



Universidad Nacional Autónoma de México



Facultad de Ingeniería
División de Estudios de Posgrado

**Mejoramiento de la eficiencia de combustión de una estufa de
leña, utilizada en la región purépecha del Estado de Michoacán**

Tesis presentada por: Ing. María Teresa Pacheco Escalona

Director de tesis: Dr. Javier E. Aguillón Martínez

Ciudad Universitaria, Octubre de 2007

Índice

Introducción	3
 1. Antecedentes	
1.1. Fuentes de energía de renovable en México	8
1.2. La biomasa como fuente alternativa de energía en zonas rurales	9
1.3. La producción y uso de la leña con fines energéticos	18
1.4. Contaminación por la deforestación de los bosques	19
1.5. Recursos forestales de la región purépecha en Michoacán	23
1.6. Tipos de estufas en la región Pátzcuaro, Michoacán	25
1.7. Resumen	37
 2. Estudio de combustión y análisis de transferencia de calor en estufas de leña	
2.1. Introducción	40
2.2. Características del combustible leña	40
2.3. Planteamiento de la reacción de combustión en una estufa de leña del tipo <i>lorena</i> de una cámara de combustión dos hornillas	44
2.4. Planteamiento en forma parcial de la transferencia de calor en una estufa de leña del tipo <i>lorena</i> de una cámara de combustión y dos hornillas	50
2.5. Resumen	60
 3. Diseño de pruebas experimentales en estufas de leña	
3.1. Introducción	63
3.2. Descripción del laboratorio de las estufas de leña	63
3.3. Ubicación de las estufas de leña dentro del laboratorio	66
3.4. Instrumentación del laboratorio	67
3.5. Metodología para la realización de las pruebas	70
3.6. Pruebas de laboratorio de las estufas de leña	79
3.7. Mediciones en las estufas de leña del laboratorio	80
3.8. Mediciones en las casas de las comunidades indígenas de la región de estudio (trabajo de campo).....	87
3.9. Resumen	93

4. Resultados experimentales

4.1. Introducción	97
4.2. Resultados de las pruebas de las estufas <i>Lorena</i> de una cámara de combustión dos hornillas	98
4.3. Tablas y gráficas de los resultados obtenidos en las estufas <i>Lorena</i> de una cámara de combustión	111
4.4. Recomendaciones propuestas en función de los resultados obtenidos	112
4.5. Resumen	114

5. La nueva generación de estufas eficientes *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas

5.1. Introducción	117
5.2. Nuevo diseño de estufa de leña <i>Patsari</i>	118
5.3. La caracterización de estufas <i>Patsari</i> de una cámara de combustión dos hornillas	123
5.4. Resultados experimentales en las estufas <i>Patsari</i> de una cámara de combustión dos hornillas	134
5.5 Comparación de los resultados experimentales de las estufas <i>Lorena</i> y <i>Patsari</i> de una cámara de combustión dos hornillas	136
5.6 Resumen	140

6. Conclusiones	143
-----------------------	-----

Nomenclatura	147
--------------------	-----

Anexos.....	150
-------------	-----

Bibliografía.....	180
-------------------	-----

Introducción

Mejoramiento de la eficiencia de combustión en estufas de leña

El uso de la biomasa en México aumenta en importancia por la escasez de combustibles como el petróleo y sus derivados; así como por métodos más modernos para la elaboración y cocción de alimentos. No obstante, en las zonas rurales se emplea la biomasa de forma generalizada.

En estas zonas, los fogones tradicionales se construyen para el uso de leña y muestran una baja eficiencia, la cual oscila entre 1 y 6 por ciento de aprovechamiento del calor de combustión¹, por lo cual es fácil comprender que hay un excesivo gasto de leña, el cual es imposible de mantener sin afectar la ecología del país.

Así mismo, la cocción de alimentos con técnicas ineficientes de combustión de leña resulta en altas tasas de enfermedades respiratorias en mujeres y niños; además de requerir tiempo y esfuerzo significativo por parte de estas personas en la recolección de la leña, lo cual representa una amenaza significativa para los recursos maderables y el balance ecológico que depende de ellos.

En este sentido, se han realizado innumerables esfuerzos para diseñar y distribuir nuevas tecnologías, como son los modelos de “estufas mejoradas” para eliminar, al menos, el humo de las cocinas para que las mujeres y sus familias no se vean afectadas en su salud; sin embargo, no todas las iniciativas han sido exitosas.

En muchos casos, las estufas promovidas no han sido adoptadas por las usuarias debido a un diseño inadecuado y a sus necesidades. En los casos en donde las estufas han sido adoptadas y han logrado disminuir el impacto de humo, los diseños no han permitido la combustión eficiente de la leña y no han

¹ H., Geller y Dutt, Gautam. *Medición de la economía del combustible de cocción leña*. FAO-SIDA; Roma, 1999.

disminuido el impacto de esfuerzo y tiempo requerido para la recolección de la leña.

En la actualidad es importante combinar los conceptos de diseño, combustión y participación activa de las usuarias para lograr que las estufas solucionen realmente los problemas y sean aceptadas. Así mismo, se ha reconocido que no sólo las estufas, sino las técnicas de cocción son de suma importancia para lograr eficiencia en el consumo de la leña.

El uso de la madera como combustible para la manufactura de alimentos es una realidad para una gran cantidad de comunidades rurales. Por esta razón, se han realizado estudios serios y se han expuesto en congresos y reuniones internacionales², en donde uno de los logros es la estandarización de las pruebas de eficiencia, como es el “Estándar internacional provisional de pruebas de eficiencia de estufas para cocinar con combustibles leñosos”, en 1982³. El planteamiento original fue la de reducir la deforestación con las respectivas implicaciones económicas, medio ambientales y sociales.

El aprovechamiento integral de la madera es el camino a seguir de todas las acciones; en este sentido se proponen pruebas y metodologías para llevarlos a cabo como por ejemplo: la ebullición del agua, cocción de alimentos y de funcionamiento de la cocina.

La meta era generar alternativas para el mejor aprovechamiento de la madera. Este planteamiento se enfrentó a problemáticas como los usos y costumbres, en muchos casos ancestrales, y la reticencia de los pobladores en algunos casos para aceptar las pruebas y estudios realizados.

² Baldwin, S. F. *Biomass stove: engineering design, development and dissemination*. Princeton, N. J., Center for Energy and Environmental Studies; 1986; p. 287.

³ Navia Antezana, Jaime. *Manual estándar de pruebas de eficiencias de estufas para cocinar con combustibles leñosos*. GIRA (Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiable); Noviembre, 1987.

El estudio surge de un acuerdo entre el Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropriada A. C. (GIRA) y el Instituto de Ingeniería de la UNAM, los cuales establecieron lo siguiente:

El objetivo de este trabajo es estudiar la estufa de leña *Lorena* de una entrada, con un comal principal y dos hornillas, con el fin de modificar y proponer un nuevo diseño que aumente la eficiencia de combustión y la temperatura en las hornillas secundarias. Esta innovación se denomina "*Patsari*", la cual reduce el consumo de leña y es adoptada en diversas comunidades de la región purépecha del Estado de Michoacán, con lo cual se contribuye a la mitigación del consumo de leña y de enfermedades respiratorias entre las usuarias de dichas estufas.

Este trabajo de investigación presenta, en principio, un panorama general de las energías alternas, utilización e impacto en el medio ambiente, y dentro de esta clasificación, el análisis de la biomasa en la tecnología rural, así como un análisis del empleo de las estufas de leña en México. Posteriormente, se elabora un planteamiento del estudio de combustión y un análisis comparativo de transferencia de calor.

Así mismo, se realizó el acondicionamiento y descripción de un laboratorio para el estudio de las estufas que sirve para la experimentación y práctica en campo; con esto, se obtuvieron resultados y conocimientos, tanto en laboratorio como en campo para establecer parámetros y poder modificar las estufas *Lorena* y dar paso a una con mayor eficiencia (*Patsari*).

Posteriormente, se describen los sistemas de toma de datos en las pruebas de combustión, así como la elaboración de diferentes tablas de registro de lectura; y se describe la metodología para el estudio de combustión de las estufas de leña y los parámetros a medir.

Los resultados obtenidos de las pruebas, tanto en laboratorio como en campo, proponen una serie de modificaciones a la estufa de más demanda en la región de estudio (*Lorena* de una cámara de combustión y dos hornillas), lo cual da

origen al desarrollo de un nuevo diseño de estufas de leña, (las *Patsari*, que en purépecha significa “la que guarda”), las cuales aumentan la eficiencia de combustión y reducen consecuentemente la emisión de gases de efecto invernadero en los humos.

Por último, se concluyen las aportaciones de este trabajo, las cuales establecen un nuevo camino en la mejora de eficiencia global de las estufas de leña y en la solución de diversos problemas que se producen al cocinar con leña en las comunidades rurales de nuestro país.

1. Antecedentes

Desde sus orígenes, la humanidad ha necesitado de las fuentes de energía para poder habitar la tierra, para combatir las inclemencias del tiempo, para comer o para transportarse. Debido a esta necesidad y cotidianidad de alguna de ellas, y por estar al alcance de la mano, no se ha tenido el suficiente cuidado en conservarlas o en administrarlas, ya que al fin y al cabo ha existido gran disponibilidad de ellas.

Las civilizaciones evolucionaron y demandaron mayor cantidad de recursos energéticos. En general, la energía se destinó en mayor cantidad a los procesos productivos y a la generación de satisfactores para la sociedad. Sin embargo, el dispendio siguió debido a la gran abundancia de estos recursos, los cuales parecían inextinguibles.

La escasez de los recursos naturales en algunos lugares y la abundancia en otros, ha traído conflagraciones internacionales y la dominación de los países que querían, y que aún quieren, apoderarse de los recursos energéticos como el petróleo, yacimientos nucleares y en especial de los recursos no renovables es cada vez más intensa, sin importar el bienestar de la sociedad ni las consecuencias que puedan acarrear; en este sentido, lo importante es poseerlos para tener el dominio a través del poder económico del mundo.

Este escenario propicia que las sociedades desarrollen preferentemente fuentes alternativas de energía a partir de recursos renovables, en un principio como subsistencia y en la actualidad como una necesidad presente y futura, con una clara tendencia social y con un profundo respeto al medio ambiente, el cual prácticamente no se tomaba en cuenta en el pasado, salvo raras excepciones de grupos autóctonos de diversas partes del mundo, los cuales, por ideología y convicciones, siempre han respetado a la naturaleza.

El caso de México es un ejemplo de dispendio y de una inadecuada planeación de los recursos petroleros; este recurso energético se utiliza para solventar problemas económicos en las recurrentes crisis económicas y se ha sobre

explotado. Por lo cual, en los próximos diez años la crisis petrolera podría ser una realidad, con las consecuencias sociales y económicas para una nación que necesita crecer.

El petróleo es la fuente de energía más utilizada en todo el mundo, por esta razón cualquier cambio en el suministro o precio del energético provoca que las economías de los países consumidores se vean afectadas; en consecuencia, la generación de fuentes alternativas viables y económicamente factibles reduciría estos impactos y se podrían enfrentar con menores perjuicios para las naciones.

El replanteamiento sobre la importancia de las energías renovables para generar sistemas sustentables es inevitable. Actualmente, las tecnologías de aprovechamiento de recursos renovables se trabajan y maduran, aumentando la confiabilidad y rentabilidad en muchas de sus aplicaciones.

En el caso de México, el panorama es promisorio por la gran cantidad de recursos energéticos renovables con los que se cuenta, con adecuadas investigaciones y una planeación bien definida se permitirá la ampliación de los recursos de este tipo, sin el deterioro ambiental que provocan las fuentes convencionales de energía.

Así mismo, se analizará la región de estudio en cuanto a sus recursos forestales, mejoras para encausar una utilización eficiente del combustible y un impacto menor al medio ambiente.

1.1. Fuentes de energía renovables en México

México cuenta con una gama de energías alternativas para su explotación con niveles de eficiencia y costos aceptables, aunque también es necesario reconocer que existen problemas de utilización en algunos de ellos, como es el caso de las grandes extensiones de terreno necesarias y por lo regular se encuentran en sitios apartados de donde se necesitan.

En México existen varias fuentes de energía renovables que se explotan con éxito, aunque su aporte es todavía incipiente y forman parte del acervo energético del país.

A continuación se describen algunas de las fuentes de energía alterna que ya son parte del uso de algunos mexicanos.

1.1.1 Energía solar

La posición geográfica del país ayuda a que este tipo de energía sea la de mayor potencialidad en sus diferentes formas de aprovechamiento. La energía solar se aprovecha a través de colectores planos expuestos a la radiación y la transmisión del calor a un fluido. El uso más común es para calentar hasta 75 grados centígrados.

Otra forma de aprovechamiento es mediante sistema solares de concentración. Este tipo de sistemas se integran de dispositivos diversos, como los seguidores solares que permiten conservar durante el día la línea de incidencia. Los sistemas de este tipo pueden alcanzar cientos y, en algunos casos, miles de grados centígrados¹.

1.1.2 Energía fotovoltaica

El aprovechamiento de este tipo de energía se basa en celdas solares, las cuales se fabrican con Silicio que al añadirle pequeñas cantidades de Fósforo y Boro se obtienen propiedades eléctricas en presencia de la luz solar.

La utilización de este tipo de sistemas requiere de baterías para almacenar la energía producida en el día. Actualmente, se fabrican sistemas fotovoltaicos que se conectan directamente a la red eléctrica nacional.

¹ Almaza Salgado, Rafael. Muñoz Gutiérrez, Felipe. *Ingeniería de la energía solar*. Ed. Colegio Nacional; 1999.

1.1.3 Energía eólica

Se considera que aproximadamente el 2 por ciento del calor del sol que llega a la Tierra se convierte en viento, el aprovechamiento de este tipo de energía es compleja debido a que las grandes corrientes de aire se presentan a gran altura o en los océanos (mar adentro); otra limitación es la velocidad del aire requerida por las máquinas, la cual oscila entre los 5 y 12.5 m/seg y con la condición de que ésta también debe ser regular².

1.1.4 Biomasa

La biomasa es la fuente de energía que esta investigación aborda, por lo cual se trata con mayor detenimiento.

En la actualidad no se tiene una evaluación precisa del universo de posibilidades de este tipo de recursos, pero se considera que hay un amplio potencial de aprovechamiento de las diversas formas de biomasa, por ejemplo: el bagazo de caña y la leña.

En las comunidades rurales, principal medio donde se desarrolla la presente investigación, se estima que un 75 por ciento de la población se provee de energía por medio de la biomasa, en específico de la leña, la cual se utiliza para producir calor y con mayor importancia para cocinar alimentos³.

El uso de la leña necesita regularse y tener una normatividad muy especial para no producir efectos ecológicos que provoquen el incremento de las malas condiciones ambientales con que cuentan algunas regiones del planeta.

La biomasa se puede definir como toda materia orgánica de origen vegetal o animal, la cual incluye también recursos precedentes de sus transformaciones,

² Baens, F. A., Estrada, C. A. y Cabanillas, R. E. *Análisis térmico de la planta de potencia termosolar de 30 kWe*. Reunión Nacional de Energía solar. Octubre, 1999, Colima; p. 300.

³ Masera, Omar Raúl. *Socioeconomic and environmental implications of fuelwood use dynamics and fuel switching in rural Mexico*. Tesis doctoral; University of California, at Berkeley.

ya sean de carácter natural o artificial. Una primera clasificación es la siguiente⁴:

- Biomasa natural. Se produce a través de la naturaleza sin intervención del hombre.
- Biomasa residual. Se genera a partir de cualquier actividad humana; por ejemplo, basura y aguas residuales.
- Biomasa producida. Se produce con el objeto de obtener biomasa transformable en combustible.

La biomasa, desde el punto de vista energético, se aprovecha de dos formas: quemándola para producir calor o transformándola en combustible para una mejor utilización y almacenaje. El aprovechamiento de la biomasa con fines energéticos requiere de una transformación para utilizarla en sistemas convencionales. Los procesos con los que se puede adecuar a la biomasa son entre otros:

- Físicos. Se asocian a las fases primarias de transformación como el triturado, astillado, compactado y secado.
- Químicos. Son procesos relacionados con la digestión química, generalmente se realizan mediante hidrólisis, pirolisis y gasificación.
- Biológicos. Se debe a la acción directa de microorganismos o de enzimas que generalmente provocan una fermentación. Este tipo de procesos se relacionan con la producción de ácidos, alcoholes, cetonas y polímeros.
- Termoquímicos. Se basan en la transformación de la biomasa a altas temperaturas (de 300 a 1 500 grados centígrados), obteniéndose productos finales.

⁴ Martínez, A. M. *Estado actual y perspectivas del aprovechamiento energético de la biomasa*. IIE; Memorias del evento: Discusión y análisis en fuentes de energía alterna a las convencionales. (1al 2 de agosto, 1999), SEMIP; 2000.

Los combustibles que se producen a partir de la biomasa se clasifican en:

- Sólidos, como leña, astillas, carbón vegetal.
- Líquidos, como aceite, alcohol, cetonas y ácidos orgánicos, entre otros.
- Gaseosos, como biogás, gas de síntesis y el hidrógeno.

Algunos ejemplos representativos de combustibles a partir de la biomasa son los siguientes⁵:

- La leña es la forma más común de biocombustible sólido es la leña, la cual cubre en la actualidad el 50 por ciento de las necesidades energéticas en los países en vías de desarrollo. Es tan importante el uso de la leña como energético que existen plantaciones de árboles de rápido crecimiento (como el eucalipto que tiene el propósito de producir madera para combustible).
- El alcohol y etanol son ejemplos de combustible que se produce por el proceso de fermentación, los cuales pueden ser usados como sustitutos de la gasolina.
- El biogás en rellenos sanitarios. Los rellenos de este tipo contienen una gran proporción de desechos orgánicos húmedos, lo cual favorece la proliferación de bacterias anaeróbicas que al digerir a los desechos orgánicos producen metano y bióxido de carbono.
- El bioetanol y biodiesel. El primero es un producto químico obtenido a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en los productos vegetales (cereales, remolacha, caña de azúcar o biomasa); el segundo es un biocarburante líquido producido a partir de los aceites vegetales y grasas animales (el girasol y la soja son las materias primas más utilizadas para este fin).

Las aplicaciones específicas de las energías renovables pueden ser de carácter térmico, mecánico o eléctrico y ser útiles para muchos propósitos, entre otros⁶:

⁵ Goldemberg, J. *Madera para energía y perspectivas energéticas*. IX Congreso Forestal Mundial; México; 1985; 28 pp.

- En los hogares:
 - Generan electricidad (eólica y fotoceldas)
 - Calientan agua (colectores solares planos)
 - Cocción de alimentos (biomasa, estufas solares y de leña)

- En la industria:
 - Generación de electricidad (eólica, fotoceldas)
 - Precalentamiento de agua y otros fluidos (colectores solares planos y de concentración)
 - Procesamiento de alimentos (colectores solares planos y de concentración)

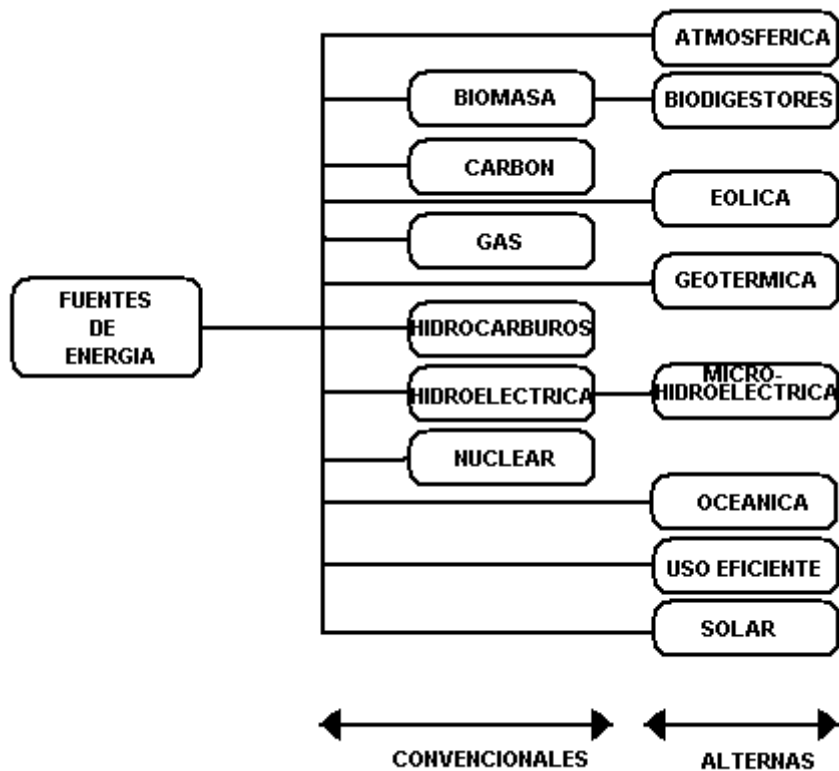
- En comunicaciones y transportes:
 - Señalización de carreteras (fotoceldas)
 - Sistemas de telecomunicaciones como: estaciones repetidoras de microondas, sistemas de telefonía aislada, sistemas de redes, sistemas portátiles de comunicación (fotoceldas)
 - Utilización de biocombustible a base de alcohol para el transporte (biomasa)
 - Pequeños vehículos solares e híbridos (fotoceldas)

- En la agricultura, ganadería y pesca:
 - Bombeo de agua para riego (eólica, fotoceldas)
 - Secado de granos, hierbas, pescado y en general de productos perecederos (calentadores solares)
 - Sistemas de desalinización y purificación de agua (calentadores solares)

El siguiente esquema presenta la clasificación de diferentes fuentes de energía (véase esquema 1.1):

⁶ Masera, Omar; Masera, Diego y Navia, Jaime. *Dinámica y uso de los recursos forestales de la región Purépecha. El Papel de las pequeñas empresas artesanales*. GIRA (Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropriada); 1999.

Esquema 1.1 Clasificación de energéticos.



Fuente: Avances y perspectivas. Revista Cinvestav⁷.

No se puede eludir el impacto ambiental que pueden ocasionar las fuentes no renovables y renovables en el cambio climático, el deterioro de la capa de ozono y el fallecimiento de seres humanos debido a las malas condiciones ambientales. Este argumento es de suma importancia ya que es una de las principales motivaciones en la elaboración de este trabajo de investigación.

En cuanto a los peligros del medio ambiente sobre la salud del ser humano se agrupan en:

⁷ "Avances y perspectivas". Revista Cinvestav; enero-febrero, 2000.

- Peligros tradicionales. Son los relacionados con la pobreza y la falta de desarrollo, falta de agua segura, escaso saneamiento y la eliminación de desechos que provocan contaminación atmosférica.
- Peligros modernos. Causados fundamentalmente por un desarrollo carente de medidas preventivas en rubros como contaminación atmosférica urbana, exposición a productos químicos y desechos agroindustriales.

Las tendencias futuras indican que la rápida urbanización y la incontrolada expansión de sitios con baja calidad de servicios cambian los problemas medioambientales de la salud y plantean nuevos retos. La “doble carga” aumenta para los habitantes urbanos y semiurbanos, agregando peligros causados por el transporte moderno y la contaminación industrial, además de los causados por las exposiciones provenientes de combustibles sucios para cocinar, estufas primitivas, hacinamiento y escaso acceso al agua y al saneamiento redondean el panorama de una gran parte de la población del mundo.

La solución es una mejor infraestructura y mejores servicios energéticos en los hogares y en las comunidades. Este hecho implica la toma de conciencia de todos los países del mundo sobre el problema, el cual es de todos y que convenios como el de Kyoto, donde cada parte asume su responsabilidad, son necesarios para frenar el deterioro ambiental.

Al respecto, se señalan los conceptos de la investigadora Cecilia Conde, integrante del *Panel Intergubernamental para el Cambio Climático*, que reúne especialistas de todo el mundo.

La investigadora señala que *“para México y el resto de las naciones en desarrollo se abre la oportunidad de proponer proyectos bien diseñados y aprobados por la ONU, para caminar hacia una sola dirección; estabilizar las concentraciones en la atmósfera para prevenir una posible interferencia antropogénica peligrosa en el sistema climático.”*

“Una Nación desarrollada le puede costar mucho bajar sus emisiones por lo que, en lugar de ello, tienen la opción de cooperar con países como el nuestro, para emprender acciones de conservación y restauración ambiental o de mejora industrial y disminuir así determinado número de toneladas de Bióxido de Carbono.

“Las naciones deben mejorar el uso, eficiencia y distribución de agua y energía, impulsar cultivos alternativos, reforestar y, en general, reeducar a sus poblaciones, de modo a que nos preparemos para un cambio climático eminente. La nuestra, en específico, tiene grandes posibilidades de aprovechamiento de energía eólica y solar; agregamos que la biomasa es también una clara opción energética”⁸.

Considero oportuno mencionar el compromiso de la Ingeniería ante la problemática planteada, para tal motivo se retoma lo expresado por el investigador del Instituto de Ingeniería de la UNAM, Adalberto Noyola, el cual manifiesta: *“El ingeniero tiene la particularidad de que al ejecutar obras, desarrollar procesos transformadores y producir bienes de consumo, incide directamente, para bien o para mal, en el equilibrio natural del entorno.*

“Desgraciadamente, el ingeniero está lejos de ser infalible y frecuentemente se ha equivocado al aplicar soluciones parciales y puntuales, olvidando las múltiples facetas de los sistemas que modifica y sus interacciones.

“Deben involucrarse y trabajar con grupos multidisciplinarios, pues es ese esquema el único que puede resultar en proyectos adecuados sustentables, que muchos años después permanezcan operando para todos los fines que fueron creados. Tienen además rigor técnico y creatividad para plantear las mejores opciones, aquellas que minimicen el impacto y maximicen los beneficios”⁹.

⁸ Gaceta UNAM, Ciudad Universitaria; en Academia, número 3 788; febrero, 2005; p. 8.

⁹Op. cit.; Academia; p. 9

Conceptos que comparto plenamente y que a lo largo del presente trabajo de tesis quedarán de manifiesto.

1.2 La biomasa como fuente alternativa de energía en las zonas rurales

Las zonas rurales en México abarcan una gran extensión del territorio y son tradicionalmente las zonas más marginadas en el ámbito económico y tecnológico. En general, la población rural cultiva tierras de temporal con una agricultura de subsistencia y con la cual no cubren todas sus necesidades, en consecuencia se genera un fenómeno de migración a los Estados Unidos de Norteamérica, principalmente.

El conjunto de estas problemáticas explica en gran medida por qué el mayor aprovechamiento de la biomasa, en estas regiones, sea la leña, la cual se utiliza como combustible para cocinar alimentos y proporcionar calor a los habitantes de estas comunidades.

La cocción de alimentos se realiza con estufas que tienen como combustible la leña; este tipo de equipos, por lo regular, son contruidos por los mismos campesinos, que en muchos casos no cuentan con los recursos financieros y técnicos para la fabricación de las mismas, lo cual trae como consecuencia que este tipo de estufas sean altamente ineficientes y provoque altas pérdidas de energía, grandes emisiones de gases tóxicos, producto de una inadecuada combustión, deteriore el medio ambiente y la salud de los habitantes al interior de las casas.

La solución a corto y mediano plazo es el estudio y la investigación en las llamadas “*tecnologías apropiadas*”, las cuales implican a las estufas mejoradas. Para aprovechar de una manera óptima todos los resultados por los investigadores, es necesario contar con políticas públicas que contribuyan a cambiar las preferencias de los consumidores rurales hacia las tecnologías más económicas y ambientalmente limpias. Las estufas mejoradas de biomasa son la opción más efectiva a corto y mediano plazo, pero es necesario un importante trabajo de investigación para mejorar el rendimiento.

En cambio, en el largo plazo, el uso de combustibles líquidos de alta calidad y del gas se vislumbra como lo más viable. El combustible líquido o gaseoso derivados de la biomasa como el etanol, biogás y el gas de síntesis, entre otros, pueden ser factibles en estas regiones.

Una preocupación es el combustible que genera la leña porque podría pensarse en una posible deforestación. Recientes investigaciones han demostrado que las causas principales de la deforestación son la tala comercial y la conversión de bosques a campos agrícolas. Por ello, contribuir a que las condiciones de vida de las comunidades rurales sean integralmente mejores, es una de las motivaciones de la presente investigación.

1.3 La producción y uso de la leña con fines energéticos

La crisis petrolera de 1974 inició en todo el mundo un proceso cada vez más intenso de investigación y análisis sobre el uso de la biomasa para fines energéticos, destacando la importancia global de estos estudios sobre el tema.

Como se ha comentado, la leña es uno de los combustibles de biomasa más socorridos ya que es utilizado en diversas actividades como cocinar y calentar alimentos, entre otros. El uso de la leña acarrea daños serios a la salud al usarla inadecuadamente y en lugares con poca ventilación; sin embargo, es una costumbre y en algunos casos es una tradición ancestral.

Los combustibles de madera, a pesar de ser utilizados por buena parte de las poblaciones rurales y ser una de las fuentes energéticas más importantes, son los menos estudiados ya que son poco representativos en las estadísticas nacionales, carente de marcos legales y normativos adecuados, ausente en las políticas de inversión y desarrollo; y por lo tanto, al margen de la economía formal.

Para permitir un mejor uso de la leña y los residuos forestales como energético, se deben emprender acciones al más alto nivel gubernamental, como lo es:

- Mejorar el conocimiento de los recursos disponibles y de su utilización por medio de estadísticas completas y específicas, con el fin de promover el uso y garantizar la continuidad de las explotaciones y la preservación ambiental.
- Difundir las tecnologías más adecuadas para la conversión de la biomasa forestal en energía.
- Instrumentar regulaciones para reducir la disposición incontrolada de los recursos de explotación e industrialización forestal e impulsar el uso energético de éstos en todos los casos que sea factible.
- Establecer canales de financiamiento que faciliten el establecimiento de las instalaciones para el aprovechamiento de este tipo de energía.
- Interesar a las Cámaras y cooperativas del sector forestal y energético rural en el tema de la generación de electricidad a partir de recursos forestales con especial énfasis en los beneficios que se derivan de la utilización eficiente de estos recursos.

Estas y otras medidas, estudios e investigaciones darán como resultado el poder acceder a una fuente renovable de energía más segura y eficiente, de fácil acceso a la población, además de lograr costos adecuados para las poblaciones de menores ingresos.

La producción nacional de leña que se presenta a continuación es proporcionada por La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, (Semarnat), la cual registra información de la producción de leña consignada en los programas de manejo forestal autorizados a comunidades, ejidos y propietarios de áreas forestales del país, para el aprovechamiento de sus recursos.

Los programas de manejo forestal consideran la producción con fines de comercialización, razón por la cual los aprovechamientos de leña para uso doméstico no son registrados.

Tabla 1.2 Producción Nacional de leña bajo programas de manejo.

Entidad	Bosques	Selvas	Plantaciones	Total
Aguascalientes	17,891	0,000	0,000	17,891
Baja California	56,796	0,000	0,000	56,796
Baja California Sur	6,15	69,518	0,000	76,233
Campeche	0,000	1,336,604	1,839	1,338,442
Coahuila	89,911	0,390	0,000	90,300
Colima	20,851	93,566	0,000	114,417
Chiapas	927,860	1,652,304	8,183	2,588,347
Chihuahua	1,791,170	74,271	12,104	1877,545
Distrito Federal	73,397	0,142	2,769	76,308
Durango	1,873,296	73,273	0,000	1,946,569
Guanajuato	48,198	2,424	1,063	51,585
Guerrero	1,415,065	572,239	0,000	1,987,304
Hidalgo	111,392	76,676	0,000	188,069
Jalisco	1,235,319	346,948	2,472	1,584,740
México	355,477	24,637	7,502	387,616
Michoacán	1,643,282	382,369	17,643	2,043,294
Morelos	24,069	18,265	0,000	42,334
Nayarit	447,026	216,912	26,710	690,648
Nuevo León	83,110	0,000	0,000	83,110
Oaxaca	1,098,853	1,009,637	19,181	2,127,671
Puebla	199,461	77,139	0,000	276,600
Querétaro	58,852	14,371	0,000	73,223
Quintana Roo	0,000	1,858,724	0,000	1,858,724
San Luis Potosí	164,623	199,991	0,000	364,615
Sinaloa	301,074	595,178	0,000	896,252
Sonora	382,020	433,184	23,206	838,410
Tabasco	0,000	158,731	44,391	203,122
Tamaulipas	106,100	376,428	0,000	482,529
Tlaxcala	33,742	0,000	0,000	33,742
Veracruz	409,643	624,964	15,476	1,050,082
Yucatán	0,000	776,121	0,000	776,121
Zacatecas	263,175	27,775	0,000	290,950
Total nacional	13,232,268	11,092,781	182,538	24,513,690

Fuente: Estimaciones propias con información derivada
del Inventario Nacional Forestal, 2000. (Semarnat)

La información de la Tabla 1.2 corresponde a la producción de madera en los diferentes Estados de la República Mexicana en bosques selvas y plantaciones, al final de la tabla se expresan los totales de la producción de madera en toneladas.

- **El consumo de leña en México**

Los datos obtenidos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, (INEGI), en cuanto al consumo de leña en el país, muestran una caída del 0.6 por ciento aproximadamente y el número de usuarios se considera que baja en el orden de los 40 puntos porcentuales. Sin embargo, estos datos no se consideran correctos por las siguientes razones:

- No se toma en cuenta a los usuarios mixtos que usan leña-gas, petróleo-gas y, en algunos casos, leña-electricidad.
- Los responsables de las acciones *dendroenergéticas* en las delegaciones forestales de la Semarnat opinan que no hay la suficiente difusión y aplicación de las alternativas técnicas y económicas, principalmente por falta de recursos.

Actualmente, con los datos disponibles se considera que el consumo de leña en el país es aproximadamente de 21 millones de toneladas/año, equivalente a 29 millones de m³/año.

Para solucionar la problemática planteada, es necesario impulsar programas para el mejoramiento del uso de la leña como la promoción de estufas rurales y favorecer las plantaciones forestales con fines *dendroenergéticos*.

De acuerdo con lo anterior, se debe pensar en la formación de grupos de estudio multidisciplinario que integren al sector público, universidades, población usuaria, sociólogos, economistas que signifiquen un aporte en opciones y soluciones al uso racional y eficiente de la leña.

1.4. Contaminación por la deforestación de bosques

La formación de bióxido y monóxido de carbono debido a una mala combustión es una de las problemáticas a resolver en el uso de la leña. Si la combustión de la leña es completa, todo el carbón se transforma en CO_2 y debido a que los árboles y plantas en continuo crecimiento capturan el CO_2 de la atmósfera, se puede considerar que al utilizar la leña en forma sostenible el aporte de CO_2 a la atmósfera es prácticamente no considerable.

En una combustión incompleta, la formación de monóxido de carbono es inevitable, siendo este gas mucho más nocivo que el CO_2 y el efecto fotosintético no lo elimina. La presente investigación aborda el estudio de combustión en estufas de leña y trata de aportar experiencias y datos que hagan más eficientes estos equipos al eliminar al máximo la formación de CO_2 .

Existen fundamentalmente varias razones por las cuales la combustión de la leña puede ser defectuosa; se mencionan las dos que se presentan más comúnmente:

- Cuando la entrada del aire es inadecuada y al realizar la combustión no hay suficiente oxígeno para transformar todo el carbono en CO_2 . El diseño inadecuado, la falta de ventilación y la sobrecarga del combustible pueden ser las causas que provoquen la combustión incompleta.
- La alta humedad de la leña hace que la temperatura de combustión no sea lo suficientemente elevada para completar las reacciones químicas.

El CO_2 es el principal gas invernadero responsable del cambio climático y participa entre el 55 y 74.2 por ciento, según diversos cálculos¹⁰. Al contribuir también a la descomposición del ozono, los combustibles fósiles son los causantes de dos fenómenos de impacto ambiental global que interactúan: el

¹⁰ Torres Rojo, Juan Manuel; Guevara Sanginés, Alejandro. *El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico*; Gaceta Ecológica, número 63; Instituto Nacional de Ecología; 2000.

efecto invernadero y el adelgazamiento de la capa de ozono. El primero provocará cambios en la temperatura, elevación de los mares y la afectación en todo el planeta; el segundo aumenta el paso de los rayos ultravioletas, con efectos múltiples en la salud, la economía y la naturaleza del orbe. Las medidas adoptadas no responden a la magnitud de los problemas ambientales.

Detrás de la respuesta inapropiada que dan las potencias a la degradación ambiental, cuando son las principales causantes de ella y de su resistencia a impulsar un desarrollo sustentable, están los intereses geoeconómicos y políticos de sus gobiernos y corporaciones transnacionales que se disputan el dominio mundial.

En cambio, algunos países del mundo se han solidarizado con el Convenio de Kyoto, y en la actualidad se trabaja en acciones a mediano y largo plazo. Se espera que realmente exista el compromiso de las naciones para cumplir con los acuerdos y propuestas, sobre todo en el logro del impulso a la investigación para buscar soluciones que ayuden al mundo a sortear esta grave problemática.

El potencial de captura de carbono está ligado al potencial de formación de biomasa, por lo que las regiones donde resultan altos rendimientos de biomasa son las zonas de mayor potencial de captura de carbono. Para México, estas áreas se localizan a lo largo de las llanuras costeras y en el sureste, donde se registran los mayores rendimientos de biomasa.

- **Proyectos de captura de carbono**

Trexler y Haugen¹¹ estimaron que en México existen alrededor de 4.6 millones de hectáreas con potencial para diferentes alternativas de cultivo forestal o agroforestal con alta producción de carbono, cuyo potencial de captura varía entre 33.3 y 113.4 millones de toneladas de carbono. En su opinión, existe adicionalmente 1 millón de hectáreas potenciales para el desarrollo de

¹¹ Trexler, M. C.; Haugen, C.; *Keeping it green: tropical forestry opportunities for mitigating climate change*. World Resources Institute Washington; Washington, D. C.; WRI.; 2000. p. 15.

plantaciones forestales, con una viabilidad entre 30.7 y 85.5 millones de toneladas. Los autores estiman que en México existen 30 millones de hectáreas de áreas arboladas con regeneración natural y con posibilidades de capturar 1 038 y 3 090 millones de toneladas de carbono¹².

Otra alternativa para conservar los bancos de carbono (depositado en el suelo y vegetación) y evitar que el CO₂ regrese a la atmósfera es no permitir la deforestación. Trexler y Haugen estiman que alrededor de 6.1 millones de hectáreas de bosques y selvas (con un potencial de captura de 348.3 a 714.9 millones de toneladas) podrían salvarse antes del 2040, si se toman las medidas adecuadas de manejo silvícola que diversifiquen los bienes y servicios que se obtienen del bosque.

En suma, si se tiene un control adecuado del consumo de biomasa (leña) y los estudios se amplían, como la presente investigación que busca la eficiencia de los convertidores de biomasa (estufas de leña), México tiene un gran potencial para la producción de servicios ambientales y por consiguiente la disminución de las emisiones contaminantes.

1.5 Recursos forestales de la región purépecha en Michoacán

Uno de los aprovechamientos más usuales de la biomasa es la leña, la cual es utilizada para la elaboración de alimentos de las familias suburbanas y rurales. Este combustible (en el ámbito internacional) cubre las necesidades familiares en un 50 por ciento, cantidad que en nuestro país es muy semejante¹³.

En México, el uso de la leña como combustible es muy alto, y se puede confirmar que la gran mayoría de las poblaciones rurales la utilizan con ese fin, ya que es una costumbre muy arraigada en la tradición mexicana.

¹² Jung, Martina. *The role of forestry sinks in the CDM. "Analysing the effects of policy decisions on the carbon market"*. Hamburgisches Welt-wirtschafts-Archiv.; Hamburg Institute of International Economics. Discussion paper 241. 2003.

¹³ Masera, Omar; Masera, Diego y Navia, Jaime. *Op. Cit.*

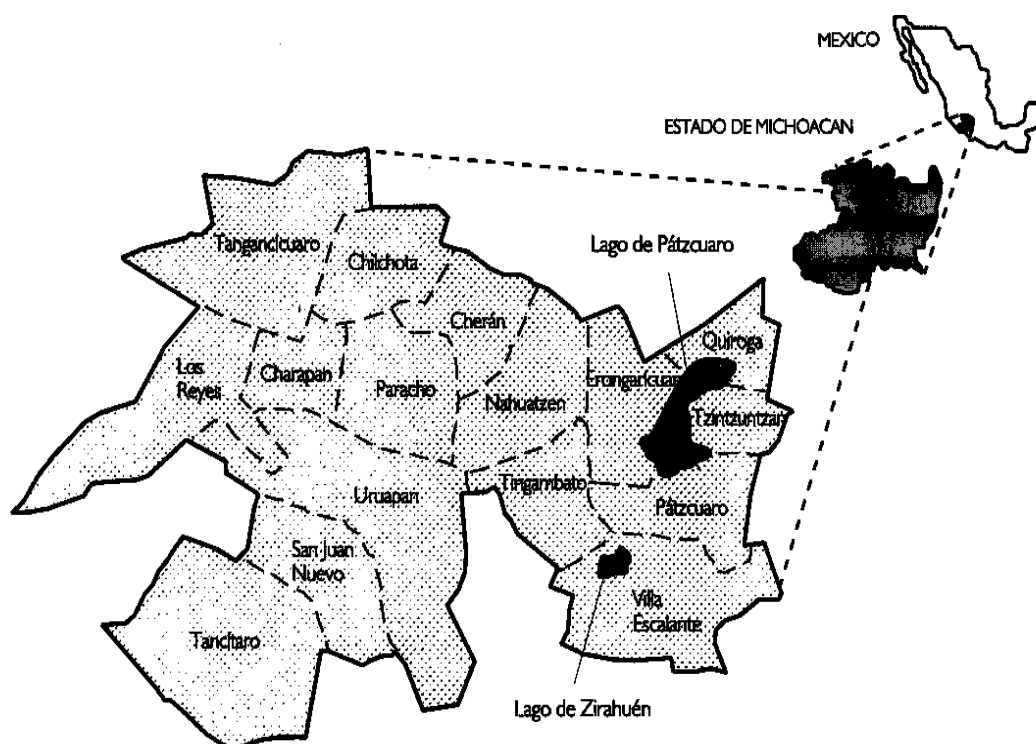
El presente estudio se basa en un desarrollo de laboratorio y de campo, de los cuales se establecen las mediciones y observaciones que lo constituyen. El trabajo de campo se realizó en una región típica, en donde la leña es el combustible fundamental en la preparación de alimentos de las comunidades que la conforman. La región elegida fue la Purépecha.

Con el objeto de establecer el entorno en donde se realizaron los estudios, se presentan a continuación las características más sobresalientes de la región Purépecha.

Desde el origen étnico, se encontró que la mayor parte de los Purépechas se sitúan en una porción del eje neovolcánico transversal, conocida como meseta Purépecha, la cual está integrada por la cuenca del lago de Pátzcuaro, la cuenca del lago Zirahuén, la depresión de la cañada de los “Once pueblos” y la ciénega de Zacapú. Cada una de estas subregiones presenta características geoclimáticas diversas, pero la mayoría es de clima templado, húmedo y subhúmedo, y parte de la población habla o entiende el dialecto indígena.

La región Purépecha se encuentra geográficamente ubicada al centro de la provincia fisiográfica denominada “sistema volcánico transversal” y ocupa la porción centro noroeste del estado de Michoacán.

Figura 1.1 Localización de la región Purépecha, Michoacán



Fuente: Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropriada, (GIRA)¹⁴

De acuerdo con la revisión bibliográfica y la experiencia de GIRA en el área, se considera “región purepécha” aquella que está compuesta por las siguientes subregiones:

- “La Cañada”, que comprende el municipio de Chichota, a la cual se integra la población de Noroto, del municipio de Tangancicuaro.
- “La Meseta”, que comprende los municipios de Charapán, Cherán, Nahuatzen, Paracho, Los Reyes, San Juan Nuevo, Tancitaro, Tingambato, Uruapan y Tangancicuaro.
- “Lago de Pátzcuaro”, que comprende los municipios de Erongaricuaro, Pátzcuaro, Quiroga y Tzintzuntzan. Se incluye en la región el municipio de Salvador Escalante, que comprende la mayor parte del Lago Zirahuén, los poblados de Capula, del municipio de Morelia y Zipiajo del municipio de Coeneo.

¹⁴ Masera, Omar; Masera, Diego y Navia, Jaime. *Ibidem*.

Bajo esta subdivisión se encuentran un total de 16 municipios con una superficie aproximada de 481 711 hectáreas¹⁵.

La topografía de la sierra es inclinada y la geomorfología es compleja, con elevaciones que van desde los 1 050 *m* en los valles, hasta los 3 860 *m* en las partes más altas (cerro Tancitaro). El período tectónico más importante es el Terciario y específicamente el Plioceno. Los materiales geológicos están representados por basalto, andesita, riolita, tobas feldespáticas; los materiales de tipo clásico son las arenas, cenizas, tobas finas entre otras.

Existe una variedad de suelos volcánicos y son más abundantes los andosoles con diferentes texturas y cualidades. La precipitación varía desde los 700 *mm/año* en las zonas secas y 1 200 *mm/año* en elevaciones, pudiendo llegar hasta más de 1 660 *mm/año* en la porción sur de la región comentada¹⁶.

La vegetación de la región purépecha abarca desde matorrales (*baccharis* y xerófilo), diversos tipos de bosque como oyamel, pino, encino y el mesófilo de la montaña, siendo este último el que se destina a la producción de leña.

En la actualidad, el paisaje ambiental refleja cambios evidentes causados principalmente por un manejo extractivista de los bosques, el cual se enfoca exclusivamente a la producción de madera en rollo (sólo la madera que se extrae del bosque). Se estima que se ha perdido aproximadamente el 50 por ciento de la superficie arbolada que se tenía hace un poco más de medio siglo.

Algunos de los motivos que han provocado la pérdida de los recursos forestales de la región son: la crítica situación económica de los pobladores asentados en las cercanías de las áreas forestales, el deterioro de las instituciones comunales que regulan el acceso a los bosques y la necesidad de grandes madereros regionales; con lo cual se ocasiona que muchas veces los insumos de las empresas sean satisfechos mediante el claudenastaje.

¹⁵ Masera, Omar; Masera, Diego y Navia, Jaime. *Ibidem*.

¹⁶ Masera, Omar; Masera, Diego y Navia, Jaime. *Ibid*.

Actualmente, el régimen de explotación forestal en las comunidades de la región asume cinco vías principales:

- a) La extracción clandestina, tipo "hormiga", mediante la cual hacheros, vigueros, leñadores comerciales, tejamanileros, burreros y carreteros extraen directamente la madera del bosque, sin estar sujetos a ningún tipo de estudio o plan de manejo.
- b) La extracción clandestina a gran escala, mediante la cual madereros o grupos de personas que poseen vehículos de carga realizan incursiones en los bosques para la extracción de madera, con o sin autorización de las autoridades de las comunidades en donde se realiza el aprovechamiento.
- c) La extracción legal en predios de dueños y poseedores rentistas de ejidos, comunidades o pequeñas propiedades. En este caso los dueños de los predios cuentan con permisos de aprovechamiento forestal que son vendidos a intermediarios o dueños de aserraderos privados, quienes se encargan de la extracción y transportación de madera.
- d) La extracción legal por las mismas comunidades, quienes se encargan de las labores de derribo, troceo, arrime y apilamiento de la madera para venderla a pie de brecha; con lo que aumentan sensiblemente las utilidades por la venta de madera en rollo.
- e) La extracción para usos domésticos y/o productivos por los diferentes pobladores de las comunidades. Esta vía de aprovechamiento de los recursos forestales la practica la mayor parte de los pobladores rurales y se dirige a satisfacer sus necesidades de subsistencia en cuanto a leña.

Se considera, por otra parte, que el uso no sustentable de los bosques conduce a cambios como la extinción de especies, la formación de bosques secundarios, degradación de la vegetación, compactación, erosión y acarreo de suelo, disminución del gasto de los afluentes o manantiales y abatimiento de la precipitación pluvial, entre otros fenómenos.

Tabla 1.3 Impacto en la vegetación y ambiente causados por la deforestación de las masas boscosas en la región purépecha.

Impactos regionales y globales	
Vegetación	• Reducción de biomasa arbórea (formación de claros) • Formación de comunidades vegetales secundarias • Cambio en la composición y estructura vegetal (invasión de especies, extracción de especies clave) • Reducción del porcentaje de regeneración • Pérdida de biodiversidad y diversidad genética • Extinción de especies
Suelos	• Pérdida de suelo por lixiviación o lavado • Erosión (formación de cárcavas y surcos) • Salinización • Disminución de la fertilidad • Desaparición y/o disminución del gasto de manantiales
Clima	• Abatimiento de la precipitación • Variación pronunciada de la temperatura durante el día y la noche y entre las diversas estaciones del año • Cambios en el índice de evapotranspiración
Problemas globales	• Emisión de CO₂ y otros gases de efecto invernadero • Acumulación de residuos sólidos

Fuente: Dinámica y uso de los recursos forestales de la Región Purépecha¹⁷.

Se puede afirmar que el 17 por ciento de la demanda total de productos forestales se destina a la leña de uso doméstico, misma que constituye el principal combustible de más del 50 por ciento de los pobladores de la región purépecha y prácticamente el total de sus habitantes rurales.

Lo expuesto hasta aquí puede considerarse como un caso generalizado de las regiones forestales en nuestro país y queda claro que las condiciones no son favorables. Por esto, se tratará de afectar lo menos posible y, por el contrario, ayudar a la conservación de los bosques al realizar el presente trabajo de investigación sobre la optimización de la combustión en estufas de leña.

1.6 Tipos de estufas en la región de Pátzcuaro, Michoacán

¹⁷ Masera, Omar; Masera, Diego y Navia, Jaime. *Ibidem*.

La Semarnat y el DIF son las instituciones del Estado Mexicano que han tenido éxito en las formas de trabajo comunitario porque permanecen mayor tiempo en las comunidades y realizan el seguimiento y asesoría correspondientes. Las limitaciones de sus resultados tienen diversas causas: desde la promoción, el modelo de estufa utilizado, problemas constructivos y la capacitación. Estas limitaciones se manifiestan al no conseguir un efecto multiplicador.

En el mejor de los casos dependen de las estufas que el técnico o el promotor puedan construir. Los objetivos privilegian la conservación de los bosques que para la gente no tiene una relación directa e inmediata en su vida cotidiana y su condición de pobreza. Otros destacan, durante la promoción, la búsqueda del mejoramiento ambiental al interior de la cocina. Algunos otros son más precisos al buscar un mejoramiento de las condiciones de vida, trabajo y salud de las mujeres. En este sentido, se puede lograr la motivación de usuarios de leña.

Al pasar a la fase constructiva, surgen otros aspectos que se convierten en obstáculos, como es la facilidad de construcción que influye de manera directa en el ritmo y número de estufas ahorradoras finales, con lo cual se llega, en algunos casos, a promover modelos de baja eficiencia respecto del ahorro de la leña, ya que sólo cumplen con el mejoramiento interior de la cocina.

Respecto de la búsqueda de diseños y modelos de estufas, la experiencia ofrece los que más aceptación y permanencia tienen. Es decir, se trata del modelo conocido como “Lorena” en sus dos versiones: uno se hace con molde y el otro sin él.

Existen varias experiencias y mucho trabajo para llevar las estufas de barro a millones de cocinas principalmente en los países subdesarrollados. Se ha avanzado substancialmente en la parte de diseños técnicos adecuados a las condiciones socio-culturales de los usuarios¹⁸.

¹⁸ Westhoff, Beatrix y Dorsi, German. *Estufas en imágenes: una documentación sobre las estufas mejoradas y tradicionales de África, Asia y América Latina*. Comisión de la Comunidades Europeas; 1999.

La investigación de la presente tesis presenta el estudio de las estufas de leña en la región purépecha, (Pátzcuaro, Michoacán), las cuales se presentan a continuación:

1.6.1 Diferentes tipos de estufas en la región Pátzcuaro

En la región purépecha se han hecho estudios de mencionadas estufas anteriormente, por más de 15 años, a través de GIRA, así como de ORCA (Organización Ribereña Contra la Contaminación del Lago Pátzcuaro)¹⁹, en los cuales se han caracterizado mejores diseños de las estufas *Lorena*.

El modelo original de las estufas *Lorena*, nombre que toma de dos materiales básicos para su construcción que son el lodo y la arena, ha sufrido adaptaciones y modificaciones, desde la década de los setenta, en función de la tecnología y las necesidades de los usuarios, las cuales predominan en nuestra región de estudio.

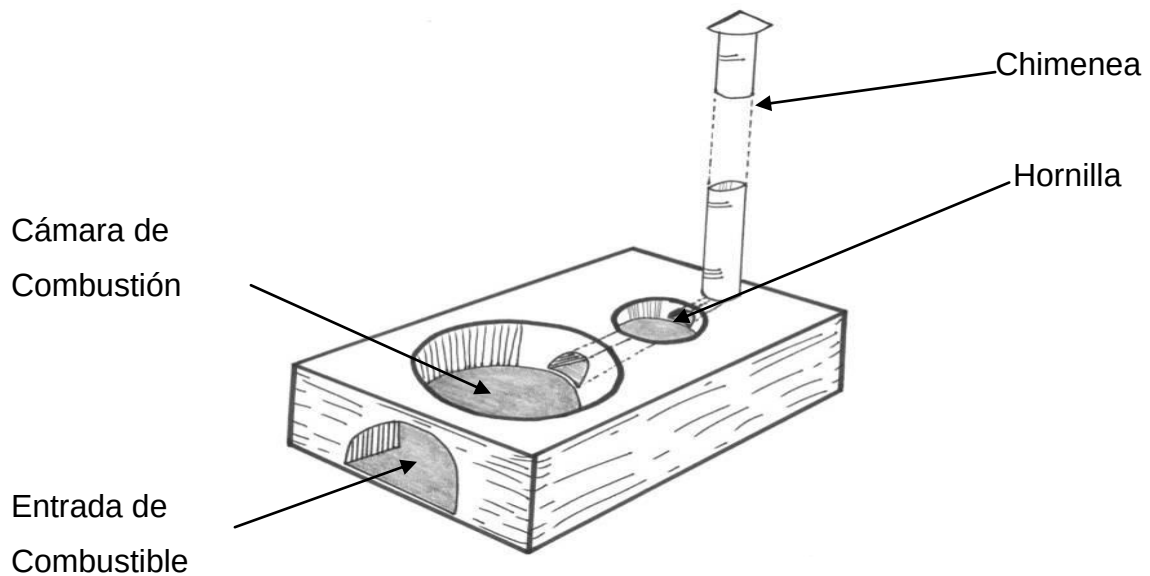
Respecto a las estufas en análisis, hay varios modelos y es importante destacar el tamaño y forma de los trastes ya que estos determinan la magnitud de la *Lorena*, principalmente el comal y las ollas, trastes que usan con mayor frecuencia.

1.6.2 Estufa con comal, una hornilla y una cámara de combustión

Esta estufa posee todas las ventajas antes mencionadas, en ésta se pueden hacer tortillas y cocinar alimentos al mismo tiempo. Satisface todas las necesidades de una familia pequeña.

¹⁹ Díaz, Rodolfo; Masera, Omar y Morales, Rubén. *La estufa Lorena: manual de construcción para el promotor*. Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiable (GIRA). 2000.

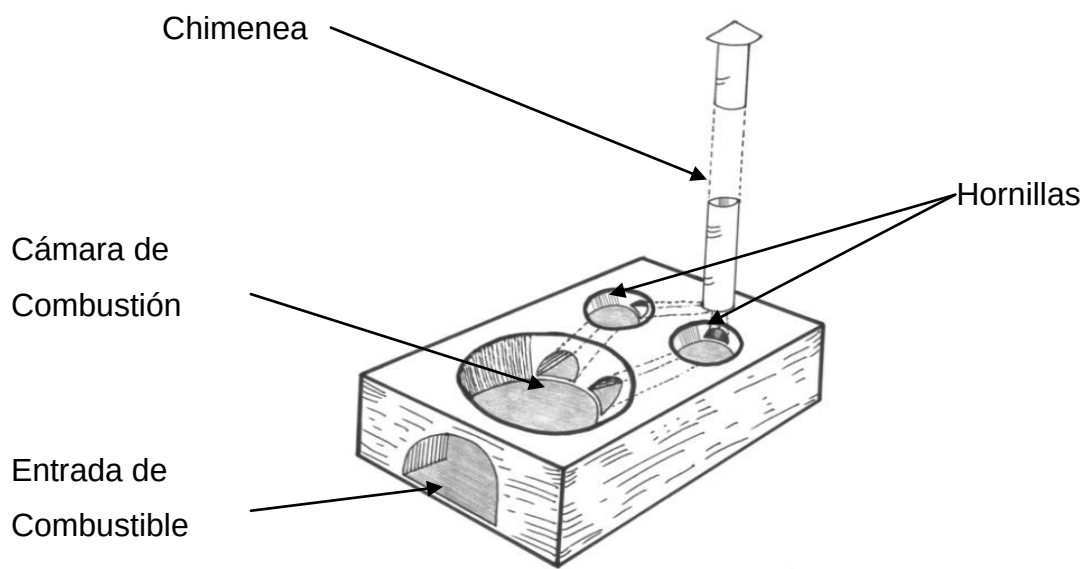
Figura 1.2 Estufa *Lorena* de una cámara de combustión y una hornilla



1.6.3 Estufa con comal, dos hornillas y una cámara de combustión

Este diseño permite cocinar varios alimentos al mismo tiempo; es el modelo de estufa *Lorena* más aceptado en la región de estudio y se ha comprobado, en la región del lago de Pátzcuaro, que es la más ahorradora de leña.

Fig. 1.3 Estufa *Lorena* de una cámara de combustión y dos hornillas



1.6.4 Estufa con comal, dos hornillas y dos cámaras de combustión

Como se muestra en las figuras 1.4 y 1.5, hay dos variantes de este modelo, dependiendo de la colocación de las cámaras de combustión laterales al frente de la estufa. El inconveniente de este tipo de estufas es el mayor consumo de leña; otra desventaja es la chimenea ya que se acaba más rápido debido a que los gases de combustión salen muy calientes.

Figura 1.4 Estufa *Lorena* de dos cámaras de combustión lateral con dos hornillas

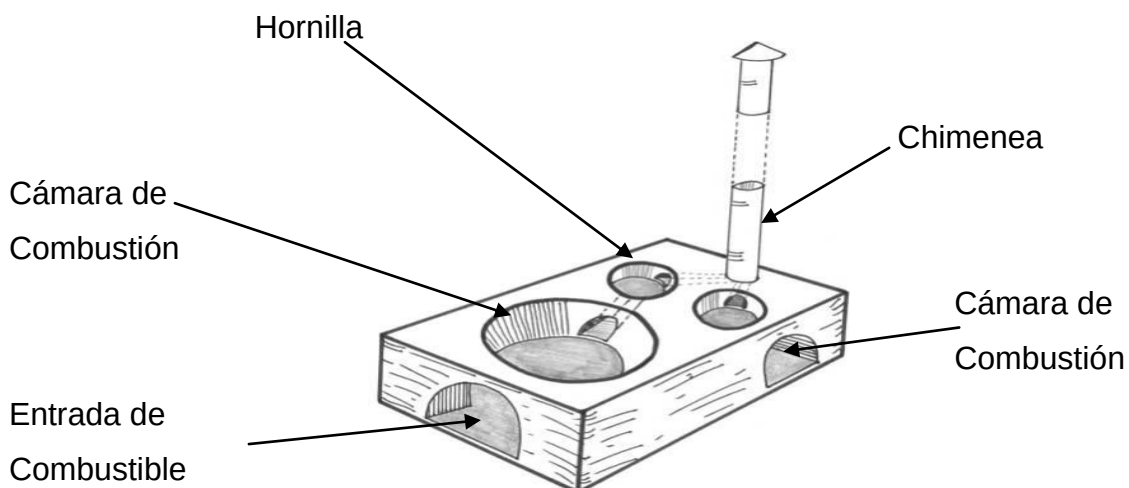
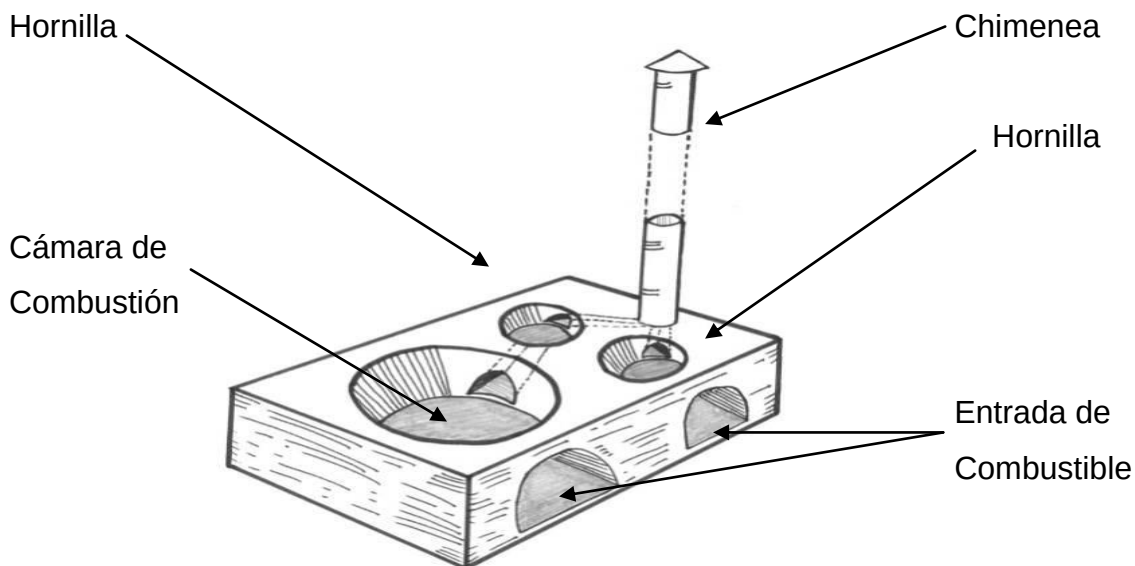


Figura 1.5 Estufa *Lorena* de dos cámaras de combustión al frente con dos hornillas



Las indicaciones de material y herramientas necesarias para la construcción de las estufas *Lorena* se encuentra en el “Manual de construcción para el promotor”²⁰.

Las estufas antes mencionadas se encuentran en el anexo 1-1, en donde se muestran fotografías con algunos detalles.

1.6.5 Tipos de estufas propuestas que se encuentran en Pátzcuaro

La estufa *Justa* (figura 1.5), construida en Honduras, Nicaragua, El Salvador y Guatemala, por *Aprovecho Research Center*²¹, utiliza comal de placa de acero y utiliza leña en forma de astillas como combustible; este tipo de detalles son las razones por las cuales no tuvieron aceptación entre los pobladores, ya que no están acostumbrados a procesar la leña (convertirla en astillas).

Las *Winiarski Rocket* y la *Justa*²² son estufas que, si bien fueron caracterizadas por CIECO (Centro de Investigación en Ecosistemas), GIRA e IIGEN (Instituto de Ingeniería), no llegaron a las comunidades para su uso, y en la actualidad no existen ninguna de las dos estufas en operación, en las comunidades.

El Dr. Larry Winiarski dirigió el proyecto de las estufas *Rocket* y *Justa*, en el cual los datos de construcción y materiales se encuentran en el “Manual de construcción de las estufas *justas*”²³.

En cuanto a la estufa del Estado de México, ésta es totalmente de lámina y el consumo de leña es tres veces mayor que las *Lorena*; así mismo, la inseguridad es mayor en dicha estufa ya que el calor se transfiere a través de todo su cuerpo y puede provocar quemaduras en las personas que se encuentran a su alrededor (principalmente niños); la chimenea es pequeña y

²⁰ Díaz, Rodolfo, Masera, Omar y Morales, Ruben. *La estufa Lorena: manual de construcción para el promotor*. Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropia (GIRA); mayo del 2000.

²¹ La información se localiza en: <http://www.aprovecho.net/>

²² La información se localiza en: <http://www.aprovecho.net/>

²³ La información se localiza en: <http://www.aprovecho.net/>

el humo queda en el interior de las casas, lo cual provoca problemas respiratorios. La ventaja que se observa es que tiene la facilidad de fácil transportación.

Figura 1.5 Estufa *Justa*

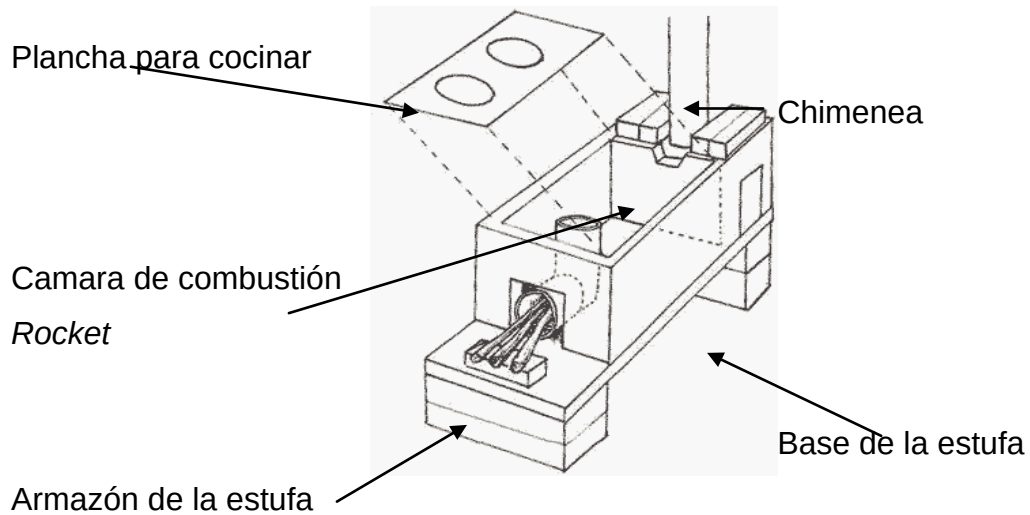
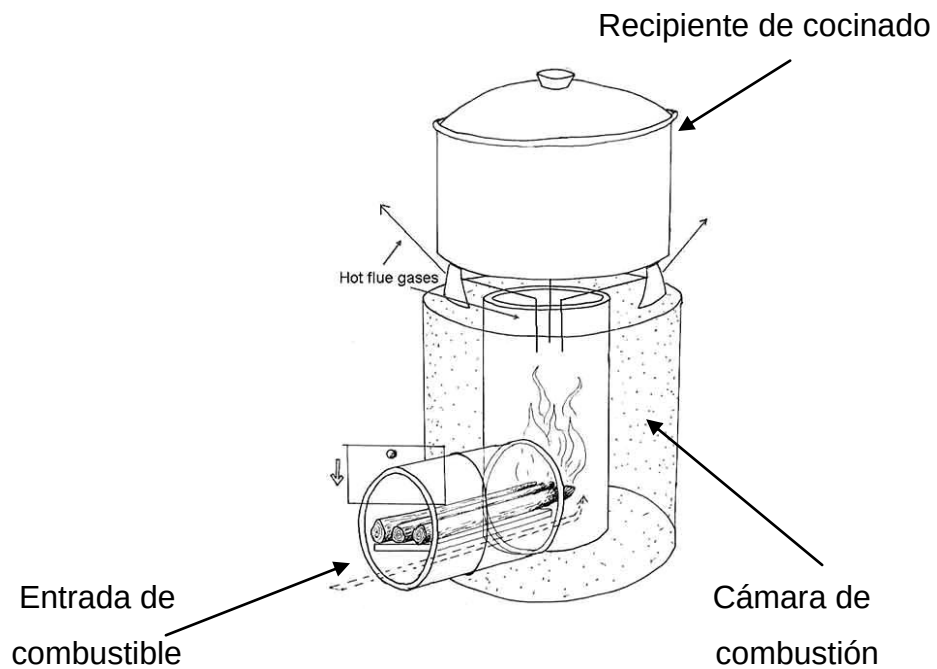


Figura1.6 Estufa *Winiarski Rocket*



1.7 Resumen

En este capítulo se analizaron las diferentes formas de energía renovables, que energética y económicamente son explotadas en la actualidad. La biomasa es considerada como una alternativa de gran potencialidad y que necesita una mayor atención en cuanto a la investigación de la misma.

Dentro de los recursos de la biomasa más socorridos, sobre todo en las comunidades rurales y en las zonas suburbanas es la leña, la cual es ocupada por estas personas para proporcionar calor y cocinar los alimentos. Se pusieron de manifiesto los riesgos que provoca el uso inadecuado de la leña, debido a una mala combustión y se manifestó la solución, la cual consiste en mejorar el proceso de combustión en las estufas de leña.

Se señalaron las posibles afectaciones al medio ambiente y la deforestación; la necesaria reglamentación del uso y explotación de la madera. La aportación del consumo de leña a la deforestación es mínima, ya que se considera que la tala inmoderada para la producción de madera en rollo, así como la tala clandestina, son las causas que más contribuyen a la pérdida de bosques.

La contaminación del medio ambiente también es de nuestro interés y se señala como una de las respuestas que la comunidad mundial ha tomado al “Protocolo de Kyoto”. Los comentarios de la investigadora Cecilia Conde al respecto fueron consignados. La importancia y la gran responsabilidad de la ingeniería al respecto también fueron tomadas en cuenta por medio de los puntos de vista externados por el investigador Adalberto Noyola.

El CO y CO₂ son los gases más importantes que se desprenden de la combustión, si ésta es deficiente, los efectos pueden ser muy graves, tanto en el deterioro ambiental, como para los usuarios; en consecuencia, el presente estudio en conjunto con muchos otros proyectos, investigaciones y desarrollos, contribuirán a pagar “la deuda ecológica en el mundo”.

La “región Purépecha” fue la elegida para efectuar el estudio con base en las poblaciones y localidades porque usan preferentemente estufas de leña para preparar sus alimentos. Se analizó la región desde el punto de vista del tipo del suelo, clima, vegetación y el estado actual en cuanto a deforestación y afectación del suelo.

No se puede eludir el impacto ambiental que pueden ocasionar las fuentes no renovables y renovables, el cambio climático, el deterioro de la capa de ozono y el fallecimiento de seres humanos debido a las malas condiciones ambientales; lo anterior es de suma importancia, lo cual nos motivo para contribuir con una mínima parte tal vez insignificante, con la aportación de este trabajo de investigación.

El capítulo concluye con la exposición de diferentes tipos de estufas de leña, características, así como la cantidad y edades de las mismas en la región Purépecha.

2. Estudio de la combustión y un análisis de transferencia de calor en estufas de leña

2.1 Introducción

En este capítulo se describe el tipo de estufa en que se llevará a cabo el estudio teórico-práctico. El análisis para una mejor comprensión se basará en un ejemplo representativo que toma en cuenta las constantes de la región de estudio, tanto para la combustión como para el pequeño estudio de transferencia de calor.

También se contempla el análisis matemático de las expresiones más representativas que serán utilizadas para la obtención de la eficiencia de combustión y un análisis de transferencia de calor en las estufas de leña.

Cabe aclarar que existen muchos tipos de eficiencias tales como: eficiencia de transferencia de calor, eficiencia del recipiente, eficiencia de control, entre otras. El presente estudio se enfoca únicamente a la eficiencia de combustión y un análisis de transferencia de calor.

2.2 Características del combustible leña

Al calentar la leña a 100°C el agua contenida se evapora y sale de la madera o se introduce a las partes más frías; a partir de una temperatura de 200°C las moléculas de la madera empiezan a descomponerse, lográndose ésta a los 300°C , donde se producen los primeros compuestos volátiles que escapan como humo o se encuentran en las zonas frías de la madera.

Conforme aumenta la temperatura, al mezclarse los volátiles con el oxígeno, arden produciendo una flama amarilla encima de la superficie de la leña. El calor radiante de la flama enciende más leña que a su vez se descompone, provocando la salida de más volátiles que arden como flama y continua repitiéndose el ciclo. Se puede concluir que la velocidad de la combustión determina la velocidad de la liberación de los volátiles.

Entre los compuestos volátiles se han encontrado 213 diferentes¹. Estos volátiles ardientes representan dos terceras partes de la energía liberada, el otro tercio corresponde al carbón (único compuesto sólido producto de la combustión).

En la parte inferior de la flama se produce carbón libre en forma de hollín y monóxido de carbono que a su vez vuelve a reaccionar en la parte superior en la flama produciendo Bióxido de Carbono. La combustión incompleta de la leña tiene relación con el monóxido de carbono que se forma, en teoría la reacción entre el carbono y el oxígeno debería convertirse totalmente en bióxido de carbono.

Las moléculas de los volátiles se mezclan con el aire y no arden, se condensan y al mezclarse con los gases no condensados provocan el llamado humo.

Conforme se van quemando las capas de leña, sólo queda carbón poroso. En la superficie del carbón, el bióxido de carbono reacciona produciendo monóxido de carbón, que al arder produce una flama azulosa.

El monóxido de carbono vuelve a reaccionar nuevamente con el oxígeno para producir nuevamente bióxido de carbono. La temperatura cerca de la superficie del carbón es de alrededor de 800° C, la cual está limitada por la reacción endotérmica del bióxido de carbono a monóxido de carbono y oxígeno con sus respectivas pérdidas de calor por radiación.

2.2.1 Contenido de humedad en la leña

Una de las características importantes que se pueden medir es el contenido de humedad. Para una especie dada de leña, la relación entre el peso y el volumen está determinada principalmente por el contenido de humedad. Ésta es una medida de la cantidad relativa de agua contenida, en la madera, y

¹ S., Baldin. "*Biomass stoves: engineering design, development and dissemination*". Volunteers in technical assistance; USA; Baldwin.200

puede ser definida de dos formas diferentes: con base seca, que es igual a un porcentaje de la masa de la madera libre de humedad, y con base húmeda es el porcentaje de la masa de la madera que contiene humedad.

La conversión entre volúmenes y pesos de la madera requieren también de ciertos conocimientos de otras características medibles, principalmente de la densidad de la madera. Existen por lo menos tres posibles medidas de la densidad, dos de las cuales se utilizan frecuentemente y son:

La densidad, la gravedad específica y la densidad secada al aire. La variación de las tres medidas de la densidad, con cambios en el contenido de humedad, es regulada por varios factores que pueden variar entre una especie y otra.

Los factores más importantes de estas variaciones son dos: el punto de la saturación de las fibras y el encogimiento volumétrico relativo para una medida exacta se consideran los dos o bien en caso contrario se obtienen los valores ya establecidos.

2.2.2 Valores caloríficos para la leña

De los valores caloríficos² para muchos combustibles provenientes de la biomasa, incluyendo la leña y el carbón vegetal, a menudo sólo se necesita medir el contenido de humedad del combustible para conocer con aproximación la cantidad de energía disponible.

El poder calorífico se divide en Poder Calorífico Inferior (PCI) y Poder Calorífico Superior (PCS). El PCI es la cantidad de calor liberada por la combustión completa de una determinada masa de combustible, descontando el calor absorbido para evaporar el agua en contraposición al poder calorífico superior (PCS) o bruto que incluye el calor absorbido por la evaporación del agua.

² Almeida, R. *"Variación del valor calorífico de la leña según especie, parte del árbol y contenido de humedad"*. Trabajo presentado en el Congreso Mexicano de la Sociedad Mexicana de Botánica. México 1997.

En el caso particular de una madera con un alto contenido de resina (ésta tiene un valor calorífico de aproximadamente 20 Mj/kg^3 , mayor en relación con los otros constituyentes de la madera) se debe obtener su valor calorífico superior (PCS) individual, ya que la variación del PCS, entre las maderas resinosas es elevada.

2.2.3 Composición química de la madera

La composición de la madera libre de humedad, en términos de los compuestos químicos básicos como lignita y celulosa, varían muy poco entre una madera y otra. Además, en términos de los elementos químicos que la componen (carbono, hidrógeno, oxígeno y otros) son asombrosamente constantes. El promedio de la composición química de la madera libre de humedad, es generalmente:

- 49-50% carbono
- 6% hidrógeno
- 43-44% oxígeno
- 0.5-1% nitrógeno, azufre y cenizas

Aunque el contenido de cenizas normalmente es menor del 1 por ciento para la mayoría de las maderas de zonas templadas, puede ser considerablemente mayor, especialmente para maderas tropicales. De acuerdo con Brown⁴, el contenido de cenizas de maderas norteamericanas (analizado por el *US Forest Products Laboratory*) tiene un rango de 0.2 a 0.9 por ciento, mientras que el alburnum de la madera de olivo europeo contiene alrededor del 5 por ciento de material mineral.

³ Bialy, H.; *Energy fluid in subsistence agriculture: a study of a dry zone village in Sri Lanka*. Ph. D. Thesis, Faculty of Science, University of Edinburgh, 2000.

⁴ Brown, H. P., Panshin, A. J. y Forsaith, C. C. *Textbook of wood technology*. Vol. II, Mc.Graw-Hill, New York ; 1999

El promedio del contenido de cenizas base seca de 111 maderas tropicales, analizado por Doat⁵ es del 1.04 por ciento, con un rango del 0.1 al 3.45 por ciento. Sin embargo, no se encontró una correlación significativa entre los valores caloríficos altos de estas maderas y su contenido de cenizas (ambos en base seca).

2.3 Planteamiento de la reacción de combustión en una estufa de leña del tipo *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas

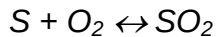
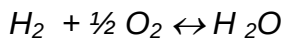
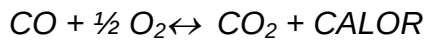
En toda combustión, el cuerpo que arde se denomina combustible y el que produce la combustión, comburente. Una combustión es la reacción de oxígeno con diversas sustancias, en general el carbono (C) y el hidrógeno (H). En la mayoría de los casos el portador del oxígeno (O) es el aire; el nitrógeno (N) y los demás componentes del aire no reaccionan con el combustible, por lo que en muchos cálculos no habrá que tenerlos en cuenta. Los productos reaccionantes son: el combustible, el aire, los productos de la combustión gaseosos denominados humos o gases de escape y las cenizas que pueden originarse.

Como se ha indicado en capítulos anteriores, el problema más grave asociado a la combustión es la formación de algunas especies contaminantes, por lo que es importante plantear la reacción química de la forma más general posible. En un proceso de combustión real, en el que se alcanzan temperaturas cercanas a los 1 000° K, aparecen entre los productos, aparte de los de la reacción estequiométrica (N_2 , CO y H_2O donde no sobra O_2), CO , H_2 , O_2 y otros productos de disociación molecular. Un esquema sencillo (los hay mucho más complejos) de esta reacción de combustión genérica es⁶:

Los elementos combustibles son sólo el C, H_2 y S (Azufre) y las reacciones de combustión se pueden reducir como:

⁵ Doat, J. *Le pouvoir calorifique des bois tropicaux*. Revue Bois et Forest des Tropique. 1172; marzo-abril, 1997; pp.37.

⁶ Desantes, J. M.; Lapuerta, M. *Fundamentos de combustión*. Servicio de publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia. 1999.



A continuación se presentan las fórmulas más importantes que se utilizarán para el cálculo de eficiencia de la combustión en una estufa *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas.

2.3.1 Cálculo del poder calorífico

El poder calorífico se puede expresar como la cantidad de calor desprendida en la combustión completa de la unidad de combustible, 1 *mol* ó 1 *kg* si es sólido o líquido, y 1 *m*³ a 0° y 760 *mm* de *Hg* si es un combustible. La fórmula que tiene el agua contenida como humedad es:

$$PCS-PCI = 6(9H+E) \text{ kcal/kg} \quad \text{-----}1$$

E= Humedad

H= Hidrógeno

PCS= Poder calorífico superior

PCI = Poder calorífico inferior

2.3.2 Cálculo del poder comburente

Se llama poder Comburente de un combustible a la cantidad de aire mínima necesaria, en condiciones normales, para que se verifique la combustión completa de la unidad de combustible; a la combustión realizada en estas condiciones se la denomina combustión neutra, perfecta o estequiométrica.

$$V_A = 0.089C + 0.267H + 0.033(S - O) \text{ Nm}^3 \text{ de aire /kg de combustible} \text{-----} 2$$

C= Carbón

H= Hidrógeno

S= Azufre

O= Oxígeno

2.3.3 Cálculo del poder fumígeno

El poder fumígeno se define como el peso de los humos producidos en la combustión de la unidad de combustible.

$$V_F = 0.089C + 0.21H + 0.008N + 0.033S - 0.026O = \text{Nm}^3 \text{ de humos secos/Kg de combustible} \text{---} 3 \text{ Carbón}$$

H= Hidrógeno

N= Nitrógeno

S= Azufre

O= Oxígeno

N= Normalizados

2.3.4 Cálculo del poder fumígeno húmedo

El poder fumígeno se define como el peso de los humos producidos en la combustión de la unidad de combustible, incluyendo la humedad.

$$V_{FH} = 0.089C + 0.332H + 0.008N + 0.033S + 0.012E - 0.026O = \text{Nm}^3 \text{ de humos húmedos/Kg de combustible} \text{-----} 4$$

C= Carbón

H= Hidrógeno

N= Nitrógeno

S= Azufre

E= Humedad

⁷Reed, richard j., *North american combustion handbook* North american Mfg. Co. Cleveland, oh 44105 USA1986

O= Oxígeno

2.3.5 Exceso de aire

El exceso de aire e se define en la forma:

$$e = 100 \frac{V_F}{V_A} + \left(\frac{w - \beta \frac{1}{2}}{\frac{79}{4200} \beta - w + 21} \right) \text{--}(\%) \text{-----}5$$

e = Exceso de aire

V_F = Poder fumígeno

V_A = Poder comburente

w = La cantidad de oxígeno en porcentaje de humos secos

β = Cantidad en porcentaje de monóxido de carbono que puede obtener de humos secos

2.3.6 Productos de combustión

Si la combustión es neutra, completa, adiabática y con exceso de aire:

$$V'_{FH} = V_{FH} + \frac{e}{100} V_A \quad N \text{ m}^3/\text{kg} \text{-----}6$$

V_{FH} = Poder fumígeno húmedo

V_A = Poder comburente

e = Exceso de aire

2.3.7 Calor liberado y cedido al entorno

$$Q_F = (V'_{FH})(C_p)(m)(\Delta T)$$

C_p =Calor específico a presión constante

m =Masa combustible

ΔT =Diferencia de temperaturas

2.3.8 Eficiencia de combustión⁷

$$(\eta_c) = \left[\frac{Q_F}{(PCI)(m)} \right] (100) = \% \text{-----} 7$$

Como se menciona en la introducción, existen diferentes tipos de eficiencias que se pueden calcular en una estufa de leña, en nuestro caso únicamente se obtendrá la eficiencia de combustión.

Utilizando los cálculos anteriores se presenta el triángulo de la combustión o diagrama de Ostwald para diferentes especies de leña como son: pino, abedul, encino, roble, etcétera; la composición química y los diferentes valores de los gases de combustión, las cuales se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Resultados de los elementos de los gases de combustión para diferentes especies de leña.

Combustible Diferentes especies de leña	Composición					Total %	V_A Nm ³ de aire/kg de combustible	V_F Nm ³ Humos/kg de combustible	V_{CO_2} Volumen real	α_0 % CO ₂ en comb. Neutra	A^1 % DE CO ₂	W % de O ₂ Humos- secos	β_{Max} CO% Humos- secos
	C %	H %	O %	N %	S %								
PINO	46.60	6.40	46.90	0.060	0	100	3.45	3.41	0.705	20.36	21.18	9.24	33.01
ABEDUL	45.5	6.20	48.20	0.10	0	100	3.29	3.27	0.688	20.72	21.08	9.39	33.96
ENCINO	52.30	6.30	40.50	0.10	0	100	4.00	3.90	0.78	19.82	21.32	9.02	31.61
ROBLE	49.89	5.98	42.57	0.21	0	100	4.63	4.59	0.93	20.29	21.19	9.21	32.81
SAUCE	47.66	5.20	44.7	0.3	0	100	4.16	4.17	0.89	21.32	20.90	9.63	35.59
OLOTE MAIZ	47.79	5.64	44.71	0.44	0	100	4.28	4.28	0.89	20.85	21.02	9.44	34.31

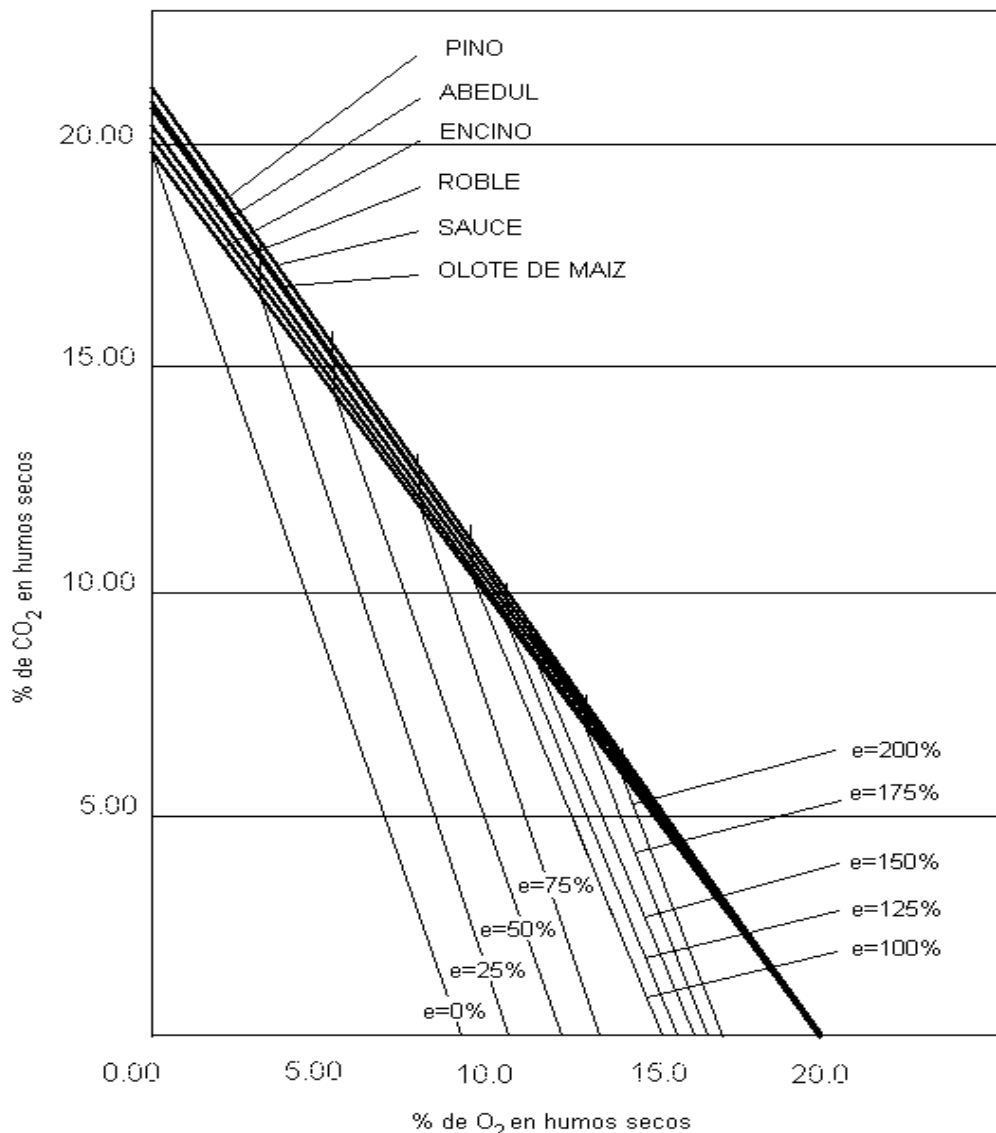
(Elaborada por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

Para las especies de leña, los valores de la composición (C, H, O, S) son constantes, los valores de las ecuaciones que proporcionan $V_{Aire\text{ mínimo}}$, $V_{Humos\text{ secos}}$ y a % de CO₂, también serán constantes.

Como la característica de una combustión es su escaso o defecto de aire e se determina una relación entre las concentraciones de O_2 (x) y CO_2 (y) ejes coordenados (véase figura 2.1) eliminando V_{co} entre las ecuaciones anteriores se procederá a obtener el diagrama de Ostwald (véase figura 2.1). En el caso del pino se tiene un 20.36 en porcentaje de bióxido de carbono máximo en combustión neutra (CO_2) y de el encino 19.82 en porcentaje de bióxido de carbono máximo en combustión neutra (CO_2), si se analiza la figura 2.1 se tiene el máximo % de CO_2 en el sauce y el mínimo en el encino.

Cabe mencionar que en las comunidades que se visitaron, el combustible (leña) que es más solicitado es el encino, pero por cuestiones económicas y de ahorro se quemaba pino.

Figura 2.1 Diagrama de Ostwald donde se presentan diferentes especies de biomasa (varias especies de leña).



(Elaborada por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

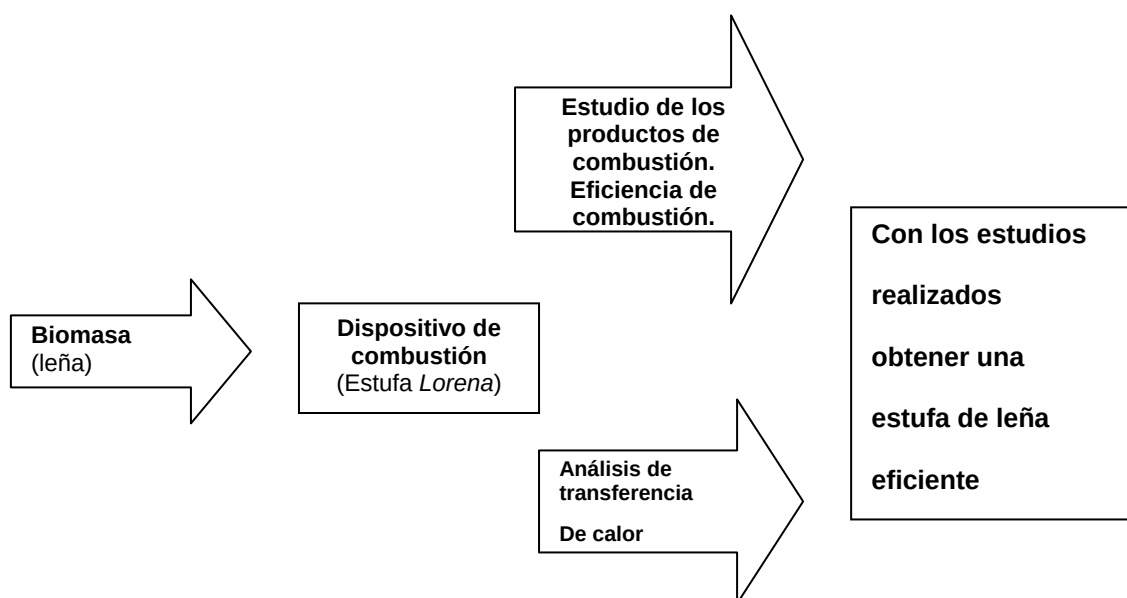
2.4 Planteamiento en forma parcial de la transferencia de calor en una estufa Lorena de una cámara de combustión de dos hornillas

Debido a la falta de información técnica de la combustión y perfiles de transferencia de calor en el interior de una estufa de leña, ha surgido la necesidad de un análisis a detalle del comportamiento interno de la transferencia de calor a través de la estufa y hacia el ambiente, para así detectar los puntos de ineficiencia más graves. Con ayuda del análisis de

combustión como indicador del grado de combustión y del estudio de las diferentes formas de propagación de calor como lo son la convección, conducción y radiación, se pueden lograr establecer los primeros parámetros del comportamiento interno, para posteriormente partir a una mejora de estos análisis, ya que la modelación y cambios estructurales internos están intrínsecamente ligados.

La forma en que se realiza el estudio en forma general es el siguiente:

Figura 2.2 Diagrama a bloques del estudio de combustión en estufas *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas.



(Elaborada por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

En la figura 2.2 se plantea, en forma general, el estudio que se presenta en este trabajo, el cual contempla a la biomasa (la leña), ésta se introduce a una estufa *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas; en la cual se hacen los estudios respectivos mostrados en el diagrama de bloques, lo anterior para poder obtener finalmente una estufa eficiente desde el punto de vista de combustión como de combustible (leña).

Antes de empezar el análisis de transferencia de calor se explicará a grandes rasgos el funcionamiento de la estufa, el cual es el siguiente: se tiene una

entrada de leña y una cámara de combustión (véase figura 2.3), en ese punto coexisten tres factores: combustible, comburente y la energía de activación, todo lo anterior para producir la combustión, el calor es transmitido a un comal que puede ser de acero o de barro.

En ese punto es donde se tiene el mayor aprovechamiento de calor, el restante pasa a continuación a las hornillas, a través de los túneles interiores que se conectan entre sí, en las cuales se aprovecha el calor restante en comales de preferencia de acero. Finalmente, el calor que no se aprovechó sale, junto con los humos de combustión, a la atmósfera a través de la chimenea.

Por ser un tipo de análisis muy complejo, debido a que se trata de un estudio donde no hay nada escrito, se tomaron las condiciones más pertinentes para modelar cada uno de los análisis y llevarlos a una simplificación que nos permita aplicar las ecuaciones de transferencia de calor.

Las partes analizadas son:

1) Análisis de comales

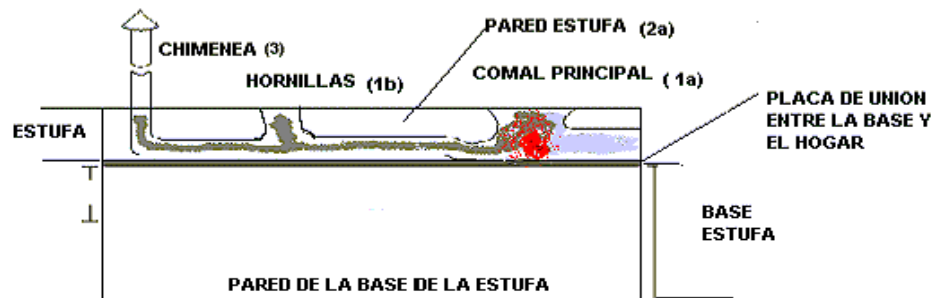
- Comal principal
- Hornillas secundarias

2) Análisis externo e interno de la estufa

- Paredes estufa

3) Análisis de la chimenea

Figura 2.3 Partes importantes de la estufa para el análisis de transferencia de calor en una estufa *Lorena* de una cámara de combustión.



(Elaborada por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

Cada uno de los análisis se lleva a cabo por separado para posteriormente hacer una integración de ellos y obtener un resultado final satisfactorio. La dinámica a seguir es la siguiente: análisis del comal principal (conducción, convección, radiación), (figura 2.3, 1a), los mismos principios para las hornillas, (figura 2.3, 1b). Análisis en las paredes de la estufa, el flujo de calor en una pared vertical y sus respectivos coeficientes para un flujo laminar (figura 2.3, 2a).

Por último, el análisis de la pérdida de calor en la chimenea es una de las más importantes y representativa para nuestro estudio ya que la mayor pérdida se encuentra en este punto, se puede suponer un flujo transitorio y un medio ambiente como reservorio, considerando los caudales, temperaturas y las entalpías (figura 2.3, 3). Los datos que se utilizan para ejemplificar son arbitrarios pero pueden cambiar dependiendo del tipo de estudio.

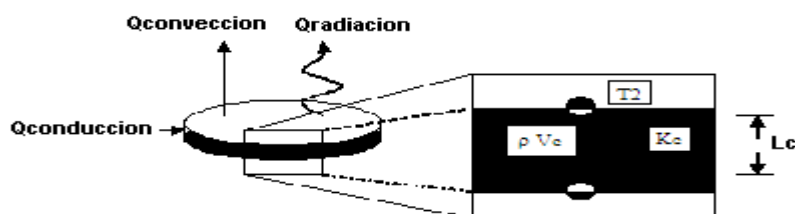
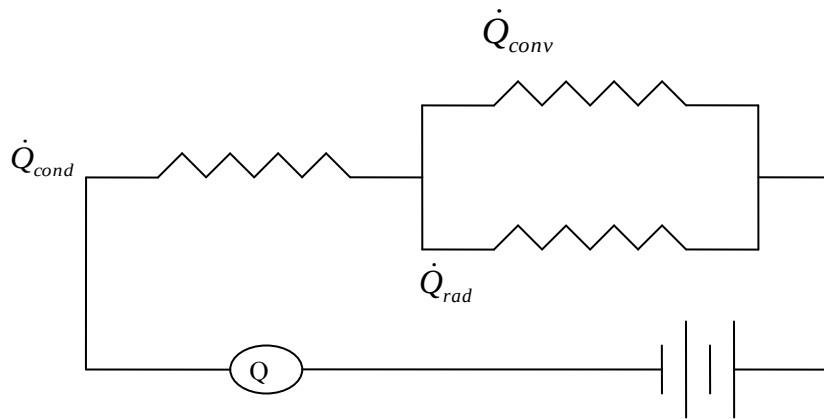


Figura (a)



Figura(b)

(Elaborada por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

En la figura 2.4 (a) y (b) se tienen representados los intercambios de energía en forma de calor en el comal principal de una estufa *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas; el mismo análisis se aplica a los comales de las hornillas.

En la figura 2.4 se muestra un proceso que intercambia energía en forma de calor, en específico en el comal de una estufa *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas, como se muestra en la figura 2.4 (a) el cuerpo está en diferentes niveles energéticos, ya que el calor es transferido mediante convección, radiación o conducción, con sus respectivas propiedades del material del comal.

Aunque estos tres procesos pueden tener lugar simultáneamente, puede ocurrir que uno de los mecanismos predomine sobre los otros dos.

En la figura 2.4 (b) se muestra el intercambio de energía de calor en forma de circuito eléctrico; es decir, el calor transferido mediante convección, radiación o conducción.

2.4.1 Cálculo de la transferencia de calor por conducción

Los mecanismos físicos de conducción son complicados; abarcan fenómenos tan variados como las colisiones moleculares en los gases, las vibraciones de la red en los cristales y el flujo de electrones libres en los metales.

- La fórmula designada para la obtención de la conducción es la siguiente⁷:

$$\dot{Q}_{cond} = \frac{L_c}{(K_c)(A)} (T_{inf.comal} - T_{supdecomal}) \text{-----} 8$$

K_c = conductividad térmica del material

A = sección de conducción.

L_c = longitud desde el punto de más calor al de menos calor.

$(T_{inf.comal} - T_{supdecomal})$ = temperaturas en la superficie del comal y por abajo del comal

2.4.2 Cálculo de la transferencia de calor por convección

Es la transferencia de calor de una superficie o de un fluido en movimiento.

- La fórmula designada para la obtención de la conducción es la siguiente¹⁸:

$$\dot{Q}_{conv} = \frac{1}{(h_c)(A)} (T_{sup.comal} - T_{Ambiente}) \text{-----} 9$$

h_c = Coeficiente de convección

A = Superficie de contacto

$(T_{sup.comal} - T_{Ambiente})$ = temperaturas de superficie de comal y del medio ambiente.

⁷ P., Frank. Incropera P. DeWitt, David. *Introduction to heat transfer*. Publicaciones Jonhn Wiley and Sons; New York; 2000.

2.4.3 Para el cálculo de radiación

La transferencia de calor por radiación puede considerarse tanto en función de ondas electromagnéticas como en función de fotones radiación presenta una diferencia fundamental respecto a la conducción y la convección: las sustancias que intercambian calor no tienen que estar en contacto, sino que pueden estar separadas por un vacío, o bien que no exista materia entre ellas.

- La fórmula designada para la obtención de la conducción es la siguiente⁸:

$$\dot{Q}_{rad} = (A)(e)(\sigma)(T_{temp. flama}^4 - T_{Ambiente}^4) \text{-----} 10$$

A: Superficie que emite o recibe

e: Poder emisor, número no dimensional, que está entre 0 y 1.

Σ : Constante de radiación

- La fórmula designada para la obtención total de transferencia de calor en la estufa:

$$\dot{Q} = UA(T_1 - T_2) \text{-----} 11$$

Considerando al lodo semejante al adobe y al barro factor de conductividad térmica (K_c)⁸; por otro lado, se considera al comal como una placa plana (disco). Todas las temperaturas serán una media de ellas de acuerdo con los datos obtenidos de campo ($\bar{T}$). Esta temperatura media variará de subíndice según sea el caso.

⁸ P., Frank. Incropera P. DeWitt, David. Introduction to heat transfer. Publicaciones Jonhn Wiley and Sons; New York; 2000.

Para la obtención del calor convectivo se utilizarán los datos de temperaturas provenientes del fuego directo en la cámara de combustión hacia la pared inferior del comal.

Si se considera que todo está en estado estable, las temperaturas no varían en el tiempo, esto para establecer un flujo de calor promedio (unidimensional) se utilizará la siguiente ecuación 8, 9 y 10 para obtener una ecuación general y calcular el calor total en el comal principal de la estufa *Lorena*.

$$\frac{1}{UA} = \frac{Lc}{KcA} + \frac{1}{hcA + hrA} = \frac{L}{KA} + \frac{1}{(hc + hr)A}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{L}{K} + \frac{1}{(hc + hr)}; \text{ debido a que el área es constante.}$$

$$hr = 4T_m^3 \sigma \varepsilon \quad \text{Coeficiente de transferencia de calor por radiación}^8.$$

El error que puede existir ocupando esta ecuación será aproximadamente de un 2%.

$$\dot{Q} = \frac{T_{m1} - T_{m2}}{\frac{L_c}{K_c A}} = \frac{T_{m2} - \bar{T}}{\frac{1}{h_o A} + \frac{1}{h_r A}}$$

$$\dot{Q} = \frac{T_{m1} - \bar{T}}{\frac{L_c}{k c A} + \frac{1}{(h_o + h_r) A}} \quad \text{-----12}$$

Suponiendo un h_o medio, debido a que la temperatura ambiente varía ligeramente en el transcurso del día.

T_{m1} = Temperatura media uno

T_{m2} = Temperatura media dos

T = Temperatura media ambiente

T = Temperatura media entre T_{m2} T_e

T_e = Media ambiente

$$\frac{1}{UA} = \frac{L_c}{k_c A} + \frac{1}{(h_c + h_r)A}$$

$A = \text{cte}$

$$\frac{1}{U} = \frac{L_c}{k_c} + \frac{1}{(h_c + h_r)}$$

2.4.4 Análisis de la chimenea

Para este punto, no se considerará un flujo transitorio, sino más bien, se tomará como si fuera un intercambiador⁹ que se analizará a través de la primera ley de la termodinámica. Para lo cual sólo se requerirá de las temperaturas a la entrada y a la salida de los gases de combustión, así como una temperatura ambiente media, un caudal de gases que se obtiene a través de los resultados de combustión anteriormente descritos, tomando en cuenta el exceso de aire.

Se supondrá que el ambiente es un reservorio donde es disipado el calor de desecho; sin embargo, debemos de tener en cuenta que el calor perdido inicia desde el momento en que los gases de la combustión salen de la estufa, por lo que el análisis para saber cuánto se pierde en la chimenea no es muy relevante para efectos globales de pérdidas de calor, pero sí lo es si se requiere saber cuánto se pierde por sección (chimenea).

Mediante la ecuación que involucra a los caudales, temperaturas y entalpías, se obtendrá en calor disipado por la pared circular y la que se va directamente al ambiente por medio de los gases de combustión.

⁹ F. Mills, Anthony. *Transferencia de calor. Rendimiento de la combustión parámetros y analizadores*. University of California, Los Angeles. Editorial IRWIN; Madrid-Barcelona; 2000 Tabla 1.3, p. 15.

Con los valores obtenidos de los gases de combustión, como lo es el exceso de aire, se obtiene de igual manera el diámetro recomendable que debe tener la chimenea, no así, la longitud de la misma, debido a que las fórmulas existentes y que fueron aplicadas no otorgaron valores creíbles que hicieran validas las expresiones para la longitud de la chimenea.

2.4.5 Para el cálculo de calor en chimenea

Se tiene el calor desprendido de los gases de combustión y se calcula por medio de la fórmula.

- La fórmula designada para la obtención de la conducción es la siguiente¹⁸:

$$Q_{chime} = (\dot{m})(C_p)(T_{temp.sal.chime} - T_{Ambiente}) \text{-----} 13$$

$(\dot{m})$ = Flujo másico de los gases de combustión

(C_p) = promedio de los gases de combustión

$(T_{temp.sal.chime} - T_{Ambiente})$ = Temperaturas a la salida de la chimenea y el medio ambiente

Para realizar el cálculo total del calor liberado, sólo resta sumar todos los calores calculados quedando una ecuación de este tipo:

$$Q_{1a} = \dot{Q}_{cond} + \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{rad} = Q_{comal\ principal}$$

$$Q_{1b} = \dot{Q}_{cond} + \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{rad} = Q_{hornillas}$$

$$Q_{2a} = \dot{Q}_{cond} + \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{rad} = Q_{paredes\ de\ estufa}$$

$$Q_3 = Q_{chimenea}$$

$$Q_{calor\ disipado} = \Sigma(Q_{1a} + Q_{1b} + Q_{2a} + Q_3) \text{-----} 14$$

2.5 Resumen

En el presente capítulo se establece el fundamento y los pormenores de los pasos que se deben llevar a cabo para conocer las partes susceptibles de modificar para lograr la optimización de una estufa *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas.

Las características del combustible son fundamentales, en nuestro caso la leña, de la cual es necesario conocer su contenido de humedad y poderes caloríficos, tanto superiores como inferior (PCS Y PCI).

Se establece también que existen diferentes tipos de eficiencias como son: eficiencia de transferencia de calor, eficiencia del recipiente, eficiencia de control, eficiencia de combustión, eficiencia de cocinado, eficiencia total, eficiencia “final”. Estas eficiencias se presentan en el estudio de las estufas de leña; en nuestro caso nos enfocaremos únicamente a la eficiencia de combustión y un pequeño estudio en transferencia de calor.

El estudio se realizó de la siguiente manera: se comenzó por el estudio de la eficiencia de combustión y transferencia de calor en la estufa *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas.

La forma en que se llevó a cabo el estudio es la siguiente:

Primero.- Estudio de eficiencia de combustión.

Segundo.- Análisis de transferencia de calor en el interior y exterior de la estufa que utiliza como combustible la leña.

Tercero.- la obtención de la eficiencia de combustión y el calor disipado.

En el análisis de transferencia de calor se analizarán las siguientes partes: comales, hornillas, paredes y parte posterior de la estufa, finalizando con un análisis de la chimenea.

El análisis de combustión de las estufas *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas, se basa en el poder calorífico de la leña, el cálculo del poder comburente, el volumen de aire mínimo por kilogramo de combustible, el cálculo del poder fumígeno y en la formulación empírica para el cálculo del volumen de humos total, producidos por un combustible en función de su potencia calorífica inferior.

La eficiencia de combustión se calcula, en nuestro caso, mediante un programa de cómputo elaborado exprofeso para el presente estudio.

3. Diseño de pruebas experimentales en estufas de leña

3.1 Introducción

Se llevará a cabo la descripción, puesta en marcha y metodología para llevar a cabo las pruebas de las estufas *Lorena* de leña; también serán presentadas las características técnicas y de operación, así como el lugar donde se llevó a cabo la construcción de las estufas, el equipo, las secuencias y métodos de prueba.

Las pruebas de laboratorio se realizaron en instalaciones acondicionadas para tal efecto (pruebas de laboratorio), así como las de campo se realizaron en comunidades indígenas, las cuales serán descritas a lo largo de este capítulo con las correspondientes gráficas obtenidas en cada caso, en las cuales se muestra el comportamiento térmico de las estufas y el de los gases de combustión estudiadas (En todo caso fueron las *Lorena*). En cuanto a la eficiencia de combustión será cuantificable posteriormente.

Cabe aclarar que existen muchos tipos de eficiencia, tales como: eficiencia de combustión (η_c), eficiencia de transferencia de calor (η_t), eficiencia del recipiente (η_r), eficiencia de control (η_{cc}), eficiencia de cocinado (η_c), la obtención de eficiencia “total” (η_T) y la eficiencia Final (η) que es el resultado final de todo el estudio en estufas de leña.

3.2 Descripción del laboratorio de las estufas de leña

En la comunidad de Santa Ana Chapitiro, Pátzcuaro, Michoacán, se diseñó y se construyó el laboratorio de estufas de leña; en estas instalaciones se llevó a cabo una serie de pruebas a las diferentes estufas que lo constituye.

En la presente investigación se contemplaron, entre otros temas: la puesta en marcha del laboratorio, el estudio de las cinco estufas más populares en la región, así como las pruebas preliminares realizadas a estos equipos, considerando siempre las condiciones más similares al funcionamiento de las

estufas en las cocinas de las comunidades, sin dejar de tomar en cuenta los usos y costumbres de los usuarios.

La versatilidad del laboratorio de estufas puede servir para realizar una serie de estudios tales como:

- a) Gases contaminantes dentro de las cocinas donde se consume como combustible la leña.
- b) Aprovechamiento del desperdicio de energía detectado en la chimenea de la estufa.
- c) Calentamiento de aire en el interior de las casas.

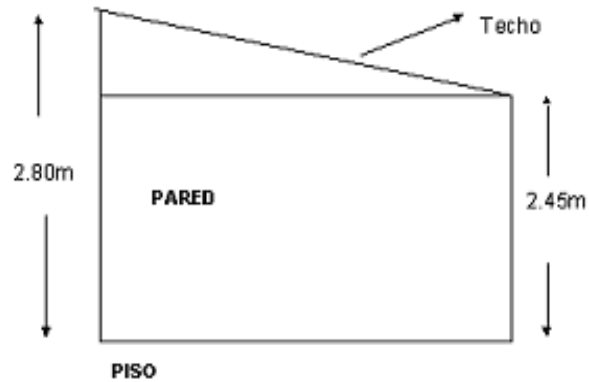
Los materiales con los cuales se construyó el laboratorio fueron: paredes de ladrillo, piso de concreto y techo de teja roja; se ajustó lo más posible al tipo de construcciones de la región de estudio. Este tipo de construcciones provoca una diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior de de dos a tres grados centígrados aproximadamente.

La distribución del laboratorio en croquis se indica en la figura 3.1; la instalación consta de dos ventanas, una en la parte de enfrente de 4.95 x 1.28 m, y la segunda en la parte de atrás de 0.90 x 0.58 m, las cuales se encuentran totalmente abiertas al igual que la puerta de dimensiones 1.00 x 1.97 m, (figura 3.1, b).

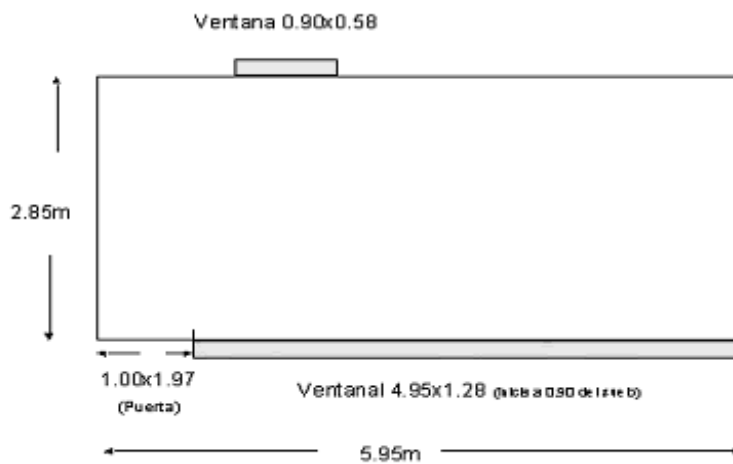
En la figura 3.2 muestra la fotografía del laboratorio de estufas de leña, el cual fue acondicionado aproximadamente igual a las cocinas que se encuentran en las comunidades, esto es para mantener las mismas condiciones de funcionamiento para poder realizar las pruebas respectivas de las estufas de leña en laboratorio.

Figura 3.1 Dimensiones del laboratorio de pruebas de estufas de leña.

(a) altura y la inclinación del techo, (b) esquema general del laboratorio



(a)



(b)

(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

Las figura 3.1 y 3.2 muestran las características del laboratorio que se construyó para realizar las pruebas a las estufas de leña, lo anterior es a grandes rasgos, ya que a continuación mostraremos la ubicación de las estufas de leña en el laboratorio de pruebas.

Imagen 3.2 Muestra el laboratorio de pruebas de estufas de leña.



3.3 Ubicación de estufas de leña dentro del laboratorio

El laboratorio cuenta con una superficie de 16.96 m^2 , con una altura interior de piso a techo 2.8 m , en la parte frontal y 2.45 m en la anterior. Las pruebas que se realizan en el laboratorio se hacen con la colaboración de las usuarias que cocinan en este tipo de estufas, las cuales proporcionan información de suma importancia en cuanto a la cocción de los alimentos, así como usos y costumbres que aplican al usar las estufas.

La distribución de las estufas guarda el siguiente orden (véase figura 3.3): de izquierda a derecha, frente a la puerta, se ubica la estufa *Justa* de una cámara de combustión y dos hornillas, a continuación se encuentra la *Lorena* con una cámara de combustión y dos hornillas, sigue la *Lorena* de dos cámaras de combustión y una hornilla y, finalmente, en esa pared la *Lorena* de dos cámaras de combustión, una al frente, otra lateral y dos hornillas, enfrente de esta última se encuentra la *Lorena* de una cámara de combustión con una hornilla.

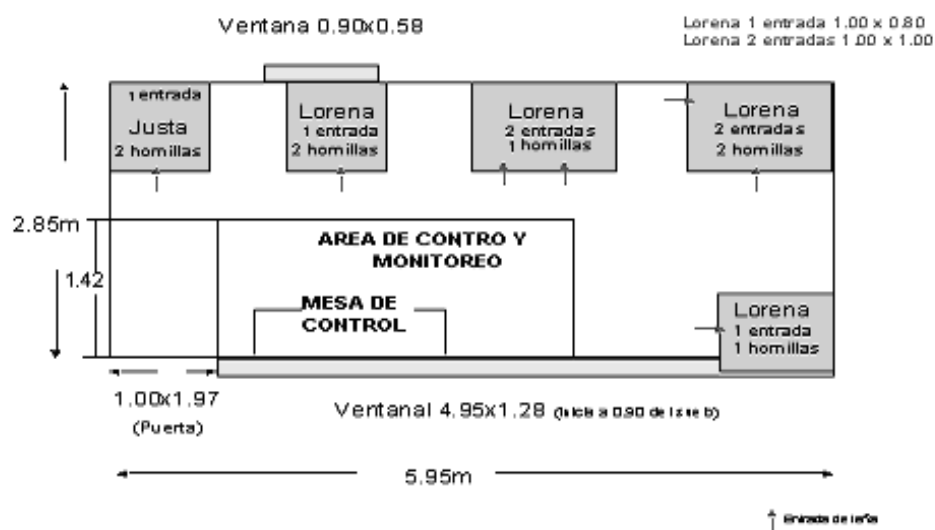
Cabe mencionar que en el capítulo 2, se señaló la existencia de estufas del Estado de México y las *Rocked*, las cuales se consideran portátiles, las cuales

también se encuentran en el laboratorio para realizar un estudio del perfil de temperaturas.

3.4 Instrumentación del laboratorio

La zona de control y monitoreo del laboratorio se muestra en la figura 3.4, en la cual se observa tanto su localización como distribución. El área en cuestión consta de equipo para la medición de temperatura y humedad, un analizador de gases de combustión, el equipo de almacenamiento de datos y equipo misceláneo. A continuación se hace una breve descripción del equipo mencionado:

Figura 3.4 Área de control y monitoreo dentro del laboratorio de estufas de leña



(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

La obtención de los datos de temperatura y humedad del combustible (leña), se hacen utilizando el equipo ALMEMO 2290-8 AMR¹, el cual consta de tres partes fundamentales:

¹ AHLBORN Mess-und Regelungstechnik, Constructors; *Operating instructions*. ALMEMO; 2290-8. V1.3 30/09/99.

- Panel de control. En él se programa la medición y se incluyen los parámetros que predominan en la prueba.
- Pantalla de lectura. En ésta se observa el resultado de la medición.
- Banco de conexiones. En el que se realizan las conexiones de los termoconectores que van a servir de interfase entre el equipo y los sensores.

El analizador de gases que se utilizó fue el BACHARACH modelo 300, el cual consta de los siguientes elementos:

- *Display*. El cual despliega de una manera sencilla y fácil de leer los datos de las emisiones ambientales y la eficiencia de combustión en la chimenea.
- *LED* (5). Muestran temperatura en la chimenea, el PPM de CO, porcentaje de oxígeno, exceso de aire, CO₂ y de eficiencia; con relación a siete combustibles distintos.

El equipo en cuestión reporta condiciones ambientales de óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre.

El analizador BACHARACH-300² fue utilizado en el presente estudio para el registro de los siguientes elementos de combustión: oxígeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, Nox, dióxido de azufre, exceso de aire y eficiencia en la chimenea.

Las ventajas del analizador elegido son:

- Fácil transportación.
- Selección de diferentes tipos de combustibles como: gas, diesel, petróleo, madera, etc.
- Registros que consigna el equipo con respecto al combustible, en este caso la madera.

² BACHARACH, Constructors Inc. *Combustion analyzer*. Instruction 24-9223 MODEL 300. Operation/Maintenance. Rev.1–November 1999.

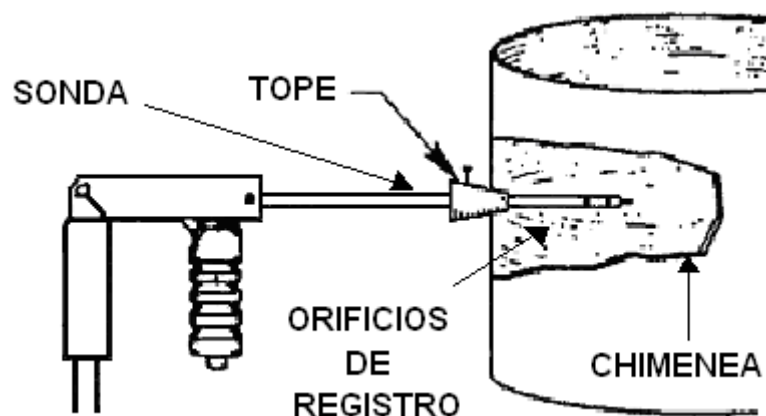
- Fácil y práctica colocación del instrumental.

Las desventajas que se pudieron detectar son:

- La toma de lectura se tiene que hacer de una forma rápida, debido a que la carga de la batería sólo se mantiene una hora, siendo esta situación bastante incómoda para las mediciones en campo, en donde no siempre se cuenta con una toma de corriente (AC).

Es necesario hacer notar que en la operación del equipo es importante la colocación en la chimenea. La sonda tiene un tope (véase figura 3.5), la cual debe sellar perfectamente el hueco en la chimenea donde se introduce la sonda, debido a que no debe haber entrada de aire para que la lectura sea correcta.

Figura 3.5 Instalación de la sonda en la chimenea.



El almacenamiento de datos se obtiene por medio de una computadora, en este caso fue una *LapTop IBM Think Pad*, la cual tiene el programa *DATA 4.1*. La conexión al equipo ALMEMO y la computadora se logra a través de un cable de interfaz.

El equipo accesorio que se utilizó para realizar las pruebas constó de:

- Termómetro de bulbo de mercurio, el cual se utilizó para registrar la temperatura del aire circundante.
- Hidrómetro electrónico, el cual sirvió para obtener la humedad relativa del aire.

Los aditamentos con que cuenta el equipo ALMEMO son:

- Termo-conectores modelo 2290-8-FS, en número de cinco, los cuales sirvieron de interfaz entre el termopar, la sonda y el sensor de humedad.
- Sonda o termocople. Se compone de un material de *Fe-CUNi* (fierro-cobreniquel), el cual proporciona un rango de temperaturas de -200 a 1000 grados centígrados.
- Termopares (5) Este aditamento está confeccionado por un material *Cu-CuNi*, el cual nos hace manejar un rango de temperaturas de -200 a 200 grados centígrados.
- Sensor de humedad. El equipo ALMEMO que se utilizó para medir temperaturas, también nos sirve mediante el sensor de humedad FHA696-MF³, para registrar la humedad del combustible.

Para medir la humedad de la madera es necesario poner en contacto el sensor de humedad y mantenerlo hasta que aparezca una lectura estable.

3.5 Metodología para la realización de las pruebas

El análisis del funcionamiento de las estufas no es sencillo, ya que se deben considerar variables difíciles de cuantificar pero de alta significancia en los cálculos, entre otros están: la temperatura del medio ambiente, la presión barométrica del lugar de estudio, así como la humedad del medio ambiente.

³ AHLBORN, Constructors; Mess-und Regelungstechnik. *Operating instructions Moisture-sensor. FH A696-MF. V2.0 26/02/99.*

Las pruebas realizadas en las estufas van encaminadas a conocer el consumo real de energía en función del suministro de combustible y determinar la eficiencia de combustión.

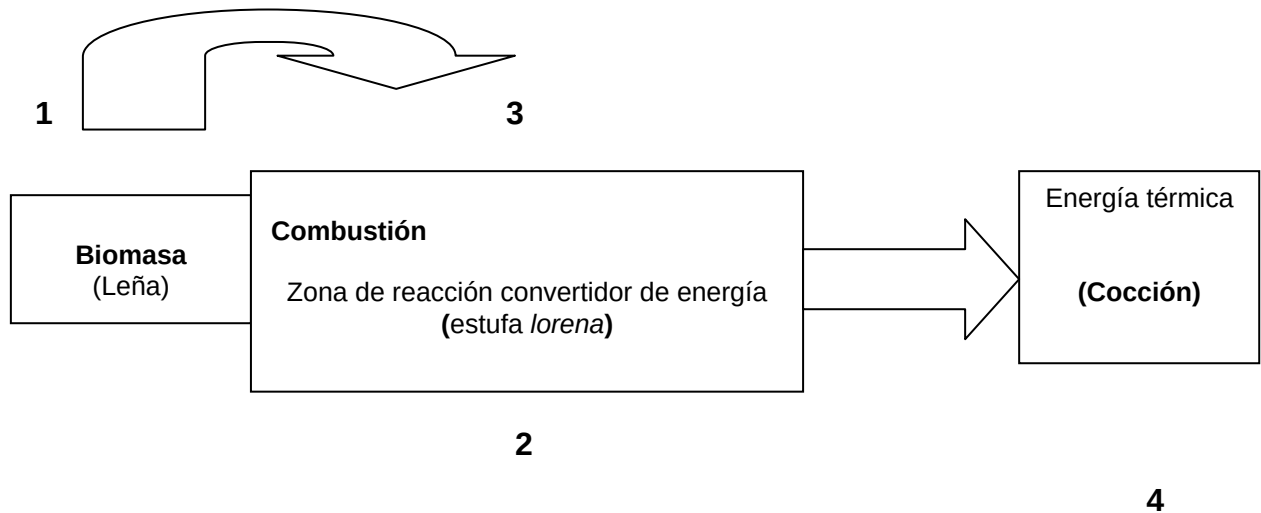
En la figura 3.6 se presenta un diagrama que muestra en forma general y que ayudará a tener una mejor referencia del estudio realizado. El diagrama consta de los siguientes puntos:

1. Indica el tipo de combustible que se introduce al convertidor de energía (estufa *Lorena*) en este caso leña y se registran los datos siguientes: humedad, de gran importancia para la combustión y para la evaluación del poder calorífico inferior (PCI) y del poder calorífico superior (PSC), para la evaluación de éstos es necesario tener en cuenta los componentes químicos básicos del combustible, los cuales también sirven para realizar el balance de energía, masa y obtener la eficiencia de combustión del equipo; es necesario también completar la cantidad de masa de leña que se suministra a la zona de reacción; punto 2 del diagrama.
2. La zona de reacción. En ésta ocurren diversos fenómenos de masa, transporte, de momento y energía, así como la transferencia de calor por radiación convección y conducción; reacciones químicas y transiciones de fase. Todo lo anterior da como resultado procesos irreversibles y fuera de equilibrio.

El proceso de la combustión no es uniforme, pudiendo decir de manera general que consta de: evaporación de agua que contiene el combustible, la descomposición de las moléculas que forman la leña (pirólisis) y la oxidación del carbón y volátiles sobrantes.

3) y 4) del diagrama, se presentan cuando la leña se quema, lo cual genera gran cantidad de compuestos volátiles que al entrar en contacto con el oxígeno, y dependiendo de la temperatura, arde como flama (Energía Térmica), pero generan también humos que son llamados gases de combustión.

Figura 3.6 diagrama a bloques donde se muestra la forma general del estudio de la estufa *Lorena* de una cámara de combustión dos entradas.



(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

- **Eficiencia en la estufas *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas**

Lo anteriormente expuesto describió el funcionamiento en forma general de una estufa *Lorena*. A continuación se plantea la manera de obtener las eficiencias que se presentan en un estudio completo de las estufas, las cuales son resultado de las interacciones de siete factores: eficiencia de combustión, la eficiencia de transferencia de calor, la eficiencia del recipiente, la eficiencia de control del cocinado, la eficiencia total y de la estufa *Lorena* las dos últimas que son las de mayor relevancia.

Las ecuaciones quedan de la siguiente manera:

$$\text{Eficiencia de combustión} = \frac{\text{Calor generado por la combustión}}{\text{Energía potencial de la leña}} = \eta_c$$

$$\text{Eficiencia de transferencia de calor} = \frac{\text{Calor total en el recipiente}}{\text{Calor total generado}} = \eta_t$$

$$\text{Eficiencia del recipiente} = \frac{\text{Calor neto que entro al recipiente}}{\text{Calor total generado}} = \eta_r$$

$$\text{Eficiencia de control de cocinado} = \frac{\text{Calor absorbido por los alimentos}}{\text{Calor neto que entro en el recipiente}} = \eta_{cc}$$

$$\text{Eficiencia de cocinado} = \frac{\text{Calor absorbido por los alimentos}}{\text{Calor neto que entro en el recipiente}} = \eta_c$$

$$\text{Eficiencia}^{\circ} \text{ total } = (\eta_c)(\eta_t)(\eta_r) = \eta_T$$

$$\text{Eficiencia}^{\circ} \text{ final } = (\eta_{cc})(\eta_c)(\eta_r)(\eta_t) = \eta$$

La figura 3.7 muestra los puntos que se deben de considerar para poder calcular cada una de las eficiencias anteriormente mencionadas. Los puntos que se muestran en esta figura (puntos 2, 4, 7, 10) son los iniciales en el proceso de combustión; la leña, el calor que produce y la relación al aire suministrado, sirven para obtener la eficiencia de combustión (η_c).

El calor que se escapa con los productos de combustión y el calor que absorben las paredes, recipientes y comales disminuye el calor aprovechado (puntos 1, 3, 8, 9), eficiencia de transferencia de calor (η_t).

Para obtener la eficiencia de recipiente, es necesario considerar la absorción de calor del fuego por los utensilios utilizados en la cocción de los alimentos

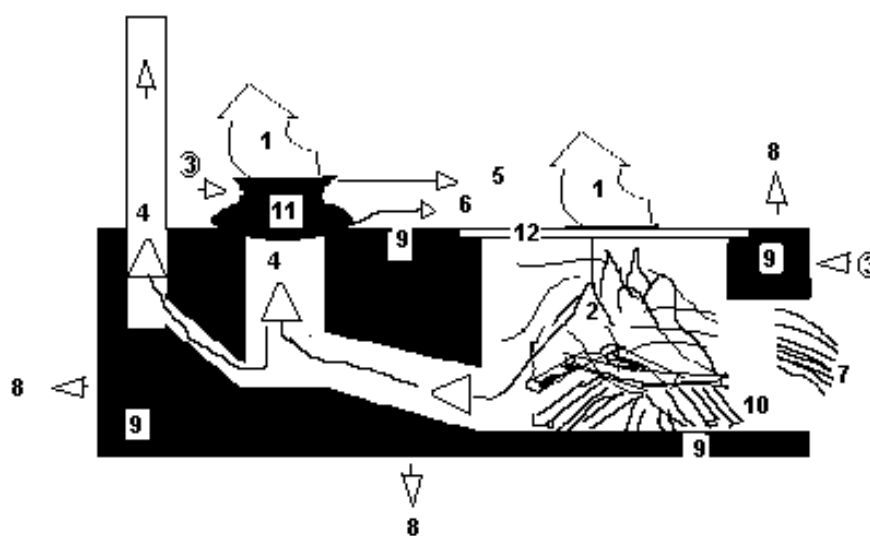
(comales y ollas), donde una parte se pierde en el calentamiento del propio recipiente, otra parte se dispersa en el medio ambiente y sólo una fracción pasa a los alimentos, los puntos 1, 3, 5, 6, 11, 12 son considerados como la cantidad de calor que reciben los alimentos del recipiente; a esto se le considera como eficiencia de recipiente (η_r).

Algunos alimentos necesitan mayor cantidad de calor necesaria para cocinar, ya que al inicio de la cocción necesitan mayor cantidad de calor y posteriormente esta demanda disminuye, en la combustión de leña no se tiene un estricto control sobre la cantidad de calor necesaria para cocinar los alimentos (puntos 3, 5, 6, 11 y 12).

Cuando se puede regular la cantidad de calor, como en las estufas de gas, se tiene una mayor eficiencia de control ($=\eta_{cc}$).

No todo el calor que se transfiere al recipiente contribuye al cocimiento de los alimentos, una parte considerable se pierde en la evaporación del agua, los puntos 1, 11, 6 y 5, que se muestran en la figura 3.7, son representativos para la obtención de la eficiencia del cocinado (η_c).

Figura 3.7 los puntos más importantes que se consideran para poder calcular todas las eficiencias en una estufa *Lorena*.



(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

En el caso de la “eficiencia total” (η_T) se tiene la multiplicación de las eficiencias de cocinado, transferencia de calor del recipiente. Para la eficiencia final (η) se multiplican las eficiencias de control, cocinado, transferencia de calor del recipiente.

Debido al gran cúmulo de lectoras y variables que se tienen para llevar a cabo el estudio de las estufas de leña, fue necesario, para una mejor comprensión del lector, el diseñar un sistema para el registro y captación de las mismas, el cual se describe en la figura 3.8; cabe señalar que fue necesario dividir la estufa en cuatro partes, para simplificar las pruebas de medición de temperaturas, las cuales son:

En la estufa

- a) Comales
- b) Cuerpo de la estufa

En la chimenea

- a) Superficie exterior
- b) Gases de combustión

El sistema se basa en la siguiente metodología: la estimación de la combustión en las estufas de leña para lo cual se encontrará en primera instancia la pérdida de energía térmica mediante la transferencia de calor que se realiza en el equipo considerando el combustible consumido y los gases de combustión desechados.

Con los valores así obtenidos, se pueden comparar con los encontrados experimentalmente y conocer el ahorro de combustible o el exceso del mismo, realizando también el respectivo análisis de combustión.

La realización de diferentes lecturas en la estufa *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas, permite también detectar fugas excesivas de energía, pudiendo proceder a la reparación (mediante el aislante indicado) lo cual redundaría en un ahorro de combustible y evita los contaminantes al medio ambiente.

Todo lo anterior se hace con una previa captación de las condiciones iniciales de donde se desarrolla la prueba; tales como: temperatura del medio ambiente, humedad y presión atmosférica del lugar.

La consignación de datos se realiza en las tablas correspondientes (tabla general de datos), más adelante se simplificará esta tabla para comodidad al realizar los cálculos. Para este efecto, se consideran las dos partes constituidas en que se ha dividido la estufa: en el cuerpo (cámara de combustión) y en la chimenea (confróntese el anexo 3-1).

La duración del registro de datos correspondientes a la temperatura, comentados anteriormente, se llevó a cabo dentro de un rango de 3 a 5 horas, pudiendo reducir el tiempo con mayor práctica. El tiempo registrado fue para un

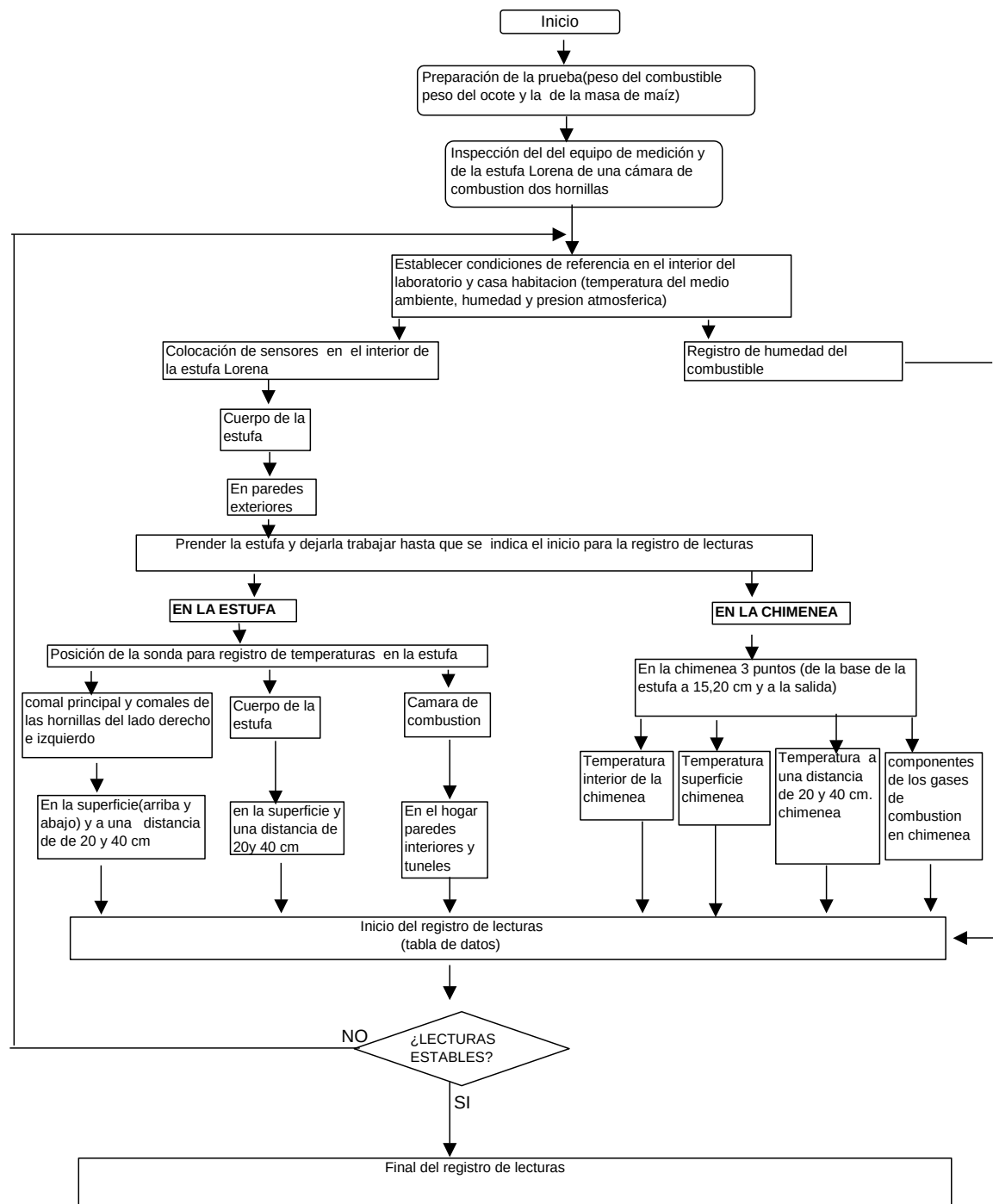
total de 5 pruebas, en la estufa *Lorena* de una cámara de combustión y dos hornillas.

Con la metodología, la práctica y los datos que se registraron en laboratorio, se proceden hacer los correspondientes registros en campo, teniendo en consideración la invaluable colaboración de los habitantes de las comunidades, los cuales prestaron sus estufas para poder llevar a cabo esta parte fundamental del estudio.

Las condiciones en campo, aunque parecidas no pudieron ser iguales a las del laboratorio, ya que en este último se pudieron acondicionar las estufas para llevar a cabo el registro de lecturas en las zonas y lugares considerados más representativos; en incisos posteriores se iniciará más específicamente en qué consistió este acondicionamiento, el cual no se pudo llevar a cabo en campo, ya que el usuario no lo permitiría por considerar que se estaba dañando su patrimonio.

Para hacer el estudio más riguroso, se consideró la necesidad de contemplar una variable más como la humedad; la cual, en el capítulo anterior, se estableció la forma de obtener esta variable junto con los gráficos correspondientes.

Figura 3.8 diagrama de flujo donde se muestra la metodología para el registro de lecturas.

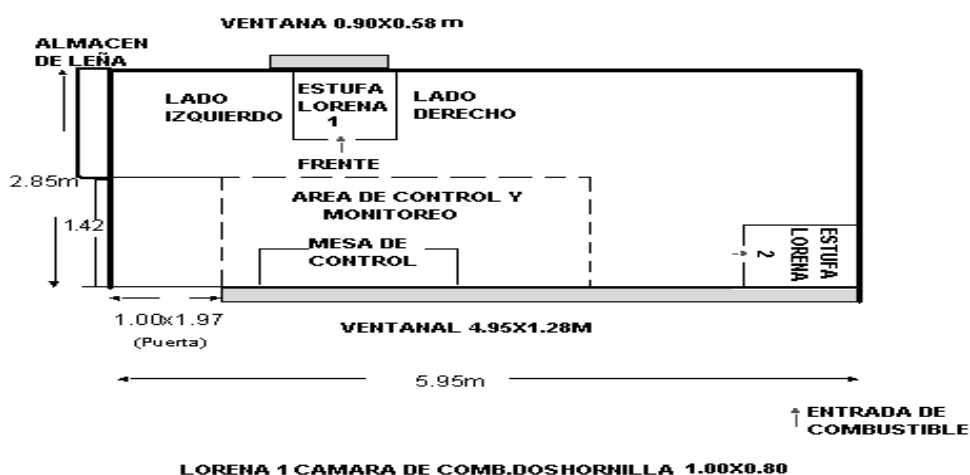


(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

3.6 Pruebas de laboratorio de las estufas de leña

La ubicación de las estufas de estudio en el laboratorio es de fundamental importancia para el presente estudio. La figura 3.9 muestra esta distribución, toma en cuenta la construcción de esta instalación ya que ésta cuenta con una ventana sobre uno de los equipos de estudio y con un ventanal del lado opuesto que coincide en un lado con otra estufa *Lorena* de una cámara de combustión y dos hornillas.

Figura 3.9 Colocación de las estufas *Lorena* de una cámara de combustión dos y una hornillas a probar dentro del laboratorio.



(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

Estas características definitivamente influyen en los presentes estudios de transferencia de calor a través de las paredes de la estufa y el de análisis de gases.

La consideración que se debe tener en cuenta cuando se realizan las pruebas, es que se trabaja en un sistema lo más estable posible, sin variaciones de la velocidad del aire, ni cambio de volúmenes del mismo; lo anterior trae como consecuencia que se debe implementar lugares semicerrados, lo cual en el laboratorio se logró satisfactoriamente, en tanto que en campo se tuvieron algunas excepciones.

Para lograr un mejor resultado de las lecturas se tuvieron que realizar varias adaptaciones a la estufa, las que consistieron en: perforaciones laterales para registrar las temperaturas en las paredes interiores de la cámara de combustión, los mencionados barrenos fueron de 5 *cm* de profundidad (anexo 3-2), los registros en los comales se presentan con detalle en el anexo 3-3.

En la chimenea se colocaron válvulas de ½ pulgada, tipo compuerta a 30, 20, y 15 *cm* del gorro de la chimenea con el fin de evitar el paso del aire del medio ambiente cuando se están sensando las temperaturas y los gases de combustión; se recomienda para una mayor comprensión ver el anexo 3-3.

Es necesario señalar que se debe tomar en cuenta el equipo y accesorios que sin ellos sería prácticamente imposible realizar las lecturas como lo son: guantes de asbesto, que a lo largo del estudio sirven como protección a las altas temperaturas pudiendo llegar éstas a los 100° C. Es necesario contar con una escalera con plataforma para subir todo el equipo de medición hasta la azotea (anexo 3-4).

Es importante destacar que los comales principales son de barro, debido a que en la región elegida así se acostumbra; para que las pruebas fueran validas se debieron tomar características semejantes en el laboratorio, es por eso también que los canales de las hornillas son de metal.

3.7 Mediciones en las estufas de leña del laboratorio

Las mediciones fundamentales para el diseño y construcción de los equipos de estudio son: la rapidez de la transferencia de energía, debido a que si una estufa realiza este tipo de intercambio con el medio circundante es necesario considerar parámetros importantes en el diseño para lograr un buen aprovechamiento de la combustión de la leña; este proceso, como se mencionó, genera una gran cantidad de compuestos volátiles, de los cuales es de interés conocer los porcentajes que se incorporan al medio ambiente.

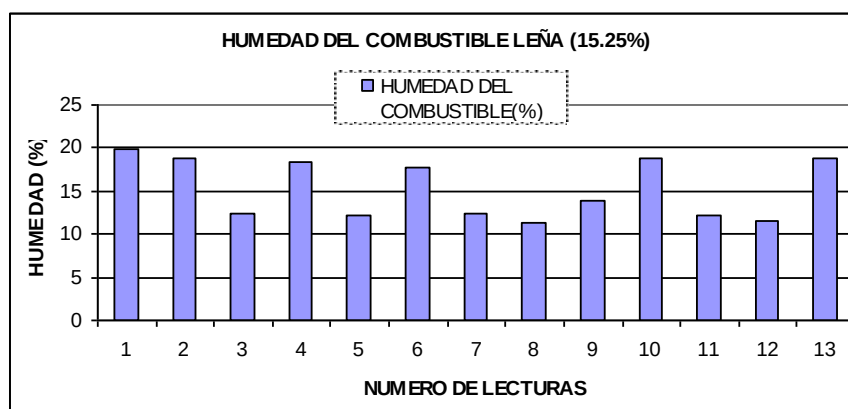
Es necesario conocer también las pérdidas de energía que se presentan en las paredes de la cámara de combustión y las paredes de la base de la estufa, así como ponderar algunas fugas que pudieran presentarse. Para lograr conocer la magnitud de éstas es necesario caracterizar los equipos a utilizar en el laboratorio.

En el inicio del Capítulo 3 se describe también la metodología a emplear para establecer las pérdidas en los comales y en el cuerpo de la estufa, reportándose los resultados encontrados.

Como se mencionó, es necesario tomar en cuenta las condiciones de humedad en el combustible, aunque también la del medio circundante la que, en general, se mantuvo baja. La toma de mediciones en la leña se registró con el equipo medidor de humedad; así mismo se tomaron muestras aleatorias y se obtuvieron los siguientes resultados:

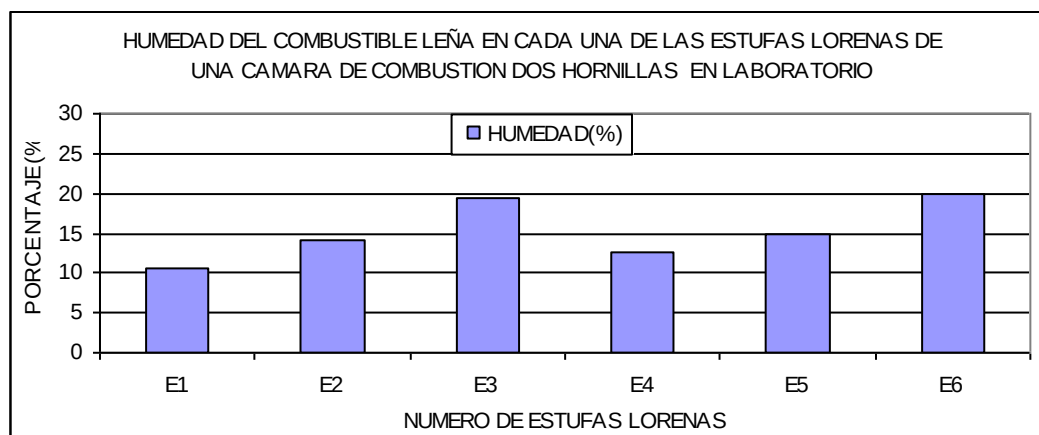
Humedad máxima 20 por ciento y mínima del 11 por ciento, considerándose como humedad promedio 15.25 por ciento. Todo lo anterior fue realizado para la carga de combustible (leña) de la estufa *Lorena* de una cámara de combustión y dos hornillas. La gráfica 3.10 muestra más detalladamente el comportamiento de la prueba.

Figura 3.10 Representación gráfica de la humedad del combustible para una estufa *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas.



(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

Figura 3.11 Representación gráfica de la humedad del combustible para las estufas *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas.



(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

En la gráfica se muestran los registros de las humedades del combustible de las seis estufas *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas, construidas en el laboratorio para obtener la humedad de la leña se tomaron varias muestras de combustible y se registraron sus humedades respectivas, con estos datos obtuvimos un promedio el cual se muestra en la figura 3.11 para cada una de las estufas *Lorena*

Las pruebas se realizaron en el laboratorio las cuales se describieron con anterioridad, así mismo se debe considerar que éstas duraron en promedio de dos a cuatro horas, entre preparativos, toma y registro de lecturas. Es necesario comentar que los registros de temperaturas se llevaron a cabo a 30 minutos de darse por iniciada la combustión, con mediciones sostenidas cada media hora, consignándose únicamente el promedio de las seis que se llevaron a cabo.

Se dio comienzo con el censo de temperaturas en los comales y el cuerpo de la estufa, paredes y la base de ésta; posteriormente, se tomaron las lecturas en la parte interior y exterior de la chimenea, registrando también los gases de la combustión generados.

Previo a lo descrito, es necesario considerar las acciones de preparación que se tuvieron que llevar a cabo, como: la verificación de condiciones de temperatura y humedad en el laboratorio, humedad en combustible (leña), peso del combustible, limpieza de la estufa, esto es, ningún residuo de cenizas en la cámara de combustión, en comales y hornillas; estos últimos sellados para evitar fugas.

Las pruebas se realizaron el mismo día dentro de lo posible siempre a la misma hora; el horario que se adoptó fue de 10:00-12:00 de la mañana 15:00-18:00 hrs. Esto sirvió para tener una referencia cuando se realizaron las pruebas en campo. El análisis del comportamiento a lo largo del tiempo ayudó a determinar la parte del día más adecuada para realizar el estudio en las casas de la región, que amablemente prestaron sus estufas.

La estimación de las pérdidas de energía es sumamente importante, ya que éstas se presentan fundamentalmente en las paredes de la estufa (laterales y frente), superficie de la misma (comales y hornillas) y chimenea.

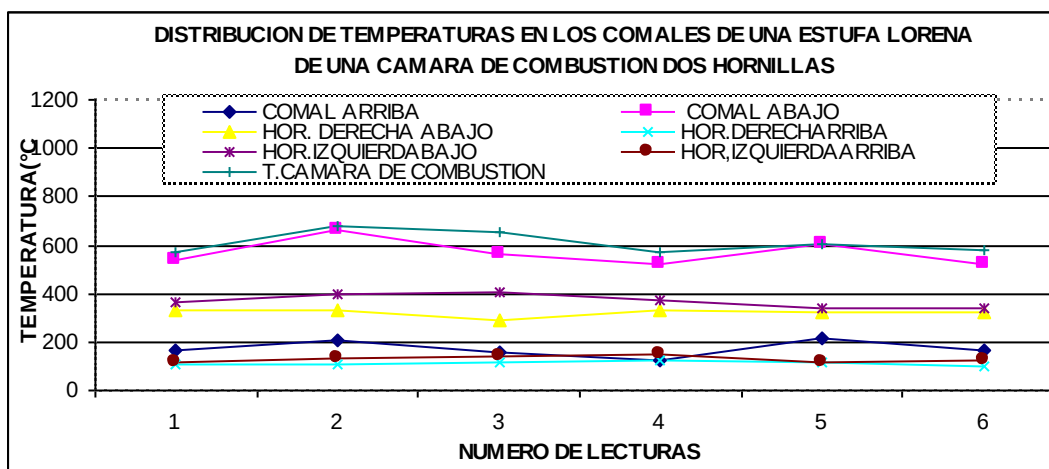
La magnitud de estas pérdidas se establecieron mediante el equipo ALMEMO, mencionado anteriormente, equipado con el programa Data-Control 4.1; este puede registrar cada una de las lecturas de temperatura en la estufa (ver figuras en anexo 3-5).

Para correr las pruebas en la estufa elegida (*Lorena* de una cámara de combustión y dos hornillas), se dispusieron las puntas de los termopares en cada uno de los puntos elegidos (ya descrito con anterioridad), tratando de no dejarlos al descubierto (ya que se pueden tener errores en el registro de temperaturas). Posteriormente se seleccionó el botón para calibrar las variables que registra el equipo (ALMEMO), activándose en la computadora o *lap-top* al programa “Control automático de ejecución”; se espera un momento hasta que se estabiliza la variable a medir (temperatura).

En la computadora se visualiza gráficamente el comportamiento de la temperatura en el tiempo. La ventaja de contar con este programa es el poder registrar las lecturas en intervalos de tiempo que se crean convenientes, éstas se colocan en un archivo del programa para obtener las gráficas correspondientes, en este caso: comales, hornillas y chimenea.

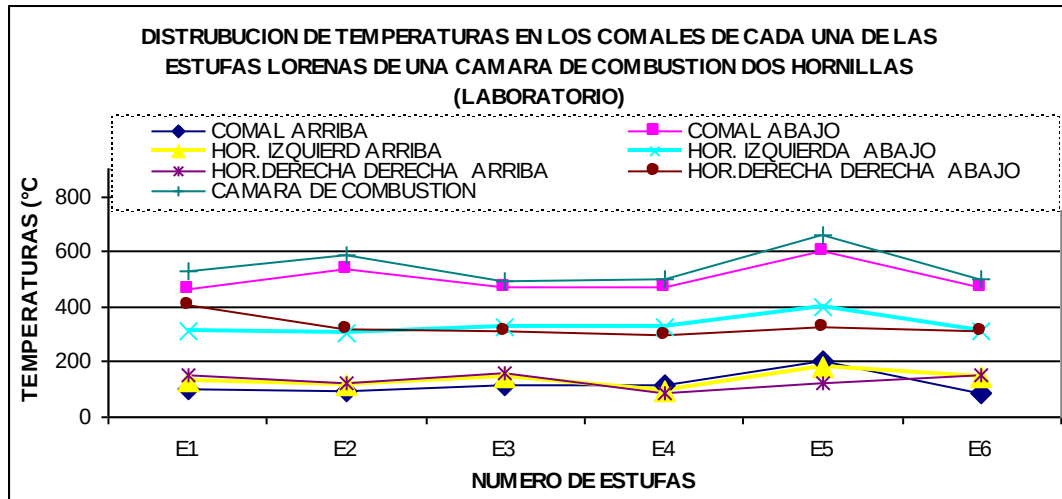
En la figura 3.11 se observa que el comal principal en la superficie inferior se obtuvo una temperatura máxima de 658.3° C en la cámara de combustión y en la superficies del comal 200° C; en las hornillas, en la parte inferior por abajo, se obtuvo 405.6° C y en la parte superior, arriba 145° C lo anterior para una estufa *Lorena* de una cámara de combustión en laboratorio.

Figura 3.11 Representación de diferentes perfiles de temperaturas en el comal principal y en las hornillas para una estufa *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas laboratorio.



(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

Figura 3.12 Representación de diferentes perfiles de temperaturas en los comales principales y en las hornillas para varias estufa *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas laboratorio.



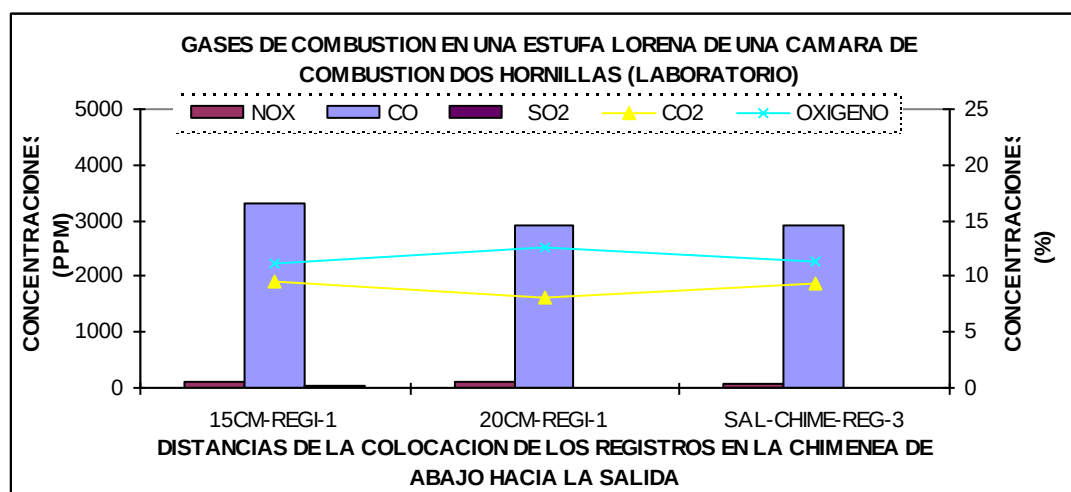
(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

En la figura anterior nos muestra la distribución de temperaturas en los comales de las estufas *Lorena*, desde la estufa uno a la estufa seis, donde podemos observar que la estufa cinco tiene mayor temperatura en su cámara de combustión, ver figura 3.12 estas estufas son del laboratorio de pruebas.

A continuación se presentan las gráficas de los gases de combustión para las estufas *Lorena* en laboratorio.

Los registros de lecturas de los gases de combustión se tienen representados en la figura 3.13 que muestra el comportamiento de los gases de combustión para una estufa *Lorena*. Las concentraciones se tomaron de la manera siguiente: la primera toma se realizó a una distancia de 15 cm de la base de la estufa hacia la salida de la chimenea, la segunda a una distancia de 20 cm y la última a la salida de la chimenea.

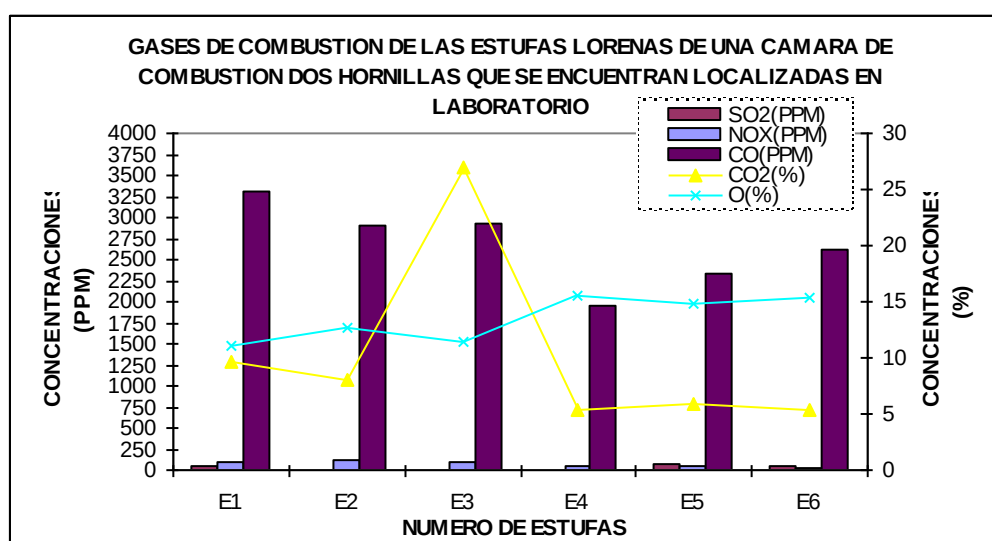
Figura 3.13 Gráficas de la distribución de gases de combustión, en una estufa Lorena una cámara de combustión dos hornillas en laboratorio.



(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

Lo siguiente es obtener el promedio de estos tres registros, los cuales se presentan en la siguiente gráfica para cada una de las estufas en estudio desde la uno hasta la seis, el promedio de los tres registros se obtuvieron de la estufa uno (E_1) lo anterior es para obviar la presentación, ya que lo mismo hicimos con las otras estufas restantes (véase figura 3.14).

Figura 3.14 Gráficas de la distribución de gases de combustión, en las estufas Lorena de una cámara de combustión dos hornillas en laboratorio.



3.8 Mediciones en casas de las comunidades de la región de estudio (trabajo de campo)

Para el trabajo de campo se tomó en cuenta la información de GIRA, que es el ente que posee los registros de construcción de estufa *Lorena* en las comunidades de la región elegida. Se tomó la decisión de incluir todos los tipos y variantes de este tipo de estufas para realizar el estudio y se puso especial atención en las *Lorena* de una cámara de combustión y dos hornillas.

La metodología fue la misma que se mostró en el diagrama de flujo (figura 3.8), que se llevó a cabo en el laboratorio. La colocación de sensores en el cuerpo de la estufa y en la chimenea con las respectivas modificaciones y adecuaciones fueron los mismos que se mencionaron anteriormente (véase anexo 3-6).

- **Requisitos y datos para llevar a cabo las pruebas en campo**

El primero de éstos fue el contacto con las usuarias de la estufa *Lorena* para coincidir con sus actividades normales; el horario que se dio fue el de 7 a 10 hrs. y de 12 a 15 hrs., con una frecuencia diaria o hasta de 2 a 3 veces a la semana, dependiendo de la situación económica.

Tabla 3.1. Comunidades que utilizan las estufas *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas; combustibles utilizados y edad de las estufas.

Comunidades	Usuaría	Tipo de combustible	Edad de la estufa(años)
Casa Blancas	Gloria	Leña	2
Casa Blancas	Olivia	Leña	2
Casa Blancas	Ma. Sagrario	Leña	2
Uranden	Rosa Maria	Leña	6
Jarácuaro	Jovita	Leña	2
Jarácuaro	Alicia	Leña	3
Jarácuaro	Ma. Piedad	Leña	2
Napízaro	Laura L.	Leña	3
Napízaro	Laura S.	Leña	4
Napízaro	Ma. Eugenia	Leña	3

(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

Las pruebas se realizaron en comunidades, en donde se utilizaban dos tipos de combustibles: la leña y el gas (véase tabla 3.1), aunque el uso más generalizado fue el de la leña. Los comentarios de las usuarias oscilaban en el sentido de: *“utilizamos más leña que gas por lo caro y lo poco que dura”*.

En la tabla 3.2 se muestran las especies de leña que utilizan en campo cada una de las usuarias, donde muchas veces combinan las especies, dependiendo de las necesidades de ese momento.

Cabe aclarar que el total de estufas construidas en las diferentes comunidades es de 237⁴. Las especies de leña que utilizan son, por lo general, el pino y el encino; como se había comentado anteriormente, la más utilizada es el pino, por lo económico.

Tabla 3.2 Tipos de leña que se utilizan en las comunidades para realizar la combustión en estufas *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas.

Estufa	Comunidades	Usuaría	Especie
1	Casas Blancas	Gloria	Pino
2	Casas Blancas	Olivia	Pino
3	Uranden	Rosa Maria	Pino
4	Jarácuaro	Jovita	Sauce
5	Jarácuaro	Alicia	Encino
6	Jarácuaro	Ma. Piedad	Pino
7	Napízaro	Laura L.	Pino
8	Napízaro	Ma. Eugenia	Pino 50%, Encino 50%
9	Puacuaro	Virginia	Encino
10	Charahuen	Alma Rosa	Encino

(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

La preferencia es el de encino. En el capítulo anterior se observaron las cualidades analizadas en el diagrama de Ostwald (Capítulo 2, figura 2.6).

⁴ Díaz, Rodolfo. (GIRA) Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiable, A. C.

El transporte del equipo para las pruebas de campo fue otro requisito a cumplir; para este cometido se utilizó una camioneta, la cual facilitó el traslado de una casa de una comunidad a otra.

Para el registro de las lecturas se llevó a cabo en la misma forma que se planteó en el laboratorio. La colocación de los sensores se realizó de la misma manera que se mencionó anteriormente, aunque si bien se respetaron las zonas a censar, por obvias razones no se pudo adecuar la estufa con los barrenos del cuerpo de la estufa y las perforaciones en la chimenea.

Finalmente, se menciona un punto de fundamental importancia, que fue la puntualidad. Como se mencionó, aunque el tiempo en que la estufa se ponía en uso, esto es cuando se preparaban los alimentos de la familia, ser puntual era indispensable para no interrumpir todas las actividades de la casa.

La comprensión de los usuarios fue de gran ayuda para llevar a cabo el estudio porque siempre presentaron eventualidades que retrasaban el proceso.

Es necesario reconocer el invaluable apoyo del personal del GIRA y CIECO, en especial de las personas de las comunidades que amablemente se ofrecieron a prestar sus estufas y su tiempo, sin dicha colaboración este trabajo no se hubiera llevado a cabo.

Procedimiento de registro de las lecturas en las estufas *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas, en las casas de las comunidades de la región de estudio

El primer paso fue contactar a las usuarias, trasportar el equipo fue el siguiente y disponer de energía eléctrica complementó los requisitos. El tiempo fue como el peor enemigo, debido a que la habilidad de las usuarias hacía que usualmente nos ganaran, pero la amabilidad y disposición de ellas llevaron a buen término la toma de lecturas de datos necesarios para el estudio.

Las tablas 3.1 y 3.2 muestran las diferentes comunidades y propietarias de las estufas *Lorena* de una cámara de combustión y dos hornillas, que fueron visitadas para realizar la toma de lecturas correspondientes. En la Tabla 3.3 se muestran las estufas en el orden en que se registraron. E1, la primera, después E2, segunda, y así sucesivamente, la ubicación y las usuarias.

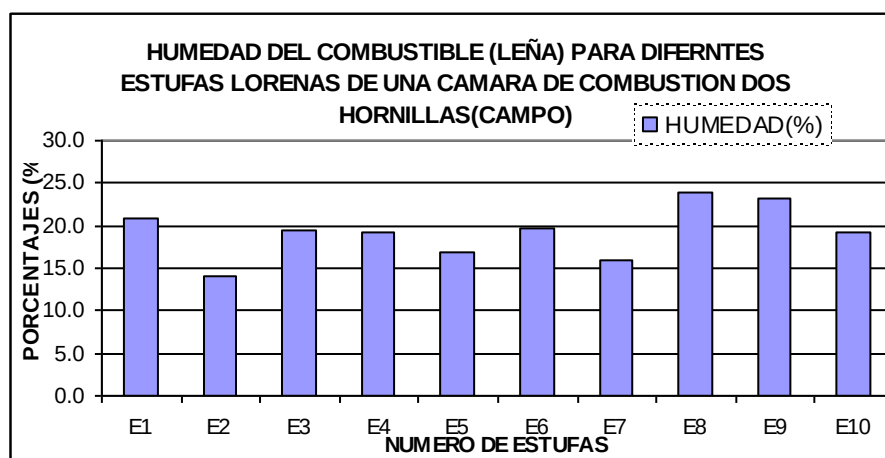
Tabla 3.3 Localización de las estufas *Lorena* de una cámara de combustión en las diferentes comunidades de la región de Pátzcuaro.

Estufas una cámara de combustión		
Estufa	Comunidades	Propietaria
E1	Casas Blancas	Gloria
E2	Casas Blancas	Oliva
E3	Casa S Blancas	Ma. Sagrario
E4	Uranden	Rosa Maria
E5	Jarácuaro	Jovita
E6	Jarácuaro	Alicia
E7	Jarácuaro	Ma. Piedad
E8	Napizaro	Laura L.
E9	Napizaro	Laura S.
E10	Napizaro	Ma. Eugenia

(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

Las siguientes gráficas se obtuvieron de las estufas *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas que se encontraban trabajando en las casas de las comunidades. En la gráfica se representa la humedad del combustible (leña) para las estufas *Lorena* ahora en (campo), como se comento anteriormente únicamente presentaremos los promedios de las humedades de la leña esto en porcentaje ver figura 3.15.

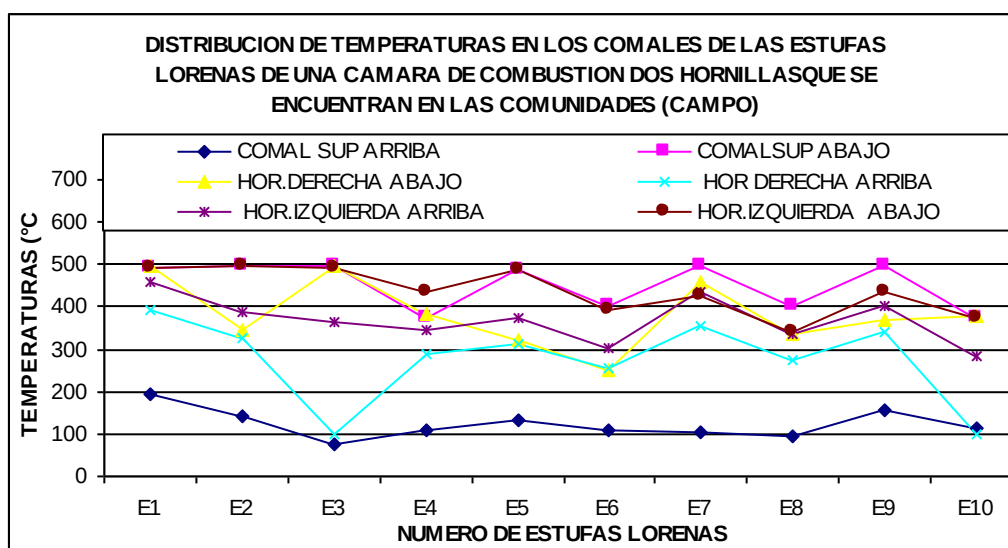
Figura 3.15 Gráficas con lecturas de las humedades presentadas en el combustible (leña) y su promedio



(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

En la figura se muestra la distribución de temperaturas en los comales, principales y comales de hornillas; donde se aprecia que las temperaturas en la hornilla derecha son casi iguales a la hornilla izquierda ver figura 3.16; aclarando que la distribución de temperaturas es el promedio para cada una de las estufas que se encuentran en las comunidades, (casas de las usuarias).

Figura 3.16 Gráfica con las lecturas de la distribución de temperaturas en los comales de una estufa Lorena de una cámara de combustión dos hornillas.

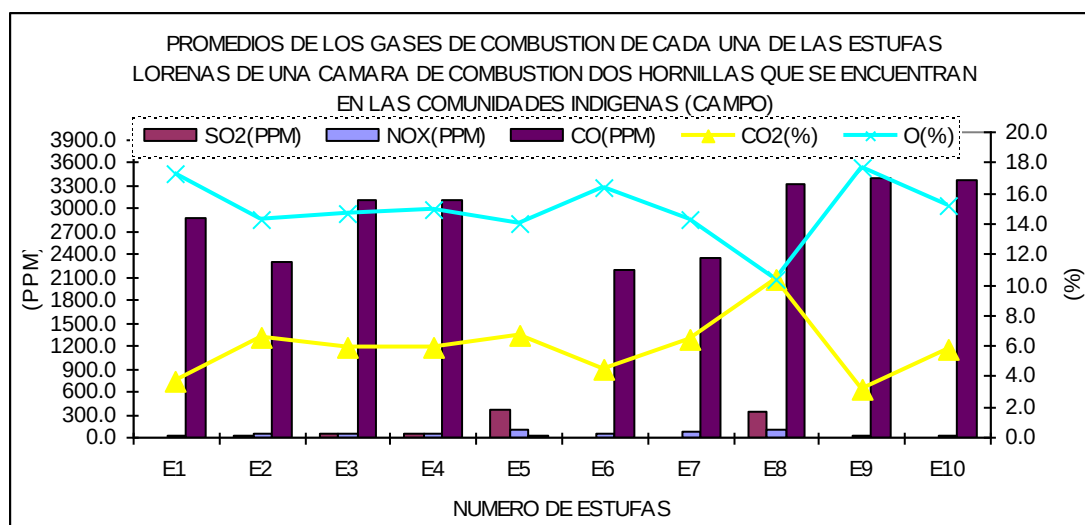


(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

En la figura siguiente se muestran las concentraciones de los elementos o componentes de los gases de combustión obtenidos del equipo BACHARACH, de cada una de las estufas de las usuarias los datos de estos elementos son de suma importancia ya que nos servirán para obtener las eficiencias de combustión, los elementos son: las concentraciones de CO_2 , SO_2 , NO_x , etc., para mayor información ver figura 3.17.

El resto de los datos tomados en las casa habitación de las comunidades indígenas se presentan para mayor comodidad en el anexo 3-7, donde se muestran las lecturas promedio de cada una de las estufas Lorena de campo

Figura 3.17 Gráficas que muestran las lecturas de los componentes de los gases de combustión en una estufa Lorena de una cámara de combustión dos hornillas.



(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

La metodología aplicada es la misma que se llevó a cabo en el laboratorio, pero en las pruebas de campo se tuvieron que realizar algunos detalles que a continuación se mencionan:

Para cada una de los registros de los gases de combustión es necesario sacar la sonda, con el objetivo de depurar el equipo de estos gases que quedaron

como remanentes; si no se toma en cuenta esta precaución, el equipo simplemente deja de funcionar.

El otro aspecto a tomar en cuenta es el último registro en lo alto de la chimenea; el viento soplaba a velocidades muy altas lo cual provocaba pequeñas entradas de aire que, por supuesto, se tenía que corregir.

En las comunidades se realizaron una serie de mediciones, llevando como experiencia y práctica las mediciones de laboratorio, ya que se aplicó el mismo procedimiento mencionado anteriormente y aplicando la metodología del diagrama de flujo con algunos pequeños detalles como son los siguientes:

Primero, por seguridad es importante sacar la sonda de la chimenea para que se pueda depurar el equipo de los gases de combustión que quedaron como remanentes, lo anterior para cada uno de los registros y así continuar con las siguientes tomas de lectura; si no se hiciera esa limpieza, el equipo dejaría de funcionar.

Segundo, para el último registro, que se encuentra en lo alto, se tuvieron algunas dificultades de sello ya que en ocasiones soplaba el viento en el exterior con velocidades altas y esto provocaba pequeñas entradas de oxígeno, las cuales se debían solucionar y lógicamente provocaban retrasos en la toma de lecturas en este tercer registro.

En la figura 3.15 se muestran las concentraciones de los elementos o componentes de los gases de combustión obtenidos del equipo BACHARACH, los cuales servirán más adelante para obtener las concentraciones de CO_2 , el exceso de aire, entalpías y el ábaco de combustión

3.9 Resumen

El presente capítulo presenta de forma detallada el Laboratorio en donde se realizaron las pruebas a las estufas *Lorena* de una cámara de combustión dos

hornillas. El equipo con que se contó y el uso en las diferentes zonas definidas de la estufa.

En forma general, se establecieron las fórmulas para poder obtener las eficiencias de las estufas del tipo *Lorena* quedando claro que la eficiencia que se obtendrá en este estudio es la de combustión y un pequeño análisis de transferencia de calor.

Finalmente, se presentó la metodología que rigió la secuencia del presente estudio y la explicación de cada uno de ellos.

Las experiencias vividas respecto al proceso de registro de lecturas, sobre todo en las comunidades indígenas (pruebas de campo), fueron las siguientes:

- Las modificaciones que hicieron las usuarias a sus estufas son de una manera benéfica, por mencionar algunas que son importantes. La colocación en la chimenea de la estufa de un calentador de leña para aprovechar el calor de los gases de combustión, el problema es que únicamente se puede colocar en una estufa *Lorena* de una cámara de combustión con el comal principal sin hornillas, (véase anexo 3-8). A otra estufa le colocaron una chimenea con tubos de asbesto de 66 cm de diámetro que se utiliza en los drenajes, el inconveniente es que el peso de estos tubos provoca hundimientos en el cuerpo de la estufa, (véase anexo 5-8). Estos son algunos ejemplos que son producto de las experiencias de las usuarias en la utilización de las estufas *Lorena* de una o dos cámaras de combustión. En este caso, el aprendizaje puede ser *“aprovechar lo que tienes y no modificas lo que ya hiciste”*.
- Por otro lado, se observó en otras estufas *Lorena* el descuido y las tantas modificaciones que se suscitan por el desgaste, sobre todo en las entradas de las cámaras de combustión, la modificación de los túneles de la cámara de combustión a las hornillas; lo anterior por la constante entrada de leña a la estufa. Las visitas de los constructores sería conveniente para ayudar a las usuarias.

- Los usos y costumbres son esenciales para considerarlas dentro de la creación de nuevas tecnologías, por lo cual, el Dr. Omar Masera, del (CIECO), UNAM, ha cuidado con recelo este punto tan delicado para estas comunidades.
- Crear promocionales para uso, mantenimiento y ventajas con dibujos para una mayor asimilación, indicando en forma resumida la problemática.
- Incentivar a las usuarias que ya tienen estufas para que las cuiden y acepten alguna modificación.
- La problemática de la falta de agua en las comunidades es de interés para los pobladores porque al no explicarles que si se acaban los bosques (leña), se termina la captación de agua dulce.

4. Resultados experimentales

4.1. Introducción

En este capítulo se muestran los resultados de las pruebas que se realizaron en las estufas *Lorena* en laboratorio y en campo. Con estos resultados, se está en posibilidad de recomendar las modificaciones con las que se obtendrá una mayor eficiencia de combustión.

El presente capítulo expone la forma en que se obtuvo la eficiencia de combustión y un análisis energético de la estufa. El estudio se realizó con base en la metodología mostrada en el capítulo anterior y también todas las variables, tanto de la estufa como del medio ambiente, mencionados a lo largo del presente estudio.

Es importante notar que las pruebas en las estufas *Lorena* de una cámara de combustión y dos hornillas, tanto de laboratorio como en campo se realizaron siempre con carga, ya sea en la elaboración de tortillas o calentando agua; en ambas circunstancias se recomendaba el uso de pino como combustible para hacer homogéneo el estudio. Los registros de temperaturas se realizaron en las zonas y partes de la estufa, así como de la chimenea; establecidas en el capítulo anterior.

El estudio se realizó, como se ha manifestado en las estufas *Lorena* de una cámara de combustión y dos hornillas, debido a que en otro tipo de estufas como el fogón de tres piedras, fogones tradicionales, la estufa de tres pies del Estado de México, por ejemplo, en donde el consumo de combustible es muy grande y muy baja la eficiencia térmica (se realizó un estudio pequeño en el laboratorio de estas estufas) lo que trajo como consecuencia daños al ser humano y a la naturaleza.

A continuación se presentarán los resultados obtenidos y un cálculo muestra de una estufa en específico para abreviar, ya que se realizaron varias veces las

mismas pruebas a las estufas *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas, tanto en laboratorio como en campo.

4.2 Resultados de las pruebas de estufas *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas

Para llevar a cabo las pruebas en las estufas *Lorena* de una cámara de combustión, tanto en laboratorio como en campo, primeramente se identificaron las características principales de cada una de las estufas.

Tabla 4.1 Características de las estufas *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas de laboratorio como de campo

Tipos de estufas <i>Lorena</i> de una cámara de combustión	Com-bustible (leña)	Material y medidas comal principal	Material y medidas de comal hornillas	Cámara de combustión material y medidas	Chimenea material y medidas	Paredes de la estufa material y medidas	Base de la estufa material y medidas
Dos hornillas Laboratorio	pino	Barro	Acero	Lodo arena	Lámina	Lodo arena	Lodo arena
		Diámetro 45 cm Espesor 5 cm	Diámetro 20 cm Espesor 3 cm	Diámetro Ø = 35 cm Espesor 15 cm	Diámetro 10 cm Espesor 3 cm Tiro 300 cm	Espesor (10-18 cm) Largo 32 cm	Espesor (10-18 cm) Largo (60 cm)
Dos hornillas Campo	pino	Barro	Acero	Lodo arena	Lámina	Lodo arena	Lodo arena
		Diámetro Ø 45 cm Espesor 5 cm	Diámetro 20 cm Espesor 3 cm	Diámetro 35 cm Espesor 20 cm	Diámetro Ø=10 cm Espesor 3 cm, tiro 300 cm	Espesor (10-18 cm) Largo 32 cm	Espesor (10-18 cm) Largo (60 cm)

(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

En la tabla 4.1 se presentan las características importantes en forma reducida de las estufas *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas, sus materiales y medidas; si se observa esta tabla, las características de la estufa *Lorena* de laboratorio, con respecto a las estufas en campo, no cambian ya que son iguales.

Con la información anterior e identificada la metodología a emplear para efectuar la prueba de eficiencia de combustión, se colocan los sensores de temperaturas y el analizador de gases de combustión, con lo cual se obtienen los datos de todas temperaturas y gases de combustión en todas las estufas; en el anexo 3-7 se presentan los promedios de las temperaturas y gases de combustión en forma general de todas las pruebas que se realizaron en las estufas *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas en las comunidades indígenas (campo) , ya que las de laboratorio se presentarán a continuación .

Se presenta a continuación en la tabla 4.2 los valores de cada una de las estufas, desde la uno hasta la seis; en esta tabla en particular se selecciona la estufa: E_4 (área remarcada), la cual presenta las características de humedad del combustible, las temperaturas etc. registradas en cada una de las partes constitutivas de la estufa, así como los elementos de los gases de combustión que se desechan por la chimenea, datos que se utilizarán para los cálculos muestra, ya que únicamente se presentarán los resultados de la eficiencia de combustión, así como el análisis comparativo de transferencia de calor de cada una de las estufas, en este caso la de laboratorio estufa E_4 .

Como se explico anteriormente todos los valores característicos registrados de las estufas en las comunidades indígenas se encuentran en los anexos y para nuestro ejemplo de cálculo tomaremos, los datos de la estufa E_7 , la cual esta resaltada por comodidad.

A continuación, mostraremos las gráficas figuras 4.1, 4.2 las cuales se construyeron tomando los datos de la tabla 4.2 estufa 7 (E_7) y de la tabla de datos que se encuentra en el anexo 3-7, donde nos muestran las distribuciones de temperaturas en los comales principales.

Tabla 4.2. Datos reportados en laboratorio de la estufas *Lorena* una cámara de combustión dos hornillas.

DATOS DE LA ESTUFAS LORENAS DE UNA CAMARA DE COMBUSTION DOS HORNILLAS

LABORATORIO

	HUMEDAD-COMB.	TEMPERATURA REGISTRADAS EN SUPERFICIE DE COMAL (°C)				
ESTUFA	%	TEMP-DECHA	TEMP-CENTRO	TEMP-IZQUIERDO	TEMP-SALIDA	TEMP-ENTRADA
E1	10.5	109.8	113	97.9	78	98
E2	14	93.5	106.5	85.4	72.5	96.4
E3	19.41	122	138	110	92	108
E4	12.6	99.8	135	103	117	124
E5	15	105.2	157	112.9	139.4	142.7
E6	20	109.8	178	70	60	140

	TEMPERATURAS REGISTRADAS EN HORNILLA IZQUIERDA			TEMPERATURAS REGISTRADAS EN HORNILLA DERECHA		
ESTUFA	TEMP-SALIDA	TEMP-CENTRO	TEMP-ENTRADA	TEMP-SALIDA	TEMP-CENTRO	TEMP-ENTRADA
E1	101	159	122	172.0	149.2	146.2
E2	87	145	120	100	152	110
E3	126	128	185	170	149	150
E4	87.5	105	92.2	79.5	100	89.2
E5	108	118	110	104.7	120	97.7
E6	114.2	125.8	199.6	124.7	203.5	123.5

	TEMPERATURAS EN LA CHIMENEA(°C)		GASES DE COMBUSTION (ANALIZADOR BACHARACH)				
ESTUFA	TEM-SUPERFICIE	TERM-SALIDA	SO2(PPM)	NOX(PPM)	CO(PPM)	CO2(%)	O(%)
E1	111.8	222.56	40	103	3298	9.6	11.1
E2	91.81	280.2	5	117	2915	8.1	12.6
E3	94.2	250	7	88	2927	27	11.4
E4	105	191.1	17	58	1963	5.3	15.5
E5	108	194	64.6	38.6	2335	5.86	14.9
E6	79.2	173.5	47	18.6	2609	5.3	15.4

	PESO	COMBUSTIBLE(KILOGRAMOS)		MASA-TORTILLAS
ESTUFA	PESO-INICIAL	SOBRANTE	CENIZAS	KILOGRAMOS
E1	5.2	0.17	0.175	6.9
E2	6.4	1.3	0.189	7
E3	7.2	3.1	0.213	7.5
E4	6.5	2.2	0.216	1.95
E5	6	1.5	0.156	7
E6	6	1	0.156	7.5

	TINFE-CO	EXAIRE	T.INT-CHIME	TEMP.EN EL HOGAR
ESTUFA	°C	%	°C	°C
E1	316.9	110	401.36	463
E2	350	148	442.3	446
E3	376.3	117	368.43	450
E4	346.3	281	314	394
E5	532.1	182.6	412	490
E6	547	290.6	391	537

(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

Figura 4.1 Distribución de temperaturas sobre la superficie del comal de una estufa *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas, en laboratorio.

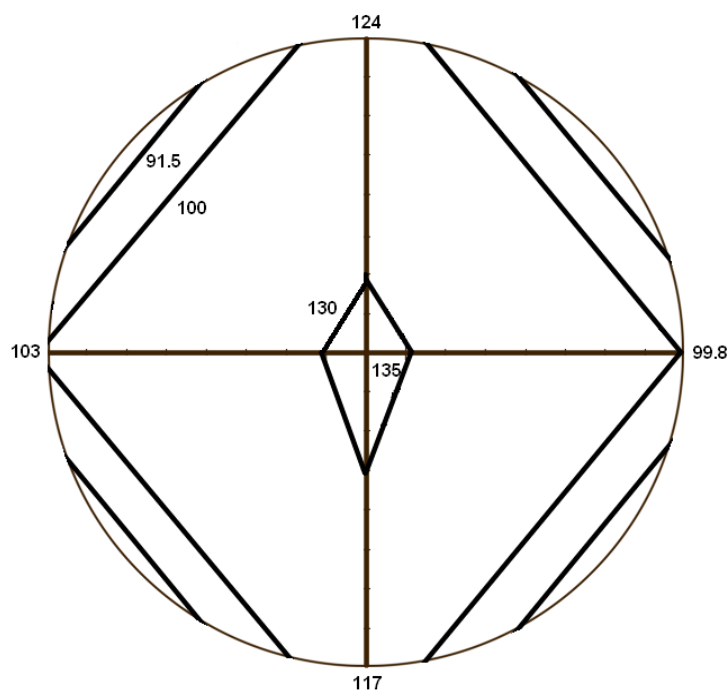


GRAFICO DE TEMPERATURAS DE ESTUFA LORENA EN LABORATORIO

(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

Con los datos de la tabla 4.2, de la estufa 4 (E_4), se obtuvo la gráfica de la figura 4.1, la cual muestra el comportamiento de las temperaturas en la superficie de un comal de barro; al centro del comal se obtuvo una temperatura de 135°C y en los extremos del comal, del lado derecho, una temperatura de 99.8°C , y del lado izquierdo una temperatura de 103°C ; en la entrada de la cámara de combustión se registró una temperatura de 117°C y en la salida de la cámara de combustión o entrada a los túneles de las hornillas se registró una temperatura de 124°C , como se muestra en la figura 4.1

Lo mismo se realizó para una estufa *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas en campo para la estufa 7 (E_7) que se presenta en la figura 4.2, en el anexo 3-7 se localizan las gráficas de la distribución de temperaturas en las superficies de las hornillas derecha e izquierda.

Figura 4.2 Distribución de temperaturas sobre la superficie del comal de una estufa *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas en campo.

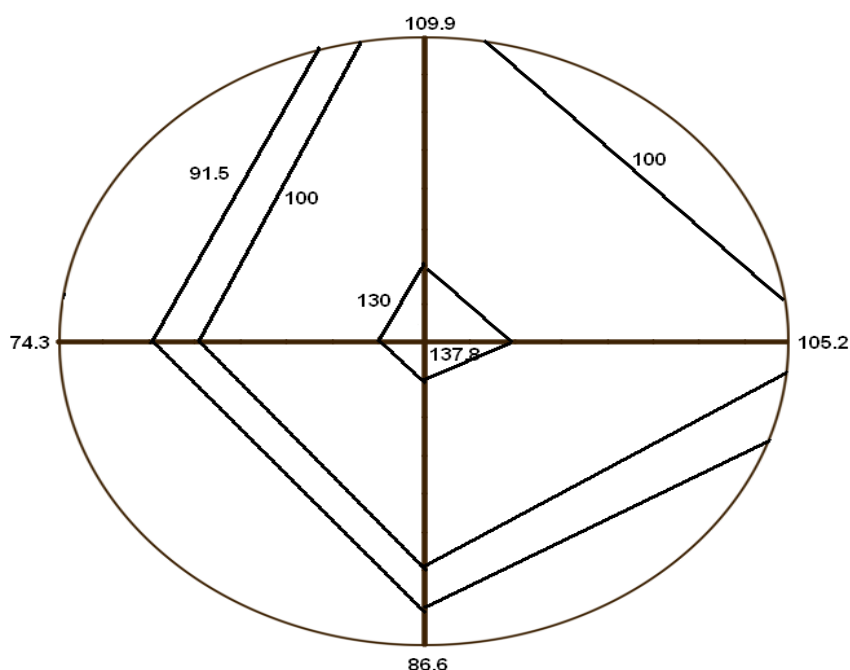


GRAFICO DE TEMPERATURAS DE ESTUFA LORENA EN CAMPO

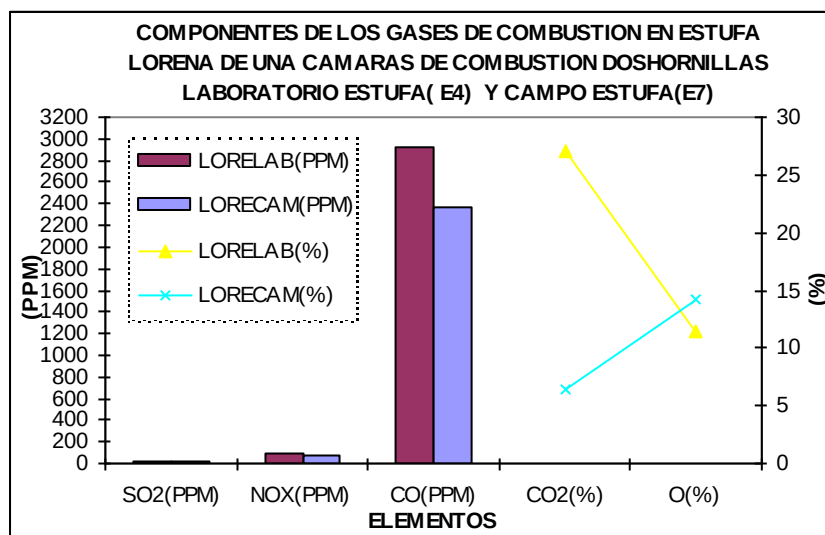
(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

En la figura 4.3 se presentan la gráficas de los componentes de los gases de combustión en las estufas *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas de laboratorio y campo, de las estufas E_4 y E_7 respectivamente, donde se observó que el comportamiento de los gases de combustión son casi parecidos para las dos estufas *Lorena* (laboratorio E_4 y de campo E_7).

Las barras representan los elementos de combustión con unidades de partes por millón (SO_2 , Nox , CO), sus valores se encuentran localizados del lado izquierdo de la gráfica para las estufas de laboratorio E_4 y de campo E_7 .

Del lado derecho, los valores de los elementos de combustión en porcentaje CO_2 y O , representadas por las líneas de colores de las dos estufas anteriormente mencionadas.

Figura 4.3 gráficas de los componentes de combustión registrados por el analizador Orssat para un combustible sólido leña, de la especie pino donde se presentan sus principales características y comportamientos de la combustión.



(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

- **Cálculos para la obtención de la eficiencia de combustión en las estufas Lorena de una cámara de combustión dos y una hornilla**

El cálculo para obtener la eficiencia de combustión que se muestra a continuación es para la estufa Lorena de una cámara de combustión dos hornillas en el laboratorio y la estufa Lorena de una cámara de combustión dos hornillas en campo. A la última se le aplica la misma metodología para obtener las eficiencias de combustión para cada una de las estufas de estudio que se muestra a continuación.

Primero se presentan los componentes más importantes del combustible; en este caso, se menciona el combustible leña de la especie pino, dichos componentes o elementos se normalizarán y darán como resultado los nuevos. Y considerando los datos de la tabla 4.2 se dispuso la realización de los siguientes cálculos.

Segundo, se obtiene el poder calorífico superior e inferior, se considera al inferior para estos cálculos. Para obtenerlo, se necesita calcular el poder carburante, los poderes fumígenos y el exceso de aire.

Tercero, la obtención del calor de disociación y la eficiencia de combustión. De acuerdo con la cronología anterior, se obtiene lo siguiente:

Primer punto:

Combustible :	Pino	
Estado :	Sólido	
C =	50.40	%
H =	6.20	%
O =	43.30	%
N =	0.10	%
S =	0.00	%
Humedad (E) =	12.60	%

112.60

1.126

Composición del combustible leña, especie pino¹:

Combustible :	Pino	
Estado :	Sólido	
C =	44.76	%
H =	5.51	%
O =	38.45	%
N =	0.09	%
S =	0.00	%
Humedad (E) =	11.19	%

¹ Valero Capilla, Antonio y Lozano Serrano, Miguel Ángel. Termoeconomía. España; julio de 1994.

Para una combustión normalizada se tienen los siguientes componentes¹:

Segundo punto:

Poder comburente:

$$V_A = 3.9597 \text{ [Nm}^3 \text{ aire/ kg]}$$

Poderes fumígenos:

$$V_F = 3.9182 \text{ [Nm}^3 \text{ h s/ kg]}$$

$$V_{Fe} = 0.7822 \text{ [Nm}^3 \text{ H}_2\text{O/ kg]}$$

$$V_{FH} = 4.7454 \text{ [Nm}^3 \text{ h h/ kg]}$$

Obtención de los poderes caloríficos superior (PCS) y poder calorífico Inferior (PCI):

$$PCS = 3971.5 \text{ [kcal/kg]}$$

$$PCI = 3451.7 \text{ [kcal/kg]}$$

Exceso de aire:

$$e = 281.00 \%$$

Tercer punto:

$$V \text{ H}_2\text{O} = 17.43\%$$

$$\text{H}_2\text{O} = 0.8272 \text{ [Nm}^3 \text{ H}_2\text{O/Kg]}$$

Componentes	En porcentaje
O	15.5
SO ₂	0.0017
NO _x	0.0058
CO ₂	5.3
CO	0.1963
H ₂ O	0.17432265
Ni	78.8218774

CP	kcal/Nm ³ °C
CO ₂	0.46598
NO _x	0.31312
O	0.3287
H ₂ O	0.3727
Ni	0.31094

$$C_p \quad 0.29761983 \text{ kcal/Nm}^3\text{°C}$$

Calor de disociación:

$$V_{FH'} = 15.8723 \text{ [Nm}^3 \text{ h h/Kg]}$$

$$Q_f = 7921.494145 \text{ [kcal]}$$

$$\text{EFICIENCIA} \quad 53.37067762 \%$$

El mismo procedimiento se utiliza para obtener las eficiencias de combustión de las estufas *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas, pero ahora en campo; para la estufa E₇ de campo se tiene calculada la siguiente eficiencia, como se puede observar, los valores son casi iguales, tanto para la *Lorena* de laboratorio como la de campo.

$$\text{EFICIENCIA} \quad 53.7706 \%$$

De la misma manera, se obtuvieron las eficiencias de combustión para las estufas restantes en laboratorio y las eficiencias restantes en campo.

- **Análisis de transferencia de calor en las estufas *Lorena* de una cámara de combustión dos hornilla (campo y laboratorio)**

El cálculo energético de transferencia de calor que se muestra a continuación es para la estufa *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas en campo. En cuanto a la estufa *Lorena* en laboratorio se le aplicará la misma metodología de estudio y sólo se presentarán los resultados que se obtuvieron al estimar las pérdidas de calor, en los cuales no se pretende dar un resultado global de la transferencia de calor, sino únicamente de una manera de comparación. De acuerdo con la metodología propuesta en los capítulos anteriores se obtiene lo siguiente:

Estudio de la transferencia de calor en:

- Estufa
- Chimenea

El estudio que a continuación se presenta es de la siguiente manera: primero el estudio energético de la estufa (comales y hornillas, cuerpo de estufa, bases de estufa, etcétera) y en la chimenea (interior y exterior); se propone una serie de fórmulas que se pueden utilizar para obtener el diámetro adecuado para la chimenea (diámetro recomendado).

- **Análisis de transferencia de calor en el cuerpo de estufa y chimenea**

De acuerdo con la referencia de la tabla 4.2, se utilizarán los datos de temperaturas en comales, hornillas, base de la estufa, cuerpo de la estufa para calcular los valores energéticos del calor que se pierde.

Para empezar se utilizará la fórmula 12, del capítulo 2, para estimar el calor disipado en el comal, cuyo valor es de:

Estudio en el comal

Calor disipado a través del comal	261.474	<i>kcal/kg</i>
-----------------------------------	---------	----------------

Estudio en las hornillas

Hornilla izquierda

Calor disipado a través de la hornilla	10.038	<i>kcal/kg</i>
--	--------	----------------

Hornilla derecha

Calor disipado a través de la hornilla	12.839	<i>kcal/kg</i>
--	--------	----------------

Estudio cuerpo de la estufa

Costado derecho de la estufa

Total derecho	12.840084	<i>kcal/kg</i>
---------------	-----------	----------------

Costado izquierdo de la estufa

Total izquierdo	13.3504	<i>kcal/kg</i>
-----------------	---------	----------------

Calor disipado por el frente de la estufa

Total al frente	12.798	kcal/kg
-----------------	--------	---------

Calor disipado atrás de la estufa

Total atrás	12.798	kcal/kg
-------------	--------	---------

- **Estudio de la chimenea**

A continuación se presenta el cálculo realizado para obtener el calor disipado en la chimenea, para lo cual se utiliza la fórmula 13, del capítulo 2. De igual manera, se calcula el diámetro adecuado de la chimenea, el cual puede ser opcional.

Para este tipo de estufas se obtiene un volumen de gases de combustión aproximadamente de $1.34 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg}$, con una velocidad de $2.65 \times 10^{-1} \text{ m/seg}$ y con un número de *Reynolds* de 406.030, lo cual indica que se trabajó con un flujo laminar.

Calor disipado en la chimenea	107.6237	kcal/kg
-------------------------------	----------	---------

- **Cálculo del diámetro recomendado**

d =19.330	Cm
-----------	----

Este diámetro no especifica la longitud o tiro de la chimenea.

Para mayor detalle se presentan los cálculos completos en el anexo 4.2, donde se analiza en forma puntual la obtención del calor disipado, utilizando la transferencia de calor por conducción-radiación-convección para una estufa *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas en laboratorio.

Para obtener el calor total disipado, se utilizará la fórmula 14, del capítulo 2, para realizar la sumatoria numérica de todos los valores obtenidos, los cuales se presentan en la tabla 4.4, donde se registra el resultado del calor total disipado para una estufa *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas de laboratorio.

- **Resultados de las estimaciones del calor total**

Tabla 4.4 Resultados experimentales del calor disipado en estufa *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas laboratorio.

Resultado del calor disipado en la estufa por convección y radiación	Calor disipado en la estufa (kcal/kg)
Comales	
Comal Principal	261.474
Comal Hornillas izquierda	10.038
Comal Hornilla derecha	12.839
Estufa	
Cuerpo estufa	
Lado izquierdo	13.350
Lado derecho	12.842
Frente	16.092
Atrás	12.798
Chimenea (tubo)	107.623
Calor total disipado estimado	447.229

(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

Se puede decir que estos resultados que se muestran en la tabla 4.4 son aproximaciones los cuales no son definitivos en los resultados finales de nuestro estudio de la estufa E₄ de laboratorio. A continuación se presentan estos datos en forma gráfica para mayor comprensión de los resultados arrojados, (figura 4.2).

Tabla 4.5 Resultados experimentales del calor disipado en una estufa *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas de laboratorio y campo.

Resultado del calor disipado en la estufa por convección y radiación.	Calor disipado en la estufa de LABORATORIO (kcal/kg)	Calor disipado en la estufa CAMPO (kcal/kg)
Comales		
Comal Principal	261.474	319.740
Comal Hornillas izquierda	10.038	55.180
Comal Hornilla derecha	12.8400	44.620
Estufa		
Cuerpo estufa		
Lado izquierdo	13.350	19.040
Lado derecho	12.840	23.780
Frente	12.793	32.400
Atrás	12.798	18.097
Chimenea (tubo)	107.623	207.623
Calor total disipado estimado	447.229	820.378

(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

El análisis para la obtención de la eficiencia energética en función de la transferencia de calor para una estufa *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas, arrojó los siguientes resultados: un calor total disipado de 447.56 kcal en campo; en laboratorio se obtuvieron 614.858 kcal, datos que se pueden observar en la tabla 4.2 y representada en forma gráfica en la figura 4.2. El comportamiento del calor puede auxiliarnos para dar una idea de cómo se transfiere el calor en cada una de las partes de la estufa y de esa manera poder empezar a sugerir las modificaciones de las nuevas estufas.

Cabe mencionar que se propone un diámetro recomendado que es de (19.33 cm) para la chimenea, sin considerar el tiro de la misma, lo anterior para poder eficientar el sistema en estudio.

4.3 Tabla y gráficas de los resultados obtenidos en las estufas *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas

A continuación se presentan las tablas y las gráficas de comportamiento desde el punto de vista de la eficiencia de combustión y un pequeño análisis energético de transferencia de calor convectivo y de radiación en estufas *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas en campo y en laboratorio. Estas estufas fueron probadas en el laboratorio que pertenece al Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiado, (GIRA).

En la tabla 4.7 se muestran las eficiencias de combustión finales, las cuales alcanzaron las estufas en el laboratorio de pruebas y campo (en las comunidades indígenas) y la que corresponde al análisis de combustión; por consiguiente, si se realiza un análisis rápido, no varían mucho en los valores numéricos que presentan.

Para mayor comprensión se presentan estos resultados en forma gráfica en la figura 4.5, donde se presenta una gráfica de barras y líneas; para leer el valor numérico de la barras se observa el eje del lado izquierdo, tanto eficiencia como calor de la gráfica, así como para las líneas el lado derecho.

Tabla 4.7. Resultados de las eficiencias de combustión de las estufas *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas.

Tipo de estufa	Eficiencia de combustión
	(%)
<i>Lorena</i> de una cámara de combustión dos hornilla(E ₄) laboratorio	53.37
Para la estufa <i>Lorena</i> de una cámara de combustión dos hornillas (E ₇) campo	53.77

(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

Con la información anterior se concluye que las pérdidas de calor son mayores en el comal principal, en las hornillas y en chimenea; se tiene en consideración esta información de la tabla 4.5; igualmente se proceden a realizar las modificaciones respectivas.

Cabe mencionar que las estufas de laboratorio era nueva y se acababa de construir; en cambio la de campo se encontraban totalmente sin humedad en su interior y en ocasiones algunas usuarias las dejaban con las cenizas en el interior de la cámara de combustión.

En conclusión, para la nueva estufa se debe tener mayor cuidado en el hogar, tanto en los túneles conductores de los gases de combustión, así como en los interiores de las hornillas y en la chimenea. Las eficiencias de combustión son aproximadamente iguales, (véase tabla 4.7).

4.4 Recomendaciones propuestas en función de los resultados obtenidos

Las pérdidas energéticas y de combustión son consideradas en el cuerpo de la estufa (cámara de combustión, túneles, hornillas) y en la chimenea. Para estos casos las recomendaciones que se hacen son las siguientes:

- Utilizar materiales aislantes en la cámara de combustión, túneles y hornillas. En tal caso se recomienda moler envases de vidrio y mezclarla con el lodo-arena y cemento, y colocar una capa de este material en los lugares antes mencionados.
- Reducir el diámetro en el interior de la cámara de combustión, y al analizar los resultados del calor total se propone del 60 por ciento en relación con las dimensiones de la estufa *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas y las dimensiones a la salida de la cámara de combustión (en dirección al comal), que permanecerá con las medidas originales de la estufa *Lorena*.

- Entradas auxiliares de aire para eficientar el sistema; se recomienda que se haga un orificio con un diámetro de 0.105 y altura de 0.22 m, y dejar la mitad del cuerpo del receptor al cual se deberán perforar 8 orificios de 0.0127 m, a una distancia de 0.07 m, por debajo de la cámara de combustión, donde dicho receptor servirá para recolectar las cenizas productos de la combustión, de preferencia por abajo del cuerpo de la estufa, lo anterior para quemar totalmente el combustible y mejorar la combustión e incrementar la eficiencia de la estufa con respecto al ahorro de combustible.
- Colocar por abajo de los comales una superficie rugosa, la cual asegure el mayor tiempo posible de permanencia de calor en esas superficies.
- Entradas auxiliares laterales (se recomienda una por lado y dos al frente de la estufa), en la cámara de combustión se recomienda que sean de 0.0508 m de diámetro con una pendiente de 32° de inclinación.
- Si es de una hornilla se recomienda mejoras en el túnel que conecta a la cámara de combustión con la hornilla y en la chimenea para evitar la fuga de calor por la misma.

Por lo que respecta al impacto térmico que se presenta en la parte frontal de la estufa *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas, se solucionará con la reducción del diámetro de la cámara de combustión y la elevación de los túneles con la modificación de los túneles.

- **Otros resultados obtenidos en el laboratorio de estufas de leña**

Como se comentó, se tomaron lecturas de varias estufas en el laboratorio de pruebas. Ahora, toca presentar el resultado de las estufas *Lorena* de dos cámaras de combustión dos hornillas, utilizando el procedimiento del manual de pruebas de eficiencia de estufas de cocina con combustibles leñosos de

Jaime Navia Antezana, el cual fue fundamental para poder realizar dichos cálculos.

La toma de registros se realizó con el equipo disponible en el laboratorio de prueba y con el personal que labora en GIRA. Por otro lado, fue importante obtener la eficiencia del fogón de tres piedras en el laboratorio de pruebas de GIRA, donde participó su personal, el cual apoyó para poder realizar dichas pruebas.

De acuerdo con el procedimiento del manual de pruebas de Navia Antezana, el resultado que arrojó dicha prueba fue del 16.51 por ciento y la relación de combustible-leña-tortillas fue la siguiente: por cada 4.11 *kg* de leña se obtuvo 1 *kg* de tortillas como producto final. Si se consulta el manual se tiene un resultado del 17 por ciento. Y si se comparan los resultados, se puede inferir que son aproximadamente iguales.

4.5 Resumen

En este capítulo se obtuvieron las eficiencias de combustión y un estudio de transferencia de calor en una estufa *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas en laboratorio; mediante un cálculo muestra se encontró una eficiencia de combustión para la estufa 4 de laboratorio de 53.37 por ciento; posteriormente se obtuvieron las eficiencias de combustión de las estufas restantes de laboratorio. Lo que respecta al estudio de transferencia de calor por conducción, radiación y convección en estufas de laboratorio fue de 447.22 *kcal/kg*.

Si se analiza la tabla 4.2, donde se observa el peso combustible y la masa tortillas, se puede concluir lo siguiente: por cada un kilogramo de tortilla de maíz, que es el producto final, se tienen aproximadamente 1.8 kilogramos de leña que se quema, si se considera el dato del consumo de leña en el fogón de tres piedras, se concluye que el consumo de leña en dicho fogón es muy elevado comparado con la estufa *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas.

Lo mismo se hizo para obtener la eficiencia de combustión y el resultado energético para una estufa *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas en campo, donde la eficiencia de combustión de la estufa 7 es de 53.77 por ciento (véase la tabla 4.7). Los resultados que arrojaron las estufas en campo son aproximadamente iguales a las del laboratorio.

Finalmente, se hizo una serie de recomendaciones en función de los resultados obtenidos para poder alcanzar una mayor eficiencia en las estufas *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas y de esa manera dar paso a la construcción de las nuevas estufas eficientes.

5. La nueva generación de estufas eficientes de leña *Patsari*

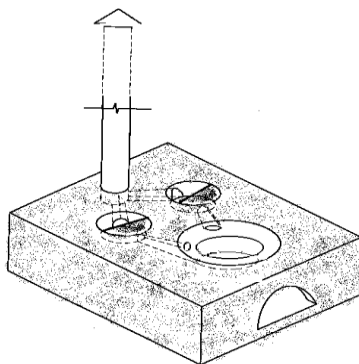
5.1 Introducción

Los resultados obtenidos por los estudios del capítulo anterior dieron origen a una serie de recomendaciones para hacer más eficiente a la estufa *Lorena* de una cámara de combustión y dos hornillas.

Al procesar los datos obtenidos y de acuerdo con la metodología, detallada con anterioridad, se observaron aspectos susceptibles de mejoras como: la pérdida de calor, la transferencia al medio ambiente y el análisis de los gases de combustión. Lo cual da origen a un nuevo tipo de estufas que se denominan *Patsari*, que significa en lengua Purépecha “la que guarda”, en este caso guarda la energía sin contaminar al medio ambiente.

Esta nueva estufa fue caracterizada de la misma forma en que se procedió con las estufas *Lorena*; es decir, haciendo las pruebas y análisis correspondientes, así como los cálculos respectivos. La estufa *Patsari* se presenta en la figura 5.1 (a), en donde se observa que no hay modificación de las dimensiones exteriores, las cuales se respetaron para que las usuarias no percibieran cambio en la presentación de la estufa y la aceptación estuviera asegurada; sin embargo, las interiores sufrieron modificaciones. Véase la figura 5.1 (b). (Se recomienda confrontar el anexo 5-1).

Figura 5.1 Nueva estufa eficiente de leña estufa *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas.



(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

5.2. Nuevo diseño de la estufa de leña *Patsari*

Los usos y costumbres son fundamentales y es preciso tenerlos en cuenta cuando se propone algo (nuevo) a las comunidades, las cuales se encuentran muy apegadas a éstos. Este principio es el que rige el quehacer del Dr. Omar Macera, investigador del Instituto de Ecología de la UNAM, e integrante del Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Aplicada, (GIRA); que conjuntamente con el Dr. Javier Aguillón M., del Instituto de Ingeniería de la UNAM, llegaron al acuerdo, con base en los estudios y análisis realizados, de realizar las siguientes transformaciones:

- Modificación en la cámara de combustión
- Modificación en los diámetros y alturas de los túneles que conectan la cámara de combustión con las hornillas de la estufa
- Modificación en las hornillas, la colocación de *baffles* en el interior

Para tener claras las modificaciones que se hicieron en la *Patsari*, se elaboró la tabla 5.1, la cual muestra las dimensiones interiores de las estufas. La primera, una estufa *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas, y la segunda, una estufa *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas. Se recuerda que las dimensiones exteriores son las mismas por lo anteriormente explícito.

Las modificaciones están hechas en función de las necesidades de las usuarias ya que con su cooperación y experiencias pudimos llegar a las conclusiones más convenientes para poder realizar las modificaciones en las estufas *Larenas*

Tabla 5.1. Modificaciones que se realizaron en las estufas *Lorena* para dar cabida al nuevo diseño de estufas mejoradas de leña *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas.

Parte de las estufas a modificar	Estufa <i>Patsari</i> de una cámara de combustión dos hornillas	Estufa <i>Lorena</i> de una cámara de combustión dos hornillas
Diámetro interior en la cámara de combustión (cm)	29	40.52
Altura de la cámara de combustión (cm)	28	20
Altura de la colocación de los túneles (cm)	17	12
Diámetro exterior colocación del comal (cm)	54	48.5
Diámetro interior de los túneles de la cámara de combustión a los túneles de la hornilla del lado izquierdo (cm)	8	10
Diámetro interior de los túneles de la las hornillas a la estrada de la chimenea del lado izquierdo (cm)	5	4
Diámetro interior de los túneles de la cámara de combustión a los túneles de la hornilla del lado derecho (cm)	8	10
Diámetro interior de los túneles de la las hornillas a la estrada de la chimenea del lado derecho (cm)	5	4

(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

- **Modificaciones en la cámara de combustión**

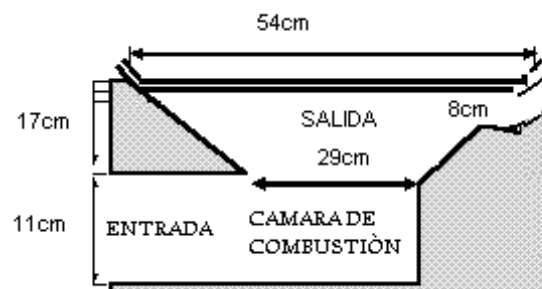
Los cambios que se realizaron en las cámaras de combustión son las siguientes:

- Diámetro interior
- Salida de la cámara de combustión
- Altura de colocación de los túneles

Como se mencionó con anterioridad, las dimensiones exteriores no se modificaron, pero en el interior de la cámara de combustión sí. (Se representaron las modificaciones en la figura 5.2).

Como se observa en esta figura, se tiene una pendiente de 31° grados de inclinación a la salida de la cámara de combustión en la estufa *Patsari*.

Figura 5.2. Dibujo de la cámara de combustión de una estufa *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas.



(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

- **Modificación en los túneles izquierdo y derecho que conectan la cámara de combustión con las hornillas de la estufa de leña mejorada *Patsari***

La nueva ubicación de los túneles que conectan la cámara de combustión con las hornillas son resultado del análisis de combustión donde las modificaciones se hacen en:

- La altura de la colocación del diámetro en la cámara de combustión
- El nuevo diámetro del túnel
- La pendiente de inclinación de los túneles

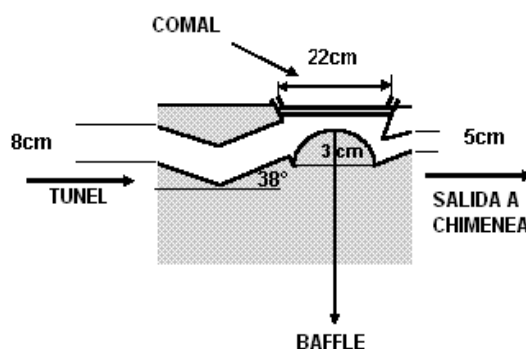
La altura donde se encuentran localizados los túneles en la cámara de combustión es de 17 cm, (véase figura 5.2).

El mayor tiempo de permanencia de los gases de combustión es muy importante ya que se puede aprovechar el calor en el sistema, esa es la función básica de colocar a esa distancia los túneles tanto del lado izquierdo como del derecho de la estufa *Patsari*.

En el capítulo anterior se recomendó que los comales tuvieran una superficie inferior rugosa para que se presente el fenómeno anteriormente comentado.

Los diámetros en los túneles son importantes en el proceso que se mencionó debido al comportamiento y manejo de los gases. Debido a esto, el diámetro óptimo es de 8 cm en los túneles, tanto en el derecho como en el izquierdo, y la pendiente que se maneja es de 38° de inclinación, (véase figura 5.3).

Figura 5.3 Dibujo de la hornilla izquierda de la estufa *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas.



(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

- **Modificación en las hornillas del lado derecho e izquierdo de la estufa de leña mejorada *Patsari***

Como se comentó, la mayor permanencia del calor en los comales es esencial para tener un mayor aprovechamiento, ahora toca explicar las modificaciones de las hornillas del lado izquierdo y del derecho de la estufa *Patsari*.

Para aprovechar la energía que nos proporcionan los gases de combustión, se hicieron las siguientes correcciones en ambas hornillas:

- Colocación de los baffles en las hornillas
- La ampliación del diámetro de los túneles que conectan a las hornillas con la chimenea

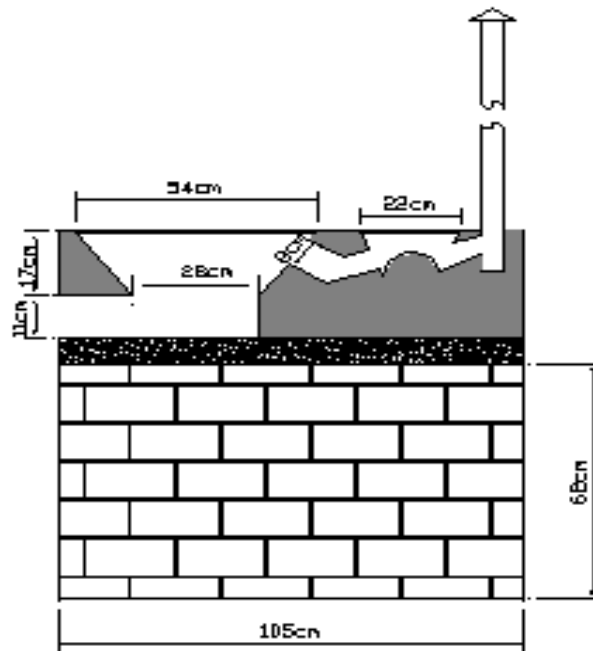
En la figura 5.3 se muestra el *baffle* que se dispuso en la hornilla izquierda, lo mismo se hizo para la derecha.

Este dispositivo sirve para dar velocidad a los gases de combustión y alcanzar la salida; y por otro lado, para poder tener mayor contacto con los comales de las hornillas.

La ampliación de los diámetros de los túneles que conectan a las hornillas con la chimenea fue otra corrección que se hizo para mejorar la salida de los gases de combustión en la *Patsari*.

Finalmente, la estufa *Patsari* quedó de la siguiente manera con sus respectivas modificaciones, incluyendo la base de ladrillo rojo con las dimensiones de base: 105 *cm* de longitud y 68 *cm* de altura, donde se encuentra sustentada la estufa, (véase figura 5.4).

Figura 5.4 Estufa *Patsari* de una cámara de combustión, dos hornillas en corte seccional.



(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

En el anexo 5-2 se muestran fotografías de la estufa *Patsari* donde se muestran los detalles de su construcción, con lo cual se tiene una idea más clara de este nuevo diseño de estufa.

A continuación se presenta el procedimiento que se utilizó para caracterizar la estufa *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas.

5.3. La caracterización de estufas *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas

Para realizar el estudio de las *Patsari* es conveniente plantear el procedimiento que se llevó a cabo para obtener las variables en condiciones de referencia, temperatura, humedad del combustible, obtención de los gases de combustión, entre otras. Como se ha comentado anteriormente, se aplica el mismo método de caracterización de la estufas *Lorena* a las estufas *Patsari*.

Procedimiento:

- Metodología para realizar las pruebas en las estufas *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas.
 - Requisitos para la realización de las pruebas en las estufas *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas.
 - Instrumentos de medición que se utilizaron en las estufas *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas.
 - Colocación de los instrumentos de medición en las estufas *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas.
 - La obtención de lecturas en las estufas *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas.
 - Cálculos obtenidos en las estufas *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas.
 - Resultados experimentales de las estufas.
 - Análisis de resultados en las estufas.
-
- **Metodología para realizar las pruebas en las estufas *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas**

La metodología para realizar las pruebas es la misma que se utilizó para la estufa *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas.

Primero, se obtiene por transferencia de calor el análisis energético; posteriormente, y con apoyo en el análisis, se obtiene la eficiencia de combustión.

Los puntos de estudio son:

- Condiciones de referencia (ambientales)
- Temperaturas en comales y hornillas

- **Requisitos para la realización de las pruebas**

Los requisitos para realizar las pruebas son de importancia como se mencionó en capítulos anteriores. Los requisitos son los mismos que se le aplicaron a una estufa *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas. Los más importantes son los siguientes:

- Requisitos para el laboratorio de pruebas
- Requisitos necesarios para hacer las pruebas en las estufas

- **Instrumentos de medición que se utilizaron en las estufas**

Las pruebas realizadas en las *Patsari* son similares o casi iguales a las que se realizaron en la estufa *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas. Los equipos de medición antes citados son los mismos que se utilizaron para esta prueba:

- Cinco termopares con el equipo ALMEMO
- Sonda de temperatura con el equipo ALMEMO
- Analizador de gases de combustión BACHARACH
- Equipo para medir la humedad
- Equipos auxiliares:
 - Termómetros
 - Hidrómetros
 - Básculas
 - Vasos de precipitados
 - Entre otros

La metodología para registrar las temperaturas y gases de combustión es la misma que se utilizó para las estufas *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas.

- **Colocación de los instrumentos de medición en las estufas *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas**

El procedimiento de la colocación de los instrumentos de medición, en los lugares estratégicos en las estufas *Patsari*, es casi igual o similar, al que se utilizó en las estufas *Lorena*, teniendo pequeñas variaciones insignificantes. A grandes rasgos se tienen los puntos principales donde se colocan los instrumentos de medición en las estufas *Patsari* y las variables que se sensaron.

Lo anteriormente comentado es para obviar todo el procedimiento que en capítulos anteriores se comentó.

Condiciones de referencia (ambientales), temperaturas, presiones, humedades:

En la estufa

- Temperaturas en comales y hornillas
- Temperaturas cuerpo de estufa
- Base de estufa cámara de combustión

En la chimenea

- Temperaturas en el interior de la chimenea
- Temperaturas en la superficie de la chimenea
- Componentes de los gases de combustión en las estufas

- **Obtención de lecturas en las estufas *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas**

Las lecturas que se registraron de las estufas *Patsari* se muestran en la tabla 5.1, donde se registraron todos los valores de estas estufas en laboratorio; el procedimiento es el mismo que se utilizó en las estufas *Lorena*.

Tabla 5.1. Datos recolectados de la estufa *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas de laboratorio.

DATOS DE LA ESTUFA PATSARI DE UNA CAMARARA DE COMBUSTION DOS HORNILLAS

LABORATORIO

	HUMEDAD-COM	TEMPERATURA REGISTRADAS EN SUPERFICIE DE COMAL (°C)				
ESTUFA	(%)	TEMP-DECHA	TEMP-CENTRO	TEMP-IZQUIERDO	TEMP-SALIDA	TEMP-ENTRADA
E1	36.3	85.6	208	92.6	113.2	55
E2	34.18	171	294	131	198.6	114

	TEMPERATURAS REGISTRADAS EN HORNILLA IZQUIERDA				
ESTUFA	TEMP-DECHA	TEMP-CENTRO	TEMP-IZQUIERDO	TEMP-SALIDA	TEMP-ENTRADA
E1	105	120	121	103	143
E2	120	160	170	97.7	123

	TEMPERATURAS REGISTRADAS EN HORNILLA DERECHA					TEMPERATURAS EN LA CHIMENEA(°C)	
ESTUFA	TEMP-DECHA	TEMP-CENTRO	TEMP-IZQUIERDO	TEMP-SALIDA	TEMP-ENTRADA	TEM-SUPERFICIE	TERM-SALIDA
E1	102.2	116	95	80.6	103.4	122.8	154.5
E2	138.7	170	146.3	113	136.8	134	172.5

	GASES DE COMBUSTION (ANALIZADOR BACHARACH)				
ESTUFA	SO2(PPM)	NOX(PPM)	CO(PPM)	CO2(%)	O(%)
E1	68	78	3318	7.7	13
E2	90	134	3099	13.2	13

	PESO	COMBUSTIBLE(KILOGRAMOS)	MASA(TORTILLAS)
ESTUFA	PESO-INICIAL	SOBRANTE	CENIZAS
E1	7.8	6.23	0.135
E2	8.45	7	0.16

ESTUFA	TINFE-CO	EXAIRE	T.INT-CHIME	TEMP. EN EL HOGAR
	°C	%	°C	°C
E1	450.3	110	251	770
E2	570	153	377	760

(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

Tabla 5.2. Datos recolectados de la estufa *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas de campo.

DATOS DE LA ESTUFA PATSARI DE UNA CAMARARA DE COMBUSTION DOS HORNILLAS

CAMPO

	HUMEDAD-COM	TEMPERATURA REGISTRADAS EN SUPERFICIE DE COMAL (°C)				
ESTUFA	HUMEDAD(%)	TEMP-DECHA	TEMP-CENTRO	TEMP-IZQUIERDO	TEMP-SALIDA	TEMP-ENTRADA
E1	30.65	91.5	180	92.6	92.5	88
E2	31.68	145.9	243.5	137.2	136	180.5

	TEMPERATURAS REGISTRADAS EN HORNILLA IZQUIERDA				
ESTUFA	TEMP-DECHA	TEMP-CENTRO	TEMP-IZQUIERDO	TEMP-SALIDA	TEMP-ENTRADA
E1	119.9	137.9	168.6	107.3	122
E2	125.7	169.7	131.2	120	134.7

	TEMPERATURAS REGISTRADAS EN HORNILLA DERECHA					TEMPERATURAS EN LA CHIMENEA(°C)	
ESTUFA	TEMP-DECHA	TEMP-CENTRO	TEMP-IZQUIERDO	TEMP-SALIDA	TEMP-ENTRADA	TEM-SUPERFICIE	TERM-SALIDA
E1	89.6	122	101.3	77.3	88.5	90	170
E2	148.8	179.2	153.3	127.8	148.4	107.2	188

	GASES DE COMBUSTION (ANALIZADOR BACHARACH)				
ESTUFA	SO2(PPM)	NOX(PPM)	CO(PPM)	CO2(%)	O(%)
E1	9	65	3459	5.3	13
E2	0	99	3312	11.1	12

	PESO	COMBUSTIBLE(KILOGRAMOS)	MASA(TORTILLA)
ESTUFA	PESO-INICIAL	SOBRANTE	CENIZAS
E1	13.8	12.5	0.15
E2	5	3.9	0.13

ESTUFA	TINFE-CO	EXAIRE	T.INT-CHIME	T. EN EL HOGAR
	°C	%	°C	°C
E1	609.5	280	229	730.5
E2	623.5	147	291	766.7

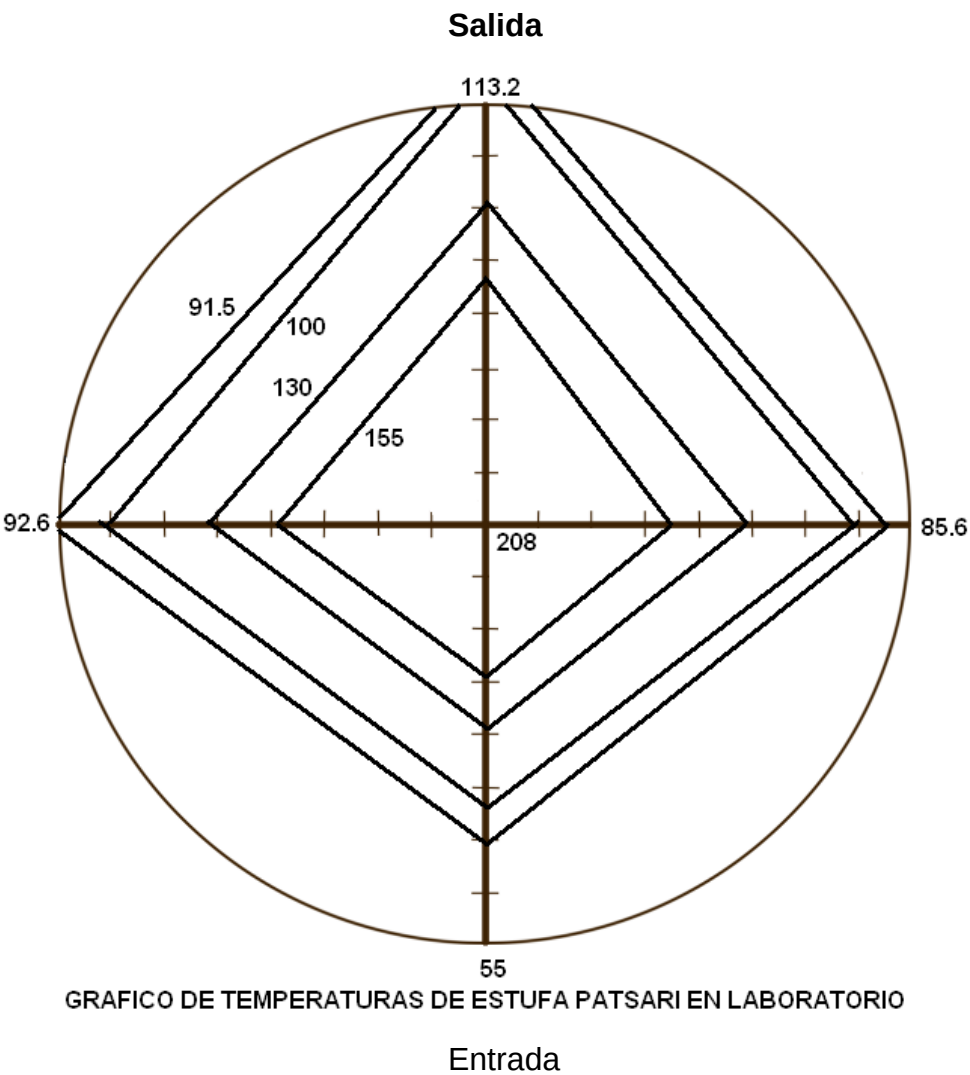
(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

En la tabla 5.2, que a continuación se presenta, se muestran los valores obtenidos de las estufas *Patsari* de una cámara de combustión de dos hornillas que se encuentran en campo. En función de estas tablas se realizarán los cálculos respectivos para obtener las tablas de resultados.

En la gráfica de la figura 5.5 se presenta la distribución de las temperaturas en la superficie del comal de la estufa *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas en laboratorio, que a través de coordenadas polares muestran la sección del comal en donde se registra la mayor disipación de temperatura.

Con base en este registro se puede establecer un análisis inmediato de pérdida de temperaturas. La gráfica se obtuvo mediante los datos de la tabla 5.1 de la estufa uno (E_1).

Figura 5.5 Gráfica de la distribución de temperaturas en el comal principal de una estufa *Patsari* con una cámara de combustión dos hornillas, en laboratorio, estufa uno (E_1).



(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

En la figura 5.6 se observa la gráfica de distribución de temperaturas de una estufa *Patsari* con una cámara de combustión de dos hornillas construida con los datos de la tabla 5.2 de una estufa *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas de campo, en específico de la estufa uno (E_1).

Figura 5.6 Gráfica de la distribución de temperaturas en el comal principal de una estufa *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas en campo estufa uno (E₁).

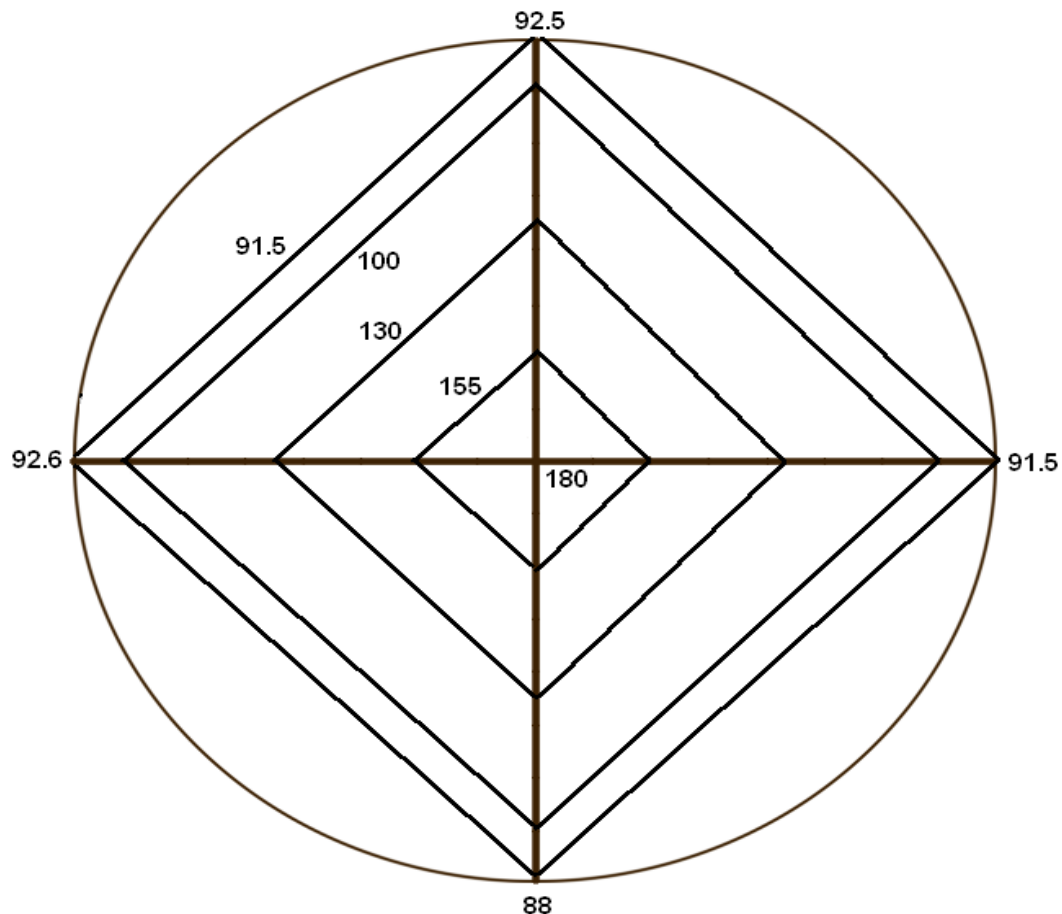


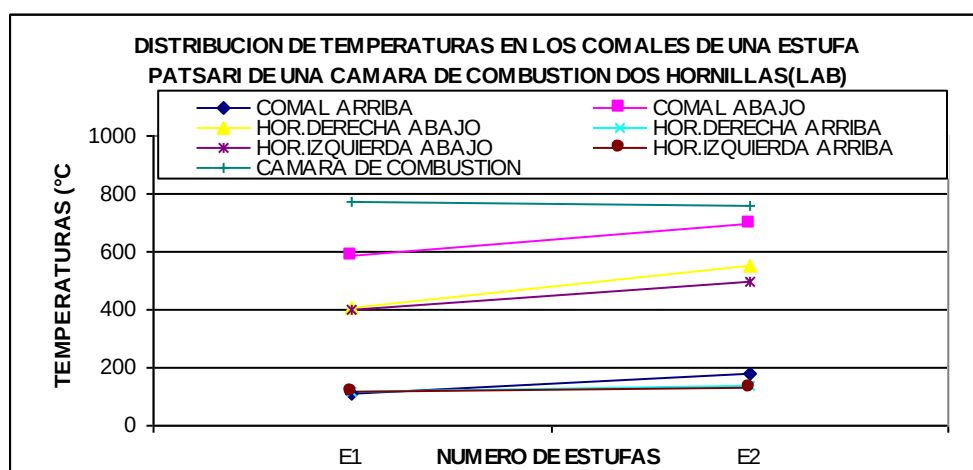
GRAFICO DE TEMPERATURAS DE ESTUFA PATSARI EN CAMPO

(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

Se puede comentar sobre el análisis de la gráfica de la estufa *Patsari* de laboratorio con respecto a la de campo, que la distribución de temperaturas es uniforme en los comales de las estufas *Patsari*, aunque al observarlas con mayor detalle, se infiere que hay una mínima tendencia de mayor calor en la estufa de laboratorio, donde la temperatura se concentra a la salida del comal (véase figura 5.5), para mayor información respecto de estas gráficas refiérase al final del anexo 5.3 donde se encuentran las gráficas de las hornillas en campo de la estufa 1.

En la siguiente gráfica podemos apreciar como se encuentran distribuidas la temperaturas en los comales principales y en las hornillas; ambos en las superficies superiores (arriba) y en la superficies inferiores (abajo), por otro lado tenemos la temperatura de la cámara de combustión, que como se puede apreciar en la figura 5.7, es mayor la temperatura en la estufa *Patsari* que en la lorena ver figura 3.14 lo anterior debido a la reducción de cámara de combustión, la gráfica se construyo con datos de la tabla 5.1, con los cuales construiremos las siguientes gráficas esto es para laboratorio

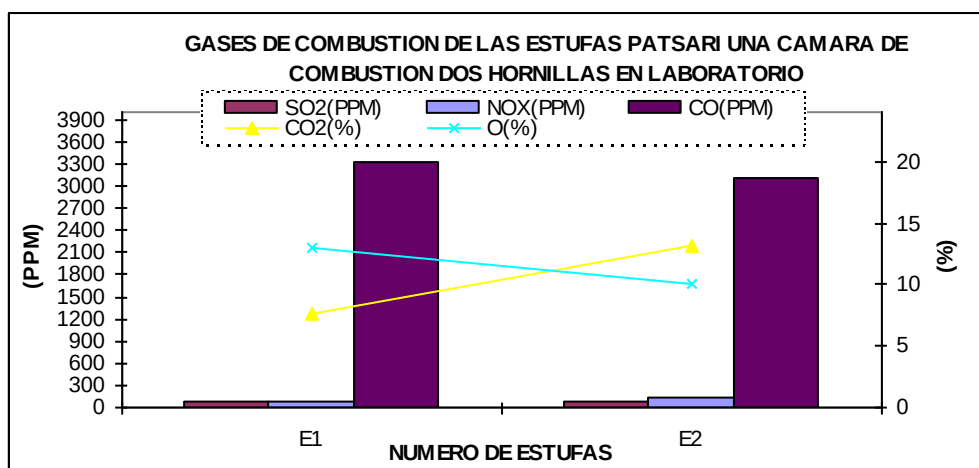
Figura 5.7 Representación gráfica de la distribución de las temperaturas en los comales de las estufas *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas (laboratorio).



(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

La figura 5.8 muestra los elementos de la combustión de la estufa *Patsari*, dichos elementos se obtuvieron con el equipo BACHARACH, en el laboratorio de pruebas y en campo. Como se observa en la gráfica, los datos registrados permanecen casi iguales, si se compara con las gráficas anteriores de las estufas en estudio.

Figura 5.8 Representación gráfica de los promedios de elementos de la combustión de las estufa *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas en (laboratorio).



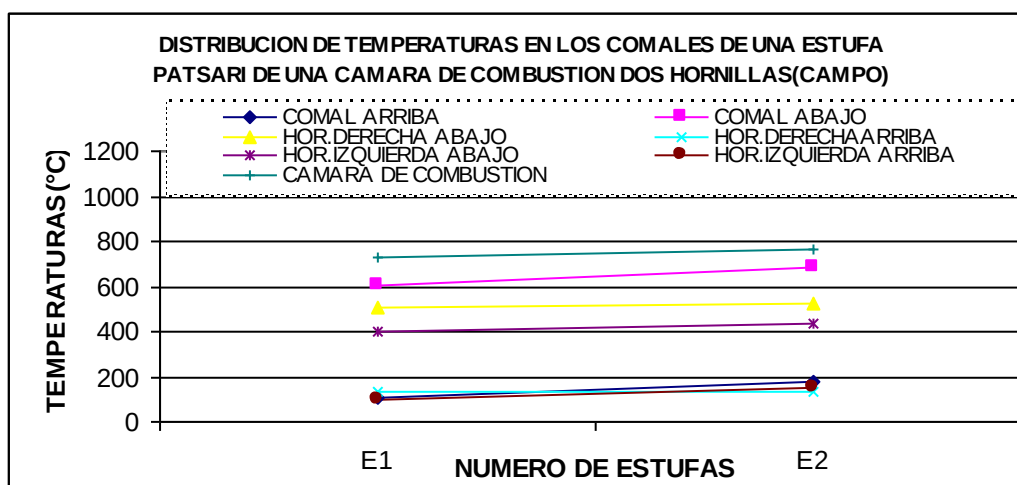
(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

Las barras de la figura 5.8 representan las concentraciones de los elementos en partes por millón (PPM) del SO₂, NO_x y CO, localizados dichos valores del lado izquierdo de la gráfica (vista de frente) y las líneas de colores con las concentraciones en porcentaje de los elementos CO₂ y O, localizadas del lado derecho.

A continuación se muestran las siguientes gráficas que se obtuvieron con los datos registrados en las comunidades, los cuales se presentan de la misma manera que las gráficas en laboratorio; ahora con datos de la tabla 5.2, con los cuales construiremos las siguientes gráficas en campo.

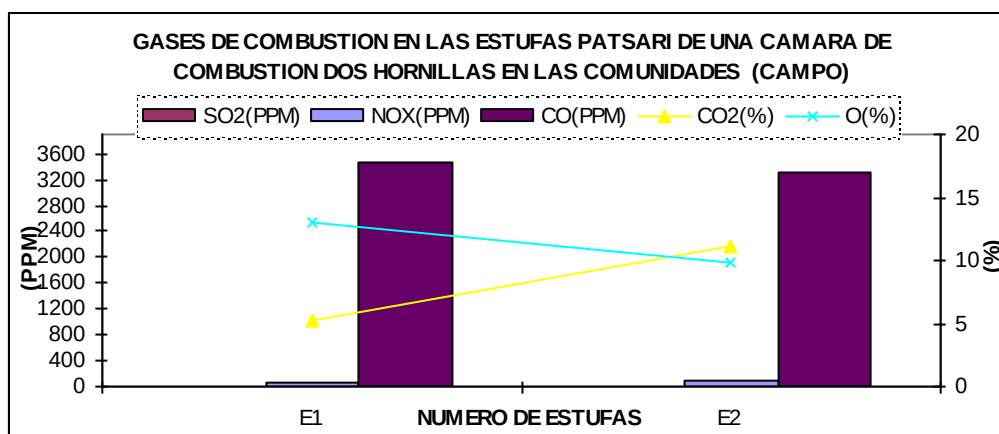
Registros de temperaturas en los comales de las estufas *Patsari* en este caso es para dos estufas en campo las cuales como podemos apreciar en la figura 5.9 hay un aumento de temperatura como en el caso de la gráfica que se obtuvo para laboratorio ver figura 5.7; las cuales tienen un aumento de temperatura considerable comparando los datos de las estufas Lorena.

Figura 5.9 Gráfica que nos muestra la distribución de temperaturas en los comales de las estufas *Patsari* que se encuentran en las comunidades.



(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

Figura 5.10 Representación gráfica de los promedios de elementos de la combustión en las estufas *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas en las comunidades.



(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

En la figura anterior tenemos los datos de los gases de combustión para diferentes tipos de estufas *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas, como se explico anteriormente las barras representan SO_2 , NO_x y CO y sus valores se leen del lado izquierdo de la gráfica y las líneas las concentraciones CO_2 y O , leyendo sus valores del lado derecho de la gráfica.

5.4 Resultados experimentales obtenidos en las estufas *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas

La forma de presentar los resultados del estudio realizado a las estufas *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas, es parecida al de las estufas *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas; sin embargo, se debe aclarar que únicamente se presentan los resultados.

1. Se presentan los resultados de las eficiencias de combustión de las estufas *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas.
2. Se presentan los resultados del análisis de combustión en la estufa *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas.

Primero, se calcula la eficiencia de combustión en la estufa *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas para la estufa uno en laboratorio (E_1) y posteriormente se calcula el de la estufa uno en campo (E_1).

Si se utilizan las fórmulas para calcular las eficiencias en las estufas *Lorena*, se obtiene la eficiencia de combustión para las estufas *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas, siendo los resultados obtenidos para las estufas *Patsari* en laboratorio y campo:

Para la estufa *Patsari* de laboratorio (E_1)

EFICIENCIA 74.61889718%

Para la estufa *Patsari* de Campo (E_1)

EFICIENCIA 74.00285%

Los resultados de las eficiencias de las estufas *Patsari* de una cámara de combustión en campo son parecidos a los que se calcularon para el laboratorio. En suma, se puede inferir que la eficiencia de una estufa *Patsari* es del 74 por ciento, aproximadamente.

En la tabla 5.3 se observan los resultados del calor disipado por transferencia en cada una de las partes constitutivas de la estufa *Patsari* (E_1) en campo y, como se observa, donde se registra mayor disipación es en el comal principal, este hecho es aceptado con agrado por las usuarias cuando elaboran tortillas¹; sin embargo, para esta investigación es un reto más para mejorar la estufa *Patsari* y aprovechar el calor en un mayor porcentaje.

Tabla 5.3 Resultados experimentales del calor disipado en una estufa *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas, en laboratorio.

Resultado del calor disipado en la estufa por convección y radiación	Calor disipado en la estufa (kcal/kg)
Comales	
Comal principal	399.04
Comal Hornillas izquierda	8.49
Comal Hornilla derecha	10.83
Estufa	
Cuerpo estufa	
Lado izquierdo	13.35
Lado derecho	10.99
Frente	13.61
Atrás	10.79
Chimenea (tubo)	6.95
Calor total disipado	474.05

(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

¹ Comentario de las usuarias.

5.5 Comparación de resultados experimentales de las estufas *Lorena* y *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas

Los resultados obtenidos con el estudio de las estufas *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas y las estufas *Patsari*, son el punto de atención ya que toca resumir el estudio realizado.

A continuación se presentan las gráficas de temperaturas en los comales, principalmente de las estufas *Lorena* de una cámara de combustión de laboratorio (E_4) y la estufa *Patsari* de laboratorio (E_1) de una cámara de combustión dos hornillas.

Los registros de temperaturas en la figura 5.11, como se observa en la gráfica, son diferentes, siendo mayor la de la estufa *Patsari* y menor la de la estufa *Lorena*.

Figura 5.11. Gráfica con los promedios de temperatura en las estufas *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas en laboratorio (E_1).

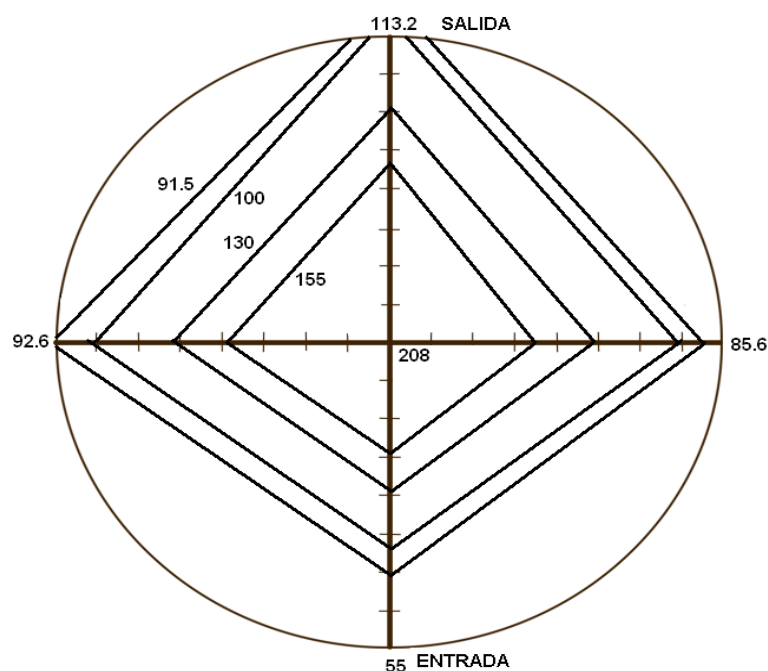


GRAFICO DE TEMPERATURAS DE ESTUFA PATSARI EN LABORATORIO

(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

Figura 5.12 Gráfica con datos de la estufa *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas en laboratorio (E₄)

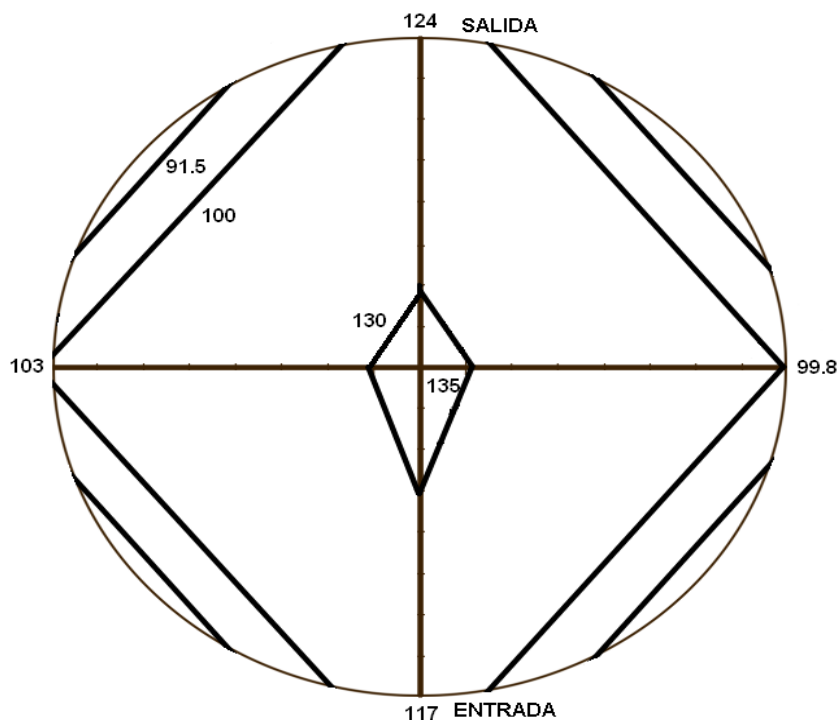


GRAFICO DE TEMPERATURAS DE ESTUFA LORENA EN LABORATORIO

(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

Las figuras 5.11 y 5.12, de las estufas *Patsari* y *Lorena* respectivamente, muestran una diferencia considerable de temperaturas en el centro del comal, aunque la distribución de temperaturas alrededor del comal, en este caso, la entrada muestra menor temperatura en la entrada de la *Patsari*: 55° C, y la *Lorena* con 117° C; lo cual es de importancia porque se fracturaron las estufas *Lorena* en la entrada, y como puede apreciarse, esto ocurre por la temperatura tan elevada.

Para observar los beneficios que se obtuvieron al hacer las correcciones respectivas a la estufa *Lorena*, se analizará la tabla 5.5, donde se presentan los resultados finales del presente estudio de estufas de leña (*Lorena* y *Patsari*).

Tabla 5.5 Valores de las eficiencias de las estufas *Lorena* y *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas en campo.

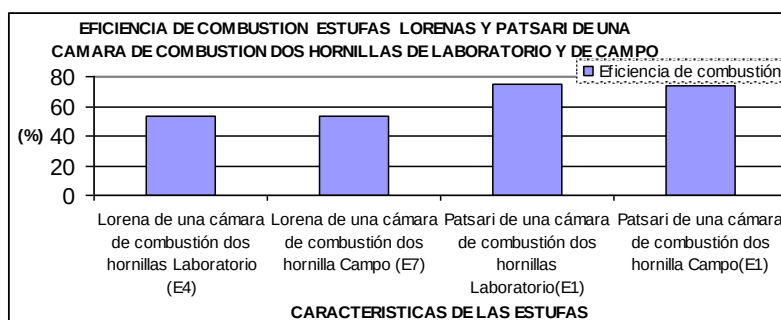
Tipo de estufa	Eficiencia de combustión
	(%)
<i>Lorena</i> de una cámara de combustión dos hornillas Laboratorio (E₄)	53.37
<i>Lorena</i> de una cámara de combustión dos hornilla Campo (E₇)	53.66
<i>Patsari</i> de una cámara de combustión dos hornillas Laboratorio(E₂)	74.61
<i>Patsari</i> de una cámara de combustión dos hornilla Campo(E₁)	74.00

(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

En la figura 5.5 se presentan las eficiencias de combustión, para las dos estufas la *Patsari* y la *lorena* de laboratorio y de campo como se puede observar ambas estufas son de una cámara de combustión dos hornillas.

Para facilitar la comprensión y manejabilidad de los datos de la tabla 5.5 véase la figura 5.13, en donde las barras representan las eficiencias de combustión, sus valores se encuentran del lado izquierdo de la gráfica señalados en porcentajes (%) y, por otro lado, las características de las estufas *Lorena* y *Patsari*.

Figura 5.13 Representación gráfica de los valores de eficiencias de combustión en las estufas de leña *Patsari* y *lorena*.



(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

En la tabla 5.6 que tenemos a continuación nos muestra la parte comparativa del análisis de transferencia de calor en la diferentes estufas Lorena y *Patsari*, lo que se muestra es una aproximación dada en cualquier punto.

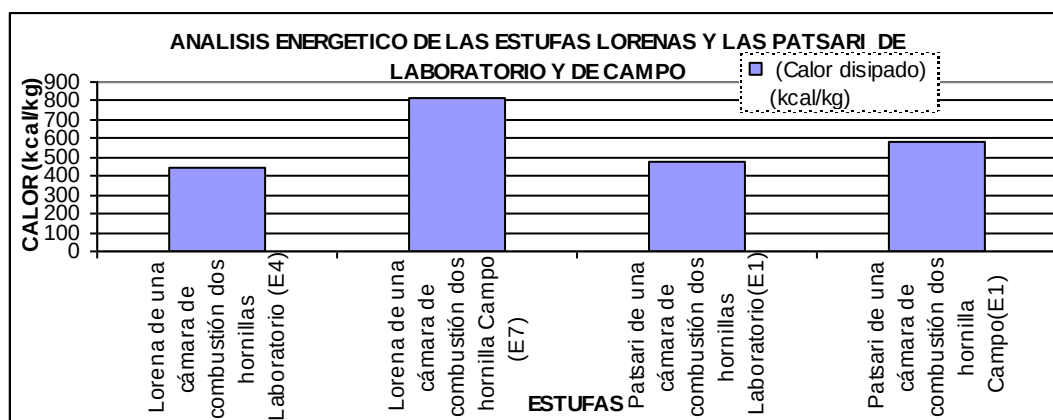
Los datos son los siguientes primero los resultados del calor disipado en las Lorena y a continuación los valores de las estufas *Patsari*.

Tabla 5.6 Valores del análisis de transferencia de calor en las estufas Lorena y *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas

Tipo de estufa	Estudio energética (Calor disipado)
	(kcal/kg)
Lorena de una cámara de combustión dos hornillas Laboratorio (E₄)	447.56
Lorena de una cámara de combustión dos hornilla Campo (E₇)	820.37
<i>Patsari</i> de una cámara de combustión dos hornillas Laboratorio(E₂)	474.06
<i>Patsari</i> de una cámara de combustión dos hornilla Campo(E₁)	580.60

(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

Figura 5.14 Gráfica de los valores del análisis de transferencia de calor en las estufas Lorena y *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas



(Elaborado por Ing. Ma. Teresa Pacheco Escalona)

Por comodidad presentamos los resultados de la tabla 5.6 en forma gráfica del análisis de transferencia de calor de las estufas Lorena y de las *Patsari*, la cual nos muestra el calor disipado, en los diferentes puntos del cuerpo de la estufa, lo anterior es una aproximación.

Por ultimo cabe señalar que en estos momentos se están construyendo las estufas *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas en serie, para lo cual se cuentan con moldes para facilitar la construcción (véase el anexo 5-3).

5.6 Resumen

El presente capítulo presenta las modificaciones llevadas a cabo con base en los resultados obtenidos de las estufas de leña del tipo *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas. Este estudio dio la pauta para plantear el nuevo diseño de estufas de leña.

Las modificaciones se indicaron para la cámara de combustión, en cuanto a los diámetros y alturas de los túneles que conectan las hornillas con la cámara de combustión y en las modificaciones de las hornillas, colocando *baffles* en el interior. Todas estas variantes dieron origen a la estufa *Patsari*, una nueva generación de estufas de leña mejoradas.

La caracterización de la estufa fue otro de los puntos que contempla el presente capítulo. Para realizarla, se utilizó la misma metodología que se llevó a cabo en las estufas *Lorena* de una cámara de combustión y dos hornillas, ya que en su exterior no cambió de dimensiones únicamente en el interior de la misma.

Finalmente, se realizaron las pruebas y el análisis de los resultados de laboratorio, lo cual mostró que las estufas *Lorena* tienen una eficiencia de combustión de aproximadamente un 53.37 por ciento. Para las *Patsari* se encontró una eficiencia de combustión de un 74.61 por ciento de eficiencia de combustión. Estos resultados permitieron evaluar las modificaciones, las cuales cumplieron plenamente con su cometido. En cuanto al análisis de transferencia

de calor se observó que en algunas partes de la estufa se disipa más calor y así eficientar las estufas *Patsari*.

Si se analizan las tablas 5.1 y 5.2 donde se tiene peso combustible y masa tortillas, los datos que son de la *Patsari* de laboratorio y campo expresan la siguiente conclusión: por cada kilogramo de tortillas de maíz que se produzca, se utilizan 0.985 kilogramos de leña. Este dato comparado con el de la estufa *Lorena* implica 1.8 kilogramos de leña consumida por cada kilogramo de tortilla de maíz.

6. Conclusiones

Como se ha mencionado en este trabajo de investigación, existen diversos problemas, sobre todo en las poblaciones más marginadas económicamente, que coinciden en muchos casos con los de las comunidades rurales, no sólo en nuestro país, sino en todo el mundo. Algunas de estas problemáticas se han comentado y la que ha ocupado mayor atención es la deforestación, la cual implicaría una mayor cantidad de contaminantes, menor captación de agua, así como contribuir en el efecto invernadero, precursor del calentamiento global.

A lo largo de este trabajo se ha aprendido que los recursos forestales, en algunas ocasiones, son la única forma en que las comunidades rurales obtienen ingresos para cubrir necesidades primarias. Así mismo y de acuerdo con los usos y costumbres de las comunidades, se utiliza regularmente la leña para cocinar los alimentos. Sin embargo, este uso no sólo contribuye con la deforestación, sino que provoca serios problemas de salud en los habitantes de las casas y principalmente en mujeres y niños.

Los resultados obtenidos son satisfactorios; así mismo el objetivo de la tesis se cumplió ampliamente, ya que el acuerdo de colaboración entre el Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada, (GIRA), con sede en Pátzcuaro, Michoacán, (Dr. Omar Macera C.), y el Instituto de Ingeniería de la UNAM, (Dr. Javier Aguillón M.), permitió el desarrollo innovador de la estufa de leña *Patsari*, la cual se ha distribuido en más de 5 000 familias en todo el país. Además, en junio de 2006, ganó el premio internacional *The Ashden Awards For Sustainable Energy*, como *1st Prize Winner The International Award for Health and Welfare 2006*; reconocimiento entregado por distintas fundaciones inglesas a GIRA, refiérase a la página 185

Otro logro importante de este trabajo es la construcción del laboratorio de pruebas de las estufas en la comunidad de Santa Ana Chapitiro, el cual fue de fundamental importancia para el estudio de las estufas de leña de la región. En éste se realizaron las adecuaciones necesarias que facilitaron la toma de

lecturas (barrenos en el cuerpo de la estufa, registros en la chimenea, entre otros).

Así mismo, el trabajo realizado en el laboratorio permitió adquirir el adiestramiento y experiencia para realizar posteriormente los estudios de campo (en comunidades indígenas), obteniendo también los parámetros de comparación que se utilizarían para proponer modificaciones innovadoras *a posteriori*.

Con la experiencia obtenida en el laboratorio, los resultados de las pruebas de campo, las observaciones de los investigadores y los comentarios de los usuarios, se propusieron modificaciones en la construcción de las estufas *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas, con el objeto de aumentar su eficiencia de combustión. Este conjunto de modificaciones dieron origen a la nueva generación de estufas de leña. Las estufas *Patsari* que en lengua Purépecha significa “la que guarda”.

En este trabajo se observó que las estufas de leña *Lorena* (mantenidas en condiciones estables de funcionamiento hasta donde fue posible) tienen temperaturas de 500 a 750° C en la cámara de combustión y en el comal principal se registraron temperaturas promedio de 200° C y del orden de 60° C en las hornillas secundarias, por lo que este diseño no permite absorber más energía y ésta se vacía por la chimenea que, en ocasiones, los humos de combustión llegan a generar hasta 600° C.

Las observaciones anteriores permitieron las modificaciones de reducción de la cámara de combustión, de desplazamiento de los túneles de evacuación hacia arriba y con forma de sifón, de colocación de un baffle en las hornillas secundarias con el fin de aumentar la turbulencia y el tiempo de residencia de los humos, así mismo se redujo el reflujo de gases por la entrada principal y se colocó una pieza de metal en la chimenea con el propósito de aumentar la temperatura de ésta para aumentar la convección de los gases de salida.

La comparación de los resultados de los análisis de combustión mostrados en los capítulos 4 y 5 permite concluir que la diferencia estimada en la eficiencia de combustión en las estufas *Lorena* y *Patsari* con una cámara de combustión y dos hornillas, fue de un 21.24 por ciento a favor de las estufas *Patsari*.

En cuanto al desempeño energético en la cocción de alimentos se observó que por cada 0.985 kilogramos de leña que se quema en la estufa *Patsari* para cocinar 1 *kg* de tortillas de maíz, en la estufa *Lorena* se queman 1.8 *kg* de leña; es decir, hay un ahorro estimado del 55 por ciento.

Con el fin de validar los resultados obtenidos, se hicieron las pruebas de eficiencia energética para el fogón de tres piedras, aplicando la metodología recomendada por el “*Manual de pruebas de eficiencia de estufas de cocinas con combustibles leñosos*”, del investigador Jaime Navia Antezama, en donde se obtuvo, por medio de esta investigación, un valor del 16.51 por ciento, el cual es muy cercano al que reporta el autor.

La relación en el desempeño energético en este tipo de fogón de tres piedras es la siguiente: por cada 4.1 *kg* de leña que se quema, se produce un kilogramo de tortillas de maíz; lo que implica un desperdicio enorme de energía de calor al medio ambiente, provocando humo y consecuentemente contaminación.

Por otra parte, cabe mencionar que se obtuvieron y reportaron datos de otros tipos de estufa de leña que se estudiaron en el laboratorio, las cuales eran de interés, pero no el objetivo de este trabajo de investigación; por esa razón no se llevaron a cabo los estudios correspondientes, quedando pendiente para próximas investigaciones.

La solución para resolver el problema que presenta el diseño de las estufas de leña, desde mi punto de vista, se debe enfocar a los materiales de construcción de las estufas (enfocándose a un material que aumente la eficiencia térmica en la transferencia de calor), así como al combustible (leña), al cual se debería de dar un tratamiento de bajo costo para aumentar su eficiencia.

La importancia social de esta investigación -la cual enorgullece y deja una sensación de satisfacción- es lograr la satisfacción y gusto de la gente de nuestras comunidades, ya que dadas las condiciones socioeconómicas en las que se encuentran, y con este tipo de acciones ellos perciben que la Universidad Nacional Autónoma de México, como institución educativa, los considera y toma en cuenta, lo cual agradecen de corazón.

Nomenclatura

E	Humedad (porcentaje de agua en el combustible)	(%)
H	Hidrógeno	(%)
PCS	Poder calorífico superior	(kcal/kg)
PCI	Poder calorífico inferior	(kcal/kg)
C	Carbón en el combustible	(%)
H	Hidrógeno en el combustible	(%)
N	Nitrógeno en el combustible	(%)
S	Azufre en el combustible	(%)
O	Oxígeno en el combustible	(%)
$C_{p \text{ aire}}$	Calor específico del aire	(kcal/ $N(\text{normalizado})$ $m^3 \text{ } ^\circ\text{C}$)
$C_{p \text{ gases}}$	Calor específico de gases de combustión	(kcal/ N (normalizado) $m^3 \text{ } ^\circ\text{C}$)
e	Exceso de aire	(%)
V_F	Poder fumígeno del combustible	(N (normalizado) m^3/kg)
V_A	Poder comburente	(N (normalizado)) m^3 /kg)
w	Cantidad de oxígeno en porcentaje de humos secos	(%)
β	Cantidad en porcentaje de monóxido de carbono que puede obtener de humos secos	(%)
V_{FH}	Poder fumígeno húmedo	(N (normalizado)) m^3 /kg)
V_A	Poder comburente	(N (normalizado) m^3 /kg)
C_p	Calor específico a presión constante del agua	(kcal/kg $^\circ\text{C}$)
ΔT	Diferencia de temperaturas ($T_2 - T_1$)	($^\circ\text{C}$)
e	Poder emisor que está entre 0 y 1 (para tierra 0.94) (adimensional).	
A	Superficie	(m^2)
$T_1 - T_2$	Potencial impulsor de flujo de calor	($^\circ\text{C}$)

K_c	Coeficiente Conductividad térmica para arcilla 13.36	$(kcal//mh^{\circ}C)$
L_c	Longitud desde el punto de más calor al de menos calor	(m)
(η_c)	Eficiencia de combustión	$(\%)$
(η_t)	Eficiencia de transferencia de calor	$(\%)$
(η_r)	Eficiencia del recipiente	$(\%)$
(η_{cc})	Eficiencia control de cocinado	$(\%)$
(η_c)	Eficiencia de cocinado	$(\%)$
(η_T)	Eficiencia total	$(\%)$
(η)	Eficiencia final	$(\%)$
$(\dot{Q}_{conv})$	Calor por convección	$(kcal/kg)$
$(\dot{Q}_{cond})$	Calor por conducción	$(kcal/kg)$
$(\dot{Q}_{rad})$	Calor por radiación	$(kcal/kg)$
$(\bar{T}_{amb})$	Temperatura ambiente	$(^{\circ}C)$
(h_c)	Coeficiente convectivo del aire (5.95)	$(kcal//m^2 h^{\circ}C)$
σ :	constante de radiación (4.87)	$(kcal /m^2 h K^4)$
T_{m1}	Temperatura media uno	$(^{\circ}C)$
T_{m2}	Temperatura media dos	$(^{\circ}C)$
T	Temperatura media ambiente	$(^{\circ}C)$
T_t	Temperatura media entre T_{m2} T_e	$(^{\circ}C)$
T_e	Temperatura media ambiente	$(^{\circ}C)$
$(\dot{m})$	Flujo másico de los gases de combustión	Nm^3/h
m	Masa combustible	kg/h

Anexos

Anexo 1-1

A continuación se presentan imágenes de estufas donde se realizaron las pruebas de este trabajo de investigación.

Estas pruebas sirvieron como base para realizar (con confianza y certeza) las pruebas en campo. Como se observa, la primera estufa es la *Justa* y las dos siguientes son tipo *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas; (véase imagen 1.1, de izquierda a derecha).



Imagen 1.1 Estufas *Justa* y *Lorena* de una y dos cámaras de combustión, dos hornillas, ubicadas en el laboratorio de estufas.



Imagen 1.2 Estufas *Rocket* portátiles de dos diferentes tipos y sin hornillas, ubicadas el laboratorio de estufas.



Imagen 1.3 Estufa del Estado de México, portátil sin hornillas, ubicada en el laboratorio de estufas.

Anexo 3-1

Tabla de datos para el registro de temperaturas en estufa de leña.

La tabla contiene **registros de campo** de una estufa *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas, en la comunidad de Casas Blancas. En la primera columna se registran los datos generales; en la segunda, los datos de temperatura en comales, así como en el cuerpo de la estufa, y en la última columna se registran los datos de la chimenea.

Tabla de datos de estufas tipo Lorena

Datos generales	Fecha y hora	Peso de la leña (kg)
Inicio	17/05/2003 (7:20)	5.450 kg
Término	17/05/2003 (9:25)	1.300 kg.
Usuaría	Oliva Mendoza	
Lugar	Casas Blancas	
Tipo de estufa	Lorena una cámara de combustión, 2 hornillas	
Edad de la estufa	2 años	
Tipo de leña	Pino y encino	
Humedad promedio	14.16 por ciento	
Masa (para tortillas)	5.700 kg masa	
Temperatura ambiente	Interior ini (11.2) fin (20.3): exterior ini (10.8) fin (18.3)	
Condiciones: (Estado de la estufa; miembros de la familia; usos principales: Nixtal, etc).	El fuego pasa hasta las hornillas y comales sobrepuestos con la existencia de fuga de humo; se hicieron tortillas y se calentó agua en una de las hornillas. Número de habitantes: 2	

Temperaturas (°C)		
Comal línea 1		
20 cm	40 cm	Observaciones
22.5	20.6	
21.4	21.9	
32.7	29.3	
Comal línea 2		
20 cm	40 cm	Observaciones
28.6	28	
28.1	27	
25.5	24	
Hornillas u ollas		
20 cm	40 cm	Observaciones
24	24.6	Al centro de las hornillas
31.4	30.8	
Comal superficie línea 1		
		Observaciones
1	153.2	
2	168.7	
3	124.4	
Comal superficie línea 2		
		Observaciones
1	123.9	
2	162.3	
3	134.5	
Comal inferior hogar línea 1		
		Observaciones
1	648.9	
2	677.2	
3	608.1	
Comal inferior hogar línea 2		
		Observaciones
1	547.6	
2	694.8	
3	575.6	
Comal hogar Línea 1		
		Observaciones
1	376	8.45 hr. se terminó
2	572.2	Masa (1)
3	552.8	

Comal hogar Línea 2		Observaciones
1	505.1	
2	511.1	
3	493.3	
Comal hogar Línea 3		Observaciones
1	444.1	
2	511.1	
3	463.4	
Hornillas u ollas sup. (arriba del comal)		
Izquierdo	Derecho	
147.6	124.8	
217	137.7	
143.8	206.2	
Hornillas u ollas sup. Inferior (abajo del comal)		Observaciones
Izquierdo	Derecho	No se pudo
		Llegar con la sonda
Hornillas u ollas hogar		Observaciones
Izquierdo	Derecha	
332.2	346.1	Se tocó un sólo punto en cada hornilla
Estufa lado derecho		Observaciones
Línea 1		
20 cm	40 cm	
20.5	20	
Línea 2		Observaciones
20 cm	40 cm	
19.2	18.7	
Línea 3		Observaciones
20 cm	40 cm	Da a la puerta
18.5	18	
Estufa frente		Observaciones
Línea 1		
20 cm	40 cm	
19.8	19.3	
Línea 2		Observaciones

20 cm	40 cm	
23.2	22.5	
Línea 3		
20 cm	40 cm	Observaciones
22	21.8	
Estufa lado izquierdo		Observaciones
Línea 1		
20 cm	40 cm	
32	27	
Línea 2		Observaciones
20 cm	40 cm	
22.5	21.6	
Línea 3		Observaciones
20 cm	40 cm	
21.2	20.9	
Chimenea superior-exterior		Observaciones
5 cm	112.2	
20 cm	93	
En medio	70.2	
Chimenea Línea 1		Observaciones
20 cm	40 cm	
20.2	19.9	
Chimenea Línea 2		Observaciones
20 cm	40 cm	
		No se realizó
Chimenea Línea 3		Observaciones
20cm	40 cm	
20.1	20.9	
Chimenea temperatura de humos		Observaciones
	(2) 394.2	
Partículas (ppm)		Observaciones
	(2) 7 PM10	
Analizador de gases		

Tiempo

138 min., 03 seg.

51 min., 04 seg.

358 min., 22 seg.

1) 13 min., 1 seg.

2) 7 min., 17seg.

Anexo 3-2

Colocación de sensores en el interior del cuerpo de las estufas *Lorena*

Perforaciones realizadas a las estufas *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas para llevar a cabo el registro de temperaturas en el interior de la cámara de combustión y en el interior de las hornillas; estas perforaciones sirven para introducir las sondas de medición de temperaturas en el interior de las estufas. (Véase el Dibujo 1 para observar la distancia de colocación y profundidad de los barrenos; así como la imagen 1 para la colocación de sensores).

Dibujo 1. Ubicación de sensores en estufas *Lorena*

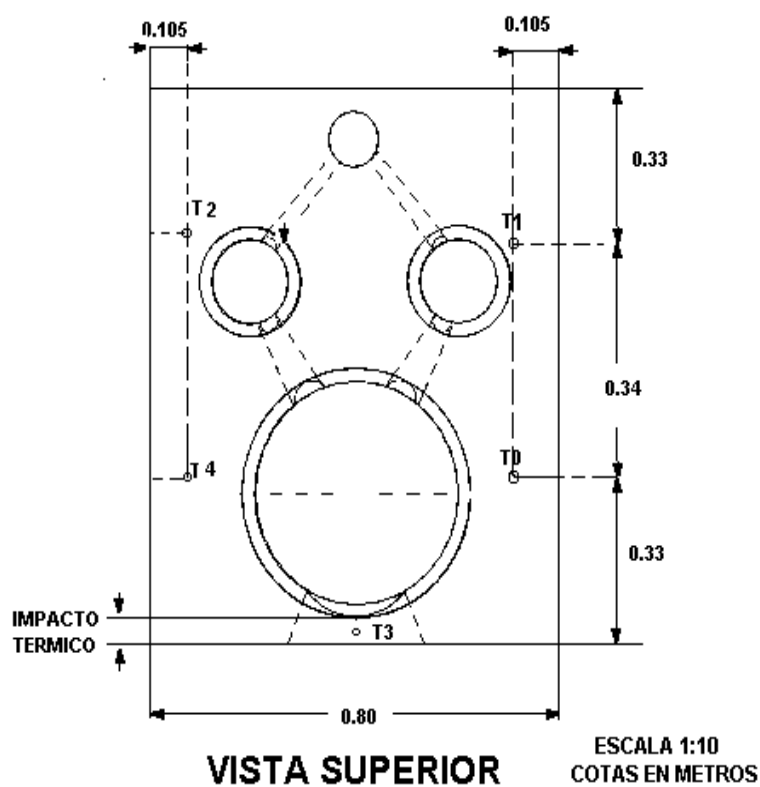
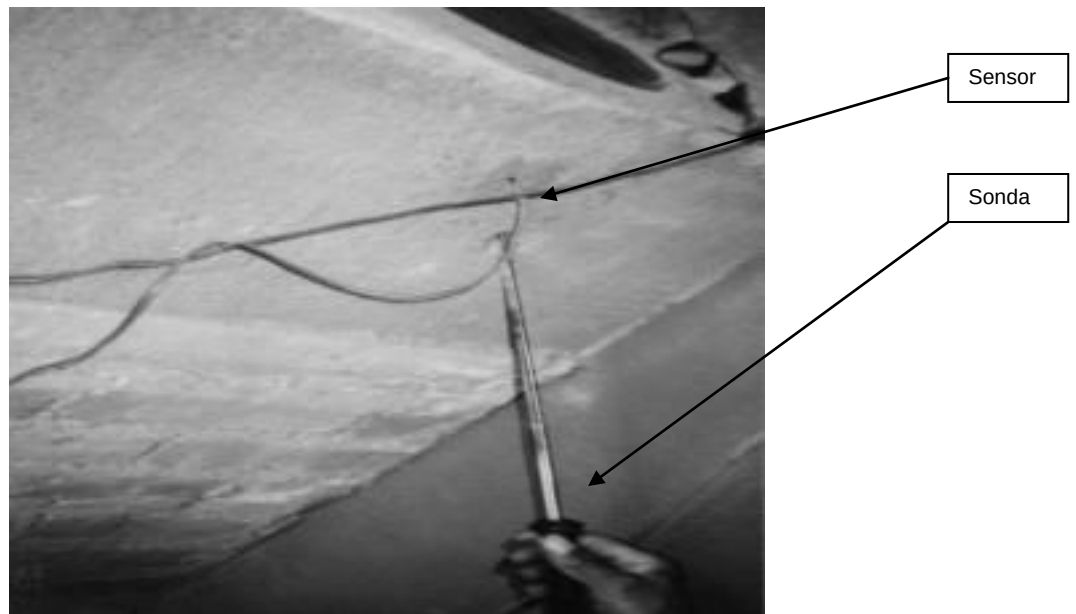
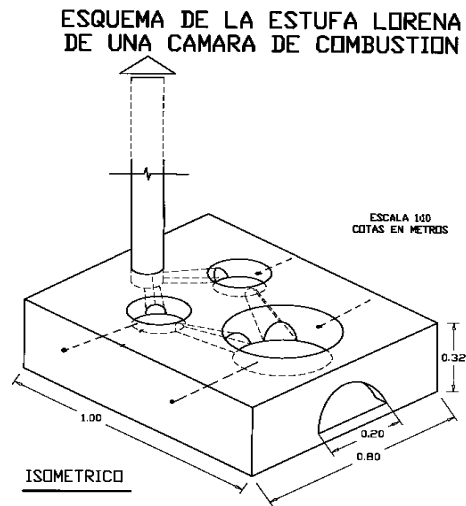


Imagen 1. Colocación de instrumentos de medición (sonda y sensor), ubicados al lado derecho de la estufa, en el interior de la misma.

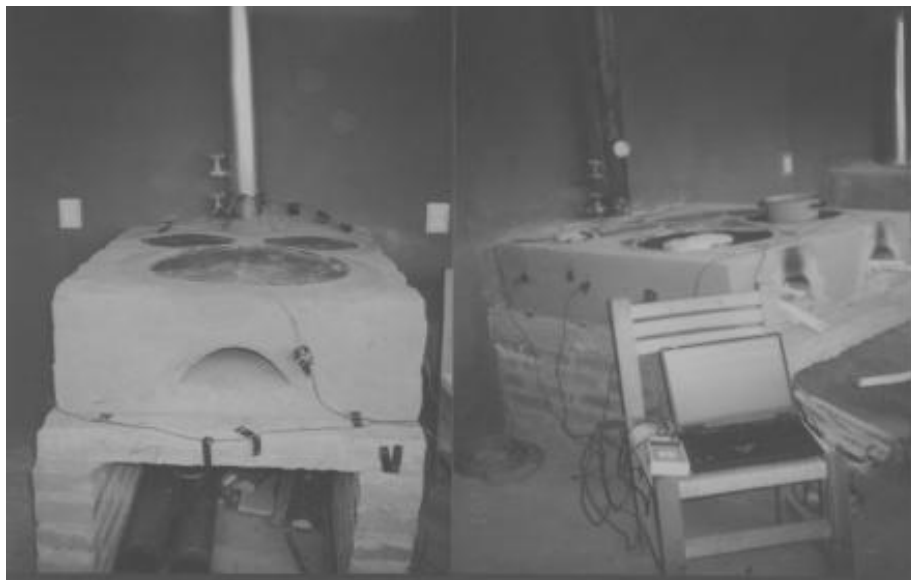


Colocación de sensores sonda para medir la temperatura en la estufas *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas (véase el Dibujo 2) y colocación de sensores en el interior de las estufas con los instrumentos de medición (véase e Imagen 2).

Dibujo 1. Colocación de sensores sonda para medir la temperatura en la estufas *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas.

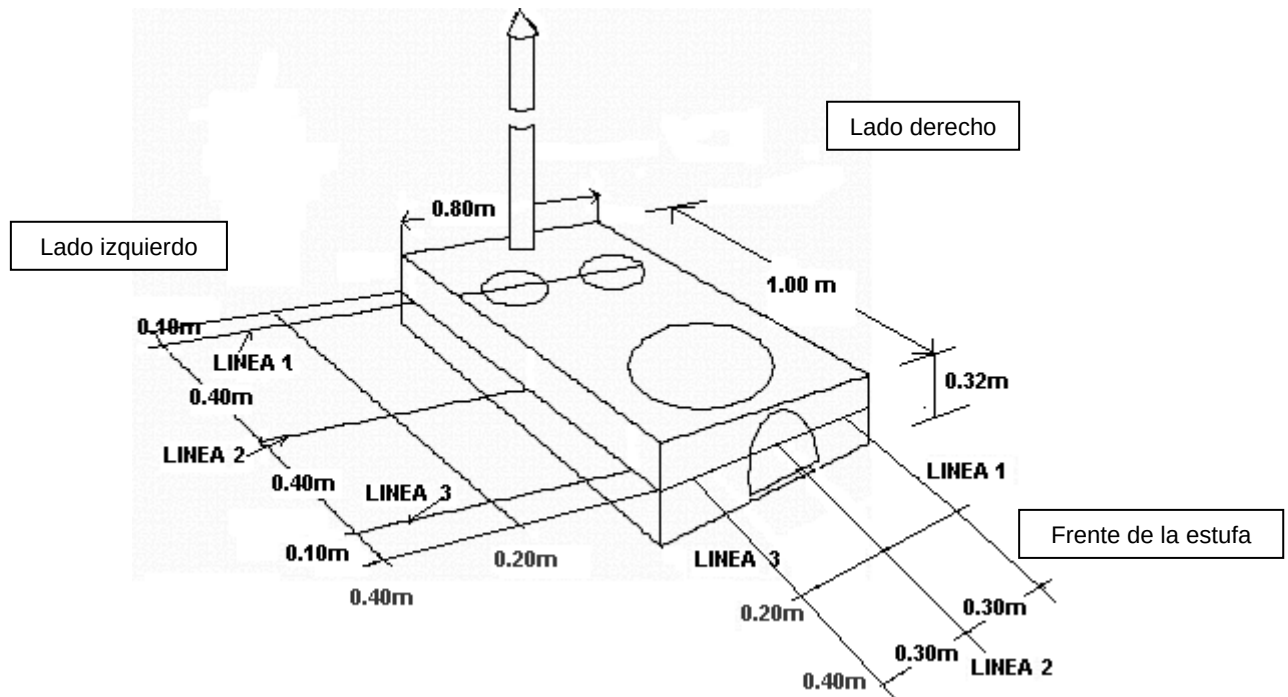


Fotografía 1. Colocación de sensores en estufas *Lorena* de una y dos cámaras de combustión.



Registro de temperaturas a una distancias de 20 y 40 *cm* alrededor del cuerpo de las estufas *Lorena*

Representación del registro de temperaturas a una distancia de 20 y 40 *cm* de las superficies laterales de la estufas *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas.



La siguiente imagen muestra el procedimiento para la toma de lecturas a una distancia de 20 y 40 cm de la superficie de la estufa *Lorena*; en este caso, se mide la temperatura con la sonda a una distancia de 20 cm, del lado izquierdo de la superficie de la estufa.

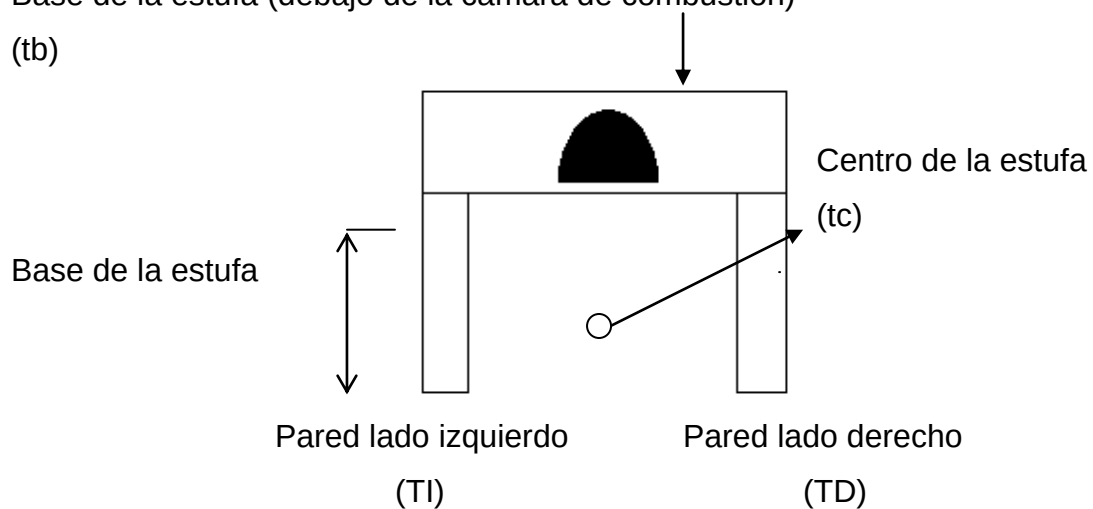


Temperaturas registradas en las bases de la estufas *Lorena*

Partes de la base de la estufa *Lorena*, donde se registran las temperaturas.

Base de la estufa (debajo de la cámara de combustión)

(tb)



El centro de la base de la estufa y sus lados son los puntos importantes para aplicar las ecuaciones de transferencia de calor.



Equipo
Almemo
conectado
con la sonda

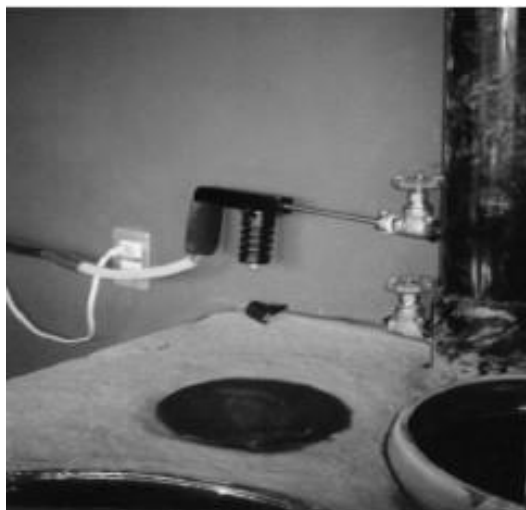
En la imagen se muestra el procedimiento para el registro de la lectura en la base de la estufa *Lorena*, al centro, en la superficie superior y en las paredes laterales.

Anexo 3-5

Fotografía 1. Equipo *Bacharach*, el cual se utiliza para registrar las propiedades o componentes de los gases de combustión.



Fotografía 2. Equipo *Bacharach* instalado en la chimenea para el análisis de gases de combustión en el registro 2.



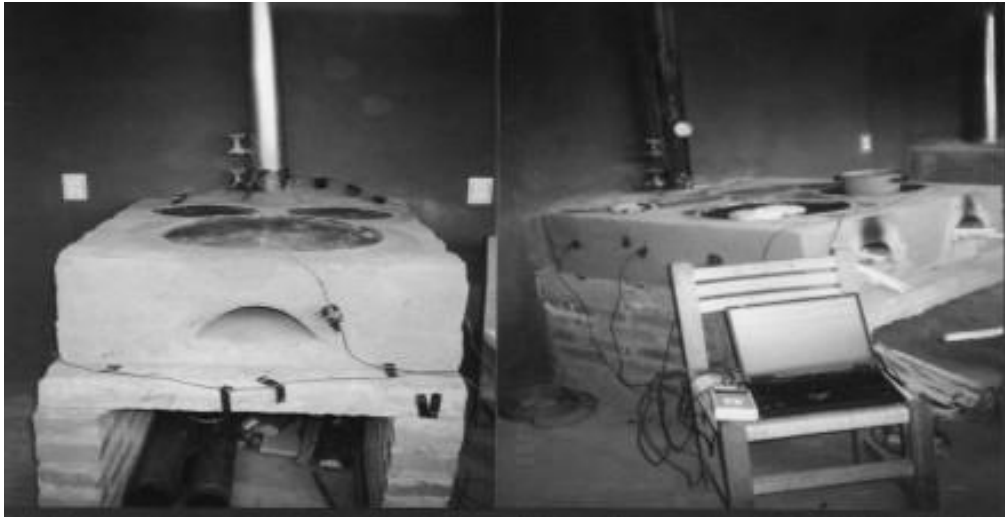
Fotografía 3. Equipo Almemo y su respectivo equipo.



Equipo Almemo

Anexo 3-6

En la siguiente imagen se muestra la colocación de los sensores en el cuerpo de la estufa y al equipo Almemo, así como a la computadora, para poder registrar las temperaturas.



En la siguiente imagen se muestra la ubicación donde se registran los datos de los gases de combustión y temperaturas con la sonda.



Anexo 3-7

Tabla de lecturas registradas en las estufas *Lorena* de una cámara de combustión dos hornillas, ubicadas en las comunidades indígenas.

LORENA UNA CAMARA DOS HORNILLAS DATOS DE CAMPO

DATOS DE LA ESTUFAS LORENAS DE UNA CAMARA DE COMBUSTION DOS HORNILLAS

ESTUFA	HUMEDAD-CO	TEMPERATURA REGISTRADAS EN SUPERFICIE DE COMAL (°C)				
	HUMEDAD(%)	TEMP-DECHA	TEMP-CENTR	TEMP-IZQUIER	TEMP-SALIDA	TEMP-ENTRADA
E1	20.9	187.2	208.2	199.2	218.5	152.3
E2	14.1	134.0	168.7	123.0	153.2	124.4
E3	19.4	57.8	161.4	57.8	46.8	54.0
E4	19.2	98.9	180.2	77.3	108.6	67.3
E5	17.0	89.2	186.4	139.0	122.5	128.5
E6	19.7	110.2	167.7	92.7	101.8	73.2
E7	15.9	86.6	137.8	109.9	74.3	105.2
E8	23.9	109.8	172.4	49.0	43.2	105.3
E9	23.3	145.1	259.9	132.1	107.4	142.9
E10	19.2	82.8	181.9	77.3	151.8	68.4

ESTUFA	TEMPERATURAS REGISTRADAS EN HORNILLA IZQUIERDA			TEMPERATURAS REGISTRADAS EN HORNILLA DERECHA			TEMPERATURAS EN LA CHIMENEA(°C)	
	TEMP-SALIDA	TEMP-CENTRO	TEMP-ENTRADA	TEMP-SALIDA	TEMP-CENTRO	TEMP-ENTRADA	TEMP-SUPER	TEMP-SALIDA
E1	217.9	123.6	162.9	172.0	149.2	146.2	174.5	248.4
E2	124.8	137.7	206.2	147.6	217.0	143.8	91.8	394.2
E3	198.9	125.8	122.2	CANCELADA	CANCELADA	CANCELADA	65.8	163.6
E4	48.6	49.5	40.8	72.5	77.9	72.2	102.6	222.3
E5	55.6	49.4	56.4	104.7	105.4	97.7	58.9	163.3
E6	82.8	88.0	87.4	55.9	75.1	71.5	70.4	165.2
E7	88.5	94.7	78.9	77.8	89.4	77.1	73.0	149.3
E8	114.2	125.8	199.6	124.7	203.5	123.5	79.2	173.5
E9	95.4	68.9	64.4	139.5	146.2	134.6	112.3	180.5
E10	220.0	260.0	199.8	CANCELADA	CANCELADA	CANCELADA	79.8	185.9

ESTUFA	GASES DE COMBUSTION (ANALIZADOR BACHARACH)					PESO COMBUSTIBLE(KILOGRAMOS)		
	SO2(PPM)	NOX(PPM)	CO(PPM)	CO2(%)	O(%)	PESO-INICIAL	SOBRANTE	CENIZAS
E1	7.0	34.0	2876.0	3.6	17.2	16.5	7.4	0.3
E2	19.0	50.0	2300.0	6.5	14.2	5.6	1.3	0.1
E3	58.0	57.0	3104.0	5.9	14.7	7.2	2.9	0.1
E4	58.0	57.0	3104.0	5.9	14.9	5.6	1.5	0.1
E5	375.0	92.0	33.0	6.7	14.0	12.4	2.6	0.3
E6	7.0	50.0	2191.0	4.4	16.4	4.6	1.0	0.1
E7	2.0	68.0	2363.0	6.4	14.3	8.4	4.5	0.1
E8	328.0	117.0	3322.0	10.3	10.3	6.0	1.5	0.2
E9	1.0	25.0	3408.0	3.1	17.7	8.3	1.7	0.2
E10	7.0	26.0	3361.0	5.7	15.1	5.7	0.0	0.2

ESTUFA	MASA PARA TOSTAR	EFICIENCIA DE COMBUSTION	ESTUFA	T-COMAL-INF	T-HOGAR	EXC-AIRE	T-GASES-COMBUSTION
	KILOGRAMOS	%		°C	°C	%	°C
E1	14.0	64.2	E1	493.0	526.3	255.0	278.0
E2	5.2	67.8	E2	495.4	500.9	207.0	294.3
E3	4.5	69.7	E3	495.4	500.9	163.6	242.0
E4	4.8	67.8	E4	373.5	460.3	242.0	222.3
E5	6.5	69.9	E5	485.7	595.9	198.0	163.3
E6	2.7	68.4	E6	400.6	439.4	357.0	135.2
E7	9.0	70.0	E7	495.4	500.9	212.0	149.3
E8	7.0	63.0	E8	400.6	439.4	94.0	173.5
E9	9.5	67.3	E9	496.0	500.0	241.0	180.5
E10	4.0	68.1	E10	373.5	460.3	254.0	185.9

Tabla de datos de las estufas *Lorena* de dos cámaras de combustión dos hornillas, lo cual se realizó en las comunidades (campo).

DOS	15	25.5	23.9	144.5	495	501	19.4	18.9	21.7	21.1	25.23	23.2	27.9	27.7	29.4	29.2	169	156	346	322
C	16	27.8	25.8	212.9	373	460	25.8	24.07	27.8	27	30.1	30.8	34.3	28.75	39.4	29.95	46.2	58	377	327
Á	17	45.6	39.2	173.6	486	596	31.3	31.3	33.1	32.9	31.8	31.6	39.46	38.13	40.4	38.36	170	166	322	370
M	18	25.5	23.9	144.5	495	501	19.4	18.9	21.7	21.1	25.23	23.2	27.9	27.7	29.4	29.2	169	156	346	322
A	19	27.8	25.8	212.9	373	460	25.8	24.07	27.8	27	30.1	30.8	34.3	28.75	39.4	29.95	46.2	58	377	327
R	20	27.8	25.8	212.9	373	460	25.8	24.07	27.8	27	30.1	30.8	34.3	28.75	39.4	29.95	46.2	58	377	327
A	21	47.6	40.3	160.5	401	439	34	32.85	45.9	39.4	33.78	39.5	40.36	29.9	42.4	33.95	180	170	495	349
	22	47.6	40.3	160.5	401	439	34	32.85	45.9	39.4	33.78	39.5	40.36	29.9	42.4	33.95	180	170	495	349
DE	23	25.5	23.9	144.5	495	501	19.4	18.9	21.7	21.1	25.23	23.2	27.9	27.7	29.4	29.2	169	156	346	322
	24	27.8	25.8	212.9	373	460	25.8	24.07	27.8	27	30.1	30.8	34.3	28.75	39.4	29.95	46.2	58	377	327
C	25	25.5	23.9	144.5	495	501	19.4	18.9	21.7	21.1	25.23	23.2	27.9	27.7	29.4	29.2	169	156	346	322
O	26	27.8	25.8	212.9	373	460	25.8	24.07	27.8	27	30.1	30.8	34.3	28.75	39.4	29.95	46.2	58	377	327
M	27	47.6	40.3	160.5	401	439	34	32.85	45.9	39.4	33.78	39.5	40.36	29.9	42.4	33.95	180	170	495	349
B	28	25.5	23.9	144.5	495	501	19.4	18.9	21.7	21.1	25.23	23.2	27.9	27.7	29.4	29.2	169	156	346	322
	29	27.8	25.8	212.9	373	460	25.8	24.07	27.8	27	30.1	30.8	34.3	28.75	39.4	29.95	46.2	58	377	327

Tabla de datos de temperaturas, gases de combustión y opacidad en las chimeneas de las estufas *Lorena* de dos cámaras de combustión dos hornillas.

DOS	91.81	180.5	20.25	20.8	1	25	3408	3.1	541	17.7	3
C	64.95	185.9	34.26	29.7	7	26	3361	5.7	254	15.1	5
Á	91.81	142.65	20.25	20.8	51	93	2988	13.1	54	7.5	5
M	64.95	318.6	34.26	29.7	8	91	3025	10.9	84	9.7	6.5
A	109.66	333.5	41.36	51.7	9	71	1400	5.8	249	15	3
R	91.81	314.15	20.25	20.8	0	62	2967	7.6	164	13.1	9
A	64.95	168.95	34.26	29.7	9	40	1188	4.9	312	15.9	7
	64.95	207.95	34.26	29.7	24	54	2216	8	151	12.7	6
DE	144.3	243.8	44.2	53.47	0	26	1402	2.1	834	18.7	8
	144.3	177.3	44.2	53.47	1	38	1724	7.8	158	12.9	5
C	91.81	217.65	20.25	20.8	116	59	3363	6.8	194	13.9	9
O	64.95	134.1	34.26	29.7	1	59	1611	6.6	203	14.1	3
M	91.81	139.95	20.25	20.8	145	48	3365	7.3	174	13.4	8
B	64.95	185.4	34.26	29.7	0	59	2578	4.5	346	16.3	9
	144.3	91.6	44.2	53.47	3	14	1038	2.6	661	18.2	9
	91.81	240.2	20.25	20.8	24	44	3447	7.2	178	13.5	9
	64.95	155.9	34.26	29.7	133	56	2601	5.2	288	15.6	7

Distribución de temperaturas en estufas *Lorena* en hornillas de laboratorio y en campo.



Figura A



Figura B

En las figuras A y B se presenta la distribución de temperaturas en las hornillas de las estufas en campo (estufa 7).

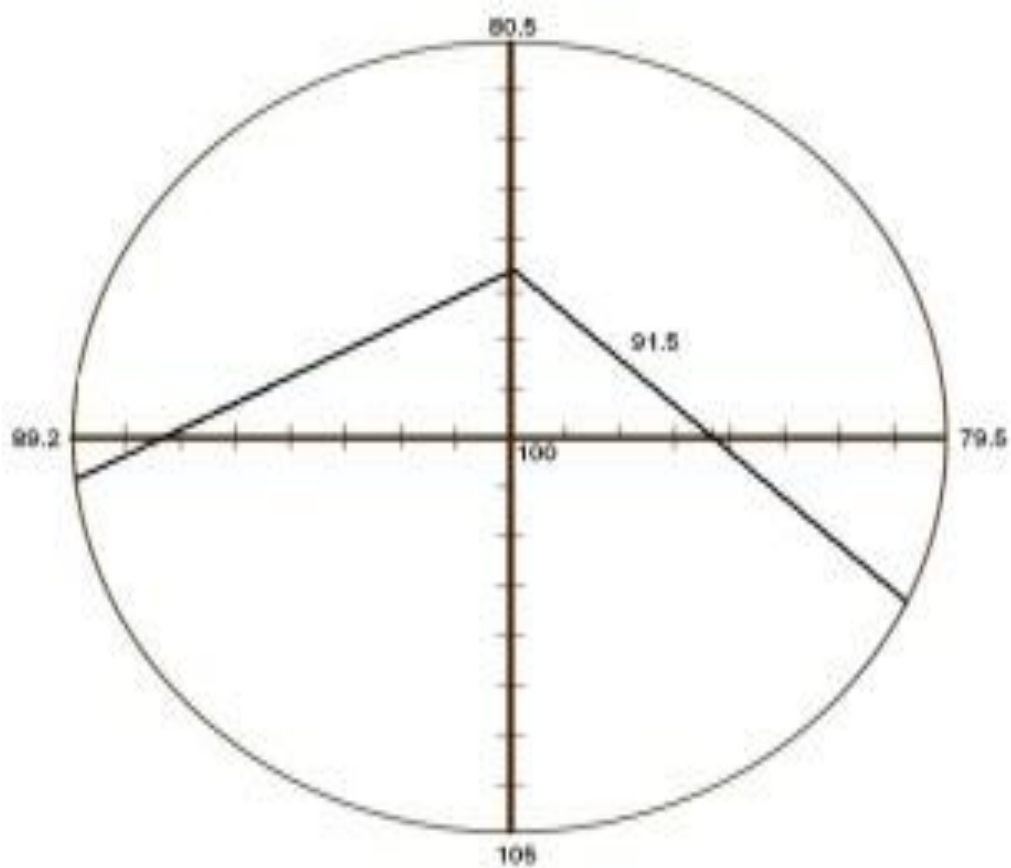


GRAFICO DE TEMPERATURAS DE ESTUFA LORENA EN LABORATORIO
HORNILLA DERECHA

Figura C

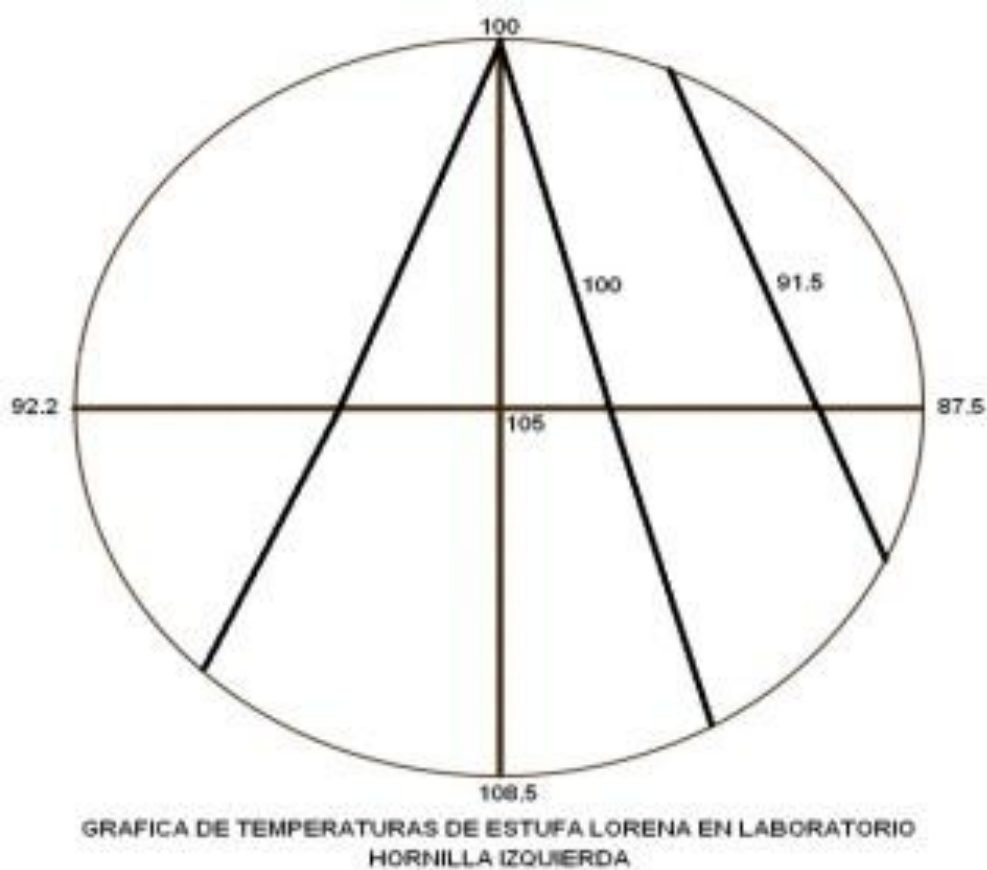


Figura D

En las figuras C y D se muestran las distribuciones de temperatura en las hornillas de las estufas en laboratorio (estufa 4).

Anexo 3-8

En la siguiente fotografía se muestra un calentador de agua que utiliza madera como combustible y se coloca en la chimenea de una estufa *Lorena* con una cámara de combustión. En este caso se aprovechan las temperaturas de los gases de combustión cuando las usuarias cocinan.

Calentador de agua con chimenea de una estufa *Lorena* con una cámara de combustión.



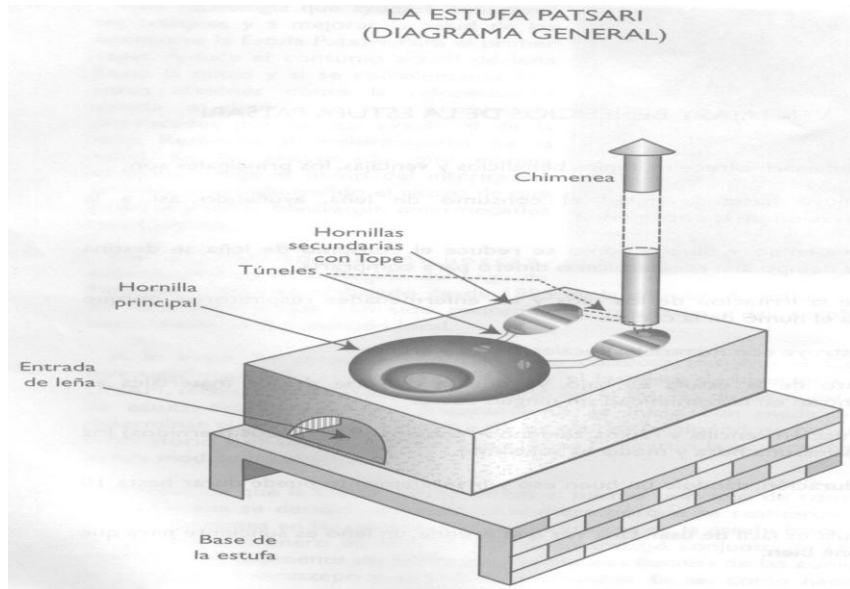
El sistema de alimentación de agua es por gravedad y no se utilizan bombas. En cuanto a los componentes de los gases de combustión del calentador de agua, éstos son similares a las demás estufas de campo.

En la siguiente fotografía se muestra una chimenea con tubos de asbesto que, de acuerdo con los comentarios de las usuarias, con esta característica se evita el calentamiento de la chimenea y los gases (humo) son expulsados del recinto con facilidad.

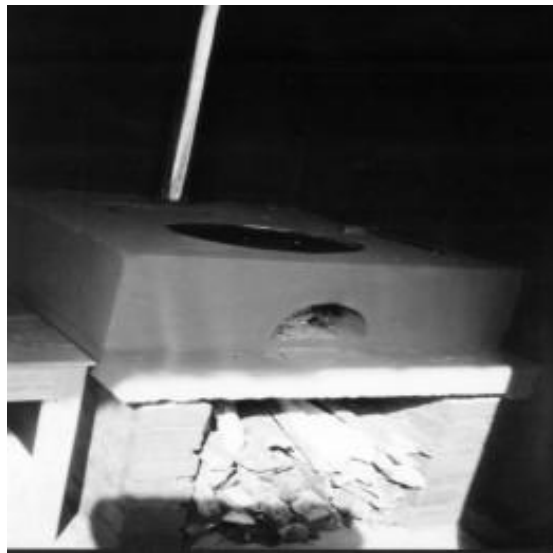


Anexo 5-1

En las siguientes figuras se muestran las estufas *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas.



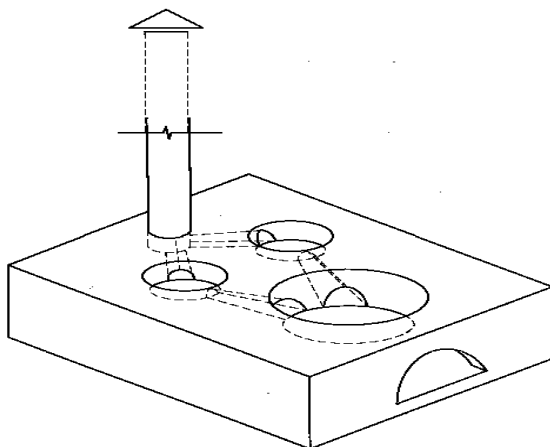
Estufa *Patsari* que muestra la parte interna.



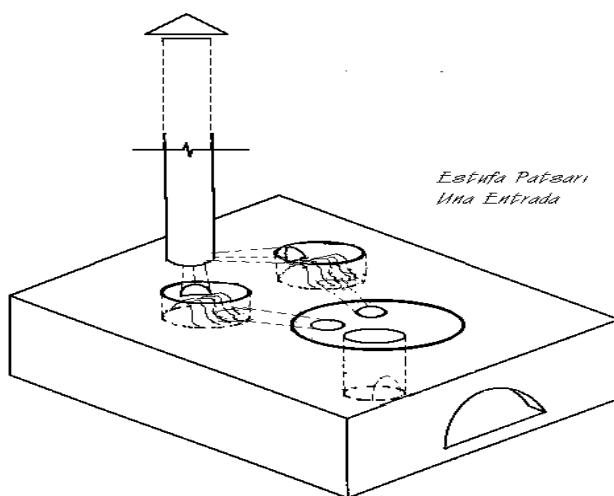
Estufa *Patsari* construida.

Anexo 5-2

Dibujo de estufa *Patsari* que muestra las partes para la construcción de las mismas.



Baffles en hornillas de la estufa *Patsari*.

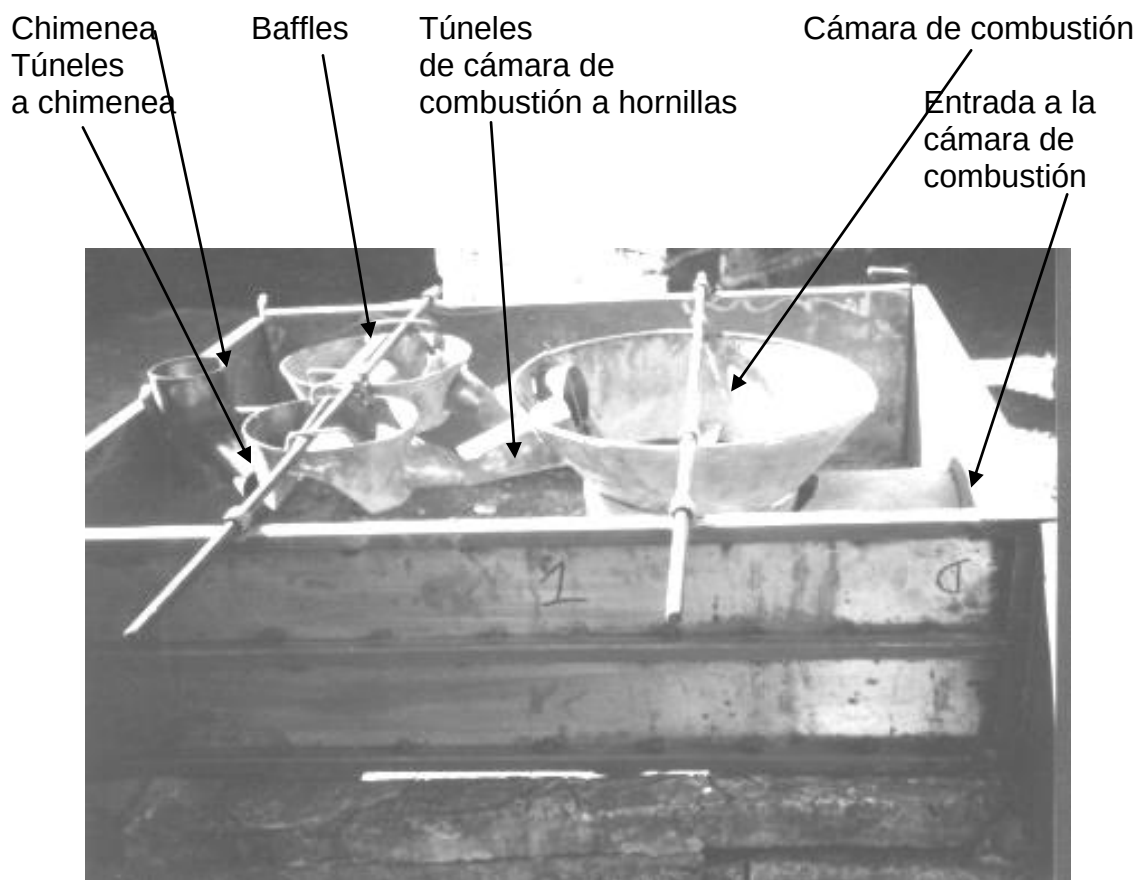


Fotografía que muestra una estufa *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas, construida en el laboratorio de pruebas.



Anexo 5-3

En la siguiente fotografía se muestra la constitución interior de la estufa *Patsari* de una cámara de combustión dos hornillas. Como referencia se observan los moldes colocados, los cuales muestran las partes importantes de este tipo de estufas. Como se comentó con anterioridad, el vacío se llena de lodo, arena y cemento.



En las siguientes fotografías se muestran los moldes que se utilizan actualmente en las comunidades de Pátzcuaro, en donde se construyen las estufas *Patsari*.

La siguiente fotografía presenta un almacén con los accesorios para la construcción en serie de las estufas *Patsari*.



La siguiente fotografía muestra el almacén localizado en el laboratorio de pruebas



Gráficas de temperaturas de las hornillas

Gráficas de las hornillas de la estufa *Patsari* con una cámara de combustión del lado derecho y del izquierdo de campo.

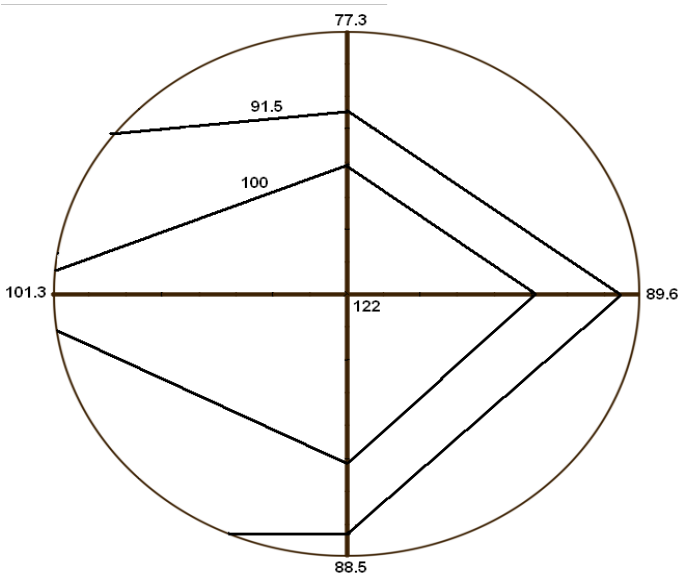


GRAFICO DE TEMPERATURAS DE ESTUFA PATSARI EN CAMPO
HORNILLA DERECHA

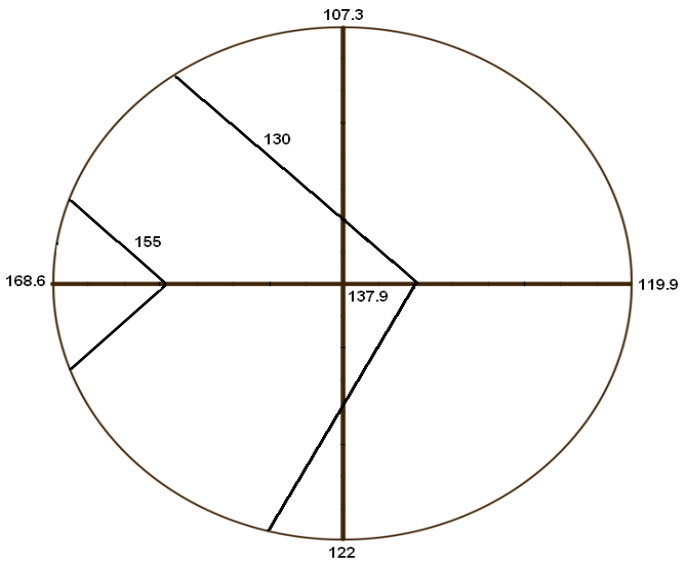


GRAFICO DE TEMPERATURAS DE ESTUFA PATSARI EN CAMPO
HORNILLA IZQUIERDA

Bibliografía

- Aguilar, J., Marielle, C. y De los Reyes, L. "Consumo de leña y carbón en La Sierra Norte de Puebla"; Trabajo presentado en el II Congreso Sobre Problemas Ambientales; noviembre de 1982. México, D. F.; 1992; 32 pp.
- Baens, F. A., Estrada, C. A. y R. E. Cabanillas. *Análisis térmico de la planta de potencia termosolar de 30kWe*. Reunión Nacional de Energía Solar; Colima, México; octubre, 1999, 300 pp.
- Baldwin, S. "Biomass stoves: engineering design, development and dissemination"; Center for Energy and Environmental Studies; Princeton University, Princeton, New Jersey, 08544 USA; 1996; 273 pp.
- Barkley, J. F. y Rice, W. E. "Peat, wood and miscellaneous solid fuels". En *Baumeister, T. Mechanical Engineer's Handbook*; Mc Graw Hill, New York; 1998; pp. 718-721.
- Bialy, J. "Measurement of the energy released in the combustion of fuels", *Occasional paper on appropriate technology*, AT022, School of Engineering, University of Edinburgh, Edinburgh; 1979.
- Bialy, J. *Energy flows in subsistence agriculture: a study of a dry zone village in Sri Lanka*. Ph. D. Thesis; Faculty of Science, University of Edinburgh, Edinburgh; 1982.
- Bialy, J. *A new approach to fuel wood conservation: guide lines for research*. FAO; Roma, Italia; 1986; 360 pp.
- British Standards Institution (Bsi). *Definitions of the caloric value of fuels*, B. S. 526; London; 1961.
- Brown, H. P., Panshin, A. J. y Forsaith, C. C. *Textbook of wood technology*. Vol. II; Mc Graw Hill; New York; 1952.
- Camacho, J. *Estudio del uso del bosque para extracción de leña, madera para construcción de casas y fabricación de herramientas en una comunidad Otomí, San Andrés Timilpan, Estado de México*. Tesis profesional (Biología); ENEP Iztacala, UNAM; México D. F.; 1985; 230 pp.
- Carman, E. P. "Wood and hogged fuel". En *Salisbury, J. K.; Kent's Mechanical Engineer's Handbook*, Power. Wiley, New York; 1950. pp. 239-241.

- Carvajal, V. R., *Sistema computacional de estadística intermedia para un centro de investigación de biología pesquera*. Tesis Profesional (Biología), Facultad de Ciencias, UNAM; México, D. F.; 1986; 377 pp.
- Centro de investigaciones energéticas, medioambientales y tecnológicas *energías renovables*. Ministerio de ciencias y tecnología. España. Octubre de 2001.
- Chevalier, I. *La leña, un recurso energético en vías de desaparición en Centroamérica: el caso de Guatemala*. En Revista Interamericana de Planificación, XXI, (82); 1987; 146-152 pp.
- Critchfield, B. y Little, E. Jr. *Geographic distribution of the pines of the world*. U. S. Department of Agriculture; Forest Service. Misc. Publ. 991. Washington, D. C. USA, 97; 1966.
- Díaz, Rodolfo, Masera, Omar y Morales, Rubén. *La estufa Lorena*. Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada (GIRA); 2000.
- Doat, J. "Le pouvoir calorifique des bois tropicaux". *Revue Bois et Forêts des Tropiques*. 172; marzo-abril; 1977; 33-55 pp.
- Evans, M. *The use of firewood as domestic fuel and the patterns of change to alternatives*. Institute of Agricultural Economics. Oxford University; Oxford, England; 1983.
- Forbes, R. D. y Meyer, A. B. (ed.) *Forestry Handbook* (Society of American Foresters); The Ronald Press Co.; New York; 1955.
- Galeano, E. *Las venas abiertas de América Latina*. Siglo XXI; México D. F.; 1980; 488 pp.
- García, E. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen*, (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). UNAM, México; D. F.; 1981; 246 pp.
- Goldemberg, J. *Madera para energía y perspectivas energéticas*. IX Congreso Forestal Mundial, México; 1985; 28 pp.
- Geller H. y Gautam Dutt. *Medición de la economía del combustible de cocción leña*. FAO-SIDA; Roma, Italia; 1999.
- Guba, R. *Forestry in British and post British India: A historical analysis economical and political weekly*. Octubre-noviembre; 1983; 22 pp.

- Guzmán, O., Yunes, A. y Wionczec, M. *Uso eficiente y conservación de la energía en México: diagnóstico y perspectivas*. El Colegio de México; México, D. F.; 1985.
- Harker, A. P., Sandels, A. y Burley, J. "Calorific values for wood and bark and bibliography for fuelwood". Report of the Tropical Products Institute; G 162, London; 1982; 20 pp.
- Infante, S. y Zarate, P. *Métodos estadísticos: un enfoque interdisciplinario*. Editorial Trillas; México; 1988; 643 pp.
- Jung, Martina. *The role of forestry sinks in the CDM "Analysing the effects of policy decisions on the carbon market"*. Hamburgisches Welt-wirtschafts-Archiv; Hamburg Institute of International Economics; Discussion paper 241; 2003.
- Martínez, A. M. Estado actual y perspectivas del aprovechamiento energético de la biomasa. Memorias del evento: Discusión y análisis en fuentes de energía alterna a las convencionales (1-2/08/09), SEMIP; 2000.
- Masera, Omar, Masera, Diego y Navia, Jaime. "Dinámica y uso de los recursos forestales de la Región Purépecha". El Papel de las Pequeñas Empresas Artesanales; GIRA (Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropriada); 1999.
- Masera, O., Almeida, R., Cervantes, J., Dutt, G., García Galiano, L., Garza, F., Joaquín, R., Juárez C., Márquez, C., Martínez, M., Navia, J., Ortiz, A., Pérez, M., Sheinbaum, C. *El patrón de consumo energético y su diferenciación social. Estudio de caso en una comunidad rural de México*. Cuadernos sobre prospectiva energética. El Colegio de México; número 108; México; 1987; 95 pp.
- Masera, Omar Raúl. *Socioeconomic and environmental implications of fuelwood use dynamics and fuel switching in rural Mexico*. Tesis doctoral; The University of California at Berkeley.
- Markwardt L. J. y Freas, A. D., "Wood and wood base materials". En Miner, D. F. y Seastone, J. B., Ed. Handbook of engineering materials; Wiley, New York; 1955; pp.302-356.
- Melesio, M. "El abasto de energía en el medio rural mexicano". En *Revista Interamericana de Planificación XXI*, (82); 1987; pp. 153-166.

- Navia Antezana, Jaime. Manual estándar de pruebas de eficiencias de estufas para cocinar con combustible leñoso. GIRA (Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiable); Noviembre, 1987.
- National Academy of Sciences (NAS), (USA), *Firewood corps. Shrub and tree species for energy production*, Report of an Ad Hoc Panel of the Advisory Committee on Technology Innovation, Board on Science and Technology for International Development, Commission on international Relations, NAS, Washington D. C.; 1980; 236 pp.
- Rzedowski, J. Vegetación de México. Editorial Limusa; México; 1981; 432 pp.
- Salem, B. B. y Van Nao, T. *La producción de leña en los sistemas agrícolas tradicionales*. UNASYLVA, Vol. 33, número 131; FAO; 1981; pp. 13-19.
- Tisseverasinghe, A. E. K. *A manual of timber utilisation for Ceylon*. Prep. for the Ceylon Forest Department; Colombo; 1971.
- Torres Rojo, Juan Manuel y Guevara Sanginés, Alejandro. "El Potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico". En Gaceta Ecológica; número 63, Instituto Nacional de Ecología; 2000.
- Vázquez de León, L. *Antropología política de la comunidad indígena en Michoacán*. Colección Cultural SEP, 5 Ed.; Michoacán, México; 1986; 148 pp.
- Wangaard, F. F. *Wood Section 29 in Mantell. C. L. Engineering materials Handbook*; Mc Graw-Hill, New York; 1958.
- Wardle, P. y Palmieri, M. *Cuál es el costo real de la leña*. UNASYLVA, Vol. 33 número 131; FAO; 1981; pp. 20-23.
- Westhoff, Beatrix y German, Dorsi. *Estufas en imágenes: una documentación sobre las estufas mejoradas y tradicionales de África, Asia y América Latina*. Comisión de las Comunidades Europeas; 1999.

Fuentes electrónicas de información

- http://www.bun-ca.org/force_tecs_ener_renovable.shtml Fecha de consulta: 11 de noviembre de 2005.
- <http://www.bun-ca.org/publicaciones/BIOMASA> Fecha de consulta: 20 de marzo de 2006.
- <http://www.eere.energy.gob/biomasa> Fecha de consulta: 15 de septiembre de 2006.
- <http://www.epa.gob/globalwarning/impacts/forests/index.html> Fecha de consulta: 17 de noviembre de 2006.
- <http://www.cfe.gob.mx> Fecha de consulta: 2 de enero de 2007.
- <http://www.aprovecho.net/>. Fecha de consulta: septiembre de 2006.

Otras fuentes de Información

- Aprovecho Research Center. 80574 Hazelton Road Cottage grove Oregon; 97424-9747, USA; 2000.
- FAO *Improved solid biomass burning cookstoves. A development manual*. Regional World Energy Development Programme in Asia. Field Document number 44; 1993.
- SARH. *Vademecum Forestal Mexicano*. Dirección General de Información y Sistemas Forestales; México, D. F.; 1980; 188 pp.
- SARH. Tabla de volúmenes de la familia Pinaceae. Tomada del Centro de Cómputo de la Unidad de Explotación Forestal San Rafael, Estado de México; México; 1985; 22 pp.
- SEMIP. Balance Nacional de Energía de México. México, D.F.; 1987; 55 pp.
- SEMIP. Energía Rural en México. Vol. 1; Nacional; México, D.F.; 1988; 82 pp.
- SPP. Cartas Edafológicas del INEGI; México; 1981; (E 13, B 29).
- Spiers, H. M. *Technical data on fuel*. British National Committee; World Power Conference; London; 1955.
- SRA. *Estudio dasonómico del aprovechamiento resinero de los montes de la comunidad de Cheranarzicurin, Morelia Michoacán*. México, 1974.

RECONOCIMIENTO



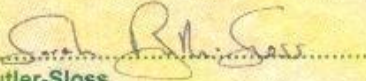
the **Ashden Awards**
for sustainable energy

1st Prize Winner
The International Award for
Health and Welfare
2006

Grupo Interdisciplinario de Tecnologia
Rural Apropiada
Mexico

These Awards recognise outstanding achievement in using sustainable energy to improve quality of life and protect the environment. The Awards aim to encourage the wider take-up of local sustainable energy solutions across the developing world and in the UK.

Signed


Sarah Butler-Sloss

Executive Chair, The Ashden Awards for Sustainable Energy

Agradecimientos

Agradezco a el Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada (GIRA) y a sus integrantes Omar Masera Cerruti , Jaime Navia Antezana, Rodolfo Díaz, Marta Astier, Víctor Berrueta , Ruben, Minerva ,Otilia, Margarita y a todos los integrantes de esta institución que me brindaron, su apoyo y amistad.

Agradezco al Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México en especial al Dr. Javier Aguillón Martínez, que se hizo presente invariablemente , en el transcurso de la dirección de este trabajo.

Agradezco a la DGAPA UNAM Dirección General de Asuntos del Personal Académico, cuya beca me permitió cumplir con las actividades académicas que forma parte del programa de Posgrado en la facultad de Ingeniería.

Dedicatorias

A quienes justifican mi existencia y me han heredado sus legados, e historia:

Celia Escalona Rodríguez y José Pacheco Gómez, Mis padres (que en paz descansen +) .

Para Teresita, Susy y los Marios que comparten mis realidades , cariños, espacios y sueños.

Deseo agradecer a los que ya no están entre nosotros, pero extraño muchísimo por su entrega y cariño: José, Antonio, Lupita (+).

Así mismo manifiesto mi gratitud a mis hermanas: Sol, Fely, Geña y a la familia en general, añorables emblema de la esencia humana.

Para todos mis maestros ejemplo de dignidad y plena entrega.

Para mis amigos , en especial a Silvy, Domy, Alex, Ivan, Angel, que han demostrado que existe la amistad y el aprecio

Para todos aquellos que sin conocerme, han sabido ser amables y gentiles brindando su apoyo y amistad.

Quiero agradecer a todas las personas que colaboraron en este trabajo de investigación, sobre todo por haber podido reafirmar mi convicción, de que el trabajo multidisciplinario es fundamental si realmente se quieren resolver los problemas y el haber podido estar en contacto con las comunidades que más necesitan de los profesionales en las diversas áreas del conocimiento; ellos también son mexicanos.