



T
662.8
5687
C.2



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Mecánica

**ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE FOGONES DE LEÑA Y
COCINAS DE KEREX PARA APLICACIONES RURALES**

TESIS DE GRADO

Previa a la Obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

Presentada por:

Manuel Antonio Solís Beltrán

Guayaquil - Ecuador

1.992

AGRADECIMIENTO



D-11063

- A JESUS, EL MAESTRO
- A MIS PADRES, POR SU APOYO
Y CONSTANTE MOTIVACION
- AL DOCTOR ALFREDO BARRIGA,
DIRECTOR DE TESIS.
- A LA ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL, LA
NOBLE INSTITUCION
- AL DOCTOR KRISHNA PRASAD
DE LA UNIVERSIDAD DE
EINDHOVEN-HOLANDA.

DEDICATORIA

-A MI PADRE Y MI MADRE

-A MI ESPOSA

-A MIS HERMANOS

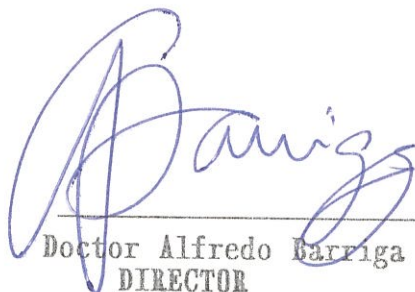
-A CARLOS ARREGUI

-AL CETE DE ESPOL

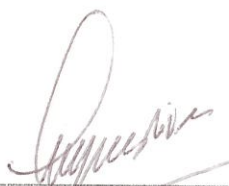
-AL GRUPO WSG DE LA
UNIVERSIDAD DE EINDHOVEN
HOLANDA



Ing. Nelson Cevallos
DECANO
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



Doctor Alfredo Barriga R.
DIRECTOR
TESIS DE GRADO



Ing. Jorge Duque
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Ing. Mario Patiño
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, corresponden exclusivamente a su autor; y el patrimonio intelectual de la misma a la **ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**"

(Reglamento de Exámenes y títulos profesionales de la ESPOL)

RESUMEN

En esta tesis se hace referencia a dos lineamientos específicos de investigación. En primer lugar se determina la posibilidad de mejorar la eficiencia de los fogones de leña tradicionales y se compara con el rendimiento de fogones cerrados eficientes. Los resultados darían una visión de las oportunidades de reducir el uso exagerado de leña para cocción, mediante el mejoramiento de la eficiencia de fogones de leña.

En segundo lugar , se analizan los criterios de mejoramiento de los diseños de cocinas de kerex. El mejoramiento de los diseños podría incrementar la utilización de esas cocinas con el fin de desestimular el consumo de LPG y leña en tareas de cocción doméstica.

En esta tesis se redacta gran parte de la investigación de fogones de leña realizadas en la ESPOL por el suscrito en años anteriores: -Determinación de los fogones tradicionales representativos del area rural de la provincia del Guayas -Viajes de campo -Pruebas realizadas en fogones tradicionales y mejorados-Pruebas realizadas en fogones cerrados.

En la segunda parte, se presenta el análisis de una cocina de kerex a presión. Se analiza todo su funcionamiento con la realización de seis pruebas diferentes, y como conclusión se dan ciertas posibles pautas para su mejoramiento.

INDICE GENERAL

	PAGINA No
RESUMEN	4
INDICE GENERAL	6
INDICE DE APENDICES	8
INDICE DE FIGURAS	9
INDICE DE TABLAS	15
NOMENCLATURA	17

CAPITULO 1

1.-INTRODUCCION

1.1 ANTECEDENTES	20
1.2 JUSTIFICACION	22
1.3 OBJETIVOS	24

CAPITULO 2

2.-COCINAS DE LEÑA

2.1 LA LEÑA COMO COMBUSTIBLE	26
2.2 COMBUSTION DE LEÑA	29
2.3 DESCRIPCION GENERAL DEL FOGON Y SU COMBUSTION	36

CAPITULO 3

3.-PARTE EXPERIMENTAL (I)



3.1	PROCEDIMIENTO Y METODOLOGIA	66
3.2	PRUEBAS EN FOGONES ABIERTOS	84
3.3	PRUEBAS EN FOGONES CERRADOS	100
3.4	RESULTADOS GENERALES CONCLUSION Y	113
	RECOMENDACION. ENSAYOS FOGONES DE LEÑA	
CAPITULO 4		
<u>4.-COCINAS DE KEREX</u>		
4.1	EL KEREX COMO COMBUSTIBLE	122
4.2	COMBUSTION DE KEREX	123
4.3	DESCRIPCION DE UNA COCINETA DE KEREX	132
4.3	LA COCINA DE PRESION 'SUPERIOR'	134
CAPITULO 5		
<u>5.-PARTE EXPERIMENTAL (II)</u>		
5.1	METODOLOGIA	142
5.2	PRUEBA DE ENCENDIDO DE LA COCINA	144
5.3	CARACTERISTICAS DE LA LLAMA	150
5.4	PRUEBA DE LA POTENCIA	154
5.5	ENSAYOS DE EFICIENCIA	168
5.6	ENSAYOS DEL RUIDO DE LA COMBUSTION	172
5.7	ANALISIS DE LOS GASES DE COMBUSTION	181
5.8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	197
5.9	CRITERIOS DE MEJORAMIENTO	204
APENDICES		206
BIBLIOGRAFIA		251

INDICE DE APENDICES

No	DESCRIPCION	PAGINA
1.	Ilustración de los dispositivos solares construïdos y ensayos realizados en Salinas—Ecuador	206
3.1	Resultados de la Encuesta para determinar los fogones de leña mas comunes del litoral	213
3.2	Definiciones y fôrmulas utilizadas en uso de leña y fogones para cocción	224
3.3	Ilustraciones del equipo utilizado	227
3.4	Resultado de otras investigaciones de cocinas de leña	234
3.5	Definición e interpretación gráfica de eficiencia	237
3.6	Valoración de la predilección de un fogón	240
4.1	Otros modelos de cocinas de kerex a presión	242
4.2	Catálogo de la empresa fabricante de la cocina Colombiana	247
4.3	Resultados de otras investigaciones de cocinas de kerex	249

INDICE DE FIGURAS

No	DESCRIPCION	PAGINA No
2.1	Esquema simplificado del proceso de la pirólisis	30
2.2	Esquema simplificado de la combustión de la madera	31
2.3	Formación de CO por reducción de CO ₂ en combustión de carbón con déficit de oxígeno	33
2.4	Diagrama del proceso de combustión de la madera	35
2.5	Proceso de quemado de combustibles ricos en volátiles	37
2.6	Forma aproximada de la llama y la región de gases calientes en ausencia de recipiente	38
2.7	Perfil de temperatura en un fuego abierto	40
2.8	Perfil de temperatura en un fuego abierto con recipiente	41
2.9	Representación esquematizada de un fogón de tres piedras	42
2.10	Efecto del viento sobre un fuego abierto	44
2.11	Balance de energía en un proceso de cocinado utilizando un fogón abierto	48
2.12	Diagrama de Sankey de un proceso de cocción con combustibles lignocelulósicos	49
2.13	Esquema de un fogón cerrado	51
2.14	Función de la chimenea	53
2.15	Fogón de la figura 2.13 con un desviador de flujo de gases incorporados	56
2.16	Balance de energía de dos estufas cerradas	60



No	DESCRIPCION	PAGINA No
3.1	Fogones tradicionales seleccionados	67...
3.2	Esquema de los fogones cerrados seleccionados	73...
3.3	Ficha de ensayo de fogones	78
3.4	Ficha de ensayo de fogones (Registro de temperaturas)	79
3.5	Eficiencia de los fogones abiertos mejorados	90
3.5.a	Efecto de cambios realizados en fogon tradicional fogón de dos piedras (alta potencia)	93
3.5.b	Efecto de cambios realizados en el fogón tradicional: fogón dos piedras (baja potencia)	94
3.6.a	Efecto de cambios realizados en fogón tradicional Fogón tres piedras (alta potencia)	95
3.6.b	Efecto de cambios realizados en fogón tradicional Fogón tres piedras (baja potencia)	96
3.7.a	Efecto de cambios realizados en fogón tradicional Fogón metálico (mesa) (alta potencia)	97
3.7.b	Efecto de cambios realizados en fogón tradicional Fogón metálico (mesa) (baja potencia)	98
3.8	Fogones cerrados: Comparación de la eficiencia promedio	105
3.9	Eficiencia de fogones cerrados en función de la potencia, consumo y flexibilidad	112
3.10	Ensayos de fogones de leña: Eficiencia en función de la potencia en alta operación del fuego	114
3.11	Ensayos de fogones de leña: Eficiencia en función de la potencia en baja operación del fuego	115
3.12	Ensayos de fogones de leña: Eficiencia global en función de la flexibilidad	116
3.13	Ensayos de fogones de leña: Eficiencia global en función del consumo específico	117

No	DESCRIPCION	PAGINA No
3.14	Resultado global del ensayo de fogones de leña	118
4.1	Modos de oxidación de un hidrocarburo	128
4.2	Temperatura y concentración de combustible en una llama difusa	129
4.3	Explicación gráfica del principio de la llama inversa	132
4.4	Esquema de una cocina de kerex a presión	134
4.5	La cocina superior de presión	135
4.6	Cocina superior: partes y piezas	136
4.7	Despiece del sistema de combustión y el tanque en la cocina superior de presión	137
4.8	Diagrama esquemático de la operación del sistema de combustión	139
4.9	Operación de la válvula de control y la punta de la aguja en la cocina colombiana	141
5.1	Resultados de un encendido incorrecto de la cocina	146
5.2	Otros resultados de un encendido incorrecto de la cocina	147
5.3	Características de la llama	152
5.4	Instalación de los equipos para las pruebas de potencia y de eficiencia	155
5.5	Potencia expresada en función de la presión en el tanque para tres condiciones de flujo	159
5.6	Potencia graficada en función de la raíz cuadrada de la presión en el tanque para tres condiciones de flujo	160
5.7	Consumo de combustible durante 60 minutos en una prueba experimental y una estimación teórica	162

No	DESCRIPCION	PAGINA No
5.8	Pronóstico del comportamiento de la variación de la potencia en función del tiempo en una operación de la cocina únicamente con inyección inicial con su bomba en el tanque	164
5.9	Variación de la potencia en función del tiempo para las cocinas Primus y Annby	165
5.10	Disposición e instalación de los equipos de medición de la prueba del ruido	174
5.11	Caja resonadora formada por la olla cocina y la mesa	175
5.12	Ubicación de la cocineta sobre apoyos. La geometría de la caja resonadora varía. El ruido no es emitido, pero las características de la llama no mejoran.	176
5.13	Ubicación de la olla en los apoyos. Se produce el mismo resultado anterior	177
5.14	Defecto de construcción del sistema de combustión	180
5.15	Efecto de la concentración del monóxido de carbono en la atmósfera como una función del tiempo de exposición para varias condiciones de trabajo o actividad	184
5.16	Disposición e instalación del equipo experimental para la realización de análisis de gases	186
5.17	Variación de índices CO/CO_2 (%) con respecto al tiempo de combustión correspondiente a 9 condiciones de operación de la cocina colombiana.	191
5.18	Cocina Pet de mecha: Radios CO/CO_2 (%) y la potencia expresados en función del tiempo.	193
5.19	Niveles de concentración de CO en el interior del cuarto de cocinar producido por la cocina colombiana operando a tres niveles de potencia	194
5.20	Ajuste del sistema de combustión que asegura	



	el mejor rendimiento de la cocina colombiana	201
5.21	Cambios sugeridos para mejorar el diseño	205

FIGURAS DE LOS APENDICES

No	DESCRIPCION	PAGINA No
A.1.1	Cocinetas solares ESPOL y LICEO NAVAL	206
A.1.2	Cocinetas solares en operación	207
A.1.3	Instalación y ubicación de las cocinas solares	209
A.1.4	Cocinas en operación, control de radiación y ajuste de ubicación	210
A.1.5	Etapas de la cocción solar	211
A.1.6	Etapa de construcción de un dispositivo de cocción que combina energía solar, leña y biogas	212
3.1.A	Fogón rural de un restaurant cercano a Milagro	213
3.1.b	Fogón de la comunidad del recinto los monos	214
3.1.c	Fogón de la zona via Milagro-Bucay y representación típica de una casa rural	215
3.1.D	Fogón comercial e la Península Santa Elena	216
3.1.E	Fogón zona de Mariscal Sucre	217
3.1.F	Fogón zona de Naranjito	218
3.1.G	Fogón de la zona del banco de arena (ruta Milagro -Naranjito)	219
3.1.H	Fogón de la Península de Santa Elena-Ayangue	220
3.1.I	Ubicación de los fogones encontrados en el area rural, provincia del Guayas	221
3.3.A	Laboratorio de los ensayos de fogones de leña en la ESPOL	227
3.3.B	Adquisición, corte, pesaje, e identificación de las especies de leña, antes de la prueba	228

No	DESCRIPCION	PAGINA No
3.3.C	Laboratorio de pruebas de las cocinas de kerex, en la Universidad de Holanda	229
3.3.D	Equipo de análisis de gases de combustión	230
3.3.E	Instalación de la cocina y equipos de prueba	231
3.3.F	Calibración de los equipos para inicio de pruebas	232
3.3.G	Cocina de mecha a kerex DUREX	233
3.4.1	Eficiencia en función de la potencia (Ref. 4b)	236
A.3.5.1	Eficiencia de un fogón en función de parámetros y condiciones de operación	239
4.1.A	Descripción cocina Primus 505 (Ref. 14)	242
4.1.B	Descripción cocina Annby 105	243
4.1 C	Descripción cocina Primus	244
4.1.D	Descripción cocina Russian Primus	245
4.1.E	Cocina de presión tipo "jet vertical" (ref. 4a)	246
4.2.A	Catálogo de la empresa fabricante de la cocina de marca "Superior"	247
4.2.B	Catálogo (continuación)	248

INDICE DE TABLAS

No	DESCRIPCION	PAGINA No
2.1	Variación de composición en porcentaje en peso	26
2.2	Análisis elemental de la madera-valores promedios	27
2.3	Proporción de los polímeros en la madera	27
2.4	Reacciones químicas que se producen durante la combustión	34
2.5	Proceso de quemado de combustibles ricos en volátiles	37
3.1	Fogón de dos piedras: Tabla de resultados	85
3.2	Fogón de tres piedras: Tabla de resultados	86
3.3	Fogón metálico tradicional: Tabla de resultados	87
3.4	Resumen de resultados de ensayos de fogones abiertos	88
3.5	Fogones Cerrados: Resultados de los ensayos	102
3.6	Fogones Cerrados: Resultados de los ensayos (cont.)	103
3.7	Fogones Cerrados: Tabla de promedios	104
3.8	Factores relativos de comparación	107
3.9	Resultados de otras investigaciones de fogones de características aproximadamente similares	111
5.1	Resultados de las pruebas de potencia para diferentes condiciones de flujo y de presión	158
5.2	Reducción de la potencia durante la operación de 20 minutos de 3 cocinas a presión	166
5.3	Resultados de prueba de eficiencia	170

No	DESCRIPCION	PAGINA No
5.4	Niveles de ruido para varias fuentes y ubicaciones	178
5.5	Indices CO/CO ₂ (%) correspondientes a 9 condiciones de operación de la cocina colombiana	190
5.6	Normas internacionales de los valores de radios CO/CO ₂ (%) permitidos para diferentes tipos de cocina	192

TABLAS DE LOS APENDICES:

No	DESCRIPCION	PAGINA No
A.3.6.1	Cuadro de Valoración de las preferencias en un fogón	240
4.1.A	Especificaciones de las cocinas de Kerex analizadas en la referencia 4a	246
4.3.A	Resultados de ensayos descritos en la referencia 4a	249
4.3.B	Variación de la eficiencia en función de la potencia (Ref. 4a)	249
4.3.C	Resultados de Pruebas experimentales (Ref. 14)	250



N O M E N C L A T U R A

Z_{max}	Altura máxima de temp.máxima de volátiles
A	Area de flujo de combustible en el difusor
CE	Consumo específico
cm	Centímetros
cm ³	Centímetros cúbicos
CETE	Centro de Tecnología Energética de la ESPOL
\dot{V}_m	Consumo de combustible
L	Calor latente de evaporación
M_w	Cantidad de agua inicial
M_f	Cantidad de combustible consumido
C_{co}	Concentración de CO en la atmósfera
M_f	Consumo másico de combustible
A_c	Cantidad de agua inicial
A_e	Cantidad de agua evaporada
L_x	Cantidad de leña consumida
CE	Consumo específico
L_{xt}	Cantidad de leña consumida total
A_{ct}	Cantidad de agua al inicio del ensayo
D_f	Diámetro del fuego
D_p	Diámetro del recipiente de cocción
H	Distancia del lecho a base de la olla
ρ	Densidad del aire
$(PCU)_A$	Eficiencia en alta potencia
	ó porcentaje de calor utilizado
$(PCU)_B$	Eficiencia en baja potencia
$(PCU)_G$	Eficiencia global
esteq	Estequiométrico
EA	Exceso de aire
EAH	Ensayos de agua hirviendo
η	Eficiencia de cocinas de kerex
M_{co}	Emisión de CO
B_v	Fuerza de voyantez (flotabilidad)
D	Fuerza de arrastre
F	Fuerza friccional
F	Flexibilidad
ϕ	Factor de aire estequiométrico
K	Factor empírico del nivel de mezcla de gases
K	Factor de homogenización
FC1	Factor de comparación 1 (Equivalente másico)
FC2	Factor de comparación 2 (Potencia útil)
f	Frecuencia del sonido
X_c	Fracción de carbón en el combustible

$^{\circ}\text{C}$	Grados Centígrados
g	Gramos
WSG	Grupo de investigadores de leña de Universidad de Eindhoven-Holanda
K	Grados Kelvin
Hz	Hertz
Vt	Intervalo de tiempo
kg	Kilogramos
Kw	Kilovatios
Kg	Kilogramos
kPa	Kilopascales
Kcal	Kilocalorías
lbm	Libra masa
λ	Longitud de onda
MJ	Megajoules
m^3	metros cúbicos
mm	Milímetros
M_e	Masa de agua evaporada
n	Nivel de presión del sonido
B	Profundidad del lecho
t_h	Período inicial de calentamiento
t_s	Período del estado estable
t_c	Período de enfriamiento
$P(A)$	Potencia del fuego en alta
$P(B)$	Potencia del fuego en baja
P	Potencia de la cocina de kerex
p_1	Presión en el tanque inicio de prueba
p_2	Presión en el tanque al final del inte
P_{\max}	Potencia máxima
P_{\min}	Potencia mínima
e_2	Presión de referencia
m_{co}	Peso molar del monóxido de carbono
m_c	Peso molar del carbón
VP	Rango de poder
a/c	Relación aire-combustible
R	Rapidez de cambio de aire
T_i	Temperatura inicial del agua
t	Tiempo
T_2	Temperatura final del agua
T_1	Temperatura inicial del agua
T_e	Tiempo para ebullición
C	Una constante
dp	Variación de la presión en el tanque
B	Valor calorífico del kerex
V_f	Volúmen de combustible consumido durante un intervalo de tiempo
V_i	Volúmen inicial de aire en el tanque
c	Velocidad del sonido

e_1	Voltaje de señal de salida del micrófono
V	Volumen del cuarto de cocinar
VCL_x	Valor calorífico de la leña
VCC_r	Valor calorífico del carbón



CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1.-ANTECEDENTES

Desde hace algunos años, se han realizado en la ESPOL proyectos de investigación referidos a fogones de leña, con el objetivo de mejorar la eficiencia de los mismos puesto que el uso indiscriminado de este recurso producía una elevada deforestación y daños a la ecología del ambiente.

Paralelamente a esta línea de investigación se realizaron estudios experimentales preliminares de cocción solar. Se construyeron dos cocinetas de cocción solar, y una cocineta que debía operar con leña y/o energía solar. Fotografías de estos dispositivos y sus ensayos se muestran en el apéndice 1. Los resultados preliminares mostraron que con dichos dispositivos no se lograba elevar la temperatura del agua al punto de ebullición, lo que motivó a profundizar las investigaciones de fogones de leña.

Se participò en programas de difusión conjuntamente con el INE institución que financiaba parte de la investigación. La experiencia demostró que los fogones mejorados no fueron fácilmente aceptados por los usuarios debido a la rigidez de sus costumbres y tradiciones.

En 1989 surgió de parte del gobierno del país la necesidad de incentivar el uso de cocinas de kerex, puesto que crecía a un ritmo acelerado el consumo de LPG, el cual era altamente subsidiado por el gobierno central; y este

incentivo era proyectado paralelamente a los consumidores de leña. Se lanzó un plan llamado PLAN BANDERAS, con la distribución masiva de kerex..

Surgió la necesidad de mejorar los diseños de cocinetas de kerex, puesto que las que se conseguían en el mercado, no presentaban ventajas que favorezcan su utilización; incluso en épocas anteriores dichas cocinas no habían sido aceptadas entre los usuarios. Funcionarios del INE proveían ciertos modelos a los fabricantes ecuatorianos para fomentar una línea de producción.

En 1985 la ESPOL inició contactos con Organismos internacionales, debido a lo cual fué posible realizar investigaciones bajo la supervisión de grupos de expertos reconocidos mundialmente. Se trabajó por espacio de 18 meses en los laboratorios de la Universidad de Holanda en la investigación de los parámetros de diseño de una cocina de kerex, apropiada para el uso en el Ecuador.

En este TESIS se expone el trabajo realizado en el estudio de fogones de leña y cocinas de kerex arriba descrito.

En este TRABAJO no se presenta una descripción extensa del mismo puesto que ya existen documentos realizados en base a este trabajo. Uno de ellos es el proyecto de Uso racional de leña y residuos en pequeña y mediana escala , dirigido por el Doctor Alfredo Barriga. Buena parte de este proyecto incorpora los resultados de la investigación de los fogones de leña.

Igualmente un reporte completo de la investigación de cocinas de kerex realizada en Holanda y que se titula "AN INVESTIGATION IN KEROSENE

STOVE FOR ECUADOR AND OTHER DEVELOPING COUNTRIES" está a disposición en la FIM y la Biblioteca de ESPOL. Todas las figuras de este reporte (Solís, 1990), se presentan en esta tesis.

1.2.-JUSTIFICACION

El uso indiscriminado de leña en fogones ineficientes (de acuerdo al INE:4-5%), así como la creciente demanda de LPG altamente subsidiado por el Gobierno Central, fortaleció la necesidad de mejorar la eficiencia de los fogones tradicionales de leña por un lado, y la de incentivar el uso de kerex con la distribución masiva del mismo con la consecuente necesidad de mejorar el diseño y la operación de las cocinas que operen con dicho combustible, por otro. Las cifras que a continuación se anotan verifican lo subsodicho:

i) De acuerdo a datos proporcionados por el INE, se tenía que para el año 1979 el 43% de los habitantes del país consumirían leña. Esto significaba un equivalente de 2.639×10^6 toneladas, es decir:

$$3443 \times 1000 \text{ hab.} \times 2.1 \text{ kg de leña/hab.} \times \text{día} \times 365$$

Para el año 1990 se estimaba que si las condiciones de consumo pronosticadas prevalecían este valor se reduciría a 2.224×10^6 toneladas de leña; cantidad muy considerable. Cualquier menor incremento en la eficiencia de los fogones o el incentivo de uso de otro recurso disminuiría considerablemente tan exagerada demanda. La referencia 1 indica que la protección de los recursos forestales del país expresarían un ahorro aproximado de 3 millones de toneladas de leña por año.

ii) El creciente consumo del gas licuado en los últimos años en relación a

una decreciente producción (ref. 1):

PRODUCCION Y DEMANDA DE GLP

AÑO	1985	1986	1987	1988
PRODUCCION (miles TM)	111,0	140,4	69,1	132,0
CONSUMO (miles TM)	185,7	219,8	254,01	291,0

Como se puede observar, la producción de gas licuado no abastecía la creciente demanda nacional, por lo que se hacía necesario la importación de considerables volúmenes del producto. Se pronosticaba que para 1989 se consumirían 307 000 TM. En ese año el costo de 14 kg de LPG que un consumidor pagaba era de 280 sucres (0.56 US\$) mientras que el costo que realmente pagaba el gobierno era de 1392 sucres (2.8 US \$). Estas cifras pronosticaban que en ese año el gobierno debería de pagar cerca de 50 millones de dolares. Además se conocía que el incremento del consumo era del 16% anual. La referencia 8 afirmaba que aun disminuyendo este incremento anual a solo 6 %, de todas maneras se pronosticaba que para el año 2000 se duplicaría el consumo nacional de LPG.

iii) El precio del kerex es relativamente mas bajo que el de los otros combustibles y si comparamos con el precio altamente subsidiado del gas licuado, el kerex resulta catorce y media veces mas barato (ref. 1).

iv) Para el año anterior se estimaba que existían unas cien mil familias, es



decir medio millón de ecuatorianos que consumían kerex y, sobre estas consideraciones, el programa estima que hasta 1992 el número de familias que consumirán este derivado se habrá incrementado a 180.000, demandando 42 millones de galones al año. Al lograrse esta meta el Ecuador dejaría de importar 15.000 toneladas de gas licuado, lo que equivale a un ahorro de 1700 millones de sucres (ref. 1).

Para asegurar ese crecimiento del consumo de kerex, se debe mejorar la operación de las cocinas que funcionan con este combustible, además que dicho mejoramiento beneficiaría las condiciones de vida de las familias que ya utilizan kerex, puesto que actualmente la calidad de operación no es la óptima y muy inferior a la producida por el gas licuado.

1.3 OBJETIVOS

En el trabajo presente se analizan dos líneas de investigación:—los fogones de leña y —las cocinas de kerex.

En cuanto a la primera parte, se plantean dos objetivos:

- i) Determinar la posibilidad de mejorar la eficiencia de los fogones tradicionales. Este mejoramiento no debe involucrar cambios sustanciales en el diseño, y
- ii) Determinar la eficiencia de fogones cerrados con y sin chimenea, y compararlos con los fogones tradicionales.

En cuanto al segundo lineamiento, el objetivo es determinar los criterios de mejoramiento de las cocinas de kerex, particularmente las de presión. El

problema planteado es la limitación que actualmente presentan las cocinas de kerex y que a continuación se detalla:

- i) Dificultad del encendido inicial;
- ii) Mala calidad de combustión, producción de humo, CO y de hidrocarburos no quemados (que como se verá mas adelantew, en algunas condiciones presenta peores niveles que los fogones de leña),
- iii) Olor y sabor desagradables en el alimento, y
- iv) Baja eficiencia y bajo nivel de potencia, que resulta en largos períodos de cocinado

Los criterios de mejoramiento que se obtengan deberán considerar las siguientes **pautas de diseño**, basadas en las condiciones de demanda de energía para cocinar que las costumbres requieren y en las posibilidades de ser fabricadas localmente:

- i) La cocina deberá tener al menos dos hornillas
- ii) Debería tener por lo menos 5 kW de potencia máxima y 1 kW de potencia mínima en cada hornilla.
- iii) Debería tener capacidad de alojar ollas de 30 cm de diámetro.
- iv) Al operar con kerex de producción nacional, la combustión debe ser limpia.
- v) Debe ser producida en centros locales de producción. Deberá tenerse el cuidado de utilizar materiales y componentes de fabricación nacional. Su mantenimiento debe ser sencillo y de bajo costo.

CAPITULO 2

COCINAS DE LEÑA

2.1.-LA LEÑA COMO COMBUSTIBLE

Las fibras y tejidos vegetales de la leña están conformados principalmente por componentes orgánicos lignocelulósicos producto de la fotosíntesis, agua y minerales provenientes de los nutrientes. Los principales componentes presentes son C, H, O (orgánicos) y N, Mg, P, Si, Fe, Na, K, Mn (inorgánicos).

En la siguiente tabla se muestra la variación de composición en porcentaje en peso de los diferentes tipos de leña seca:

MADERAS BLANDAS:

-Carbono :	48.80% a 59%
-Hidrógeno:	5.80% a 7.19%
-Azufre:	abeto americano 0.1%
-Oxígeno:	32.48% a 41.40%
-Nitrógeno:	0.0% a 0.1%
-Cenizas:	0.2% a 2.2%

MADERAS DURA

48.78% A 51.64%
6.02 A 6.93%
0.0%
41.45% a 44.98%
el arce 0.25%
0.24% a 1.35%

TABLA No 2.1 Variación de composición en porcentaje en peso (tomado de ref.2)

La composición elemental de la madera varía dentro de una estrecha faja, pudiendo sufrir variaciones dependiendo de la especie vegetal, edad, tipo de terreno, etc. Para fines prácticos se considerarán los siguientes valores

promedios:

Carbono:	46,9%
Oxígeno:	40.8%
Hidrógeno:	5.7%
Nitrògeno y cenizas:	1,0%
Nitrógeno:	0.3%
Cenizas:	0.8%
Agua:	20.0%

TABLA No 2.2 Análisis elemental de la madera
-valores promedios- (Burgos, 1985)

Los átomos de carbono y oxígeno se ordenan de tres maneras diferentes, formando los principales polímeros que componen la madera, dando origen a la formación de la celulosa, hemicelulosa y la lignina. Las proporciones de esos polímeros se muestran en la tabla 2.3

MADERA	CELULOSA	HEMICELULOSA	LIGNINA
Dura	43%	35%	22%
Suave	43%	28%	28%

Tabla No 2.3 Proporción de los Polímeros en la madera
(Barriga, 1987)

Si la leña se expone a temperaturas altas (superiores a 600 °C) en presencia de aire, se produce la combustión, generándose dióxido de carbono y agua, con liberación de calor. Esta energía liberada puede ser aprovechada principalmente para cocción de alimentos, la leña se constituye así en un combustible muy importante especialmente para los habitantes de zonas

rurales.

El poder calorífico de los lignocelulósicos tiene relación con su contenido de carbono e hidrógeno. El poder calorífico en base seca de los principales lignocelulósicos fluctúa entre 15 y 20 MJ/Kg y el contenido de humedad entre 5 y 30 % siendo 20 % un buen valor promedio referencial para usarse como primera aproximación (Barriga, 1987). Es de notar que niveles excesivos de humedad en el combustible ocasionan dificultades para quemarlo.

Para madera y residuos lignocelulósicos el contenido de volátiles es del orden de 60% a 80% y para carbón vegetal entre 3 al 30 %.(Barriga, 1987). La formación de volátiles y su composición dependen tanto de la rapidez de calentamiento y temperatura final alcanzada, como de la composición del lignocelulósico (contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa principalmente). En general puede decirse que el contenido de lignina influye en la textura del emanente carbonizado, mientras que los contenidos de celulosa y hemicelulosa tienen influencia sobre la formación de las fracciones volátiles.

El alto contenido de Oxígeno en la madera provoca una alta reactividad a temperaturas normales de combustión y como consecuencia una alta rapidez de combustión. Los leños gruesos se queman lenta y difícilmente, de modo que para obtener facilidad en el encendido y un fuego intenso los maderos gruesos se cortan en trozos mas finos ; esto puede ser explicado analizando lo que ocurre en el proceso mismo de la combustión.

2.2.-COMBUSTION DE LEÑA

La biomasa se descompone física y químicamente al ser sometida a la acción del calor. La primera etapa de la descomposición por calor es la de desecación, por la cual se elimina el agua que como tal se encuentra retenida tanto en la superficie como en los poros internos de la madera. Para una exposición suficientemente larga a una temperatura de 105° C, puede considerarse que se elimina toda la humedad interna. La desecación no incluye el agua formada por descomposición química. Por otro lado, si la madera ya desecada vuelve a ponerse en contacto con el aire ambiental, volverá a absorber agua hasta ponerse en equilibrio con la humedad ambiental.

El proceso de pirólisis ocurre al exponerse a la madera a rangos de temperatura de entre 200 a 500 grados centígrados. En este proceso, los constituyentes de la celulosa, hemicelulosa y lignina (polímeros sólidos de elevado peso molecular), se convierten en polímeros líquidos y gaseosos de composición un poco menos compleja, quedando un residuo sólido carbonizado cuyo constituyente mayoritario es el carbón.

Se entiende así que la pirólisis es una descomposición química interna de la biomasa, inducida térmicamente. Las especies químicas que son emanadas durante el proceso de pirólisis constituyen el denominado **material volátil**, que se encuentra formado principalmente por alquitranes, acetona, metano,

monóxido, agua y pequeñas porciones ácidas. En la figura 2.1 se muestra un esquema simplificado del proceso de la pirólisis:

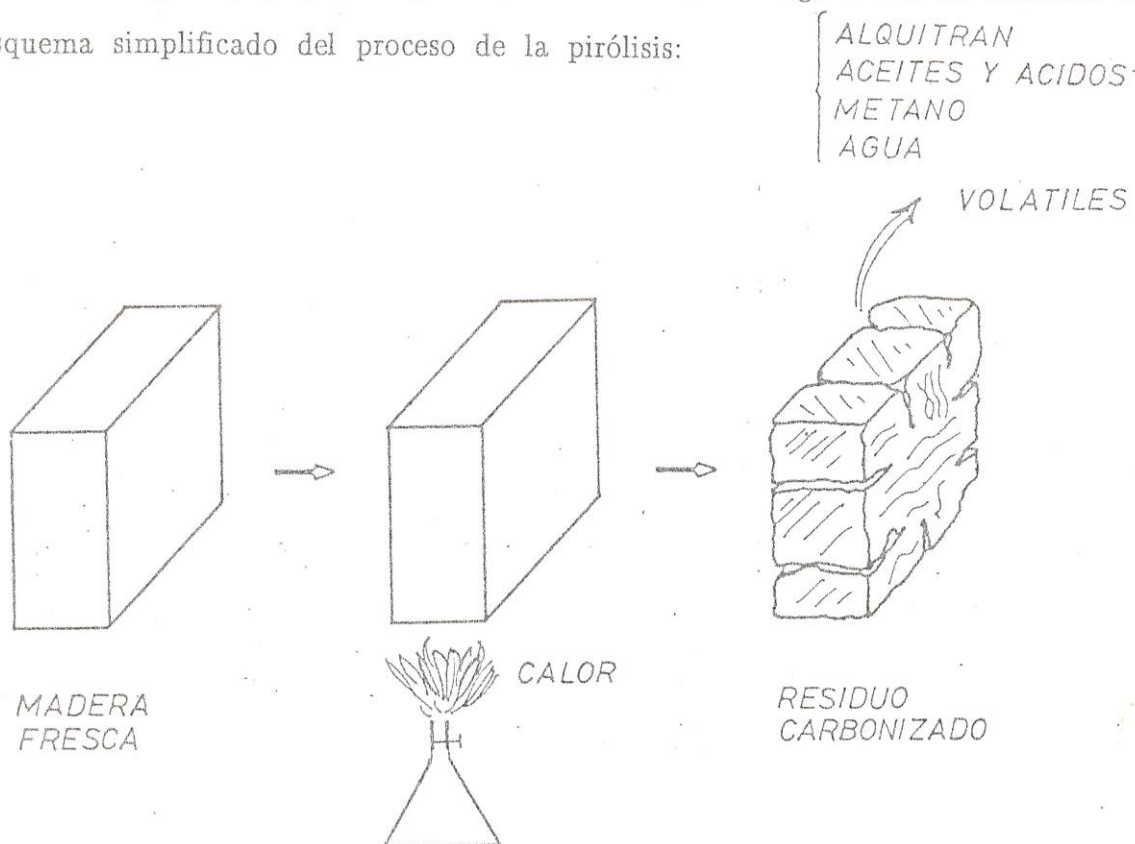


FIGURA 2.1 Esquema simplificado del proceso de la pirólisis

Si la pirólisis se efectúa en una atmósfera oxidante (presencia de aire) y si la temperatura fuese lo suficientemente alta, podría producirse la combustión de los componentes del material volátil.

Si la leña se expone a temperaturas altas (del orden de por lo menos 600°C

) en presencia de aire, se produce la combustión que es una reacción química de oxidación en la que tanto el carbono como el hidrógeno se combinan rápidamente con el oxígeno, generándose dióxido de carbono y agua y liberándose calor.

Durante la combustión de la madera, tanto la parte volátil como la parte sólida pueden oxidarse. Durante la quema de la madera fresca, los procesos mencionados de desecación, pirólisis y combustión se producen simultánea o consecutivamente.

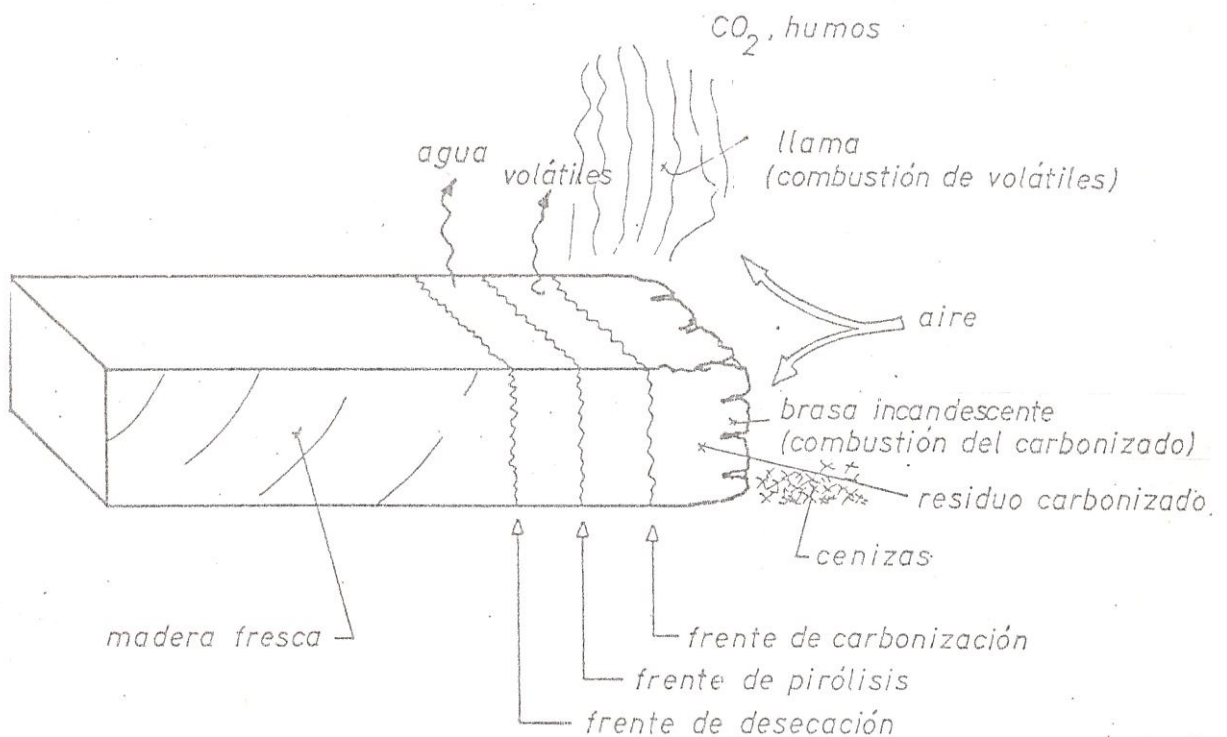


FIGURA 2.2 Esquema simplificado de la combustión de la madera

En la figura 2.2 se presenta un esquema simplificado de la combustión de la madera.

El proceso de combustión es exotérmico, es decir con liberación de calor. Los procesos de desecación y pirólisis requieren por otro lado del suministro parcial de calor. Durante la quema de madera fresca, parte de la energía liberada en las reacciones de oxidación sirven para alimentar los procesos de desecación y pirólisis de las porciones frescas de madera conforme progresa el frente de combustión. El agua contenida en la humedad de la madera se elimina como vapor, requiriéndose del calor latente para su vaporización. Si la humedad es muy elevada, la carga térmica impuesta por la evaporación del agua podría reducir la temperatura a niveles que impidan el avance de la combustión.

Si la combustión de la madera se realiza en atmósfera con déficit de oxígeno, el dióxido de carbono formado puede reaccionar con el carbono de la brasa incandescente, reduciéndose a monóxido de carbono; esto puede apreciarse en el esquema de la figura 2.3 (ref. 1):

Otra descripción del proceso de combustión está indicada en la referencia 3, que a continuación se la resume: Cuando se aplica calor, la capa exterior de la madera despidе agua, dióxido de carbono (CO_2) y algunos ácidos orgánicos. El dióxido de carbono y el vapor de agua cubren la superficie de la madera.

Esto produce humo pero no llama.

A medida que se eleva la temperatura, la superficie de la madera se carboniza. Al mismo tiempo el calor se transmite por conducción hacia el interior de la madera. Luego se liberan los gases y la brea, los que se extienden sobre la superficie de la madera. La brea reacciona con el carbón para formar gases volátiles, que en presencia de oxígeno producen llama.

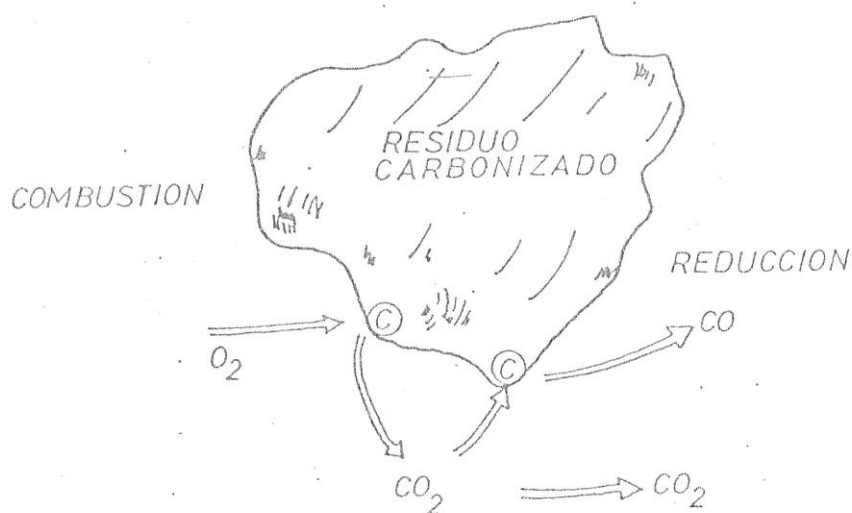


FIGURA 2.3 Formación de CO por reducción de CO_2 en combustión de carbón con déficit de oxígeno

Cada gas requiere de una determinada cantidad de aire y debe llegar a una cierta temperatura antes de que se combustione. Cuanto mayor sea la cantidad de aire, mayor será la cantidad de calor que se llevan los gases. Pero la madera no se encenderá si la proporción de aire en exceso es superior a cierto límite. En este caso existen muy pocas reacciones químicas para generar el calor necesario que compense la pérdida de calor de la zona de reacción; esto también ocurre cuando no hay suficiente aire presente en la combustión.

Una vez encendidos los gases se queman con una llama luminosa, el calor continúa impulsando mas gases de la madera hasta que solo se emiten monóxido de carbono e hidrógeno.

El proceso de combustión de la madera está representado esquemáticamente en la figura 2.4 de la página siguiente (ref. 3):

Las reacciones químicas que se producen durante la combustión de la madera pueden resumirse de la siguiente manera en la tabla No 2.3 (Burgos, 1985):

SUBSTANCIAS QUE REACCIONAN	LUGAR DONDE OCURRE LA REACCION	PRODUCTOS
Carbono + Aire	Superficie del combus- tible	Monóxido de Carbono Dióxido de Carbono
Brea + Aire	Llama	Monóxido de Carbono
Gas + Aire	Llama	Dióxido de Carbono y agua

TABLA No 2.4 Reacciones químicas que se producen durante la combustión

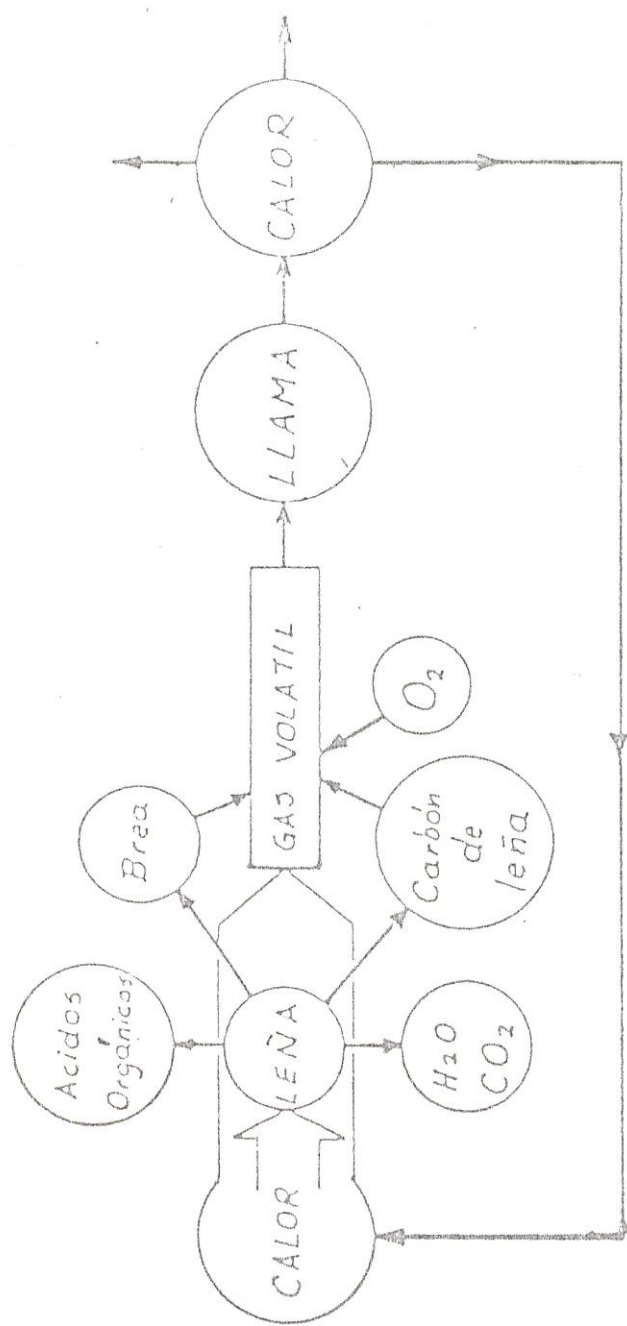


FIGURA 2.4 DIAGRAMA DEL PROCESO DE COMBUSTION DE LA MADERA

2.3.-DESCRIPCION GENERAL DEL FOGON Y SU COMBUSTION

Un fogón es un dispositivo utilizado para aprovechar la energía química almacenada en la biomasa de origen vegetal convirtiéndola en energía calórica y transferida al alimento que es procesado para ser digerible. Esto se realiza a través de varios procesos químicos y físicos.(De Lepeleire, 1981).

Dependiendo del tipo de fogón, la combustión de la leña puede tener características muy diferentes. Es conveniente describir el proceso de combustión cuando es específicamente dedicado a tareas de cocción de alimentos. Como se indicó anteriormente la madera es un combustible rico en volátiles, su proceso de combustión se ilustra esquemáticamente en la figura 2.5.

El proceso de combustión es claramente comprensible cuando se trata de combustibles sólidos-, líquidos- o gaseosos. El fenómeno se vuelve complejo cuando el combustible que originalmente es sólido se descompone a una velocidad variable en carbón por un lado y en gases y vapores y gotas finas de una mezcla de líquidos orgánicos viscosos por otro. Esto es justamente el comportamiento de la madera bajo un proceso de combustión.

La leña bajo la acción del calor, pierde primero humedad, entre los 150 y 200 °C. la reacción térmica comienza de manera lenta y alrededor de los

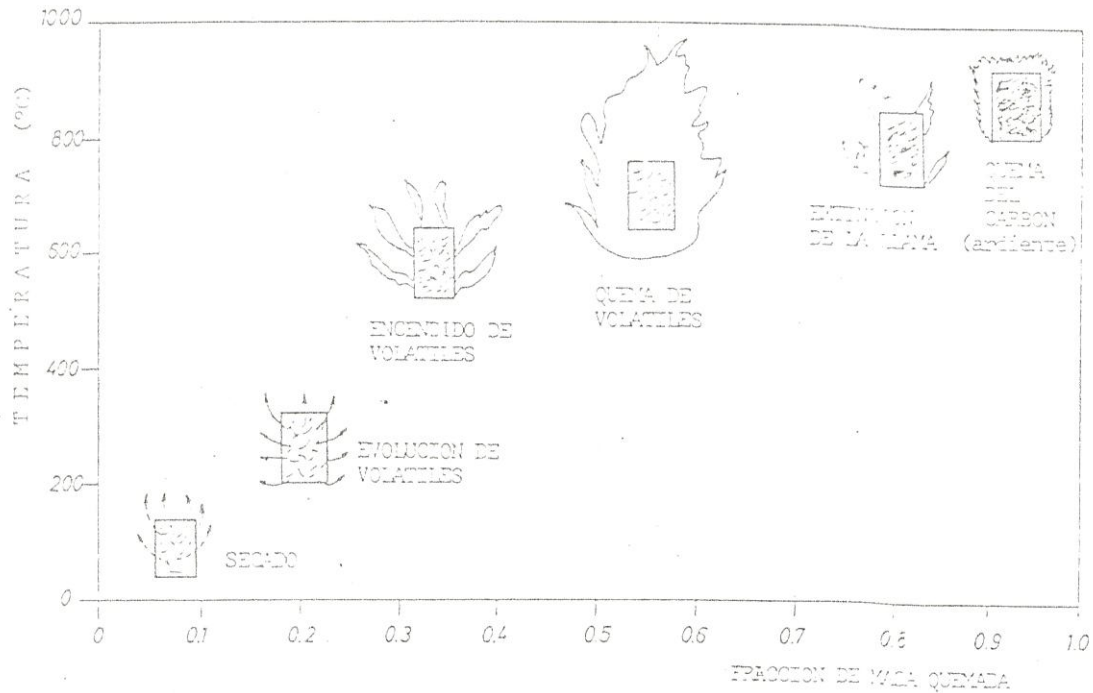


FIGURA 2.5 Proceso de quemado de combustibles ricos en volátiles (Ref. 1)

275°C. se acelera bruscamente con liberación rápida de los volátiles. Estos consisten primordialmente de hidrocarburos ($C_n H_m$), dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), hidrógeno (H_2), alquitranes y vapor de agua, y que para el caso de la madera acarrearán entre el 65 y 75 % de su contenido energético, se queman como gases en la llama inmediatamente sobre la cama sólida (fig. 2.6).

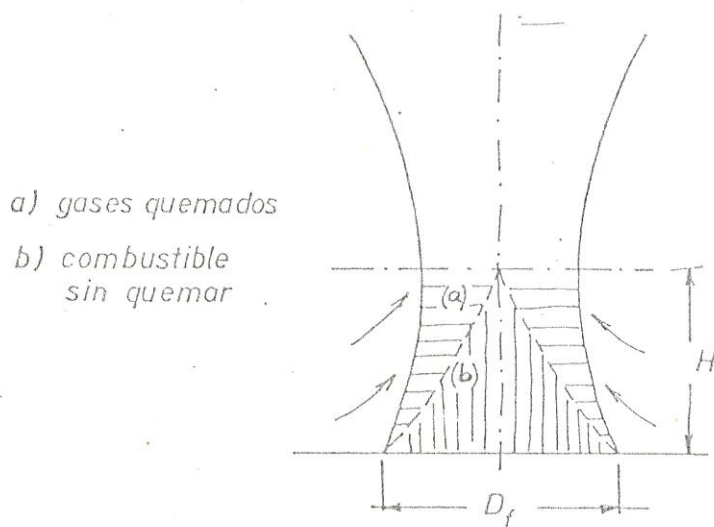


FIGURA 2.6 Forma aproximada de la llama y la región de gases calientes en ausencia de recipiente.

El carbón remanente se quema lentamente, formando brasa en el lecho.

La combustión tiene lugar desde la superficie hacia el centro a medida que los volátiles se alejan de la cama. El aire para la combustión del combustible

en el lecho se induce a través de los intersticios formados naturalmente en este (aire primario) y el aire para el quemado de los volátiles (aire secundario) se induce del ambiente por la aceleración de los volátiles en combustión.

La producción de calor en una hoguera de leña, está gobernada por la rapidez de quemado de los volátiles, la que a su vez está controlada por la rapidez de su liberación. La energía necesaria para esta liberación es suministrada por el mismo fuego. En el caso de los fogones de leña, aproximadamente el 10% del calor liberado por la combustión de los volátiles se retroalimenta al lecho (Barriga, 1987).

En la combustión de los volátiles se diferencian dos zonas (figura 2.6), una zona caracterizada por la presencia de productos de combustión y nitrógeno y otra constituida por los volátiles no quemados.

En la figura 2.7 se representa el gráfico de la altura de los volátiles en función de la temperatura de un fuego abierto. Un examen de esta figura muestra que después de cierta altura (Z_{\max}), la cantidad de volátiles combustibles disminuye y debido a que la cantidad de aire inducido no decrece a la misma velocidad, las temperaturas se reducen. Si el exceso de aire es muy grande la temperatura puede caer debajo del punto de ignición de los volátiles y estos pueden no quemarse. Alrededor del 50% de los

volátiles no se queman en un fogón abierto (Barriga, 1987).

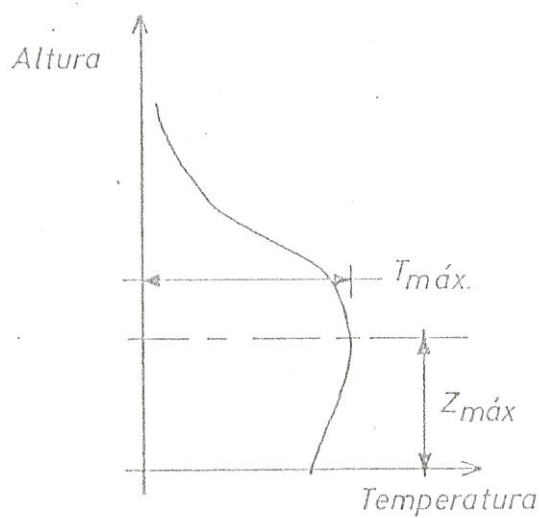


FIGURA 2.7 Perfil de temperatura en un fuego abierto

Al colocar un recipiente sobre el fuego, el perfil de temperatura se altera,

siendo el mayor efecto el de la reducción de la potencia del fuego. Dicho perfil puede observarse en la figura 2.8 siguiente:

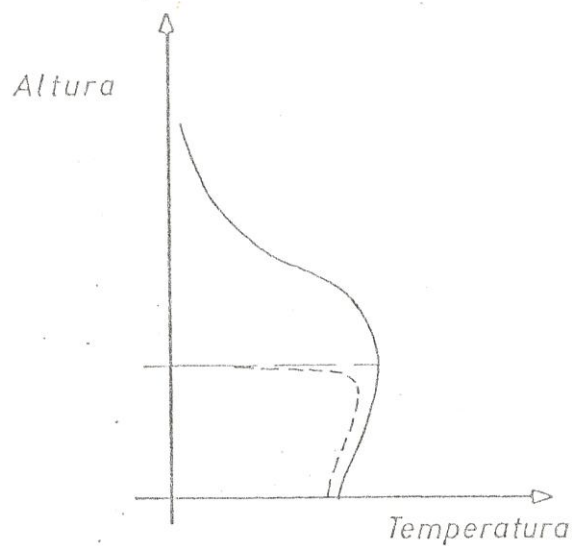


FIGURA 2.8 Perfil de temperatura en un fuego abierto con recipiente

En el diseño de fogones es básico conocer tres cantidades relacionadas con la combustión:

- i) El flujo de calor entregado por el fuego
- ii) La temperatura máxima en el sistema

III) La posición donde esa temperatura ocurre

Todas estas cantidades son difíciles de calcularlas en la mayoría de sistemas de combustión, pero mucho mas en los sistemas de combustión de lignocelulósicos como la leña.

FOGONES ABIERTOS

En la figura 2.9 se muestra un esquema de un fogón de tres piedras perteneciente al grupo de fogones abiertos. Este es un tipo de fogón tradicional encontrado en areas rurales.

Los parámetros de diseño de este sistema son los siguientes:

- el diámetro del fuego, D_f
- la profundiddad del lecho, B
- el diámetro del recipiente de cocción, D
- la distancia desde el lecho (cama) a la base del recipiente, H

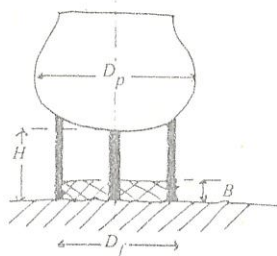


FIGURA 2.9 Representación esquemática de un fogón de tres piedras

Se puede apreciar que el flujo de calor del sistema incrementa con el area del lecho (cama de fuego) o D_f y su profundidad, B. Resultados de ciertas investigaciones (Lepelier, 1981) indican que para obtener una buena eficiencia de combustión, el valor de B no debería ser muy elevado. El valor de D_f es determinado realmente por el tamaño de la olla, o simplemente por la cantidad de alimento que se desea cocinar. El valor actual de la temperatura máxima depende de que si la combustión es o no completa. En general se puede anotar que en la llama se registran temperaturas de 1000° C. No se conoce el punto exacto en el cual se dá esta temperatura, pero una buena aproximación es ubicarla a la altura igual a la mitad del diámetro del fuego. Finalmente el diámetro del fuego nunca debe ser mayor que el diámetro de la olla.

Los modos predominantes de transferencia de calor en fogones abiertos son la convección y la radiación. Se puede decir en forma general que para promover la mejor captación de la radiación por los recipientes a calentarse:

-debe utilizarse fuegos compactos: Por ejemplo en la figura 2.9 en el caso de que B permanezca constante un incremento en el radio D_f / D_p aumentará dicha captación, aunque el calor real recibido por las ollas depende también del area del lecho.

-Si el radio (D_f / D_p) permanece constante una reducción del valor de H incrementará la captación por radiación. Esto se consigue ubicando los recipientes mas cerca del lecho.

En el diseño del fogón se debe tener claro el objetivo del mismo. Un fogón muy eficiente puede tardar mas en cocinar una misma cantidad de alimento que otro menos eficiente, por lo tanto no sólo interesa el consumo de combustible, sino otros aspectos de preferencia del usuario: el tiempo de cocinado por ejemplo. Se debe determinar un conjunto de preferencias y objetivos antes de proceder a diseñar.

Una de las principales características de estos fogones es que aproximadamente la mitad de la transferencia de calor por convección hacia las ollas ocurre por sus lados.

El principal problema de los sistemas de fuego abierto es el efecto nocivo del viento que aleja la llama de la olla con el resultado neto de reducir el area para la convección hacia esta y de aumentar el area para las perdidas de calor desde el fuego (figura 2.10):

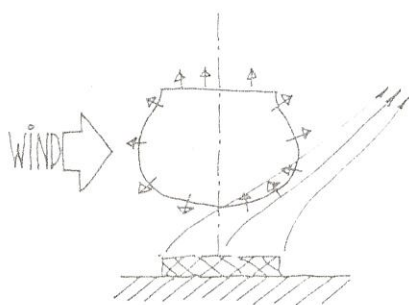


FIGURA 2.10 Efecto del viento sobre un fuego abierto

Esta es la razón por la cual se construyen fogones de gran tamaño para que sea posible quemar grandes pedazos de leña para resistir la influencia del viento, lo cual conduce a eficiencias muy bajas y un uso indiscriminado.

Otra estrategia consiste en reducir el valor de H (figura 2.9), esto es incrementando el área de contacto, como se puede deducir de la mencionada figura e incrementando la transferencia de calor por radiación. Pero esto no produciría una combustión apropiada.

Ninguno de los efectos anteriores son recomendables. La minimización del efecto del viento es una mejor alternativa, y una manera muy simple de evitar este problema es la utilización de barreras protectoras contra el viento. Cubiertas de diseño apropiado pueden incrementar tanto la radiación como la convección hacia el recipiente de manera sustancial, como es el caso de los fogones cerrados, o los mismos fogones abiertos que incluyan en sus diseños las barreras de protección de viento.

La utilización de parrillas para la combustión del combustible sólido mejora el rendimiento de un fuego abierto debido a que el aire primario ingresa por debajo de la parrilla y atravieza la cama. La circulación del aire primario favorece al inicio de la combustión de los volátiles en el mismo lecho y antes de ingresar al espacio principal donde se desarrolla la combustión. Por otro lado la utilización de parrillas define mejor el espacio de la combustión

promoviendo el uso de fuegos compactos.

El control de la potencia en muchos equipos de combustión se lo hace regulando el suministro de combustible y el aire de combustión. En un fogón abierto solo es posible controlar el suministro de combustible. El aire para la combustión ingresa en forma natural y no depende del operador del fogón. Esta es una de las limitaciones por las cuales los niveles de baja potencia en fogones abiertos difícilmente se logran.

En cuanto a su operación y manejo se debe considerar que estos fogones producen gran cantidad de humo, que sin duda alguna causa incomodidad y molestias al operador, y es muy nocivo para la salud.

En resumen se puede anotar las principales desventajas de los fogones abiertos:

- i) la combustión muchas veces no es completa ya sea por falta o exceso de oxígeno.
- ii) las distancias entre el fuego y las ollas generalmente no son adecuadas, este y otros factores inciden para una deficiente transferencia de calor y por lo tanto en mayor consumo de energéticos.
- iii) presencia de humo nocivo para la salud, por el inadecuado uso de la leña y por no contar con mecanismos de evacuación del humo.
- iv) el viento influye en forma adversa.
- v) al colocar una chimenea, esta puede expulsar el humo nocivo, pero puede resultar un efecto aún desfavorable para la combustión (ref 12)
- vi) las pérdidas de calor al ambiente causan incomodidad y discomfort al operador.

Entre las ventajas de esta cocina, se pueden mencionar las siguientes:

- i) el costo inicial es mínimo. El tiempo de construcción es muy corto, y el proceso es sencillo.
- ii) se adapta para cualquier número, tamaño y tipo de ollas
- iii) se puede utilizar cualquier tipo y tamaño de combustible vegetal (leña, paja, desechos de cultivos, carbón, etc).
- iv) las condiciones del fuego son fáciles de chequear.
- v) se puede utilizar para calefacción y/o iluminación, especialmente en la zona alta (páramos).
- vi) fácil de manejarlo

En este estudio, la eficiencia de los fogones se determina en base a un cálculo de las ganancias de calor, no se determinan los puntos donde se producen pérdidas de energía, ni tampoco se las mide. Así por ejemplo si se determina que un fogón tiene 6% de eficiencia, quiere decir que un 94% de la energía almacenada en el combustible no se aprovecha. 94 % de la energía constituyen las pérdidas de energía. Para conocer el destino de esta energía perdida a manera de ilustración en la figura 2.11 se presenta un diagrama del balance de energía del proceso de cocción del ejemplo que se menciona. En esa figura 2.11 se aprecia que el sistema no está dominado por ningún mecanismo de pérdidas de calor en particular. Las pérdidas mayores tienen relación con el exceso de aire, los productos de la combustión, el cuerpo y el piso de la estufa, y la energía contenida en el carbón residual. 1/3 de la energía transferida a la olla se emplea en la evaporación del agua. Un 24% de la energía almacenada en el combustible no es considerada como energía disponible. Otras pérdidas de energía contenida en los hidrocarburos gaseosos y partículas de carbón presentes en el humo, y radiaciones de calor

que se escapan a través de las aberturas del fogón no han sido analizadas

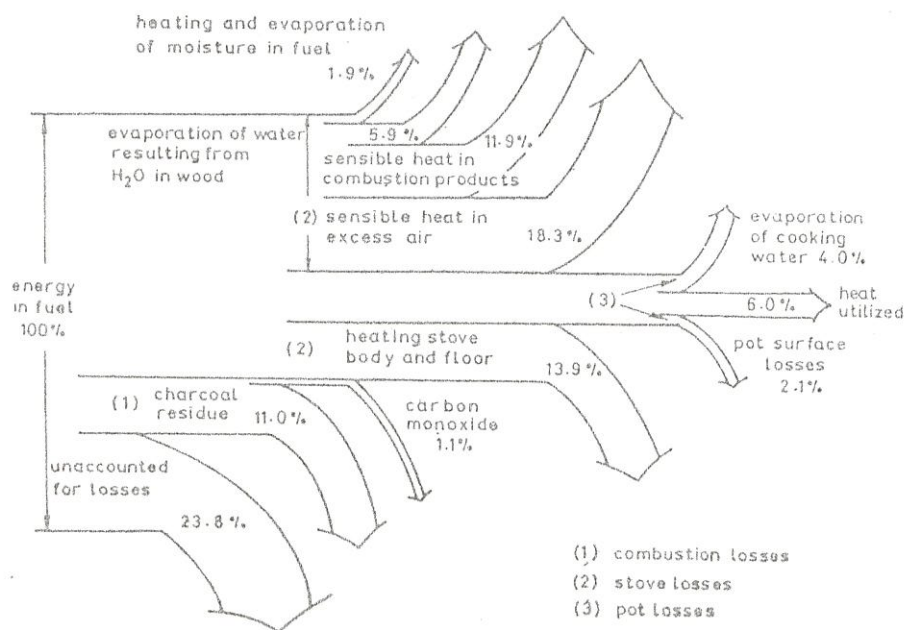


FIGURA 2.11 Balance de energía en un proceso de cocinado. utilizando un fogón abierto (Ref.7)

El mismo gráfico anterior puede ser presentado en una forma mas generalizada. Estos gráficos se conocen también como diagramas de Sankey, y que en estos casos específicos presentan la distribución de la energía de un lignocelulósico en el proceso de cocción de alimentos, esto se presentan en la figura 2.12 siguiente:

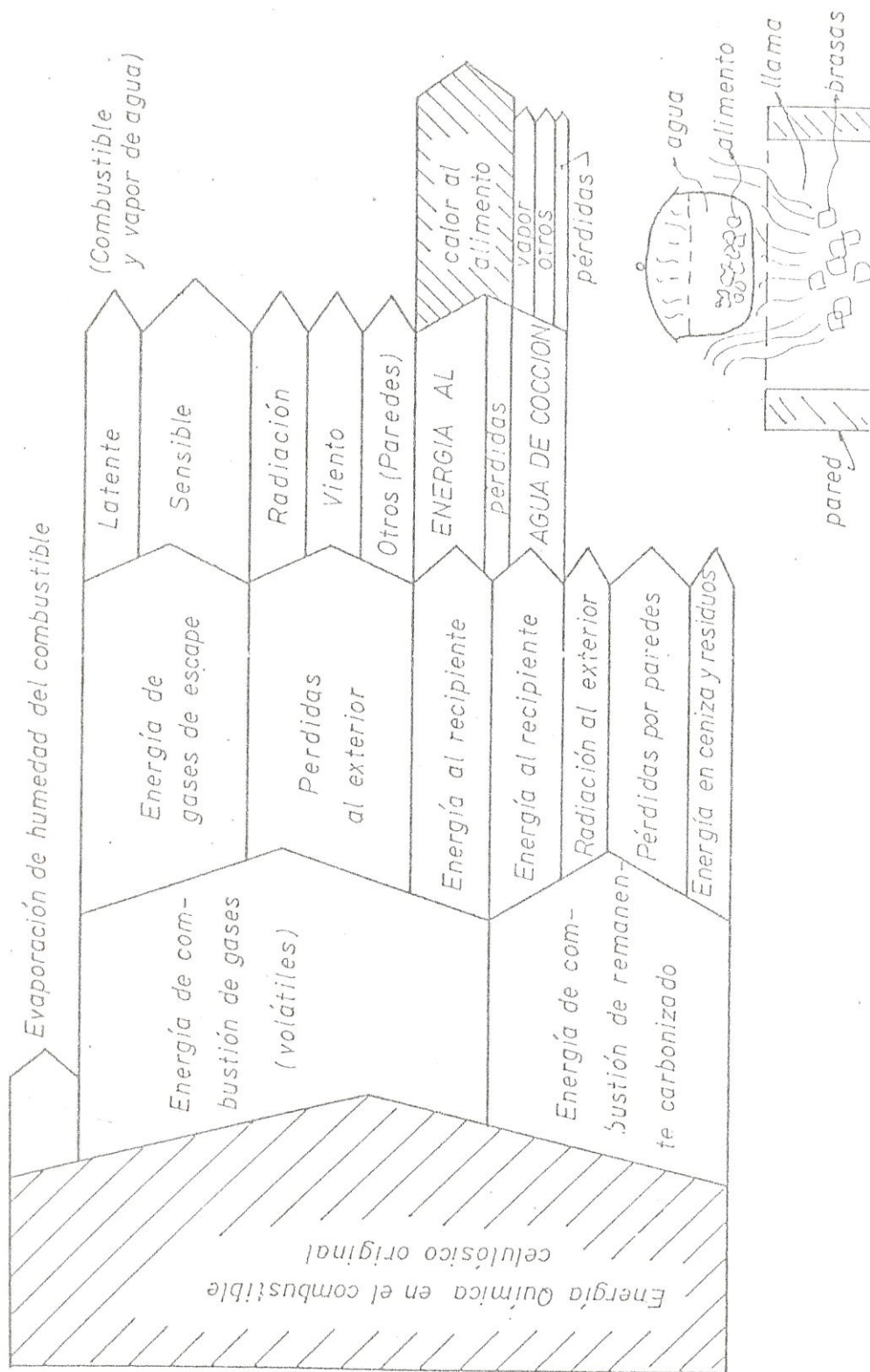


FIGURA 2.12.-
 DIAGRAMA DE SANKEY DE UN PROCESO DE
 COCCIÓN CON COMBUSTIBLES LIGNOCELULÓSICOS

En la figura anterior se aprecia que solo una pequeña parte de la energía química del lignocelulósico original se aprovecha para la cocción de alimento. Las principales pérdidas tienen que ver con la radiación al exterior, escape de gases calientes, influencia del viento, mala combustión y pérdidas desde el recipiente (calor perdido al ambiente y pérdida de vapor de agua durante la cocción). Es importante notar además que la humedad original del combustible reduce la energía efectiva, porque esta se evapora.

La eficiencia como se verá mas adelante, se define como la relación entre la energía (calor) que llega al alimento y la energía total disponible en el combustible original.

Los balances energéticos (diagramas de Sankey) son muy útiles en el sentido de que se tiene una visión de las posibilidades de reducir las pérdidas de calor, cualquier logro en este sentido conllevaría a incrementar el calor que recibe el alimento, y por lo mismo a incrementar la eficiencia del fogón.

FOGONES CERRADOS

Un fogón cerrado es aquel en el cual el fuego está confinado, y tiene algún mecanismo de control del calor. Algunas de las características generales de un fogón cerrado son:

- i) tiene un espacio encerrado en cual se produce la combustión de la madera, de esta manera se protege totalmente de la influencia del viento.
- ii) algunos fogones pueden poseer suficiente espacio para ubicar mas de una olla y permitir que se aproveche parte del calor de los gases de escape.
- iii) pueden tener una chimenea con el fin de sostener el tiro necesario para introducir oxígeno para la combustión y expulsar el humo del ambiente de la cocina.

En la figura 2.13 siguiente se muestra el esquema de un fogón cerrado, con capacidad para ubicar 2 ollas:

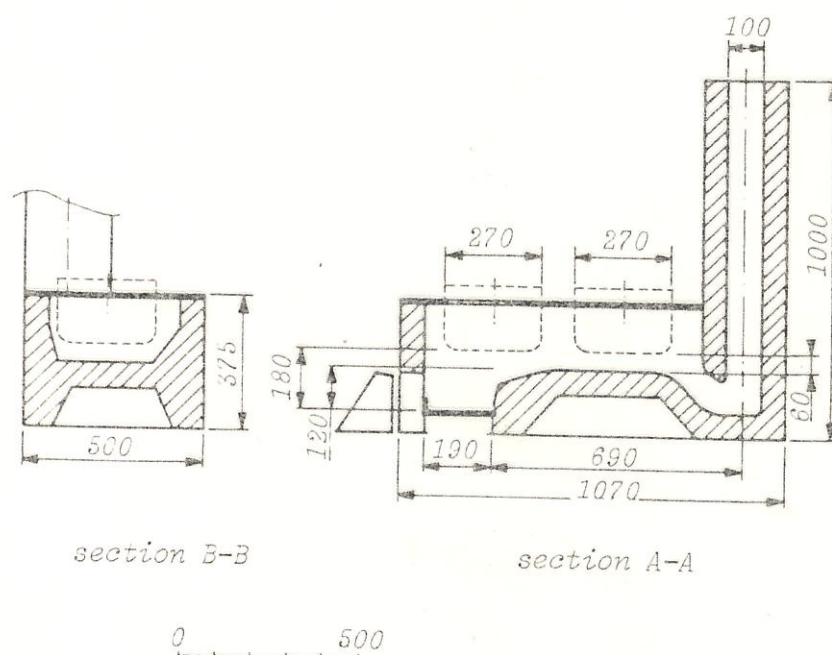


FIGURA 2.13 Esquema de un fogón cerrado

En base a este concepto inicial, se pueden analizar las diferentes partes complementarias, para obtener su mejoramiento.

En la figura 2.13, se aprecia las dimensiones del fogón, junto con los tres elementos anotados anteriormente. El peso del fogón ilustrativo es de 200 kg.

Se puede observar la pequeña entrada de alimentación de combustible. El area del lecho es menor que el area de la base del recipiente con el fin de confinar el fuego para elevar la eficiencia.

LA CHIMINEA, tiene una gran influencia en el funcionamiento de estas estufas. El movimiento de los gases está controlado por tres fuerzas que son: la fuerza B_v de boyantez (flotabilidad), la fuerza de arrastre D , que depende de la diferencia de temperatura de los gases de escape en la base de la chimenea y el ambiente exterior (termosifón) y la fuerza F friccional que se opone a las anteriores. F puede no ser considerada asumiendo que el único efecto que produce es un incremento de los requerimientos de arrastre en el diseño de la chimenea. En la figura 2.14 se presenta un esquema de la función de la chimenea.

Un buen diseño de la chimenea se basa en un correcto cálculo de las fuerzas anteriores. La velocidad de combustión influye en el valor de B_v , mientras que D puede variar de dos formas: 1) Si se produce una variación en la temperatura de los gases en la base de la chimenea, como por ej. con un arreglo geométrico que permita mayor utilización de los gases de escape; y 2) Con un cambio en la altura de la chimenea. F puede ser controlado con diferentes trayectorias de los gases en el interior de la estufa o variando la sección transversal de la chimenea.

Se pueden considerar dos casos extremos:

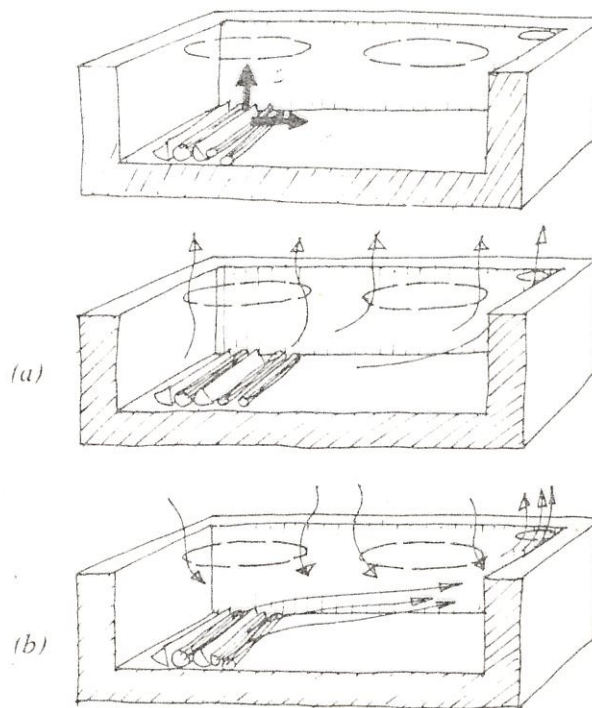


FIGURA 2.14 Función de la chimenea

a) Si el valor de B_v es muy grande con respecto a D : Esto se dá en el caso de tener un fuego muy grande cuya chimenea es muy pequeña.

b) Si el valor de B_v es muy pequeño con respecto a D : Este caso

corresponde a un fugo muy pequeño cuya chimenea es muy grande.

Para el caso a), dicho sistema se comporta igual que un fogón abierto, cuando funciona con el viento en calma. Humo y llama atraviesan la primera olla. La segunda olla recibe poco calor. Este diseño no es útil. (ver figura 2.14a.

El segundo caso es similar a un sistema de fogon abierto que funciona en una zona con mucho viento. Los gases de combustión se alejan de la primera olla y sólo entran en contacto con una pequeña porción de la segunda. Por esta razón la primera olla está expuesta sólo al calor de radiación de la cama de fuego ($1/3$ del poder calorífico de la leña)(ver ref.5). La segunda olla recibe una pequeña transferencia de calor por convección y radiación. Los gases de combustión en la base de la chimenea tendrán una temperatura alta, lo cual es aún mas negativo. Por otro lado debido al valor alto de D , se introducirá a través de las ollas exagerada cantidad de aire "frio", con la posibilidad de disminuir la ganancia de calor en la segunda olla. Este diseño de chimenea no es apropiado. La figura 2.14b representa esta situación.

Cuando $B_v=D$, se produce la situación ideal conocida como balance de la operación de arrastre en sistemas de evaporadores. Para el caso de estufas, debido a que son pequeños sistemas, "la calibración" exacta de estas dos fuerzas es considerada incierta. Por otro lado el sistema debido a la variación

de las características de la combustión y el tipo de la leña; puede ser inestable y conducir a situaciones no convenientes.

Parece ser que es preferible que el sistema opere con un valor de D un poco superior a B_v . En este caso la primera olla recibirá menos calor que en el caso de que estuviera calentandose en un fogón abierto debidamente protegido del viento y operando en sus mejores condiciones. (Lepelier, 1981).

DESVIADORES DE FLUJO, es un elemento muy importante de toda estufa que incluya una chimenea y con capacidad para sujetar dos ollas. La función mas importante de los desviadores de flujo, es conducir a los gases de combustión hacia la primera olla (eliminando la dependencia de la relación entre B_v y D , justo antes de que se dirijan dichos gases hacia la chimenea). Un esquema del desviador de flujo se presenta en la figura 2.15.

Algunas de las funciones de este dispositivo son:

- Incrementa la transferencia de calor por convección a la primera olla
- Dispone al fuego en una mejor confinación.
- Provee una mayor altura para el desarrollo de la combustión, y aumenta la distancia de la base de la primera olla. En esta situación las posibilidades de obtener una combustión completa aumentan.
- Incrementa la ganancia de calor por convección a la segunda olla.

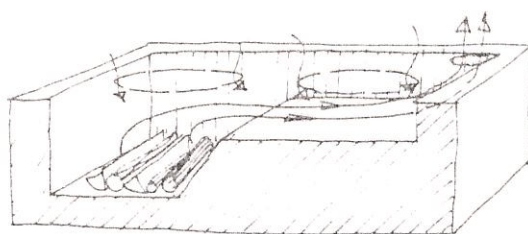
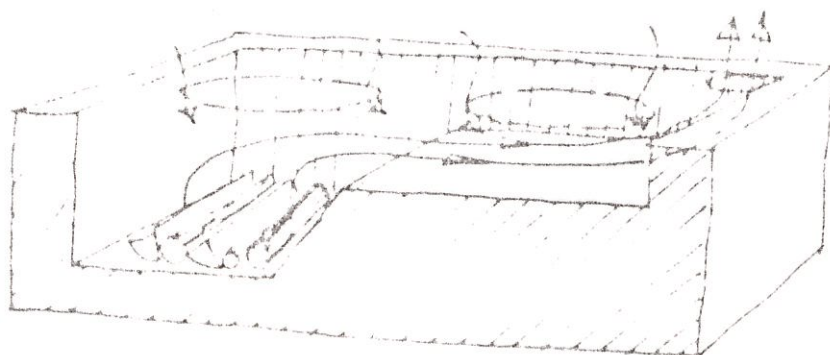


FIGURA 2.15 Fogón de la figura 2.13, con un desviador de flujo de gases incorporado

Algunas de las funciones de este dispositivo son:

- Incrementa la transferencia de calor por convección a la primera olla
- Dispone al fuego en una mejor confinación.
- Provee una mayor altura para el desarrollo de la combustión, y aumenta la distancia de la base de la primera olla. En esta situación las posibilidades de obtener una combustión completa aumentan.
- Incrementa la ganancia de calor por convección a la segunda olla.

Por otra parte se debe considerar que el lado izquierdo de la primera olla no recibe transferencia de calor por convección. Aparentemente una disposición del lecho de fuego hacia el lado izquierdo de la primera olla puede superar esta limitación. Otras variaciones de estos desviadores pueden dar mejores resultados. También puede incluirse una parrilla para ubicar el combustible

Un detalle que debe ser considerado es que los fogones cerrados normalmente poseen una gran masa en su estructura. Dicha masa influye en la resistencia y la durabilidad del fogón, y por otro lado tiene un efecto directo en el rendimiento del mismo.

En el análisis del comportamiento térmico de la masa del fogón se consideran tres fases :

- a) Período inicial de calentamiento, t_h ;
- b) Período del estado estable, t_s ; y
- c) Período de enfriamiento, t_c

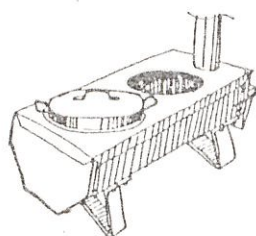
Durante el período t_h , la masa del fogón consume energía de la combustión de la leña para incrementar su temperatura. En el período t_s la distribución de temperatura en la masa del fogón permanece constante. Durante el período t_c la estufa pierde el calor ganado durante el período t_h . De acuerdo a esto convencionalmente se conoce que :

- a) el fogón será ineficiente para tareas de cocinado corto y rápido.
- b) su rendimiento mejorara cuando es usado en tareas de cocinado que requieran largos períodos, puesto que las paredes interiores del fogón estan a elevadas temperaturas, las cuales transfieren calor por radiación hacia las ollas
- c) tiene capacidad de conservar los alimentos calientes.

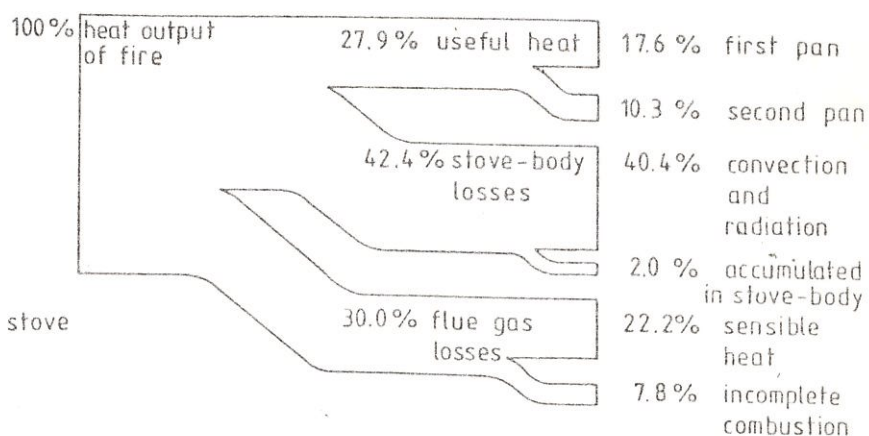
Un buen diseño se consigue unicamente a través de varios ensayos y pruebas minuciosas.

Una estufa de metal con la misma geometría que otra de arcilla o concreto, presenta mejores resultados para tareas rápidas de cocinado. Puesto que el metal tiene una respuesta a las variaciones del fuego casi inmediata. Pero de la misma manera que el sistema incrementa su respuesta térmica, lo pierde en el sentido de que la rapidez de las pérdidas de energía al ambiente incrementa. Una respuesta rápida de la estufa implica que la rapidez de enfriamiento es igualmente elevada. La segunda olla en una cocina de metal recibe poco calor, puesto que la temperatura de los gases de combustión se reduce considerablemente antes de entrar en contacto con esta olla.(ref 7).

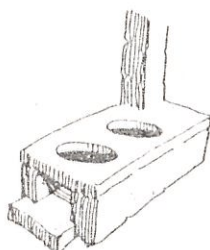
De la ref. 10 por otro lado se obtuvo la figura 2.16 se presenta un balance de energía de dos estufas cerradas. Una es de metal y otra está construida con ladrillos. Los resultados indicados en esta referencia indican que el fogón de metal presenta una mejor eficiencia. Las pérdidas de calor por las paredes del fogón de metal son elevadas, mientras que una gran cantidad de calor es absorbido por las paredes de ladrillos. En algún sentido las eficiencias de estos fogones son menores que los fogones abiertos, aunque aquellos son menos sensitivos a los cambios del ambiente exterior..



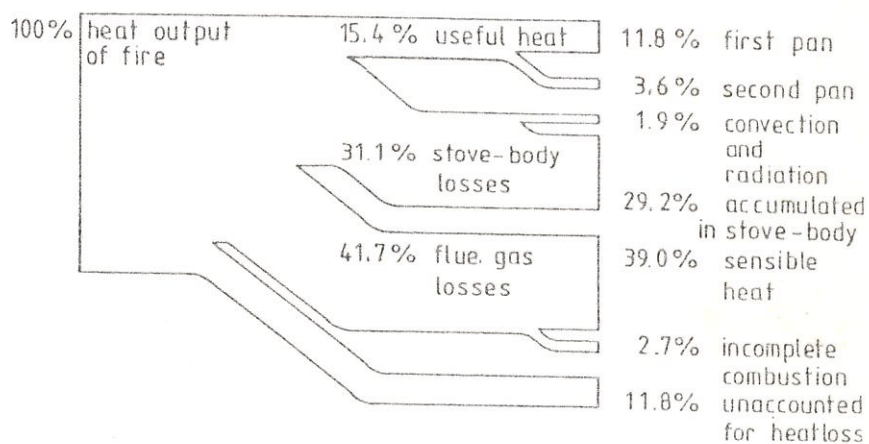
De Lepageire / Van Daele stove



a metal stove (De Lepageire /Van Daele stove)



Nouna stove



a heavy stove (The Nouna stove)

FIGURA 2.16 Balances de energía de dos estufas cerradas

CONTROL DEL FUEGO.—Un fogón abierto puede ser diseñado para operar en diferentes niveles de potencia. Un fogón cerrado por otro lado, presenta limitaciones en cuanto al rango de potencia que puede ofrecer (Lepeleire, 1981).

Un fogón abierto permite obtener variaciones del nivel de la potencia, tan sólo variando el diámetro del lecho de fuego. Esto no es posible en fogones cerrados; de toda maneras se logra superar esta limitación ubicando un regulador de tiro en la sección transversal de la chimenea. Esto conduce a reducir el suministro de aire de combustión lo cual disminuye la potencia del fuego.

Para un buen funcionamiento del regulador de tiro, todas las resistencias de flujo en los diferentes elementos de la estufa deben ser aproximadamente iguales. Esto es muy difícil de alcanzar debido a dos razones:

- 1) El volumen de gases que circula es mayor en el interior de la estufa y la chimenea que en la entrada de suministro de aire de combustión, puesto que las temperaturas de los gases de combustión y del aire de combustión son diferentes. (A mayor temperatura menor densidad)

- 2) La fuerza de arrastre inducida por la chimenea, depende de la temperatura en la base de la misma. Esta temperatura depende exclusivamente

del valor de la potencia del fuego.

Según la referencia 5, no existe literatura alguna que incluya un análisis detallado que permita proyectar un buen diseño de un regulador de tiro. Normalmente estos se incorporan en el diseño de la estufa con la esperanza de que puedan efectivamente controlar la potencia del fuego. Muchas veces esta estimación resulta equivocada.

Existen otros aspectos de diseño de los fogones cerrados, que pueden ubicarlos en desventaja frente a un fogón abierto de buen diseño debidamente protegido del viento y que incluya una parrilla para ubicar la leña a quemarse.

(a) Un fogón cerrado posee una sola entrada de aire primario. Un error en el diseño puede no permitir el ingreso de aire necesario, y obtener una combustión incompleta. No existen datos sobre los requerimientos de volúmenes para la combustión en estas condiciones. Micuta ha incorporado en esos diseños orificios para la entrada de aire secundario en la región de la combustión. Pero no existen datos que verifiquen o no la efectividad de estos diseños. (Lepeleire, 1981).

b) Se puede tener elevadas pérdidas de calor a través de las ollas, puesto que una buena parte de ellas no están empotradas en algunos fogones cerrados.

c) Para superar esta limitación se puede pensar en ubicar las ollas mas al interior del fogón, pero esto reduciría el volúmen para la combustión debajo de la primera olla. Por otro lado se ha demostrado que este incremento de area de olla util para la transferencia de calor, en realidad no incrementa dicha transferencia (Lepeleire, 1981). Existen también limitaciones para la ubicación de diferentes tamaños de ollas.

d) Con el fin de aprovechar los gases de combustión, algunos diseñadores ubican mas de dos ollas en sus diseños. Pero por otro lado es mas apropiado mejorar los desviadores de flujo de gases de combustión con el fin de reducir las pérdidas de calor que ocasiona el escape de gases calientes, puesto que estos fogones estan planificados para ser utilizados por gente de escasos recursos económicos, que no necesitan utilizar mas de dos ollas en la preparación de sus comidas diarias. (Lepeleire, 1981).

e) Un fogón cerrado que incluya en su diseño complicados desviadores de flujo, puede ocasionar que en el sistema se depositen cantidades de cenizas y creosota en las chimeneas y ductos internos. Esto puede bloquear el flujo de gases de combustión y afectar negativamente el rendimiento de la estufa. No se descarta el peligro de iniciarse incendios. Un mantenimiento regular de la estufa puede superar esta dificultad

g) Estufas construídas de arcilla u otro material similar, pueden presentar

limitaciones en cuanto a su durabilidad. El mantenimiento de la estufa es complejo y debe ser ejecutado con cuidado, para no destruir las partes del fogón.

h) Puede incrementarse la durabilidad de la estufa, utilizando ladrillos o concreto en su construcción. Pero puede ser no justificable económicamente frente a la opción de un fogón abierto protegido de barreras contra el viento y parrilla para la leña. No existe respuesta concisa para esta alternativa (Lepeleire, 1981).

i) En la literatura técnica, normalmente se encuentran diseños de fogones sin el valor de su eficiencia, es decir que no se puede conocer con toda seguridad el tiempo que se tarda el fogón en realizar una determinada cocción. Los fogones abiertos por otro lado son una tradición familiar y la gente del área rural fácilmente conoce el tamaño del fuego requerido para realizar el cocinado de cualquier alimento.

j) Existe una gran limitación en cuanto a aspectos de tipo socio-cultural. No se puede concluir sugiriendo que se debe variar el diámetro del hueco para ubicar las ollas. El problema realmente es mayor y la experiencia al ejecutar proyectos de difusión en zonas rurales del Ecuador por parte de muchas instituciones internacionales y locales deja como resultado que cualquier logro es alcanzable en los laboratorios de diseño, pero en la práctica la resistencia

costumbrista y el hábito de los pobladores de la zona desestimulan cualquier intento de difundir estufas modernas, que no consideren esos detalles.

De acuerdo a Prasad (Lepeleire, 1981) lo único que se puede aseverar con precisión acerca de estas estufas es lo siguiente:

- i) Pueden ser construídas con materiales utilizando mano de obra local,
- ii) Los fogones cerrados con chimenea expulsar los gases de combustión al exterior.

En el siguiente capítulo se presenta la parte experimental de los ensayos de fogones de leña.

CAPITULO 3

PARTE EXPERIMENTAL (I)

3.1 PROCEDIMIENTO Y METODOLOGIA

En la investigación realizada en cuanto al area de la leña se refiere se plantea como parte del objetivo determinar las posibilidades de mejorar el diseño de fogones tradicionales para elevar su eficiencia. Los cambios a operarse deben ser simples y no deben afectar considerablemente la estructura original. El estudio se complementa con el análisis de Fogones cerrados disponibles. Se establecen ciertas comparaciones, sus ventajas y desventajas, y conclusiones.

Tres fogones tradicionales se seleccionaron en base a una encuesta de campo, para lo cual se realizaron investigaciones en varios puntos del area rural de la provincia del Guayas (apéndice 3.1). Los fogones tradicionales seleccionados fueron:

- Fogón de dos piedras
- Fogón de tres piedras
- Fogón metálico tradicional

En la siguiente figura se presenta un esquema de los fogones tradicionales seleccionados:

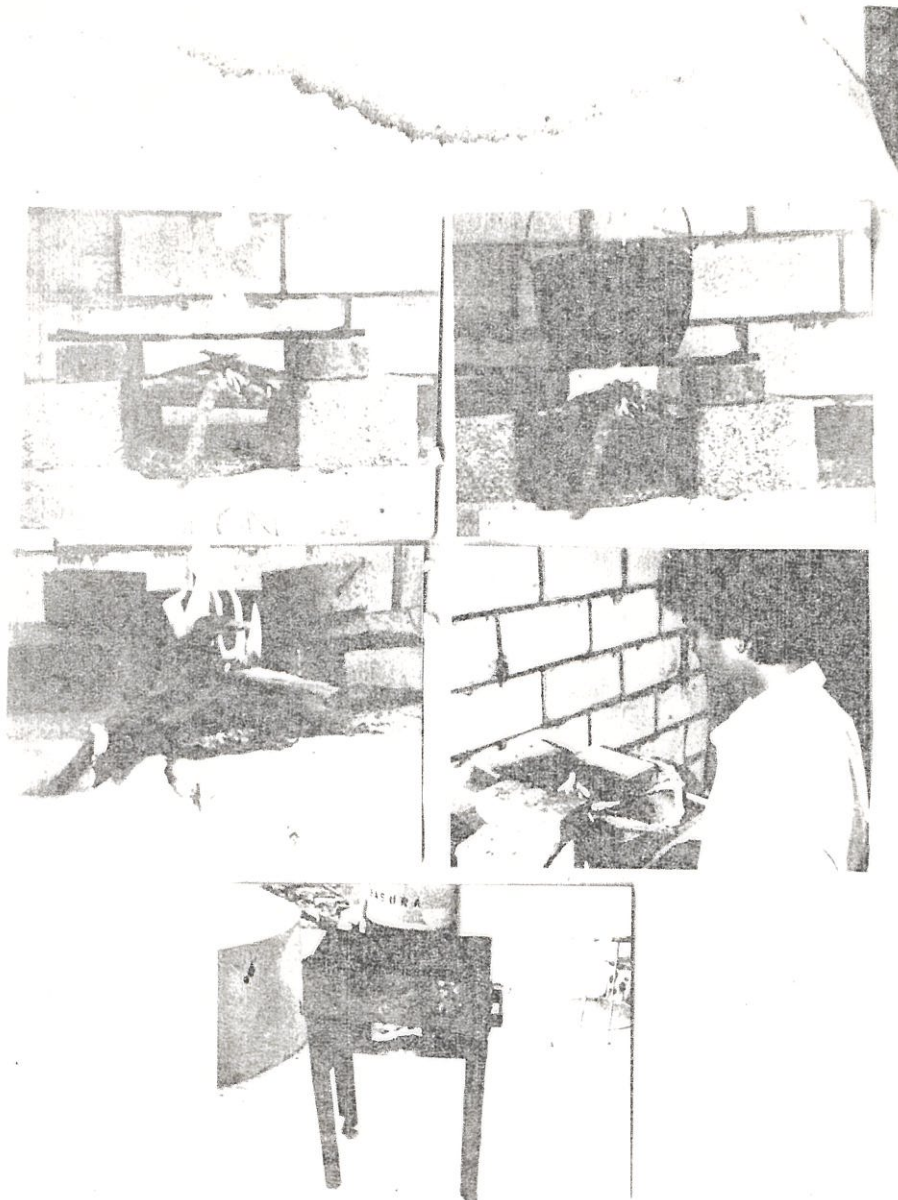
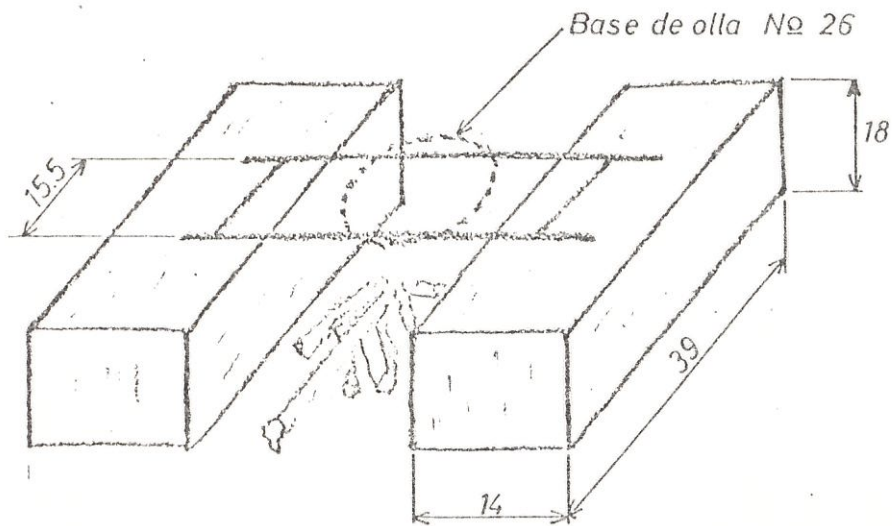


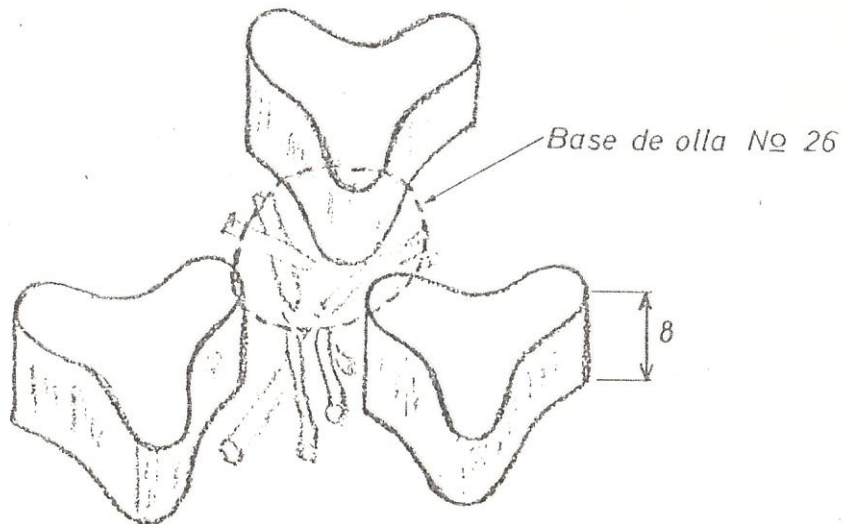
FIGURA 3.1.-FOGONES TRADICIONALES SELECCIONADOS:
a)dos piedras, b)tres piedras y c)metálico de mesa

FOGONES ABIERTOS

FASE ORIGINAL



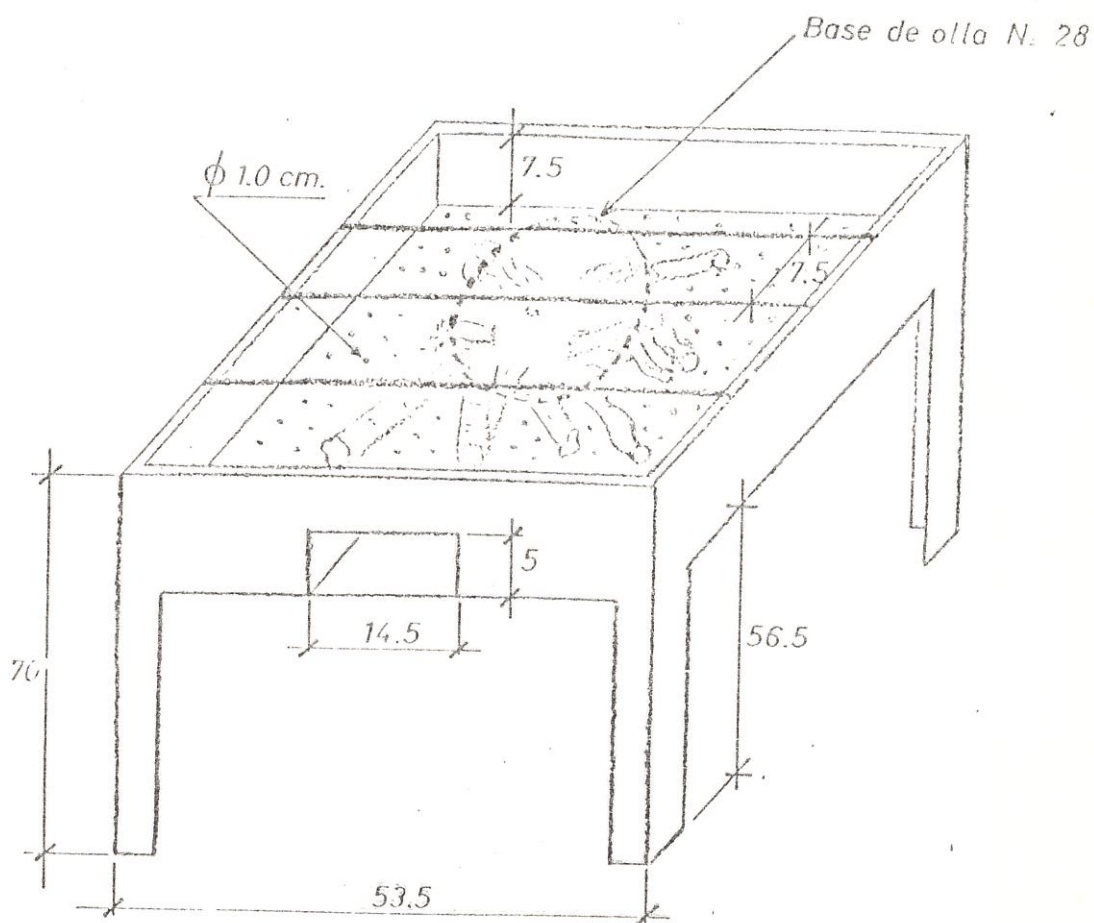
Fogón de dos piedras



Fogón de tres piedras

FIGURA 3.1 FOGONES TRADICIONALES SELECCIONADOS

En cada uno de estos fogones tradicionales se efectuaron pequeñas variaciones en su diseño, con lo cual se obtuvieron 3 modelos adicionales de cada grupo (ver figuras 3.1)



Fogón metálico tradicional
FASE ORIGINAL

FIGURA 3.1

FOGONES ABIERTOS
(CONTINUACION)

TRADICIONALES

FOGONES ABIERTOS

CAMBIOS REALIZADOS

FASE 1

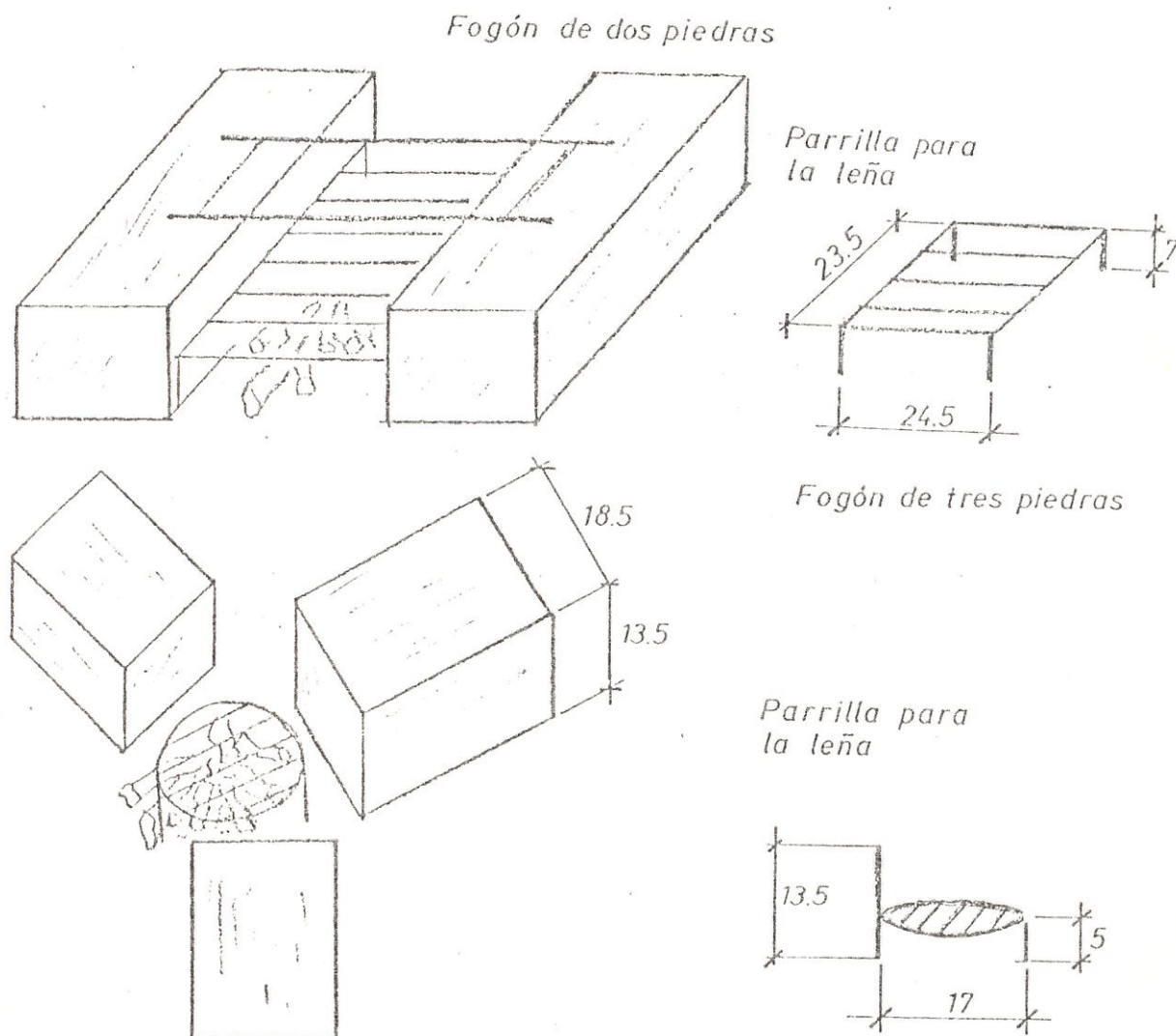
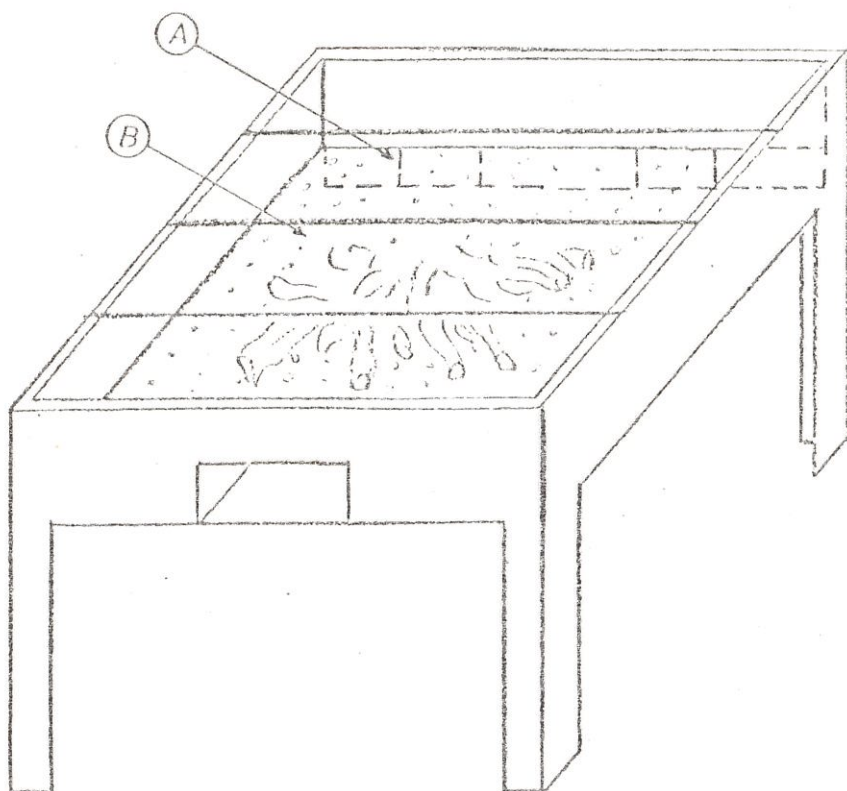


FIGURA 3.1 FOGONES TRADICIONALES SELECCIONADO (CONTINUACION)



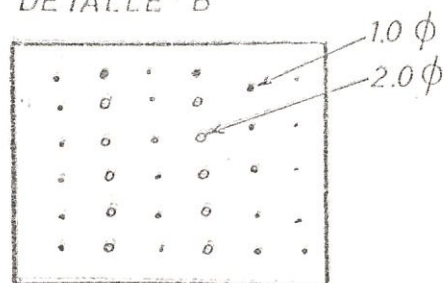
Fogón metálico tradicional
CAMBIO REALIZADO
FASE UNO

DETALLE A



*entrada de aire inferior
 por la parte posterior
 bajo la bandeja cenicero*

DETALLE B



*cenicero modificado
 10 huecos adicionales*

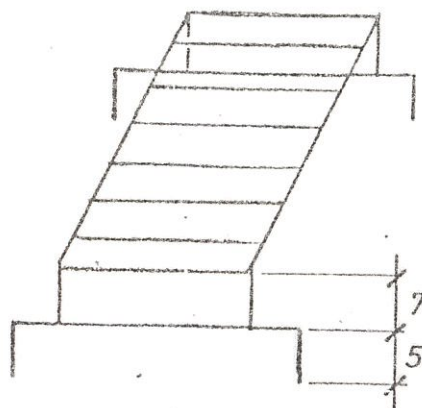
**FIGURA 3.1 FOGONES TRADICIONALES
 SELECCIONADO (CONTINUACION)**



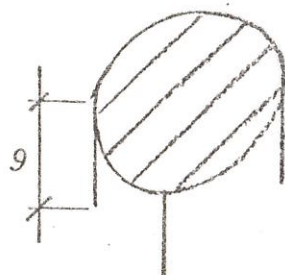
FOGONES ABIERTOS

CAMBIOS REALIZADOS

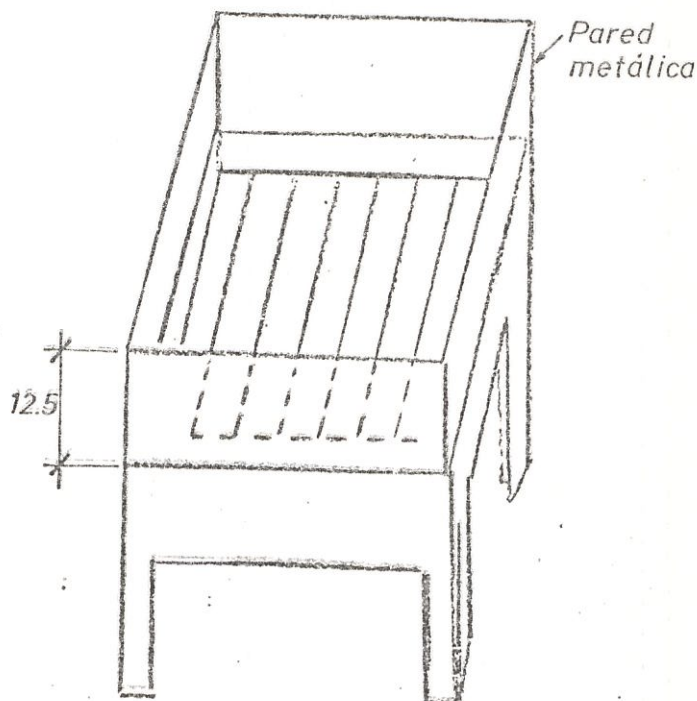
FASE 2



Para el fogón dos piedras: Se incluye este nuevo modelo de parrilla con otras dimensiones. Al tener los ladrillos las mismas dimensiones y aumentar la altura de la parrilla, disminuye la altura de la base de la olla a la parrilla; por tanto se ha reducido la cámara de combustión y el espacio para la entrada de leña. En cambio la entrada de aire inferior ha aumentado, aunque se ha reducido el espacio para la combustión de la leña.



Para el fogón de tres piedras: la parrilla es diferente en medidas.



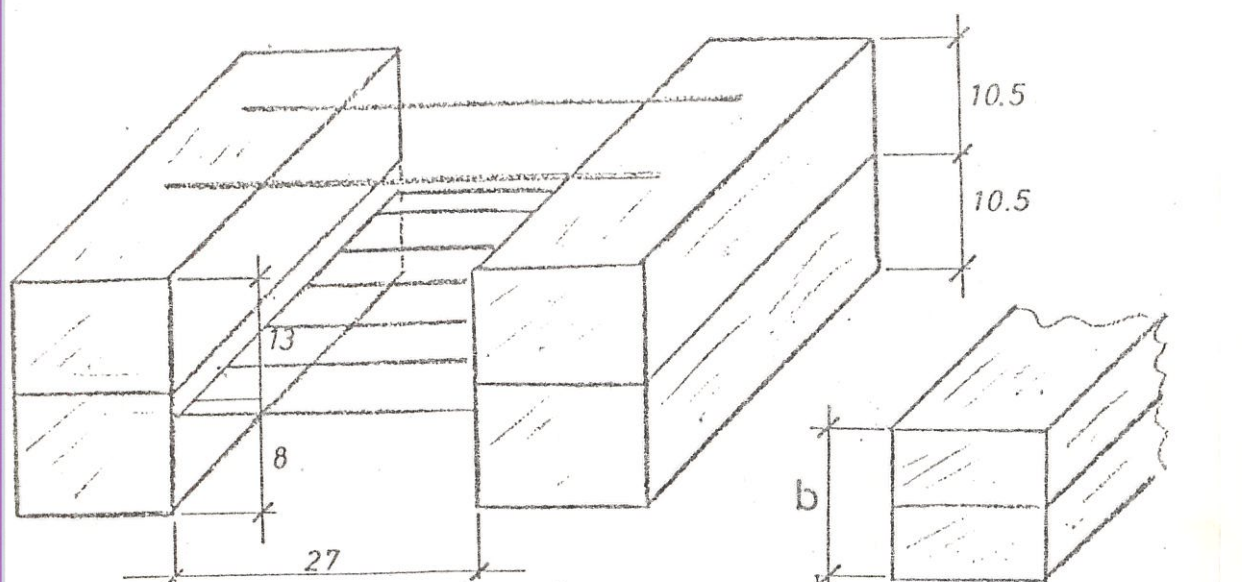
Para el fogón metálico tradicional, se ha aumentado la altura de la pared a los cuatro lados para protección del viento.

FIGURA 3.1.-FOGONES TRADICIONALES SELECCIONADOS
(CONTINUACION)

FOGONES ABIERTOS

CAMBIOS REALIZADOS

FASE 3

*Fogón de dos piedras*

- A: Ancho de cámara = 16 cm.
 H: Altura parrilla a base de olla = 13 cm.
 h: Altura nivel del suelo a la parrilla = 7.5 cm.
 b: Altura del fogón = 20 cm

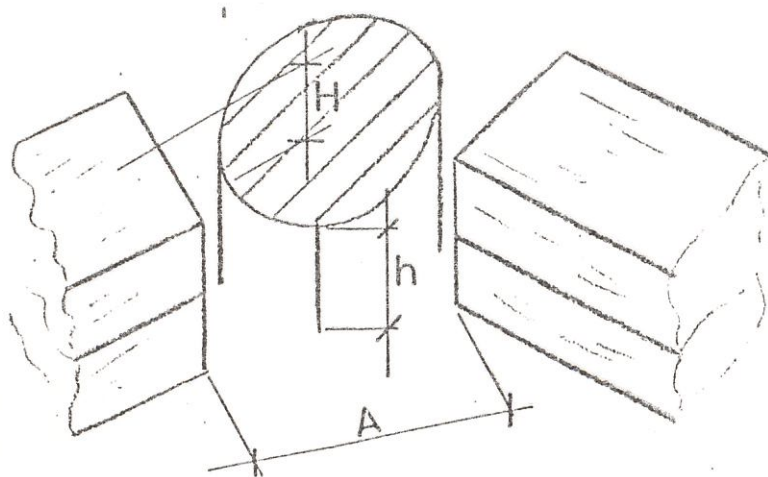
*Fogón de tres piedras*

FIGURA 3.1 FOGONES TRADICIONALES SELECCIONADO (CONTINUACION)

Cuatro fogones cerrados fueron utilizados para los ensayos. Dos de ellos se construyeron en base a criterios sugeridos en la literatura técnica. Otros dos, fueron adquiridos en Instituto Nacional de Energía. Los fogones cerrados seleccionados fueron:

- 1) Fogón de balde INE-GTZ
- 2) Fogón de barro INE-GTZ
- 3) Fogón CETA-GUATEMALA
- 4) Fogón ZACHACE_ESPOL

La figura 3.2 representa un esquema de los fogones cerrados:

Fogon tipo balde INE/GTZ

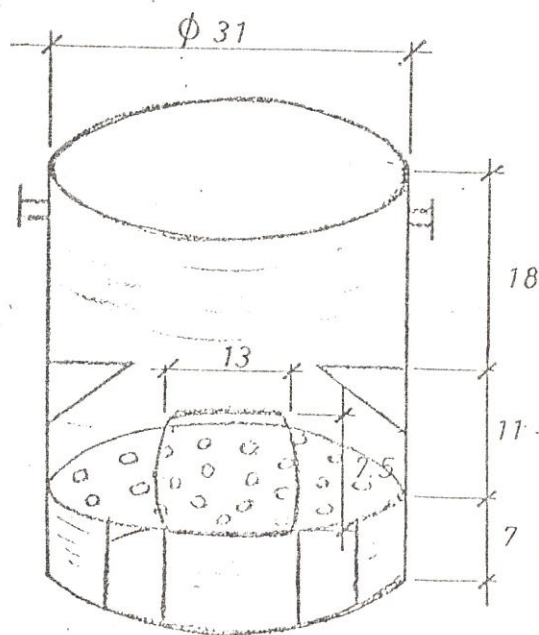
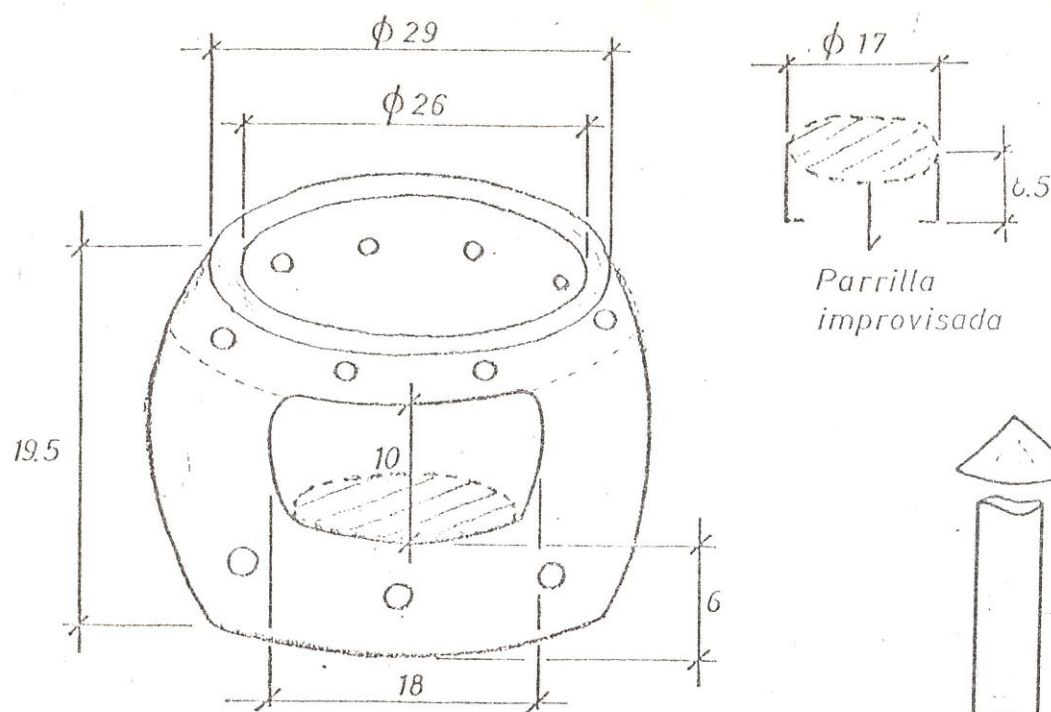


FIGURA 3.2 ESQUEMA DE LOS FOGONES CERRADOS SELECCIONADOS



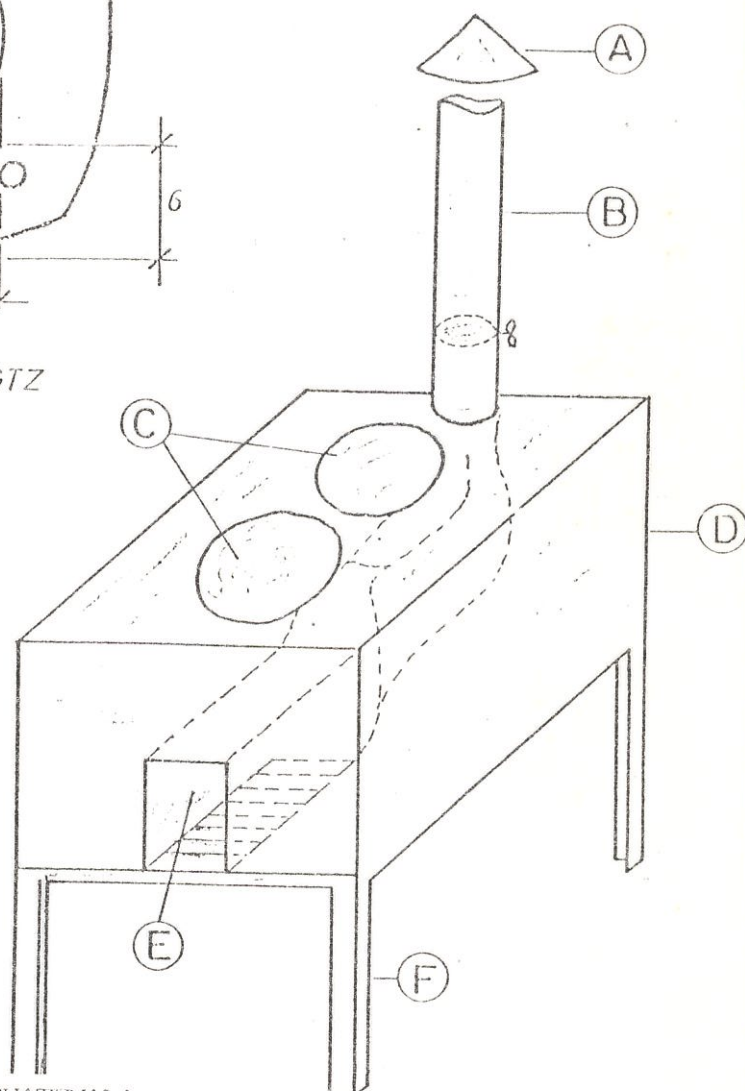
FIGURA 3.2

FOGONES CERRADOS (CONTINUACION)



Fogón de barro INE/GTZ

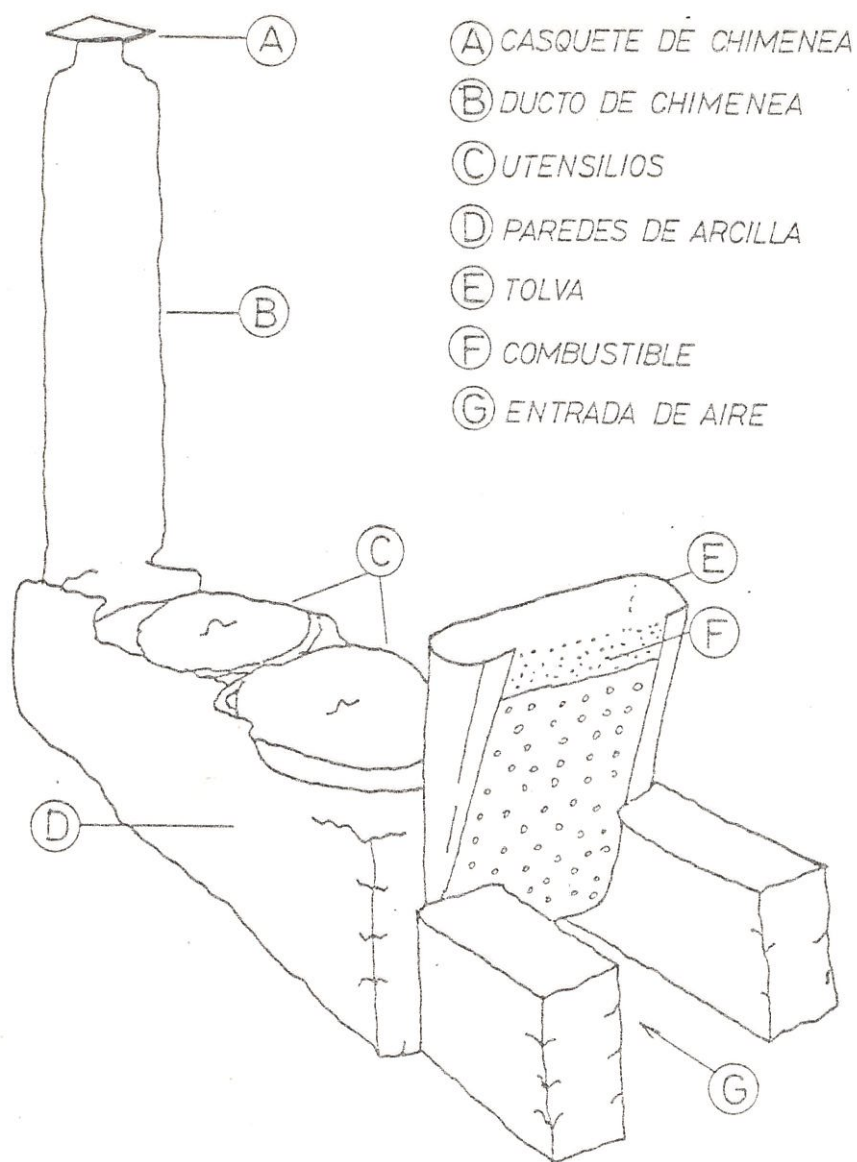
- (A) CASQUETE DE CHIMENEA
- (B) DUCTO DE CHIMENEA
- (C) CAVIDADES PARA UTENSILIOS
- (D) PAREDES DE ARCILLA
- (E) ENTRADA DE AIRE Y COMBUSTIBLE
- (F) ESTRUCTURA SOPORTE



FOGON CETA/ GUATIMAJA

FIGURA 3.2

FOGONES CERRADOS (CONTINUACION)



Esquema del fogón
construido en ESPOL

FIGURA 3.2

FOGONES CERRADOS (CONTINUACION)

La eficiencia de los fogones se determina en base a la cantidad de calor trasferida al alimento. Las pérdidas de energía en este trabajo de investigación no son evaluadas.

Para medir la ganancia de calor se utilizan los ensayos de agua hirviendo que son procedimientos estandarizados (Vita, 1982). Para el cálculo se utilizan fórmulas sencillas de trasferencia de calor.(apéndice 3.2)

Procedimiento

Un ensayo de agua hirviendo (EAH) completo consistía en realizar este ensayo con el fogón funcionando con su máxima y mínima potencia, y en base a cálculos matemáticos se estimaban los resultados para una potencia global. Los EAH se repetían cinco veces para las mismas condiciones. Para los fogones cerrados Barro INE-GTZ y CETA-Guatemala, debido a la dificultad de manejar el fuego los EAH no se repetieron para una misma condición, pero se efectuaron cambios intuitivos inmediatos en el fogón o en las condiciones de funcionamiento para la realización de la siguiente prueba.

Los pasos del procedimiento del ensayo son los siguientes:

- 1.- Disponer el equipo necesario para los ensayos cerca del fogón.
- 2.- Cortar la leña en pedazos apropiados, anotando en la ficha respectiva (figura 3.3) el tamaño respectivo. Se pesan aproximadamente 2 kg de leña para un ensayo completo (espacio I de la ficha,).
- 3.- Cubrir con barro la superficie exterior de las ollas para protegerlas del fuego.
- 4.- Llenar el encabezamiento de la ficha.
- 5.- Pesar las ollas vacías con tapa, corcho y termómetro (Espacio B de la

ficha)

Prueba Nº <u>1</u>	Tipo de estufa <u>2 piedras</u>	Temperatura ambiente <u> </u>
Repetición <u> </u>	Tipo de olla <u>UKO 26</u>	Humedad relativa <u> </u>
Fecha <u>Sept. 9 - 1985</u>	Tamaño de leña <u>diam. 4 y 2 cm.</u>	Velocidad del viento <u> </u>
Lugar <u> </u>	Humedad de leña <u> </u>	Comentarios <u> </u>
Altitud <u> </u>	Variedad de leña <u> </u>	

P E S O S	OLIA A	OLIA B	OLIA C
A.- Olla con agua	5.075		
B.- Olla sin agua	0.670		
C.- Agua inicial (A - B)	5.455		
D.- Al momento de hervir "A" a alta potencia	6.045		
E.- Agua evaporada alta potencia (A - D)	0.03		
F.- Al final de baja potencia	5.420		
G.- Agua evaporada ensayo de baja potencia (D - F)	0.625		
H.- Agua evaporada total (E + G)	0.655		

T E M P E R A T U R A S			
Temperatura inicial del agua (Inicio alta potencia)	28.2 °C		
Temperatura final del agua "A" (Ebullición, fin de alta potencia)	100.0 °C		
Temperatura inicio baja potencia	T = 1		
Temperatura final baja potencia			

T I E M P O S			
Hora inicial	14h36		
Hora de ebullición "A"	15h00		
Tiempo de duración	24 min.		
Hora de inicio de baja potencia	15h06		
Hora final baja potencia	15h50		

C O M B U S T I B L E			
I.- Leña inicial	2.010	Carbón en alta	
J.- Leña final ebullición	1.120	Carbón en baja	
K.- Leña final fuego lento	0.400		
L.- Leña usada alta potencia (I - J)	0.89	Costo de la leña en alta potencia	
M.- Leña usada baja potencia (J - K)	0.72	Costo de la leña en baja potencia	

C A L C U L O S			
(FCU) _a Porcentaje de calor utilizado en Alta Potencia	14.15		
(FCU) _b Porcentaje de calor utilizado en Baja Potencia	14.28		
(FCU) _c Porcentaje de calor utilizado Global	14.11		
(FCU) _{af} Porcentaje de calor utilizado en Alta Potencia del fogón (Suma de ollas)			
(FCU) _{bf} Porcentaje de calor utilizado en Baja Potencia del fogón (Suma de ollas)			
(FCU) _{cf} Porcentaje de calor utilizado en Baja Potencia del fogón (Suma de ollas)			
(FCU) _{gf} Porcentaje de calor utilizado Global del fogón (Suma de ollas)			
P(A) Potencia en alta (estufa)	9.27 kW.		
P(B) Potencia en baja	4.0		
Rango de poder : P(A) - P(B)	5.27		
Flexibilidad F = P(A)/P(B)	2.31		
C _l Consumo específico	29.51		

FIGURA 3.3 FICHA DE ENSAYO DE FOGONES

REGISTRO TIEMPO-TEMPERATURA-COCION (FOGON DOS PIELRAS)

η = Eficiencia de cocina PRUEBA N° 1

$\eta = \frac{1}{CE} \times \frac{c}{T}$ REPETICION fase original

Valor Calórico

HORA	TEMPERATURAS			COMENTARIO (COCION)
	OLIA A	OLIA B	OLIA C	
14h36	28.2			
14h40	52.2			
14h45	67.2			
14h50	82.2			
14h55	91.2			
15h00	100.0			

FIGURA 3.4 FICHA DE ENSAYO DE FOGONES
(REGISTRO DE TEMPERATURAS)

6.— Llenar las ollas hasata 2/3 de su capacidad, con agua, pesar las ollas con agua, tapadas y con el termómetro. Anotar estos pesos en los espacios A de las fichas..

7.— Anotar las temperaturas iniciales del agua y del ambiente.

8.— Rociar la leña con una mínima cantidad de kerosene y encender el fogón. Cuando la leña está encendida, colocar las ollas en el fogón. Anotar la hora inicial en la ficha en este momento.

9.— Se debe controlar el fuego, la alimentación de la leña dbe ser cuidadosa y lenta. No se debe amontonar leños frios porque el exceso de vapor producto de la humedad de la leña apagaría el fuego. Lo ideal es introducir leños totalmente secos, incluso calientes, lo que se logra situando leños frescos cerca de las brasas para que al recibir calor desde estas pierdan la humedad fuera de la cámara, sin afectar su temperatura. De esta manera cuando sea necesario alimentar el fuego, se tendrá combustible en óptimas condiciones para su empleo. En general, el control del fuego depende de la experiencia del operador.

10.— Se deben registrar los valores de temperatura del agua de las ollas cada 5 minutos.

11.— Cuando se alcanza el punto de ebullición se anota el tiempo transcurrido. Se apaga el fuego, enterrando los leños encendidos en una caja de arena (apaga fuego) con ayuda de unas tenazas. Los leños apagados se suman a la leña remanente. El peso de la leña remanente se anota en el casillero J de la ficha.

12.—Recoger el carbón remanente y pesarlo. Anotarlo en la ficha como carbón en alta. Volver a colocar el carbón en el fogón.

13.— Registrar la temperatura del agua de cada olla.

14.—Pesar cada olla con agua y tapadera.

Los pasos 11 al 14 no deben tardar mas de dos minutos para evitar que la temperatura descienda mas de 5 grados centigrados del punto de ebullición.

15.— En este paso se inicia la fase de baja potencia. Se enciende con el mismo carbón ardiente la leña fresca. Se debe evitar consumir demasiada leña en esta fase. Anotar las temperaturas del agua de las ollas al comienzo de la fase de baja potencia y la hora de inicio de la fase. La fase dura 45 minutos.

16.— Al término de los 45 minutos se repiten los pasos 11 al 14. En la ficha se usan los casilleros F y K.

17.— Se debe apagar totalmente el fuego para evitar peligros de incendio o quemaduras y para la protección de los equipos.

18.— Disponer a realizar la siguiente prueba.

Utilizando los datos de prueba de la ficha de la figura 3.3 y las definiciones y fórmulas del apéndice 3.2, se presenta a continuación un ejemplo de cálculo para un ensayo completo en un fogón de dos piedras, modelo original:

Porcentaje de calor utilizado:

Al reemplazar los datos respectivos en la ecuación 3.2.1 del apéndice anterior, se obtiene

En alta potencia:

$$(PCU)_A = \frac{(5.455)(4.2)(100 - 28.2) + (0.03)(2260)}{(0.89)(15000) - (0.050)(25000)} =$$

$$(PCU)_A = 0.1415 \text{ ó } 14.15\%$$

En baja potencia:

$$(PCU)_B = \frac{(5425)(4.2)(1) + (0.625)(2260)}{(0.72)(15000) - (0.030)(25000)} =$$

$$(PCU)_B = 0.1428 \text{ ó } 14.28\%$$

En potencia global:

$$(PCU)_G = \frac{(4.455)(4.2)(100 - 28.2) + (0.655)(2260)}{(1.61)(15000) - (0.080)(25000)} =$$

$$(PCU)_G = 0.1411 \text{ ó } 14.11\%$$

Al reemplazar los valores respectivos en la ecuación 3.2.2 del apéndice 3.2, se obtiene:

Potencia del fuego en alta:

$$P(A) = \frac{(0.89)(15000)}{24 \times 60} = 9.27 \text{ kw}$$

Potencia del fuego en baja :

$$P(B) = \frac{(0.72)(15000)}{2700} = 4 \text{ kw}$$

Rango del poder (Fórmula 3.2.3, apéndice 3.2)

$$VP = 9.27 - 4 = 5.27 \text{ kw}$$

Flexibilidad: (Fórmula 3.2.4), apéndice 3.2)

$$F = 9.27 / 4 = 5.27$$

Consumo específico: (Fórmula 3.2.5, apéndice 3.2)

$$CE = 1.61 / 5.455 = 29.51$$

Materiales e Instrumentación Utilizados:

Se utilizaron:

- Ollas de aluminio UMC0 No 26 y 28 (una para cada fogón)
- Termómetro de mercurio con escala de -20°C y $+130^{\circ}\text{C}$ (uno para cada olla.
- Corchos adecuados en un orificio pequeño en la tapa de cada olla, para introducir el termómetro de vidrio y evitar el contacto directo termómetro-metal y evitar la fuga del vapor de agua.
- Tenazas para movilizar los leños ardientes y/o los carbones.
- Ceniceros para recoger carbón, etc.
- Guantes apropiados de alta temperatura.

Abanicos para producir corrientes de aire y avivar la combustión en los momentos que era necesario exceso de aire.

- Cajas de arena utilizadas como apaga fuego.
- Hacha y machete para obtener los leños en el tamaño adecuado.
- Suficiente cantidad de leña (Se tenía a disposición 1877.5 libras)
- Ladrillos para la construcción de los fogones de dos y tres piedras.
- Varrilas para la construcción de las parrillas de leña, y soportes de las ollas.

-Fogón de metal adquirido en el comercio. El mas representativo de la zona.

-Se utilizó el taller mecánico del laboratorio de Conversión de energía de la ESPOL para realizar las mejoras o las fases en las parrillas de los fogones y en los fogones metálicos tradicionales.

-Cromómetro para el control del tiempo de las pruebas de alta y ia.

-Una balanza digital de respuesta inmediata, con las siguientes características:

- .Marca METO
- .No serie 25799-3
- .Capacidad 10 kg
- .Precisión 5 gramos.

Se utilizó esta balanza para el pesaje rápido de las ollas vacías, con agua fría, con agua hirviendo en fase de alta y baja potencia; pesaje de leña antes y después de la prueba, pesaje del carbón, etc. Se decidió utilizar esta balanza con el fin de asegurar que en el inicio de la fase de baja potencia no descienda la temperatura mas de 5 °C del punto de ebullición mientras se realizaba el pesaje.

-Agua a disposición

-Se utilizaron fichas diseñadas especialmente para estos ensayos en ESPOL.

-Una calculadora Casio FX-502P programada para efectuar todos los calculos de fórmulas.

-Flexómetro para tomar las medidas de los fogones y las fases.

-Fósforos y Kerex para el encendido inicial

En el apéndice 3.3 se muestra parte del equipo utilizado.

3.2 PRUEBAS EN FOGONES ABIERTOS.-

Las tablas 3.1, 3.2, 3.3 muestran los resultados de las pruebas. En la tabla 3.4 se presenta la máxima y mínima eficiencia alcanzada en un modelo (fase) determinado para cada grupo:

FOGON DOS PIEDRAS	No. P R U B A	(PCU) A	(PCU) B	(PCU) 3	P A	P B	ΔP	F	CE	AGUA INICIAL	LERA USADA ALTA	COSTO LERA USADA	TIEMPO PARA EBULLIR
FASE ORIGINAL	1	14.15	14.28	14.11	9.27	4	5.27	2.31	29.51	5.455	0.89	3.24	24
	2	12.9	7.46	10.32	5.46	3.52	1.92	1.55	32.41	5.050	1.005	3.66	46
	3	15.75	12.67	13.72	8.55	3.75	4.8	2.28	30.29	5.050	0.855	3.11	25
	4	13.11	10.58	10.75	8.63	4.33	4.3	2.0	34.4	5.680	1.175	4.27	34
	5	14.45	6.83	10.72	5.52	4.22	1.30	1.30	31	5.505	0.950	3.46	43
PROMEDIO		14.07	10.36	11.9	7.49	3.96	3.52	1.89	31.52	5.35	0.975	3.55	34.4
FASE PRIMERA	1	17.7	12.49	14.34	4.17	2.47	1.7	1.68	24.35	4.435	0.635	2.31	38
	2	17.1	9.9	13.6	4.05	2.9	1.10	1.40	25.2	5.105	0.810	2.95	50
	3	16.9	10.33	12.14	9.5	5.5	4.0	1.72	36.6	4.755	0.76	2.77	20
	4	15.19	12.42	15.08	7.63	3.55	4.07	2.15	28.8	5.175	0.855	3.11	28
PROMEDIO		16.72	13.05	13.8	6.34	3.46	2.71	1.74	29	4.87	0.765	2.78	34
FASE SEGUNDA	1	17.92	10.04	13.23	7.25	3.36	3.99	2.15	27.55	4.81	0.725	2.64	25
	2	22.58	16.50	20	4.45	2.08	2.36	2.13	19.05	4.775	0.535	1.95	30
	3	17.56	8.37	14.28	3.92	2.66	1.26	1.47	25.9	4.4	0.66	2.40	42
	4	17.34	10.25	13.29	10.6	3.52	7.07	3.01	31.4	4.495	0.765	2.78	18
	5	16.33	15.27	16.18	11.17	3.25	7.92	3.43	28.02	4.8	0.76	2.77	17
PROMEDIO		18.56	12.29	15.39	7.48	2.97	4.49	2.44	26.4	4.656	0.689	2.51	26.4
FASE TERCERA	1	13.03	8.63	11.49	9.5	2.58	6.92	3.68	29.54	4.790	0.950	3.46	25
	2	14.38	2.23	9.94	9.78	2.86	6.92	3.42	27.29	5.185	0.9	3.28	23
	3	15.58	9	12.86	12.09	2.61	10.3	4.98	25.27	4.970	0.935	3.40	18
	4	12.95	5.86	10.46	11.6	3.6	8	3.22	33.70	4.940	1.020	3.71	22
PROMEDIO		14.15	7.33	11.67	10.57	2.82	7.74	3.79	29.54	4.948	0.953	3.47	23.5

TABLA 3.1.-FOGON DE DOS PIEDRAS: TABLA DE RESULTADOS

FOGON TRES PIEDRAS	No. P R U E B A	(PCU) A	(PCU) B	(PCU) 3	P A	P B	ΔP	F	CE	AGUA INICIAL	LEÑA USADA ALTA	COSTO LEÑA USADA	TIEMPO PARA EBULLIR
FASE ORIGINAL	1	21.05	20.71	20.75	3.5	1.6	1.83	2.18	18.18	5.115	0.530	2.30	45
	2	21.4	21.68	20.86	4.028	2.14	1.89	1.88	21.05	5.270	0.725	2.64	45
	3	22.79	23.6	22.10	4.69	2.67	2.023	1.75	20.2	5.450	0.620	2.26	33
	4	18.77	24.82	20.29	4.02	2.05	1.96	1.96	19.69	5.230	0.660	2.40	41
	5	25.3	17.69	20.54	4.14	3.19	0.95	1.29	20.9	5.520	0.580	2.11	35
PROMEDIO		21.86	21.7	20.9	4.07	2.33	1.73	1.81	20.01	5.317	0.643	2.34	39.8
FASE PRIMERA	1	11.16	10.9	10.08	4.68	3.72	0.96	1.25	35.7	5.025	1.125	4.09	60
	2	15.6	13.7	13.8	6.78	3.19	3.59	2.12	29.1	4.585	0.760	2.77	28
	3	19.83	11.07	14.47	5.94	4.08	1.86	1.46	29.7	5.110	0.785	2.86	33
	4	18.32	21.66	18.19	4.2	2.9	1.3	1.44	26.6	4.865	0.760	2.75	45
	5	16.93	12.22	14.41	5.17	2.44	2.73	2.12	23.47	5.135	0.765	2.78	37
PROMEDIO		16.38	13.91	14.19	5.35	3.27	2.09	1.678	28.9	4.944	0.839	3.05	40.6
FASE SEGUNDA	1	13.27	13.33	12.05	3.48	3.22	0.25	1.08	29.9	5.2	0.976	3.55	70
	2	20.89	15.22	25.19	3.28	1.16	2.11	2.82	15.5	4.995	0.565	2.05	43
	3	12.99	12.92	12.56	5.17	2.55	2.6	2.027	29.4	4.65	0.91	3.31	44
	4	14.74	13.57	13.69	7.04	3.25	3.79	2.16	29.69	4.815	0.845	3.07	30
	5	15.81	17.51	16.22	9.8	2.3	7.46	4.26	28.23	4.285	0.79	2.87	20
PROMEDIO		15.54	14.51	15.9	5.75	2.5	3.24	2.47	26.54	4.78	0.817	2.97	41.4
FASE	1	15.18	11.84	13.87	12.5	2.72	9.7	4.6	37.57	4.365	1.150	4.18	23
	2	13.05	9.13	11.56	12.93	2.66	10.27	4.86	35.64	4.25	1.035	3.77	20
	3	14.76	7.36	11.89	16.7	2.83	7.67	3.78	29.87	5.290	1.070	3.89	25
	4	17.64	8.90	15.04	8.2	2.3	5.37	3.56	24.2	5.410	0.890	3.24	27
	5	13.52	5.64	10.05	7.3	3.5	3.8	2.08	32.23	4.855	0.935	3.40	32
PROMEDIO		14.83	8.574	12.48	10.3	2.8	7.5	3.78	31.9	4.834	1.016	3.69	25.4

TABLA 3.2.-FOGON DE TRES PIEDRAS: TABLA DE RESULTADOS

FOGON METALICO TRADICIONAL	No. P R U E B A	(PCU) A	(PCU) B	(PCU) C	P A	P B	ΔP	F	CE	AGUA INICIAL	LEÑA USADA ALTA	COSTO LEÑA USADA	TIEMPO PARA EBULLIR
FASE ORIGINAL	1	16.93	16.74	15.69	6.09	2.78	3.31	2.19	22.7	6.5	0.975	3.55	40
	2	12.75	6.47	10.66	3.01	2.58	0.43	1.17	28.5	6.07	1.265	4.50	105
	3	14.9	8.79	12.5	6.03	3.61	2.42	1.67	25.55	6.985	1.135	4.13	47
	4	12.31	13.14	11.35	4.04	3.30	0.73	1.22	33.40	4.880	1.035	3.77	64
	5	12.72	15.13	13.03	6.94	4.14	2.80	1.67	33.95	5.140	1.0	3.64	35
PROMEDIO		13.9	12.05	12.65	5.22	3.28	1.93	1.58	28.8	5.91	1.082	3.94	58.4
FASE PRIMERA	1	16.55	9.98	12.52	3.55	2.61	0.94	1.36	22.29	5.74	0.182	2.95	57
	2	11.41	10.14	10.7	4.75	2.47	2.28	1.92	29.9	5.615	1.235	4.5	65
	3	15.69	13.13	13.34	12.22	4.50	7.72	2.71	32	6.080	1.076	3.92	22
	4	15.55	12.59	13.28	6.03	3.16	2.87	1.9	25.6	6.545	1.110	4.04	46
PROMEDIO		15.76	12.19	12.86	8.07	3.97	4.10	2.03	28.7	5.415	0.240	3.057	26
FASE SEGUNDA	1	14.9	11.6	12.54	6.9	3.34	3.98	1.98	27.4	5.879	1.01	3.67	43.2
	2	16.87	19.06	16.43	10.79	3.81	6.98	2.83	27	6.055	0.95	3.46	22
	3	14.45	11.80	13.14	4.08	2.52	1.55	1.62	23.9	5.185	0.785	2.85	48
PROMEDIO		15.02	9.38	12.57	3.83	2.36	1.46	1.62	23.3	5.835	0.935	3.40	61
PROMEDIO		15.45	13.41	14.05	6.2	2.89	3.33	2.02	24.7	5.69	0.89	3.24	43.6

TABLA 3.3.-FOGON METALICO TRADICIONAL: TABLA DE RESULTADOS

F O S O N	MINMO VALOR PROMEDIO DE EFICIENCIA						MAXIMO VALOR PROMEDIO DE EFICIENCIA					
	ALTA	FASE	BAJA	FASE	GENER.	FASE	ALTA	FASE	BAJA	FASE	GENER.	FASE
POTENCIA												
DOS PIEDRAS	14.07	ORIG.	7.33	3	11.67	3	18.56	2	13.05	1	15.39	2
TRES PIEDRAS	14.83	3	8.574	3	12.48	3	21.86	ORIG.	21.7	ORIG.	20.9	ORIG.
METALICO TRADICIONAL	13.9	ORIG.	12.05	ORIG.	12.54	1	15.45	2	13.41	2	14.05	2

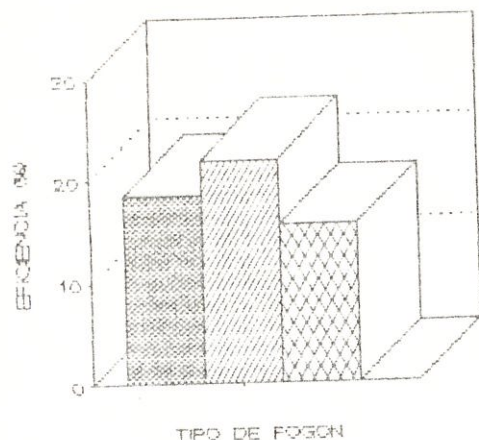
TABLA 3.4.-RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE FOGONES ABIERTOS.

La figura 3.5 muestra el diagrama de barra de los fogones abiertos de mejor eficiencia en la cual se observa la relación de los fogones respecto de su eficiencia. El fogón de tres piedras tradicional es el mas eficiente en todos los rangos de potencia, seguido por el fogón de dos piedras y el matálico de fase segunda.

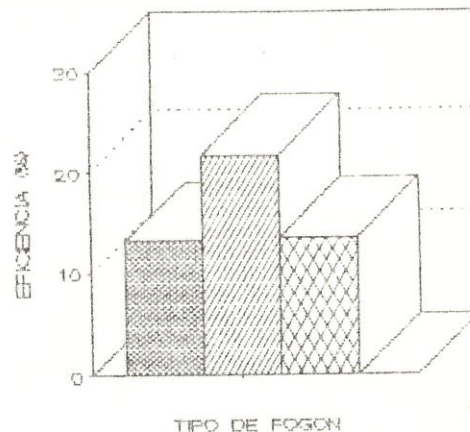
Las figuras 3.5.a, 3.5.b, 3.6.a, 3.6.b, 3.7.a, y 3.7.b indican el efecto de los cambios realizados en cada grupo de fogones, y las **condiciones del ensayo**. La eficiencia está representada en relación con los parámetros que interesan en este estudio, estos son: la potencia en alta y baja, la cantidad de alimento (agua inicial), la cantidad de leña utilizada, el consumo específico, y el tiempo de cocinado (tiempo de ebullición). La flexibilidad ha sido incluida en las figuras del efecto de los cambios con los fogones operando a baja potencia.

La figura 3.5.a indica que el segundo cambio (fase segunda) realizado en el diseño del fogón de dos piedras tradicional produjo la mas alta eficiencia cuando operaba a la mas alta potencia de su fuego. **El incremento en la eficiencia fue de 4 unidades sobre el 14% que registró el original**. La potencia del fuego en alta, se mantuvo en el mismo orden, aunque la cantidad de leña utilizada y el tiempo en quemarla disminuyeron. El consumo específico disminuyó en 4 unidades.

FOGONES EN ALTA POTENCIA
FASE DE EFICIENCIA MAXIMA



FOGONES EN BAJA POTENCIA
FASE DE EFICIENCIA MAXIMA



FOGONES POTENCIA GLOBAL
FASE DE EFICIENCIA MAXIMA

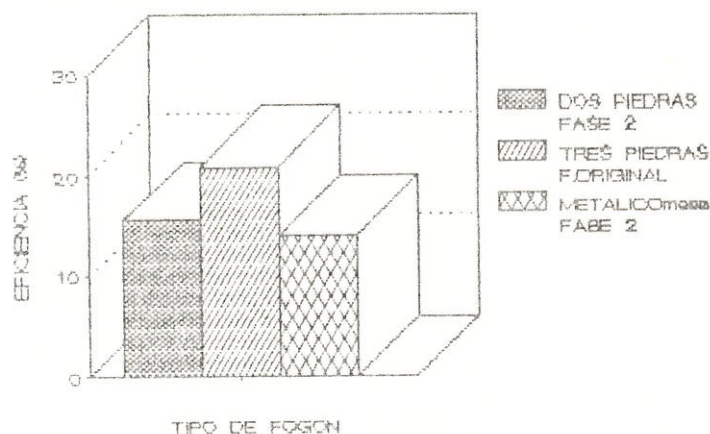


FIGURA 3.5 EFICIENCIA DE LOS FOGONES ABIERTOS (MEJORADOS)

Al operar a baja potencia del fuego (2.97 kw), este fogón registró un incremento de la eficiencia en 2 unidades sobre el original (10.36 kw) como se muestra en la figura 3.5.b. La flexibilidad de este fogón fué del orden de

2.44.

La parrilla de 12 cm instalada en la fase segunda, permitió una mejor entrada de aire primario, lo cual mejoró la combustión. En los fogones anteriores de este grupo, varias veces el fuego se extinguió, y fué necesario empezar una nueva ignición. En el original por ejemplo en algunos ensayos se formó mucho carbón, el ingreso de aire era muy pobre.

Para establecer comparaciones, en el apéndice 3.4 se presentan resultados de otras investigaciones mencionadas en las referencias consultadas. La tabla A.3.4.1 indica que para el fogón de dos piedras original (identificado como de varrillas y ladrillos) se obtienen **eficiencias de 10 %** (Burgos, 1985), aunque la referencia no indica el nivel de la potencia del fuego. En la tabla 8 de la página 24 de la referencia 4 b se indica una eficiencia ubicada en el rango 3.8% y 5.1%.

El fogón de 3 piedras **tradicional** registró una eficiencia en alta potencia de 21.86 % que fué superior a la eficiencia de los otros fogones de este grupo. Curiosamente en las figuras 3.6.a se aprecia que su potencia en alta fue inferior (4.07 kw). El resultado de su alta eficiencia puede atribuirse a que la las piedras (de 8 cm de espesor) que lo constituían formaban una cámara de combustión pequeña que restringía el ingreso de leña, el ingreso de aire no era suficiente, pero el lecho era encerrado con las piedras, lo cual

aparentemente disminuía las pérdidas de calor. La presencia de las parrillas y el mayor tamaño de las piedras mejoraron totalmente la combustión, se elevó la potencia del fuego, pero las pérdidas aumentaron y por lo tanto disminuyó la eficiencia (fig. 3.6.a.1).

Comparando con resultados de otras investigaciones se tiene que en el apéndice 3.4, la tabla A.3.4.2 el fogón de tres piedras registra una eficiencia promedio de 10.11 % (Burgos, 1985) sin citar el nivel de potencia. En la tabla A.3.4.4 se indican rangos de eficiencias para estos fogones fase original de 3%-8%, 7%-8%, 5%-10% registrados por diferentes investigadores en pruebas de campo. En la misma tabla se indican rangos de 12% a 30% de eficiencia, de ensayos realizados en laboratorio.

La figura 3.7.a indica una eficiencia de 15.45% como mayor valor alcanzado por el fogón de mesa metálico (abierto tradicional) de fase segunda, operando a una potencia de 5 kw. Para este caso el consumo específico disminuyó en 4 unidades.

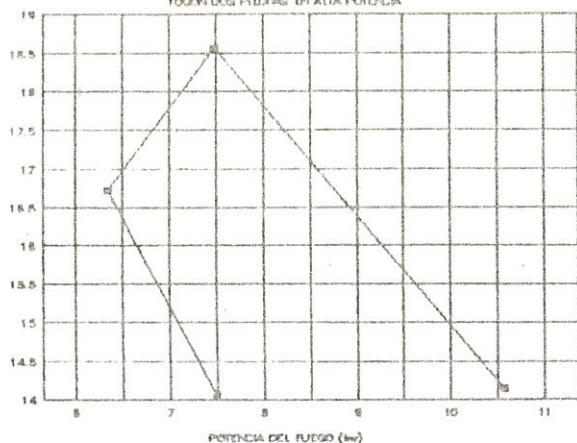
Las paredes re-radiantes (4) incorporadas a la mesa, controlaron la influencia del viento. La radiación de estas paredes al interior del fogón era elevada y controlaban las pérdidas de calor al exterior. Esta conservación de calor permitía disponer de una apropiada temperatura en el interior, suficiente para mantener la combustión sin control del operador.

Resultados de otros estudios no se encontraron en la bibliografía consultada.
Este fogón como se indicó anteriormente es propio de la región ecuatoriana

FOGON OPERANDO EN ALTA POTENCIA

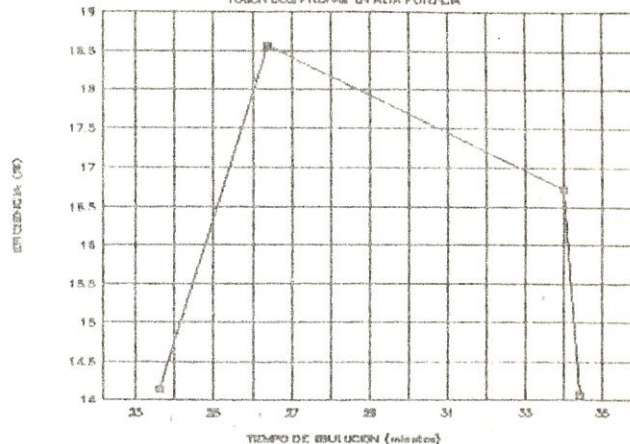
VARIACION DEL PCU (EF) CON LA POTENCIA

FOGON DOS PIEDRAS EN ALTA POTENCIA

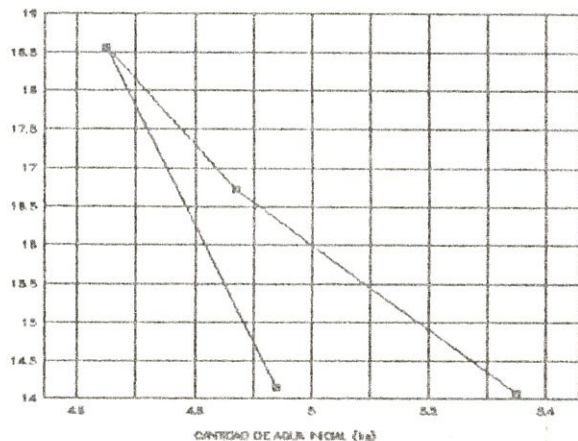


VARIACION DEL PCU (EF) con TIEMPO EBUL.

FOGON DOS PIEDRAS EN ALTA POTENCIA

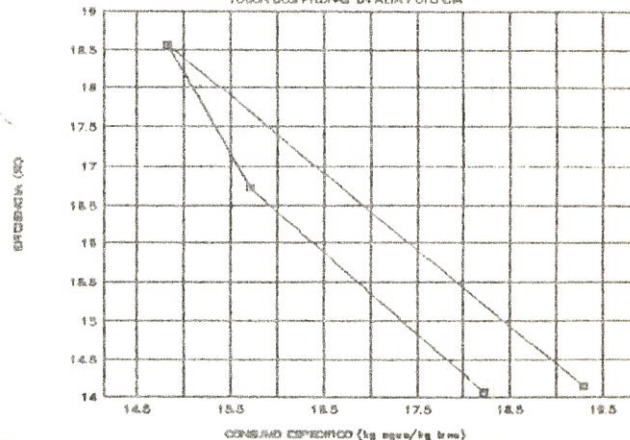


VARIACION DEL PCU (EF) con AGUA INICIAL



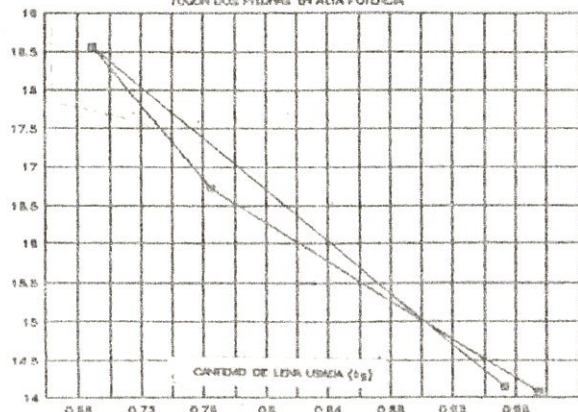
VARIACION DEL PCU (EF) con CONSUMO ESP.

FOGON DOS PIEDRAS EN ALTA POTENCIA



VARIACION DEL PCU (EF) con LENA USADA

FOGON DOS PIEDRAS EN ALTA POTENCIA



VARIACION POTENCIA GLOBAL Y CONSUMO ES.

FOGON DOS PIEDRAS EN POTENCIA GLOBAL

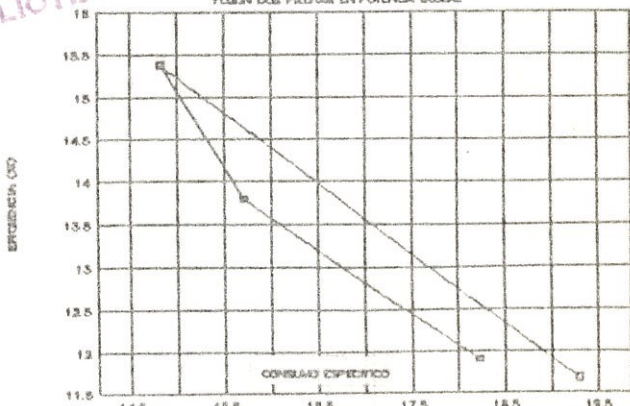
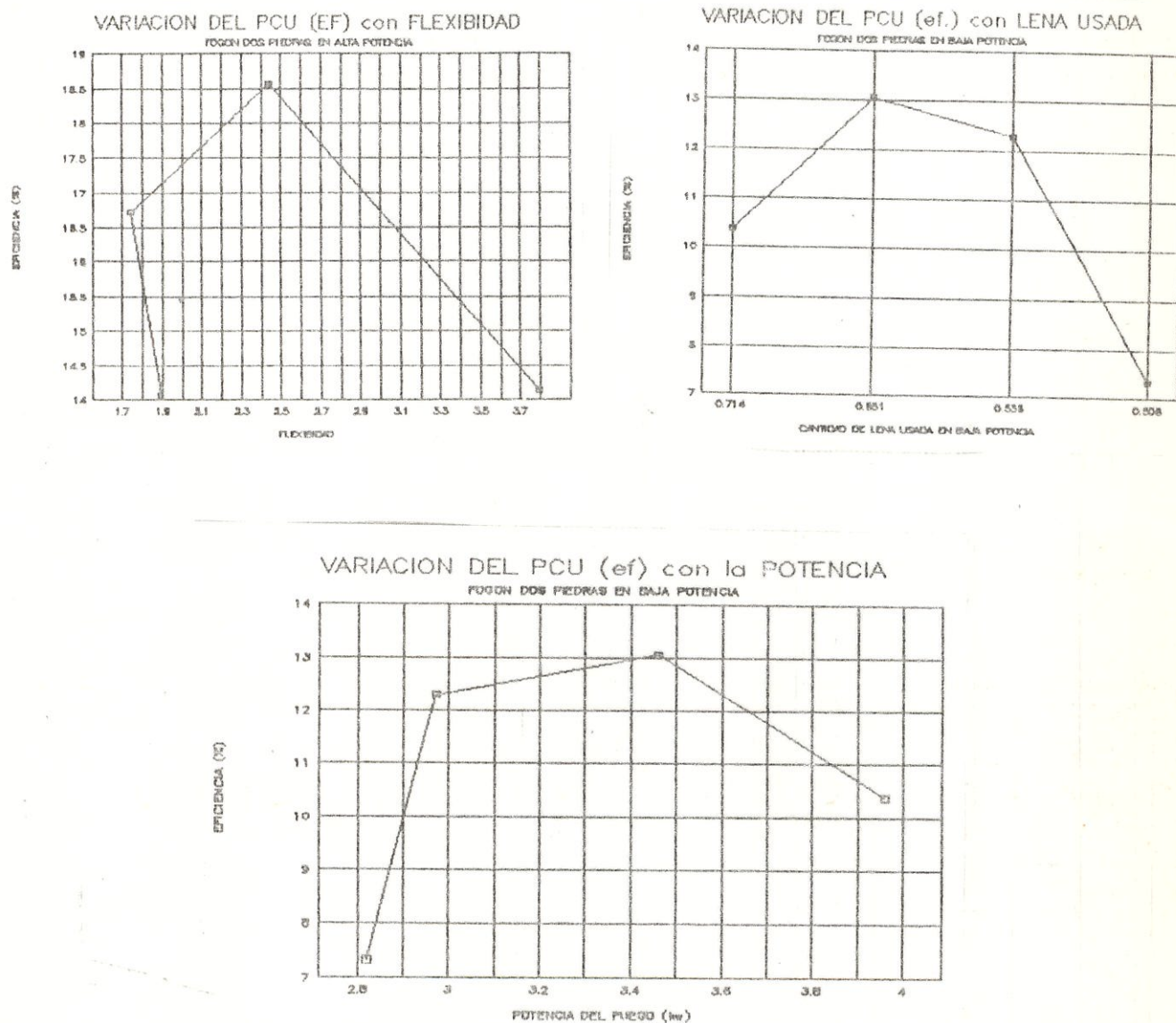


FIGURA 3.5 a.-EFECTOS DE CAMBIOS REALIZADOS EN FOGON TRADICIONAL: FOGON DE DOS PIEDRAS



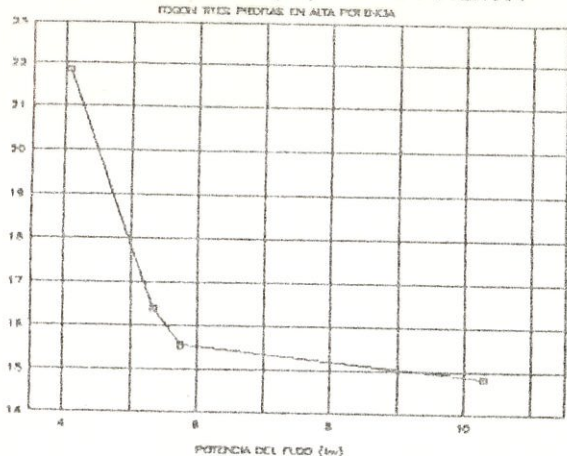
FOGON OPERANDO EN BAJA POTENCIA



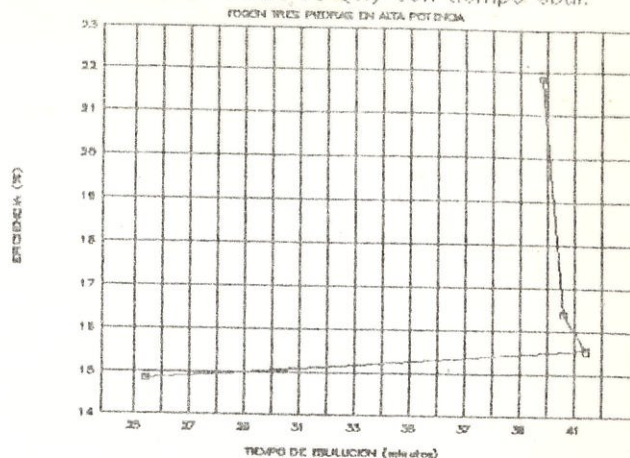
**FIGURA 3.5.b.-EFECTO DE CAMBIOS REALIZADOS
EN EL FOGON TRADICIONAL:
FOGON DOS PIEDRAS.**

FOGON OPERANDO EN ALTA POTENCIA

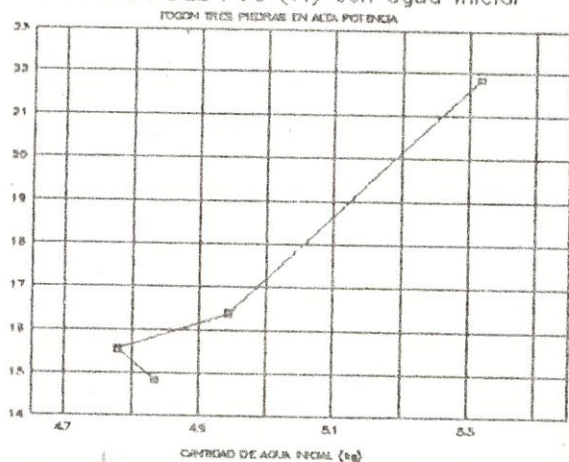
VARIACION DEL PCU (ef.) con la POTENCIA



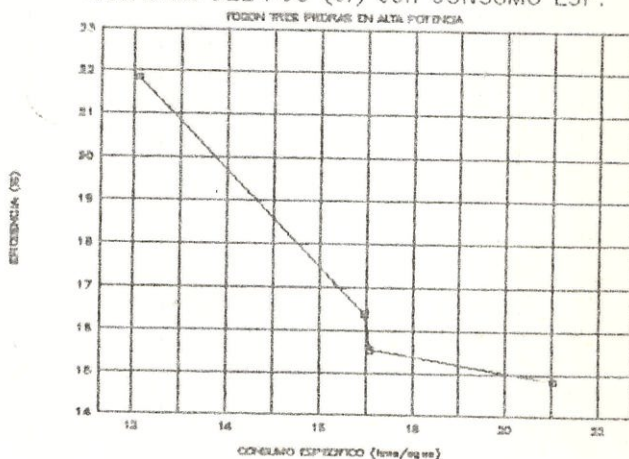
VARIACION DEL PCU (ef.) con tiempo ebul.



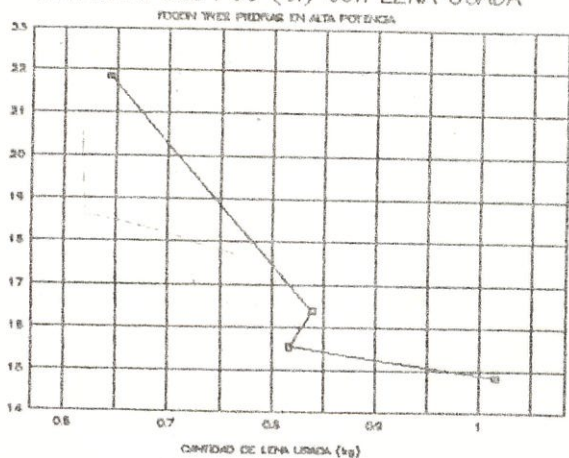
VARIACION DEL PCU (ef.) con agua inicial



VARIACION DEL PCU (ef.) con CONSUMO ESP.



VARIACION DEL PCU (ef.) con LENA USADA



VARIACION POTENCIA GLOBAL Y CONSUMO ES.

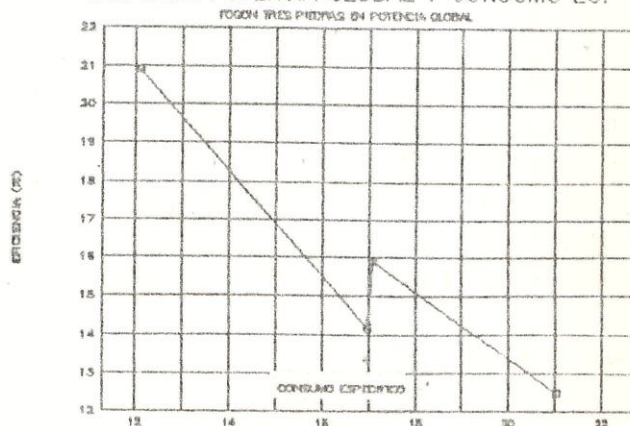


FIGURA 3.6.2.-EFECTO DE CAMBIOS REALIZADOS EN FOGON TRADICIONAL: FOGON TRES PIEDRAS

FOGON OPERANDO EN BAJA POTENCIA

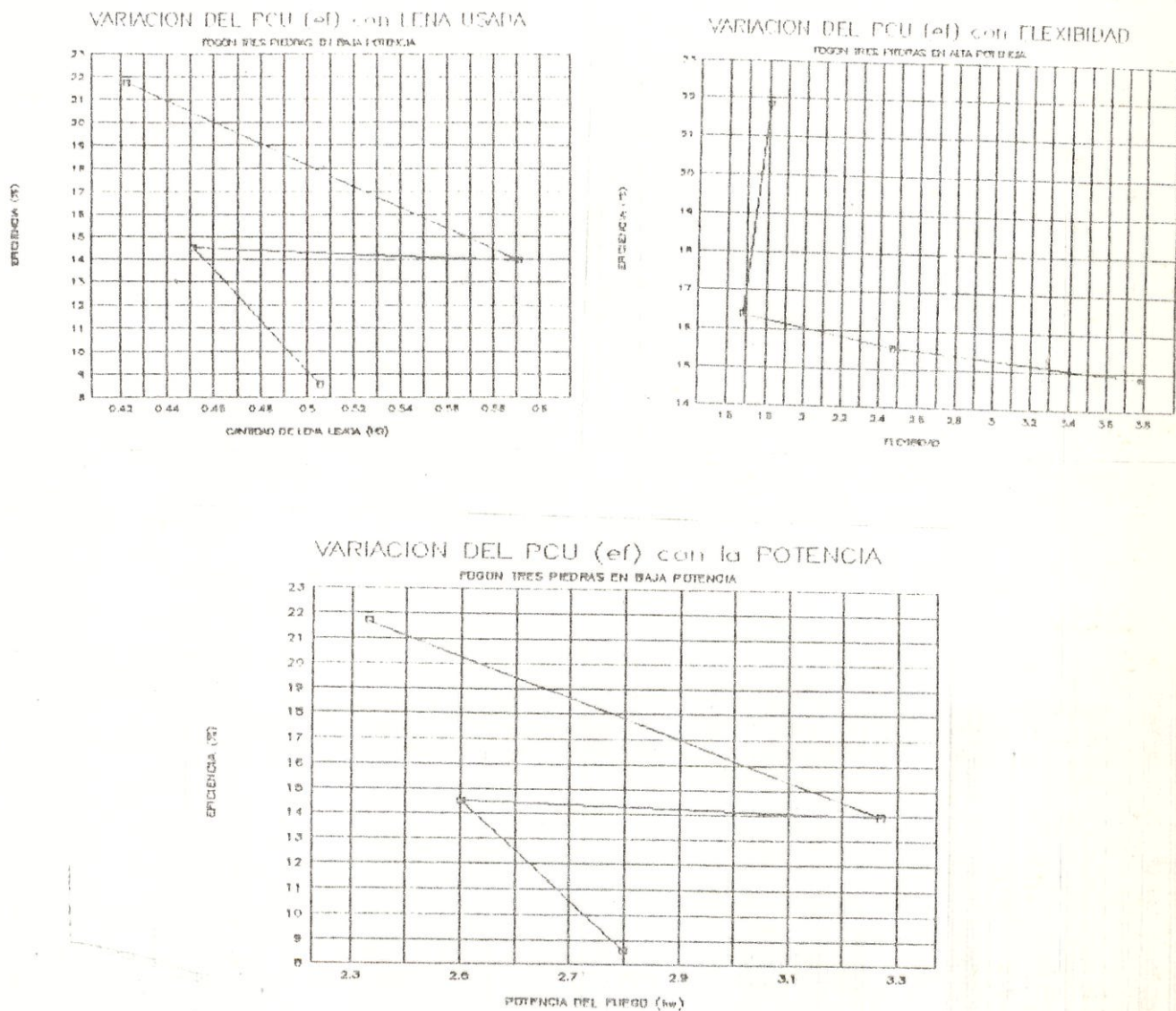


Figura 3.6.b

**EFFECTO DE CAMBIOS REALIZADOS
EN FOGON TRADICIONAL: FOGON
TRES PIEDRAS**

FOGON OPERANDO EN ALTA POTENCIA

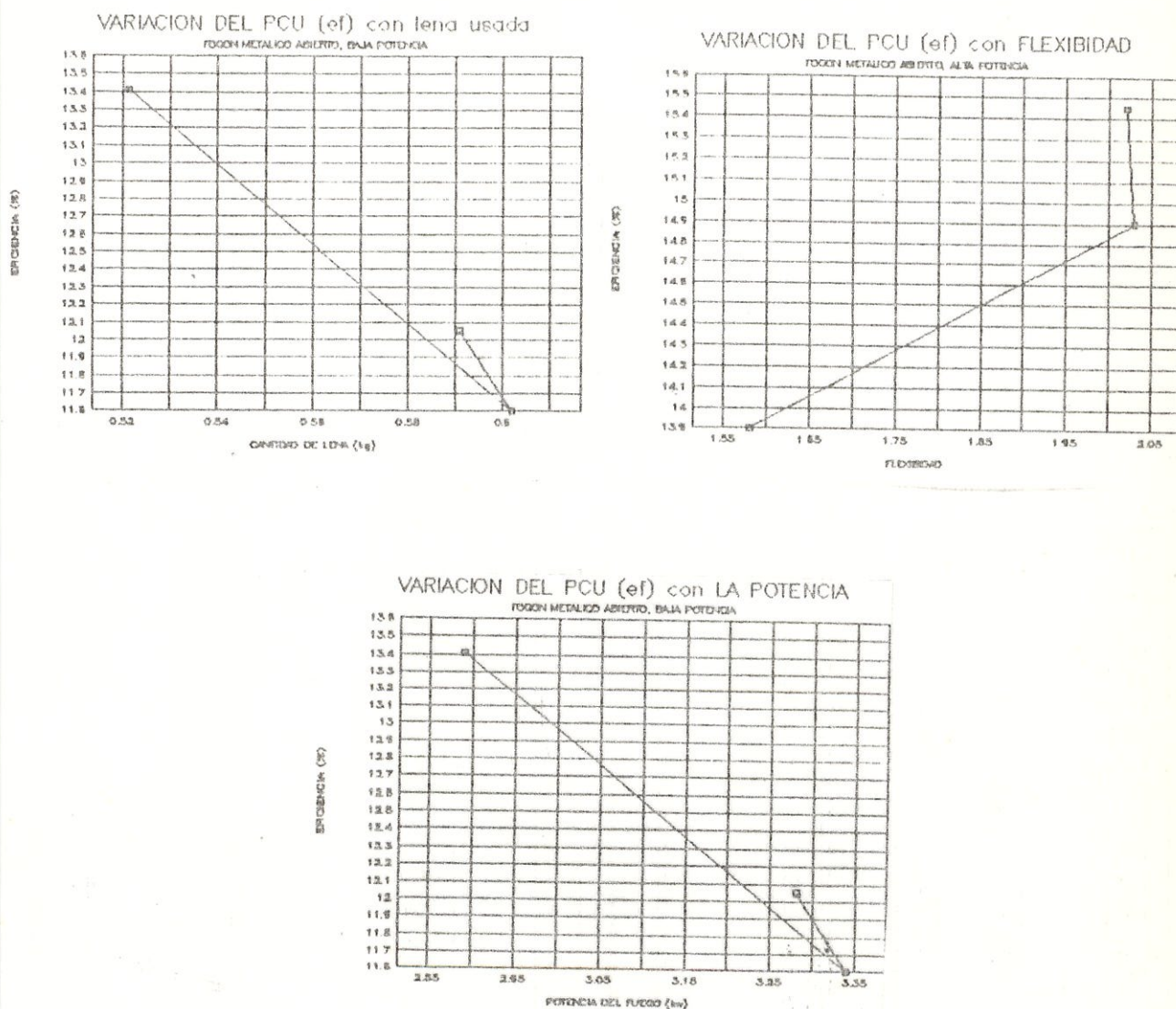
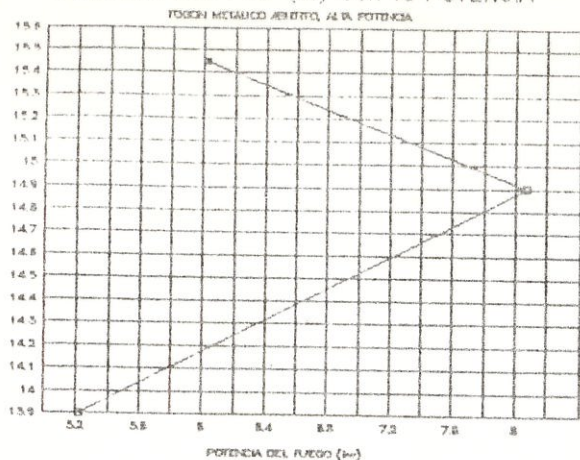


FIGURA 3.7.a

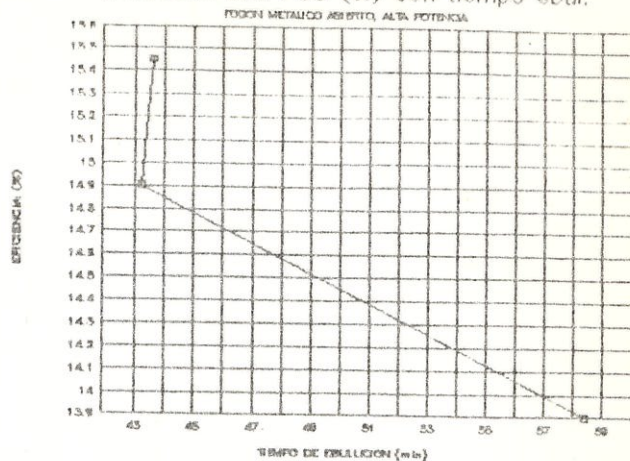
EFFECTO DE CAMBIOS REALIZADOS
EN FOGON TRADICIONAL: FOGON
METALICO (MESA)

FOGON OPERANDO EN BAJA POTENCIA

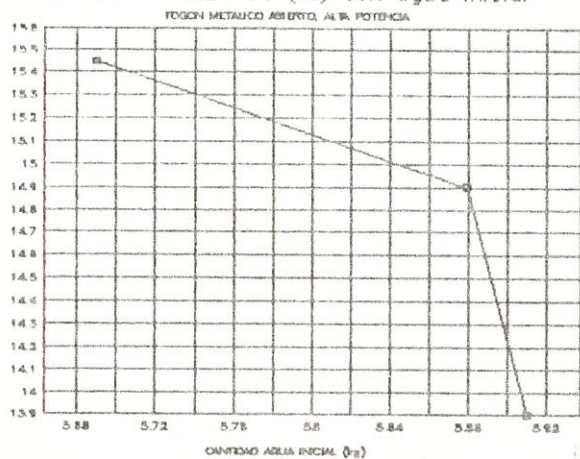
VARIACION DEL PCU (ef) con la POTENCIA



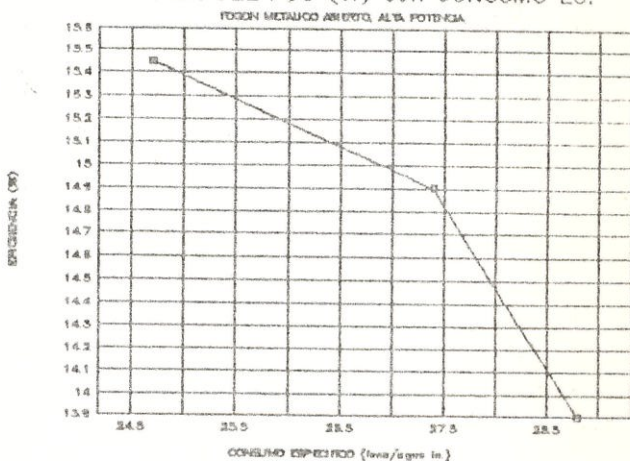
VARIACION DEL PCU (ef) con tiempo ebul.



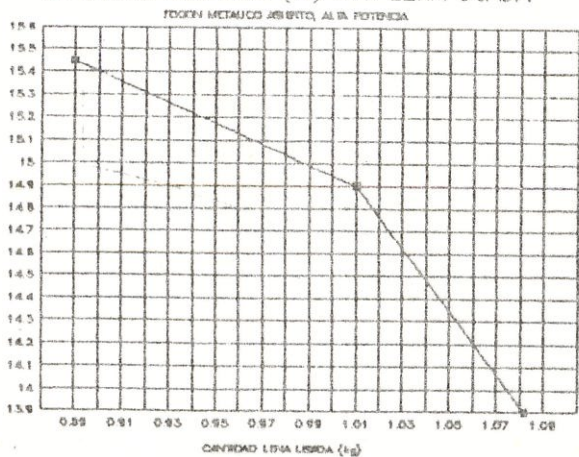
VARIACION DEL PCU (ef) con agua inicial



VARIACION DEL PCU (ef) con CONSUMO ES.



VARIACION DEL PCU (ef) con LENA USADA



VARIACION POTENCIA GLOBAL Y CONSUMO ES.

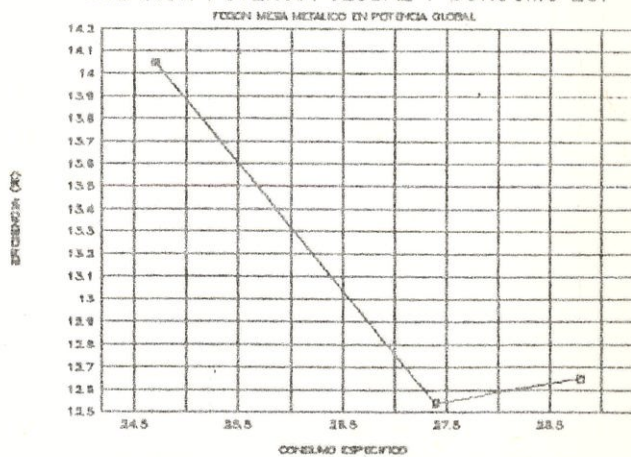


FIGURA 3.7.b.-EFECTO DE CAMBIOS REALIZADOS EN FOGON TRADICIONAL: FOGON METALICO (mesa)

FOGONES ABIERTOS: CONCLUSIONES

Un análisis de los resultados conducen a la siguiente conclusión:

i) Los resultados demuestran que la eficiencia de los fogones abiertos tradicionales no se ubica en el rango menor a cinco, como otros estudios generalmente lo indican. Es importante considerar que en estos ensayos el control del fuego por parte del operador o ensayista fué óptimo, incluso se utilizó un abanico para producir corrientes de aire y mejorar la combustión en etapas cortas de sofocación.

ii) La eficiencia depende de los parámetros del sistema y de las condiciones de operación. Un fogón eficiente puede tener menos potencia y/o tardar mas en realizar un cocinado que otro menos eficiente.

iii) Simples cambios apropiados sin ser costosos pueden incrementar la eficiencia de un fogón. Se vió en los resultados que la eficiencia del fogón de dos piedras por ejemplo se incrementó en un 32 % y la del fogón metálico en un 11% desde 11.67% y 12.54% originales respectivamente. Estos cambios de diseño podrían ser realizados por los mismos usuarios, sin afectar sus costumbres y métodos de cocinar.

iv) Los fogones abiertos son muy sensibles a la influencia del viento. Este influye positiva y negativamente en la buena operación de un fogón. Un fogón abierto ubicado en el interior de la habitación permite disminuir las pérdidas de calor puesto que la llama no es desviada de su posición óptima, pero la combustión no será apropiada por defecto de aire primario y/o secundario.

v) Un buen diseño de fogón abierto, debe incorporar una parrilla apropiada que permita el ingreso suficiente de aire primario, y por otra parte debe incorporar paredes re-radiantes que protejan de la influencia del viento.

3.3.-PRUEBAS EN FOGONES CERRADOS

En la figura 3.2 se presentaron los fogones cerrados a ensayarse. Todos los fogones (a la fecha de realizar este ensayo) eran de tipo experimental, y debían de ser probados y desarrollados.

Descripción de los fogones:

a) Fogón de barro INE-GTZ.-El diseño que corresponde a una fase inicial del proyecto INE-GTZ, no incluye parrilla para el combustible y emplea una olla UMCO No 26 que no se introduce totalmente en el fogón. Para las pruebas se improvisó una parrilla para la leña.

b) Fogón tipo balde INE-GTZ.-Para las pruebas se lo empleó con una olla UMCO No 28. La parrilla del fogón tiene 94 agujeros de 1.5 cms de diámetro para el aire primario y desalojo de cenizas y posee 4 entradas de aire de 6 x 6 cms. El fogón está provisto de 3 apoyos para las ollas y permite empotrarlos completamente. La entrada de leña es de 13 x 7.5 cms. y la distancia parrilla-base de la olla es de 11 cms.

c) Fogón CETA-Guatemala.-Fue construido en una fábrica de bloques en la ciudad de Milagro, utilizando justamente material de esa fábrica: bloque y cemento. No se hicieron pruebas de la mezcla. Durante la prueba como se verá mas adelante, tuvo que rediseñarse el canal de humo para obtener el

tiro apropiado.

El fogón original no incorpora parrilla para la leña. Para las pruebas de improvisó una parrilla de 15 x 17 cm. La primera olla penetraba 4.5 cm, la segunda penetraba completamente, pero no cubría todo el diámetro de la hornilla.

d)Fogón Zachace-ESPOL.- Este fogón fué adaptado de un diseño de la literatura (Barriga y otros, 1987) para usarlo como cascarilla de arroz, se probó con leña para observar su comportamiento. Se usaron ollas UMCO No 26, 22 y 16.

RESULTADOS:

En las tablas 3.5, 3.6, 3.7, y figura 3.8.se presentan los resultados. La figura 3.9, representa un análisis comparativo de las eficiencias.

TIPO DE FOGON	No. P P B B A	(PCU) A	(PCU) B	(PCU) S	P _A	P _B	ΔP
FOGON BARRO INE/GTZ	1	30.47	31.24	29.96	4.79	2	2.79
	2	28.96	35.32	30.35	4.40	2	2.4
	3	28.15	37.53	31.08	4.9	1.94	2.96
	4	31.07	39.20	33.30	3.98	2.11	1.87
	5	29.05	40.70	32.58	5.65	1.69	3.96
PROMEDIO		29.54	36.8	31.45	4.74	1.95	2.80
FOGON BALDE INE/GTZ	1	27.57	51.81	36.80	12.5	2.67	9.83
	2	31.96	34.46	32.07	6.62	2.53	4.09
	3	32.17	54.83	42.63	9.83	2.58	7.25
	4	43.62	39.79	36.41	9.20	2.56	6.64
	5	36.37	43.22	39.14	8.44	1.69	6.75
PROMEDIO		32.54	44.8	37.41	9.32	2.41	6.91
FOGON CETA/ S UATEMALA	1	9.03	6.02	7.01	4.07	1.83	2.24
	2	11.2	10.92	11.02	4.22	2.83	1.39
	3	10.96	8.84	9.66	5.66	2.11	3.55
	4	14.43	10.15	11.27	7.27	3.72	3.55
	5	11.2	12.73	12.49	12.5	4.06	8.44
PROMEDIO		11.37	9.73	10.3	6.74	2.91	3.83
FOGON ZACHACE ESPOL (CASCARILLA DE ARROZ)	1	15.83	15.79	15.12	10.7	3.33	7.37
	2	45.44	19.14	38.56	15.82	2.58	13.24
	3	19.96	19.88	19.29	12.95	3.31	9.64
	4	13.24	38.94	20.68	19.20	4.31	14.89
	5	16.7	23.37	18.35	11.09	3.61	7.48
PROMEDIO		22.23	23.4	22.4	13.95	3.43	10.5

TABLA 3.5.--FOGONES CERRADOS: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

TIPO DE FOGON	NO. PRUEBA	F	CE	AGUA INICIAL TOTAL	AGUA INICIAL HORNILLA EBULLIR	LENA USADA EN ALTA	COSTO LENA EN ALTA	TIEMPO PARA EBULLIR
FUGON BARRO INE/GTZ	1	2.36	14.55	5.635	6.635	0.460	1.67	24
	2	2.2	15.79	4.845	4.845	0.405	1.47	23
	3	2.53	15.18	5.535	5.535	0.490	1.78	25
	4	1.89	13.52	6.695	6.695	0.525	1.91	33
	5	3.34	14.55	5.670	5.670	0.520	1.90	23
PROMEDIO		2.46	14.72	5.676	5.676	0.48	1.75	25.6
FUGON BALDE INE/GTZ	1	4.68	18.52	6.100	6.100	0.650	2.35	13
	2	2.62	15.46	6.370	6.370	0.530	1.93	20
	3	3.81	15.21	6.935	6.935	0.590	2.15	15
	4	3.60	14.56	6.695	6.695	0.515	1.87	14
	5	4.99	12.52	5.670	5.670	0.405	1.47	12
PROMEDIO		3.94	15.25	6.354	6.354	0.538	1.96	14.8
FUGON CETA/ GUATEMALA	1	2.22	39.59	1.945	1.160	0.440	1.60	21
	2	1.50	47.2	1.940	1.220	0.405	1.47	24
	3	2.68	41.02	1.865	1.100	0.385	1.40	17
	4	1.95	51.29	1.93	1.250	0.320	1.16	11
	5	3.08	65.01	1.815	0.700	0.45	1.64	9
PROMEDIO		2.29	48.3	1.9	1.09	0.4	1.46	17.6
FUGON ZACHACE ESPOL (CASCARRILLA ARROZ)	1	3.21	18.22	9.165	5.070	1.070	3.9	25
	2	6.13	10.29	9.465	5.545	1.455	5.3	23
	3	3.91	15.86	10.94	6.045	1.140	4.15	22
	4	4.45	23.70	10.405	5.67	1.69	6.15	22
	5	3.07	17.12	10.02	5.675	1.065	3.88	24
PROMEDIO		4.15	19.04	9.9	5.60	1.30	4.7	23.2

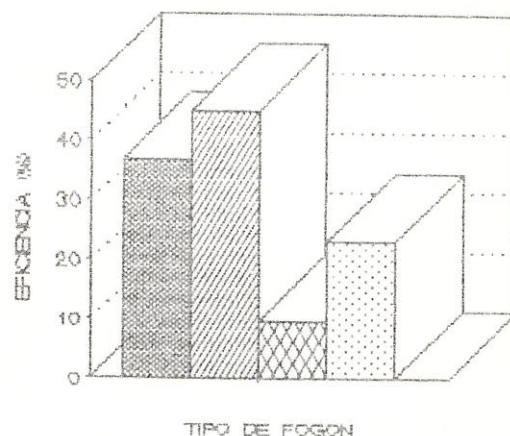
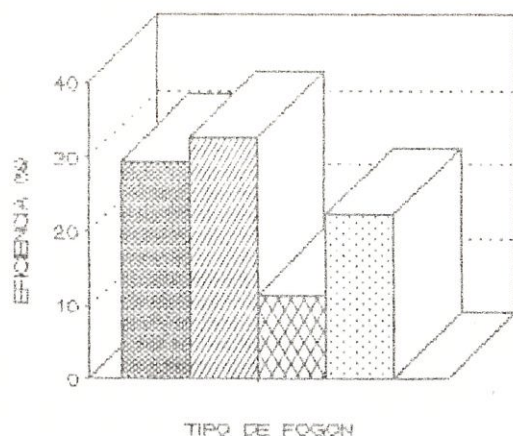
TABLA 3.6.- FOGONES CERRADOS: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS (continuación)

TIPO DE FOGON	FOGON BARRO INE/GTZ	FOGON BALDE INE/GTZ	FOGON CETA/ GUATEMALA	FOGON ZACHACE ESPOL (CASCARILLA DE ARROZ)
PCU _A	29.54	32.54	11.37	22.23
PCU _B	36.8	44.8	9.73	23.4
PCU _S	31.45	37.41	10.3	22.4
P _A	4.74	9.32	6.74	13.95
P _B	1.95	2.41	2.91	3.43
F	2.46	3.94	2.29	4.15
DELTA P	2.80	6.91	3.83	10.5
CE	14.72	15.25	48.8	19.04

**TABLA 3.7 FOGONES CERRADOS:
TABLA DE PROMEDIOS**

FOGONES EN ALTA POTENCIA EFICIENCIA PROMEDIO

FOGONES EN BAJA POTENCIA EFICIENCIA PROMEDIO



FOGONES EN POTENCIA GLOB EFICIENCIA PROMEDIO

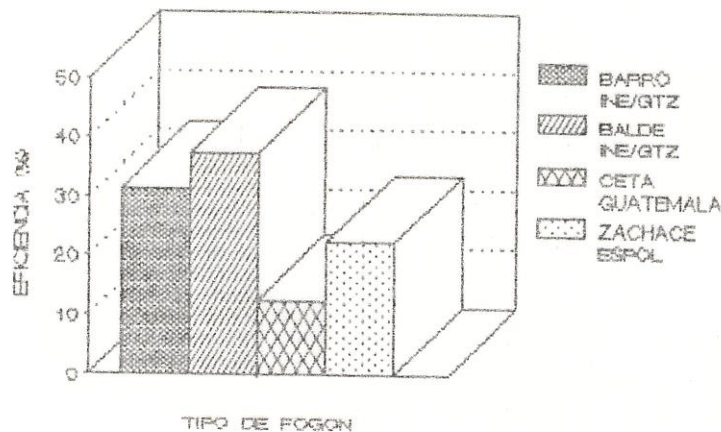


FIGURA 3.8 FOGONES CERRADOS: COMPARACION DE LA EFICIENCIA PROMEDIO

Como se anotó previamente los 4 fogones cerrados fueron de tipo estrictamente experimental, por lo tanto durante la realización de una prueba determinada el manejo del fuego fué muy difícil, y su llama inestable que se decidió no repetir dicha prueba en esas condiciones, y con el fin de realizar una siguiente prueba se improvisó un cambio en la estructura o en las condiciones de operación. Esto ocurrió con el fogón CETA-GUATEMALA. De todas maneras se procedió a obtener un promedio de los resultados de este fogón con el fin de obtener una referencia de comparación con los resultados de los otros fogones, además de que el rango de la eficiencia de todas las pruebas del fogón CETA-GUATEMALA no varió sustancialmente. En el caso del fogón BARRO-INE/GTZ en las dos últimas pruebas se improvisaron parrillas para la leña, con el fin de **facilitar** el manejo del fuego, las eficiencias no variaron considerablemente.

Las tablas 3.5, 3.6, 3.7, y la figura 3.8 muestran los resultados de los ensayos. Las cantidades de agua inicial, leña utilizada y el tiempo para ebullición en una prueba específica no pueden ser comparadas con resultados de otra. La cantidad de agua inicial (alimento a cocinarse) no es la misma, y en el procedimiento de ensayo no se considera como un requerimiento de prueba la cantidad específica de agua. Como consecuencia en un fogón una cantidad menor de leña usada o un tiempo menor de ebullición respecto a otro, no indica que este sea menos eficiente que el primero.

Las cantidades que relativamente pueden ser comparadas son la eficiencia

TIPO DE FOGON	No. PRUEBA	AGUA INICIAL HORNILLA EN EBULLICION	LEÑA USADA EN ALTA	TIEMPO PARA EBULLICION	FCI Agua Inic/ Leña alta	FC2 Agua Inic/ Tiempo en ebullicir
FOGON BARRO INE/GTZ	1	5.635	0.460	24	12.25	0.235
	2	4.845	0.405	23	11.96	0.211
	3	5.535	0.490	25	11.30	0.221
	4	6.695	0.525	33	12.75	0.203
	5	5.670	0.520	23	10.90	0.247
PROMEDIO		5.676	0.48	25.6	11.83	0.223
FOGON BALDE INE/GTZ	1	6.100	0.650	13	9.38	0.469
	2	6.370	0.530	20	12.02	0.319
	3	6.935	0.590	15	11.75	0.462
	4	6.695	0.515	14	13.	0.478
	5	5.670	0.405	12	14	0.472
PROMEDIO		6.35	0.538	14.8	12.03	0.44
FOGON CETA/ GUATEMALA	1	1.160	0.440	27	2.64	0.043
	2	1.220	0.405	24	3.01	0.051
	3	1.100	0.385	17	2.86	0.065
	4	1.250	0.320	11	3.91	0.114
	5	0.700	0.45	9	1.56	0.08
PROMEDIO		1.09	0.45	17.6	2.79	0.071
FOGON ZACHACE ESPOL (CASCARRILLA ARROZ)	1	5.070	0.070	25	4.74	0.203
	2	5.545	1.455	23	3.81	0.24
	3	6.045	1.140	22	5.30	0.27
	4	5.67	1.69	22	3.36	0.26
	5	5.675	1.065	24	5.33	0.24
PROMEDIO		5.60	1.30	23.2	4	0.24

TABLA 3.8.-FACTORES RELATIVOS DE COMPARACION

PCU) y el consumo específico; aunque se debe considerar los valores de la potencia del fuego, con los cuales se consigue tal eficiencia, y las condiciones de operación.

En la tabla 3.8, se presentan valores de dos factores de comparación inducidos en esta investigación. Estos son los factores (FC1 y FC2) que relacionan el primero, la cantidad de agua inicial con la leña en alta potencia y el segundo el agua inicial con el tiempo que transcurre hasta la ebullición. El FC1 es un equivalente másico del PCU en ebullición, y aparentemente es un número razonablemente confiable de comparación puesto que resulta ser una especie del inverso del consumo específico en alta potencia. El FC2 es una especie de potencia útil. Estos dos factores se adoptaron como una alternativa simple, a los términos energéticos PCU y potencia en alta porque permiten relacionar los resultados de pruebas, además de que permiten estimar la cantidad de leña que necesita un tipo de fogón para hervir determinada cantidad de agua y el tiempo en realizar esa tarea.

En la figura 3.8 se muestra un diagrama de barras, en el cual se ubican relativamente las eficiencias de los fogones cerrados. En esta figura se observa que en todos los rangos de potencia el fogón BALDE INE/GTZ tiene la mas alta eficiencia (32%, 49% y 37 % en alta, baja y potencia global respectivamente), el fogón CETA/GUATEMALA tiene el mas bajo nivel de eficiencia (11%, 13% y 10% en alta, baja y potencia global respectivamente).

La figura 3.9 muestra el comportamiento de la eficiencia en función de la potencia, el consumo específico y la flexibilidad. En esta figura se puede ver que los fogones cerrados tienen un rango de poder situado entre 4.5 kw y 14 kw cuando operan a alta potencia y de 2 kw a 3.5 kw cuando operan a baja potencia de su fuego.

La potencia de 14 kw que fué la mas alta la desarrolló el fogón ZACHACE/ESPOL, y la mas baja de 1.9 kw fué desarrollada por el fogón BARRO-INE/GTZ

En la misma figura, se puede ver que el mas alto consumo específico fué de 50 perteneciente al fogón CETA-GUATEMALA el de mas baja eficiencia. Los dos mejores fogones en cuanto a eficiencia se refiere, registraron los consumos mas pequeños, esto es 15 kg leña/ kg de agua.

La mas alta flexibilidad fué registrada por el fogón ZACHACE-ESPOL, que se calculó en 4.2. Posiblemente esto puede atribuirse a su elevada potencia máxima, superior a todos los fogones. La mas baja flexibilidad 2.3 fué operada por el fogón CETA-GUATEMALA, el de mas baja eficiencia, en relación con los otros resultados, su alta potencia fué disminuída y su baja potencia demasiado alta.

En general los investigadores han determinado que una flexibilidad de 5 es una

valor apropiado para un buen diseño de un fogón (Seminario Cuerpo de Paz, 1984). De acuerdo a esta referencia y los resultados de la figura 3.10.d., resulta que los fogones BALDE INE-GTZ y ZACHACE-ESPOL son aceptables.

En cuanto a la operación del fogón se refiere, los fogones ZACHAZE-ESPOL y BALDE INE-GTZ fueron los que mayor facilidad de manejo del fuego presentaron. Su alta temperatura interior y la buena distribución de aire permitieron obtener buena combustión, y estabilidad en el sistema. El fogón BARRO INE-GTZ con la incorporación de una parrilla para la leña, mejoró totalmente la estabilidad de la llama.

El fogón CETA-GUATEMALA no permitió operarlo apropiadamente. Esto dificultó la realización de los ensayos, y se tuvieron que incorporar cambios en el diseño que permitan mejorar el sistema y estabilizar la llama para realizar las pruebas.

En cuanto a resultados de otras investigaciones se tiene que para un fogón de ladrillos y chimenea de dos hornillas, fijo en el suelo, de forma similar al de CETA-GUATEMALA se determinó 17.72 % de eficiencia (Burgos, 1982). En la figura A.3.4.1 del apéndice 3.4 se anotan otros resultados (Bussmann, 1984). Con propósitos de comparación se han determinado características de



BIBLIOTECA

esos fogones que puedan ser

Similitud aproxim..	Potenci. efic. Alta	Potencia efic. Baja
Barro	7 kw 22%	5kw 32%
Balde	10 20	7 28
CETA	9 17	9 21

**TABLA 3.9 RESULTADOS DE OTRAS
INVESTIGACIONES DE FOGONES DE
CARACTERISTICAS
APROXIMADAMENTE SIMILARES**

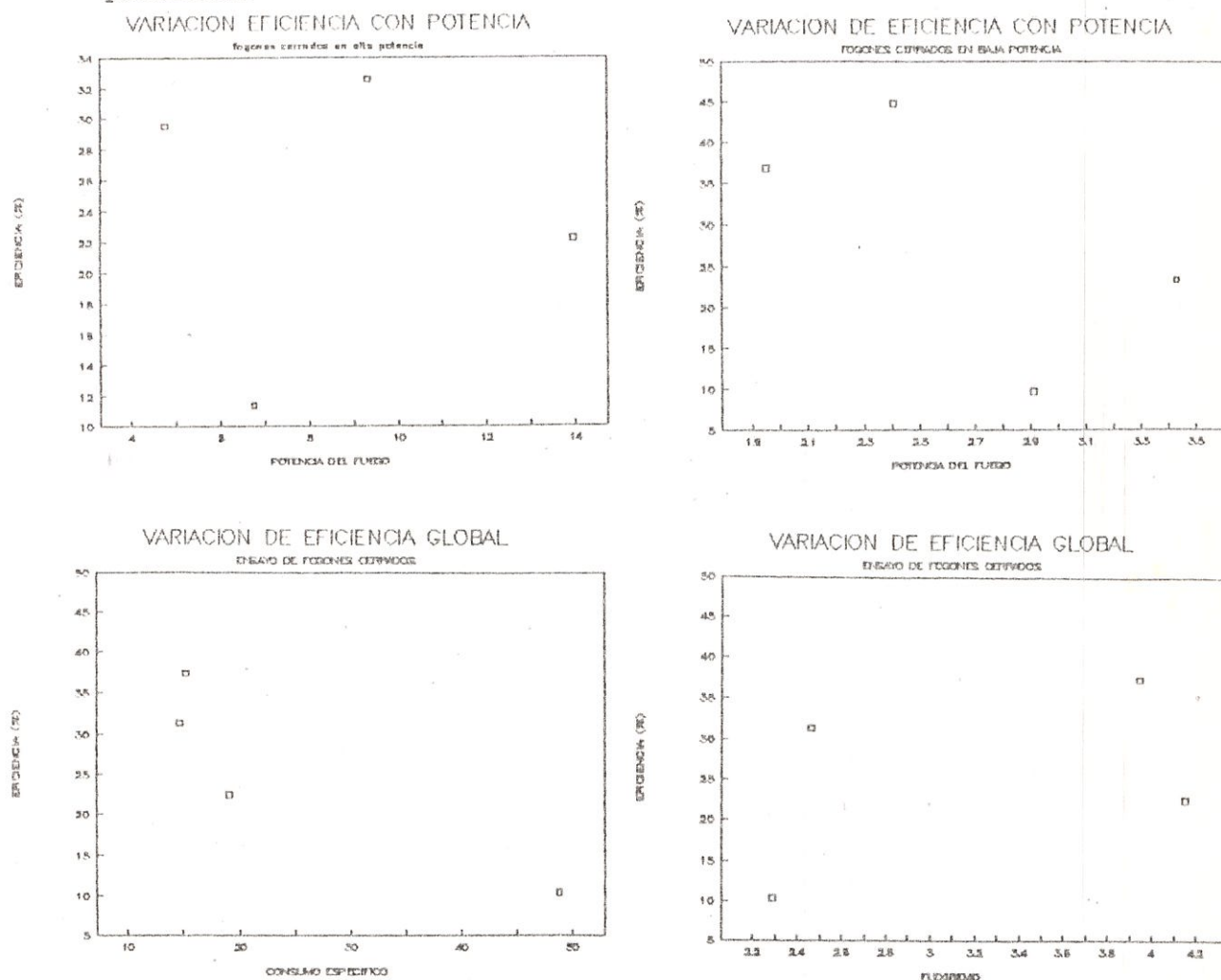
comunes a los investigados en este trabajo. De acuerdo a esto se ha llegado a obtener con cierta aproximación la tabla 3.9

ENSAYOS DE FOGONES CERRADOS: CONCLUSIONES

En la siguiente sección se puntualizan detalles comparativos de los fogones abiertos y cerrados y conclusión general del ensayo de fogones de leña. En esta sección se puede concluir lo siguiente:

- i) En general los fogones cerrados mejorados muestran eficiencias mas altas que los tradicionales mejorados en este proyecto.
- ii) Los fogones cerrados tienen limitaciones en cuanto a la forma y número de ollas, al tamaño de la leña, etc. Si incorpora una chimenea, se requiere cierta experiencia para el buen manejo del fuego.

La figura 3.9 muestra la eficiencia de los fogones en función de tres parámetros



Leyenda:

1. Fogón BALDE-INE/GTZ
2. Fogón BARRO-INE/GTZ
3. Fogón ZACHACE-ESPOL
4. Fogón CETA-GUATEMALA

FIGURA 3.9 EFICIENCIA DE FOGONES CERRADOS EN FUNCION DE LA POTENCIA, CONSUMO Y FLEXIBILIDAD

RESULTADOS GENERALES CONCLUSION Y RECOMENDACION

ENSAYOS DE FOGONES DE LEÑA

Finalmente las figuras 3.10, 3.11, 3.12, 3.13 muestran el resultado de la investigación de fogones de leña realizado en este proyecto. Las 4 figuras han sido incorporadas en la una sola página para facilidad de interpretación global de los resultados, y constituye la figura 3.14 la misma que representa a la eficiencia en función de la potencia, flexibilidad y consumo específico, para todos los fogones. Las conclusiones que se pueden obtener son las siguientes:



EFICIENCIA EN FUNCION DE LA POTENCIA

FOGONES EN ALTA POTENCIA DE SU FUEGO⁺

DOS PIEDRAS
MEJORADO

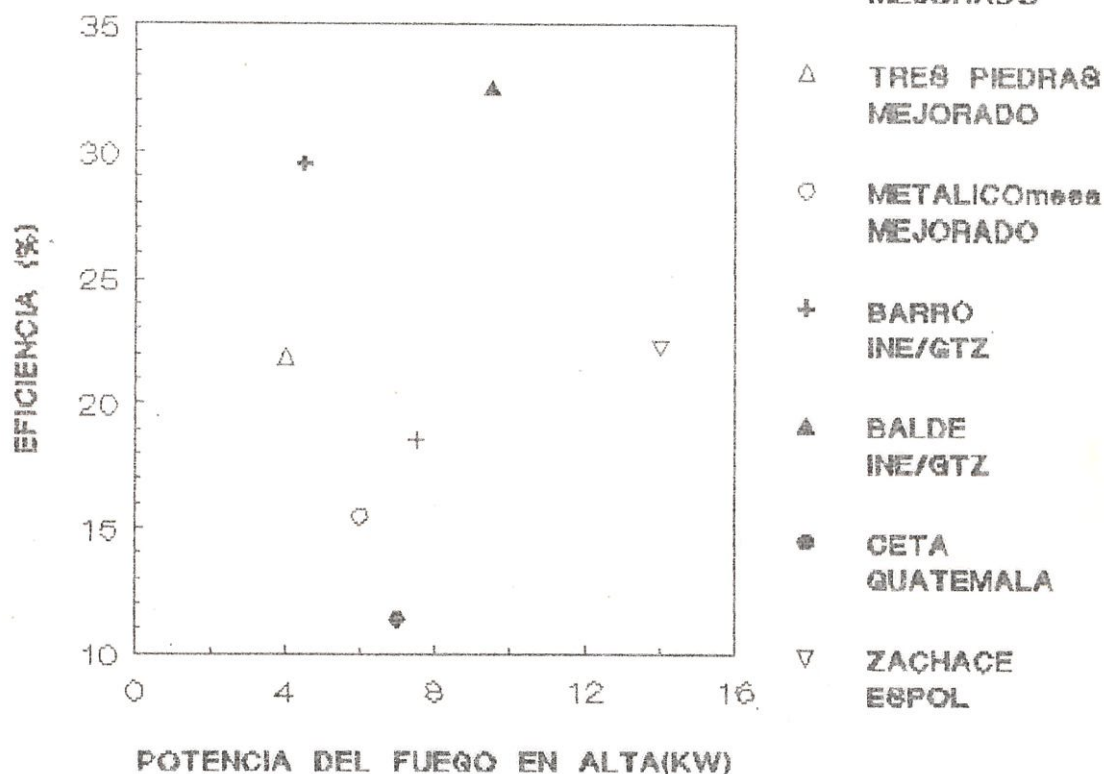


FIGURA 3.10

ENSAYOS DE FOGONES DE LEÑA:
Eficiencia en función de la potencia en alta
operación del fuego.

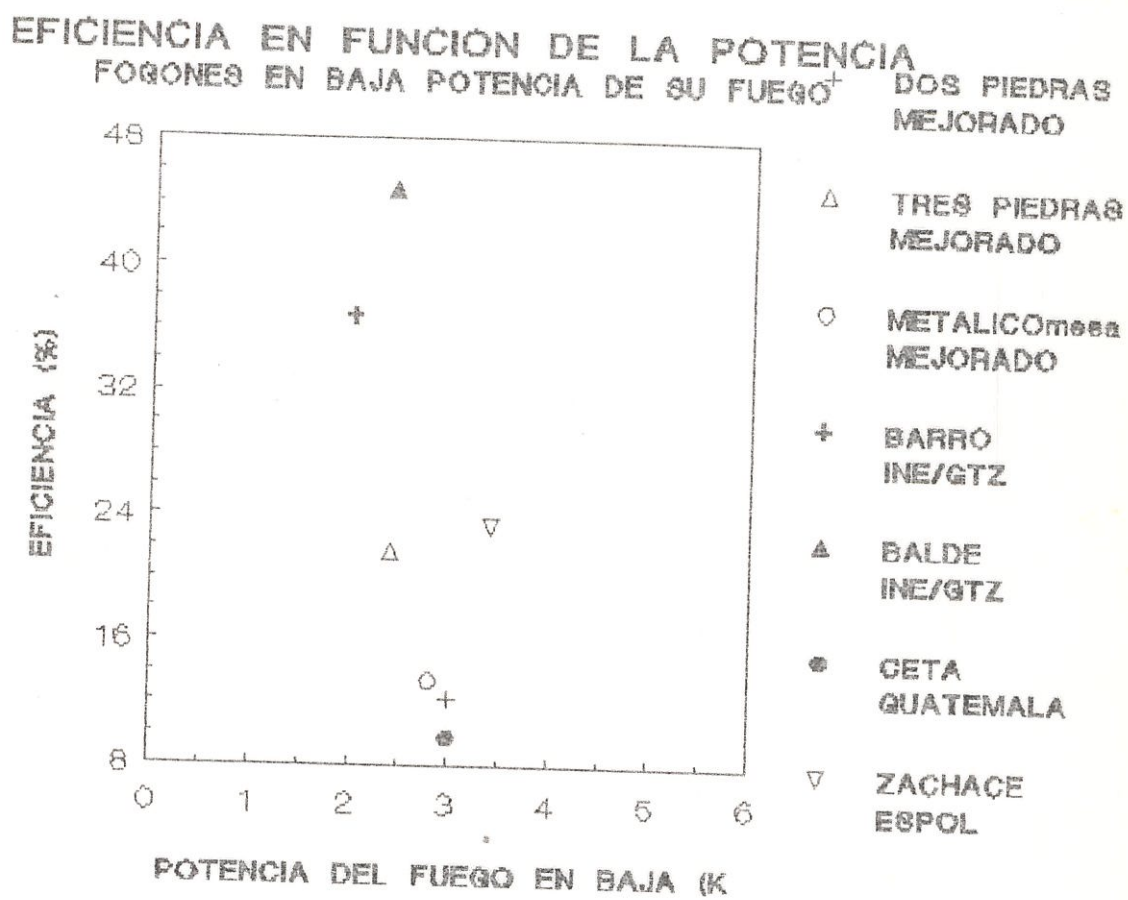


FIGURA 3.11 ENSAYOS DE FOGONES DE LEÑA:
Eficiencia en función de la potencia en baja
operación del fuego

EFICIENCIA GLOBAL Y LA FLEXIBILIDAD

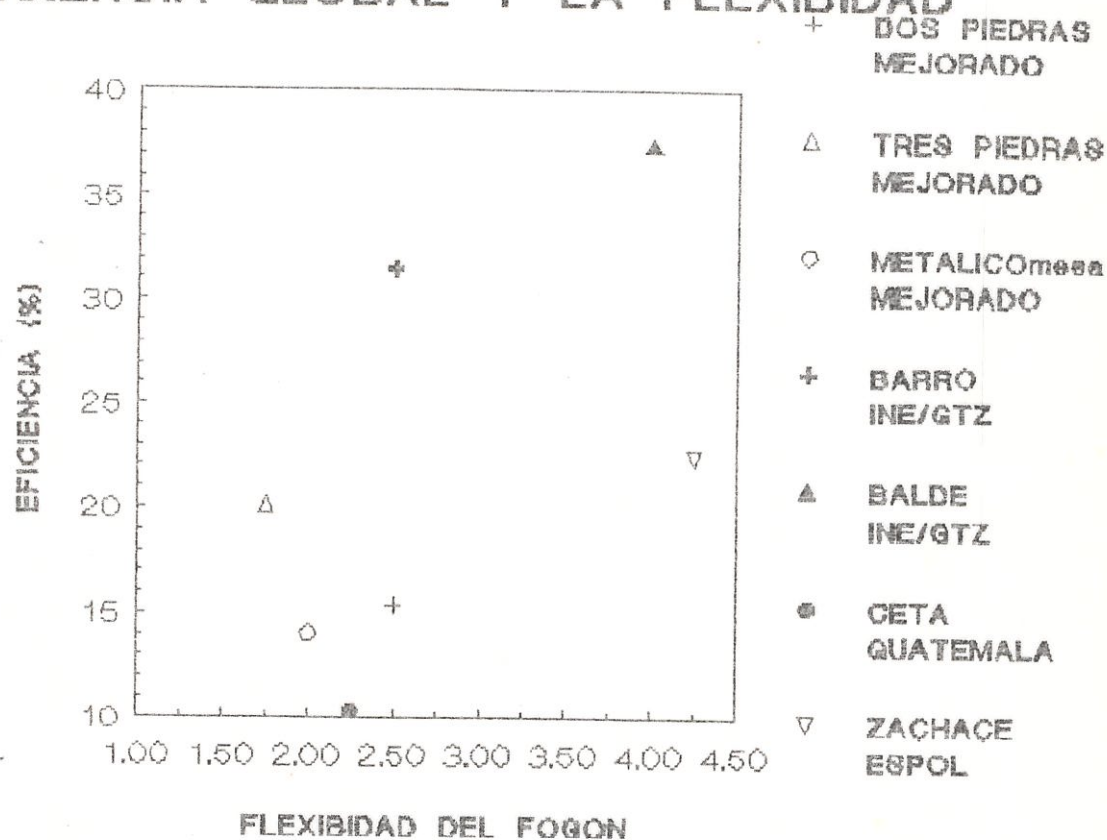


FIGURA 3.12 ENSAYOS DE FOGONES DE LEÑA:
Eficiencia Global en función de la
Flexibilidad

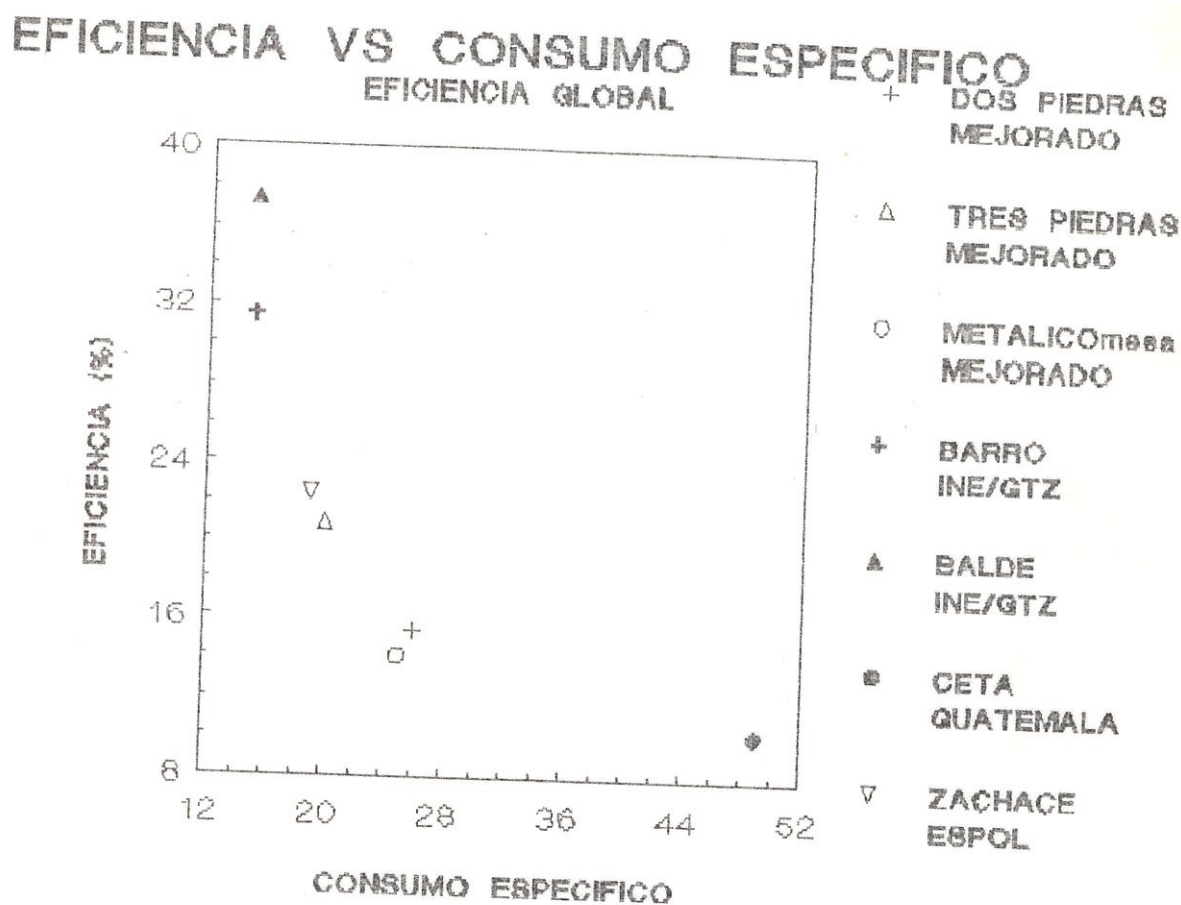
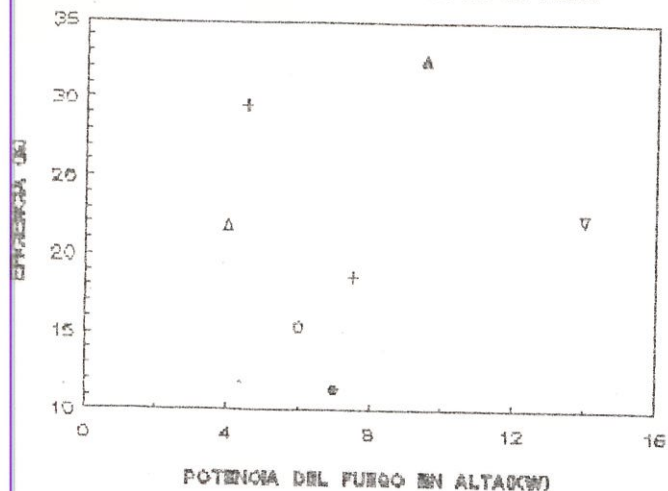
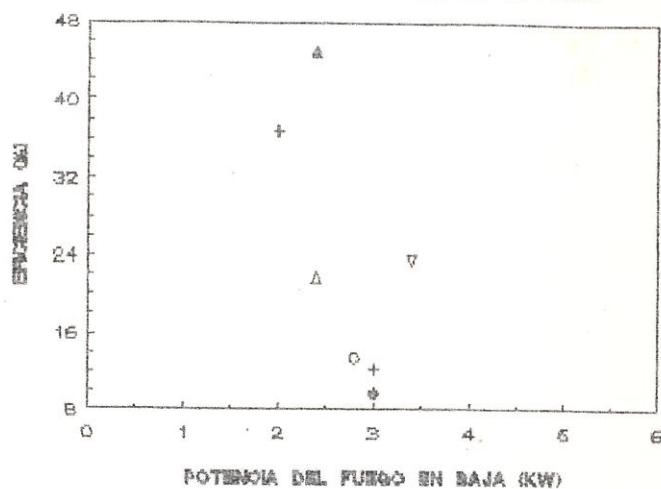


FIGURA 3.13 ENSAYOS DE FOGONES DE LEÑA:
Eficiencia global en función del Consumo Específico

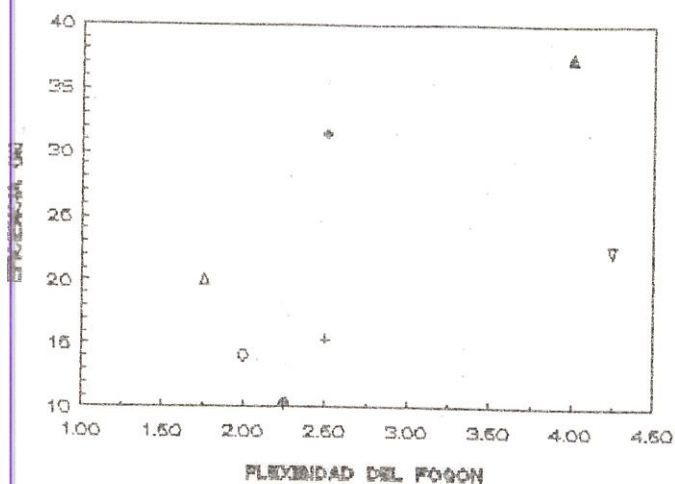
EFICIENCIA EN FUNCIÓN DE LA POTENCIA
FOGONES EN ALTA POTENCIA DE SU FUEGO



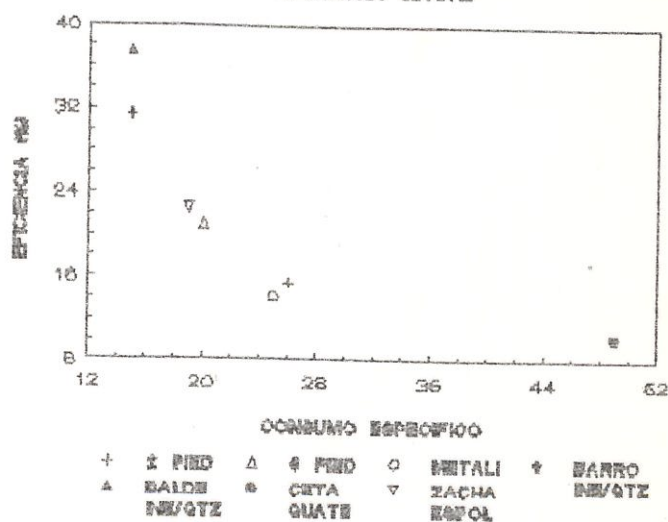
EFICIENCIA EN FUNCIÓN DE LA POTENCIA
FOGONES EN BAJA POTENCIA DE SU FUEGO



EFICIENCIA GLOBAL Y LA FLEXIBILIDAD



EFICIENCIA VS CONSUMO ESPECIFICO
EFICIENCIA GLOBAL



CONSUMO ESPECIFICO

+	2 PND	Δ	4 PND	○	MITALI	†	BARRO
Δ	BALDE	●	CETA	▽	ZACHA		NE/GTZ
	NE/GTZ		GUATE		ESPOL		

FIGURA 3.14.-RESULTADO GLOBAL DEL ENSAYO DE FOGONES DE LEÑA: Abiertos y cerrados: Variación de la EFICIENCIA

Las conclusiones que se pueden obtener son las siguientes:

- i) Los fogones cerrados tienen elevadas eficiencias tanto en baja como en alta potencia. Estas se ubican entre 22 % y 33% de eficiencia en alta potencia y en el rango de 24% y 45% de eficiencia en baja. El fogón cerrado CETA-GUATEMALA está muy por debajo de este rango, pero como se indicó anteriormente este fogón no fué construido propiamente.
- ii) La eficiencia de los fogones abiertos mejorados se ubican en un rango de 15% y 22% de eficiencia para alta potencia, y un rango de eficiencia entre 12% y 21% para baja.
- iii) Los tres fogones abiertos mejorados superan en eficiencia al fogón cerrado CETA-GUATEMALA. Se concluye que un fogón cerrado mal diseñado o en mala operación (diseño-aplicación) puede resultar menos eficiente que un fogón abierto.
- iv) Los fogones cerrados pueden operar a mayores potencias en alta, y a menores potencias en baja; lo cual permite a estos fogones tener una mayor flexibilidad que los fogones abiertos.
- v) Los fogones cerrados presentan menor consumo específico.

Los resultados de esta investigación demuestran que efectivamente los fogones abiertos tradicionalmente utilizados en el Ecuador pueden elevar considerablemente su eficiencia con la incorporación de pequeños cambios en sus diseños, dichos cambios son de bajo costo. Una parrilla apropiada puede mejorar la combustión, paredes re-radiantes que rodeen el lecho pueden proteger de la influencia negativa del viento, y si fuera posible que la olla sea ubicada totalmente en el interior del fogón, la eficiencia puede incrementar en gran magnitud. Todos estos cambios no significan mayor impacto en las tradiciones y hábitos de los usuarios.

Los fogones de barro y tipo balde INE-GTZ podrían tener su potencial de aceptación especialmente en la costa, sin embargo hace falta mejorar el diseño

del primero en cuanto al suministro de aire y empotramiento total de la olla.

Los modelos que incorporan chimenea tienen relativa poca probabilidad de aceptación, aún en el caso de ser mas eficientes debido a que en la costa la presencia de chimineas y fogones a nivel del piso no son tradicionales.

Se recomienda para futuros estudios afines, que la investigación debe ser realizada orientada al análisis de gases de combustión, es decir la producción de CO y CO₂ y gases tóxicos. En este informe en los siguientes capítulos se presenta este análisis para el caso de las cocinas de kerex.

Una importante conclusión se puede obtener de la realización de estos ensayos de fogones de leña y es referente al concepto e interpretación de la eficiencia. Se ha visto que muy dificilmente los resultados sobre la eficiencia de diferentes investigaciones coinciden, mas aún se ubican en diferentes rangos. No se puede especular en la existencia de errores. De este estudio se ha llegado a la necesidad de dar una definición práctica de la eficiencia de un fogón de leña, y considerarla como un parámetro muy complejo que depende de la influencia muchas veces impredecibles de algunas variables. En el apéndice 3.5 se presenta esta definición; y una interpretación gráfica de la misma.

Como palabras finales para cerrar este capítulo, se puede añadir que en el diseño de un fogón, se deben considerar especialmente el objetivo del mismo. Un fogón eficiente involucra directamente el concepto de **ahorro de combustible** y en menor grado otros factores de importancia como el tiempo de cocción, cantidad de alimento, potencia del fuego, número de ollas, tamaño de leña, etc. Los potenciales usuarios de un fogón de leña no necesariamente tienen en mente el mismo objetivo que el de un diseñador de ese fogón. Posiblemente al usuario de un fogón le interesa más el tiempo de cocción y el número de ollas de diferente tamaño que pueda ubicar en su fogón.

Todos esos parámetros influyen en la eficiencia de un fogón, y por lo tanto en el diseño del mismo, es decir que un diseño depende de la predilección del usuario. En el apéndice 3.6 se presenta un cuadro con la valoración de la predilección de un fogón.

Ningún diseño puede satisfacer requerimientos esperados, sino solamente a base de un bien organizado trabajo experimental, y numerosas pruebas y modificaciones de diseño. El concepto complejo de la eficiencia y la valoración de las predilecciones así lo requieren.

En los siguientes capítulos se realizan ensayos de cocción en una cocina de presión de kerex. con el objetivo de establecer lineamientos para mejorar la eficiencia de las cocinas de kerex, como otra alternativa de cocción.

CAPITULO 4

COCINAS DE KEREX

4.1 EL KEREX COMO COMBUSTIBLE

El kerex es un combustible comercial derivado del petróleo. Está constituido por una mezcla de diferentes hidrocarburos, de los cuales el mas importante es el $C_{10}H_{22}$ (Verhoeven, 1989). Pero como todo derivado, incluye además en su composición : nitrógeno, oxígeno, azufre en pequeñas cantidades.

Según la ref.1, los componentes y principales características del kerex son:

COMPONENTES

Parafinas	55-60%
Naftenos	32-38%
Aromáticos	5-10%
Azufre (%P)	0,13

CARACTERISTICAS

Gravedad específica	0.8179
Densidad específica (kg/m ³)	816.7
Gravedad API	41.5
Valor calorífico neto (Kcal/Kg)	10390.0
Valor calorífico bruto (Kcal/Kg)	11110.0
Punto de inflamación (°C)	60
Punto de humo (mm)	22

4.2 COMBUSTION DEL KEREX

La combustión de los líquidos se realiza de tal manera que, en primer lugar; el líquido se vaporiza y luego, los vapores formados se queman de acuerdo con los principios válidos para los gases.

Si fuera posible separar en el espacio la vaporización de la degradación que le sucede, la combustión de los líquidos no se diferenciaría de aquella de los gases. Este es el caso de los combustibles de baja temperatura de ebullición, que pueden ser quemados por acción capilar del kerex en cocinas de mecha. Aquí es suficiente la radiación de la llama para vaporizar el líquido y recalentar los vapores a la temperatura de ignición. Se forma entonces, lo mismo que en la combustión de los gases, una especie de cono de ignición; esto significa que los vapores antes de inflamarse se han podido mezclar por difusión, con una pequeña cantidad de aire.

La combustión de un hidrocarburo en un ambiente con oxígeno libre es un fenómeno muy complejo. En la referencia 23 se indica que en la combustión de un hidrocarburo simple como el metano CH_4 cerca de 90 cadenas de reacciones pueden darse. La descripción detallada de estas reacciones es posible únicamente con la ayuda de un computador de gran capacidad de cálculo.

Pero para los propósitos de este estudio, todo ese sistema de reacciones puede resumirse en la siguiente:

combustible + oxidante \Rightarrow producto

El aire teórico o estequiométrico es la mínima cantidad de aire que suministra suficiente oxígeno para oxidar completamente el combustible.

Para que un combustible arda completamente es necesario que el hidrógeno y el carbono se transformen por reacción con el oxígeno en agua y en anhídrido carbónico (CO_2). Si la transformación se realiza parcialmente, la combustión se denomina incompleta, dando en este caso como productos el monóxido y el dióxido de carbono y parte del hidrógeno puede aparecer entre los gases libres o formando parte de hidrocarburos.

El aire teórico para la combustión del kerex puede ser calculado asumiendo que el kerex consiste únicamente de $\text{C}_{10}\text{H}_{22}$. De acuerdo a esta premisa tenemos que la reacción de combustión completa del Kerex estaría dada por:



Para hallar a, b, y c se tienen que balancear los H_2 , C y O_2

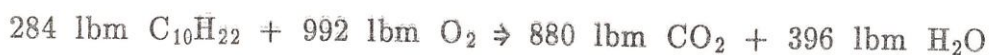
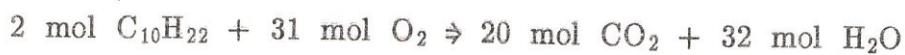
Primeramente se balancean los H_2 y los C:



Luego se balancean los O_2 :



O, lo que es lo mismo:



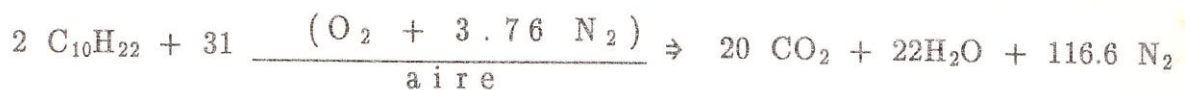


De aquí se tiene que la mínima cantidad de aire que es necesario proporcionar para quemar totalmente 1 lbm de kerex es (Balseca, 1990):

$$3.493 \frac{1 \text{ lbm } O_2}{1 \text{ lbm } C_2H_{2.2}} \cdot 4.31 \frac{1 \text{ lbm aire}}{1 \text{ lbm } O_2} = 15.05 \frac{1 \text{ lbm aire}}{1 \text{ lbm comb}}$$

La referencia 2 indica que para quemar un mol de $C_{10}H_{22}$ a una temperatura y presión estándar se necesitan $(31/32)^* 32 \text{ g} = 496 \text{ g}$ de oxígeno o $(496/23)^* 100 \text{ g} = 2157 \text{ g}$ de aire. La temperatura y presión estandar hacen referencia a una temperatura de 0°C y una presión de 101325 N/m^2 que es equivalente a aquella producida por la columna de mercurio de 760 mm a 0°C .

En las ecuaciones anteriores se puede incluir también el N_2 lo cual no afecta los cálculos de aire teórico;



En la práctica es imposible lograr una combustión completa con el aire teórico pues por la ley de probabilidad no es posible que cada una de las numerosas moléculas (6.02×10^{23} moléculas por mol) que componen el combustible, encuentre una molécula de oxígeno para combinarse con ella, por lo tanto, para lograr la máxima oxidación posible del combustible es necesario

ingresar a la cámara de combustión un cierto exceso de aire.

Si el aire está en defecto pueden producirse pérdidas importantes de energía en forma de CO , H_2 y C_xH_y sin quemar. Por lo tanto, la cantidad de exceso de aire debe ser determinada llegando a un compromiso entre, por un lado, evitar que la combustión sea incompleta y por otro lado, reducir al mínimo las pérdidas térmicas que llevarían este exceso de aire a ser expulsado a la atmósfera (Balseca, 1990).

Entonces, si el proceso de combustión maneja un exceso de aire, la relación aire-combustible real estará dada por:

$$(a/c)_{\text{real}} = (a/c)_{\text{esteq.}} * (1 + EA) = (a/c)_{\text{esteq.}} * \phi$$

donde: a/c = relación aire-combustible

EA = exceso de aire

ϕ = Factor de aire estequiométrico

$$\phi = 1 + EA$$

Ocurre a veces en la práctica que la combustión resulta imperfecta, a pesar de que la cantidad de aire introducido en la cámara de combustión es suficientemente excesiva con relación al mínimo estequiométrico.

Esta contradicción aparente, combustión incompleta y exceso de aire, se explica por el hecho de que a causa de deficiencias en la mezcla, una parte del aire introducido pasa por la cámara de combustión sin entrar en contacto con el combustible formado como una especie de corriente secundaria independiente (ref 1)

No es sino después de haber salido de la cámara, es decir, en zonas donde a causa de la temperatura demasiado baja ya no puede realizarse una reacción

de oxidación, que esta corriente de aire se mezcla con los productos de la combustión propiamente dichos.

En las cocinas de kerex a presión, como se verá mas adelante, la mezcla aire-combustible puede hacerse mas homogénea al circular en el interior del quemador.

TIPOS DE LLAMAS

Como se verá mas adelante, una de las limitaciones que presentan las cocinas de kerex, es el **tipo de su llama**, que frecuentemente es de color amarillo con producción de hollín. En el análisis de la combustión durante la realización de las pruebas se pudo observar la inestabilidad de la llama, en forma intermitente la llama azul se hacía amarilla, y viceversa.

En el diseño de cocinas de kerex, es necesario conocer los parámetros y el mecanismo que gobierna la llama de la combustión. Algunos investigadores describen dicho **mecanismo basándose en diferentes teorías**, a continuación se presentan algunas de ellas, tomadas de la referencias 23 y 4.

La referencia 4.a indica que la combustión de hidrocarburos puede ocurrir de dos modos distintos, dando lugar a llamas azul o amarilla respectivamente.

El modo de combustión depende de la tasa de reacción específica K , la cual es solamente función de la temperatura. En la figura 4.1 se ha representado

lo que la referencia 4.a identifica como el gráfico de Arrhenius :

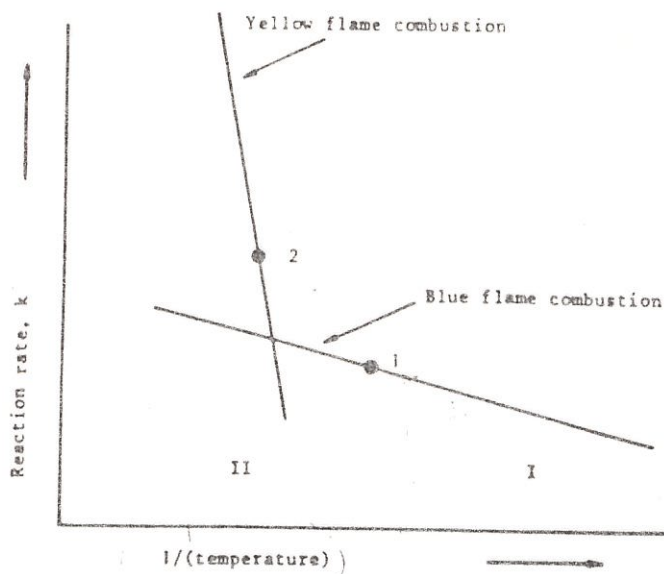


FIGURA 4.1 MODOS DE LA OXIDACION DE UN HIDROCARBURO

En la figura anterior se muestra la tasa de reacción específica en función del inverso de la temperatura. Se puede observar que la tasa de reacción específica se incrementa, cuando se incrementa la temperatura a lo largo de la línea I.

Desde el punto 1 en adelante la reacción es suficientemente rápida y ocurre la combustión con llama azul.

Un incremento de la temperatura permitirá que se alcance el punto 2 justo en el cual la combustión con llama amarilla se inicia. Se puede concluir que el tipo de combustión con llama amarilla o azul depende en la temperatura de la mezcla aire-vapor. Como consecuencia se puede anotar que la

combustión con llama azul no necesariamente involucra una combustión completa idéntica (Ref. 4).

Un quemador Bunsen (Verhoeven, 1989) opera con dos tipos de llama visiblemente diferentes. Una llama de color azul, estable y no silenciosa; y otra de color amarillo intermitente y muy silenciosa. El primer tipo corresponde a la combustión de aire-combustible pre-mezclado, y el otro a la combustión de una llama difusa. Las zonas de reacción son diferentes. El color amarillo de la llama difusa, puede ser explicado con la ayuda de la siguiente figura:

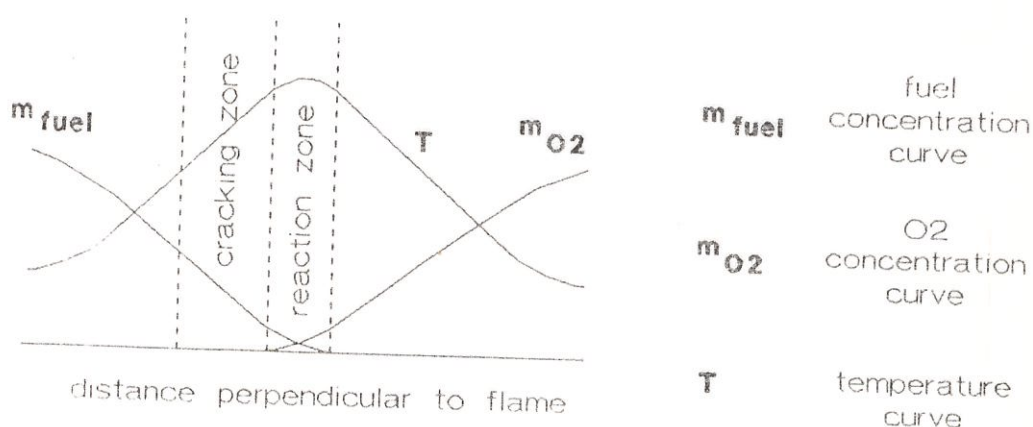


FIGURA 4.2 TEMPERATURA Y CONCENTRACION DE COMBUSTIBLE EN UNA LLAMA DIFUSA

El combustible y el oxígeno, se aproximan a la zona de reacción por distintas trayectorias. Existe en alguna parte de la zona de reacción una región de

combustible gaseoso sin oxígeno, el cual es mantenido a elevada temperatura. En estas condiciones se manifiesta una tendencia de las moléculas de hidrocarburo a formar moléculas menos complejas y polímeros, resultando es dos grupos de moléculas: por un lado compuestos de reducido peso específico, y por otro partículas de carbón. Estas al elevar su temperatura intensamente irradian una luz amarilla brillante. Esta luz es la que frecuentemente impide observar el color azul típico de las zonas de reacción (Verhoeven, 1989).

La posición y tamaño de la zona de reacción de la llama de combustión de combustible pre-mezclado depende de los siguientes factores:

- i) La velocidad de flujo de la mezcla aire-combustible
- ii) La velocidad de la llama.

La velocidad de la llama es directamente proporcional a la mas alta concentración de combustible. La posición de la zona de reacción se ubica en la región en dónde la velocidad del flujo es igual a la de la llama. Si la temperatura de las zonas vecinas a la zona de reacción es demasiado alta, estas llamas azules pueden presentar también coloración amarilla en sus puntas.

Romp (Verhoeven, 1989) explica el fenómeno, basándose en las dos teorías siguientes:

- i) La teoría de combustión de los grupos OH, la cual indica que los átomos de hidrógeno de un hidrocarburo al ser oxidado, presentan la tendencia natural de formar sucesivamente grupos OH, con la consecuente emisión de calor, y

ii) La teoría de la disociación térmica, que explica que se dá esta característica debido a la influencia de calor.

Este autor, manifiesta que las moléculas estan expuestas a esas dos tendencias. Si las condiciones favorecen la formación de los grupos OH, se dará una combustión limpia sin hollín. Pero si dichas condiciones favorecen la disociación térmica, entonces parte del calor de la combustión del hidrocarburo es utilizado en la descomposición de las moléculas restantes.

Concordando con la teoría anterior, este autor menciona que **una combustión con llama difusa de color azul** es posible obtener si es que la temperatura del combustible gaseoso se mantiene **lo suficientemente baja** para evitar la disociación molecular. Un método de obtener este requerimiento, consiste en la aplicación de lo que se conoce como el **principio de la llama inversa**, el cual se desarrolla en base a que considera que la región de mas alta temperatura se ubica en el interior de la llama. Si una corriente de aire es introducido en la zona de combustible gaseoso, la temperatura de esta corriente será intensamente incrementada, lo cual favorecerá a que las reacciones químicas del hidrocarburo se manifiesten "en forma muy limpia" (Verhoeven, 1989). Este principio es aplicado en el diseño de la mayoría de cocinas de kerex.(Ref. 2). La figura 4.3 muestra una explicación gráfica del mismo.

En las cocinas de mecha, la combustión ocurre de acuerdo a la teoría de la combustión con la formación de grupos OH, el calor emitido incrementa la temperatura de las carcazas (chimeneas) de la cocina (Verhoeven, 1989).

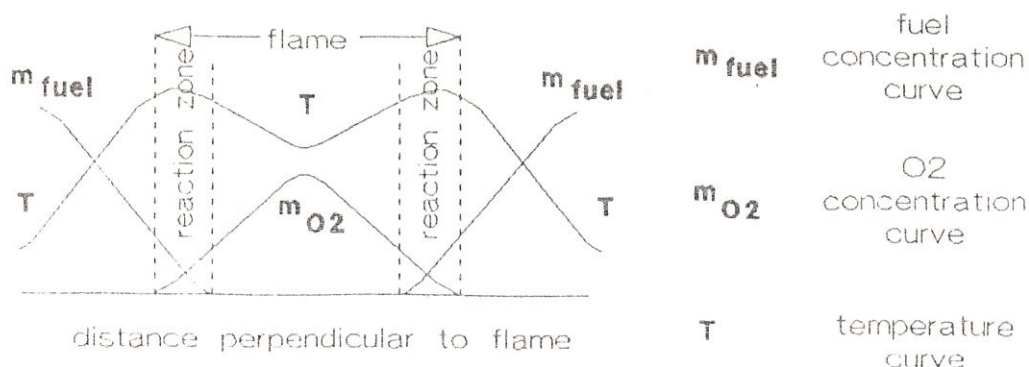


FIGURA 4.3

EXPLICACION
PRINCIPIO DE LA LLAMA INVERSA

DEL

4.3 DESCRIPCION DE UNA COCINETA DE KEREX

Las cocinas domésticas de kerex, pueden clasificarse en dos grupos: cocinas a presión, y las que utilizan mechas. En este trabajo solo se analizan, las del primer grupo.

COCINAS DE PRESION.-

Caracterizadas primordialmente por la formación de un cono o jet, formado por el flujo rápido de combustible gaseoso. El kerex que se encuentra en el recipiente o tanque, es introducido en el evaporador a través de un conducto identificado como tubo ascendente. En el tanque de las cocinas portátiles se incorpora una bomba manual, a través de la cual se inyecta aire que se acumula sobre el kerex incrementando la presión del tanque, lo cual permite

el flujo del líquido hacia arriba. En las cocinas estacionarias, la presión requerida se obtiene ubicando el tanque en un nivel superior.

El kerex, en el evaporador debido a la alta temperatura de éste se evapora y circula a través de un difusor de pequeño diámetro, adquiriendo una alta velocidad (jet). Entre el difusor y el quemador existe un espacio por el cual circula libremente el combustible gaseoso. Una suficiente cantidad de aire del ambiente es introducido en el jet de combustible, lo cual le permite tener una combustión con llama azul (llama de combustible pre-mezclado). Con el fin de ubicar la llama en un lugar fijo, se utilizan unas carcazas metálicas cilíndricas perforadas con orificios muy pequeños, que permiten que la cocina opere estable y practicamente sin ruido. En general estas cocinas pueden disponer una llama compacta e intensa, con una buena transferencia de calor hacia las ollas. En la figura 4.4, se muestra un esquema de una cocina de este tipo.

La cocina en la cual se realizan los ensayos en este estudio es un modelo diferente, razón por la cual en el apéndice 4.1 se presentan a manera de información y referencia otros modelos de cocinas a presión.

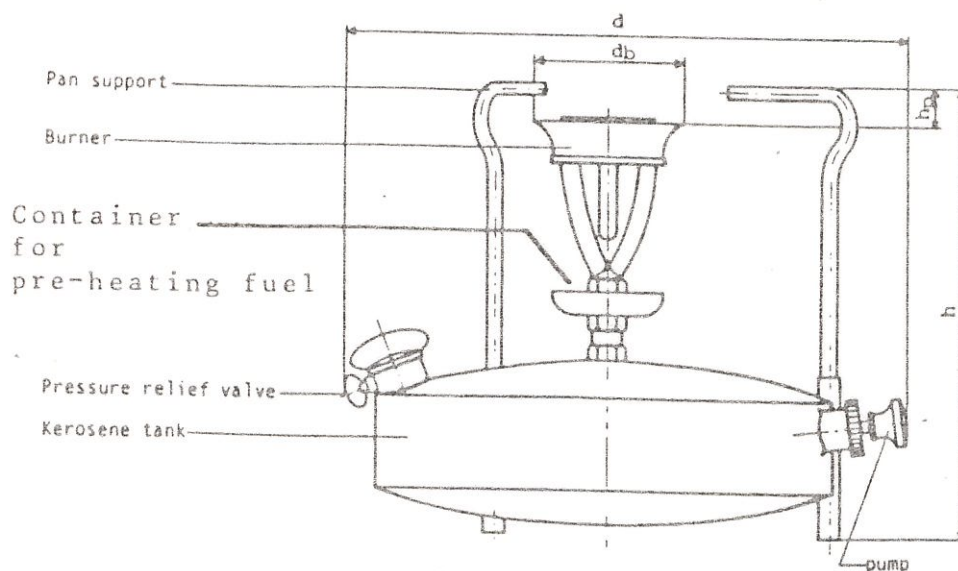


FIGURA 4.4 ESQUEMA DE UNA COCINA DE KEREX A PRESION

4.3 LA COCINA DE PRESION "SUPERIOR"

Esta cocina de origen colombiana, estaba a disposición en el momento de realizar la investigación. Aparentemente era un modelo nuevo que no había sido investigada en ningún otro estudio realizado por el Grupo WSG. A continuación se da un detalle completo de este modelo.

Dimensiones:	275 X 300 X 110 mm
Diámetro de la cabeza del quemador	90 mm
Peso	2807 g
Volúmen del tanque	1053 cm ³
Número de quemadores	1

Combustible	kerex (cocinol)
Combustible de ignición	alcohol
Fuente de presión	bomba manual (pistón)
Rango de presión	0-200 kPa
Precio	+/- 12 US\$
Marca	Superior
Modelo	SP1-PB
Fabricante	Industria Superior de Artefactos Ltda.
País de origen	Colombia

En el apéndice 4.2 se presenta un catálogo e ilustración de la empresa fabricante.

En la figura 4.5 se muestra una fotografía de la cocina.

Este tipo de cocinas también incluye modelos que incorporan dos quemadores en su diseño. En la figura 4.6 se muestran las diferentes partes que conforman la cocina:

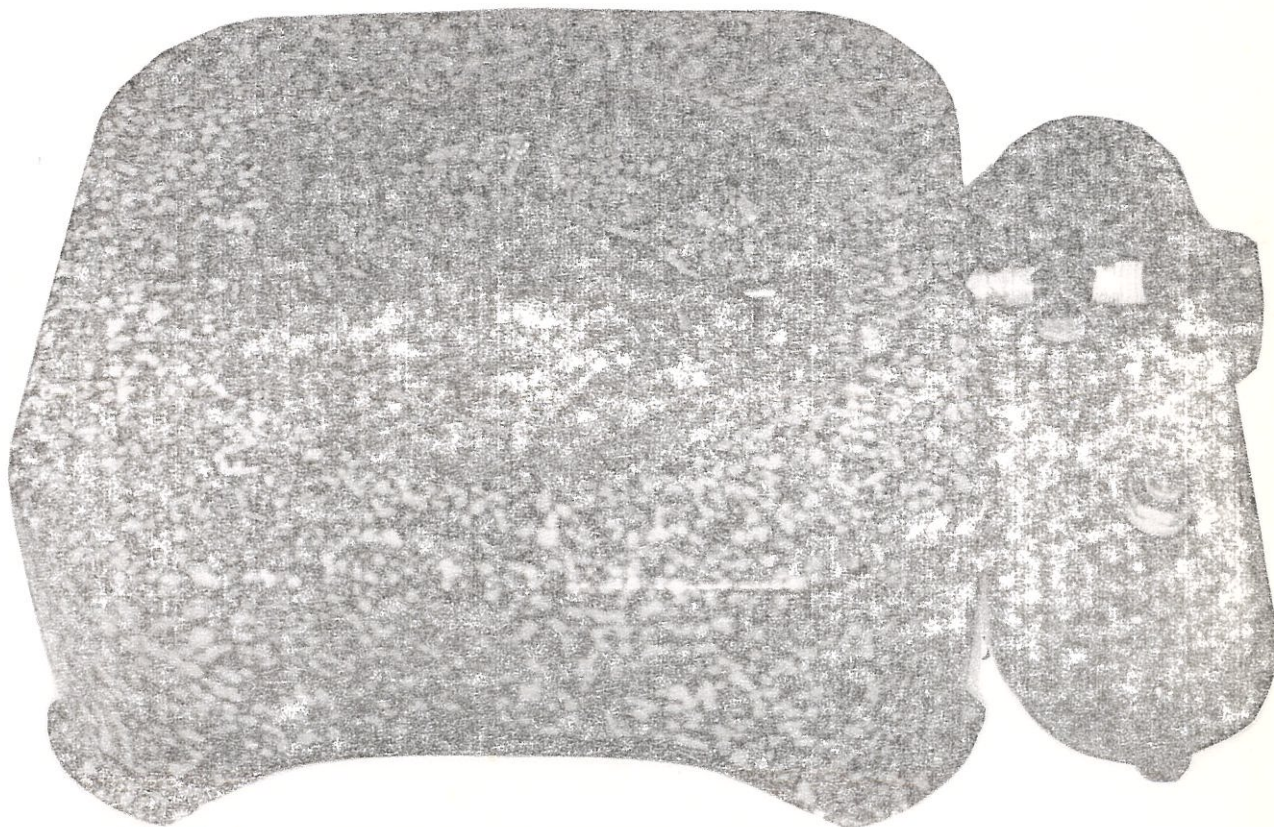


FIGURA 4.5.-LA COCINA SUPERIOR DE PRESION

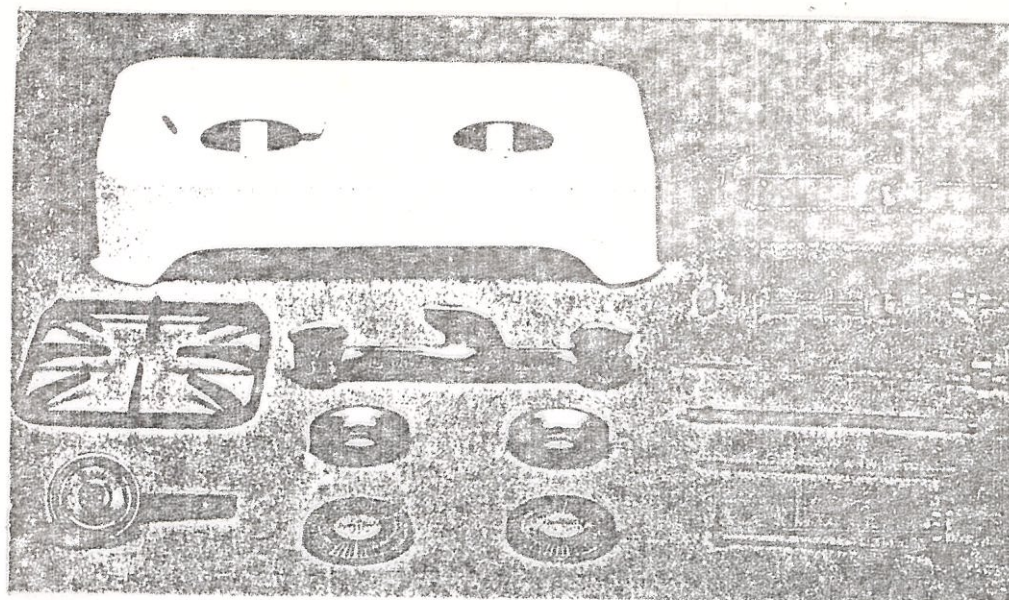


FIGURA 4.6 COCINA SUPERIOR: PARTES Y
PIEZAS

La figura 4.7, muestra un despiece del sistema de combustión de la cocina y su ubicación respecto al tanque. Los números en esa figura corresponden a cada una de sus partes que a continuación se detallan:

Tanque y bomba:

- 1) tanque de combustible
- 2) pistón de la bomba
- 3) bomba manual
- 4) tubo ascendente

Evaporador y conecciones:

- 5) válvula de control del flujo
- 6) arandela de fijación de la válvula
- ..de control de flujo (calibración de combustión)
- 7) tornillo de la aguja
- 8) eje de la aguja
- 9) punta guía de aguja
- 10) tornillo de fijación al tanque
- 11) espiral de alambre
- 12) tubo evaporador
- 13) difusor
- 14) válvula auxiliar

Cabeza del quemador:

- 15) base receptáculo del quemador
- 16) tubo del quemador
- 17) recipiente para alcohol
- 18) base de la cabeza del quemador
- 19) cabeza del quemador o esparta-llama

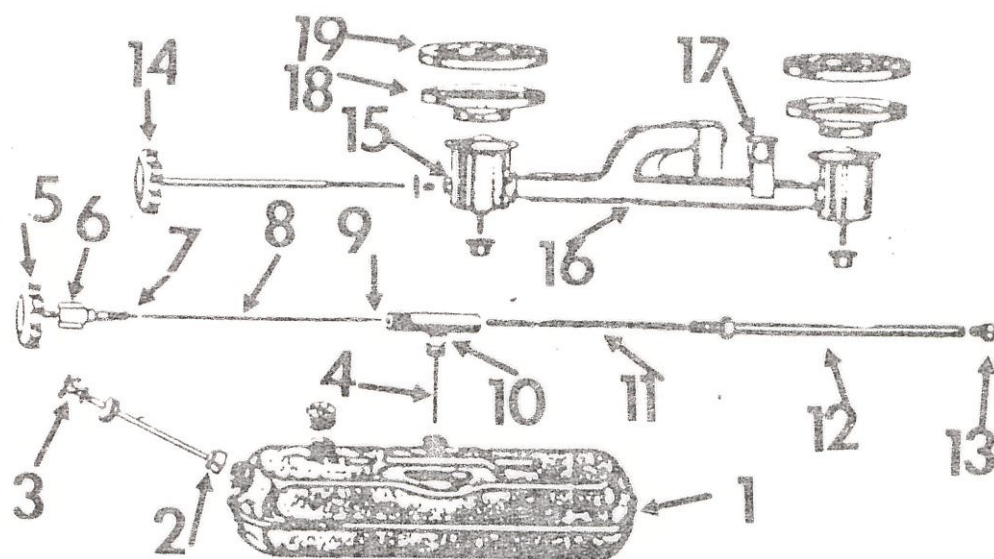


FIGURA 4.7 DESPIECE DEL SISTEMA DE COMBUSTION Y EL TANQUE EN LA COCINA SUPERIOR DE PRESION

EL SISTEMA DE COMBUSTION

La parte principal de la cocina en mención es el sistema de combustión, el cual está formado por un difusor, el tubo evaporador, un alambre espiral interior, y una válvula de control de flujo que tiene incorporada un eje de aguja muy largo que atraviesa el evaporador. Este eje tiene una aguja en su extremo y es envuelto por la espiral de alambre. La figura 4.8 muestra la

ubicación del sistema de combustión en operación.

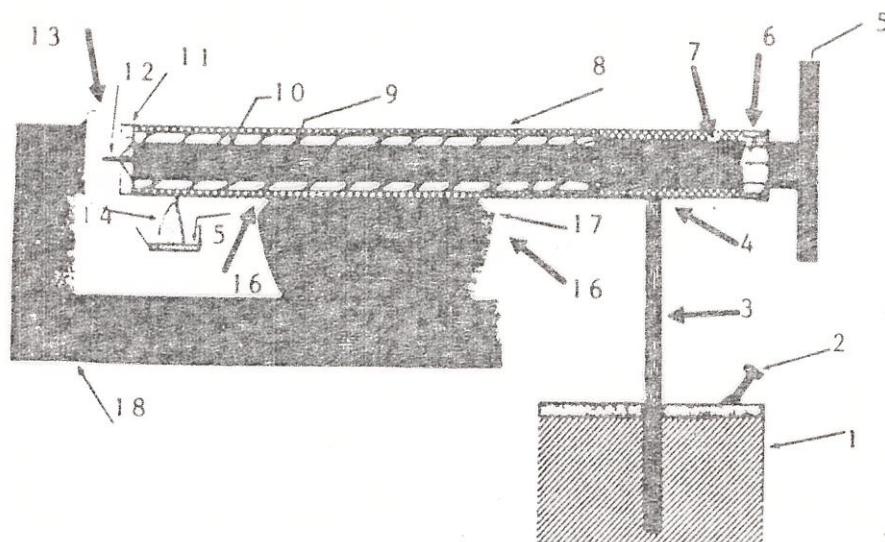
OPERACION DE LA COCINA

La llama producida por la combustión del alcohol eleva la temperatura del tubo evaporador. El kerex del tanque presurizado asciende hacia este tubo. Aquí el kerex es evaporado y atraviesa el difusor adquiriendo una alta velocidad y conformando un cono gaseoso o jet de vapor que fluye hacia el tubo quemador. Aire primario se introduce en ese espacio (Ver No 13 de la figura 4.8). Esa pre-mezcla de aire-combustible circula en el interior del tubo del quemador, en una trayectoria circular que homogeniza la mezcla.

Finalmente la mezcla homogénea atraviesa los orificios del esparta-llama, y puede ser encendida con un fósforo, produciendo una llama azul si las condiciones de operación son apropiadas. Aire secundario puede ingresar y mejorar la combustión. Esta y el proceso se mantiene mientras el kerex del tanque continúe fluyendo hacia el evaporador. Este último siempre mantiene su temperatura elevada, puesto que está ubicado sobre el esparta-llama, recibiendo directamente el calor de la llama.

El nivel de potencia deseado, es obtenido con el incremento de la presión a través de la inyección de aire con la bomba en el tanque de combustible, y la ubicación determinada de la válvula de control que fija el flujo requerido de combustible.

Los fabricantes de la cocina, sugieren que una operación apropiada de la cocineta se consigue con el uso del combustible recomendado por ellos, este es



- | | |
|--------------------------------|---------------------------------|
| 1) tanque de combustible | 2) bomba manual |
| 3) tubo ascendente | 4) tornillo fijación al tanque |
| 5) válvula de control de flujo | 6) arandela fijación de válvula |
| 7) tornillo de la aguja | 8) tubo evaporador |
| 9) espiral de alambre | 10) eje de la aguja |
| 11) difusor | 12) punta de aguja |
| 13) ingreso aire primario | 14) llama de alcohol al inicio |
| 15) recipiente para alcohol | 16) ingreso aire secundario |
| 17) esparta-llama | 18) tubo quemador |

FIGURA 4.8 DIAGRAMA ESQUEMATICO DE LA
OPERACION DEL SISTEMA DE
COMBUSTION

un producto llamado cocinol que es fabricado en Colombia y tiene las siguientes características:

CARACTERISTICASVALOR. PROMEDIO

azufre (% en masa)	0.03
densidad a 15.6°C kg/m ³	700
punto inicial de evaporación	38°C
punto final de evaporación	270°C

Las cocinas de kerex que se ilustran en el apéndice 4.1 y la mayoría de las cocinas de kerex tienen la particularidad de que el tubo ascendente, el evaporador y el difusor están localizados en una misma línea vertical, con la cabeza del quemador ubicado en la parte superior de ellos.

En la cocina colombiana, el tubo ascendente está ubicado en una dirección vertical, pero el evaporador y el difusor se ubican en una línea horizontal, con la cabeza del quemador sobre el evaporador, como se vió anteriormente. La forma del tubo del quemador permite que el jet combustible se homogenice correctamente con el aire primario. Otra característica propia de esta cocina es que en el interior del tubo evaporador está ubicado la aguja provista de un gran eje y una punta guía. Esto le permite realizar las siguiente funciones importantes:

(1) La cocina puede operar en un rango de potencias desde un mínimo determinado hasta un máximo.

(2) La cocina posee un mecanismo de auto-limpieza.

Mientras la válvula de control de flujo es operada la punta de la aguja que forma un solo sistema con dicha válvula, forma el jet de combustible gaseoso (cono) que combustiona con una potencia específica. Con la operación de la válvula de control, la punta de la aguja se desplaza en el interior del difusor desde el punto C hacia el punto D (mostrados en la figura 4.9) y vicever

sa; expulsando las suciedades o partículas de hollín incrustadas en el difusor. Esto le permite mantener un difusor limpio e impide obstrucciones debidas a la impureza del combustible.

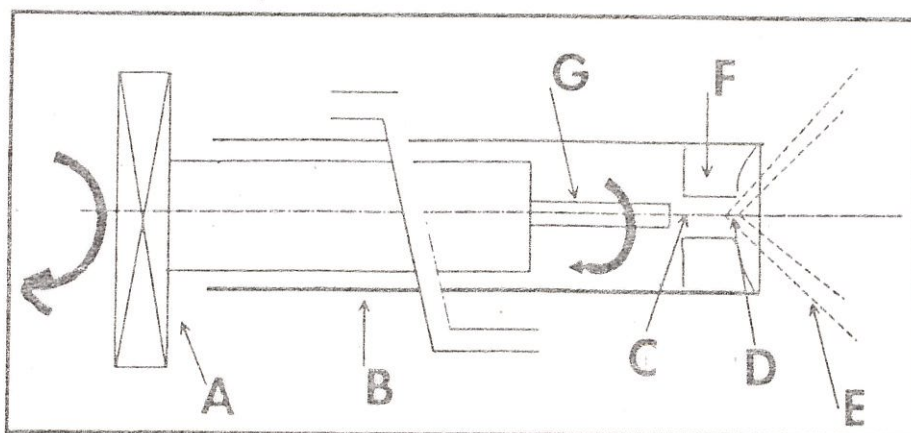


FIGURA 4.9

OPERACION DE LA VALVULA DE CONTROL Y LA PUNTA DE LA AGUJA EN LA COCINA COLOMBIANA. A: Válvula de control, B: tubo evaporador, C y D: límites de desplazamiento de la punta de aguja, G: punta de aguja F: difusor, E: jet de combustible gaseoso (cono).

En el capítulo siguiente, se presenta la parte experimental (II) realizada en esta cocina. Resultados de otras investigaciones se presentan en el apéndice 4.3, con el fin de realizar comparaciones y conclusiones.

CAPITULO 5

PARTE EXPERIMENTAL (II)

5.1 METODOLOGIA

Se planificó originalmente realizar 4 tipos de pruebas que se anotan a continuación: i)prueba de las características de la llama, ii)prueba de la potencia de la cocina, iii)ensayo de eficiencia y iv)Análisis de los gases de combustión.

Durante el transcurso de los ensayos, y debido a resultados no esperados, fué necesario realizar dos pruebas adicionales: la prueba de ruido de la combustión, y un procedimiento de encendido correcto de la cocina.

En la realización de las pruebas se utilizaron los procedimientos y metodología utilizados en el WSG, y que estan descritos en reportes disponibles en el CETE de la ESPOL. De todas maneras parte de esos procedimientos se describen en este reporte en cada una de las pruebas. Los ensayos de Agua hirviendo (EAH) descritos en la parte primera de este trabajo son utilizados en las pruebas de eficiencia.

INTRUMENTACION REQUERIDA

El material y equipo que se utilizó para la realización de las pruebas fueron: dos balanzas utilizadas para pesar el combustible, ollas y agua, un cronómetro, un termómetro para medir la temperatura del agua, un manómetro para medir la presión en el tanque de combustible, un equipo data acquisition (data logger) para registro y almacenamiento de los datos



(consumo de combustible, y gas análisis).

El manómetro utilizado fué de marca Wallace & Tiernan Gunzburg/Do de Alemania, tipo FA-145 (rango de medición: 0-400 kPa, y mínima lectura 0.5 kPa). Las balanzas utilizadas fueron de marca Sartorius Electronic Precision, tipo: 3826 MP8 y 8368 respectivamente. Ambas tenían las siguientes características:

Máxima medición: 30 kg

mínima lectura: 1 g.

De todas maneras la sensibilidad de estas balanzas no fué suficiente para registrar pequeños consumos de combustible en intervalos de tiempo reducidos, en el cálculo de la potencia instantánea.

El cronómetro utilizado era de marca Velona, con capacidad de medición hasta de 1/100 de segundo, sin embargo no era requerido tanta sensibilidad. Para la medición de la temperatura del agua se utilizaron termómetros de mercurio con rango de medición desde 0 a 110 °C y una mínima sensibilidad de 1° C.

Para registrar los consumos de combustible se midió la reducción del peso del sistema como se verá mas adelante. En esta situación la balanza se conectó al equipo de lectura y almacenamiento automático de datos (data acquisition unit) del tipo HP-3497 A controlado por un procesador HP-85 (ver figura 4.13); los datos fueron almacenados en un diskette 5 1/4 y procesados luego de realizados los experimentos en un computador personal IBM XT con un programa Lotus 123 para el cálculo y gráficos y el programa SLIDE 3 para mejorar la presentación de los gráficos, y el programa T3 para procesar las palabras y el levantamiento del texto.

5.2 PRUEBA DE ENCENDIDO DE LA COCINA

Antes de iniciar los ensayos, se tenía la siguiente información respecto del funcionamiento de la cocina:

- i) Un manual de uso elaborado por el fabricante,
- ii) Investigaciones anteriores realizadas en Africa, habían demostrado que la cocineta no operaba con kerex producido en Africa. Se comprobó con esto que el sistema tenía alta sensibilidad a las impurezas del combustible, y suciedades comunes del ambiente.
- iii) No existía información disponible sobre otras investigaciones de cocinas de modelos similares. Era un modelo nuevo que incorporaba un evaporador horizontal.

Como este trabajo fué realizado en la Universidad de Holanda, inevitablemente se tuvo que utilizar kerex producido en ese país. Se siguieron las instrucciones del fabricante para el encendido. Por razones no determinadas hasta ese momento, no se pudo lograr un encendido apropiado. Fué necesario realizar varios intentos, y diferentes pruebas que conduzcan a describir el fenómeno y corregirlo. Se elaboró finalmente un procedimiento para un encendido correcto.

Las pruebas de encendido se condujeron bajo diferentes condiciones de operación. Estas se describen a continuación:

- i) Presión inicial en el tanque: diferentes rangos situados entre 0 y 60 kPa.
- ii) La presión en el tanque se mantuvo constante, para lo cual se utilizó una fuente externa de presión (aire comprimido). También se realizaron pruebas sin control de la presión (no constante) y con diferente volumen de



BIBLIOTECA

combustible en el tanque.

iii) Pre-calentamiento del evaporador: se realizaron diferentes períodos de pre-calentamiento, mediante la combustión de diferentes volúmenes de alcohol: que expresado en unidades de peso de su masa fueron 0.5 g, 1.0 g, 1.5 g y 2 g respectivamente.

Varios intentos de encendido de la cocina fracasaron. Estos se describen a continuación:

i) Siguiendo las instrucciones de encendido del fabricante, la válvula de control de flujo fué abierta mediante una rotación de $4 \frac{1}{2}$ vueltas de la misma de la misma. Esto produjo que vapor de kerex escapara debajo de la cocina, y hacia el ambiente del cuarto (el típico olor penetrante del kerex fué puesto de manifiesto). Se pudo observar que en los orificios del esparta-llama existía un pequeño jet de kerex gaseoso, que no era suficiente como para encenderse. Una pequeña llama se sostenía en el difusor. Gotas de kerex líquido en combustión salían del difusor hacia el piso. algunas pruebas demostraron que esto sucedía incluso con la válvula de control de flujo totalmente cerrada.

Finalmente kerex líquido presurizado escapaba a través del difusor. Esto condujo a que la cocina entera ardiera en llamas. La válvula de control fué cerrada inmediatamente, y apagado el fuego.

ii) Se realizaron nuevos ensayos de encendido. La válvula de control fué abierta lentamente, sin mejores resultados. Luego se abrió rápidamente, y el resultado no mejoró.

iii) Las recomendaciones de los ensayos realizados en Africa fueron considerados. Esto condujo a la necesidad de controlar las impurezas y basuras en los conductos internos del sistema de combustión. Se realizó una limpieza total de la cocina, mediante el uso de aire comprimido

El orificio del difusor, el tubo evaporador con todas sus partes internas, el tubo del quemador y los orificios del esparta-llamas del mismo fueron desinstalados y se realizó una limpieza total.

Al realizar el encendido en estas condiciones, se pudo observar que una parte de kerex líquido y otra de vapor atravesaron los orificios del esparta-llamas, obteniéndose una combustión de llama estable de color amarillo, la cual se incrementaba en tamaño cuando se incrementaba el flujo de kerex mediante la rotación de la válvula de control. Durante esta operación algunas explosiones menores se escucharon y fueron observadas en el tubo del quemador en una región próxima al difusor y en una dirección inversa al flujo. La figura 4.10

muestra lo descrito. En algunos momentos dichas explosiones fueron escuchadas y observadas en el esparta-llamas.

Algunos resultados mostraron que una parte de kerex en forma líquida y otra en forma de vapor eran expelidos a través del difusor; y el tubo del quemador se inundaba de kerex el mismo que ardían en llamas largas de color amarillo que se sostenían en el esparta-llamas. En la figura 5.2 se muestra lo descrito.

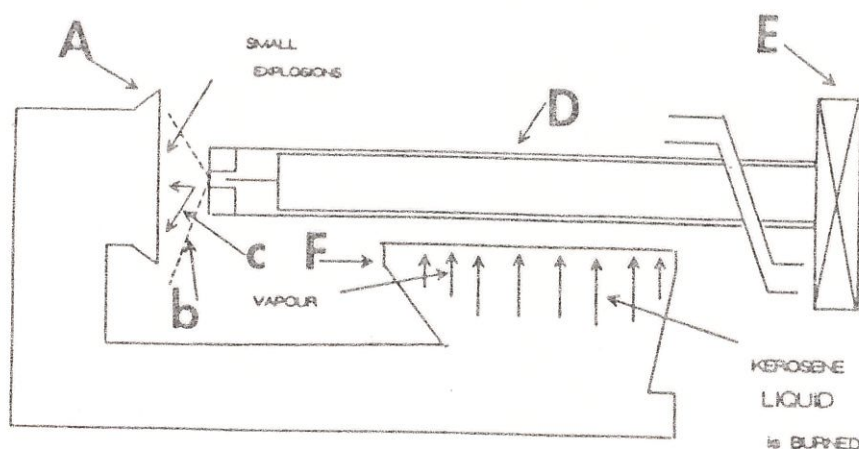


FIGURA 5.1 RESULTADOS DE UN ENCENDIDO INCORRECTO DE LA COCINA.

A: Tubo del quemador, b: jet gaseoso, c: kerex líquido, F: Cabeza del quemador o esparta-llamas, D: tubo evaporador, de flujo, E: válvula de control

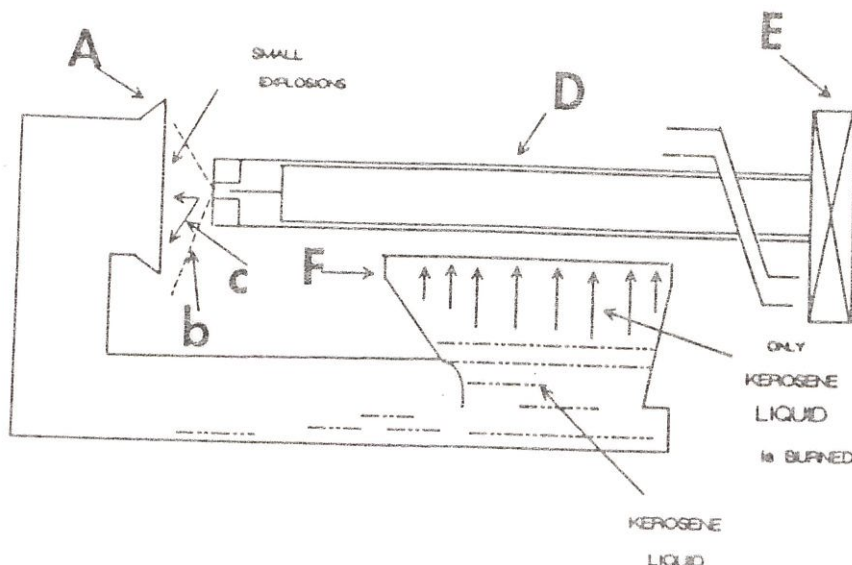


FIGURA 5.2 OTROS RESULTADOS DE UN
ENCENDIDO INCORRECTO DE LA
COCINA

Las letras indicadas corresponden a la misma nomenclatura utilizada en la figura 5.1.

iv) Durante el desarrollo de las pruebas anteriores, se pudo notar que la punta de la aguja, la misma que estaba originalmente ubicada fuera del difusor (cuando la posición de la válvula de control de flujo estaba totalmente cerrada) estaba rota. Fue necesario instalar una nueva aguja. Con este propósito todo el sistema de combustión y sus partes se desmontaron. Después de re-ensamblar el sistema, se pudo notar que esta re-instalación determinó que la válvula de control presentara diferentes flujos para las mismas posiciones anteriores de la misma. Así por ejemplo una rotación de 4 vueltas era suficiente para obtener en el esparta-llamas una cantidad de vapor de kerex suficiente para encendido correcto; mientras que con la instalación original, no se conseguía ningún flujo ni con 5 rotaciones de la válvula.

Este nuevo ensamble, permitió obtener una llama azul estable. Todos los nuevos ensayos de encendido, dieron buenos resultados.

Con estos resultados y la experiencia de los fracasos, se procedió a elaborar un procedimiento para realizar un encendido correcto de la cocina. Mas adelante con los nuevos ensayos que se realizaron, se verá que esta cocina en las condiciones que originalmente fué entregada al WSG, tenía un ensamble incorrecto.

PROCEDIMIENTO DE ENCENDIDO

Una buena operación de encendido requiere que los 3 factores siguientes sean considerados:

i) La punta de la aguja debe estar en buenas condiciones. Mas adelante se detallará este aspecto.

ii) El tubo evaporador debe tener una elevada temperatura de pre-calentamiento producida por la llama de alcohol, esto asegurará una apropiada evaporación del combustible. Si esta temperatura no es suficientemente elevada, parte del kerex no evaporará y puede inundar las parte inferiores de la cocina, con peligro de causar incendios.

iii) La presión en el tanque debe ser suficiente como pra producir el ascenso del kerex hacia el tubo evaporador. Para encender la cocina, una prsión en el tanque de 4 a 6 kPa sera suficiente (El número de bombeos, dependerá del nivel del kerex en el tanque; se requieren 3 bombeos aproximadamente en el caso de que el tanque esté completamente lleno)

Los pasos que se deben dar para lograr un encendido correcto son los siguientes:

- (i) Asegúrese de que existe cantidad suficiente de kerez en el tanque. La válvula del tanque, y de control del flujo deben estar bien cerradas. La cocina y sus partes deben estar totalmente secas, sin tener residuos de kerez de operaciones anteriores. Llene el recipiente de alcohol.
- (ii) Encienda el alcohol. Bombear el tanque para obtener una presión apropiada.
- (iii) Si la cocina está ubicada en el exterior, con influencia del viento, entonces repita el paso anterior. Luego antes de que el alcohol se consuma completamente, gire la válvula de control de flujo lentamente. Luego de varias rotaciones, el jet de vapor de kerez escapará por los orificios del esparta-llamas. Esta cantidad de vapor de kerez será suficiente para que alcance a la llama del alcohol remanente, esto encenderá completamente todo el jet. En caso de no existir llama del alcohol, debe encender un fósforo, y acercarlo al jet.
- (iv) El consumo de combustible producirá un descenso de la presión en el tanque, y por lo tanto la potencia del fuego también se reduce y/o puede la llama cambiar de color. Para operar la cocina a la potencia requerida, se debe incrementar la presión en el tanque, y permitir con la rotación de la válvula de control de flujo, que la cantidad apropiada de kerez circule, y se obtenga una llama azul, y estable. Pruebas posteriores, determinaron que la máxima potencia puede mantenerse por un período de 20 minutos sin descenso considerable de la presión en el tanque. Al final de este período se requiere bombear el tanque.(ver figura 4.17)
- v) Terminada la sesión de cocinado, para apagar el fuego de la hornilla, se debe rotar la válvula en sentido e las manecillas del reloj, y cerrarla completamente. La válvula del tanque debe ser abierta completamente, para permitir que el aire escape, y reducir la presión. Esto impedirá que kerez fluya del tanque hacia el evaporador y humedezca la cocina.

En el encendido de la cocina debe considerar que el viento puede impedir un precalentamiento apropiado. Si una tarea de encendido no logra su propósito debe asegurarse de que el quemador, y las partes internas de la cocina estén bien secas.



Finalmente la cocina requiere de un buen mantenimiento y limpieza. Las impurezas del combustible, el hollín y las basuras comunes pueden dificultar la buena operación. Limpie completamente el orificio del difusor, y las rendijas del esparta-llamas, y todo el hollín interior. Repita esta limpieza dos veces por mes. El tanque debe ser evacuado y lavarse con kerex una vez al mes. Debe aplicarse una pequeña cantidad de grasa en el eje de la bomba. Otras recomendaciones se dan en las conclusiones de los siguientes ensayos.

5.3 CARACTERISTICAS DE LA LLAMA

Antes de medir la potencia, eficiencia y análisis de los gases de combustión de la cocina, era necesario conocer el funcionamiento general de la misma, para las posibles condiciones de operación, es decir diferentes combinaciones de presión en el tanque, y posición de la válvula de control (diferentes flujos).

Las pruebas se realizaron con el tanque a presión constante, y variable, de la siguiente manera:

- i) Se utilizó una fuente externa de presión (aire comprimido) incorporada al manómetro., y
- ii) En otro grupo de pruebas se utilizó la bomba manual de la cocina, con diferentes volúmenes de combustible. Igual que en el caso anterior, el manómetro permitía medir la presión instantánea.

Utilizando el resultado del primer grupo de pruebas, se pudo obtener un gráfico de las características generales de combustión (es decir color de la

llama, potencia, etc.). Al utilizar la fuente externa de presión, el consumo de combustible o variación de volumen no influía en el resultado. Este gráfico tenía la utilidad que permitía conocer el funcionamiento de la cocina para cualquier condición de operación real (sin uso de fuente externa de presión) ubicando los valores respectivos en las coordenadas del mismo.

Cuando la cocina ya estaba encendida, se procedía a realizar la prueba operando la cocina a las diferentes combinaciones de presión y de flujo. Para cada combinación, se seguía el siguiente procedimiento:

- i) Se anotaban los valores de flujo y de presión. El flujo era especificado en términos de la posición de la válvula de control, es decir el número de rotaciones.
- ii) Antes de observar las características de la llama, se debía esperar un período en el cual la llama se estabilizaba o que presentaba un comportamiento constante durante el transcurso del tiempo. Las características de la llama, en esta parte de la investigación involucraba lo siguiente:
 - a) Color de la llama: amarillo, azul, o combinación de ellos
 - b) Estabilidad de la llama
 - c) Localización respecto al esparta-llamas
 - d) La existencia o no de llama individual en cada orificio del esparta-llama
 - e) Si existía o no escape de vapor de kerex sin quemar.

Todas esas características fueron estimadas o concretadas con un **análisis visual**.

- iii) Cuando la llama tenía características similares para diferentes

condiciones de operación, se establecían rangos de comportamiento similar conocidos como **regiones**, las cuales fueron ubicadas en el gráfico de las características de la llama, en el cual en las coordenadas se ha ubicado la presión, y el flujo. La figura 5.3 muestra los resultados:

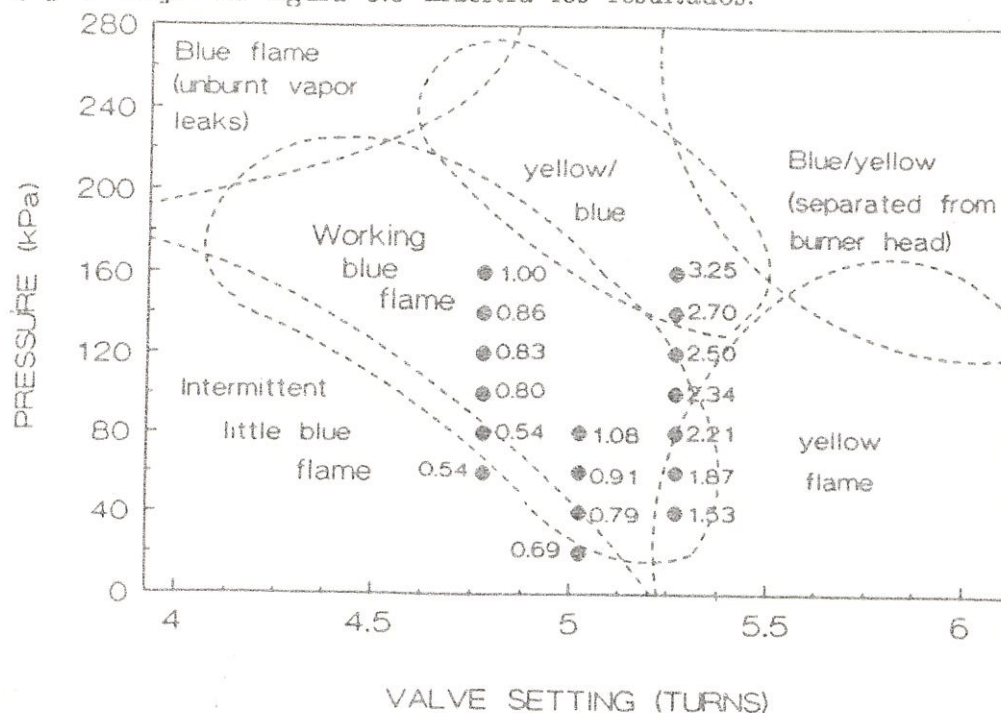


FIGURA 5.3 CARACTERÍSTICAS DE LA LLAMA.
Los números en la figura representan el valor de la potencia obtenidas en esos puntos de condiciones específicas de operación

Los resultados de la figura anterior deben ser considerados como referenciales de aproximación, puesto que la prueba se realizó en una sola cocina determinada, sin olla en su parrilla, y porque los experimentos posteriores revelaron que la cocina en ensayo estaba incorrectamente ensamblada, es decir no en las condiciones que aparentemente entrega el fabricante. A pesar de estas limitaciones, las siguientes conclusiones se pueden obtener de dicha figura:



1) El gráfico muestra seis regiones específicas determinadas por las líneas entre-cortadas. Cada región indica condiciones de operación de características similares. Las regiones no deben indicar definición precisa, puesto que se basa en datos estimados por apreciación visual. Los límites de las regiones no son fijas, pueden desplazarse, dependiendo de la combinación de características de llama.

2) La región "working blue flame" es la región de llama azul estable, que es la apropiada para realizar las actividades de cocción. Esta región es una de las mas importantes referencias que deben ser consideradas para mejorar el diseño.

3) La cocina puede operar con llama azul y en rango de potencia que va desde los 0.5 kw hasta los 3.25 kw. Sin embargo en este límite superior, la llama tiende a hacerse amarilla como el gráfico lo indica.

4) Otro factor importante que se obtiene para considerarse en el mejoramiento del diseño es la directa dependencia que existe entre la potencia y el flujo. Puede verse en el gráfico que con una pequeña variación de flujo (rotación de la válvula) hay un notable incremento de la potencia, mientras que por otro lado se vé que grandes incrementos de presión son necesarios para elevarla.

El punto 4 está en concordancia con la siguiente fórmula (Ref. 4):

$$P = C \cdot A \cdot \sqrt{dp} \quad (5.1)$$

En dónde P es la potencia (kw), C es una constante, A es el area de flujo

(m^2) y dp es la variación de la presión en el tanque (Pa). Se vé que la potencia es proporcional a la raíz cuadrada de la presión, y directamente proporcional al area de flujo. Y como se dijo se verifica en la figura anterior: Asi se tiene que si la cocina operando a 0.54 kw de potencia y a una presión constante de 80 kPa, puede incrementar su potencia hasta 2.21 kW con solo rotar media vuelta a la válvula de control a la misma presión; pero para incrementar a 1 kW a un mismo nivel de flujo, es necesario un aumento de 160 kPa en la presión del tanque.

5.4 PRUEBA DE LA POTENCIA

A traves de estas pruebas se observó el rendimiento de la cocina para diferentes condiciones de operación. Se determinó la rapidez máxima y mínima de consumo de combustible. Para la realización de las pruebas se utilizó la metodología establecida en las referencias 4 y 14.

Con el fin de medir el consumo de combustible (disminución del peso de combustible) las pruebas se realizaron con la cocina ubicada sobre la balanza. Esta registraba dicha disminución debido al consumo de combustible, en función del tiempo. Estos datos permitían calcular la potencia de la cocina.

En la figura 5.4 se presenta un esquema de la instalación de los equipos para las pruebas.

Durante la ejecución de las pruebas, los datos registrados por el data logger son almacenados en el computador. El registro de consumo de masa fué fijado

fuentes externa de presión) en la cual la presión en el tanque disminuiría se realizaron cálculos teóricos.

Para la realización de cada prueba, los datos iniciales se registraban en el computador, con períodos de prueba de 15 minutos. Con todo el equipo experimental preparado, se procedía a encender la cocina, y se la operaba a condiciones específicas de presión y de flujo. Se esperaba un tiempo necesario de calentamiento. Cuando las llamas presentaban una condición estable, se iniciaba la prueba y registro de datos, presionando la tecla de inicio en el tablero del computador. En algún momento en que el manómetro registraba cierta variación mínima de presión en el tanque, se reajustaba nuevamente con el control de flujo de aire de la fuente externa.

La potencia se calculó con la siguiente ecuación (Ref. 14):

$$P = B * V_m / V_t \quad (5.2)$$

En donde P = Potencia (kW)

V_m = El consumo de combustible en kg durante:

V_t = el intervalo de tiempo expresado en segundos.

y B = Valor calorífico bajo del kerex ($B = 43530 \text{ Kj/kg}$)

Las potencias obtenidas para varias condiciones de flujo y de presión, se muestran en la tabla 5.1. Estos resultados fueron previamente ubicados en el gráfico de las características de la llama (Figura 5.3).

En la figura 5.5 se ha graficado la potencia en función de la presión en el tanque, para tres condiciones diferentes de flujo de combustible expresadas en

términos de la rotación de la llave de control de flujo.

De la figura 5.5 puede observarse lo siguiente:

(i) Las curvas indican que estos resultados son similares a los determinados en las pruebas de la referencia 3, en la cual se concluye que las curvas indican la variación del diámetro del difusor utilizado. En este estudio aunque se utilizó una sola medida de difusor para todas las pruebas, de todas maneras las diferentes curvas indican las variaciones de flujo de combustible permitido por la posición de la aguja en el difusor y determinado por la rotación de la válvula de control.

(ii) La relación de incremento de la potencia para las diferentes condiciones de flujo se mantiene en todos los niveles de presión.

En la figura 4.14, los símbolos representan los datos experimentales, las curvas que los unen han sido obtenidas por el computador buscando la mejor curva de aproximación. Los resultados hasta este punto, no demuestran que la potencia es proporcional a la raíz cuadrada de la presión como lo indica la ecuación 5.1. Se presumió que se requerían mas datos experimentales. Para confirmar esta proporcionalidad, se utilizó otro método de razonamiento, expuesto a continuación:

TABLA 5.1

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE POTENCIA PARA DIFERENTES CONDICIONES DE FLUJO Y DE PRESION

Combustible: kerex

Volumen total en el tanque: 1050.3 cm³Densidad del combustible (20° C): 790 kg/ m³

Valve setting: 4 turns + 270°			
Ex. Nr.	Fuel Filling (%)	Constant pressure (kPa)	Power output (kW)
1	80	60	0.54
2	77	80	0.54
3	75	100	0.80
4	73	120	0.83
5	71	140	0.86

Valve setting: 5 turns			
Ex. Nr.	Fuel Filling (%)	Constant pressure (kPa)	Power output (kW)
6	59	20	0.69
7	64	40	0.79
8	80	60	0.91
9	77	80	1.08

Valve setting: 5 turns + 90°			
EX. Nr.	Fuel Filling (%)	Constant pressure (kPa)	Power output (kW)
10	65	20	1.07
11	50	40	1.53
12	40	60	1.87
13	28	80	2.21
14	69	100	2.34
15	60	120	2.50
16	50	140	2.70
17	39	160	3.25

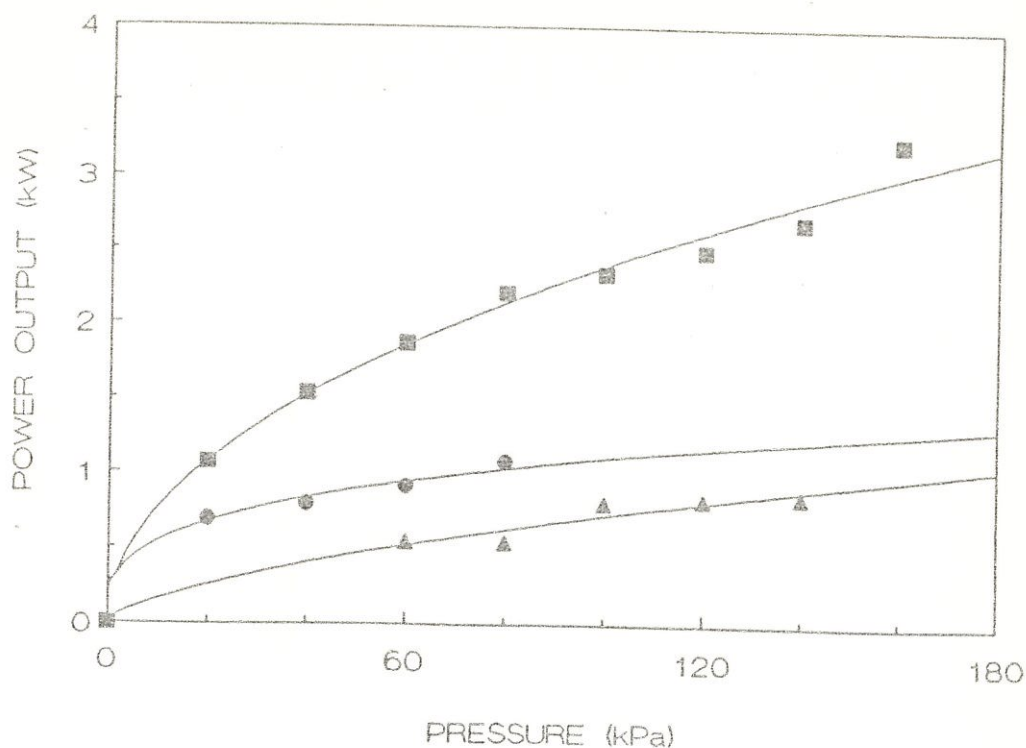


FIGURA 5.5 POTENCIA EXPRESADA EN FUNCION DE LA PRESION EN EL TANQUE PARA TRES CONDICIONES DE FLUJO.
 $\Delta = 4 \frac{3}{4}$ rotaciones de la válvula de control de flujo

o = 5 rotaciones, y
 $\square = 5 \frac{1}{4}$ rotaciones.



BIBLIOTECA

Se graficaron los diferentes valores de la potencia en función de la raíz cuadrada del correspondiente valor de presión, para las tres condiciones de flujo. El resultado se lo presenta en la figura 5.6 siguiente:

$$\text{POTENCIA} = \text{CA} (\text{presión})^{1/2}$$

$$\text{CA}(\Delta) = 0.07 \qquad \text{CA}(\circ) = 0.12 \qquad \text{CA}(\square) = 0.24$$

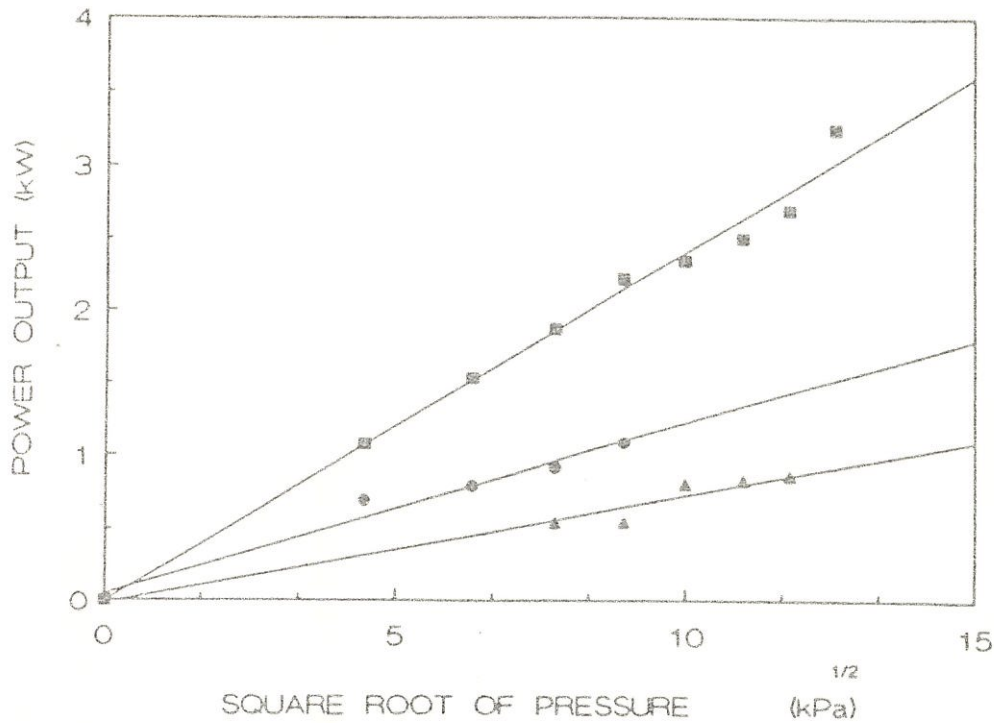


FIGURA 5.6

POTENCIA GRAFICADA EN FUNCION DE LA
RAIZ CUADRADA DE LA PRESION EN EL
TANQUE PARA TRES CONDICIONES DE
FLUJO.

$\Delta = 4\frac{3}{4}$ rotaciones de la válvula de control.

$\circ = 5$ rotaciones, y $\square = 5\frac{1}{4}$ rotaciones

La figura anterior verifica que la potencia es proporcional a la raíz cuadrada de la presión. Esta proporcionalidad es expresada por los valores de CA indicados en la ecuación 5.1, e indicados previamente para cada flujo en el caso de la figura 5.6. Estos valores son justamente los correspondientes a la pendiente de esas líneas rectas mostradas en esa figura. Es sobreentendido que

los valores de CA se incrementan con los valores de flujo.

Los datos de volúmen de combustible expresado en porcentaje del tanque lleno, no tienen ninguna influencia en el resultado puesto que se conserva la presión constante con el uso de una fuente externa de presión. Para un caso real, la presión disminuiría y esto produciría una disminución de la potencia. Esta disminución pudo ser estimada utilizando cálculos teóricos. Una prueba adicional se realizó con el fin de comprobar estos resultados.

CALCULO DE LA DISMINUCION DE LA POTENCIA:

En la realización de las pruebas, el registro de combustible consumido se lo hace para intervalos de $\Delta t = 60$ segundos. Se asume que durante este intervalo la potencia permanece constante. Para determinar el volumen de combustible consumido V_f , se divide la masa para su densidad. Al inicio de la prueba, la presión en el tanque es p_1 . La presión p_2 al final del intervalo Δt se calcula utilizando la ley de Boyle:

$$p_2 = \frac{p_1 V_i}{(V_i + V_f)} \quad (5.3)$$

En donde V_i es el volumen inicial de aire contenido en el tanque de combustible.

La potencia desarrollada durante cada intervalo se calcula utilizando la ecuación 5.1, en donde el valor de CA es estimado utilizando esa ecuación y las condiciones iniciales. Para el nuevo intervalo de tiempo la cocina operando

a la nueva potencia quemará una cantidad diferente de combustible. Este procedimiento de cálculo se lo repite para los 56 intervalos de tiempo. La cantidad teórica total de combustible consumido se la estima de la suma de combustible consumido durante cada intervalo. (ver figura 5.7)

PRUEBA DE REDUCCION DE LA POTENCIA

Con el fin de verificar los cálculos teóricos se procedió a realizar una prueba operando la cocina a una potencia inicial de 2.70 kW, una presión inicial en el tanque de 120 kPa (obtenida por medio de inyección de aire con la bomba de la cocina) y 490 g de combustible en el tanque. Los resultados teóricos y experimentales se muestran en la figura 5.7:

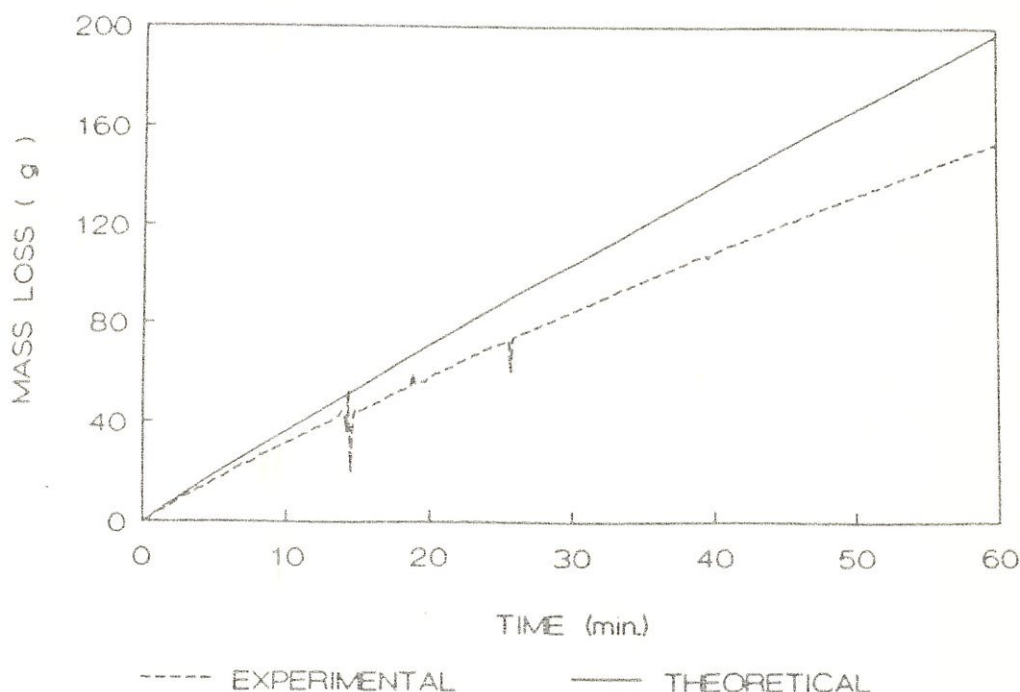


FIGURA 5.7

CONSUMO DE COMBUSTIBLE DURANTE 60 MINUTOS EN UNA PRUEBA EXPERIMENTAL Y UNA ESTIMACION TEORICA

El diferente comportamiento de las dos líneas del gráfico anterior puede ser explicado por las siguientes causas:

i) Durante la realización de la prueba aparentemente se encontraron pequeñas fugas de aire en las tuberías que comunicaban el tanque y el manómetro.

ii) Cierta error puede existir cuando se asume que la potencia permanece constante durante cada intervalo de 60 segundos.

En la figura 5.7 se puede observar que la cocina al operar durante 20 minutos (datos experimentales) puede consumir 17 % menos de combustible que el consumo pronosticado por cálculos teóricos. Con los cálculos teóricos se ha realizado el gráfico de la potencia teórica en la figura 5.8.

La figura 5.8 permite estimar la potencia actual para cualquier periodo de tiempo de combustión. Con el fin de comparar las características de esta cocina se incluye la figura 5.9 que muestra los datos experimentales de la potencia alcanzada por las cocinas de kerex de presión Primus y Annby durante cierto período de combustión (Referencia 14).

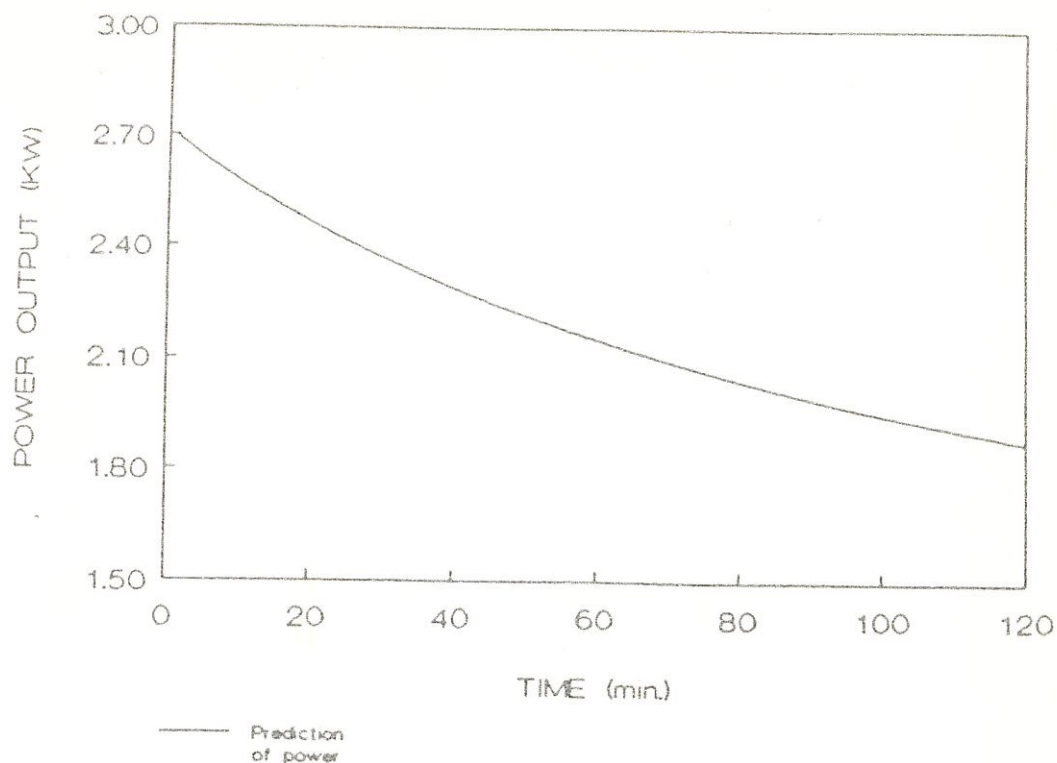


FIGURA 5.8

PRONOSTICO DEL COMPORTAMIENTO DE LA VARIACION DE LA POTENCIA EN FUNCION DEL TIEMPO EN UNA OPERACION DE LA COCINA UNICAMENTE CON INYECCION INICIAL CON SU BOMBA EN EL TANQUE.

Las figuras 5.8 y 5.9 muestran que la potencia en las cocinas de kerex de presión disminuye. La referencia anterior indica que esto ocurre debido a la disminución de presión en el tanque lo cual resulta en una disminución de alimentación de combustible. De las figuras anteriores se ha obtenido la tabla 5.2. Para la figura 5.8 un período de 20 minutos debe considerarse. En estas condiciones una operación real mostrará una potencia de 17% menor que la presentada por esta figura hipotética.

En la tabla 5.2 se muestra la reducción de la potencia para tres cocinas de presión durante una operación de 20 minutos:

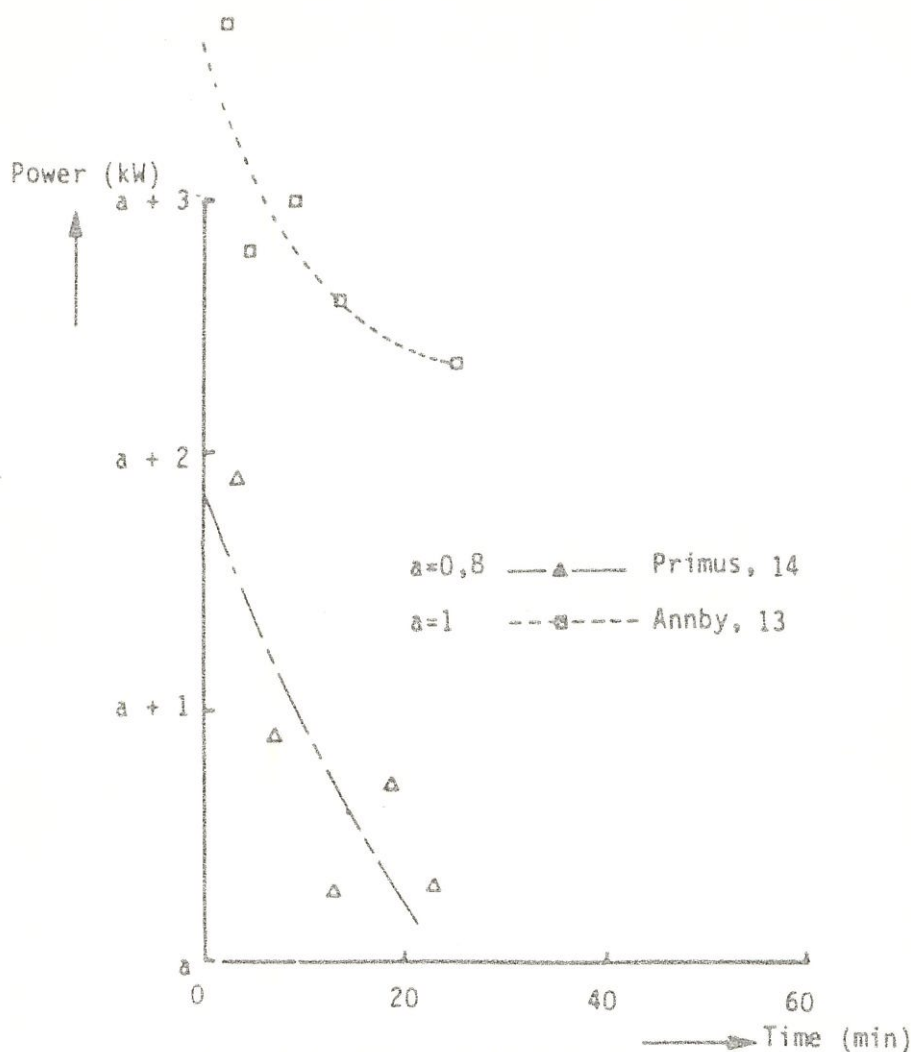


Fig. 6.1. Power variation as a function of time.

FIGURA 5.9

VARIACION DE LA POTENCIA EN FUNCION DEL TIEMPO, PARA LAS COCINAS PRIMUS Y ANNBY

De acuerdo a la tabla 5.2, para mantener la cocina colombiana operando sobre los 2 kW de potencia, esta debe ser bombeada cada 20 minutos. De todas maneras la figura 5.8 indica que a niveles de baja potencia, la necesidad de bombear decrece es decir el intervalo de tiempo que se mantiene

PRESSURE STOVE MODEL	INITIAL POWER (kW)	FINAL POWER After 20 mi (kW)	POWER DROP in 20 min (kW)	POWER DROP in % of Start
ANNBY	4.60	3.40	1.20	26
PRIMUS	2.60	0.90	1.70	65
COLOMBIAN	2.70	2.00	0.70	26

TABLA 5.2

REDUCCION DE LA POTENCIA DURANTE LA
OPERACION DE 20 MINUTOS DE TRES
COCINAS A PRESION

la presión se incrementa.

La tabla 5.2 indica además que las cocinas colombiana y Annby presentan la misma reducción de la potencia, si esta es expresada en términos del porcentaje de la potencia inicial. Desde este punto de vista, la cocina Primus presenta la peor condición.



En el estudio experimental de una cocineta, otro factor importante que debe ser considerado es el ahorro de combustible particularmente en las tareas de cocinado en las cuales el período de mantener el agua en ebullición (potencia baja) es el determinante primordial de ahorro. Esto está representado por el radio P_{\max}/P_{\min} (Referencia 14). Mientras mayor es este radio, mayor es la economía. De la tabla 5.1, se tienen que:

$$P_{\max} = 3.25 \text{ kW, y}$$

$$P_{\min} = 0.54 \text{ kW}$$

Por tanto el radio será igual a seis. La referencia 14 indica que las cocinas cuyos radios sean superior a cuatro presentan características aceptables de

economía. Pero por otro lado es importante considerar que si P_{\min} es tan bajo que no permite mantener el agua en ebullición, entonces el resultado de una reducción exagerada de P_{\min} no conduce a un cocinado eficiente.

Hasta este punto, se debe tomar en cuenta lo siguiente:

i) El ratio P_{\max}/P_{\min} debe ser calculado con datos de pruebas reales de cocinado, es decir que la olla debe estar ubicada en la cocina, como en el caso de las pruebas de eficiencia porque el valor de la potencia máxima puede variar como sucede en las experiencias indicadas en la referencia 14 y porque la potencia de la cocina para un cocinado real está dada por la combinación olla-cocina.

ii) Como se señaló previamente, la cocina en estudio estaba originalmente ensamblada en forma incorrecta. Luego de efectuar una limpieza y re-ensamblar nuevamente la cocina podía operar a 5.98 kW como se verá en la prueba de eficiencia. Pero al ubicar una olla de mayor diámetro en la cocina esta potencia debió ser reducida con el fin de eliminar una inconveniente operación. Si se utiliza una potencia máxima de 5.98 kW (resultado de una operación de la cocina sin olla en la parrilla) el ratio P_{\max}/P_{\min} sería igual a 11.07, el cual no es un indicativo correcto. Por esto se debe considerar una potencia de 3.25 kW como máximo, para el cálculo de ese ratio.

5.5 ENSAYO DE EFICIENCIA

Para la realización de esta prueba se utilizó el conocido método del agua hirviendo. Este se describe en la referencia 13. El tiempo de duración de la prueba es una hora, o hasta que cuatro ollas que contengan la misma cantidad de agua puedan llegar a ebullición (Una vez que la primera olla llegaba a este estado, se ubicaba la segunda con el agua fría). De acuerdo a la referencia anterior este procedimiento reduce el tamaño del error al realizar las mediciones.

En algunos casos solo se procedió a hervir una sola olla, pero se la mantuvo en ebullición por espacio de 20 a 30 minutos. En la selección del tamaño de la olla como se verá mas adelante, no fué posible aplicar la norma recomendada por la referencia utilizada, debido a lo siguiente:

- i) De acuerdo a la norma, potencias elevadas requieren tamaños de ollas grandes. Pero para el caso de la cocina colombiana, al utilizar esas ollas, se producía una operación inconveniente (formación de llamas amarillas y la emisión de ruido).
- ii) Mas que observar la norma recomendada, se debía conservar las costumbres ecuatorianas, que involucra el uso de ollas de tamaños diferentes a la normas de las pruebas.

La instalación de los equipos de prueba fué esquematizada en la figura 5.4. Luego de poner los equipos a punto, la cocina debía ser encendida como en las pruebas anteriores, pero en esta ocasión una olla con agua debía ser colgada sobre la cocina. Con el termómetro de mercurio se medía la

temperatura del agua. Para el cálculo de la eficiencia, se utilizó la fórmula tradicional, a saber:

$$\eta = \frac{M_w C_p (T_b - T_i) + M_e L}{M_f B_f} 100 \quad (5.4)$$

En donde η es la eficiencia (%), M_w es la cantidad de agua inicial (kg), C_p es el calor específico del agua (4186 kJ/ kg K), T_b es la temperatura de ebullición del agua (K), T_i es la temperatura inicial del agua (K), M_e es la cantidad de agua evaporada (kg), L es el calor latente de evaporación (2257 kJ/kg), M_f es la cantidad de combustible consumido (kg) y B_f es el valor calorífico bajo del combustible (kJ/kg).

El resultado de estas pruebas se ha anotado en la tabla 5.3.

Si se comparan las tablas 5.1 y 5.3, se notará que las potencias registradas en la pruebas de eficiencia son mas altas que las de las pruebas de potencia, aunque las condiciones de operación aparentemente fueron las mismas. Esto se debió a que la limpieza total realizada del sistema y el re-ensamble del mismo, produjo una mayor area de flujo para una misma rotación de la válvula de control. Por otro lado se debe notar que las pruebas de eficiencia se realizaron utilizando la máxima potencia obtenida en la cocina.

Al ubicar una olla de 24 cm de diámetro en la cocina operando a 5.98 kW de potencia, las llamas permanecieron azules y estables, aunque al repetir algunas de estas pruebas no se obtuvo el mismo resultado. La eficiencia

<i>Exp. Nr.</i>	<i>Pan diameter (cm)</i>	<i>Power output (kW)</i>	<i>Initial water (kg)</i>	<i>Time to boiling (min/kg)</i>	<i>efficiency</i>
1	24	5.98	3.8	2.1	49.5
2	24	5.05	3.8	2.3	49.6
3	24	3.82	4	2.75	54.8
4	24	3.12	3.9	3.4	54.8
5	28	4.30	5.8	2.3	59.4
6	28	3.73	5.8	3.2	50.9
7	28	3.12	6.5	3.1	62.1

TABLA 5.3

RESULTADOS DE PRUEBA DE EFICIENCIA

En la prueba Nr 6, la distancia entre la base de la olla y el espartallama es 66 mm. En las otras pruebas esta distancia es de 48 mm.

registrada fué de 49.5 %. A este mismo nivel de potencia, con una olla de 28 cm de diámetro ubicada en la cocina, las llamas cambiaban a color amarillo y se emitía un ruido de alta frecuencia. Con el fin de obtener nuevamente llamas azules, se debió reducir la potencia, esto se consiguió a 3.12 kW. En este nivel la eficiencia registrada fué de 62.1 %. Con el fin de evitar el ruido producido al usar olla de diámetro 28 cm, se debió incrementar la distancia desde la base de la olla al espartallamas. La distancia normal de 48 mm se incrementó a 66 mm. En este arreglo y una potencia de 3.7 kW dió como resultado que la emisión del ruido levemente

disminuyó. Mientras tanto la eficiencia se redujo en un 10 % y debido a la separación olla y quemador, las llamas perdieron estabilidad debido a los movimientos acentuados del aire (viento).

A continuación se presentan observaciones adicionales respecto de la tabla 5.3:

i) Al considerar pruebas en las cuales se mantiene constante el tamaño de la olla, y la distancia de la misma al quemador, en estas circunstancias una reducción de la potencia produce un incremento de la eficiencia.

ii) Las pruebas Nr 4 y 7, indican que la eficiencia se incrementa al utilizar una olla de mayor diámetro.

iii) Aunque existen un diferente nivel de potencia, las pruebas Nr 6 y 7 indican que la eficiencia se reduce cuando se incrementa la distancia de la olla al quemador.

Las observaciones anteriores ii) y iii) están en armonía con resultados de otros estudios realizados en el grupo WSG. Así se tiene que la referencia 4.a coincide con el punto i), aunque la referencia 14 discrepa en este sentido y concluye que la cocina de marca Hock muestra una reducción monòtona de su eficiencia conforme la potencia disminuye. En esta discrepancia se debe considerar que esta cocina no es de presión.

5.6 ENSAYOS DEL RUIDO DE LA COMBUSTION

Se había indicado anteriormente que en la realización de las pruebas de eficiencia, la combinación de una olla de tamaño grande y la cocina operando a elevada potencia, emitía un ruido inesperado muy inconveniente. Niveles de potencia superiores a 5 kW y ollas de 28 cm de diámetro ubicadas en la parrilla original de la cocina, eran suficientes para la manifestación de tal fenómeno.

La realización de esta prueba del ruido debía darnos la siguiente información:

- i) Qué tamaños de ollas y los niveles de potencia que resultarían en la aparición del ruido.
- ii) El nivel del ruido
- iii) La posición de la fuente de emisión del ruido.
- iv) Factores de influencia en el ruido.

El resultado de esta prueba, permitiría mejorar el diseño con el fin de que la cocina opere a esos niveles de potencia sin ruido.

El primer paso era medir la frecuencia, y calcular la longitud de onda así como el nivel de presión del ruido. Para el cálculo de la longitud de onda, se utilizó la ecuación del sonido, que se da a continuación:

$$\lambda = c/f \quad (5.5)$$

En donde λ es la longitud de onda, c es la velocidad del sonido y f es la frecuencia del sonido.

Para calcular la presión del sonido se utilizó la fórmula del decibel

(relacionada con los radios de voltaje) sugerida por Olson (1960). Esta fórmula se la anota a continuación:

$$n = 20 \log_{10} (e_1/e_2) \quad (5.6)$$

En donde

n es el número de decibeles (nivel de presión de sonido)
 e_1 es el voltaje de la señal de salida (del micrófono) expresado en Pa, y
 e_2 es la presión de referencia. Para esta investigación y de acuerdo al instrumento utilizado e_2 es igual a $2 \cdot 10^{-5}$ Pa.

Para la realización de estas pruebas, se necesitaron los siguientes equipos adicionales:

- i) Un micrófono para detectar la señal de ruido;
- ii) Una fuente de poder (alimentación) requerida para el micrófono,
- iii) Un voltímetro para medir la señal de salida del micrófono. Este dato se utilizó para el cálculo del nivel de la presión de sonido.
- iv) Un filtro-amplificador utilizado para seleccionar solo rango específico de frecuencias
- v) Un osciloscopio para visualizar las ondas de sonido permitidas por el filtro,
- vi) Un contador, que fue utilizado para medir la señal de frecuencia.

En la figura 5.10 se presenta un esquema de la disposición de los equipos.

El procedimiento a seguirse era el siguiente: Se debían de poner a punto todos los instrumentos. La cocina debía encenderse y operarse a su máxima potencia y ubicar una olla de 28 cm de diámetro conteniendo una suficiente cantidad de agua (Ver figura 5.11). Cuando el ruido era emitido, se debía medir la frecuencia del mismo (f) y la señal de salida del micrófono (e_1).

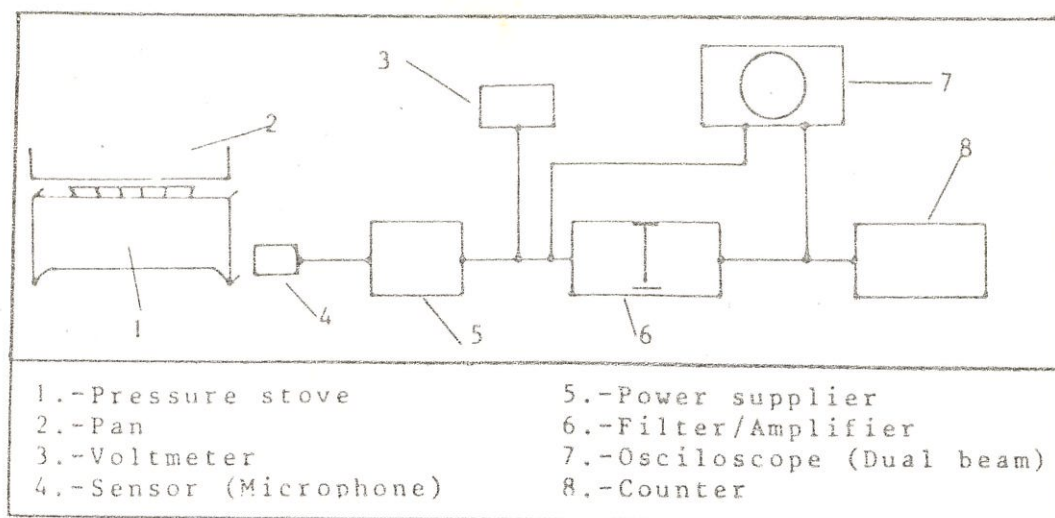


FIGURA 5.10 DISPOSICION E INSTALACION DE LOS EQUIPOS DE MEDISION DE LA PRUEBA DEL RUIDO

Con estos datos se procedía a calcular la longitud de onda y el nivel de presión de sonido. Luego se debían realizar las otras pruebas, con las siguientes modificaciones:

- i) De las condiciones de operación anteriores, la potencia debía de reducirse hacia el nivel mínimo.
- ii) La potencia máxima debía mantenerse, mientras que la olla se la ubicaba sobre parrillas y apoyos de diferentes alturas. (ver figura 5.13).
- iii) Para otras pruebas, la cocina era ubicada sobre apoyos improvisados de diferente altura (Figura 5.12)

Los experimentos demostraron que para rangos de flujos de combustible ubicados entre $5 \frac{1}{2}$ y $6 \frac{1}{2}$ rotaciones de la válvula de control el ruido era emitido. A un mínimo de flujo ($4 \frac{1}{2}$ rotaciones) y un máximo de flujo

(7 rotaciones) no se detectaba ninguna emisión de ruido. El nivel de la presión en el tanque no tenía influencia directa en el sonido obtenido. Este era estrictamente determinado por el flujo de combustible o sea la rotación de la válvula de control.

La base de la olla, conjuntamente con el cuerpo de la cocineta y el piso (mesa) formaban una especie de caja acústica (resonador) el cual aparentemente amplificaba la onda del ruido. Este resonador está esquematizado en la figura 5.11.

Al ubicar la cocineta en apoyos de 64 mm de altura como se muestra en la figura 5.12, la geometría de la mencionada caja resonadora varía, el ruido no ocurre (no es escuchado) pero la característica de la llama no mejoró (permaneció amarilla)

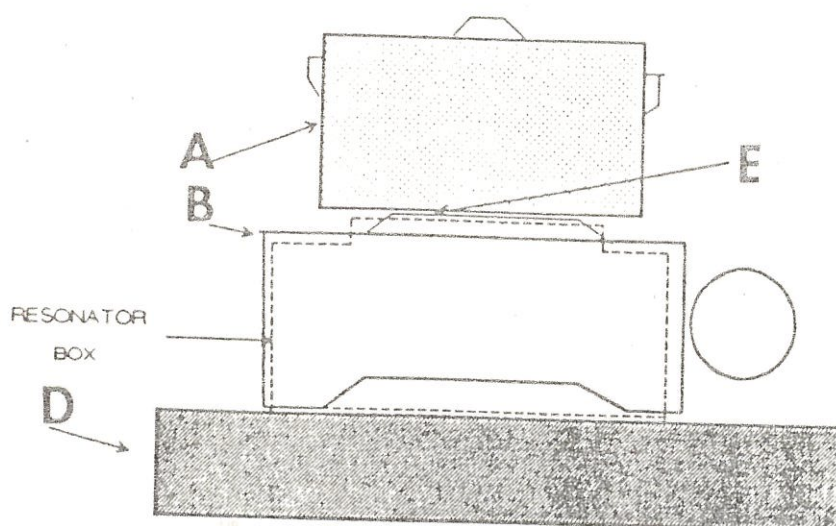


FIGURA 5.11

CAJA RESONADORA FORMADA POR LA OLLA, COCINA Y LA MESA. A: olla, B: cocineta colombiana, E: parrilla original, D: mesa

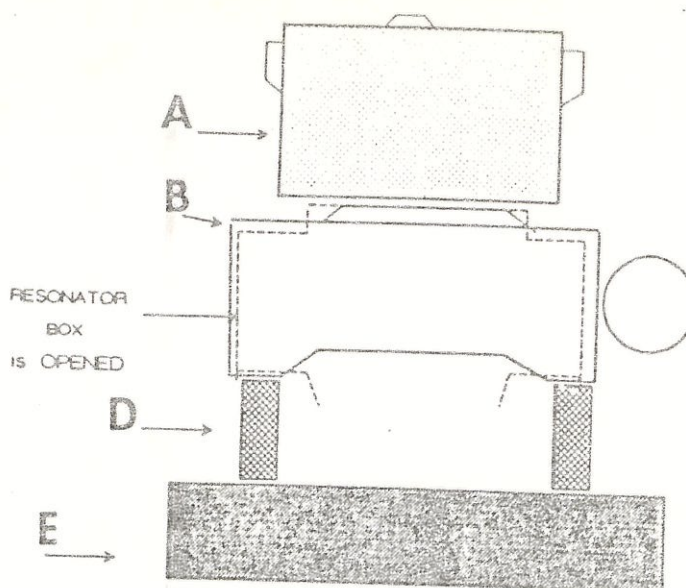


FIGURA 5.12

UBICACION DE LA COCINETA SOBRE APOYOS. LA GEOMETRIA DE LA CAJA RESONADORA VARIA. EL RUIDO NO ES EMITIDO, PERO LAS CARACTERISTICAS DE LA LLAMA NO MEJORAN. A: olla, B: cocineta colombiana, D: Apoyos para la cocineta (64 mm de altura), E: mesa

Los mismos resultados se obtienen cuando se ubica la olla en apoyos de 66 mm de altura, como en la figura 5.13.

Al reducir la potencia, la frecuencia del ruido no variaba. Los experimentos indicaban que el ruido emitido tenía aproximadamente la misma variación en frecuencia a cualquier nivel de potencia en la cual se emitía dicho ruido. El nivel del ruido no decrecía en forma gradual, inesperadamente a un nivel de potencia menor, este ruido ya no era emitido. Dicho de otra manera un valor de frecuencia promedio se mantenía para cualquier emisión de ruido. Este promedio debía determinarse. Como resultado se encontró una frecuencia promedio de 975 Hz. A esta frecuencia el nivel de la presión de sonido fue

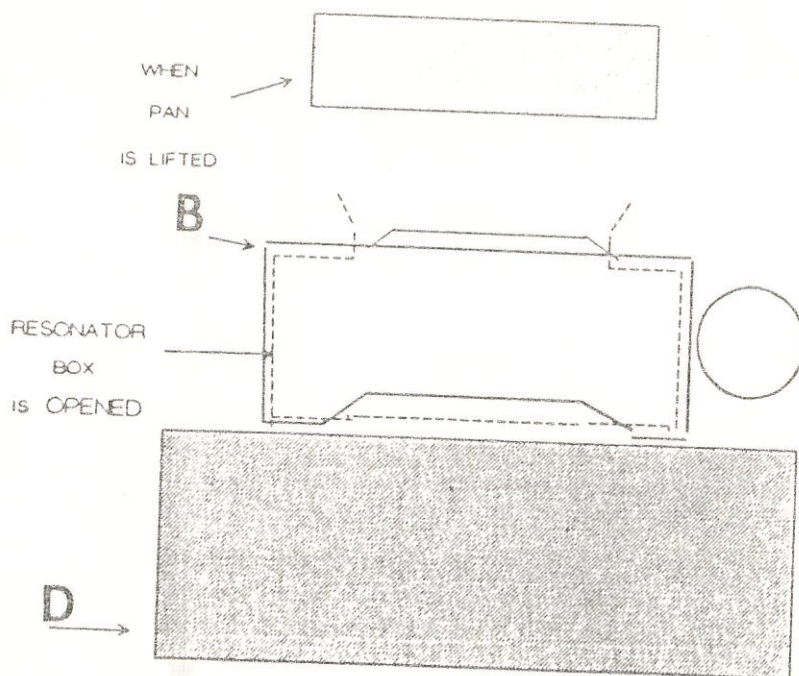


FIGURA 5.13

UBICACION DE LA OLLA EN LOS APOYOS, SE PRODUCE EL MISMO RESULTADO ANTERIOR. B: cocina colombiana, D: mesa.

calculado utilizando la ecuación 5.6, en dónde en las condiciones anteriores la señal de salida del micrófono era de 0.00450 V (ó 477 Pa). Reemplazando estos datos en la ecuación anterior, se tiene que:

$$n = 20 \log_{10} 4.77 / 2.10^{-5}$$

De aquí se obtiene que $n = 107.5$ decibels

Este nivel de ruido es sin dudar demasiado alto. En la tabla 5.4 se presentan niveles de ruidos ocasionados por otras fuentes y a diferentes distancias de las mismas. En la tabla se puede observar que el ruido emitido

por la cocineta colombiana se encuentra cerca del nivel del ruido causado por golpear un martillo sobre una lámina de acero escuchado a 2 pies de distancia.

De todas maneras se debe considerar que debido a los requerimientos del sensor utilizado, este debió ser ubicado debajo de la cocineta (como se vé en la figura 5.9) aunque las normas recomiendan que el sensor debe ser ubicado a 1 metro de la fuente que produce el ruido. A esta distancia el ruido no era detectado por el sensor.

Source or Description of Noise	Noise Level in Decibels
Threshold of Pain	130
Hammer Blows on Steel Plate . . . 2 ft.	114
Riveter 35 ft.	97
Factory	78
Busy Street Traffic	68
Large Office	65
Ordinary Conversation 3 ft.	65
Large Store	63
Factory Office	63
Medium Store	62
Restaurant	60
Residential Street	58
Medium Office	58
Garage	55
Small Store	52
Theatre	42
Hotel	42
Apartment	42
House, Large City	40
House, Country	30
Average Whisper 4 ft.	20
Quiet Whisper 5 ft.	10
Rustle of Leaves in Gentle Breeze	10
Threshold of Hearing	0

TABLA 5.4

NIVELES DE RUIDO PARA VARIAS FUENTES Y UBICACIONES (Olson, 1957)

El ruido emitido podía ser escuchado en salas ubicadas a 60 metros de distancia. Este ruido era tan penetrante que el operar la cocina en estas condiciones era totalmente inconveniente y desagradable.

En el cálculo de la ecuación 5.5 y tomando en consideración que la velocidad del sonido es de 344 m/s (ó 1128.3 pies/s) a la presión atmosférica y 293 K (Olson, 1957); se tiene que:

$$\lambda = 0.35 \text{ m } \hat{=} 350 \text{ mm}$$

Esta longitud de onda calculada que aproximadamente era de la misma magnitud de uno de los lados de la mencionada caja resonadora (figura 5.11) es decir de 300 mm fortaleció aún mas la hipótesis de que el ruido era amplificado en el interior de esta caja.

Se inspeccionaron las partes internas del sistema de combustión. Se realizó otro grupo de pruebas. Una inspección visual de las partes internas del tubo evaporador y de la punta de la aguja hizo presumir que en el sistema de combustión existía un defecto de construcción cuando la cocina era operada para producir una potencia superior a la del diseño, es decir aquella potencia obtenida con la operación de la cocina correctamente ensamblada. En la figura 5.14 se presenta un esquema.

Debido a este defecto, presumiblemente (mas pruebas deben realizarse) se producía un **area excéntrica** de flujo del combustible, con dos negativas consecuencias:

- i) La llama obtenida en estas condiciones era de pobres características (llama amarilla), porque el cono de vapor era desviado de su trayectoria original, y esto no le permitía introducir suficiente cantidad de aire primario. Al ubicar una olla de 28 cm de diámetro en la cocina se reducía la alimentación de aire secundario, dando como resultado una peor condición

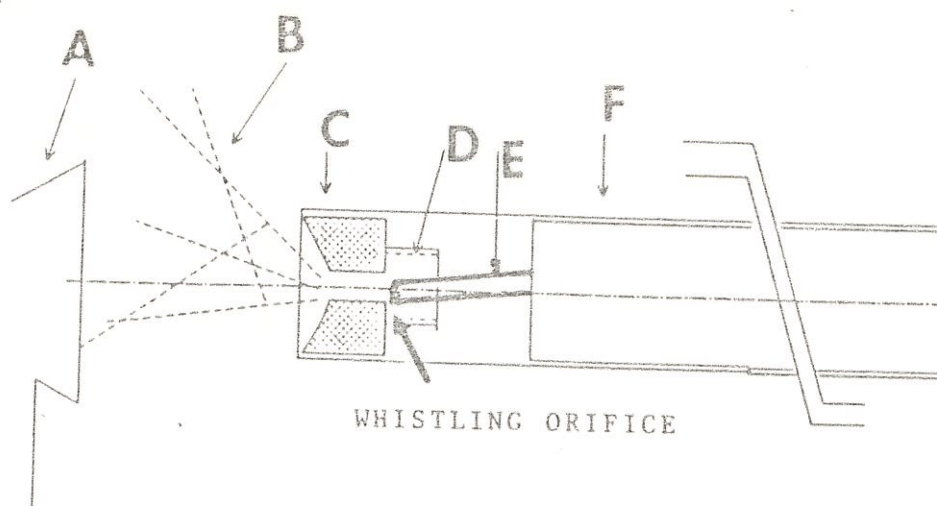


FIGURA 5.14

DEFECTO DE CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE COMBUSTION. La aguja E no tiene apoyo, no se ubica concéntricamente con el difusor. El cono de jet de vapor está incorrectamente formado. En la figura A: tubo quemador, B: Cono de jet de vapor C: difusor D: tornillo del difusor ensamblado al evaporador, E: punta de la aguja, F: tubo evaporador

de la llama.

ii) El ruido de alta frecuencia era emitido. Hasta este punto no se conoce exactamente la fuente que emite dicho ruido. Las pruebas han permitido únicamente presumir que los siguientes factores pueden ser considerados como fuentes de emisión:

1.-La vibración de la aguja sin guía. La presión del vapor causaría que en estas condiciones la punta de aguja vibre sin control y se forme un pito (orificio muy pequeño). Esta configuración en forma ocasional determinaría la emisión de ruido. De todas maneras dicha configuración era difícil de reproducirla en la realización de una prueba determinada.

- 2.-Oscilaciones del flujo debido a razones desconocidas,
- 3.-Una distribución no uniforme de flujo debido a la excentricidad de la punta de la aguja en el difusor.

Como se anotò previamente la mencionada caja resonadora (acústica) aparentemente amplificaba un cierto rango de frecuencia del ruido emitido por una fuente todavía desconocida. Esta caja fue esquematizada en la figura 5.11. Al modificar la geometría de esta caja, se destruía sus efectos resonantes, y por lo tanto el ruido emitido ya no era escuchado por el oído humano. De todas maneras las características de la llama permanecían pobres (llama amarilla) porque la punta de la aguja continuaba ubicada en una posición no concéntrica y por lo tanto el cono de vapor seguía desviado, con las consecuencias negativas arriba anotadas.

Con el fin de superar estas limitaciones y mejorar el rendimiento de la cocina, en la sección 5.8 se recomiendan los cambios a efectuarse en el sistema de combustión.

5.7 ANALISIS DE LOS GASES DE COMBUSTION.

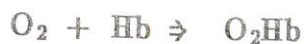
Las pruebas de las características de la llama de combustión, se realizaron con un análisis visual de la llama. Estos resultados fueron esquematizados previamente en la figura 5.3. Pero uno de los mayores problemas que se deben considerar en el estudio de una cocina, es la calidad de la combustión misma, es decir el análisis de los gases de combustión.

En la sección 4.2 se presentó la combustión completa de kerex, asumiendo que este sólo está formado de $C_{10}H_{22}$. En la realidad aunque exista exceso de aire siempre el CO formará parte de los gases de combustión. Varios experimentos de combustión de madera realizados por el grupo WSG han demostrado que aún con un factor de exceso de aire de 1.3 o mayor, de todas maneras cierta cantidad de CO se produce.

Los productos de la combustión incompleta son monóxido de carbono, hollín e hidrocarburos no quemados.

TOXICIDAD DEL MONOXIDO DE CARBONO

En el rendimiento de una cocina la producción de monóxido de carbono es un factor determinante. Sulilatu (Sulilatu, 1985) claramente expone en su artículo el peligro que significa la presencia de este gas aunque no posee olor ni color. El CO puede producir asfixia debido a la gran afinidad que tiene con la hemoglobina (Hb) de la sangre, encargada de conducir el oxígeno a los diferentes órganos del cuerpo. El CO inhibe a los órganos de captar la cantidad suficiente de oxígeno. Las reacciones siguientes ilustran la manera como el oxígeno y el monóxido de carbono reaccionan con la hemoglobina:



La segunda reacción aparentemente se produce en la misma manera que la primera. De todas maneras lamentablemente se debe considerar que la fuerza de afinidad del CO a la Hb, es 300 veces mayor que la afinidad del O_2 a la Hb.

En la respiración de aire contaminado, tanto el CO como el O₂ son captados por la hemoglobina, de acuerdo a la siguiente reacción de equilibrio:



El separar el COHb de la sangre es una muy difícil tarea debido a la gran afinidad existente entre el CO y la Hb. Y este proceso de separación puede tardar mucho tiempo. Por otro lado ventajosamente puede ser promovido con la respiración de aire absolutamente limpio.

En la figura 5.15 se presenta el efecto de la concentración del monóxido de carbono en la atmósfera como una función del tiempo de exposición, para varias condiciones de trabajo o actividad.

Sangen (1983), demostró que el contenido de monóxido de carbono en los gases de combustión está estrechamente relacionado con la cantidad de los hidrocarburos no quemados. En vista de que es mucho mas fácil medir el C_xH_y y ceniza, el contenido de monóxido de carbono se lo ha tomado como un indicativo cuantitativo de la calidad de la combustión (Bussmann, 1988).

La prueba experimental de medir la cantidad de monóxido de carbono emitido por una cocina sin chimenea es una muy difícil tarea.

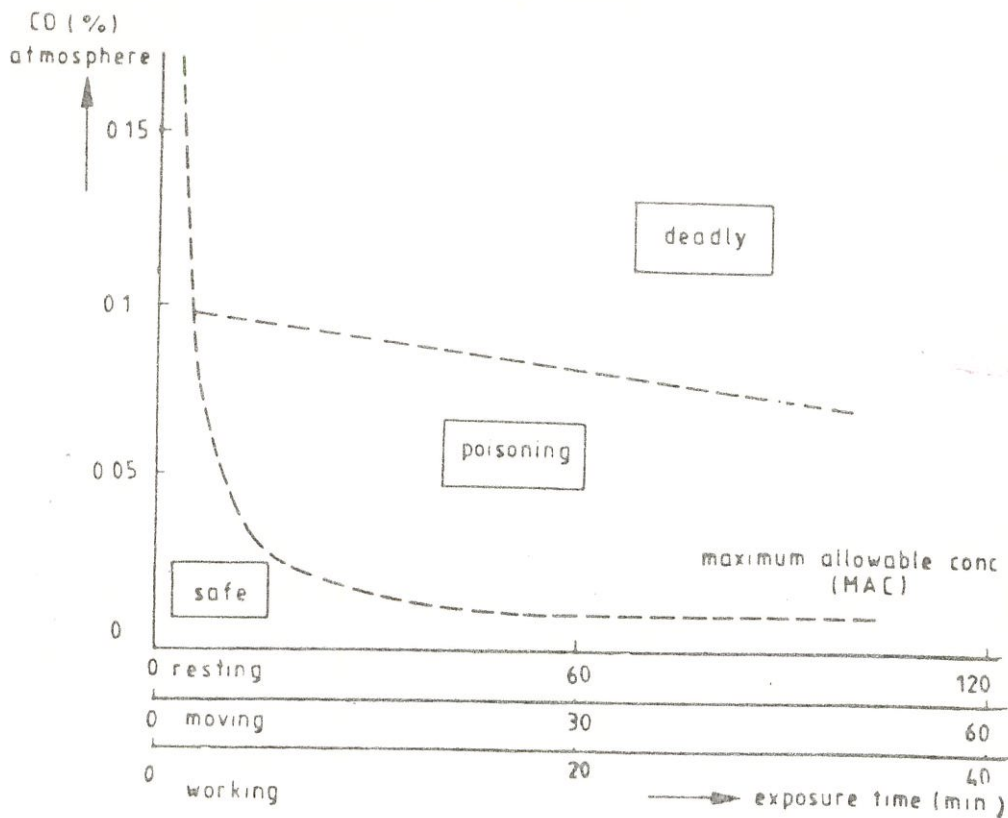


FIGURA 5.15 EFECTO DE LA CONCENTRACION DEL MONOXIDO DE CARBONO EN LA ATMOSFERA COMO UNA FUNCION DEL TIEMPO DE EXPOSICION PARA VARIAS CONDICIONES DE TRABAJO o ACTIVIDAD (Sulilatu, 1985)

EL INDICE CO/CO₂ (%)

La medición de la concentración absoluta de monóxido de carbono en los gases de combustión es posible únicamente en cocinas cerradas que contengan chimenea. Debido a esto el índice CO/CO₂ es utilizado como un indicador de la calidad de la combustión para todos los propósitos prácticos.

INSTALACION Y PROCEDIMIENTO

Debido a la forma general de las cocinas y al equipo de laboratorio disponible, no fué posible medir el contenido unicamente de los gases de combustión. La muestra de gas fué recolectada por encima del quemador de la cocina. Esta muestra constituía una mezcla de gases de combustión y de aire. En la figura 5.16 se presenta un esquema de la disposición del equipo experimental para realización del análisis de los gases de combustión.

En esta prueba se midieron los contenidos de CO y de CO₂. La muestra era bombeada a traves de dos filtros y una trampa de agua hacia el medidor de CO-CO₂ y O₂. Las medidas son leídas por el computador y controladas con el data logger en intervalos de tiempo prefijados.

La cantidad desconocida de aire presente en la muestra de gases no permite estimar directamente el contenido de los gases de combustión. La

concentración de CO₂ de la muestra de gas varía de 2 % a 5%, de tal manera que el contenido de CO₂ en el aire (0.03 % en volumen (Verhoeven, 1989)) puede ser despreciable. Un argumento similar se aplica en el caso del CO. Este razonamiento permite estimar el índice CO/CO₂ de los gases de combustión.

La prueba fué realizada para 9 diferentes condiciones de operación de la cocina colombiana, tomadas de la figura 5.3. Para cada caso los índices CO/CO₂ fueron determinados. Cada operación duró 20 minutos. Los resultados

fueron comparados con las normas aplicadas para diferentes quemadores. También se realizó un estudio comparativo con resultados de otra cocina de kerex descrita en la referencia 23.

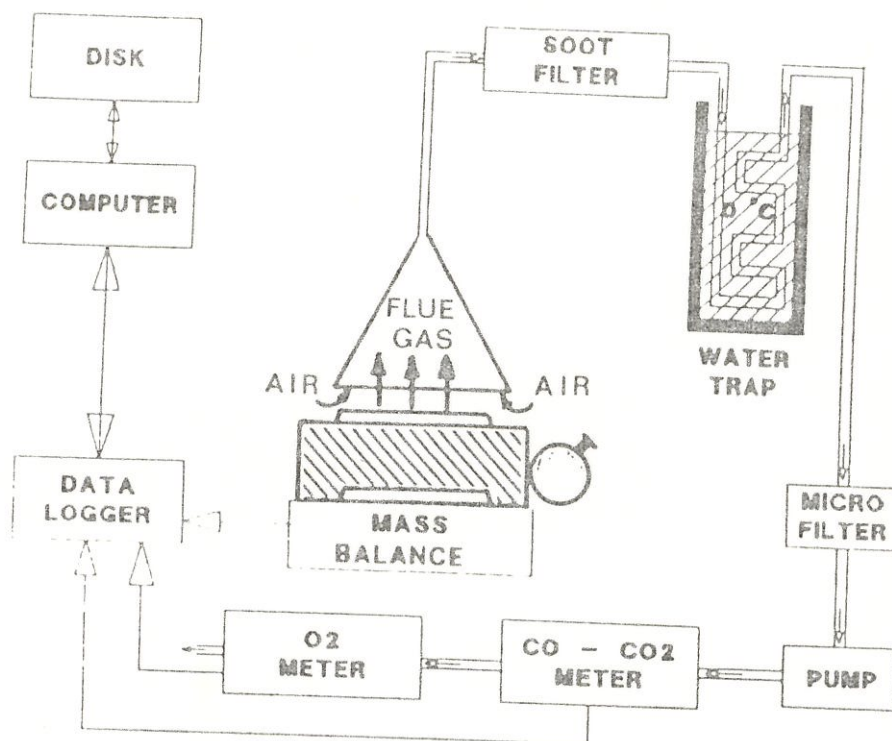


FIGURA 5.16

DISPOSICION E INSTALACION DEL EQUIPO EXPERIMENTAL PARA LA REALIZACION DE ANALISIS DE GASES.

En la prueba también se analizó desde el punto de vista de la concentración de CO causada por la combustión de la cocina en un ambiente cerrado. La concentración de CO en la atmósfera expresada en función del tiempo puede ser calculada usando la ecuación 5.7 (Hasan Khan, 1990) que se da a continuación:

$$C_{co} = \frac{\dot{M}_{co} K (1 - \exp(-R t))}{\rho V R} 100 \quad (5.7)$$

En donde: C_{co} = Concentración de CO en la atmósfera (%)

\dot{M}_{co} = Emisión de CO (kg/s)

K = Factor de homogenización (-)

R = Rapidez de cambio de aire (1/s)

V = Volumen del espacio (Tamaño del cuarto de cocinar) (m³)

t = Tiempo (s)

ρ = Densidad del aire kg/m³

K es un factor empírico que toma en cuenta el nivel de mezcla de los gases, $K = 0$ debe ser utilizado para cuando existe total expulsión de los gases al exterior, $K = 1$ se aplica cuando existe una mezcla muy homogénea de los gases de escape con el aire. En casos prácticos ninguno de estos dos extremos se dan. Para este estudio $K = 0.4$. Los valores de V y de R son estimados en base a consideraciones arquitectónicas y dependiendo del lugar pueden variar ampliamente. En este trabajo experimental $V = 25 \text{ m}^3$ (volumen promedio de los cuartos de cocina de familias ecuatorianas) y $R = 4 \text{ h}^{-1}$.

Como se anotó previamente no es posible medir en forma experimental la cantidad absoluta de CO producida en los gases de escape \dot{M}_{co} . De todas maneras puede ser estimado utilizando la ecuación 5.8 siguiente (Hasan Khan, 1990):

$$\dot{M}_{co} = \frac{m_{co} X_c \dot{M}_f \text{CO/CO}_2}{m_c (\text{CO/CO}_2 + 1)} \quad (5.8)$$

En donde: M_{co} = Emisión de CO (g/s)
 m_{co} = peso molar del monóxido de carbono
 m_c = peso molar del carbón
 X_c = masa (fracción) de carbón en el combustible
 M_f = consumo másico de combustible (g/s)

La ecuación 5.8 se aplica para las 9 condiciones de operación. De las nueve respuestas se seleccionaron 3 valores : el valor mas alto, el mas bajo y un valor típico de M_{co} . Con estos valores seleccionados se calculó la concentración de CO en la atmósfera, utilizando ecuación 5.7. Los resultados se ubicaron en el gráfico CO-tiempo, para analizarlos respecto a las normas establecidas.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los valores de los índices CO/CO₂ encontrados para las 9 condiciones de operación de la cocina colombiana se han graficado en función del tiempo de combustión en la figura 5.17. En la tabla 5.5 se muestra el valor promedio y la desviación estándar de los valores de esos radios para cada nivel de presión. También se ha incluido en esa tabla las características de la llama.

Respecto a la tabla y figura anteriores, se pueden hacer las siguientes observaciones:

- i) El máximo valor promedio del índice CO/CO₂ es 0.50%. La figura 5.17 muestra que para potencias de 2.73 kW y 4.62 kW estos radios se ubican sobre el nivel de 1% para cortos períodos de tiempo.
- ii) Debe notarse que los resultados de la tabla y figura anteriores,

corresponden a comportamiento estable de combustión. No se han considerado los efectos del precalentamiento previo de la cocina, tiempo de estabilización de la llama, ni el período en el cual se apaga el fuego de la cocina al terminar la prueba. Estas etapas pueden significar una alta producción de hidrocarburos no quemados y de CO, los cuales inciden en el nivel de concentración de CO en la atmósfera circundante.

- iii) De acuerdo a los resultados se ha podido observar, que no siempre una llama de color amarillo involucra producción alta de índices

CO/CO ₂ RATIO(%)									
PRESSURE (kPa)	60			100			120		
	0.94	2.40	1.45	1.95	4.62	1.86	1.73	2.73	2.04
POWER (kW)	0.94	2.40	1.45	1.95	4.62	1.86	1.73	2.73	2.04
FLAME COLOR	blue	yellow	blu-yel	blue	yellow	blu-yel	blue	yellow	blu-yel
AVERAGE	0.26	0.20	0.21	0.21	0.50	0.26	0.21	0.27	0.17
S T D	0.06	0.05	0.04	0.04	0.17	0.04	0.04	0.11	0.04

TABLA 5.5.- INDICES CO/CO₂ (%) correspondientes a 9
CONDICIONES DE OPERACION DE LA COCINA
COLOMBIANA

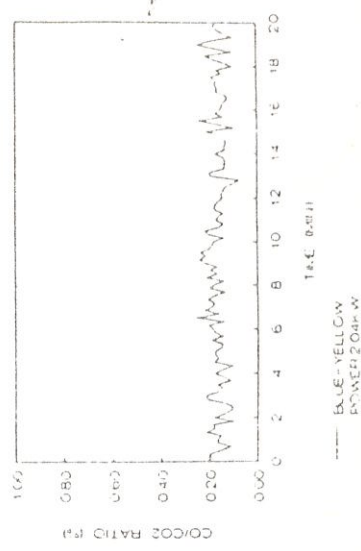
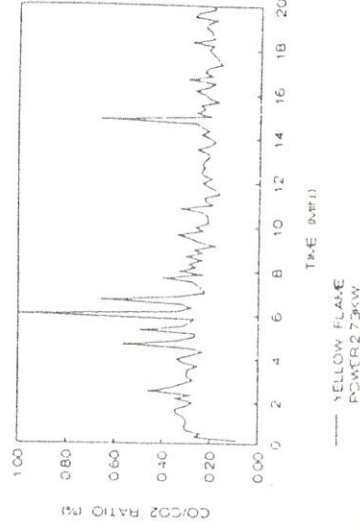
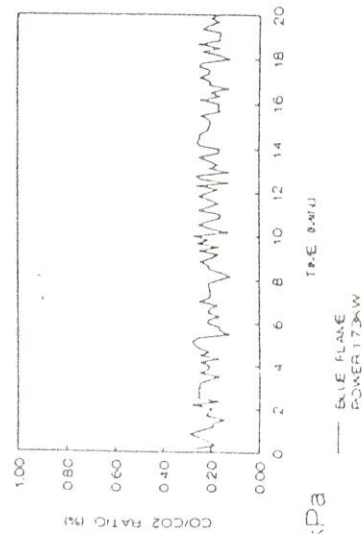
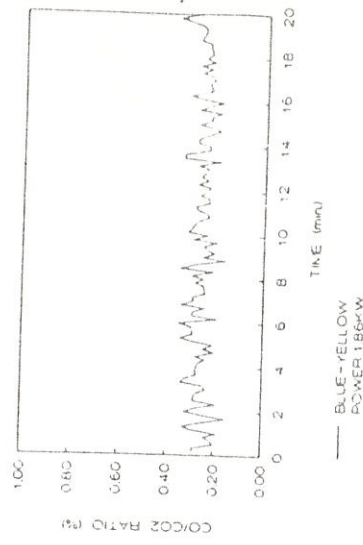
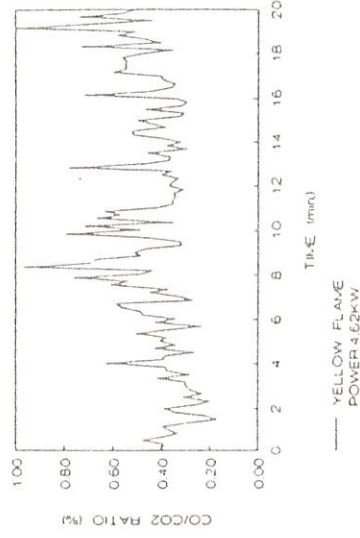
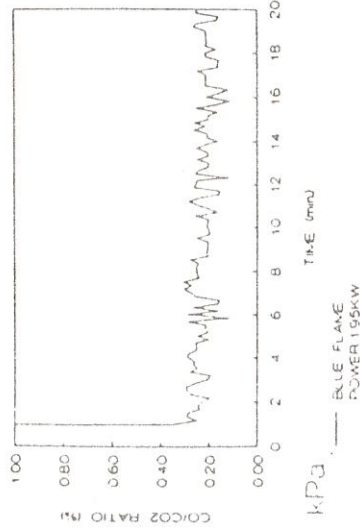
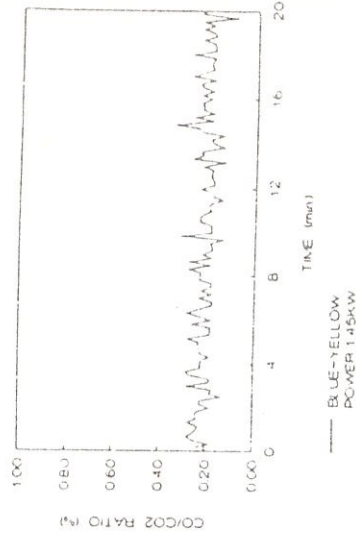
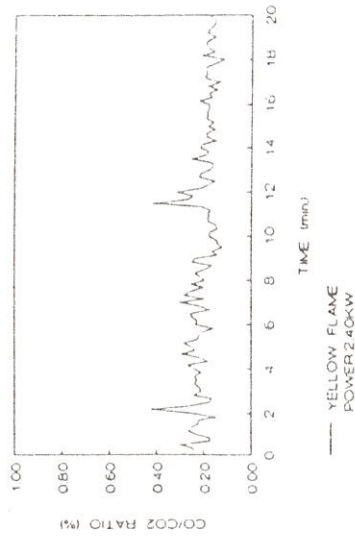
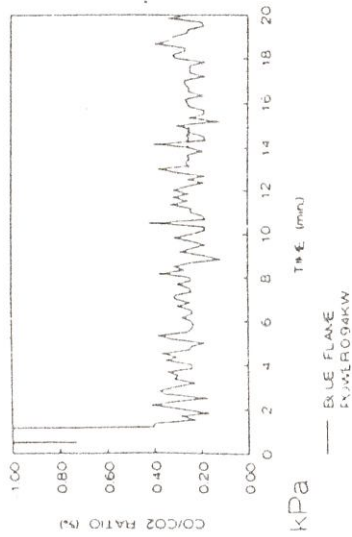


FIGURA 5.17.- VARIACION DE INDICES CO/CO₂ (%) CON RESPECTO AL TIEMPO DE COMBUSTION CORRESPONDIENTE A 9 CONDICIONES DE OPERACION DE LA COCINA

CO/CO₂. Por ejemplo a 60 kPa de presión y una potencia de 2.40 kW, se obtuvo llama amarilla con un índice CO/CO₂ de 0.20% el cual resultó menor al radio de 0.26% correspondiente a una condición

de operación con llama azul (0.94 kW).

iv) En estos experimentos, la máxima potencia registrada fué de 4.62 kW.

Stove type	Power	CO-CO ₂ ratio
gas appliances	P _{max}	< 1.0%
kerosene burners	P _{max}	< 1.2%
Anthracite burners	P _{max}	< 2.0%
Domestic space heaters using wood	P _{max} P _{max} /2	< 4.5% < 9.0%

TABLA 5.6 **NORMAS INTERNACIONALES DE LOS VALORES DE INDICES CO/CO₂(%) PERMITIDOS PARA DIFERENTES TIPOS DE COCINAS (BUSSMANN, 1988)**

A este nivel su índice alcanzó 0.50%. La norma internacional que se muestra en la tabla 5.6, ubica un valor de 1.2% como máximo permitido para una cocina de kerex.

Con el fin de establecer análisis comparativo en la figura 5.18 se muestran los resultados de pruebas experimentales realizadas en una cocina de kerex de mecha. (Verhoeven, 1989). En esa figura se observa que al inicio de la fase de potencia máxima de combustión de llama azul el índice CO/CO₂ es 0.25, y al final de esta fase el radio es 0.20%. El inicio de la fase de máxima potencia registra un radio menor a 0.20% que al final de la misma este radio a descendido a 0.12%. En conclusión la figura indica que los índices CO/CO₂ obtenidos del análisis de los gases de combustión de la cocina de mecha

identificada como cocina PET se encuentran bajo la norma permitida, excepto para las fases de

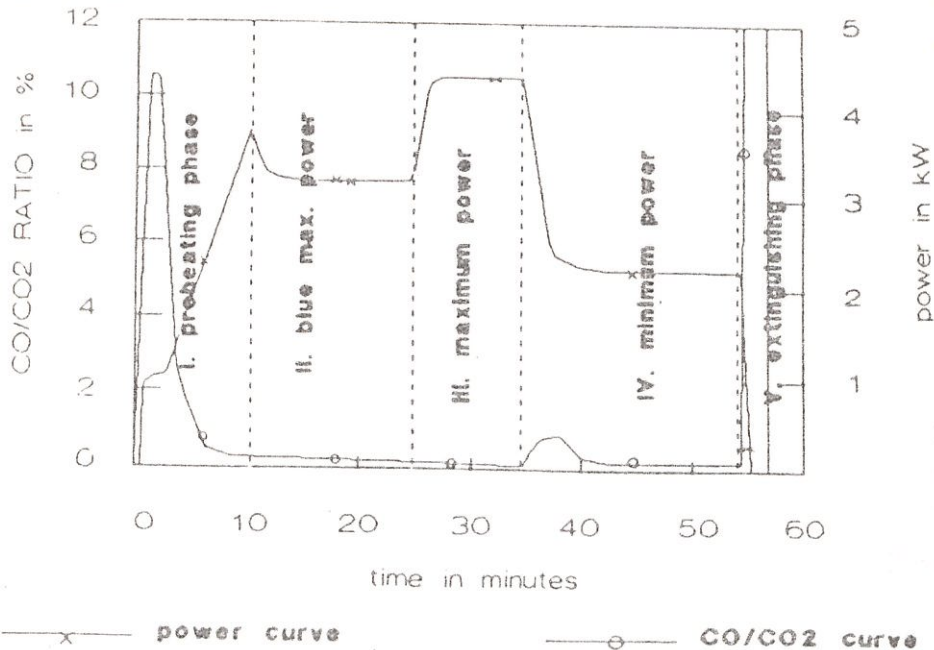


FIGURA 5.18

COCINA PET DE MECHA: INDICES CO/CO₂ (%) y la POTENCIA expresados en función del tiempo (Verhoeven, 1989)

pre-calentamiento y de apagado de la cocina, que incluso se registran hasta valores de 10.5 %. De todas maneras se presume que las cocinas de presión en esas fases deberían producir radios mas pequeños que los producidos por las cocinas de mecha, puesto que las primeras reciben un pre-calentamiento con la llama azul de la combustión de alcohol y la fase de apagado consiste en cerrar totalmente el flujo de kerex.

En la figura 5.19 se muestran los niveles de polución del aire del ambiente interior permitido por las normas americanas de la calidad del aire. En esta figura se han ubicado además los niveles de polución producidos por la combustión de la cocina colombiana operando a 3 niveles de potencia en el

ambiente del cuarto de cocinar. También a manera de ilustración se han ubicado los niveles de polución producida por la cocina convencional de leña.

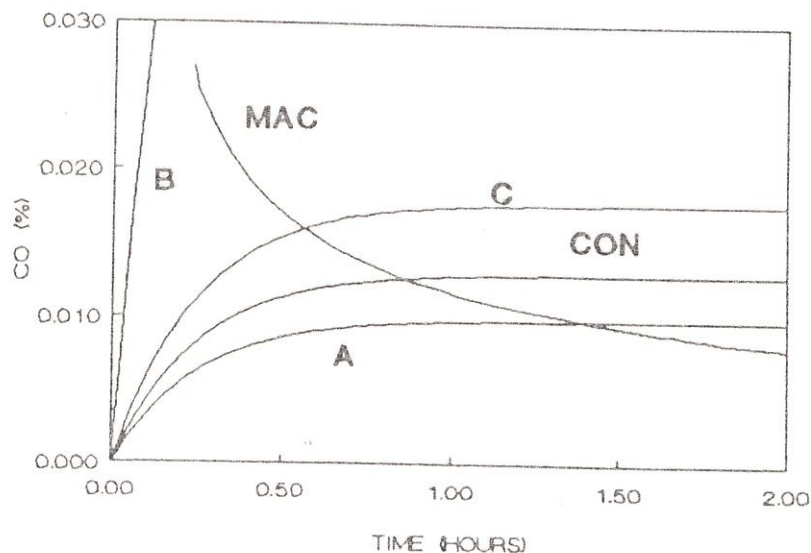


FIGURA 5.19:

NIVELES DE CONCENTRACION DE CO EN EL INTERIOR DEL CUARTO DE COCINAR PRODUCIDO POR LA COCINA COLOMBIANA OPERANDO A TRES NIVELES DE POTENCIA. SE ILUSTRAN TAMBIEN LOS NIVELES DE LA COCINA DE LEÑA.

LA LINEA MAC REPRESENTA EL NIVEL MAXIMO DE CONCENTRACION RECOMENDADO POR LAS NORMAS AMERICANAS.

De la figura 5.19 anterior, se dan las siguientes observaciones :

- i) De acuerdo a la norma americana y a las condiciones específicas de la prueba (valores asumidos de K,R y V en la ecuación 5.7) la cocina colombiana no puede ser operada sin peligro de contaminación por períodos

superiores a una hora y 24 minutos y a una potencia de 0.94 kW. Si esta potencia es de 1.95 kW, este período permitido disminuye a 35 minutos de operación, y si la potencia aumenta a 4.62 kW (llama amarilla) el período de seguridad disminuye a sólo 14 minutos de operación.

ii) Puede notarse que la cocina convencional de leña, no puede ser operada sin peligro por mas de 50 minutos con las mismas circunstancias mencionadas.

Cuando la cocina colombiana es operada a una potencia de 4.62 kW (llama amarilla) superior a la potencia de su diseño original (2 kW) presenta mayores condiciones de peligro que la cocina de leña. Como se anotó previamente en estas condiciones no puede ser operada por mas de 14 minutos. Un correcto ensamble de la cocina, determinará que sólo pueda operar a lo máximo de su diseño, es decir 2 kW de potencia; ofreciendo de esta manera un tiempo mas largo de operación segura.

Si el volúmen de los cuartos en los cuales se realizan las tareas de cocción se reducen o que no exista mucha ventilación como en el caso de los hogares de familias de la Sierra del Ecuador los resultados pueden ser mas negativos. Una tarea muy útil que se recomienda es el de identificar los valores mas representativos de V y de R de los hogares ecuatorianos.

Finalmente debe anotarse que existe cierta discrepancia en la interpretación de los resultados, particularmente entre las conclusiones sobre los valores estimados de los índices CO/CO₂ y el cálculo de la concentración de CO en el ambiente interior. Efectivamente con el primer punto de vista la norma

internacional holandesa determina que la cocina colombiana de acuerdo a su índice CO/CO_2 puede operar sin peligro a niveles de potencia superiores a 4.62 kW inclusive; mientras que de acuerdo a los niveles de concentración de CO la norma americana determina que dicha cocina sólo puede operar sin peligro dependiendo de su nivel de potencia por cortos períodos de operación. Ej a la 4.62 kW de potencia solo puede operar sin peligro por 14 minutos.

Los valores asumidos de V, R juegan un papel preponderante. De todas maneras se recomienda que dicha discrepancia debería ser investigada con mas detalle.

5.8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1.- En general el rendimiento y las características de operación de la cocina dependen exclusivamente de la forma en que su sistema de combustión es ensamblado. Dicha forma influyó directamente en los resultados de todas y cada una de las pruebas realizadas.
- 2.- Las pruebas demostraron que al efectuar un mantenimiento, limpieza interior y/o reemplazar algún componente del sistema como por ejemplo: eje de la aguja; es necesario re-ensamblar la cocina. Para proceder con esta tarea se requiere realizar una "calibración" del sistema de combustión. Esto se consigue con una fijación precisa del perno de la válvula de control de flujo, del tornillo de la aguja y de la rosca que sella el escape de kerex (figura 4.7). Esta calibración sólo podría ser realizada por una persona calificada y de experiencia. Como consecuencia surge una limitación en el uso de la cocina, puesto que el usuario debería realizar gastos adicionales en mantenimiento periódico, así como pérdidas de tiempo e incomodidades.
- 3.- Los diferentes niveles de potencia, la buena combustión y un encendido apropiado dependen exclusivamente de la punta de la aguja (figura 4.8). Esta es una pieza muy frágil, que con la operación normal de la cocina el usuario puede dañarla. Si esta pieza se rompe o se desvía de su posición concéntrica respecto al difusor, la cocina difícilmente puede ser encendida, y su combustión sería incorrecta.
- 4.- Las pruebas de potencia mostraron que la cocina puede operar con una

potencia mínima de 0.54 kW y una presión de 60 kPa en el tanque, y a una potencia máxima de 3.25 kW con el tanque a 160 kPa de presión. Estas características no satisfacen los requerimientos energéticos de hábitos culinarios de familias ecuatorianas rurales que utilizan potencias superiores a 5 kw como máxima potencia. Otras cocinas de kerex a presión pueden operar a 13.0 kW de potencia máxima a 196 kPa de presión en el tanque.(Ver el apéndice 4.3).

5.- El radio P_{\max}/P_{\min} es igual a seis. Esto demuestra que la cocina no presenta malas características desde el punto de vista económico. En general cocinas que tienen un radio superior a 4 son consideradas convenientes desde este punto de vista (Ref. 14).

6.- Si la cocina opera a 2.70 kW, con el fin de mantener su potencia sobre los 2 kW esta debe ser bombeada cada 20 minutos. De todas maneras a niveles menores la potencia disminuye con menor rapidez (figura 5.8). Esta no es una limitación puesto que en la preparación de la mayoría de los alimentos se requiere un tiempo corto de elevada potencia (hervir el agua) y luego se necesita un período largo de exposición a fuego lento o baja potencia.

7.- El rango de eficiencia de la cocina se ubica entre 49.5 % y 62.1 %. Este nivel no es bajo, puesto que las cocinas de gas LPG se ubican en 57 % de eficiencia, (Ref. 14). De todas maneras los niveles de eficiencia no deben ser comparados, puesto que en ellos influye el tamaño de la olla, la potencia y la distancia existente entre la olla y el quemador.

En la realización de las pruebas de eficiencia se utilizaron 2 ollas de diferente diámetro (24 cm y 28 cm respectivamente), la distancia de la olla al quemador se fijó en dos niveles (66mm y 48 mm respectivamente) y el rango de potencias utilizadas fue desde 3.12 kW a 5.98 kW.

8.- La operación de la cocina a 5.98 kW la llama no presentó buena combustión (llama amarilla) y al ubicar una olla de 28 cm de diámetro en la parrilla, se emitía un ruido de 0.975 Hz y 107.5 db de nivel de presión de sonido. En la tabla 5.4 se puede comparar y concluir sobre la intensidad del ruido emitido. El operar en estas condiciones, la cocina resulta ser incómoda, y causaría molestias al usuario.

El ruido emitido es amplificado en el interior de una caja acústica o resonante formada por el cuerpo de la cocina, la base de la olla y el piso. La fuente que produce el ruido no ha sido determinada hasta este momento de escribir el reporte. El ruido probablemente es generado por el jet de vapor (cono) en el exterior del difusor debido a un defecto de construcción (figura 5.14) resultado de un ensamble incorrecto, el cual determina que la cocina pueda operar a niveles de potencia muy superior al permitido por el diseño original.

De acuerdo a este defecto de construcción, se estiman 3 posibilidades como fuente de emisión del ruido: 1.-vibración de la punta de aguja sin guía, 2.-Oscilación del flujo debido a otras razones, y 3.-Distribución no uniforme del flujo.

9.- Los niveles de los índices CO/CO_2 demuestran que para esta cocina aparentemente la llama de color amarillo no siempre es un indicativo de una mala combustión. Pero esta llama siempre produce hollín en las ollas y en los alrededores, y varía el sabor de los alimentos. el índice CO/CO_2 mas alto registrado en las pruebas fué de 0.50% (tabla 5.5) con la cocina operando a 4.62 kW de potencia. Ese valor está por debajo de los límites permitidos por las normas holandesas, las cuales fijan para las cocinas de kerex un índice CO/CO_2 de 1.2% como máximo. De todas maneras en intervalos muy cortos de tiempo, y a 4.62 kW de potencia como se vé en la figura 5.17 la cocina registró radios superiores a las normas. Mas aún, en este trabajo no se consideraron las fases de pre-calentamiento y de extinción de la llama, las cuales pueden ser etapas de alta producción de CO y de hidrocarburos no quemados.

10.- Al operar la cocina a 4.62 kW de potencia (con llama amarilla) y bajo circunstancias específicas (volumen del cuarto de cocinar $V = 25 \text{ m}^3$, factor de homogenización $K = 0.4$ y razón de ventilación $R = 4\text{h}^{-1}$, en la ecuación 5.7) de acuerdo a las normas americanas la cocina no puede ser operada por un período mayor a 14 minutos, al reducir la potencia a 1.95 kW el período de operación sin peligro se incrementa a 35 minutos, y para una potencia de 0.94 kW la cocina puede ser operada sin mayor peligro hasta por una hora y 24 minutos (ver figura 5.19).

11.- En el resultado del análisis de los gases, se produce cierta discrepancia de acuerdo a la norma utilizada como referencia. Por un lado la norma

holandesa asegura que la operación de la cocina a 4.62 kW de potencia no presenta riesgo alguno; pero analizando los niveles de concentración de CO en el ambiente interior la norma americana asegura que en esas condiciones no puede ser operada por mas de 14 minutos.

12.- Como conclusión final, se puede anotar que el mejor rendimiento de este diseño de cocina se obtiene cuando es ensamblada y ajustada para proveer 2 kW de potencia máxima y 0.5 kW de potencia mínima. Estas deben ser aparentemente las características técnicas del diseño original del fabricante.

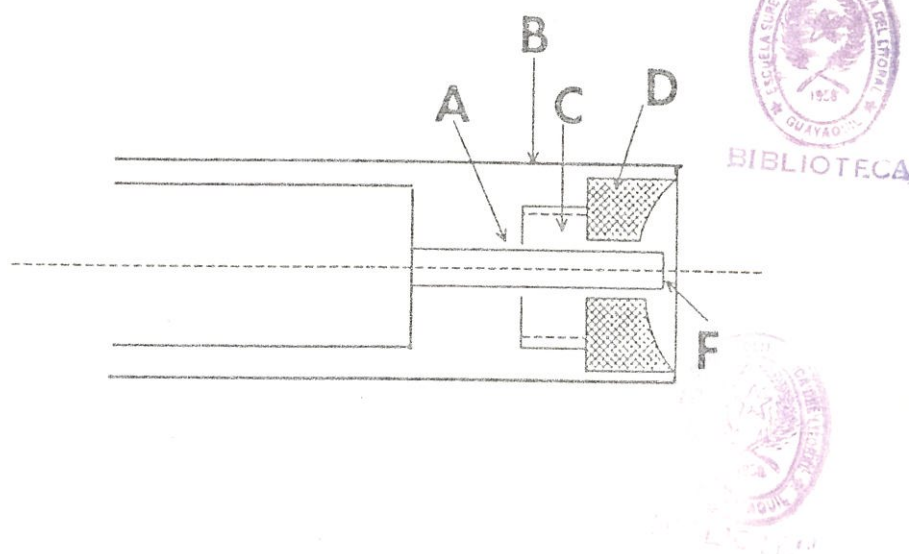


FIGURA 5.20

AJUSTE DEL SISTEMA DE COMBUSTION QUE ASEGURA EL MEJOR RENDIMIENTO DE LA COCINA COLOMBIANA. En la posición de apagado, el cuerpo del difusor protege en su interior la punta de aguja. A: punta de aguja, B: tubo evaporador, C: tornillo del difusor ensamblado al tubo evaporador, D: difusor, F: punto muerto de máximo avance

Este tipo de ajuste de la cocina, le provee de las siguientes conveniencias:

- i) Durante cualquier operación, el difusor protege a la punta de aguja; evitando que esta sea desviada o destruída.
- ii) Asegura un encendido correcto. Una pequeña rotación de la válvula de control, permite flujo suficiente de combustible.
- iii) La rotación de la la válvula es corta, lo cual asegura un control rápido de llama azul que incrementa el período de operación sin riegos.

RECOMENDACIONES

Al término de este trabajo quedan como resultado algunas interrogantes que deben ser analizadas. Parte de ellas se anotan a continuación:

- i) Debe analizarse con mas detalle la razón de la discrepancia en los resultados basados en el análisis de los índices CO/CO_2 y el cálculo matemático de la concentración de CO en el interior de los cuartos de cocinar.
- ii) Debe investigarse la fuente de emisión del ruido. Se han sugerido tres posibilidades.
- iii) La figura 5.3 fué determinada en base a pruebas de combustión, pero sin olla en la parrilla de la cocina. Además el sistema de combustión no tenía el ajuste que aparentemente provee el rendimiento apropiado del diseño original.
- iv) La siguientes pruebas adicionales deben ser realizadas, con el fin de completar toda la información pertinente:

1.- En este trabajo se utilizó kerex fabricado en Holanda. Nuevas pruebas deben realizarse utilizando combustible propio de la región. Otros

resultados de pruebas realizadas en esta cocina, revelan que la cocina no opera si se utiliza kerex producido en Africa, debido a que las impurezas del mismo obstruyen facilmente las cañerías y ductos. (Projet Energie II, 1990).

2.- Gas análisis deber realizarse para las pruebas de pre-calentamiento y de extinción de la llama. Además debe realizarse esta prueba para largos períodos de libre operación de la cocina, en los cuales la reducción de la presión debido al consumo de combustible, reduce el flujo y la introducción de aire primario, por lo tanto se pierde estabilidad de la llama, y se torna amarilla. Este sería el caso típico del uso normal y descuidado por parte del usuario, quien debido a que debe realizar otras faenas, dificilmente presta la atención debida y no dá la inyección frecuente de aire a través de la bomba.

3.- Debería realizarse un trabajo de investigación para determinar los valores mas representativos de K, R y V (volúmen del cuarto de cocinar, factor de homogenización, y la razón de ventilación respectivamente de la ecuación 5.7) pertenecientes a la regiones del Ecuador. Dichos valores podrían ser utilizados para determinar con mejor criterio los niveles de polución del ambiente interior producidos por la combustión de la cocina.

4.- Finalmente deberían realizarse pruebas de campo, en las cuales se desarrollen procedimientos de cocción real de alimentos, para investigar la influencia de la combustión del kerex en el sabor y olor de los preparados.

5.9 CRITERIOS DE MEJORAMIENTO

Las siguientes características de la cocina colombiana deben ser mejoradas:

- i) La potencia máxima es 2 kW. Esto no satisface los requerimientos de hábitos y costumbres ecuatorianas, que incluso en algunas regiones donde se utiliza leña, la potencia de sus fogones registran hasta mas de 5 kW.
- ii) Se necesitan 2 combustibles para operar la cocina.
- iii) El tanque de combustible es demasiado pequeño. Esto lo confirma otro estudio realizado en Africa (Projet Energie II, 1990). Utilizando la metodología de la referencia 14, se puede estimar que la capacidad máxima del tanque (0.83 kg), permitiría realizar la cocción de hasta 6 comidas y como consecuencia el tanque requiere llenarse cada 48 horas. En la actualidad las familias que utilizan LPG como energético de cocción requieren reemplazar el tanque en un período de 20 a 25 dias dependiendo del número de miembros de la familia; lo cual desestimula aún mas el interés de los usuarios de utilizar kerex como energético de cocción.
- iv) El sistema de combustión requiere mejorarse en los siguientes aspectos:
 - a) La punta de la aguja es demasiado frágil, y requiere mayor precisión en su fabricación, y
 - b) El correcto funcionamiento depende exclusivamente del ajuste (ensamble) del sistema. Al realizar un incorrecto mantenimiento, este ajuste no permitirá operar en buenas condiciones.

Con el objetivo de mejorar algunas de sus características, a continuación se presentan sugerencias para mejorar el diseño:

1.- Para incrementar la potencia a 5 kW, se puede incorporar una guía soporte de la punta de aguja, que asegure la posición concéntrica de las misma respecto al difusor en toda condición de flujo. Además se requiere que la longitud original de la punta de aguja de 8 mm, sea reemplazada por otra de 17 mm. En la figura 5.21 se presenta un esquema:

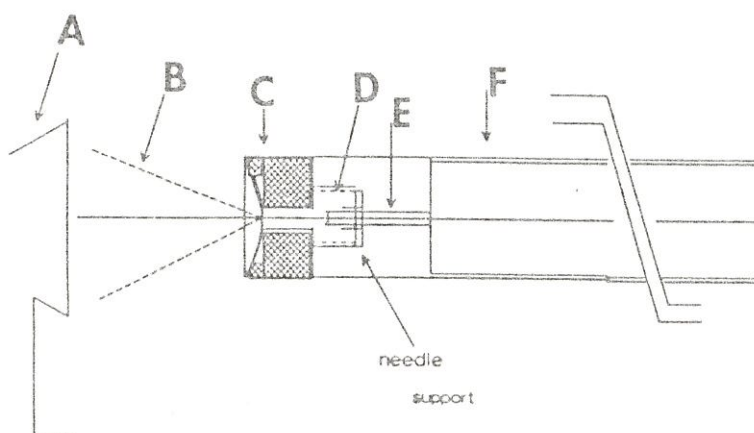


FIGURA 5.21

CAMBIOS SUGERIDOS PARA MEJORAR EL DISEÑO. LA GUIA-SOPORTE DE LA PUNTA DE AGUJA ES SUJETADA AL TORNILLO DEL DIFUSOR. A: tubo del quemador, B: cono jet de vapor, C: difusor, D: tornillo del difusor, E: punta de la aguja, F: tubo evaporador.

2.- El difusor original puede ser reemplazado por otro de mayor diámetro, para permitir mayor flujo y por ende elevar la potencia. Como consecuencia de este cambio, se deberá aumentar el diámetro de la punta de aguja, el número de orificios del espartallama, se deberá variar la distancia del difusor al tubo quemador, etc.

3.- El fabricante debe adjuntar junto con el manual del uso de la cocina, una guía que permita realizar un ajuste correcto de las partes, y fijar en el sistema ciertas marcas-guías de referencia para el ajuste del ensamble.

APENDICE 1.

ILUSTRACION DE LOS DISPOSITIVOS SOLARES CONSTRUIDOS Y ENSAYOS DE COCCION SOLAR REALIZADOS EN SALINAS-ECUADOR

En el inicio de este trabajo de investigación se tenía como parte del objetivo determinar una alternativa de energía de cocción, con el fin de controlar el uso indiscriminado de leña.

Se construyó un dispositivo solar o colector plano que constituía en sí una cocina solar. En la parte experimental se realizaron pruebas con dos tipos de cocinas solares: la construida para ESPOL, y otra diseñada para el Liceo Naval. A continuación se muestran dos fotografías de dichas cocinas, en la figura A.1.1 las cocinas se ubican cerradas, en la figura A.1.2 las mismas se ubican abiertas, en posición de operación:

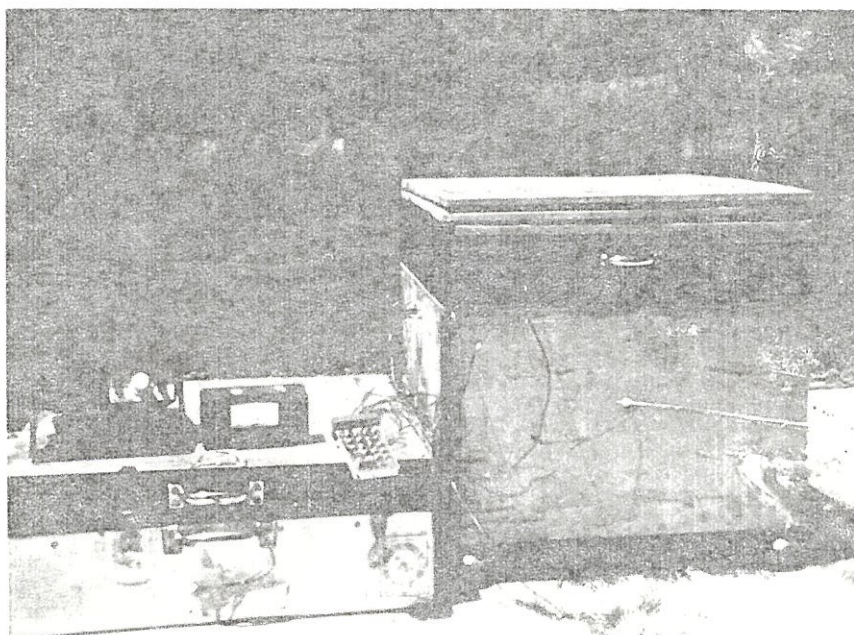


FIGURA A.1.1

a)Cocineta solar ESPOL, termómetro, termocuplas y solarímetro.

b)Cocineta solar LICEO NAVAL

Se determinó que la cocina solar ESPOL presentó mayores incrementos de temperatura, tanto en la placa negra absorbente, como en las ollas. Así se tiene que la máxima temperatura en la placa negra de la cocina ESPOL, fué de 155 °C, mientras que en la del LICEO NAVAL fué de 121.6°. Por otro lado la temperatura máxima registrada en las ollas de la cocina ESPOL fué de 82.6 °C, mientras que en la olla de la otra cocina fué de 77.2°C. Para

ambos casos el solarímetro registró 582.9 BTU/pie² durante 4 horas y 46 minutos de operación

Algunos Resultados técnicos como resultado de las pruebas, se anotan a continuación:

(i) La temperatura máxima registrada en el agua de la cocineta ESPOL fue de 96.4 °C, mientras que esta temperatura en la cocina mejorada del LICEO NAVAL llegó a 99.6°C, sin llegar a ebullición

(ii) Los alimentos utilizados en los experimentos fueron carnes de ganado vacuno, pollo y pescado; así como papas, arroz, tallarín, verde, etc. Las porciones de carne por ejemplo tardaron aproximadamente 3 horas en cocinarse, con una continua re-ubicación de los espejos, con el fin de que el colector reciba mayor radiación.

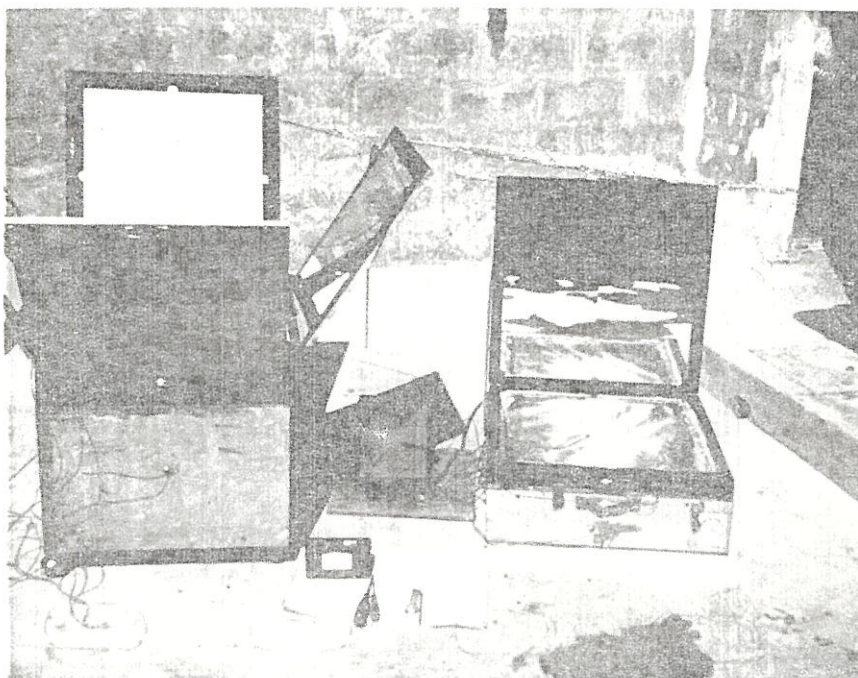


FIGURA A.1.2
COCINETAS SOLARES DE LA FIGURA ANTERIOR, EN
POSICION DE OPERACION

Hasta el momento de realizar las pruebas los resultados preliminares mostraban las siguientes desventajas del uso de la energía solar en tareas de cocción:

(1) Con los colectores planos que aparentemente eran de bajo precio comparados con los colectores de concentración, difícilmente se lograba hervir el agua. La primera etapa de preparación de la mayor parte de alimentos requieren agua en ebullición.

(2) Los períodos largos en los cuales los alimentos permanecen a temperaturas menores a 60 °C, constituyen períodos en los cuales pueden multiplicarse en el alimento bacterias que afecten a la salud. Estos casos fácilmente pueden darse con la operación de la cocina solar en los tiempos de baja radiación solar.

(3) Las cocinas no funcionan en tiempo de nubosidad ni en la noche. Los usuarios deberían depender de las condiciones del ambiente. Esto significa que el usuario debería de adoptar un nuevo patrón de vida, costumbre, borrar sus tradiciones. Esto resulta muy difícil en la práctica.

Fotografías de las diferentes etapas del trabajo experimental de las cocinas solares se presentan en las figuras A.1.3, A.1.4, y A.1.5.

Con el fin de superar estas limitaciones, se construyó un dispositivo que permitiría **combinar** la captación de energía solar con energía de la combustión de leña y biogas. Una fotografía de la instalación de los vidrios del dispositivo se presenta en la figura A.1.6. De los resultados de los primeros ensayos realizados en este dispositivo se pudo observar lo siguiente:

- i) El aislamiento del colector solar, debía evitar las pérdidas de energía solar captada, pero a su vez permitir el flujo de calor de la energía de la combustión de la leña (o biogas) ,
- ii) Puesto que todo el dispositivo era metálico, Las pérdidas de energía solar por conducción eran elevadas,
- iii) La energía de la combustión de la leña(o biogas) en las condiciones del diseño no era **eficientemente utilizada**, puesto que se requería calentar una bandeja (base del colector) de gran tamaño, el aislamiento detenía la transferencia de calor, y finalmente poco de este calor llegaba al alimento. Además no existía una buena distribución de aire para la combustión de leña.

De todas maneras estos resultados deben ser considerados como tentativos, no determinantes puesto que se requiere mayor trabajo de experimentación para mejorar el diseño de este dispositivo.

Como se observa los **resultados preliminares** de esta investigación en el area de la energía solar determinaron que el aprovechamiento de esta energía para fines de cocción en nuestro medio, tiene complicaciones muy difíciles de resolver, tanto técnicas como culturales y de adaptación. En este trabajo de investigación se analizan alternativas energéticas mas sencillas y alcanzables como son el de mejorar los diseños de cocinas de leña actualmente utilizadas por buena parte de la población ecuatoriana, se plantean diseños eficientes, finalmente se estudian los parámetros de diseño de una cocina de kerex, para plantear su mejoramiento e incentivar su uso. Los resultados se presentan como una alternativa para reducir el consumo indiscriminado de leña, y para desestimular el consumo de LPG altamente subsidiado por el Gobierno Central.

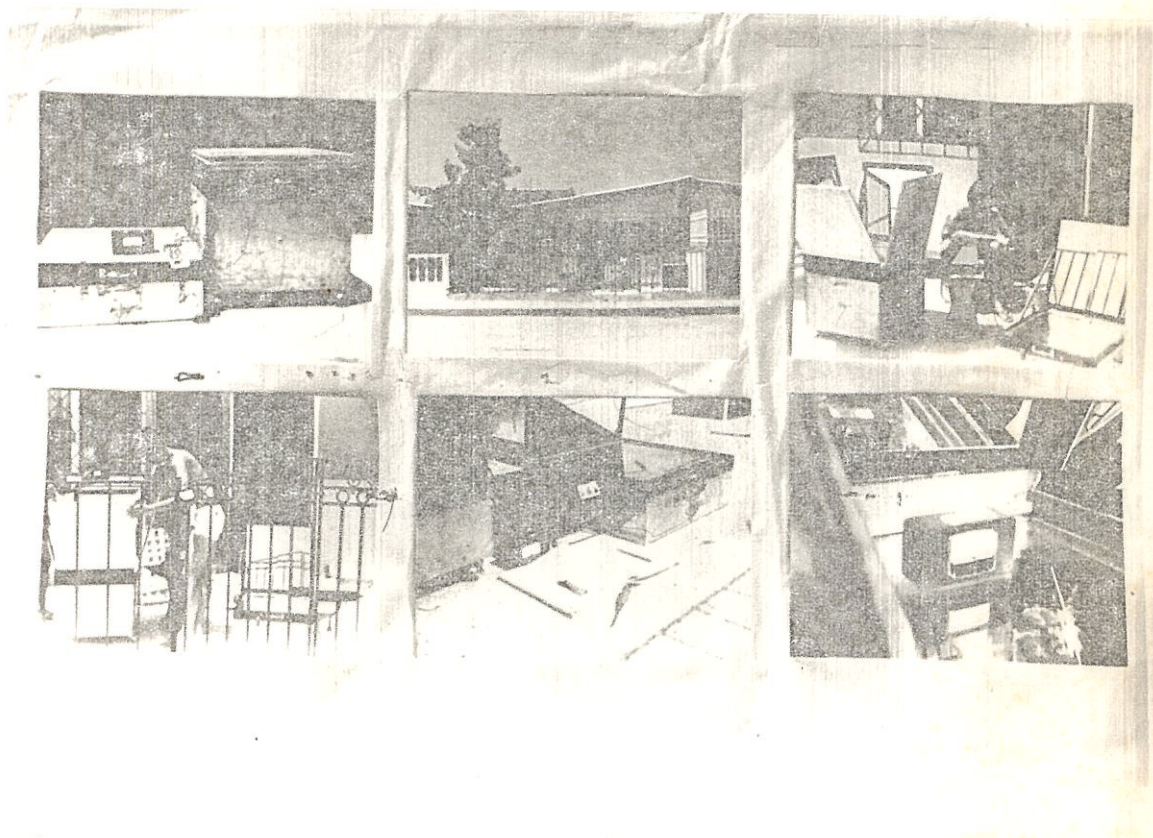


FIGURA A.1.3

Ubicación e instalación de las cocinas solares para el inicio de la prueba

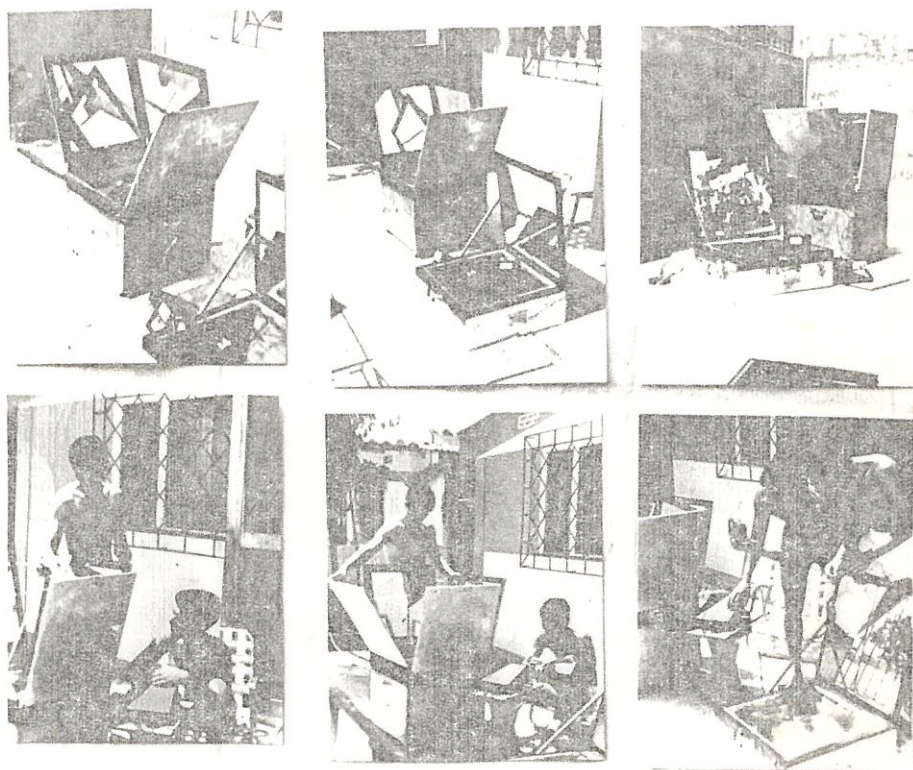


FIGURA A.1.4
Cocinas en operación y control de radiación y ajuste de ubicación

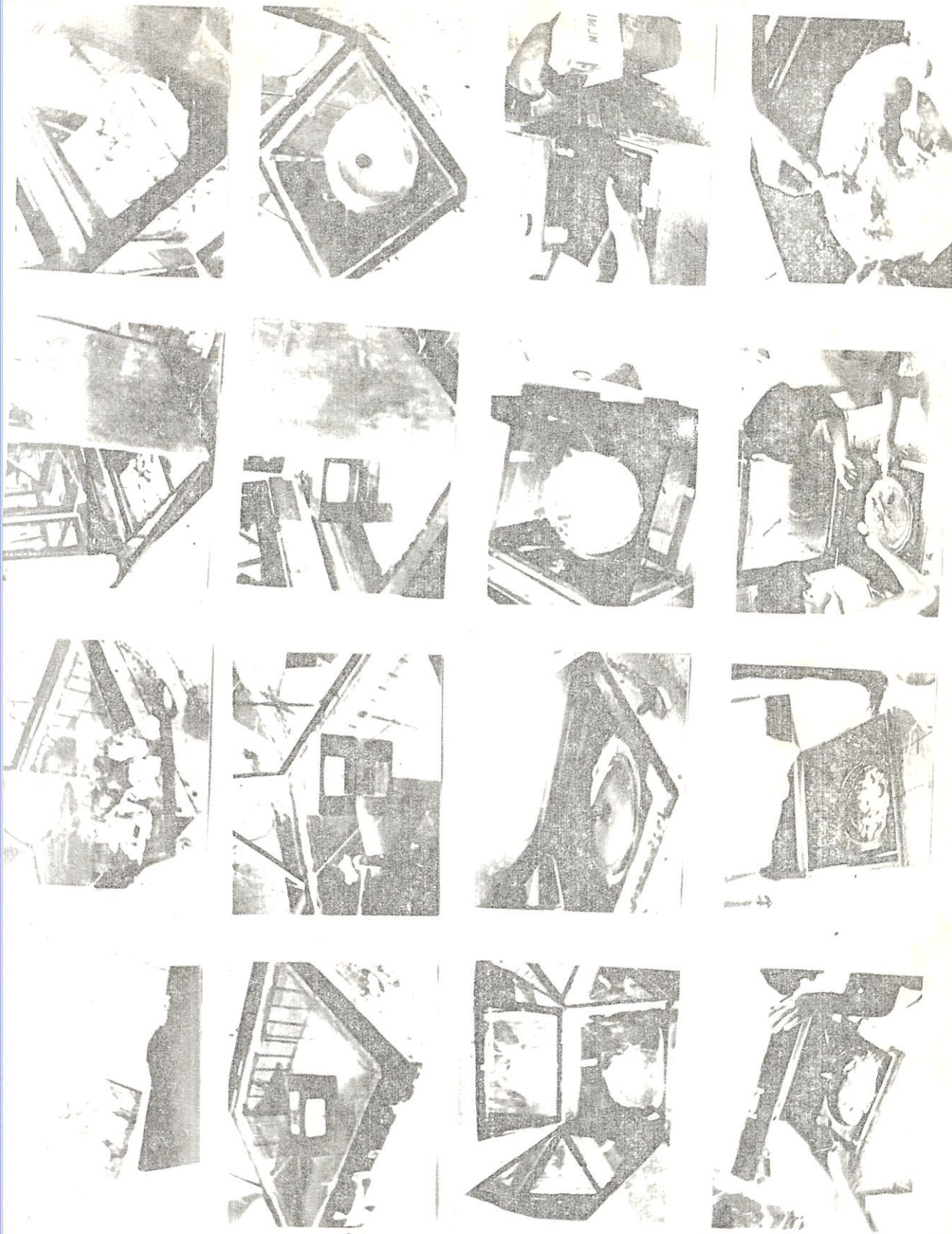


FIGURA A.1.5 Etapas de la cocción solar. Los alimentos crudos son ubicados en el interior de la cocina caliente. Los platos deben estar debidamente tapados. La cocina debe ser re-ubicada constantemente. Finalmente se observa en la fotografía que



FIGURA A.1.6
ETAPA DE CONSTRUCCION DE UN DISPOSITIVO DE COCCION QUE
COMBINA EL USO DE ENERGIA SOLAR, LEÑA Y BIOGAS

APENDICE 3.1

RESULTADOS DE LA ENCUESTA PARA DETERMINAR LOS FOGONES DE LEÑA MAS COMUNES DEL LITORAL

En este apéndice, se presenta lo siguiente:

- (I) Fotografías de la encuesta realizada en zonas rurales
- (ii) Algunas ilustraciones gráficas de los diferentes tipos de fogones que utilizan actualmente los habitantes de la zona rural ecuatoriana.
- (iii) Fotografías selectas de fogones típicos
- (iv) Descripción literal de cada tipo
- (v) Distribución y ubicación de los diferentes tipos de fogones en un esquema de la provincia del Guayas.



FIGURA 3.1.A Fogón perteneciente a un restaurant en la zona cercana al punto llamado Km 4 $\frac{1}{2}$, cercano a Milagro



FIGURA 3.1.b

Fogón de una familia de la comunidad del recinto Los Monos (Vía Milagro-Km 26). En la fotografía inferior se aprecia a una habitante rural, indicando las especies de árboles que utiliza como energía de cocción.

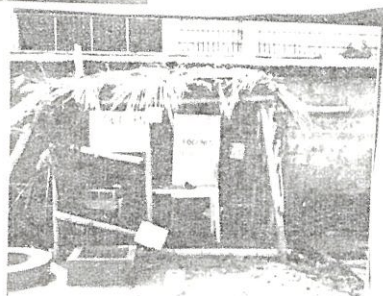


FIGURA 3.1.c

FOTO SUPERIOR: a)Fogón en la zona de la vía Milagro-Bucay b)Ama de casa indicando el uso de su fogón.c)Representación típica de una casa rural y sus fogones (Casa abierta CETE-ESPOL)

FOTO INFERIOR: Durante la encuesta se observó que como alternativa de la leña, utilizan cocinas de kerex.

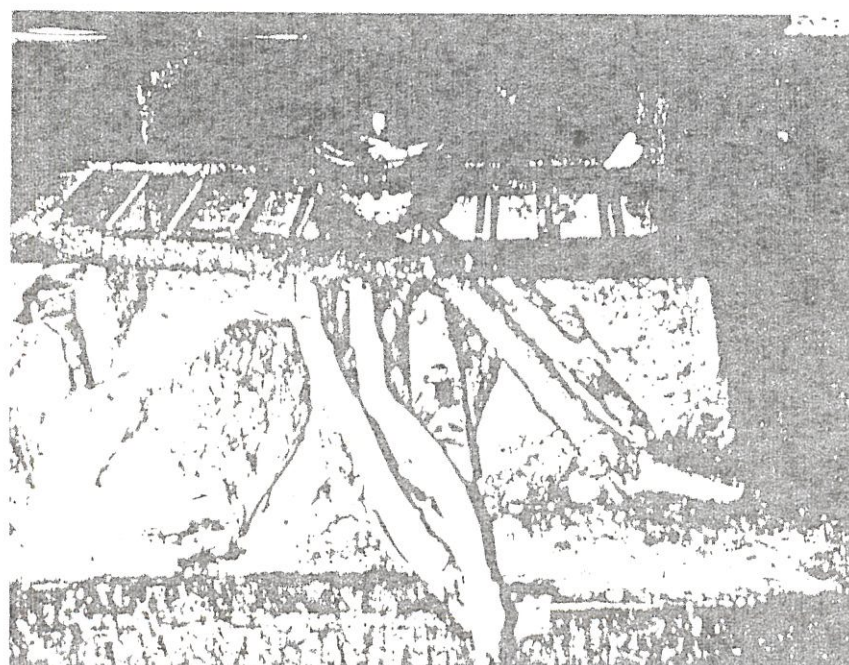
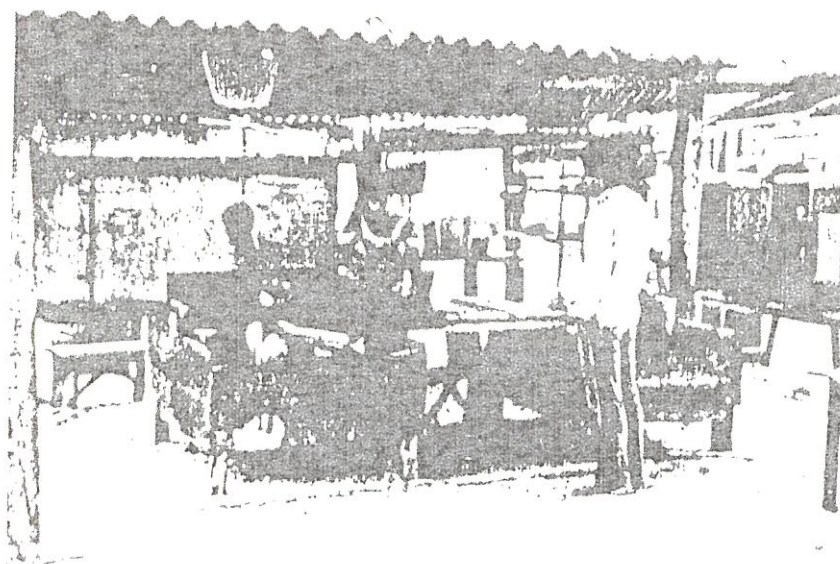


FIGURA 3.1.D
Fogón comercial, Ayangue, Península de Santa Elena: Fogón de dos piedras con barrera contra el viento.

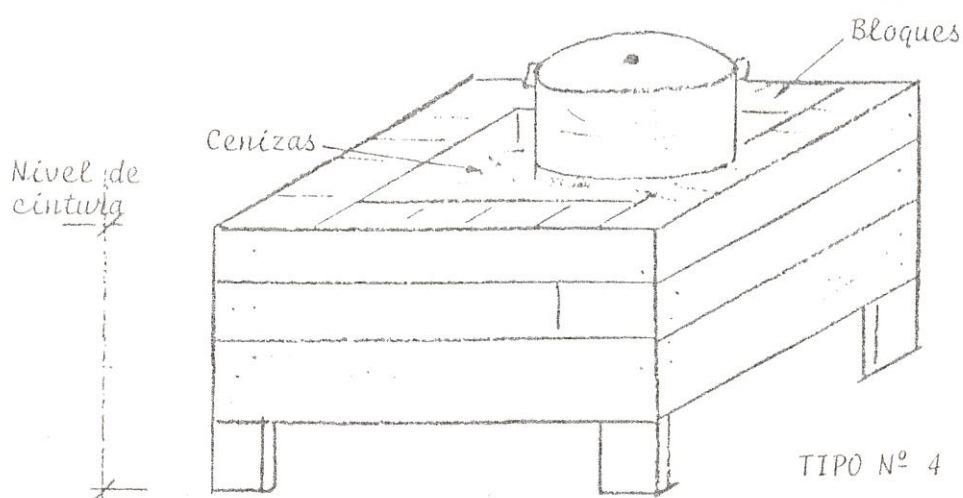
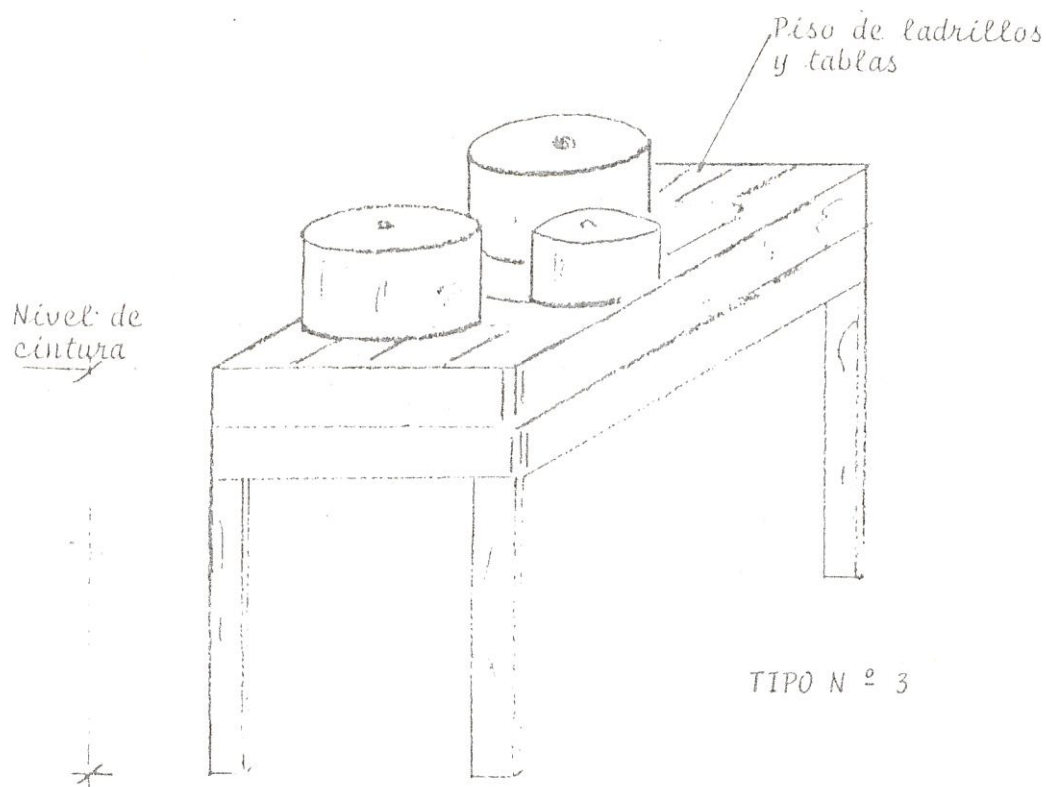
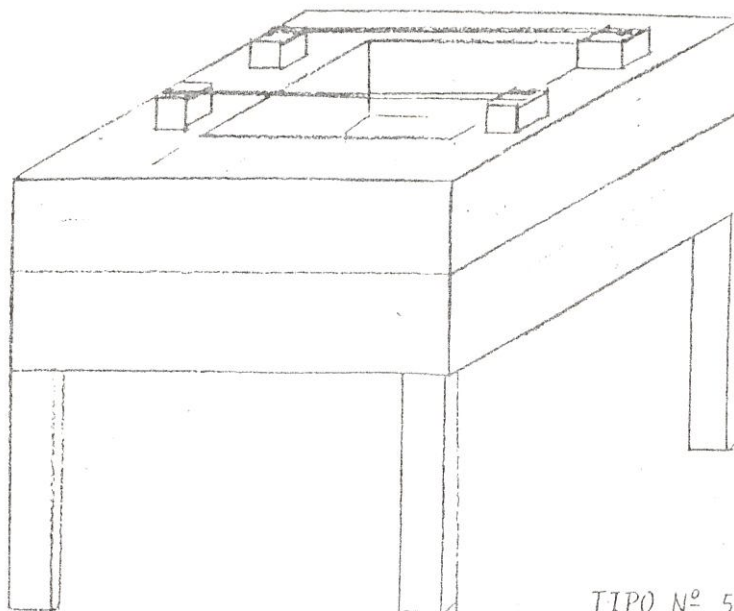


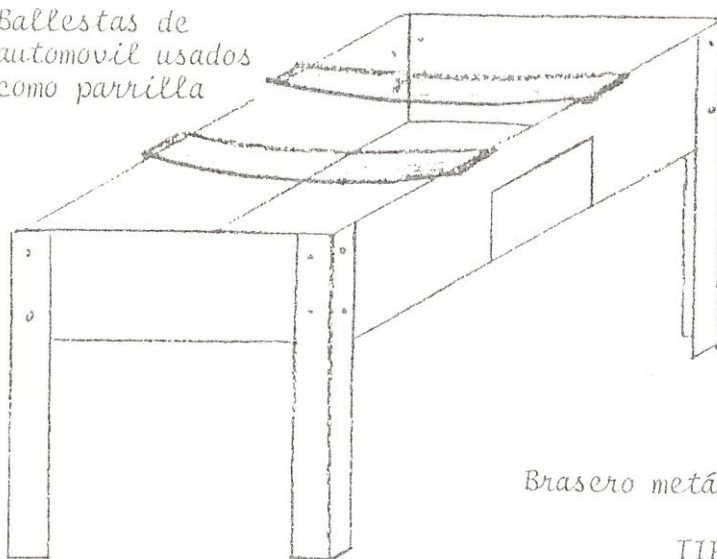
FIGURA 3.1.E

Zona de Mariscal Sucre

Parrilla Ladrillo

Nivel de
cintura

TIPO N° 5

Zona para quema
de leñaBallestas de
automovil usados
como parrillaNivel de
cintura

Brasero metálico

TIPO N° 6

FIGURA 3.1.F

Zona de Naranjito

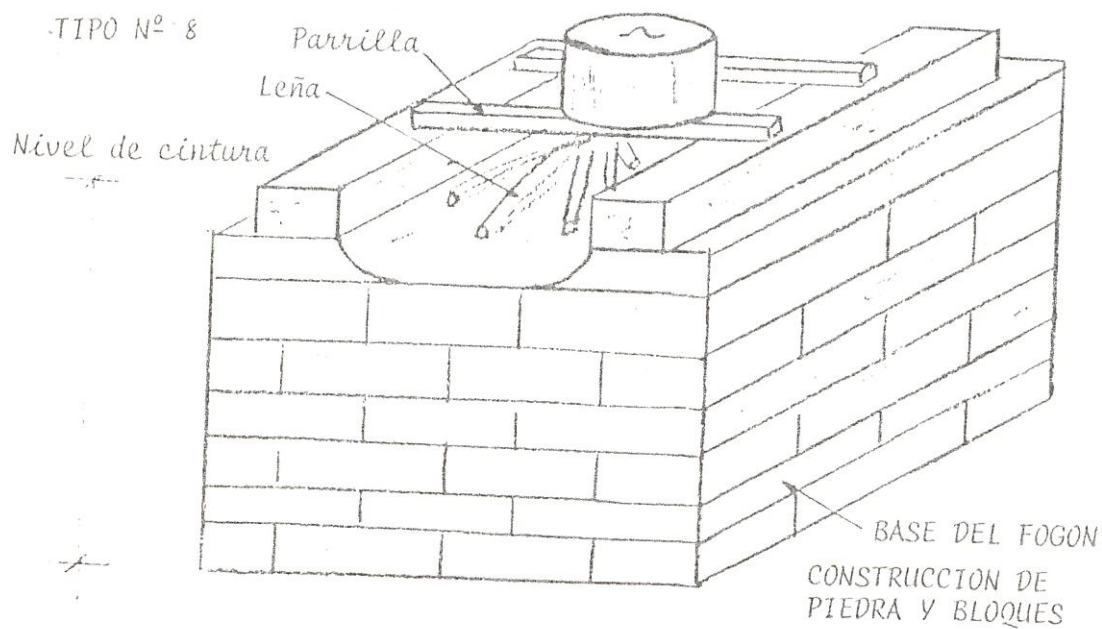
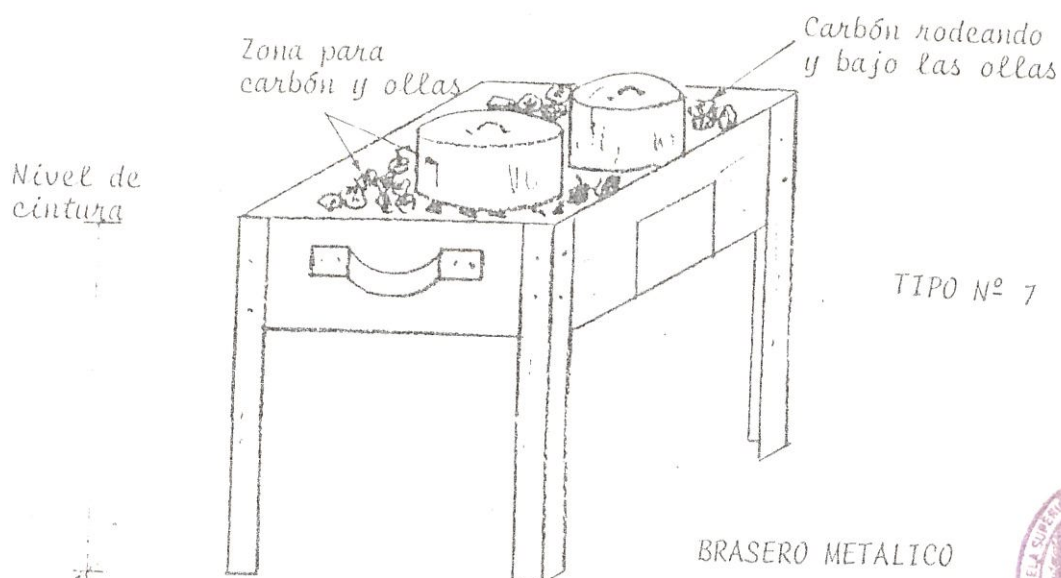


FIGURA 3.1 G
Zona Banco de Arena Km 8 1/2. Milagro-Naranjito

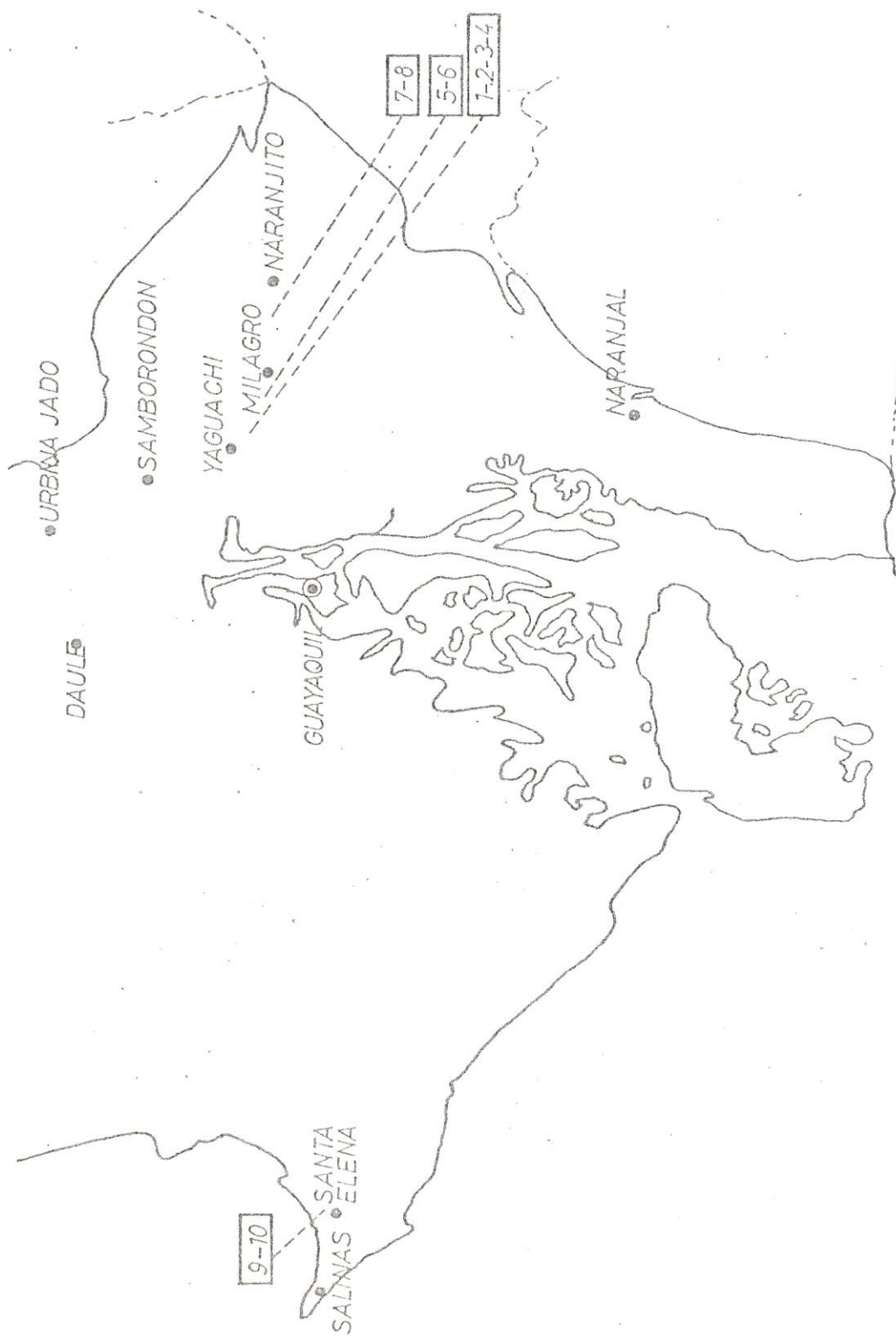


FIGURA 3.1.1.-

Ubicacion de los modelos de fogones
tradicionales encontrados en el area rural.

DESCRIPCION LITERAL DE CADA TIPO DE FOGON

TIPO No 1

- Estructura de madera
- El sitio o cámara de combustión está formado de ladrillos, que bordean y forman un gran hueco, en donde se deposita la leña a quemarse
- Las ollas van colocadas encima de un gran soporte
- Las dimensiones son aproximadamente 90 cm X 120 cm y 60 cm de altura
- Lo utilizan exteriormente

TIPO No 2

- Estructura de madera
- Cámara de combustión: arreglo de ladrillos
- Dimensiones: Aproximadamente 60 X 40 X 40 cm

TIPO No 3

- Estructura de madera
- Alta, supera la altura de la cintura
- La cámara de combustión es un hueco formado de bloques y de marco de madera
- Se lo usa en el interior
- Capacidad tres a cuatro ollas
- Medidas aproximadamente 55 X 80 X 100 cm

TIPO No 4

- Estructura de madera
- Funcionamiento interior
- Aspecto de caja grande y con soporte bajo
- La cámara de combustión está formada por: ladrillos y madera
- A la altura de la cintura
- Dimensiones aproximadamente: 70 X 50 X 80 cm.

TIPO No 5

- Estructura de metal
- Cámara de combustión de ladrillos
- Usan parrillas grandes. Abarcan varias ollas 5 ó 6
- Funcionan exteriormente
- Medidas: 80 X 100 X 80 cm.

TIPO No 6

- Estructura de metal
- Soporte ancho
- La cámara de combustión es también de metal

- Usa una parrilla de resortes de automóvil. Las ollas no van empotradas
- Funciona exteriormente
- Dimensiones : 55 X 75 X 80 cm

TIPO No 7

- Similar al anterior, pero no usa parrilla. Simplemente las ollas se asientan en la misma cámara de combustión rodeada de carbón encendido

TIPO No 8

- Se aprovecha una construcción de piedra para usarla como mesa soporte
- Utiliza grandes bloques como base de parrilla
- Es de uso exterior y puede abarcar muchas ollas (6 ó 7)
- Sus medidas son grandes : 100 X 110 X 80 cm

TIPO No 9

- Fogón de gran tamaño
- Estructura de madera, con soporte pequeño
- La cámara de combustión es de ladrillos
- La parrilla está soportada por bloques
- Las dimensiones son: 100 X 110 X 80 cm

TIPO No 10

- Fogón de gran tamaño
- Estructura de madera
- Tiene paredes aislantes de ladrillos delgados y grandes para proteger el calor de la influencia del viento

APENDICE 3.2

DEFINICIONES Y FORMULAS UTILIZADAS EN USO DE LEÑA Y FOGONES PARA COCCION

1.- ENSAYO DE AGUA HIRVIENDO (EAH)

Ensayo simple de laboratorio para determinar la bondad de un fogón. Se utilizan cantidades normalizadas de agua (para simular las mezclas agua-alimentos) y duración de las pruebas. Este tipo de ensayo permite una evaluación rápida y confiable de los diferentes parámetros de diseño de los fogones, por separado. Estos ensayos constan de dos fases una de alta potencia y una de baja potencia. En base a los datos se consigue la fase de potencia global.

a.- Fase de alta potencia: Esta implica llevar el agua al punto de ebullición en el menor tiempo posible, pero controlando la potencia para economizar leña. En el caso de fogones de mas de una olla, esta fase termina cuando el agua de la primera olla alcanza la ebullición.

b.- Fase de baja potencia: Esta fase consiste en mantener con fuego lento el agua a la temperatura de ebullición por un tiempo determinado. Se admite una disminución de máximo de 5 °C por debajo de esta temperatura. La duración de esta fase puede ser de 45 ó 60 minutos. (En este trabajo se empleó la metodología VITA sugerida en la referencia 24 con modificaciones necesarias.)

2.- PORCENTAJE DE CALOR UTILIZADO (PCU)

Es una medida de la eficiencia de los fogones, utilizada para la evaluación de resultados de los EAH. El PCU relaciona la ganancia de energía en la olla (incremento de temperatura del agua mas el calor latente del agua evaporada) dividida entre el calor suministrado por la leña o carbón. Es importante notar que para hervir el agua, parte de esta se evapora, por lo que la energía útil es la energía necesaria para elevar la temperatura y evaporar el agua. El PCU se calcula para las fases de alta y baja potencia y globalmente.

Ecuación 3.2.1:

$$PCU = \frac{\Sigma A_c (4.2) (T_2 - T_1) + A_e (2260)}{L_q VCL_1 - C_r VCC_r}$$

Dónde:

A_c :	Cantidad de agua inicial (kg)
4.2:	Calor específico del agua (kj/kg °C)
T_2 :	Temperatura final del agua en la olla (100 °C para la primera)

T_1 : Temperatura inicial del agua ($^{\circ}\text{C}$)
 A_e : Cantidad de agua evaporada (kg)
 2260: Calor latente de vaporización del agua (Kj/Kg)
 L_q : Cantidad de leña consumida (KG)
 VCL_1 Valor calorífico de la leña en base húmeda (kj/kg)
 C_r : Cantidad de carbón remanente del ensayo (kg)
 VCC_r Valor calorífico del carbón con contenido de
 humedad cero, esto es 29000 kj/kg, constante

Donde, refiriéndose a las fichas de ensayo (figura 3.3): para alta potencia A_c es el valor del agua inicial (valor C de las fichas), $T_2 = 100^{\circ}\text{C}$ y T_1 = temperatura del agua ambiente; A es el valor E de las fichas; L_q es el valor L de las fichas; C_r es el valor del peso del carbón remanente al final de la fase de alta potencia.

Para baja potencia, tenemos que: A_c = valor C de las fichas-valor E de las mismas; A_e = valor G; L_q = valor M, C_r = peso del carbón luego de 45 minutos.

Para PCU general o global, A_c = valor C; A_e = valor H; $L_q = L + M$; C_r = suma de los dos valores del carbón remanente en alta y baja potencia.

3.POTENCIA DE FOGON

Cantidad de energía liberada por el fogón por unidad de tiempo. Este parámetro se calcula para las fases de alta y baja potencia. En general:

Ecuación 3.2.2:

$$P = \frac{L_q \cdot VCC_1}{t} \quad (\text{kw})$$

dónde t es el tiempo transcurrido hasta la ebullición del agua para la fase de alta potencia y es el tiempo de duración de la fase en el caso de baja potencia (45 minutos en los ensayos de trabajo, y variaciones)

4.- FLEXIBILIDAD DEL FOGON

Es la relación entre la potencia en alta y la potencia en baja. Por definición, la flexibilidad debe ser siempre mayor que la unidad

Ecuación 3.2.3:

$$F = \frac{P_{\text{alta}}}{P_{\text{baja}}} = \frac{P(A)}{P(B)}$$

5.- RANGO DE POTENCIA

Es la diferencia entre las potencias en las fases de alta y baja. Para el caso de las cocinas de kerex, se la identifica como rango de poder

Ecuación 3.2.4:

$$VP = P(A) - P(B) \quad (\text{kw})$$

6.- CONSUMO ESPECIFICO

Es el combustible dividido para la masa de alimento cocinado (o agua calentada)

Ecuación 3.2.5

$$CE = \frac{L_q}{A} \quad \left(\frac{\text{Kg leña}}{\text{Kg agua}} \right)$$

donde L_q es la cantidad de leña consumida en las dos fases de potencia y A_c es la cantidad de agua con la que se inició el ensayo.

APENDICE 3.3
ILUSTRACIONES DEL EQUIPO UTILIZADO



FIGURA 3.3.A

a) Laboratorio en el cual se realizaron los ensayos de los fogones de leña.
b) Balanza electrónica adquirida por el CETE y otros equipos, y d) Banco de pruebas con fogones de 2 y 3 piedras.

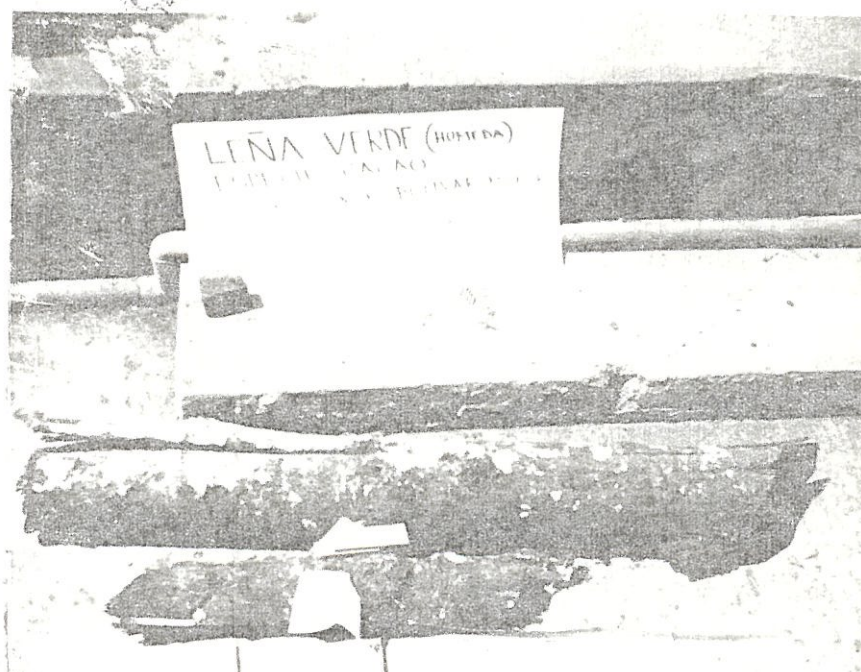
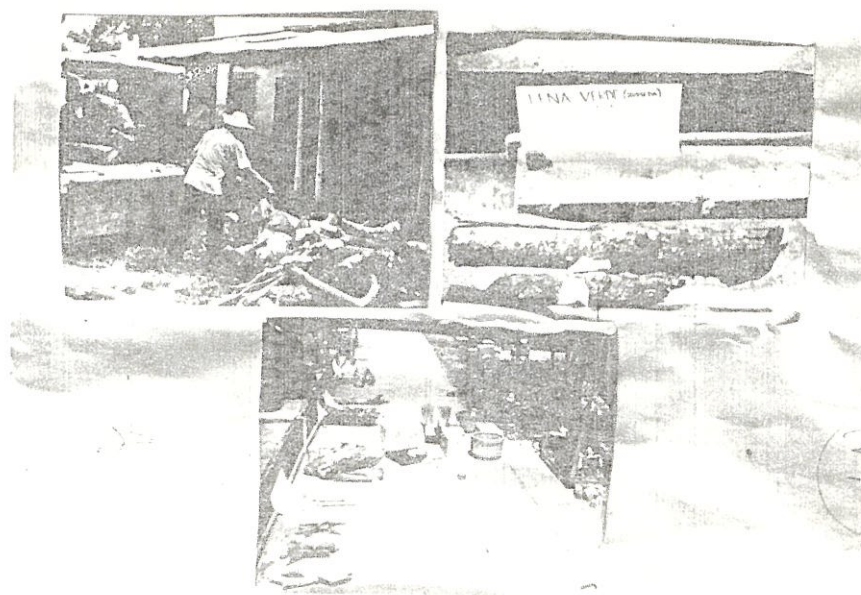


FIGURA 3.3.B

a) Compra de leña, para ser transportada a la ESPOL b) y c) Corte, pesaje e identificación de la especie de leña para iniciar los ensayos



FIGURA 3.3.A.a.-BANCO DE PRUEBAS DEL FOGON DE DOS
PIEDRAS



FIGURA 3.3.A.b.-BANCO DE PRUEBAS DEL FOGON DE TRES PIEDRAS

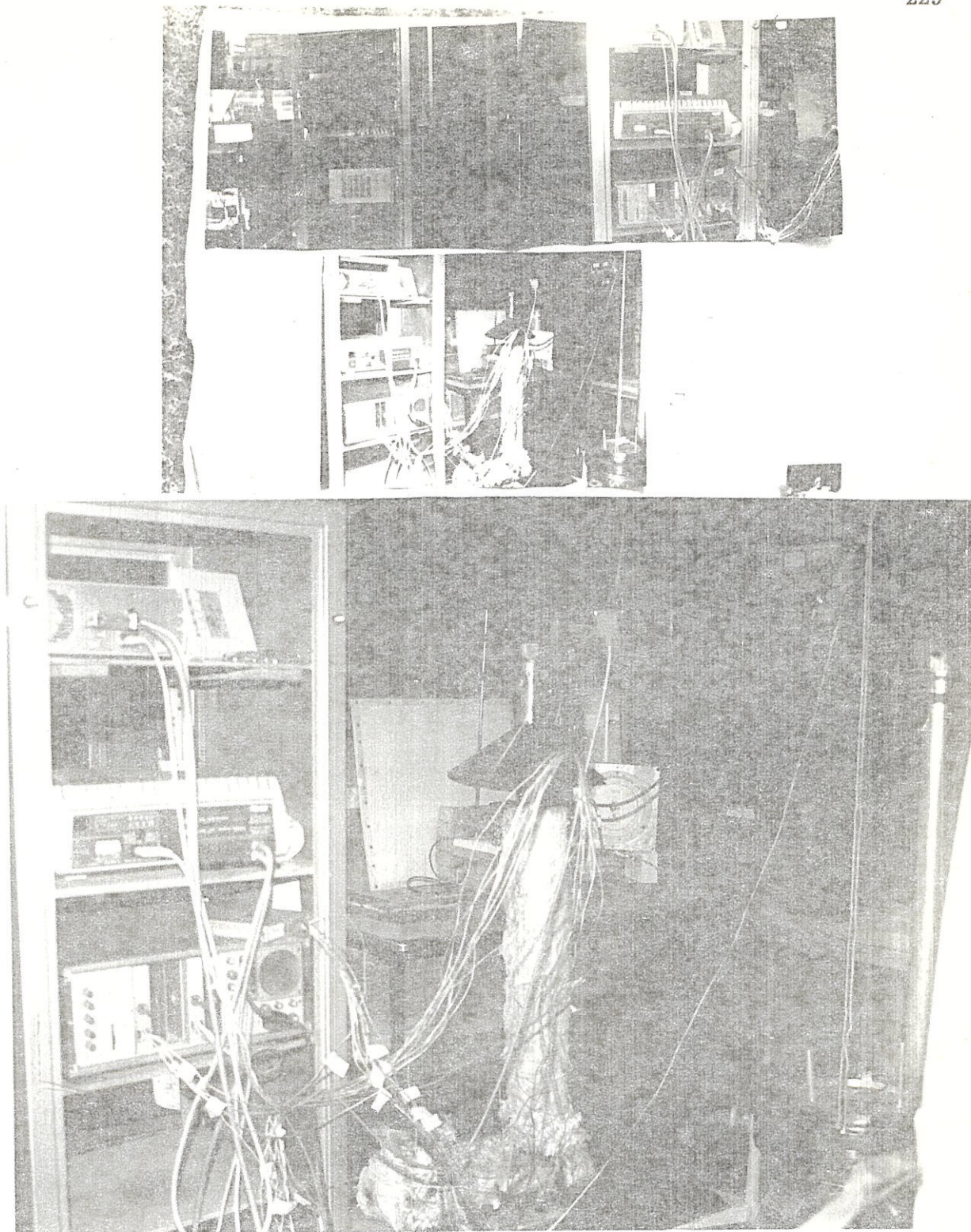


FIGURA 3.3.C
LABORATORIO DEL WOODBURNING STOVE GROUP-Universidad de
Holanda, en el cual se realizaron los ensayos de la cocina de kerex. Las
fotografías muestran en el primer plano, el equipo de computación y el
data logger

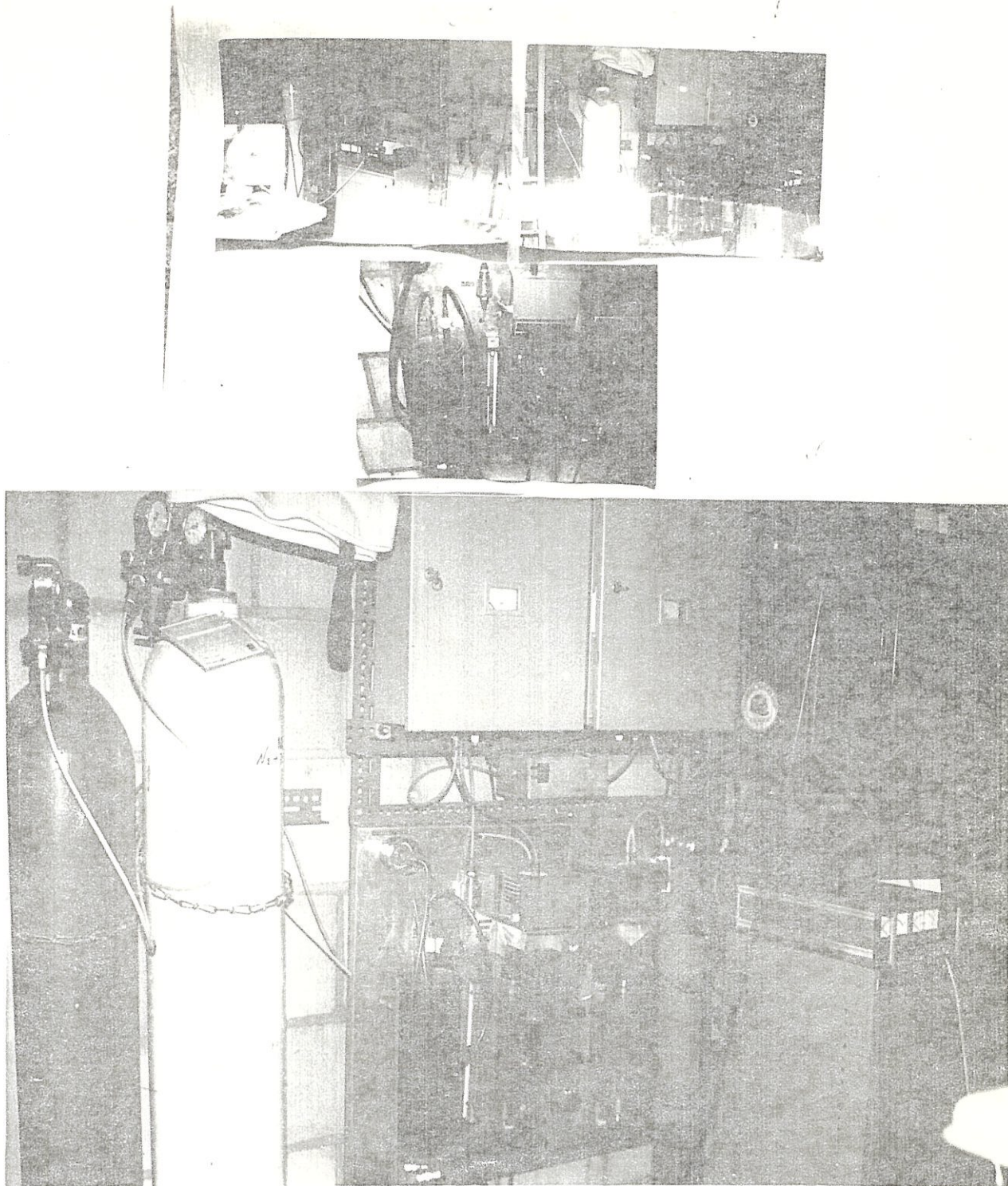


FIGURA 3.3.D
LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD DE HOLANDA (ver figura 3.3.C). Las fotografías muestran el equipo de análisis de gases de combustión, cuyo resultado es registrado en el data logger de la figura anterior.

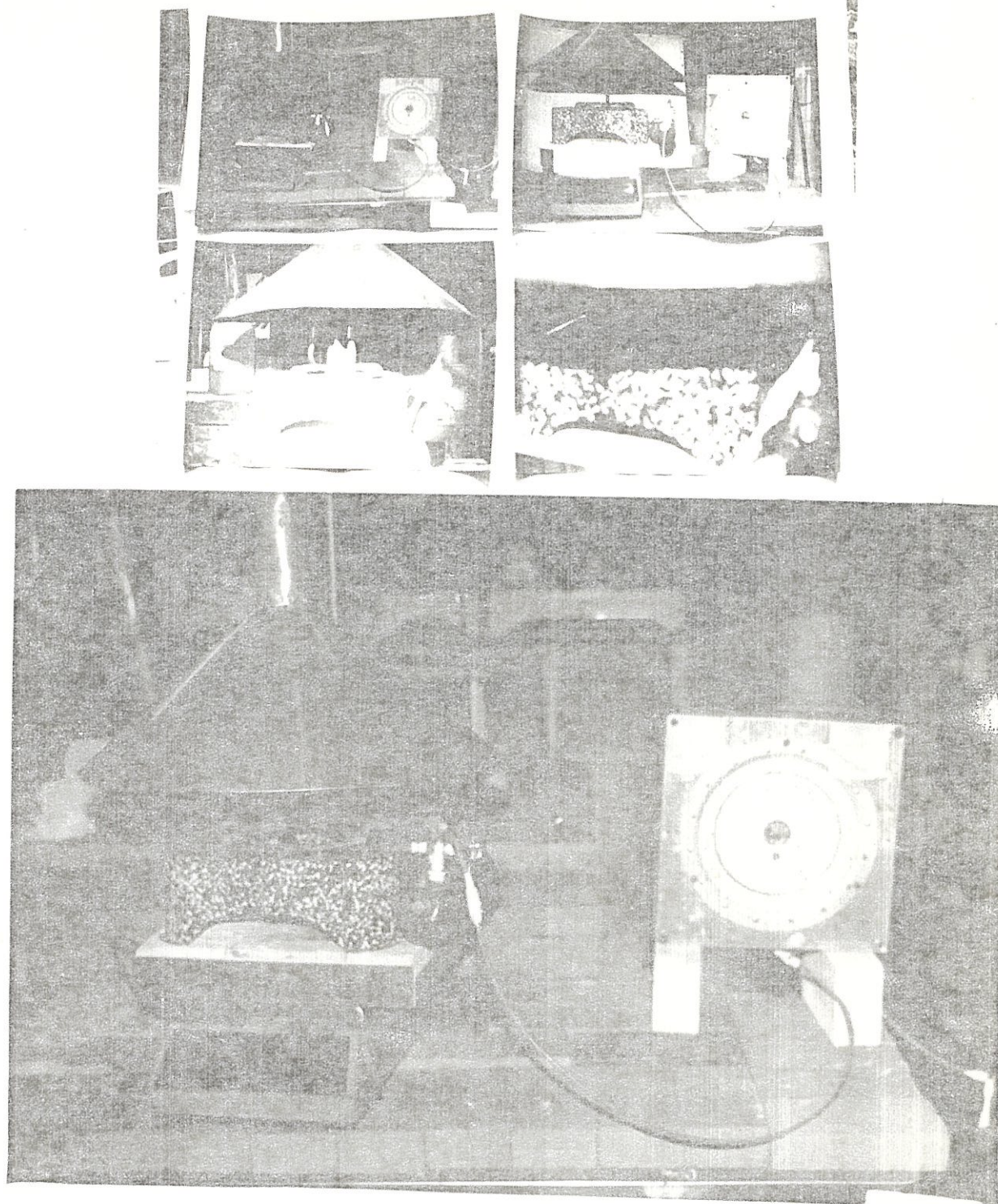


FIGURA 3.3.E

Cocina de Kerex en el inicio del ensayo. Nótese el sistema conectado a un manómetro y a una fuente de aire, para mantener constante la presión en el tanque (a y b). La foto c, muestra la llama inicial del encendido.

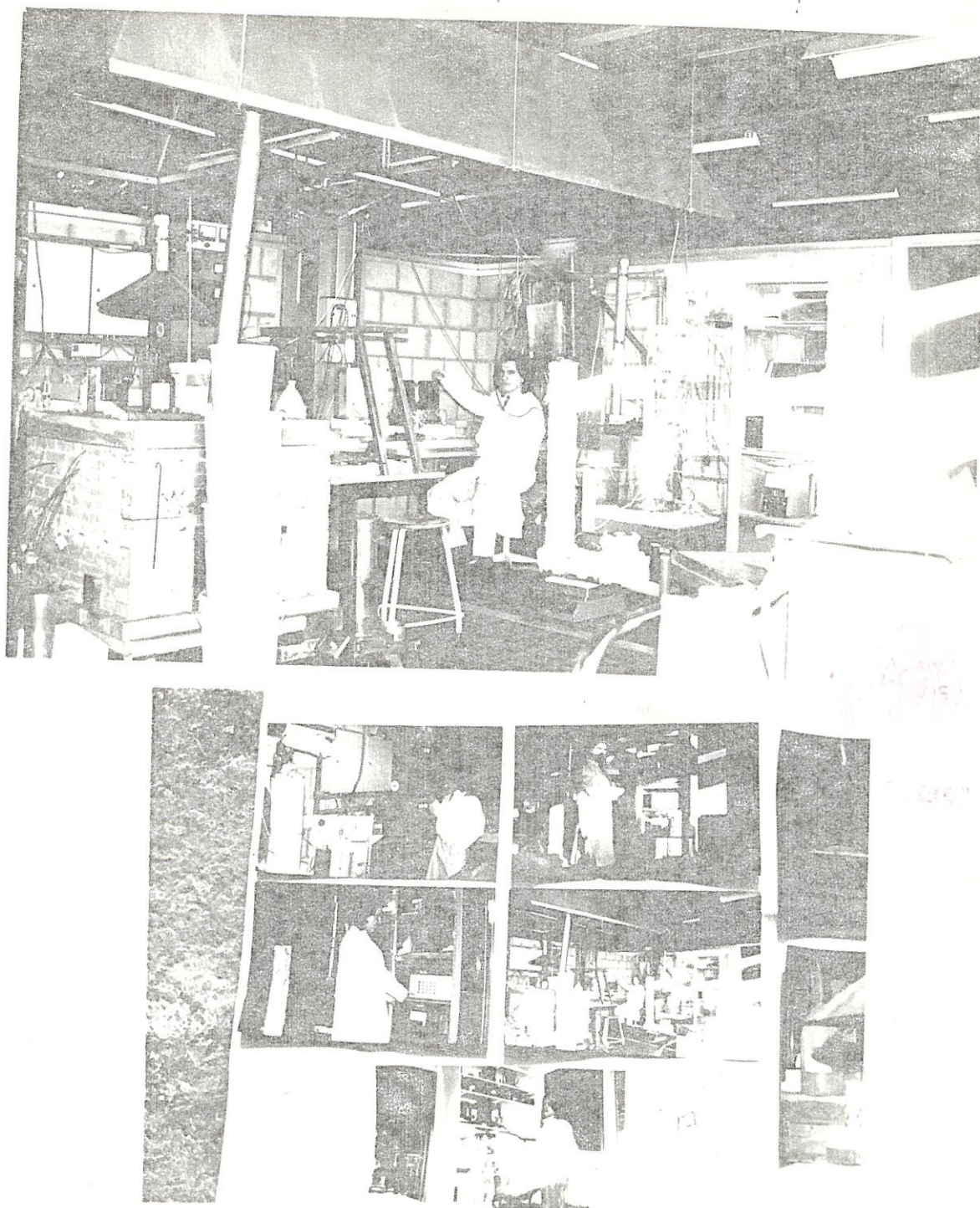


FIGURA 3.3.F

CALIBRACION DE LOS EQUIPOS PARA INICIO DE LA PRUEBA. c) Al presionar el botón "enter" en el computador se inicia el registro de datos. d) La prueba se ha iniciado, el registro de datos es automático, no necesita control. e) Diferentes modelos de cocinas de kerex de mecha, cuyas pruebas se presentan en la referencia 14 y en el anexo.

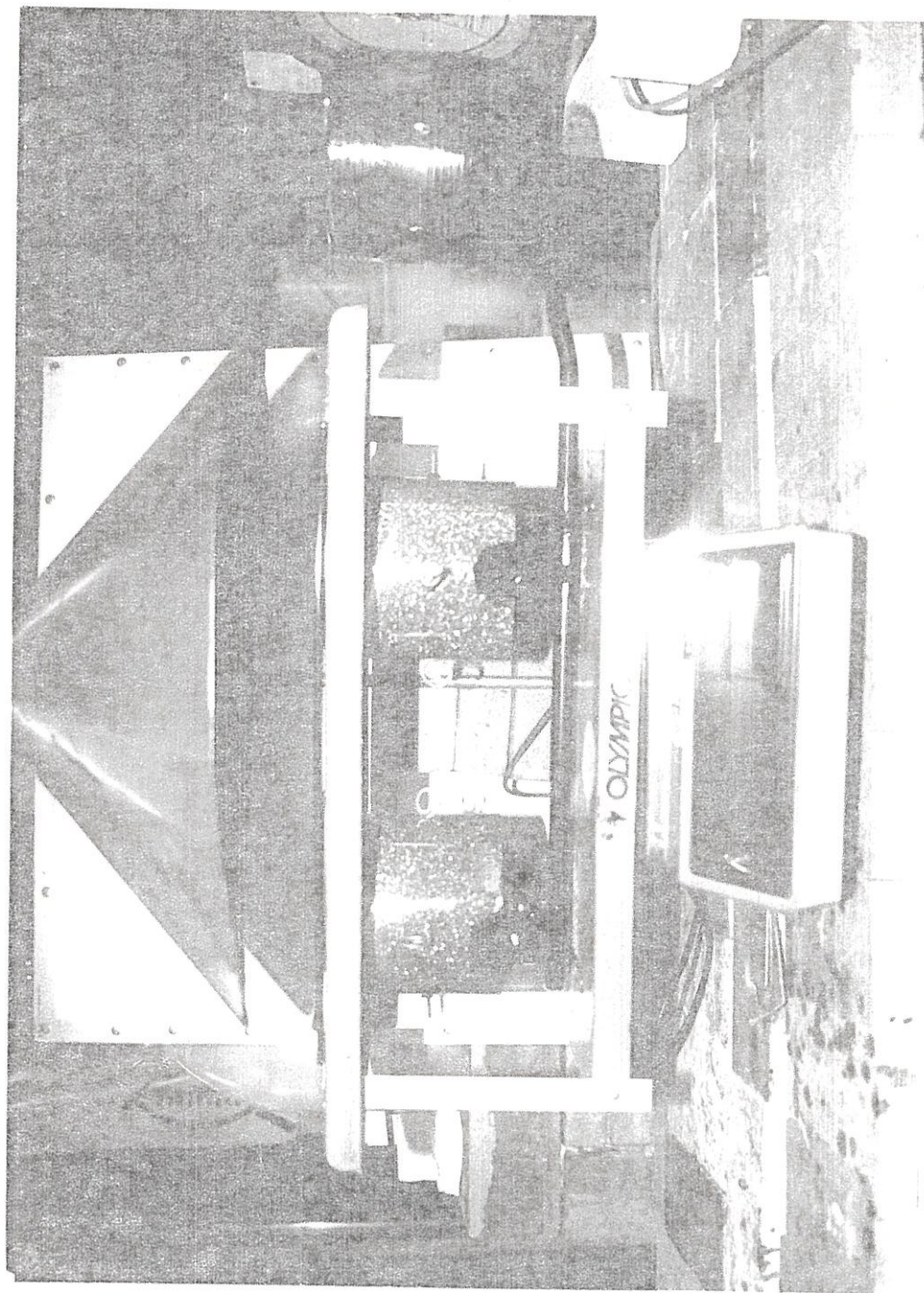


FIGURA 3.3.G .-Cocina de mecha a kerex, enviada por Electrodomesticos DUREX S.A. al laboratorio de WSG para realizar un analisis de su funcionamiento

Nº de prueba	Masa inicial de agua m_{ia} (Kg)	Masa final de agua m_{fa} (Kg)	Masa de vapor m_v (Kg)	Temperatura inicial del agua t_i (°C)	Temperatura final del agua t_f (°C)	Masa de carbón formado m_c (Kg)	Eficiencia η (%)
1	2.00	0.75	1.25	16.5	91.5	0.170	11.67
2	2.00	0.69	1.31	15.5	91.5	0.159	12.02
3	2.00	0.81	1.19	15.5	91.5	0.172	11.26
4	2.00	0.77	1.23	15.0	91.5	0.179	11.66
5	2.00	0.75	1.25	17.0	91.5	0.163	11.57

Eficiencia promedio: $\eta = 11.64\%$

APENDICE 3.4 RESULTADOS DE OTRAS INVESTIGACIONES DE COCINAS DE LENA

TABLA A.3.4.1.-DATOS Y RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE EFICIENCIA DEL FOGON DE VARILLAS Y LADRILLOS (DOS PIEDRAS) descritas en la referencia 3.

Prueba	Masa inicial de agua m_{ia} (Kg)	Masa final de agua m_{fa} (Kg)	Masa de vapor m_v (Kg)	Temperatura inicial del agua t_i (°C)	Temperatura final del agua t_f (°C)	Masa de carbón formado m_c (Kg)	Eficiencia η (%)
1	2.00	0.85	1.15	17.0	91.5	0.163	10.74
2	2.00	0.79	1.21	17.0	91.5	0.155	11.18
3	2.00	0.92	1.08	16.5	91.5	0.159	10.26
4	2.00	0.98	1.02	17.0	91.5	0.134	9.56
5	2.00	1.10	0.9	15.5	91.5	0.146	8.81

Eficiencia promedio: $\eta = 10.11\%$

TABLA A.3.4.2.- DATOS Y RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE EFICIENCIA DEL FOGON DE TRES PIEDRAS, DESCRITAS EN LA REFERENCIA 3.

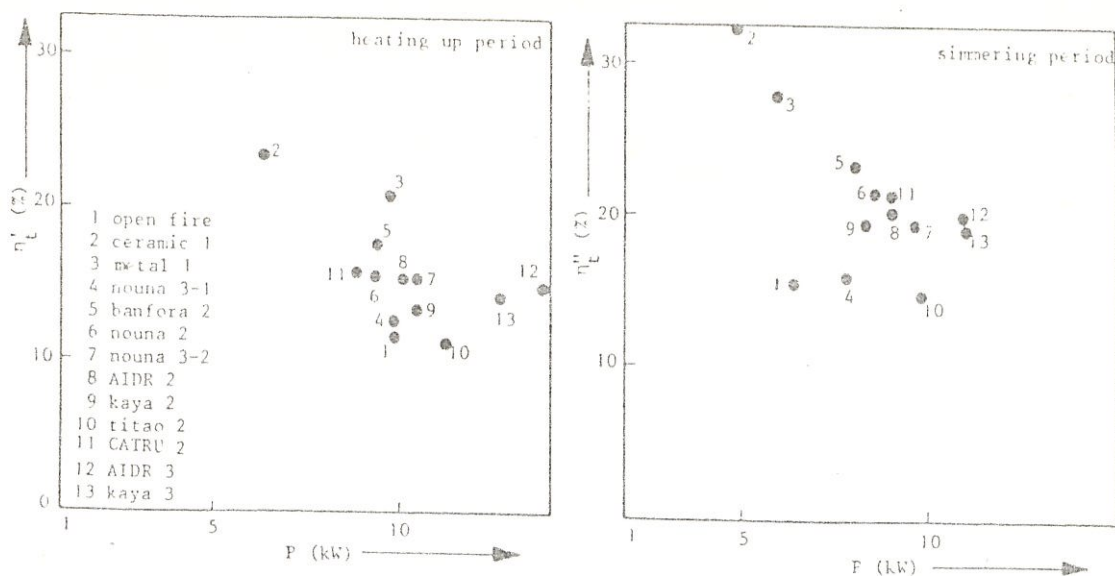


FIGURA A.3.4.1

Eficiencia en función de la potencia a) alta operación del fuego b) baja operación del fuego. (Referencia 4b)

En la figura, de acuerdo a la referencia citada, las especificaciones mas relevantes de los fogones, se puntualizan a continuación:

- 1 open fire: fogón abierto tradicional
- 2 ceramic: portable, arcilla
- 3 metal 1: metal ,balde, portable
- 5 Banfora 2: ladrillos, tierra-arcilla, cemento para el acabado, con abertura de protección, sin chimenea
- 7 Nouma 3-2: concreto, paredes y chimenea, barras de hierro para refuerzo
- 8 AIDR 2: ladrillos "Baco" con paredes, concreto, chimenea, barras de hierro
- 9 Kaya 2: ladrillos "Baco", con pared y chimenea, se usa mezcla de tierra y arcilla, y cemento para prevenir destrucción del enlucido
- 10 Titao 2: ladrillo baco en la pared y chimenea e interior, anillos de cerámica para la hornilla
- 11 Catru 2 se usa concreto y ladrillo para pared externa y usa chimenea. Barrillas de hierro con marco de puerta.
- 13 Kaya: 3 hornillas, concreto, barrillas y chimenea, barras de hierro.

En resumen los fogones portátiles sin chimenea son el 1, 2, y 3. El 3 es semejante al fogón BALDE-INE, y el 2 al fogón BARRO-INE. El fogón 11 es semiportátil con chimenea. El 5 es fijo y no tiene chimenea. Los fijos con chimenea son el 13, 8, 6, 12, 7, 4, 10 y 9.

APENDICE 3.5

DEFINICION DE LA EFICIENCIA

La cantidad de energía que pueda ser utilizada por el alimento del total de energía suministrada por el combustible puede ser interpretada como eficiencia. En la práctica, la medición y la interpretación de la eficiencia de un fogón puede tener complicaciones no subestimables.

La eficiencia no es un número aislado. Es un parámetro complejo muy sensible que depende de todas y cada una de las variables del sistema y de las condiciones de operación. Muchas veces esta dependencia es impredecible.

Un fogón no puede ser comparado en términos absolutos con otro en cuanto a su eficiencia se refiere, puesto que los parámetros y condiciones de operación difícilmente se pueden repetir.

Un fogón puede ser eficiente cuando es operado bajo condiciones específicas de funcionamiento, es decir a una cierta potencia, con un tamaño de leña determinado, con el flujo de gases en la chimenea 50% abierto, con un tamaño de olla apropiado, bajo condiciones de clima determinadas (viento en calma, humedad relativa, etc.). Por esta razón existen diferentes valores de eficiencia para un mismo fogón en las diferentes referencias consultadas.

Bajo estas consideraciones, es conveniente citar los valores de eficiencia incluyendo las condiciones de operación. Además de indicar el rango de

potencia, se debería indicar los otros parámetros involucrados.

En la figura 3.4.5 se ilustra este concepto de eficiencia. En dicha figura se ubican los valores de la eficiencia de un fogón específico de configuración determinada. Cada valor de la eficiencia está representada como un punto ubicado en el espacio y que depende de las coordenadas determinadas por la potencia (coordenada X) y las condiciones de operación (coordenada Y). La coordenada Y puede ser un número específico o factor de control que resume la influencia de condiciones externas: velocidad viento, humedad relativa, ubicación del fogón, control constante del fuego por parte del operador, tamaño de olla, etc.

De acuerdo a lo anterior, se puede dar el caso de que un mismo fogón funcionando a la misma potencia, puede tener diferente nivel de eficiencia.

EFICIENCIA COMO FUNCION DE PARAMETROS
Y DE CONDICIONES DE OPERACION DEL FOGON

- Alta poten.
- Baja poten.

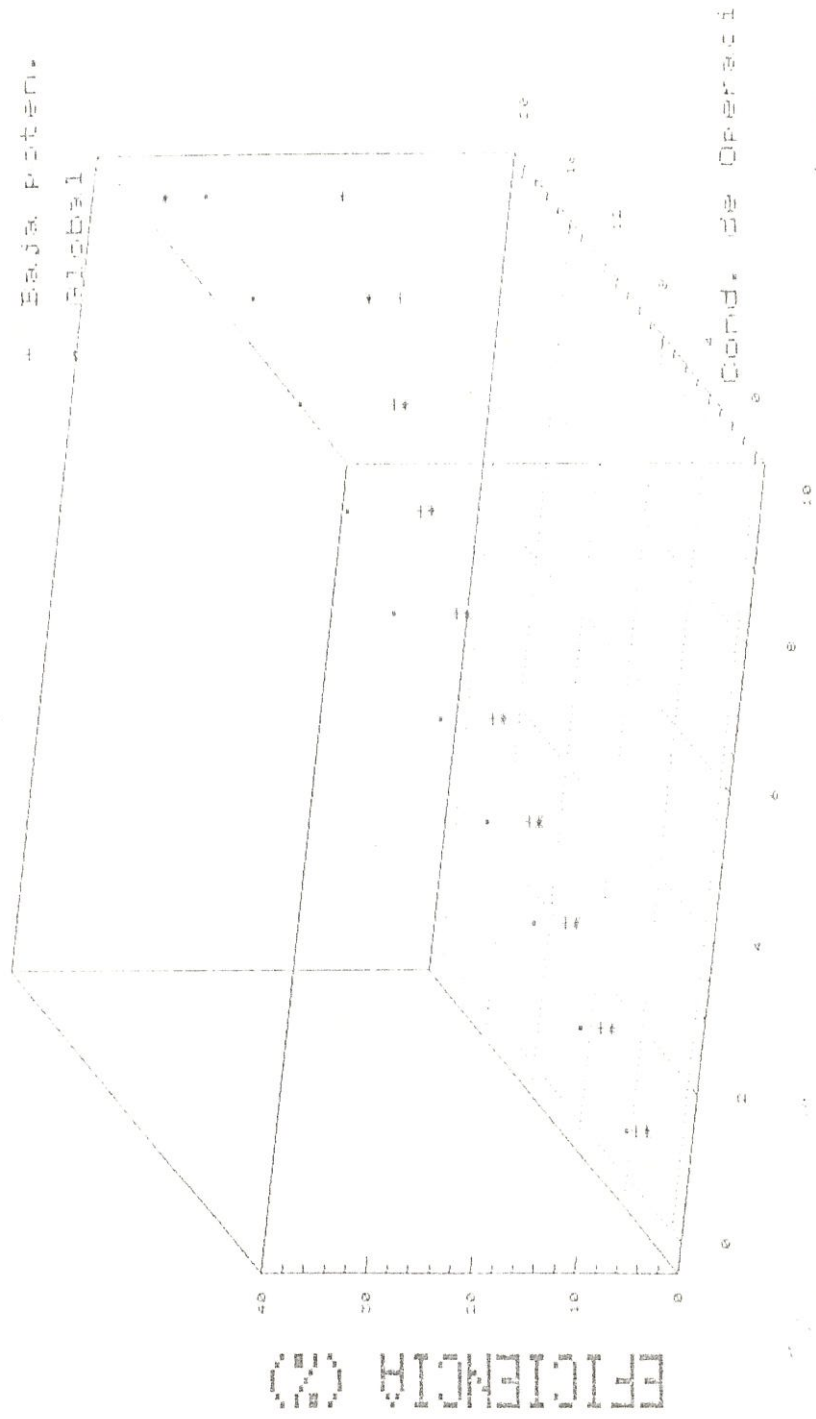


FIGURA A.3.5.1 EFICIENCIA DE UN FOGON EN FUNCION DE PARAMETROS Y CONDICIONES DE OPERACION

APENDICE 3.6

CUADRO DE VALORACION DE LAS PREFERENCIAS EN UN FOGON

PARAMETRO	LABORATORIO	USUARIO	ABIERTO	CERRADO
cantidad leña	5	0	3	5
tamaño leña	5	0	2	5
numero ollas	5	0	2	5
tamaño olla	5	0	2	5
potencia	4	5	4	4
tiempo de cocción	0	5	3	0
velocidad viento	5	0	5	4
humedad relativa	5	0	5	5
manejo del fuego	5	0	2	5
chimenea	5	0	0	2
portátil	0	0	0	4
costo del fogón	5	1	1	4
habito y costumbre	5	0	2	5
servicio de luz y calor	1	5	4	0
material constr.	5	0	1	5
duración del fogon	5	2	2	4
total	65	18	38	62

TABLA A.3.6.1

Los puntajes individuales para cada parámetro se han ubicado en un rango entre 0 y cinco. El cero indica que no debe ser limitado, restringido o no es condición en el diseño, el número 5 indica lo contrario.

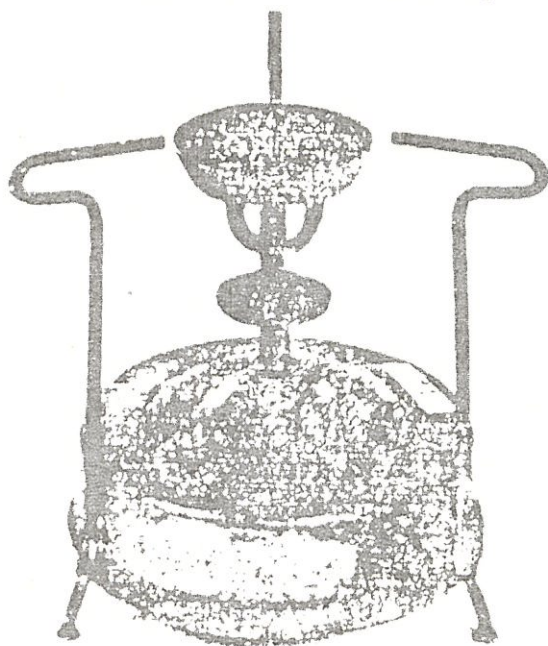
Del cuadro anterior se estima que las predilecciones del usuario de un fogón tienen una valoración de 18, mientras que en un diseño de laboratorio la predilección en base a requerimientos fluctúan en 65. Un fogón abierto se ubica en 38 y un cerrado en 62. Por esto se estima que un fogón abierto mejorado podría estar mas cerca de la predilección del usuario mientras un fogón eficiente de laboratorio difícilmente sería aceptado; los infructuosos proyectos de difusión de algunos modelos de fogones eficientes en el Ecuador

lo demuestran así.

APENDICE 4.1

OTROS MODELOS DE COCINAS DE KEREX A PRESION

En esta parte se describen las características y se muestra el esquema de otros modelos de cocinas de presión a kerex que han sido analizadas en otras investigaciones (ver. referencias 14 y 23). Parte de esos resultados se muestran en el apéndice 4.3 de este reporte.



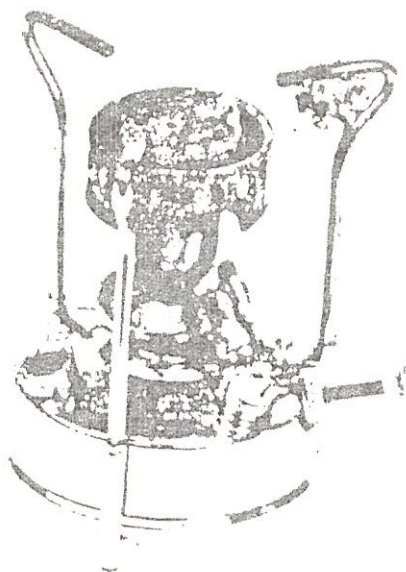
Name	: Primus 505
Number	: 14
Manufact./country	: AB Optimus/Sweden
Country of purchase	: Netherlands
Price	: 45 (\$)
Weight (empty)	: 1 (kg)
Tank capacity	: 0,7 (kg)
Material/finish	: Brass, steel
Fuel level indication:	No
Fuel	: Kerosene
Type	: See fig.: 4.3

Overall dimensions	: d x h: 190 x 214	(mm)
Burner diameter	: d _b : 47	(mm)
Burner holes (number)	: n _h : 195	
(diameter)	: d _h : 1,5	(mm) 1)
Distance burner-panbottom:	h _p : 8	(mm)
Minimum power	: P _{min} : 0,8	(kW)
Maximum power	: P _{max} : 2,4	(kW)
Nominal power	: P _{nom} : 2,4	(kW)
Efficiency	: η : 54	(%)

- 1) A so-called silent burner with three rows of little holes.

FIGURA 4.1.A

Descripción de la cocina PRIMUS 505 de presión (ref.14)



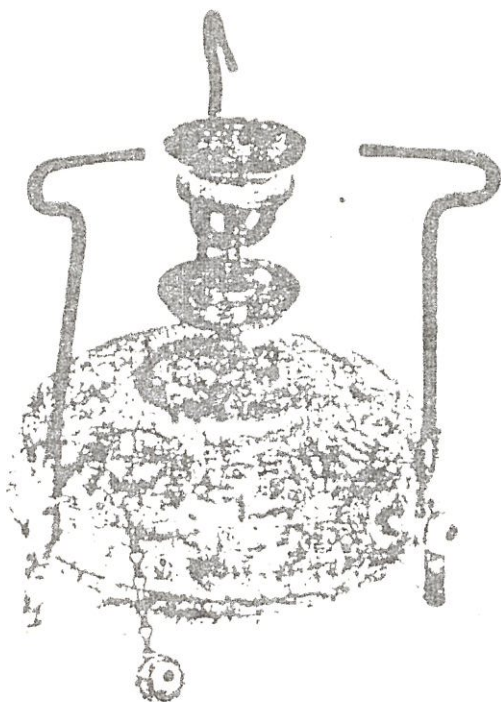
Name : Annby 105
 Number : 15
 Manufact./country : Dea Rim/Korea
 Country of purchase : Netherlands
 Price : 60 (\$)
 Weight (empty) : 0,9 (kg)
 Tank capacity : 0,4 (kg)
 Material/finish : Brass, steel/chromed
 Fuel level indication: Yes
 Fuel : Kerosene, petrol, diesel
 Type : See fig.: 4.3

Overall dimensions : $d \times h$: 140 x 187 (mm)
 Burner diameter : d_b : 44 (mm) 1)
 Burner holes (number) : n_h : 360
 (diameter) : d_h : 1 (mm) 2) 3)
 Distance burner-panbottom: h_p : 12 (mm)
 Minimum power : P_{min} : 0,4 (kW)
 Maximum power : P_{max} : 3,6 (kW)
 Nominal power : P_{nom} : 2,2 (kW)
 Efficiency : η : 57 (%)

- 1) Additional little shield around burner.
- 2) So-called silent burner with four rows of little holes.
- 3) Nozzle diameter not known.

FIGURA 4.1.B

Descripción de la cocina de presión ANNBY 105 (ref.14)



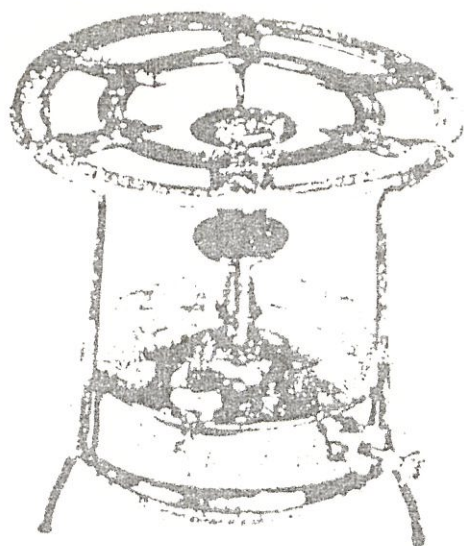
Name	: Primus
Number	: 19
Manufact./country	: AB Optimus/Sweden
Country of purchase	: Netherlands
Price	: 45 (\$)
Weight (empty)	: 0,9 (kg)
Tank capacity	: 0,6 (kg)
Material/finish	: Steel/painted
Fuel level indication:	No
Fuel	: Kerosene
Type	: See fig.: 4.3

Overall dimensions	: d × h: 190 × 197	(mm)
Burner diameter	: d _b : 54	(mm)
Burner holes (number)	: n _h :	
(diameter)	: d _h :	
Distance burner-panbottom:	h _p : 7	(mm) 1) 2)
Minimum power	: P _{min} : 0,5	(kW)
Maximum power	: P _{max} : 1,5	(kW)
Nominal power	: P _{nom} : 0,9	(kW)
Efficiency	: η : 49	(%)

- 1) Open burner with four flames.
- 2) Nozzle diameter now known.

FIGURA 4.1.C

Descripción de la cocina PRIMUS de presión (Ref. 14)



Name	: Russian Primus
Number	: 38
Manufact./country	: ?/USSR
Country of purchase	: Jemen
Price	: 9 (\$)
Weight (empty)	: 1,3 (kg)
Tank capacity	: 0,7 (kg)
Material/finish	: Brass, steel
Fuel level indication:	No
Fuel	: Kerosene
Type	: See fig.: 4.3.

Overall dimensions	: $d \times h$: 220 x 216	(mm)
Burner diameter	: d_b : 52	(mm)
Burner holes (numben)	: n_h :	1)
(diameter)	: d_h :	2)
Distance burner-panbottom:	h_p : 18	(mm)
Minimum power	: P_{min} : 0,5	(kW)
Maximum power	: P_{max} : 2,1	(kW)
Nominal power	: P_{nom} : 1,6	(kW)
Efficiency	: η : 50	(%)

- 1) Nozzle diameter not known.
- 2) Open, four flame, burner.

FIGURA 4.1.D

Descripción de la cocina RUSSIAN PRIMUS de presión (ref. 14)

Country	Name	Nozzle diam. (mm)	Burner h (mm)	D (mm)
Indonesia	Zeppelin	0.30	61	38.5
	Penguin	0.60	74	47.0
	Butterfly	0.65	100	60.0
	Bee&Butterfly	0.75	114	69.5
	Champion	0.80	117	69.5
India	Naaz de Lux	0.35	53	38.0
			53	38.0
	Super JIH	0.40	71	43.4
		0.45	71	43.4

TABLA 4.1.A

Especificaciones de las cocinas de kerex analizadas en la referencia 4a

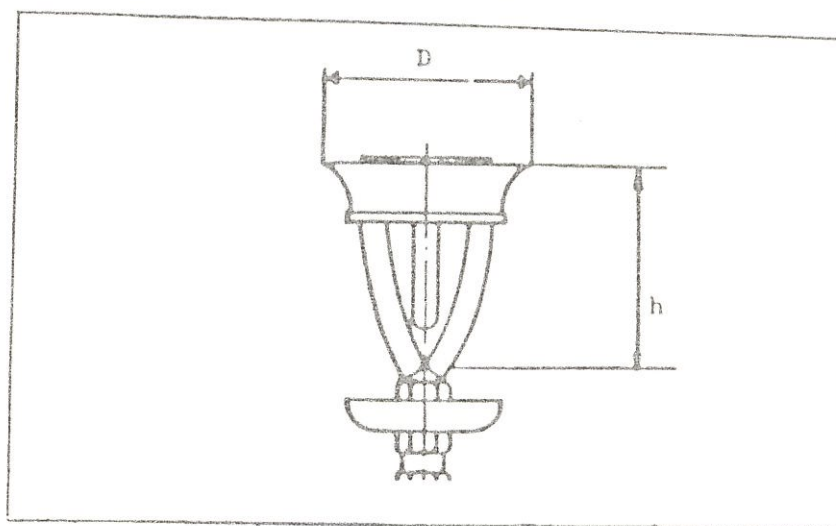
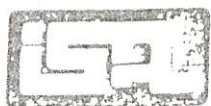


FIGURA 4.1.E

COCINA DE PRESION A KEREX: el jet de vapor es orientado verticalmente (ref.4a),

APENDICE 4.2

Como se indicó en capítulos anteriores, la cocina de kerex "Superior", posee un sistema diferente a los otros modelos. Así se tiene que mientras el difusor está en posición horizontal, el quemador se ubica en forma vertical. Debido a esto y con fines de difusión, se presenta cierta información de los fabricantes de este diseño.



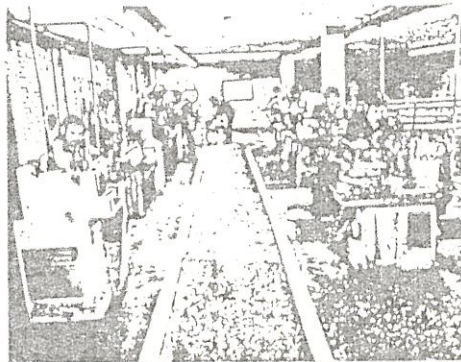
INDUSTRIA SUPERIOR
DE ARTEFACTOS LTDA.



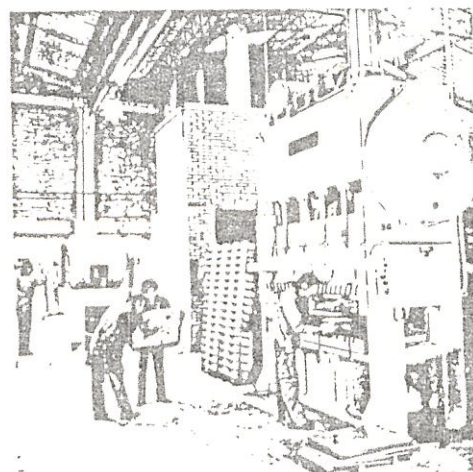
NUESTRA EXPERIENCIA Y AVANCE TECNOLÓGICO NOS
PERMITEN ENTREGAR PRODUCTOS DE ALTA CALIDAD
PARA EL HOGAR MODERNO



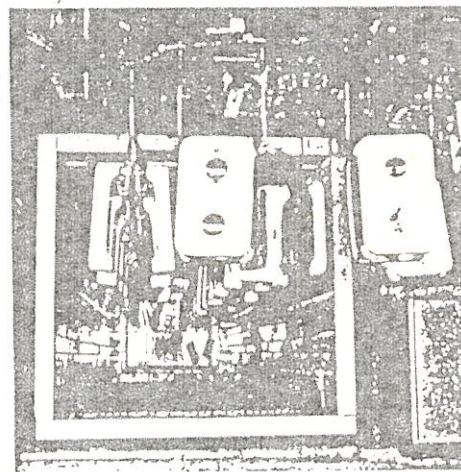
DISEÑO Y TECNOLOGÍA



PRECISIÓN Y CALIDAD



ESTAMPACIÓN Y TROQUELADO



PROCESO DE ESMALTADO



LA ESTUFA QUE NO DEBE FALTAR EN SU HOGAR

APENDICE 4.2 (continuación)

...POR ESO CON ORGULLO PRESENTAMOS
NUESTRA MAS COMPLETA LINEA DE
ESTUFAS PARA SU COCINA

ESTUFAS A
GASOLINA

SUPERIOR

La estufa que no debe faltar en su hogar

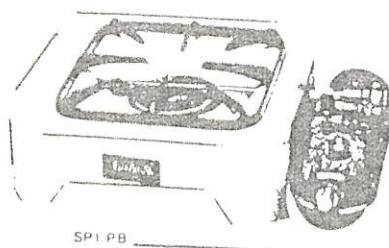
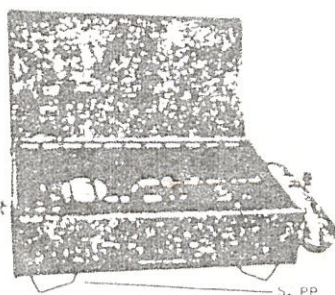
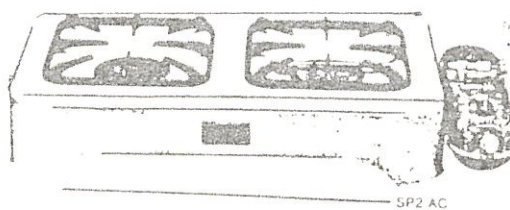
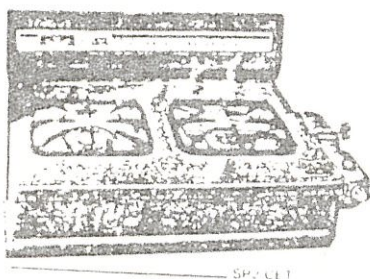
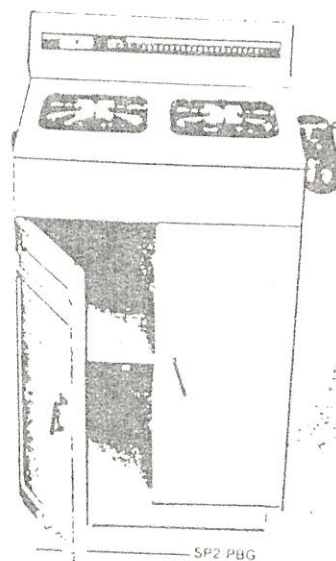


FIGURA 4.2.B
CATALOGO DE LA EMPRESA FABRICANTE DE LA
COCINA COLOMBIANA (continuación)

APENDICE 4.3

RESULTADOS DE OTRAS INVESTIGACIONES DE COCINAS A KEREX

BEE & BUTTERFLY						SUPER JHL					
Nozzle diameter:						Nozzle diameter:					
0.65 mm		0.65 mm		0.80 mm		0.30 mm		0.40 mm		0.60 mm	
dp kPa	P kW	dp kPa	P kW	dp kPa	P kW	dp kPa	P kW	dp kPa	P kW	dp kPa	P kW
37	5.4	25	3.7	25	1.4	49	1.4	6	0.9	5	1.9
		49	6.1					16	1.3	10	2.4
50	6.4			50	2.8			25	1.6	24	3.8
63	7.5	74	7.5	51	2.0			49	2.1		
84	8.5			74	3.2			50	2.3	50	5.8
98	9.2			99	3.2	99	1.8			50	5.8
113	9.9	100	8.4					99	3.0		
128	10.4			124	3.4					100	8.4
143	10.9	148	10.7	148	3.6	148	2.4	148	3.9	149	10.5
158	11.4			172	3.8						
171	11.8										
188	12.4	196	13.0	195	4.0	197	2.8	195	4.6	197	12.6

T

RESULTADOS DE ENSAYOS DESCRITOS EN LA REFERENCIA 4a.
Potencia en función de la presión, para diferentes valores del
diámetro del difusor

Nozzle: 0.6 mm		0.4 mm
Power kW	eff. %	eff. %
1.0		54
1.3		54
1.7	56	
2.0		49
2.2	53	
2.7		46
3.3		44
3.4	53	
4.9	46	

TABLA 4.3.B

Variación de la eficiencia en función de la potencia (Ref. 4)

Brand name	Ident. no.	Power tests					Efficiency tests			Efficiency %
		P_{\max} kW	P_{\min} kW	$\frac{P_{\max}}{P_{\min}}$	Pan dia. cm	\overline{P} kW	Time for boiling			
							m.	m./l	$\overline{\sigma}$, %	
Primus 505	14	2,38	0,84	2,85	20	2,38	8,7	4,24	11,5	54
Annby	15	3,59	0,40	8,97	24	2,17	16,2	4,59	3,6	56
Primus	19	1,47	0,45	3,27	16	0,89	13,6	13,3	20,6	49
Primus (USSR)	38	2,13	0,48	4,44	20	1,6	14,8	7,2	1,0	50



TABLA 4.3.C

Resultados de las pruebas experimentales realizadas en las cocinas de presión a kerex (ref. 14)

BIBLIOGRAFIA

1. BALSECA, D. Tesis: Análisis teórico-experimental de los parámetros que influyen en el funcionamiento de las cocinetas a Kerex; Espol, 1990
2. BARRIGA/DUQUE/ZABALA/SOLIS y otros: "Uso Racional de Leña y Residuos Agroforestales como combustibles directos: Aplicaciones domésticas, rurales y agroindustriales de pequeña y mediana escala" Informe Final. ESPOL, Guayaquil, Marzo de 1987.
3. BURGOS, R. Tesis: Diseño y Construcción de un fogón para reducir el consumo de leña; Universidad de Quito, 1985
- 4a. BUSSMANN/ VISSER/ SANGEN : On the Designing of high power kerosene stoves. Woodburning Stove Group, Eindhoven University of Technology. The Netherlands, 1987
- 4b. BUSSMANN, P.:Field Studies: Woodburning cookstoves. The Woodburning Stove Group. Eindhoven University of Technology. The Netherlands, 1984.
5. BUSSMANN / PRASAD / SULILATU : On the testing of woodburning cookstoves, Proceedings of the 3rd E.C. Conference on Energy for Biomass, Paltz et al. (eds), Elsevier, London, 1985.
6. BUSSMANN, P. : Thesis, Woodstoves. Theory and Applications in developing countries. Eindhoven University of Technology, The Netherlands, 1988.
7. DE LEPELEIRE, G./PRASAD/VERHAART/VISSER: A Woodstove Compendium; Woodburning Stove Group of Eindhoven University of Technology. The Netherlands, 1981.
8. DIARIO EL COMERCIO. Quito, Febrero 12 de 1989.
9. HASAN R. KHAN A.M. and VERHAART: Clean Combustion of wood. The Woodburning Stove Group. Eindhoven University of Technology. The Netherlands, 1969.jnLEAN
10. KRIST-SPIT/ VAN DER HEEDEN: From design to cooking; The Woodburning Stove Group of The Eindhoven University of Technology, The Netherlands, 1985
11. OLADE, MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS DE GUATEMALA, CETEC : Manual del Carbón Vegetal. Guatemala, 1983.

12. OLSON F., HARRY. Acoustical Engineering, New York, 1960.
13. PRASAD/ VERHAART: Wood heat for Cooking; Indian Academy of Sciences, Bangalore 1983.
14. PRASAD /SANGEN / SIELCKEN/ VISSER: Test Results on kerosene and other stoves for developing countries. Prepared for the Energy Assessment Division, Energy Department, World Bank, Washington DC, 1983.
15. PROJET ENERGIE II-Energie Domestique-Volet Demande, Biomass Technology Group. Universite de Twente. Enschede, Les Pays-Bas. The Netherlands, 1990
16. SANGEN, PRASAD : A Survey of test Results on Woodstoves, in Technical Aspects of woodburning stoves. WSG, Eindhoven Technology Group, The Netherlands, 1989.
17. SOLIS, M.: An Investigation of Kerosene stove for Ecuador and Other Developing Countries; The Woodburning Stove Group, Eindhoven University of Technology; The Netherlands, 1990.
18. SOLIS, M : An Investigation on the Colombian kerosene stove. Article for Boling Point BP 20 December 1989. Intermediate Technology Development Group, Rugby, UK.
19. SOLIS, M : Informe de Viaje de Encuestas, CETE-ESPOL, 1985
20. SOLIS, M: Resumen del Seminario de Diseño, Construcción, y Pruebas de Eficiencia de Cocinas Mejoradas. Cuerpo de Paz. ESPOL. 1985
21. SOLIS, M.: Informe (I y II) sobre Proyecto de fogones rurales, fogones abiertos y cerrados, CETE-ESPOL, 1986
22. SULILATU/KRIST-SPIT/ VAN DER HEEDEN : Danger Signals to Human Health. From design to cooking: Some studies on cookstoves. WSG, Eindhoven University of Technology. The Netherlands, 1985.
23. VERHOEVEN, N A.:Kerosene Stoves and Single wick fuel burning, Woodburning Stove Group, Eindhoven University of Technology, 1989
24. VOLUNTEERS IN TECHNICAL ASSISTANCE (VITA): Ensayos de estufas de leña para cocinar, Estandares Provisionales Internacionales. VITA; Arlington, Virginia-USA, 1982