, como un ejemplo que siempre hay que luchar para conseguir los triunfos académicos.
- Mis hermanos** Arnoldo, Edwin, Ing. Fredy, Brenda, Norma, Sandra, Ing. Rony, por su apoyo y estar incondicionalmente en las buenas y malas, y siempre apoyándome para seguir adelante.

**Mis abuelos**

Abelino Duarte (q.e.p.d.), María de Donata viuda de Duarte, Mateo Chojolan (q.e.p.d.) y Margarita viuda de Chojolán (q.e.p.d.), por ser un ejemplo en mi vida por sus sabios consejos y por brindarme su apoyo incondicional.

**Mi familia**

A mis tíos, tías, primos, primas, porque, de una u otra forma, fueron un factor influyente en muchos aspectos de mi vida y siempre me apoyaron durante mi vida y mi carrera.

## AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por tantos hombres y mujeres formados y que este sistema en que vivimos se ha encargado de matar por las ideas que no ha enseñado; por ser mi *alma mater* que me formó como profesional dándome los conocimientos universales para el ejercicio profesional.

**Facultad de Ingeniería**

Por los principios, valores y conocimientos que me dio durante mi formación profesional y por los buenos catedráticos que puso a mi disposición para lograr culminar esta meta.

**MSc. Ing. Marcos Vinicio  
Romero Chojolán**

Por su apoyo y orientación en el desarrollo de este trabajo, y brindarme su tiempo para lograr culminarlo.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	III
LISTA DE SIMBOLOS .....	V
GLOSARIO .....	VI
RESUMEN .....	XII
INTRODUCCIÓN .....	1
1. ANTECEDENTES .....	3
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	7
3. JUSTIFICACIÓN .....	9
4. OBJETIVOS .....	11
5. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMAS DE SOLUCIÓN .....	13
6. HIPÓTESIS .....	15
7. MARCO TEÓRICO.....	17
8.1    Producción artesanal de ladrillos.....	17
8.1.1    Producción nacional .....	17
8.1.2    Fábricas de ladrillo en donde existen hornos.....	18
8.1.3    Consumo de leña en la industria de ladrillos .....	18
8.2    Funcionamiento de hornos para ladrillo.....	20
8.2.1    Tipos de hornos y funcionamiento .....	20

8.3	Eficiencia energética en hornos .....	22
8.4	Impacto ambiental de los hornos artesanales .....	25
8.5	Diseño y eficiencia de hornos .....	27
8.5.1	Modificación a hornos para eficiencia .....	27
8.5.2	Reducción emisiones en hornos eficientes .....	28
8.	ÍNDICE PROPUESTO .....	31
9.	METODOLOGÍA .....	33
10.1	Tipos de estudios .....	33
10.2	Fases de la investigación .....	33
10.2.1	Fase 1: investigación bibliográfica.....	33
10.2.2	Fase 2: recolección de datos.....	33
10.2.3	Fase 3: análisis de resultados y propuesta de solución .....	36
10.2.4	Fase 4: discusión de resultados y conclusiones.....	42
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS .....	45
11.	CRONOGRAMA .....	47
12.	FACTIBILIDAD.....	49
	BIBLIOGRAFÍA.....	51

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Encuesta de trabajo para recolectar datos de los hornos en El Tejar.....	34
2.	Cuadro de poder calorífico de la leña seca.....	39
3.	Curva de energía emitida de la leña.....	41
4.	Poder calorífico superior anhidro, poder calorífico neto y categorías.....	42
5.	Cronograma.....	47

### TABLAS

I.	Cuadro de medición de temperatura.....	35
II.	Cuadro de emisión de CO <sub>2</sub> y energía emitida.....	39
III.	Recursos necesarios para la investigación.....	49



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>CC</b>	Consumo de leña por actividad
<b>SO<sub>2</sub></b>	Dióxido de azufre
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>CO<sub>2eq</sub></b>	Dióxido de carbono equivalente
<b>Ec</b>	Emisión del contaminante
<b>FE</b>	Factor de emisión del contaminante
<b>GEI</b>	Gases de Efecto Invernadero
<b>GJ</b>	Gigajoules
<b>GPS</b>	Global Positioning System (sistema de posicionamiento global)
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>°F</b>	Grados Fahrenheit
<b>°K</b>	Grados Kelvin
<b>Kcal</b>	kilocalorías
<b>Kg</b>	Kilogramos
<b>KJ</b>	Kilojoules
<b>MP</b>	Material particulado
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>CO<sub>1</sub></b>	Monóxido de carbono
<b>Na</b>	Nivel de actividad en unidades de tiempo
<b>NO<sub>x1</sub></b>	Óxido de nitrógeno
<b>TON</b>	Tonelada
<b>UTM</b>	Unidad Técnica de Mercator



## **GLOSARIO**

- Aislamiento térmico** Aislamiento térmico es el conjunto de materiales y técnicas de instalación que se aplican en los elementos constructivos que limitan un espacio caliente para minimizar la transmisión de calor hacia otros elementos o espacios no convenientes. También se aplica a la acción y efecto de aislar térmicamente.
- Biomasa** Es aquella materia orgánica acumulada en un individuo, un nivel trófico, una población o un ecosistema de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptible de ser aprovechada energéticamente. Las plantas transforman la energía radiante del sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esta energía queda almacenada en forma de materia orgánica.
- Cambio climático** Es un cambio en la distribución estadística de los patrones meteorológicos durante un periodo prolongado de tiempo (décadas a millones de años). Puede referirse a un cambio en las condiciones promedio del tiempo o en la variación temporal meteorológica de las condiciones promedio a largo plazo. Está

causado por factores como procesos bióticos, variaciones en la radiación solar recibida por la Tierra, tectónica de placas y erupciones volcánicas. También se han identificado ciertas actividades humanas como causa principal del cambio climático reciente, a menudo llamado calentamiento global.

### **Consumo energético**

Es el gasto total de energía para un proceso determinado. En el caso de los hogares, el consumo energético está integrado por el consumo de energía eléctrica y de gas, gasoil y biomasa, además del que se realiza con los medios de transporte particulares (automóviles, motocicletas, etc.), que se concreta en el consumo de productos derivados del petróleo.

El concepto de consumo energético está inversamente relacionado con el concepto de eficiencia energética, puesto que en la medida en que aumenta el consumo de energía por servicio prestado es cada vez menor la eficiencia energética.

### **Contaminación térmica**

Se produce cuando un proceso altera la temperatura del medio de forma indeseada o perjudicial, por lo tanto es el deterioro de la calidad del aire o del agua a causa del incremento o descenso de la temperatura. Las

causas de este tipo de contaminación están muy bien identificadas y estudiadas, pero las consecuencias a la que nos enfrentamos son difíciles de revertir sin la acción drástica de gobiernos, empresas y ciudadanos.

<b>Eficiencia energética</b>	Se define como el uso y empleo de la energía, para optimizar los procesos productivos; utilizar igual o menos energía para producir más bienes o servicios.
<b>Eficiencia térmica</b>	Es un coeficiente o ratio adimensional calculado como el cociente de la energía producida (en un ciclo de funcionamiento) y la energía suministrada a la máquina (para que logre completar el ciclo termodinámico).
<b>Emisión de carbono negro</b>	Se trata de un compuesto volátil, cuyas pequeñas partículas de 0.1 a 0.5 micras penetran en el tracto respiratorio y afectan sus funciones, es un contaminante que daña la salud e interviene en el cambio climático del planeta.
<b>Emisiones atmosféricas</b>	Son las salidas de sustancias al medio ambiente y que pueden afectar la calidad del mismo, estas puede ser desde una fuente fija o una fuente móvil.

**Energía calorífica**

También conocida como energía térmica, es el tipo de energía que se libera en forma de calor y al estar en tránsito constante, el calor puede pasar de un cuerpo a otro (cuando ambos tienen distinto nivel calórico) o ser transmitido al medio ambiente, puede obtenerse del sol (a través de una reacción exotérmica), algún combustible (por medio de la combustión), una reacción nuclear (de fisión o fusión), la electricidad (por efecto Joule o termoeléctrico) o del rozamiento (como resultado de distintos procesos químicos o mecánicos).

**Energía térmica**

Es la parte de la energía interna de un sistema termodinámico en equilibrio que es proporcional a su temperatura absoluta y se incrementa o disminuye por transferencia de energía, generalmente en forma de calor o trabajo, en procesos termodinámicos.

**Gases de efecto invernadero**

Son todos aquellos compuestos químicos en estado gaseoso que se acumulan en la atmósfera de la Tierra y que son capaces de absorber la radiación infrarroja del Sol, aumentando y reteniendo el calor allí mismo, en la atmósfera. Los principales GEI en la atmósfera terrestre son el vapor de agua, el dióxido de carbono, el metano, el óxido de

nitrógeno y el ozono.

GPS

El **Sistema de Posicionamiento Global**, más conocido por sus siglas en inglés, **GPS** (siglas de **Global Positioning System**), es un sistema que permite determinar en toda la Tierra la posición de un objeto (una persona, un vehículo) con una precisión de hasta centímetros (si se utiliza GPS diferencial), aunque lo habitual son unos pocos metros de precisión.

UTM

El sistema de coordenadas universal transversal de Mercator (en inglés Universal Transverse Mercator, UTM) es un sistema de coordenadas basado en la proyección cartográfica transversa de Mercator, que se construye como la proyección de Mercator normal, pero en vez de hacerla tangente al Ecuador, se la hace secante a un meridiano.



## RESUMEN

La producción de ladrillos, tejas, baldosas y productos realizados de arcilla que se producen en los hornos artesanales en el municipio El tejar, Chimaltenango tienen un impacto en el medio ambiente no solo del lugar, también un efecto negativo en el país.

La producción de estos materiales de construcción producen altos niveles de contaminación ya que su forma de funcionamiento de los hornos no optimiza el calor dentro de los hornos, la energía térmica disminuye rápidamente por lo que su proceso de cocción requiere más leña lo cual aumenta la emisión de gases tales como CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, emisión de carbono negro y vapor de agua el cual es reflejado en el exceso de calor por la quema de leña y aumento de la temperatura ambiente. Por lo que se plantea el mejoramiento del diseño de un horno artesanal para la fabricación de ladrillo, este debe cumplir con ciertos parámetros técnicos y económicos ya que por ser artesanales y de baja producción se requiere que su costo no sea elevado.

En el municipio El tejar, se ha reportado según censo 2002 una reducción drástica en el área boscosa ya que la madera es un material muy requerido para toda clase de usos en la actividad del ser humano.

En cada capítulo se analizarán cada elemento que actúa en la fabricación de los ladrillos para finalizar con un diseño que se adecue a las necesidades de los pequeños y micro productores del lugar. Siendo así un beneficio al medio ambiente, reducir la cantidad de materia prima utilizada en el proceso, evitar aumentos en la temperatura debido a la tala desmedida de los lugares

boscosos, reducir los efectos de gases de invernadero los cuales producen la lluvia acida entre otros más afectando la salud humana y el bienestar en el lugar.

La eficiencia de los hornos artesanales se emitió en 0,3842 kg de leña/ladrillo promedio, en el municipio El Tejar según investigaciones por el Arquitecto Alan Molina, (02/09/2011) indico que en los hornos artesanales del municipio se han encontrado en promedio consumos de 6 tareas de leña convencionales (1 tarea = 0,87 m<sup>3</sup> de leña), para la producción de 4000 ladrillos. De este modo en Guatemala se estarían consumiendo 0,735480505 kg de leña por ladrillo producido, por otra parte la FAO refiere que el consumo de leña por ladrillo producido en Guatemala es igual a 0,8 kilogramos de leña por ladrillo, en virtud de los valores encontrados como referencia, se tomó el criterio de asumir un valor promedio entre 0,7354 y 0,80) el cual es igual a 0,7677 kilogramos de leña por ladrillo producido.

Estos datos se pueden estimar para los hornos utilizados en Guatemala, Hornos Intermitentes, Semicontinuos y Continuos, entre los cuales se subdividen los hornos de Fuego dormido y de Pampa , entre los cuales cada uno presenta su propio diseño y diferentes procesos a la hora de la cocción de los ladrillos, y estos cada uno genera unos en mayor y otros en menor cantidad de contaminantes, y es bueno recordar que cada horno entre más consume materia prima para la cocción más es la contaminación que causa en el ecosistema.

Por lo que las emisiones de gases generadas pasan a constituir un tema importante a tener en consideración, en particular las de material particulado (hollín) en estos casos se logra una reducción de hollín cuando se utiliza leña trozada con alimentadores continuos.

Por todo lo anterior se presenta un diseño más eficaz en forma de cubo el cual por su forma garantiza mayor uniformidad en las temperaturas de punto a punto en el interior del horno, ya que solo tiene un cambio en ángulo recto. El diseño de una chimenea para que el hollín no suba a la superficie y este caiga dentro del horno.

Con este diseño optimizara la energía térmica dentro de los hornos ya que se utilizara una menor cantidad de leña, por lo que se reduce los contaminantes atmosféricos, tiempos de cocción, mayor conservación de las áreas boscosas del lugar y una mejor calidad en el ambiente a los alrededores y de las personas que viven cerca de las plantas de donde se fabrican los ladrillos.



## INTRODUCCIÓN

Según cifras del Censo 2002, se reportan unas 1433 hectáreas de bosque en el municipio de Chimaltenango. Y en la medida que en el municipio no se perciben prácticas sostenibles en el manejo de este recurso es probable que la superficie boscosa sea mucho menor, dada la presión que existe desde los hogares que consumen leña y de las industrias que producen materiales de construcción como el ladrillo y tejas, baldosas, etc.(INE, 2003)

Otro de los problemas que produce la producción de ladrillos, es la contaminación a la atmosfera, por la cantidad de gases de efecto invernadero, como lo son la contaminación por gases CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, emisión de carbono negro y vapor de agua, que se refleja en el exceso de calor por la quema de leña y aumento de la temperatura ambiente. (CCAC, 2016)

Como parte de este trabajo se propone realizar un diagnóstico del funcionamiento y operatividad para la fabricación de ladrillos que incluye la energía térmica necesaria dentro del horno, cantidades de leña utilizados para la cocción y realizar los planos de lo existente.

Es por esta situación que se ve la necesidad de modificar un horno artesanal que aproveche los gases calientes emanados por la quema de leña para mejorar la temperatura de cocción de los ladrillos. Al aprovechar los gases calientes que produce dentro del horno se eleva, mejorar y mantiene estable la temperatura de cocción de los ladrillos se logran grandes ahorros en el consumo de leña, disminuye la emisión de gases de tipo invernadero y obtiene un beneficio ambiental.

En el capítulo 1 se trabajará el marco teórico en donde se identificarán los diferentes tipos de horno, la descripción de las características físicas y funcionamiento del horno tradicional y la cantidad de ceniza generada por el horno.

En el capítulo 2 se utilizará una encuesta para conocer las cantidades de leña que se consume, la cantidad de ladrillos que producen, la temperatura de cocción y se realizará un dibujo del horno y sus partes.

Se analizará la eficiencia energética en la elaboración artesanal de ladrillos, para lo que se definirá la eficiencia energética: concepto, objetivo y disponibilidad, el consumo de energía en el proceso de quema de ladrillos, los distintos sistemas de combustión, el cálculo de consumo energético, el cálculo de gases emitidos, la curvas de temperatura contra tiempo y la determinación de la energía emitida por la leña.

Se realizaran los cálculos de cantidades de gases emitidos, cantidad de quema de leña y cuantos gases emiten, el cálculo del consumo energético, propuesta y ensayo de alternativas de modelos para realizar un comparativo de los modelos y poder comparar que cantidad de leña y energía que se ahorrará, además se realizará el cálculo del impacto energético de la implementación del diseño, obteniendo el ahorro de leña en consumo por hora.

En el capítulo 3 se desarrollará la propuesta de él diseño del horno; aquí se realizará la propuesta y ensayo de alternativa del modelo a evaluar, y al final se darán las conclusiones y recomendaciones del modelo mejorado.

## 1. ANTECEDENTES

En Guatemala se han hecho estudios sobre el tema de hornos artesanales en el Tejar. A continuación algunos que aportan datos importantes.

En la tesis “Evaluación del uso de biomasa como combustible alternativo en la producción de ladrillos de barro cocido en el municipio El Tejar, Chimaltenango, Douglas Israel Montufar del Valle, (2012)” se encontró que en México se ha determinado que durante la quema en un horno tradicional (artesanal) que utiliza predominantemente leña como combustible (consumo entre 3 y 5 toneladas de leña por quema en un lapso de entre 10 y 36 horas), se producen 4,7 kg de óxido de nitrógeno, 61,6 kg de compuestos orgánicos volátiles y 279,9 kg de monóxido de carbono.

En trabajo de estudio “Oferta y demanda de leña en la República de Guatemala”, Marcos Martín Larrañaga, que habla sobre el Consumo de leña en ladrilleras a nivel nacional, por municipio, De este modo, Solórzano Arce y Rodríguez Rivera, 2001 en su trabajo de Investigación de alternativas energéticas y mejoramiento de hornos de producción de ladrillos y tejas de Barro en el municipio de la Paz, Centro, León Nicaragua mencionan un modelo de horno eficiente diseñado por el arquitecto guatemalteco Alan Molina, el cual es capaz de producir los ladrillos con un consumo de 0,34 Kg/ladrillo, mejorando en un 13% la eficiencia de los hornos tradicionales. Esto se traduce en que la eficiencia de los hornos artesanales se estimó en 0,3842 Kg de leña/ladrillo promedio.

Así como estudios que se han hecho en otros países de América Latina sobre biomasa, uso de leña, en hornos para la cocción de ladrillos. A continuación algunos datos importantes.

En la tesis inédita de maestría “Emisiones derivadas de la producción de ladrillos en el estado de México”, Oscar Norberto Sánchez, 2009, se analizan los combustibles, combustión y contaminación en las actividades ladrilleras, evaluación de emisiones atmosféricas, la preparación de la mezcla de arcilla para la fabricación de ladrillos.

En la tesis inédita de maestría “Producción artesanal de ladrillo en coronado municipio de Palmira, relacionado con la contaminación atmosférica y su posible impacto en la salud de las personas de la comuna 1”, Liliana Arias Arango e Ider Arias Arango, 2014, a nivel tecnológico, se podría decir que la producción de ladrillos artesanales se realiza en todos los países de América Latina con hornos de baja eficiencia térmica, de acuerdo a lo que menciona Jon Bickel, en el texto del “programa de eficiencia energética en ladrilleras artesanales de América latina para mitigar el cambio climático”, para contrarrestar lo anterior se hace necesario: Promover la construcción de hornos y uso de combustibles más eficientes, ordenamiento territorial, uso del suelo, reglamentación minera para el uso de los bancos de arcilla, reglamentación sobre el uso de leña y otros combustibles y normas de producto, resistencia, dimensiones, capacidad de aislamiento térmico.

En el trabajo de estudio “Determinación de emisiones de gases de efecto invernadero en base a factores de emisión y monitoreos de eficiencia energética en la comunidad ladrillera El Refugio, León Guanajuato”, 2011, Dra. Beatriz Cárdenas González y M. en C. Claudia Márquez Estrada. Se observó que las emisiones de GEI obtenido con los factores de emisión medidos (62948

Ton CO<sub>2</sub>eq), son mayores comparados con las emisiones obtenidas por factores de emisión de IPCC (45465 Ton CO<sub>2</sub>eq) y de la EPA (45552 Ton CO<sub>2</sub>eq) en un 28 %. La emisión de bióxido de carbono equivalente determinada fue de 0,320 Ton CO<sub>2</sub>eq/Ton ladrillo producido.

La eficiencia energética promedio en los hornos ladrilleros de la comunidad El Refugio en León Guanajuato fue de 1,99 GJ/Ton ladrillo producido. El uso de hornos mejorados como es el caso del horno MK2 puede reducir teóricamente hasta en un 50 % el consumo de combustibles y con ello la mitigación de emisiones a la atmosfera. Se puede obtener una reducción de emisiones de GEI con el uso de combustibles más limpios como gas o carbón hasta de un 38,8 %.

En la tesis de grado “Diseño de un horno para cocción de ladrillos refractarios en una empresa del sector ladrillero”, Emmanuel de Jesús Fontalvo Porras, Eliver José Gutiérrez Robles, 2014. Se propone un diseño de horno especialmente apropiado para el problema planteado de tener continuidad operativa y eficiencia energética, al utilizar calores que en los hornos tradicionales se pierden y acá se recuperan. Además de proponer un diseño, con suficientes detalles técnicos que han permitido que fabricantes y proveedores, oferten sus propuestas para tener los montos de inversión que deben aplicarse.



## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El ladrillo para construcción es un producto de mucha importancia en Guatemala, así como la teja y otros productos derivados de la arcilla cocida, muchas obras que se construyen con ladrillo no compran en plantas industrializadas; si no que lo compran en fábricas artesanales.

En el municipio de Chimaltenango existen alrededor de 127 fábricas dispersas; en 2011 se realizó un censo en el municipio El Tejar y se ubicaron 80 ladrilleras dispersas entre el casco Urbano, áreas aledañas y periferia de la carretera interamericana CA-1.

En México se ha determinado que durante la quema en un horno tradicional (artesanal) que utiliza predominantemente leña como combustible (consumo entre 3 y 5 toneladas de leña por quema en un lapso de entre 10 y 36 horas), se producen 4,7 kg de óxido de nitrógeno, 61,6 kg de compuestos orgánicos volátiles y 279,9 kg de monóxido de carbono. (Montufar, 2012)

El consumo específico de combustible en hornos escoceses, se encuentra en el rango de 0,93 a 2,11 kJ/kg, aunque el uso de briquetas de carbón mineral en el encendido del horno, aumenta la resistencia a la rotura por compresión de los ladrillos fabricados artesanalmente. Esto indicaría que el consumo específico de combustible empleando carbón mineral es inferior al consumo empleando leña. (Teodoro, 1998)

De un recorrido realizado por la ruta CA-1, todos los hornos artesanales son abiertos y pierden la mayor parte de la energía térmica producida por la

leña, reduciéndose la eficiencia térmica de estos en la cocción del ladrillo. Por lo tanto hay que optimizar los hornos artesanales, ya que requieren de grandes cantidades de leña y estos cada vez deterioran el medio ambiente.

Para ello en el presente estudio se plantea la pregunta principal:

- **Pregunta principal**

¿Cómo mejorar el diseño de un horno artesanal existente que reduzca el uso de leña en las fábricas de cocción de ladrillo en el municipio El Tejar, Chimaltenango?

Para responder a esta interrogante se deberán contestar las siguientes preguntas auxiliares:

- **Preguntas auxiliares**

1. ¿Cuánta leña consume un horno artesanal de fabricación de ladrillo?
2. ¿Qué alternativas y propuestas de diseño existen para mejorar los hornos artesanales existentes para fabricar ladrillo?
3. ¿Cuál sería el beneficio ambiental en el municipio El Tejar, Chimaltenango, al reducir el uso de leña en los hornos de cocción de ladrillo?

### **3. JUSTIFICACIÓN**

La realización de la presente investigación se justifica en la línea de investigación del uso energético en Guatemala, ya que en nuestro país los datos estadísticos demuestran un alto consumo de leña como fuente principal de energía y de la gestión y uso eficiente de la energía de la maestría de energía y ambiente.

El presente trabajo plantea como propuesta para la industria ladrillera artesanal del municipio El Tejar, Chimaltenango, proporcionar un diseño, modificando el horno existente, que sea de fácil construcción, y que cumpla con las normativas vigentes de construcción (ASTM, COGUANOR, etc.) en Guatemala. Se plantea mejorar el uso eficiente de la energía disminuyendo el uso y grandes cantidades de leña como fuente principal de energía de biomasa, disminuir los índices de la emisión de gases de efecto invernadero como CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, y NO<sub>x</sub> y contaminación térmica.

La propuesta de reducción del consumo de leña, es de gran beneficio no solo para el municipio El Tejar, sino que también para el país ya que según datos estadísticos del año 2012 del ministerio de energía y minas, Guatemala consumió un 56,84 % de leña como principal fuente energética. Al realizar una modificación positiva en los hornos artesanales de fabricación de productos de barro cocido y que cumpla con las normativas vigentes nacionales e internacionales, se da un gran paso hacia el uso eficiente de la energía, ya que se produce materia prima de calidad para la construcción, se reduce el consumo de leña y bajan los índices de contaminación ambiental.



## **4. OBJETIVOS**

### **General**

Mejorar el diseño de un horno artesanal existente, que disminuya el consumo de leña en las fábricas de cocción de ladrillo del municipio El Tejar, Chimaltenango.

### **Específicos**

1. Calcular la cantidad de leña que consume un horno artesanal para la fabricación de ladrillo.
2. Proponer una alternativa de diseño de un horno artesanal existente que optimice el consumo de leña.
3. Determinar el beneficio ambiental por la reducción del uso de leña en los hornos artesanales El Tejar, Chimaltenango.



## **5. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN**

Como resultado de la investigación se tendrán los parámetros reales de contaminación por el consumo de leña empleado en la cocción de ladrillo utilizado en la construcción. Esta situación se da porque los propietarios de pequeñas empresas que se dedican a la fabricación de ladrillo, consumen altas cantidades de leña como fuente principal de la energía, además, no se tienen procesos alternativos que puedan disminuir su consumo y la tecnología que utilizan es muy ineficiente.

En las fábricas artesanales de cocción de ladrillo, existen grandes cantidades de emisión de gases de efecto invernadero, lo que repercute en un incremento de los niveles de contaminación por gases CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO y NX, emisión de carbono negro y vapor de agua; así como un alto consumo de leña, la degradación de los suelos fértiles para la agricultura y contaminación térmica por el exceso de calor y un aumento de la temperatura ambiente en las áreas en donde se encuentran instaladas dichas fábricas.

Se hará un diagnóstico del funcionamiento y operatividad para la fabricación de ladrillos que incluye la preparación de la mezcla de arcilla, energía térmica necesaria dentro del horno, cantidades de leña utilizados para la cocción y realizar los planos de lo existente.

Los alcances de este estudio se enfocaran en elaborar el diseño, modificando un horno artesanal existente de fácil de construcción y operación, que aproveche los gases calientes emanados por la quema de leña para mejorar la temperatura de cocción de los ladrillos.

Con este diseño se aprovechan los gases calientes que produce, dentro del horno, eleva, mejora y mantiene estable la temperatura de cocción de los ladrillos, se logran grandes ahorros en el consumo de leña, se disminuye la emisión de gases de tipo invernadero y se obtiene un beneficio ambiental.

## **6. HIPÓTESIS**

Por ser una investigación de tipo cuantitativo descriptivo, no aplica.



## 8. MARCO TÉORIO

### 8.1. Producción artesanal de ladrillos

#### Producción nacional

En Guatemala se encuentran una gran variedad de arcillas, algunos de las ubicaciones de los bancos son: San Antonio La Paz, el Progreso; Salamá, Rabinal Baja Verapaz; Totonicapán; Jalapa; Chimaltenango; Mixco y Guatemala, lugares donde existen ladrilleras funcionando, pero aún no existe un censo al respecto. (Montufar, 2012)

Las ladrilleras pequeñas y micro son en su gran mayoría informales y utilizan técnicas de fabricación variadas que pueden ser artesanales en todo el proceso o una combinación de artesanales con mecanización en algunas etapas, generalmente se agrupan en zonas geográficas lo más cercanas posible a la fuente de materia prima. (Montufar, 2012)

En cualquier fábrica de ladrillos se llevan a cabo una serie de procesos estándar que comprenden desde la elección del material arcilloso, al proceso de empaclado final. Existen diferentes formatos de ladrillo, por lo general son de un tamaño que permita manejarlo con una mano, en particular, según su forma, los ladrillos se clasifican en:

- Ladrillo perforado: son todos aquellos que tienen perforaciones en la tabla que ocupen más del 10 % de la superficie de la misma. Se utilizan en la ejecución de fachadas de ladrillo.
- Ladrillo macizo: aquellos con menos de un 10 % de perforaciones en la tabla.

- Ladrillo tejar o manual: simulan los antiguos ladrillos de fabricación artesanal, con apariencia tosca y caras rugosas. Tienen buenas propiedades ornamentales.

#### Fábricas de ladrillo en donde existen hornos artesanales

En el municipio de Chimaltenango existen alrededor de 127 fábricas dispersas; en 2011 se realizó un censo en el municipio de El Tejar y se ubicaron 80 ladrilleras dispersas entre el casco Urbano, áreas aledañas y periferia de la carretera interamericana CA-1, ubicándose en las siguientes áreas (Montufar, 2012):

- \* Cantón Rastro Viejo
- \* Colonia Santo Domingo
- \* A lo largo de la carretera interamericana
- \* Aldea San Miguel Morazán

Actualmente existe un promedio de 80 ladrilleras en el municipio de El Tejar, aunque el número varía ya que algunos propietarios suspenden de manera temporal su producción, lo que no permite determinar con exactitud el volumen de esta en el municipio. (Montufar, 2012)

#### Consumo de leña en la industria de ladrillos

El consumo de leña en los distintos procesos productivos de la industria de Guatemala ha podido ser calculado para el conjunto nacional para las siguientes industrias: panaderías, ladrilleras, secadoras de cardamomo y un único ingenio azucarero. (Larrañaga, 2012)

De este modo, Solórzano Arce y Rodríguez Rivera, 2001 en su trabajo de Investigación de alternativas energéticas y mejoramiento de hornos de producción de ladrillos y tejas de Barro en el municipio La Paz, Centro, León Nicaragua mencionan un modelo de horno eficiente diseñado por el arquitecto guatemalteco Alan Molina, el cual es capaz de producir los ladrillos con un consumo de 0,34 Kg/ladrillo, mejorando en un 13 % la eficiencia de los hornos tradicionales. (Larrañaga, 2012)

Esto se traduce en que la eficiencia de los hornos artesanales se estimó en 0,3842 Kg de leña/ladrillo promedio. No obstante, en comunicación personal con el Arquitecto Molina, (2/9/2011) indicó que en los hornos artesanales del municipio El Tejar del departamento de Chimaltenango se han encontrado en promedio, consumos de 6 tareas de leña convencionales (1 tarea = 0,87 m<sup>3</sup> de leña), para la producción de 4000 ladrillos. De este modo, la mayoría de los hornos de fabricación de ladrillos artesanales en Guatemala estarían consumiendo 0,735480505 Kg de leña por ladrillo producido. (Larrañaga, 2012)

Por otra parte un estudio de la FAO refiere que el consumo de leña por ladrillo producido en Guatemala es igual a 0,8 Kilogramos de leña por ladrillo. En virtud de los valores encontrados como referencia, se tomó el criterio de asumir un valor promedio entre (0,7354 y 0,80), el cual es igual a 0,7677 Kilogramos de leña por ladrillo producido. (Larrañaga, 2012)

Finalmente se calculó el total de toneladas de leña consumida anualmente por las ladrilleras de cada municipio del país, multiplicando la cantidad de ladrillos, por el valor de 0,7677 Kg de leña por ladrillo. (Larrañaga, 2012)

## **8.2. Funcionamiento de hornos para ladrillos**

### **8.2.1. Tipos de hornos y funcionamiento**

El autor Eloy Robusté, en su trabajo “Técnica y práctica de la industria ladrillera II, Barcelona: CEAC, 1963”, plantea tres tipos de hornos siendo estos:

1. Hornos Intermitentes
2. Hornos Semicontínuos
3. Hornos Continuos

Para el análisis del presente estudio únicamente se enfocara en el análisis de los tipos de hornos Intermitentes, que son los más utilizados para la fabricación de ladrillos de forma artesanal.

Son hornos de cámaras individuales o en batería, en los que los productos, la instalación de la cocción y de enfriamiento quedan en posición fija durante la totalidad del ciclo. Y de estos podemos mencionar: horno de Fuego Dormido, horno Pampa, horno Baúl y horno Colmena. (EELA. 2011)

Este tipo de horno puede cocer materiales como baldosín, loza, porcelana, arcilla entre otros, pero presenta el inconveniente que consume mucha energía (en este caso leña para la cocción de los ladrillos) y el tiempo de cocción es demasiado largo.

Este tipo de horno plantea el problema que se necesita grandes cantidades de combustible para que produzca una gran cantidad de llama que

al arder con su máxima rapidez, penetre hacia arriba y se puedan cocer los ladrillos situados en la parte más alta del horno.

Este horno está diseñado por una cámara cuadrada y en la parte inferior se encuentra la cámara de combustión, en la parte de arriba se encuentran los ladrillos que se van a cocer; y estos van colocados convenientemente de forma separada para que la llama se eleve hasta una altura de entre 3,0 o 4,0 metros.

A este tipo de hornos se le colocan hasta 2000 piezas de ladrillo. Solamente una persona controla la calidad de la llama, para que los ladrillos se cocinen de forma pareja, saliendo todos los gases de tipo invernadero por la parte superior, contaminando el ambiente.

#### Horno de Fuego Dormido

Es un horno de tipo artesanal, construido de forma circular, generando una bóveda circular abierta, es conocido también como horno cilíndrico y posee una puerta lateral donde se carga el material. (EELA. 2011)

Estos hornos se cargan con una capa de carbón, seguida de una capa de ladrillos y así sucesivamente hasta alcanzar el tope de la altura del horno. Una vez terminada la colocación del carbón y del ladrillo, se procede a prenderle fuego y la cocción dura entre 20 y 40 días. (EELA. 2011)

Este tipo de hornos son de baja producción y de elevada contaminación, a causa de una quema no homogénea y la combustión incompleta. Así como el material producido es de baja calidad, porque unos ladrillos se cocinan mucho y otros quedan crudos. (EELA. 2011)

## Hornos Pampa

Este tipo de hornos son cuartos rectangulares descubiertos en la parte superior con puertas de salida y entrada por donde se extraen e introducen los ladrillos antes o después de la cocción, en la parte inferior hay unas bóvedas formadas por material a quemar, y aquí se introduce el tipo de combustible de cocción. (EELA. 2011)

Estos son considerados hornos de rápida cocción (aproximadamente 7 días), alta producción y alta contaminación. La colocación de los ladrillos debe comenzarse con ladrillos de canto ya cocidos de modo que cubra un área de 10 a 15 metros de largo. (EELA. 2011)

La gran desventaja de este tipo de horno, es que se necesita que el combustible genere mucha llama para que ardiendo con la máxima rapidez, pueda penetrar en la parte superior y cocer los ladrillos que se colocan en la última fila. (EELA. 2011)

### **8.3. Eficiencia energética en hornos**

El concepto de eficiencia energética está relacionado al uso óptimo de los recursos energéticos sin alterar la producción de la industria de ladrillos, buscando explorar diversas posibilidades para la reducción del consumo de energía que además represente ventajas a nivel económico y ambiental. (Maurício F. Henriques Jr., Marcelo Rousseau Valença Schwob, Joaquim Augusto Pinto Rodrigues, 2015)

La eficiencia energética puede comprender desde medidas simples y de bajo costo (engrosamiento de las paredes del horno, reacomodo de los ladrillos

al interior del horno, etc.), hasta otras medidas mucho más complejas y caras (como el cambio a hornos continuos altamente eficientes), pero que aun así pueden presentarse económicamente atractivas. Por lo tanto, a mayor empleo de técnicas, equipos y procesos más eficientes, menor será el consumo de energía y por ende el gasto en este recurso. (Henriques et al 2015)

Este consumo específico de energía está dado por la relación entre el consumo de energía (por ejemplo el consumo de leña), dividido entre la producción (reportada en mil piezas o en toneladas), obteniéndose un indicador que podrá indicarnos si la empresa haciendo un uso eficiente o no de la energía e indicarnos a cuántos productores potenciales sería posible apoyar para la mejora con relación al estado de producción actual. (Henriques et al 2015)

Para tener una buena operación en un horno y generar productos de calidad, es importante tener una buena combustión. Este proceso transforma la energía química del combustible en calor que, a su vez, es transmitido hacia la carga procesada (tejas, ladrillos o baldosas). (Henriques et al 2015)

Una buena combustión exige una serie de cuidados, pero debe partir de un correcto dimensionamiento de las hornillas o cámaras de combustión (volumen y forma de la cámara de acuerdo al tipo de combustible y la carga a ser procesada). Por ejemplo, una cámara de combustión muy pequeña, alimentada con mucha leña, puede no recibir aire suficiente para una buena quema, y generar mucho hollín y desperdicio de energía. (Henriques et al 2015)

Por lo tanto, cada tipo de combustible (leña, petróleo o gas) debería implicar una hornilla específica para conseguir una combustión bien dirigida y equilibrada (sin desperdicio y sin hollín). (Henriques et al 2015)

Diversas tecnologías de hornos están presentes en la industria ladrillera. Muchas de ellas, desde la época colonial como en el caso de los hornos tipo campaña (caieira) y caipira (horno abierto de paredes fijas), cuyos índices de consumo energético específico son extremadamente elevados (por encima de 1000 Kcal/kg), y baja eficiencia energética (menos de 25 %). (Henriques et al 2015)

Es decir, aun hoy operan hornos en los que las pérdidas de calor representan por lo menos 75 % de la energía total suministrada por el combustible. (Henriques et al 2015)

En muchos lugares se operan hornos intermitentes (por lotes), pero de mejor nivel tecnológico, como es el caso de los hornos Paulistinha y abovedado (colmena), en los que los valores de consumo energético específico se encuentran en el rango de 550 a 1000 kcal/ kg (eficiencia térmica entre 30 % y 40 %). (Henriques et al 2015)

Las emisiones atmosféricas también pasan a constituir un tema importante a tener en consideración, en particular las de material particulado (hollín). Las instituciones gubernamentales de medio ambiente de los países están actuando cada vez más en el control de estas emisiones. En algunos países, las emisiones de hornos ladrilleros se controlan con valores denominados límites máximos, las emisiones deben ser monitoreadas periódicamente a través de servicios especializados. (Henriques et al 2015)

Algunos hornos no pueden cumplir con estos requisitos, como los hornos abiertos, que no tienen chimeneas, y aún con chimeneas, algunos tipos de hornos emiten mucho hollín, principalmente cuando son alimentados con leña, por la falta de aire de combustión en las hornillas. Para atenuar o resolver este

problema, una medida que puede ayudar es el uso de leña trozada con alimentadores continuos, lo que atenuará la falta de aire de combustión, reduciendo la aparición de hollín. También es posible acoplar en esos hornos sistemas de lavado de gases. (Henriques et al 2015)

Energía térmica: Estéreo (st) o metro cúbico (m<sup>3</sup>) o kg de leña por tonelada (t) de producto final o por millar (1000 piezas). Idealmente la unidad de control debería ser Kcal/kg de producto final (kilocaloría por kilo), pero esto requiere aplicar conversión de unidades, conforme se muestra en el ejemplo presentado más adelante. (Henriques et al 2015)

Debe evitarse el control del consumo específico de energía térmica a través del índice tradicional st o m<sup>3</sup> de leña/millar de producción, considerando las grandes variaciones posibles de masa de leña por st o m<sup>3</sup>, así como de masa de producto por millar. Lo ideal sería pesar la leña consumida (pesado de muestra) y la producción obtenida (cálculo del masa producida), llegándose a valores de kg (o tonelada) de leña por kg (o tonelada) de producción. Los valores necesarios para el cálculo del consumo energético específico deben ser confiables y medidos con rigor. Además de esto, cierta información necesaria puede obtenerse de tablas técnicas que el productor deberá tener disponible, como las presentadas a continuación. (Henriques et al 2015)

#### **8.4. Impacto ambiental de hornos artesanales**

La contaminación atmosférica (CA) es la presencia de contaminantes o las combinaciones de los mismos en la atmósfera, que causa alteraciones tanto en el ambiente como en los seres humanos, animales y plantas. La CA se define como: “Presencia en la atmósfera de uno o más contaminantes, de tal forma que se generen o puedan generar efectos nocivos para la vida humana,

la flora o la fauna, o una degradación de la calidad del aire, del agua, del suelo, los inmuebles, el patrimonio cultural o los recursos naturales en general.”

La fabricación artesanal de ladrillo es considerada una de las principales fuentes de emisión de contaminantes a la atmósfera, clasificándose como fuentes de área, caracterizándose por una variedad muy amplia de tipos y cantidades de combustibles utilizados para la cocción del ladrillo. (EELA., 2011)

Entre otros los asociados a la mala calidad del aire causada por un inadecuado control de las emisiones a la atmósfera, por los diferentes tipos de fuentes de emisión. Entre las fuentes más importantes en esta entidad se encuentra la fabricación artesanal de ladrillo, propiciando la exposición directa a los contaminantes generados, tanto a los productores como a las personas que viven en colonias aledañas. (EELA., 2011)

La fabricación de ladrillo en él es una actividad de la que dependen cientos de familias, pero cuyo impacto ambiental a la salud de la población y a los ecosistemas en general no se ha estudiado a fondo. (EELA., 2011)

La ineficiente forma en el uso de los combustibles utilizados en la cocción de ladrillos puede generar importantes emisiones de contaminantes a la atmósfera entre ellos el bióxido de carbono, gas de efecto invernadero, por lo que es de suma importancia cuantificar estas emisiones y establecer con ello una línea base de las emisiones de bióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>eq) producidas por las ladrilleras artesanales. (EELA., 2011)

## **8.5. Diseño eficiente de hornos**

### **8.5.1. Modificaciones a hornos para mejorar eficiencia**

En el presente trabajo de diseño se realizara la configuración geométrica y física del horno y lo referente al diseño que implica los procesos de transferencia de calor, que definen la eficiencia energética esperada del sistema.

Las fases de diseño que se siguen son:

- Descripción de necesidad y definición de requerimientos.
- Diseño conceptual y básico.
- Diseño de detalle

Además, es necesario mejorar la velocidad y calidad del proceso de quemado de los ladrillos. Para resolver esta necesidad es que debe mejorar un horno artesanal, capaz de mejorar la calidad y cantidad de los productos a fabricar que además ahora son de diversos tamaños y configuraciones, con lo que se espera la empresa solidifique su participación en el mercado de ladrillos.

A continuación se plantean algunos criterios que pueden ayudar en la mejora del horno artesanal, dada la experiencia de diseños anteriores que han resultado eficientes y han mejorado el desempeño de los hornos.

- Forma de cubo. Según experiencias por simulación y mediciones experimentales, se ha encontrado que esta figura es la que garantiza mayor uniformidad de las temperaturas de punto a punto al interior del horno.

- Se garantiza que la llama solo tiene un cambio en ángulo recto. Se sabe que esto ocasiona calentamiento irregular.
- Diseño de una chimenea, con esto se garantiza que el hollín no suba a la superficie y que caída dentro del horno, para evitar contaminación y enfermedades a los trabajadores y vecinos aledaños.

### **8.5.2. Reducción de emisiones en hornos eficientes**

La principal fuente de generación de emisiones de gases en la industria ladrillera es la combustión en los hornos artesanales. Las emisiones atmosféricas resultantes de la etapa de cocción están constituidas por el vapor de agua resultante de la deshidratación de la masa de ladrillos crudos.

Otras fuentes menores son las emisiones fugitivas de partículas asociadas con la manipulación y manejo de la materia prima incluido la molienda y el mezclado, la descarga de los ladrillos cocidos, la manipulación y almacenamiento de combustibles sólidos.

La materia prima para la fabricación de ladrillos no contiene elementos contaminantes porque está constituida básicamente por arcilla con agua y el proceso de cocción consiste en eliminar el contenido de agua de la masa de ladrillo cruda hasta el punto de sinterización de la arcilla en donde comienzan los cambios químicos de sus componentes para darle las características de compactación y resistencia que la convierten en el cerámico conocido como ladrillo.

Es por ello que los agentes contaminantes de las emisiones gaseosas de este subsector son casi en su totalidad los que están presentes en el combustible que se utiliza en la cocción, cuyos componentes son:

- Material Particulado, MP
- Óxidos de Azufre, SO<sub>x</sub>
- Óxidos de Nitrógeno, NO<sub>x</sub>
- Monóxido de Carbono, CO



## 9. ÍNDICE PROPUESTO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

ALCANCES Y LÍMITES

1. Marco Teórico

- a. Identificación de los diferentes tipos de horno.
- b. Descripción de las características físicas y funcionamiento del horno tradicional.
- c. Cantidad de ceniza generada por el horno.

2. Eficiencia energética en la elaboración artesanal de ladrillos

- a. Eficiencia energética: concepto, objetivo y disponibilidad.
- b. Consumo de energía en el proceso de quema de ladrillos.
- c. Sistemas de combustión.

- d. Cálculo de consumo energético
- e. Cálculo de gases emitidos.
- f. Curvas de temperatura contra tiempo.
- g. Determinación de la energía emitida por la leña.

### 3. Desarrollo del diseño del horno

- a. Propuesta y ensayo de alternativa de modelo a evaluar.
- b. Análisis del modelo anterior y modelo mejorado.
- c. Análisis sobre su diseño.
- d. Diseño conceptual y básico del sistema de hornos y quemado de ladrillos.
- e. Diseño de detalle del horno.
- f. Eficiencia del modelo mejorado.
- g. Cálculo del consumo energético del modelo mejorado.
- h. Cálculo de gases emitidos del modelo mejorado.
- i. Curva de temperatura contra tiempo del modelo mejorado.

## CONCLUSIONES

## RECOMENDACIONES

## BIBLIOGRAFÍA

## ANEXOS

## **10. METODOLOGÍA**

### **10.1. Tipo de estudio**

En el presente trabajo se plantea realizar una investigación tipo cuantitativo-descriptivo, para mejorar el diseño de un horno artesanal existente para la fabricación de ladrillo que reduzca el consumo de leña en el municipio El Tejar, Chimaltenango.

### **10.2. Fases de la investigación**

#### **10.2.1 Fase 1: investigación bibliográfica**

Esta actividad incluye una investigación de tesis de maestría, de doctorado, artículos, investigaciones, etc., para conocer el estado actual del tema estudiado, además de los diseños existentes y de su aplicación industrial.

#### **10.2.2 Fase 2: recolección de datos**

Esta actividad incluye realizar una investigación de cuantos hornos funcionan en El tejar, así como cuanta leña se consume y cuantas horas pasa encendido, dimensiones y el valor calorífico por leño y por quema. Aquí se realizara un cuadro anotando el área de quema, área de ladrillos y capacidad.

##### **10.2.2.1. Variables**

Temperatura: es una magnitud que mide el nivel térmico o el calor que un cuerpo posee. Esta se mide con un aparato de precisión llamado termómetro y actualmente se utilizan tres escalas de temperatura; grados Fahrenheit (°F), Celsius (°C) y Kelvin (°K). Y para el presente trabajo se utilizaran dos termómetros dentro del horno artesanal para medir la temperatura cada media hora. (Wikipedia, 2016)

Figura 1. **Encuesta de trabajo para recolectar datos d campo de los hornos en municipio El Tejar**

Información General:
Fecha_____
Nombre del encuestador_____
Ubicación de la ladrillera_____
Coordenadas Geográficas_____
Información del horno:
Tipo de horno_____
Dimensiones del horno en metros
Largo_____
Ancho_____
Alto_____
Partes que componen el horno_____
Información de leña:
¿Qué tipo de leña que compra o consume el horno?_____

Dimensiones de un leño en metros:

Largo\_\_\_\_\_, ancho\_\_\_\_\_, alto\_\_\_\_\_

Continuación figura 1.

Cantidad de leña en kg por carga \_\_\_\_\_

¿De cuántos leños es una carga? \_\_\_\_\_

¿Cuántas cargas de leña consume por quema? \_\_\_\_\_

¿Cuántas cargas de leña consumen al mes? \_\_\_\_\_

Información de la carga de ladrillo:

¿De cuántos ladrillos es su carga? \_\_\_\_\_

¿Cuántas cargas de ladrillo produce al día? \_\_\_\_\_

¿Cuántas cargas de ladrillo produce por mes? \_\_\_\_\_

¿En cuántas horas está terminada una carga? \_\_\_\_\_

Peso de un ladrillo crudo \_\_\_\_\_

Peso de un ladrillo cocido \_\_\_\_\_

Precio del ladrillo \_\_\_\_\_

Fuente: elaboración propia

Para determinar la temperatura de cocción del ladrillo es necesario realizar mediciones con termómetro cada media hora, por el tiempo que tarda en producirse una carga de ladrillo. Para realizar esta actividad se llenará la siguiente tabla.

Tabla I. **Cuadro medición de temperatura**

Tiempo	Temperatura de la cámara de cocción	Temperatura de la bóveda de alimentación de combustible

--	--	--

Fuente: elaboración propia.

- Para obtener la información de este cuadro, es necesario colocar termómetro de mercurio para medir la temperatura dentro de la cámara de cocción y dentro de la bóveda de alimentación de combustible.
- Esta información es muy importante para el análisis del horno artesanal, ya que mostrará cuales son las partes en las que se produce más energía calorífica y las partes en donde esta se pierde.

#### **10.2.2.2. Equipo de medición**

- 2.0 termómetros de mercurio para medir la temperatura dentro de las partes del horno artesanal.
- Cinta métrica
- Metro laser
- Aparato GPS

#### **10.2.3. Fase 3: análisis de resultados y propuesta de solución**

Esta actividad incluye realizar los cálculos de cantidades de gases emitidos, cantidad de quema de leña y cuantos gases emiten, el cálculo del consumo energético, propuesta y ensayo de alternativas de modelos para realizar un comparativo de modelo anterior con el nuevo modelo y poder comparar que cantidad de leña y energía se ahorra, se realizará el cálculo del impacto energético de la implementación del diseño, obteniendo el ahorro de leña en consumo por hora.

### 10.2.3.1. Variables

#### Tiempo

Es una magnitud física fundamental, el cual puede ser medido utilizando un proceso periódico, entendiéndose como un proceso que se repite de una manera idéntica e indefinidamente. El tiempo se mide en el segundo, minutos u hora, se define como la 86400 avas parte del día solar medio, y se representa con la letra – t – y para el presente trabajo se utilizara un reloj. (Wikipedia, 2016)

#### Carga de leña

Es la cantidad de leña comercializada por los vendedores de la región y esta se mide por la cantidad de leños que caben en un metro de alto por un metro de ancho. (AKIANTO, 2011)

#### Ceniza de leña

Es el producto de la combustión de la leña, compuesto por sustancias inorgánicas no combustibles, como sales minerales. Parte queda como residuo en forma de polvo depositado en el lugar donde se ha quemado el combustible (madera, basura, etc.) y parte puede ser expulsada al aire como parte del humo. AKIANTO, 2011)

#### Metro

Unidad de longitud utilizado en el sistema internacional y se representa con la letra – m -. (Wikipedia, 2016)

### Aparato GPS

Es un dispositivo portátil que se utiliza para la ubicación de puntos de interés en el sistema de posicionamiento global, que expresa la ubicación en un sistema de coordenada geográfica o coordenada UTM. (Wikipedia, 2016)

### CO<sub>2</sub>

Forma en que se simboliza el Dióxido de Carbono; es un gas incoloro, denso y poco reactivo, que forma parte de la capa de la atmósfera más cercana a la tierra. (Wikipedia, 2016)

### Energía emitida por la leña

Es un tipo de energía renovable que responde a los retos energéticos y medioambientales. (Wikipedia, 2016)

### Consumo energético

Es la cantidad de energía que se utiliza para realizar procesos de producción industrial y en el presente trabajo se expresa en kJ/h. (Wikipedia, 2016)

Para el fácil manejo de la información de la encuesta y conociendo la cantidad de ladrillos cocidos por tonelada, se llenara la siguiente tabla,

calculando en base a tablas existente del tipo de madera, la cantidad de CO2 emitida y la cantidad de energía emitida, en donde se elaborarán diagramas de pie para saber el comportamiento de cada variable con respecto a la cantidad de toneladas de ladrillo cóccido.

Tabla II. **Cuadro de emisión de CO2 y energía emitida**

Cantidad de ladrillos cocidos por tonelada	Cantidad de CO <sub>2</sub> emitida	Cantidad de energía emitida

Fuente: elaboración propia.

### 10.2.3.2. Cálculos a realizar

Cálculo del consumo energético en función a la cantidad de leños (kJ/kg), para este cálculo utilizaré la fórmula:

Poder calorífico = cantidad de leños (kg) \* el valor específico del siguiente cuadro

Figura 2. **Cuadro de poder calorífico de la leña seca**

<b>Poder calorífico inferior de la leña seca</b>	
<b>Especie</b>	<b>(kJ/kg)</b>
Eucalipto	19228

Pino	20482
Cedro	18066
Ciprés	21443
Encino	19500
Media	19744

Fuente: FAO

- Comparar cantidad de leña más energía, para una mejor interpretación comparativa de resultados se realizara diagrama de barras.
- Ahorro de la cantidad de leña en consumo, por carga de ladrillos cóccidos, para una mejor interpretación de los resultados se realizara un diagrama de pie.
- Calculo de la cantidad de gases emitidos, por carga de ladrillos cóccidos, para una mejor interpretación de los resultados se realizara un diagrama de barras
- Se realizará curvas de temperatura contra tiempo cada media hora.

Formulas a utilizar

Las emisiones totales se estiman aplicando el siguiente modelo de cálculo:

$$ET = FE * NA$$

Donde:

ET = Emisiones Totales (ton/año)

FE = Factor de Emisión de contaminantes totales por actividad

NA = Nivel de actividad en unidades de tiempo

Las emisiones individuales de los contaminantes de la combustión se calculan con la siguiente ecuación:

$$E_c = FE * CC * Na$$

Donde:

$E_c$  = Emisión del contaminante (ton/año)

FE = Factor de Emisión del contaminante

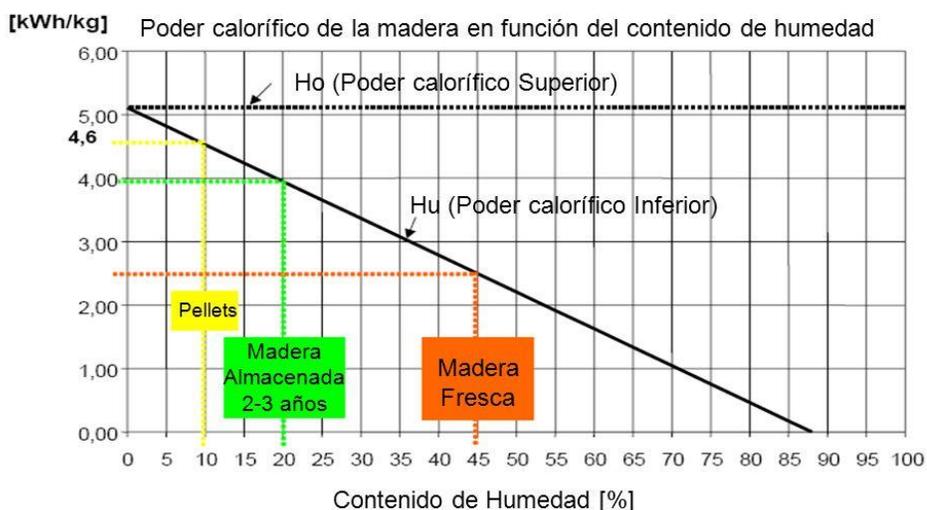
CC = Consumo de leña por la actividad

Na = Nivel de actividad en unidades de tiempo

- Se realizará curvas de temperatura contra tiempo cada media hora, con la información de la tabla II, y se realizara un diagrama de PIE.
- Determinación de la energía emitida de la leña, en base a la siguiente gráfica se determinada el poder calorífico según las condiciones de la leña.

Figura 3. **Curva de energía emitida de la leña**

# Poder Calorífico de la Madera



Fuente: Doncia Arencibia

Figura 4. Poder calorífico superior anhidro, poder calorífico neto y categorías

Especie	PCS (H=0%) (KJ/Kg)	Q (H=25%) (KJ/Kg)	Categoría astilla (H=25%) (EN 14961-4)	Q (H=10%) (KJ/Kg)	Categoría pélet (H=10%) (EN 14961-2)
<i>Pinus pinaster</i>	20955 (±902) a	14111	A1 (Q13.0)	17423	A1 (Q16.5)
<i>Pinus radiata</i>	20674 (±730) ab	13900	A1 (Q13.0)	17170	A1 (Q16.5)
<i>Pinus sylvestris</i>	20645 (±434) ab	13879	A1 (Q13.0)	17144	A1 (Q16.5)
<i>Betula celtiberica</i>	20325 (±698) ab	13639	A1 (Q13.0)	16856	A1 (Q16.5)
<i>Acacia melanoxylon</i>	20189 (±475) b	13537	A1 (Q13.0)	16734	A1 (Q16.5)
<i>Salix atrocynera</i>	19649 (±717) bc	13132	A1 (Q13.0)	16248	B (Q16.0)
<i>Prunus avium</i>	19602 (±472) bc	13096	A1 (Q13.0)	16205	B (Q16.0)
<i>Populus euramericana</i>	19352 (±257) bc	12909	A2 (Q11.0)	15980	<16.0
<i>Eucalyptus globulus</i>	19335 (±867) c	12896	A2 (Q11.0)	15965	<16.0
<i>Fagus sylvatica</i>	19179 (±402) cd	12779	A2 (Q11.0)	15825	<16.0
<i>Fraxinus excelsior</i>	19143 (±387) cd	12752	A2 (Q11.0)	15792	<16.0
<i>Quercus robur</i>	18776 (±640) cd	12477	A2 (Q11.0)	15462	<16.0
<i>Castanea sativa</i>	18298 (±983) d	12118	A2 (Q11.0)	15032	<16.0
<i>Acer pseudoplatanus</i>	18123 (±319) d	11987	A2 (Q11.0)	14874	<16.0

Fuente: Vega-Nieva (2015)

### **10.2.3.3. Hacer el dibujo a escala de un horno artesanal**

- Propuesta y ensayo de alternativa de modelo a evaluar
- Se realizará un comparativo del modelo anterior y el nuevo modelo

### **10.2.4. Fase 4: discusión de resultados y conclusiones**

Esta actividad incluye el análisis de cuanta leña se ahorró, cuanta energía calorífica produce el nuevo diseño, cuanta ceniza produce el nuevo diseño y que beneficios se obtienen con el nuevo diseño.

#### **10.2.4.1. Cantidad de ceniza**

Se medirá la cantidad y el tamaño de la ceniza como consecuencia de la eficiencia de la quema de la leña.

#### **10.2.4.2. Diseño del horno**

Se realizarán los bosquejos a escala del diseño del horno, indicando las partes lo componen, las partes a modificar y las dimensiones a las que se debe modificar.

#### **10.2.4.3. Ventajas y desventajas**

Se discutirá las ventajas y desventajas del modelo anterior y el nuevo modelo.



## 11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

Para realizar el análisis del estudio para mejorar en el diseño de un horno artesanal para la fabricación de ladrillo que reduzca el consumo de leña en el municipio El tejar, Chimaltenango, se trabajaran de acuerdo a las siguientes técnicas:

Para ello se utilizarán las siguientes herramientas:

- Tablas de datos de la encuesta realizada.
- Tablas de datos de las temperaturas medidas.
- Tablas de emisión de CO<sub>2</sub> y energía emitida.
- Diagramas de los hornos existentes.
- Diagrama de la propuesta de horno mejorado.
- Tabla de emisiones de CO<sub>2</sub> y energía emitida de la propuesta de horno mejorado.

Las herramientas estadísticas a utilizar serán:

- Diagrama de máximos y mínimos: aplicado al consumo de leña y a la temperatura de cocción del horno tradicional y de la propuesta mejorada.
- Promedios y desviaciones estándar: en mediciones de temperatura contra tiempo de cocción de ladrillos del horno tradicional y de la propuesta mejorada.
- Diagrama de dispersión: para la representación de temperaturas y tiempo de cocción de ladrillo del horno tradicional y de la propuesta mejorada.



## 12. CRONOGRAMA

Figura 5. Cronograma

CRONOGRAMA						
Fases de la investigación	AÑO 2,016			AÑO 2,017		
	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.
Fase 1 "Investigación bibliográfica"	XXX					
Fase 2 "Recolección de datos"		XXX				
Fase 3 "Análisis de resultados y propuesta de solución"			XXX	XXX	XXX	
Fase 4 "Discusión de resultados y conclusiones"						XXX

Fuente: elaboración propia.



## 14. FACTIBILIDAD

El presente trabajo de investigación se realizará con recursos propios del estudiante de maestría. Siendo un trabajo de investigación cuantitativo – descriptivo, se consideran los siguientes recursos.

Tabla III. **Recursos necesarios para la investigación**

<b>PRESUPUESTO DE RECURSOS NECESARIOS</b>				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Asesor de tesis	Asesoría	1	Q. 2 500,00	Q.2 500,00
Viajes para pasar encuesta	Semana	1	Q. 1 000,00	Q.1 000,00
Viajes para realizar mejoras a horno	Semana	2	Q. 1 000,00	Q.2 000,00
Viajes para toma de muestras de horno mejorado	Semana	1	Q. 1 000,00	Q.1 000,00
Impresiones, fotocopias, lapiceros, entre otros.	Global	1	Q. 200,00	Q. 200,00
Termómetros	Unidad	2	Q. 200,00	Q. 400,00
<b>Total</b>				<b>Q.7 100,00</b>

Fuente: elaboración propia.



## 15. BIBLIOGRAFÍA

1. AKIANTO, CEPAL, GIZ, Consumo Eficiente y Sostenible de Leña en América Central (2011), Encuesta nacional de leña consumo de leña en hogares y pequeña industria en Guatemala informe final.
2. Coalición clima y aire limpio - CCAC (2016) Manual de capacitación sector ladrillero en américa latina.
3. VEGA-NIEVA. Daniel J., Fernández Lorenzo. Marcos, Ortiz Torres. Luis, José J. Corral-Rivas (2015) Información tecnológica vol.26 no.4 La Serena ISSN 0718-0764.
4. BÜHLER. Dirk (2011) Séptimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Ladrillares en la región de Puebla (México): persistencia de una tradición artesanal.
5. ARENCIBIA. Doncia (2016) Pellets a base de madera: condiciones para su real contribución a la descontaminación de ciudades chilenas. Recuperado de <http://slideplayer.es/slide/3173771/>.
6. MONTUFAR DEL VALLE. Douglas Israel (2012) Evaluación del uso de biomasa como combustible alternativo en la producción de ladrillos de barro cocido en el municipio Él Tejar Chimaltenango.

7. SÁNCHEZ TEODORO, Emilio Mayorga (1998) Programa de Energía ITDG-Perú Uso eficiente de la energía en la producción de ladrillos a pequeña escala.
8. Guía Agropecuaria (2013) Estudio de mercado del sector ladrillero de Centroamérica para el programa eficiencia energética en ladrilleras artesanales de América Latina para mitigar el cambio climático.
9. Instituto Nacional de Estadística – INE (2003)
10. LOZADA CUBAS. Jessy (2011) Evaluación de la reducción de uso de leña, para la producción de ladrillo de arcilla, provincias de Moyobamba y Rioja.
11. LAYA SUCOZHAÑAY. Jorge Luis, GomezCoello Vasquez. José Luis (2012) Análisis comparativo de la contaminación atmosférica producida por la combustión en ladrilleras artesanales utilizando tres tipos de combustibles.
12. ARIAS ARANGO. Liliana, Arias Arango. Ider (2014) Producción artesanal de ladrillo en coronado municipio de Palmira (Valle del Cauca), relacionado con la contaminación atmosférica y su posible impacto en la salud de las personas de la comuna 1.
13. MARTÍN LARRAÑAGA. Marcos (2012) Oferta y demanda de leña en la República de Guatemala, Woodfuel Integrated Supply/Demand Overview Mapping.

14. OLADE – Leña. (2006). Recuperado de -----  
<http://www.olade.org/sites/default/files/PGIE%20SESION%2006%20Oferta%20le%C3%B1a.pdf>
15. SÁNCHEZ HURTADO. Oscar Norberto (2009) Emisiones derivadas de la producción de ladrillos en el estado de Mexico.
16. Programa de eficiencia energética en ladrilleras artesanales de américa latina para mitigar el cambio climático – EELA (2011) Determinación de emisiones de gases de efecto Invernadero en base a factores de emisión y monitoreos de eficiencia energética en la comunidad ladrillera el Refugio, león Guanajuato.
17. Programa de eficiencia energética en ladrilleras artesanales de américa latina para mitigar el cambio climático - EELA, Estudio de definición de tipo de horno apropiado para el sector ladrillero, Suma Quispe, C. Gutiérrez Samanez, Suma Quispe R., (2008), Perú.
18. Programa de eficiencia energética en ladrilleras artesanales de américa latina para mitigar el cambio climático – EELA (2011) Estudio tecnológico para definir el tipo de tecnología de horno apropiada para la reconversión de las ladrilleras artesanales, ingeniería básica y supervisión del montaje.
19. Programa de eficiencia energética en ladrilleras artesanales de américa latina para mitigar el cambio climático – EELA (2011) Caracterización de los hornos usados en la industria ladrillera.

20. Programa de eficiencia energética en ladrilleras artesanales de América latina para mitigar el cambio climático – EELA (2015) Manual de eficiencia energética en la industria ladrillera.
21. AREIZA MARTÍNEZ. Raúl Andrés (2014) Modelado, simulación y desarrollo de un análisis de eficiencia energética en un horno ladrillero tipo bóveda en condiciones de estado estacionario.
22. FRANCESCATO. Valter, Zuccoli Bergomi. Eliseo Antonini Luca (2012) Manual de combustible de madera.