

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO



ESTUDIO ESPECIAL DE GRADUACIÓN

**EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA DE LA FABRICACIÓN DE
EQUIPOS DOMÉSTICOS PARA COMBUSTIÓN DE LEÑA
COMO CONSECUENCIA DEL TIPO DE MATERIALES
UTILIZADOS. ENSAYO DE EFICIENCIA**

**INGENIERO QUÍMICO
JOSÉ MANUEL TAY OROXOM**

Guatemala, mayo de 2007

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**



ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

ESTUDIO ESPECIAL DE GRADUACIÓN

**EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA DE LA FABRICACIÓN DE
EQUIPOS DOMÉSTICOS PARA COMBUSTIÓN DE LEÑA
COMO CONSECUENCIA DEL TIPO DE MATERIALES
UTILIZADOS. ENSAYO DE EFICIENCIA**

POR

**INGENIERO QUÍMICO
JOSÉ MANUEL TAY OROXOM**

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
MAESTRO EN ARTES EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

Guatemala, mayo de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|--------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| VOCAL I | Inga. Glenda Patricia García Soria |
| VOCAL II | Inga. Alba Maritza Guerrero de López |
| VOCAL III | Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón |
| VOCAL IV | Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz |
| VOCAL V | Br. Elisa Yazminda Vides Leiva |
| SECRETARIA | Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas |

TRIBUNAL EXAMINADOR ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

| | |
|------------|--------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| EXAMINADOR | Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez |
| EXAMINADOR | Ing. José Arturo Estrada Martínez |
| EXAMINADOR | Ing. Otto Fernando Andrino Gonzáles |
| SECRETARIO | Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi estudio especial de graduación titulado:

LA EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA DE LA FABRICACIÓN DE EQUIPOS DOMÉSTICOS PARA COMBUSTIÓN DE LEÑA COMO CONSECUENCIA DEL TIPO DE MATERIALES UTILIZADOS. ENSAYO DE EFICIENCIA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería el 13 de abril de 2007.

Ingeniero Químico José Manuel Tay Oroxom

AGRADECIMIENTO

A Nuestra Universidad de San Carlos de Guatemala por esta nueva oportunidad de estudiar la forma de dar mantenimiento al mundo material y tecnológico para conservar a la casi perfecta máquina humana.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-----|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | III |
| GLOSARIO | IV |
| RESUMEN | V |
| OBJETIVOS | IX |
| INTRODUCCIÓN | X |
| | |
| 1 ASPECTOS GENERALES | 01 |
| 1.1 Justificación..... | 02 |
| 1.2 Alcances..... | 04 |
| | |
| 2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 06 |
| 2.1 Instituciones participantes en los programas..... | 07 |
| | |
| 3 MARCO TEÓRICO | 12 |
| 3.1 Dinámica de la combustión..... | 12 |
| 3.2 Combustión..... | 14 |
| 3.2.1 Proceso de la combustión..... | 14 |
| 3.2.2 Aire teórico..... | 15 |
| 3.2.3 Relación aire: combustible..... | 15 |
| 3.2.4 Tiro de chimenea..... | 16 |
| 3.2.5 Combustión de la biomasa..... | 17 |
| 3.2.6 Proceso de combustión de la leña..... | 19 |
| 3.2.7 Procesos involucrados en una estufa mejorada..... | 21 |

| | |
|---|-----------|
| 4. ESTUDIO DE EFICIENCIA TERMODINÁMICA..... | 22 |
| 4.1 Objetivos..... | 22 |
| 4.2 Metodología aplicada..... | 23 |
| 4.3 Mediciones..... | 23 |
| 4.4 Modelo experimental..... | 26 |
| 4.4.1 Análisis de los datos..... | 28 |
| 4.5 Resultados..... | 29 |
| 4.5.1 Eficiencia termodinámica máxima..... | 29 |
| 4.5.2 Eficiencia de combustión..... | 31 |
| 4.6 Discusión de resultados..... | 32 |
| 4.7 Conclusiones del estudio de eficiencia..... | 36 |
| | |
| 5 EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA..... | 37 |
| 5.1 Modelos anteriores a 1976..... | 37 |
| 5.2 El prototipo de estufa mejorada..... | 39 |
| 5.3 Técnicas de fabricación..... | 41 |
| 5.4 Evolución y programas de estufas mejoradas..... | 43 |
| 5.5 Discusión de los resultados..... | 46 |
| 5.5.1 Las estufas mejoradas..... | 46 |
| 5.5.2 Evolución y apropiación de la tecnología..... | 46 |
| 5.5.3 Experiencias sobre costos y precios..... | 48 |
| 5.5.4 Los materiales de fabricación..... | 49 |
| 5.5.5 Evolución y programas de difusión..... | 51 |
| | |
| CONCLUSIONES..... | 53 |
| RECOMENDACIONES..... | 55 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 57 |
| APÉNDICE | 59 |

INDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|----|--|----|
| 01 | Eficiencia termodinámica máxima. Eficiencia en función del área utilizada... | 30 |
| 02 | Estufa ahorradora prefabricada. Dimensiones y utilidad..... | 69 |
| 03 | Panorámica de la estufa ahorradora. Ilustra capacidad y consumo de leña. | 69 |
| 04 | Estufa ahorradora metálica portátil. Ilustra uso de recuperador de calor..... | 70 |
| 05 | Fábrica de estufas ahorradoras metálica. Ilustra la producción masiva | 70 |
| 06 | Revistas internacionales. El uso de leña y el barro como novedad..... | 71 |
| 07 | Modelo de estufa de leña integral. Estufa, calentador de agua extractor de olores..... | 71 |

TABLAS

| | | |
|-----|--|----|
| I | Calores específicos de combustión..... | 13 |
| II | Datos de eficiencia termodinámica máxima de combustión..... | 30 |
| III | Temperatura de los gases de combustión a la salida de la estufa..... | 31 |
| IV | Composición de los gases de combustión a la salida de la estufa..... | 31 |
| V | Valores de referencia de componentes de una estufa ahorradora..... | 63 |
| VI | Costos de fabricación y construcción de una estufa ahorradora..... | 66 |

GLOSARIO

- Adobe** Bloque de tierra batida con algún aglomerante (pié de trigo o pino seco) que se seca al sol y sirve como material de construcción para levantado de paredes y muros.
- Estufa** Para Guatemala, es el equipo fabricado y armado para cocinar los alimentos en el hogar. Pueden utilizarse diferentes técnicas y materiales para su construcción. Normalmente se fija al piso, pero existen modelos portátiles.
- Estufa Ahorradora** Es la estufa que por su diseño y propósito permite ahorrar leña, esfuerzos y tiempo al cocinar los alimentos. La denominación incluye modelos que cumplen el propósito en diferentes proporciones.
- Comal** Plancha circular cóncava fabricada de barro o de metal que se calienta al fuego y cocina los alimentos colocados en la superficie.
Por generalización, cualquier plancha que se ponga al fuego con ese Propósito.
- Poyo** Bloque sólido de barro o cualquier material de construcción, que sirve de base para colocar fuego o cualquier otro quehacer.
- Trebe** Modismo guatemalteco para denominar al trébede. Anillo metálico de tres o cuatro patas, donde se colocan utensilios para cocinar. En la parte inferior se coloca la leña que se quema.

RESUMEN

En Guatemala por tradición a los equipos utilizados para cocinar los alimentos en las viviendas se les llama **estufas**¹. El ambiente donde se realiza esta actividad se le llama cocina. Normalmente toda vivienda cuenta con ambos recursos y su uso, tamaño, calidad y valor difieren por circunstancias propias de cada una y del entorno en el que se ubican.

La práctica de la cocción de alimentos como técnica que acompaña al hombre desde los albores de la civilización se ha desarrollado en un proceso permanente y acumulativo de conocimientos y acciones que van desde el uso directo del fuego sobre la comida pasando por la incorporación de **recipientes contenedores**² sostenidos sobre la llama en **tres piedras**³, para desembocar en equipos complejos que utilizan diferentes fuentes energéticas para su funcionamiento completándose con accesorios que los hacen cómodos, elegantes y eficientes.

En esta evolución, el proceso ha pasado por una etapa particular, la de optimización en el uso de los recursos energéticos y de mejoras en el manejo de los componentes que conforman los equipos. A esta etapa se le llama “de las estufas economizadoras, ahorradoras o estufas mejoradas” Este movimiento ha permanecido vigente durante un período de 30 años. Es muy conocido en la población, sobre todo en el área rural. Internacionalmente se reconoce a Guatemala por este aporte a la tecnología mundial.

¹ En países donde se requieren sistemas de calefacción al equipo con este propósito se les llama estufas. Para cocinar los alimentos utilizan los equipos llamados cocinas.

² Los recipientes que contienen los alimentos son los trastos o artefactos de cocina. Estos varían en forma, volumen y tipo de material con que se fabrican.

³ A este sistema simple de cocinar se le llama de fuego abierto o de tres piedras.

Los modelos de estufas se encuentran relacionados de manera directa con la forma de cocinar los dos cereales que forman la dieta ancestral de los guatemaltecos considerados los alimentos básicos: el maíz y el frijol. Ambos requieren formas rigurosas para su cocción, en especial el maíz por el uso indispensable de un comal.

Objetivos de los programas de estufas ahorradoras

Históricamente los beneficios asociados a las estufas mejoradas parten de prioridades establecidas en el momento que les ha tocado manifestarse y desarrollarse. En sus inicios se plantearon de la siguiente manera: ahorro de leña y economía del hogar, comodidad al cocinar por el traslado del fuego del suelo a un nivel más alto, limpieza en la actividad por la eliminación del humo en el interior de la cocina, beneficio ambiental al evitar la deforestación. Posteriormente el valor de la dignificación del trabajo y del aporte de la mujer en el hogar.

A los equipos se les asignan las siguientes funciones: encerrar el fuego para que la reacción de combustión se realice en un ambiente confinado o caja de fuego, ubicar la caja de fuego a un nivel superior del piso de la cocina, retener los gases de combustión el mayor tiempo posible dentro de la unidad para optimizar el uso del calor que transportan e incorporar una chimenea para conducir los gases de combustión hacia el exterior regulando la admisión de aire para la combustión.

Los objetivos de los programas de estufas mejoradas fueron diversos. Para algunas personas, grupos e instituciones fue la oportunidad de ejecutar proyectos de un efecto rápido, generador de bienestar para las familias del área rural y un elemento educativo para la toma de conciencia sobre la manera de enfrentar las limitaciones y desarrollar soluciones. Para otras, los objetivos y los productos desarrollados los dictaron líneas políticas, religiosas y con propósitos de organización de grupos para otros fines particulares y de su interés.

Los materiales de fabricación como elemento impulsor de la evolución tecnológica

Los materiales de fabricación, tienen una relevancia inicial y permanente durante todo el desarrollo del proceso evolutivo y se utiliza como guía en los planteamientos considerando que desde sus inicios se diseñaron los modelos en función de la calidad, precio y disponibilidad de éstos, de las técnicas constructivas, los procedimientos de uso y la eficiencia de uso del calor.

De forma general el desarrollo de la tecnología de las estufas ahorradoras en Guatemala, ha originado dos etapas que coinciden con el apareamiento de modelos tecnológicos innovados que fueron aceptados y construidos en cantidades relativamente grandes: **La Estufa de Lorena y La Estufa de Plancha Metálica.**⁴

Modelos de estufas ahorradoras definidas por los materiales de fabricación

1. Modelos anteriores a 1976. Tres piedras como prototipo popular y metálicas importadas. No se considera la aplicación de algún material para su armado.
2. Tecnología de barro y arena. Lorena. El barro crudo mezclado con arena reproduce algún tipo de mezcla que se utiliza para la fabricación de ladrillos.
3. Tecnología de concreto liviano. La característica principal es el uso de cemento como material aglutinante en la fabricación. Armadura de hierro de construcción.
4. Tecnología de componentes prefabricados de barro. La estufa se complementa en la construcción con barro y arena para dar cuerpo y forma.

⁴ Son los modelos básicos que generaron variantes al modificar el diseño original. Se refieren los que cobraron importancia por el número de unidades construidas.

5. Tecnología de una hornilla de barro. El sistema permitió fabricar unidades pequeñas que respondieron mejor a los problemas de construcción en grandes masas.
6. Tecnología de placa metálica entera combinada con barro. Utiliza una placa metálica corriente sin agujeros montada sobre ladrillos, bloques de construcción de cemento o una pared de barro crudo.
9. Tecnología de componentes metálicos y cerámicos. Plancha fundida montada sobre ladrillos de barro crudo.
10. Tecnología de plancha armada con barro. Plancha armada de hierro al carbono montada sobre ladrillos de barro crudo.
11. Tecnología de plancha armada portátil exclusivamente de metal. Portátil con revestimiento interno de ladrillos de barro cocido.
12. Tecnología mixta comercial. Barro, metal, concreto liviano. Diferentes formas geométricas y técnicas de fabricación.

La eficiencia como indicador del grado de economía

La eficiencia energética de una estufa ahorradora es una manifestación cuantitativa del comportamiento de la unidad en el logro del aprovechamiento integral del calor generado por el combustible. Concebida de forma general es un comportamiento dinámico que relaciona variables físicas, químicas y termodinámicas.

La eficiencia en el aprovechamiento de la energía de la leña se puede describir de forma general, mediante el estudio de un modelo matemático que relaciona por ejemplo, el área de aprovechamiento del calor, régimen de turbulencia en los gases de combustión, un factor de forma de la estufa y la cantidad de aire que ingresa a la unidad. También la eficiencia está ligada a los materiales constituyentes de la estufa. Es una función de su operación.

OBJETIVOS

General

Determinar con información bibliográfica documental, las circunstancias nacionales que determinaron el origen de la tecnología de las estufas ahorradoras, los materiales que se han usado para fabricarlas y el efecto del cambio de éstos en la configuración evolutiva del proceso así como en la eficiencia en el uso del calor.

Específicos

1. Definir los beneficios que identifican a las estufas ahorradoras de leña, destacando los ambientales, los monetarios, los de salud y los de recuperación de la dignidad de las usuarias, estableciendo de manera general el grado de satisfacción de éstos en los diferentes modelos.
2. Identificar las necesidades no satisfechas que permitieron el surgimiento de la tecnología en un contexto nacional de desastre post terremoto.
3. Describir el uso de diferentes materiales de fabricación, las ventajas y desventajas de su uso y las razones técnicas para que se fueran cambiando.
4. Señalar criterios de mejora en los mecanismos de selección de materiales, técnicas de fabricación, uso y mantenimiento de las unidades en funcionamiento, mediante el desarrollo de un procedimiento para la medición de la eficiencia termodinámica.

INTRODUCCIÓN

Un efecto adicional del terremoto que afectó a la república de Guatemala el 4 de febrero de 1976 fue el hecho que se descubrieran e hicieron evidentes las enormes carencias de recursos de la población y la poca equidad en su distribución. Estas permanecieron ocultas tras los muros de adobe que el movimiento telúrico derribó.

Debido a esto, en el proceso de reconstrucción que le siguió, se exigían respuestas concretas y rápidas demandadas por los participantes que estuvieron inmersos en las tareas y viviendo junto a las comunidades la realidad. Dentro de los múltiples faltantes, se encontró que no se contaba con un lugar y un instrumento que permitiera la cocción de los alimentos de forma cómoda, eficiente y digna. En las viviendas destruidas la cocina era a la vez dormitorio y comedor.

Tampoco podían encontrarse estufas en los mercados destruidos. Estructurar una línea de comercialización que permitiera abastecer con equipos a las poblaciones, no era posible con todas las vías de acceso interrumpidas. En cualquier caso, tampoco existían los recursos monetarios para adquirirlos. Era necesario encontrar una solución apropiada.

Se unificaron esfuerzos personales y colectivos con recursos provenientes de la ayuda internacional para convertir el acto de reconstruir en algo diferente a la entrega física de recursos materiales. Surge así el primer prototipo de estufa o cocina fabricado con recursos disponibles en los lugares, con mano de obra no calificada y con una técnica que pudo correr de un pueblo devastado a otro.

Dentro del caos imperante, se ordena un proceso tecnológico y se proponen los primeros materiales de fabricación: barro y arena.

Por participar de estas actividades durante este período, justo en el lugar donde se realizaron las actividades, se pudo vivir con intensidad los detalles que acompañaron las primeras actividades y las que acontecieron durante la primera etapa llena de dificultades.

Luego se fue testigo de una época de expansión a nivel nacional, seguida de una etapa de diversificación. Surgieron diferentes modelos cada uno con sus materiales de fabricación y se involucraron diferentes actores. Participaron en lo personal y en lo colectivo técnicos de diferente nivel y nacionalidad, instituciones de gobierno, organizaciones no gubernamentales, agrupaciones religiosas, líderes comunitarios, académicos universidades y población en general.

Luego de transcurridos 30 años de actividades es posible evaluar el proceso haciendo un análisis desde diferentes perspectivas. Sin embargo, para no expandir el ámbito del trabajo a dimensiones no mesurables, se considera que la más objetiva es el papel que jugó el tipo de materiales de construcción de las unidades porque se cuenta con logros fáciles de ubicar y describir.

Los modelos que surgieron y que se fabricaron con diferentes materiales dejaron alguna relación escrita o alguna imagen fotográfica que le acompañó y que es susceptible de ubicar. Se incluyeron materiales de fabricación cerámicos, puzzolánicos, metálicos o combinaciones de éstos.

Este análisis permitirá ordenar los conocimientos adquiridos que se encuentran dispersos, hacer de la experiencia el objeto de un estudio y revisión y generalizar algunos conceptos. La pauta tecnológica podrá ser el escenario para confrontar y discutir las opiniones de los interesados, reflexionando sobre la práctica para sugerir mejoras.

1 ASPECTOS GENERALES

El abastecimiento de la energía requerida para la cocción de los alimentos en Guatemala, ha sido el componente fundamental que ha impulsado el desarrollo de las opciones tecnológicas de equipos de cocción, las que han propuesto diversos modelos, formas de operación y beneficios agregados.

El grado de aceptación, el impacto sobre la economía familiar, los beneficios ambientales y las repercusiones en la salud de las usuarias son temas de discusión que generan opiniones encontradas. También lo generan los beneficios financieros obtenidos por parte de las personas e instituciones participantes.

Los materiales de fabricación tienen una relevancia inicial y permanente durante todo el desarrollo y se utiliza como guía en los planteamientos de este trabajo, considerando que desde sus inicios se diseñaron los modelos en función de la calidad, precio y disponibilidad de éstos, de las técnicas constructivas, las formas de uso y la eficiencia de aprovechamiento del calor

Los materiales de construcción serán considerados como un hilo conductor que guía el análisis y explica el apareamiento de prototipos, su incorporación, uso y posterior abandono y desaparición. También permitirá analizar las razones de las fallas y cómo se dio el mecanismo de sustitución. En algunos casos, cómo el conocimiento de estas circunstancias ha permitido que sean retomadas las experiencias y utilizadas en la generación de nuevos modelos.

Se planteará cómo el estudio de la eficiencia en el aprovechamiento de la energía de la leña puede auxiliar en el momento de la toma de decisiones.

1.1 Justificación

Se estima que la mitad de la población del mundo, utiliza biomasa para cocinar sus alimentos. (Informe final del Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada (GIRA), 2003). Trossero (2002) reporta que el 60% de la madera usada en el mundo se destina a energía; siendo los países en desarrollo, que concentran alrededor del 77% de la población mundial, los que utilizan el 76% del total.

Durante mucho tiempo se consideró que la dinámica de uso de la leña era función directa del crecimiento de la población, sin embargo estudios detallados muestran una relación más compleja.

Actualmente se considera que la dinámica de uso de la leña es función de la interacción de factores relacionados con la oferta y la demanda (abastecimiento), entre los que destacan: los sistemas locales de producción, las condiciones biofísicas asociadas con el estado de los recursos naturales, variables socioculturales y tecnológicas y la estructura socioeconómica (Masera, 1995).

Del total del territorio guatemalteco, el 39.9% se encuentra cubierto por bosques, cifra que a comparación de años anteriores ha ido en aumento (37.1% en 2002). En Guatemala el 36.5 % de la producción forestal se destina para producción de leña (Boletín de Estadística Forestal INAB, 2003) y 57.3% de los hogares utiliza leña en sus cocinas (Características de la Población y de los Locales de Habitación Censados, INE 2002)

Para Guatemala, las tecnologías de energía renovable a pequeña escala representan una alternativa económica y ambientalmente factible para la provisión de energía a comunidades.

Adicionalmente, estas tecnologías pueden disminuir la contaminación del medio ambiente, causada por las emisiones de gases de los sistemas convencionales que utilizan combustibles fósiles, como el carbón, y productos derivados del petróleo. Estos gases contribuyen al efecto invernadero y al calentamiento global de nuestro planeta.

Según datos del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala, la fuente de energía de mayor consumo en el país es la biomasa; con el 79% de la oferta energética (dato del año 1990). El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía; o provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz, macadamia), del aserradero (podas, ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (aguas negras, basura orgánica y otros).

Esta es la fuente de energía renovable más antigua conocida por el ser humano, pues ha sido usada desde que nuestros ancestros descubrieron el secreto del fuego. Estudiar los fenómenos físicos y químicos que intervienen en el uso del recurso significa, adoptar una actitud científica.

Desde la prehistoria, la forma más común de utilizar la energía de la biomasa ha sido por medio de la combustión directa: quemándola en hogueras a cielo abierto, en hornos y cocinas artesanales e, incluso, en calderas; convirtiéndola en calor para suplir las necesidades de calefacción, cocción de alimentos, producción de vapor y generación de electricidad.

Cuando se quema la biomasa, se efectúa una reacción química que combina el carbono con oxígeno del ambiente, formándose dióxido de carbono (CO_2) y combinando el hidrógeno con oxígeno para formar vapor de agua.

Cuando la combustión es completa, la biomasa se quema totalmente y todo el carbón se transforma en CO₂. Sin embargo, los árboles y plantas que están creciendo capturan nuevamente el CO₂ de la atmósfera y, al usar la biomasa en forma sostenible, en términos netos, no se agrega CO₂ a la atmósfera. A este fenómeno se le denomina balance cero de emisiones de CO₂.

No obstante, cuando la combustión no es completa, se forman otros gases como: monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HCs, como el metano), N₂O. Estos pueden generar impactos serios en la salud de los usuarios. También son gases de efecto invernadero, por lo que se debería minimizar su formación dado su impacto en el cambio climático del planeta.

1.2 Alcances

Cuando se aborda el tema de la energía renovable, del uso eficiente de la energía y de las estufas ahorradoras, existen opiniones diversas. En el ámbito científico, académico, popular y en general, en el sector social, cultural y económico algunos expertos emiten opiniones favorables respecto de los programas de estufas ahorradoras, exaltando éxitos y logros relevantes. Otros conociendo proyectos fracasados, trabajos incompletos o de beneficios ofrecidos y no cumplidos lanzan sentencias y condenan los proyectos al fracaso y un futuro mejor, sin estas tecnologías.

Ambas posiciones aunque respaldadas de buenas intenciones, carecen de fundamento objetivo, el cual se logra mediante el enriquecimiento de información y de un planteamiento integral, mediante el cual se pueda cursar una invitación a la reflexión razonada, objetiva y basada en los hechos históricos que propicien actitudes moderadas y ecuánimes.

Es relevante el hecho que las discusiones mencionadas se presentan en el ámbito nacional e internacional. Publicaciones especializadas de instituciones reconocidas y de tradición tecnológica han abordado el tema.

Al desarrollar un proceso de análisis sobre la evolución de los programas de tecnologías de combustión de leña para la cocción de alimentos a nivel doméstico en Guatemala, se hará un aporte sobre la forma de abordarlo.

Se toma como punto de partida el éxito que se dio al emplear en su fabricación una mezcla de barro y arena conocido como LORENA. (Lodo y arena). Posterior a esta etapa y con el ánimo de superar las dificultades propias de este material se utilizaron otros, que definieron nuevos escenarios de crecimiento pero también de dificultades. Cada etapa está definida por el interés que despertó el apareamiento de nuevas técnicas de fabricación y de los materiales utilizados. La novedad y las expectativas de solución a los problemas de los modelos anteriores despertaron interés y preferencias. Sin embargo, con el poco conocimiento de la naturaleza de los materiales utilizados y la forma de manejarlos, se dio origen a un desarrollo particular de los proyectos.

En consecuencia, el capítulo de la apropiación de la tecnología está marcado por estos dos factores: el tipo de materiales y la forma de manejarlos para fabricar la unidad. El proceso de generación de tecnologías apropiadas verá enriquecida la metodología para futuras propuestas y la forma de aprovechar circunstancias favorables servirá de ejemplo para otros proyectos. Una vez sistematizado el conocimiento, se puede transmitir la experiencia, confrontarla con otras similares o con conocimientos de otra naturaleza donde se guarden algunas coincidencias.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La bibliografía que se refiere al tema de las estufas ahorradoras en Guatemala, tiene una naturaleza y un origen similar a la experiencia tecnológica. Ha ido surgiendo y evolucionando de manera informal para cumplir con la finalidad de comunicar información de diferente calidad a grupos sociales distintos. En especial, en sus inicios, los folletos de divulgación, promoción y capacitación no tienen una configuración formal que pueda clasificarlos como un libro, folleto o revista como se les conoce en el ámbito bibliográfico.

Cuando se hace referencia a estos documentos, es necesario aclarar el origen, los autores y la institución que la respaldó en su momento. La fecha de edición tampoco puede definirse, porque los materiales surgieron muy simples y evolucionaron para dar paso a algo más formal y completo.

El grado de utilidad de estos materiales en el momento histórico que surgieron definió las posibilidades de convertirse en un documento de trascendencia que pudiera clasificarse como tal. Algunos, también que fueron útiles no continuaron su impulso por los motivos originales de su creación y fueron sustituidos.

Sin embargo, los aportes a la evolución de la tecnología y a la generación de nuevos procedimientos, puede aprovecharse al analizar de forma crítica la organización, propósitos y logros de las personas o instituciones donde fueron originados.

Por esta circunstancia es necesario añadir un listado donde se aclare la participación de diferentes instituciones consideradas unas de organización muy formal y otras de pequeños grupos que institucionalizaron a su manera, los propios recursos para comunicar sus ideas.

2.1 Instituciones participantes en los programas

Identificación de instituciones participantes en programas relevantes de Estufas Ahorradoras que se conocieron. La lista no es exhaustiva.

1. Estación Experimental Choquí. Sede en el Departamento de Quetzaltenango. Desarrolla la primera estufa ahorradora en Guatemala y programas de Tecnología Apropriada. Actualmente inactiva.
2. Centro de Estudios de Tecnología Apropriada CETA. Tiene su sede en la Universidad de San Carlos de Guatemala. Desarrolló un prototipo prefabricado y documentos formales de apoyo y divulgación.
3. Instituto Centro Americano de Investigación y Tecnología Industrial. ICAITI. Desarrolla varios modelos con fuerte respaldo técnico y de ingeniería. Sus publicaciones son formales. No está en actividad.
4. Instituto Técnico de Capacitación y Productividad INTECAP. Tiene cobertura a nivel nacional. El programa de energía renovable se suspendió. Las publicaciones sobre estufas fueron numerosas y formales.
5. Comité Central Menonita. Tuvo su sede en Santa María Cauqué. Su centro experimental Manuel Guaram cerró sus actividades. Publicó folletos y guías para fabricación y capacitación.
6. Centro Mesoamericano de Estudios de Tecnología Apropriada CEMAT. Su sede está en la ciudad capital de Guatemala. Desarrolla programas de Tecnología Apropriada de cobertura nacional. Su centro de documentación se encuentra activo.
7. Cuerpo de Paz. Sus programas en Guatemala incluyeron trabajos con estufas ahorradoras como un componente de sus diversas actividades y apoyaron la elaboración de documentos de divulgación y capacitación. No tiene actividades sobre este aspecto en la actualidad.

8. Desarrollo de la Comunidad. Programa que incluyó actividades de estufas ahorradoras entre sus funciones. Publicó algunos folletos de tipo informal. Terminó sus actividades.
9. Alianza para el Desarrollo Juvenil Comunitario. Apoyó a otras instituciones en programas de estufas. Concluyó sus actividades.
10. Instituto Nacional de Cooperativas INACOP. Su infraestructura le permitió divulgar modelos y mejoras. Sus publicaciones fueron informales. En la actualidad no participa en programas de estufas.
11. Dirección general de Servicios Agropecuarios DIGESA. Sus publicaciones fueron compartidas con otras instituciones. Actualmente no participa en programa de estufas.
12. Instituto Nacional Forestal. INAFOR. Compartió actividades con otras instituciones al igual que sus publicaciones. Al reorganizarse, suspendió sus actividades en el tema de estufas.
13. Comisión Americana de Remesas Al Exterior CARE. Respaldó con recursos humanos y financieros las actividades y las publicaciones. Actualmente, no tiene actividades conocidas en cuanto a Estufas Mejoradas.
14. Fundación Caroll Berhorst. No tiene publicaciones conocidas de manera formal. Actualmente no participa en programas de estufas.
15. Comité de Reconstrucción Nacional. Durante la época post terremoto apoyó actividades y publicaciones. Suspendió sus actividades.
16. Fundación del Centavo. Apoyó programas compartidos. Suspendió sus actividades en proyectos de estufas.
17. Vecinos Mundiales. Apoyaron programas y publicaciones. No se conoce su situación actual.
18. Foster Parents Plan. Apoyaron programas y publicaciones. No se conoce su situación actual.

19. Secretaría de Coordinación de la Junta Nacional de Educación Extraescolar. Apoyaron programas compartidos y publicaciones. No se conoce su situación actual.
20. Visión Mundial. En la actualidad no tiene actividad conocida en programas de estufas. Estableció programas de apoyo para estufas ahorradoras y financió la elaboración de documentos para capacitación y divulgación.
21. Dirección General de Fuentes Nuevas y Renovables de Energía. Ministerio de Energía y Minas. Apoyó el desarrollo organizativo de los programas al establecer redes de comunicación y de trabajo en documentos colectivos. Al reorganizar la administración, esta Dirección General suspendió este tipo de actividades. Actualmente apoya desde su centro de documentación que se encuentra abierto en el Ministerio, en la nueva Dirección General de Energía.
22. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá INCAP. Participó en el desarrollo de programas de construcción de estufas en los inicios y luego en la elaboración de estudios de contaminación intradomiciliar por humo de leña en el área rural de Guatemala.
23. Asociación de Servicios Comunitarios de Salud ASECSA. Apoyó los programas de divulgación y capacitación. No se conoce sus funciones en estos programas actualmente.
24. Comisión Guatemalteco Alemana de Alimentos por Trabajo. COGAAT. Apoyó financieramente proyectos compartidos de estufas mejoradas. Actualmente no se conoce su actividad en este trabajo.
25. Dirección General de Servicio Pecuarios DIGESEPE. Apoyó proyectos compartidos de estufas mejoradas. No se conoce sus actividades actuales.
26. Empresa Nacional de Fomento y Desarrollo Económico del Petén. Realizó programas regionales de construcción y capacitación. No se conocen publicaciones sobre el tema de estufas ahorradoras. Reorganizó su administración y no se conoce actividad relativa a estufas.

27. Proyecto Leña del CATIE/ROCAP. Apoyó financieramente programas masivos de construcción y capacitación. También para la elaboración de manuales e informes. En Guatemala suspendió su trabajo con estufas.
28. Consejo Nacional de Instituciones de Desarrollo COINDE. Agrupó a diferentes organizaciones no gubernamentales que trabajaron sobre proyectos es estufas mejoradas. No se conoce su situación.
29. Médicos del Mundo. Realizó programas de construcción y capacitó líderes comunitarios. En la actualidad no desarrolla trabajos con estufas.
30. Se menciona la participación del Instituto Nacional de Electrificación INDE, aunque sus aportes fueron poco conocidos en el trabajo de estufas mejoradas. Actualmente no tiene programas relacionados.
31. Los talleres privados que aparecen mencionados en los documentos son: Talleres Rossi con modelos de estufas de leña con plancha fundida de diferentes dimensiones y los Talleres Turbo Mac con modelos que funcionan a Gas GLP. Ambos publicaron documentos que mencionaban sus productos.
32. Fundación Solar. Institución de Investigación, desarrollo y ejecución de proyectos relacionados con fuentes de energía renovable. Ha elaborado documentos formales sobre estufas ahorradoras, resultado de sus estudios e investigaciones. Sus publicaciones son conocidas a nivel internacional. La actividad permanece constante a la fecha
33. Proyecto de Conservación de la Cuenca Alta del Río Chixoy. Desarrolló proyectos en esa región compartiendo actividades con otras instituciones. Impulsó estudios e investigaciones, siendo su aporte el descubrimiento del trabajo con estufas de plancha metálica armada. No se conocen sus trabajos actuales en el tema.
34. Aprovecho Research Institute. Apoyó las investigaciones sobre estufas mejoradas en el desarrollo de nuevos modelos. Ha realizado serias investigaciones y publicaciones a nivel nacional e internacional.

35. Proleña. Nicaragua. Tiene una fuerte participación en investigación, desarrollo y diseminación de estufas comerciales para el área peri urbana de Guatemala, Honduras y Nicaragua. Tiene publicaciones de carácter internacional.
36. Intervida. Desarrolla proyectos de construcción masiva. No se conocen documentos formales que hablen de tecnología sobre estufas.
37. Proyecto Tezulutlán. Realiza programas masivos de construcción de carácter regional. Sus documentos no se conocen a nivel general.
38. Proyecto Helps International. Desarrolla programas de investigación en contaminación por humo de leña. Son conocidos sus aportes de modelos innovadores de estufas ahorradoras. Han publicado libros y tratados formales sobre este tema.
39. Los fondos del gobierno que surgieron como consecuencia de la firma de los acuerdos de paz han desarrollado intensa actividad. Fondo de Inversión Social, Fondo de Desarrollo Indígena, Fondo Nacional para la Paz, Fondo Nacional para la Tierra. Han tenido programas masivos de construcción de estufas. Su producción documental no se conoce.

3 MARCO TEÓRICO

La biomasa representa una gran ventaja en nuestro medio en la generación de energía. Para ello se han desarrollado tecnologías a nivel local para el aprovechamiento de los recursos naturales.

3.1 Dinámica de la combustión

Durante la combustión de los cuerpos, el desprendimiento de calor se realiza de forma diferente de acuerdo con las características físicas y químicas del cuerpo en cuestión. Una magnitud que permite caracterizar cuantitativamente el desprendimiento de calor de los cuerpos durante la combustión, es el denominado calor específico de combustión, que se representa con la letra l .

Se define el calor específico de combustión (l) como la cantidad de calor (Q) que cede la unidad de masa del cuerpo al quemarse totalmente. El calor específico de combustión (l) se expresa en unidades de energía (J) por unidades de masa (kg) y depende del tipo de combustible. Iguales masas de combustibles diferentes, desprenden diferentes cantidades de calor (Q) al quemarse totalmente. De otro modo, masas diferentes del mismo combustible desprenden, también, diferentes cantidades de calor (Q). La cantidad de calor (Q) desprendida por cierta masa (m) de combustible, al quemarse totalmente, puede ser calculada mediante la fórmula:

$$Q = l \cdot m.$$

Cuando se estudian los valores relativos a los calores específicos de combustión de los combustibles, se pueden extraer algunas conclusiones de relevante importancia para lograr mayor eficiencia en su empleo.

Resulta interesante apreciar cómo el calor de combustión de la leña seca es el doble del correspondiente a la leña verde. Este hecho nos conduce a concluir que si cierta masa (m) de leña húmeda desprende una cantidad de calor (Q) al quemarse totalmente, entonces, cuando quemamos una masa (m/2) de leña seca podemos obtener la misma cantidad de calor. En otras palabras, al utilizar la leña seca se ahorra la mitad de la madera que se quema. Esto nos indica que durante la utilización de la madera como combustible siempre será más conveniente emplear la leña seca, en consideración a su calor de combustión.

Tabla I Calores específicos de combustión

| Materiales combustibles | Calores específicos de combustión | |
|--------------------------------|--|---------|
| | (Kcal./Kg) | (MJ/Kg) |
| Hidrógeno | 33915.9 | 142 |
| Gas metano | 13136.4 | 55 |
| Gasolina | 11225.7 | 47 |
| Petróleo crudo | 11225.7 | 47 |
| Queroseno | 10986.8 | 46 |
| Carbón bituminoso | 8598.4 | 36 |
| Antracita | 8359.5 | 35 |
| Coque | 8120.7 | 34 |
| Alcohol etílico | 7165.3 | 30 |
| Carbón vegetal | 7165.3 | 30 |
| Alcohol metílico | 5254.5 | 22 |
| Madera de pino | 5015.7 | 21 |
| Cascarón de coco | 4776.9 | 20 |
| Turba seca | 4776.9 | 20 |
| Leña seca | 4299.2 | 18 |
| Turba húmeda | 3821.5 | 16 |
| Aserrín seco | 3582.6 | 15 |
| Cáscara de arroz | 3582.6 | 15 |
| Lignito | 3104.9 | 13 |
| Bagazo de caña seco | 2149.6 | 9 |
| Leña verde | 2149.6 | 9 |
| Planta de maíz seca | 2149.6 | 9 |
| Aserrín húmedo | 1910.7 | 8 |

Fuente: Del Valle Sebastián. USAC. 2005

3.2 Combustión

Se entiende por combustión, a la combinación violenta, con desprendimiento de luz y calor, del Oxígeno (O_2) del aire con el Carbono (C), el Hidrógeno (H), el Azufre (S) y el Nitrógeno (N).

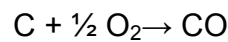
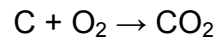
La combustión del Oxígeno con el Carbono, Hidrógeno, Azufre, se efectúa en proporciones de peso bien determinadas, así pues por cada átomo de Carbono se necesitan 2 átomos de Oxígeno para llegar a la combustión perfecta formando CO_2 (dióxido de Carbono), el Carbono que se quema con deficiencia de aire forma el gas CO (monóxido de Carbono), que representa solo el 30% de una combustión perfecta, por lo tanto la combustión al formarse CO es incompleta.

El Hidrógeno se combina siempre en proporción de 2 átomos de Hidrógeno con uno de Oxígeno formando vapor de agua H_2O , y el azufre es de proporción 1:2 es decir un átomo de Azufre por 2 de Oxígeno, este gas es perjudicial porque al enfriarse los productos de la combustión, el agua que se forma en la combustión y la que está presente en la humedad del combustible se condensan y reaccionan con el gas anhídrido H_2 formando ácido sulfúrico H_2SO_4 , sumamente corrosivo y ataca los conductos metálicos de escape.

3.2.1 Proceso de la combustión

La mayoría de los procesos de combustión se realizan con aire (Oxígeno + Nitrógeno + Argón) y no con Oxígeno puro. Este proceso se traduce a la oxidación de los componentes de un combustible, en cuya ecuación química representativa la masa permanece inalterable. Para los cálculos se desprecia el Argón y se toma 21% de oxígeno y 79% de nitrógeno.

Pero los dispositivos de combustión no queman necesariamente todo el combustible que se les suministra, teniendo las siguientes reacciones:



El CO_2 se forma a menor temperatura y sin duda es el producto deseado; el CO se forma a mayores temperaturas, y no es tan deseado debido a que su formación va acompañada por una menor liberación de calor.

3.2.2 Aire teórico

Es la cantidad mínima de aire capaz de proporcionar el Oxígeno suficiente para la combustión completa del carbono. Cuando se obtiene combustión completa no puede haber oxígeno en los productos de la combustión.

En la práctica no es posible tener una combustión completa ni con las proporciones "ideales" químicamente correctas a menos que se administre una cantidad mayor de aire teórico.

Esto se debe a que de acuerdo a las probabilidades no es posible que cada una de las extraordinariamente numerosas moléculas del combustible encuentre una molécula de oxígeno para combinarse con ella. Por lo tanto la oxidación total del combustible se logra utilizando en la mezcla exceso de aire.

3.2.3 Relación aire: combustible

Es la razón teórica entre masa o moles de aire teórico y la masa o moles de combustible. Para calcular el número de moles necesarios de aire se aplica la siguiente ecuación:

$$n_{a.st} = \frac{1}{0.21} \left[\left(1 - \frac{1}{2} \times f \right) \times \frac{[c]}{12} - \frac{Y}{32} \right] \text{ [mol]}$$

Donde:

f = % de madera que se convierte en CO

c = % de carbono en la madera.

Y = % de oxígeno presente en la madera menos ocho veces el porcentaje de hidrógeno

Si la cantidad de aire suministrado en una combustión es inferior al aire teórico necesario la combustión será incompleta y habrá presencia de CO.

La combustión incompleta se debe a tres causas:

- a) Insuficiencia de Oxígeno.
- b) Mezcla imperfecta entre el Oxígeno y el combustible.
- c) Temperatura demasiado baja para mantener la combustión.

Debido a la naturaleza heterogénea del proceso de combustión de biomasa sólida, solo parte del aire que entra a la cámara de combustión será utilizado, el resto no será utilizado. Entonces es necesario agregar más aire que lo que teóricamente se definió. Y la relación aire/combustible que se recomienda es un factor de 1.2 a 1.5.

3.2.4 Tiro de chimenea

Para tener una combustión completa, se necesita tener aire ingresando según lo calculado. Es aquí donde el diseño de la chimenea entra a jugar un papel crucial.

La chimenea crea una presión de succión que está en función a parámetros de altura de la misma y las densidades de los gases.

Es esta presión de succión lo que hace que la estufa mantenga una alimentación de aire a través de la cámara de combustión.

Para calcular esta presión también se tiene que tomar en cuenta la geometría interna de la estufa, ya que por ahí deberán pasar los gases de combustión y una geometría compleja solo obstruye su paso haciendo que decrezca la succión que da la chimenea. Otro factor que influye es la pérdida de presión por la misma dinámica de los gases.

Un factor que alterará el tiro de la chimenea es la colocación de deflectores que servirán como reguladores al paso de los gases entre la estufa. Se colocan deflectores a lo largo del paso de los gases para: mejorar la transferencia de calor por convección e incrementar el tiempo de residencia. Otro elemento que se puede incorporar para aumentar la eficiencia de la chimenea es un *damp*er en la base de la misma, con esto se disminuye la corriente de gases que le ingresan, con lo que al igual que los deflectores, se obtendrá mayor tiempo de residencia de los gases en la estufa.

3.2.5 Combustión de biomasa

La biomasa se forma por un proceso llamado fotosíntesis, una reacción química que combina agua, CO₂ y energía solar. La reacción opuesta de la anterior es la combustión, que es la descomposición de la biomasa y liberando energía que se puede utilizar para cocinar, secar y calentar. A continuación se expondrán las características químicas y físicas de la biomasa.

La biomasa consiste en tres elementos químicos: hemicelulosa, celulosa e ignita. También contiene agua, pequeñas cantidades de resinas y minerales.

Según los análisis proximales de madera, la composición de esta es de aproximadamente 50% de C y 45% de O. La composición de la biomasa es considerada en términos de carbono, materia volátil y cenizas producidas cuando se calienta en ausencia de aire.

Son cuatro las variables físicas más importantes: tamaño / forma, densidad / estructura, contenido de humedad y valor calorífico.

Tamaño y forma: a mayor área superficial expuesta a las cantidades necesarias de oxígeno y calor, más rápido será el proceso de quemado por lo tanto habrá mayor potencia. Por ejemplo, pequeños pedazos de madera, astillas, se quemarán más rápido que leños grandes del mismo tipo de madera.

El tamaño de la leña siempre influenciará el diseño de una estufa, sobre todo de la cámara de combustión.

La densidad y la estructura de la biomasa están íntimamente relacionadas por la proporción y el tamaño de los poros. A medida que la proporción de poros de un sólido incrementa, la densidad disminuye. Estos poros que mantienen aire y humedad tienen el efecto de facilitar el escape de gases volátiles y hacer más fácil que la materia se queme.

La mayoría de combustibles biomásicos son higroscópicos (atraen moléculas de agua por lo tanto mantienen un nivel constante de humedad). De todos los combustibles biomásicos el menos higroscópico es el carbón, pero por sus grandes poros puede retener grandes cantidades de agua si se le moja.

Biomasa recientemente cortada posee niveles de humedad entre 80-90%, en un período de tiempo, dependiendo de la clase de biomasa que sea y factores climáticos, gran parte de esa humedad se evaporará, pero se llega a un punto en que ya no se puede perder más humedad. El contenido de humedad en la biomasa que se ha secado al aire está entre 10 al 26%.

El contenido de humedad en un combustible tiene gran importancia en la combustión del mismo. Después que la humedad en el combustible se ha calentado a 100°C, la humedad se evapora y esa energía que se utilizó para evaporarla se ha perdido completamente, no se puede recuperar. Un combustible con menor porcentaje de humedad que otro, será más eficiente y aprovechará mejor la energía que uno con mayor porcentaje de humedad.

3.2.6 Proceso de combustión de leña

Cuando un pedazo de leña es agregado al fuego, cambios químicos empiezan a ocurrir debido a la presencia de calor.

Primeramente se desprende CO₂ y agua sin presencia de llamas, a medida que la temperatura aumenta, gases de combustión de resinas se involucran en la reacción. A este primer proceso de degradación de madera se llama pirolisis.

Cuando la temperatura supera los 280°C la porción de gases inflamables que emite es lo suficientemente caliente para empezar a arder. La combustión únicamente ocurrirá en presencia de oxígeno y a temperaturas sobre la de ignición del combustible, la temperatura promedio de ignición de la madera es de 600°C.

Es aquí cuando los gases arden por efecto de calor radiante de las otras piezas de madera ya ardiendo.

Una vez ardiendo, los gases pirolizados se quemarán a temperaturas de 1100°C; estas llamas luego proveerán de calor radiante que mantiene y acelera la pirolisis. Las llamas que se miran en un fuego son estos gases quemándose.

Es probable en muchos casos que las llamas no toquen la superficie de la leña. El flujo de gases, que se incrementa con el aumento de temperatura de las llamas, evita que el oxígeno llegue a la superficie de la leña. Es solamente después cuando la actividad de estos gases decrece, que la madera ya convertida en carbón, empieza a arder con una tenue llama azul; y los productos de esto serán CO₂ y carbono. Todos estos procesos ocurren simultáneamente en una hoguera.

Las reacciones para la combustión de leña son las siguientes:

1. C (grafítico) + O₂ (gas) -----► CO₂ (gas) + 178430 KJ
2. C (grafítico) + CO₂ (gas) -----► 2CO (gas) - 78210 KJ
3. 2C (grafítico) + O₂ (gas) -----► 2CO (gas) + 100230 KJ
4. 2CO (gas) + O₂ (gas) -----► 2CO₂ (gas) + 256640 KJ
5. 2H₂ (gas) + O₂ (gas) -----► 2H₂O (gas) + 219300 KJ
6. C (grafítico) + H₂O (gas) -----► CO (gas) - 59540 KJ
7. C (grafítico) + 2H₂O (gas) -----► CO₂ (gas) + 2H₂ (gas) - 40870 KJ
8. CO (gas) + H₂O (gas) -----► CO₂ (gas) + H₂ (gas) + 18670 KJ

3.2.7 Procesos involucrados en una estufa mejorada

Son los procesos unitarios que deben ser considerados en el desarrollo técnico de una unidad, antes de ser puesta a disposición de los mecanismos de difusión. La mejor manera de tomar en cuenta a éstos, es mediante el desarrollo y aplicación de estudios de eficiencia. Se entiende que la determinación de la eficiencia de una estufa mejorada es una relación matemática que involucra los siguientes procesos.

Transferencia de calor

- Convección
- Conducción
- Radiación

Combustión

- Transferencia de masa
- Transferencia de calor
- Cinética de las reacciones involucradas. Velocidades y factores asociados.

Ciencia de los materiales

- Propiedades térmicas
- Propiedades químicas
- Propiedades físicas
- Propiedades mecánicas

Dinámica de los fluidos involucrados

- Flujo de gases dentro de la estufa
- Flujo de gases en la chimenea

- Flujo de aire en la entrada de la estufa

4 ESTUDIO DE EFICIENCIA TERMODINÁMICA

4.1 Objetivos

Objetivo General

Determinar la eficiencia termodinámica máxima y de combustión de un modelo de estufa mejorada.

Objetivos Específicos

1. Aplicar técnicas fisicoquímicas para la determinación del uso de energía en la estufa mejorada.
2. Contar con valores respaldados técnicamente que sirvan como punto de comparación para el desarrollo de nuevas técnicas de combustión de biomasa.
3. Plantear un procedimiento para determinación de eficiencia máxima termodinámica y de combustión susceptible de réplica en condiciones similares a equipos de combustión de biomasa.

4.2 Metodología aplicada

Para el estudio propuesto se utilizó una muestra de 5 estufas mejoradas de plancha, debido a que el método de construcción de estufas utilizado no es un método estandarizado.

A cada una se le hizo las pruebas de eficiencia 2 veces a manera de obtener 10 datos de cada tipo de eficiencia. Estos datos se trataron estadísticamente para obtener un dato final de eficiencia por medio de análisis de medias. La madera seleccionada como combustible fue el Rithofora Mangle o comúnmente llamado Mangle Rojo.

4.3 Mediciones

La primera eficiencia que se midió es la eficiencia termodinámica máxima, que se hizo hirviendo agua y de este modo se midió la cantidad de energía en forma de calor que está transformando el sistema. Dicho estudio constó de cuatro mediciones de la siguiente manera: con un recipiente sobre la estufa, con dos recipientes sobre la estufa, con tres recipientes sobre la estufa y utilizando toda el área que presenta la plancha de la estufa.

Se le hizo una modificación a la plancha de la estufa. Se le soldó una cinta de hierro a todo su alrededor de 2 pulgadas de altura, esto con el propósito de convertir a la plancha en un recipiente para poder utilizar toda el área que presenta. Es por esta razón que se le llama eficiencia termodinámica máxima, porque se estará midiendo eficiencias usando diferentes áreas hasta llegar a usar el área máxima disponible.

A continuación se describe el método paso a paso:

- Como preparación antes de empezar el estudio, se encendió el fuego en la cámara de combustión con 2 horas antes de empezar el experimento, de esta manera al momento de iniciar el mismo, se tuvo el sistema en régimen estable.
- Pasadas las 2 horas, se colocó en la plancha de metal modificada tres litros de agua a temperatura ambiente, cubriendo la superficie de agua se colocó una plancha de espuma de poli estireno la cual tiene como objetivo evitar las pérdidas por convección y por evaporación antes de llegar a la temperatura de ebullición. Se mantuvo control de la temperatura sobre la plancha por medio de tres termómetros en lugares diferentes.
- Cuando el agua empezó a hervir, se inició cuenta de tiempo por 10 minutos.
- Cuando pasó el tiempo indicado, se removió de la estufa la plancha con agua y se tomó el dato de su peso final. También se tomó dato de la cantidad de leña que se consumió, esto pesando la leña que no se quemó (removiendo el carbón que pudiera tener) y sustrayéndole del peso original de leña que se introdujo en la cámara de combustión a partir que se empezó el estudio.
- Se introdujo un peso determinado de leña en la cámara de combustión y se colocó sobre la plancha un recipiente con 2 litros de agua.
- Al llegar al punto de ebullición, se tomó tiempo de 15 minutos.
- Se tomó el dato de peso de leña consumida y agua consumida.
- Se repitió el mismo procedimiento, pero esta vez con 2 recipientes sobre la

plancha y luego con 3.

Con los datos que se obtuvieron anteriormente, se procedió a calcular la eficiencia en cada situación de la siguiente manera:

$$\eta = [m_i \cdot C_p (T_b - T_i) + (m_e \cdot l)] / [m_f \cdot B_w]$$

Donde:

η = eficiencia

m_i = masa inicial de agua (Kg)

C_p = calor específico del agua (4186.8 J/ Kg*K)

T_b = temperatura de ebullición del agua (K)

T_i = temperatura inicial del agua (K)

m_e = cantidad de agua evaporada (Kg)

l = calor latente de evaporación del agua (2260 J/Kg)

m_f = masa de combustible quemado (Kg)

B_w = contenido calórico de la madera seleccionada (16030000 J/Kg)

Con los datos de eficiencias se procedió a construir gráficas de eficiencia vs. área utilizada sobre la plancha, y es esta curva lo que nos proporciona la eficiencia termodinámica máxima de la estufa.

La segunda medición de eficiencia que se llevó a cabo es la eficiencia de combustión. Para esto se realizó un análisis Orsat de los gases de chimenea.

Como se mencionó anteriormente, se entiende por combustión a la combinación violenta, con desprendimiento de luz y calor, del oxígeno del aire con el carbono, hidrógeno, azufre y nitrógeno. Pero hay que tomar en cuenta para este análisis que en la composición proximal de la madera, ya existe un porcentaje de oxígeno en ella.

Por lo tanto el oxígeno que se consumirá primero en la combustión es el mismo de la madera y luego para que la combustión se siga llevando a cabo se utiliza el oxígeno del aire. Debido a limitaciones de reactivos, solo se pudo trabajar con una muestra de 2 estufas.

Al tener ya los datos obtenidos por medio del análisis Orsat, se sabe que para que una combustión sea llevada al 100% de eficiencia, no debería de haber formarse CO. De este modo se determinará que porcentaje del carbono en la madera se está transformando a CO₂. En base a las ecuaciones de combustión de leña presentadas anteriormente, se determinó la cantidad de energía que se generó y se comparó con la cantidad de energía consumida.

Para conocer el porcentaje de carbono en la madera se aplicó la siguiente ecuación:

$$[c] = (Bw + 230.2) / 394.$$

Donde:

[c] = Porcentaje de carbono

Bw = contenido calórico de la madera (KJ/Kg)

Al hacer los cálculos se determina que el porcentaje de carbono en el Mangle Rojo, madera seleccionada como combustible es de 41.26%.

4.4 Modelo Experimental

Para poder utilizar los datos de eficiencias que se han determinado, se debe asumir ciertas condiciones de trabajo en el modelo.

- a) Presión, temperatura y humedad relativa del ambiente serán siempre valores constantes.
- b) La ruta de calor siempre será la misma en todas las estufas que se estudiaron del mismo modelo.
- c) La composición química y la forma física de la leña a utilizar siempre será la misma.
- d) El flujo de aire ingresando a la estufa será constante.
- e) El tiro de la chimenea siempre será el mismo en todas las estufas del mismo modelo estudiado siguiendo el siguiente balance:

$$P_s = P_{dest} - P_{din} - P_{res}$$

Donde:

P_s = Succión neta o tiro de la chimenea (Pa)

P_{dest} = Succión de la chimenea (Pa)

P_{din} = Pérdida de presión por la dinámica de los gases (Pa)

P_{res} = Pérdida de presión por resistencia del factor geométrico de la estufa (Pa)

- f) Las propiedades físicas: densidad, calor específico y conductividad térmica, de los materiales utilizados para la construcción de las estufas del mismo modelo estudiado serán iguales para todas. Estas no se consideran en el estudio.

4.4.1 Análisis de los datos

Con los datos obtenidos en cada una de las corridas hechas sobre las estufas de cada uno de los tipos de eficiencias, se procedió a calcular la media aritmética de los 10 datos que se van a tener por medio de la siguiente fórmula:

$$\bar{X} = \Sigma x / n$$

Donde:

\bar{X} = media aritmética

x = cada dato

n = número de datos

La media de una serie de datos describe el lugar donde se centra la distribución de probabilidad. Pero la media no da una descripción de la forma de la distribución, es por eso que también se calculará la media de variabilidad o varianza. Este dato caracteriza la forma de la distribución, es un parámetro importante que indica la uniformidad de los datos obtenidos. La fórmula para calcular la varianza es la siguiente:

$$\sigma = \Sigma (x - \bar{X})^2 / n$$

σ = varianza

\bar{X} = media aritmética

x = cada dato

Al aplicar la fórmula se obtuvieron los resultados siguientes:

4.5 Resultados

4.5.1 Eficiencia termodinámica máxima

A continuación se da una muestra del cálculo de cómo se halló la eficiencia al utilizar 15% del área de la plancha en la estufa 1, corrida 1:

Área utilizada: como se utilizó una olla de 0.13m de diámetro, por lo tanto,

$$A = \pi (0.13\text{m})^2 = 0.054\text{m}^2$$

$$\text{Área utilizada} = \text{Área de ollas} / \text{Área total}$$

$$0.054\text{m}^2 / 0.36\text{m}^2 = 0.15 * 100 = 15\%$$

$$\text{Masa inicial de H}_2\text{O} = 2 \text{ Kg}$$

$$\text{Masa final de H}_2\text{O} = 1.94 \text{ Kg}$$

$$\text{Masa evaporada de H}_2\text{O} = 2 \text{ Kg} - 1.94 \text{ Kg} = 0.06 \text{ Kg}$$

$$\text{Combustible Inicial} = 1.2 \text{ Kg}$$

$$\text{Combustible Final} = 0.3 \text{ Kg}$$

$$\text{Combustible Consumido} = 1.2 \text{ Kg} - 0.3 \text{ Kg} = 0.9 \text{ Kg}$$

$$\text{Cambio de Temperatura de Agua} = 100 \text{ }^\circ\text{C} - 25 \text{ }^\circ\text{C} = 75 \text{ }^\circ\text{C}$$

Eficiencia:

$$\eta = [2\text{Kg} * 4186.8\text{J/ Kg} * \text{K} (100\text{K} - 25\text{K}) + (.06\text{Kg} * 2260\text{J/Kg})] / (0.9\text{Kg} * 16030000 \text{ J/Kg})$$

$$\eta = 0.059 * 100 = 5.9\%$$

Varianza de los datos utilizando 15% de la plancha =

$$(4.9 - 5.9)^2 + (4.9 - 2.95)^2 + (4.9 - 5.53)^2 + (4.9 - 5.75)^2 + (4.9 - 5.2)^2 = 1.17\%$$

Resultados obtenidos al aplicar la metodología ilustrada.

Tabla II **Datos de eficiencia termodinámica máxima de combustión**

| Área Utilizada (%) | Masa Inicial de H2O (Kg) | Masa Evaporada de H2O (Kg) | Combustible Utilizado (Kg) | Eficiencia (%) | Varianza (%) |
|--------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------|--------------|
| 15 | 2 | 0,05 | 0,95 | 4,94 | 1.47 |
| 30 | 4 | 0,11 | 0,82 | 23,81 | 7.85 |
| 45 | 6 | 0,15 | 0,81 | 48,53 | 22.35 |
| 100 | 3 | 0,78 | 1,34 | 77,11 | 47.62 |

Fuente: Del Valle Sebastián. USAC. 2005

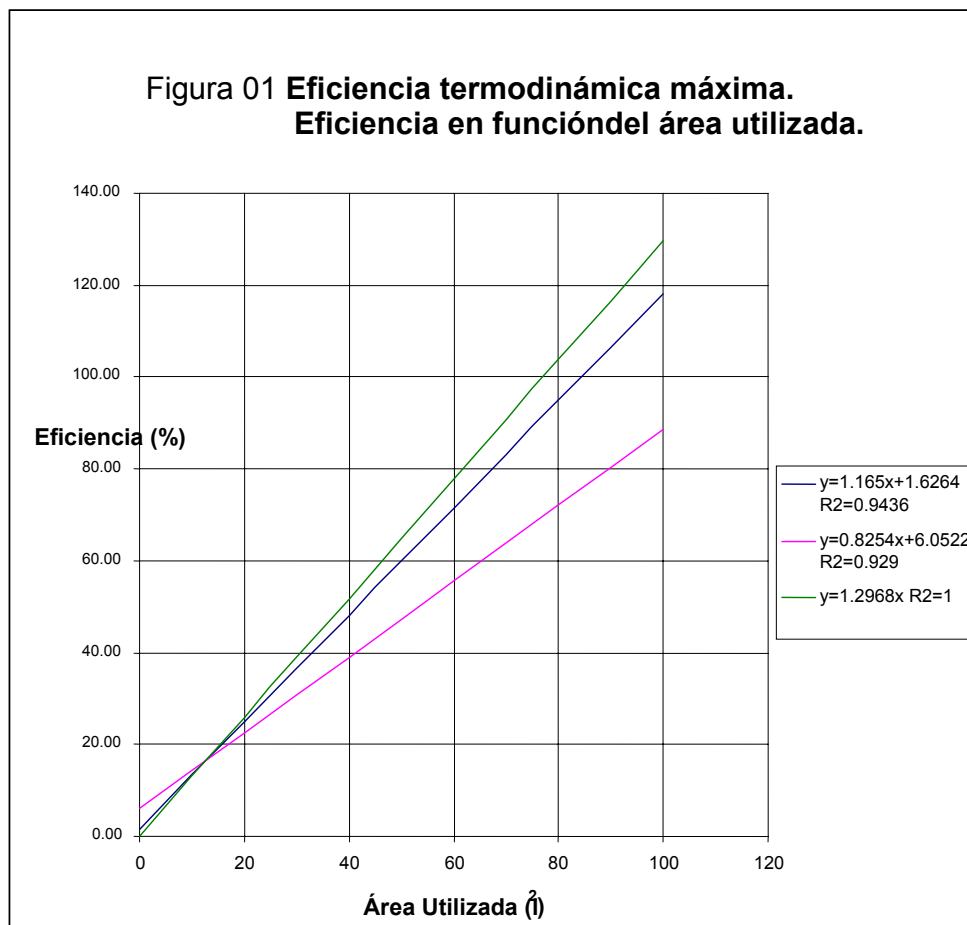


Tabla III Temperatura de los gases de combustión a la salida de la estufa

| Área Utilizada (%) | Temperatura (°C) |
|--------------------|------------------|
| 15 | 172°C |
| 20 | 170°C |
| 45 | 181°C |
| 100 | 159°C |

Fuente: Del Valle Sebastián. USAC. 2005

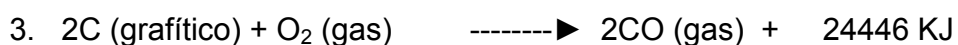
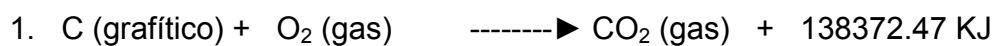
4.5.2 Eficiencia de combustión

Tabla IV Composición de los gases de combustión a la salida de la estufa

| % de CO ₂ | % de O ₂ | % de CO | % de H ₂ y HCs |
|----------------------|---------------------|---------|---------------------------|
| 32 | 2 | 10 | 56 |
| | | | |

Fuente: Del Valle Sebastián. USAC. 2005

Reacciones llevadas a cabo durante la combustión



Sumando los valores de 1 y de 3, calculamos la energía generada en la combustión. 162818.81 KJ / mol de combustible.

Cálculo de la eficiencia de combustión:

32% CO₂/ 41.26% C Eficiencia de Combustión: 77.55% de conversión de C en CO₂.

4.6 Discusión de resultados

En la tabla II se presentan los datos intermedios y finales utilizados para calcular las eficiencias termodinámicas. Se empieza a calcular la eficiencia con 15% de utilización de la plancha, en este caso solamente se tenía una olla sobre la plancha a la cual se le aplicó la metodología anteriormente presentada. Seguidamente se hizo con 2 y con 3, hasta llegar a usar la plancha modificada en su totalidad.

En la columna de porcentaje de eficiencia, siempre en la tabla II, los valores aumentan al aumentar el área utilizada. Se puede apreciar de mejor manera en la figura 1, serie 1, donde la tendencia que presenta esta gráfica es lineal, con un coeficiente de correlación de 0.94, significando que los datos tienen un adecuado ajuste al modelo que explica el fenómeno.

La serie 2 y 3 son ajustes de los datos obtenidos utilizando recipientes y sin utilizar recipientes respectivamente. En la determinación del valor máximo, serie 3, se eliminó el recipiente que impide la transferencia. Esto demuestra la importancia que significa agregar una pared adicional. Al sustraer los valores dados en serie 2 y 3, se demuestra un pérdida de 12.83% de eficiencia al agregar la pared adicional.

Lo anterior muestra que la eficiencia de la estufa evaluada, es directamente proporcional al área utilizada, y si también se observa la columna de combustible utilizado, se notará que los valores mostrados no tiene una variación notable. Por lo tanto que al suministrar una cantidad de energía dada, la estufa tendrá una

eficiencia que estará en función del modo en que se esté utilizando, por lo tanto no cuenta con una eficiencia propia.

La eficiencia termodinámica máxima en este caso es el valor que se obtiene al utilizar el 100% del área superficial de la plancha, nótese que este valor de 77.11% dista mucho del que dio cuando se utilizó el 15% del área superficial de la plancha, 4.94%.

No habiendo modificación alguna en el combustible utilizado, tampoco se nota que haya habido una diferencia considerable en el consumo de energía entre ambos casos, por lo tanto se corrobora nuevamente que la eficiencia de la estufa es una función de su operación en el uso del área disponible de la plancha. Como tal, la estufa no tiene una eficiencia termodinámica única, si no que depende del operador y la forma de operar el equipo, dependiendo del factor de aprovechamiento en función del área disponible que se utilice para cocinar.

Considerando los puntos anteriores, se busca solucionar el hecho de que la estufa no cuenta con una eficiencia única. El problema es que en operación real el utilizar el 100% de la plancha nunca se dará.

Entonces se podría considerar un modelo de estufa en la cual la plancha tuviese la figura de las ollas que se utilicen para cocinar los alimentos, ya que de este modo se estaría utilizando el 100% disponible del área para cocinar.

Otro dato que se tomó durante el estudio de campo, fue la temperatura de salida de los gases de combustión en cada una de las corridas, ver tabla III. La media aritmética de la temperatura de dichos gases fue de 170.5°C.

Esta es una temperatura muy alta la cual se podría aprovechar. Una manera de poder aprovechar todo este calor que se pierde en la chimenea es por medio de

colocar deflectores a lo largo del paso de los gases de combustión por el interior de la estufa. También se podría colocar un *damp*er en la entrada de la chimenea. Como tercera alternativa podría utilizarse un serpentín alrededor de la chimenea como precalentador de agua para usos domésticos. Aplicando cualquiera de los métodos anteriormente enunciados, se estaría aumentando el tiempo de residencia de los gases entre la estufa, por lo tanto todo ese calor que por el momento se pierde se estaría aprovechando.

La varianza que se muestra en la tabla II nos indica en qué porcentajes fueron variando los datos recabados durante la aplicación de la metodología propuesta. Se nota que a medida que se va aumentando el área utilizada en la plancha, los datos muestran mayor variabilidad, por lo tanto se asume que esto es debido a las diferencias que hay en la construcción de cada una de las estufas, que a medida que se utiliza más área de plancha la geometría interna de la estufa tendrá variaciones en cada caso y por lo tanto un factor determinante en la distribución de los flujos de calor que se transmiten a la plancha.

En la tabla IV, se dan los valores de la composición de los gases de chimenea encontrados por medio del análisis Orsat descrito anteriormente. A partir de estos porcentajes, se pudo determinar la energía generada a la combustión de un mol de combustible y la eficiencia de combustión que presenta la estufa.

El porcentaje de carbono que tiene el Mangle Rojo, es de 41.26%. Por ley de conservación de la materia, la adición de los porcentajes de dióxido de carbono y monóxido de carbono en los gases de chimenea no puede ser mayor que el porcentaje de carbono en el Mangle Rojo. Como se explicó en capítulos anteriores, para obtener una reacción completa no se desea como producto monóxido de carbono, y para no obtener este producto la cámara de combustión debe permitir el ingreso de suficiente aire como para tener una reacción de combustión completa.

Tras efectuar el análisis de gases de chimenea, se observa un valor de monóxido de carbono, lo que nos indica que la cámara de combustión no está dejando ingresar aire en la proporción deseada.

Por lo tanto no se está llevando a su cabalidad la reacción de combustión de madera, pero debido a que fue un porcentaje bajo de monóxido de carbono el que se halló, se considera que la estufa sí tiene una combustión adecuada de la leña que se le suministra.

En tal sentido, se propone una readecuación de la cámara de combustión, de manera que permita un mayor flujo de aire y que también pueda retenerlo por más tiempo, cuidando que no se tenga entonces, un flujo de aire mayor al requerido, ya que esto solo perjudicaría el proceso de combustión al enfriar las llamas. Esta readecuación a la cámara de combustión, haría que se llevara a cabo en su totalidad la reacción de combustión.

El valor que se obtuvo de eficiencia de combustión es de 77.55%, es un valor lo suficientemente elevado no permitiendo que se oxide parte del dióxido de carbono por la vía de la reacción 2. Por lo tanto se considera que la estufa tiene un buen rendimiento en la combustión de la leña que se le suministra.

Se muestra también el valor del calor que genera la estufa a la combustión de un mol de Mangle Rojo. Este dato se obtuvo por medio de la comparación con las reacciones dadas en el párrafo correspondiente.

4.7 Conclusiones del estudio de eficiencia

1. La eficiencia termodinámica en la estufa evaluada es una función de su operación. Como tal, la estufa no tiene una eficiencia termodinámica única, depende de los requerimientos del área utilizada.

2. La estufa estudiada presenta una combustión de leña con un rendimiento elevado, pero, aún así, la estufa es susceptible de mejoras para evitar, en lo posible, las emisiones de monóxido de carbono, a pesar que estas fueron bajas.

3. La falta de un método estandarizado para la construcción de la estufa es un impedimento para poder aplicar una metodología que reporte valores precisos, tal y como lo demuestra la varianza.

4. La geometría de plancha que presenta la estufa estudiada no permite el aprovechamiento total de la energía que puede suministrar.

5. Haciendo modificaciones al modelo estructural del equipo se prevé la mejora en el funcionamiento y disminución en las pérdidas energéticas por descarga de gases y pérdidas a los alrededores por convección y radiación.

5 EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA

5.1 Modelos anteriores a 1976

Las formas generalizadas de cocinar en Guatemala, previo a los programas de estufas mejoradas, eran las típicas del fuego abierto ubicado en el piso, sosteniendo los utensilios con tres piedras. En la actualidad aún se utiliza este procedimiento.

Una forma evolucionada de este procedimiento utiliza un “trebe” o trébede definido como **“utensilio de cocina formado por un aro de acero con tres pies que sirve para poner al fuego sartenes, perolas.”**. La innovación fundamental fue la construcción de una plataforma elevada a la que se le denominó “poyo”, palabra que se deriva del español y que lo define como **“banco de piedra o de fábrica que suele construirse junto a las puertas de las casas, en los zaguanes.”**

Se sabe que desde el siglo XIX llegaron a Guatemala especialmente de Europa, innovaciones sobre la forma de utilizar la leña para la cocción, basadas en el desarrollo producto de la revolución industrial. En estos países de crudo invierno, la “Estufa” ha tenido siempre la función principal de calentar los ambientes por medio de la radiación del calor. Comercialmente estos modelos se venden como cocinas o el artefacto para cocinar. El término estufa como se mencionó es exclusivo para calefacción.

Adaptadas a la función de cocción, se vendieron estufas o cocinas de leña con fondo, paredes y cubierta superior de placas metálicas.

Contaban con una zona de calentamiento superior conformada por una plancha de hierro fundido con agujeros que a los que se les modificaba el diámetro con anillos y tapas móviles.

La fundición era de alta calidad, muy buena presentación y con una durabilidad alta. A la fecha existen algunas que siguen funcionando con reparaciones menores. También empezaron a fabricarse modelos con los mismos principios y con similares dimensiones, aunque no con la presentación y la durabilidad de las importadas ya descritas, compitiendo con ventaja por el precio.

Ambos modelos, se instalaron en las casas de las personas con alta capacidad de pago. El objetivo de estas estufas era evitar la circulación de humo molesto y sucio en el interior de la cocina y además le agregaba un componente decorativo por su presentación. Normalmente se complementaba el equipo con un fuego abierto en el exterior de la cocina. La mayoría de estas estufas, incluía un depósito para agua que era calentada por medio de un sistema de serpentín metálico incorporado en la cámara de combustión y donde el agua circula por corrientes de convección.

Otros modelos metálicos improvisados se utilizaron en para elaborar comida de venta en mercados y calles. Para estos fines se utilizaron planchas metálicas de diferente origen y forma, las que se reforzaban con piezas largas de metal.

Esta forma de cocinar con leña en un fuego encerrado, bajo control y con emisiones de gases controladas, representó la forma básica de un modelo de alto desarrollo comercial. El interesado compraba su estufa y la instalaba en su vivienda. Contratava los servicios de un albañil y/o plomero para hacerla funcionar y en poco tiempo la integraba a los servicios de la vivienda. Un detalle fundamental de estos modelos comercializados lo constituyó el hecho de ser portátiles.

5.2 El prototipo de estufa mejorada

Una estufa mejorada es el equipo para cocinar alimentos, funciona con leña como combustible principal, está conformado de diferentes piezas organizadas entre sí que permiten encerrar el fuego para administrarlo de acuerdo a los requerimientos, ubicarlo a diferentes alturas y trasladar los gases de combustión al exterior de la cocina luego de aprovechar al máximo su calor.

Un componente afectivo fundamental es el atractivo visual que tenga la estufa para la usuaria. Es deseable que tenga el menor precio posible. Ver anexo 1.

Las estufas han sido fabricadas de diferentes materiales. Barro crudo, barro cocido (ladrillos), láminas metálicas de diferente espesor y materiales de construcción convencionales en cantidades variables.

Estos materiales dependieron del modelo que se fabricó, del tamaño y las funciones que se deseaba que realizaran en las viviendas. En otras ocasiones, de los materiales que se lograban ubicar en el lugar.

Existen otros componentes adicionales que complementan la estructura física del equipo como la puerta de entrada de la leña, un regulador de paso de los gases de combustión y finalmente agregados estéticos de presentación como mosaico de cemento líquido que cubre la superficie superior de la estufa y en ocasiones todas las paredes visibles de la unidad. La calificación de estufa mejorada para leña en Guatemala ha dependido de la integración de características básicas que se deben reunir. El grado de cumplimiento de estas características hace las diferencias entre un modelo y otro. **(ref. 5)**

- El fuego está encerrado y no es visible directamente. Es decir se hace la combustión en un ambiente confinado o caja de fuego.
- La caja de fuego se encuentra ubicada a un nivel superior del piso de la cocina.
- Los gases son retenidos hasta donde es posible dentro de la unidad para optimizar el uso del calor que transportan.
- Una chimenea conduce los gases de combustión hacia el exterior y regula la admisión de aire para la combustión.
- Permite a las usuarias cocinar maíz y frijol en sus diferentes presentaciones intermedias. Nixtamal, tortillas, tamales y frijoles.

Las comparaciones sobre precios y costos se discuten en el apéndice de este trabajo. Las ventajas operativas de su uso han sido las siguientes:

- Ahorra leña en diferentes proporciones. Es decir, aprovecha el calor de la combustión de una mejor manera que el fuego abierto para la mayoría de las operaciones.
- Proporciona comodidad y seguridad al elevar el fuego del suelo.
- Su funcionamiento resulta limpio en cuanto a la ausencia de humo en el ambiente donde se cocina.
- Beneficia el entorno ambiental al evitar consumos excesivos de leña y educa en el uso correcto de este recurso.

5.3 Técnicas de fabricación

El proceso evolutivo señala la aparición de tecnologías que se diferencian por el prototipo ofrecido y el conjunto de beneficios que se le atribuyen.

1. Modelos anteriores a 1976. Tres piedras como prototipo popular y metálicas importadas. Las dificultades que implica el sistema rudimentario de cocinar impulsa la búsqueda de nuevos procedimientos. Las metálicas importadas son útiles en viviendas formales de tamaño considerable y su precio es elevado.
2. Tecnología de barro y arena. Lorena. El cambio más significativo es el hecho de encerrar el fuego en una cámara para conducir el calor a lugares seleccionados. Permite re utilizar los gases calientes y expulsar al exterior el humo. El barro crudo mezclado con arena reproduce la mezcla que se utiliza para la fabricación de ladrillos. Resultó difícil introducir un mecanismo para el control de la calidad de los materiales. El gran volumen sólido sometido a esfuerzos térmicos propiciaba el apareamiento de grietas y separaciones que derrumbaron los conductos haciendo poco durable la unidad.
3. Tecnología de concreto liviano. Ceta. La característica principal es el uso de cemento como material de fabricación. Armadura de acero de construcción. Las piezas prefabricadas inician una etapa de centralización de la construcción. A pesar de las mezclas ajustadas para permitir movimientos térmicos las piezas se disolvieron con el tiempo. No se logró armar un modelo atractivo.

4. Tecnología de componentes prefabricados de barro. Chefina. Se fabricaron las piezas que hacían contacto con el fuego y gases calientes antes de construir un bloque similar a la lorena. Corrigió los problemas de la temperatura sobre el material. El traslado de las piezas prefabricadas que se rompían y los accidentes de líquidos derramados durante el uso hicieron difícil las reparaciones.
5. Tecnología de una hornilla de barro. Rocket. El sistema permitió fabricar unidades pequeñas que respondieron mejor a los problemas de cambio de temperatura. El calor de la combustión se utilizaba una sola vez y los gases no eran conducidos al exterior. El prototipo marca un aporte técnico muy importante al introducir la succión interna como elemento de ahorro.

El modelo y todos lo que significaron el uso de una sola hornilla no fueron aceptados por los usuarios.

6. Tecnología de placa sólida entera combinada con barro. Finlandia. Se utilizó una placa metálica corriente sin agujeros montada sobre ladrillos, bloques de construcción de cemento o una pared de barro crudo. La parte metálica ordinariamente se obtuvo de las tapaderas de toneles o bidones empleados para transporte de líquidos. Con el uso y los derrames de líquidos, la placa se deformaba y se separaba del conjunto. No se pudo ofrecer un modelo atractivo.
7. Tecnología de componentes metálicos y cerámicos. Plancha fundida. Se reprodujeron técnicas de modelos importados con una placa superior fundida con varios agujeros cubiertos por anillos móviles que redujeron la abertura. Su precio elevado, aspecto no atractivo y la mala calidad de la fundición no permitieron el desarrollo del modelo. El espesor de la placa no pudo disminuirse.

8. Tecnología de plancha armada con barro. Plancha armada. Integra una plancha de acero laminado en caliente de un espesor máximo de 3/16 de pulgada con agujeros cortados en anillos y círculos los que ajustados con piezas adicionales cubren nuevamente los espacios. Refuerzos estructurales impiden deformaciones por temperatura. El modelo es el más aceptado al integrarse construcción de ladrillos sobre una base de otro material que proporciona un aspecto atractivo. Es el primer modelo que logró integrarse al mercado formal. A la fecha sigue vigente.

9. Tecnología de plancha armada portátil exclusivamente de metal. Portátil. Es el mismo modelo de plancha armada con barro al que se le ha eliminado el barro como componente estructural. Todo el conjunto es metálico. Permite trasladarla de lugar y abarata los costos.

10. Tecnología mixta comercial. Barro, metal, concreto liviano. Doña Justa. Es la nueva línea de modelos recientes. Integran el uso de técnicas y materiales de los modelos descritos.

5.4 Evolución y programas de estufas mejoradas

En Guatemala no existe un centro de documentación que haya colectado la información completa en el momento oportuno. El período histórico de evolución es relativamente grande ya que comprende alrededor de 30 años de actividades dinámicas. La variedad de programas y productos propuestos y obtenidos han sido múltiples. Los objetivos y las metas de cada actor fueron de múltiple orientación y en la mayoría de los casos los proyectos cumplieron realizaciones distintas a las que se comprometieron en el diseño original documentado.

Los objetivos de los programas de estufas mejoradas fueron diversos. Para algunas personas, grupos e instituciones fue la oportunidad de ejecutar proyectos de un efecto rápido, generador de bienestar para las familias del área rural y un elemento educativo para la toma de conciencia sobre la manera de enfrentar las limitaciones y desarrollar soluciones. Para otras, los objetivos y los productos desarrollados los dictaron líneas políticas, religiosas y con propósitos de organización de grupos para otros fines particulares y de su interés.

A pesar de todos los inconvenientes, el proceso evolutivo de las estufas mejoradas en Guatemala, hasta la fecha (2006) en general ha sido exitoso. Ha permanecido vigente durante todo el período de tal manera que resulta poco probable encontrar algún guatemalteco que no conozca del tema y los objetivos básicos de una estufa mejorada para leña.

En el ámbito internacional, el país tiene un reconocimiento manifiesto por el desarrollo de esta tecnología y otras con las que se le asocia. Decir Estufa de Lorena por ejemplo, es referirse a Guatemala. Además, el proceso de transferencia y la investigación de nuevos modelos se han mantenido en el transcurso del tiempo.

La evolución del programa de estufas mejoradas en Guatemala, está concatenada con la historia de la sociedad, sus limitaciones, conflictos y con las aspiraciones de la población por alcanzar una forma más humana de participar de los beneficios que la tecnología ofrece para la satisfacción de sus necesidades básicas.

Los modelos de estufas, se encuentran relacionados de manera directa con la forma de cocinar los dos cereales que forman la dieta ancestral de los guatemaltecos y se consideran los alimentos básicos: el maíz y el frijol. Ambos se complementan en el suministro de aminoácidos esenciales para el desarrollo de las funciones vitales haciendo una combinación nutricional exitosa.

Ambos requieren también formas rigurosas para su cocción, en especial el maíz por el uso indispensable de un comal. Cuando se estudian los temas relacionados con las estufas de leña de inmediato se asocia con las familias pobres del área rural, lo que se ajusta a la realidad.

En un principio las estufas mejoradas de leña fueron el equipo único para la cocción de la comida del estrato social de altos ingresos, una forma de presentación de la vivienda y de las costumbres y delicadezas de sus propietarios.

A medida que los sustitutos de la leña fueron apareciendo (kerosene, GLP o energía eléctrica), los que continuaron utilizando este combustible fueron en efecto, los grupos de la población que no tuvieron la oportunidad de incorporarse al cambio. Sin embargo, una buena cantidad de familias de altos ingresos monetarios sigue utilizando leña como un lujo, un placer o porque el arte culinario así lo exige.

Históricamente los beneficios asociados a las estufas mejoradas parten de prioridades establecidas en el momento que les ha tocado manifestarse. En sus inicios se plantearon de la siguiente manera:

- Ahorro de leña y economía del hogar.
- Comodidad al cocinar por el traslado del fuego, del suelo a un nivel más alto.
- Limpieza en la actividad por la eliminación del humo en el interior de la cocina.
- Beneficio ambiental al evitar la deforestación.

5.5 Discusión de los resultados

Al examinar los resultados de la investigación, se aprecia un conjunto de realidades propias de la evolución de la tecnología, las que se ajustan de forma natural a las condiciones socio culturales y económicas del país.

5.5.1 Las estufas ahorradoras

Las estufas ahorradoras constituyen un recurso necesario para satisfacer necesidades de un país que depende de la leña como recurso energético fundamental. También porque es necesario tomar en cuenta la dignificación de la población que bajo circunstancias precarias utiliza leña para la cocción de sus alimentos.

Esta necesidad ha permitido plantear un proceso evolutivo de generación de equipos que se ajusten a los gustos, a los recursos disponibles y a las circunstancias nacionales, en especial las que se relacionan con la conservación y la reducción del deterioro de los recursos naturales.

5.5.2 Evolución y apropiación tecnológica

Las estufas mejoradas son producto de la investigación y desarrollo de los diferentes técnicos nacionales que trabajaron en el período que se analiza, surgen en la mayoría de los casos, como una respuesta a los requerimientos de los grupos sociales pobres para la adquisición de los equipos mejorados, el aprendizaje de las formas de su uso y mantenimiento así como la generación de actitudes de las usuarias para introducir otros cambios en la forma de vivir y enfrentar los problemas de la vida cotidiana. La población usuaria hizo suya la idea de resolver un problema mediante su participación.

Para estudiar el proceso evolutivo que llevó a la concepción de las estufas ahorradoras, al planteamiento de diferentes prototipos de equipos y llegar a ser un producto de comercio formal para situarse en un espacio de mercado como lo tiene en la actualidad, se pueden hacer enfoques desde diferentes puntos de vista. Sin embargo, dado el carácter técnico de este trabajo, se ha tomado como guía de estudio el material principal con el que se fabrican las unidades.

De esta manera, se establece que el proceso evolutivo es una secuencia de pasos ordenados en el tiempo donde intervienen diferentes factores. El conocimiento de las necesidades de un grupo social que va desde la interpretación de las necesidades básicas a las aspiraciones de superación y dignificación. Significa tener un claro conocimiento de las condiciones reales de respuesta de los grupos. Esto incluye recursos financieros, de capacidad de aprendizaje, de aceptación de cambios en las tradiciones y costumbres y generalizar las necesidades familiares a las colectivas.

También, el impulsor del proceso debe tener conocimiento del proceso técnico de la operación de una estufa en general y todos los fenómenos asociados. La combustión, la transferencia de calor, el estudio del comportamiento de los materiales y el balance de los materiales que intervienen. Es fundamental el conocimiento de ingeniería de los diferentes requerimientos de la unidad.

La ubicación de la unidad dentro del contexto físico y social también permite impulsar el proceso evolutivo. Determinación de los propósitos del modelo al operar. Ahorro de combustible, precio de la unidad, apariencia, duración.

Actualmente se siguen generando ideas y soluciones relativas al tema de las estufas mejoradas, buscando una oportunidad para poder ponerse de manifiesto.

A pesar de las recomendaciones emanadas de las reuniones, la atención que debe ponerse a la importancia de los materiales de fabricación, sigue sin tomarse en cuenta. De continuar en esta forma, puede anticiparse nuevos fracasos en el futuro.

5.5.3 Experiencias sobre costos y precios

Al no poderse desarrollar un mercado real de comercialización para los diferentes modelos presentes en el panorama tecnológico de la época, los costos de elaboración son difíciles de obtener porque no se encuentran disponibles o no fueron calculados de forma imparcial. No existió la necesidad de enfrentar una competencia real por la presencia de los subsidios o a la tendencia al regalo total de las unidades.

Las instituciones que desarrollaron construcciones numerosas de estufas mejoradas trataron de encontrar un máximo en cuanto al número de unidades al menor precio posible. De esta forma, las compras fueron hechas en bloque con la incorporación de componentes de costos que incluyeron gastos administrativos de las instituciones gestoras, de elaboración y gestión del proyecto que incluía varios componentes.

Esta actitud propició el deterioro la calidad de los productos y de los resultados esperados. Los compromisos de sostenimiento de la calidad que se otorgaron no se cumplieron o tuvieron dificultades al exigirse. No se tuvo autoridad para solicitar el cumplimiento o no se pudo conseguir información real del regalo otorgado.

Estas circunstancias dificultan la realización de un análisis financiero que permita hacer comparaciones sobre costos y precios a través de la historia y establecer la razón de las preferencias basadas en las características de la unidad.

Además las estufas que llegaron al mercado con precios reales no tuvieron oportunidad de desarrollarse. Las encuestas que buscaron identificar las preferencias también llevaron consigo implícito estas circunstancias en las respuestas de los usuarios.

Con precios de materias primas, salarios ajustados, valor de los servicios y valores cambiarios de la moneda nacional a la fecha de realización de este trabajo, se desarrolla una serie de tablas para establecer la posibilidad de hacer comparaciones y extrapolarlas a las fechas en que se dieron las diferentes relaciones comerciales entre modelos. Los aspectos financieros se plantean en el anexo 1 de este trabajo.

5.5.4 Los materiales de fabricación

La selección, uso y manejo de los materiales de fabricación de las unidades es una etapa decisiva en el éxito de una propuesta tecnológica.

Estos materiales están asociados a factores determinantes en la vida de la unidad. Costo, duración, presentación, seguridad y confort. Todos estos factores conjugados en un balance dinámico que ofrecen economía.

El costo incluye: el precio de los materiales, transporte, mano de obra para la fabricación o construcción, precio de materiales para los acabados y el costo asociado al mantenimiento para funcionamiento y reparaciones. En ocasiones debe adicionarse los gastos que ocasionan las modificaciones que se requieren para facilitar la instalación. La disponibilidad de los materiales tiene relación con la definición del precio. El barro, por ejemplo, puede ser un producto de bajo precio, pero su traslado implica gasto por fletes.

La duración se concibe como el período de tiempo durante el cual la unidad ofrece el servicio para el cual se adquirió. Puede cuantificarse en términos monetarios como el precio de una nueva unidad que reponga una que debe sustituirse. Para un usuario que modifica su forma de cocinar, de fuego abierto a una estufa ahorradora, resulta una idea de difícil interpretación, porque en la manera original de cocinar, la duración del equipo no cuenta. Las reparaciones de equipos en uso son difíciles de aceptar debido a que sacan de servicio a la unidad y no se tolera el retorno a prácticas anteriores. Los períodos de vida útil son normalmente largos y resulta difícil de establecer en el momento del diseño.

La presentación de la unidad es una función de los materiales de fabricación y del arte en su uso, aplicación y combinación. Las costumbres, publicidad y las aspiraciones de la usuaria tienen especial relevancia en el momento de su aceptación y decisión de utilizarla. Limpieza y arreglo deben ser consideradas como una tarea adicional a soportar de los materiales de fabricación.

La seguridad en el uso se refiere a los riesgos que están expuestos tanto la usuaria de la estufa como de la familia que forma parte del entorno. Se circunscribe en especial a la exposición de superficies calientes y a la posibilidad de derrames, salpicaduras y al manejo del fuego. La expulsión de los gases de combustión calientes de prever la posibilidad de recalentamientos de la chimenea que provocan incendios.

El confort de una estufa ahorradora se representa por dos variables que definen su participación en la economía familiar. Cocinar en alto a nivel de una mesa y el encierro del fuego que permite captar el humo y expulsarlo al exterior. También porque la unidad se asocia a un mueble integrado a la cocina que puede ser útil como mesa para preparar la comida, como mesa para comer o como un radiador de calor para calentar el ambiente o para secar ropa, leña o productos agrícolas.

Para establecer un balance entre todos los componentes mencionados y determinar con exactitud la economía que representa el uso de la estufa ahorradora propuesta, es necesario realizar con un enfoque de ingeniería, ensayos a nivel de laboratorio del rendimiento y comportamiento de la unidad. Se logra por medio de estudios de eficiencia térmica y de eficiencia de combustión. Los ensayos deben ser continuados para permitir el logro de valores promedio que puedan orientar los pasos a seguir. Ensayos a nivel piloto de varias unidades. Esto permite evaluar en el sitio y bajo circunstancias controladas el comportamiento de las unidades y el nivel de aceptación por parte de los usuarios. Estudio del comportamiento real de los materiales en el tiempo.

Con el conocimiento efectivo de los materiales, para propósitos de divulgación, desarrollo y capacitación, es necesario elaborar los correspondientes manuales de construcción, fabricación de piezas, mantenimiento y operación del modelo. Elaboración de la metodología de difusión y seguimiento. Posterior a todo esto, la presentación del nuevo modelo con un nombre y un respaldo técnico que permita otorgar garantías definidas de funcionamiento y de cumplimiento de los propósitos de la unidad.

5.5.5 Evolución y programas de difusión

Los programas de estufas ahorradoras en Guatemala no han seguido un patrón evolutivo definido. La mayor parte de los que reconocieron por sus resultados fueron ocasionales, aprovechando circunstancias favorables desde el punto de vista de la demanda o de la posibilidad de utilizar recursos disponibles para ofrecer productos.

Cuando cualquiera de estos factores disminuyó o desapareció, el programa fue cerrado sin dejar constancia de su experiencia.

Los modelos utilizados en cada uno fueron tomados de otros programas que a criterio de los impulsores compartían objetivos comunes a los institucionales o porque se consideró oportuno en el momento.

Sin embargo, esta práctica como resulta natural, dio por resultado el impulso a la corriente de economía y uso eficiente de biomasa energética en Guatemala, que ha sido reconocida a nivel mundial. Los modelos propuestos y diseminados han sido utilizados en otros países con resultados benéficos.

El desarrollo de las actividades de los programas institucionales sigue de manera general el siguiente esquema:

1. Introducción de las modificaciones en los modelos que se desarrollan.
2. Denominación del modelo haciendo referencia al programa en el que se trabaja. Así surgen muchos modelos con nombres institucionales.
3. Elaboración de manuales de construcción y de fabricación con propósitos de promoción.
4. Presentación del modelo ante agencias de financiamiento con el propósito de implementarlo.
5. Construcción masiva del modelo nuevo dentro de un programa institucional.
6. Cuando el financiamiento se termina o la institución cambia de actividades, el programa se suspende o se abandona.
7. En ocasiones se realiza una evaluación. Dependiendo de los resultados, el ciclo se reinicia.

CONCLUSIONES

1. El desarrollo de la tecnología de las estufas mejoradas en Guatemala, ha transcurrido en etapas cronológicamente definidas en sus resultados. Los modelos exitosos fueron replicados aprovechando las épocas de abundantes recursos financieros de la cooperación internacional. Sin embargo la abundancia de modelos no implicó resultados satisfactorios de los programas.
2. No se pudo desarrollar en el período inicial, un mercado real de los diferentes modelos por el subsidio existente en los programas. Se tendió al regalo total de las unidades. El mercado formal surge en los últimos 10 años.
3. Las innovaciones aplicadas a los modelos exitosos y que fueron propuestas por los diseñadores no tuvieron en la mayoría de los casos un estudio de base técnico que respaldara los cambios de materiales y la forma de construirlos.
4. No ha existido hasta la fecha una relación formal entre usuarias y diseñadores porque siempre ha surgido un gestor o intermediario y que financia los programas, decide los modelos, y la forma de implementarlos. Las usuarias no realizan la compra directa a los fabricantes o distribuidores. Se solicita la ayuda a las instituciones por intermedio de los esposos siendo las decisiones fundamentales tomadas fuera del contexto del hogar interesado.

5. Los diseñadores no han tenido control sobre la calidad de las estufas como información útil de retroalimentación, porque la identificación de los ejecutores de los programas no se reconoce con facilidad. A pesar de saber que los materiales no cumplieron su función no hay informes directos de rendimientos.
6. Las instituciones que desarrollaron construcciones masivas de estufas siempre trataron de encontrar un máximo en cuanto al número de unidades a un precio menor. Esta actitud ha tendido a comprometer la calidad de los productos.
7. Los compromisos de sostenimiento de la calidad han tenido dificultades por la ausencia de información real ante un regalo otorgado. Cualquier material de fabricación se acepta inicialmente porque no tiene un precio asociado. De esa forma, se abandona fácilmente. Las piezas fueron utilizadas para otras funciones inapropiadas.
8. Cuando las estufas entraron al mercado formal y se someten al proceso de oferta y demanda, es cuando la calidad de los materiales empieza a tener una importancia decisiva en la aceptación de un modelo.

RECOMENDACIONES

1. Las estufas ahorradoras han sufrido un proceso evolutivo en su desarrollo que se origina desde actividades artesanales, pasando por fabricación en modelos prefabricados hasta llegar al mercado formal de fabricación en serie. Es necesario entonces, para la propuesta de nuevos modelos, hacer un enfoque desde el punto de vista de la ingeniería en sus diferentes componentes: diseño básico, fabricación, evaluación de eficiencia y mercadotecnia.
2. Los modelos que aparezcan en el mercado deben contar con el respaldo de una garantía escrita que cubra rendimientos, duración y eficiencia.
3. Todo modelo debe desarrollar metodologías de estudios de eficiencia integrales que cubran la eficiencia termodinámica y eficiencia de combustión.
4. Es necesario continuar enriqueciendo el trabajo de análisis que busque explicaciones en el pasado y que eviten caer en errores repetidos.
5. Se debe realizar una actividad de rescate de la bibliografía disponible que existe en diferentes centros de documentación, lo que permitirá realizar un análisis histórico con mejor fundamento.
6. La selección de los materiales de fabricación deben orientar las variables de diseño, tomando en consideración las repercusiones sobre durabilidad y precio de las unidades.

7. La posibilidad de recuperar el calor perdido en los gases de chimenea es una alternativa que favorece el concepto de economía y uso eficiente del calor.
8. Cada modelo debe contar con un manual apropiado de mantenimiento de la estufa que se entregará al usuario como complemento de la garantía.

BIBLIOGRAFÍA

1. Beatrix Westhoff, Dorsi Germann 1995
Estufas en Imágenes
Comisión de las Comunidades Europeas. Alemania, 350 páginas.
2. Boy Erick, Mendoza Iván. 1993
Contaminación Intradomiciliaria con Monóxido de Carbono del Humo de Leña en Viviendas del Área Rural de Guatemala.
Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá. INCAP.
Guatemala. 180 Páginas.
3. Centro Mesoamericano de Estudios sobre Tecnología Apropiada CEMAT 1990
Estudio de Mercado de Estufas de Leña en el Área Metropolitana de Guatemala.
Guatemala. 250 Páginas.
4. Del Valle Sebastián. 2004
Determinación de la Eficiencia Máxima de Una Estufa Mejorada.
Tesis de Graduación. Ingeniería Química. Universidad de San Carlos de Guatemala. USAC. 75 páginas.
5. Investigaciones Científicas Asociadas del Altiplano. ICADA CHOQUÍ 1980
Para qué sirve su Estufa de Lorena
Cómo hacer su Estufa de Lorena
Cómo usar su Estufa de Lorena
Voluntarios en Asistencia Técnica VITA. Quetzaltenango, Guatemala. 75 páginas.
6. ICADA CHOQUÍ, CEMAT, XELAC. 1980
Memoria Segundo Encuentro Nacional de Tecnología Apropiada Estufas de Lorena. Quetzaltenango, Guatemala. 85 páginas.
7. Lou Ma Roberto, Sánchez Silvia. 1983
Producción Masiva y Normalizada de Pequeñas Estufas de Leña para el Área Rural de Guatemala. Centro de Experimentación de Tecnología Apropiada CETA. Guatemala. 85 Páginas.
8. Ministerio de Energía y Minas de Guatemala. 1984
Informe de la Encuesta Nacional de Estufas Mejoradas en Guatemala.
Grupo Nacional de Estufas Mejoradas. Guatemala. 320 páginas.

9. Ministerio de Energía y Minas de Guatemala. 1985
Propuesta de Capacitación del Grupo Nacional de Estufas Mejoradas
Grupo Nacional de Estufas Mejoradas. Guatemala. 120 páginas.

10. Ministerio de Energía y Minas de Guatemala. 1985
Memoria del Tercer Encuentro Nacional de Estuferos
Grupo Nacional de Estufas Mejoradas. Guatemala. 150 páginas.

11. Ministerio de Energía y Minas de Guatemala. 1988
Estudio de Base para el Diseño de Estufas Mejoradas para las Tortillerías
De la Ciudad Capital de Guatemala. Sección de Leña y Carbón Vegetal.
Guatemala. 78 páginas.

12. Ministerio de Energía y Minas de Guatemala. 2001
Estufas Mejoradas de Leña en Guatemala. Resultados de la Tecnología.
Unidad de Planificación y Desarrollo. Guatemala. 45 páginas.

13. The World Bank 2005
Environmental Health and Traditional Fuel Use in Guatemala.
Directions in Development. USA. 115 páginas.

14. Volunteers in Technical Assistance. VITA. 1982
Diccionario de Energía Renovable.
Library Of Congress Cataloging in Publication Data. USA. 475 páginas.

APÉNDICE

ASPECTOS FINANCIEROS Y COSTOS DE LAS ESTUFAS

1. Consideraciones generales

Los aspectos financieros relacionados con las estufas ahorradoras de leña, tienen dos partes fundamentales.

La primera se relaciona con el beneficio financiero que surge como consecuencia del uso correcto de la unidad y también y con los beneficios económicos derivados del uso de las unidades a nivel nacional.

La parte financiera se fundamenta en el concepto amplio de la eficiencia de combustión de la leña y de la eficiencia en el aprovechamiento del calor. Ambos conceptos se abordaron ampliamente en el capítulo correspondiente de este trabajo.

Dentro de esta primera parte, es necesario mencionar que el impacto en economía de recursos se concreta de forma evidente en el ahorro de leña. Los costos evitados por el no uso del recurso energético pueden cuantificarse si se conoce el precio de una cierta cantidad de leña. El usuario normalmente tiene pleno conocimiento de la cantidad de leña que usa el sistema que sustituyó con la nueva estufa. Si a esta información de carácter práctico se le asocia la determinación de la eficiencia de la unidad, el cálculo puede realizarse con un grado elevado de exactitud.

Históricamente se consideró como término de comparación el 50 % de ahorro de leña para considerarse estufa ahorradora o economizadora. Es decir, para un consumo en fuego abierto de 1 metro cúbico en un período de tiempo, el cambio debió implicar un consumo de 0.5 metro cúbico en el mismo período.

Los beneficios económicos son más difíciles de cuantificar desde el punto de vista financiero porque se asocian a aspectos cualitativos que deben ser evaluados de forma más detallada para los diferentes casos. Se mencionan los más importantes.

- Los beneficios obtenidos por el menor consumo de leña y en consecuencia menor presión sobre los recursos forestales, aspecto que se traduce en una mejora ambiental con todos los efectos benéficos que conlleva.
- Las ventajas que significan no enfermarse por respirar aire contaminado con humo o por permanecer en ese ambiente. Esto implica mejor rendimiento en los trabajos asignados y una mejor atención a la familia. Se ha tomado en cuenta para algunos casos, un mejor rendimiento escolar.
- Los beneficios que se obtienen por cocinar la comida en un ambiente más sano y agradable, al retirar el fuego del suelo o confinarlo dentro de una estufa. La tarea se hace más segura.
- El impacto que significa el uso de un combustible renovable, el que al quemarse de mejor manera reduce las emisiones de gases contaminantes.
- La contribución nacional de gases de efecto invernadero por quema de combustibles se reduce bajo el concepto mencionado del “balance cero de emisiones por quema de biomasa”.
- Los beneficios que trae consigo la generación de empleos en la localidad y el uso de materiales de construcción obtenidos en el lugar, que evita el uso de divisas para importación.

La cuantificación de estos parámetros requiere de la aplicación de técnicas especializadas que manejan los economistas y los analistas de proyectos, los que se salen del propósito y alcance de este trabajo.

La segunda parte tiene relación con la inversión monetaria que el usuario debe hacer para adquirir la unidad, armarla y ponerla a funcionar para aprovechar los beneficios propuestos por el vendedor o promotor.

El tema se presentó de forma general en los numerales 4.3.8 y 4.4 de este trabajo. Sin embargo es deseable conocer cuánto cuesta en términos monetario la adquisición de una estufa ahorradora.

Para hacer un listado comparativo de costos y precios de los diferentes modelos se debe tomar en cuenta que la naturaleza particular de cada modelo no permite generalizar el concepto de lo caro o barato de cada una. Es obvio que no es lo mismo comprar un equipo de arcilla tallada que uno de metal, o compararse ambos con un modelo portátil sin chimenea.

Se ha decidido hacer el enfoque tomando en cuenta los costos, salarios y equivalencias con un valor actual, tanto por su utilidad referencial como por la imposibilidad de lograr valores históricos que tengan beneficios prácticos.

Para establecer los costos financieros de las estufas ahorradoras, es necesario fijar los principales componentes de cada una, los que son fáciles de ubicar en los comercios establecidos en cualquier lugar de la república.

Tabla V Valores de referencia de componentes de estufas ahorradoras

| No | Mercancía o valor requerido | Valor comercial (Quetzales/Unidad) |
|----|--|------------------------------------|
| 1 | 1 US \$ 7.60 Quetzales | 7.60 |
| 2 | Salario de albañil constructor de estufas de leña | 80.00 |
| 3 | Salario mínimo promedio Q / día | 40.00 |
| 4 | Precio de flete (1 tonelada en recorrido de 40 Km. | 150.00 |
| 5 | 1 ladrillo de barro cocido | 0.50 |
| 6 | Block de piedra pómez de 0.15X 0.20X0.40 metros | 3.25 |
| 7 | 1 tubo de lámina para chimenea | 8.00 |
| 8 | Plancha armada tipo comercial, con puerta y regulador | 450.00-550.00 |
| 9 | 1 metro cúbico de barro Q 50.00 | 50.00 |
| 10 | 1 adobe de 0.10 x 0.25 x0.50 metros | 1.25 |
| 11 | 1 metro cúbico de arena de río Q 25.00 | 25.00 |
| 12 | Elementos prefabricados de estufa Ceta | ND |
| 13 | Elementos prefabricados de estufa Chefina | ND |
| 14 | Participación en curso de capacitación en la localidad | 75.00 |

Fuente: Cotizaciones presentadas en el año 2007

2. Características de los tipos básicos de estufas

Resulta de poca utilidad práctica hacer un análisis comparativo de los costos involucrados en cada tipo básico de estufa debido a la naturaleza particular de cada uno. Sin embargo con una finalidad ilustrativa se hace un listado de los aspectos fundamentales de cada tecnología y el costo aproximado que representa. Este listado al resumirse puede indicar de manera aproximada el costo de cada tipo de estufa, sin entrar en detalles de la diversidad de variantes en cada uno de éstos.

Los precios de mercado varían de acuerdo a las circunstancias de la negociación particular. Volumen de compra, condiciones de entrega, condiciones de pago, accesorios incluidos, calidad de materiales y otros que se acostumbra incluir en los contratos. Por ejemplo: cotización, pago de fianzas, trámite de anticipos.

Los costos que se incluyen son por unidad.

Estufas metálicas convencionales

Se distribuyen en centros comerciales especializados.

Fabricadas de metal en su totalidad.

Normalmente son importadas.

Varían en tamaño, calidad y precio.

En ocasiones se compran bajo pedido.

Se venden por unidades y no por pedidos voluminosos.

Estufa tipo Lorena

- Construidas con gran masa sobre una base de adobes.
- Sistema de autoconstrucción.
- Materiales obtenidos en el lugar o en las cercanías. Arcilla y arena de río.
- Mano de obra local del usuario.
- Mantenimiento cotidiano sin uso de materiales especializados.
- Chimenea de lámina galvanizada.
- Puede utilizar compuertas del mismo material.
- Requiere entrenamiento previo.
- Debe acompañarse un manual de construcción y operación.

Estufa tipo Ceta

- Construcción prefabricada en serie.
- Mezcla de cemento, arena y pómez para la caja de fuego.
- Acero de construcción como armadura de la plancha.
- Materiales obtenidos en centros de venta especializados.
- Chimenea de lámina galvanizada.
- Mantenimiento especializado por el fabricante.

Estufa Chefina

- Construidas con gran masa sobre una base de adobes.
- Sistema de autoconstrucción.
- Materiales obtenidos en el lugar o en las cercanías. Arcilla y arena de río.
- Utiliza elementos prefabricados en arcilla cocida para las hornillas y los conductos de humo.
- Mano de obra local del usuario.
- Mantenimiento cotidiano sin uso de materiales especializados.
- Chimenea de lámina galvanizada.
- Utiliza compuertas metálicas.
- Requiere entrenamiento previo.
- Debe acompañarse un manual de construcción y operación.

Estufas tipo rocket (Se incluyen los modelos portátiles individuales de mesa)

- No utilizan chimenea.
- Se construyen en centros de producción especializados en serie
- El usuario no participa en la fabricación.
- Se colocan en el suelo, sobre una mesa, sobre un poyo.
- Se venden listas para usarse. No hay montaje.
- El precio depende del tipo de material de fabricación.

Estufas de plancha armada metálica

- Utiliza una base de blocks de construcción.
- La caja de fuego se construye con ladrillos de barro cocido.
- El mortero para juntas de blocks y ladrillos se fabrica con cemento, cal y arena de río.
- La plancha metálica se fabrica en talleres especializados. Los comercios venden la plancha con los accesorios metálicos: compuerta y regulador.
- La construcción de base y caja de fuego requiere mano de obra de un albañil especializado.
- Utiliza chimenea de lámina galvanizada.
- El mantenimiento requiere la participación de albañil y materiales dedicados a una reparación especial.
- Requiere de apoyo de mano de obra del usuario considerada como “mano de obra no calificada.”

Estufas de plancha armada portátil

- Se fabrica enteramente de metal.
- Utiliza ladrillos de barro cocido para aislamiento de la caja de fuego.
- Utiliza chimenea de lámina galvanizada.
- El precio se fija en los centros de producción y venta.
- El usuario arma el aislamiento en el lugar de uso de acuerdo al manual entregado en la venta.

Estufas mixta comercial

- Utiliza materiales especializados en su fabricación.
- No se dispone de información de costos de fabricación y precio de venta.

Tabla VI **Costos de fabricación y construcción de una estufa ahorradora**

| No | Tipo de estufa | Unidades de mercancías requeridas | | | | | | | | | | | | | Precio Q | | |
|----|--------------------------|-----------------------------------|---|---|---|----|----|---|---|-----|----|-----|----|----|----------|--|------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | | | |
| 1 | Metálicas convencionales | 1500 | | | | | | | | | | | | | | | 11,400.00 |
| 2 | Lorena | | | 3 | 2 | | | 3 | | 1 | 10 | 1 | | | | | 637.08 |
| 3 | Ceta | | | | | | | | | | | | ND | | | | ND |
| 4 | Chefina | | | | | | | | | | | | | ND | | | +637.80 |
| 5 | Rocket | | | | | | | | | | | | | | | | ND |
| 6 | Plancha armada | | 4 | 2 | 3 | 80 | 30 | 3 | 1 | 0.5 | | 0.5 | | | | | 1,933.80 |
| 7 | Plancha armada portátil | | | | | | | | | | | | | | | | 1,350.00 |
| 8 | Mixta comercial | | | | | | | | | | | | | | | | ND |

FUENTE: Investigación de campo marzo de 2007

Discusión de la tabla VI

Tipo de Estufa: se refiere a los prototipos identificados en el anexo 1 páginas 57, 58 y 59 de este trabajo.

Unidades de mercancías requeridas: se refiere a los numerales identificados en la tabla A1.1 de este trabajo.

Precio: Es la sumatoria de los costos promedio de acuerdo a las unidades de mercancía identificados incluyendo el 20 % de utilidad sobre éstos. Está reportada en Quetzales / unidad. No se consideró el numeral 14 “Participación en un curso de capacitación”, debido a la variación que significa dar el curso en grupo, en un área cercana o en un área rural. Este valor deberá ser agregado cuando se tenga establecido.

Casos de algunos tipos de estufas

- Las estufas metálicas convencionales tienen asignado un valor promedio. Unos modelos de lujo pueden tener valores más altos según listados internacionales.
- En general los tipos de estufas portátiles tipo Rocket, Estrella y otros que la historia refiere, desaparecieron del mercado.
- La estufa Mixta Comercial no se le pudo asignar un precio por no contar con información reciente.
- A la Estufa Chefina, se le asigna un valor similar a la Lorena, a la que se le deberá agregar el valor de las piezas prefabricadas no disponibles.
- Los valores determinados guardan congruencia con el grado de complejidad de la tecnología y el uso de recursos importados.

Figura 02 **Estufa ahorradora prefabricada. Dimensiones y utilidad**



Figura 03 **Panorámica de la estufa ahorradora. Ilustra capacidad y consumo de leña**



Figura 04 **Estufa ahorradora metálica portátil. Ilustra uso de recuperador de calor**



Figura 05 **Fábrica de estufas ahorradoras metálica. Ilustra la producción masiva**



Figura 06 **Revistas internacionales. El uso de leña y el barro como novedad**



Figura 07 **Modelo de estufa de leña integral. Estufa, calentador de agua y extractor de olores**

