



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERU

Facultad de Ciencias e Ingeniería



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

ESTUDIO DE COCINAS MEJORADAS EMPLEANDO LEÑA Y BOSTA COMO COMBUSTIBLE

Tesis para optar al título de Ingeniero Mecánico, que presenta el bachiller:

Harold Javier Alvarez Pablo

ASESOR: Miguel Ángel Hadzich Marín

Lima, mayo del 2009

RESUMEN

El presente trabajo de tipo teórico – experimental es el estudio del funcionamiento y rendimiento de las cocinas mejoradas domesticas localizadas en zonas rurales que emplean biomasa como combustible siendo principalmente la leña y en menor proporción la bosta de vaca. Se tiene el objetivo de desarrollar un modelo de cocina mejorada que sea energéticamente eficiente, socialmente aceptada y de una baja emisión de gases contaminantes.

El trabajo realizado comprendió la construcción de 5 prototipos de cocinas mejoradas de adobe; la evaluación de rendimientos en los 5 prototipos de cocinas mejoradas mediante el Test Estándar de Ebullición de Agua obteniéndose resultados de: eficiencia térmica, potencia promedio y ahorro de combustible; la evaluación del nivel de contaminación de aire mediante el monitoreo de monóxido de carbono (ppm) presente en el ambiente interior donde se cocina durante la cocción.

Después de una primera etapa de evaluación de los cinco prototipos iniciales se seleccionó uno en base a los índices de rendimientos obtenidos, posteriormente al prototipo seleccionado se le realizaron modificaciones en sus dimensiones con el objetivo de mejorar la transferencia de calor por radiación y convección esto se verificó en la segunda etapa de evaluación.

Se logró un modelo de cocina mejorada que cumplió con los requerimientos establecidos en base a la encuesta realizada, alcanzando una eficiencia térmica de 30%, una potencia promedio de 2.93 kW y un ahorro de combustible de 42% respecto a una cocina tradicional. Además se logró reducir el nivel de contaminación de aire interior a un valor promedio de emisión de monóxido de carbono de 3.9 ppm.

El modelo seleccionado se compone de una cámara de combustión tipo Rocket o “L”, tiene una distancia entre el lecho de combustible – base de la olla principal de 220 mm y una distancia radial olla – pared interior de la cocina de 10 mm esto tanto para la olla principal y secundaria.

El balance final de energía del modelo seleccionado mostró una gran pérdida de energía a través de las paredes interiores de la cocina y a través de los gases calientes que escapan por la chimenea, representando aproximadamente el 40.6 % (4.03 kW) y el 29.4% (2.90 kW) de la energía entregada por la llama respectivamente.

Se deja para un estudio posterior la influencia de los rendimientos de la cocina mejorada a causa del aislamiento de la cámara de combustión además de adecuar sistemas de aprovechamiento de la energía de los gases calientes que escapan por la chimenea.



TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TÍTULO : ESTUDIO DE COCINAS MEJORADAS EMPLEANDO LEÑA Y BOSTA COMO COMBUSTIBLE
ÁREA : Energía # 264
PROPUESTO POR : Ing. Miguel Hadzich
ASESOR : Ing. Miguel Hadzich
TESISTA : Harold Javier Alvarez Pablo
CÓDIGO : 19997261
FECHA : 10 de octubre de 2007

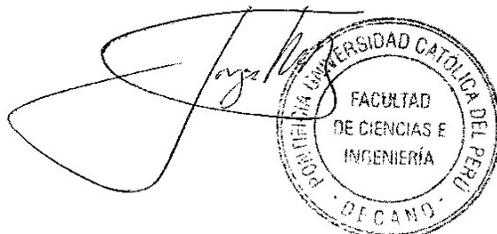
DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS:

El objetivo de esta tesis es determinar un modelo de cocina mejorada que se adapte según la necesidad de cada familia, a la zona en donde habitan, a la capacidad económica, a sus costumbres al cocinar, etc.

Una buena aplicación de esta tecnología conlleva al ahorro en el consumo de combustible, menor tiempo empleado en la cocción de alimentos y a la disminución de problemas respiratorios.

Para esto se debe realizar un estudio del funcionamiento entre los diferentes modelos de cocinas mejoradas, similares a las que se emplean en diversas comunidades de nuestro país donde se emplean la leña y bosta como combustible. Esto permitirá identificar algunos parámetros o características que influyen en el rendimiento de la cocina, así como su utilización.

Los resultados obtenidos ayudarán al usuario a conocer los comportamientos de las cocinas mejoradas en una situación real en la cocción de alimentos. Esto permitirá la selección de la cocina mejorada que se adapte, principalmente, a las necesidades locales basándose en la comparación de los aspectos técnico, constructivo y social.



05-03-09



TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

**ESTUDIO DE COCINAS MEJORADAS EMPLEANDO
LEÑA Y BOSTA COMO COMBUSTIBLE**

PLAN DE TESIS

Esquema:

1. Factores que influyen en el funcionamiento de una cocina a leña.
2. Metodología de las pruebas.
3. Desarrollo de pruebas.
4. Análisis y comparación de resultados.

Planos

Conclusiones

Bibliografía

Anexos

Ing. Miguel Hadzich Marín
Asesor

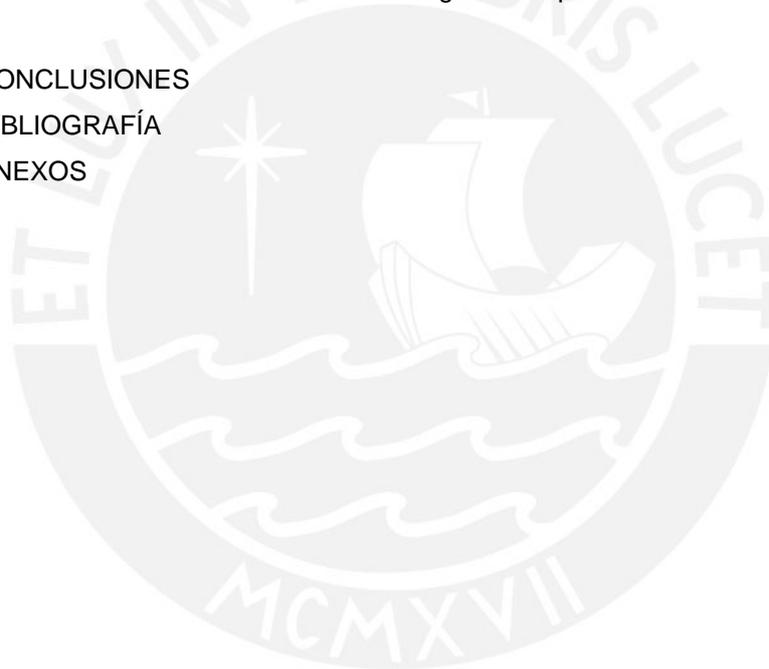
DANTE CUIAS

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN		1
CAPITULO 1	FACTORES QUE INFLUYEN EN EL FUNCIONAMIENTO DE UNA COCINA MEJORADA A BIOMASA	3
1.1	Combustible	3
1.1.1	Poder Calorífico	3
1.1.2	Contenido de humedad	4
1.1.3	Composición	5
1.2	Combustión	7
1.2.1	Proceso de combustión de la leña	8
1.3	Aire de combustión	11
1.3.1	Relación aire – combustible	11
1.3.2	Cantidad teórica de aire	13
1.3.3	Determinación del exceso de aire en la combustión	15
1.4	Mecanismos de transferencia de calor	18
1.4.1	Radiación	18
1.4.2	Convección	22
1.4.3	Conducción	24
1.5	Partes principales de la cocina mejorada	25
1.5.1	Cámara de combustión	25
1.5.2	Parrilla	27
1.5.3	Chimenea	29
1.6	Otros factores que influyen en el funcionamiento	31
1.6.1	Condiciones ambientales	31
CAPITULO 2	METODOLOGÍA DE LAS PRUEBAS	34
2.1	Importancia de las pruebas	34
2.2	Protocolo empleado	35
2.3	Equipo e instrumentación empleado en la PEA	37
2.4	Equipo e instrumentación adicional empleado en la PEA	37
2.5	Procedimiento de evaluación	39
2.6	Fases en la PEA	40
2.6.1	Fase de alta potencia – Inicio en frío	40
2.6.2	Fase de alta potencia – Inicio en caliente	41
2.6.3	Fase de alta potencia – Ebullición a fuego lento	42

2.7	Variables empleadas en la PEA - Fase alta potencia	43
2.7.1	Variables directamente medidas	43
2.7.2	Variables calculadas	43
2.7.3	Variables frecuentes	44
2.7.4	Descripción de cálculos	44
2.7.5	Observaciones	47
CAPITULO 3	DESARROLLO DE LAS PRUEBAS	49
3.1	Objetivo	49
3.2	Descripción de los modelos evaluados	49
3.3	Descripción de parámetros de funcionamiento	52
3.4	Evaluación de los modelos propuestos	54
3.4.1	Objetivos	54
3.4.2	Procedimiento	54
3.4.2.1	Primera etapa de evaluación	54
3.4.2.2	Segunda etapa de evaluación	55
3.4.2.3	Tercera etapa de evaluación	55
3.4.3	Matriz de resultados primera etapa de evaluación	57
3.4.3.1	Gráficas comparativas de resultados	58
3.4.3.2	Observaciones	59
3.4.4	Matriz de resultados segunda etapa de evaluación	60
3.4.4.1	Gráficas comparativas de resultados	61
3.4.4.2	Observaciones	62
3.4.5	Resultados tercera etapa de evaluación	63
3.4.5.1	Monitoreo del nivel de contaminación	63
3.4.5.2	Observaciones	63
3.5	Pruebas de Ebullición de Agua en el modelo objetivo de cocina mejorada empleando bosta como combustible	64
3.5.1	Objetivo	64
3.5.2	Procedimiento	64
3.5.3	Matriz de resultados	65
3.5.4	Observaciones	66
3.6	Dimensionamiento del modelo objetivo de cocina mejorada	66
3.6.1	Sección de la chimenea	66
3.6.2	Altura de la chimenea	67
3.7	Tiro de la chimenea	67
3.7.1	Cálculo aproximado del tiro de la chimenea	67
3.7.2	Medición del tiro de la chimenea	68

3.8	Balance energético del modelo objetivo de cocina mejorada	68
3.8.1	Objetivo	68
3.8.2	Balance energético	70
3.8.2.1	Distribución de la energía producida en la combustión	70
3.8.2.2	Balance de energía de ganancias y pérdidas	77
3.9	Determinación del exceso de aire del modelo objetivo de cocina mejorada	78
3.10	Eficiencia de la combustión	79
CAPITULO 4	ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS	81
4.1	Resultados de la primera etapa de evaluación	81
4.2	Resultados de la segunda etapa de evaluación	85
	CONCLUSIONES	88
	BIBLIOGRAFÍA	90
	ANEXOS	A1 – A15



LISTA DE SIMBOLOS

H_{CAM}	: Altura del lecho de combustible a base de la olla principal (mm).
G_{1-2}	: Distancia radial entre sup. exterior ollas y sup. interior cocina (mm).
L_{1-2}	: Profundidad de alojamiento de las ollas en la cocina (mm).
A_{CHIM}	: Sección de la chimenea (cm ²).
$A_{LEÑA}$: Sección transversal de leña empleada en la combustión (cm ²).
d	: Diámetro interior de la chimenea (mm).
Z	: Tiro de la chimenea (pa).
Q_1	: Energía producida por la combustión de leña húmeda (kW).
Q_2	: Energía perdida por de humedad en la leña (kW).
Q_3	: Energía perdida en los residuos de carbón (kW).
Q_4	: Energía ganada por el agua de olla principal (kW).
Q_5	: Energía ganada por el agua de olla secundaria (kW).
Q_6	: Energía ganada por evaporación de agua de olla principal (kW).
Q_7	: Energía ganada por evaporación de agua de olla secundaria (kW).
Q_8	: Energía perdida en los gases de combustión (kW).
Q_9	: Energía en el cuerpo de la cocina (kW).
$m_{ag,1}$: Masa agua olla principal (kg).
$m_{ag,2}$: Masa agua olla secundaria (kg).
Δc	: Masa de carbón producido durante la combustión (kg).
$m_{ev,1}$: Masa agua evaporada en olla principal (kg).
$m_{ev,2}$: Masa agua evaporada en olla secundaria (kg).
m_{comb}	: Masa de combustible (kg).
m_{cen}	: Masa de cenizas por kg de combustible (kg).
m_{at}	: Masa de aire teórico por kg de combustible (kg).
f_m	: Masa de leña húmeda consumida (kg).
f_d	: Masa de leña seca equivalente consumida (kg).
w_v	: Masa total de agua evaporada al final de la fase (kg).
w_r	: Masa de agua remanente al final de la fase (kg).
\dot{m}_g	: Flujo de masa de gases de combustión (kg/s).

- ΔT_1 : Diferencia de temperatura en olla principal hasta ebullición ($^{\circ}\text{C}$).
 ΔT_2 : Diferencia de temperatura en olla secundaria ($^{\circ}\text{C}$).
 ΔT_g : Diferencia de temperatura de los gases de combustión.
 T_{mg} : Temperatura media de los gases de combustión.
 C_{Pag} : Calor específico de agua ($\text{kJ/kg } ^{\circ}\text{C}$).
 C_{Lev} : Calor latente de evaporación de agua (kJ/kg).
 C_{Pg} : Calor específico de los gases de combustión ($\text{kJ/kg } ^{\circ}\text{C}$).
 \dot{V}_g : Caudal de gases de combustión (m^3/s).
 ρ_g : Densidad de gases de combustión (kg/m^3).
 Δp_g : Diferencia de presión en la chimenea (Pa).
 α : Coeficiente de descarga de la chimenea.
 e_a : Coeficiente de exceso de aire teórico.
 PC : Poder calorífico inferior de leña (kJ/kg).
 m : Cantidad de humedad (% base húmeda).
 t_{eb} : Duración de PEA hasta ebullición (min).
 t_{eb}^T : Duración de PEA hasta ebullición corregido por temperatura (min).
 n_{comb} : Eficiencia de combustión.
 n : Eficiencia térmica.
 V_{comb} : Velocidad de combustión (g/min).
 CE : Consumo específico de combustible (g/l).
 CE^T : Consumo específico de combustible corregido por temperatura (g/l).
 FP : Potencia del fuego (kW).
 P : Potencia promedio (kW).
 \dot{Q}_R : Energía emitida por radiación (W).
 σ : Constante de Stefan – Boltzmann ($\text{W/m}^2 \text{K}^4$)
 F_{12} : Factor de forma radiante.
 \dot{Q}_{CV} : Flujo de energía térmica transferida por convección, W .
 α_C : Coeficiente de convección, $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$
 \dot{Q}_{CD} : Flujo de energía térmica transferida por conducción, W .
 k : Conductividad térmica, $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$.
 L : Espesor de la pared de la olla, m .

INTRODUCCIÓN

En el Perú, la leña es el segundo combustible, después del gas, más usado en los hogares para la cocción de alimentos, representando el 32.6% del total de hogares que usan este tipo de combustible.

Sin embargo, el tiempo empleado para la recolección de esta fuente de energía es significativo para los miembros de la familias que recortan su tiempo en otras labores tales como el trabajo diario en sus tierras.

Si bien en las zonas rurales la biomasa se presenta como la principal fuente disponible de energía alternativa y de bajo costo frente a la ausencia o precio de combustibles más limpios tales como el gas o el kerosene para la cocción de sus alimentos, los miembros de las familias presentan diversas enfermedades en el sistema respiratorio y en otros casos cataratas a causa de la contaminación de humo en el interior de sus hogares.

Esto debido a que en las cocinas tradicionales, utilizadas en muchos hogares hasta ahora, la combustión se realiza de forma ineficiente y en ambientes con poca ventilación exponiendo diariamente a los usuarios y a los miembros de la familia a partículas suspendidas y gases contaminantes, siendo los más representativos el monóxido de carbono y los hidrocarburos.

Por esta razón tomando como referencia las estadísticas nacionales y teniendo como base lo observado en la encuesta realizada por el Grupo de Apoyo al Sector Rural – PUCP en las comunidades rurales de Cusco y Arequipa, se considera importante desarrollar un modelo de cocina mejorada que sea energéticamente eficiente, socialmente aceptada y de una baja emisión de gases contaminantes.

El trabajo desarrollado de tipo teórico experimental comprende la identificación de las necesidades y requerimientos de los usuarios, los recursos disponibles en la zona rural, la identificación de los factores que influyen en el proceso de combustión y rendimiento de la cocina mejorada, la metodología de evaluación en base a protocolos estándar, desarrollo de las pruebas experimentales en los prototipos de cocinas mejoradas construidas, comparación de resultados tanto en el aspecto técnico como en el nivel de contaminación, balance de energía del modelo con mejores índices de rendimiento.



CAPITULO PRIMERO

FACTORES QUE INFLUYEN EN EL FUNCIONAMIENTO DE UNA COCINA A BIOMASA

Los principales parámetros que ejercen una mayor influencia en el proceso de transferencia de energía y rendimiento de las cocinas a biomasa son:

1.1 El combustible

En el Perú, la biomasa empleada por la mayoría de hogares en el sector rural para sus labores domésticas, principalmente en la cocción de alimentos, es la leña y en menor escala la bosta de vaca [Ref.1], por esta razón se dará mayor énfasis a las características de la leña, siendo el eucalipto la especie usada en las pruebas. Los valores más importantes para evaluar la biomasa como combustible son su poder calorífico y su contenido de humedad.

1.1.1 Poder calorífico

Se distinguen dos poderes caloríficos que son normalmente expresados ya sea como poder calorífico bruto, también llamado poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico neto, también llamado poder calorífico inferior (PCI).

El poder calorífico superior (PCS) es definido como el calor liberado que se obtiene cuando toda el agua resultante en los productos de la combustión es líquida.

El poder calorífico inferior (PCI) es definido como el calor liberado que se obtiene cuando toda el agua resultante en los productos de la combustión es gaseosa.

La diferencia entre el PCS y PCI, es igual al calor de condensación del vapor de agua resultante de la combustión del hidrógeno del combustible. Esta relación puede considerarse aproximadamente [Ref.2]:

$$PCI = 0.9 PCS \quad (1.1)$$

Dado que en la combustión el agua resultante en los productos sale en forma de vapor, para usos de diseño y evaluación de cocinas mejoradas en los cálculos se usará el poder calorífico inferior (PCI).

1.1.2 Contenido de humedad

El contenido de humedad puede ser expresado ya sea como un porcentaje de la masa total de leña húmeda o como un porcentaje de la masa de la leña secada en horno, se tiene:

$$\% \text{ Humedad}_{\text{Base húmeda}} = \frac{\text{agua (Kg)}}{\text{leña húmeda (Kg)}} \times 100\% \quad (1.2)$$

$$\% \text{ Humedad}_{\text{Base seca}} = \frac{\text{agua (Kg)}}{\text{leña seca (Kg)}} \times 100\% \quad (1.3)$$

El contenido de humedad afecta en gran medida al poder calorífico del combustible, además afecta su facilidad de combustión.

Se presenta los valores de poder calorífico y humedad del combustible empleado en los ensayos:

Tabla 1.1: Poder calorífico y humedad de la leña empleada en las pruebas [Ref.3]

Ensayo	Leña (especie eucalipto)	Método de ensayo
Poder calorífico (base húmeda)	4076.2 cal/g	ASTM D 2015
Humedad (base húmeda)	12.74%	ASTM D 3173

Tabla 1.2: Poder calorífico y humedad de la bosta empleada en las pruebas [Ref.4]

Ensayo	Bosta (base húmeda)	Método de ensayo
Poder calorífico (base húmeda)	3829.0 cal/g	ASTM D 2015
Humedad (base húmeda)	12.36%	ASTM D 3173

1.1.3 Composición

Para determinar la composición de la biomasa, es necesario realizar dos exámenes: el análisis elemental y el análisis inmediato.

- a. Análisis elemental: Es un análisis químico, la leña es un combustible sólido cuya composición varía considerablemente según su tipo. Para los cálculos de combustión la composición de la leña se expresa habitualmente como análisis elemental. Este tipo de análisis elemental da la composición en base másica en términos de las cantidades relativas de los elementos químicos (carbono, azufre, hidrógeno, nitrógeno y azufre) y ceniza.
- b. Análisis inmediato: Es un análisis físico, determina la cantidad de carbono fijo, material volátil, ceniza, humedad.

Se presenta los resultados referenciales del análisis elemental y análisis inmediato de una muestra de leña, especie eucalipto:

Tabla 1.3a: Análisis elemental de leña, especie eucalipto [Ref.5]

Análisis elemental ⁽¹⁾		
Base de análisis	%	Método de ensayo
Carbono	38.98	ASTM D 3178
Hidrógeno	6.98	ASTM D 3178
Nitrógeno	0.09	ASTM D 3179
Azufre	0.05	ASTM D 3177
Oxígeno	53.41	⁽²⁾
Cenizas	0.49	ASTM D 3174

⁽¹⁾ Resultados en base recibida.

⁽²⁾ Obtención por diferencia.

Tabla 1.3b: Análisis inmediato de leña, especie eucalipto [Ref.5]

Análisis inmediato ⁽¹⁾		
Base de análisis	%	Método de ensayo
Carbón fijo	11.8	ASTM D 3172
Materia volátil	68.7	ASTM D 3175
Ceniza	0.49	ASTM D 3174
Humedad	19.1	ASTM D 3173

⁽¹⁾ Resultados en base recibida

Se presenta los resultados referenciales del análisis elemental y análisis inmediato de una muestra de bosta de vaca:

Tabla 1.4a: Análisis elemental de bosta de vaca [Ref.6]

Análisis elemental ⁽¹⁾		
Base de análisis	%	Método de ensayo
Carbono	42.7	ASTM D 3178
Hidrógeno	5.5	ASTM D 3178
Nitrógeno	2.4	ASTM D 3179
Azufre	0.3	ASTM D 3177
Oxígeno	31.3	⁽²⁾
Cenizas	17.8	ASTM D 3174

⁽¹⁾ Resultados en base recibida.

⁽²⁾ Obtención por diferencia.

Tabla 1.4b: Análisis inmediato de bosta de vaca [Ref.7]

Análisis inmediato		
Base de análisis	%	Método de ensayo
Carbón fijo	15.20	ASTM D 3172
Materia volátil	59.23	ASTM D 3175
Ceniza	13.21	ASTM D 3174
Humedad	12.36	ASTM D 3173

⁽¹⁾ Resultados en base recibida.

En base a los resultados:

- Los valores obtenidos en el análisis elemental ayudarán a determinar la cantidad de masa teórica de aire por masa de combustible en la combustión.
- Los valores obtenidos en el análisis inmediato ayudarán a determinar el coeficiente de exceso de aire teórico y la eficiencia de combustión.

Aunque las densidades específicas de la leña pueden variar notoriamente, experimentalmente su poder calorífico por kilo no.

La densidad de la leña no afecta apreciablemente la eficiencia de la cocina, sin embargo para obtener la misma cantidad de energía se necesitará un mayor volumen (pero aproximadamente la misma masa) de leña o de otro combustible de de menor densidad como la bosta.

Se observó en la ejecución de las Pruebas de Ebullición de Agua ([Capítulo 3](#)), que para una misma cámara de combustión al emplear la bosta de vaca, la alimentación de combustible fue realizada con mayor frecuencia, esto en parte a causa de la menor densidad de la bosta (0.22 g/cm^3) respecto de la leña (0.88 g/cm^3) siendo muestras de combustible con un similar porcentaje de humedad ([Tabla 1.1](#), [Tabla 1.2](#)).

1.2 La combustión.

La combustión de biomasa es un proceso complejo, su estudio involucra cambios químicos y físicos así también los mecanismos de transferencia de calor de conducción, convección y radiación. Dada la complejidad del proceso de combustión, la tesis se limita a dar una breve descripción de los cambios mencionados.

Los resultados empíricos del proceso de combustión ayudarán a desarrollar un modelo real del proceso. Es por esto que las mediciones experimentales del rendimiento y comportamiento de la cocina a biomasa son necesarias y serán vistas con más detalle en el [Capítulo 3](#).

Se debe tener en cuenta que una combustión incompleta representa menos del 10% [Ref.8] de la energía perdida en la cocina. Es por esto que mejorar la combustión en la cocina tiene más importancia en el objetivo de la reducción de los problemas de salud a causa del humo que teniendo como objetivo aumentar la eficiencia total de la cocina.

El valor térmico de la biomasa radica en su proporción de gases de combustión que es aprovechada en la cámara de combustión antes de dejarlos salir como humo. Por lo tanto se puede decir que en la combustión, no es tanto la leña que se quema sino los gases que libera.

1.2.1 Proceso de combustión de la leña

En las reacciones de la combustión, la oxidación rápida de los elementos reactivos del combustible trae como consecuencia la liberación de energía al formarse los productos de la combustión. Los tres elementos más importantes en los combustibles habituales son: el carbono, hidrógeno y el azufre. En general, el azufre contribuye poco a la energía liberada pero es la causa de problemas importantes de contaminación y corrosión.

La leña contiene dos elementos combustibles: carbono e hidrógeno. La combustión se da cuando la leña se calienta, causando que estas sustancias y sus derivadas escapen en forma de gases y se mezclen con el oxígeno del aire.

Este proceso es muy complicado pero se puede descomponer en las siguientes etapas:

- La leña se calienta alrededor de los 100°C [Ref.9] y el agua contenida es evaporada de la leña o migra a lo largo de los hilos hacia las áreas más frías y recondensa. Mientras más alto sea el contenido de humedad de la leña, mayor será esta etapa inicial dando como consecuencia la pérdida de energía.

- A medida que la temperatura aumenta alrededor de los 150°C [Ref.9] empieza la descomposición de la leña, la salida de gases empieza y el alquitrán semilíquido empieza a aparecer, la leña arde seguida de un fuerte olor. Esta etapa debe ser evitada manteniendo una llama constante.

La descomposición se hace más notable a partir de los 225°C alcanzando un pico alrededor de los 300°C [Ref.9], sobre esta temperatura la leña es gradualmente transformada en brasas y los volátiles producidos por esta descomposición pueden escapar como humo o pueden recondensarse dentro de la leña lejos de la zona calentada.

La transferencia de calor dentro de la leña se produce principalmente por conducción, mientras los volátiles que salen de la zona calentada llevan una parte de calor por convección.

- A medida que los volátiles salen de la madera, estos se mezclan con oxígeno y alrededor de los 550°C [Ref.10] prenden fuego que produce una flama amarilla sobre la leña. Aunque el calor por radiación de la flama representa menos del 14% [Ref.10] de la energía total de la combustión, esta es importante para mantener la combustión.

Una parte del calor por radiación de esta flama alcanza la leña, calentándola y fomentando su descomposición, causando que la leña suelte más volátiles que se quemarán, cerrando así el ciclo. Por lo tanto se puede decir que la velocidad de combustión depende de la velocidad a la cual se suelten los volátiles.

Piezas muy pequeñas de leña, tienen una mayor área superficial para absorber calor por radiación de la llama comparado con las pequeñas distancias a través del cual el calor y los volátiles deben pasar dentro de la leña, es así que los volátiles escapan con mayor facilidad. Sucede lo contrario para piezas gruesas de leña debido a la gran masa que debe ser calentada.

En la ejecución de las pruebas se observó una mayor velocidad de combustión de leños con menor área transversal comparada con leños más gruesos. Es por esto que de preferencia para el encendido se debe usar trozos de leña tan pequeños como sea posible.

La temperatura de la flama soltada durante la combustión esta alrededor de los 800°C [Ref.11] y está limitada por las pérdidas de calor por radiación y por la mezcla con el aire frío del ambiente.

A medida que los volátiles aumentan, estos reaccionan con otras moléculas volátiles formando hollín y humo, simultáneamente se queman a medida que éstos se mezclen con el oxígeno.

Si un objeto frío tal como una olla es colocada muy cerca del fuego, lo enfriará y detendrá la combustión de una parte de esos volátiles, dejando un denso humo negro. En términos generales, los volátiles calientes representan alrededor de 2/3 [Ref.12] de la energía liberada del fuego de la leña. El carbón dejado atrás representa la tercera parte restante.

Dado que los volátiles son liberados siempre que la leña esté caliente, al cerrar el suministro de aire se detiene sólo la combustión, aunque la intensidad del fuego se reduce, la leña sigue siendo consumida mientras que esta esté caliente, liberando volátiles sin quemar como humo, dejando carbón.

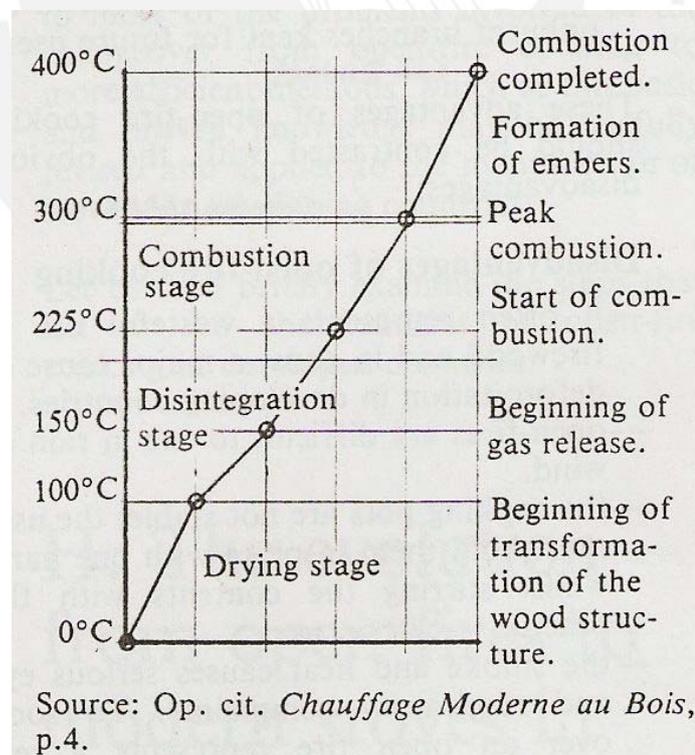


Figura 1.1: Etapas del proceso de combustión de la leña [Ref.13].

1.3 Aire de combustión

El oxígeno es necesario en toda reacción de combustión, en la mayoría de las aplicaciones de la combustión es el aire el que proporciona el oxígeno necesario. Para los cálculos de combustión se usarán las siguientes consideraciones:

- Todos los componentes del aire distintos del oxígeno y del nitrógeno se incluirán en el nitrógeno. Se considerará entonces que el aire esta compuesto de 21% de oxígeno y un 79% de nitrógeno en base molar, teniéndose una relación molar entre nitrógeno y oxígeno de $0.79/0.21 = 3.76$. Esto quiere decir que el aire al suministrar oxígeno en una reacción de combustión, cada mol de oxígeno va acompañado de 3.76 moles de nitrógeno. El aire considerado aquí no contiene vapor de agua. Cuando el aire presente en la combustión es húmedo, al escribir la ecuación de combustión se debe considerar el vapor de agua presente.
- Se asumirá que el nitrógeno presente en el aire de combustión no reacciona, es decir el nitrógeno se considera inerte.

1.3.1 Relación aire – combustible

El objetivo fundamental de la combustión es el de conseguir la oxidación total del carbono y del hidrógeno para formar el dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O) con lo cual se produce la máxima energía en forma de calor y se evita efectos contaminantes.

Se puede clasificar a la combustión desde el punto de vista de la calidad de sus productos, se considera los siguientes tipos de combustión:

- Combustión estequiométrica.
- Combustión completa (con exceso de aire).
- Combustión incompleta (con defecto de aire).
- Combustión imperfecta.

- a. Combustión estequiométrica: Este tipo de combustión se consigue mezclando y quemando las cantidades exactamente requeridas de combustible y oxígeno, los cuales se queman en forma completa y perfecta. Sin embargo este tipo de combustión está limitada a condiciones físicas y químicas. Este tipo de combustión se plantea para realizar cálculos teóricos de la combustión, en función de la composición del combustible y el comburente empleados.
- b. Combustión completa con exceso de aire: Para obtener una combustión completa, es decir sin la presencia de CO (monóxido de carbono) en los humos de la chimenea, es necesario emplear una proporción de oxígeno superior a la teórica.
De ser muy grande el porcentaje de exceso de aire provocará una disminución de la temperatura máxima posible al aumentar la cantidad de gases de combustión.
- c. Combustión incompleta con defecto de aire: Cuando la cantidad de oxígeno presente en la combustión no alcanza el valor teórico necesario para la formación de CO_2 , H_2O la combustión es incompleta, apareciendo en los gases de combustión el monóxido de carbono, hidrógeno, y partículas sólidas de carbono, azufre o sulfuros.
Dado que estos componentes de los gases que se eliminan a la atmósfera contienen aún contenido calorífico, se debe evitar pérdidas de energía por una combustión incompleta.
- d. Combustión imperfecta: Se produce una combustión imperfecta cuando pese a existir exceso de aire, no se completan las reacciones de combustión, apareciendo en los humos de chimenea, productos de combustión incompleta, tales como combustible sin quemar, residuos de combustibles sin oxidar, partículas sólidas, etc. Este tipo de combustión puede producirse debido a las siguientes causas:
- Una elevada carga térmica en la cámara de combustión, es decir la relación entre la potencia calorífica y el volumen de la cámara de combustión, ya que existe poco tiempo de permanencia.

- Disminución de la temperatura de la llama, esto puede suceder cuando la mezcla aire combustible incide sobre superficies relativamente frías, como las paredes internas de la cámara de combustión.
- Cuando se trabaja con un gran exceso de aire.
- La escasa turbulencia, existiendo por lo tanto una deficiente mezcla aire-combustible.
- Tiempo muy corto de permanencia de los gases de combustión en la cámara de combustión.

Según lo observado en la ejecución de las Pruebas de Ebullición de Agua ([Capítulo 3](#)), la combustión imperfecta es el tipo de combustión que más se ajusta a la realidad en las cocinas mejoradas.

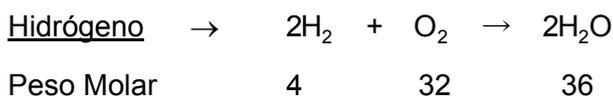
En la medida que se mejore la combustión imperfecta aproximándose a las condiciones teóricas de combustión completa con mínimo exceso de aire, se logrará mejores rendimientos y se evitará efectos contaminantes.

1.3.2 Cantidad teórica del aire

Se determinará la cantidad teórica de aire para la combustión completa por kg de biomasa tomando como referencia los valores del análisis elemental. De las ecuaciones de combustión perfecta se tiene:



$$\text{Aire teórico} \rightarrow \frac{32 \text{ kg O}_2 + (0.79/0.21)(28 \text{ kg N}_2)}{12 \text{ kg C}} = 11.44 \frac{\text{kg aire}}{\text{kg carbono}}$$



$$\text{Aire teórico} \rightarrow \frac{32 \text{ kg O}_2 + (0.79/0.21)(28 \text{ kg N}_2)}{4 \text{ kg H}_2} = 34.3 \frac{\text{kg aire}}{\text{kg hidrógeno}}$$



Peso Molar 32 32 64

$$\text{Aire teórico} \rightarrow \frac{32 \text{ kg O}_2 + (0.79/0.21)(28 \text{ kg N}_2)}{32 \text{ kg H}_2} = 4.29 \frac{\text{kg aire}}{\text{kg azufre}}$$

Para el cálculo del aire teórico se tienen las siguientes consideraciones:

- Al ser una combustión perfecta, no existe CO como producto.
- El nitrógeno es un elemento del aire que no entra en reacción.
- El oxígeno se encuentra en la biomasa formando parte de la humedad, por lo que en la combustión aparecerá como vapor de agua.
- No se considera la formación de productos intermedios.

Dadas las consideraciones anteriores se obtiene la ecuación de la cantidad de aire estequiométrico requerido:

$$\text{Aire teórico: } 11.44 \text{ C} + 34.3 \text{ H}_2 - 4.3 \text{ O}_2 + 4.3 \text{ S} \frac{\text{kg aire}}{\text{kg combustible}} \quad (1.4)$$

Donde C, H₂, O₂ y S son los contenidos de carbón, hidrógeno, oxígeno y azufre obtenidos en el análisis elemental (Tabla 1.3a). Por lo tanto al reemplazar los valores respectivos, para 1 kg de leña se requiere:

Tabla 1.5: Relación de aire estequeométrico por kg de leña

Combustible	Masa de Aire (kg)	Volumen de aire (m ³)
Leña	4.56	3.79

Se tomó la densidad del aire $\rho = 1.2045 \text{ kg/m}^3$ según condiciones ambientales del lugar de las pruebas: temperatura ambiente a 20°C y presión atmosférica a nivel del mar $P_0 = 995.1$ milibares.

1.3.3 Determinación del exceso de aire en la combustión

El exceso de aire se puede calcular despejando la ecuación en los productos de combustión [Ref.14]:

$$\dot{m}_g = (m_{at} \cdot e_a + m_{comb} - m_{cen}) \cdot V_{comb} \quad (1.5)$$

Donde:

- \dot{m}_g : Flujo de masa de los productos gaseosos de la combustión (kg/s).
- m_{at} : Peso de aire teórico por kg de combustible (kg).
- e_a : Coeficiente de exceso de aire teórico.
- m_{comb} : Peso de combustible (kg).
- m_{cen} : Peso de cenizas por kg de combustible (kg).
- V_{comb} : Velocidad de combustión (kg/s).

Para hallar el flujo de masa de los productos gaseosos de la combustión, primero se deberá hallar el caudal de gases a través de la chimenea, para esto se emplearán los siguientes equipos:

- Tubo de pitot (Fig.1.2a).
- Micromanómetro de Betz, rango de 0-250 kgf/m² (Fig.1.2b).



Figura 1.2a: Tubo de Pitot colocado en chimenea

La norma indica que la toma de medidas de la temperatura y del tiro/presión debe realizarse a una distancia de $2.15d$ y $2d$ respectivamente tomando como referencia la base de la chimenea, siendo d el diámetro interno de la chimenea. El punto de medición del tubo de pitot se colocará en el eje central de la chimenea.

Para determinar el caudal de gases a través de la chimenea se aplicará la ecuación de Bernoulli [Ref.16]:

$$\dot{V}_g = \alpha \cdot A_{\text{CHIM}} \cdot \sqrt{\frac{2\Delta p_g}{\rho_g}} \quad (1.6)$$

Para el flujo de masa:

$$\dot{m}_g = \dot{V}_g \cdot \rho_g \quad (1.7)$$

Donde:

- \dot{V}_g : Caudal de gases de combustión (m^3/s).
- α : Coeficiente de descarga de la chimenea.
- A_{CHIM} : Sección de flujo de gases de combustión (m^2).
- Δp_g : Diferencia de presión en la chimenea (Pa).
- ρ_g : Densidad de gases de combustión (kg/m^3).
- \dot{m}_g : Flujo de masa de gases de combustión (kg/s).

Reemplazando valores en (1.5) se obtendrá el valor del coeficiente de exceso de aire teórico e_a . Para la combustión de la leña se recomienda emplear un factor de exceso de aire teórico entre $1.8 - 3$ (Fig.1.4).

Los valores de m vienen dados en la tabla siguiente :

PARA LA COMBUSTION EN CAMARA ABIERTA

COMBUSTIBLES	EMPARRILLADO PLANO		Hogar con tolva de carga	Sin emparrillado
	Carga a mano	Carga mecánica		
Antracita, cok.	1,5	1,4		
Hulla gruesa... ..	1,6 – 1,9	1,4 – 1,8	1,3 – 1,6	
-- en polvo.				1,2
Lignito... ..	1,8 – 2	1,5	1,5	
Turba	1,8 – 2		1,5	
Leña... ..	1,8 – 3		1,5 – 2	
Gases combustibles				1,5 – 1,3
Líquidos.				1,2 – 1,4

Figura 1.4: Factor de exceso de aire para la combustión en cámara abierta [Ref.17].

Estos valores de exceso de aire teórico recomendado, corresponden para la combustión en cámara abierta de una caldera, similar al de una cocina mejorada. Por otro lado, el emparrillado plano hace referencia a la forma de la rejilla o lecho de combustible ubicada dentro de la cámara de combustión [Ref.18].

1.4 Mecanismos de transferencia de calor

El proceso de transferencia de calor en la cocina se produce mediante tres mecanismos: conducción, convección y radiación (Fig.1.5). El conjunto de estos mecanismos y la combustión determinan la eficiencia térmica de la cocina.

1.4.1 Radiación

En las cocinas mejoradas, la radiación es un mecanismo importante en la transferencia de calor, este se produce: desde el lecho de combustible y las flamas del fuego hacia la olla, desde las flamas del fuego al combustible para mantener la combustión, desde el lecho de combustible y las flamas a las paredes internas de la cocina, desde las paredes internas de la cocina hacia la olla y desde las paredes de las ollas hacia el medio ambiente (Fig.1.5a).

En las cocinas tres piedras, la radiación es el principal mecanismo de transferencia de calor, logrando mediante este mecanismo una eficiencia térmica entre 17 – 18% (Capítulo 3).

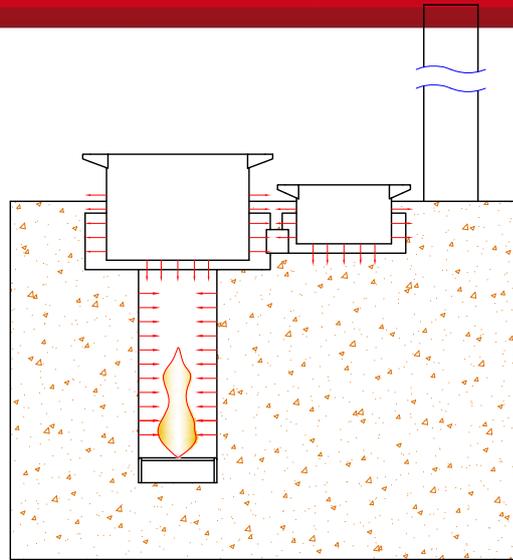


Figura 1.5a: Transferencia de calor por radiación

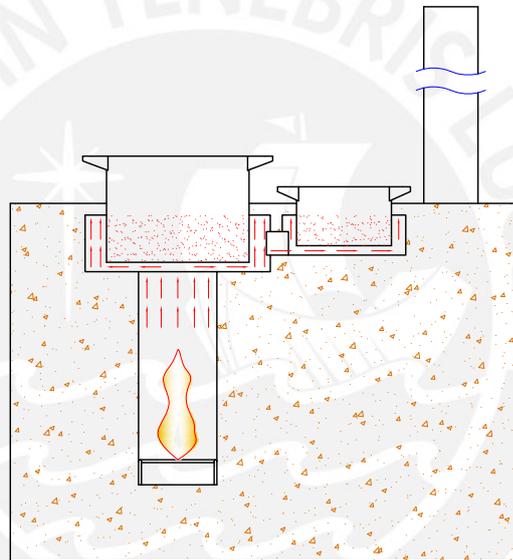


Figura 1.5b: Transferencia de calor por convección

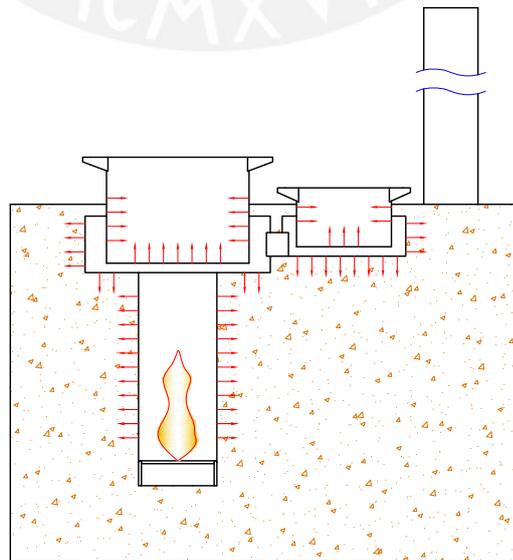


Figura 1.5c: Transferencia de calor por conducción

El calor emitido por radiación desde una superficie caliente (1) hacia un cuerpo de más baja temperatura (2) puede calcularse por la ecuación [Ref.19]:

$$\dot{Q}_R = \sigma F_{12} A_1 (T_1^4 - T_2^4) \quad (1.8)$$

Donde:

- \dot{Q}_R : Energía emitida por radiación, W.
- σ : Constante de Stefan-Boltzmann: $5.6697 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$.
- F_{12} : Factor de la forma radiante entre las superficies 1 y 2.
- A_1 : Área de la superficie 1, m^2 .
- T_1 : Temperatura absoluta de la superficie 1, K.
- T_2 : Temperatura absoluta de la superficie 2, K.

La transferencia de calor por radiación entre la llama del lecho de combustible y la base de la olla puede estar formulada por la ecuación de Stefan-Boltzmann (1.8), donde el factor de forma radiante F_{12} incluye los efectos de emisividades y geometrías relativas entre las superficies de los cuerpos.

Considerando las superficies de la llama del lecho de combustible y de la base de la olla principal como dos superficies circulares concéntricas paralelas A_1 y A_2 con radios r_1 y r_2 respectivamente y siendo L (H_{CAM}) la distancia entre ambas, se puede determinar el factor de forma (Fig.1.6):

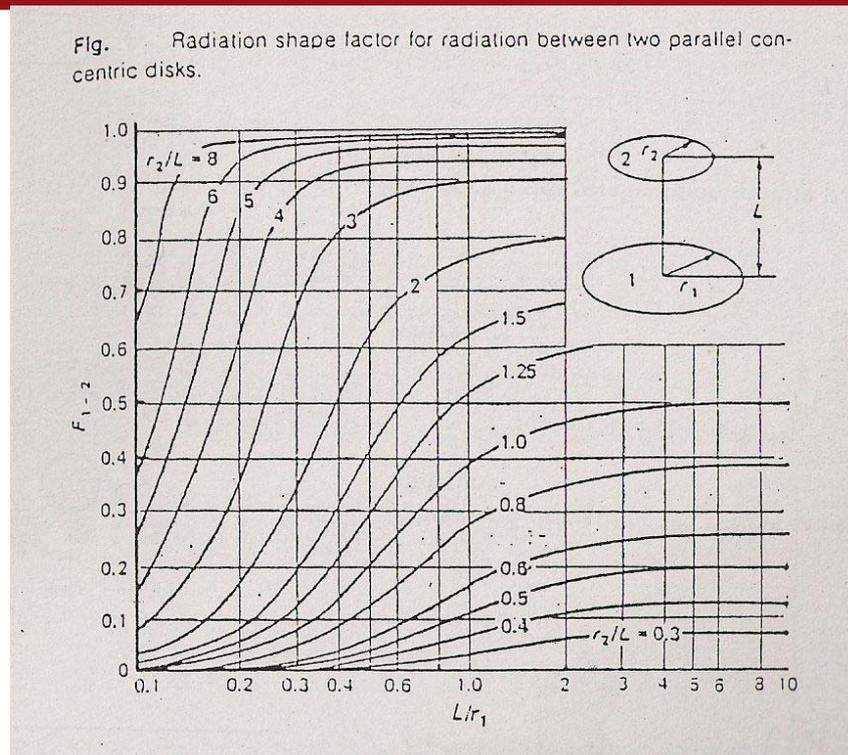


Figura 1.6: Factor de forma entre dos discos paralelos [Ref.20]

De la fórmula (1.8) se puede estimar que la transferencia de calor por radiación ganada por la olla aumenta:

- Aumentando el factor de forma por reducción de la distancia H_{CAM} (para una misma relación r_2/r_1) entre la llama del lecho de combustible y la base de la olla.

Sin embargo la reducción de la altura puede afectar en el proceso de la combustión (inclusive hasta apagarlo) e incrementar el nivel de CO y otras emisiones de hidrocarburos. Experiencias realizadas en cocinas a leña recomiendan que la distancia de la olla al lecho de combustible no sea menor que 0.4 veces el diámetro de la olla [Ref.21].

- Aumentando el factor de forma por incremento de la relación r_2/r_1 (para una misma distancia H_{CAM}). Los fuegos compactos favorecen la transferencia de calor por radiación, logrando que la energía entregada por el lecho de combustible sea mejor interceptada por la base de la olla.

En el Capítulo 3 se observará la influencia en los índices de rendimiento al disminuir la distancia H_{CAM} manteniendo r_2/r_1 .

1.4.2 Convección

La transferencia de energía por convección ocurre cuando los gases de combustión fluyen por una superficie de diferente temperatura y luego intercambian energía calorífica por conducción. Es por este mecanismo de transferencia de calor que los gases calientes producto de la combustión calientan las superficies de las ollas y las paredes internas de la cocina (Fig. 1.5b).

La ecuación para calcular la transferencia de calor por convección puede formularse [Ref.22]:

$$\dot{Q}_{CV} = \alpha_C A (T_w - T_\infty) \quad (1.9)$$

Donde:

- \dot{Q}_{CV} : Flujo de energía térmica transferida por convección, W.
- α_C : Coeficiente de convección, $W m^{-2} K^{-1}$.
- A : Superficie de transmisión involucrada, m^2 .
- T_w : Temperatura del fluido (en este caso gases de combustión), K.
- T_∞ : Temperatura de la superficie (olla), K.

De la fórmula (1.9) se puede estimar que la transferencia de calor por convección ganada por la olla aumenta:

- Elevando la temperatura de los gases calientes, esto se logra controlando la cantidad de aire exterior que ingresa a la cámara de combustión y cerrando la entrada de alimentación de combustible mediante el uso de una compuerta, la cual en la realidad es poco práctico según el usuario requiera manipularla constantemente.
- Exponiendo tanta área A de la olla a los gases calientes como sea posible. Los gases deben fluir alrededor de la olla entrando en contacto en toda su superficie.

- Aumentado el coeficiente de convección α_C , esto se logra aumentando la velocidad del flujo de gases calientes de la combustión mediante la reducción del gap, de esta forma los gases calientes son forzados a pasar a través de un canal angosto por toda la superficie de la olla. Dado que el volumen de los gases calientes en cualquier punto es constante, la velocidad del flujo aumenta a través de un área reducida.

Estudios realizados en cocinas mejoradas domésticas muestran el balance entre la eficiencia térmica de la cocina (%) y la energía aprovechada por la olla (kW) y entre el gap (mm) y la profundidad de la alojamiento de la olla en la cocina L (cm) (Fig.1.7), esta gráfica asume que la eficiencia térmica causada sólo por mecanismo de radiación y convección en la base de la olla es 20% y que adicionalmente un tercio de la energía suministrada se encuentra en los gases de combustión que pasan por el gap.

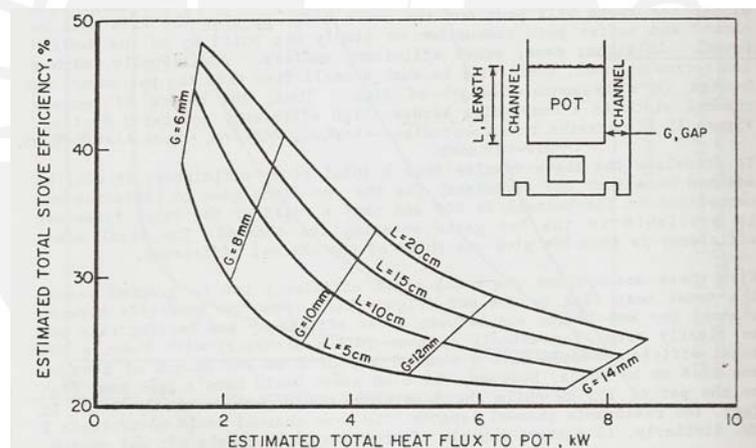


Figura 1.7: Balance entre Eficiencia térmica y energía aprovechada por la olla en función al gap y profundidad de alojamiento, dimensionadas para cocinas domesticas [Ref.23].

En el [Capítulo 3](#) se observará la influencia en los índices de rendimiento al disminuir la distancia G manteniendo L.

Por otro lado al mejorar el aislamiento térmico en las paredes interiores de la cámara de combustión ayudará a mejorar la transferencia de calor por convección. Este análisis se deja para un estudio posterior.

1.4.3 Conducción

La transferencia de calor por conducción en las cocinas mejoradas ocurre a través de las paredes interiores de la cocina y a través de las paredes de la olla hacia su contenido (Fig.1.5c).

La ecuación para calcular la transferencia de calor por conducción a través de la olla puede formularse como [Ref.24]:

$$\dot{Q}_{CD} = \frac{kA(T_1 - T_2)}{L} \quad (1.10)$$

Donde:

- \dot{Q}_{CD} : Flujo de energía térmica transferida por conducción, W.
- k : Conductividad térmica, $W m^{-1} K^{-1}$.
- A : Superficie de la olla (perpendicular a la dirección del flujo de calor), m^2 .
- T_1 : Temperatura en la superficie exterior de la olla, K.
- T_2 : Temperatura en la superficie interior de la olla, K.
- L : Espesor de la pared de la olla, m.

De la fórmula (1.10) se puede estimar que la transferencia de calor por conducción ganada por la olla aumenta:

- Empleando ollas de material con alto coeficiente de conductividad térmica k, como el aluminio en vez de la arcilla (Tabla 1.10).
- Exponiendo tanta área A de la olla como sea posible a una fuente de calor, ya sea por radiación desde la llama o por convección desde los gases calientes de combustión.
- Incrementando la temperatura en la cámara de combustión y de los gases calientes.

Tabla 1.10: Valores de conductividades térmicas [Ref.25].

Material	Conductividad Térmica W/m K
Metálicos	
Aluminio aleación	204
Acero aleación	48
No metálicos	
Ladrillo	0.52
Barro	0.81
Arcilla	1.28
Aislantes	
Corcho molido	0.043
Lana de vidrio	0.040
Aire	0.026

Estudios realizados en cocinas mejoradas domésticas indican que el ahorro de combustible al usar ollas de aluminio comparado al usar ollas de arcilla fue alrededor de 45% [Ref.26]. Por otro lado, ollas cubiertas en su superficie exterior con barro o con una capa de hollín reducirán la eficiencia de transferencia de energía en la olla.

1.5 Partes principales de la cocina mejorada

1.5.1 La cámara de combustión

La cámara de combustión (Fig. 1.8) es el espacio donde se quema el combustible, su volumen y geometría dependen del tipo y dimensión del combustible empleado, combustibles de poca densidad necesitarán de un mayor volumen de cámara de combustión o requerirán de una alimentación frecuente de combustible. Además dependen en gran medida del uso (doméstico o institucional) al cual la cocina será puesta en operación.

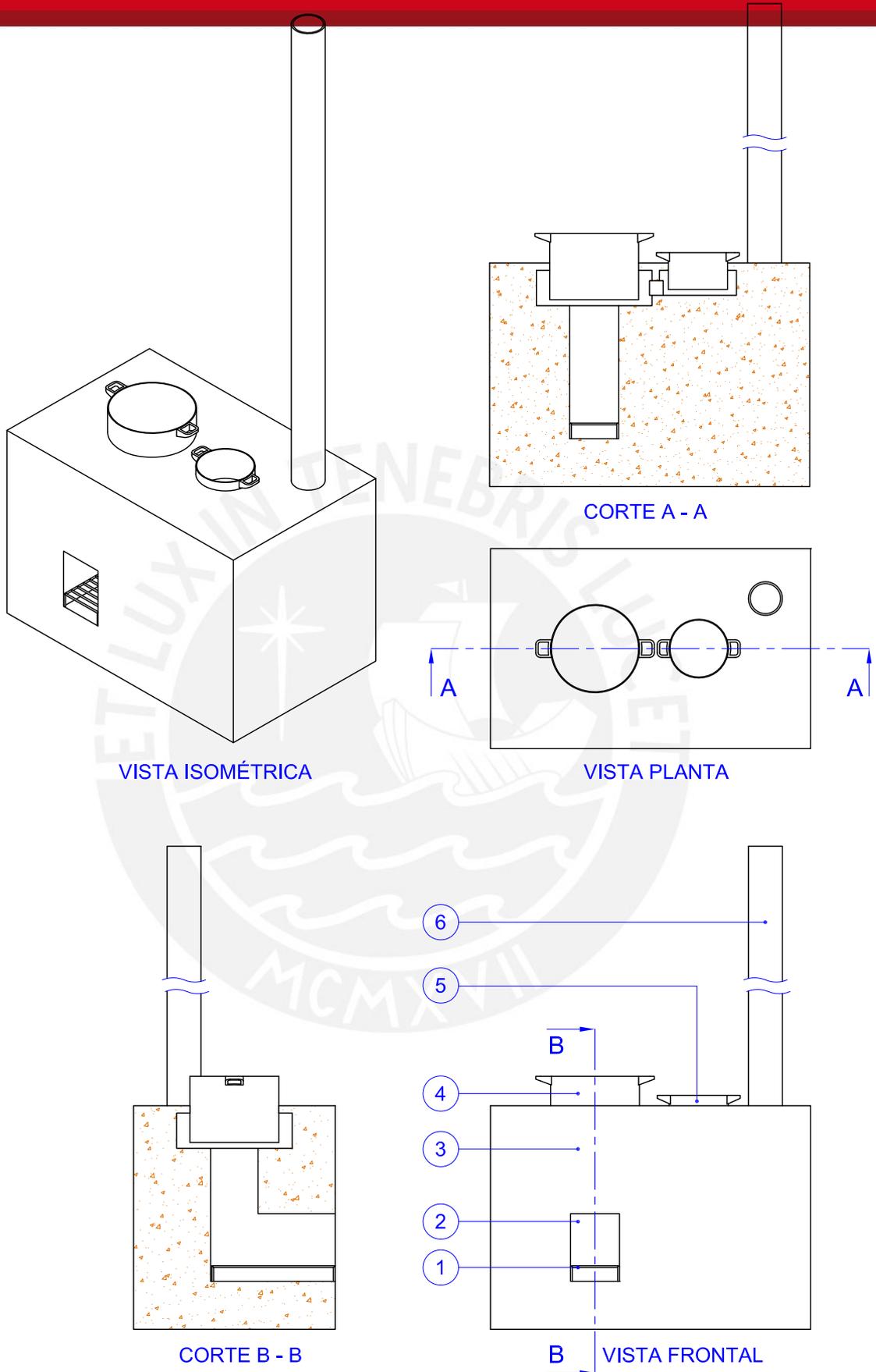


Figura 1.8: Partes de la cocina. 1.Lecho de combustible,2.Entrada de alimentación, 3.Cuerpo de la cocina,4.Olla principal,5.Olla secundaria,6.Chimenea.

La altura de la cámara de combustión es un factor que influye en la eficiencia térmica por radiación y la eficiencia de la combustión. Estudios realizados en cocinas mejoradas domésticas indican que la distancia entre el lecho de combustible y base de la olla principal (H_{CAM}) debe estar entre 200 – 300 mm (Fig.1.9).

Por otro lado, a medida que se reduce H_{CAM} , los gases de combustión no tendrán suficiente tiempo para mezclarse con el aire y quemarse dentro de la cámara, incrementando las emisiones de CO e hidrocarburos a la salida de la chimenea [Ref.27]. Por lo que se puede decir que la elección de la distancia entre el lecho de combustible a la base de la olla principal es el equilibrio entre la energía transmitida por radiación y la calidad de la combustión.

La cámara de combustión debe ser construida con materiales que soporten altas temperaturas y de bajo coeficiente de conducción térmica tal que disminuya las pérdidas de calor a través de las paredes internas de la cámara de combustión.

1.5.2 Parrilla

La parrilla (Fig. 1.10) usada como lecho de combustible diseñada de forma adecuada mejorará el proceso de combustión y el rendimiento de la cocina, aprovechando la energía radiada por las flamas y por las brasas.

Durante la combustión la parrilla al cubrirse con brasas mantiene una alta temperatura en la cámara de combustión, facilita la combustión de los gases soltados por la leña y mediante el precalentamiento de aire primario mejora la mezcla aire – gases de combustión.

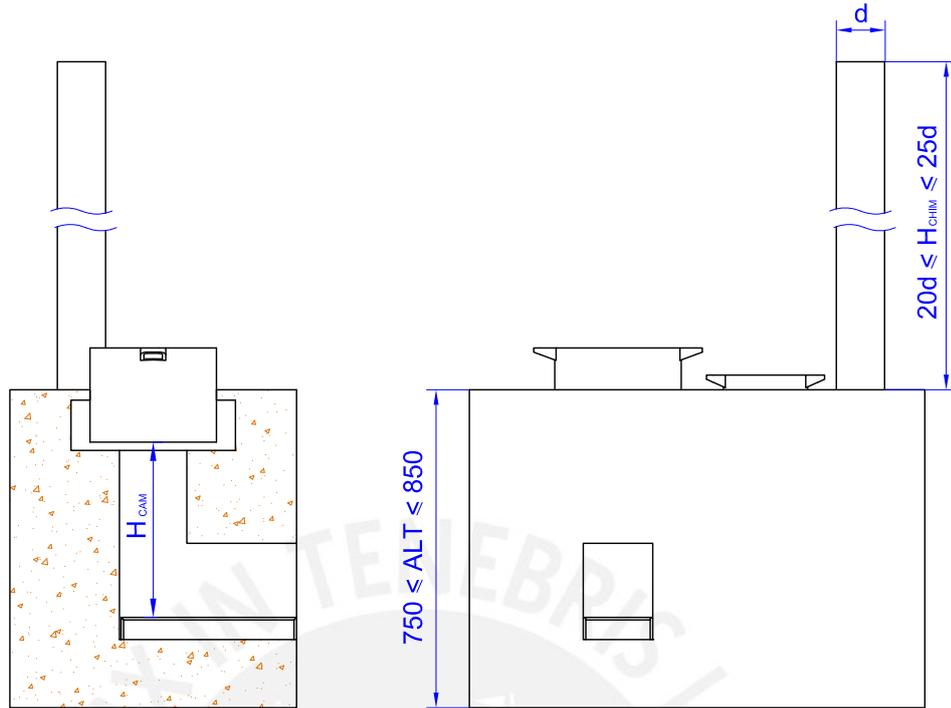


Figura 1.9: Dimensiones en la entrada de cámara de combustión, altura de la cocina, altura de la chimenea

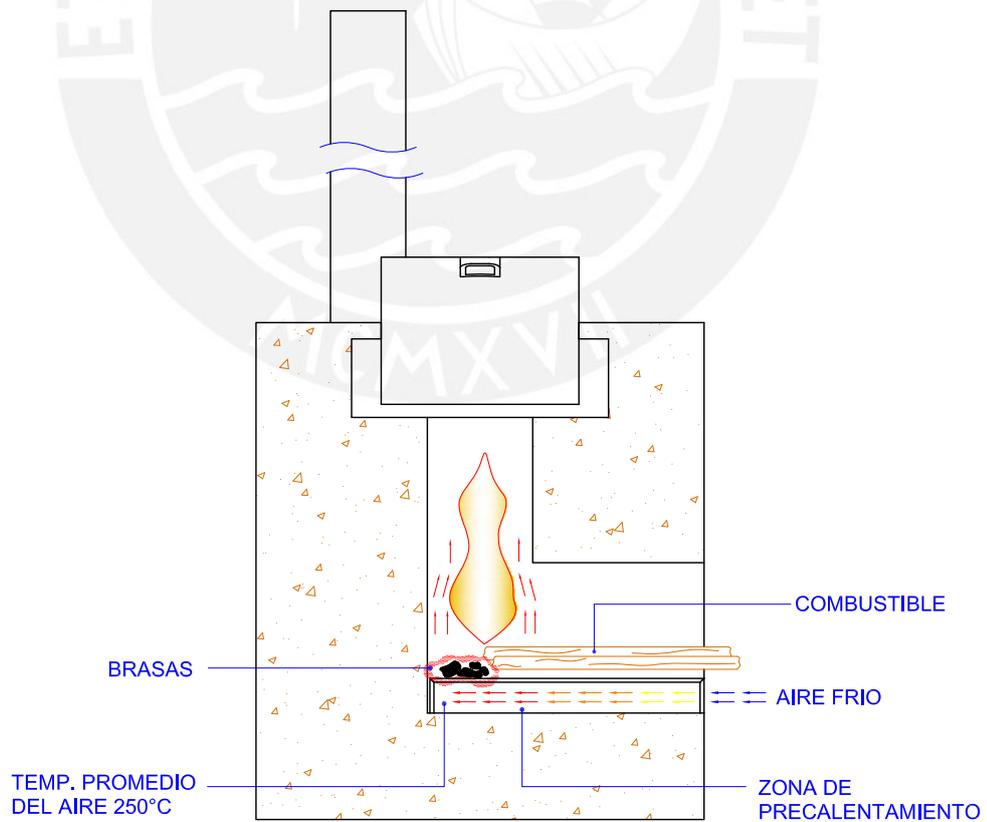


Figura 1.10: Pre calentamiento del aire primario

En la ejecución de las Pruebas de Ebullición de Agua ([Capítulo 3](#)) se observó que el precalentamiento del suministro de aire primario antes de ingresar a la cámara de combustión ([Fig. 1.10](#)) alcanza en promedio una temperatura de 250°C (temperaturas registradas durante las pruebas a partir del minuto 12 al minuto 30, después que la cocina se puso en funcionamiento con encendido en frío).

El lecho de combustible usado en las cocinas domesticas evaluadas fue construido por barras corrugadas de acero para construcción de $\varnothing \frac{1}{4}$ " colocadas paralelamente a una distancia de 10 mm entre ellas, esto en base al tamaño del carbón producido en la combustión durante las pruebas.

De emplear un lecho de combustible con distancias entre barras menores a 10 mm se observará obstrucción y reducción en el flujo de aire a través del lecho del combustible resultando en una combustión defectuosa, por el contrario al aumentar la distancia entre barras el carbón producido en la combustión caerá al cenicero desaprovechando esta energía en la cámara de combustión [[Ref. 28](#)].

1.5.3 La chimenea

La chimenea ([Fig. 1.8](#)) ejerce una influencia en el funcionamiento de las cocinas mejoradas, aparte de permitir la salida de gases de combustión, la principal función de la chimenea es la de fomentar el tiro, facilitando la combustión.

La distinta densidad entre los gases calientes que fluyen en el interior de la chimenea y el aire atmosférico determina una diferencia de presión que produce el movimiento ascendente de estos gases.

La velocidad del flujo de gases está en función de la altura de la chimenea, el diámetro de la chimenea y a la diferencia entre la temperatura de los gases calientes y el aire exterior.

Para el cálculo aproximado de dimensionamiento de las chimeneas se han tomado fórmulas simplificadas y coeficientes prácticos, que tienen exactitud suficiente para los combustibles ordinarios:

- a. Sección transversal de la chimenea: Para la sección del flujo de gases se tiene que por cada 100 kcal/h del combustible quemado se requiere de 1 cm² de sección [Ref. 29], de modo que:

$$A_{\text{CHIM}} = \frac{\text{Cantidad de energía producida}}{100} \quad (1.11)$$

Esto bajo la condición de una temperatura media de los gases en la chimenea de 275 °C y un exceso de aire de 1.5. Por cada ± 25 °C de temperatura con respecto a los 275 °C, se aumentará o disminuirá 5% de la sección.

Tomando la expresión (1.11) y en base a resultados observados en pruebas iniciales de rendimiento energético, mediante el protocolo de la Prueba de Ebullición de Agua (Capítulo 3) realizada a una cocina tres piedras se tiene en promedio un consumo de combustible de 38.5 g/min lo que equivale:

$$38.5 \frac{\text{g}}{\text{min}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \cdot 4076.2 \frac{\text{cal}}{\text{g}} = 9416 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Para fines de un dimensionamiento previo, este valor nos indica que la sección de la chimenea de los prototipos de cocinas domesticas debe ser como mínimo de 94.2 cm², por lo que tomaremos como diámetro d (Fig. 1.9) de chimenea para todos los prototipos de cocinas domesticas un valor de 120 mm, esta dimensión se verificará en el Capítulo 3 en el modelo objetivo de cocina mejorada.

- b. Altura de la chimenea: Para la altura de la chimenea H_{CHIM} (Fig. 1.9) se adoptará la relación [Ref. 30] de:

$$20d \leq H_{\text{CHIM}} \leq 25d \quad (1.12)$$

Siendo d el diámetro de la chimenea, para diámetros inferiores a 2 m.

Para fines de un dimensionamiento previo, habiendo tomado el diámetro d igual a 120 mm y dada la expresión (1.12) se tomará una altura de 2500 mm, con lo cual se estaría dimensionando la altura dentro del rango recomendado.

- c. Tiro de la chimenea: El tiro en la chimenea Z en milímetros de columna de agua se relaciona con la altura de la chimenea H_{CHIM} (m) y con la temperatura media T_{mg} de los gases ($^{\circ}\text{C}$) [Ref. 31]:

$$Z = 0.4 \cdot H_{\text{CHIM}} \quad \text{si } T_{\text{mg}} = 175 \dots 249 \quad (1.13)$$

$$Z = 0.5 \cdot H_{\text{CHIM}} \quad \text{si } T_{\text{mg}} = 250 \dots 274 \quad (1.14)$$

$$Z = 0.55 \cdot H_{\text{CHIM}} \quad \text{si } T_{\text{mg}} = 275 \dots 300 \quad (1.15)$$

En el [Capítulo 3](#) se calculará el tiro de la chimenea en base a la temperatura media de los gases de combustión en el modelo objetivo de cocina mejorada.

1.6 Otros factores que influyen en el funcionamiento de la cocina mejorada

1.6.1 Condiciones ambientales

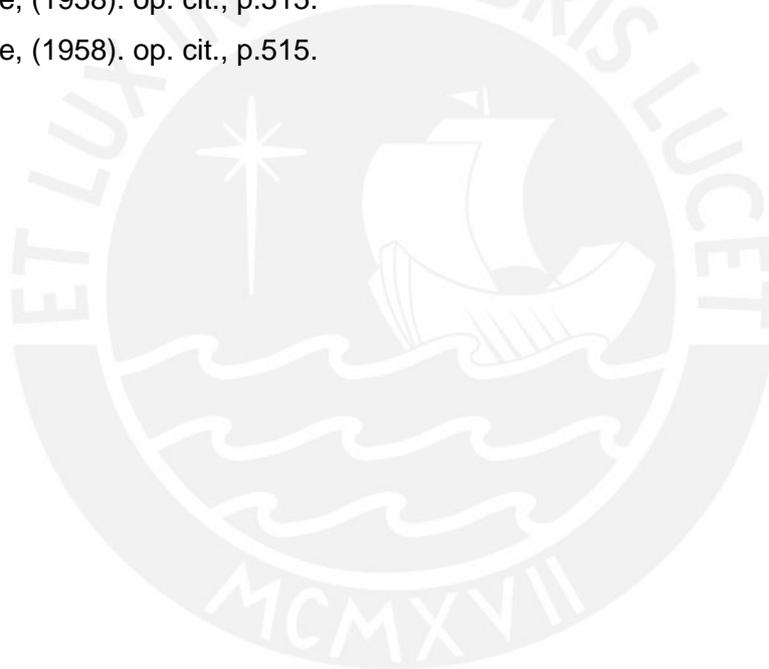
Este factor influye notablemente sobre el comportamiento y rendimiento de una cocina a leña, principalmente a causa de la temperatura ambiente y la presión atmosférica.

La altura sobre el nivel del mar influye sobre la presión atmosférica y la temperatura de ebullición de agua, además lugares ubicados en altura tienen temperaturas medias menores y aire con menor densidad (aire enrarecido). Estos factores darán como resultado la necesidad de mayor energía para realizar una determinada tarea de cocción, también se requerirá de un mayor caudal de aire para obtener una misma velocidad de combustión. En resumen el sistema resultará menos eficiente y será motivo para futuras investigaciones.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. INEI. Resultados del Censo Nacional de Población y vivienda 2005, Lima, Perú.
2. TECSUP, (2006). Combustión y Quemadores de Gas Natural, Lima, Perú, pp.13 – 14.
3. Laboratorio de Energía. Sección Ingeniería Minas, Pontificia Universidad Católica del Perú.
4. Laboratorio de Energía. Sección Ingeniería Mecánica, Pontificia Universidad Católica del Perú.
5. Assureira Espinoza Estela. Proyecto carbón, Pontificia Universidad Católica del Perú, comunicación interna.
6. Baldwin Samuel F., (1987). Biomass Stoves: Engineering Design, Development and Dissemination, VITA, Arlington, Virginia, p.177.
7. Laboratorio de Energía. Sección Ingeniería Mecánica, Pontificia Universidad Católica del Perú, comunicación interna.
8. Baldwin Samuel F., op. cit., p.55.
9. Waclaw Micuta, (1985). Modern Stoves For All, Bellerive Foundation, London, U.K., p.4.
10. Baldwin Samuel F., op. cit., p.58.
11. Waclaw Micuta, op. cit., p.5.
12. Baldwin Samuel F., op. cit., p.59.
13. Waclaw Micuta, op. cit., p.5.
14. Jiménez Fernando, (1986). Tesis de Ingeniero PUCP: Diseño de una terma a carbón, Lima, Perú, p.24.
15. Norma española UNE-EN 676, (1997). Quemadores automáticos de aire forzado que utilizan combustibles gaseosos, AENOR, Madrid, España, p.45.
16. Manual de laboratorio de termodinámica y mecánica de fluidos – Experiencia: Ventilador Centrifugo. Sección Ingeniería mecánica, Pontificia Universidad Católica del Perú.
17. Claver Mariano, (1946). Termotecnia: transmisión, producción y aplicaciones, Dossat, Madrid, España, pp.140 – 144.
18. Claver Mariano, op. cit., pp.213 – 216.
19. Material de enseñanza del curso de Transferencia de Calor. Sección Ingeniería Mecánica, Pontificia Universidad Católica del Perú.
20. Material de enseñanza del curso de Transferencia de Calor. Sección Ingeniería Mecánica, Pontificia Universidad Católica del Perú.

21. Baldwin Samuel F., op. cit., p.54.
22. Material de enseñanza del curso de Transferencia de Calor. Sección Ingeniería Mecánica, Pontificia Universidad Católica del Perú.
23. Baldwin Samuel F., op. cit., p.48.
24. Material de enseñanza del curso de Transferencia de Calor. Sección Ingeniería Mecánica, Pontificia Universidad Católica del Perú.
25. Material de enseñanza del curso de Transferencia de Calor. Sección Ingeniería Mecánica, Pontificia Universidad Católica del Perú.
26. Baldwin Samuel F., op. cit., p.35.
27. Baldwin Samuel F., op. cit., p.54.
28. Baldwin Samuel F., op. cit., p.75.
29. Hutte, (1958). Manual del ingeniero, G. Pili, Barcelona, España, p.515.
30. Hutte, (1958). op. cit., p.515.
31. Hutte, (1958). op. cit., p.515.



SEGUNDO CAPÍTULO

METODOLOGÍA DE LAS PRUEBAS

2.1 Importancia de las pruebas

Las pruebas de laboratorio son esenciales por las siguientes razones:

- Las pruebas de laboratorio son usadas para seleccionar particularmente los prototipos de cocinas y optimizar sus dimensiones.
- Permite una mejor comprensión del proceso de combustión, aprovechamiento de calor y ahorro de combustible.
- Permite observar el funcionamiento de las diferentes partes de la cocina, observar la influencia de la variación de sus parámetros y ubicar las fallas con el objeto de mejorar el rendimiento general.
- A partir de estas pruebas, se pueden desarrollar modelos estándar adaptados a las formas y dimensiones más frecuentes de la olla local.
- Permite a los usuarios dar su opinión sobre las mejoras del diseño actual, ya sea por el deterioro que se produce a lo largo de la utilización diaria de la cocina o también algunas innovaciones que al usuario le gustaría tener.
- Los resultados proporcionan la información necesaria para el análisis con objetivo a su adaptación a otras localidades.

Las pruebas de laboratorio son parte fundamental en el proceso de mejora continua con el objetivo de ahorrar tiempo, dinero y trabajo de los usuarios en sus labores domésticas, además de proteger su salud y seguridad.

2.2 Protocolo empleado

El protocolo empleado fue el método estándar Shell-UCB (University of California Berkeley) 2003 Prueba de Ebullición de Agua (PEA) [Ref. 1], el cual simula los procesos de cocción de comida en alta potencia (PEA - Fase alta potencia) y cocción a fuego lento (PEA – Fase baja potencia).

La PEA puede ser realizada en diversos tipos de cocinas y en diferentes lugares, además esta diseñada con un método simple, en el cual las cocinas puedan ser comparadas mediante una prueba estándar y de forma reproducible.

Es importante mencionar las fortalezas y debilidades de la PEA. Las fortalezas son la simplicidad y la reproducibilidad, además de dar un entendimiento preliminar del funcionamiento de la cocina que es muy útil durante el proceso de modificaciones.

Sin embargo la PEA también tiene sus debilidades, ya que sólo muestra una aproximación del comportamiento de una situación real de cocción, además es realizado bajo condiciones controladas y por personas capacitadas.

Para obtener una comprensión de cómo rinde una cocina en la preparación de alimentos por gente local se debe hacer otro tipo de pruebas como el Test de Cocción Controlada (CCT).

Así mismo la PEA no puede ser usada para pronosticar con exactitud variaciones reales en el consumo de combustible entre familias que adoptan una cocina mejorada.

La PEA completa consiste en tres fases que son explicadas a continuación:

1. Fase de alta potencia con inicio en frío, el evaluador inicia con la cocina a la temperatura ambiente y usa un paquete previamente pesado de leña para hervir una cantidad medida de agua. El evaluador luego reemplaza el agua hervida con otra olla de agua fría para realizar la segunda fase de la prueba.
2. Fase de alta potencia inicio en caliente, sigue inmediatamente después de la fase con inicio en frío mientras la cocina esta aun caliente. Nuevamente el evaluador usa un paquete de leña previamente pesado de leña para hervir una

cantidad medida de agua. Repetir la prueba con la cocina caliente ayuda a identificar las diferencias del rendimiento entre la cocina cuando está en frío o cuando está en caliente.

3. Fase de baja potencia, sigue inmediatamente, aquí el evaluador determina la cantidad de combustible requerido para hervir a fuego lento una cantidad medida de agua por debajo de la temperatura de ebullición por un tiempo de 45 minutos, este paso simula la cocción de alimentos que requieren de cocción lenta.

Esta combinación de fases mide los rendimientos en alta y baja potencia, que son asociados con la capacidad de la cocina en ahorrar combustible.

La PEA esta orientada a dar diferentes índices de rendimientos, dado que solamente basarse en el rendimiento térmico no es necesariamente un buen pronóstico del rendimiento de la cocina, los demás índices serán útiles o no dependiendo del objetivo a alcanzar, estos índices son:

- Tiempo de cocción.
- Velocidad de combustión.
- Consumo específico de combustible.
- Potencia promedio.
- Eficiencia térmica.

Tomando como base la encuesta realizada por el Grupo de Apoyo al Sector Rural en diversas comunidades de Cusco y Arequipa, las usuarias en su totalidad querían una cocina:

- De cocción rápida.
- Que ahorre combustible.
- De fácil uso.
- De poca supervisión del fuego.
- De una postura cómoda al cocinar.
- De bajo costo de instalación.
- Que no contamine con humo el aire en el interior de sus hogares.

Los requerimientos antes mencionados fueron usados como criterio de evaluación y selección de las cocinas para esto sólo se empleó la Fase de alta potencia.

2.3 Equipo e instrumentación empleado en la PEA.

1. Cinco prototipos de cocina mejorada domestica de una y dos hornillas, construidas casi en su totalidad de barro, chimenea c/s válvula mariposa, compuerta de regulación de entrada de aire, parrilla usada como lecho de combustible.
2. Balanza electrónica de 30 kg \pm 5 g de rango y precisión respectivamente para pesar las ollas y el combustible.
3. Registradores de temperaturas marcas METERMAN y FLUKE y termocuplas tipo "K" para mediciones simultáneas de temperatura en la cámara de combustión, el incremento de la temperatura del agua en las ollas principal y secundaria y en la de los gases de combustión en la chimenea (Fig. 2.1a, Fig. 2.1b).
4. Ollas de aluminio marca Record, modelos Súper Perol y Perol clásico en tamaños de Ø30cm (14.1 litros) y Ø20cm (4 litros) respectivamente.
5. Cronómetro para el registro de tiempo.
6. Tenaza, espátula, guantes resistentes al calor para manipular la leña y el carbón.
7. Accesorio metálico usado para apagar y almacenar la leña después de cada fase.
8. Accesorio de madera para la sujeción de la termocupla.

2.4 Equipo e instrumentación adicional empleado en la PEA.

1. Medidor digital de monóxido de carbono CO, marca CEM-180 de 1000 ppm \pm 1 ppm de rango y precisión respectivamente para medir la contaminación interior del ambiente que se produce en la cocina dentro del tiempo de cocción (Fig. 2.2).
2. Tubo de Pitot y micromanómetro de Betz (rango de 0 - 250 kgf/m²), utilizados para determinar el flujo de gases mediante la medición de la diferencia de presión a través de la chimenea antes y después de la combustión (Fig. 2.3a, Fig. 2.3b).



Figura 2.1a: Distribución de registro de temperaturas

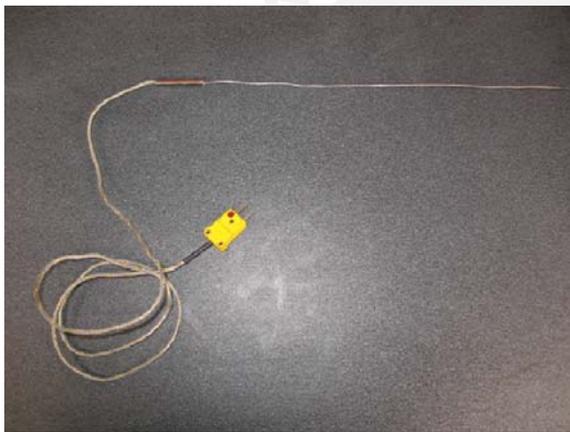


Figura 2.1b: Termocupla tipo "K"

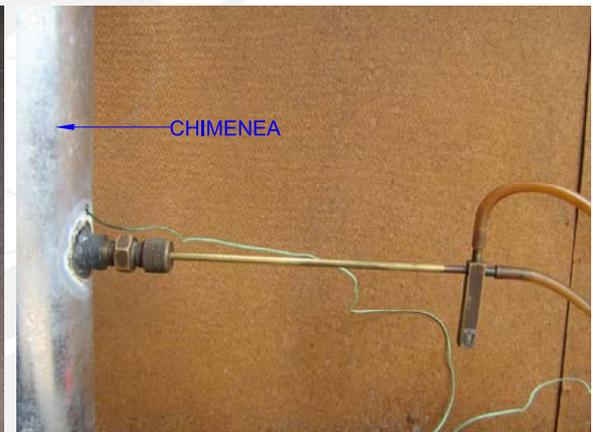


Figura 2.3a: Tubo de Pitot

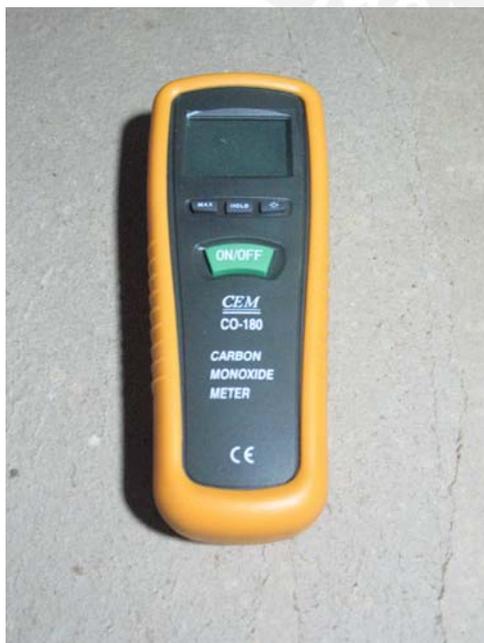


Figura 2.2: Medidor de CO



Figura 2.3b: Micromanómetro de Betz

2.5 Procedimiento de evaluación.

1. Las condiciones de la evaluación son anotadas incluyendo la temperatura del aire, viento y la humedad relativa. La cocina y las ollas son descritas y esbozadas en detalle incluyendo las medidas de sus dimensiones relevantes. Estas dimensiones deben incluir la distancia desde el lecho de combustible (parrilla) a la base de la olla principal y de la superficie exterior de las ollas a las paredes internas de la cocina.
En la práctica, la prueba se realizó en un ambiente cerrado para reducir la influencia del viento pero con suficiente ventilación, esto para la salida de humo en el caso de la evaluación de una cocina tres piedras.
2. El contenido de humedad y el poder calorífico del combustible deben ser conocidos. Si se usa leña esta debe ser de la misma especie y relativamente de un tamaño uniforme utilizada para todas las pruebas.
Por otro lado el almacenamiento de la leña fue en el mismo ambiente y protegida bajo plástico, ayudando así a mantener el contenido de humedad en un mismo valor.
3. Las ollas deben ser idénticas en forma y tamaño en todas las pruebas para evitar factores que desvíen los resultados de la evaluación. Además no se deben tapar las ollas en ninguna parte de la realización de la prueba.
4. Se debe mantener en todas las evaluaciones exactamente la misma cantidad de agua empleada para cada olla, esto es 5 litros de agua para la olla principal y 2.5 litros para la olla secundaria. La temperatura del agua debe estar dentro de unos cuantos grados de la temperatura ambiente. proceder con la primera fase de la prueba.
5. La PEA completa (Fase en alta y baja potencia) dura entre 1.5 – 2 horas, se recomienda preparar suficientes paquetes de leña antes de empezar la prueba.
En la práctica, se prepararon dos paquetes de leña de 2 kilos para las pruebas en alta potencia. De realizarse la fase de baja potencia se deberá tener un paquete de leña adicional de 5 kilos.

2.6 Fases en la evaluación de la PEA.

2.6.1 Fase de alta potencia – Inicio en frío.

1. Preparar el cronómetro, no empezar hasta cuando el fuego haya encendido.
2. Llenar la olla principal y la olla secundaria con 5 litros y 2.5 litros de agua respectivamente, la cantidad de agua debe ser determinada colocando la olla en la balanza y agregando agua hasta llegar al peso total.
Anotar el peso de las ollas más agua, usar la misma cantidad de agua para cada repetición.
3. Usar el accesorio de madera para colocar la termocupla en la olla, la temperatura debe ser medida en el centro de la olla y sobre 2 cm por encima del fondo. Si hubiera ollas adicionales usar termocuplas adicionales como sea posible, anotar la temperatura inicial de en cada olla y confirmar que está no varíe considerablemente de la temperatura ambiente.
4. La cocina debe estar a la temperatura ambiente, empezar el fuego en una forma reproducible de acuerdo con la práctica local. Anotar cualquier material adicional usado en el encendido (pajita, papel, cartón, hojas secas, kerosene, etc.)
5. Una vez que el fuego haya prendido, anotar el tiempo de inicio. En toda la siguiente fase de la prueba, controlar el fuego con los medios locales comúnmente usados para llevar la olla principal rápidamente a hervir sin emplear combustible en exceso.
6. Cuando el agua en la olla principal alcanza la temperatura de ebullición local, rápidamente hacer lo siguiente:
 - a. Anotar el tiempo que la olla principal alcanza la temperatura de ebullición local, anotar la temperatura también.
 - b. Remover toda la leña de la cocina y apagar la llama (no se debe usar agua dado que esto afectará el peso de la leña).
Quitar el carbón producido en las puntas de los leños, juntar y mantener el carbón extraído en un recipiente.
 - c. Pesar la leña sin quemar removida de la cocina junto con la leña que quedó del paquete previamente pesado, anotar el resultado en la hoja de datos.
 - d. Medir la temperatura del agua de cada olla (la olla principal debe estar a la temperatura de ebullición local), anotar las temperaturas.
 - e. Pesar cada olla más agua respectivamente, anotar los pesos.

- f. Extraer todo el carbón remanente de la cocina, colocarlo con el carbón que fue quitado de los leños y pesarlos juntos, anotar el peso del carbón producido más el recipiente.

Esto completa la fase de alta potencia inicio en frío, seguir con la fase de alta potencia inicio en caliente inmediatamente después, mientras la cocina aún se mantiene caliente.

2.6.2 Fase de alta potencia – Inicio en caliente.

1. Reseteo el cronómetro, empezar cuando el fuego haya encendido.
2. Rellenar la olla principal y secundaria con 5 litros y 2.5 litros de agua respectivamente, pesar las ollas más agua y medir las temperaturas iniciales del agua, anotar.
3. Iniciar el fuego tal como se realizó en la fase de inicio en frío.
4. Anotar el tiempo de inicio, llevar la olla principal rápidamente a la temperatura de ebullición sin emplear combustible en exceso.
5. Anotar el tiempo en que la olla principal alcanza la temperatura de ebullición local, anotar la temperatura en la olla principal y secundaria.
6. Después de alcanzar la temperatura de ebullición, rápidamente hacer lo siguiente (la rapidez es importante en esta fase porque se quiere mantener la temperatura del agua tan cerca como sea posible al de la temperatura de ebullición para permitirnos proceder inmediatamente a la prueba de ebullición a fuego lento).
7. Remover la leña sin quemar de la cocina, quitar cualquier carbón suelto, pero tratar de mantenerlos en la zona de combustión (no se pesará el carbón en esta fase sólo si se tiene un promedio de la cantidad de carbón producido en esta fase de pruebas anteriores). Pesar la leña removida en la cocina, junto con la leña no usada del paquete previamente pesado, anotar los resultados en la hoja de datos.
8. Anotar la temperatura del agua de la olla principal y secundaria.
9. Pesar cada olla más agua, anotar.
10. Después de pesarlos inmediatamente reemplace cada olla en la cocina (se debe recordar que se quiere mantener la temperatura del agua tan cerca como sea posible de la temperatura de ebullición para proceder inmediatamente al test de ebullición a fuego lento).

11. Reemplazar la leña sacada del fuego proceder inmediatamente con la fase de baja potencia.

2.6.3 Fase de baja potencia – Ebullición a fuego lento.

Esta fase de la prueba esta diseñada para evaluar la capacidad de la cocina en pasar a la fase de baja potencia después de la fase de alta potencia para hervir agua por 45 minutos usando una cantidad mínima de leña.

Para cocinas multi-hornilla sólo será evaluada la olla principal para el rendimiento de esta fase de la prueba. El procedimiento es el siguiente:

1. Resetear el cronómetro.
2. Regular el fuego y mantener la temperatura del agua tan cerca como sea posible de los 3°C por debajo del punto de ebullición. Es aceptable si la temperatura asciende y desciende pero:
 - Se debe tratar de mantener la temperatura del agua tan cerca como sea posible de los 3°C por debajo del punto de ebullición local.
 - El test es inválido si la temperatura en la olla cae más de 6°C por debajo del punto de ebullición local.
3. Por 45 minutos mantener el fuego en un nivel que mantenga la temperatura del agua tan cerca como sea posible de los 3°C por debajo del punto de ebullición.
4. Después de los 45 minutos hacer lo siguiente:
 - a. Anotar el tiempo final de la fase (este debe ser 45 minutos).
 - b. Sacar toda la leña de la cocina quitar los pedazos de carbón de la leña y colocarlo en el recipiente, luego pesar la leña remanente incluyendo la leña no quemada.
 - c. Anotar la temperatura final del agua, esta debería estar 3°C por debajo del punto de ebullición.
 - d. Pesar la olla con el agua remanente, anotar.
 - e. Extraer todo el carbón remanente de la cocina y pesarlo (incluyendo el carbón que fue quitado de los palos), anotar el peso del recipiente más todo el carbón.

Esto completa la PEA. Las fases de alta y baja potencia se pueden realizar por separado, por otro lado para tener una mejor estadística la PEA se recomienda realizarla un total de 3 veces por cocina.

2.7 Variables empleadas en la PEA – Fase alta potencia

2.7.1 Variables directamente medidas

f_i	Peso inicial de leña (g).
p_i	Peso inicial olla más agua (g).
T_i	Temperatura inicial del agua (°C).
t_i	Hora al inicio de la fase (min).
f_f	Peso final de leña (g).
c	Peso del carbón más recipiente al final de la fase (g).
p_f	Peso de la olla más agua al final de la fase (g).
T_f	Temperatura del agua al final de la fase (°C).
t_f	Hora al final de la fase (min).

2.7.2 Variables calculadas

f_m	Leña húmeda consumida (g).
f_d	Leña seca equivalente consumida (g).
ΔC	Carbón producido durante la fase (g).
w_v	Agua evaporada (g).
w_r	Agua remanente al final de la fase (g).
t_{eb}	Duración de la fase (min).
t_{eb}^T	Duración de la fase con temperatura corregida (g/l).
n	Eficiencia térmica.
V_{comb}	Velocidad de combustión (g/min).
CE	Consumo específico de combustible (g/l).
CE^T	Consumo específico de combustible con temperatura corregida (g/l).
FP	Potencia del fuego (kW).
P	Potencia promedio (kW).

2.7.3 Variables frecuentes.

PC	Poder calorífico inferior (kJ/kg).
m	Cantidad de humedad (% base húmeda).
p	Peso de la(s) olla(s) vacía(s) (g).
k	Peso del recipiente para pesar carbón (g).
T_b	Temperatura de ebullición local ($^{\circ}\text{C}$).

2.7.4 Descripción de cálculos.

- Leña húmeda consumida f_m : esta es la masa de leña que fue usada para llevar el agua a la temperatura ebullición, hallada restando la leña previamente pesada menos la leña que quedó al final de la fase.

$$f_m = f_i - f_f \quad (2.1)$$

- Carbón producido durante la fase Δc : esta es la masa de carbón creada durante la fase, hallada removiendo el carbón de los leños sumados al carbón que queda en la cocina al final de cada fase. Dado que esta aun caliente, el carbón será puesto en un recipiente previamente pesado de masa k.

$$\Delta c = c - k \quad (2.2)$$

- Leña seca equivalente consumida f_d : es el cálculo que ajusta la cantidad de leña que fue quemada para considerar 2 factores: (1) la energía que fue necesitada para remover la humedad en la leña y (2) la cantidad de carbón remanente sin quemar. El cálculo es hecho del siguiente modo:

$$f_d = f_m * (1 - 1.12m) - 1.5 * \Delta c \quad (2.3)$$

El factor de 1-1.12m es utilizado para considerar la pérdida de energía en evaporar el contenido de agua en la leña. El calor latente de vaporación del agua es 2260 kJ/kg que es alrededor 0.12 veces el valor calorífico de la leña empleada en las pruebas, por lo tanto si la leña esta compuesta por m% de humedad, la masa de leña que efectivamente calienta el agua de la olla es reducida aproximadamente a 1- 1.12m .

El factor de 1.5Δc considera la cantidad de leña transformada en carbón sin quemar. Dado que el carbón tiene aproximadamente el 150% del poder calorífico de la leña, la cantidad de leña que calienta la olla de agua es ajustada por 1.5Δc para considerar el carbón remanente.

- Agua evaporada w_v : cantidad de agua perdida en todas las ollas, a causa de la evaporación en las fases de evaluación.

$$w_v = \sum_{n=1}^2 (p_{ni} - p_{nf}) \quad (2.4)$$

- Agua remanente al final de la fase w_r : es la cantidad de agua calentada hasta la ebullición.

$$w_r = \sum_{n=1}^2 \left[(p_{ni} - p_{nf}) * \left(\frac{T_{nf} - T_{ni}}{T_b - T_{ni}} \right) \right] \quad (2.5)$$

- Duración de la fase con temperatura corregida Δt^T : facilita la comparación entre las pruebas que pudieron usar agua con altas o bajas temperaturas iniciales, es decir bajo diferentes condiciones ambientales, esto es normalizando el cambio de temperatura observado bajo las condiciones de realización de la prueba al cambio de temperatura estándar de 75°C (desde 25°C a 100°C).

$$t_{eb}^T = t_{eb} * \frac{75}{(T_f - T_i)} \quad (2.6)$$

- Eficiencia térmica n : es la cantidad de energía ganada por el agua respecto a la cantidad de energía entregada por el combustible.

$$n = \frac{4.186 * \sum_{n=1}^2 (p_{ni} - p_n) * (T_{nf} - T_{ni}) + 2260 * (w_v)}{f_d * PC} \quad (2.7)$$

- Velocidad de combustión V_{comb} : es la velocidad de combustión del combustible durante la fase.

$$V_{comb} = \frac{f_d}{t_{eb}} \quad (2.8)$$

- Consumo específico de combustible CE : se expresa como la cantidad en gramos de leña seca equivalente consumida para producir un litro de agua hervida.

$$CE = \frac{f_d}{\sum_{n=1}^2 \left[(p_{nf} - p_n) * \left(\frac{T_{nf} - T_{ni}}{T_b - T_{ni}} \right) \right]} \quad (2.9)$$

- Consumo específico de combustible con temperatura corregida CE^T .

$$CE^T = CE * \frac{75}{T_f - T_i} \quad (2.10)$$

- Potencia de la llama FP : es la cantidad de energía generada por la leña seca equivalente consumida en un intervalo correspondiente a la ebullición.

$$FP = \frac{f_d * PC}{t_{eb} * 60} \quad (2.11)$$

- Potencia promedio P : es la cantidad de energía ganada por el agua en un intervalo de tiempo correspondiente a la ebullición [Ref. 2].

$$P = \frac{\left[4.186 * \sum_{n=1}^2 (p_{ni} - p_n) * (T_{nf} - T_{ni}) \right] + 2260 * (w_v)}{t_{eb} * 60} \quad (2.12)$$

2.7.5 Observaciones.

- Para las evaluaciones de los rendimientos de las cocinas, sólo emplearemos pruebas en fase de alta potencia con inicio en frío y en caliente.
- En cocinas multi-hornilla, el factor $\left(\frac{T_{nf} - T_{ni}}{T_b - T_{ni}} \right)$ es utilizado para tomar en consideración el agua calentada en las ollas adicionales que no llega a hervir completamente. Por ejemplo cuando calculamos el consumo específico, que en esta prueba mide la cantidad de leña requerida para llevar a ebullición una unidad de cantidad de agua, queremos dar reconocimiento al agua calentada en las ollas secundarias a pesar de que no llegaron a la temperatura de ebullición. Dado que la energía Q requerida para llevar a ebullición el agua es aproximadamente una función lineal del cambio de temperatura $Q \propto \Delta T$ se reduce la cantidad de agua que no fue hervida por un factor que varía entre 0 y 1, mostrando la fracción de calor sensible absorbido por el agua, relativa al calor requerido para hervirla.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. University of California Berkeley, (2003). Water Boiling Test Protocol, VITA, CA, U.S.
2. Assureira Espinoza Estela, (2007). Diseño, evaluación, y programa de transferencia tecnológica de Doña Olga: Una cocina institucional mejorada, 8° Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, Cusco, Perú.



CAPITULO TERCERO

DESARROLLO DE LAS PRUEBAS

3.1 Objetivo

En base a los resultados de eficiencia energética, tiempo de ebullición, ahorro de combustible y nivel de contaminación obtenidos de las Pruebas de Ebullición de Agua, lograr un modelo de cocina mejorada que cubra los requerimientos y necesidades de los propios usuarios.

3.2 Descripción de los modelos evaluados

Son cocinas para uso doméstico en zonas rurales donde se utilizan medios y materiales locales para su construcción además de emplear la biomasa disponible como combustible. Estos prototipos se construyeron de adobe reforzado con paja tal como se construyen las cocinas en zonas rurales.

Los modelos se diferencian en la forma y dimensión de la cámara combustión, el número de hornillas, tipo de alojamiento de las ollas en la cocina, postura del usuario al cocinar. A continuación se describen los modelos:

1. Cocina Referencia: Cámara de combustión abierta, colocación de la olla sobre tres bloques de adobe. Cocina de referencia de ahorro de combustible (Fig. 3.1).
2. Cocina 1: Cámara de combustión tipo Rocket o "L", altura de operación del usuario de 750 mm, dos hornillas, alojamiento sumergido de ollas en la cocina, chimenea metálica con válvula de regulación de gases, parrilla como lecho de combustible (Fig. 3.2).

3. Cocina 2: Cámara de combustión trapezoidal, plancha metálica en la superficie superior de la cocina para evitar rajaduras en el borde de la hornilla, altura de operación del usuario de 360 mm, una hornilla, alojamiento de la olla sobre la superficie de la cocina, chimenea construida de barro y yeso sin válvula de regulación de gases, parrilla como lecho de combustible (Fig. 3.3).
4. Cocina 3: Cámara de combustión rectangular, plancha metálica en la superficie superior de la cocina para evitar rajaduras en los bordes de las hornillas, altura de operación del usuario de 720 mm, dos hornillas, alojamiento sumergido de las ollas en la cocina, chimenea metálica con válvula de regulación de gases, parrilla como lecho de combustible (Fig. 3.4).
5. Cocina 4: Cocina tipo Lorena, cámara de combustión rectangular, altura de operación del usuario de 380 mm, dos hornillas, colocación de ollas sobre la superficie de la cocina, chimenea metálica con válvula de regulación de gases, parrilla como lecho de combustible (Fig. 3.5).
6. Cocina 5: Cámara de combustión rectangular, altura de operación de usuario de 550 mm, dos hornillas, colocación sumergida de las ollas en la cocina, chimenea de calamina enrollada cubierta con barro sin válvula de regulación de gases, parrilla como lecho de combustible (Fig. 3.6).



Figura 3.1: Cocina Referencia



Figura 3.2: Cocina 1



Figura 3.3: Cocina 2



Figura 3.4: Cocina 3



Figura 3.5: Cocina 4



Figura 3.6: Cocina 5

3.3 Descripción de parámetros de funcionamiento

Se describen los parámetros dimensionales de funcionamiento en los modelos evaluados (Fig.3.7):

1. (H_{CAM}) Altura del lecho de combustible a base de la olla. Esto influye en la transferencia de calor por radiación y en la calidad de la combustión.
- b. (G) Distancia radial entre la superficie exterior de las ollas y la superficie interior de la cocina o gap, este es el espacio por donde los gases de combustión abrazan en su recorrido a las superficies de las ollas. Esto influye principalmente a la eficiencia térmica y a la potencia promedio.
- c. (L) Profundidad de alojamiento de la olla, es la profundidad de olla sumergida en la cocina en contacto con los gases calientes de combustión. Esto influye principalmente a la eficiencia térmica y a la potencia promedio.
- d. (A_{CHIM}) Área de salida del flujo de gases, es la sección de la chimenea, mediante el uso de una válvula mariposa se facilitó el control del flujo de gases y la entrada de aire a la cámara de combustión. Esto influye en la intensidad de la llama.
- e. ($A_{LEÑA}$) Área transversal de leña empleada en la combustión. Esto afecta en la velocidad de combustión.

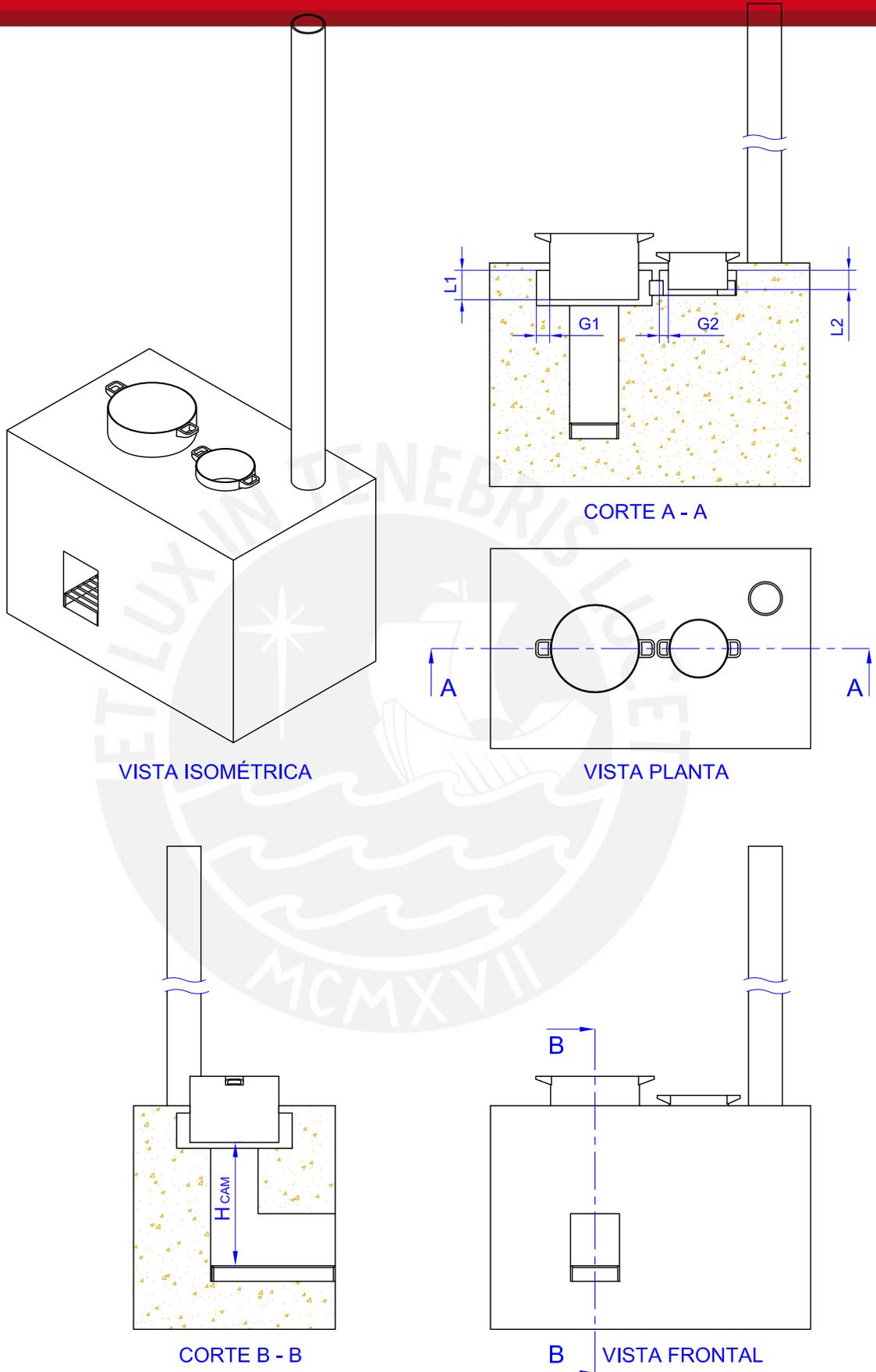


Figura 3.7: Identificación de parámetros.

H_{CAM} : Altura lecho combustible - base olla.

G_{1-2} : Distancia radial entre superficie exterior olla - pared interna de cocina.

L_{1-2} : Profundidad de alojamiento de la holla.

3.4 Evaluación de los modelos propuestos

3.4.1 Objetivos

Se plantearon tres etapas de evaluación las cuales tienen como objetivo lo siguiente:

- a. Primera etapa: Seleccionar el modelo con mayores índices de rendimiento energético de los modelos planteados como cocinas mejoradas.
- b. Segunda etapa: Mejorar los índices de rendimiento energético del modelo seleccionado en la primera etapa.
- c. Tercera etapa: Verificar niveles mínimos de contaminación del modelo mejorado en la segunda etapa.

3.4.2 Procedimiento

Se describen los procedimientos para cada etapa de evaluación (Fig.3.8):

3.4.2.1 Primera etapa de evaluación

1. Evaluar a los prototipos de cocinas mediante la Prueba de Ebullición de Agua.
2. Registrar el rendimiento energético de los prototipos principalmente a causa del tamaño y geometría de la cámara de combustión, el tipo de alojamiento de las ollas en la cocina y la cantidad de hornillas.
3. Comparar los resultados de rendimiento energético obtenidos en cada prototipo.
4. Seleccionar el prototipo con mejores índices de rendimiento energético con el objetivo de medir la influencia en la transferencia de calor (por radiación y convección) mediante la variación de sus parámetros de funcionamiento.

3.4.2.2 Segunda etapa de evaluación

1. Evaluar el prototipo seleccionado mediante la Prueba de Ebullición de Agua.
2. Registrar el rendimiento energético del prototipo seleccionado a causa de los cambios en sus parámetros de funcionamiento mencionados en el punto 3.3.
3. Comparar los resultados de rendimiento energético obtenidos entre cada condición de funcionamiento.
4. Seleccionar la condición de funcionamiento con mejores índices de rendimiento energético con el objetivo de definir dimensiones, determinar la cantidad de aire real presente en la combustión, realizar el balance energético, identificar las pérdidas de energía y proceder a medir el nivel de contaminación de la cocina.

3.4.2.3 Tercera etapa de evaluación

1. Realizar la Prueba de Ebullición de Agua por espacio de 40 minutos.
2. Monitorear y registrar la concentración de CO (ppm) en el ambiente interior donde se realiza la PEA. El medidor portátil de CO se colocará a 30 cm [Ref.1] de la cocina por encima del lugar donde pudiera existir escape de humo hacia el ambiente interior (Fig.3.18).
3. Comparar los niveles de concentración de CO (ppm) obtenidos del modelo seleccionado contra los obtenidos de una cocina tres piedras.
4. Verificar que las emisiones de CO (ppm) obtenidas se encuentren por debajo de concentración de referencia 50 ppm [Ref.2].

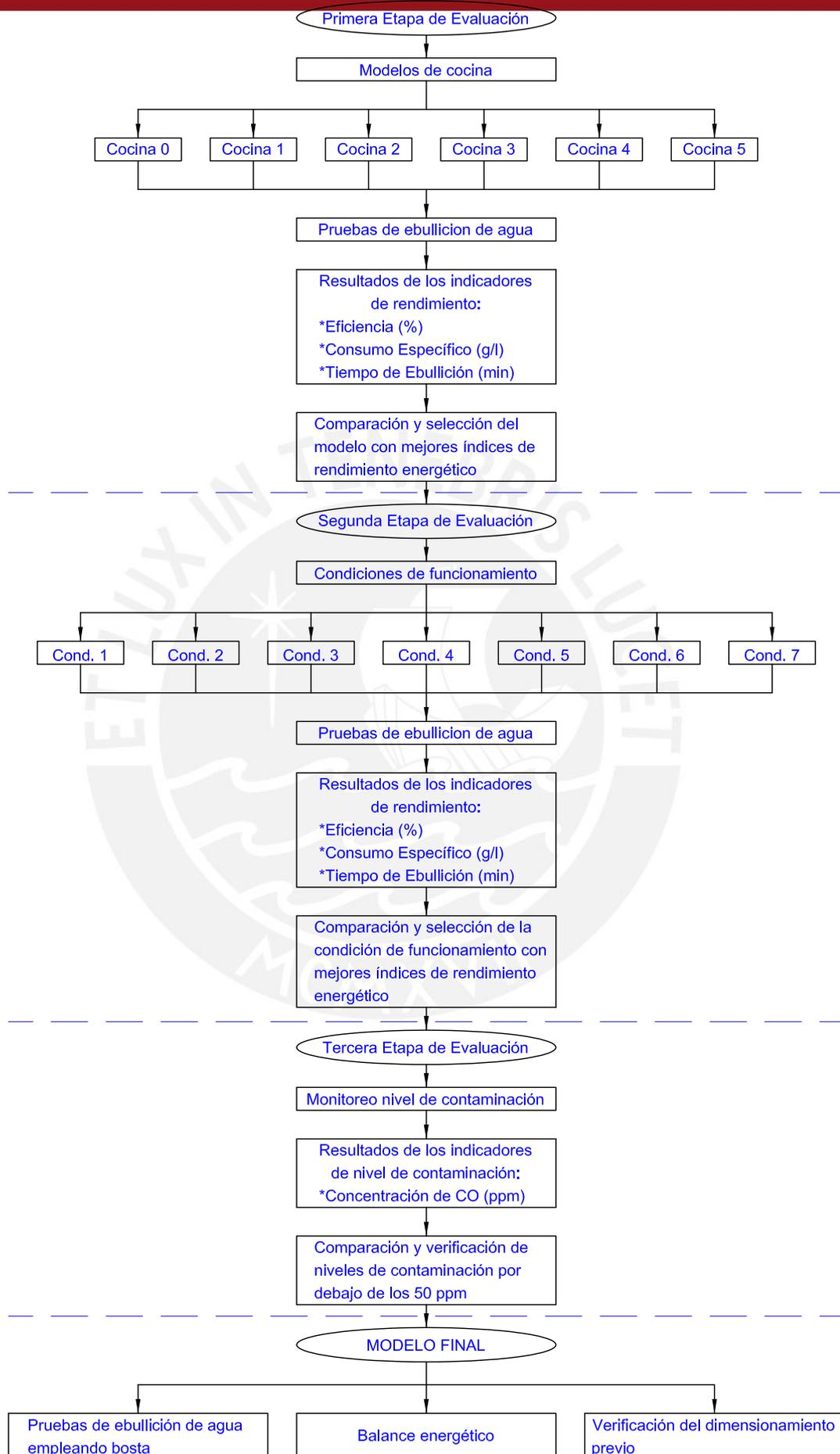


Fig.3.8: Etapas de evaluación para lograr el modelo objetivo de cocina mejorada

3.4.3 Matriz de resultados de la primera etapa de evaluación

Tabla 3.1: Parámetros de funcionamiento y resultados de la PEA con encendido en frío y en caliente

Parámetros de Funcionamiento de Cocinas evaluadas						Resultados de la PEA con encendido en Frío						Resultados de la PEA con encendido en Caliente													
COC.	H _{CAM} (mm)	G1 (mm)	G2 (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)	A _{CHIM} (cm2)	A _{LEÑA} (cm2)	Teb (min)	Teb ^T (min)	Vcomb (g/min)	n (%)	CE (g/l)	CE ^T (g/l)	PF (kW)	P (kW)	Teb (min)	Teb ^T (min)	Vcomb (g/min)	n (%)	CE (g/l)	CE ^T (g/l)	PF (kW)	P (kW)		
C0	140	-	-	-	-	-	6 - 7	18	18	37	18	140	136	10.57	1.95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
								21	20	34	17	147	141	9.55	1.65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Valores Promedio Cocina 0								19.5	19.1	35.5	17.5	143.5	138.5	10.06	1.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C1	360	30	25	70	65	113.1	6 - 7	20	19	43	20	124	119	12.12	2.44	14	14	49	23	101	100	13.96	3.18		
								28	26	34	21	137	125	9.75	2.02	17	16	45	22	109	102	12.87	2.84		
Valores Promedio Cocina 1								24.0	23.0	38.7	20.0	132.0	125.7	10.96	2.19	16.0	15.3	46.7	22.3	109.3	104.0	13.31	2.95		
C2	300	-	-	-	-	113.1	6 - 7	30	28	32.0	14	201	191	9.06	1.23	17	17	49.0	14	171	173	13.84	1.87		
								27	25	35.0	13	198	185	10.05	1.28	19	19	46.0	14	178	176	12.98	1.77		
Valores Promedio Cocina 2								28.5	26.5	33.5	13.5	199.5	188.0	9.56	1.26	18.0	18.0	47.5	14	174.5	174.5	13.41	1.82		
C3	280	30	25	70	65	113.1	6 - 7	19	18	47	19	137	130	13.25	2.54	16	15	54	19	123	119	15.26	2.89		
								15	16	48	19	116	124	13.74	2.67	13	14	53	21	107	115	14.96	3.12		
Valores Promedio Cocina 3								17.0	17.0	47.5	19.0	126.5	127.0	13.50	2.61	14.5	14.5	53.5	20.0	115	117.0	15.11	3.01		
C4	200	-	-	-	-	113.1	6 - 7	36	34	34	14	203	192	9.54	1.33	35	33	34	15	199	186	9.64	1.4		
								37	35	32	15	200	190	9.18	1.35	33	31	36	16	190	178	10.13	1.57		
Valores Promedio Cocina 4								36.5	34.5	33.0	14.5	201.5	191.0	9.36	1.34	34.0	32.0	35.0	15.5	194.5	182.0	9.89	1.49		
C5	210	30	25	70	65	113.1	6 - 7	16	15	51	18	135	127	14.63	2.57	16	15	47	20	123	114	13.45	2.69		
								19	18	39	19	122	115	11.05	2.14	15	14	57	19	133	123	16.2	3.02		
Valores Promedio Cocina 5								17.5	16.5	45.0	18.5	128.5	121.0	12.84	2.36	15.5	14.5	52.0	19.5	128.0	118.5	14.83	2.86		

3.4.3.1 Gráficas comparativas de resultados

a. Tiempo de ebullición (t_{eb}^T)

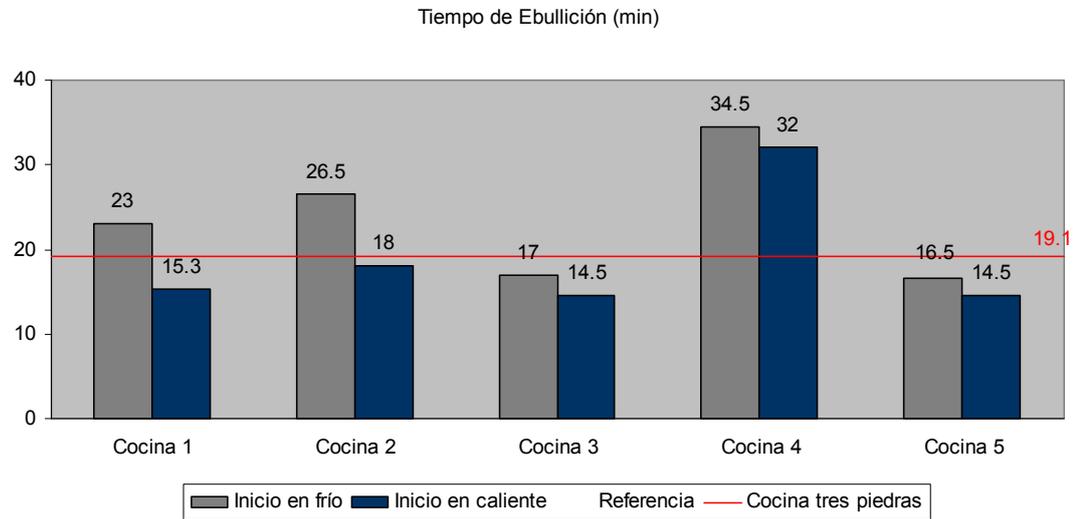


Figura 3.9: Gráfica comparativa del tiempo de ebullición.

b. Eficiencia térmica (n)

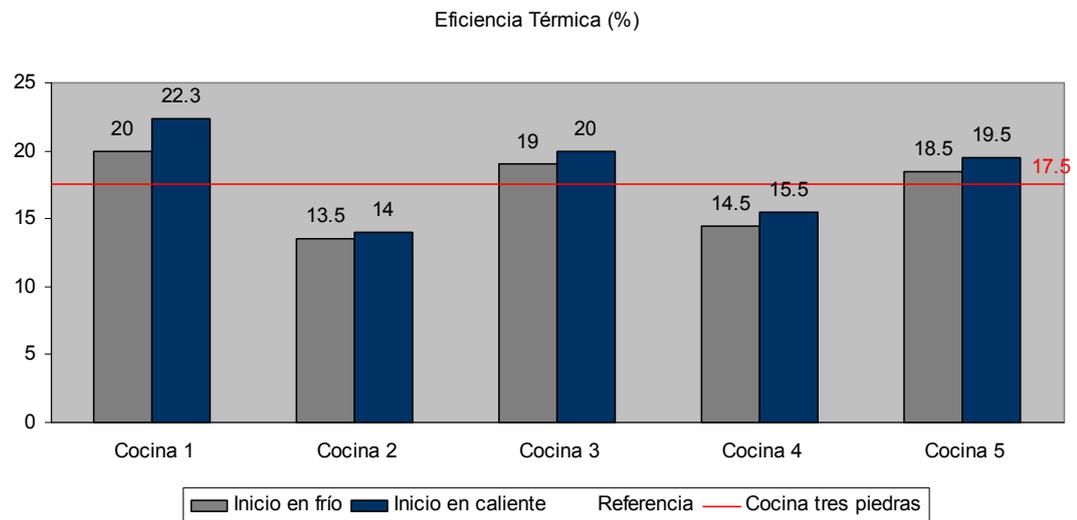


Figura 3.10: Gráfica comparativa de eficiencia térmica.

c. Consumo específico (CE^T)

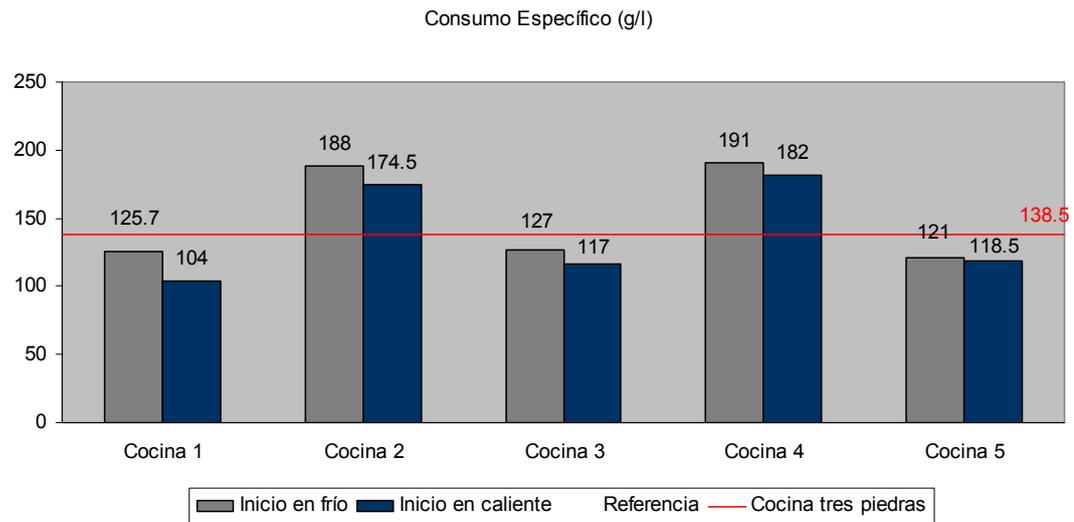


Figura 3.11: Gráfica comparativa de consumo específico.

d. Velocidad de combustión (V_{comb})

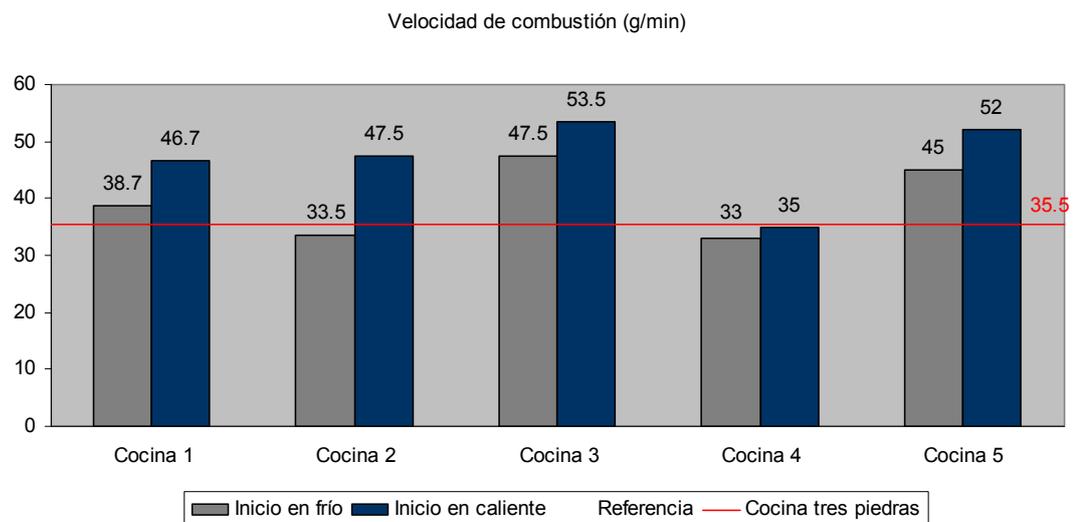


Figura 3.12: Gráfica comparativa de velocidad de combustión.

3.4.3.2 Observaciones

- La cocina 1 arrojó el índice más alto de eficiencia térmica (22.3 %), el índice más bajo de consumo específico (104 g/l) y el tiempo de ebullición (15.3 min) fue menor al de la cocina de referencia.

Por lo tanto se seleccionará a la cocina 1 para la segunda etapa de evaluación.

3.4.4 Matriz de resultados de la segunda etapa de evaluación

Tabla 3.2: Parámetros de funcionamiento y resultados de la PEA con encendido en frío y en caliente

CON.	Parámetros de Funcionamiento de Cocina 1							Resultados de la PEA con encendido en Frío							Resultados de la PEA con encendido en Caliente								
	H _{CAIM} (mm)	G1 (mm)	G2 (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)	A _{CHIM} (cm ²)	A _{LEÑA} (cm ²)	Teb (min)	Teb ^T (min)	Vcomb (g/min)	n (%)	CE (g/l)	CE ^T (g/l)	PF (kW)	P (kW)	Teb (min)	Teb ^T (min)	Vcomb (g/min)	n (%)	CE (g/l)	CE ^T (g/l)	PF (kW)	P (kW)
CON.1	360	30	25	70	65	113.1	6 - 7	20	19	43	20	124	119	12.12	2.44	14	14	49	23	101	100	13.96	3.18
								28	26	34	21	137	125	9.75	2.02	17	16	45	22	109	102	12.87	2.84
								24	24	39	19	135	133	11.01	2.11	17	16	46	22	118	110	13.11	2.84
	Valores Promedio Condición de Funcionamiento 1							24.0	23.0	38.7	20.0	132.0	125.7	10.96	2.19	16.0	15.3	46.7	22.3	109.3	104.0	13.31	2.95
CON.2	360	30	25	70	65	56.5	6 - 7	35	33	26	19	138	129	7.48	1.41	14	13	49	23	101	96	13.98	3.21
								33	32	30	19	150	144	8.51	1.63	19	18	37	24	102	98	10.51	2.57
	Valores Promedio Condición de Funcionamiento 2							34.0	32.5	28	19	144	136.5	8.00	1.52	16.5	15.5	43.0	23.5	101.5	97.0	12.25	2.89
CON.3	220	30	25	70	65	113.1	6 - 7	19	18	35	22	106	101	9.93	2.2	14	14	49	23	102	99	14.02	3.16
								17	16	42	22	114	110	12.01	2.59	11	10	65	23	104	99	18.46	4.2
	Valores Promedio Condición de Funcionamiento 3							18.0	17.0	38.5	22.0	110.0	105.5	10.97	2.40	12.5	12.0	57.0	23.0	103.0	99.0	16.24	3.68
CON.4	220	30	25	70	65	56.5	6 - 7	38	36	20	23	125	117	5.58	1.31	16	15	42	23	101	98	11.96	2.7
								17	16	43	21	111	107	12.12	2.54	14	13	39	27	83	79	11.1	3.03
	Valores Promedio Condición de Funcionamiento 4							27.5	26.0	31.5	22.0	118.0	112.0	8.85	1.93	15.0	14.0	40.5	25.0	92.0	88.5	11.53	2.87
CON.5	220	30	25	70	65	113.1	1.5 - 4	11	11	85	17	133	128	24.11	4.08	10	10	97	20	134	131	27.53	5.64
								10	9	77	20	115	109	21.79	4.35	11	10	85	18	128	121	24.19	4.45
	Valores Promedio Condición de Funcionamiento 5							10.5	10.0	81.0	18.5	124.0	118.5	22.95	4.22	10.5	10.0	91.0	19.0	131.0	126.0	25.86	5.05
CON.6	220	30	25	70	65	56.5	1.5 - 4	13	13	60	20	115	111	17.16	3.45	12	12	69	21	114	110	19.64	4.08
								13	12	58	21	114	107	16.44	3.43	12	11	61	21	107	102	17.45	3.71
	Valores Promedio Condición de Funcionamiento 6							13.0	12.5	59.0	20.5	114.5	109.0	16.80	3.44	12.0	11.5	65.0	21.0	110.5	106.0	18.55	3.90
CON.7	220	10	10	70	65	113.1	6 - 7	17	17	39	24	99	96	11.01	2.66	17	17	35	29	87	85	9.9	2.82
								18	18	36	25	98	95	10.33	2.57	15	15	35	31	77	75	9.82	3.04
	Valores Promedio Condición de Funcionamiento 7							17.5	17.5	37.5	24.5	98.5	95.5	10.67	2.62	16.0	16.0	35.0	30.0	82.0	80.0	9.86	2.93

3.4.4.1 Graficas comparativas de resultados

a. Tiempo de ebullición (t_{eb}^T)

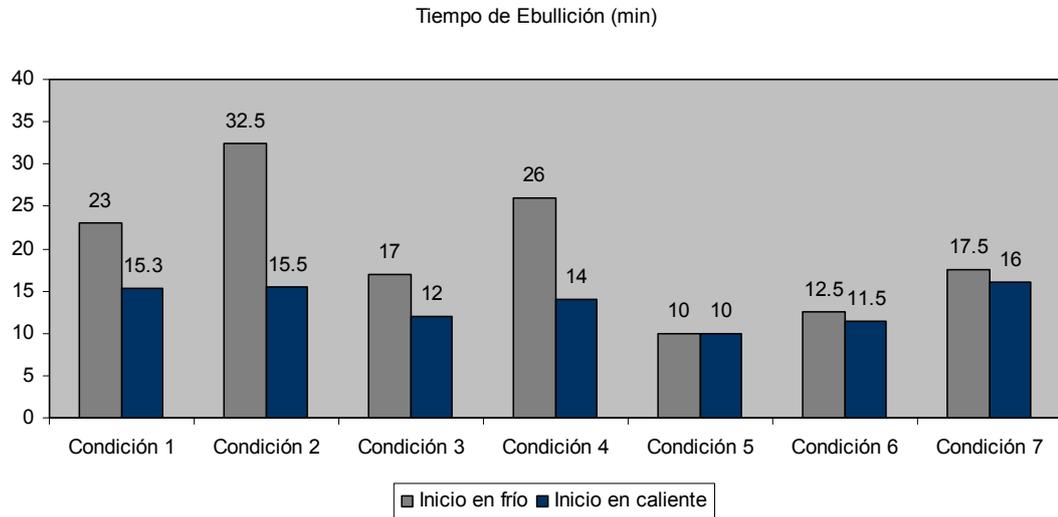


Figura 3.13: Gráfica comparativa de tiempo de ebullición.

b. Eficiencia térmica (η)

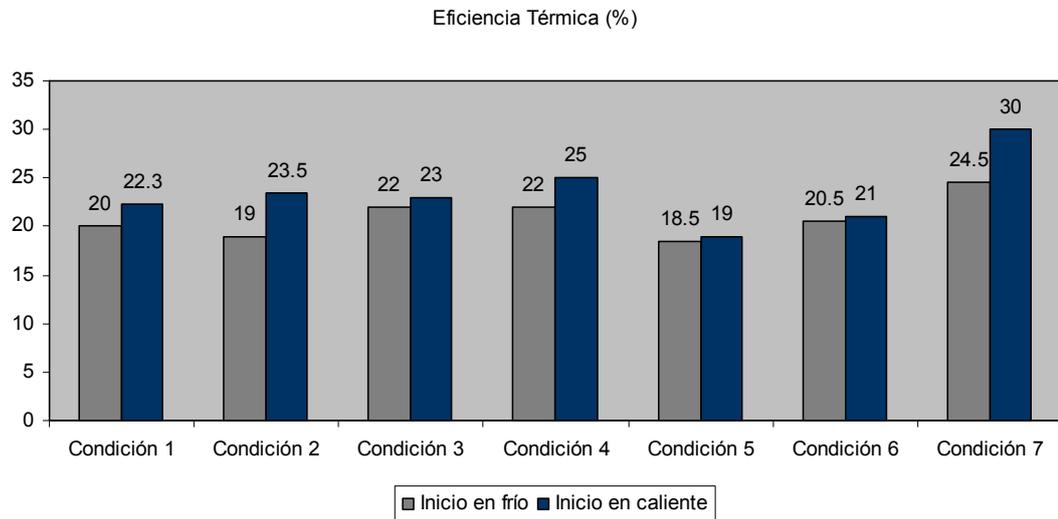


Figura 3.14: Gráfica comparativa de la eficiencia térmica.

c. Consumo específico (CE^T)

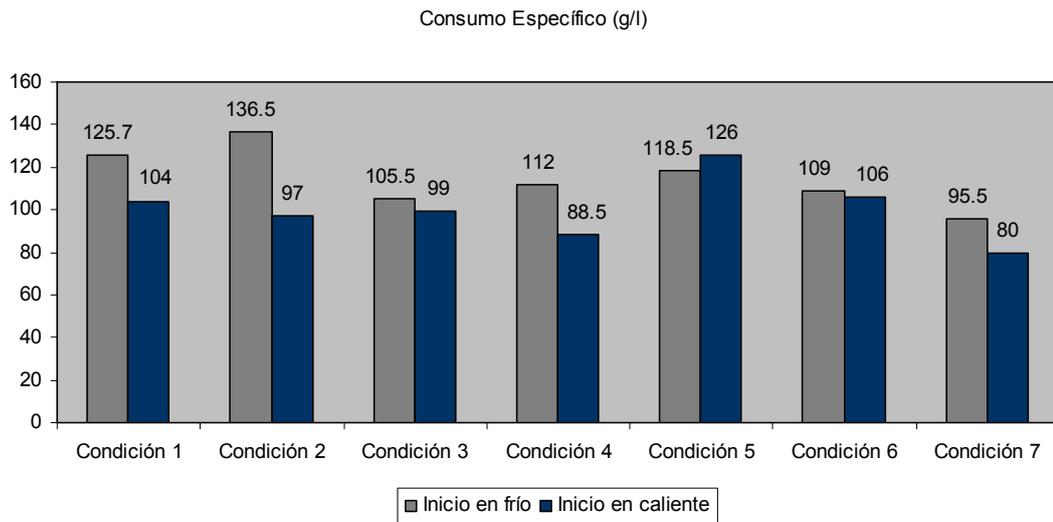


Figura 3.15: Gráfica comparativa de consumo específico.

d. Velocidad de combustión (V_{comb})

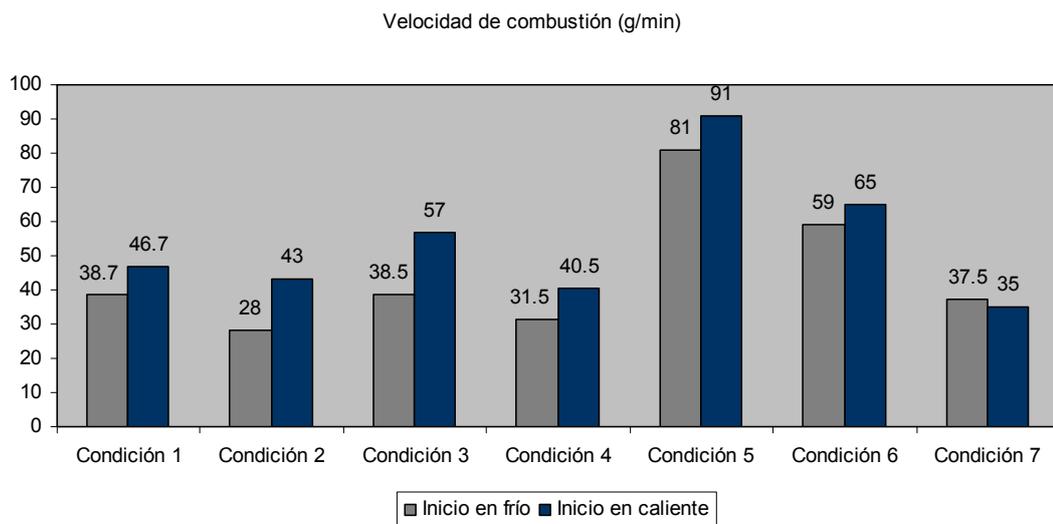


Figura 3.16: Gráfica comparativa de velocidad de combustión.

3.4.4.2 Observaciones

- La cocina 1 bajo la condición de funcionamiento 7, arrojó el índice más alto de eficiencia térmica (30 %) y el índice más bajo de consumo específico (80 g/l).

Se seleccionará la cocina 1 bajo la condición de funcionamiento 7 para la tercera etapa de evaluación.

3.4.5 Resultados de la tercera etapa de evaluación

3.4.5.1 Monitoreo del nivel de contaminación de aire interior

Monitoreo de CO

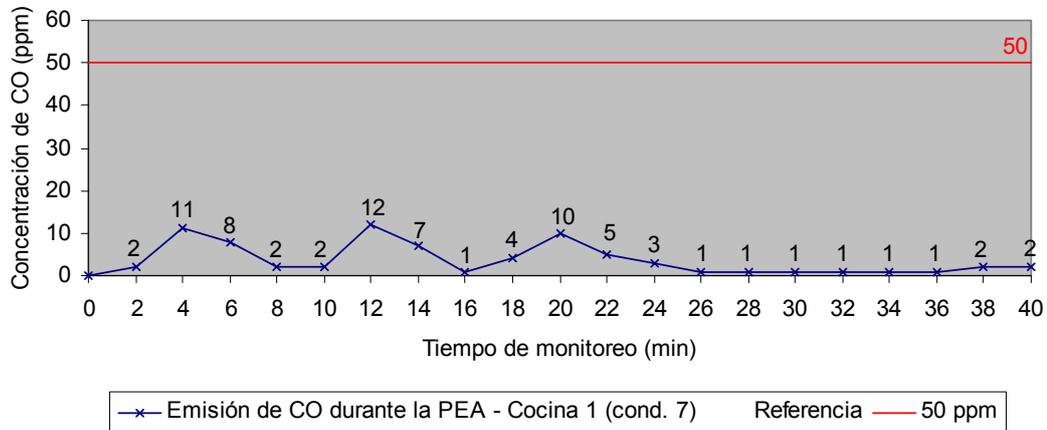


Figura 3.17: Concentración de CO durante la PEA – Cocina 1, cond. de funcionamiento 7

Tabla 3.3: Resultados de la medición de CO

Resultados de la medición de CO	Cocina 1 (ppm)	⁽¹⁾ Cocina tres piedras (ppm)	Reducción de contaminación (%)
Concentración de CO promedio	3.9	31.7	87.7
Concentración de CO más alta en los primeros 15 min	12	46.3	74.1

⁽¹⁾ [Ref.3]

3.4.5.2 Observaciones

- La cocina 1 bajo la condición de funcionamiento 7, tiene en promedio un nivel de contaminación de 3.9 ppm, reduciendo el nivel de contaminación en 87.7% respecto a una cocina tres piedras.
- Tanto el valor promedio como el valor más alto de concentración de CO en los primeros 15 minutos de operación están por debajo de los 50 ppm.

Se ha alcanzado un modelo de cocina mejorada que es energéticamente eficiente, de un bajo consumo de combustible y con niveles bajos de emisión de CO.

Definido el modelo objetivo de cocina mejorada, se procederá a realizar el balance de energía además de realizar las PEA con otro tipo de biomasa disponible en zonas rurales como la bosta.



Figura 3.18: Monitoreo de la concentración de CO en el ambiente interior.

3.5 Pruebas de Ebullición de Agua en el modelo objetivo de cocina mejorada empleando Bosta como combustible

3.5.1 Objetivo

Desarrollar la utilización eficiente de la bosta como combustible alternativo en las áreas rurales para aplicaciones domésticas.

3.5.2 Procedimiento

1. Evaluar el modelo objetivo de cocina mejorada mediante la Prueba de ebullición de Agua, empleando bosta como combustible.
2. Registrar el rendimiento energético.
3. Comparar los índices de rendimiento energético entre una cocina tres piedras y el modelo objetivo de cocina mejorada

3.5.3 Matriz de resultados de la PEA empleando bosta como combustible

Tabla 3.4: Parámetros de funcionamiento y resultados de la PEA con encendido en frío y en caliente empleando bosta como combustible

COC.	Parámetros de Funcionamiento de Cocinas							Resultados de la PEA con encendido en Frío						Resultados de la PEA con encendido en Caliente										
	H _{CAM} (mm)	G1 (mm)	G2 (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)	A _{CHIM} (cm ²)	P _{BOSTA} (g)	Teb (min)	Teb ^T (min)	Vcomb (g/min)	n (%)	CE (g/l)	CE ^T (g/l)	PF (kW)	P (kW)	Teb (min)	Teb ^T (min)	Vcomb (g/min)	n (%)	CE (g/l)	CE ^T (g/l)	PF (kW)	P (kW)	
C0	140	-	-	-	-	-	15 - 20	23	22	68	8	321	305	18.11	1.44	-	-	-	-	-	-	-	-	-
								27	26	60	7	330	318	15.94	1.18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C1	220	10	10	70	65	113.1	15 - 20	25.0	24.0	64.0	7.5	325.5	311.5	17.03	1.31	-	-	-	-	-	-	-	-	-
								16	15	70	14	176	167	18.58	2.68	13	13	78	16	157	153	20.75	3.23	
								20	19	60	14	190	181	16.01	2.18	15	15	73	15	169	165	19.51	2.87	
							Valores Promedio Cocina mejorada	18.0	17.0	65.0	14.0	183.0	174.0	17.30	2.43	14.0	14.0	75.5	15.5	163.0	159.0	20.13	3.05	

3.5.4 Observaciones

- El consumo específico de energía al emplear bosta fue de 2549 kJ/l mientras que para la leña fue de 1364 KJ/l.
- La eficiencia aumento de 7.5 % a 15.5 % al usar una cocina mejorada frente a una tres piedras.

3.6 Dimensionamiento del modelo objetivo de cocina mejorada

3.6.1 Sección de la chimenea

El modelo objetivo de cocina mejorada tuvo una velocidad de combustión de 35 g/min (Tabla 3.2) lo que equivale a:

$$35 \frac{\text{g}}{\text{min}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \cdot 4076.2 \frac{\text{cal}}{\text{g}} = 8560 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

De acuerdo a la expresión (1.11):

$$A_{\text{CHIM}} = \frac{\text{Cantidad de energía producida}}{100} \quad (3.1)$$

Donde:

- Cantidad de energía producida (kcal/h)
- A_{CHIM} : Área de la chimenea (cm²)

Siendo la cantidad de energía producida = 8560 kcal/h, la sección de la chimenea debería tener como mínimo 85.6 cm² pero a causa que la temperatura promedio de los gases en la chimenea es de 229°C, la sección debe tener como mínimo 89.9 cm².

El diámetro de la chimenea adoptado fue de 120 mm (113.3 cm²) con lo que está suficientemente dimensionada.

3.6.2 Altura de la chimenea

De acuerdo a la expresión (1.12):

$$20d \leq H_{\text{CHIM}} \leq 25d \quad (3.2)$$

Donde:

- d : Diámetro de la chimenea (mm)
- H_{CHIM} : Altura de la chimenea (mm)

Siendo $d = 120$ mm, la altura recomendada de la chimenea está entre 2400 a 3000 mm.

La altura de la chimenea adoptada fue de 2500 mm con lo que está dentro del rango recomendado.

Se tiene definido que el diámetro $d = 120$ mm y la altura de la chimenea $H_{\text{CHIM}} = 2500$ mm están dentro de los valores recomendados.

3.7 Tiro de la chimenea

3.7.1 Cálculo aproximado del tiro de la chimenea

Dado que la temperatura media de los gases que fluyen por la chimenea es 229°C , se puede utilizar la expresión (1.13):

$$Z = 0.4 H_{\text{CHIM}} \quad (3.3)$$

Donde:

- H_{CHIM} : Altura de la chimenea (m)
- Z : Tiro útil en la chimenea (pa)

Siendo:

$$H_{\text{CHIM}} = 2.5 \text{ m}$$

Reemplazando en (3.3):

$$Z = 0.4 (2.5) = 1 \text{ mm.c.a (10 pa).}$$

3.7.2 Medición del tiro de la chimenea

En base al punto 1.3.3 (Capítulo 1), la norma española UNE-EN 676 (Fig.1.3) recomienda tomar la medida de presión en la chimenea a una altura $2d$ medido desde la base.

Siendo el diámetro de la chimenea $d = 120 \text{ mm}$, el tubo de pitot se colocará a una distancia de 240 mm .

Se realizó una PEA al modelo objetivo de cocina mejorada por espacio de 45 min registrándose en el micromanómetro de Betz una diferencia de presión constante o tiro de $0.2 \text{ kgf/m}^2 (\approx 2 \text{ pa})$.

Para los cálculos de balance energético durante el funcionamiento del modelo objetivo de cocina mejorada, se tomará el valor de 2 pa .

3.8 Balance energético del modelo objetivo de cocina mejorada

3.8.1 Objetivo

Se muestra el esquema del balance energético del modelo objetivo de cocina mejorada (Fig.3.19), con el objetivo de determinar la cantidad de energía que no es aprovechada y el medio por donde esta se pierde.

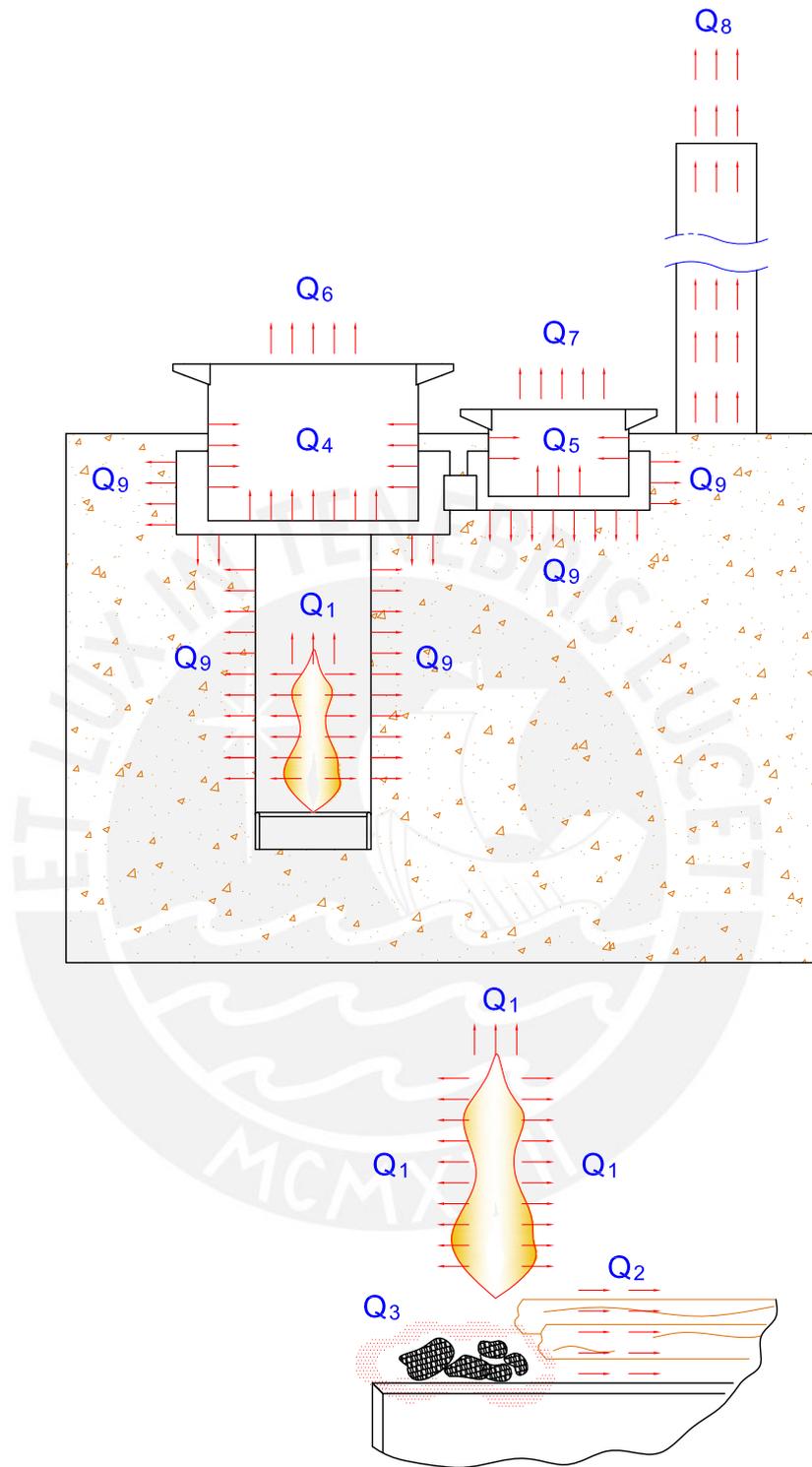


Figura 3.19: Balance energético del modelo de cocina mejorada

3.8.2 Balance energético

3.8.2.1 Distribución de la energía producida en la combustión

La energía producida en la combustión se distribuye en:

- Q_1 , Energía producida por la combustión de leña húmeda.
- Q_2 , Energía perdida por humedad en la leña.
- Q_3 , Energía perdida en los residuos de carbón.
- Q_4 , Energía ganada por el agua de olla principal.
- Q_5 , Energía ganada por el agua de olla secundaria.
- Q_6 , Energía ganada por evaporación de agua de olla principal.
- Q_7 , Energía ganada por evaporación de agua de olla secundaria.
- Q_8 , Energía perdida en los gases de combustión.
- Q_9 , Energía perdida en el cuerpo de la cocina.

a. Energía producida por la combustión de leña húmeda

$$Q_1 = \frac{f_m \cdot PC}{t_{eb} \cdot 60} \quad (3.4)$$

Donde:

Q_1 : Energía producida por la combustión de leña húmeda (kW).

f_m : Leña húmeda consumida (kg).

PC : Poder calorífico inferior de leña (kJ/kg).

t_{eb} : Tiempo de la PEA hasta la ebullición de agua en olla principal (min).

Se tiene:

f_m = 0.8175 kg (valor promedio de pruebas)

PC = 17,066 kJ/kg (Tabla 1.1)

t_{eb} = 16 min (valor promedio de pruebas)

Reemplazando en (3.4):

$$Q_1 = \frac{(0.8175)(17,066)}{(16)(60)}$$

$$Q_1 = 14.53 \text{ kW}$$

b. Energía perdida por humedad en la leña:

$$Q_2 = \frac{(f_m \cdot m + 0.12 \cdot f_m \cdot m) \cdot PC}{t_{eb} \cdot 60} \quad (3.5)$$

Donde:

Q_2 : Energía perdida por de humedad en la leña (kW).

m : Cantidad de humedad (% base húmeda).

Se tiene:

$$m = 12.74 \% \text{ (Tabla 1.1)}$$

El factor de 0.12 representa la relación Calor latente de evaporación de agua / Poder calorífico de leña [Ref.4].

Reemplazando en (3.5):

$$Q_2 = \frac{(1.12)(0.8175)(0.1274)(17,066)}{(16)(60)}$$

$$Q_2 = 2.07 \text{ kW}$$

c. Energía perdida en los residuos de carbón:

$$Q_3 = \frac{(\Delta c) \cdot (1.5 \cdot PC)}{t_{eb} \cdot 60} \quad (3.6)$$

Donde:

Q_3 : Energía perdida en los residuos de carbón (kW).

Δc : Carbón producido durante la combustión (kg).

El factor de 1.5 representa la relación Poder calorífico carbón / Poder calorífico de leña [Ref.5].

Se tiene:

$\Delta c = 0.0975$ kg (valor promedio de pruebas).

Reemplazando en (3.6):

$$Q_3 = \frac{(0.0975)(1.5)(17,066)}{(16)(60)}$$

$$Q_3 = 2.60 \text{ kW}$$

d. Energía ganada por el agua de olla principal:

$$Q_4 = \frac{C_{Pag.} \cdot m_{ag.1} \cdot \Delta T_1}{t_{eb} \cdot 60} \quad (3.7)$$

Donde:

Q_4 : Energía ganada por el agua de olla principal (kW).

$C_{Pag.}$: Calor específico de agua (kJ/kg °C).

$m_{ag.1}$: Masa agua olla principal (kg).

ΔT_1 : Diferencia de temperatura en olla principal hasta ebullición (°C).

Se tiene:

$$C_{\text{Pag.}} = 4.186 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} \text{ [Ref.6]}$$

$$m_{\text{ag.1}} = 5 \text{ kg}$$

$$\Delta T_1 = 77^\circ\text{C} \text{ (valor promedio de pruebas).}$$

Reemplazando en (3.7):

$$Q_4 = \frac{(4.186)(5)(77)}{(16)(60)}$$

$$Q_4 = 1.68 \text{ kW}$$

e. Energía ganada por el agua de olla secundaria:

$$Q_5 = \frac{C_{\text{Pag.}} \cdot m_{\text{ag.2}} \cdot \Delta T_2}{t_{\text{eb}} \cdot 60} \quad (3.8)$$

Donde:

Q_5 : Energía ganada por el agua de olla secundaria (kW).

$m_{\text{ag.2}}$: Masa agua olla secundaria (kg).

ΔT_2 : Diferencia de temperatura en olla secundaria ($^\circ\text{C}$).

Se tiene:

$$m_{\text{ag.2}} = 2.5 \text{ kg}$$

$$\Delta T_2 = 61^\circ\text{C}$$

Reemplazando en (3.8):

$$Q_5 = \frac{(4.186)(2.5)(61)}{(16)(60)}$$

$$Q_5 = 0.66 \text{ kW}$$

f. Energía ganada por evaporación de agua de olla principal:

$$Q_6 = \frac{C_{Lev.} \cdot m_{ev.1}}{t_{eb} \cdot 60} \quad (3.9)$$

Donde:

Q_6 : Energía ganada por evaporación de agua de olla principal (kW).

$C_{Lev.}$: Calor latente de evaporación de agua (kJ/kg).

$m_{ev.1}$: Masa agua evaporada en olla principal (kg).

Se tiene:

$$C_{Lev.} = 2260 \text{ kJ/kg [Ref.7]}$$

$$m_{ev.1} = 0.1975 \text{ kg (valor promedio de pruebas)}$$

Reemplazando en (3.9):

$$Q_6 = \frac{(2260)(0.1975)}{(16)(60)}$$

$$Q_6 = 0.46 \text{ kW}$$

g. Energía ganada por evaporación de agua de olla secundaria:

$$Q_7 = \frac{C_{Lev.} \cdot m_{ev.2}}{t_{eb} \cdot 60} \quad (3.10)$$

Donde:

Q_7 : Energía ganada por evaporación de agua de olla secundaria (kW).

$m_{ev.2}$: Masa agua evaporada en olla secundaria (kg).

Se tiene:

$$m_{ev,2} = 0.050 \text{ kg (valor promedio de pruebas)}$$

Reemplazando en (3.10):

$$Q_7 = \frac{(2260)(0.05)}{(16)(60)}$$

$$Q_7 = 0.12 \text{ kW}$$

h. Energía perdida en los gases de combustión

Se determina por la ecuación [Ref.8]:

$$Q_8 = \dot{m}_g \cdot C_{Pg} \cdot \Delta T_g \quad (3.11)$$

$$\dot{m}_g = \dot{V}_g \cdot \rho_g \quad (3.12)$$

$$\dot{V}_g = \alpha \cdot A_{CHIM} \cdot \sqrt{\frac{2\Delta p_g}{\rho_g}} \quad (3.13)$$

Donde:

Q_8 : Energía perdida en los gases de combustión (kW).

\dot{m}_g : Flujo de masa de gases de combustión (kg/s).

C_{Pg} : Calor específico de los gases de combustión (kJ/kg °C).

ΔT_g : Diferencia de temperatura de los gases de combustión.

\dot{V}_g : Caudal de gases de combustión (m³/s).

ρ_g : Densidad de gases de combustión (kg/m³).

α : Coeficiente de descarga de la chimenea.

A_{CHIM} : Sección de flujo de gases de combustión (m²).

Δp_g : Diferencia de presión en la chimenea (Pa).

La temperatura promedio de los gases de combustión en la chimenea medida en las pruebas fue de 229°C. Dado que los gases de combustión tienen aproximadamente una densidad y C_p igual a la del aire, se tomarán estos valores para los cálculos.

Se tiene:

$$\alpha = 0.72 \text{ [Ref.9]}$$

$$A_{\text{CHIM}} = 0.0113 \text{ m}^2$$

$$\Delta p_g = 2 \text{ Pa (obtenido en el punto 3.7.2)}$$

$$\rho_g = 0.708 \text{ kg/m}^3 \text{ [Ref.10]}$$

$$\Delta T_g = 207 \text{ °C (valor promedio de pruebas)}$$

$$C_{p_g} = 1.0319 \text{ kJ/kg °C [Ref.11].}$$

Reemplazando en (3.13):

$$\dot{V}_g = (0.72)(0.0113) \sqrt{\frac{2(2)}{0.708}}$$

$$\dot{V}_g = 0.019 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Reemplazando en (3.12):

$$\dot{m}_g = (0.019)(0.708)$$

$$\dot{m}_g = 0.014 \text{ kg/s}$$

Reemplazando en (3.11):

$$Q_g = (0.014)(1.0319)(207)$$

$$Q_g = 2.99 \text{ kW}$$

i. Energía perdida en el cuerpo de la cocina

Se hallará por diferencia:

$$Q_9 = Q_1 - (Q_2 + \dots + Q_8) \quad (3.14)$$

Donde:

Q_9 : Energía en el cuerpo de la cocina (kW).

Se tiene:

$$Q_1 = 14.53 \text{ kW}$$

$$Q_2 = 2.07 \text{ kW}$$

$$Q_3 = 2.60 \text{ kW}$$

$$Q_4 = 1.68 \text{ kW}$$

$$Q_5 = 0.66 \text{ kW}$$

$$Q_6 = 0.46 \text{ kW}$$

$$Q_7 = 0.12 \text{ kW}$$

$$Q_8 = 2.99 \text{ kW}$$

Reemplazando en (3.14):

$$Q_9 = 3.95 \text{ kW}$$

3.8.2.2 Balance de energía de ganancias y pérdidas

a. Energía que realmente proporciona el combustible durante la combustión:

$$Q_{\text{entregado}} = Q_1 - Q_2 - Q_3 \quad (3.15)$$

$$Q_{\text{entregado}} = 9.86 \text{ kW}$$

b. Energía aprovechada por las ollas principal y secundaria:

$$Q_{\text{aprovechado}} = Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 \quad (3.15)$$

$$Q_{\text{aprovechado}} = 2.92 \text{ kW}$$

Tabla 3.5: Balance de energía del modelo objetivo de cocina mejorada

Balance de energía	Energía (kW)	%
Q entregado por el combustible	9.86	100
Q aprovechado por el contenido de ollas	2.92	29.6
Q perdida en chimenea	2.99	30.3
Q perdida en cuerpo cocina	3.95	40.1

Estos resultados son similares a otros balances indicados en textos relacionados a cocinas mejoradas [Ref.12].

3.9 Determinación del exceso de aire del modelo objetivo de cocina mejorada

El exceso de aire se puede calcular despejando la ecuación de los productos de combustión [Ref.13]:

$$\dot{m}_g = (m_{\text{at}} \cdot e_a + m_{\text{comb}} - m_{\text{cen}}) \cdot V_{\text{comb}} \quad (3.16)$$

Donde:

- \dot{m}_g : Flujo de masa de los productos gaseosos de la combustión (kg/s).
- m_{at} : Peso de aire teórico por kg de combustible (kg).
- e_a : Coeficiente de exceso de aire teórico.
- m_{comb} : Peso de combustible (kg).
- m_{cen} : Peso de cenizas por kg de combustible (kg).
- V_{comb} : Velocidad de combustión (kg/s).

Se tiene:

$$\dot{m}_g = 0.014 \text{ kg/s (Punto 3.8.2)}$$

$$m_{at} = 4.56 \text{ kg (Tabla 1.5)}$$

$$m_{comb} = 1 \text{ kg}$$

$$m_{cen} = 0.0049 \text{ kg (Tabla 1.3a)}$$

$$V_{comb} = 35 \text{ g/min (Tabla 3.2)}$$

Reemplazando en (3.16):

$$\frac{35}{(1000)(60)} \cdot (4.56 \cdot e_a + 1 - 0.0049) = 0.014$$

$$4.56 \cdot e_a + 0.9951 = \frac{(0.014)(1000)(60)}{35}$$

$$4.56 \cdot e_a = 23$$

$$e_a = 5$$

3.10 Eficiencia de la combustión

Se define como la relación de calor entregado al equipo entre el calor que produciría el combustible en su combustión completa [Ref.14] y es un indicador de la eficiencia de la cámara combustión.

Despreciando la cantidad de ceniza en el combustible, dado que sólo es del 0.49% (Tabla 1.3b), la eficiencia de combustión es:

$$\eta_{comb} = \frac{Q_1 - Q_3}{Q_1} \quad (3.17)$$

Reemplazando en (3.17):

$$\eta_{comb} = 82\%$$

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Centro de investigación Aprovecho, (2007). Normas de Referencia para la certificación Aprovecho para la cocina de combustión mixta modelo Incawasi, Arequipa, Perú, p.1.
2. Centro de investigación Aprovecho, (2007). Resultados de la misión de la certificación de cocinas mejoradas, Arequipa, Perú, p.10.
3. Centro de investigación Aprovecho, op. cit., p.9.
4. Baldwin Samuel F., (1987). Biomass Stoves: Engineering Design, Development and Dissemination, VITA, Arlington, Virginia, p.89.
5. Baldwin Samuel F., op. cit., p.89.
6. Material de enseñanza del curso de Transferencia de Calor. Sección Ingeniería Mecánica, Pontificia Universidad Católica del Perú.
7. Material de enseñanza del curso de Transferencia de Calor. Sección Ingeniería Mecánica, Pontificia Universidad Católica del Perú.
8. Material de enseñanza del curso de Transferencia de Calor. Sección Ingeniería Mecánica, Pontificia Universidad Católica del Perú.
9. Jiménez Fernando, (1986). Tesis de Ingeniero PUCP: Diseño de una terma a carbón, Lima, Perú, p.27.
10. Material de enseñanza del curso de Transferencia de Calor. Sección Ingeniería Mecánica, Pontificia Universidad Católica del Perú.
11. Material de enseñanza del curso de Transferencia de Calor. Sección Ingeniería Mecánica, Pontificia Universidad Católica del Perú.
12. Baldwin Samuel F., op. cit., pp.29-30.
13. Jiménez Fernando, op. cit., p.24 .
14. Jiménez Fernando, op. cit., p. 21.

CAPITULO CUARTO

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

En base a los resultados del Capítulo 3, se han elaborado las matrices comparativas (Tablas 4.1, 4.2) de las PEA con encendido en caliente tanto de la primera como segunda etapa de evaluación

De esta información se muestran las gráficas comparativas Figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 con el objetivo de observar sus índices de rendimiento de acuerdo a la cámara de combustión, número de hornillas, tipo de alojamiento de las ollas en la cocina, tamaño y tipo de combustible.

4.1 Resultados de la primera etapa de evaluación

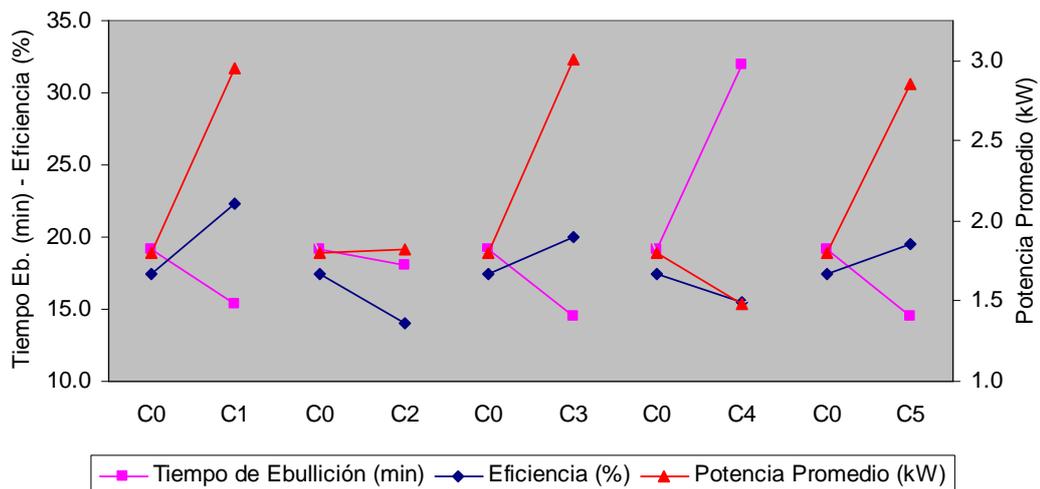


Figura 4.1: Comparación entre prototipos. Tiempo de Eb., Eficiencia, Potencia promedio

Tabla 4.1: Matriz de Resultados de la primera etapa de evaluación

COC.	H _{CAM} (mm)	G1 (mm)	G2 (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)	A _{CHIM} (cm ²)	A _{LEÑA} (cm ²)	TIEMPO DE EBULLICIÓN (min)	VELOCIDAD DE COMBUSTIÓN (g/min)	EFICIENCIA TÉRMICA (%)	CONSUMO ESPECÍFICO (g/l)	POTENCIA PROMEDIO (kW)	AHORRO DE COMBUSTIBLE (%)
0	140	-	-	-	-	-	6-7	19.1	35.5	17.5	138.5	1.80	0.0
1	360	30	25	70	65	113.1	6-7	15.3	46.7	22.3	104.0	2.95	24.9
2	300	-	-	-	-	113.1	6-7	18.0	47.5	14.0	174.5	1.82	-26.0
3	280	30	25	70	65	113.1	6-7	14.5	53.5	20.0	117.0	3.01	15.5
4	200	-	-	-	-	113.1	6-7	32.0	35.0	15.5	182.0	1.49	-31.4
5	210	30	25	70	65	113.1	6-7	14.5	52.0	19.5	118.5	2.86	14.4

Tabla 4.2: Matriz de Resultados de la segunda etapa de evaluación

CON.	H (mm)	G1 (mm)	G2 (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)	A _{CHIM} (cm ²)	A _{LEÑA} (cm ²)	TIEMPO DE EBULLICIÓN (min)	VELOCIDAD DE COMBUSTIÓN (g/min)	EFICIENCIA TÉRMICA (%)	CONSUMO ESPECÍFICO (g/l)	POTENCIA PROMEDIO (kW)	AHORRO DE COMBUSTIBLE (%)
1	360	30	25	70	65	113.1	6-7	15.3	46.7	22.3	104.0	2.95	24.9
2	360	30	25	70	65	56.5	6-7	15.5	43.0	23.5	97.0	2.89	30.0
3	220	30	25	70	65	113.1	6-7	12.0	57.0	23.0	99.0	3.68	28.5
4	220	30	25	70	65	56.5	6-7	14.0	40.5	25.0	88.5	2.87	36.1
5	220	30	25	70	65	113.1	1.5-4	10.0	91.0	19.0	126.0	5.05	9.0
6	220	30	25	70	65	56.5	1.5-4	11.5	65.0	21.0	106.0	3.90	23.5
7	220	10	10	70	65	113.1	6-7	16.0	35.0	30.0	80.0	2.93	42.2

a. Tiempo de Ebullición

El tiempo de ebullición en las cocinas 1, 3, 5 disminuyó en 3.8, 4.6, 4.6 minutos respectivamente mientras que en la cocina 2 sólo disminuyó en 1.1 minuto. Por el contrario en la cocina 4 se tuvo un mayor tiempo de ebullición aumentando en 12.9 minutos.

Esta disminución del tiempo de ebullición muestra que se logra un mejor aprovechamiento de la transferencia de energía por radiación y convección desde la llama y de los gases calientes hacia la olla principal en una cámara de combustión cerrada, ya que en una cámara de combustión abierta parte de esta energía se pierde al medio ambiente.

El mayor tiempo de ebullición producido en la cocina 4 refleja una mala transferencia de energía de la llama y los gases de combustión principalmente a causa de la forma de la cámara de combustión que provoca un inadecuado flujo de aire que desvía la llama hacia las paredes internas de la cocina y enfría la temperatura de los gases de combustión.

b. Eficiencia térmica

La eficiencia térmica aumentó notablemente en la cocina 1 en 4.8% mientras que en las cocinas 3 y 5 sólo en 2.5 y 2% respectivamente. Por el contrario en las cocinas 2 y 4 se tuvieron eficiencias de 3.5 y 2% respectivamente más bajas que una cocina tradicional.

El aumento de eficiencia térmica manifiesta la magnitud de la energía ganada por convección principalmente a través de la superficie de la olla secundaria a causa del tipo de alojamiento sumergido dentro de la cocina. Esta energía ganada por la olla secundaria en las cocinas 1, 3, 5 representa una eficiencia térmica de 6, 5, 4.5% respectivamente.

La disminución de la eficiencia térmica en las cocinas 2 y 4, se debe principalmente a que las ollas no aprovechan la energía de los gases calientes a causa del tipo de alojamiento de la olla sobre la superficie de la cocina.

c. Potencia promedio

La potencia promedio aumentó en las cocinas 1, 3, 5 en 1.15, 1.21, 1.06 kW respectivamente. En la cocina 2 la potencia promedio es similar al de una cocina tradicional, por otro lado en la cocina 4 la potencia promedio disminuyó en 0.32 kW.

Este aumento en la potencia promedio demuestra que en cocinas mejoradas bien diseñadas, se puede lograr mayor rapidez en el proceso de cocción de alimentos hasta en un 67% comparado con una cocina tradicional. Con este aumento de potencia se estaría cubriendo un requerimiento importante del usuario. Este aumento de potencia deberá ser complementado con el ahorro de combustible respectivo.

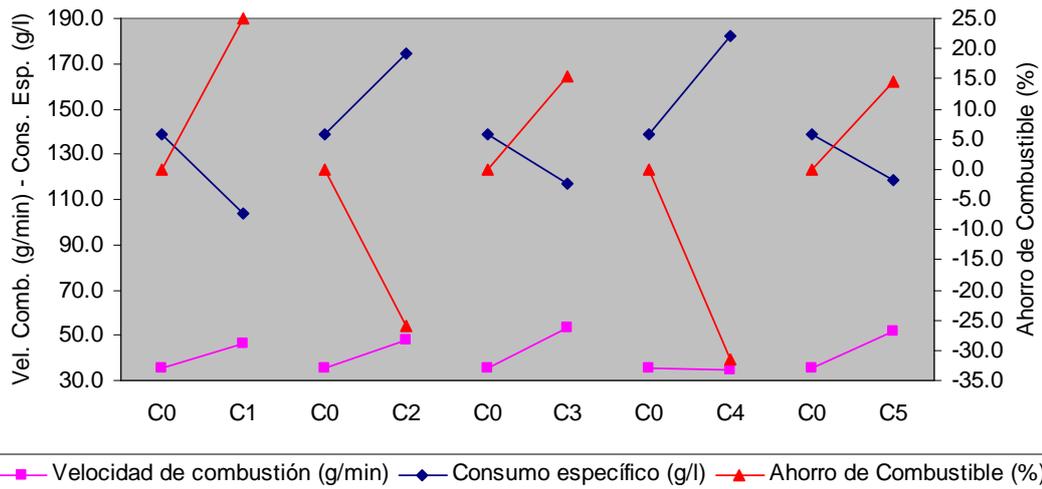


Figura 4.2: Comparación entre prototipos. Velocidad de Combustión, Consumo Específico, Ahorro Combustible.

d. Velocidad de combustión

La velocidad de combustión aumentó en las cocinas 1, 2, 3, 5 en 11.2, 12, 18, 16.5 g/min, mientras que en la cocina 4 esta velocidad de combustión fue similar a la de una cocina tradicional.

Este aumento en la velocidad de combustión muestra la influencia del precalentamiento del aire primario (alcanzando una temperatura estable de 250°C aproximadamente) causando un incremento en la temperatura promedio de la cámara de combustión fomentando una mayor velocidad del desprendimiento de volátiles de la leña, facilitando la combustión.

e. Consumo específico y ahorro de combustible

El consumo específico se redujo en las cocinas 1, 3, 5 en 34.5, 21.5, 20 g/l representando un ahorro de combustible de 24.9, 15.5, 14.4% respectivamente. Por el contrario en las cocinas 2, 4 el consumo de combustible aumentó en 36, 43.5 g/l representando un gasto de combustible de 26, 31.4% respectivamente.

La reducción del consumo específico demuestra que mediante el uso de cocinas mejoradas se obtiene un ahorro de combustible de 24.9% comparado con una cocina tradicional. Con este ahorro de combustible se estaría cubriendo otra necesidad fundamental del usuario y se complementará con la potencia promedio requerida.

Se debe mencionar que no todos los prototipos sugeridos como cocinas mejoradas darán un servicio satisfactorio de rapidez, eficiencia térmica y ahorro de combustible.

Habiendo obtenido logros aceptables por parte de las cocinas mejoradas 1, 3, 5 se mostrarán los rendimientos obtenidos de la cocina 1 mediante la variación de sus parámetros de funcionamiento.

4.2 Resultados de la segunda etapa de evaluación

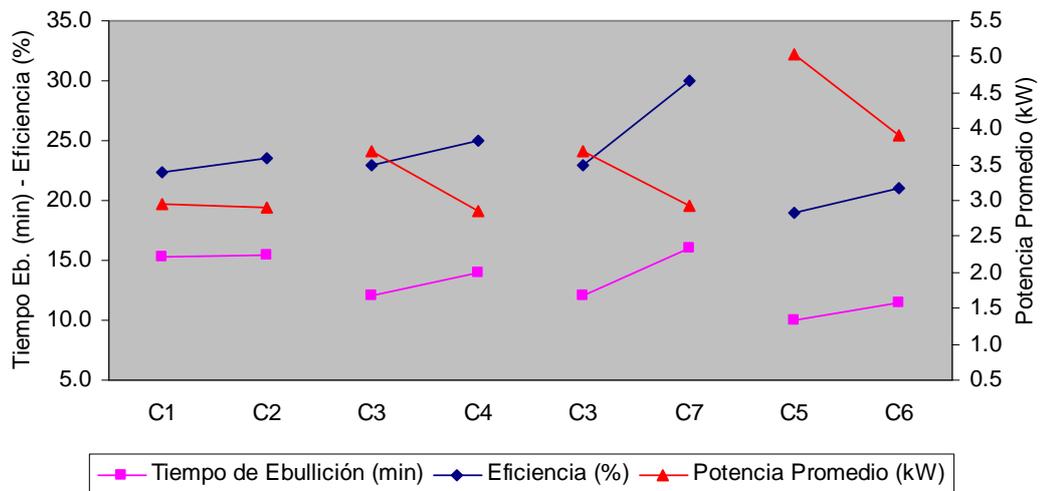


Figura 4.3: Comparación entre condiciones. Tiempo de Eb., Eficiencia, Potencia promedio

a. Tiempo de Ebullición

Se observa que el tiempo de ebullición disminuyó en 3.3 minutos al reducir la distancia lecho de combustible – base de olla (mejor aprovechamiento de transferencia de calor por radiación) y logrando una disminución hasta de 5.3 minutos al reducir el área transversal del combustible empleado (mayor velocidad de salida de volátiles).

Se observa una tendencia creciente del tiempo de ebullición al reducir el área del flujo de gases (área de chimenea o el gap).

b. Eficiencia

Se observa que al disminuir la distancia del lecho de combustible – base de olla la eficiencia aumentó en 0.7% y en mayor proporción al reducir el gap se alcanzó un valor hasta de 30% es decir aumentó en 7.7% (distancia lecho de combustible – base de olla de 220 mm, gap 10 mm). Es importante señalar que al igual de lo que sucede con el tiempo de ebullición se tiene una tendencia creciente de la eficiencia térmica al reducir el área del flujo de gases (área de la chimenea o el gap).

c. Potencia promedio

Se observa que la potencia promedio aumentó en 0.73 kW al reducir la altura del lecho de combustible – base de olla y en mayor proporción al reducir el área transversal del combustible empleado aumentando en 2.09 kW.

Se observa un comportamiento contrario al tiempo de ebullición y eficiencia térmica, es decir una tendencia decreciente de la potencia promedio al reducir el área del flujo de gases (área de chimenea o el gap).

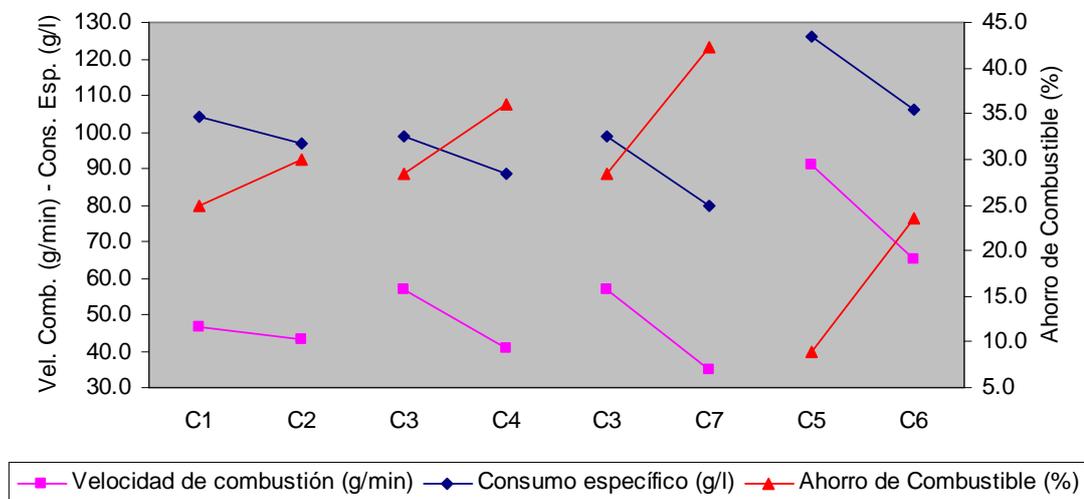


Figura 4.4: Comparación entre condiciones. Velocidad de Combustión, Consumo Específico, Ahorro Combustible.

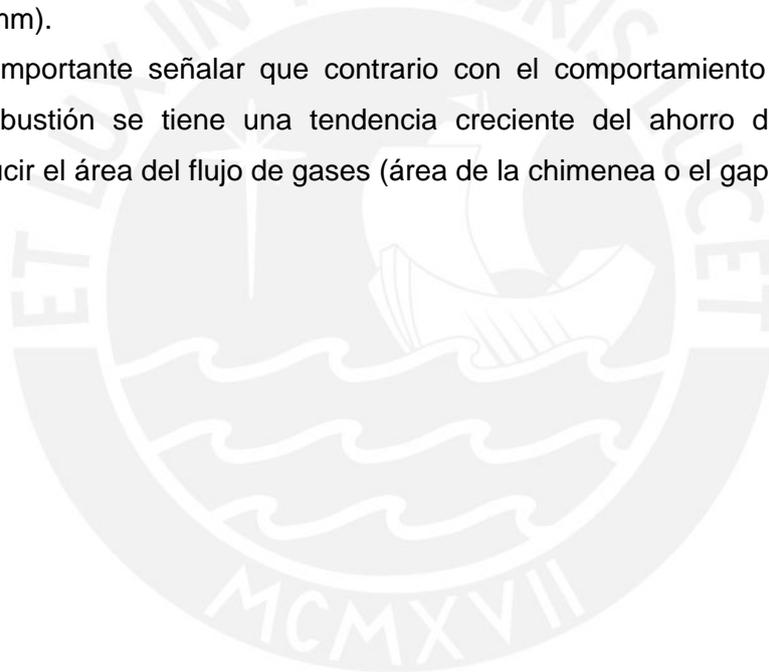
d. Velocidad de combustión

Se observa que la velocidad de combustión aumentó en 10 g/min al reducir la distancia lecho de combustible – base de olla y notablemente en 44.3 g/min al reducir el área transversal de combustible empleado. Se observa una tendencia decreciente de la velocidad de combustión al reducir el área del flujo de gases (área de chimenea o el gap).

e. Consumo específico y ahorro de combustible

Se observa que el ahorro de combustible aumentó en un 3.6% al reducir la distancia lecho de combustible – base olla, en mayor proporción al reducir el gap se alcanzó un valor de 42% de ahorro de combustible lo que equivale a un aumento de 17.3% (distancia lecho de combustible – base olla de 220 mm, gap 10 mm).

Es importante señalar que contrario con el comportamiento de velocidad de combustión se tiene una tendencia creciente del ahorro de combustible al reducir el área del flujo de gases (área de la chimenea o el gap).



CONCLUSIONES

A partir de las evaluaciones podemos obtener las siguientes conclusiones:

1. Mediante la realización de pruebas se logró un prototipo de cocina mejorada que cumplió con los requerimientos establecidos, alcanzando una eficiencia térmica de 30% y un ahorro de combustible de 42% respecto a una cocina tradicional, esto para una distancia lecho de combustible – base de olla de 220 mm y un gap de 10 mm para cada olla. Estos incrementos se debieron a un mejor aprovechamiento de la transferencia de calor por convección desde los gases calientes a las áreas de contacto de las ollas.
2. Se logró reducir el nivel de contaminación de aire del ambiente interior donde se cocina a un valor promedio de emisión de CO de 3.9 ppm.
3. La forma de la cámara de combustión influye de manera notable en la eficiencia térmica de la cocina obteniendo los mejores resultados en la cámara de combustión tipo “L”.
4. El volumen de la cámara de combustión lo define en parte el tipo de combustible usado, otro factor que influye el volumen es la potencia requerida. Al emplear bosta se alimentó con mayor frecuencia la cámara de combustión en comparación con la leña, esto principalmente a causa de ser un combustible de menor densidad.
5. El uso de una parrilla como lecho de combustible ayuda al proceso de combustión precalentando el aire primario que ingresa a la cámara de combustión a una temperatura de 250°C. El aire precalentado eleva la temperatura promedio de la cámara de combustión.
6. Mediante el control del flujo de gases a través del interior de la cocina ya sea al reducir el gap o regular el área de salida en la chimenea, se obtienen aumentos de eficiencia térmica y ahorro de combustible a costa de una reducción de la potencia promedio. La elección y equilibrio debe ser determinada por el usuario.
7. La relación entre los consumos específicos de energía (kJ/l) entre la bosta y la leña fue de 1.8. Esta relación se podría disminuir mediante el uso de briquetas de bosta, para utilizar sólo el combustible necesario.

8. Debido a la gran pérdida de energía a través de las paredes interiores de la cocina y a través de los gases calientes que escapan por la chimenea, representando aproximadamente el 40.1 % (3.95 kW) y el 30.3% (2.99 kW) de la energía entregada por la llama respectivamente, se deja para un estudio posterior la influencia en la eficiencia térmica y ahorro de combustible empleando materiales aislantes y de baja conductividad térmica, propios de las zonas rurales. Además de adecuar sistemas de aprovechamiento de la energía de los gases calientes que escapan por la chimenea.

Así mismo se deja para un estudio posterior el registro de las emisiones de CO (a la salida de la chimenea) durante la combustión a medida que disminuye la altura entre el lecho de combustible y la base de la olla.



BIBLIOGRAFÍA

1. INEI. Resultados del Censo Nacional de Población y vivienda 2005, Lima, Perú.
2. TECSUP, (2006). Combustión y Quemadores de Gas Natural, Lima, Perú, pp.13 – 14.
3. Assureira Espinoza Estela. Proyecto carbón, Pontificia Universidad Católica del Perú.
4. Baldwin Samuel F., (1987). Biomass Stoves: Engineering Design, Development and Dissemination, VITA, Arlington, Virginia.
5. Laboratorio de Energía. Sección Ingeniería Minas, Pontificia Universidad Católica del Perú.
6. Laboratorio de Energía. Sección Ingeniería Mecánica, Pontificia Universidad Católica del Perú.
7. Heising klas, (2008). Presentación experiencia en Bolivia, Foro: Energía para el desarrollo, Proyecto EnDev Arequipa, Arequipa, Perú.
8. Zanabria Pedro, (2007). Propiedades físicas de árboles nativos empleados como combustibles, Universidad Nacional San Antonio de Abad, Centro de Capacitación para el desarrollo, Cusco, Perú.
9. Moran Michael J., (2004). Fundamentos de termodinámica técnica, segunda edición, Barcelona, España.
10. Assureira Espinoza Estela, (2007). Diseño, evaluación, y programa de transferencia tecnológica de Doña Olga: Una cocina institucional mejorada, 8° Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, Cusco, Perú.
11. Aprovecho Research Center, (2007). Resultados de pruebas y recomendación de diseño para la construcción de cocinas mejoradas, Arequipa, Perú.
12. Manual de laboratorio de termodinámica y mecánica de fluidos. Sección Ingeniería mecánica, Pontificia Universidad Católica del Perú.
13. Jiménez Fernando, (1986). Tesis de ingeniero PUCP: Diseño de una terma a carbón, Lima, Perú.
14. Norma española UNE-EN 676, (1997). Quemadores automáticos de aire forzado que utilizan combustibles gaseosos, AENOR, Madrid, España.
15. Claver Mariano, (1946). Termotecnia: transmisión, producción y aplicaciones, Dossat, Madrid, España.
16. Ventura Mario, (1991). Tesis de ingeniero PUCP: Estudio experimental de la influencia de las relaciones geométricas Marmita Briqueta en una cocina de carbón, Lima, Perú.

17. Hutte, (1958). Manual del ingeniero, G. Pili, Barcelona, España.
18. <http://www.bioenergylists.org/stovesdoc/George/A%20Comparison%20of%20Woodburning.pdf>, A Comparison of Wood-burning Cookstoves for Uganda: Testing and Development, 2002. Emma George, GTZ.
19. Manual de laboratorio de Transferencia de calor. Sección Ingeniería Mecánica, Pontificia Universidad Católica del Perú.
20. Waclaw Micuta, (1985). Modern Stoves For All, Bellerive Foundation, London, U.K.
21. Roberto Accinelli, (2004). Efecto de los combustibles de biomasa en el aparato respiratorio: Impacto del cambio a cocinas con diseño mejorado, Revista de la Sociedad Peruana de Neumología, Vol. 48 – N°2, Lima, Perú.
22. Aprovecho Research Center, (2007). Resultados de la misión y certificación de cocinas mejoradas, Arequipa, Perú.



Nota de Prensa

INEI
INSTITUTO
NACIONAL DE
ESTADÍSTICA E
INFORMÁTICA

 N° 135
Junio
2006

Según los resultados del Censo Nacional

CASI DOS MILLONES DE HOGARES COCINAN CON LEÑA

En el Perú, un millón 974 mil hogares cocinan con leña, el cual se constituye, después del gas, en el segundo combustible más usado para cocinar por los hogares peruanos, informó el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).

Según los Censos Nacionales 2005, el 32,6% de los hogares sigue utilizando la leña como combustible para la producción diaria de sus alimentos. Este hecho, sin embargo, no sólo afecta al medio ambiente al incidir en la deforestación, sino que también puede afectar la salud de los miembros del hogar, los que se encuentran expuestos a contraer enfermedades respiratorias por intoxicación con el humo, sobre todo si en la cocina no tiene una adecuada ventilación.

Perú, Tipo de combustible usado para cocinar

Tipo de combustible	Total	Porcentaje (%)
Electricidad	68,110	1.1
Gas	3,061,536	50.6
Kerosene	391,349	6.5
Carbón	131,861	2.2
Leña	1,974,758	32.6
Otro tipo de combustible	230,988	3.8
No cocinan	195,078	3.2
Total	6,053,680	100.0

Fuente: INEI, CPV -2005

En el país, sólo el 50,6% de los hogares utilizan el gas propano para cocinar, otros combustibles utilizados son kerosene (6,5%), carbón (2,2%) y electricidad (1,1%).

Según los Censos Nacionales 2005, las regiones en las que se utiliza principalmente la leña para cocinar son Cajamarca (79,6%), Apurímac (78,9%), Amazonas (77,0%), Ayacucho (73,4%), Huancavelica (72,4%) y Huanuco (68,6%). Entre las regiones en las que menos se utiliza la leña para cocinar se encuentran El Callao (1,3%), Lima (4,0%), Tumbes (11,2%), Ica (15,5%) y Arequipa (15,7%).

Perú: Incidencia en el uso de leña como combustible para cocinar

Orden	Región	Porcentaje	Orden	Región	Porcentaje	Orden	Región	Porcentaje
	NACIONAL	32.6				17	LAMBAYEQUE	28.4
1	CAJAMARCA	79.5	9	ANCASH	53.3	18	MADRE DE DIOS	27.7
2	APURIMAC	78.9	10	CUSCO	51.7	19	PUNO	24.9
3	AMAZONAS	77.0	11	JUNIN	51.3	20	TACNA	17.0
4	AYACUCHO	73.4	12	UCAYALI	48.0	21	AREQUIPA	15.7
5	HUANCAVELICA	72.4	13	PASCO	47.6	22	ICA	15.5
6	HUANUCO	68.6	14	PIURA	44.5	23	TUMBES	11.2
7	SAN MARTIN	66.2	15	LA LIBERTAD	37.0	24	LIMA	4.0
8	LORETO	58.3	16	MOQUEGUA	32.2	25	CALLAO	1.3

Fuente: INEI, CPV -2005

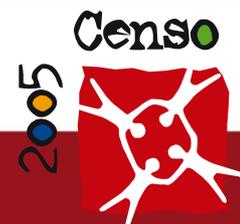
www.inei.gob.pe
difusion@inei.gob.pe

 Av. General Garzón 658
Jesús María - Lima 11

 Teléfonos:
433-4223

 Anexos: 160 ó 222
Teléfono: 431-1340

SOME RIGHTS RESERVED

 Tesis publicada con autorización del autor
Algunos Derechos Reservados. No olvide citar esta tesis


Según el número de hogares que cocinan con leña, a nivel de región, Cajamarca se ubica en primer lugar con 241 mil hogares, seguido por Piura (157,783 hogares), Cusco (146,951), Junín (131,537), Ancash (127,779) y La Libertad (127,541).

Perú: Distribución de los hogares que Cocina con Leña

Orden	Región	Hogares	Orden	Región	Hogares	Orden	Región	Hogares
	Total	1,974,758	9	SAN MARTIN	103,018	18	UCAYALI	41,171
1	CAJAMARCA	241,559	10	LORETO	97,107	19	PASCO	28,294
2	PIURA	157,783	11	PUNO	80,944	20	ICA	23,941
3	CUSCO	146,951	12	APURIMAC	80,394	21	MOQUEGUA	14,629
4	JUNIN	131,537	13	HUANCAVELICA	74,347	22	TACNA	12,336
5	ANCASH	127,779	14	LIMA	72,855	23	MADRE DE DIOS	6,014
6	LA LIBERTAD	127,541	15	LAMBAYEQUE	67,434	24	TUMBES	5,060
7	AYACUCHO	110,686	16	AMAZONAS	67,297	25	CALLAO	2,460
8	HUANUCO	108,282	17	AREQUIPA	45,339			

Fuente: INEI, CPV -2005

En el otro extremo se ubican las regiones Callao (2460 hogares), Tumbes (5,060) y Madre de Dios (6014).

Nota:

El Día Mundial del Medio Ambiente se conmemora del 5 de junio de cada año, siendo el vehículo a través del cual las Naciones Unidas estimulan la concientización sobre el ambiente a nivel mundial, además de promover la atención y acción política.

El tema seleccionado para el Día Mundial del Medio Ambiente 2006 es Desiertos y Desertificación y como se sabe la deforestación, puede generar desertificación.

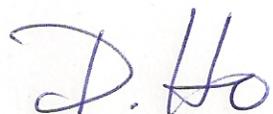
Agradecemos su publicación
Oficina Técnica de Difusión INEI

Se efectuó la determinación de Humedad y Poder calórico en una muestra de leña, perteneciente al Sr. Harold Alvarez Pablo, los ensayos se realizaron según normas ASTM para carbón, de común acuerdo con el solicitante.

Los resultados fueron los siguientes:

Humedad = 12.74 %

Poder calorífico bruto = 4,076.2 cal/g



Delia Ho Lock
Sección Ingeniería de Minas

Lima, 18 de Octubre de 2007

Ingenieros
Miguel Hadzich
Jorge Alencastre
Profesores
Presente.-

De mi consideración:

La presente es para saludarlos y así mismo responderles en relación al pedido por el alumno Harold Javier Alvarez Pablo con código 19997261 del **Poder Calorífico y humedad de una muestra de Bosta** mandada a analizar por el laboratorio con motivos de investigación.

Poder calorífico = 3829 cal/g (base humeda)
Humedad = 12.36 %

Atentamente,



Ing. Javier Tamashiro Higa
Jefe del Laboratorio Energía

Lima, 22 de Mayo de 2009

Ingeniero
Miguel Hadzich

Presente. -

De mi consideración:

La presente es para saludarlo y así mismo responderle en relación al pedido por el alumno Harold Javier Alvarez Pablo con código 19997261 del análisis de una muestra de bosta mandada a analizar por el laboratorio con motivos de investigación.

Humedad	12.36	ASTM D 3173
Materia Volátil	59.23	ASTM D 3175
Cenizas	13.21	ASTM D 3174
Carbono Fijo	15.20	

Atentamente,



Ing. Enrique Barrantes Peña



EFECTO DE LOS COMBUSTIBLES DE BIOMASA EN EL APARATO RESPIRATORIO: IMPACTO DEL CAMBIO A COCINAS CON DISEÑO MEJORADO

Roberto Accinelli, Cecilia Yshii, Eduardo Córdova, Marita Sánchez-Sierra, Celia Pantoja, Jessica Carbajal
Laboratorio de Respiración, Instituto de Investigaciones de la Altura Universidad Peruana Cayetano Heredia

Proyecto financiado por una beca de investigación irrestricta de la Agencia de Cooperación Alemana (GTZ) a través de la Oficina Sanitaria Panamericana.

Resumen

Antecedentes: Aunque los combustibles de biomasa son los más contaminantes, son los de menor costo, lo que hace imposible que puedan ser reemplazados por otros más limpios.

Objetivos: Conocer: 1. Los síntomas y cambios funcionales respiratorios que produce la exposición crónica a combustibles de biomasa. 2. Si un modelo de cocina mejorada produce menor contaminación y como consecuencia menos síntomas respiratorios.

Población de estudio: Las comunidades de Ayamachay y de Uyshahuasi (3000 m snm), provincia de Ferreñafe, departamento de Lambayeque. En la primera se usa cocinas mejoradas desde diez meses antes del estudio.

Metodología: Estudio descriptivo transversal. Se realizó en todos los participantes: 1. Cuestionario ATS-78, modificado por Accinelli, ya validado en estudios previos. 2. Examen clínico. 3. Flujometría y pulsoximetría antes y 15 minutos después de la exposición. 4. Evaluación de contaminantes intradomiciliarios. 5. Espirometría pre y post \dot{V}_E agonista. 7. Análisis de gases arteriales. 8. Hemograma.

Resultados: Se encontró que: 1. A mayor tiempo de exposición a combustibles de biomasa menor pO_2 , $SatO_2$ y $VEF1/CVF\%$. 2. A mayor índice de exposición mayor número de semanas con expectoración y más años presentando tos por más de tres meses. 3. A más tiempo en la cocina mayor recuento leucocitario y menor $SatO_2$. 4. Las cocinas con diseño mejorado contaminaban menos. 5. Los usuarios de cocinas mejoradas tenían menos síntomas respiratorios y menos habían hecho neumonía.

Conclusiones: Usar cocinas con diseño mejorado disminuyó los síntomas respiratorios y la frecuencia de neumonía. Estos hallazgos jamás han sido encontrados en el mundo.

INTRODUCCIÓN

Respirar aire limpio es para el ser humano tan importante como tener agua y comida aseguradas. Cuando se habla de contaminación ambiental usualmente se suele pensar que estamos hablando de la producida por combustibles fósiles (petróleo, gasolina, gas, etc.) en las grandes ciudades de los países desarrollados¹. Pero el ser humano pasa la

mayor parte de su tiempo en ambientes cerrados, por lo cual la contaminación intradomiciliaria es la más importante. Y son los combustibles usados para preparar alimentos el factor más importante a estudiar.

Pero a menores recursos económicos es mayor el empleo de los combustibles más contaminantes: los de biomasa. Más de la mitad de la población mundial (52%) depende de estos combustibles tradicionales² y aproximadamente 90% de los hogares de las áreas rurales de los países subdesarrollados utilizan combustibles de biomasa para cocinar^{2,3}. El Perú no escapa a esta realidad, y en las áreas rurales casi el 100% de las personas pobres y en extrema pobreza lo utilizan para cocinar.

Las cocinas tradicionales que usan el combustible de biomasa son muy ineficientes, ya que emplean sólo 10 a 15% del potencial energético^{2,3}. Es por esto que se producen cantidades considerables de partículas y gases, usualmente sin una buena fuga hacia el exterior, llevando a grandes exposiciones de humo y a una polución intradomiciliaria que pone en riesgo la salud^{4,5}. Diversos estudios de monitoreo de polución ambiental, demuestran que los niveles de exposición a sustancias tóxicas resultantes de la combustión de biomasa, superan en diez, veinte o más veces los niveles recomendados por la OMS^{6,7}. Las concentraciones aéreas de partículas en cocinas de biomasa están en el orden de los miligramos por metro cúbico, una orden de magnitud mayor a la encontrada en el aire ambiental urbano que es de microgramos por metro cúbico⁶. Dentro de los productos emitidos durante la combustión de biomasa, los más representativos son el monóxido de carbono, los hidrocarburos y las partículas suspendidas, pero se han hallado decenas de compuestos nocivos (hay evidencia, in vitro, de que muchos de estos agentes son mutagénicos), irritantes, fracciones tóxicas para los cilios y agentes coagulantes que pueden comprometer las defensas del sistema respiratorio y aumentar el riesgo de infecciones pulmonares agudas y crónicas⁸⁻¹⁰.

En nuestro país, más de la mitad de los pacientes con bronquitis crónica niegan ser fumadores¹¹. Estos pacientes, habitualmente mujeres, tienen el antecedente común de haber sido expuestos crónicamente al humo de leña, lo cual se repite en

varios países tercermundistas^{2,3,6,7}. Se dice que las mujeres expuestas a la emisión de la combustión de biomasa «fuman» aproximadamente al equivalente de 20 cajetillas de cigarrillos al día en términos de concentración de contaminantes⁷.

La exposición crónica a humo de leña ha sido fuertemente asociada a EPOC y otras enfermedades (cáncer, cor pulmonale, asma, infecciones respiratorias, oculopatías, alteraciones gestacionales, etc.)^{4,12-22}. La exposición crónica a humo de leña durante la niñez es la primera causa de enfermedad pulmonar obstructiva crónica en el Perú¹¹.

Hace poco más de 20 años notamos que con cierta frecuencia acudían a la consulta neumológica de nuestro hospital un grupo de pacientes que reunían ciertas características: En su gran mayoría eran mujeres, con edades por encima de los 60 años, generalmente provenían de la sierra, que referían tos crónica con expectoración, la que podía ser hasta con esputo hemopticoico y al examen presentaban espiración prolongada con algunos roncos o incluso crépitos. La radiografía de tórax mostraba pulmones grandes, infiltrados bronquiales y algunas calcificaciones. Cuando posteriormente se les realizaba espirometrías, estas evidenciaban una patología mixta, es decir un componente de obstrucción bronquial y un componente restrictivo. Ninguna de estas pacientes fumaba y lo que más nos llamaba la atención es que este cuadro clínico radiológico no se correlacionaba con la nosografía de los libros de medicina. Posteriormente pudimos relacionar con el antecedente de que todas estas mujeres tenían el antecedente de haber cocinado con leña.

Pensar que pronto podremos cambiar el combustible empleado por uno más limpio, llámese gas, en nuestro país por las condiciones económicas de nuestra población rural es un imposible. La única solución económica y socialmente posible es la construcción de nuevos modelos de cocinas para combustibles de biomasa que sean más eficientes, y que permitan, al emplear chimenea, que los contaminantes puedan ser sacados fuera de la habitación usada como cocina. En el Perú la Agencia de Cooperación Alemana (GTZ) ha desarrollado un nuevo modelo de cocina que ya se ha instalado en la comunidad de Ayamachay, distrito de Incahuasi, provincia de Ferreñafe, departamento de Lambayeque.

Los objetivos del presente trabajo son: 1. Conocer cuáles son los síntomas y cambios funcionales respiratorios que produce la exposición crónica a combustibles de biomasa. 2. Determinar si la nueva cocina de combustibles de biomasa produce menor contaminación y menos síntomas respiratorios.

MATERIAL Y METODOS

Diseño: Estudio descriptivo, transversal.

Población: Este estudio se realizó en 2 comunidades ubicadas a 3000 msnm, situadas una al lado de la

otra: Ayamachay y Uyshahuasi, distrito de Incahuasi, provincia de Ferreñafe, departamento de Lambayeque.

Selección de pacientes: Criterios de inclusión: Con exposición actual a combustibles de biomasa. Criterios de exclusión: Enfermedad pulmonar concomitante, antecedente de enfermedad pulmonar, negativa a firmar el consentimiento informado.

Definiciones:

• **Bronquitis crónica:** Presencia de tos productiva durante al menos 3 meses consecutivos en dos años seguidos.

• **Índice de exposición:** Producto del número de años de exposición a leña por el número de horas que se pasa en la cocina.

Variables de estudio: A todos los participantes se les hizo 1. Cuestionario ATS-78, modificado por Accinelli, ya validado en estudios previos. 2. Examen clínico. 3. Flujometría y pulsoximetría antes y 15 minutos después de la exposición. 4. Evaluación de contaminantes intradomiciliarios. 5. Espirometría pre y post \dot{V}_E agonistas. 7. Análisis de gases arteriales. 8. Hemograma.

Consideraciones éticas: El presente estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad Peruana Cayetano Heredia.

Análisis estadístico: Se empleó el programa SPSS 11.0 para Windows, así como también Excel XP, con el fin de analizar promedios y frecuencias. Se determinó la correlación de dos variables discretas mediante la realización de la prueba chi cuadrado. Se realizó las pruebas de correlación bivariada para evaluar dos variables continuas. Las medias se compararon mediante la prueba T de Student.

RESULTADOS

Se evaluó a 190 comuneros en Ayamachay y Uyshahuasi, de los cuales 95 (50%) eran de sexo masculino. Se les realizó examen físico a 127 personas. Pero sólo a 110 espirometrías, a 65 hemogramas y a 108 gases arteriales.

La edad promedio fue de 38.84 ± 18.15 años. Las mujeres tenían el mismo tiempo de residencia en su comunidad que los varones, pero pasaban más tiempo dentro de la vivienda (19.15 ± 3.73 vs 15.03 ± 2.78 horas, $p < 0.001$) y dentro de la cocina (4.4 ± 4.06 vs 2.86 ± 2.22 , $p = 0.01$).

El 89.1% de la población refirió haber tenido al momento de la encuesta tos, expectoración y/o silbido de pecho en los últimos 12 meses. Alrededor del 70% tenía tos y expectoración. Tos productiva durante las dos últimas semanas fue una queja más frecuente en las mujeres. (Tabla No. 1)

El 13.3% de la población estudiada refería tener bronquitis crónica. No hubo diferencia por sexos. Los varones tuvieron valores mayores de hematocrito y hemoglobina, pero menor número de leucocitos cuando se les comparaba con las mujeres. (Tabla No. 2)

Tabla No. 1

Presentación de síntomas respiratorios, de acuerdo al sexo

	Hombres		Mujeres		Total		p
	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
Tos	41 (66.1%)	21 (33.9%)	47 (72.3%)	18 (27.7%)	88 (69.8%)	39 (30.2%)	NS
Expectoración	44 (71%)	18 (29%)	50 (78.9%)	15 (23.1%)	94 (74%)	33 (26%)	NS
Tos por más de 3 meses	18 (29%)	44 (71%)	16 (24.6%)	49 (76.4%)	34 (26.8%)	93 (73.2%)	NS
Expectoración por más de 3 meses	12 (19.4%)	50 (80.6%)	18 (27.7%)	47 (72.3%)	30 (23.6%)	97 (66.4%)	NS
Tos productiva en los últimos 2 años	44 (71%)	18 (29%)	46 (70.8%)	19 (29.1%)	80 (70.9%)	37 (29.1%)	NS
Tos productiva en las últimas 2 semanas	27 (43.5%)	35 (56.5%)	42 (64.6%)	23 (35.4%)	69 (54.3%)	58 (45.7%)	0.017
Sensación de sibilido de pecho	34 (54.8%)	28 (45.2%)	43 (66.2%)	22 (33.8%)	77 (60.6%)	50 (39.4%)	NS

Tabla No. 2

Resultados de los exámenes auxiliares realizados a los pobladores del distrito de Incahuasi

	Hombres	Mujeres	p
Capacidad vital forzada (% predicho)	96.79 ± 17.56	96.39 ± 16	NS
Volumen espiratorio forzado 1° (% predicho)	100.87 ± 20.29	104.2 ± 23.63	NS
VEF1/CVF	83.21 ± 6.77	84.75 ± 6.47	NS
Hematocrito	42.69 ± 4.16	40.4 ± 3.03	0.013
Hemoglobina (g/dl)	14.15 ± 1.42	13.37 ± 1.08	0.014
Leucocitos	4569.3 ± 679.8	4587.5 ± 392.2	0.005
pO ₂	67.82 ± 5.95	67.13 ± 6.62	NS
pH	7.45 ± 0.04	7.45 ± 0.04	NS
SatO ₂ sin exposición a leña	94.12 ± 1.62	93.53 ± 3.25	NS

Efecto del tiempo de exposición

El número de años de exposición a leña fue mayor en los pobladores con bronquitis crónica (49.6 ± 17.8 vs 36.8 ± 17.4 años, p=0.011). El tiempo de exposición se correlacionó directamente con los años con tos por más de 3 meses (p=0.01) (Figura No. 1a) e inversamente con la relación VEF1/CVF, (p=0.008) (Figura No. 1b), la saturación de oxígeno (p=0.011) (Figura No. 2a) y la presión arterial de oxígeno (p<0.001) (Figura No. 2b).

Figura No. 1

Relación entre tiempo de exposición a leña y a. Años con tos por más de 3 meses; b. VEF1/CVF

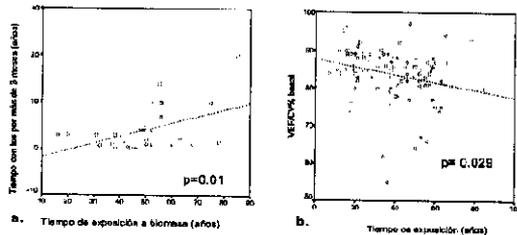
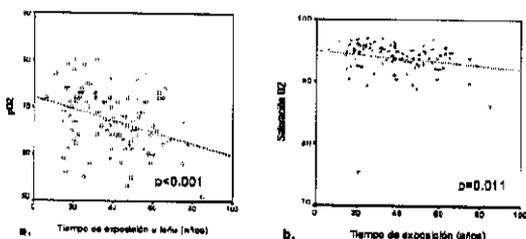


Figura No. 2

Relación entre tiempo de exposición a leña y: a. pO₂; b. saturación de O₂



Efecto del índice de exposición

El índice de exposición a leña fue de 136.6 ± 142.65 horas año. Fue mayor en las mujeres (175.4 ± 175 y 91.99 ± 80.11, p=0.001)

El índice de exposición correlacionó directamente con el número de días por semana con expectoración. (Figura No. 3)

Efecto del tiempo en las cocinas

Se encontró que el número de horas en la cocina tenía una correlación negativa con la saturación de oxígeno y con el recuento leucocitario. (Figuras No. 4a y 4b)

Figura No. 3

Relación entre índice de exposición a leña y número de días a la semana con expectoración

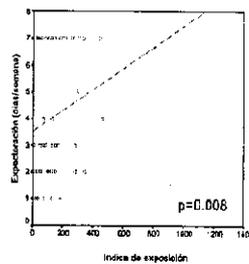
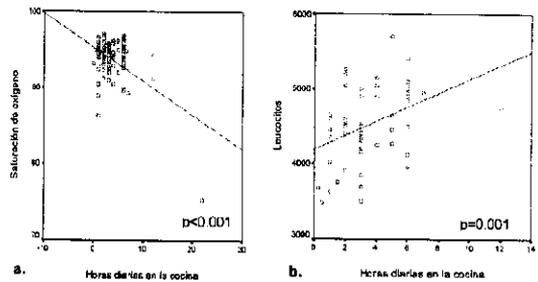


Figura No. 4

Relación entre el tiempo dentro de la cocina y: a) la saturación de oxígeno; b) recuento leucocitario



Efecto del cambio a cocinas de diseño mejorado

Tanto en Ayamachay como en Uyshahuasi las viviendas eran de adobe y barro, con techos de carrizo o calamina. Se tomó una muestra de 17 viviendas en cada comunidad para estudiar los niveles de contaminación al interior de cada cocina. En las cocinas tradicionales había más monóxido de carbono (25.88 ± 20.93 y 11.41 ± 11.91 ppm, p=0.02), y una tendencia a mayor número de partículas respirables (0.4 y 1.3 mg/m³, p=0.05).

Las personas menores de 30 años residentes en viviendas con cocinas de diseño mejorado tenían menos tos y expectoración. Incluso se encontró que hubo una tendencia a tener menos regurgitación de alimentos y disnea. (Tabla No. 3) Además, la duración de las molestias era menor. (Tabla No. 4)

Tabla No. 3

Síntomas presentados en menores de 30 años, según el tipo de cocina

	Cocina de diseño mejorado N=11	Cocina tradicional N=16	p
Tos matutina	4 (36.4%)	13 (81.3%)	0.024
Expectoración	5 (45.5%)	13 (81.3%)	0.05
Tos productiva en los últimos 2 años	3 (27.3%)	13 (81.3%)	0.008
Expectoración en las últimas 2 semanas	3 (27.3%)	11 (68.8%)	0.041
Disnea moderados esfuerzos	5 (45.5%)	13 (81.3%)	0.053
Regurgitación de alimentos	1 (9.1%)	7 (43.8%)	0.053

Tabla No. 4

Tiempo de duración de síntomas en pobladores menores de 30 años, según tipo de cocina

	Cocina de diseño mejorado N=11	Cocina tradicional N=16	P
Número de meses al año con expectoración	1.75 ± 0.96	6.4 ± 5.32	0.005
Duración de sensación de vinagrera (meses)	1.1 ± 3.62	22.68 ± 57.04	0.014
Duración de regurgitación (meses)	2.19 ± 7.24	26.71 ± 52.59	0.001

Asimismo se encontró que los mayores de 30 años que usaban cocina mejorada habían sido diagnosticados de neumonía por un médico menos veces que los residentes en casas con cocina tradicional (2.9% vs 19%). (Figura No. 5)

Figura No. 5
Antecedentes para neumonía y bronquitis aguda en pobladores mayores de 30 años, según tipo de cocina

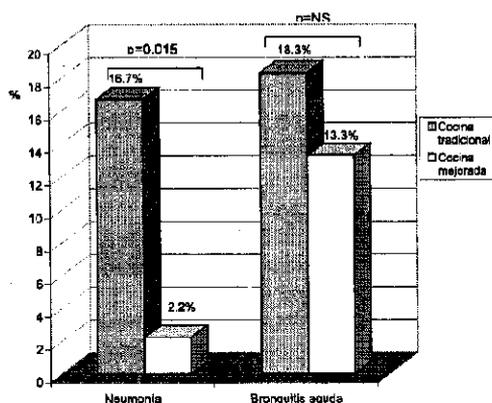


Tabla No. 5

Comparación de la prevalencia de bronquitis crónica en el distrito de Incahuasi y Hospital Nacional Cayetano Heredia²⁶

	Bronquitis crónica		Tiempo de exposición
	Si	No	
Hospital Nacional Cayetano Heredia (n=60)	31 (51.7%)	29 (48.3%)	45 años
Distrito de Incahuasi, Lambayeque (n=97)	16 (16.5%)	81 (83.5%)	44.8 años

p<0.001

DISCUSIÓN

Hemos encontrado que el 89.1% de las personas expuestas a combustibles de biomasa de las comunidades de Ayamachay y Uyshahuasi, distrito de Incahuasi, provincia de Ferreñafe, departamento de Lambayeque, presentaban al menos un síntoma respiratorio. (Tabla No. 1) En Sevilla, en un estudio de prevalencia de síntomas respiratorios este valor fue del 49%, cifra mucho menor a la encontrada en nuestro estudio²³.

Kamat²⁴ encontró que un mayor porcentaje de los adultos de las áreas rurales de Bombay tenía tos y disnea, que los de las zonas urbanas. El empleo de leña como combustible en la cocina fue una de las causas de ello.

En Sudáfrica se encontró que 70% de los niños con síntomas respiratorios habitaban en hogares en donde se usaba como combustible la leña, mientras que en el grupo sin síntomas este porcentaje era del 33%²¹.

En Barranca y Tarma en un estudio previo hemos hallado que los niños expuestos a combustibles de biomasa, comparados con los no expuestos, presentaban mayor frecuencia de síntomas como tos matutina, disnea al esfuerzo y sibilancias: 13.7% vs 2.8%, 24% vs 13% y 31% vs 26% respectivamente²⁵.

Sexo

Las mujeres presentaban más sintomatología respiratoria aguda y crónica que los hombres de las comunidades estudiadas. (Tabla No. 1) Es que mientras los hombres pasan más tiempo fuera de su casa atendiendo labores agrícolas y ganaderas, las mujeres permanecen mayor número de horas dentro de la misma, y casi el doble de horas que los hombres en la cocina, preparando los alimentos y expuestas a los productos de la combustión de la leña.

Nos llamó la atención encontrar que las mujeres tenían mayor número de leucocitos en promedio que los varones, (Tabla No. 2) teniendo éstos más glóbulos rojos. Creemos que esto también se explica por la inflamación crónica más prolongada a la que somete el aparato respiratorio de las mujeres. Al evaluar en el Servicio de Neumología del Hospital Nacional Cayetano Heredia Lima a mujeres con más de 30 años de exposición a combustibles de biomasa encontramos que las mujeres con síntomas tenían más años de exposición que las asintomáticas. Este hallazgo se repetía al analizar cada uno de los síntomas por separado²⁶. Los mismos hallazgos hemos encontrado en los comuneros estudiados.

Bronquitis crónica

La prevalencia hallada de 13.3% fue varias veces la que encontramos de 3.75% en Tarma y 6.45% en Barranca²⁵. Sólo un poblador de Ayamachay fumaba 3 cigarrillos diarios, y en Tarma también la única persona que lo hacía consumía un número muy bajo.

Entonces, la relación de bronquitis crónica en ellos es con la exposición a combustibles de biomasa. Y la diferencia es que mientras toda la población de Incahuasi continuaba usando combustibles de biomasa para preparar sus alimentos, al momento de la evaluación en Barranca y Tarma menos del 3% los usaba, pero el 58.7% y 83.12% lo había hecho durante su niñez²⁵. En Arabia Saudita también se ha encontrado que entre los varones con bronquitis crónica mayor porcentaje había sido expuesto a combustibles de biomasa en la niñez⁴.

Las personas con bronquitis crónica tuvieron un mayor tiempo de exposición a combustibles de biomasa. Pero la relación entre años de exposición y bronquitis crónica depende además de los factores genéticos. En la Tabla No. 5 podemos apreciar que entre 60 personas que acudieron para consulta al Servicio de Neumología del Hospital Nacional Cayetano Heredia para un tiempo promedio de exposición de 45 años la prevalencia de bronquitis crónica fue del 51.1%, mientras que entre 97 habitantes de Incahuasi, con un semejante tiempo promedio de exposición (44.8 años), la prevalencia de bronquitis crónica fue del 16.5%.

Nosotros no encontramos diferencia en los porcentajes de bronquitis crónica entre hombres y mujeres, al igual que lo hallado por Pandey¹² en Nepal, Woolcock²⁷ y Anderson²⁸ en Nueva Guinea, y Malik²⁹ en la India. En cambio, en los países desarrollados es más frecuente en varones por ser fumar éstos más que las mujeres.

Dennis en Colombia encontró que el uso de leña para cocinar era el factor más importante (OR=3.43, $p < 0.001$) para hacer bronquitis crónica entre mujeres³⁰.

Tiempo de exposición

El grado de obstrucción, medido por una caída de la relación del VEF1/CVF, (Figura No. 1b) se incrementaba con el tiempo de exposición. Los mismos hallazgos tuvo Pandey en Nepal¹².

También hubo una disminución paulatina de la saturación y de la presión arterial de oxígeno con el número de años de exposición. (Figuras No. 2a y 2b) En un estudio realizado previamente en Andahuaylas encontramos que las mujeres expuestas por más de 20 años a los combustibles de biomasa tenían 5,5 veces más riesgo de tener una saturación de oxígeno por debajo de 90% que las no expuestas¹⁶.

Hemos encontrado que con el progresivo aumento de la exposición a los combustibles de biomasa los comuneros tenían por mayor tiempo de tos por más de tres meses. (Figura No. 1a) Pérez Padilla encontró en México que el riesgo de enfermedad aumentaba linealmente con los años de exposición¹⁴.

Tiempo en las cocinas

El número de horas en la cocina tuvo una correlación negativa con la saturación de oxígeno y con el

recuento leucocitario. (Figuras No. 4a y 4b) Pérez Padilla en México demostró que el riesgo de enfermedad aumentaba linealmente con las horas de exposición¹⁴. Behera halló niveles altos de carboxihemoglobina en las mujeres expuestas a combustibles de biomasa³¹. En otro estudio el mismo autor halló que la disminución en la CVF, en el VEF1 y en el PEF estaban relacionadas a las horas de exposición¹³.

Se ha argumentado que las partículas despididas por la combustión de leña por sí solas pueden ser responsables de producir injuria pulmonar, si es que son de las dimensiones apropiadas. Las fibras de carbón tienen estas características³². Otros estudios han demostrado que las partículas pueden promover la injuria al inhibir los mecanismos de clearance y aumentar la permeabilidad celular a sustancias tóxicas^{33,34,35}.

Efecto del cambio a cocinas de diseño mejorado

A pesar de todo el daño que produce a la salud respiratoria usar combustibles de biomasa, como hemos demostrado con el presente estudio, sabemos que será imposible en el Perú que los millones de familias que cocinan con estos combustibles puedan emplear otros más limpios. Es entonces una probable solución la búsqueda de modelos mejorados de cocinas de biomasa. Hemos evaluado en el presente trabajo la cocina desarrollada por la cooperación alemana en el Perú. Nuestros resultados demuestran que contaminan menos, pues despiden menos monóxido de carbono y partículas respirables. En Guatemala también se ha encontrado que la cantidad de monóxido de carbono y de partículas respirables, tanto en las chimeneas como en el ambiente donde se cocina, es menor en una cocina de diseño mejorado, incluso llegando a niveles cercanos a los de una cocina a gas³⁶.

El impacto clínico del cambio de cocinas tradicionales por las de diseño mejorado no ha sido aún descrito. Éste es el primer trabajo en el mundo en que queda plenamente demostrada su utilidad. (Tablas No. 3 y 4, Figura No. 5) En nuestro estudio primero evaluamos el efecto de este cambio entre las personas menores de 30 años y encontramos que tos matutina, expectoración, tos productiva en los dos últimos años y expectoración en las dos últimas semanas se presentaban menos en las que usaban cocinas con diseño mejorado, mientras que estas personas también tenían una tendencia a tener menos disnea a moderados esfuerzos. (Tabla No. 3) Para ver la consistencia de este hallazgo podemos analizar que el número de meses al año con expectoración fue casi cuatro veces menos en el grupo de cocina mejorada. (Tabla No. 4)

Además hemos encontrado que el uso de cocinas mejoradas se correlaciona con menor frecuencia de regurgitación de alimentos (Tabla No. 3) y con un menor tiempo de duración. (Tabla No. 4) Se postula que la tos puede activar en algunos pacientes el ciclo de tos-reflujo gastroesofágico^{37,38,39}. Y también hay

una menor duración de la sensación de vinagrera en los que usaban las cocinas mejoradas. (Tabla No. 4) Tampoco hay estudios que relacionen la menor frecuencia de neumonías con el uso de cocinas con diseño mejorado. (Figura No. 5) Pandey encontró en Nepal una fuerte asociación entre el número de horas diarias que reportaron las madres que los niños pasaban cerca del origen de la combustión y la incidencia de infección respiratoria aguda (IRA) moderada a severa⁴⁰. Collings en Zimbabwe encontró que la presencia de combustión abierta era un factor de riesgo para contraer IRA²². Un estudio caso-control en 116 niños navajo menores de 2 años de edad encontró que la presencia de hogueras de leña incrementaba en 5 veces el riesgo para desarrollar IRA⁴¹. En Gambia en un estudio en 500 niños menores de 5 años se encontró que los que eran llevados sobre la espalda de sus madres cuando éstas cocinaban en cocinas abiertas a leña tenían un riesgo 6 veces mayor de IRA⁴².

Aproximadamente mueren 4 a 5 millones de niños menores de 5 años de edad por año por IRA en los países en vías de desarrollo^{20,43}. Creemos que el cambio de cocinas de biomasa tradicionales por las de diseño mejorado impactaría en la mortalidad por IRA.

En el presente trabajo hemos demostrado que son las mujeres las más expuestas a los combustibles de biomasa, que esta exposición se relaciona con la presencia de síntomas respiratorios, y que el tiempo de la misma se correlaciona linealmente con los años de los síntomas, la caída de la función respiratoria y de la saturación de O₂; y que las cocinas mejoradas contaminan menos, habiendo probado por primera vez en el mundo que este cambio disminuye la frecuencia de síntomas y enfermedades respiratorias.

BIBLIOGRAFÍA

- Smith KR. Total Exposure Assessment: implications for developing countries. *Environment* 1988;30:16-20.
- De Koning HW, et al. Biomass fuel combustion and health. *Bull WHO* 1985;63:11-26.
- Smith KR. Biofuels, air pollution and health. A global review. New York, 1987. Plenum Press, New York.
- Dasch JM. Particulate and gaseous emissions from wood-burning fireplaces. *Environ Sci Technol* 1982;16:639-45.
- De Angelis et al. Sources Assessment: Wood-Fired Residential Combustion Equipment Field Tests. U.S. Environmental Protection Agency report number MRC-DA-EPA-600/2-79-019, Draft Copy.
- Pandey MR, et al. Indoor air pollution in developing countries and acute respiratory infection in children. *Lancet* 1989;25:427-9.
- Smith KR et al. Air pollution and rural biomass fuels in developing countries: A pilot village study in India and implication for research and policy. *Atmos Environ* 1983;17:2343-2362.
- Alfheim I, Becher G, Hongslo JK, et al. Mutagenicity testing of high performance liquid chromatography fractions from wood stove emissions samples using a modified salmonella assay requiring smaller sample volumes. *Environ Mutagen* 1984;6:91-102.
- Tuthill RW. Woodstoves, formaldehyde, and respiratory disease. *Am J Epidemiol* 1984;74:799-803.
- Fick RB, et al. Alterations in the antibacterial properties of rabbit pulmonary macrophages exposed to wood smoke. *Am Rev Respir Dis* 1984;129:76-81.
- Accinelli R. Effects of domiciliary air pollution by biomass fuels on the respiratory tract. In: XXV Panamerican Congress of ULASTER. Editors: R. Accinelli. 1993, pp. 62-65. Lima, Perú.
- Pandey MR, et al. Domestic smoke pollution and respiratory function in rural Nepal. *Tokai J Exp Med* 1985;10:471-81.
- Behera D, et al. Ventilatory function in nonsmoking rural Indian woman using different cooking fuels. *Respiration* 1994;61:89-92.
- Pérez-Padilla R, et al. Exposure to biomass smoke and chronic airway disease in Mexican women. A case-control study. *Am J Respir Crit Care Med* 1996;154:701-6
- Demers PA, et al. Nonmalignant respiratory disease mortality among woodworkers participating in the American Cancer Society Cancer prevention study-II (CPS-II). *Am J Ind Med* 1998;34:238-43.
- Dhar SN, et al. Bronchitis due to biomass fuel burning in north India: «Gujjar lung», an extreme effect. *Semin Respir Med*. 1991 Apr;12(2):69-73.
- Pierson WE, et al. Potential adverse health effects of wood smoke. *West Med J* 1989;151:339-42.
- Accinelli, RA. and Herrera, N. Bronchial obstruction, hyper-responsiveness and oxygen

- desaturation related to biomass fuel combustion. *Am J Respir Crit Care Med* 1999;159:A811.
19. Ellegard A. Cooking fuel smoke and respiratory symptoms among women in low income areas in Maputo. *Environ Health Perspect* 1996;104:980-5.
 20. Monto AS Acute respiratory infection in children in developing countries: challenge of the 90's. *Review of Infectious Diseases* 1990;11:498-505.
 21. Kossove D. Smoke-filled rooms and respiratory diseases in infants. *South African Medical Journal* 1982; 61: 622-624.
 22. Collings DA, et al. Indoor woodsmoke pollution causing lower respiratory disease in children. *Trop Doct* 1990;20:151-5.
 23. Rodríguez Portal JA, et al. Análisis de la prevalencia de sintomatología respiratoria en la población general. *Arch Bronconeumol* 1995;31:162-168.
 24. Kamat SR, et al. Bombay air pollution- Health Study. Bombay, Municipal Corporation of Greater Bombay, 1984.
 25. Accinelli R, Leey J, Vega L, Ruiz F, Amaro M. Biomass fuel combustion during childhood: The most important factor related with chronic bronchitis in Tarma (altitude-3050m) and Barranca (sea level), Perú. *Am J Respir Crit Care Med* 1999;159:A812
 26. Accinelli RA, Fajardo CS. Clinical, psyrometric and radiologic findings among women exposed for more than 30 years to biomass fuel combustion. *Am J Respir Crit Care Med* 2002;159:A588.
 27. Woolcock LJ, Blackburn CRB. Chronic Lung Disease in the terciary territory of Papua in New Guinea: An epidemiological study. *Australas Ann Med* 1967;16:11-9.
 28. Anderson HR. Chronic lung diseases in the Papua New Guinea highlands. *Thorax* 1979;34:647-53.
 29. Malik SK. Exposure to domestic cooling fuels and chronic bronchitis. *Indian J Chest Dis & All Sci* 1985;27:171-4.
 30. Dennis RJ, Maldonado D, Norman S, et al. Woodsmoke exposure and risk for obstructive airways disease among women. *Chest* 1996;109:115-9.
 31. Behera D, et al. Blood carboxyhaemoglobin levels following acute exposure to smoke of biomass fuel. *Indian Journal of Medical Research*, 1988;Dec:522-524.
 32. Dockery DW, et al. Changes in pulmonary function in children associated with air pollution episodes. *J. Air Pollution Control Assoc* 1982;32:937-42.
 33. amage JE, et al. Interstitial lung disease and domestic wood burning. *Am Rev Respir Dis*. 1988;137:1229-32.
 34. Kilburn KH. Particles causing lung disease. *Environmental Health Perspect*, 1984;55:97-109.
 35. Dunnigan J. Biological effects of fibers: Stanton's hypothesis revisited. *Environ. Health Perspect* 1984;54:333-7.
 36. Bruce N, McCracken J, Albalak R, Schei MA, Smith KR, Lopez V, West C. Impact of improved stoves, house construction and child location on levels of indoor air pollution exposure in young Guatemalan children. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 2004;14(Suppl 1):S26-33.
 37. Irwin RS, Madison M. Anatomical diagnostic protocol in evaluating chronic cough with specific reference to gastroesophageal reflux disease. *Am J Med* 2000;108 (4A): 126S-130S.
 38. Mokhlesi B, Morris A, Huang C-F, Curcio AJ, Barret TA, Kamp DW. Increased prevalence of gastroesophageal reflux symptoms in patients with COPD. *Chest* 2001, 1190: 1043-1048.
 39. Sontang SJ. Why do the published data fail to clarify the relationship between gastroesophageal reflux and asthma?. *Am J Med* 2000; 108 (4A): 159S- 169S.
 40. Pandey MR, et al. Domestic smoke pollution and acute respiratory infections in a rural community of the hill region of Nepal. *Environment International* 1989;15:337-340.
 41. Morris K et al. Wood-burning stoves and lower respiratory tract infection in american Indian children. *AJDC* 1990;144:105-8.
 42. Armstrong JRM, et al. Indoor air pollution exposure and lower respiratory infections in young gambian children. *Int J Epidemiol* 1991;20:424-9.
 43. Leowski, J. Mortality from acute respiratory infections in children under 5 years of age: global estimates. *World Health Statistics Quarterly* 1986;39:138-144.

RESULTADO DE LA ENCUESTA EN ORCOPAMPA

Objetivo:

Se realizaron un total de 6 encuestas a las usuarias entre las distintas comunidades de Orcopampa: Huancarama y Tintaymarca.

El objetivo fue el de obtener información acerca del factor usuario-cocina, mostrando resultados positivos en cuanto a la adaptación y uso de la tecnología e innovación por parte del usuario. Además mediante los testimonios de los usuarios se podrá mejorar el diseño actual ya sea por la fallas que se producen a lo largo de la utilización diaria de la cocina como también algunas innovaciones que al usuario le gustaría tener.

Observaciones:

Por otro lado el usuario se da cuenta de la diferencia satisfactoria que existe entre la cocina mejorada y la cocina tradicional, ya sea por la ausencia de humo en el área donde cocinan como también al emplear menor cantidad de leña.

Es importante mencionar que en algunos casos el usuario añadió sus propias mejoras para mayor comodidad o por estética, debiéndose tomar en cuenta para futuros diseños.

Resumen:

- La postura al cocinar actual es cómoda, siendo la altura promedio de 750 mm y 850 mm para la primera y segunda hornilla respectivamente.
- El diámetro de olla más usado en las cocinas domesticas es de 260 mm (8.5 litros) esto para la olla principal y de 220 mm (5.3 litros) para la olla secundaria.
- La entrada de alimentación de la cámara de combustión de la cocina domestica tiene la forma de un semielipse, con dimensiones promedio de 160 mm de ancho y 180 mm de alto (medidas interiores), siendo las dimensiones aceptables dentro de los usuarios.

Cuadro de preguntas:

Se dividen en tres grupos el primero es un test familiar para conocer el numero de beneficiados por hogar y lo que implica el uso de combustible diario, el segundo grupo señala las incomodidades actuales que se presentan en el uso diario de la cocina mejorada y el tercer grupo hace una comparación entre los beneficios de la cocina mejorada actual y su cocina anterior.

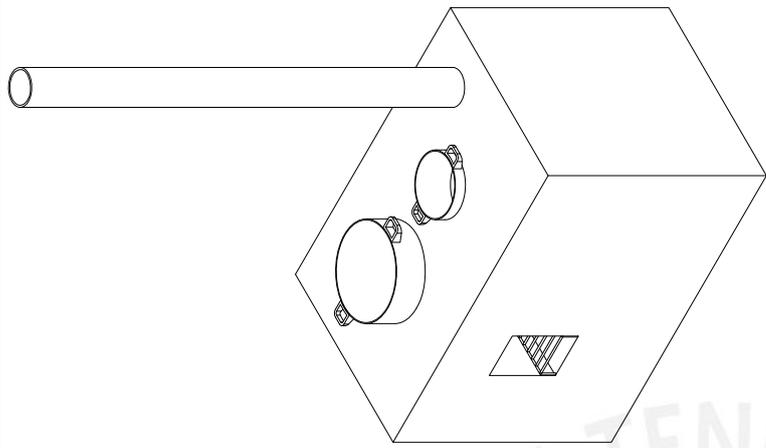
TEST DE USUARIO DE COCINA MEJORADA						
Fecha	19/01/2007	19/01/2007	19/01/2007	19/01/2007	19/01/2007	19/01/2007
Familia	Local Comunal	Sra. Martina	Sra. Gregoria	Sra. Humarcinda	Sra. De Aniceto	Local CEITO
Locación - comunidad	Huancarama	Huancarama	Huancarama	Huancarama	Tintaymarca	Tintaymarca
# integrantes	10 a 20	3	5	6	14	3
Actividades de integrantes - usuarios	amas de casa / chacra	trabajo en chacra / colegio	trabajo en chacra / colegio	trabajo en chacra / colegio	-	-
Tipo cocina actual	cocina mejorada*	cocina mejorada GTZ	cocina mejorada GTZ	cocina mejorada GTZ	cocina mejorada. tipo plancha	cocina mejorada GTZ
Frecuencia de uso	lunes - sábado	lunes - domingo	lunes - domingo	lunes - domingo	depende la velocidad**	lunes - domingo
Costo instalación (s/.)	-	15	5	35	alrededor de 200	-
Tiempo de vida	3 años	3 meses	3 meses	3 meses	3 meses	3 meses
Frecuencia de mantenimiento	2 veces / 3 años	No realizado	No realizado	No realizado	No realizado	No realizado
Cómo controla el fuego	según volumen	según volumen	según volumen	según volumen	según volumen	según volumen
Que combustibles usan para cocinar	leña / bosta***	leña	leña	leña / bosta***	leña / bosta***	leña / bosta***
Como encienden el fuego (paja, kerosene)	paja	paja	paja	papel	Cantón / paja	cartón
Colectan o compran leña	colectan	colectan	colectan	colectan	colectan	colectan
Si colectan: quien colecta y tiempo	las madres / 1 día	turnado / 1 día	madre / 0,5 día	madre-padre / 1 día	turnado / 1 día	padre / 0,5 día
Distancia del centro colección-vivienda	2 horas (ida-caminando)	no compra	1 hora (ida-caminando)	0,5 hora (ida-caminando)	1,5 horas (ida-caminando)	5 minutos (ida-caminando)
Si compra leña cuanto cuesta combustible	no compra	no compra	no compra	no compra	no compra	no compra
Frecuencia abastecimiento combustible	1 día / mes	2 día / mes	1 día / mes	1 día / mes	diario (no le dura la leña)	4 días / mes
Como es transportado el combustible	burro	burro	espalda	espalda	espalda	espalda
Disponibilidad del combustible	siempre	siempre	siempre	siempre	siempre	siempre
Tipo y material de ollas	cilindrica / aluminio	cilindrica / aluminio	cilindrica / aluminio	cilindrica / aluminio	cilindrica / aluminio	cilindrica / aluminio
Dimensión de las ollas (cm)	D30 - H20 D36 - H26	D24 - H14 D26 - H16	D22 - H14 D26 - H16	D22 - H14 D26 - H16	diversos tamaños	D24 - H14 D24 - H14
# hornillas	2	2	2	2	plancha (hasta 4 ollas)	2
Tipo de leña	huamantilca	huamantilca	huamantilca	huamantilca	tola	tola
Dimensión de leña	ramitas Ø 0,5 cm aprox.	ramitas Ø 0,5 cm aprox.	ramitas Ø 0,5 cm aprox.	ramitas Ø 0,5 cm aprox.	ramitas Ø 0,5 cm aprox.	ramitas Ø 0,5 cm aprox.
Protección de su combustible	plástico	bajo techo	bajo techo	bajo techo	plástico	bajo techo

* Cocina mejorada tipo fogón interior con chimenea, 2 hornillas.

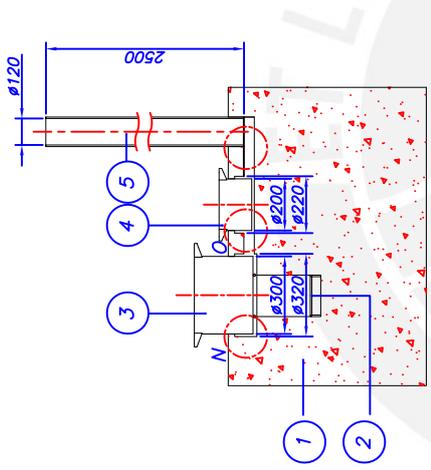
** Al querer cocinar con mayor rapidez, la usuaria regresa a su cocina anterior (fogón exterior con chimenea, 4 hornillas).

*** La bosta es un combustible usado con poca frecuencia en la zona y menos aun en épocas de lluvia.

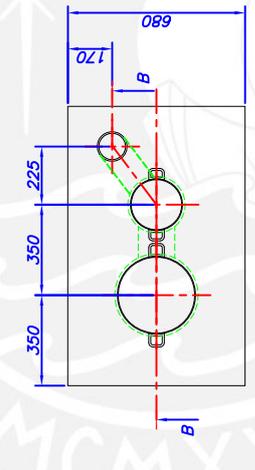
INCOMODIDADES ACTUALES DE USO									
quemaduras	no	no	no	no	no	no	no	no	no
humo	al prender	no	al prender	no	no	no	no	no	al prender
comodidad de postura al cocinar	buena	buena	buena	buena	buena	buena	buena	buena	buena
monitoreo y control del fuego	fácil	fácil	fácil	fácil	fácil	fácil	fácil	mas o menos	fácil
monitoreo de la cocción de comida	fácil	fácil	fácil	fácil	fácil	fácil	fácil	fácil	fácil
limpieza del hollín de las ollas	difícil	difícil	difícil	difícil	difícil	difícil	difícil	no existe	difícil
otros	acabo exterior de la cocina deteriorado	ninguno	se tuvo que recubrir exteriormente con cemento	codo (cámara de combustión) rajado	cámara de combustión un poco pequeña	codo (cámara de combustión) rajado	codo (cámara de combustión) rajado	código (cámara de combustión) rajado	codo (cámara de combustión) rajado
COMPARACION ENTRE SU COCINA ACTUAL Y LA ANTERIOR (TRADICIONAL)									
quema la comida?	no	no	no	no	no	no	no	no	no
negrea las ollas?	menos	menos	menos	menos	menos	menos	menos	menos	menos
inestable para remover la comida?	no	no	no	no	no	no	no	un poco	no
suelta mucho humo?	no	no	no	no	no	no	no	no	menos
calienta mas despacio?	mas rápido	mas rápido	mas rápido	mas rápido	mas rápido	mas rápido	mas rápido	mas despacio	mas rápido
difícil de encender?	mas fácil	mas fácil	mas fácil	mas fácil	mas fácil	mas fácil	mas fácil	un poco	igual
usa mas leña?	menos leña	menos leña	menos leña	menos leña	menos leña	menos leña	menos leña	menos leña	menos leña
muy caliente para estar cerca?	esta bien	esta bien	esta bien	esta bien	esta bien	esta bien	esta bien	esta bien	esta bien
difícil de limpiar? (cenizas, carbón, etc.)	fácil	fácil	fácil	fácil	fácil	fácil	fácil	un poco (peso de plancha)	fácil
encaja bien las ollas?	si	si	si	si	si	si	si	si	si
da luz suficiente en el ambiente?	poco	poco	poco	poco	poco	poco	poco	poco	no
funciona con facilidad (ya encendido)	si	si	si	si	si	si	si	si	si
se raja fácilmente?	no	no	no	no	no	no	no	un poco	no
te parece caro?	-	no	no	no	no	no	no	si	-
se ve bien en tu ambiente?	si	si	si	si	si	si	si	si	si
calienta lo suficiente el ambiente?	si	si	si	si	si	si	si	si	si
más tiempo en preparar el combustible	no	no	no	no	no	no	no	un poco (en cortar leña)	menos pero esta bien un poco (en cortar leña)
alguna mejora adicional para tu cocina?	→terrajeo exterior con cemento para evitar descascado →horno	→3 hornillas →horno	→colocación de mayólicas en la parte superior de la cocina →terrajeo exterior con cemento	→horno	→horno	→horno	→horno	→horno	→horno



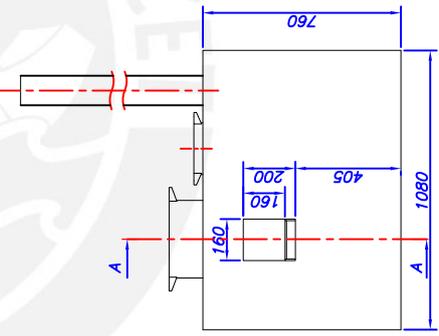
VISTA ISOMETRICA



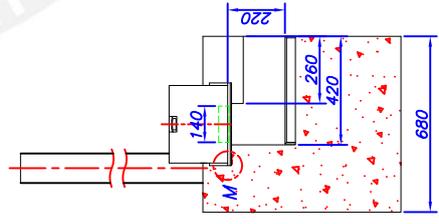
CORTE B-B



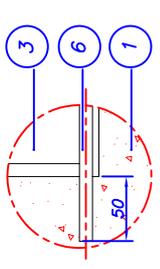
VISTA PLANTA



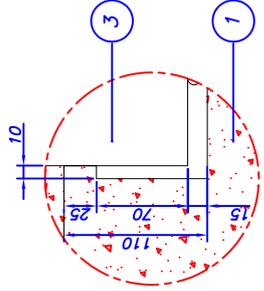
VISTA FRONTAL



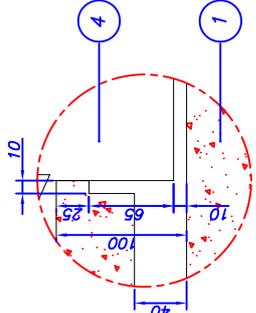
CORTE A-A



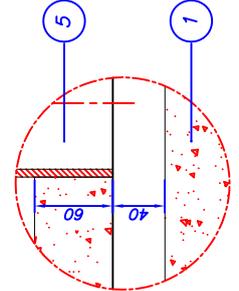
DETALLE M
ESCALA 5:1



DETALLE N
ESCALA 5:1



DETALLE O
ESCALA 5:1

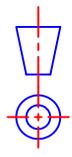


DETALLE P
ESCALA 5:1

6	2	SOPORTE DE OLLA PRINCIPAL	ASTM A36	VARILLA Ø1/2"X100
5	1	CHIMENEA	ASTM A36	Ø120X2530X1/8"
4	1	OLLA SECUNDARIA	AL	Ø300, CAP. 1.6 l
3	1	OLLA PRINCIPAL	AL	Ø200, CAP. 4 l
2	1	LECHO DE COMBUSTIBLE	ASTM A36	VARILLA Ø1/4"
1	1	CUERPO DE COCINA	BARRO	
		POS. CANT.	DESCRIPCION	NORMA
			MATERIAL	OBSERVACIONES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN: TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO



COCINA MEJORADA
MODELO PROPUESTO

19997261

ALVAREZ PABLO HAROLD JAVIER

FECHA:
2009.05.28

LÁMINA:
A3