



**Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**  
**Facultad de Ciencias de la Electrónica**

“Fabricación y estudio de la estufa de leña  
Tleamanalli, en el municipio de Tochimilco,  
Puebla”

Tesis

Que para obtener el  
título de:

Licenciatura en  
Ingeniería en  
Energías Renovables

Presenta:

Ronaldo García Telez

Asesora de Tesis:

Dra. María Teresa Flores Sotelo.

Coasesora:

Dra. Nallely Téllez Méndez.

Puebla, Puebla

Enero 2024

## Agradecimientos

*A mis padres, Argimiro Manuel García Telez y Sabina Telez Tlatelpa, por darme todo su apoyo y amor y guiarme a lo largo de mi vida*

*A mi familia, por su apoyo y sobre todo la unión en momentos difíciles*

*A mis amigos, por apoyarme en los momentos más difíciles y no dejarme caer*

*A mis profesores, que sin duda fueron parte fundamental en mi desarrollo como profesional*

*A mi alma mater, por la oportunidad de brindarme todas las herramientas necesarias para formarme como profesional*

*A mis asesoras, Dra. María Teresa Flores Sotelo y Dra. Nallely Téllez Méndez por el conocimiento brindado y todo el gran apoyo, paciencia y constancia otorgada durante la realización de este trabajo. Al Dr. Roberto Carlos Ambrocio Lázaro por brindarme los dispositivos para las evaluaciones.*

*A todas las personas que formaron parte de mi vida y dejaron un legado y para todas aquellas que aún siguen conmigo*

*A todos les digo, ¡gracias!*

## Índice

<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</b> .....	5
Antecedentes .....	6
Planteamiento del Problema.....	12
Justificación .....	13
Objetivo General.....	14
Objetivos específicos.....	14
Hipótesis .....	15
Descripción.....	15
<b>CAPÍTULO 2. USO DE LA LEÑA</b> .....	19
Biomasa como fuente de combustible .....	19
Utilización de la leña en el municipio de Tochimilco.....	20
Aspectos socioculturales en el uso de la leña en el municipio de Tochimilco.....	22
Uso de fogones tradicionales en el Municipio de Tochimilco .....	24
Pobreza energética como factor determinante en el uso de la leña .....	26
<b>CAPÍTULO 3. ANTECEDENTES DE LAS ESTUFAS ECOLÓGICAS</b> .....	28
Antecedentes de estufas ecológicas en México.....	28
Distribución de calor en la estufa.....	30
Pruebas internacionales para consumo de estufas de leña.....	31
Propiedades mecánicas de los materiales .....	32
Aparatos utilizados en la fabricación de la estufa Tleamanalli.....	32
Combustión como concepto .....	35
Componentes que integran la estufa Tleamanalli.....	37
<b>CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA</b> .....	38
Estufa de leña Tleamanalli.....	40
Materiales para la fabricación de la estufa Tleamanalli .....	44
Construcción de la estufa Tleamanalli en el municipio de Tochimilco .....	48
Distribución de calor a través de la cámara termográfica .....	59
Pruebas de ebullición del agua (WBT).....	61
Prueba de cocción controlada (CCT).....	68
Prueba de compresión del material para construir una estufa Tleamanalli .....	71
<b>CAPÍTULO 5. RESULTADOS</b> .....	74
Observaciones de la construcción de la estufa Tleamanalli.....	75

Resultados de la distribución de calor .....	78
Resultados de la prueba de ebullición del agua (WBT) .....	80
Resultados de la prueba de cocción controlada (CCT).....	84
Resultados de la prueba de compresión del material.....	86
Comparación de resultados con otras estufas de leña .....	91
<b>CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES</b> .....	93
Recomendaciones sobre la estufa de leña Tleamanalli.....	94
<b>CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	95

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

La contaminación del medio ambiente por medio de la tala inmoderada, así como la dependencia de la leña con la que cuentan muchas comunidades rurales es una problemática a nivel mundial se estima que tres mil millones de personas en el planeta dependen de los combustibles sólidos, biomasa y carbón

El consumo de leña representa una situación peligrosa tanto para las familias que dependen de esta para su cocinar diario, así como para el ambiente ya que el humo contamina y la leña representa tala de bosques. Es por este motivo que los investigadores han desarrollado estufas de leña o ecológicas que mejoran la combustión para disminuir menos contaminantes al ambiente y mejorar la salud de las familias.

En este estudio vamos a determinar cuáles son las características, así como las dimensiones de la estufa “Tleamanalli”, que es una ecotecnología desarrollada para disminuir distintas problemáticas como el uso de la cantidad de leña, disminuir el humo contaminante en la cocina, así como no afectar el sabor del alimento, el tiempo de cocción y mejorar la eficiencia energética para aprovechar al máximo la leña.

La estufa de leña Tleamanalli, se puede adaptar a las cocinas ya existentes conectándose a los ductos originales, funciona con leña o con carbón. Una de sus características principales es la cámara de combustión que está elaborada con materiales propios o disponibles en la región, es fija, lo cual representa un extra para las familias que hacen uso de esta estufa de manera cotidiana.

Esta construcción es realizada para distinguir porque esta alternativa puede representar múltiples ventajas para las personas usuarias y sus familias que se encuentran en una situación en donde su fuente de combustible para cocinar es la leña.

De acuerdo con datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) se estima que a nivel mundial la contaminación del “aire de interiores” está relacionada con más de 4 millones de muertes cada año, la mayoría ocurren en viviendas en las cuales para poder cocinar hacen uso de estufas de carbón, leña y biomasa en diferentes formas.

Actualmente en comunidades en vías de desarrollo acontece esta problemática silenciosa para la salud que es generada por “cocinar en fogones abiertos” con combustibles sólidos

como la leña; los contaminantes del aire se han convertido en el principal factor de riesgo en el ámbito de la salud ambiental.

Estos datos son importantes porque ya que nos proyectan el vínculo que existe entre la salud y la interrelación de la manera y dispositivos que utilizan para cocinar en su vida cotidiana.

La importancia de las estufas de leña deriva de realizar prácticas adecuadas para cocinar a diario hasta tres veces al día, que no representen un peligro para la salud, que no emitan cantidades innecesarias de humos contaminantes, siempre y cuando se consideren las costumbres y cultura de la región de estudios y que, además; tampoco se imponga que usen una estufa de leña sin considerar sus preferencias y necesidades de la familia usuaria.

## Antecedentes

Durante los últimos años el planeta ha sufrido numerosos y constantes cambios, uno de los más evidentes ha sido el avance tecnológico que se refleja en cada aspecto en los estilos de vida actuales, en las formas de comunicación o en la urbanización, y en general los avances del conocimiento humano. Sin embargo, existe un hecho que ha generado cambios notables de una manera heterogénea.

Si bien la intervención de las energías renovables juega un papel fundamental en dicha transición energética, dado las condiciones sociales, económicas y geográficas aún existen comunidades que carecen de servicios básicos como los recursos energéticos indispensables.

El desarrollo sostenible es la capacidad de satisfacer las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras. En esas condiciones el desarrollo sostenible va enfocado a la utilización racional, moderada y justa de los recursos naturales, así como el respecto a la vida animal.

Es una forma de respetar la esencia de los ecosistemas, su capacidad y objetivos para tener eficacia en los modelos de desarrollo que permita elevar el nivel de vida de la población, así como la calidad del planeta para futuras generaciones. Ya que el desarrollo humano no tiene que verse limitado por la actual contaminación.

La legislación y las políticas ambientales instituidas para cada esfera de gobierno y el desarrollo sustentable deben descansar en el mantenimiento y protección de los procesos ecológicos preservando la diversidad genética y aprovechar de forma equilibrada las especies y ecosistemas que constituyen la base de subsistencia para las comunidades rurales, así como la flora y fauna de cada región.

El primer antecedente de importancia del término “sostenible” provino de la biología, especialmente por quienes trabajaban en los sectores forestales y pesqueros. En esos campos, por lo menos desde la década de 1960, se estudiaban maneras alternativas en la tala de bosques o en la pesca, para mantenerse dentro de los propios ritmos de renovación de las poblaciones.

En el contexto de recursos naturales renovables, se podía estimar una extracción o cosecha máxima permitida. [2] La sustentabilidad radicaba en aprovecharlos dentro de sus tasas anuales de reproducción.

El adjetivo que se escogió, sostenible, deriva del latín *sustenerere*, que significa sostener o mantener elevado, con lo que el significado literal desde una perspectiva ecológica es el mantenimiento de la base de los recursos naturales. En aquellos estudios se ligaban los atributos ecológicos de una especie, como la dinámica de sus poblaciones, con los usos productivos, los que a su vez dependían de la estrategia de desarrollo que seguía el país [2].

La importancia de dicho término es vital, ya que con ello se sientan las bases de las nuevas corrientes de pensamiento que buscan con base en el desarrollo sostenible crear alternativas que promuevan el cuidado y preservación de los recursos naturales sin comprometerlos de manera crítica, es decir, tener un uso racional.

Lo que permite desarrollarse a las personas de forma plena, pero que a su vez los recursos no se agoten de manera vertiginosa, sino que de acuerdo con la disponibilidad de los recursos usarlos de manera óptima acorde al entorno en el cual nos desarrollemos, en ese precisa sintonía está las ecotecnologías.

Que buscan a través de la creación de tecnologías menos dañinas con el medio ambiente, donde involucra tanto el aspecto social, económico y ambiental, pues en conjunto busca crear un balance en donde desde un punto de vista integral contribuye en la mejora continua de los avances en cuestión energético específicamente hablando y buscando un desarrollo social digno aunado a un daño menor al medio ambiente.

Las ecotecnologías juegan un papel fundamental en el aprovechamiento en el uso de biomasa y mitigar la contaminación en las cocinas, tanto al interior como en el exterior de ellas, representan alternativas en el avance en materia energética, ya que permiten desarrollar alternativas que sean amigables con el medio ambiente y sobre todo alternativas para el aprovechamiento de la energía.

Las ecotecnologías son la base de la innovación tecnológica y las innovaciones de base social. A partir de la revolución industrial y los avances tecnológicos aunados a la actividad humana han provocado un efecto adverso en cuanto a la degradación de la tierra se refiere.

Muchos factores intervienen en los problemas que aquejan al planeta tierra, es por ello por lo que las ecotecnologías buscan al menos reducir el impacto ambiental que se ocasiona por dicho uso de las tecnologías a través del aprovechamiento eficiente de los recursos de una manera sustentable.

Las primeras menciones del término ecotecnología en la bibliografía científica se remontan a la década de 1960, cuando Howard T. Odum, pionero del estudio de la ecología de ecosistemas, acuñó el término ingeniería ecológica o ecotecnología para referirse a lo que más tarde Barret (1999) definiría como el “diseño, construcción, operación y gestión (es decir, la ingeniería de estructuras paisajísticas/acuáticas y sus comunidades de plantas y animales asociadas (es decir, ecosistemas) para beneficiar a la humanidad y, a menudo, a la naturaleza”.

Posteriormente, el concepto de ecotecnología se asoció a enfoques teóricos como la ecología industrial, las tecnologías limpias y la modernización ecológica. La ecología industrial es una escuela que estudia a los sistemas industriales desde un punto de vista ecosistémico, en palabras de Lowe (1993) “el núcleo de la ecología industrial es simplemente reconocer que los servicios de manufactura y servicio son en realidad sistemas naturales, íntimamente conectados a sus ecosistemas locales y regionales y a la biósfera global, es aproximar los sistemas industriales tanto como se pueda a un ciclo cerrado, con un reciclaje casi completo de todos los materiales” [2].

Las tecnologías limpias son tecnologías cuya manufactura hace un uso eficiente de materias primas y energía, reciclan o reúsan sus residuos y maximizan la calidad final de los productos (Giannetti *et al*, 2004). (Moreno, 2014) [2].

Comprender la estrecha e indivisible relación entre el desarrollo de la humanidad y el uso de los distintos tipos de energía que se encuentran en la naturaleza, es fundamental para

tener una noción completa de la forma que obtiene energía para posteriormente ser aprovechada ha marcado la vida de las personas y su progreso.

Durante la mayor parte de su historia, los humanos han dependido de la fuerza muscular. Los cazadores-recolectores y pescadores prehistóricos estaban sujetos casi por completo de la energía derivada de los alimentos. Sin embargo, todo cambió cuando se descubrieron formas para aprovechar mucho mejor los recursos energéticos.

Estas nuevas formas de energía mejoraron la eficiencia de la fuerza muscular desde el principio, fueron revoluciones que cambiaron por completo la forma de vida humana aunado al invento de la agricultura, así como la ganadería se tuvo una mejor disposición de herramientas energéticas dentro de las distintas sociedades humanas.

Posteriormente se utilizó también la fuerza muscular de los animales domésticos, con el transcurso del tiempo se sumaron la fuerza mecánica: la rueda hidráulica, el molino de viento, así como el velero fueron las invenciones más notorias. El uso de combustibles fósiles, que inició la revolución industrial, ha aumentado la energía disponible para la humanidad, pero también ha creado problemas completamente nuevos.

Las dificultades que han traído el uso de los combustibles fósiles han sido principalmente las emisiones de gases nocivos para la vida, diversos estudios atmosféricos demuestran que desde el inicio de la revolución industrial las temperaturas en el planeta han aumentado, lo cual ha dado como efecto cambios en el clima de toda la tierra.

También las problemáticas han pasado al plano de lo económico y lo social, no todas las naciones tienen los mismos recursos científicos, tecnológicos, así como humanos para extraer los combustibles fósiles del subsuelo además de que muchas naciones no cuentan con los recursos naturales lo cual provoca una lucha por los recursos naturales.

Esta desigualdad provocada por la falta de acceso a fuentes de energía, no solamente se vive en el plano mundial entre naciones, sino que también de forma individual, existen múltiples familias, así como personas que no tienen acceso a medios energéticos para poder cocinar, o incluso sufren acceso a los combustibles para poder realizar movilidad.

Como se mencionó en los párrafos anteriores, el problema con los combustibles fósiles es la distribución desigual en el mundo, los precios tan variables que pueden existir, pero sobre todo los efectos a la salud tanto humana, como los efectos al clima; cada vez es más frecuente ver sequías intentas, seguidas de inundaciones lo cual provoca daños a la vida.

Si bien, las energías renovables también presentan algunos de los problemas de sus contrapartes fósiles, como una distribución variable en el mundo o que la disponibilidad puede estar sujeta en este caso a condiciones ambientales como es el caso del agua en las presas, el nivel de nubes en un parque solar o incluso los vientos en un parque eólico.

Resulta fundamental entender que la transición energética es un proceso que tomara años, combinando nuevas tecnologías (avances en la inteligencia artificial, así como la optimización de procesos industriales), pero sobre todo cambios sociales de la forma en la cual las personas hacen uso de los recursos energéticos de cada región habitada.

Comprender las dificultades que se tienen como sociedad, nos puede dar herramientas para cambiar la forma en la cual se analizan las carencias de acceso a la energía en la sociedad actual, en un contexto geopolítico cambiante puede darnos una nueva visión de la denominada “pobreza energética” se debe de atacar como un problema complejo.

Actualmente no existen definiciones claras, pero podemos entender este problema como la situación que se enfrenta múltiples personas al no tener acceso a los recursos energéticos, la falta de gas LP provoca que tengan que recurrir a métodos como la leña para cocinar un mantenerse calientes, pero sobre todo los deja en desventaja social.

Mucho depende del contexto social, económico y geográfico, no es lo mismo vivir en urbes donde se consume un mayor nivel de energía, que en zonas rurales alejadas de los medios de transmisión de energía o incluso en zonas en donde los ingresos monetarios no alcanzan para cubrir las necesidades de las personas; pobreza.

La disponibilidad de los recursos y el costo que se puede pagar, se ha dicho que se busca electrificar, distintas instituciones gubernamentales externan este deseo de llevar este tipo de energía a todas las personas más sin embargo el acceso a la electricidad es un servicio que hace falta en muchos lugares y existe una falta de acceso a los servicios.

Los gobiernos buscan electrificar, siempre se debe de tener propuestas para enfrentar este problema que está presente en varios planos que no se pueden homologar en todos los sectores, es social y cultural, incluye muchas variantes y vertientes, para comunidades donde están muy arraigadas con sus tradiciones de pueblos originarios.

El desarrollo del entorno se encuentra relacionado con el acceso a los servicios y asimismo quien lo puede pagar, el acceso a los combustibles fósiles ha generado lucrativos negocios

en torno al robo de estos. El caso mexicano es que existen grupos que roban a las empresas estatales los combustibles para posteriormente ser vendidos.

Existen comunidades en las cuales el hecho de que existan líneas de transmisión de energía eléctrica, ductos de combustibles líquidos ya sea de gasolina o incluso de gas LP, ha provocado que estas regiones sean un blanco fácil de bandas delictivas cuyo objetivo sea el robar el recurso y con esto generar problemáticas sociales complejas.

Los bajos ingresos de muchas comunidades combinado con los altos costos que pueden alcanzar los combustibles generan una alta rentabilidad para las personas que realizan extracciones ilegales de los ductos que pasan por las zonas habitacionales ya sea rurales o urbanas, una alta contaminación se mezcla para generar un peligro inminente.

La contaminación es un problema que nos aqueja en múltiples formas a las personas, los demás seres vivos y el clima del planeta en general, se tiene el consenso científico de que la generación de gases producto de la quema de combustibles fósiles provoca un aumento de las temperaturas globales, además de que a nivel personal afecta la respiración.

En muchas cocinas mexicanas no se tiene la posibilidad de tener acceso a gas LP, esto provoca que la vida de estas personas presente diversas dificultades; empezando con un mayor desgaste físico al tener que conseguir leña, todo esto seguido de que muchas veces no se tiene las condiciones adecuadas para poder realizar alimentos con leña.

Degradación del medio ambiente local producto de la tala de los bosques para producir leña, serios problemas en la salud respiratoria de las familias que se encuentran expuestas al humo de la leña todo este panorama se combina para generar una situación en donde la desigualdad del acceso a la energía es un factor que marca la vida de las personas.

Actualmente se están desarrollando alternativas para poder cambiar esta situación, ya sea con soluciones que impliquen modificar la arquitectura de las casas para dar paso a la introducción de cocinas más eficientes, a solución que aplique el conocimiento ingenieril con pellets de nueva generación en donde el combustible no proviene de madera extraída de forma ilegal de bosques nativos.

Esto es lo que busca realizar el presente análisis, saber si las soluciones que se han dado en una comunidad en específico han tenido resultados tangibles que hayan cambiado la vida de las personas que hacen uso de nuevas alternativas para tener una cocina más eficiente, así como amigable con el medio ambiente además de la salud humana.

El panorama cultural de estas comunidades si bien se entiende es parte de una dinámica compleja de integración entre el medio rural y el medio urbano actual puede generar una situación armónica; en donde no sea necesario que se siga degradando el medio ambiente, la salud humana, así como agotar nuestros escasos recursos naturales.

Con base en las estadísticas que son publicadas podemos empezar teniendo un panorama general de la situación que se vive día a día en cuanto al acceso a la energía, como base tenemos los estudios que realiza el INEGI en donde podemos encontrar que existen fuertes discrepancias entre las zonas más desarrolladas del país y las que no lo están.

Los estados que tienen una mayor desigualdad social, desigualdad de ingresos, así como problemáticas sociales producto de su atraso; presentan un mayor uso de combustibles tradicionales para realizar el cocinado de sus alimentos, un mayor uso de leña. El cual como ya se ha dicho anteriormente proviene de fuentes no sostenibles.

## Planteamiento del Problema

Las ecotecnologías se han considerado innovaciones tecnológicas con sentido social, pero que sin duda alguna aun hace falta implementarlas y continuar dando seguimiento, considerando desde el momento que se van a difundir hasta como se implementa y proponen como dispositivos innovadores que representan ventajas de mejoras para las familias que cocinan con leña en su hogar, ya que brindan una alternativa a tecnologías tradicionales sobre todo en el costo beneficio tanto económico, ambiental y de eficiencia.

Por lo tanto, es imperante utilizar este tipo de tecnologías específicamente de la estufa de leña Tleamanalli, ya que ofrece beneficios mayores a los dispositivos tradicionales de cocción que utilizan leña como fuente de combustible tales como fogones de tres piedras. Es importante fabricar esta estufa ya que obtendremos resultados en cuanto a eficiencia térmica se refiere y conocer los parámetros de la estufa Tleamanalli, aunado a un costo asequible, mitigar los daños a la salud y al ambiente.

## Justificación

Aún existen comunidades que cocinan sus alimentos utilizando leña como fuente de combustible, específicamente en la cocción de alimentos y calentar agua a través de fogones tradicionales de leña o estufas muy poco funcionales, personas que regularmente habitan en zonas rurales.

Actualmente el Gobierno Federal a través de sus Secretarías de Bienestar Social, asociaciones civiles, ONG's, han difundido tecnologías que permitan combatir este rezago energético, es importante poner a prueba todas estas tecnologías por medio de estudios y evaluaciones adecuados que combinen perspectivas sociales, así como ingenieril para mejorar y disminuir el uso de la leña.

Las estufas de leña son una alternativa a los fogones tradicionales porque representan menor gasto en leña una mayor eficiencia y menos daño a la salud, debido a que los diseños priorizan que los humos no se escapen y propaguen en la cocina ni dentro de los hogares porque provoca daños al sistema respiratorio.

La estufa Tleamanalli es una alternativa para mejorar problemas económicos, de salud y ambientales, por su estructura, dimensiones y conductos, es una estufa de leña que cuenta con un comal central y uno secundario que disminuye considerablemente el consumo de leña gracias a su cámara de combustión, se caracteriza por un sistema sellado en más del 90% permitiendo que se realice una oxidación adecuada de la leña, y además no permite que se pierda el calor al cocinar.

Aunado a ello su diseño permite que el humo que emite la leña se escape por unos conductos que van conectados de la estufa hacia el exterior de donde se encuentre la leña disminuyendo notablemente el daño contra la salud y que su bajo costo permite que sea un modelo de estufa viable en las comunidades con carencia de servicios.

por lo que provoca, afectaciones a la salud, así como ambiental siguen siendo una problemática para muchas

En esta por ello es importante precisar que parte de dicha investigación es la fabricación y estudio de la estufa, es decir su construcción y la aplicación de pruebas de ebullición de agua y cocción controlada, prueba de termografía y prueba de compresión de material. Con

ello la estufa se fabricará en su totalidad para que así se pueda homologar en otras comunidades rurales y lograr implementar las ecotecnologías de manera paulatina para lograr una transición de ecotecnologías.

## Objetivo General

Fabricación y estudio de la estufa de leña “Tleamanalli”, mediante pruebas internacionales de ebullición del agua (WBT) y cocción controlada (CCT), prueba termográfica y prueba de compresión de materiales en el municipio de Tochimilco, Puebla.

## Objetivos específicos

- Construir la estufa de leña Tleamanalli, con la participación de la familia usuaria.
- Prueba de ebullición del agua (WBT), mediante una norma estandarizada se harán pruebas de ebullición del punto local del agua y se tomarán tiempo en el cual tardó en alcanzar dicho punto, repartido en tres fases; fase de inicio: (estufa sin utilizar al menos 24 horas), fase en caliente (estufa esta previamente calentada debido a la prueba anterior) y fase de fuego lento (mantener el agua en su punto de ebullición, con un margen de  $(+3^{\circ}\text{C} , -3^{\circ}\text{C})$ , por debajo de su punto de ebullición durante 45 minutos, y con ello obtendremos datos que nos servirán para determinar la eficiencia térmica, el tiempo, entre otras aspectos.
- Prueba de cocción controlada (CCT), mediante la cocción de un platillo típico de la región o en su defecto que el o la usuaria prepare con frecuencia, donde se tomara el tiempo de cocción, así como el consumo de leña al final de la prueba como aspectos principales y que nos permitirán tener datos como el consumo de leña que nos permitirá determinar cuanta leña consume la estufa Tleamanalli.
- Comparar los resultados de las pruebas de la estufa Tleamanalli con otros modelos de estufas de leña y por ende ver sus características y discutir dichos resultados.

- Prueba de termografía, para determinar la distribución del calor en el la cámara de combustión y por ende en el comal.
- Prueba de mecánica de materiales para determinar el peso maximo que soporta las mezclas de las estufas ante fuerzas externas.

## Hipótesis

Fabricación y estudio de la estufa de leña Tleamanalli, con las pruebas internacionales para la eficiencia de la estufa: ebullición del agua, cocción controlada, prueba de termografía y prueba de compresión de materiales y su implementación en el municipio de Tochimilco, se logrará conocer su eficiencia térmica; así como los materiales de construcción para la estufa de leña, entre otras características.

## Descripción

Tochimilco es un municipio situado en las faldas del Popocatepetl en el estado de Puebla. Tochimilco está situada a 2060 metros sobre el nivel del mar, latitud: 18.8906, longitud: -98.5726, colinda al Norte con el municipio de San Nicolas de Los Ranchos, al Sur con los municipios de Atzitzihuacan y Cohuecan, al Este con los municipios de Tianguismanalco y Atlixco, al Oeste con el estado de Morelos y el volcán Popocatepetl. Tiene una superficie de 218.94 kilómetros cuadrados que lo ubica en el lugar 48 con respecto a los demás municipios del estado. En la cabecera municipal las principales actividades económicas que preponderan son las agropecuarias y el comercio. **Figura 1.**

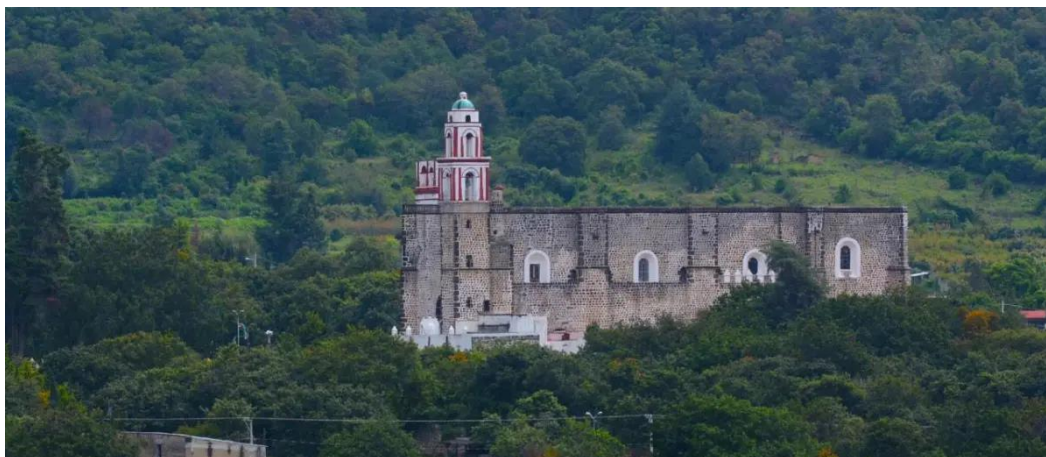


**Fig. 1.** Mapa de ubicación del Municipio de Tochimilco [15].

Por otro lado, la economía del municipio representada por sector de actividad revela que hay 4,298 personas ocupadas en actividades primarias, lo que equivale al 44.50% de la PEA; 1,376 en actividades secundarias, lo que representa el 14.20% de la PEA y 1,635 personas ocupadas en actividades del sector terciario 16.90% de la PEA [15].

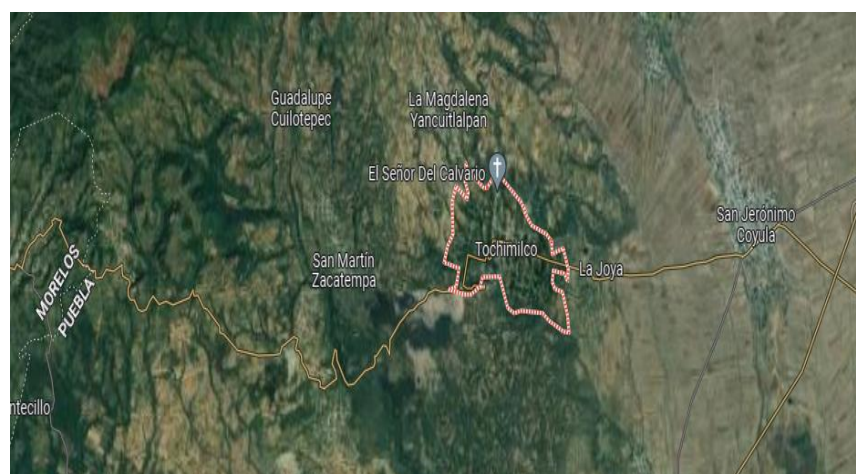
El municipio debió haber estado cubierto casi en su totalidad por bosques que han sido talados, para utilizar la madera o incorporar las zonas al cultivo; las zonas que aún subsisten ocupan extensas áreas y se ubican en las zonas más accidentadas. La parte meridional presenta en las faldas inferiores de la sierra nevada algunas zonas aisladas de pinos y pino-encino asociados a vegetación secundaria arbustiva y alborea. También presenta en el extremo sur y sureste áreas reducidas con selva baja caducifolia y pastizal inducido.

En las estribaciones del volcán subsisten extensas áreas de pinos y pino-encino, y más arriba una zona boscosa de oyameles continuando hacia el norte; presenta una faja de pino, pradera de alta montaña, y en la cúspide, nieve perpetua [15].



**Fig. 2.** Foto panorámica del municipio de Tochimilco

De acuerdo con datos del Censo de Población y Vivienda 2020 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en el municipio de Tochimilco, localizado en la región de Atlixco. En el municipio de Tochimilco habitan un total de 19,315 personas, de las cuales 9,196 son hombres y 10,119 mujeres, específicamente hablando de la cabecera municipal habitan un total de 3,676 personas de los cuales 1,944 son mujeres y 1,732 son hombres y la población restante se encuentra en las distintas localidades que integran el municipio, **Figura 3.**



**Fig. 3.** Vista satelital de Tochimilco, Puebla. [1]

La fabricación de la estufa Tleamanalli se realizó en la cabecera municipal del municipio Tochimilco, específicamente en el barrio de Xochimilcapa, donde se eligió la casa de la Señora Lucía Vázquez para realizar la estufa ya que ella hace tortillas en un estufa adaptada que realizó con su familia, pero nos relata que le generan grandes problemas sobre todo en el aspecto del diseño ya que no al no estar sellada adecuadamente el calor se disipa y hace que tarde más en calentarse, aunado a que no cuenta con un tubo que permite expulsar el humo, provocando daños a la salud.

En ocasiones también emplean un fogón de tres piedras, pero de igual manera presenta carencias debido a que le representa mayor gasto de leña, ya que la leña no logra combustión adecuada lo que provoca que algunos fragmentos de leña no logren quemarse del todo, reflejando que representa mayor cantidad de leña para sus actividades.

En el municipio hay un total de 6,396 viviendas; de las cuales 4,773 son particulares, habitadas con un promedio de ocupantes de 4 personas. Respecto a lo anterior, hay 122 que no cuentan con agua potable entubada al interior de la vivienda; 527 carecen de drenaje conectado a la red pública; 483 tienen piso de tierra; 51 no cuentan con energía eléctrica [17]. Esto sin duda nos refleja que aún existen muchas carencias en las comunidades rurales de Puebla, por lo que refleja un brecha muy distinta en cuanto a desigualdad energética se requiere, esto debido a diversos factores primordialmente económico e idiosincrasia de las comunidades, por lo que refleja una realidad que necesita una solución que sea viable económicamente y culturalmente.

En las fotos se pueden ver las características de la estufa realizada por la familia Vázquez por lo cual podemos constatar lo dicho por la señora Lucia acerca de dicha estufa, ya que como se muestra en las imágenes no está bien diseñada provocando fuga de calor y humo en la cocina provocando grandes daños, aunado al fogón de piedras que la familia utiliza, por lo que con base en su necesidad imperante de adoptar otra estufa que sea mejor en cuanto a aprovechamiento de leña se refiere se procede a plantearles el modelo de estufa Tleamanalli que se adapta a sus necesidades y así mismo demostrar que es una buena opción en cuanto a eficiencia térmica se refiere aunado a un costo-beneficio para la familia, involucrando a los miembros de la familia en el proceso de construcción de los materiales desde su recolección hasta su construcción **Figura 4 y 5.**



**Fig. 4.** Estufa de la familia Vázquez



**Fig. 5.** Fogón de piedras

## CAPÍTULO 2. USO DE LA LEÑA

La leña es sin duda uno de los combustibles más utilizados para cocinar, especialmente en las comunidades rurales, donde el acceso a otro combustible como gas natural o lp es muy limitado o poder adquisitivo de las personas es muy bajo, por lo que optan por otro tipo de alternativas mucho más asequibles y con mayor disponibilidad en el entorno de la comunidad.

### Biomasa como fuente de combustible

La biomasa juega un papel fundamental en la producción de energía, específicamente hablando en la producción de combustible en las comunidades rurales donde el uso de leña es utilizado como combustible en las estufas, pues es esos lugares donde abunda la recolección de dicha biomasa dada las características del lugar, ya que al ser una comunidad rural y que cuenta con bosques que permiten dicha recolección de ramas, varas o en su defecto la tala de árboles para la creación de leña, pero que si no se hace de manera regulada puede causar daños a los ecosistemas.

Con el nombre de biomasa se designa a un conjunto heterogéneo de materias orgánicas, tanto por su origen como por su naturaleza y composición, que puede emplearse para obtener energía. Esta fuente energética se basa en la utilización de la materia orgánica formada por vía biológica en un pasado inmediato o en los productos derivados de esta. La madera, residuos agrícolas y estiércol continúan siendo la fuente principal de energía y, en parte, de materias primas para muchas actividades en países poco industrializados [21].

La bioenergía es la energía obtenida de la biomasa, que es la materia constitutiva de los seres vivos, sus excretas y sus restos no vivos. Los biocombustibles se obtienen a partir de la biomasa, con mayor o menor grado de procesamiento [23]. Por lo que se clasifican de la siguiente manera:

- Biocombustibles sólidos (leña, carbón vegetal, residuos agrícolas, residuos forestales, pellets, briquetas): pueden quemarse directamente o previa gasificación o pirólisis, para producir calor y electricidad [23].

- Biocombustibles líquidos (bioetanol, biodiésel y bioturbosina), obtenidos de cultivos energéticos como caña de azúcar y oleaginosas o de aceite vegetal usado, grasas animales y otras fuentes [23].

- Biocombustibles gaseosos (biogás, biometano): obtenidos de los residuos municipales y estiércol; pueden generar calor y electricidad, localmente y en sistemas interconectados [23].

La importancia de la biomasa en las comunidades es de vital importancia ya que es la energía más utilizada específicamente hablando de los biocombustibles sólidos, en especial la leña que es utilizada en fogones de tres piedras para cocción de alimentos primordialmente, por lo que juega un papel fundamental, ya que su disposición en las comunidades es de vital importancia para realizar sus actividades alimenticias y en menor medida en industrias tales como mezcaleras, ladrilleras por lo que podemos dimensionar que tan importante es la bioenergía a nivel nacional.

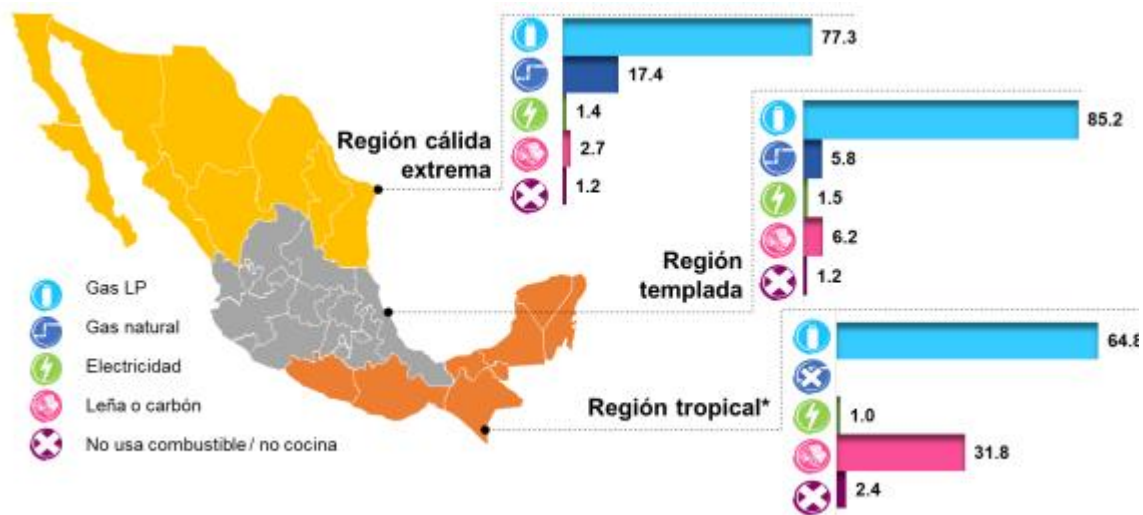
### Utilización de la leña en el municipio de Tochimilco

La leña juega un papel fundamental no solo en Tochimilco sino en todo México ya que es arraigo cultural que se tiene desde hace mucho tiempo, pues se ha utilizado como combustible para cocción de diversos alimentos, por lo que la leña es parte cultural de las personas aunque esto también conlleva otros factores como lo es la falta de acceso a servicios básicos como lo es el gas natural o gas lp ya que si bien la leña representa una alternativa se necesitan de estufas que logren aprovechar dicho combustible para que sea una opción viable. Se estima que 3,632 personas en el Municipio de Tochimilco no tienen acceso a servicios básicos como lo es gas o luz, esto refleja la falta de poder adquisitivo y que por ello en las comunidades rurales el uso de la leña sea muy arraigado aun en pleno siglo XXI donde las ecotecnologías buscan mitigar este problema que genera el cocinar con leña en medida de lo posible a través de estufas ecológicas.

[1] De acuerdo con el INEGI, 4.8 millones de hogares mexicanos consumen leña o carbón para calentar agua y alimentos y sólo la cuarta parte cuenta de ellos cuentan con una chimenea o ducto para expulsar el humo, lo que implica que 3.6 millones de hogares

equivalentes a 12 millones de personas viven con alto riesgo de intoxicación, esto implica sin duda una gran problemática que aqueja a millones de personas y que sigue generando actualmente una gran problemática. Se entiende que la leña ha jugado un papel fundamental en México puesto que es un recurso abundante y que también se atribuye a cuestiones culinarias, partiendo de ese punto, es como se puede entender que la leña es fundamental en nuestra vida, es una alternativa a otros combustibles, por excelencia la leña posee un poder cultural muy grande, gran parte a los arraigos culturales que tiene cada comunidad y que hace que la leña se emplea muy a menudo para la cocción de alimentos primordialmente. Es por ello que la necesidad imperante es implementar estufas que permitan aprovechar este tan importante recurso ya que a través de dicho dispositivo se busca emplear nuevas tecnologías que sean introducidas de manera paulatina y así erradicar un gran problema que tienen los fogones tradicionales o estufas no aptas para cocinar.

Por región es diferencial, de inicio, es preciso señalar que en los estados del sur del país no hay gaseoductos que transporte el gas natural. Es en la región cálida extrema en donde el gas natural tiene una mayor penetración con un 17% de las viviendas que lo usan, en la región templada alcanza un 6% similar al uso que presenta aún la leña o carbón, y éste último combustible sigue teniendo una presencia importante en la región tropical, donde el 32% de las viviendas lo usan como combustible principal para cocinar [19] **Figura 6.**



**Fig. 6.** Distribución porcentual de viviendas particulares habitadas por tipo de combustible principal para cocinar según regiones climáticas [19].

En el 85% de las viviendas se declaró usar una estufa para calentar o cocinar alimentos en el país, y en su mayoría corresponde a estufas que no usan piloto de encendido, con lo que se reduce el gasto de gas para el uso del equipo. Es de llamar la atención que, pese a que el uso de leña o carbón para cocinar sigue representando un porcentaje significativo en el país, el uso de estufas de leña o carbón con chimenea son prácticamente inexistentes. Lo cual sigue siendo preocupante dadas las condiciones en que se pueda cocinar con estos combustibles y el daño a la salud [19].

Específicamente en el municipio de Tochimilco se cuenta con madera de la especie pino-oyamel y cedro blanco [15]. Como se mencionó anteriormente sus principales actividades son de carácter agropecuario y comercio es por ello, que las personas de la comunidad aprovechan los recursos que brinda el municipio para tener ingreso económico, es por ello importante dimensionar la magnitud de lo que representa la leña en Tochimilco y en México, ya que es una vía de acceso para poder satisfacer necesidades básicas como es la cocción de alimentos primordialmente.

Por lo que la realidad nos arroja que en México la falta de acceso a la información y de programas de estufas es casi nulo, por lo que se tiene implementar mecanismos que ayuden a los usuarios a tener alternativas menos dañinas y más funcionales ya que las estufas ecológicas representan una opción viable a fogones tradicionales o estufas poco funcionales que si bien cumplen con su encomienda de cocinar, provocan un gran daño tanto a la salud como al ambiente, por lo que se insta a la implementación y adopción de estufas de leña más funcionales y mejor diseñadas para un mayor provecho de las comunidades rurales primordialmente.

### Aspectos socioculturales en el uso de la leña en el municipio de Tochimilco

Los usos y costumbres en sin duda un factor fundamental en la población, específicamente en las comunidades rurales y el municipio de Tochimilco no es la excepción ya que tienen usos y costumbres que les da identidad como población y sobre todo se apropian de dichas tradiciones como suyas y que las definen como parte de su esencia. Específicamente hablando de la leña, esta se ha utilizado como combustible para cocinar primordialmente desde hace bastantes años, por temas de tradiciones es por excelencia el favorito para cocinar diversos alimentos entre los que más destacan las tortillas ya que la sensación que da hacerlas en comal de barro es inigualable aunando al toque de sabor que le da, haciendo

mención en que el sabor es muy subjetivo dependiendo de cada persona. Dado que el municipio de Tochimilco aún conserva muchas tradiciones derivada de sus ancestros y que aún persisten personas que hablan náhuatl, [15 ] pues se estima que en Tochimilco habitan un total de 1,766 personas (3 años y más) hablantes de alguna lengua indígena de las cuales, 8 no hablan español, por ende el uso de la leña toma un valor trascendental en todo el municipio pues gracias a su ubicación geográfica permite que el uso de la leña sea mucho más arraigada para la recolección de dicha leña. El adoptar otro tipo de combustible no es para nada una tarea sencilla ya que involucra demasiados aspectos tanto económicos, geográficos, culturales y sociales, estas barreras varían según las situaciones de las personas mencionadas anteriormente. La principal causa es la falta de acceso a la educación de las personas que engloba conocimientos de índole ambiental y de salud, así como los bajos ingresos de las familias. Es por ello que muchas dado su rezago social y de acceso a la información hace prevalezcan decisiones sobre el riesgo que implica la exposición cotidiana a los humos de la combustión de la leña producto de fogones tradicionales con nulo diseño tecnológico. Esto se refleja en que muchas personas subestiman los efectivos negativos de cocinar en fogones tradicionales de tres piedras y por lo tanto no toman en cuenta los beneficios necesarios para optar por una estufa de leña, específicamente hablando del modelo “Tleamanalli”.

[18] En un estudio que se realizó en dos comunidades indígenas del Estado de México realizado por Orozco, Mireles, Jaimes y Gómora (2012) encontraron que el éxito de la implementación de estufas de leña en las personas en comunidades rurales está mediado por el contexto sociocultural y la eficacia institucional. Las estufas mejoradas fueron asumidas como una oportunidad y una alternativa complementaria, pero que no suple el uso del fogón abierto, en donde se mencionado que, dado las características culturales, el rezago social y otros caracteres de índole educativo y de acceso a la información contribuyen a la poca adopción del uso de estufas ahorradores de leña.

Por lo que a través de diversas medidas y acciones que impliquen la adopción de manera paulatina de las estufas ahorradores, específicamente hablando del modelo “Tleamanalli”, se pretende que las personas beneficiadas utilicen este tipo de alternativas a los fogones, claro esto a través de medidas no invasivas sino al contrario, brindando información a la persona respecto a los beneficios de implementar un tipo de estufa mucho más funcional en términos de cocción y daños a la salud.

## Uso de fogones tradicionales en el Municipio de Tochimilco

Los fogones de leña tradicionales son más utilizados en comunidades rurales esto por aspectos sociales, culturales y primordialmente económicos. [15] Se estima que en el Municipio de Tochimilco al menos 10,937 se encuentran en situación de pobreza y por ende en un grado de marginación alto. Esto nos ayuda a entender la problemática ya que las personas al no tener los recursos económicos para disponer de una estufa optan por un fogón que si bien cumple con la función de cocción de alimentos por otro lado ocasiona un grandísimo daño en términos de salud y ambientales

Los fogones tradicionales se han utilizado a menudo en la cocción de alimentos ya que es una forma fácil de cocinar y que implica un menor gasto, ya que solo se necesitan 3 piedras y un comal, pero que genera muchas problemáticas ya que estos no son funcionales, inclusive muchas estufas tampoco están diseñadas de modo que no afecte al usuario, por lo que siempre se está en mejora constante para poder tener un diseño apto y funcional que cumpla funciones tan básicas como en cuanto a eficiencia térmica y que se traduce en menor gasto de leña así como menos daños a la salud.

Sin embargo, el uso de fogones de leña para cocinar no es adecuado por varias razones. En primer lugar, la leña es una fuente de energía contaminante y poco eficiente. La quema de leña produce humo y emisiones de gases de efecto invernadero, lo que contribuye al cambio climático y a la degradación ambiental. Además, el uso de fogones de leña es ineficiente desde el punto de vista energético, ya que gran parte de la energía se pierde en forma de calor durante la quema.

Otra razón por la que los fogones de leña no son adecuados es porque pueden ser peligrosos para la salud. El humo de la leña contiene partículas finas y contaminantes que pueden ser perjudiciales para la salud humana, especialmente para los niños y las personas mayores. Además, el uso de fogones de leña puede ser peligroso en sí mismo, ya que pueden causar incendios o explosiones si no se manejan correctamente, aunado al uso excesivo de leña **Tabla 1.**

Entidad Federativa	Total de viviendas que utilizan leña o carbón para cocinar	Disponibilidad de chimenea o ducto para sacar el humo*	
		No. Absolutos	% del total
<b>Estados Unidos Mexicanos</b>	<b>4,966,311</b>	<b>3,643,847</b>	<b>73%</b>
Aguascalientes	4,034	1,535	38%
Baja California	10,483	5,131	49%
BC Sur	7,542	6,239	83%
Campeche	76,087	71,260	94%
Coahuila	10,338	2,354	23%
Colima	16,888	13,028	82%
Chiapas	721,020	576,826	80%
Chihuahua	51,050	1,263	2%
CDMX	2,728	2,481	91%
Durango	31,353	3,812	12%
Guanajuato	95,696	59,498	62%
Guerrero	424,377	375,580	89%
Hidalgo	190,356	130,656	69%
Jalisco	88,234	61,803	70%
México	241,589	116,883	48%
Michoacán	232,145	122,451	53%
Morelos	54,630	45,652	84%
Nayarit	28,722	23,347	81%
Nuevo León	27,114	9,331	34%
Oaxaca	541,343	436,263	81%
Puebla	374,884	256,350	68%
Querétaro	51,854	28,503	55%
Quintana Roo	85,312	77,529	91%
San Luis Potosí	160,800	112,706	70%
Sinaloa	56,470	49,379	87%
Sonora	44,466	32,277	73%
Tabasco	233,380	225,153	96%
Tamaulipas	44,020	23,378	53%
Tlaxcala	26,373	16,795	64%
Veracruz	688,508	580,917	84%
Yucatán	210,762	191,825	91%
Zacatecas	23,753	3,962	17%

**Tabla 1.** Viviendas que utilizan leña o carbón para cocinar por entidad federativa, según disponibilidad de chimenea o algún ducto para sacar el humo [18].

México es un país con una gran riqueza culinaria que se sigue manteniendo desde la época precolombina, gracias a la diversidad de materias primas autóctonas y a las técnicas para preparar y conservar los alimentos propios del modo de vida mexicano (López, Lara y Pérez, 2006). En las comunidades rurales aún podemos observar a las familias que se reúnen a comer junto al fogón de leña, dispositivo en el cual las mujeres van preparando tortillas, un alimento fundamental, para acompañarlas de frijoles, chile y algún guisado de acuerdo a las costumbres y posibilidades económicas de cada familia (Esteva, Marielle y Aguilar, 2003) [17].

Su sencillez técnica y facilidad de uso los convierten en un tipo de dispositivo ampliamente utilizado. Sin embargo, resultan ineficientes en la quema de biomasa y provocan la inhalación de gran cantidad de humo, causando efectos sociales, ambientales y económicos negativos. Estas consecuencias representan riesgos socio-ambientales, los cuales son producidos no solo por el uso de biomasa como combustible en sí mismo, sino más bien por el uso de dispositivos que carecen de las características técnicas mínimas para favorecer la combustión completa y una adecuada disposición del humo generado [17].

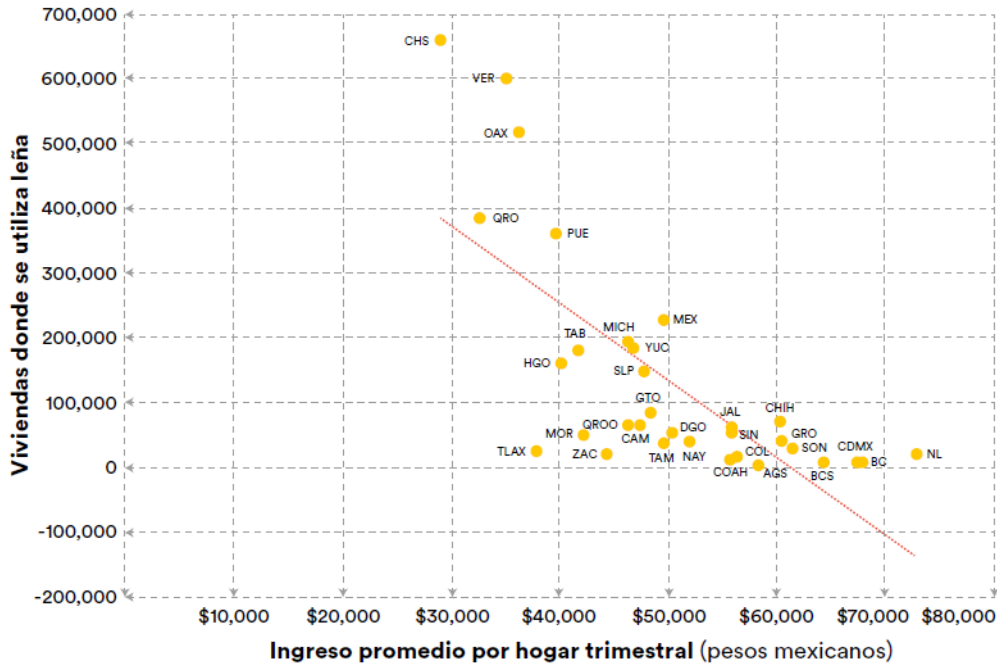
## Pobreza energética como factor determinante en el uso de la leña

La pobreza energética es una condición en la que las personas no tienen acceso suficiente a fuentes de energía seguras, asequibles y sostenibles. En México, esto puede afectar a muchas familias que viven en áreas rurales o en zonas urbanas pobres y que dependen de la leña como fuente principal de energía para cocinar y calentar sus hogares. La principal causa por la que la pobreza energética es un problema en México es la falta de infraestructura de distribución de energía eléctrica en algunas áreas del país. Esto significa que muchas familias no tienen acceso a la red eléctrica y deben depender de otras fuentes de energía, como la leña o el gas licuado de petróleo (GLP), para cocinar y calentar sus hogares.

Uno de los principales problemas de la pobreza energética en México es la falta de acceso a la electricidad en algunas áreas del país. Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), aproximadamente el 14% de la población mexicana no tiene acceso a la electricidad. Esto significa que muchas familias tienen que depender de fuentes de energía alternativas, como la leña, para cocinar y calentar sus hogares.

El uso de fogones de leña para cocinar puede tener un impacto negativo en la salud de las personas y en el medio ambiente. La quema de leña produce humo y gases contaminantes que pueden afectar la salud respiratoria de las personas que respiran el aire contaminado. Además, la deforestación y la tala ilegal de árboles para obtener leña también pueden contribuir al cambio climático y a la degradación del medio ambiente.

Para abordar la pobreza energética en México, es necesario tomar medidas que fomenten el acceso a fuentes de energía más sostenibles y asequibles, también es importante promover la conservación del medio ambiente y la sostenibilidad a través de políticas y programas que reduzcan la dependencia de la leña como fuente de energía **Figura 7.**



**Fig. 7.** Viviendas donde se usa leña por trimestre [18]

[1] Como se puede observar tomada del INEGI en su censo del 2020, nos percatamos de que a menor ingreso económico, mayor es el uso que se tiene de la leña, por lo que nos indica de manera clara y para sustentar nuestra investigación que a menores ingresos, se opta por alternativas más económicas como lo es la leña, pero que en el largo plazo genera muchos daños ya que al no contar con estufas que sean eficientes y tengan un diseño que no perjudique a la persona y reduzca considerablemente el uso de leña, hace que se atente contra la vida de las personas al estar expuestas a los humos que expide la combustión de la leña por falta de estufas de leña que estén diseñadas de manera inteligente, pero sobre todo sean de fácil acceso para las comunidades y que nos les implique un gasto tan grande, pues se pretende que a través de los recursos que hay en las comunidades se fabrique una estufa que funcional que cumpla sus necesidades y que a la postre logre suplir a los fogones tradicionales.

En conclusión, la pobreza energética en México afecta a muchas familias que dependen de la leña como fuente principal de energía y que pueden sufrir los efectos negativos de la contaminación del aire y la degradación del medio ambiente. Para abordar este problema, es necesario fomentar el acceso a fuentes de energía más sostenibles y promover la conservación del medio ambiente.

### CAPÍTULO 3. ANTECEDENTES DE LAS ESTUFAS ECOLÓGICAS

Partimos desde la premisa que como se menciona en la figura 5, en México la leña es el segundo recurso energético más consumido por detrás del gas lp, por lo que esto refleja la gran necesidad por implementar programas a nivel nacional que contribuyan a la promoción y desarrollo de las estufas.

#### Antecedentes de estufas ecológicas en México

A lo largo de los años los principales desarrolladores de estufas mejoradas son asociaciones civiles e instituciones académicas. Algunos procesos de innovación han incluido el empleo de conocimientos tradicionales de comunidades, la generación de conocimientos técnicos y científicos propios y la colaboración con instituciones de investigación. Un ejemplo de una estufa cuyo desarrollo integró esfuerzos y conocimientos de usuarios en comunidades rurales, instituciones académicas y la sociedad civil es la estufa Patsari (“la que guarda” en purépecha), desarrollada por el Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiable, A.C. (GIRA) en colaboración con el Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIEco) y el Instituto de Ingeniería (II) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), amas de casa y técnicos comunitarios de la Región del Lago de Pátzcuaro, Michoacán. Se trata de una versión mejorada de la estufa Lorena y desde su aparición en 2003 se han elaborado cuatro modelos diferentes con mejor aislamiento de la cámara de combustión, mayor durabilidad y facilidad de construcción y replicación. El diseño de la estufa Patsari destaca por estar adecuado a las condiciones de las comunidades locales [2].

En Chiapas se han adoptado estufas ahorradoras de leña como es el caso de la región de la reserva el ocote en donde se implementaron estufas tipo ceta y Lorena desde 1996. El Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Energías Renovables (actualmente IIIER) en colaboración con la Universidad del Valle de México, también han desarrollado algunos modelos, de los cuales destacan una estufa multifuncional llamada LekilVaj, que cuenta con un termotanque para almacenar agua caliente y un ahumador para la conservación de ciertos alimentos, además de las funciones ordinarias de una estufa de leña. Otro modelo implementado es la estufa Enerchía la cual hasta el año 2016, habían sido implementadas más de 2500 en diversas comunidades del estado, su principal

característica es que está elaborada en la parte exterior con madera de pino como un aislante final y su ahorro de leña es del 60 a 70 % [22].

Otro ejemplo de una estufa desarrollada de forma participativa es la Túumben K'óoben, "retoño" en maya, introducida por la asociación civil U'yo'olché a partir de la iniciativa de comunidades indígenas de la Península de Yucatán para acceder a las estufas mejoradas, mismas que no habían sido difundidas en la región como en otras partes del país. El modelo se basó en la estufa Patsari, pero fue adecuado a las condiciones ambientales, sociales y culturales de la región [2].

De 2007 a 2012 el Gobierno Federal implementó el Programa Nacional de Estufas Ahorradoras de Leña, impulsado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) como parte del Programa Especial de Cambio Climático (PECC). De acuerdo al 6o Informe de Gobierno de la Presidencia de la República del sexenio 2006-2012 se implementaron arriba de 400,000 mil estufas eficientes, aproximadamente 70% del total planificado (600,000). La difusión se realizó a través de programas e instancias estatales de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), la Comisión de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI). Sin embargo, el programa fue criticado por valerse de proveedores con escasa experiencia en el tema, no tomar en cuenta la participación de los usuarios en la estrategia de difusión, utilizar un enfoque que no garantizó la adopción y buen uso de las tecnologías y cubrir menos del 10% de la demanda actual de estufas mejoradas [2].

La mayoría de estos grupos de asociaciones civiles y personas interesadas en el tema sobre todo de las zonas rurales trabajan con alguna variante de la estufa Lorena y algunos en el sureste de México están promoviendo la estufa "Justa", "Ecofogón", "Rocket", "Onil", "Patsari" y estufa Xaam . En general, estos programas de estufas mejoradas se desarrollan en el ámbito local (a nivel de comunidades) o regional y son comúnmente parte de iniciativas mayores dirigidas a la restauración de los bosques locales (con un ahorro de biocombustible del 50% con respecto a los fogones tradicionales), la conservación de la biodiversidad y reducciones muy significativas de contaminación de interiores [39].

Con base en los datos nos percatamos que se ha buscado a través de diversos programas y dependencias de gobierno establecer programas para la adopción e implementación de estufas de leña a nivel nacional, pero que sin duda ha sido un rotundo fracaso ya que no se ha podido replicar a gran escala en la república mexicana, por lo que dichos programas siguen teniendo muchas falencias y que implica que queden a la deriva o sean cancelados y por ende el acceso a este tipo de estufas sea nulo para las comunidades rurales, ya que al no tener claridad y un programa bien sustentado en el ámbito social, económico y ambiental provoca que fracasen y que sin duda la transición de tecnología sea aun mucho más lenta, tomando en cuenta que es imperante atender esta problemática ya que gran parte de la población utiliza fogones de tres piedras o estufas mal diseñadas lo que injiere directamente en afectaciones y rezago social y tecnológico. Se pretende que a través de dicha construcción se involucre al usuario en el proceso de fabricación ya que se toma en consideración y se tiene un vínculo cercano entre los usuarios y la implementación de la estufa lo que se traduce en mayor aceptación, familiarización con el modelo Tleamanalli.

Por lo que se necesita que las estufas se evalúen para ver su desempeño y adopción en las comunidades, por lo que se deben seguir protocolos internacionales, los cuales cuentan con algunos estándares que deben ser adaptados a las condiciones locales [29].

### Distribución de calor en la estufa

Para determinar la distribución de calor en la estufa se utiliza el perfil de temperatura que nos ayuda a ver la temperatura en distintos puntos del comal de las estufas o plancha donde cocinan sus alimentos, así como de la cámara de combustión. En su forma más simplificada, el perfil de temperatura le dice que tan caliente estuvo su producto, qué temperaturas alcanzó y en qué punto [41]. Esta evaluación nos permite mejorar el diseño de la cámara de combustión para aumentar la transferencia de calor mediante una distribución homogénea en la superficie del comal, por lo que a través de la distribución de calor en el comal podremos determinar las áreas de mejora y sobre tener temperaturas idóneas para cocinar y que el calor se distribuya de manera homogénea y así optimizar el diseño de la misma.

Para fines del presente trabajo se utiliza la cámara termográfica marca Flir para tomar las capturas de mediciones y con ello determinar la distribución de calor en la superficie o comal y con base en ello poder ver el comportamiento del calor por el comal y en distintas partes del mismo, así como de la estufa y determinar si el calor se propaga de manera correcta.

La evaluación consiste en medir temperaturas en los comales de las estufas, ya sea el principal o secundario. Las temperaturas son registradas con una cámara termográfica que utiliza un índice de emisividad para estimar la temperatura de diferentes cuerpos. El índice de emisividad tiende a cero (0), cuando los materiales son brillosos y tienden a 1 cuando son opacos.

### Pruebas internacionales para consumo de estufas de leña

Para que una estufa de leña se pueda implementar es necesario aplicar pruebas internacionales que evalúen el funcionamiento de estufas de leña, tal es el caso de 3 protocolos enfocados a dichas estufas establecidos por la “Fundación Shell” y la “Alianza Global para Estufas Limpias (CCA, por sus siglas en inglés)”.

Los protocolos armonizados de pruebas de laboratorio fueron desarrollados por un comité técnico de la Organización Internacional de Normalización (ISO). La prueba de ebullición del agua, el protocolo de seguridad de las estufas de biomasa, la prueba de cocción controlada, la prueba de durabilidad y la prueba de rendimiento de la cocina fueron desarrollados en colaboración por varios socios de CCA. Los demás protocolos que se comparten a continuación fueron desarrollados por organizaciones o países socios individuales. Los socios de CCA están colaborando para seguir desarrollando y armonizando protocolos [32].

(1) La prueba de ebullición de agua (Water Boiling Test ó WBT por sus siglas en inglés), nos ayuda a evaluar la eficiencia térmica, el tiempo de ebullición, la tasa de incineración y el consumo específico de combustible de la estufa . Para fines de estudio en este trabajo se aplicó dicha prueba en el modelo de estufa Tleamanalli.

(2) La prueba de cocción controlada (“Controlled Cooking Test ó CCT, por sus siglas en inglés) sirve para determinar la eficiencia de la estufa en función del consumo específico de combustible . Está prueba también fue implementada en dicho trabajo de tesis.

(3) La prueba de funcionamiento en cocina (Kitchen Performance Test ó KPT, por sus siglas en inglés), mide el impacto real de la estufa mejorada en condiciones de campo (a través de entrevistas) . Para fines de trabajo de esta tesis, no se realizó dicha prueba.

## Propiedades mecánicas de los materiales

La mecánica de materiales es una rama de la mecánica que estudia las relaciones entre las cargas externas aplicadas a un cuerpo deformable y la intensidad de las fuerzas internas que actúan dentro de él. El objeto de estudio de la mecánica de materiales es proporcionar un conocimiento de la relación entre las fuerzas exteriores aplicadas a una estructura de ingeniería y el comportamiento resultante de los miembros de la misma. [44].

Las propiedades mecánicas de un material son aquellas que afectan a la resistencia mecánica y a su capacidad cuando se les aplica una fuerza. Es decir, las propiedades mecánicas son aquellas que posee un material relacionadas con sus posibilidades de transmitir y resistir fuerzas o deformaciones [42].

Podemos encontrar dos grupos en los materiales que se pueden clasificar en materiales metálicos (aleaciones ferrosas: acero y no ferrosas: aluminio) y materiales no metálicos (plásticos: polietileno , cerámicos: ladrillos refractario y materiales compuestos: plásticos reforzados con fibra de carbono ), para fines de este estudio dado la característica de los materiales que se utilizaron para la elaboración de la estufa corresponde a material cerámico, por lo que se hablará de sus características más adelante.

## Aparatos utilizados en la fabricación de la estufa Tleamanalli

### **Cámara termográfica:**

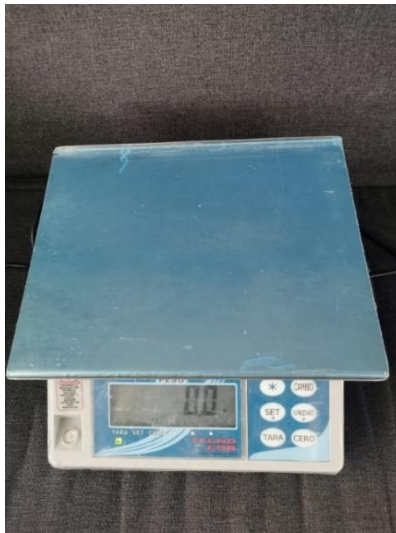
Es un dispositivo que mide la temperatura y ofrece una imagen térmica de los objetos, sin necesidad de contacto, a partir de las emisiones de radiación infrarroja de estos. Los objetos emiten una cantidad de radiación infrarroja en función de su temperatura. Por lo general, a mayor temperatura del objeto, mayor es su radiación.



**Fig. 8.** Cámara termográfica FLIR

**Bascula Digital:**

Instrumento de pesaje para determinar la masa de un objeto. Se compone de un único receptor de carga (plato) donde se deposita el objeto a pesar.



**Fig. 9.** Bascula digital

### **Termometro para inmersión en líquidos**

Dispositivo que utilizan sensores de calor electrónicos para registrar la temperatura del cuerpo.



**Fig. 10.** Termometro de inmersión en líquidos

### **Máquina Universal:**

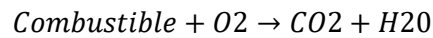
Máquina con la cual se pueden realizar ensayos a tracción, compresión, flexión y, en algunos casos, a torsión de algunos materiales. La máquina está constituida por dos cabezales **Fig. 11.**



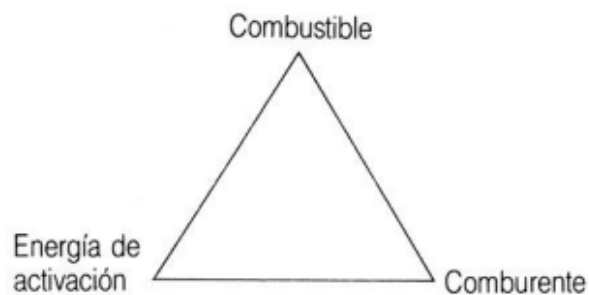
**Fig. 11.** Máquina universal Shimadzu

## Combustión como concepto

El Proceso de combustión es fundamental y de vital importancia en la fabricación de la estufa, ya que por ahí se lleva a cabo la quema de leña y por ende gracias a ello podemos cocinar. En su forma más simple el proceso de combustión se expresa de la siguiente manera:



La combustión es un conjunto de reacciones de oxidación con desprendimiento de calor, que se producen entre dos elementos: el combustible, que puede ser un sólido (Carbón, Madera, etc.), un líquido (Gasóleo, Fuel-Oil, etc.) o un gas (Natural, Propano, etc.) y el comburente, Oxígeno. La combustión se distingue de otros procesos de oxidación lenta, por ser un proceso de oxidación rápida y con presencia de llama **Figura 12.** a su vez también se diferencia de otros procesos de oxidación muy rápida (detonaciones, deflagraciones y explosiones) por obtenerse el mantenimiento de una llama estable [24].



**Fig. 12.** Triángulo de la combustión

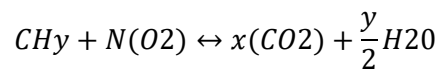
Para que la combustión tenga lugar han de coexistir tres factores:

- *Combustible:* Puede hallarse tanto en estado sólido como líquido o gaseoso, y es el elemento fundamental de la combustión.
- *Comburente:* Se trata de la sustancia que hace posible que la combustión se desarrolle. En la mayoría de los casos, esta sustancia es el oxígeno.

- *Energía de activación:* Es la energía que se precisa para que empiece la combustión, como, por ejemplo, una chispa, una corriente eléctrica o una fuente de calor.

Estos tres factores se representan en el denominado triángulo de combustión, en el cual si falta alguno de los vértices la combustión no puede llevarse a cabo.

Una reacción de combustión se lleva a cabo cuando una o más sustancias que contienen carbono e hidrógeno (conocidos como hidrocarburos y comúnmente llamados combustibles), se queman en presencia de oxígeno, produciéndose al mismo tiempo dióxido de carbono gaseoso y vapor de agua. Se representa la ecuación general de la siguiente manera:



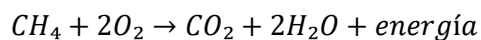
$x$  = se refiere al número de átomos de carbono en el hidrocarburo

$y$  = se refiere al número de átomos de hidrógeno en el hidrocarburo

$N$  = se refiere al número de átomos de oxígeno necesarios en la reacción de combustión de hidrocarburos

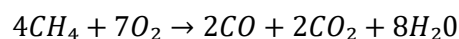
### **Combustible completo**

Conduce a la oxidación total de todos los elementos que constituyen el combustible, debido a que hay suficiente combustible. En el caso de Carbono, Hidrogeno, Azufre, Nitrógeno, Oxigeno y participará como oxidante, donde obtenemos como producto final CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O.



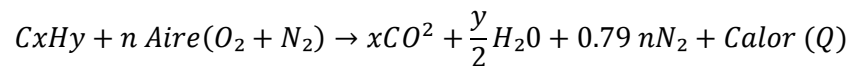
### **Combustión incompleta**

Los componentes del combustible no se oxidan totalmente por lo que aparecen los denominados inquemados, los más importantes son CO y H<sub>2</sub>; otros posibles inquemados son carbono, restos de combustible, etc.



## Combustión estequiométrica

Es la combustión completa realizada con la cantidad estricta de oxígeno; es decir, el aire empleado en la combustión es el mínimo necesario para contener la cantidad de oxígeno correspondiente a la oxidación completa de todos los componentes del combustible.



Con base en el concepto matemático del proceso de combustión inferimos que un escenario ideal es una combustión completa, ya que el oxígeno juega un papel fundamental, debido a que es suficiente para llevar a cabo el proceso adecuadamente y por ello debemos procurar cuidar esa variable primordialmente, de lo contrario a falta del oxígeno suficiente tendremos una combustión incompleta ya que nos da como resultado monóxido de carbono un gas que es letal para el ser humano y el planeta. Es Por ello tener una idea clara del proceso de combustión y a partir trabajar para poder una combustión completa en medida de lo posible ya que con ello nos determinara que tan eficiente es nuestra estufa Tleamanalli en términos de cuanta energía desprende en forma de calor y asegurar que el caudal de aire sea el necesario.

## Componentes que integran la estufa Tleamanalli

Las estufas de leña representan una alternativa ecológica puesto que ocasionan menos daños a la salud y al ambiente por su diseño, por lo que es importante mencionar los componentes que integra el modelo Tleamanalli y así entender mejor el funcionamiento de cada uno de ellos.

### *Cámara de combustión*

Principal componente que integra la estufa donde se quema el combustible, dependiendo del combustible que se emplee se deriva la forma y volumen, es por eso la importancia de dicha cámara y el uso de materiales con los que se construyó ya que estos permiten soportar altas temperaturas y por ende se reduzca la pérdida de calor a través de las paredes internas de la cámara.

### *Chimenea/ ductos*

Conducto que permite la salida de los gases de combustión, aunado a que con ello se permite que estos gases se expulsen fuera de la cocina de humo y con ello evitar daños a la salud de los usuarios, por lo que los ductos juegan un papel fundamental en dicha expulsión de gases ya que La cantidad de calor que sale a través de la chimenea es aproximadamente la mitad de calor generado para lo cual es importante ductos

### *Túnel*

Es un ducto que recupera el calor del extremo frío para aprovecharlo en el extremo caliente este no tiene un cambio de temperatura rápidamente, permitiendo mantener la temperatura máxima durante largos periodos de tiempo.

### *Comal*

Es una pieza de alfarería forma de plato llano elaborado de barro cocido, por lo que dado las características de los materiales de su elaboración, permiten soportan altas temperaturas y por ende es un conserva de manera adecuada el calor, permitiendo a los alimentos cocinarse primordialmente en la elaboración de tortillas.

## **CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA**

Con base en las necesidades de mi comunidad Tochimilco, se procedió a trabajar en una solución, específicamente en el ámbito de la fabricación de estufas de leña, ya que en mi comunidad es muy común utilizar fogones para la preparación y cocción de alimentos, específicamente en la realización de tortillas, por lo que a través de la metodología del diseño con base en las necesidades del usuario y por ende de la comunidad, se procedió como anteriormente se menciona al fabricar el modelo de estufa Tleamanalli para su posterior implementación en el municipio de Tochimilco, brindando una solución a los usuarios en temas ambientales, salud y económicos.

Precisamente se tomaron en cuenta las pruebas internacionales de ebullición del agua y de cocción controlada, debido a que son pruebas específicamente para determinar el rendimiento de las estufas de leña a nivel mundial, con lo que a través de dichas pruebas podremos obtener resultados que nos sirvan para evaluar la eficiencia térmica de la estufa Tleamanalli en un ambiente controlado y por ende algunos otros puntos que sirven para

evaluar la estufa y ver las condiciones y funcionalidad en cuanto a estas pruebas se refiere, ya que se será de mucha utilidad para determinar aspectos fundamentales en la estufa y poder replicarla a gran escala no sin antes haber realizado estas pruebas previamente mencionadas. Aunado a ello se hicieron pruebas complementarias tales como de perfil térmico la cual consiste en mostrar la temperatura aparente de la superficie del objeto medido con la finalidad de mostrar que la estufa (cámara de combustión) no muestra alguna fuga de calor. Finalmente, se realiza un prueba de mecánica de material, en específico la prueba de compresión del material (mezcla) que se utilizó para elaborar la estufa y con ello ver el comportamiento del material bajo cargas de aplastamiento externas.

Se detalla a continuación el proceso de la metodología que se llevará a cabo para la realización de las pruebas:

Sistemas de instrumentación:

- Bascula digital
- Termómetro para inmersión en líquidos
- Cámara termográfica
- Maquina universal

Es importante precisar que para la realización de esta prueba se utilizó leña de encino que es con la que contaba la familia Vázquez y la que utiliza para realizar sus actividades diarias en cuanto a cocción y calentamiento de alimentos se refiere.

Cabe destacar que la diversidad de encinos mexicanos es muy alta, ya que existen alrededor de 200 especies en nuestro país (300 a 500 especies a nivel mundial), de las cuales 125 son endémicas.

Leña de encino: los encinos presentan dos formas de vida: arbustos y árboles. Estos últimos constituidos por especies cuyas dimensiones varían entre 15 y 30 y hasta 40 m de altura, con diámetros de 30 a 60 cm y en ocasiones hasta de un metro. La madera de encino se usa como combustible de dos formas: directamente como leña o transformándola en carbón, siendo mayor el aprovechamiento en leña, son de los mejores combustibles vegetales dado su capacidad calorífica [30].

## Estufa de leña Tleamanalli

La estufa Tleamanalli (del náhuatl que significa al español [36] “estanque de fuego”) es una estufa fija que cuenta con dos comales de barro un principal de 58 cm y otro secundario de 26 cm aproximadamente que se adapta con los ductos para la salida de humo sin riesgo alguno, funciona con leña o carbón, además de que la cámara de combustión está elaborada con materiales que se encuentran en la región **Figura 13 y 14.**



**Fig. 13.** Prototipo del modelo de estufa Tleamanalli  
Foto. María Teresa Flores Sotelo, 2020.



**Fig. 14.** Vista frontal de la estufa  
Foto. María Teresa Flores Sotelo, 2022.

La medida de la estufa es estándar ya que son moldes con los cuales se realiza el diseño de la estufa y por ende queda diseñada de tal forma que se adecua a las necesidades de las familias por lo que la estufa se conforma por los siguientes moldes:

Molde de metal: 100 cm de diámetro

Tabla: 100 cm de largo

Tabla: 80 cm de largo

Tubo PVC: 4 pulgadas

Las medidas de los ductos de la chimenea son estándar y es de lámina galvanizada ya que es un material que puede soportar altas temperaturas, para efectos prácticos del proyecto es ideal aunado a su bajo costo, por lo que a continuación se menciona las medidas y los componentes que conforman la chimenea:

Tubo de lámina galvanizada, codo de lámina galvanizada y sombrero de lámina galvanizada (4" aproximadamente).

Aunado a estos materiales fue necesario el uso de herramientas como clavos, martillo alambre y pintura de aceite por lo que con ello y la mano de obra de las personas involucradas se llevó a cabo la construcción de dicha estufa.

#### **Dimensiones del cuerpo de la estufa:**

Ancho: 80 cm

Largo: 100 cm

Diámetro comal central: 56 cm

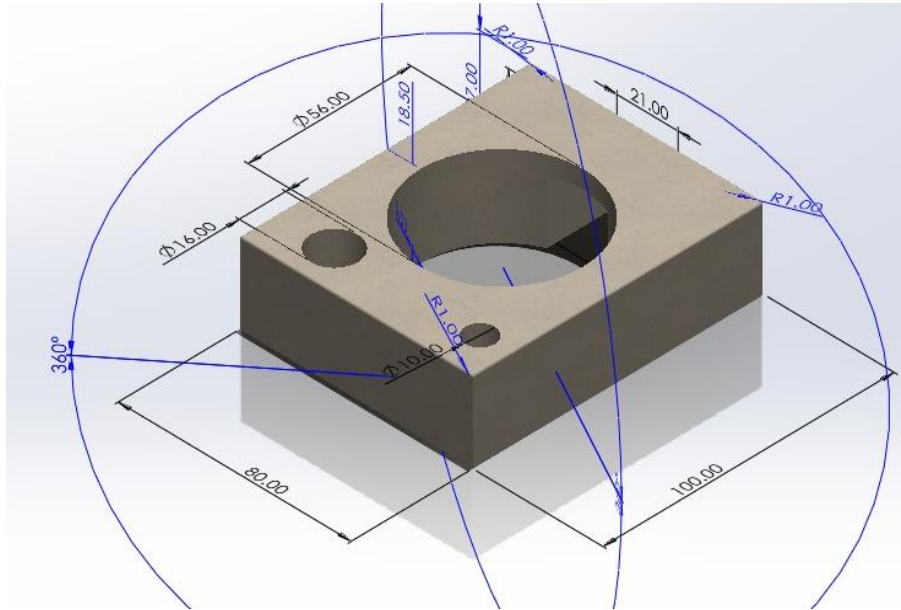
Diámetro comal secundario: 28 cm

Cabe mencionar que las dimensiones de la estufa son estándar, pero pueden cambiar de acuerdo con el gusto del usuario, así como la disponibilidad del área de espacio a utilizar para la construcción de la estufa.

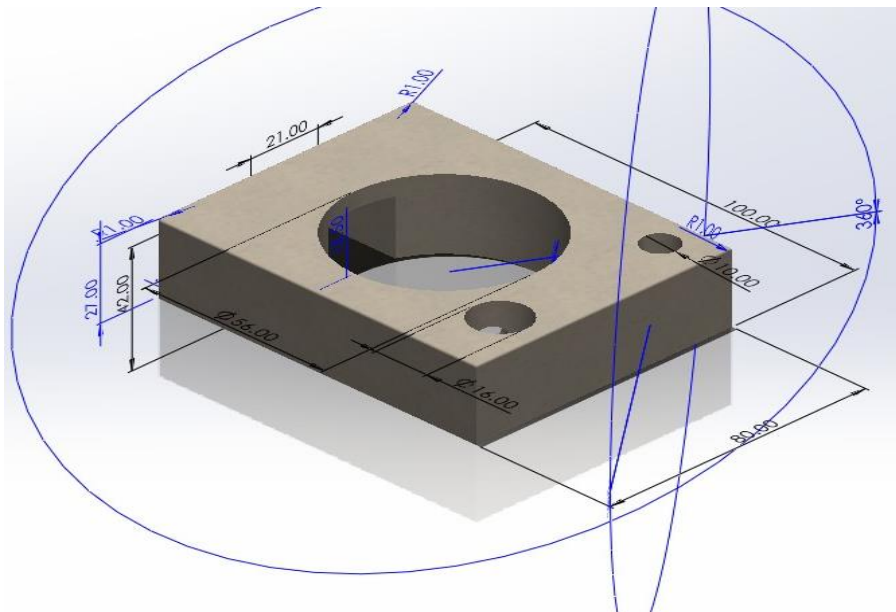
Se hizo un modelado en tercera dimensión con la ayuda del programa SolidWorks para visualizar mejor el diseño de la estufa y así tener una perspectiva mucho más concreta del modelo a construir.

Este modelo nos ayudó a entender y mostrar una visión en 3d de lo que se quería diseñar por lo que con base en el diseño tuvimos un punto de referencia para poder basarnos en la

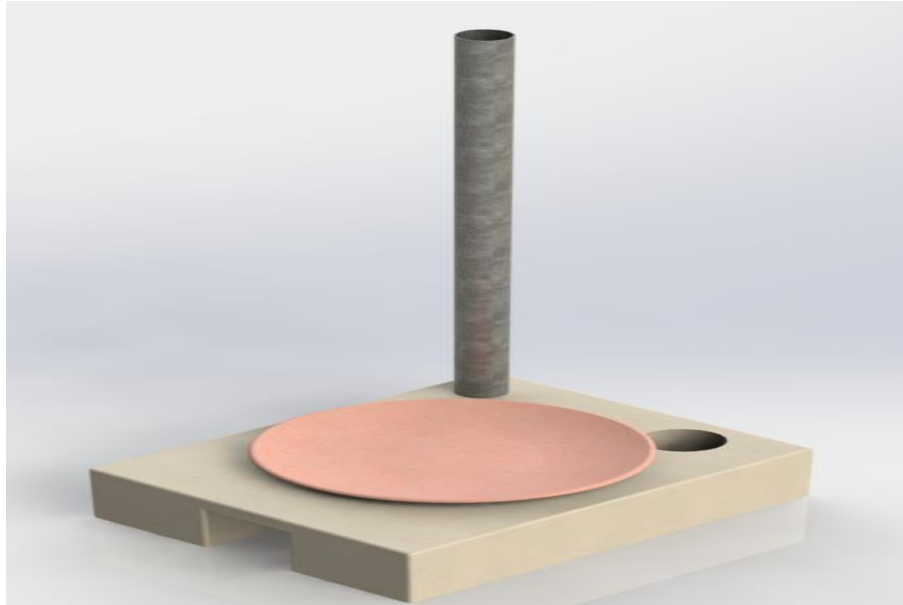
fabricacion y visualizar el modelo de estufa que nos planteamos (Tleamanalli) **Figura 15, 16 y 17.**



**Fig. 15.** Visualización del renderizado de estufa en SolidWorks



**Fig. 16.** Visualización del renderizado de estufa en vista lateral en SolidWorks



**Fig. 17.** Visualización del renderizado final de la estufa en SolidWorks

Una estufa de leña es una opción de calefacción más eficiente y sostenible que un fogón tradicional por varias razones:

1. Ahorro de combustible: utilizan una cámara de combustión cerrada en su totalidad, lo que significa que se necesita menos leña para calentar una habitación. Esto significa que ahorras dinero en combustible y también contribuyes a reducir la contaminación del aire al usar menos leña.
2. Mayor eficiencia energética: tienen un rendimiento energético más alto que los fogones tradicionales, lo que significa que convierten más calor por la misma cantidad de leña. Esto se debe a que utilizan un sistema de doble combustión y tienen un diseño más cerrado que permite que el calor se mantenga en la habitación por más tiempo.
3. Mayor seguridad: tienen un diseño más seguro que los fogones tradicionales, ya que están construidas con materiales más resistentes al calor y tienen medidas de seguridad para prevenir incendios. También tienen chimeneas más estrictas y reguladas para evitar la contaminación del aire y reducir el riesgo de incendios.

4. Mayor durabilidad suelen tener una vida útil más larga que los fogones tradicionales debido a su construcción de alta calidad y a que se necesita menos combustible para calentar una habitación, lo que significa menos desgaste en el sistema.

En resumen, las estufas de leña son una opción más eficiente, sostenible y segura que los fogones tradicionales, y pueden ahorrar dinero a largo plazo en el costo del combustible.

### Materiales para la fabricación de la estufa Tleamanalli

Los materiales que se utilizaron para la fabricación de la estufa Tleamanalli son los siguientes:

*Arena:* Elemento que tiene como característica principal el poder compactarse fácilmente, además ayuda a conservar sus características físicas en condiciones de carga y temperatura refractaria.

La arena es un recurso muy utilizado no solo en la comunidad de Tochimilco, sino a nivel mundial, dado sus propiedades ayuda a la construcción de casas, vidrios y demás cosas en general hace que su uso sea indispensable, es por ello que esta juega un papel fundamental ya que es uno de los recursos mas extraídos del planeta, pero que lleva consigo un gran problema pues al tener una extracción masiva hace que este recurso se agote y dado el proceso para la creación de arena es muy lento, hace que no se pueda regenerar y crea una descompensación provocando una crisis .

*Tierra amarilla:* Tiene características importantes como el absorber agua, por lo que endurece de manera rápida y aislante térmico por lo que permite que no se disipe el fuego de nuestra cámara de combustión.

Este material es muy utilizado en la comunidades rurales primordialmente, dado que aún conservan construcciones vernáculas y por ende hace que este tierra amarilla, barro o tepetate sea aun más utilizado, aunado a sus características dado que Tochimilco al estar en las faldas del Popocatepetl hace que este material tome mucha mas importancia al ser un buen aislante térmico, por lo que primordialmente este material se utiliza para fines de construcción en la comunidad dado también por su bajo costo. En Tochimilco se extrae el tepetate en los cerros o en algunos terrenos de la comunidad, debido a los avances en cuanto construcción en específico del cemento, el uso de dicho material ha ido

disminuyendo en menor medida lo que provoca un impacto al ambiente mucho menor a comparación de la arena.

*Agua:* Es el elemento que hidrata las partículas de cemento y hace que estas desarrollen sus propiedades aglutinantes para así poder tener una mezcla homogénea, aunado a que gracias la cal que lleva el agua ayuda primordialmente a evitar grietas en la estufa.

Tochimilco goza de grandes manantiales de agua, esto gracias a gran parte por su cercanía al Popocatepetl, pues se desprende de los glaciares esto es muy importante resaltar ya que el agua es pura, es decir no se le agrega cloro para eliminar bacterias, lo que la hace un agua pura, por lo que permite que las tierras sean muy fértiles y productivas, es por ello que Tochimilco goza de este recurso y permite que se puedan cosechar diversas frutas y verduras. Es por ello la importancia de cuidar dicho recurso si bien Tochimilco aun no sufre problemas de escasez de agua es importante decir que se debe cuidar para evitar caer en un estrés hídrico lo que provocaría un gran impacto al ambiente.

*Estiércol de caballo:* Dado que es un elemento ligeramente acuoso y que además de ello contiene grandes cantidades de paja lo hace un material retráctil, aislante térmico y protege frente a la humedad.

La actividad ganadera es fundamental en el municipio de Tochimilco es una de las actividades principales en conjunto con la agricultura, por consecuente abunda mucho ganado en la comunidad, por lo que el estiércol es muy utilizado para abonar principalmente plantas, lo que sin duda beneficia ya que al ser una producción notable de ganado en el municipio hace que este sea abundante y se fertilicen las plantas con dicho abono mejorando la calidad de los suelos, pero que la ganadería genera un gran impacto ambiental dado los gases que liberan primordialmente el metano, es por ello que se debe regular la producción de ganado en la comunidad en medida de lo posible para evitar grandes afectaciones.

*Cemento:* Elemento que aporta resistencia a la compresión, durabilidad y estética, por lo que gracias a ello permite que el producto (estufa) tenga un mayor ciclo de vida, aunado a ello la finura del cemento permite que el tiempo de hidratación sea más veloz.

Es sin duda por excelencia el material mas utilizado para la construcción por lo que se emplea a nivel masivo gran parte debido a sus propiedades, es por ello parte fundamental de la comunidad en la construcción de sus hogares principalmente, es por ese motivo que se implementó en la fabricación de la estufa con la finalidad de tener un mayor ciclo de vida

que se traduce en durabilidad y resistencia. El cemento es una gran fuente de contaminante principalmente de dióxido de carbono, por lo que su uso si bien es inherente se debe buscar una alternativa que su proceso de elaboración sea menos dañino.

**Tabla 2.** Materiales para la elaboración del modelo Tleamanalli.

Materiales para la elaboración de la estufa "Tleamanalli"			
Desglose Presupuestal			
CONCEPTO	PORCENTAJE (P/P) Y/O NÚMERO DE PIEZAS	COSTO UNITARIO	COSTO
Arena (76 kg)	21.41%	\$50.00	\$200.00
Tierra amarilla barro o tepetate (152 kg)	42.82%	\$30.00	\$240.00
Abono (chivo, caballo, burro) (76 kg)	21.41%	\$25.00	\$100.00
Tabique	3 Piezas		
Pedacera de varilla	3 Piezas (25 cm)		
Cemento (13 kg)	3.66%	\$7.00	\$91.00
Comal de barro	1 Pieza	\$50.00	\$50.00
Agua (38 kg)	10.70%	\$20.00	\$40.00
Yarda	3 Piezas	\$60.00	\$210.00
Codo	1 Pieza	\$30.00	\$40.00
Sombrero	1 Pieza	\$50.00	\$60.00
		TOTAL	\$1,031.00

\*Los precios pueden variar dependiendo de la inflación y el aumento en los insumos.

\*Todos estos precios mostrados en las tablas anteriores están calculados en el mes de Diciembre de 2022.

\*Se busca que el costo de materiales para la estufa sea subsidiado por alguna dependencia de gobierno en cualquiera de sus niveles, a través de programas para el bienestar social de las personas.

**Tabla 3.** Materiales para la elaboración de la mesita o tlecuil.

<b>Materiales para la elaboración de la base, mesa, pretil o tlecuil (opcional)</b>			
<b>Desglose Presupuestal</b>			
<b>CONCEPTO</b>	<b>PORCENTAJE O NÚMERO DE PIEZAS</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>COSTO</b>
Arena (76 kg)	27.44%	\$2.63 (kg)	\$200.00
Block (20 piezas)	20	\$10.00 (pieza)	\$200.00
Grava (76 kg)	27.44%	\$1.57 (kg)	\$120.00
Cemento (100 kg)	36.10%	\$190.00 (bulto 50 kg)	\$380.00
Cal (25 kg)	9.03%	\$90.00 (bulto 25 kg)	\$90.00
Varilla (6 mts)	1/2 de varilla	\$90.00 (pieza)	\$90.00
		<b>TOTAL</b>	<b>\$1,080.00</b>

Se sugiere una base de cemento de 150 cm de largo, 100 cm de ancho y 60 cm de alto, esto es dependiendo de las preferencias del usuario, tales como estatura.

\*Todos estos precios mostrados en las tablas anteriores están calculados en el mes de Diciembre de 2022.

\*Alternativas a la construcción de la base:

A) Que ya este construida con anterioridad.

B) Que la familia la construya con sus propios recursos.

C) El aporte del material para la construcción sea por parte del gobierno y la mano de obra por la familia beneficiada.

\*Los precios pueden variar dependiendo de la inflación y el aumento en los insumos.

\*La elaboración tanto de la estufa y/o base es realizada por la familia beneficiada junto con los responsables del proyecto.

## Construcción de la estufa Tleamanalli en el municipio de Tochimilco

Se procedió a realizar la estufa en el Municipio de Tochimilco, Puebla en colaboración con la familia Vázquez, específicamente se realizó la estufa en el barrio de Xochimilcapa, en la casa de la Señora Lucia Vázquez. A continuación, se muestran imágenes que corroboran los pasos que se realizaron para la fabricación de la estufa Tleamanalli.

Como primer paso se les explicó a detalle a la familia Vázquez en que consistía la construcción de la estufa, desde la elección de los materiales, la recolección de los mismos, construcción y sus posteriores pruebas, esto con la finalidad de que la familia estuviese informada respecto a todo este proceso donde se involucró a la familia en cada uno de estas etapas para que estuviese informada al respecto, por lo que la familia Vázquez estuvo involucrada de manera activa en dicha fabricación y queda mencionar que esto se llevó a cabo de manera satisfactoria pues la familia se mostró en todo momento interesada y de manera activa en la participación y cooperación de dicho proyecto, por lo que la familia está capacitada en cuanto al diseño, funcionamiento e información respecto a la estufa Tleamanalli.

Dado que la familia Vázquez no contaba con una base o tlecuil, por lo que se procedió a realizar dicha base para, posterior a haber realizado la base de cemento, proseguir a la construcción de la estufa Tleamanalli. Es muy importante enfatizar un punto importante respecto a la base, ya que la familia Vázquez contaba con todos los materiales para realizar la base, excepto cemento y cal, por lo que el costo de dicha base se redujo drásticamente hasta en un 90% aunado a ello con la ayuda de un familiar se construyó dicha base donde la familia se involucró para reducir el tiempo de construcción.

A continuación, se anexa la foto (fig. 18) de la base finalizada y en donde se menciona que se dejó 1 semana esto con la finalidad de que fraguara de manera correcta y pueda soportar la estufa que posteriormente se montaría sobre la base de cemento.



**Fig. 18.** Base de cemento o tlecuil.

Foto. María Teresa Flores Sotelo, 2023.

Como primer paso (fig. 19 y 20) se procedió a limpiar la zona donde se hará la mezcla de los materiales por lo que se limpió (el piso) para que después se vaciaron todos los materiales recolectados: arena, tierra amarilla, cemento y el abono de caballo, por lo que de manera conjunta con la familia Vázquez y la Doctora María Teresa en conjunto se fue supervisando que todos los materiales estuvieran en perfectas condiciones y fueran vaciados para su posterior uso.



**Fig. 19.** Materiales para realizar la mezcla

Foto. María Teresa Flores Sotelo, 2023.



**Fig. 20.** Materiales y mezcla.

Una vez se está vaciando los materiales (Fig. 21 y 22) se verifica que todos los materiales se hayan vertido al piso, previamente estos materiales fueron cernidos con la finalidad de que la mezcla no contenga algún tipo de piedra o basura.



**Fig. 21.** Vaciado de materiales



**Fig. 22.** Vaciado de arena

Se procedió con ayuda de la pala (fig. 23 y 24) a mezclar los materiales de manera homogénea para que así los materiales se combinaran entre si y tengamos una mezcla consistente y funcional, por lo que este procedimiento se repitió al menos 3 veces.



**Fig. 23.** Mezcla de la arena



**Fig. 24.** Mezcla de los materiales

Una vez que se haya mezclado los distintos materiales de manera uniforme, se procede a realizar un hoyo en medio de la mezcla y se le agregó agua de nejayote (fig. 25 y 26), procurando que el agua no se escapase por algún lado de la mezcla, por lo que posterior a ello se dejó reposar aproximadamente 10 minutos para que se humedeciera la mezcla y poder revolverla.



**Fig. 25.** Agua de nejayote en la mezcla



**Fig. 26.** Reposo de la mezcla

Posterior a que la mezcla se dejó reposar (Fig. 27 y fig. 28), se procede a realizar la mezcla de afuera hacia adentro, es decir de la parte seca a la parte más húmeda, por lo que nuevamente con ayuda de la pala se repite este movimiento aproximadamente 3 veces para que la mezcla este en su totalidad húmeda y con ello se puede realizar la elaboración de la estufa.



**Fig. 27.** Mezcla de los materiales con el agua

**Fig. 28.** Mezcla de afuera hacia adentro

Se deja reposar la mezcla para que fermente y mientras se procede a pintar con aceite de motor (fig. 29 y 30) los moldes que se van a utilizar para la elaboración de la estufa, tubos PVC y el molde de metal, ya que al pintarnos nos va a permitir que la mezcla no se pegue a los moldes y por consecuente sea mucho más fácil manipularlos e impedir que se adhiera a los moldes evitando así alguna imperfección que surja durante el proceso de la fabricación.



**Fig. 29.** Moldes engrasados con aceite



**Fig. 30.** Moldes para construir una estufa.

Ya que se dejó reposar la mezcla, se procede nuevamente a revolverla (Fig. 31 y 32), con la finalidad de que esté lo más húmeda posible de manera uniforme y con ello poder utilizarla, aunado a ello, se revisa que la tierra no tenga piedras o basura que puedan afectar en el proceso de moldeado de la estufa.



**Fig. 31.** Mezcla de los materiales



**Fig. 32.** Mezcla homogénea

Se procede a montar los moldes (Fig. 33 y 34) en la cual irá la tierra, por lo que, con ayuda de un flexómetro, martillo y clavos, se procedió a poner la cimbra de la estufa, esto se realizó de manera muy cuidadosa ya que, si la cimbra no estuviese bien colocada, la estufa no podría adoptar la forma que estaba diseñada, es por ello que se apuntaló de manera correcta.

Se muestra una vista aérea (Fig. 35 y 36) de cómo se colocó el molde y los tubos de PVC así como los tabiques, es importante mencionar que deben estar perfectamente colocados con base en el diseño y sobre en el espacio que la familia Vázquez dispuso, todo esto recordando que el tlecuil o base de cemento ya estaba elaborada previamente a realizar su estufa por lo que con base en ello, pudimos partir y montar los moldes de acuerdo al diseño



**Fig. 35.** Colocación del molde



**Fig. 36.** Colocación de los tubos

El siguiente paso fue con la ayuda de botes, colocar la mezcla en la cimbra (fig. 37 y 38) y con la ayuda de un pisón compactamos la tierra de tal forma que no hubiese huecos y con ello garantizar que la mezcla se esparciera por toda el área, es por ello la importancia de pisonear la tierra para que esta se compactase y fuese tomando forma, cuidando que los moldes previamente puestos no se desajustaran de su lugar, por lo que este proceso se realizó por capas para garantizar la uniformidad en la estufa.



**Fig. 37** Relleno de mezcla en el cajón



**Fig. 38.** Compactación de la mezcla

A continuación, se muestra (fig. 39 y 40) donde la estufa quedó totalmente rellena de mezcla y con la ayuda de una cuchara o paleta de albañil se le dio el aplanado y retocado superficial, verificando que no tuviera algún desnivel es decir que estuviese totalmente lisa y hasta la altura de la tabla, de lo contrario se le quitaba o agregaba mezcla para tener esa consistencia uniforme y darle un acabado pulido procurando no se formaran grietas.



**Fig. 39.** Aplanado de la mezcla



**Fig. 40.** Retocado de la mezcla

Ya que la cimbra está cubierta totalmente de tierra, se procede a sacar cuidadosamente el molde principal (Fig.41 y 42), por lo que, de manera cuidadosa, se quitó de tal forma que no afectara la estructura y por ende no hubiese grietas, es por ello que este paso es fundamental ya que el exceso de fuerza puede hacer que desestabilice la cimbra y ocasione que la estufa tenga defectos principalmente por grietas o en el proceso de fraguado.



**Fig. 41.** Extracción del molde de la estufa



**Fig. 42.** Extracción final del molde

Se puede observar (Fig. 43 y 44) que se ha quitado de manera correcta el molde, ya que no perdió la forma ni muchos se agrietó, por lo que esto nos indica que la tierra fue muy bien compactada y se logró el acabado que se plantó desde un principio. Luego de quitar los tubos de PVC, después se colocó el comal de barro (Fig. 44) para ensamblar y verificar que no hay un defecto aparente en la cámara de combustión. Pasado unos 20 minutos se procedió a descimbrar, esto con la ayuda de un martillo y de forma muy cuidadosa para no afectar la estructura de la estufa, por consecuente se dejó fraguar una semana para que se endureciera la mezcla y poder utilizar la estufa.



**Fig. 43.** Vista de la cámara de combustión



**Fig. 44.** Colocación del comal de barro

Se aprecia que pasada una semana la estufa ha adquirido dureza y está totalmente seca, lo que nos indica que su proceso de fraguado ha finalizado, se inspeccionó para descartar cualquier grieta aparente o detalle tanto en el exterior como en el interior, posterior a una revisión se colocaron los tubos que van a expulsar el humo hacia el exterior de la cocina de humo (fig. 45). Se verifico la entrada de la estufa ya que es la zona más endeble (fig. 46).



**Fig. 45.** Colocación de la tubería de salida



**Fig. 46.** colocación final de tubería

Se realizó el primer encendido de la estufa (fig. 47), el cual consistía en prender la estufa y dejar que transcurriera aproximadamente 30 minutos desde su encendido, esto con la finalidad de detectar alguna posible falla, tales como que el humo se escapase por las paredes de la estufa a través de alguna grieta, o que el humo que se expulsa de la combustión no saliese por la chimenea, es por ello que se estuvo supervisando de manera constante la estufa para detectar problemas ocasionados por la construcción.

Se checó que el humo sea expulsado por la chimenea (fig. 48) esto para garantizar que la familia Vázquez no presentase problemas de cualquier tipo, y así garantizar una estufa funcional y que no atentara contra su salud aunado a que sea eficiente en términos de combustión para lograr la cocción de sus alimentos.



**Fig. 47.** Prueba piloto de la estufa



**Fig. 48.** Salida del humo por el tubo

## Distribución de calor a través de la cámara termográfica

Se procede al encendido de la estufa con ayuda de un ocote (fig. 49 y 50) y posterior a ello se deja transcurrir unos minutos hasta que la llama sea estable y haya certeza de que no se apague, solo se monitorea la temperatura del objeto a través del tiempo.



**Fig. 49.** Encendido de la estufa

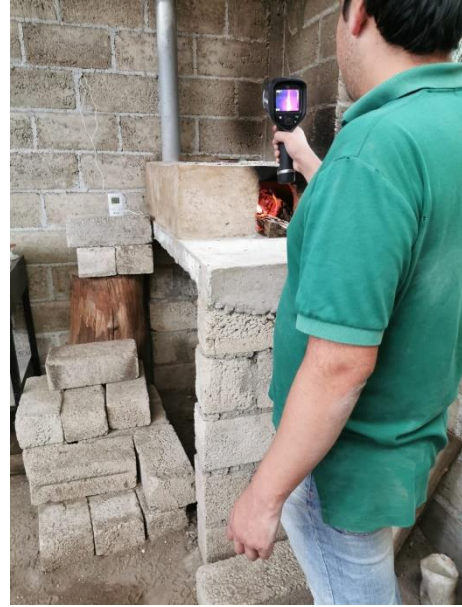


**Fig. 50.** Primera captura de temperatura

Posterior a ello se procede a tomar las primeras capturas con la cámara termográfica (fig. 51 y 52) y ver el comportamiento que va teniendo a través del tiempo, donde es importante precisar que solo se están tomando capturas conforme avanza la combustión esto ya que dicha prueba consiste únicamente en capturar la propagación del calor en un determinado tiempo, es decir en este caso hasta que la leña se consuma por completo



**Fig. 51.** Toma de temperatura del comal



**Fig. 52.** Toma de temperatura del tubo

Se hacen nuevamente diferentes tomas y se monitorea la estufa a través de capturas esto con la finalidad de ver el comportamiento del calor a través de la superficie (comal) y diversos puntos de la estufa (fig. 53 y 54), este proceso se repite por diferentes lapsos de tiempo hasta que el fuego se consuma por completo



**Fig. 53.** Toma de temperatura de la cámara

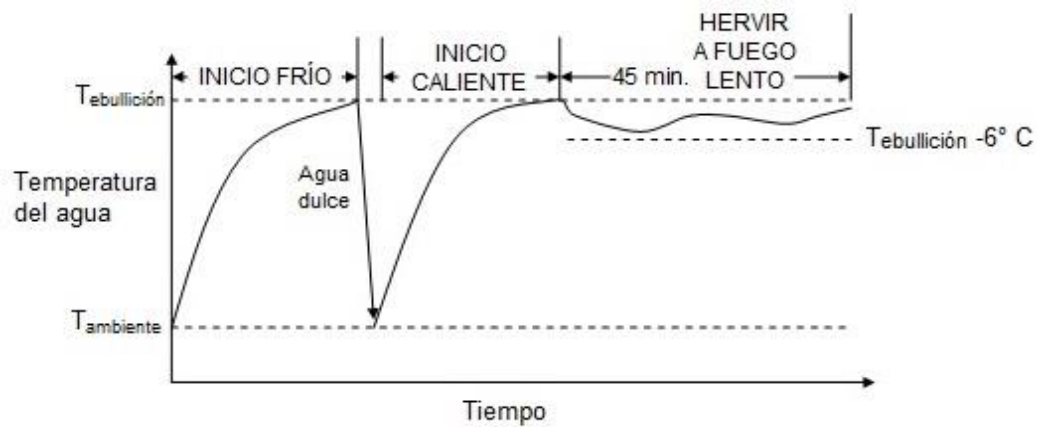


**Fig. 54.** Toma de temperatura del comal

## Pruebas de ebullición del agua (WBT)

La prueba de ebullición del agua consta básicamente de tres fases que se realizan inmediatamente una de la otra mediante una prueba controlada que nos permite medir cuan en utilizar combustible para calentar el agua en una olla.

1. Hervir agua desde un punto de inicio frío. En esta fase, el evaluador comienza con la estufa en temperatura ambiente y se utiliza leña de un paquete previamente pesado de al menos 5 kg (algunas estufas pueden necesitar más combustible). Con la cantidad ya establecida, se pretende hervir agua en una olla estándar (si utiliza la olla de 7 litros, utilice 5 litros de agua para cada fase del WBT y si utiliza la olla de 3.5 litros, utilice 2.5 litros de agua para cada fase). Al lograr el punto de ebullición, se debe cambiar el agua hervida por agua a temperatura ambiente para pasar a la segunda fase [33].
2. Hervir agua cuando la estufa está caliente. En esta segunda fase, el evaluador vuelve a utilizar combustible previamente pesado, para hervir una cantidad de agua medida en una olla. Al repetir la prueba con una estufa caliente, ayuda a identificar las diferencias de rendimiento entre una estufa fría y una estufa caliente [33].
3. Mantener el agua caliente a fuego lento. Esta fase, se realiza por debajo del punto de ebullición durante 45 minutos, este tiempo simula la cocción de legumbres o leguminosas comunes en gran parte del mundo, por ejemplo, el frijol [33].



**Fig. 55.** Temperatura durante las tres fases de ebullición [33].

### Fase de estufa en inicio frio

Se procede a realizar la prueba de ebullición del agua en la estufa Tleamanalli, donde previamente se pesaron paquetes de leña para dicha prueba utilizando leña de encino, y empleando unas ollas con capacidad de 7.5 litros, donde la estufa estuvo sin utilizar al menos 12 horas para fines de dicha prueba.

Se procedió a pesar la cantidad que se empleó para dicha prueba (fig, 56 y 57), así como la charola donde se van a colocar la madera y el carbón no quemado, así como a tomar la temperatura ambiental que es de 23° C.

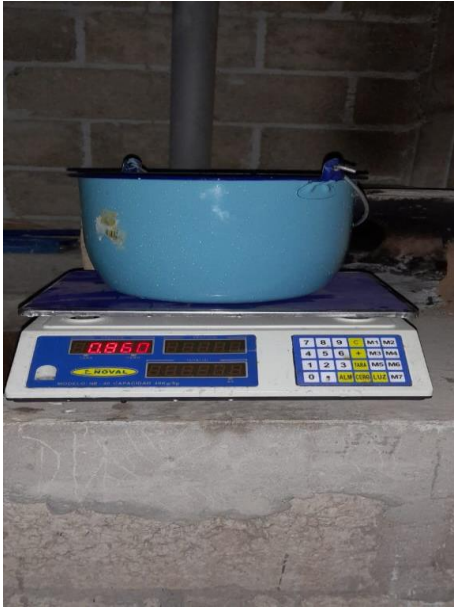


**Fig. 56.** Peso de la leña

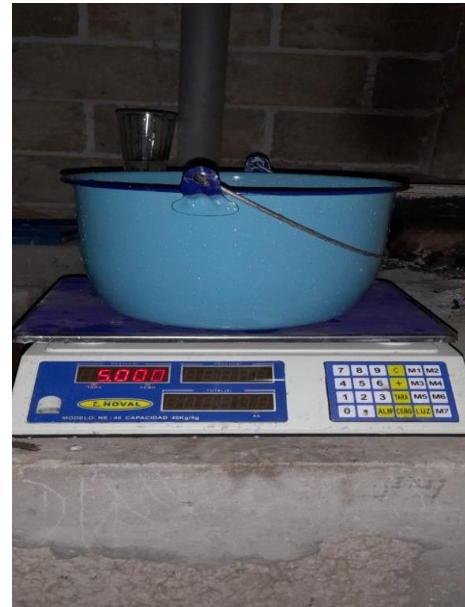


**Fig. 57.** Peso de la olla con agua

Posteriormente procedimos a pesar la olla donde se harán las pruebas, posterior a ello, se deposita cantidad de agua a utilizar (fig. 58 y 59) para nuestra prueba de inicio en frio.



**Fig. 58.** Peso de la olla



**Fig. 59.** Peso de la olla con agua

Con la ayuda de un ocote se prende la leña y se verifica que la llama se mantenga y el fuego no se apague, cuando la llama sea estable se empieza a medir el tiempo, por lo que se va monitoreando durante toda la prueba hasta que alcance el punto de ebullición, en este caso se determinó que el punto de ebullición local es de 93 °C (fig. 60 y 61). Se toma el tiempo transcurrido, así como la temperatura del agua.



**Fig. 60.** Monitoreo del agua



**Fig. 61.** El agua en su punto de ebullición

Se pesa la olla, para determinar la cantidad de agua evaporada, así mismo de manera inmediata con la ayuda de unas pinzas se deposita la leña no quemada y carbón (en la báscula para saber la cantidad de leña y carbón no quemado fig. 62 y 63).



**Fig. 62.** Peso de la olla final



**Fig. 63.** Peso de la madera y carbón

### **Fase de estufa en caliente**

En esta fase la estufa se encuentra caliente, debido a la primera prueba, por lo que se procede a pesar de nuevo la cantidad de leña a utilizar y se realiza lo mismo que la primera fase solo que con la estufa caliente, esto para ver la comparación entre fase fría y caliente.

Se mide la cantidad de agua a hervir, así como la madera a utilizar en esta segunda prueba (fig. 64 y 65).



**Fig. 64.** Pesaje de la leña



**Fig. 65.** Peso del agua a hervir

De igual manera se enciende el paquete de leña con la ayuda de un ocote y cuando la llama se mantiene estable, se inicia la prueba y se monitorea el agua de manera constante para ver la temperatura del agua hasta llegar a su punto de ebullición (fig. 66 y 67).



**Fig. 66.** Monitoreo del agua



**Fig. 67.** El agua en su punto de ebullición

Se realiza nuevamente el pesaje de la olla para ver el agua evaporada y con la ayuda de pinzas se retira la madera y carbón no quemado y se coloca en la charola para su pesaje (fig. 68 y 69).



**Fig. 68.** Peso del agua final



**Fig. 69.** Peso del carbón

### Fase de cocinado a fuego lento

En esta última fase la prueba consiste en mantener el agua caliente de la olla a una temperatura oscilante por debajo del punto de ebullición local, pero que sin que decayera por menos de 6°C respecto a dicha temperatura. Se pesó el paquete de leña a utilizar durante la prueba y se utilizó la olla de la anterior prueba (fase caliente), es decir es una continuación de la prueba, no se agregó u modificó el agua ni se dejó enfriar (fig. 70 y 71).



**Fig. 70.** Peso de la leña



**Fig. 71.** Monitoreo del punto de ebullición

Se coloca la olla en la estufa y se mantiene a fuego estable, es decir se debe mantener a 93 ° C que es el punto de ebullición local (fig. 72 y 73), se mantiene así durante 45 minutos que es lo que marca dicha prueba (, donde puede oscilar puede oscilar  $\pm 6^{\circ}\text{C}$  del punto de ebullición local.



**Fig. 72.** Monitoreo del agua



**Fig. 73.** Agua en punto de ebullición

Transcurrido los 45 minutos y manteniendo el punto de ebullición dentro del rango establecido se procede a pesar la cantidad de agua sobrante, así como la cantidad de madera y carbón no quemado (fig. 74 y 75), con la ayuda de unas pinzas y depositándolo en la charola para su pesaje.



**Fig. 74.** Peso del agua final



**Fig. 75.** Peso del carbón

### Prueba de cocción controlada (CCT)

La prueba de cocción controlada (CCT) está diseñada para evaluar el desempeño de las estufas mediante el consumo específico de combustible, la energía específica y el tiempo utilizado en la tarea de cocción [35]. Las estufas se comparan con una tarea estandarizada de cocción de un platillo típico de la región o un platillo que la familia cocine con regularidad, semejante a las condiciones de cocinado típicas de la población local.

- Comience con un paquete de combustible previamente pesado de al menos 5 kg (algunas estufas pueden necesitar más combustible) y con la estufa en temperatura ambiente [34].
- Comenzando con una estufa fría, permita que los evaluadores enciendan el fuego de manera que refleja las prácticas locales. Inicie el cronómetro y registre el tiempo [34].
- Mientras se realiza la tarea de cocinar, registrar cualquier observación relevante y comentarios respecto a la estufa (por ejemplo, dificultades que encuentre, calor excesivo, humo, inestabilidad de la estufa u olla, etc) [34].

- Cuando finalice la tarea de cocinado es decir cuando el platillo tiempo a cocinar haya alcanzado su punto de ablandamiento (frijoles por mencionar algún alimento, detenga el cronometro y el fuego) [34].
- Retire la(s) olla(s) de comida del fuego y pese cada olla con su comida en la balanza y registre el peso en gramos [34].
- Retirar la leña no quemada del fuego y apagarla. Golpea el carbón de los extremos de la madera sin quemar. Pesar la madera sin quemar de la estufa con la leña restante del paquete original [34].
- Colocar todo del carbón en la bandeja designada y péselo también. Anotar ambas mediciones [34].

Para la realización de dicha prueba se realizó un platillo que la familia Vázquez realiza con frecuencia, se trata de salsa con huevo, un platillo que la familia emplea en su alimentación básica. Para iniciar se pesó la leña de encino que utiliza regularmente la familia Vázquez para elaborar dicho platillo. Cabe recordar que los ingredientes (fig. 76 y 77), que se emplearon para la realización de dicha comida estaban listos.



**Fig. 76.** Pesaje de la leña

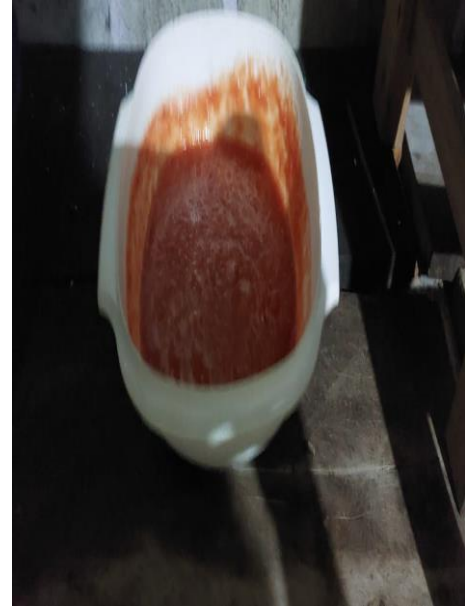


**Fig. 77.** Ingredientes para la salsa con huevo

Se colocaron 100 ml de aceite de cocina en una cacerola de 4 litros y se procedió a poner los huevos (8), para que empezaran a freírse, paralelo a ello ya se tenía preparada la salsa que se le iba a agregar a los huevos (fig. 78 y 79), una vez que estos empezaran a freírse se les agregara inmediatamente la salsa (previamente preparada) y sal al gusto.



**Fig. 78.** Preparación de salsa con huevo



**Fig. 79.** Salsa para el huevo

Por último, paso se le agregó la salsa al huevo y se cocina hasta que este llegara a su punto de cocción, una vez llegando a ese punto se tomó el tiempo transcurrido que llevó el realizar dicho platillo y se pesó la cantidad de combustible quemado (fig. 80 y 81).



**Fig. 80.** Cocción final de la salsa con huevo



**Fig. 81.** Peso del carbón

### Prueba de compresión del material para construir una estufa Tleamanalli

Las pruebas de compresión miden la deformación y el esfuerzo normal a compresión que puede soportar un material ante una carga de aplastamiento. El ensayo de compresión se caracteriza porque, la probeta sufre una reducción en su longitud y una disminución en su volumen [43]. Las dimensiones de las probetas van a depender del tipo de material que se vaya a utilizar. Generalmente, es aplicado a materiales frágiles como el concreto y la madera.

La prueba de compresión se realiza aplicando fuerza a un material que lo empuja desde el lado opuesto y hace que se comprima, triture o aplaste. Al realizar esta prueba, la muestra de prueba generalmente se coloca entre dos placas distribuyendo la carga aplicada en toda el área de la superficie de las dos caras opuestas, que luego se juntan mediante una máquina de prueba universal que hace que la muestra se aplaste. La muestra de prueba comprimida generalmente se acorta en la dirección de las fuerzas aplicadas y se expande en la dirección perpendicular a la fuerza. El objetivo principal de las pruebas de compresión es determinar el comportamiento y la respuesta de un material bajo una carga de compresión midiendo variables fundamentales como el esfuerzo y la deformación.

Los materiales cerámicos son los primeros materiales que tuvo a su alcance el hombre primitivo y que aún hoy siguen teniendo una gran cantidad de aplicaciones, por ejemplo: el barro y los materiales de porcelana.

Estos materiales de alta tecnología muestran las características siguientes:

- Alta dureza
- Resistentes a temperaturas elevadas
- Aislantes térmicos y eléctricos
- Son resistentes a la corrosión

Para la realización de dichas pruebas y para fines del siguiente estudio, se compararon dos mezclas:

1. Mezcla que se elabora para construir una estufa Tleamanalli (arena, tierra amarilla, abono, cemento y agua) y
2. Mezcla para construir una estufa Lorena, cabe destacar que para la estufa Lorena hay diferentes variaciones de mezclas, pero para esta práctica se trabajó con la mezcla original, es decir; la mezcla hecha a base de lodo (arena), arena y agua.

Primero se procedió en envasar la mezcla tanto del modelo Tleamanalli como Lorena en cilindros de PVC de 10 cm aproximadamente (Fig. 82 y 83), compactado la mezcla y dejándola secar a temperatura ambiente hasta que la mezcla estuviese totalmente seca. Posterior a ello se revisó que la mezcla estuviese seca, es decir mostrara dureza, al tocarlas nos percatamos de que efectivamente la mezcla ya había secado y que estaba lista para realizar las pruebas.



**Fig. 82.** Mezcla de tierra Tleamanalli



**Fig. 83.** Mezcla de la tierra Lorena

Posterior a ello procedimos con la ayuda de una esmeriladora a cortar el cilindro de PVC con cuidado para sacar las probetas con el debido cuidado para que no presentaran daño (Fig. 84 y 85), y se pudieran realizar las pruebas de compresión en la maquina universal, una vez sacando las probetas de los cilindros de PVC se observó que las probetas estuvieran bien compactadas y uniformes para soportar el peso de la prueba de compresión que se les iba a realizar.



**Fig. 84** Cilindro de mezcla Tleamanalli



**Fig. 85** Cilindro de mezcla Lorena

Se colocaron las muestras en la maquina universal y se procedió a programarla, posterior a ello se iniciaron las pruebas y observamos el desplazamiento, fuerza aplicada y el lapso tanto de la mezcla Tlemanalli (Fig. 86) como de la mezcla para la estufa Lorena (Fig. 87), luego de observar dichos datos se procedió a realizar las anotaciones pertinentes respecto a los resultados obtenidos de dicha prueba.



**Fig. 86** Prueba de compresión



**Fig. 87** Resultado prueba de compresión

## **CAPÍTULO 5. RESULTADOS**

Una vez realizada la estufa y por ende haber dejado fraguar la estufa, se procedió a realizar pruebas piloto, los cuales consistían en prender la estufa para seccionarnos de que nos hubiese alguna fuga o grieta aparente, por lo que al realizar las pruebas periódicas la estufa no mostró ninguna falla por lo que se procedió a realizar las pruebas internacionales de consumo de leña.

Como ya se explicó el proceso anteriormente para las pruebas nos basamos en dos normas para calcular el consumo de leña y otros aspectos, por lo que gracias a las pruebas nos

permiten realizar los cálculos estimados para obtener los resultados de las pruebas y ver la eficiencia térmica y hacer observaciones respecto a la estufa.

### Observaciones de la construcción de la estufa Tleamanalli

Después de haber finalizado el proceso de construcción de la estufa procedemos a realizar unas sugerencias y observaciones sobre los resultados que obtuvimos con base en el proceso que hicimos y resultado que tuvimos, para que posteriormente puedan ser implementadas y optimizar el proceso de fabricación.

Se observa en las fotos (fig. 87 y 88) que la estufa posterior a que se compacto y terminó su proceso de fraguado obtuvimos una apariencia lisa y compacta, por lo cual nos indica que el proceso de construcción fue el adecuado ya que la estufa se mantiene compacta y no mostró ningún signo de debilidad o agrietamiento, la estufa se compacto y amoldó de manera adecuada y necesaria para los usos que el usuario le dará. Por lo que la mezcla que se realizó juega un papel fundamental en la dureza y firmeza que obtuvo la estufa para su uso y que por ende al realizar la prueba de encendido no hubo alguna fuga por alguna posible grieta o defecto de fabricación.



**Fig. 87.** Acabado final de la estufa



**Fig. 88.** Vista lateral de la estufa

Se puede observar en la cámara de combustión (Fig. 89 y 90) que los moldes del comal principal, así como del secundario se retiraron de forma correcta y se logró una apariencia lisa y sin grietas aparente que pudieran perjudicar el desempeño de la estufa, esto es gracias a que se dejó reposar durante más de una semana, por lo que se pudo compactar de manera adecuada y con ello obtener la forma que deseamos, esto también gracias al cemento que se utilizó durante su construcción ya que este material tiene propiedades de resistencia y estabilidad incluso bajo el agua, por lo que prolonga más el ciclo de vida de la estufa.



**Fig. 89** Acabado final de la estufa



**Fig. 90.** Acabado final de los ductos

Por último apreciamos (Fig. 91 y 92) que en los orificios donde se introduce la leña y se expulsa el humo (túnel) conservaron su forma y firmeza gracias a los moldes y el cemento en conjunto con la arena ya que estos materiales permiten específicamente en este tipo de acabados/detalles optimización del material, un mejor comportamiento de retracción del cementante por lo que aunando al demás material se logró un moldeado adecuado y firme por lo que el uso de estos dos materiales antes mencionado es fundamental para el fraguado y resistencia en la fabricación de la estufa, así como en la reducción de manera considerable de grietas que se presentan durante el proceso de fraguado, ya que de lo contrario la estufa no lograría la firmeza necesaria y o su firmeza no sería tan prolongada por lo que reduciría el ciclo de vida del modelo de estufa.



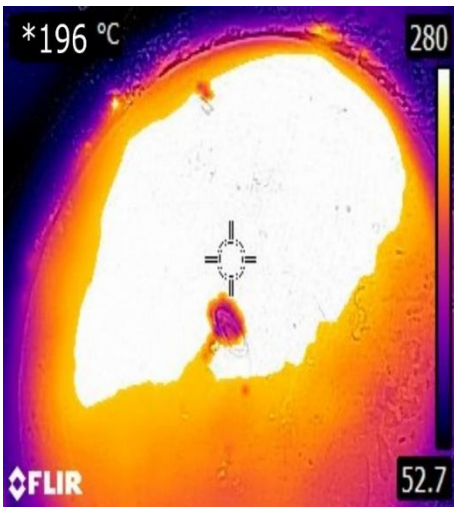
**Fig. 91.** Vista frontal de los ductos



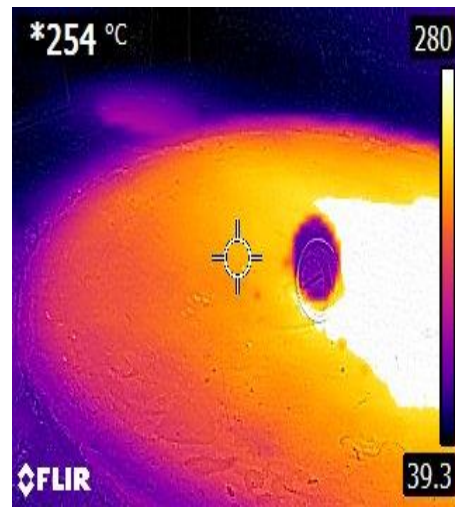
**Fig. 92.** Vista de la entrada frontal

#### Resultados de la distribución de calor

Se observa la distribución de calor en el comal principal, se observa que a medida que el tiempo transcurre la distribución de la superficie se va distribuyendo de manera central (fig. 93 y 94) y donde en el exterior o bordes, la distribución aun no es homogénea.

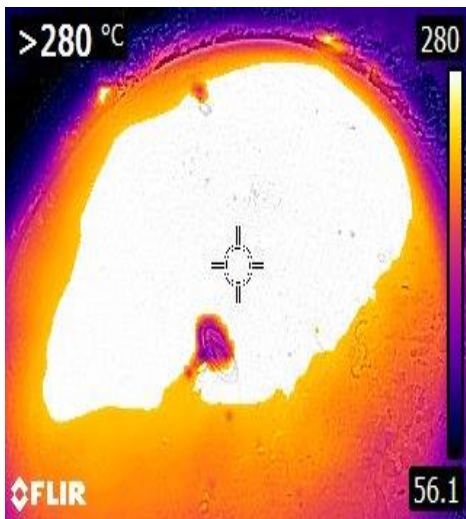


**Fig. 93.** Temperatura a los 10 minutos

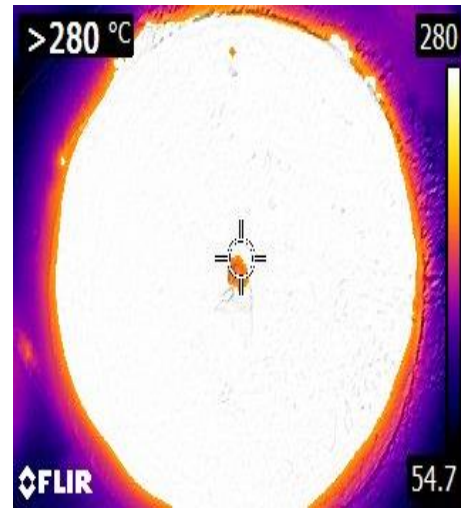


**Fig. 94.** Temperatura a los 20 minutos

Podemos ver como la temperatura alcanza los 280 °C y el borde exterior del comal no muestra decrecimiento de temperatura (fig. 95), por otro lado tenemos que el comal ha rebasado los 280 °C (fig. 96), pero mencionemos que la cámara termográfica solo nos arroja >280 °C lo que significa que la temperatura del comal es más de 280 °C , por lo que podemos inferir que ha rebasado sin problema alguno la barrera de los 300 °C y podemos ver como se ha distribuido el calor de manera uniforme abarcando todo el comal.



**Fig. 95** Temperatura a los 30 minutos



**Fig. 96** Temperatura a los 40 minutos

Se muestra la cámara de combustión, donde se aprecia como al principio la leña aún no se quema del todo (fig.97), pero que muestra que la temperatura es de 280 lo que indica que es apta para cocinar alimentos que requieren mediana potencia, aunado a que podemos observar que no hay alguna fuga (fig.98), y que el calor se concentra en la cámara y se distribuye a través del comal.



Fig. 97 Temperatura en el minuto 30



Fig. 98 Temperatura en el minuto 40

### Resultados de la prueba de ebullición del agua (WBT)

Los resultados principales del WBT son:

El tiempo para llevar a ebullición 5 L o en su variante 3.5 L de agua: se calcula restando la hora de inicio y de fin de las fases (1 y 2) o en su defecto con un cronometro el tiempo que tardó en hervir el agua.

La eficiencia térmica de la estufa (Eft): es el cociente de la energía útil otorgada a la olla con agua entre la energía total de entrada. Se calcula para las tres fases.

$$Eft = \left( \frac{Eo}{Ee} \right) * 100$$

$$Ee = (mcomb)(PCIcomb)$$

$$Eo = \left( 4.18 \times 10^{-3} \frac{MJ}{KG^{\circ}C} \right) (\Delta T)(teb) + \left( 2.257 \frac{MJ}{Kg} \right) (mev)$$

El combustible consumido (mcomb): es la diferencia de peso del combustible al inicio y al final de cada fase.

La tasa de combustión ( $\tau$ ): es el consumo promedio de combustible durante cada fase de la prueba.

$$\tau = \frac{m_{comb}}{(t_{eb})}$$

Nomenclatura:

**t<sub>eb</sub>** = Tiempo para alcanzar el punto de ebullición (min).

**E<sub>ft</sub>** = Eficiencia térmica (%).

**m<sub>comb</sub>** = Masa del combustible quemado (Kg).

**PCI<sub>comb</sub>** = Poder calorífico inferior del combustible (~18 MJ/Kg de leña seca).

**ΔT** = Diferencia de temperatura en el agua, entre la inicial y la de ebullición (°C).

**E<sub>o</sub>** = Energía útil otorgada (MJ).

**E<sub>e</sub>** = Energía total de entrada (MJ).

**m<sub>ev</sub>** = Masa de agua evaporada (Kg).

**m<sub>eb</sub>** = Masa de agua llevada al punto de ebullición (Kg).

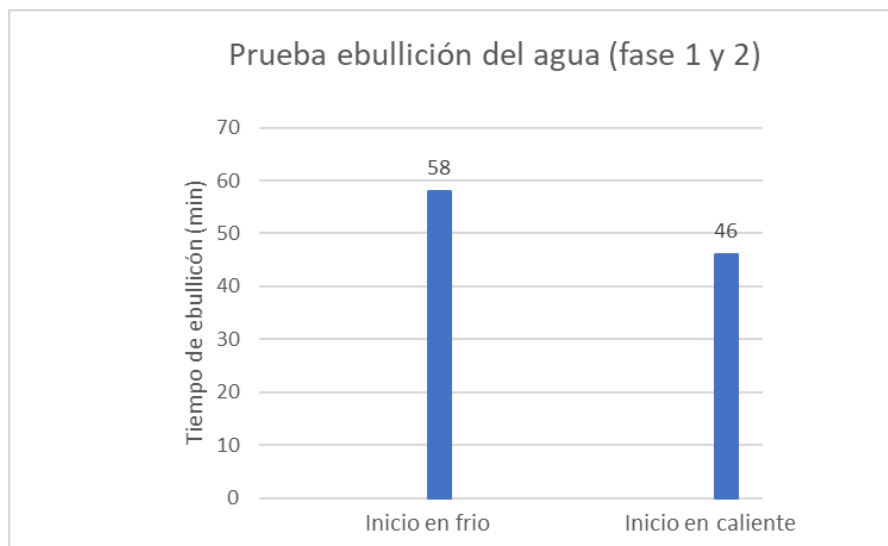
**τ** = Tasa de combustión (g/min).

En la siguiente tabla se arrojan los datos más importantes donde podremos comparar los resultados en las distintas etapas de la prueba y por ende ver su desempeño en cada una de ellas, donde principalmente nos arroja la eficiencia térmica que es importante para esta prueba ya que es una estimación de la energía total producida por el fuego que se usa para calentar el agua en la olla, en el cual podemos observar que el rendimiento bajó muy poco en la fase en frío dado que requiere mayor cantidad de leña para poder llegar al punto de ebullición, posteriormente vemos que cuando la estufa se encuentra caliente la transferencia térmica aumenta.

Fase	Datos	Unidad	P1
Arranque en frio	Tiempo de ebullición (olla No.1)	min	58
	Eficiencia Térmica	%	24.12
	Combustible consumido	Kg	3.95
	Tasa de combustión	g/min	67.24
Arranque en caliente	Tiempo de ebullición (olla No.2)	min	46
	Eficiencia Térmica	%	24.36
	Combustible consumido	Kg	3.34
	Tasa de combustión	g/min	72.68
Fuego moderado	Tasa de combustión	g/min	67.77
	Eficiencia Térmica	%	33.77
	Combustible consumido	Kg	3.05

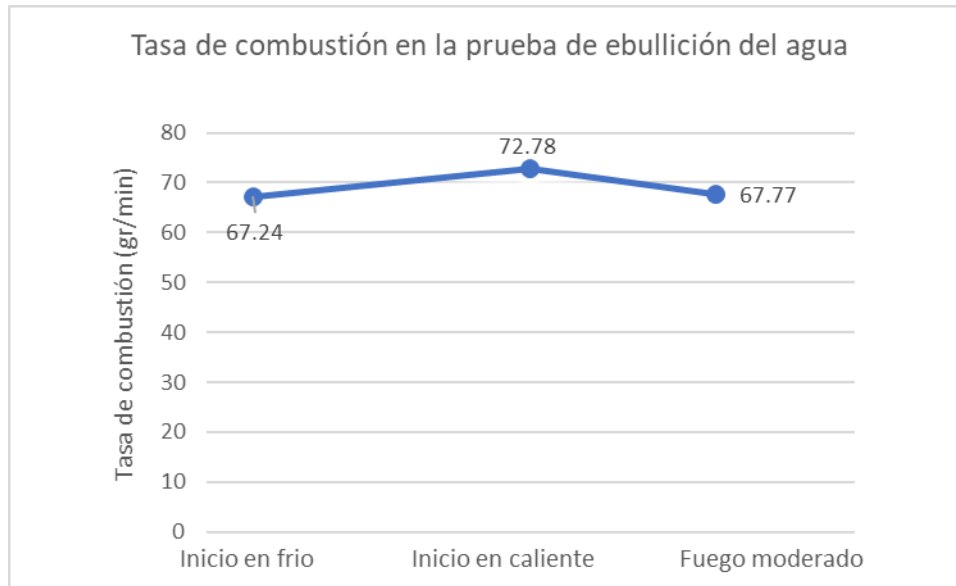
**Tabla 3.** Datos de la prueba de ebullición

Podemos ver gráficamente el tiempo que tardó en llegar al punto de ebullición tanto en la fase 1 y 2 (Fig. 99), donde nos percatamos que la diferencia es de 12 minutos entre la fase en frio y la fase en caliente, esto nos indica que en la fase dos al estar previamente calentada ayuda a que el tiempo de ebullición sea menor lo que se traduce en menor gasto de leña aunado en que el tiempo de cocción es mucho más rápido si la estufa está previamente calentada.



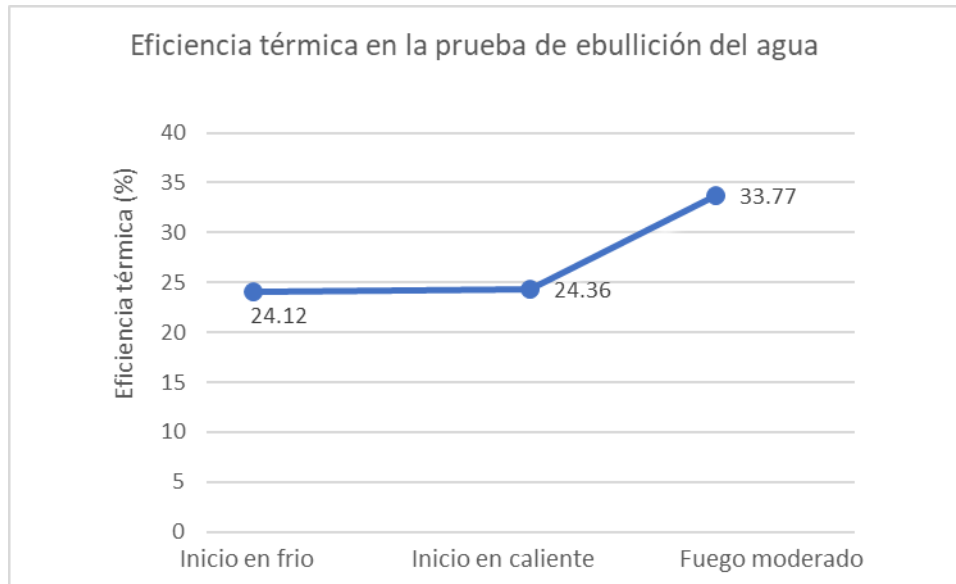
**Fig. 99.** Tiempo de ebullición en prueba WBT

La siguiente gráfica nos indica (fig. 100), la leña que se quemó por minuto a lo largo de las tres fases de la prueba de ebullición del agua, donde vemos que en la primera fase la tasa fue de 60.69 gr/min, cifra que aumentó en la siguiente fase de inicio en caliente, posterior a ello disminuyó, ya que la estufa caliente ayuda a favorecer la estabilidad de la llama.



**Fig. 100.** Tasa de combustión en las tres fases de la prueba de ebullición del agua

Podemos observar la eficiencia térmica a lo largo de las tres fases (fig. 101), por lo que vemos que hay una ligera, diferencia entre la fase en frío y caliente, eso nos indica que la estufa no muestra variaciones tan altas en su eficiencia si esta se prende en frío o se utiliza previamente caliente, donde inferimos que el utilizar la estufa en frío la eficiencia es ligeramente menor pero no tan distante de la fase en caliente ya que la diferencia es de menos 1% entre ambas pruebas, por el contrario en fase en fuego lento la eficiencia aumenta debido a que se mantiene la llama estable logrando mantener el punto de ebullición logrando así que la eficiencia sea más alta debido a la capacidad de la cámara de ser un buen aislante térmico, lo que se traduce en que el calor no se disipe y se almacene en la cámara de combustión.



**Fig. 101.** Eficiencia térmica en las tres fases de la prueba de ebullición del agua

### Resultados de la prueba de cocción controlada (CCT)

Los resultados principales del CCT son:

El porcentaje de ahorro de leña se calculó multiplicándose la cantidad de leña en (kg) final por 100%, entre la cantidad de leña inicial (kg) [38].

$$\% \text{ leña} = \frac{\text{leña final} (100)}{\text{leña inicial}}$$

El tiempo para realizar la cocción  $t_c$ : se calcula restando la hora de inicio y fin del cocinado o en su defecto con un cronometro el tiempo que tardó en hervir el agua.

El combustible consumido  $m_{comb}$ : diferencia del peso del combustible al inicio y al final de la prueba de cocinado.

La tasa de combustión ( $\tau$ ): es el consumo promedio de combustible durante la prueba [38].

$$\tau = \frac{m_{comb}}{(t_c)}$$

Nomenclatura:

**tc** = Tiempo para realizar la cocción (min)

**mcomb** = Masa del combustible quemado (Kg).

A continuación, se muestra una tabla con los resultados de la prueba de cocción que se realizó en la estufa Tleamanalli, es importante precisar que esta prueba nos permite ver el consumo de combustible, entre otros datos en una acción cotidiana de los usuarios que utilizan la estufa, por lo que nos permite verlo bajo un contexto real de cocina y sobre una rutina de las familias que utiliza la estufa.

En la siguiente tabla podemos observar datos de la prueba de cocción controlada tales como el tiempo en que tardó el alimento en cocer, así como el carbón restante al final de la prueba y la tasa de combustión que nos indica el consumo que tuvo el elaborar dicho alimento durante el tiempo de cocción, es decir la cantidad de leña que se quemó por minuto.

<i>Datos de Prueba CCT (salsa con huevo)</i>	
Tiempo de cocción (minutos)	22 min
Peso de carbon remanente (gramos)	185 gr
Tasa de combustión (gr/min)	45.45 gr/min

**Tabla 4.** Datos de la prueba de cocción controlada

Se muestra el desglose del proceso de cocción, desde que se prendió fuego, hasta que la salsa con huevo llegó a su punto de cocción, es ahí cuando se detuvo el cronometro y se procedió a pesar la leña y el carbón de la prueba.

Actividad	Estufa Tleamanalli
	Leña: encino
Prueba de arranque	6
Sartén caliente	7
Cocción guisado (salsa con huevo)	9
Total tiempo (minutos)	22

**Tabla 5.** Datos del tiempo de realización de la salsa con huevo

Podemos ver que para esta prueba se utilizó 1.5kg de leña, pero que al final solo se consumió un 1 kg, por lo que el ahorro de leña es del 33%, aunado a que el tiempo de cocción fue de tan solo 22 minutos ya que solo fue salsa con huevo, como datos más relevantes.

Ahorro de leña	
Peso total del paquete de leña (Kg)	1.5
Leña consumida (Kg)	1
Leña ahorrada (%)	33.33

**Tabla 6.** Ahorro de leña durante la prueba de cocción controlada

### Resultados de la prueba de compresión del material

A continuación, se muestra los resultados de las pruebas realizadas de compresión tanto de la mezcla Tleamanalli como Lorena, por lo que en las siguientes tablas se muestra características generales, pero sobre todo la fuerza máxima que soportaron los cilindros, que es lo que se busca precisamente en esta prueba de compresión.

Prueba de compresion mezcla Tleamanalli			
Cilindro	Diametro (cm)	Altura (cm)	Fuerza máxima soportada (kg)
1	4.7	10	145
2	4.7	10	145
3	4.7	10	135

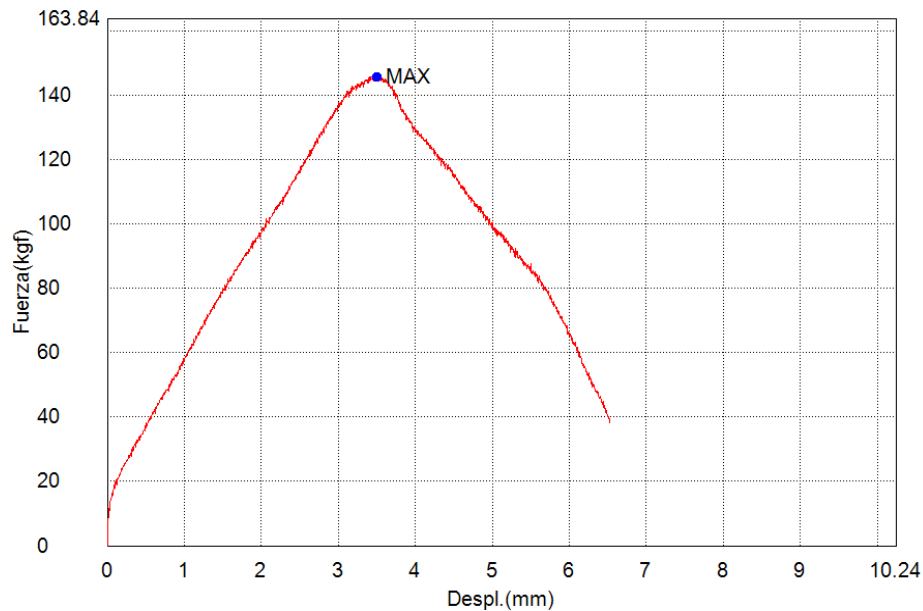
**Tabla 7.** Resultados de la prueba de compresión mezcla Lorena

Prueba de compresion mezcla Lorena			
Cilindro	Diametro (cm)	Altura (cm)	Fuerza máxima soportada (kg)
1	4.7	10	108
2	4.7	10	85
3	4.7	10	85

**Tabla 8.** Resultados de la prueba de compresión mezcla Tleamanalli

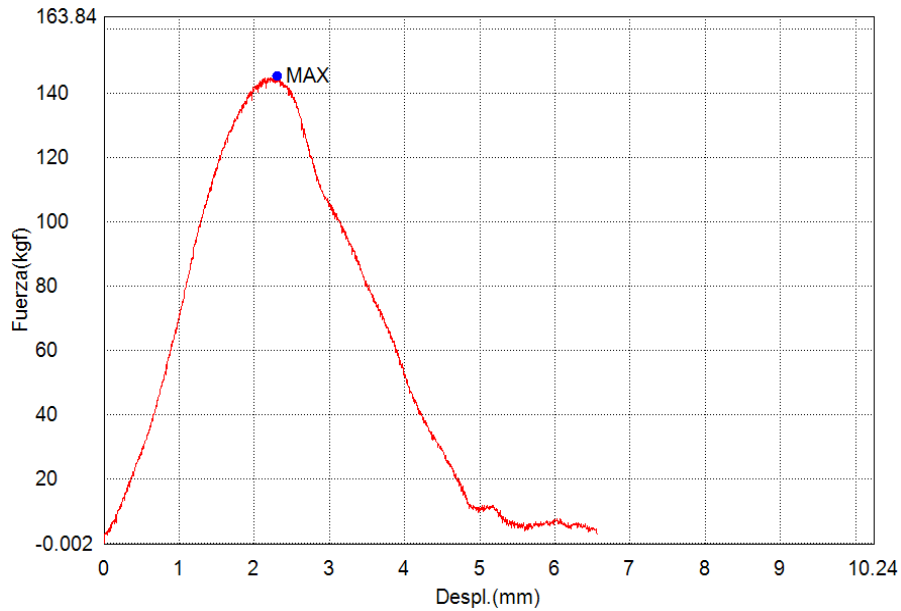
Con la ayuda del programa trapezium x, logramos obtener las siguientes gráficas las cuales nos explican de manera mucho más simplificada el comportamiento del material a lo largo de la prueba, donde se muestra fuerza soportada y el desplazamiento, es decir los milímetros que compactó la maquina por minuto.

En la siguiente gráfica (fig. 102), se muestra el resultado de la prueba aplicada a la mezcla Tleamanalli donde vemos la fuerza aplicada en función del desplazamiento, donde indica que 145 kg es la máxima fuerza que pudo soportar durante esta primera prueba.



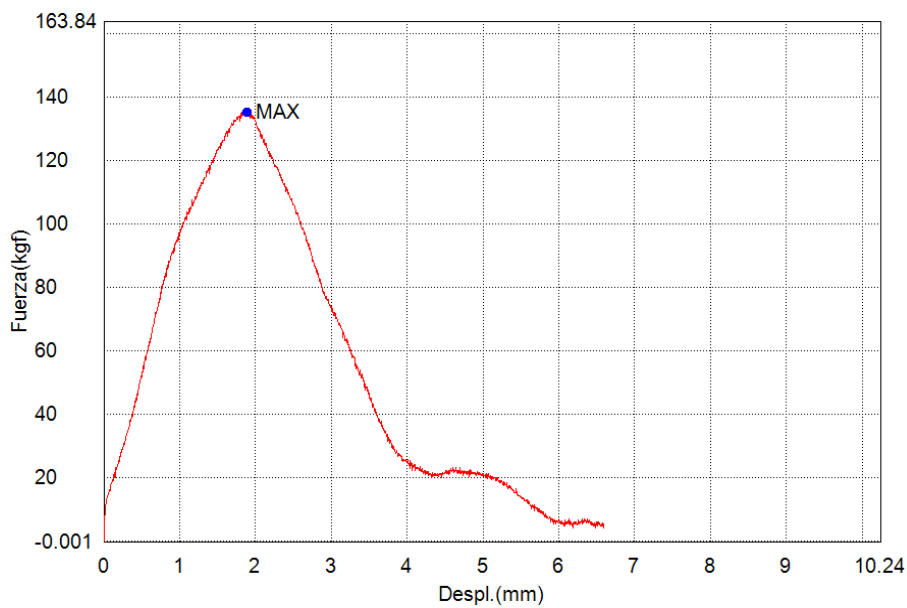
**Fig. 102.** Primera prueba de fuerza máxima soportada de la mezcla Tleamanalli

Podemos observar (fig. 103), la máxima fuerza soportada en la segunda prueba de compresión, donde observamos nuevamente que 145 kg es lo máximo que soporta este material ante la aplicación de fuerzas externas.



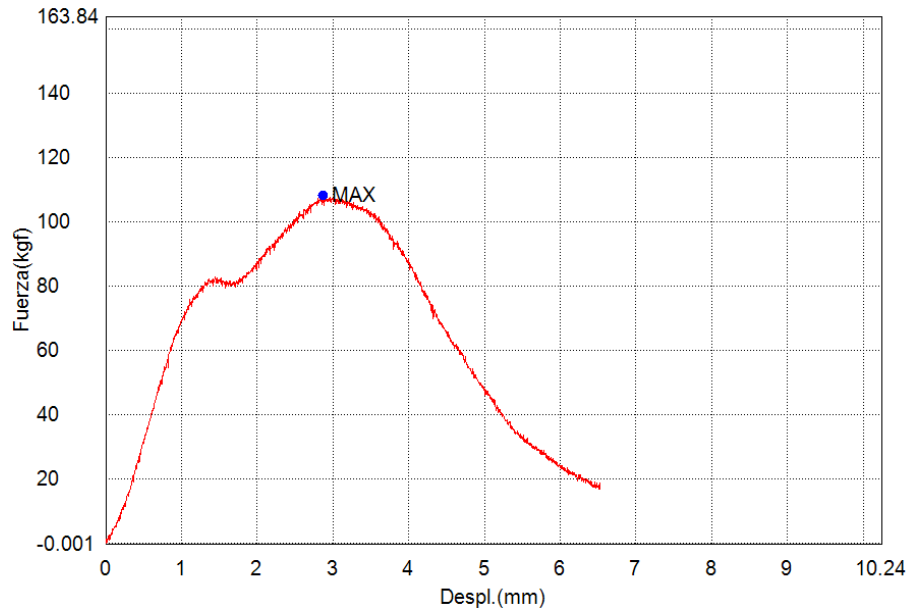
**Fig. 103.** Segunda prueba de fuerza máxima soportada mezcla Tleamanalli

En la tercera gráfica (fig. 104), observamos que la fuerza de quiebre o que el material soporta es de 135 kg, lo que nos indica que ese es el rango que oscila en cuanto al peso soportado y que por ende nos da unos parámetros en los cuales determinamos los intervalos de carga y que nos permite ver con mayor claridad el comportamiento de dicho material ante cargas externas.



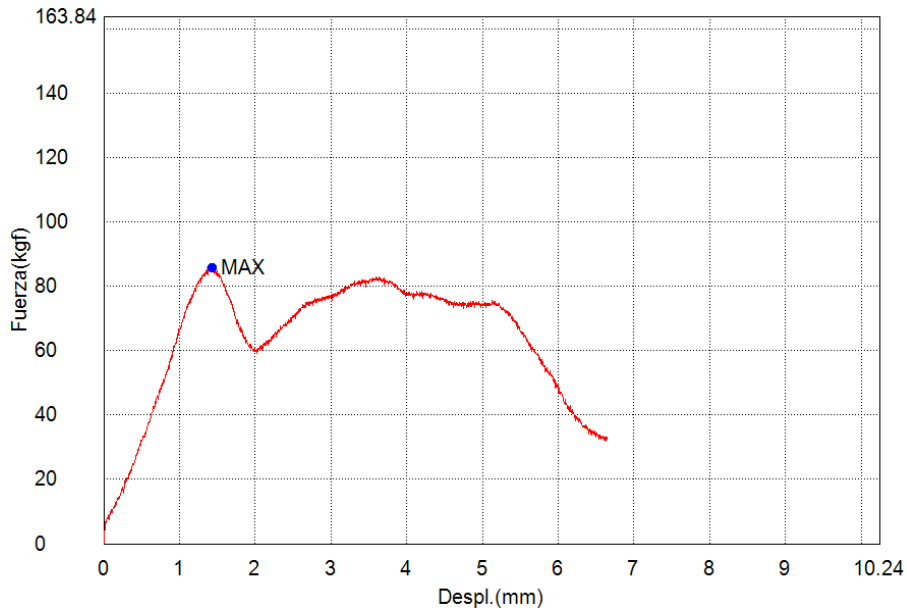
**Fig. 104.** Tercera prueba de fuerza máxima soportada mezcla Tleamanalli

En esta gráfica (fig. 105), observamos que ahora con la mezcla de la estufa Lorena la carga baja considerablemente hasta 105 kg, lo que nos indica que hay una diferencia notable entre las dos mezclas en cuanto al peso soportado, y que se traduce en menor resistencia por parte de la mezcla Lorena.



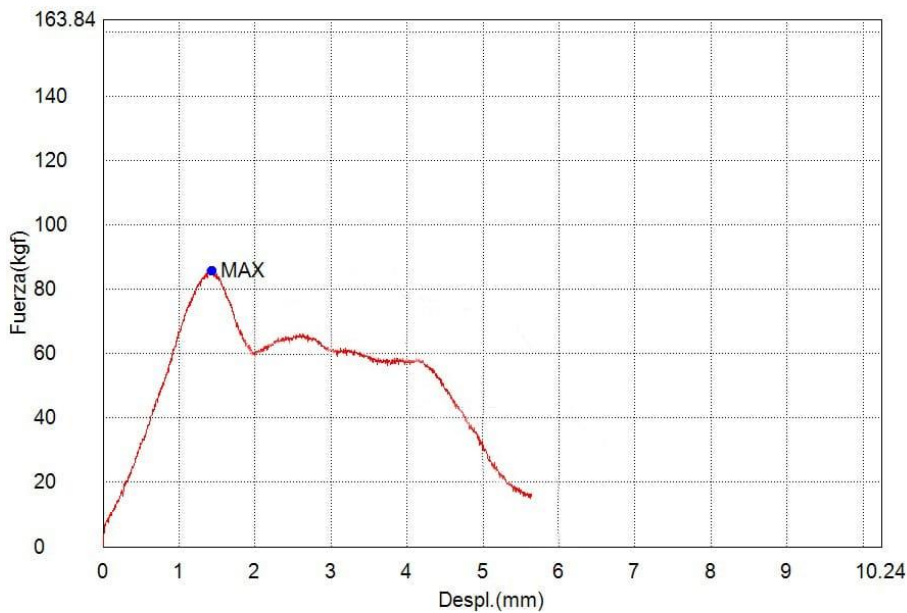
**Fig. 105.** Primera prueba de fuerza máxima soportada mezcla Lorena

La gráfica nos muestra (fig. 106), que en la segunda prueba la fuerza que ahora soporta es de 85 kg, esta diferencia de peso entre la primera prueba y la segunda se debe a las cualidades de los materiales es decir son anisotrópicos por lo que tienen diferentes propiedades en distintas direcciones.



**Fig. 106.** Segunda prueba de fuerza máxima soportada mezcla Lorena

Por ultimo en la prueba final (fig. 107), vemos el comportamiento del material es similar a la prueba dos, por lo que como se menciona dado que son materiales anisotrópicos, hace que tengan variaciones en cuanto a la carga se refiere, pero que al final son aproximaciones de lo que puede soportar dicho material, ya que las características de los materiales dependen de cada zona lo que hace que haya variaciones en cuanto a la carga soportada, pero que sin duda sirven como aproximaciones para ver las cualidades del material a la compresión.



**Fig. 107.** Tercera prueba de fuerza máxima soportada mezcla Lorena

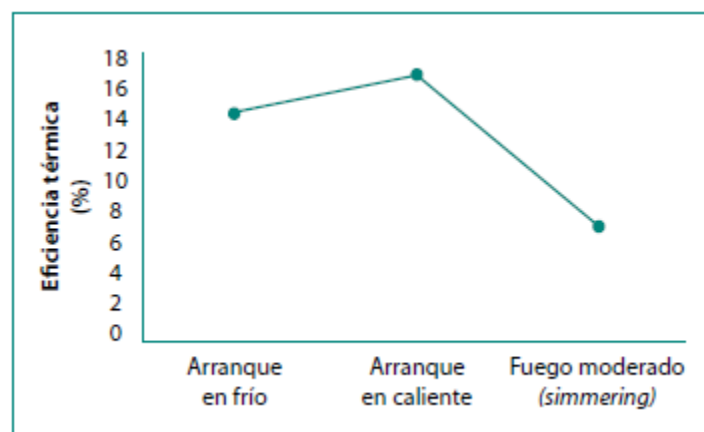
Podemos observar que la mezcla Tleamanalli es mucho más resistente esto debido a que gracias al cemento tiene la propiedad de ser resistente ante la aplicación de fuerzas externas, lo que hace que sea mucho más resistente y logre soportar mucho más peso, en comparación de la mezcla Lorena que al solo tener arena y lodo (tierra), hace que sea mucho menos endeble y se traduce en mucho menor resistencia a la compresión lo que limita su uso, en cuanto al peso soportado se refiere.

### Comparación de resultados con otras estufas de leña

Comparamos el rendimiento de la estufa con el modelo de estufa FN, para comparar resultados y por ende determinar cuales son las cualidades que distinguen a cada una y con base en ello poder sacar conclusiones con base en funcionamiento, rendimiento y también afinidad.

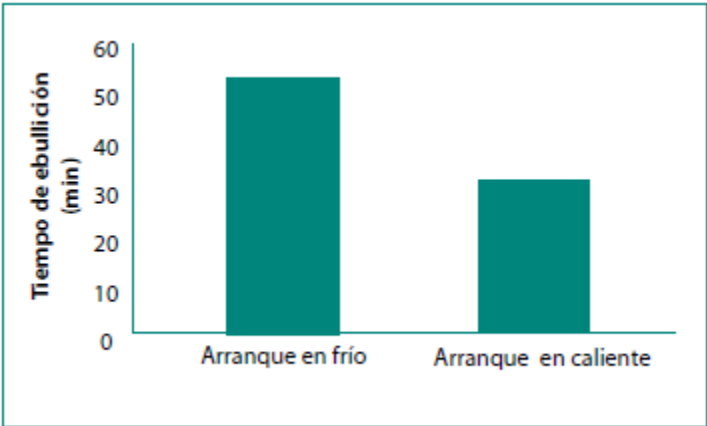
La estufa mejorada FN es un nuevo prototipo de estufade leña diseñado por la Fundación Natura y basada en la estufa ICA-1791 desarrollada en los años ochenta por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) [14].

El parametro que es la eficiencia térmica es el mas importante de la prueba de ebullición del agua (WBT), se define como la fracción de calor producida por el combustible que es transferida al cuerpo receptor (olla). Como se observa en la gráfica (fig. 107), podemos observar claramente la eficiencia donde si lo comparamos con el modelo Tleamanalli, la eficiencia de la estufa FN es inferior al modelo Tleamanalli, ya que los parámetros de eficiencia del modelo Tleamanalli, están por arriba del 24% en sus tres fases mientras que en la FN va desde el 14% y baja hasta un 7%.



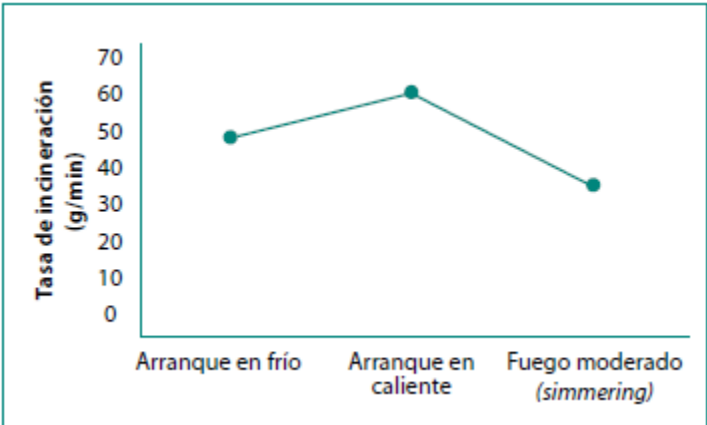
**Fig. 107.** Eficiencia térmica de la estufa de leña FN

Otro parámetro importante a calcular es el tiempo en el cual una estufa tarda en llegar al punto de ebullición, en este caso y para fines de las pruebas y estudio se empleó agua, donde podemos observar que la estufa FN tarda menos en llegar al punto de ebullición del agua (fig. 108), dado que en el modelo Tleamanalli alcanza el punto de ebullición en fase frío en el minuto 58 y en la fase caliente en el minuto 46, por lo que la FN, representará un menor tiempo de espera ya que tiene parámetros de 52 y 36 minutos respectivamente.



**Fig. 108.** Tiempo de ebullición de la fase en frío y caliente de la estufa FN

Por último, la tasa de incineración la cantidad de combustible (leña) consumido por el fuego, por unidad de tiempo, por lo que esto nos permite ver cuántos gramos se están quemando por minuto, por lo que en la siguiente imagen podemos observar (fig. 109), que la tasa es mucho menor, comparada con el modelo Tleamanalli ya que dicho modelo alcanza valores más altos de consumo: 67, 72 y 67 gr/min, en comparación con el modelo FN, por lo que se indica que el modelo Tleamanalli quema más leña que el modelo FN.



**Fig. 109.** Tasa de incineración de las tres fases de ebullición de agua del modelo FN

En el rubro del consumo de leña, y que por ende nos arroja el porcentaje de leña ahorrado podemos ver que ahora se comparó la prueba de Cocción Controlada, donde podemos ver los resultados del modelo de estufa Tlecalli que tiene ahorros dependiendo el tipo de leña pero que va desde el 44.49% hasta el 54.39%, mientras que la Tleamanalli representa ahorros del 33.33%, esto sin duda nos da un parámetro sobre las áreas de mejora de dicha estufa y que nos permitan tener ahorros muchos más significativo.

Tipo de leña	Estufa Tlecalli	
	Guaje	Tehuixtle
Total leña consumida/quemada (Kg)	0.970	0.860
% Leña ahorrada	54.39%	44.49%

**Fig. 110.** Porcentaje de leña ahorrada modelo Tlecalli

Con base en todos estos parámetros donde comparamos podemos ver las distintas ventajas que tiene y hace diferente a cada modelo de estufa , por lo al hacer dichas comparaciones podemos tener parámetros sobre quienes ofrecen mas prestaciones en ciertos rubros de evaluación, donde se busca primordialmente que el modelo Tleamanalli busca ser una alternativa mas de estufas de leña que hay en el mercado, ofreciendo a los usuarios beneficios como los mencionados con anterioridad, y marcar un antes y un después en la comunidad ya que al ser el primer modelo de ecotecnia que se implementa en el municipio permite introducir dichas ecotecnias en las familias y poder ofrecerles una alternativa que les beneficie en términos de salud, comodidad y económicos, dado que los fogones no representan ahorro alguno, nula eficiencia y daños a la salud, por ende el modelo Tleamanalli se presenta como una alternativa dentro del mundo de las ecotecnias.

## **CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES**

La transición hacia las estufas ecológicas representa un gran reto para el país, ya que más allá de los factores económicos y de salud, el tema social es fundamental para entender la

magnitud de las necesidades de la población posible usuaria de estufas de leña o ecológicas, pues en pleno siglo XXI el uso de fogones es mucho más común, esto aunada al diseño de estufas poco funcionales, al proceso administrativo y difusión de programas sociales respecto a la implementación de ecotecnias y de acceso a la información respecto a este tipo de ecotecnologías, lo que resulta en que la brecha sea aún más grande lo que dificulta la difusión, uso sostenido y adopción de tecnologías.

Aún falta mucha labor social por hacer, pero si se involucra a las personas en la fabricación de las estufas específicamente del modelo Tleamanalli, implica un resultado positivo ya que las usuarios se involucran en la problemática y en conjunto se resuelven sus necesidades y se brindan soluciones que se adaptan con su entorno, es decir se busca que con los recursos que se tienen en casa, primordialmente en las comunidades rurales se ataque una problemática, se logra que la familia muestre interés por mejorar su calidad de vida en términos de salud, económicos y ambientales, por lo que el trabajo estrecho entre familia y especialistas en la materia crea un vínculo en cuanto conocimiento integral formando ejes fundamentales con la tecnología propuesta con sentido social, que tengan menor impacto ambiental y beneficien económicamente a las familias a través de la eficiencia energética de la estufa, lográndose disminuir daños en la salud de los usuarios y al ambiente.

Sin duda alguna la implementación de las estufas de leña es un paso hacia el uso de ecotecnologías que involucren a la sociedad de manera activa y se logre crear un vínculo entre estas tecnologías, los usos y costumbres, pues recordemos que dado el entorno en cual se desarrollan las familias, el uso de otros aparatos es nulo ya sea por falta de acceso a servicios o por tradición.

Las estufas de leña representan una alternativa de uso y de mejora en su bienestar, aunando a que el informar e involucrar a la familia en el proceso de construcción nos brinda que se familiaricen con la estufa para mejorar la calidad de vida de las familias usuarias en términos de salud, económicos y ambientales.

### Recomendaciones sobre la estufa de leña Tleamanalli

Con base en la fabricación y construcción que se llevó a cabo en conjunto con la familia en esta investigación, logramos conocer todo el proceso que involucra desde la recolección

de los materiales, la preparación de la mezcla, hasta su construcción, por lo que la metodología que se llevó a cabo fue eficiente en términos de tiempo y elaboración, por lo que recomendamos algunos puntos importantes para evitar posibles fallas o situaciones que pudieran surgir en la construcción de la estufa, o en su defecto acortar los tiempos de construcción. Se recomienda que los materiales para la estufa se consigan con anticipación para prevenir retrasos al momento de la construcción, también el proceso de fraguado de la estufa es porque es el pilar fundamental para que la estufa funcione correctamente, se recomienda dejar reposar de 1 a 2 semanas, esto es subjetivo ya que depende del clima, la humedad de los materiales, por lo que es vital supervisar constante que la estufa no sufra alguna alteración tal como grietas o rupturas en algún ducto, que en caso de ser así, se tiene que reparar de manera inmediata para lograr que se compacte y adhiera lo más posible al material, por esa misma razón se tiene que guardar material para posibles reparaciones y lograr que la estufa no presente ninguna alteración o deformación. Conocer y tener en cuenta la proporción de los materiales, la cantidad que puede variar un poco de acuerdo al material o el punto de vista de la persona, como sugerencia se recomienda que la mezcla esta apta para construir la estufa cuando al ejercer fuerza con la mano sobre una prueba de mezcla, dicha mezcla se hidrate de manera pertinente, esto significa que esta lista y puede utilizarse. Considerar todas las recomendaciones necesarias nos permitirá obtener una estufa de leña Tleamanalli, que representa ventajas de mejora a las familias usuarias en comunidades rurales.

## CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. “Censo de población y vivienda” [en línea] red nacional de metadatos, vol. 2017-2021, 2022, MEX-INEGI.ESD2.01-CPV-2020 <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/contenido.aspx?refnac=211880005> <http://datos.puebla.gob.mx/search/type/dataset> (acceso 1 de marzo de 2023).
- [2] J. A. O. Moreno., O. R. M. Cerutti., & A. F. F Gutiérrez.,. *La ecotecnología en México*, México, D.F., Primera ed., IMAGIA, 2014.
- [3] C. A. S. Mendoza. *Visiones del desarrollo sostenible*. México, Ed. de la U. 2021.  
E. Gudynas. *Ecología, economía y ética del desarrollo sostenible*. Quito, Ecuador, Ed. ABYA- YALA, 2003.
- [4] J. Cremades. *La energía secuestrada: Desmontando los mitos del fundamentalismo energético*. España, Ed. Pearson D.L., 2013.

[5] Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología. *Ecotecnología un marco conceptual*, México, Ed. SEDUE, 1985.

[6] O. Maserá Cerutti, y J.E. Aguillón Martínez. "Un catalizador del desarrollo sustentable". *La bioenergía en México*. Ed. Mundi-Prensa Asociación nacional de Energía Solar, Red Mexicana de Bioenergía, Comisión Nacional Forestal, México, 2006, pp. 93-99.

[7] V. Berrueta. y A. B. Magallanes. "Leña para uso doméstico en comunidades Purépechas de Michoacán": *acceso, utilización e implicaciones sociales. Conocimiento tradicional, innovación y reapropiación social*, A. Argueta, M. Gómez Salazar, J. Navia, Ed. Siglo XXI, México, 2012, pp. 35

[8] N. H. D. Montenegro y Y. N. D. Ruales. *Determinación de un indicador de sostenibilidad para la medición del sistema de aprovechamiento y uso energético eficiente de la madera, en huertos leñeros y estufas ecológicas en la jurisdicción de corpoguavio.*, Ed. U libre, Bogotá, 2015.

[9] R. Vera y M. Aguillón, "Análisis preliminar de transferencia de calor en una estufa lorena", Memorias del XVI congreso internacional anual de la SOMIM. Vol.7 pp. 9 Monterrey, Nuevo León, México, septiembre, 2010.

[10] M.T. Flores Sotelo. *Factores sociales, ambientales y económicos en el ámbito familiar por el uso sostenido de la estufa Tlecalli, en el estado de Morelos, México* [Tesis de Doctorado]. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 2016.

[11] M.T. Flores Sotelo, J.S. Hernández Zepeda, M. Huerta Lara, M. E. Ramos Casellis, A. Argumedo Macías. *Tlecalli mi estufa que ahorra leña: manual de construcción, uso y mantenimiento*. México, Ed. DUDESU-ICUAP. 2019.

[12] J. P. Holman, *Transferencia de Calor*. Compañía Editorial Continental, 1992.

[13] A. Calderón, "Uso y acceso a los recursos forestales en una comunidad indígena. La leña de Amatenango del Valle, Chiapas, México", Tesis de Maestría, El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México, 2001.

[14] J.D. Aristizábal Hernández "Validación y evaluación comparativa de la eficiencia de una estufa de leña mejorada bajo condiciones controladas y prueba de campo", Fundación Natura Colombia, Colombia, Enero - Junio 2014, p12-24

[15] H. Ayuntamiento Tochimilco. Primera Sesión. (2022,01,12) H. con res 1, *Plan de Desarrollo Municipal*. [online]. Disponible: H. A. Tochimilco, Biblioteca: Gobierno Municipal, Archivo: PDM.

- [16] Orozco-Hernández, M. E., Mireles-Lezama, P., Jaimes-Ramírez, S., y Gomora-Lara, B. La experiencia de las estufas ahorradoras de leña en dos comunidades indígenas del Estado de México . *Ambiente y Desarrollo* (2012), 16 (31), 91-105.
- [17] S. L. Malagon , O. R. Maserá, “*Valoración de la adoptabilidad de estufas eficientes de leña en México: una aproximación desde la innovación inclusiva*”, *Caleidoscopio – Revista semestral de ciencias sociales y humanidades* , Vol. 24 , no 43, pp. 77-78, Julio, 2019.
- [18] E. Jaime, “*Vivir a oscuras: La pobreza energética en México*”, *México evalúa* , Ciudad de México, Inf. Tec. Dic 2021.
- [19] ENCEVI, “*Primera encuesta nacional sobre consumo de energéticos en viviendas populares*”, INEGI , Ciudad de México, Inf. Tec. Nov 2018.
- [20] R.D. Jimenez, V.B. Soriano y O.M. Cerutti “*Estufas de leña*”, *Red mexicana de bioenergía* , Ciudad de México, Inf. Tec. Julio 2018.
- [21] A. R. Salvador, “*Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles*”, *Rev.R.Acad.Cienc.Exact.Fís.Nat. (Esp)*, Vol. 104, N.º. 2, pp 331-345, 2010
- [22]N.F. Vázquez, J.M. Acosta, O.M. Aguirre y O.L. Danguillecourt “*Desarrollo y transferencia tecnológica de una estufa ecológica de alta eficiencia y peso ligero*”, *Rev. Pakbal*, Vol. 104, N.º48 pp 13-20, Agosto 2020.
- [23] C.A.G. Bustamante y O.M. Cerutti, *Estado del arte de la bioenergía en México*, Guadalajara: Imagia comunicación ,2016.
- [24] R. G. S. José, “*Combustion y Combustibles*”, 2012.
- [25] «presman,» [En línea]. Available: <https://www.extintorespresman.es/triangulo-del-fuego/>, [Último acceso: 20 02 2023].
- [26] CONACYT-Gobierno del estado de San Luis Potosí , “*Evaluación Integral del Programa de Estufas Ecológicas en San Luis Potosí y Propuesta de Intervención*”, Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica , San Luis Potosi , 2016.
- [27] G.A.D. Burritica y A.J.A López , “*Diseño y construcción de una estufa ecoeficiente para la fundación Kyros*,” Proyecto, Facultad de tecnologías, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, 2016.
- [28] Universidad Católica de Colombia. “*Análisis comparativo de aspectos térmicos y resistencias mecánicas de los materiales y los elementos de la construcción con tierra*” [online]Revista de arquitectura. <https://revistadearquitectura.ucatolica.edu.co/article/view/2348/2980> (acceso 18 de Mayo de 2023)

[29] V.M. Ruiz García, *Evaluación comparativa del desempeño energético, emisiones intramuros y a la atmosfera de diferentes modelos de estufas eficientes de leña*, Ciudad de México: UNAM-Dirección General de Bibliotecas, 2018.

[30] C.P. Olvera, de la Paz, R.D. Sotelo, E.G. Cuacuil. "Aprovechamiento de la madera encino en México," *Red de revistas científicas de américa latina*, vol. 6, pp 3-13, 2000.

[31] Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad . "Quercus rugosa" [en línea]. Disponible:

:[http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info\\_especies/arboles/doctos/31-fagac10m.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/31-fagac10m.pdf)

[32] Clean Cooking Alliance. "Protocols" [en línea]. Disponible: <https://cleancooking.org/research-evidence-learning/standards-testing/protocols/>

[33] *Water Boiling Test (WBT)*, WBT Version 4.2.3, 2014.

[34] *Controlled Cooking Test (CCT)*, CCT Version 2.0, 2004.

[35] J. F. Pérez-Bayer, D. S. Graciano-Bustamante, J. A. Gómez-Betancur. (2013, junio). Caracterización energética y emisiones de una estufa de cocción ecoeficiente con biomasa a diferentes altitudes. *Ingeniería Mecánica*. [en línea]. Vol. 16, (No. 3), p. 227-237. Disponible: <http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu>

[36] Universidad Nacional Autónoma de México. "Gran diccionario náhuatl" [en línea] Disponible: <https://qdn.iib.unam.mx/>

[37] Prueba de ebullición del agua para estufas de biomasa, (WBT 4.2.2)

[38] Prueba de cocción controlada para estufas de biomasa, (CCT 2.0)

[39] B.C. Gonzalez, S.B. Jimenez, J.R. Cruz Aliphat y I.S.C "Estudio comparativo de estufas mejoradas para sustentar un programa de intervención masiva en México," Instituto Nacional de Ecología, Ciudad de México, informe técnico, 2009.

[40] M.M.Espejo, J.A. Sánchez, I.O. Fletes, O.R.L. Ovalle, F.G. Valladolid, P. G. Vázquez y M. A. M. Gallardo, D.C. Santiago y A.M.C. López, "*Programa especial para la seguridad alimentaria*", México: Sagarpa, 2007.

[41] AQ Instruments. "¿Qué es el Perfilado Térmico y cuáles son sus aplicaciones?"

[en línea] Disponible: <https://www.aquateknica.com/que-es-el-perfilado-termico-y-cuales-son-sus-aplicaciones/>

[42] Infinitia Industrial consulting. "Propiedades mecánicas" [en línea] Disponible: <https://www.infinitiaresearch.com/laboratorio-ingenieria-industrial/propiedades-mecanicas/>

[43] J.A. Becerra Duitama, "Propiedades mecánicas de los materiales," Fundación Universitaria Juan de Castellanos, Boyacá, 2014.

[44] J.S. Arrieta, C. B. Sánchez, O. C. Antonio, L. G. Hernández Rangel, y I.M. Ortiz Calderón. "Mecánica de materiales," Universidad Veracruzana: Facultad de ingeniería Civil, Región Poza Rica-Tuxpan, 2010.