



BIBLIOTECA

T
662.66
CMA
F.2

**ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL**

Facultad de Ingeniería Mecánica

**" Pautas para el diseño y construcción de
fogones eficientes para la combustión de
cáscara de arroz "**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del título de :

INGENIERO MECANICO



BIBLIOTECA

Presentada por :

JULIO FRANCISCO CHAO TUNG-SAN

Guayaquil - Ecuador

1987



BIBLIOTECA

AGRADECIMIENTO

Al Dr. ALFREDO BARRIGA R.,
Director de Tesis, por su ayuda
y aliento a seguir adelante en
la culminación de este
proyecto.

A los miembros del Centro de
Investigaciones Experimentales
en Tecnología Energética (CETE),
por su aporte significativo en
la realización de este trabajo.

Al Programa Nacional del Arroz
por su valiosa colaboración.

A la ESPOL por la formación
brindada.



BIBLIOTECA

D E D I C A T O R I A

- **A MIS PADRES**
- **A MIS ABUELOS**
- **A MIS TIOS**
- **A MIS HERMANOS**



ING. EDUARDO ORCES PAREJA
DECANO DE LA FACULTAD DE
INGENIERIA MECANICA

DR. ALFREDO BARRIGA RIVERA
DIRECTOR DE TESIS

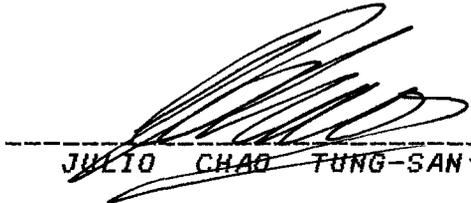
ING. RAFAEL DROBET
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

ING. RAUL LASCANO
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACION EXPRESA

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

(Reglamento de Exámenes y Titulos Profesionales de la ESPOL).



JULIO CHAO TUNG-SAN

R E S U M E N

Este trabajo se ha concentrado en estudiar el comportamiento de la combustión directa de la cascarilla de arroz (tamo), y analizar los parámetros que influyen en el proceso.

Se empieza la investigación haciendo una evaluación de la situación actual de los desechos de cascarilla en el País y su caracterización. Del análisis de la forma de quemado, y de los principales métodos industriales para combustión de cascarilla se seleccionó y desarrolló un sistema que promueva a un uso racional de este recurso. Con este propósito se diseñó y construyó un fogón cerrado de arcilla, tipo "artesanal"⁽²⁾, para cocción de alimentos adaptado para combustión de cascarilla de arroz, pero que propenda a su uso más eficiente y que no represente una carga económica sobre el usuario; pudiendo además construirse sin dificultad en las mismas zonas rurales.

Los resultados de las pruebas de eficiencia del fogón se consideran satisfactorias por encontrarse dentro del rango de eficiencia de los fogones de leña mejorados, habiéndose además obtenido condiciones de combustión con baja emisión de contaminantes.

I N D I C E G E N E R A L

| | PAGS. |
|------------------------------------------------------|-------|
| RESUMEN | VI |
| INDICE GENERAL | VII |
| INDICE DE FIGURAS | XI |
| INDICE DE TABLAS | XV |
| NOMENCLATURA | XIX |
| INTRODUCCION | 23 |
| | |
| CAPITULO I | |
| FUNDAMENTOS GENERALES | |
| 1.1. OBJETIVOS | 25 |
| 1.2. JUSTIFICACION | 25 |
| 1.3. ALCANCE | 27 |
| | |
| CAPITULO II | |
| EVALUACION DE LA PRODUCCION DE ARROZ | |
| 2.1. PRODUCCION DE ARROZ EN CASCARA | 28 |
| 2.1.1. Producción nacional de arroz | 28 |
| 2.1.2. Producción de arroz por esta- ciones | 31 |

VIII

| | |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1.3. <i>Perspectivas futura en la producción de arroz</i> | 42 |
| 2.2. <i>DISTRIBUCION DE LAS PILADORAS DE ARROZ</i> ... | 45 |
| 2.2.1. <i>Clasificación de piladoras</i> | 46 |
| 2.2.2. <i>Capacidad de procesamiento</i> | 52 |
| 2.3. <i>ZONAS ARROCERAS</i> | 54 |
| 2.3.1. <i>Zonas de cultivo de secano</i> | 55 |
| 2.3.2. <i>Zonas de riego</i> | 59 |
| 2.4. <i>SUBPRODUCTO DEL ARROZ PILADO</i> | 59 |
| 2.5. <i>EVALUACION POTENCIAL DE RESIDUOS DE ARROZ</i> | 65 |
| 2.6. <i>POTENCIAL ENERGETICO DE LA CASCARILLA DE ARROZ</i> | 67 |

CAPITULO III

CARACTERISTICAS DEL ARROZ Y SUBPRODUCTO

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1. <i>PRINCIPALES VARIEDADES DE ARROZ</i> | 70 |
| 3.1.1. <i>Clasificación</i> | 72 |
| 3.1.2. <i>Variedades mejoradas en el Ecuador</i> | 73 |
| 3.1.3. <i>Características agronómicas de las variedades mejoradas</i> | 76 |
| 3.2. <i>PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DE LA CASCARILLA</i> | 79 |
| 3.2.1. <i>Contenido de humedad</i> | 80 |
| 3.2.2. <i>Densidad</i> | 81 |
| 3.2.3. <i>Cenizas</i> | 86 |

| | |
|--------------------------------------------|----|
| 3.2.4. Poder calorífico | 91 |
| 3.2.5. Análisis último | 94 |
| 3.2.6. Peso de una cascarilla de arroz ... | 95 |
| 3.2.7. Características físicas | 96 |

CAPITULO IV

TECNOLOGIA DE APROVECHAMIENTO ENERGETICO

| | |
|-------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1. COMBUSTION DE LA CASCARILLA | 99 |
| 4.1.1. Comportamiento de combustión | 102 |
| 4.1.2. Combustión estequiométrica | 105 |
| 4.1.3. Diferentes tipos de hogar | 107 |
| 4.2. DISEÑO DEL HOGAR | 113 |
| 4.2.1. Potencia suministrada al fogón | 113 |
| 4.2.2. Flujo de combustible | 116 |
| 4.2.3. Flujo de aire requerido | 117 |
| 4.2.4. Flujo de gases en la chimenea | 118 |
| 4.2.5. Distribución de los hoyos | 119 |
| 4.2.6. Volumen de la cámara de com- bustión | 120 |
| 4.2.7. Posición de la parrilla | 123 |
| 4.2.8. Tiro natural específico | 125 |
| 4.2.9. Pérdidas de presión a través de la chimenea | 127 |
| 4.2.10 Pérdidas de presión en codos | 132 |
| 4.2.11 Ducto sobre la segunda olla | 137 |
| 4.2.12 Contracción brusca | 140 |
| 4.2.13 Regulador de flujo | 142 |

| | |
|-----------------------------------------------|-----|
| 4.2.14 Tiro disponible | 143 |
| 4.3. ALIMENTACION DE COMBUSTIBLE | 144 |
| 4.4. ENTRADA DE AIRE PARA LA COMBUSTION | 145 |
| 4.5. SALIDA DE LOS GASES DE COMBUSTION | 147 |
| 4.6. RECOLECCION DE CENIZAS | 147 |
| 4.7. CONSTRUCCION DEL FOGON | 148 |
| 4.7.1. Materiales y herramientas | 148 |
| 4.7.2. Proceso de construcción | 149 |
| CAPITULO V | |
| PRUEBAS EXPERIMENTALES | |
| 5.1. RELACION AIRE COMBUSTIBLE | 159 |
| 5.2. EFICIENCIA DE COMBUSTION | 165 |
| 5.3. ENSAYOS DE EFICIENCIA | 168 |
| 5.3.1 Ensayos de agua hirviendo | 168 |
| CAPITULO VI | |
| RESULTADOS | 177 |
| CAPITULO VII | |
| ANALISIS DE RESULTADOS | 181 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | |
| | 185 |
| APENDICES | |
| | 189 |
| BIBLIOGRAFIA | |
| | 229 |

I N D I C E D E F I G U R A S

| No | | PAGS. |
|------|----------------------------------------------------------------------|-------|
| 2.1. | MAPA PLUVIOMETRICO DEL ECUADOR | 35 |
| 2.2. | MAPA DE RECURSOS HIDRICOS DEL ECUA- DOR | 38 |
| 2.3. | NIVELES DE SUELO, AGUA Y MAREA ALTA | 40 |
| 2.4. | MAPA DE DISTRIBUCION DE PILADORAS EN EL PAIS | 49 |
| 2.5. | ZONAS ARROCERAS DE LA CUENCA DEL RIO GUAYAS | 56 |
| 2.6. | PARTES CONSTITUYENTES DEL GRANO DE ARROZ | 60 |
| 2.7. | DIAGRAMA DE MOLINERIA ARROCERA | 62 |
| 2.8. | ARROCERIA COMPLETA | 63 |
| 3.1. | ESQUEMA DE UNA CAMADA DE CASCA- RILLA | 83 |
| 3.2. | CASCARILLA DE ARROZ CON SUS POROS IN- TERIORES Y EXTERIORES | 83 |
| 3.3. | CASCARILLA DE ARROZ UNIDA POR UN EX- TREMO | 83 |

| | | |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.4. | SUPERFICIE EXTERIOR DE LA CASCARILLA VISTA AL MICROSCOPIO (x 500) | 97 |
| 3.5. | SUPERFICIE INTERIOR DE LA CASCARILLA VISTA AL MICROSCOPIO (x 500) | 97 |
| 4.1. | ESQUEMA DE LAS ETAPAS DE DESCOMPOSI- CION TERMICA DE LA CASCARILLA DE ARROZ | 101 |
| 4.2. | HOGAR CON PARRILLA PLANA | 111 |
| 4.3. | HOGAR CON PARRILLA BAJO EL PISO | 111 |
| 4.4a. | HOGAR AL NIVEL DEL PISO FIJO | 112 |
| 4.4b. | HOGAR AL NIVEL DEL PISO PORTATIL | 112 |
| 4.5. | HOGAR CON PARRILLA MULTIPLE | 112 |
| 4.6. | CURVAS DE POTENCIA Y MASA DE AGUA VS. DIAMETRO DE LA OLLA PARA QUEMADORES A GAS | 115 |
| 4.7. | DISTRIBUCION DE LOS HOYOS | 120 |
| 4.8. | PARAMETROS EN FUEGO ABIERTO | 123 |
| 4.9. | FORMA DEL HOGAR Y POSICION DE LA PARRILLA | 125 |
| 4.10. | NOMOGRAMA PARA CALCULAR LA VISCOSIDAD DE LOS GASES | 129 |
| 4.11. | DIAGRAMA DE MOODY | 131 |
| 4.12. | COEFICIENTE DE PERDIDAS DE PRESION EN CODOS | 132 |
| 4.13. | CODO QUE UNE LA TERCERA OLLA CON LA CHIMENEA | 133 |

| | | |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.14. | DIMENSIONES DEL CODO SOBRE LA TERCERA OLLA | 135 |
| 4.15 | VISTA GENERAL DEL FOGON | 141 |
| 4.16. | TOLVA DE ALIMENTACION POR GRAVEDAD | 145 |
| 4.17. | SISTEMA DE ALIMENTACION POR COMPUERTA ROTATORIA | 146 |
| 4.18. | PLANOS DEL FOGON EN CORTE | 150 |
| 4.19. | DIFERENTES MUESTRAS PARA LA MEZCLA DEL FOGON | 152 |
| 4.20. | SURCO INICIAL DE LA CAMARA DE COMBUSTION | 157 |
| 4.21. | EXCAVACION CON CUCHARA | 157 |
| 4.22. | FORMACION DEL HOYO CON EL RECIPIENTE | 157 |
| 4.23. | OLLA INTRODUCIDA HASTA LAS AGARRADERAS | 158 |
| 4.24. | DUCTO TIPO VOLCAN | 158 |
| 5.1. | LINEAS DE COMBUSTION ESTEQUIOMETRICA Y COMPLETA EN EL DIAGRAMA DE OSTWALD | 162 |
| 5.2. | DIAGRAMA DE OSTWALD DE LA CASCARILLA DE ARROZ | 164 |
| 5.3 | DIAGRAMA DE SANKEY | 169 |
| 5.4 | VARIACION DE LOS PARAMETROS EN EL FOGON | 176 |

APENDICE

| | | |
|-------|-----------------------------------------------------------|-----|
| C. | SECUENCIAS DE FOTOS EN LA EJECUCION DEL PROYECTO | 198 |
| D.2. | CURVAS DE TEMPERATURA VS. TIEMPO, TIPO F-I | 206 |
| D.4. | CURVAS DE TEMPERATURA VS. TIEMPO, TIPO F-II | 208 |
| D.6. | CURVAS DE TEMPERATURA VS. TIEMPO, TIPO F-III | 210 |
| D.8. | CURVAS DE TEMPERATURA VS. TIEMPO, TIPO F-IV | 212 |
| D.10 | CURVAS DE TEMPERATURA VS. TIEMPO, TIPO F-V | 214 |
| D.12 | CURVAS DE TEMPERATURA VS. TIEMPO, TIPO F-VI | 216 |
| D.14. | CURVAS DE TEMPERATURA VS. TIEMPO, TIPO F-VII | 218 |

I N D I C E D E T A B L A S

| No | | PAGS. |
|------|-----------------------------------------------------------------------|-------|
| I | PRODUCCION NACIONAL DE ARROZ | 30 |
| II | PRODUCCION DE ARROZ POR ESTACIONES | 32 |
| III | METAS DE CULTIVOS DE ARROZ PARA EL PERIODO 1985-1990 | 44 |
| IV | DISTRIBUCION DE LAS PILADORAS DE ARROZ..... | 47 |
| V | SUPERFICIE ARROCERA EN INVIERNO Y VERANO, AÑO 1985 | 57 |
| VI | APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL DE LOS RESIDUOS DEL ARROZ EN CASCARA | 64 |
| VII | POTENCIAL DE RESIDUOS DE ARROZ DEL AÑO 1985 | 69 |
| VIII | PRODUCCION DE ENERGIA A PARTIR DE LA CASCARILLA | 69 |
| IX | CARACTERISTICAS GENERALES DE VARIETADES MEJORADAS | 77 |
| X | DENSIDAD Y POROSIDAD DE LA CASCARILLA SUELTA Y EN PELLETS | 88 |

| | | |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| XI | COMPOSICION MINERAL DE LA CAS- CARILLA DE ARROZ | 88 |
| XII | ANALISIS APROXIMADO DE VARIOS RESI- DUOS; EN BASE SECA | 90 |
| XIII | PODER CALORIFICO DE VARIOS COMBUSTI- BLES | 98 |
| XIV | ANALISIS ULTIMO DE LA CASCARILLA DE ARROZ | 98 |
| XV | DENSIDAD DEL FLUJO DE GAS PRODUCTO DE DE LA COMBUSTION DE LA MADERA, CON HUMEDAD DEL 0 A 50 % Y FACTOR EXCESO DE AIRE DE 1.4 A 3 | 126 |
| XVI | TIRO ESTATICO ESPECIFICO PARA FLUJO DE GASES | 126 |
| XVII | COEFICIENTE DE RUGOSIDAD ABSOLUTA, K PARA TUBERIAS COMERCIALES | 130 |
| XVIII | FLUJO DE GAS COMBUSTIBLES POR UNIDAD DE POTENCIA EN FUNCION DE LA TEMPE- RATURA, PARA LEÑA | 136 |
| XIX | PERDIDAS DE CALOR INDICADAS POR LA PRESENCIA EN GASES QUEMADOS SECOS (CUANDO NO EXISTE NI ESCASEZ NI EXCESO DE AIRE) | 167 |
| XX | MODIFICACIONES EN LA CONDICION DE OPERACION DEL FOGON | 175 |
| XXI | RESULTADOS PROMEDIOS DE LOS ENSAYOS DE AGUA HIRVIENDO | 179 |

| | | |
|----------|------------------------------------------------------------------------|-----|
| XXII | PRUEBAS DE COCCION | 180 |
| APENDICE | | |
| A.1. | RENDIMIENTO DE PILADO EN VARIAS ZONAS ARROCERAS | 190 |
| B.1. | ANALISIS DEL PODER CALORIFICO DE LA CASCARILLA | 196 |
| B.2. | ANALISIS INMEDIATO DE LAS CENIZAS | 197 |
| B.3. | VALORES DE A EN FUNCION DE LA RELACION (V/V+C) | 195 |
| D.1. | DATOS EXPERIMENTALES DE ENSAYOS DE AGUA HIRVIENDO, TIPO F-I | 205 |
| D.3. | DATOS EXPERIMENTALES DE ENSAYOS DE AGUA HIRVIENDO, TIPO F-II | 207 |
| D.5. | DATOS EXPERIMENTALES DE ENSAYOS DE AGUA HIRVIENDO, TIPO F-III | 209 |
| D.7. | DATOS EXPERIMENTALES DE ENSAYOS DE AGUA HIRVIENDO, TIPO F-IV | 211 |
| D.9. | DATOS EXPERIMENTALES DE ENSAYOS DE AGUA HIRVIENDO, TIPO F-V | 213 |
| D.11 | DATOS EXPERIMENTALES DE ENSAYOS DE AGUA HIRVIENDO, TIPO F-VI | 215 |
| D.13 | DATOS EXPERIMENTALES DE ENSAYOS DE AGUA HIRVIENDO, TIPO F-VII | 217 |
| E.1 | RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE AGUA HIRVIENDO, TIPO F-I | 220 |
| E.2 | RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE AGUA | |

| | | |
|------------|------------------------------------------|------------|
| | <i>HIRVIENDO, TIPO F-II</i> | <i>221</i> |
| <i>E.3</i> | <i>RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE AGUA</i> | |
| | <i>HIRVIENDO, TIPO F-III</i> | <i>222</i> |
| <i>E.4</i> | <i>RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE AGUA</i> | |
| | <i>HIRVIENDO, TIPO F-IV</i> | <i>223</i> |
| <i>E.5</i> | <i>RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE AGUA</i> | |
| | <i>HIRVIENDO, TIPO F-V</i> | <i>224</i> |
| <i>E.6</i> | <i>RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE AGUA</i> | |
| | <i>HIRVIENDO, TIPO F-VI</i> | <i>225</i> |
| <i>E.7</i> | <i>RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE AGUA</i> | |
| | <i>HIRVIENDO, TIPO F-VII</i> | <i>226</i> |
| <i>F.1</i> | <i>COSTOS DE MATERIALES</i> | <i>227</i> |
| <i>F.2</i> | <i>COSTO DE MANO DE OBRA</i> | <i>228</i> |
| <i>F.3</i> | <i>COSTO TOTAL DEL FOGON</i> | <i>228</i> |

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



| | |
|------------------------|------------------------------------------------|
| <i>A:</i> | <i>Area.</i> |
| <i>BEP:</i> | <i>Barriles equivalentes de petróleo.</i> |
| <i>B.H.:</i> | <i>Base húmeda.</i> |
| <i>B.S.:</i> | <i>Base seca.</i> |
| <i>c_a:</i> | <i>Calor específico del agua.</i> |
| <i>cc:</i> | <i>Cámara de combustión.</i> |
| <i>CF:</i> | <i>Carbón fijo.</i> |
| <i>CZ:</i> | <i>Cenizas.</i> |
| <i>d:</i> | <i>Ducto.</i> |
| <i>D:</i> | <i>Diámetro.</i> |
| <i>Dh:</i> | <i>Diámetro hidráulico.</i> |
| <i>dn_a:</i> | <i>Tiro neto de aire.</i> |
| <i>EA:</i> | <i>Exceso de aire.</i> |
| <i>f:</i> | <i>Factor de fricción.</i> |
| <i>Fg/P:</i> | <i>Flujo de gases por unidad de potencia.</i> |
| <i>g:</i> | <i>Gravedad.</i> |
| <i>gr:</i> | <i>Gramos.</i> |
| <i>h:</i> | <i>Humedad.</i> |
| <i>Has:</i> | <i>Hectáreas.</i> |
| <i>H_{rg}:</i> | <i>Calor latente de vaporización del agua.</i> |
| <i>hr:</i> | <i>Horas.</i> |

| | |
|------------------|-----------------------------------------------------|
| H_{rp} : | <i>Pérdidas primarias.</i> |
| hrs_b : | <i>Pérdidas secundarias en codos.</i> |
| hrs_c : | <i>Pérdidas secundarias por contracción.</i> |
| hrs_r : | <i>Pérdidas secundarias por compuerta de flujo.</i> |
| k : | <i>Coefficiente por contracción.</i> |
| $Kcal$: | <i>Kilocalorias.</i> |
| K/D : | <i>Rugosidad relativa.</i> |
| Kg : | <i>Kilogramos.</i> |
| KJ : | <i>Kilojoule.</i> |
| Kw : | <i>Kilowatios.</i> |
| L : | <i>Longitud.</i> |
| m : | <i>Metros.</i> |
| M : | <i>Masa</i> |
| m_{aa} : | <i>Masa de agua en alta potencia.</i> |
| m_{ab} : | <i>Masa de agua en baja potencia.</i> |
| $m_{a/c) EST}$: | <i>Masa de aire-combustible estequiométrico.</i> |
| mg : | <i>Miligramos.</i> |
| m_c : | <i>Masa de cascarilla.</i> |
| m_{ca} : | <i>Masa de cascarilla en alta potencia.</i> |
| m_{cb} : | <i>Masa de cascarilla en baja potencia.</i> |
| MJ : | <i>Megajoule.</i> |
| mm : | <i>Milímetros.</i> |
| MV : | <i>Material volátil.</i> |
| m_{va} : | <i>Masa de vapor en alta potencia.</i> |
| m_{vb} : | <i>Masa de vapor en baja potencia.</i> |
| $m\mu$: | <i>Milimicras.</i> |
| P : | <i>Perímetro.</i> |

| | |
|-------------|-------------------------------------------|
| $PCI:$ | <i>Poder calorífico inferior.</i> |
| $PCS:$ | <i>Poder calorífico superior.</i> |
| $P_f:$ | <i>Peso final.</i> |
| $P_i:$ | <i>Peso inicial.</i> |
| $Q_a:$ | <i>Flujo volumétrico de aire.</i> |
| $Q_g:$ | <i>Flujo volumétrico de gases.</i> |
| $qq:$ | <i>Quintales.</i> |
| $Re:$ | <i>Número de Reynold.</i> |
| $s:$ | <i>Segundos.</i> |
| $t:$ | <i>Tiempo.</i> |
| $T_a:$ | <i>Temperatura del aire.</i> |
| $T_b:$ | <i>Temperatura en el codo.</i> |
| $t_{eb}:$ | <i>Tiempo de ebullición.</i> |
| $T_g:$ | <i>Temperatura de los gases.</i> |
| $T_1:$ | <i>Temperatura inicial.</i> |
| $T_2:$ | <i>Temperatura final.</i> |
| $TM:$ | <i>Toneladas métricas.</i> |
| $V:$ | <i>Volumen.</i> |
| $v:$ | <i>Velocidad.</i> |
| $o:$ | <i>Grados.</i> |
| $':$ | <i>Minutos.</i> |
| $\%:$ | <i>Porcentajes.</i> |
| $\Delta T:$ | <i>Cambio de temperatura.</i> |
| $\Delta z:$ | <i>Cambio de alturas.</i> |
| $\theta:$ | <i>Angulo tetha.</i> |
| $\lambda:$ | <i>Coefficiente de fricción en ducto.</i> |
| $\mu:$ | <i>Viscosidad.</i> |



| | |
|------------|---------------------------------|
| π : | 3,1416. |
| η_c : | Eficiencia de combustión. |
| η_g : | Eficiencia de quemadores a gas. |
| η_r : | Eficiencia del fogón. |
| ρ : | Densidad. |
| Σ : | Sumatoria. |
| ϕ : | Relación aire-combustible. |

I N T R O D U C C I O N

El creciente consumo de energía proveniente de fuentes no renovables como el petróleo, carbón y gas natural, no solo en el País sino en el mundo están ocasionando que estas disponibilidades estén agotándose, por lo que es necesario encontrar otras alternativas para mantener los niveles de consumo de energía existentes, que deben ser desarrollados y aplicados. Una posibilidad es reducir el consumo, lo cual tiene una implicación ampliamente negativa especialmente para el desarrollo de los países, donde es necesaria la energía para el avance tecnológico.

Esta situación hace imprescindible retornar al uso de fuentes renovables de energía, tales como: la biomasa, solar, eólica e hidráulica. Pero no se trata de que estas formas de energía sustituyan a las convencionales, sino que las mismas se integren a las fuentes tradicionales de la manera más conveniente.

Siendo el Ecuador un País tradicionalmente agrícola, después de la cosecha se generan gran cantidad de desechos, especialmente en los alrededores de las



piladoras, dándose la posibilidad de explotar esta fuente de energía de manera que redunde en beneficio de las poblaciones rurales aledañas para mejorar las condiciones socio-económicas de nuestro campesinado.

Gracias al apoyo económico brindado por el Proyecto "Uso racional de leña y residuos agroforestales como combustibles directos: Aplicaciones domésticas rurales y agroindustriales de pequeña escalas", de la ESPOL. Se construyó y probó un fogón tipo "artesanal", para quema de cascarilla de arroz tratando de iniciarse con una tecnología de la forma más sencilla en estos procesos para obtener un avance paulatino y seguro, dejando sentadas bases para futuras aplicaciones.

C A P I T U L O I

FUNDAMENTOS GENERALES

1.1. OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo se dan a continuación:

- Establecer una evaluación realista del potencial de cascarilla de arroz como fuente de energía.*
- Caracterización físico-química de la cascarilla de arroz.*
- Estudiar el comportamiento de la combustión de la cascarilla de arroz hasta obtener una combustión continua y estable.*
- Diseñar un fogón apropiado para la quema de cascarilla de arroz y familiarizarse con el funcionamiento de este tipo de fogón.*

1.2. JUSTIFICACION

El precio de energía en el País es todavía de bajo costo. Esto trae como consecuencia, que al

inspeccionar los equipos y procesos disponibles para la producción de energía en las plantas piladoras, exista un número creciente de motores de combustión interna y eléctricos, para su funcionamiento. Por lo que la cascarilla de arroz constituye un desecho que los propietarios de las piladoras no saben como eliminarlo; esto ocasiona en la práctica común la formación de inmesos pilos de cascarilla sobre los terrenos baldíos, canales, ríos o alrededores de las piladoras, donde se incinera la cascarilla de arroz a la intemperie contaminando el ambiente.

El consumo de leña en el Ecuador es bastante elevado, ya que una persona en la zona rural consume 2,1 Kg/día (700 Kg/año) en promedio, haciéndose sentir efectos sobre deforestación, erosión de suelos y hasta ciertas alteraciones climáticas.

La cascarilla de arroz es rica en celulosa y en cenizas, particularmente en sílice, lo que causa poca digestibilidad y reducido valor alimenticio. Ante la demanda de energía y el decrecimiento de recursos naturales no renovables, la integración de la cascarilla de arroz como fuente de energía tendrá que ser realidad para aliviar en parte la presión sobre nuestros recursos forestales, y a la vez

contribuir a dar una solución a problemas de contaminación que producen la quema a la atmósfera de los residuos de las cosechas. Además de desarrollar tecnologías apropiadas para el beneficio directo de las mismas áreas agrícolas, con lo cual mejorarían las condiciones de las zonas rurales y aumentaría la productividad del País.

1.3. ALCANCE

- Establecer zonas propicias a ser explotado este residuo con múltiples aplicaciones.*
- Construcción de un fogón doméstico apropiado, que propenda a su uso más eficiente y que no represente imposiciones socio-económicas severas sobre el usuario.*
- Alcanzar una forma eficiente de combustión de cascarilla, sin mayor contaminación ambiental como ocurre en la incineración por pilos.*
- Hacer tomar conciencia que se posee un recurso disponible que no es explotado actualmente, tanto como recurso energético a partir de la cascarilla de arroz, como la posibilidad de uso de las cenizas en varias aplicaciones.*

C A P I T U L O I I

EVALUACION DE LA PRODUCCION DE ARROZ

2.1. PRODUCCION DE ARROZ EN CASCARA

El Ecuador, debido a su localización geográfica, goza de un alto potencial agropecuario, se merece destacar el arroz como producto agrícola, que es el plato favorito por volumen y menos precio en la alimentación del pueblo.

Por su importancia y posibles usos de los subproductos del arroz, a continuación se realiza un breve estudio del comportamiento de la producción nacional, por estaciones y perspectivas futuras.

2.1.1. Producción nacional de arroz

El comportamiento de la producción nacional de arroz a través del periodo 1964-1985 (ver Tabla I), tiene una tendencia fluctuante y múltiples son los factores que han incidido

como se analizará seguidamente.

El incremento de la producción en determinados años se debe a un aumento de la superficie sembrada, mayor utilización de insumos, mejoras en el servicio de transferencia de tecnología (utilización de variedades mejoradas), y disponibilidad de la infraestructura de comercialización en las zonas productivas, que han contribuido a otorgarle seguridad de mercado al agricultor.

La disminución en la producción es producida básicamente por las condiciones climáticas reinantes, que es uno de los principales limitantes que influyen como: sequías, inundaciones, falta de luminosidad, plagas, enfermedades, etc. que ocasionan un menor aprovechamiento de la tierra y pérdida de granos; por eso existe la diferencia bien notable en determinados años entre la superficie sembrada y cosechada.

Al comparar ciertos años, a pesar de que poseen condiciones climáticas aceptables, su producción no es de lo mejor, es por la forma que se ha venido manejando la política

T A B L A I.

PRODUCCION NACIONAL DE ARROZ

| ANO | SUP. SEMBRADA (Has.) | SUP. COSECHADA (Has.) | RENDIMIENTO (Kg/Has.) | PRODUCCION DE ARROZ-CASCARA (T.M.) |
|------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| 1964 | 106.282 | 106.282 | 2.258 | 239.990 |
| 1965 | 101.729 | 101.729 | 2.610 | 265.545 |
| 1966 | 101.166 | 86.133 | 3.230 | 278.196 |
| 1967 | 108.561 | 74.737 | 3.211 | 239.980 |
| 1968 | 110.649 | 42.658 | 3.244 | 138.380 |
| 1969 | 103.106 | 103.106 | 3.661 | 274.341 |
| 1970 | 82.513 | 76.000 | 3.028 | 230.090 |
| 1971 | 75.766 | 70.516 | 2.803 | 197.665 |
| 1972 | 87.782 | 79.782 | 2.399 | 191.425 |
| 1973 | 86.775 | 82.775 | 2.802 | 231.898 |
| 1974 | 124.417 | 101.092 | 2.992 | 302.482 |
| 1975 | 146.240 | 135.400 | 2.791 | 377.905 |
| 1976 | 135.090 | 126.340 | 2.726 | 344.398 |
| 1977 | 115.000 | 103.000 | 3.100 | 319.300 |
| 1978 | 86.000 | 81.100 | 2.775 | 225.053 |
| 1979 | 115.765 | 110.327 | 2.882 | 317.943 |
| 1980 | 134.900 | 126.500 | 3.008 | 388.494 |
| 1981 | 136.279 | 130.100 | 3.325 | 432.634 |
| 1982 | 152.500 | 129.026 | 2.930 | 378.086 |
| 1983 | 107.547 | 93.234 | 2.898 | 270.210 |
| 1984 | 143.241 | 135.915 | 3.170 | 430.812 |
| 1985 | 157.148 | 133.742 | 2.728 | 364.798 |

arroceras; esto es, problemas crediticios, tenencia de tierras, manejo de cultivos, infraestructura, comercialización de grano y otros.

2.1.2. Producción de arroz por estaciones

El cultivo de arroz en nuestro País se lo realiza generalmente en dos ciclos: invierno o estación lluviosa y verano o estación seca.

Existen zonas que solo realizan una sola cosecha al año, en la estación lluviosa, por no estar beneficiadas de la cercanía de ríos, depresiones naturales o de canales de riego. Si se posee una buena infraestructura y buen grado de tecnificación se hacen más de dos jornadas en el año.

De la Tabla II, producción de arroz por estaciones, se ve claramente una predominante producción durante el ciclo de invierno, con excepción del año 1978 y 1983, a causa de sequía y lluvias torrenciales respectivamente. En términos promediales el 60% corresponden al invierno y 40% al verano en condiciones normales. Esta diferencia de

T A B L A II.

PRODUCCION DE ARROZ POR ESTACIONES

| AÑO | SUPERFICIE SEMBRADA | | PRODUCCION DE ARROZ -CASCARA | | | |
|------|---------------------|--------|------------------------------|---------|------------|--------|
| | HECTAREAS | | TONELADAS METRICAS | | PORCENTAJE | |
| | INVIERNO | VERANO | INVIERNO | VERANO | INVIERNO | VERANO |
| 1977 | 75.000 | 40.000 | 191.050 | 128.250 | 60 | 40 |
| 1978 | 42.000 | 44.000 | 109.910 | 115.143 | 49 | 51 |
| 1979 | 68.765 | 47.000 | 188.871 | 129.091 | 59 | 41 |
| 1980 | 80.100 | 54.800 | 221.464 | 159.030 | 58 | 42 |
| 1981 | 85.570 | 50.709 | 275.880 | 156.750 | 64 | 36 |
| 1982 | 97.416 | 55.084 | 252.869 | 125.217 | 67 | 33 |
| 1983 | 43.245 | 64.302 | 97.100 | 173.111 | 36 | 64 |
| 1984 | 81.326 | 61.915 | 249.696 | 181.116 | 58 | 42 |
| 1985 | 93.623 | 63.525 | 206.072 | 158.726 | 56 | 44 |

FUENTE: Programa Nacional del Arroz.

producción de arroz en las dos estaciones es debido a las condiciones climáticas, agronómicas y de infraestructura.

Un estudio breve del medio ambiente y prácticas agrícolas es necesario, para comprender los factores que inciden en la producción de arroz, que seguidamente se detalla:

CORRIENTES MARINAS Y TEMPERATURA

La corriente fría de Humboldt crea un clima desértico a lo largo de la costa del océano Pacífico de Chile, Perú y cerca de la mitad de Ecuador. Los efectos de esta corriente marina fría bajan los promedios mensuales de la temperatura a los 24 o 25 °C.

Cuando las aguas cálidas de la corriente del Niño desplazan las aguas frías de la corriente de Humboldt, la estación lluviosa empieza. La temperatura y precipitación están principalmente determinadas por la posición de estas dos corrientes marinas.

Este cambio estacional de 3°C en promedio de temperatura parece pequeño, sin embargo, es de suma importancia para el agricultor porque

las plantas de arroz crecen en óptimas condiciones de aguas y nutrientes sin peligro de enfermedades y plagas. El rendimiento está limitado por la temperatura y la radiación solar; en el Trópico adquiere fundamental importancia la intensidad de la fotosíntesis por unidad de área foliar, se incrementa con la intensidad de la luz y las altas temperaturas aceleran el crecimiento del grano.

PRECIPITACIONES

Las lluvias empiezan al finalizar Diciembre y virtualmente terminan en Mayo. La precipitación mensual varía gradualmente con el tiempo y ubicación dentro del área arrocerá; ver Figura 2.1. Guayaquil y Daule reciben menos precipitaciones que Milagro y Babahoyo. Los promedios de precipitaciones exceden los 150 mm/mes, desde Enero hasta Abril en años normales. Estas lluvias variables normalmente resultan en inundaciones desde Enero hasta mediados de Mayo y severa sequía desde Agosto hasta finalizar Diciembre.

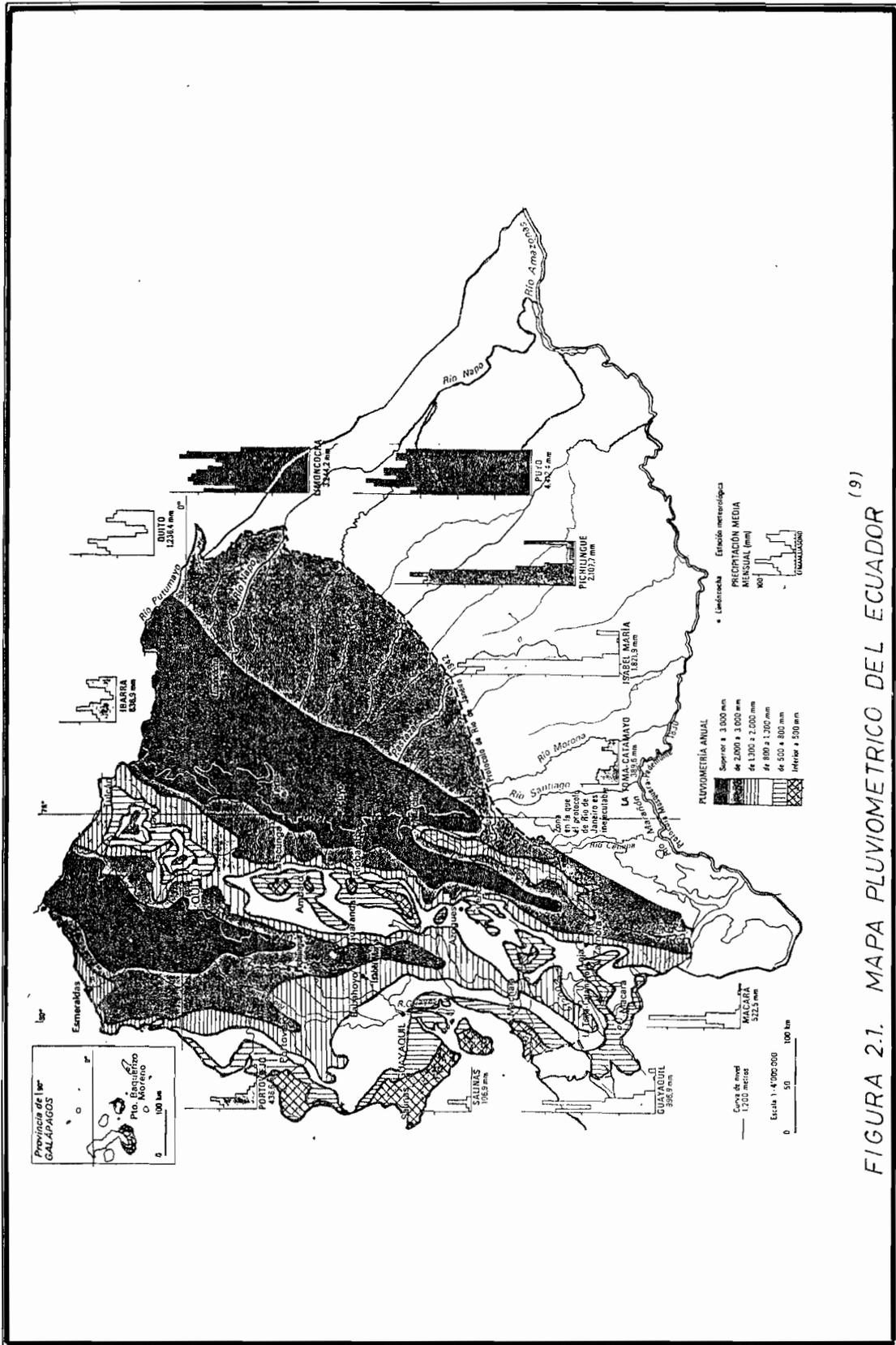


FIGURA 21. MAPA PLUVIOMETRICO DEL ECUADOR (19)

DESCARGA DEL RIO GUAYAS

El río Guayas está formado por la unión de los ríos Babahoyo y Daule. Estos dos ríos mayores descargan un promedio de 35.500 millones de $m^3/año$ (10) hacia el Océano. Se puede ver en la Figura 2.2. los módulos específicos de recursos hídricos.

Esta descarga podría adecuadamente irrigar sobre 2 millones de hectáreas de arroz utilizable donde y cuando fuera necesario. El problema es que el patrón de descarga del río se relaciona fundamentalmente con la precipitación. Actualmente no hay mayores sitios de almacenaje en estos dos ríos excepto para las 24.000 Has. de arroz inundables, las cuales almacenan entre 120 y 240 millones m^3 de agua para la estación seca.

MAREA Y SALINIDAD

De publicaciones anuales por el INOCAR (año 1981), las mareas altas están entre un rango de 1,2 a 2,8 metros sobre el nivel del mar y las mareas bajas entre 1,2 a 1,6 metros bajo el nivel del mar en el río Guayas.

Los agricultores en las zonas arroceras inundables por marea ajustan sus planes de riego a la marea, drenan sus campos en marea baja y riegan con marea alta. La altura de la marea coincide con la luna nueva, y la luna llena cada catorce días. Esto asegura un rango de 0,5 a 0,7 m. para algunos días, los cuales llevarán agua adicional tierra dentro desde el río, usa esta agua extra aunque la concentración de sales sea más alto de lo normal. La salinidad se incrementa en el río desde Julio hasta Diciembre.

La mayoría de las tierras arroceras inundables por la marea son depósitos de arcillas marinas debido a la floculación de la arcilla mineral en aguas altamente salinas al finalizar la estación seca. Esta reacción de las partículas de arcillas y el agua salina resquebrajan rápidamente las superficies de los estuarios de marea, aún cuando la vegetación excesiva reduce la velocidad erosiva de la marea. Desde que estos suelos están bajo agua fresca por algunos meses, la superficie y hasta la 0,5 m. es lixiviada de sales cada año. Sin embargo, al finalizar la época de riego con agua altamente salina sobre suelos altos, se

presentan problemas por el bajo nivel de nutrientes afectando en la producción en estas zonas.

NIVELES DE AGUA

Durante la estación lluviosa, el agricultor bloquea los principales drenes para retener agua e inundar rápida y profundamente, esto reduce los costos de preparación de suelo y control de malezas. Posteriormente el agua es liberada para mantener dentro de los niveles normales de inundación.

La disminución del nivel del agua de 6 a 7 mm/día, es un buen estimado del total de los requerimientos de agua, como se observó en Ecuador (Figura 2.3) y reportado por WICKHAM y SEAN ,1978 (Ref 10).

La profundidad inicial de 250 a 350 mm. es adecuada para 40 a 50 días, sin embargo, en los 60 a 80 días adicionales son necesarios 360 a 560 mm. de agua para completar el cultivo de arroz. En el Ecuador aquellas pozas veraneras sin agua suplementaria después de 50 días sufren severas o totales pérdidas. La producción es de 6,2 TM/Ha sin

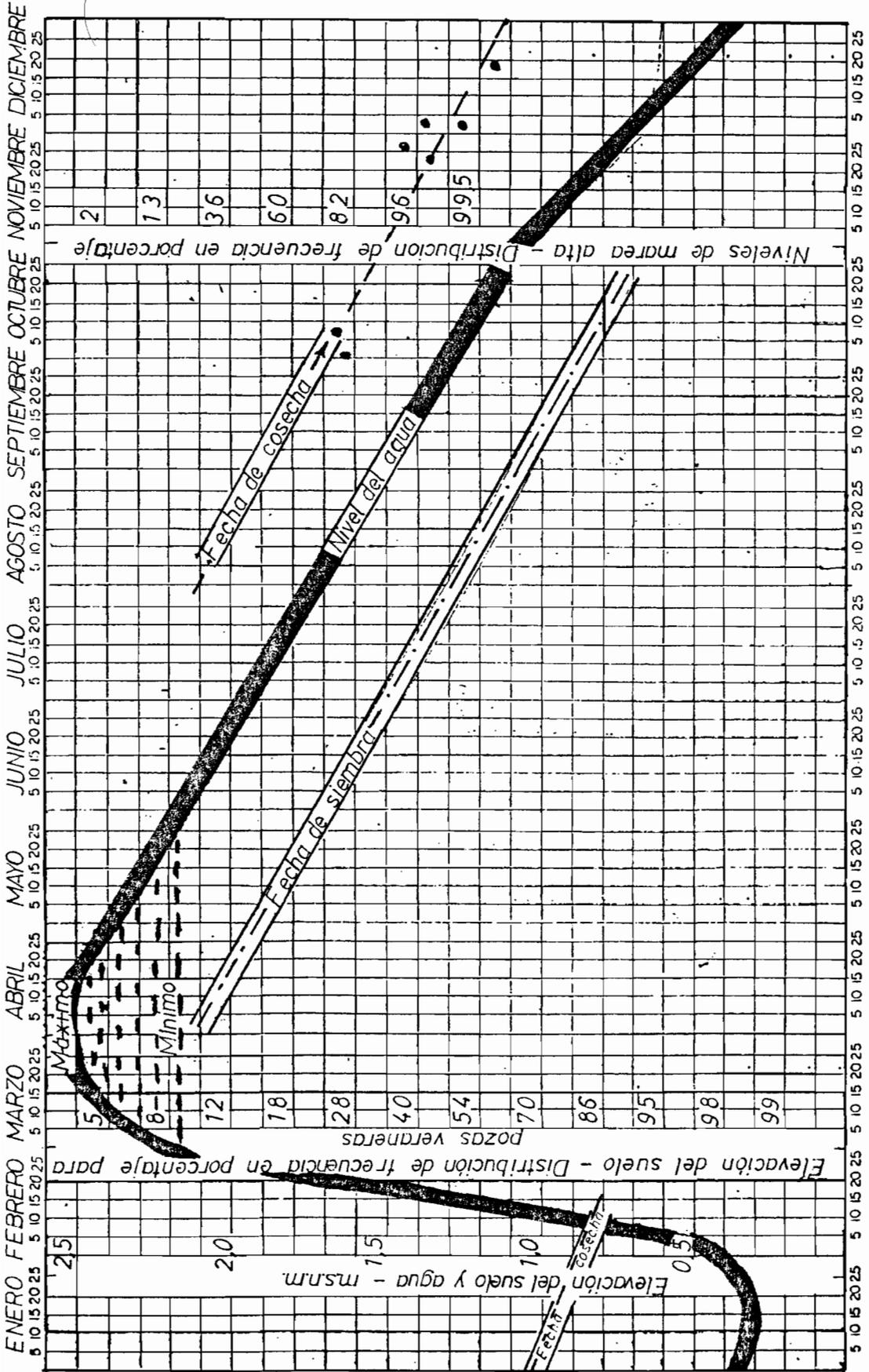


FIGURA 2.3 NIVELES DE SUELO, AGUA Y MAREA ALTA (10)

escasez, y 0,5 TM/Ha con escasez desde 20 días antes de la floración hasta la cosecha.

SISTEMAS DE CULTIVOS

La mayoría de las zonas altas (2,5 a 7 m.) y las tierras inundables por marea (2,1 a 2,5 m.) son sembradas directamente por pequeños agricultores arroceros con las primeras lluvias en Enero, utilizando completamente los cuatro meses de la estación lluviosa y sobreviviendo a inundaciones profundas respectivamente. Existe un gran porcentaje de agricultores que usan el sistema de espeque, en el cual, hacen un agujero cónico con una estaca puntiaguda, con la mano ponen de 30 a 40 semillas en el agujero y cubre con su pie. En este método de siembra por seco, los pequeños granjeros dependen sobre todo de las lluvias e inundación poco profunda sobre los bancos del río, estos agricultores cosechan arroz en Mayo y Junio. La mayoría de las tierras inundables por marea son sembradas por transplante, según el nivel del agua baje desde 35 cm. sobre una gran zona desde Marzo hasta Septiembre. Muy pocas áreas son plantadas después de mediados de Octubre o bajo 0,8 m. debido al alto riesgo de

inundaciones en Febrero, ver Figura 2.3.

Los grandes agricultores con adecuado control de agua pueden sembrar directamente con maquinaria, más aún, ellos pueden encharcar el suelo y sembrar directamente con aeroplano. Ellos plantan usualmente el primer cultivo de arroz en Enero o tan pronto como la calidad del agua sea buena para utilizarla en el riego. Este primer cultivo es cosechado de Mayo a Junio y seguidamente realizan una segunda siembra de acuerdo a la calidad y cantidad de agua disponible.

2.1.3. Perspectivas futuras en la producción de arroz

Es un hecho que la expansión demográfica se acelera y más especialmente en los países en vías de desarrollo, en los que será necesario también un aumento en la producción de productos alimenticios. El arroz, tercero en importancia cerealícola, presenta sobre el trigo la ventaja de poder ser consumido después de simple descascarillado, sin necesidad de molienda ni transformación en pan, por lo que el arroz debe ser producido en cantidades crecientes.

Se ha tratado de establecer planes para un futuro inmediato, adaptando métodos para estimar la producción por extrapolación de los resultados obtenidos durante los últimos años y por estudios de las posibilidades técnicas del aumento; bajo estos principios el PNAR elaboró una tabla de perspectivas en el cultivo de arroz hasta 1990 (Tabla III).

Para los años siguientes el crecimiento de la población es más acelerada que el crecimiento de la producción de arroz, por lo tanto el consumo per cápita aumenta considerablemente y la demanda global mensual es más exigente, es por ello que tendremos serios problemas por cuanto las disponibilidades de arroz pilado, no alcanza a cubrir las necesidades que requerirá el País en los próximos años, con lo cual no estamos en capacidad de abastecernos.

Esta situación se da por cuanto hay que corregir algunas fallas en la producción de arroz, como es, pérdidas por post-cosecha, transportación y almacenamiento. Es necesario tener en cuenta la necesidad de cambiar sustancialmente este sistema, que se está llevando con el arroz con políticas más

T A B L A III

METAS DE CULTIVO DE ARROZ PARA EL PERIODO 1985-1990.

| | 1 9 8 5 | 1 9 8 6 | 1 9 8 7 | 1 9 8 8 | 1 9 8 9 | 1 9 9 0 |
|-------------------------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| SUPERFICIE SEMBRADA Has. | 152.230 | 156.250 | 160.270 | 164.290 | 168.310 | 172.330 |
| SUPERFICIE COSECHADA Has. | 136.287 | 139.108 | 141.849 | 144.515 | 147.108 | 149.588 |
| RENDIMIENTO Kg/ha. | 3.259 | 3.306 | 3.353 | 3.400 | 3.447 | 3.495 |
| PRODUCCION ARROZ-CASCARA T.M. | 444.160 | 459.890 | 475.620 | 491.350 | 507.080 | 522.810 |
| PRODUCCION ARROZ-PILADO T.M. | 266.496 | 275.934 | 285.372 | 294.810 | 304.248 | 313.686 |
| POBLACION miles Habt. | 9'878.000 | 10'219.000 | 10'573.000 | 10'934.000 | 11'299.000 | 11'676.000 |
| CONSUMO APARENTE Kg./Habt. | 22.40 | 22.43 | 22.42 | 22.40 | 22.38 | 22.33 |
| SEMILLA T.M. | 8.649 | 8.878 | 9.106 | 9.335 | 9.563 | 9.792 |
| PERDIDAS (15 %) T.M. | 66.624 | 68.984 | 71.343 | 73.703 | 76.062 | 78.422 |
| DISPONIBLE CASACRA T.M. | 368.887 | 382.028 | 395.171 | 408.312 | 421.455 | 434.596 |
| DISPONIBLE PILADA T.M. | 221.332 | 229.217 | 237.103 | 244.987 | 252.873 | 260.757 |
| CONSUMO PERCAPITA (Pido.) Kg./Habt. | 27.53 | 28.38 | 29.23 | 30.08 | 30.93 | 31.78 |
| DEMANDA GLOBAL (cáscara) T.M. | 362.588 | 386.687 | 412.065 | 438.527 | 465.970 | 494.751 |
| DEMANDA GLOBAL PILADO T.M. | 217.553 | 232.012 | 247.239 | 263.116 | 279.552 | 296.851 |
| SALANCE T.M. | 3.779 | -2.795 | -10.137 | -18.129 | -26.709 | -36.094 |

Calculado sobre 80% de la población total.

FUENTE: Programa Nacional del Arroz y Control de Piladoras y Molinos. Año 1976

agresivas de investigación.

Este aumento en la producción se puede conseguir:

- Por la puesta en explotación de nuevos terrenos, cuyo acondicionamiento hidráulico deberá proseguirse conforme a los resultados de los estudios que se efectúan en función de las condiciones ecológicas.*
- Por la generalización, en todos los lugares en donde las condiciones hidráulicas y climáticas lo permitan de una doble campaña y empleo de variedades de ciclo corto.*
- Por el aumento de los rendimientos unitarios a un ritmo más rápido que el hasta ahora observado. Es necesario el empleo de variedades de gran productividad, resistentes a las enfermedades y plagas, y que respondan en forma conveniente a los abonos intensos.*

2.2. DISTRIBUCION DE LAS PILADORAS DE ARROZ

La demanda de arroz en los últimos años ha exigido una expansión y mayor participación de la industria

de procesamiento, unido a ciertas facilidades de crédito e importación de equipos, han promovido el establecimiento de numerosas plantas de muy variadas características. Según datos obtenidos del PNAR en el año 1985, tienen registradas 1226 empresas que están en funcionamiento, cuya distribución geográfica está dada en la Tabla IV y Figura 2.4.

Más de la mitad de las plantas están ubicadas en la provincia del Guayas, que concentra la mayor producción del País, seguidamente Los Ríos y Manabí que poseen zonas aptas para el cultivo.

2.2.1. Clasificación de Piladoras

El Programa Nacional del Arroz ha clasificado las plantas procesadoras de arroz en tres categorías que se describen a continuación:

PILADORA DE PRIMERA CATEGORIA

Este grupo comprende las plantas con capacidad para procesar sobre 20 qq por hora, o sea una 7 TM por día.

Algunas de estas empresas disponen de facilidades de almacenamiento adecuado y secado mecánico, lo que les permite operar

T A B L A IV

DISTRIBUCION DE LAS PILADORAS DE ARROZ

| | NUMERO DE PILADORAS | | | | | CAPACIDAD INSTALADA (qq/h) | | | | |
|-----------------|---------------------|-----|-----|-------|------|----------------------------|-------|-----|-------|------|
| | C A T E G O R I A S | | | | | C A T E G O R I A S | | | | |
| | 1a. | 2a. | 3a. | Total | % | 1a. | 2a. | 3a. | Total | % |
| <u>GUAYAS</u> | 109 | 429 | 124 | 662 | 54,0 | 3.080 | 4.738 | 876 | 8.694 | 58,3 |
| Guayaquil | 11 | 14 | - | 25 | | 430 | 186 | 4 | 620 | |
| Samborondón | 12 | 36 | 4 | 52 | | 415 | 476 | 20 | 911 | |
| Yaguachi | 36 | 73 | 9 | 118 | | 1.005 | 973 | 47 | 2.075 | |
| Milagro | 7 | 12 | 1 | 20 | | 195 | 145 | 5 | 345 | |
| Haranjito | - | 6 | - | 6 | | - | 68 | - | 68 | |
| Daule | 30 | 156 | 48 | 234 | | 680 | 1.943 | 483 | 3.105 | |
| Balzar | 3 | 35 | 22 | 60 | | 65 | 415 | 114 | 594 | |
| El Empalme | - | 9 | 18 | 27 | | - | 110 | 95 | 205 | |
| Urbina Jado | 8 | 79 | 22 | 109 | | 160 | 315 | 109 | 584 | |
| Haranjal | 2 | 9 | - | 11 | | 80 | 107 | - | 187 | |
| <u>LOS RIOS</u> | 37 | 305 | 124 | 465 | 37,9 | 802 | 3.852 | 603 | 5.257 | 35,2 |
| Babahoyo | 14 | 100 | 15 | 129 | | 325 | 1.289 | 88 | 1.702 | |
| Vinces | 2 | 79 | 32 | 113 | | 40 | 1.032 | 149 | 1.221 | |
| Puebloviejo | 5 | 17 | 14 | 36 | | 90 | 209 | 67 | 366 | |
| Baba | 1 | 35 | 14 | 50 | | 20 | 429 | 72 | 521 | |
| Quevedo | 6 | 26 | 14 | 46 | | 120 | 305 | 68 | 493 | |
| Urdaneta | 6 | 19 | 9 | 34 | | 112 | 242 | 42 | 396 | |
| Ventanas | 3 | 29 | 25 | 57 | | 95 | 346 | 117 | 558 | |
| <u>MANABI</u> | 8 | 17 | 35 | 60 | 4,9 | 230 | 180 | 185 | 595 | 4,0 |
| Portoviejo | - | 6 | 3 | 9 | | - | 74 | 16 | 90 | |
| Montecristi | 3 | - | - | 3 | | 80 | - | - | 80 | |
| Manta | 3 | - | - | 3 | | 110 | - | - | 110 | |
| Bolivar | - | 2 | 3 | 5 | | - | 18 | 15 | 33 | |
| Chone | - | 1 | 3 | 4 | | - | 10 | 15 | 25 | |
| El Carmen | - | 1 | 3 | 4 | | - | 10 | 13 | 23 | |
| Jipijapa | 2 | - | - | 2 | | 40 | - | - | 40 | |
| Paján | - | - | 5 | 5 | | - | - | 26 | 26 | |
| Rocafuerte | - | 3 | 3 | 6 | | - | 32 | 16 | 48 | |
| Sucre | - | 2 | 7 | 9 | | - | 18 | 35 | 53 | |
| Santa Ana | - | 2 | 5 | 7 | | - | 18 | 28 | 46 | |
| 24 de Mayo | - | - | 3 | 3 | | - | - | 21 | 21 | |

Continúa Tabla IV ...

| | | | | | | | | | | |
|-------------------|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| <u>EL ORO</u> | 1 | 2 | 5 | 8 | 0,6 | 30 | 20 | 25 | 75 | 0,5 |
| Arenillas | 1 | 1 | - | 2 | | 30 | 10 | - | 40 | |
| Piñas | - | - | 1 | 1 | | - | - | 5 | 5 | |
| Zaruma | - | - | 4 | 4 | | - | - | 20 | 20 | |
| Santa Rosa | - | 1 | - | 1 | | - | 10 | - | 10 | |
| <u>BOLIVAR</u> | - | 3 | 7 | 10 | 0,8 | - | 28 | 34 | 62 | 0,4 |
| Guranda | - | 3 | 5 | 8 | | - | 28 | 25 | 53 | |
| Chimbo | - | - | 2 | 2 | | - | - | 9 | 9 | |
| <u>CHIMBORAZO</u> | - | 2 | - | 2 | 0,2 | - | 23 | - | 23 | 0,2 |
| Alausí | - | 2 | - | 2 | | - | 23 | - | 23 | |
| <u>CAÑAR</u> | - | 3 | - | 3 | 0,2 | - | 43 | - | 43 | 0,3 |
| Cañar | - | 2 | - | 2 | | - | 28 | - | 28 | |
| La Troncal | - | 1 | - | 1 | | - | 15 | - | 15 | |
| <u>PICHINCHA</u> | - | - | 2 | 2 | 0,2 | - | - | 10 | 10 | 0,1 |
| Santo Domingo | - | - | 2 | 2 | | - | - | 10 | 10 | |
| <u>LOJA</u> | 1 | 5 | - | 6 | 0,5 | 20 | 73 | - | 93 | 0,6 |
| Macará | 1 | 5 | - | 6 | | 20 | 73 | - | 93 | |
| <u>ESMERALDAS</u> | - | 5 | 3 | 8 | 0,7 | - | 49 | 16 | 65 | 0,4 |
| Quinindé | - | 5 | 3 | 8 | | - | 49 | 16 | 65 | |
| ----- | | | | | | | | | | |
| TOTAL NACIONAL | 156 | 771 | 299 | 1.226 | 100,0 | 4.162 | 9.006 | 1.749 | 14.917 | 100,0 |
| ----- | | | | | | | | | | |
| PORCENTAJE GLOBAL | 13 | 63 | 24 | 100 | | 28 | 60 | 12 | 100 | |

FUENTE: Programa Nacional del Arroz. Año 1985.

durante todo el año, pero numerosas plantas carecen de medios para secar el grano, función que realizan en tendales con ayuda de la radiación solar. Esta operación, que es muy generalizada en el País, pues tiene el inconveniente que a menudo al grano se le extrae un contenido de humedad mayor que el requerido para poder ser pilado, lo que ocasiona la partidura de los granos durante su procesamiento. El producto pilado resulta así con un alto porcentaje de granos quebrados, que es una característica del producto proveniente de las piladoras de segunda y tercera categoría.

Para su almacenamiento muchas de estas empresas disponen de bodegas con pisos de caña guadúa, donde almacenan el arroz al granel. La construcción es simple y exige muy bajas inversiones, pero tiene el inconveniente que las pérdidas de grano almacenado exceden de un 5%. Esta modalidad de almacenamiento tiene la desventaja que solo permite el funcionamiento de algunas plantas en la época de cosecha, los cuales restan eficiencia a las empresas.

Las piladoras, además de su alta capacidad de

procesamiento por hora, realizan las siguientes funciones:

- Descascaramiento intensivo con una baja producción de granos quebrados;
- Separación automática de impurezas;
- Blanqueamiento;
- Pulimento; y,
- Separación del polvillo y arrocillo.

PILADORA DE SEGUNDA CATEGORIA

Este tipo de piladora tiene una capacidad promedio de procesamiento de 4,3 TM por día con molinos entre 8 a 19 qq/hr. El secado del grano se realiza en tendales y solo disponen de bodegas para un almacenamiento temporal. De esta manera, estas plantas solo pueden operar en la época de cosecha, con un máximo de 120 días al año. El equipo de pilado está compuesto de un descascarador y separador de arrocillo y polvillo. No blanquea ni pule el grano. El producto final resulta con un elevado porcentaje de grano quebrado.

PILADORA DE TERCERA CATEGORIA

Son plantas descascaradoras de muy baja

capacidad de operación, hasta 1,8 TM por día con máquinas menores de 8 qq/hr. Sirven para procesar pequeñas partidas de predios ubicados en zonas alejadas de los centros de abastecimiento, y no cubren masivamente el mercado.

El PNAR tiene registrados 299 empresas de esta categoría que operan comercialmente, pero el número existente es muy superior. Todas ellas carecen de medios de almacenamiento y de secado, por lo que solo funcionan en épocas de cosecha, como máximo de 88 días.

2.2.2. Capacidad de procesamiento

Si todas las piladoras pudiesen operar en forma continua los 264 días laborables del año, la capacidad de procesamiento excedería de 1,4 millones de TM anuales, cantidad casi cuatro veces superior a la demanda comercial del grano, según la Tabla III.

Las 156 piladoras de primera categoría, podrían procesar un total de 398.714 TM de arroz al año. Desafortunadamente, solo pocas empresas disponen de medios de almacenamiento

y otras poseen bodegas pequeñas, secan los granos en tendales los que reducen considerablemente su capacidad real de operación a 327.615 TM por año. Este grupo de piladoras están equipadas para dar al arroz una buena apariencia con un mínimo de granos quebrados.

Las piladoras de segunda categoría solo pueden operar en las épocas de cosecha, con una capacidad real de 392.165 TM. En circunstancias que, si dispusieran de medios apropiados de almacenamiento y de facilidades para secado artificial, podrían pilar 862.762 TM anuales.

Finalmente, las empresas de tercera categoría solo descascaran el grano, no disponen de medios de secado artificial y de almacenamiento, pueden operar alrededor de 82 días de las dos épocas de cosecha y procesan 55.850 TM anuales.

De esta forma la capacidad real de pilado se estima que alcanza más de 775.630 TM en el año de 1985, lo cual cubre casi tres veces los requerimientos actuales del País, siendo la capacidad de uso promedio de las

maquinarias de procesamiento de arroz del orden de 54%.

De lo anterior se desprende, que el País tiene capacidad de procesamiento para cubrir los requerimientos por varios años. La capacidad existente puede expandirse considerablemente, dotando a las empresas actuales de equipo de secado artificial y medios de almacenamiento a granel, lo que permitiría operar durante todo el año.

2.3. ZONAS ARROCERAS

Las áreas arroceras del País se dividen por su condición ecológica en dos grandes áreas: Zonas de cultivo de Secano y zonas de cultivo bajo Riego. Así podemos indicar que, las áreas con condiciones de temperatura ambiental promedio de 24.05°C y pluviosidades de 1500 o más mm de lluvia, como promedio, comprende las zonas de Secano. En precipitaciones inferiores a los 1000 mm año, las condiciones de cultivo se vuelven extremadamente críticas y la previsión de riego es fundamental.

Las áreas arroceras están localizadas hasta unos 10 metros tierra dentro del perfil costanero en la Cuenca del Guayas, tanto de Secano como de Riego.

Están ubicadas principalmente en la provincia del Guayas y Los Ríos, entre las latitudes de 0° 3' - 3° 0' hemisferio sur y 70° 10' - 80° 20' de latitud oeste, ver Figura 2.5; y un porcentaje mínimo de los cultivos corresponden a otras provincias como: El Oro, Manabí, Esmeraldas, Cañar, Loja y provincias Orientales.

En la Tabla V, se detallan las superficies de cultivo en los dos ciclos, con su distribución geográfica y política. La superficie total cultivada es muy variable, pero se puede considerar que, un 65% corresponde a las áreas de Secano y el saldo se utiliza bajo Riego.

2.3.1. Zonas de cultivo de Secano

Las zonas de cultivo de Secano se distribuyen de la siguiente manera:

SECANO ALTO

Se localizan principalmente en los cantones de Balzar, Quevedo, Ventanas; parcialmente Babahoyo, Pueblo Viejo, Baba, Urdaneta, Chone, Sucre, 24 de Mayo, Rocafuerte, Quinindé y Esmeraldas. Cubren una extensión de 11.500 Ha

T A B L A V

SUPERFICIE ARROCERA EN INVIERNO Y VERANO , AÑO 1985

| Provincias/Cantones | Hectáreas | |
|------------------------------------|-----------|----------|
| | INVIERNO | VERANO |
| <u>GUAYAS</u> ----- | 40.049,7 | 43.256,6 |
| Balzar | 1.457,0 | 2.338,0 |
| Velasco Ibarra | 360,0 | - |
| Daule | 10.143,1 | 13.759,6 |
| Urbina Jado | 4.935,0 | 4.288,1 |
| Samborondón | 2.945,5 | 5.396,0 |
| Yaguachi | 7.394,4 | 8.889,9 |
| Milagro | 1.070,6 | 334,0 |
| Naranjito | 779,4 | - |
| El Triunfo | 5.915,0 | 4.174,0 |
| Naranjal | 4.359,0 | 4.007,0 |
| Guayaquil | 520,0 | - |
| Pedro Carbo | 170,7 | - |
| <u>LOS RIOS</u> ----- | 49.695,5 | 18.444,2 |
| Babahoyo | 15.395,5 | 8.128,1 |
| Montalvo | 7.686,8 | 1.836,1 |
| Ventanas | 2.804,9 | 105,0 |
| Puebloviejo | 3.404,1 | 440,0 |
| Urdaneta | 3.782,7 | 1.451,0 |
| Vinces | 2.868,5 | 2.642,0 |
| Baba | 2.645,0 | 2.690,0 |
| Guevedo | 11.108,0 | 1.152,0 |
| <u>HANABI</u> ----- | 590,0 | 524,0 |
| Rocafuerte | 145,0 | 381,5 |
| Sucre | 283,0 | 142,5 |
| Portoviejo | 10,0 | - |
| Santa Ana | 152,0 | - |
| <u>ESMERALDAS</u> ----- | 641,0 | 150,0 |
| Esmeraldas | 212,0 | - |
| Quinindé | 429,0 | 150,0 |
| <u>EL ORO</u> ----- | 452,0 | - |
| Santa Rosa | 141,0 | - |
| Zaruma | 180,0 | - |
| Arenilla | 131,0 | - |
| <u>LOJA</u> ----- | 608,0 | 620,0 |
| Macará | 608,0 | 620,0 |
| <u>CANAR</u> ----- | 642,0 | 430,0 |
| La Troncal | 282,0 | 370,0 |
| M. J. Calle | 360,0 | 60,0 |
| <u>PROVINCIAS ORIENTALES</u> ----- | 945,0 | 100,0 |
| Napo | 825,0 | 50,0 |
| Pastaza | 120,0 | 50,0 |
| <u>TOTAL NACIONAL</u> | 93.623,2 | 63.524,8 |

Fuentes: Programa Nacional del Arroz.

que en siembran en invierno, las mismas que se realizan a mano con semillas seca.

SECANO BAJO INUNDABLE

Están a una distancia de tres metros tierra adentro del perfil costanero de la Cuenca del río Guayas, constituyen los sectores que se localizan en: Yaguachi, Babahoyo, Puebloviejo, Urbina Jado; parcialmente Daule, Baba, Naranjal, Portoviejo, Rocafuerte. Cubren una extensión 40.500 Ha que se siembran en invierno.

SECANO, POZA VERANERA

Las pozas veraneras son en su mayoría depresiones naturales poco profundas, las cuales se llenan de agua fresca durante la estación lluviosa o por inundación. La mayoría de estas áreas están bajo la cota 2,8 m. en el intervalo de máxima altura de marea y sobre los 0,80 m. en el intervalo de mínima marea. Están localizadas en Urbina Jado, Daule, Samborondón, Vinces, Baba; parcialmente Yaguachi.

Estas pozas cubren 22.000 Ha que son utilizadas para el cultivo de arroz en el

ciclo de verano. En estas pozas el arroz se siembra por transplante y el sistema de cultivo presenta características tecnológicas especiales y tradicionales.

2.3.2. Zonas de riego

Las áreas de riego se concentran en: Daule, Samborondón, Yaquachi, también es importante en Naranjal, Balzar, Babahoyo y Baba.

Las zonas de riego también pueden ser bajas e inundables, pero ellas disponen de la infraestructura mínima e indispensable para el manejo relativo de agua en época seca, con graduaciones amplias en cuanto a la calidad y eficacia de este tipo de obras. La siembra se hace directamente en el campo con semilla seca al voleo o en surcos en suelo seco o por transplante en suelo fangueado. Se cultivan en promedio 25.500 Ha en invierno y 11.500 Ha en verano.

2.4. SUBPRODUCTOS DEL ARROZ PILADO

El producto obtenido por el agricultor, grano conocido comercialmente con el nombre de "arroz

paddy" (*padi* en Malasia), o *"palay"* (en Filipinas) o *"arroz en paja"* , o *"arroz vestido"* se somete a un tratamiento con el objeto de darle un aspecto que guste a consumidor.

Las partes que constituyen el grano entero (Fig 2.6) son: *cascarilla*, *pericarpio*, *germen* y *meso-carpio*.

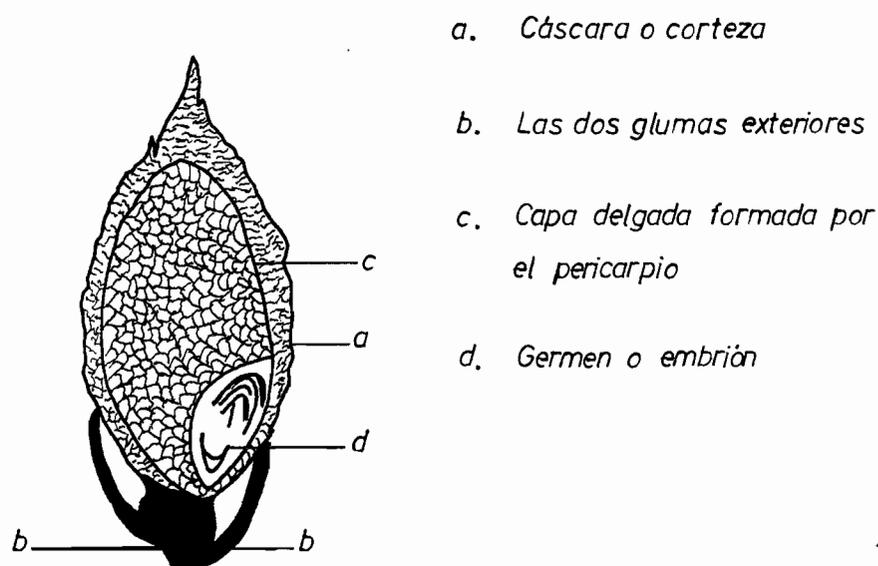


FIGURA 2.6. PARTES CONSTITUYENTES DEL GRANO DE ARROZ.

Con el objeto de eliminar la *cascarilla* el grano se somete a una *trituration* y, posteriormente, por *aereación* se separa la *cascarilla* del resto, quedando, entonces el *arroz Brown* o *moreno*, las *glúmeras* y un *subproducto*.

El *arroz moreno* constituye ya un producto que puede

ser usado directamente en la alimentación, pero su color café claro es desagradable para el consumidor que lo prefiere blanco. Para obviar este inconveniente, el arroz moreno se somete al proceso conocido como "pulido", que en realidad está constituido por dos operaciones separadas: el "raspado" en el cual se elimina casi totalmente el pericarpio y el germen, y el "pulido" en que se separa el resto del pericarpio mezclado con capas superficiales del mesocarpio.

El pulido, raspado, salvado o harina se produce en la operación de blanqueado del arroz, este producto obtenido es conocido en nuestro medio como polvillo.

El arroz blanqueado ingresa a un clasificador, donde se obtienen los granos que se rompen durante proceso y que constituyen en el grano comercial denominado como Granza, Bavaria, arroz de sopa o arrocillo. Se obtiene así como producto final de arroz de primera que es el utilizado para la alimentación humana, se conoce como arroz cristal o entero.

En las Figuras 2.7 y 2.8 se visualiza el proceso y los subproductos en la industrialización del arroz. Estos productos denominados residuos del arroz no son desechos, ya que tienen sus aplicaciones a nivel industrial, como se tiene en la Tabla VI.

FIGURA 2.7. DIAGRAMA DE MOLINERIA ARROCERA

Paddy o arroz en paja

↓

LIMPIADOR -----→ Impurezas

↓

paddy limpio

↓

..... → DESCASCARILLADO

↓

. Arroz Moreno - Arrocillo - Polvillo - Cascarilla - Paddy

↓

TAMIZADO ----→ Arrocillo-Polvillo

↓

Arroz moreno - Paddy

↓

..... Paddy ← SEPARADOR

↓

Arroz moreno

↓

PULIDO -----→ Polvillo

↓

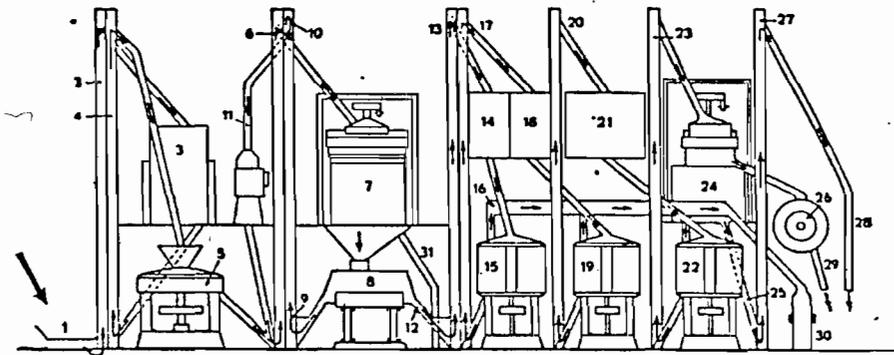
Arroz blanqueado - Arroz partido

↓

CLASIFICADOR -----→ Arroz partido

↓

Arroz entero

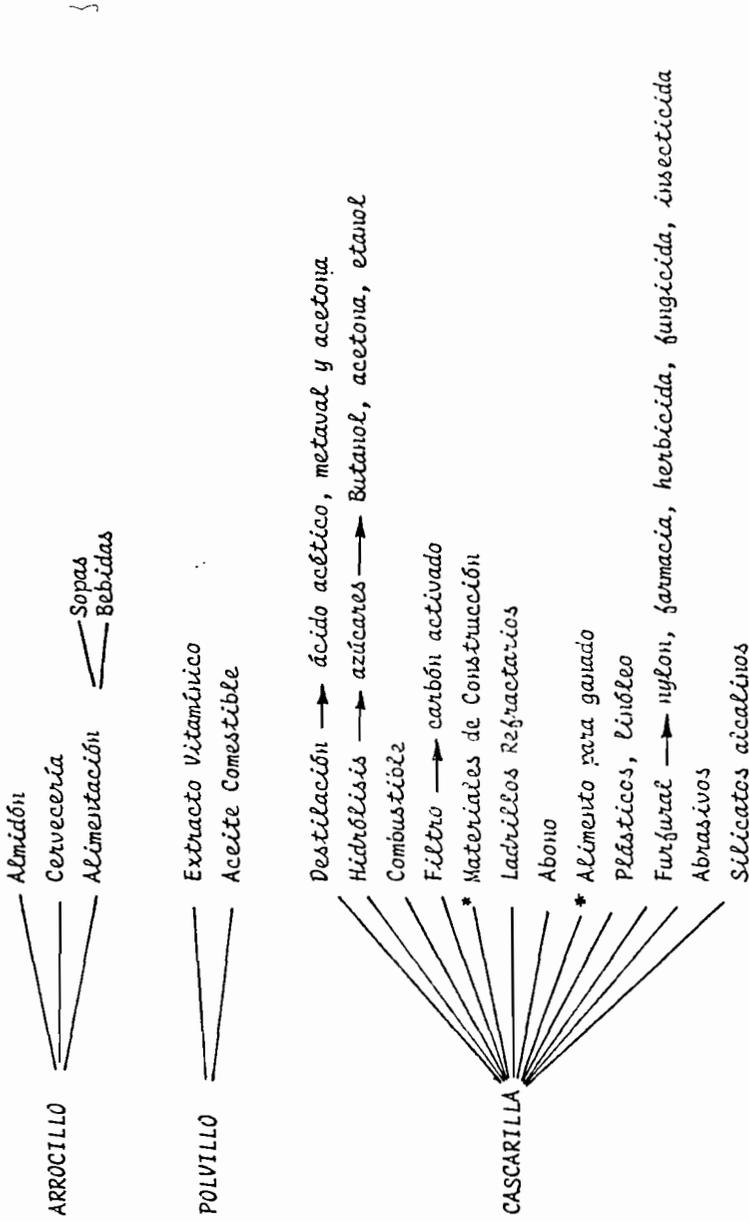


1. Recepción del paddy.
2. Elevador de paddy hacia limpiador.
3. Aventador limpiador.
4. Elevador transportador del paddy limpio.
5. Descascarillador de muelas.
6. Elevador transportador del cargo hacia el tamiz.
7. Tamiz.
8. Separador densimétrico arroz descascarillado-paddy.
9. Salida del paddy no descascarillado.
10. Elevador transportador del paddy no descascarillado hacia el descascarillador de recuperación.
11. Descascarillador de recuperación (de rollos).
12. Evacuación del arroz descascarillado.
13. Elevador transportador del arroz descascarillado hacia el blanqueo.
14. Silo de arroz descascarillado.
15. Primer cono de blanqueo.
16. Evacuación de los deshechos de blanqueo.
17. Elevador transportador del arroz blanqueado (después del 1.º cono).
18. Silo de arroz blanqueado (1.º cono).
19. Segundo cono de blanqueo.
20. Elevador transportador del arroz blanqueado (después del 2.º cono).
21. Silo de arroz blanqueado (2.º cono).
22. Pulidor.
23. Elevador transportador del arroz pulido.
24. Tamiz separador de arroz entero y roturas.
- 25-27. Elevador transportador de arroz entero.
26. Calibrador de roturas.
27. Evacuación de diversos tipos de roturas.
28. Salida del arroz entero.

FIGURA 2.8 ARROCERIA COMPLETA ⁽¹⁾

T A B L A VI .

APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL DE LOS RESIDUOS DEL ARROZ EN CASCARA



(*) Utilización de la cascavilla en nuestro medio. Mínimas proporciones.

2.5. EVALUACION POTENCIAL DE RESIDUOS DE ARROZ

Debido a que la calidad de arroz en paja está influenciado por sus condiciones climáticas, hidráulicas y edafológicas, se estimó conveniente realizar una selección aleatoria en las diferentes zonas con sus variedades predominantes. Gracias a la colaboración del Programa Nacional del Arroz con el Departamento de Laboratorio, se pudo evaluar el rendimiento de pilado de las numerosas variedades que se siembran en las zonas arroceras.

Para el cálculo del rendimiento en el pilado de arroz se toman muestras de un área de dos metros cuadrados en diferentes lugares de una misma cosecha hasta completar en lo posible un kilogramo; luego si la muestra posee la humedad apropiada de 12% al 15% se realiza el pilado del arroz, de los que se obtienen: arroz entero, arrocillo, polvillo y cascarilla.

Por existencia de numerosas variedades de arroces criollas y foráneas introducidas a nuestro País, resulta difícil establecer una sola variedad predominante en nuestro medio, por lo que se estimó conveniente tomar un promedio de los porcentajes por unidad de peso del rendimiento en el pilado de arroz

seco y limpio (Apéndice A). Así se tiene:

| | |
|----------------------|---------------|
| <i>Arroz entero:</i> | <i>58.41%</i> |
| <i>Arrocillo:</i> | <i>4.13%</i> |
| <i>Polvillo:</i> | <i>13.15%</i> |
| <i>Cascarilla:</i> | <i>24.29%</i> |

Para tener una estimación lo más cercano del arroz en cáscara que llega a las piladoras listo a ser procesado, se calculará de la diferencia entre la producción nacional de arroz-cáscara (según MAG) y la sumatoria de pérdidas por manipuleo-transporte, selección de semillas para la próxima cosecha, impurezas y humedad. El valor así obtenido es el arroz limpio y seco.

Las pérdidas por manipuleo y transporte se considera 10% en peso. Las impurezas en el arroz el 5%. La humedad habrá que disminuir del 20% que reportan en los boletines de producción del PNAR al (12-15)% de humedad, que es apto para ser pilado. Hay que tener presente que se retiene una cantidad determinada para semilla de la próxima siembra, de acuerdo a la superficie programada en el siguiente ciclo, se estima un promedio para los diferentes sistemas de siembra de 57 Kg/Ha.

Así, estos cálculos se resumen:

(TM)

| | |
|------------------------------------------------------|-----------------------|
| <i>Arroz bruto en cáscara, año 1985</i> | <i>397.354</i> |
| <i>Transporte y manipuleo</i> | <i>39.735</i> |
| <i>Semillas para verano 1985 en 63.525 Ha</i> | <i>3.621</i> |
| <i>Semillas para invierno 1986 en 111.130 Ha ...</i> | <i>6.334</i> |
| <i>Impurezas y Humedad</i> | <i>41.720</i> |
| <i><u>Arroz en cáscara seco y limpio</u></i> | <i><u>305.944</u></i> |

Con estos datos se elaboró la Tabla VII, que está referida a los residuos de arroz del año 1985.

2.6. POTENCIAL ENERGETICO DE LA CASCARILLA DE ARROZ

De los residuos del arroz, la cascarilla tiene muy poco uso en nuestro medio y por lo general se encuentran grandes cantidades de este desecho en las inmediaciones de las empresas piladoras de arroz, quemándose sin aprovechar la energía generada. Es por esto, necesario evaluar que cantidad de energía se está desperdiciando sin ser utilizada de una manera técnicamente aprovechable, para que se tome conciencia de que poseemos una fuente de energía que no es explotada en su debida forma y bien podría ser complemento de los combustibles convencionales.

Así, en la Tabla VIII se estima la energía que podría generarse por la quema de la cascarilla disponible durante el año de 1985. La producción de arroz-cáscara en este año fue de un total de 397.354 TM de las cuales 74.314 TM es cascarilla (tamo), de la cual se generaría 8.36×10^9 MJ con 75% de eficiencia de combustión, que nos representaría 137.000 barriles equivalentes de petróleo al año; aunque resulta una cantidad poco atractiva debido a que nuestro País consume aproximadamente alrededor de 100.000 BEP al día, pero resultaría una buena alternativa como combustible complementario.

T A B L A VII

POTENCIAL DE RESIDUOS DE ARROZ DEL AÑO 1985

| | |
|--------------------------------------|------------|
| Arroz en cáscara seco y limpio | 305.944 TM |
| Arroz entero | 178.702 TM |

RESIDUOS DEL ARROZ

| | |
|------------------|-----------|
| Arrocillo | 12.636 TM |
| Polvillo | 40.232 TM |
| Cascarilla | 74.314 TM |

T A B L A VIII

PRODUCCION DE ENERGIA A PARTIR DE LA CASCARILLA

| | |
|-----------------------------|---------------|
| Cascarilla disponible | 74.314 TM/año |
|-----------------------------|---------------|

| | |
|-------------------------------------|----------------------------|
| Energía que generaría al País | 8.36×10^9 MJ/año* |
| Provincia del Guayas | 4.87×10^9 MJ/año |
| Provincia de Los Rios | 2.95×10^9 MJ/año |
| Otras provincias | 5.35×10^7 MJ/año |

| | |
|----------------------------------------------------------|------------------|
| Barriles equivalentes de petróleo que se ahorraría | 136.639 BEP/año* |
|----------------------------------------------------------|------------------|

$PCS_{cascarilla} = 15$ MJ/Kg

BEP = 6.12×10^9 J

*Eficiencia de combustión = 75%

C A P I T U L O I I I

CARACTERISTICAS DEL ARROZ Y SUBPRODUCTO

3.1. PRINCIPALES VARIEDADES DE ARROZ

Los arroces cultivados pertenecen a dos especies, Oryza sativa L. y Oryza glaberrima Steud, la primera constituye la casi totalidad de la producción.

De cada una de estas especies se registran numerosas variedades. Por lo tanto, es conveniente precisar que la noción de variedad reposa sobre un conocimiento genético, simple en principio; o sea, la herencia en su mas amplia acepción de los caracteres genéticos característicos; sin embargo, aunque ciertos caracteres son simples de definir por un concepto de presencia o de ausencia, la mayoría presentan variaciones considerables.

Antes de intentar una clasificación de las variedades de arroz, es importante dar una idea de los caracteres genéticos sobre los cuales puede

basarse tal clasificación, y de las correlaciones de estos caracteres entre sí, correspondiente a combinaciones genéticas con cromosomas de las dos especies.

En vista de la poca importancia de la *Oryza glaberrima* Steud, en el siguiente cuadro no versará más que sobre la *Oryza sativa* L. la cual se puede clasificar, aproximadamente, los caracteres genéticos en tres categorías:

1. Caracteres Cualitativos

- Pigmentación antocionina
- Caracteres del tallo
- Caracteres de las hojas
- Deficiencias clorofilicas
- Caracteres de las paniculas
- Caracteres de la carióspside

2. Caracteres Cuantitativos:

- Esterilidad
- Ciclo vegetativo
- Longitud de paja
- Ahijamiento
- Vuelco
- Desgrane

3. Caracteres Fisiológicos

- Resistencia a la sumersión

- Resistencia a la sequía
- Resistencia a la salinidad
- Resistencia a las enfermedades
- Latencia a las semillas.

3.1.1. Clasificación

Las variedades de arroz se clasifican por el tamaño de grano y por su periodo vegetativo en las siguientes clases:

CLASIFICACION POR TAMAÑO DE GRANO

- a) Variedades de grano largo.- En ellos la longitud del grano fluctúa entre 7 a 9 mm. A esta clase pertenecen INIAP-415.*
- b) Variedades de grano medio.- La longitud del grano varía entre 5 a 7 mm. A esta variedad pertenece IR-8, IR-5, INIAP-6 e INIAP-7.*
- c) Variedades de grano corto.- La longitud de grano es menor a 5 mm.*

CLASIFICACION SEGUN PERIODO VEGETATIVO

- a) Variedades precoces .- Tienen un periodo vegetativo entre 100 y 120 días. A esta*

clase pertenece la IR-28.

- b) Variedades tempranas.- El periodo vegetativo en estas variedades es de 120 a 140 días. A este grupo pertenecen las variedades INIAP-2, INIAP-6.*
- c) Variedades tardías.- Su periodo vegetativo es mayor de 140 días. A estas pertenecen las variedades IR-8, INIAP-415.*

3.1.2. Variedades mejoradas en el Ecuador

Los bajos rendimientos obtenidos en el Ecuador, han sido consecuencia, a más de otros factores, del uso de variedades altas, susceptibles al volcamiento y a las enfermedades e insectos presentes en el área, baja respuesta de las variedades a fertilizantes, etc. Paulatinamente las variedades tradicionales han sido reemplazadas por variedades enanas de tallos cortos y fuertes, de hojas erectas, resistentes al vuelco y a ciertos insectos, de corto periodo vegetativo y por ende con una gran capacidad de producción. La obtención de variedades se ha basado en la

investigación, evaluación y selección de material genético, introducido de diferentes centros internacionales de investigación, principalmente del IRRI y CIAT.

El Instituto Internacinal para la Investigación del arroz (IRRI), en el año de 1966 lanzó la variedad mejorada IR-8 y aproximadamente un año después la variedad IR-5; este suceso repercutió favorablemente en todas las zonas arroceras del mundo , esto constituyó la revolución verde del arroz.

La variedad IR-8 demostró tener una capacidad notable de rendimiento, excelente vigor de plantación, un número relativamente alto de macollos productivos, con tallos cortos y robustos; IR-5, es similar a la IR-8 en muchos aspectos, sin embargo, es más alto y tiene mayores probabilidades de acamarse en niveles altos de fertilidad que la IR-8.

Estas dos variedades fueron introducidas al país en el año 1968 , se observó que son susceptibles a la enfermedad denominada "hoja blanca". El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP),

consciente de los problemas de semilla en el año 1971, entregó a los agricultores dos variedades; INIAP-6 e INIAP-2, con mejores cualidades que las IR, es decir, tipo de grano largo y delgado, buena calidad de molinería, y resistencia moderada a hoja blanca. Pero afectados por la enfermedad conocida como "quemazón".

Después de haber realizado una serie de estudios, el INIAP ha obtenido la variedad INIAP-7, procedente del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Palmira-Colombia.

La variedad INIAP-7 es de buen rendimiento y de amplia adaptación a las zonas arroceras del litoral ecuatoriano, tiene un grano más largo, delgado, cristalino y produce un mayor porcentaje de arroz entero en el molino que el INIAP-6. Además es resistente a la *Pyricularia* (quemazón).

La última variedad entregada es INIAP-415 que posee mejores rendimientos en granos, también se ha trabajado a riego, seco, salinidad, resistencia a plagas y enfermedades.

Según estudios, las variedades mejoradas rinden de 40 a 60 por ciento más que las tradicionales; porcentaje que en ciertos casos son mayores, cuando se usan adecuadas dosis de nitrógeno y buenas prácticas de cultivo. Actualmente se tiene tecnología para condiciones de cultivo por riego, no así para seco, por lo que, la prioridad de las investigaciones están orientadas a este sistema.

Además de las variedades mencionadas, en el País existen otras variedades tradicionales que se cultivan en menor escala como son: Donato, 1001, Pico-negro, SML, Juma, Tapuripa, Naylan-Inti, Brasileiro, Chileno, Cafuringa, Canilla, Canuto, Chato rayado, Cenit, Fama, etc.

3.1.3. Características agronómicas de las variedades

En el Tabla IX, se indica algunas de las características fisiológicas, cualitativas y cuantitativas. A continuación se presenta una descripción de las variedades más cultivadas, con sus comportamientos más sobresalientes en el medio:

T A B L A IX

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE VARIEDADES MEJORADAS (20)

| CARACTERÍSTICAS | INIAP-9 | INIAP-6 | INIAP-7 | INIAP-115 |
|-----------------------------------|-----------------|--------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| CRUCE | Peta x Taigikai | IR-6 x IR-12 | Cica-4 x FI(IR665-23-3-1 x Tecep) | FI(IR930 x IR579) x FI(IR930 x IR22) |
| DESIGNACIÓN | IR5-144-3-1 | IR930-31-1 | P918-25-15-2-3-IB | P1042-2-2-3-IB |
| RENDIMIENTO BAJO RIEGO (TM/Ha) | 6.6 | 5 a 7 | 5 a 7 | 5 a 7 |
| + RENDIMIENTO BAJO SECANO (TM/Ha) | - | 3.7 a 7.3 | 3.5 a 7 | 3.5 a 7 |
| * RENDIMIENTO BAJO MAREA (TM/Ha) | 4.3 | 3.6 | 4.0 | 3.5 |
| ALTURA (mm) | 1230 | 960 | 1080 | 1060 |
| MACOLLOS POR PLANTA | 33 | 33 | 31 | 31 |
| CICLO VEGETATIVO (días) | 159 | 133 | 136 | 142 |
| ° VOLCAMIENTO (%) | - | - | 70 | 35 |
| ARROZ ENTERO (%) | 68 | 63 | 68 | 69 |
| LONGITUD DEL GRANO (mm) | 6.5 | 6.5 | 7.0 | 7.2 |
| DOMANCIA EN SEMANAS | - | 3 a 4 | 9 a 12 | 4 a 6 |
| PYRICULARIA ORYZAE, CAU | Moderadamente | Susceptible | Resistente | Moderadamente |
| SOGATODES ORYZICOLA MUIR | - | Resistente | Resistente | Resistente |
| HOJA BLANCA | Moderadamente | Susceptible | Susceptible | Intermedio |

- + Zona de Quevedo
- * La máxima profundidad de agua fue 0.60 m., Local Brasileño.
- ° Se produce en la cosecha bajo siembra directa.

INIAP-2

Variedad enana (83 a 113 cm.), entregada por el Programa del Arroz del INIAP en 1971, es una variedad de buen rendimiento, exigente en prácticas de cultivo, de excelente calidad molinera y culinaria; susceptibles a Pyricularia y a "hoja blanca".

INIAP-6

Variedad enana (82 a 107) cm., entregada a los agricultores en 1971 por el Programa del Arroz, del INIAP; tiene amplia acogida por los agricultores; de buen rendimiento, bajo condiciones de riego y secano. Susceptible a Pyricularia y hoja blanca.

INIAP-7

Variedad entregada por el Programa del Arroz del INIAP en 1976. Su ciclo vegetativo fluctúa entre 130 a 145 días, es de altura intermedia de 104 a 126 cm., tendencia a volcamiento en siembras directas; su grano es largo y tiene buena calidad molinera y culinaria. Su resistencia a Pyricularia constituye la característica más

sobresaliente, presenta moderada resistencia a hoja blanca.

INIAP-415

Variedad intermedia 102 a 124 cm., entregado por el Programa del Arroz, del INIAP en 1979, de buen rendimiento bajo condiciones de riego y seco, buen macollo, grano largo, buena calidad molinera. Moderadamente resistente a Pyricularia y a hoja blanca. Su ciclo vegetativo varia entre 142 a 150 días.

PICO NEGRO Y DONATO

Variedades criollas altas (más de 130 cm.) sus características son tallo morado, resistente a la sequia y salinidad. Su ciclo vegetativo varia entre los 150 a 160 días, susceptibles al desgrane, grano largo, resistente a Pyricularia, buena calidad molinera y culinaria.

3.2. PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DE LA CASCARILLA

Para asegurar la caracterización de la cascarilla de arroz (tamo) es condición necesaria determinar las propiedades fisico-químicas del producto y

establecer que estas son iguales o superiores a las que se usan actualmente, y de esta manera escoger la forma correcta para lograr una combustión eficiente.

Por el análisis inmediato y último se puede obtener una buena información general de la bondad del producto a usar. Así, por medio del análisis inmediato o aproximado nos da una idea del porcentaje por masa de la humedad, cenizas, materias volátiles, carbón fijo y también el poder calorífico; a través del análisis último o elemental se determina los porcentajes de elementos químicos presentes por métodos analíticos directos.

Entre las principales propiedades de este residuo que influyen en la combustión son listadas a continuación:

3.2.1. Contenido de humedad

El contenido de humedad de la cascarilla de arroz se determina por diferencia de pesos, secando la muestra en "baño de María" para evitar de esta manera que pierdan materias por salpicaduras, manteniéndola a una temperatura constante de 80°C, hasta que su peso se mantenga invariable.

$$\% h = \frac{P_i - P_f}{P_f} \times 100$$

Los valores obtenidos representan la suma de la humedad superficial e inherente. La humedad superficial es la cantidad de agua en la superficie del sólido y se encuentra por encima de la humedad de saturación; y la humedad inherente es la que posee cuando se encuentra en equilibrio con una atmósfera de 96-97% de humedad relativa.

En su gran mayoría los combustibles biomásicos, y en particular la cascarilla de arroz por el espesor y tamaño adquiere su contenido de humedad de acuerdo a la humedad relativa ambiental. Así, el contenido de humedad influye directamente disminuyendo el valor calorífico, ya que parte de la energía química contenida en el combustible debe evaporar el agua.

3.2.2. Densidad

Para tener una idea más clara y precisa de los diferentes tipos de densidades en este

combustible biomásico, examinaremos la estructura de una camada de cascarilla de arroz. De la Figura 3.1 y 3.2 se bosqueja una sección del lecho de combustible en sus varias fases; cuatro fases son identificadas (Ref. 11):

- a) La fase β tiene un volumen V_{β} , representa los espacios vacíos entre las cascarillas sueltas, son tratados como material no poroso.
- b) La fase α tiene un volumen V_{α} , es la región de la materia sólida de la cascarilla de arroz más los poros internos y externos.
- c) La fase γ tiene un volumen V_{γ} , es el total del volumen de los poros internos y externos de la cascarilla de arroz.
- d) La fase σ representa verdaderamente la parte sólida de la cascarilla de arroz.

Con estas fases bien diferenciadas se pueden definir fácilmente:

- DENSIDAD A GRANEL O EN MASA : $\rho_b = M/V$

- DENSIDAD APARENTE: $\rho_a = M/V_{\alpha}$

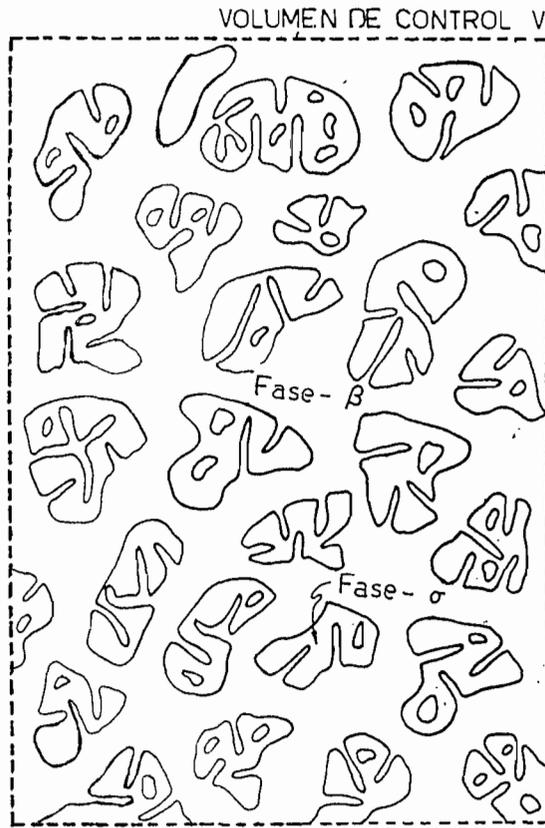


FIGURA 3.1. ESQUEMA DE UNA CAMADA DE CASCARILLA.

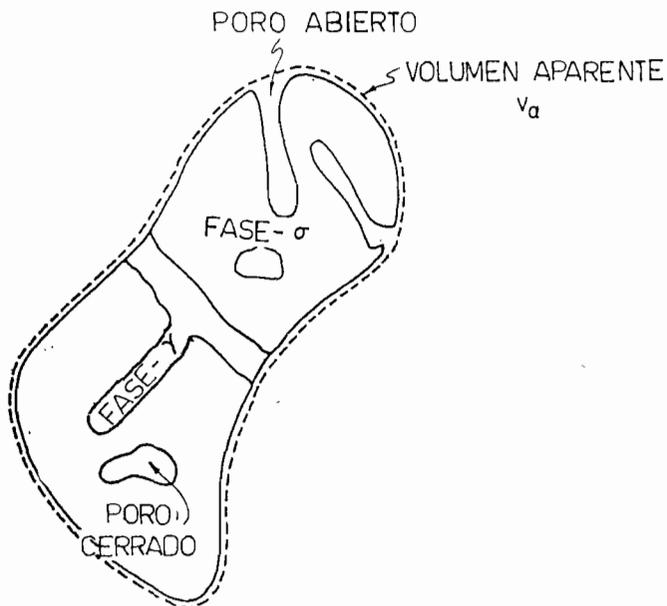


FIGURA 3.2. CASCARILLA DE ARROZ CON SUS POROS INTERNOS Y EXTERNOS.

- DENSIDAD VERDADERA: $\rho_t = M/V_d$

La densidad en masa o a granel, es la masa para la unidad de volumen comprendiendo la cascarilla y los espacios de aire entre ellos; si a este volumen se le extrae los espacios libres obtendremos la densidad aparente; y a su vez si al volumen de la materia sólida se le excluyen todos los poros internos y externos en la cascarilla tendremos la densidad verdadera. La masa debe ser en base seca, en la Tabla X, se da las densidades de la cascarilla comparadas con pellets (cascarilla compactada).

Pero, para la combustión directa de la cascarilla de arroz suelta, nos es más importante la densidad a granel o en masa, para el dimensionamiento de la tolva de alimentación y la cámara de combustión. Los factores que influyen en la densidad a granel son: sus diversos tamaños, el contenido de humedad y su grado de compactibilidad.

POROSIDAD

La descomposición térmica, reducción de CO_2 ,

reactividad, resquebrajamiento y el potencial de hollín son funciones principalmente de la composición química de la cascarilla de arroz, y del total de espacios disponibles para el oxígeno en el proceso de combustión.

Si se compacta la cascarilla como en pellets o briqueta, los espacios vacíos se reducen dificultando el intercambio con el oxígeno suministrado. Esto tiende a generar manchas incandescentes, de esta forma se podría crear una camada densa de combustible en la zona de reducción, lo cual permite una mejor reducción de CO_2 que la cascarilla suelta.

Se define porosidad de combustible sólido como:

$$E_T = 1 - \rho_a / \rho_t$$

E_T : Total de porosidad del combustible

ρ_a : Densidad aparente

ρ_t : Densidad verdadera

El total de porosidad de combustible (E_T), no representa necesariamente el volumen de los poros disponibles portadores de oxígeno, debido a que nuevos poros son generados a

través de la pirólisis antes que la cascarilla logre quemarse. En el caso de la cascarilla de arroz, la difusión del aire en los microporos no se alcanza completamente en el instante de permanencia del fuego, porque su consumo es rápido.

Otras definiciones de interés son:

- FRACCION DE ESPACIOS VACIOS:

$$E_v = 1 - (P_b/P_a)$$

- FRACCION DEL VOLUMEN TOTAL EN FASE GASEOSA:

$$E_g = 1 - (P_b/P_t)$$

En la Tabla X son listadas la porosidad tanto de la cascarilla suelta como en pellets (cascarilla compactada).

3.2.3. Cenizas

Las cenizas son los residuos minerales, después de la combustión completa de la muestra. En la cascarilla de arroz, la masa de la ceniza es en su mayor porcentaje sílice. La composición mineral de la ceniza

de la cascarilla de arroz puede verse en la Tabla XI.

El porcentaje de cenizas es del orden de 14-20% en la cascarilla, no es la razón principal porque no puede ser quemado satisfactoriamente, su mayor problema radica en la mínima reducción de tamaño y la retención del carbono en su estructura de sílice. La densidad a granel de la cascarilla carbonizada fue determinada en un valor promedio de 85 kg/cm^3 (Ref.12).

Este valor elevado no es sorprendente considerando que no se desintegra, reducción insignificante y la estructura es mantenida con una armazón de sílice-carbón y otros constituyentes orgánicos. Lo cual requiere especial consideración en la combustión directa de la cascarilla de arroz debido a que se necesita un gran recolector de residuos minerales o desalojos más frecuentes.

Además del análisis de cenizas de la cascarilla, es necesario conocer el material volátil y carbón fijo para tener un mayor criterio del comportamiento del combustible.

T A B L A X

DENSIDAD Y POROSIDAD DE LA CASCARILLA SUELTA Y EN PELLETS

| | *Pellets | Cascarilla |
|---------------------------------------------------|----------|------------|
| Densidad verdadera, ρ_t (g/cm ³) | 1,60 | 1,42 |
| Densidad aparente, ρ_a (g/cm ³) | 1,18 | 0,65 |
| Densidad a granel, ρ_b (g/cm ³) | 0,58 | 0,10 |
| Porosidad del combustible, E_r | 26% | 54% |
| Fracción de espacios libres, E_v | 51% | 85% |
| Fase gaseosa teórica, E_g | 64% | 93% |

*Cascarilla compactada.
Ref. (11)

T A B L A XI

COMPOSICION MINERAL DE LA CASCARILLA DE ARROZ.

| Cenizas | Fracción en peso (%) |
|---------------------------------------------------|----------------------|
| Silice (SiO ₂) | 90-97 |
| Oxido de calcio (CaO) | 0,2-1,5 |
| Oxido de magnesio (MgO) | 0,1-2,0 |
| Oxido de potasio (K ₂ O) | 0,6-1,6 |
| Oxido de sodio (Na ₂ O) | trazas-1,75 |
| Oxido de fósforo (P ₂ O ₅) | 0,3 |
| Sulfatos (SO ₃) | 0,10-1,13 |
| Cloro (Cl) | 0,15-0,40 |
| Oxido de hierro (Fe ₂ O ₃) | trazas-0,40 |
| Oxido de manganeso (MnO ₂) | trazas |

Ref. (11)

MATERIAL VOLÁTIL

La materia volátil es la pérdida de masa que sufre una muestra, cuando se sujeta a pruebas de temperaturas normalizadas en ausencia de aire (atmósfera inerte). Esta masa perdida está formada por vapor de agua, hidrocarburos condensables, gases no condensables, etc.

Desde el punto de vista cuantitativo, la materia volátil nos indica la cantidad de gases del combustible, esto influye en el diseño del volumen de la cámara del hogar, para que ocurra un correcto desalojo de humos.

En la Tabla XII, se presenta el análisis aproximado de algunos residuos agrícolas, la cascarilla de arroz tiene bajo porcentaje de materia volátil y además amplio rango, esto se atribuye a que la cantidad de celulosa y hemicelulosa es en menor porcentaje, y las modificaciones de metodología en el análisis de este residuo, respectivamente.

CARBÓN FIJO

Carbón fijo es el residuo de combustible después de la salida de la materia volátil,

TABLA XII

ANÁLISIS APROXIMADO DE VARIOS RESIDUOS, EN BASE SECA⁽¹²⁾.

| | Material Volátil (%) | Ceniza (%) | Carbón Fijo (%) |
|---------------------------------------|----------------------------|---------------|-----------------------|
| Paja de alfalfa | 68,2 | 6,0 | 25,8 |
| Cáscara de almendra | 69,2 | 4,8 | 26,0 |
| Paja de cebada | 64,9 | 10,3 | 24,8 |
| Paja de haba | 68,0 | 10,2 | 21,8 |
| Mazorca de maíz | 74,2 | 1,5 | 24,2 |
| Tallo de maíz | 73,3 | 6,4 | 20,3 |
| Desperdicios de algodón | 63,6 | 17,6 | 18,8 |
| Allo de algodón | 62,9 | 17,2 | 19,9 |
| epa de Oliva | 75,6 | 3,2 | 21,2 |
| epa de durazno | 73,9 | 0,9 | 25,2 |
| epa de ciruela | 78,8 | 0,5 | 25,7 |
| DF (desperdicios de petróleo) | 72,0 | 10,4 | 17,6 |
| Ascarilla de Arroz | 60,2-62,1 | 16,9-17,2 | 20,7-21,8 |
| Cáscara de nuez (cuartada) | 79,6 | 1,1 | 19,3 |
| Cáscara de nuez (1/4'' pellets) | 70,2 | 5,8 | 24,0 |
| Paja de trigo 50% y tallo de maíz 50% | 68,4 | 7,4 | 24,2 |
| Madera en tronco | 75,0 | 0,2 | 24,8 |
| Estilla de madera (recortada) | 78,0 | 0,3 | 21,7 |
| Estilla de madera (Manzanilla) | 72,8 | 0,4 | 26,8 |
| Estilla de madera (ciruela) | 76,4 | 1,1 | 22,5 |
| Estilla de madera (tronco entero) | 76,4 | 0,1 | 23,5 |

se determina por diferencia de 100 de la suma de los porcentajes de humedad, cenizas y materias volátiles. Así se tiene:

$$\% CF = 100 - (\% CZ + \% h + \% MV)$$

En general, el carbón fijo representa que proporción de combustible puede ser quemado en estado sólido, aunque también se produce en forma gaseosa como elemento formador de las moléculas de CO, CO₂, y otros.

En la Tabla XII se puede apreciar que el contenido de carbón fijo en la cascarilla de arroz comparado con otros residuos, está en términos medios y es posible su aprovechamiento.

3.2.4. Poder Calorífico

El poder calorífico corresponde al calor producido por la combustión completa de una cantidad unitaria, en un proceso adiabático y a volumen constante por medio de una bomba calorimétrica de oxígeno en condiciones normalizadas. Si todo el vapor formado por la combustión se condensa cuando los productos vuelven a la temperatura inicial de

ensayo la cantidad de calor cedido o rechazado es el Poder calorífico superior. El calor latente de vapor de agua en el PCS en muchos procesos no forma parte de la energía aprovechable, por lo que, se ha determinado el llamado poder calorífico inferior; que es la diferencia entre PCS y el calor latente del vapor de agua condensado en la combustión.

De pruebas realizadas en el Instituto de Química de la ESPOL, se reporta que el poder calorífico de la cascarilla de arroz de nuestro medio es de 3.393 Kcal/kg ó 14,2 MJ/kg en promedio. En la Tabla XIII se dan valores del poder calorífico superior en base seca de varios tipos de combustibles; con respecto a la cascarilla, está dentro del rango de valores obtenidos en ensayos realizados.

Por medio del análisis último se puede hallar el poder calorífico de los combustibles. Este valor está relacionado directamente con los porcentajes de carbono, hidrógeno y oxígeno (C-H-O) correspondiente. El poder calorífico de los combustibles biomásicos pueden ser

expresados por la siguiente fórmula⁽¹⁶⁾:

$$PC \text{ (KJ/kg)} = 479,3(C) + 667,6(H) + 58,8(O) - 1207,7(S)$$

donde C, H, O y S son los porcentajes gravimétricos del carbono, hidrógeno, oxígeno y azufre respectivamente determinados en base seca.

Así, la cascarilla de arroz posee una fórmula del tipo $C_{3,45}H_{4,90}O_{2,33}$ ⁽¹⁷⁾ y con peso de 41,44% de C; 4,94% de H; 37,32% de O y 0,30% de S. Luego el poder calorífico superior de la cascarilla es aproximadamente de 16,6 MJ/kg en base seca.

Considerándose que todo el hidrógeno se combina con el oxígeno en el proceso de combustión produciendo agua, se generará un total de 0,423 kg de agua/ kg de cascarilla y cuya evaporación necesita de 0,96 MJ por cada kilogramo de cascarilla. Esto nos da un PCI de 15,6 MJ/kg en base seca.

La humedad en el combustible tiene doble efecto de reducir el poder calorífico, puesto que se requiere evaporar el agua contenida en

los poros internos del sólido y también por otra parte reduce la cantidad de biomasa efectiva. Así por ejemplo, de un kilogramo de biomasa con 10% de humedad se obtendrá 0,90 kg de fibras y 0,10 kg de agua.

En términos generales, el poder calorífico de biomasa húmeda será:

$$PCI)_{base\ húmeda} = PCI)_{base\ seca} \times (\% \text{ fibra seca}) - (\text{calor evap. agua})$$

Expresado en función de la humedad se tiene:

$$PCI)_{BH} \text{ (MJ/kg)} = PCI)_{B.S.} \times (1 - \%h/100) - 2,26 (\%h/100).$$

3.2.5. Análisis último

En el análisis último o elemental se determinan los porcentajes básicos de los elementos químicos que forma la sustancia del combustible como: C, H, N, S, y otros, por métodos analíticos y directos. Puesto que no hay ningún método satisfactorio para la determinación directa del oxígeno, el porcentaje de éste se halla restando de 100 la suma de los otros componentes. El porcentaje de oxígeno hallado así, está

sujeto a los errores que se han cometido en las otras determinaciones y especialmente debido al cambio de peso que sufren al quemarse los minerales que forman las cenizas.

El análisis último de la cascarilla de arroz está dado en la Tabla XIV.

3.2.6. Peso de una cascarilla de arroz

Para lograr una completa descripción de la cascarilla de arroz, la determinación del peso de una muestra de cascarilla es necesario. La medición del peso de las muestras se realizó con la cascarilla unida por su extremo en una balanza analítica, (ver Figura 3.3).

El rango de peso de una simple cascarilla de arroz fue de 2,944-3,564 mg. en base seca (Ref.12). Una de las dificultades con las mediciones de su peso es la cantidad de pequeñas porosidades que posee la cascarilla de arroz lo que influye en el contenido de humedad. La medición en una balanza electrónica extractora de humedad es necesaria.

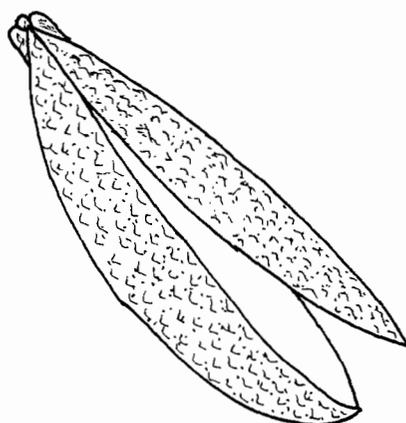


FIGURA 3.3. CASCARILLA DE ARROZ UNIDA POR UN EXTREMO.

3.2.7. Características físicas

La cascarilla de arroz toma la forma del grano o carióspside y su dimensión es variada por las numerosas variedades que existen, éstas fluctúan en longitud de 4-14 mm., en ancho 2-4 mm. y un espesor promedio de 50 μm .

A simple vista la cascarilla tiene una apariencia uniforme en la superficie exterior pero al observarse al microscopio se aprecia una superficie rugosa con crestitas a diferencia de la interior que es lisa, como se ve en la Figura 3.4 y 3.5, esto influye para que el aire quede atrapado en los intersticios exteriores e influya en la humedad de la cáscara.

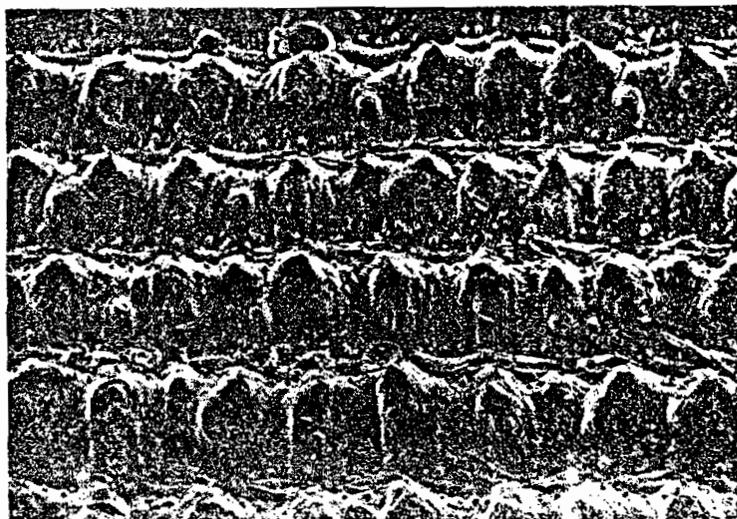


FIGURA 3.4. SUPERFICIE EXTERIOR DE LA CASCARILLA
VISTA AL MICROSCOPIO (x 500)⁽¹²⁾.

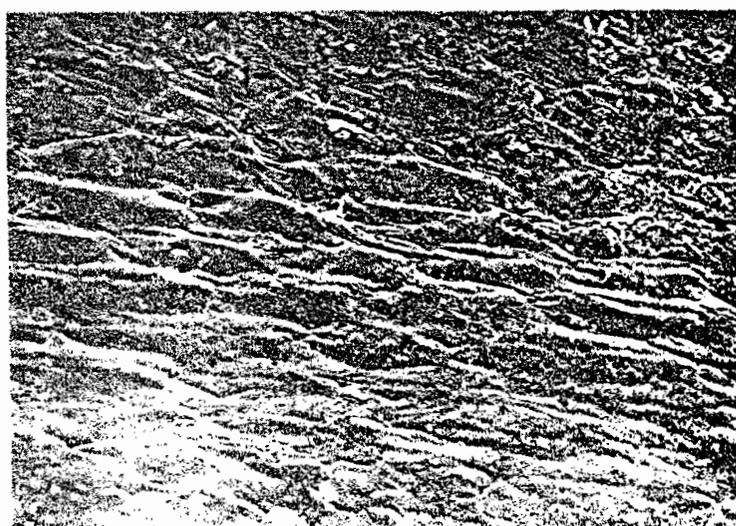


FIGURA 3.5. SUPERFICIE INTERIOR DE LA CASCARILLA
VISTA AL MICROSCOPIO (x 500)⁽¹²⁾.

T A B L A XIII

PODER CALORIFICO DE VARIOS COMBUSTIBLES

| Combustibles | PCS |
|--------------------------------------|------------------|
| | MJ/Kg, base seca |
| Gasolina | 43,6 |
| Carbón bituminoso con bajo volátiles | 36,0 |
| Carbón (amorfo) | 32,7 |
| Carbón vegetal, promedio | 30,0 |
| Promedio de madera | 20,0 |
| Paja de cebada | 17,3 |
| Tusas de maíz | 18,9 |
| Tallos de maíz | 18,3 |
| Desperdicios de algodón | 16,4 |
| Cascarilla de arroz | 15,0-16,2 |
| Paja de trigo | 18,9 |
| Estiércol de ganado | 14,6 |

Ref. (11)

T A B L A XIV

ANALISIS ULTIMO DE LA CASCARILLA DE ARROZ

| Elementos | Fracción de masa en base seca (%) |
|---------------|-----------------------------------|
| Carbono (C) | 41,44 |
| Oxígeno (O) | 37,32 |
| Silicio (Si) | 14,66 |
| Hidrógeno (H) | 4,94 |
| Potasio (K) | 0,59 |
| Nitrógeno (N) | 0,57 |
| Azufre (S) | 0,30 |
| Fósforo (P) | 0,07 |
| Calcio (Ca) | 0,06 |
| Sodio (Na) | 0,035 |
| Hierro (Fe) | 0,006 |
| Magnesio (Mg) | 0,003 |
| Zinc (Zn) | 0,006 |

Ref. (11)

C A P I T U L O I V

TECNOLOGIA DE APROVECHAMIENTO ENERGETICO

4.1. COMBUSTION DE LA CASCARILLA

La cascarilla de arroz al ser sometida a la acción del calor se descompone física y químicamente, efectuándose en tres etapas simultáneamente: desecación, pirólisis y combustión propiamente dicha.

La primera fase de la descomposición térmica es la desecación o extracción de humedad, por la cual elimina el agua que se encuentra tanto en la superficie como en los poros o intersticios internos de la cascarilla. Esta formación de agua hay que diferenciar entre la que se extrae de la desecación con la que se forma por la descomposición química.

La siguiente fase es la pirólisis, que puede considerarse como una descomposición química interna de la cascarilla, inducida térmicamente.

Calentándose a temperaturas entre 250 a 500°C⁽¹¹⁾. En este proceso la celulosa, hemicelulosa y lignina (polímeros sólidos de elevado peso molecular), se convierte en polímeros líquidos y gaseosos de composición poco menos compleja, quedando residuos sólidos carbonizados. 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.

Y finalmente, si el proceso de pirólisis se efectúa en una atmósfera oxidante (presencia de aire) a temperaturas superiores a 500°C, podría producirse la combustión de los componentes del material volátil. Esta consiste en una reacción química de oxidación, en la que tanto el carbono como el hidrógeno se combinan rápidamente con el oxígeno, generándose dióxido de carbono, agua y liberándose calor. En la Figura 4.1 se resumen las tres etapas.

Durante la combustión de la cascarilla, tanto la parte volátil, como la parte sólida con alto contenido de carbono puede oxidarse. En la quema de la cascarilla como de cualquier combustible biomásico, los procesos de desecación, pirólisis y

combustión se producen simultáneamente. El proceso de combustión es exotérmico, es decir, con liberación de calor. Por otro lado, los procesos de desecación y pirólisis requieren suministro parcial de calor. Durante la quema de cascarilla fresca, parte de la energía liberada en las reacciones de oxidación sirven para alimentar los procesos de desecación y pirólisis de porciones frescas de cascarilla, conforme progresa el frente de combustión.

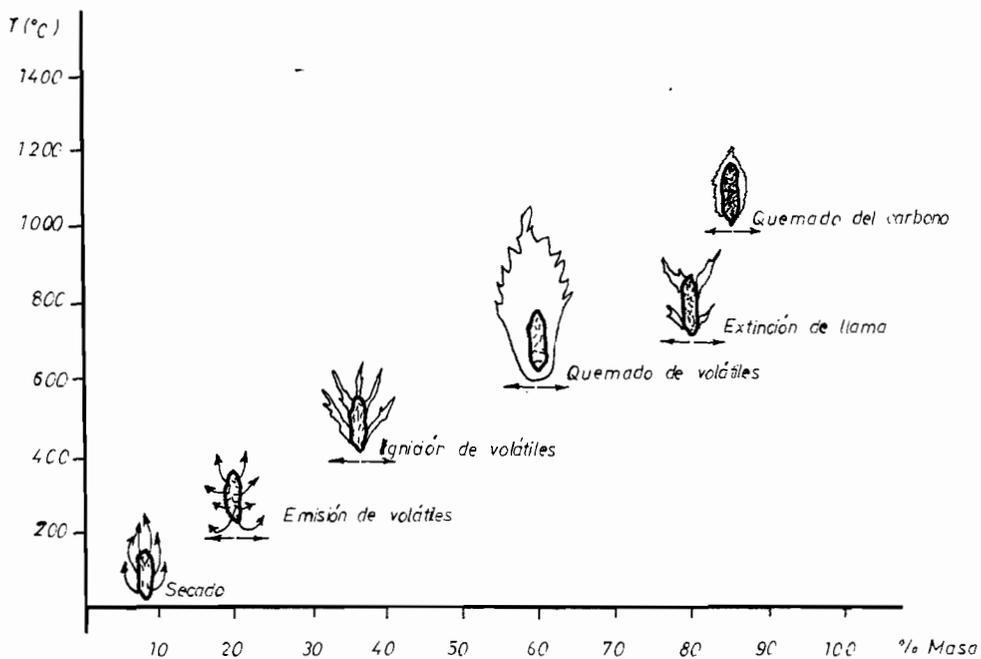


FIGURA 4.1. ESQUEMA DE LAS ETAPAS DE DESCOMPOSICION TERMICA DE LA CASCARILLA DE ARROZ.

4.1.1. Comportamiento de combustión

El estudio del proceso de combustión de la cascarilla de arroz, se partió de observaciones de la forma común en que la mayoría de las plantas piladoras en el País incineran la cascarilla en grandes pilas; las cuales necesitan largos periodos para quemarse, produciéndose dos clases de cenizas: cenizas carbonosas producidas en la superficie de la pila y cenizas rosáceas casi libre de carbón en el interior de las pilas.

Normalmente se piensa que la quema en pila abierta o a la atmósfera es esencialmente una situación de combustión con exceso de aire, pero en realidad esto no ocurre, a causa que el proceso es autolimitado por una capa de CO_2 y el mismo volumen de control que regula automáticamente la formación y generación de gases, impidiendo que corriente de aire en los alrededores de las pilas alteren la capa de control y exista aire adicional en el proceso de combustión de la cascarilla. Además se produce en la pila una capa aislante térmica haciendo posible la retención de calor y elevar la temperatura

para que la combustión del carbono quede, así asegurada, pero como no existe adhesión o fusión de las cenizas en el interior de las pilas, se asume que la temperatura dentro de las mismas no llega a ser suficientemente alta para fundir los residuos de sílice vítreo que comienzan a fundirse a $1500^{\circ}\text{C}^{(11)}$, y otras formas de sílice como la cristobolita, que se funden cerca de los $1713^{\circ}\text{C}^{(12)}$; lo que ocurre es que algo de calor se pierde antes que la combustión sea completa.

En condiciones normales no se podría por convección térmica crear un exceso de aire en la quema en pila, a menos que se logre suficiente turbulencia externamente. El quemado en pila a la atmósfera tiene la característica que arde sin llama, por la capa de ceniza que se forma en su exterior y además produce un elevado porcentaje de monóxido de carbono que es altamente contaminante.

Se experimentó calentando una muestra de cascarilla sobre un crisol por la llama de un mechero, tan pronto como la masa de cascarilla alcanza la temperatura de

descomposición, produce un gas inflamable, se autoenciende dejando cenizas carbonosas del mismo tamaño que la cascarilla inicial.

Bajo estos principios se comenzó a probar con paredes aislantes protectoras del fuego, tratando de quemar la cascarilla amontonada con la llama de un fósforo sin obtener resultados. Se agregaron unas gotas de diesel a la pila de cascarilla, la mezcla se encendió, pero al consumirse el combustible líquido desaparece la llama y desprende humo gris oscuro bastante espeso y sofocante. El residuo que se forma es cascarilla semi-carbonizada.

Para lograr que el carbono en la cascarilla sea parcial o completamente quemado, se debe mantener la cascarilla al rojo, con una corriente de aire u oxígeno de manera que queme como dióxido de carbono, dejando residuos de carbón-silice o solo estructura de silice. Para mantener la brasa de cascarilla se deberá procurar aislar el sistema para alcanzar la temperatura deseada, buen nivel de oxígeno en el tiro de aire, mayor control del tiro, etc.

En base a estas reflexiones se mejorará el

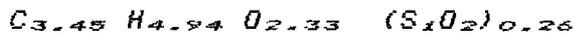
proceso de combustión de la cascarilla de arroz, desde la generación de humos contaminantes, hasta la formación de un frente de llama constante; por lo que se requiere de la relación aire-combustible y determinación de la mejor forma de combustionar de la cascarilla.

4.1.2. Combustión estequiométrica

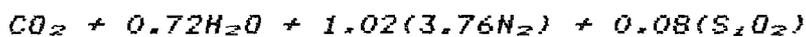
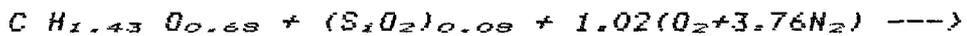
El aire teórico o estequiométrico es la mínima cantidad de aire, que suministra suficiente oxígeno para oxidar completamente el combustible. Para que un combustible arda completamente es necesario que el hidrógeno y el carbono contenido en la cascarilla se transformen por reacción con el oxígeno en agua 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 dióxido de carbono y parte del hidrógeno puede aparecer entre los gases libres o formando parte de hidrocarburos.

En la práctica debido a que no hay una mezcla perfecta del aire con el combustible y por falta de tiempo para que se realice una

combustión perfecta, es necesario suministrar aire en exceso del teórico. El aire teórico puede calcularse del análisis último del combustible. A partir del análisis gravimétrico de la cascarilla en base seca Tabla XIV, se podrá convertir a moles de cada elemento y representarlo como:



al reaccionar con el aire. La ecuación de combustión ideal de la cascarilla por unidad de CO_2 , se obtiene:



Se nota que la forma de óxido de sílice en la cascarilla se mantiene invariable antes y después de la reacción química, lo que nos indica que el oxígeno no es consumido por el mineral y no influye en la reacción de combustión.

La relación aire-combustible estequiométrica en base seca con inclusión de las cenizas es:

$$m_{a/c) est.} = 4,83 \text{ kg aire/kg comb.}$$

4.1.3. Diferentes tipos de hogar

De los diferentes tipos de hogar para quema de cascarilla de arroz a nivel industrial, se dan algunos detalles a continuación:

HOGAR CON PARRILLA FIJA

El hogar es con camada fija de cascarilla sin parrilla. El quemado de la cascarilla se efectúa en pila sobre el piso, tierra o alguna otra superficie horizontal. La ceniza es removida manualmente aunque en algunos casos este trabajo es realizado mecánicamente.

HOGAR CON PARRILLA PLANA

El uso de parrilla plana para quemado de cascarilla de arroz requiere técnica especial para que resulte conveniente, (ver Figura 4.2.). Usualmente la cascarilla es añadida como combustible suplementario, después de formar una buena camada de leña o carbón. Al quemarse la cascarilla esta produce gran cantidad de ceniza, por lo que la parrilla deberá ser removida frecuentemente y desalojar los residuos de la combustión.

Muchos intentos se han realizado para utilizar la cascarilla de arroz en parrilla

plana sin obtener buenos resultados, debido a que la zona de fuego no se estabiliza, además se requiere alta presión de aire para que el oxígeno se mezcle con la cascarilla y mantener la combustión.

HOGAR CON PARRILLA ESCALONADA

El hogar con parrilla escalonada es un diseño tradicional que domina en instalaciones para combustión exclusiva de cascarilla de arroz, fue introducido por BURMA⁽⁴⁾ en 1880. Existen tres variaciones básicas:

- a. Bajo el piso.— Es ilustrado en la Figura 4.3. En este caso es posible acoplar a nivel con un caldero, pero las cenizas podrían crear problemas en sus desalojos.*
- b. A nivel del piso.— Se muestra en la Figura 4.4a. El sistema de remoción de cenizas es por hundimiento con un sistema de poleas.*
- c. Hogar portátil.— Un estilo de fogón desmontable apropiado cuando se desea dar mantenimiento periódico, ver Figura 4.4b.*

Además de algunas variaciones de estilo de hogares con parrilla inclinada, hay que tener

presente especialmente la forma de la parrilla, que pueden ser de varillas escalonadas con su apropiado ángulo de inclinación. Una combustión económica y completa depende sobre estos factores:

- Parrilla de sección simple
- Parrilla de sección múltiple
- Parrilla de sección múltiple con inclinación variable.

La inclinación de la parrilla depende de varios factores: densidad de la cascarilla al suministro, contenido de humedad, del tamaño de la cascarilla (por el tipo de descascarador), cantidad de material extraño y si la cascarilla es cruda o precocida.

Necesariamente es importante tener un tiro uniforme a través de la parrilla, B. R. Wolf recomienda que no sea mayor a 1 m/seg^(*) y por ello una capa uniforme de cascarilla con desalojos continuos.

HOGAR CON PARRILLA ESCALONADA MOVIBLE

Experiencias con este sistema se reportan resultados satisfactorios de alta eficiencia en combustión de cascarilla. En este tipo de

parrilla es posible controlar las zonas de alimentación, combustión y desalojo de cenizas.

El aire de combustión está dividido de acuerdo a las diferentes zonas de la parrilla y podría también ser suministrada en forma concreta dentro de la principal zona de combustión. Hay que poner especial atención en el correcto diseño de la cámara de combustión, para lograr el máximo aprovechamiento y óptimo encendido.

En la Figura 4.5 se representa una sección de este tipo de parrilla. La utilización de este tipo de sistema de parrilla, alcanza alta razón de conversión de energía. Cada una de las tres secciones consiste de:

- Parrilla de parte rígida con ángulo de inclinación regulable.*
- Parrilla que opera con alimentación mecánica.*
- Parte longitudinal, la cual divide dos zonas en movimiento.*

Obviamente que la mayor desventaja de este sistema de parrilla es el elevado costo.

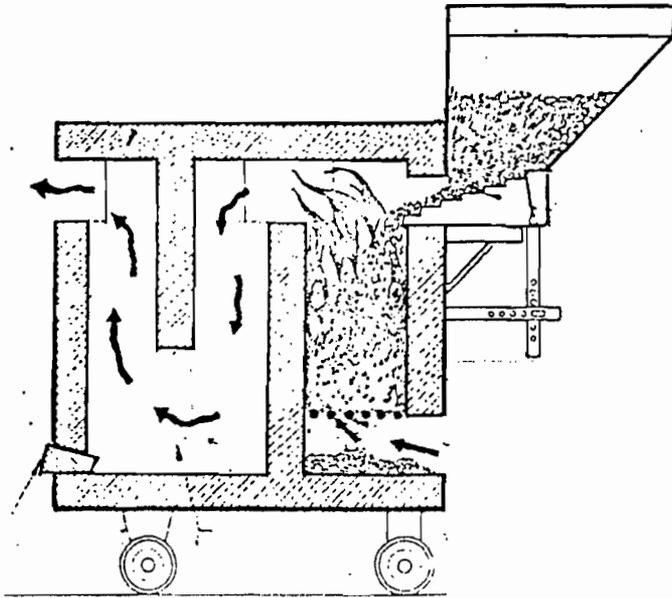


FIGURA 4.2. HOGAR CON PARRILLA PLANA.

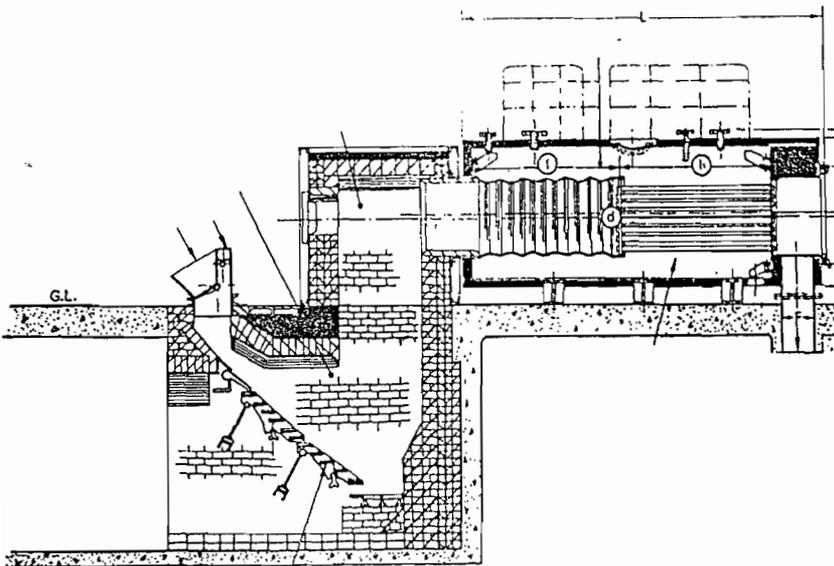


FIGURA 4.3. HOGAR CON PARRILLA BAJO EL PISO(†).

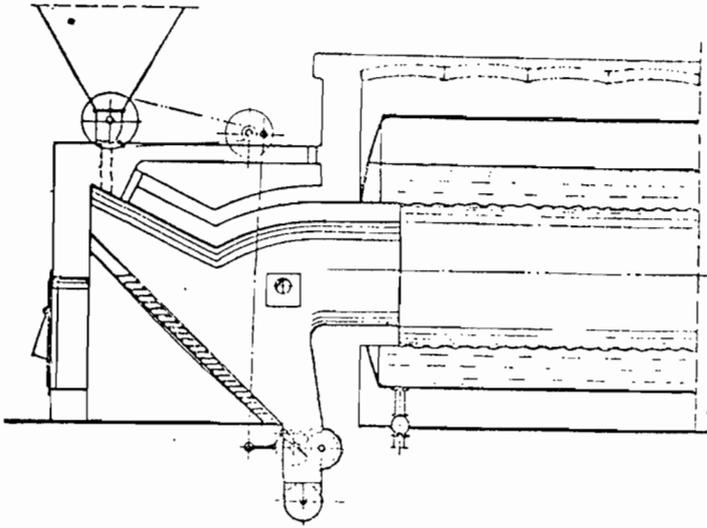


FIGURA 4.4a HOGAR A NIVEL DE PISO FIJO (4).

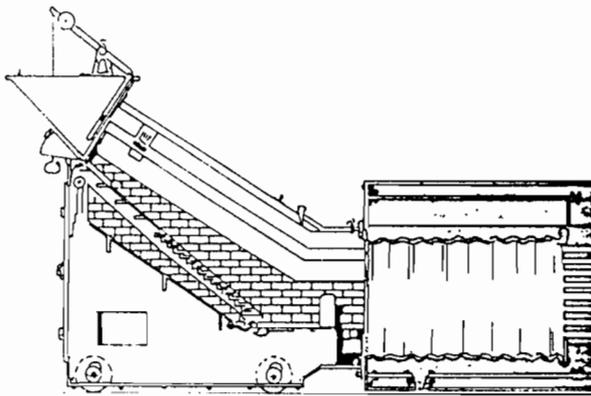


FIGURA 4.4b HOGAR A NIVEL DE PISO PORTATIL (4).

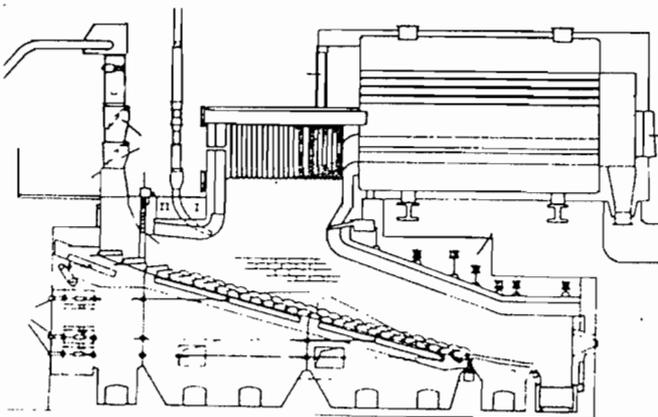


FIGURA 4.5. HOGAR CON PARRILLA MULTIPLE (4).

4.2. DISEÑO DEL HOGAR

En el diseño del fogón experimental para quema de cáscara de arroz, se siguieron los lineamientos de los fogones mejorados para leña, debido a que la fuente de energía, la cascarilla, tiene un comportamiento similar en su proceso de combustión a la leña.

Este tipo de fogón se caracteriza porque solo la primera olla recibe el calor por radiación, convección y conducción, en las ollas restantes el calor más significativo es convectivo (gases calientes) y con la cantidad de energía que se emplea para la primera se está aprovechando a su vez para calentar la segunda y tercera olla respectivamente. Como las ollas están sumergidas no solamente reciben el calor en la base de la olla, sino también en sus alrededores aprovechando una mayor área para la transferencia de calor.

Las características técnicas para el diseño del fogón mejorado son:

4.2.1. Potencia suministrada al fogón

El primer valor de interés en el diseño es

determinar la potencia suministrada a la base de la olla de acuerdo a su diámetro. En vista que no se poseen datos de potencias suministradas para estos tipos de fogones, se ha tomado como referencia valores obtenidos para quemadores con gas. Una regla práctica para calcular la potencia suministrada a la base de la olla, por un quemador a gas en función del área es de 7 W/cm^2 con eficiencia de 50% (Ref. 18).

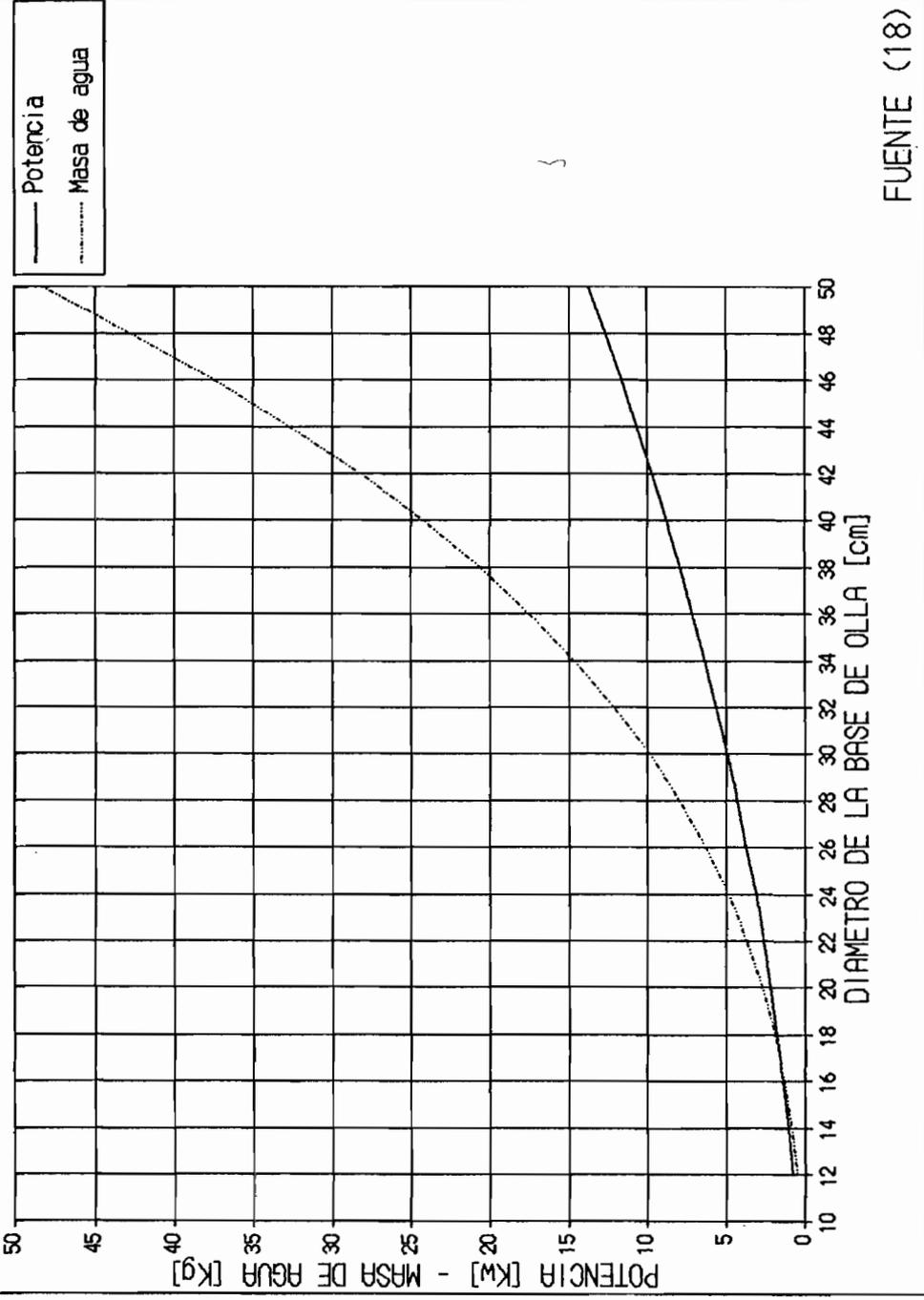
Las curvas de potencia por un quemador a gas y masa de agua contenida versus el diámetro de la olla se dan en la Figura 4.6.

Relacionando las eficiencias entre quemadores a gas con fogones tipo "Lorena" y asumiendo igual potencia absorbida en los dos sistemas para una misma olla, se tiene que la potencia suministrada a fogones mejorados está dado por la siguiente expresión :

$$PS_r = \frac{\eta_o \times PS_o}{\eta_r} \quad (4.1)$$

PS_r : Potencia suministrada por fogones mejorados

FIGURA 4.6
CURVAS DE POTENCIA Y MASA DE AGUA VS. DIAMETRO DE LA OLLA PARA
QUEMADORES DE GAS



FUENTE (18)

PS_g : Potencia suministrada por quemadores a gas

η_g : Eficiencia en quemador a gas

η_a : Eficiencia en fogones de arcilla

Para el cálculo de la Potencia suministrada al fogón, se va a considerar no el diámetro de la base, sino el mayor diámetro de la olla por las características expuestas anteriormente en este tipo de fogones mejorados además se asume para este tipo de fogones de arcilla el 25% de eficiencia.

Así, la olla a ser utilizada tiene un diámetro de 28 cm. y la potencia suministrada por el quemador a gas se lo obtiene de la Figura 4.6 que es de 4,30 Kw, con estos datos reemplazamos en la Ec.(4.1) , se tiene:

$$PS_f = 8,6 \text{ Kw.}$$

4.2.2. Flujo de combustible

La masa de cascarilla que debe quemar por unidad de tiempo para producir la potencia suministrada, se determina por la siguiente expresión:

$$m_c = \frac{PS_r}{PCS_c} \quad (4.2)$$

PS_r : Potencia suministrada por el fogón

PCS_c : Valor calorífico de cascarilla.

Como PS_r se halló en la sección anterior y PCS_c se toma el promedio del apéndice B.

Entonces, $m_c = 6,053 \times 10^{-4}$ Kg/seg.

4.2.3. Flujo de aire requerido

Deberá garantizarse un suministro suficiente de aire, que estará de acuerdo a la cantidad de combustible (cascarilla) para producir una mezcla casi homogénea, ya que de ello dependerá el lograr temperaturas máximas de llama, que para este tipo de combustible lignocelulósico está alrededor $1000^\circ\text{C}^{(14)}$.

En este tipo de fogón el suministro de aire será por tiro natural. En vista que no existe mezcla perfecta de aire con combustible sólido es necesario que la relación aire-combustible real (ϕ_{real}) para leña esté por el orden entre 1,6 a $2^{(14)}$.

El flujo volumétrico de aire requerido está dado por la siguiente expresión:

$$Q_a = \frac{\phi \times m_c \times m_{a/c)_{est}}}{\rho} \quad (4.3)$$

Asumiendo relación aire combustible real igual a dos y obteniendo la densidad del aire a 30°C de la Tabla XV, se tiene:

$$Q_a = 2 \times 6,053 \times 10^{-4} \times (4,83/1,17)$$

$$Q_a = 4,998 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg}$$

4.2.4. Flujo de gases en la chimenea

La sección transversal de la chimenea para el flujo de los gases tiene que seleccionarse cuidadosamente. Si es demasiado pequeño el área de flujo podría ser consumido en vencer la resistencia que oponen las paredes de la chimenea, y si la sección transversal de la chimenea es muy grande los gases calientes escaparían rápidamente sin contribuir a la circulación de los gases. Un buen compromiso deberá ser, que la salida de gases a través de la chimenea esté en un rango de velocidad promedio de 0,4 a 1 m/seg, según P. Verhaart⁽¹⁴⁾.

Para este diseño se escoge una velocidad media entre los valores extremos y se corrige la temperatura del flujo volumétrico del aire de 30°C a 200°C, que es la temperatura promedio que se asume salen los gases. Entonces el flujo volumétrico de los gases es:

$$Q_g = \frac{273 + T_g}{273 + T_a} \times Q_a \quad (4.4)$$

$$Q_g = 7,80198 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg}$$

Por definición de flujo volumétrico se puede hallar el diámetro de la chimenea con la siguiente expresión:

$$Q_g = v_g \times A \quad (4.5)$$

Reemplazando datos en la ecuación (4.5) y despejando el diámetro de la chimenea, se obtiene un valor aproximado de 12 cm.

4.2.5. Distribución de los hoyos

La distribución de los hoyos (agujeros) en el fogón para quema de cáscara de arroz se toma de sugerencias de diseño del fogón "Lorena", recomienda que la distancia mínima

entre ollas es de 6 cm.⁽⁷⁾ y el espacio de la olla a la pared exterior es de 10 cm.⁽⁷⁾.

Las ollas de aluminio que se escogieron para el diseño del fogón tienen diámetros de 28; 24 y 17,5 cm. respectivamente y la chimenea de 12 cm., se escogió el mejor arreglo para que ocupe mínimo espacio y además ocasione en lo posible menos caídas de presión en los ductos. En la Figura 4.7 se ilustra la mejor distribución.

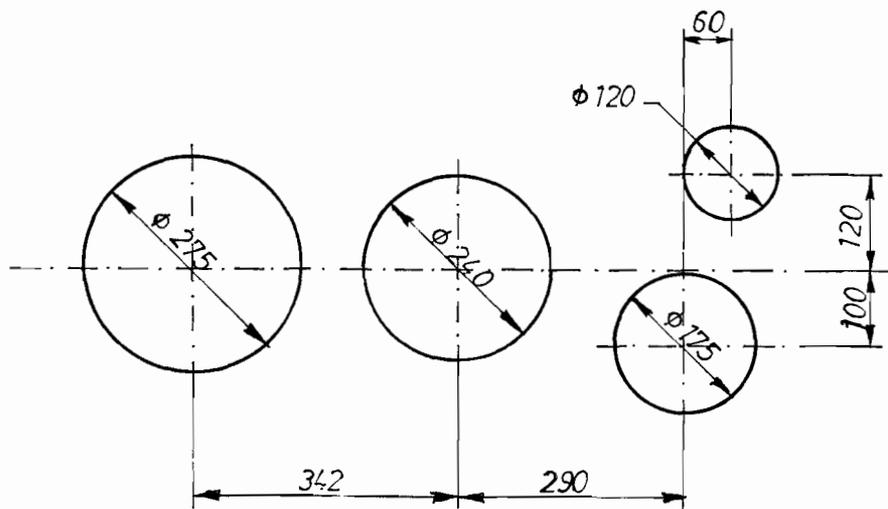


FIGURA 4.7. DISTRIBUCION DE LOS HOYOS.

4.2.6. Volumen de la cámara de combustión

El volumen de la cámara de combustión deberá ser tal que mantenga espacio suficiente para

que se mezclen y reaccionen con el oxígeno los elementos combustibles, tanto sólido como gaseoso.

Para la quema de combustibles lignocelulósicos en una cámara caliente con un suministro razonable de aire secundario, se sugiere que el volumen necesario para los gases de combustión por unidad de potencia suministrada será de $0,6 \text{ dm}^3/\text{Kw}$, según P. Verhaart⁽²⁴⁾. Luego el volumen necesario para los gases se da:

$$V_g = 0,60 \times PS_r \quad (4.6)$$

para la potencia suministrada de $8,6 \text{ Kw}$, se tiene:

$$V_g = 5.160 \text{ cm}^3.$$

Además, se desea un cocimiento continuo durante un tiempo prudencial para que se prepare toda la comida. Deberá tenerse presente el alto grado de cenizas que posee la cascarilla, y no es recomendable térmicamente estar desalojando cada momento las cenizas. Estimándose conveniente que en tres horas es suficiente para cocer todos los alimentos.

El volumen de cenizas que ocupará durante este tiempo es:

$$V_{cz} = \frac{m_c \times t}{\rho_{cz}} \quad (4.7)$$

$$V_{cz} = 33.376 \text{ cm}^3$$

Entonces el volumen total de la cámara de combustión esta dado por:

$$V_{cc} = V_g + V_{cz} \quad (4.8)$$

$$V_{cc} = 38.536 \text{ cm}^3$$

Por otra parte, una guía importante para el dimensionamiento del fogón será la posición en la cual ocurre la máxima temperatura, para ello se tendrá presente los siguientes parámetros:

- a) Diámetro de fuego, D_f
- b) Espesor de la cama de combustión, B
- c) Diámetro de la olla, D_o
- d) Distancia entre la base de la olla y lecho, H .

En la Figura 4.8, se representa esquemáticamente la posición de cada uno de estos parámetros, tomando de recomendaciones

teóricas para sistemas de fuego abierto. El diámetro de fuego debe variar entre $3/4$ a $1/2$ del diámetro de la olla y el recipiente debe colocarse a una altura igual a $1/2$ del diámetro de fuego, según Krishna Prasad (Ref. 14).

Para dimensionar la cámara de combustión además de las consideraciones anteriores, será necesario determinar la posición de la parrilla que se analizará en la siguiente sección.

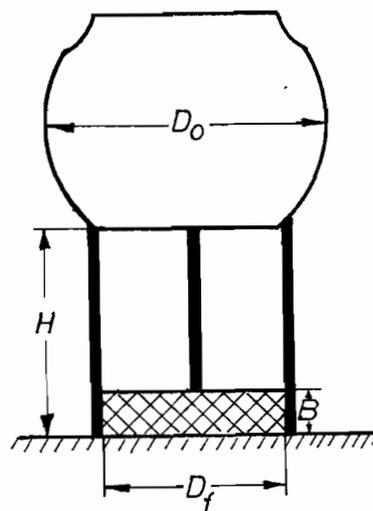


FIGURA 4.8. PARAMETROS EN FUEGO ABIERTO.

4.2.7. Posición de la parrilla

Del análisis de los diferentes tipos de hogar para quema de cáscara de arroz en la sección

4.3.1, se concluye que la mejor posición de la parrilla es la inclinada movable, ya que es posible controlar la zona de alimentación, combustión y desalojo de cenizas. Además alcanza mayores eficiencias de combustión de la cascarilla.

En esta posición el aire pasa a través de la parrilla, precalentándose para alcanzar alta temperatura y manteniendo la reacción química, logrando así la liberación de todo el carbono.

En base a esto, se realizaron varias pruebas en parrilla inclinada con plancha perforada y se determinó que para este fogón específico el ángulo apropiado es de 40 grados con respecto a la vertical, porque en esta posición fluye la cascarilla formándose un lecho uniforme de hasta cuatro centímetros de espesor, situación que debe tenerse en cuenta para no amontonar la cascarilla y producir combustión parcial por el aumento excesivo de su espesor.

Conocida la posición de la parrilla es posible dimensionar el hogar, para la

combustión de la cáscara de arroz siguiendo las recomendaciones de diseño de la sección 4.2.6. En la figura 4.9 se muestra un esquema con las dimensiones de la cámara de combustión y posición de la parrilla.

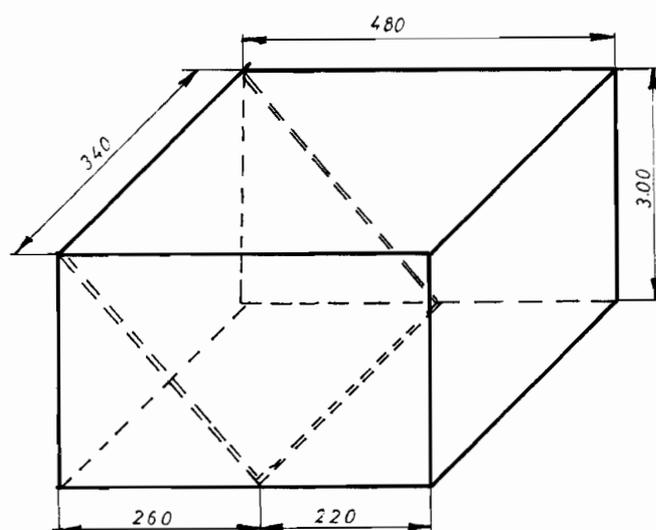


FIGURA 4.9. FORMA DEL HOGAR Y POSICION DE LA PARRILLA

4.2.8. Tiro natural específico

El tiro por unidad de longitud de la chimenea depende tanto de la densidad de los gases de combustión como del aire ambiental. En la Tabla XVI, se obtiene el tiro estático específico de flujo de gases de la combustión completa para madera con contenido de humedad del 0 a 50% y exceso de aire de 1,4 a 3⁽¹⁴⁾.

T A B L A XV

DENSIDAD DEL FLUJO DE GAS PRODUCTO DE LA COMBUSTION DE MADERA, CON HUMEDAD DEL 0 A 50 % Y FACTOR DE EXCESO DE AIRE DE 1,4 A 3.

| Temperatura del gas (aire) °C | Densidad Kg/m ³ |
|----------------------------------|-------------------------------|
| 900 | 0,2956.....0,3050 |
| 800 | 0,3232.....0,3335 |
| 700 | 0,3564.....0,3677 |
| 600 | 0,3972.....0,4098 |
| 500 | 0,4485.....0,4629 |
| 400 | 0,5152.....0,5306 |
| 300 | 0,6051.....0,6244 |
| 200 | 0,7330.....0,7564 |
| 150 | 0,8197.....0,8458 |

Ref. (16)

T A B L A XVI

TIRO ESTATICO ESPECIFICO PARA FLUJO DE GASES

| Temperatura ambiente °C | Temperatura promedio de gases en la chimenea °C | | | |
|----------------------------|-------------------------------------------------------|-----|-----|-----|
| | 150 | 200 | 250 | 300 |
| 20 | 3,6 | 4,5 | 5,2 | 5,9 |
| 25 | 3,4 | 4,3 | 5,0 | 5,5 |
| 30 | 3,2 | 4,1 | 4,8 | 5,3 |
| 35 | 3,0 | 3,9 | 4,6 | 5,2 |
| 40 | 2,8 | 3,7 | 4,4 | 5,0 |

Ref. (16)

Asumiendo temperatura ambiental de 30°C y de los gases de combustión de 200°C de la Tabla XVI se tiene:

$$\frac{d}{\Delta z} = 4,1 \text{ Pa/m}$$

Se ha considerado una longitud sobre dimensionada de 2,68 m. de chimenea, porque es posible regular el flujo de gases. El tiro natural es de:

$$d = 4,1 \times 2,68$$

$$d = 10,988 \text{ Pa}$$

La chimenea tiene una gran influencia sobre el comportamiento de los fogones, su función es proporcionar suficiente tiro para aspirar los gases dentro del volumen de la cámara de combustión y vencer todas las resistencias que se oponen al flujo dentro del fogón.

4.2.9. Pérdida de presión a través de la chimenea

Las pérdidas primarias en la chimenea son las pérdidas de contacto del fluido con la superficie de la tubería (capa límite). Rozamiento de capas de fluido unas con otras

(régimen laminar) o de partículas de fluidos entre sí (régimen turbulento). Las pérdidas de presión estática y dinámica del flujo a través de la chimenea se determina por la siguiente fórmula:

$$H_{r,p} = 1/2 \rho v^2 (\lambda L/D + 1) \quad (4.9)$$

En virtud que se poseen características de la sección transversal de la chimenea en la sección 4.2.4 y escogiéndose una longitud de chimenea de 2,68 m. seguidamente tenemos los siguientes datos:

$$\bar{T} = 200^{\circ}\text{C}$$

$$\rho_{200^{\circ}\text{C}} = 0,7447 \text{ Kg/m}^3$$

$$v = 0,7 \text{ m/seg}$$

$$L = 2,68 \text{ m.}$$

$$D = 0,12 \text{ m.}$$

El valor del factor de fricción dependerá si el flujo es laminar ($Re < 2300$) o turbulento ($Re > 2300$), por lo que es necesario calcular el valor de Reynold (Re) por:

$$Re = \frac{v \rho D}{\mu} \quad (4.10)$$

habiéndose obtenido el valor de μ de la figura 4.10, se tiene:

Viscosidades de Gases*
Para usarse como Coordenadas con la Fig.

| Gases | X | Y |
|-----------------------------------|------|------|
| Acetato de Etilo | 8.5 | 13.2 |
| Acetona | 8.9 | 13.0 |
| Acetileno | 9.8 | 14.5 |
| Acido Acético | 7.7 | 14.3 |
| Agua | 6.0 | 16.0 |
| Aire | 11.0 | 20.0 |
| Alcohol Etilico | 9.2 | 14.2 |
| Alcohol Metilico | 8.3 | 15.6 |
| Alcohol Propilico | 8.4 | 13.4 |
| Amoniac | 8.4 | 16.0 |
| Argón | 10.5 | 22.4 |
| Benceno | 8.5 | 13.2 |
| Bromo | 8.9 | 19.2 |
| Bromo | 9.2 | 13.7 |
| Bromo | 8.9 | 13.0 |
| Bisulfo de Azufre | 9.6 | 17.0 |
| Bisulfo de Carbono | 9.5 | 18.7 |
| Cloruro de Carbono | 9.0 | 16.0 |
| Bromuro de Hidrógeno | 8.8 | 20.9 |
| Cloruro de Hidrógeno | 9.2 | 15.2 |
| Cloruro de Hidrógeno | 9.2 | 12.0 |
| Cloruro de Nitrógeno | 9.8 | 14.4 |
| Cloro | 9.0 | 19.1 |
| Clorofórmio | 8.9 | 17.7 |
| Cloruro de Etilo | 8.5 | 15.6 |
| Cloruro de Hidrógeno | 8.8 | 18.7 |
| Cloruro de Nitrógeno | 8.0 | 17.6 |
| Etano | 9.1 | 14.5 |
| Eter Etilico | 8.9 | 13.0 |
| Etileno | 9.5 | 15.1 |
| Fluor | 7.3 | 23.8 |
| Freon 11 | 10.6 | 15.1 |
| Freon 12 | 11.1 | 16.0 |
| Freon 21 | 10.8 | 15.3 |
| Freon 22 | 10.1 | 17.0 |
| Freon 113 | 11.3 | 14.0 |
| Helio | 10.9 | 20.5 |
| Hexano | 8.6 | 11.8 |
| Hidrógeno | 11.2 | 12.4 |
| 3H ₂ + 1N ₂ | 11.2 | 17.2 |
| Yodo | 9.0 | 18.3 |
| Yoduro de Hidrógeno | 9.0 | 21.1 |
| Mercurio | 5.3 | 22.0 |
| Metano | 9.9 | 15.5 |
| Monóxido de Carbono | 11.0 | 20.0 |
| Nitrógeno | 10.6 | 20.0 |
| Oxido Nitrico | 10.9 | 20.5 |
| Oxido Nitroso | 8.8 | 19.0 |
| Oxígeno | 11.0 | 21.3 |
| Pentano | 7.0 | 12.8 |
| Propano | 9.7 | 12.9 |
| Propileno | 9.0 | 13.8 |
| Sulfuro de Hidrógeno | 9.6 | 16.0 |
| Tolueno | 8.6 | 12.4 |
| 2, 3, 3-Trimetilbutano | 9.5 | 10.5 |
| Xenón | 9.3 | 23.0 |

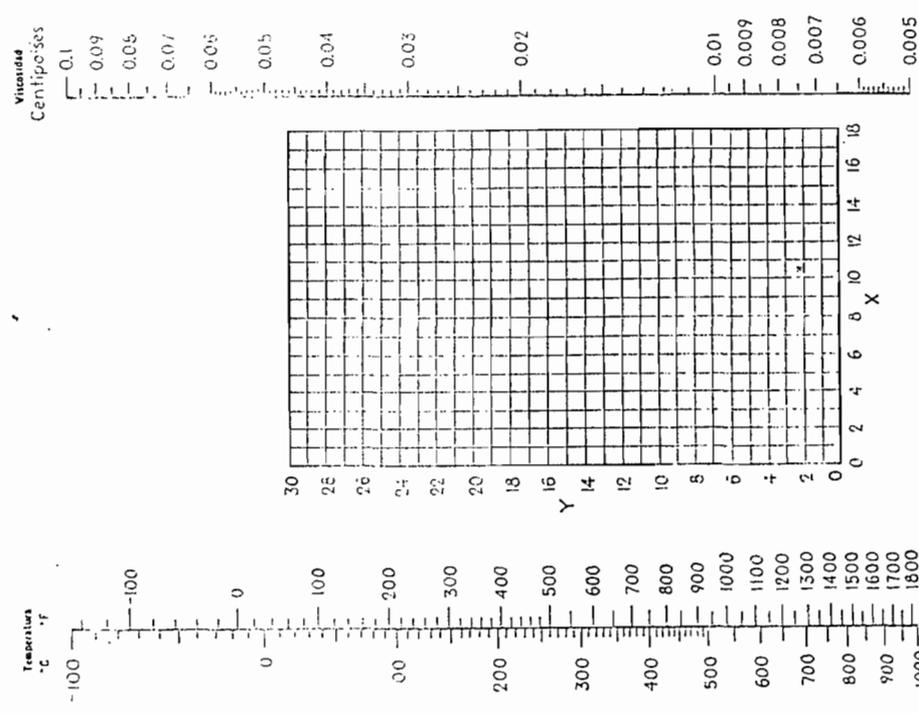


Fig. Viscosidades de Gases. (Perry, "Chemical Engineers' Handbook", 3d ed., McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1950)

FIGURA 4.10. NOMOGRAMA PARA CALCULAR LA VISCOSIDAD DE GASES.

$$Re = \frac{0,7 \times 0,7447 \times 0,12}{16 \times 10^{-6}} = 4.000$$

luego el flujo es turbulento. Con el valor de la rugosidad (K) para acero soldado y oxidado obtenido de la Tabla XVII, se encuentra la rugosidad relativa:

$$\frac{k}{D} = \frac{0,4}{120} = 3,33 \times 10^{-3}$$

con estas coordenadas de Re y k/D se entra al diagrama de Moody (Figura 4.11) y se interpola el valor del factor λ , resultando:

$$\lambda = 0,0415$$

Según la ecuación (4.9) tenemos:

$$H_{rp} = 0,352 \text{ Pa.}$$

T A B L A XVII.

COEFICIENTE DE RUGOSIDAD ABSOLUTA, k
PARA TUBERIAS COMERCIALES

| Tipo de tubería | Rugosidad absoluta — k (mm) | Tipo de tubería | Rugosidad absoluta k (mm) |
|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Vidrio, cobre o latón estirado... | <0,001 (o lisa) | Hierro galvanizado | 0,15 a 0,20 |
| Latón industrial | 0,025 | Fundición corriente nueva... | 0,25 |
| Acero laminado nuevo | 0,05 | Fundición corriente oxidada | 1 a 1,5 |
| Acero laminado oxidado | 0,15 a 0,25 | Fundición asfaltada | 0,1 |
| Acero laminado con incrustaciones | 1,5 a 3 | Cemento alisado | 0,3 a 0,8 |
| Acero asfaltado | 0,015 | Cemento bruto | Hasta 3 |
| Acero roblonado | 0,03 a 0,1 | Acero roblonado | 0,9 a 9 |
| Acero soldado, oxidado | 0,4 | Duelas de madera | 0,183 a 0,91 |

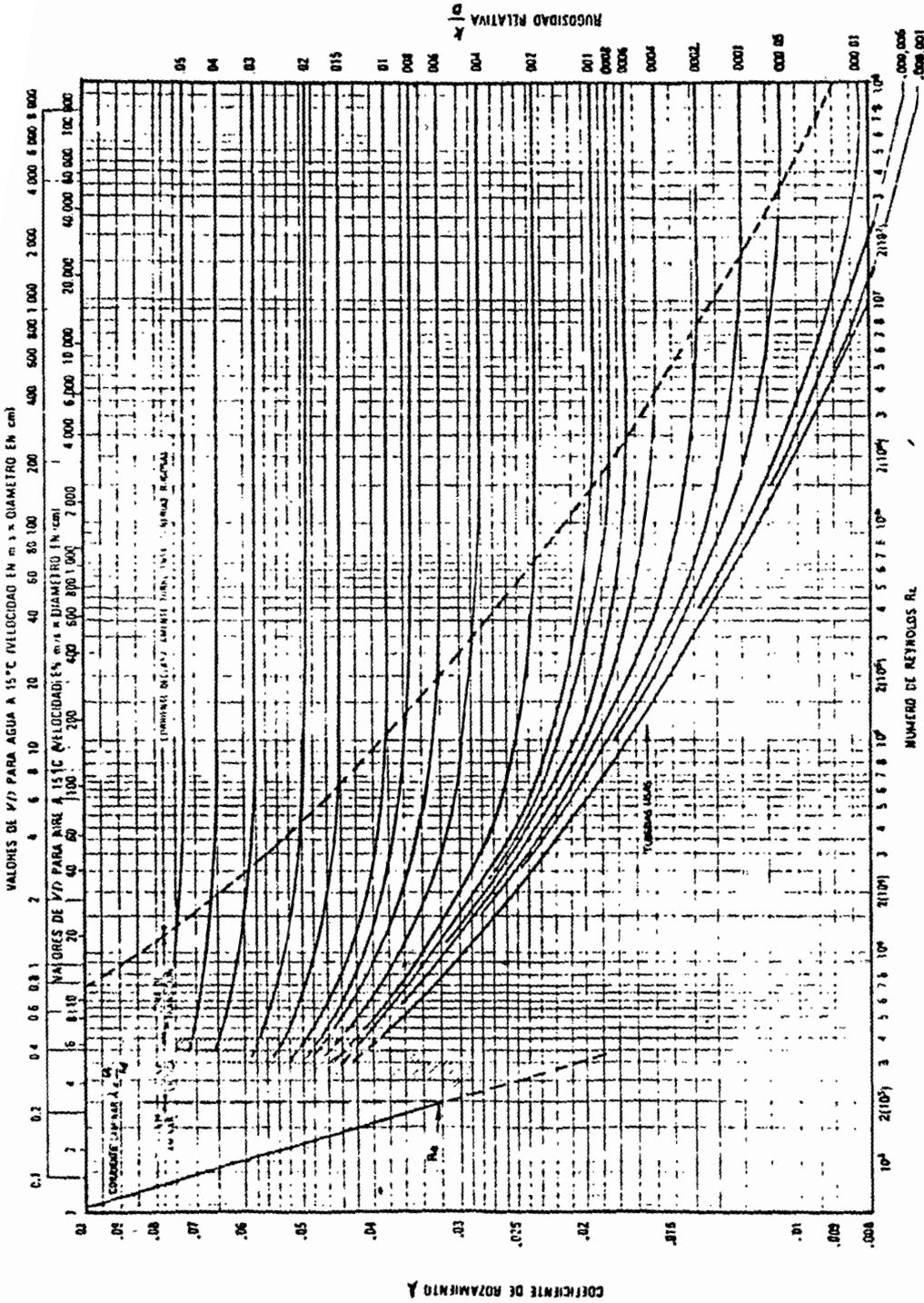


FIGURA 4.11 DIAGRAMA DE MOODY. (15)

4.2.10 Pérdidas de presión en codos

La pérdida de presión depende de la geometría como de la presencia de tramos rectos corrientes abajo del codo. La pérdida de presión es expresado por dos factores: f_1 , es el coeficiente resultante de la forma geométrica, mientras f_2 es el coeficiente que se toma en cuenta la presencia o no de tramos rectos corriente abajo. Para tramos rectos corriente abajo con longitud de cuatro diámetros hidráulicos o menos $f_2=1.4$; de otra manera $f_2=1$. El coeficiente de pérdida de presión en codos se puede leer en la figura 4.12.

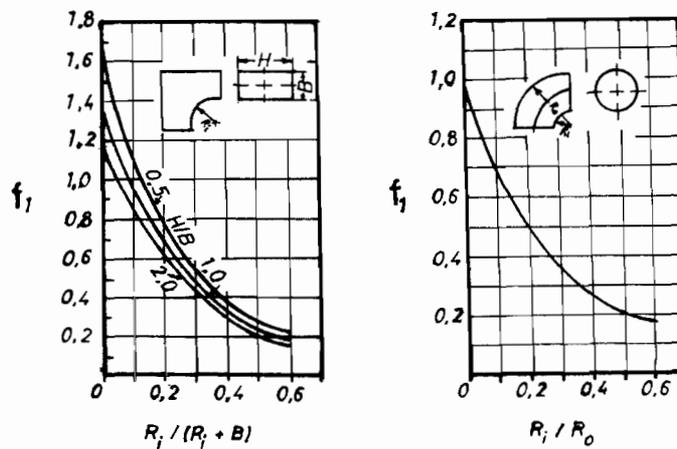


FIGURA 4.12. COEFICIENTE DE PERDIDAS DE PRESION EN CODOS (16).

La caída de presión debida al paso de un

flujo se determina por:

$$hrs_b = 1/2 f_1 f_2 \rho v_b^2 \quad (4.11)$$

a. CODO ENTRE LA CHIMENEA Y LA TERCERA OLLA

El codo que conecta la chimenea con el tramo pequeño de la tercera olla, tendrá el mismo diámetro que la chimenea y su forma geométrica se da en la figura 4.13.

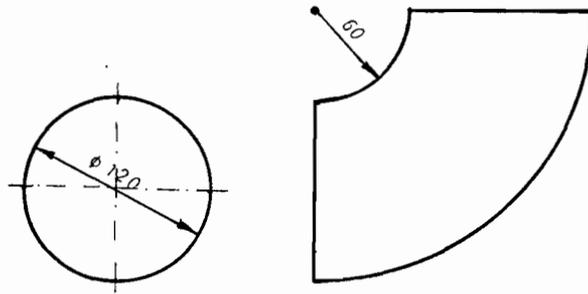


FIGURA 4.13. CODO QUE UNE LA TERCERA OLLA CON LA CHIMENEA.

En este codo se asume temperatura de 250°C del cual se obtienen los siguientes datos:

$$T_{b1} = 250^{\circ}\text{C}$$

$$\rho_{250^{\circ}\text{C}} = 0,68 \text{ kg/m}^3 \quad \text{----} \rightarrow \text{Tabla XV}$$

$$Fg/P)_{250^{\circ}\text{C}} = 0,865 \text{ 1/Kw.s} \quad \text{---} \rightarrow \text{Tabla XVIII}$$

$$R_i = 60 \text{ mm.}$$

$$R_o = R_i + D = 180 \text{ mm.}$$

Luego como:

$$Ri/Ro=0,33 \text{ ----} \rightarrow f_1 = 0,33 \quad \text{Figura 4.12}$$

$$4Dh = 120 \text{ mm. ----} \rightarrow f_2 = 1$$

Por la ecuación (4.5) se despeja la velocidad obteniéndose:

$$v_b = \frac{0,865 \times 8,6 \times 4}{\pi \times (0,12)^2 \times 1000} = 0,612 \text{ m/s}$$

Reemplazando los valores en la ecuación (4.11) se tiene la caída de presión en el codo 1:

$$hrs_{b1} = 0,042 \text{ Pa.}$$

b. CODO SOBRE LA TERCERA OLLA

Las dimensiones del codo sobre la tercera olla se diseñó de tal manera, que los gases cubran toda la base y alrededores de la olla (B =diámetro de la olla y $H=B/2$); en la figura 4.14 se ve esquemáticamente la geometría del codo con sus cotas.

En esta posición se asume temperatura de 300°C , en base a esto se obtienen los siguientes valores:

$$T_{b2} = 300^\circ\text{C}$$

$$\rho_{300^\circ\text{C}} = 0,615 \text{ kg/m}^3 \text{ ----} \rightarrow \text{Tabla XV}$$

$$Fg/P)_{300^\circ\text{C}} = 0,95 \text{ 1/Kw.s ----} \rightarrow \text{Tabla XVIII}$$

$$R_i = 20 \text{ mm.}$$

$$B = 150 \text{ mm.}$$

$$H = 75 \text{ mm.}$$

Con estos datos se puede hallar:

$$\begin{array}{l} R_i/(R_i+B) = 0,12 \\ H/B = 0,5 \end{array} \quad \text{--->} \quad \begin{array}{l} f_1 = 1,05 \\ \text{Figura 4.12} \end{array}$$

El tramo entre la chimenea y la olla es menor a cuatro veces el diámetro hidráulico, entonces $f_2=1,4$. De la ecuación (4.5) despejando la velocidad en el codo 2, tendremos:

$$v_{b2} = 0,726 \text{ m/s}$$

Reemplazando cada uno de los valores en la ecuación (4.11), nos da la caída de presión en el segundo codo:

$$h_{r_{b2}} = 0,238 \text{ Pa.}$$

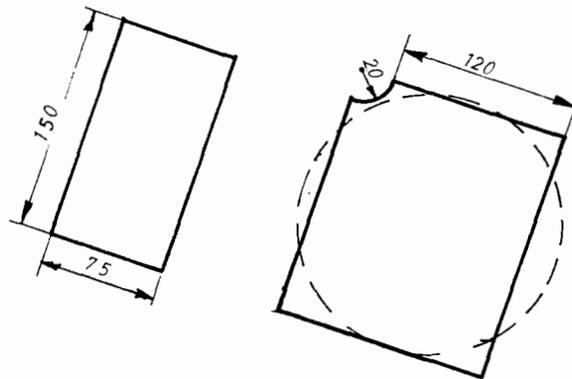


FIGURA 4.14. DIMENSIONES DEL CODO SOBRE LA TERCERA OLLA.

T A B L A X V I I I

FLUJO DE GAS COMBUSTIBLE POR UNIDAD DE POTENCIA EN
 FUNCION DE LA TEMPERATURA, PARA LEÑA.

| Temperatura del gas °C | Flujo de gas l/Kw.s. |
|---------------------------|-------------------------|
| 1000 | 2,11 |
| 900 | 1,94 |
| 800 | 1,77 |
| 700 | 1,61 |
| 600 | 1,44 |
| 500 | 1,28 |
| 400 | 1,11 |
| 300 | 0,95 |
| 200 | 0,78 |
| 150 | 0,70 |
| 100 | 0,61 |

Ref. (16)

4.2.11 Ducto sobre la segunda olla

Según, P. Verhaart⁽¹⁴⁾ en las recomendaciones de diseño de fogones a base de combustibles lignocelósicos (trozos pequeños), el ducto sobre las ollas restantes, sugiere el uso de la mitad del tiro neto disponible a ser usado para arrastrar aire para la combustión, y la otra mitad para el arrastre del gas combustible a través de los ductos del fogón.

Bajo estas experiencias de P. Verhaart se diseñó el ducto en la segunda olla, lamentablemente no dio resultados. Además se probó aumentando las dimensiones de los ductos, suavizando las contracciones, se abrió totalmente el regulador de flujo; obteniéndose igual resultado que al inicio en que los gases de combustión escapaban por la parrilla (zona de combustión), debido a que las fuerzas de resistencia eran muy altas y no había suficiente tiro natural por la chimenea, porque la cama de cascarilla opone una gran resistencia al paso del aire para la combustión.

Por esto, se sobredimensionó la altura de chimenea y ductos sobre las ollas. Para comenzar a experimentar se escogió altura de ducto de $3/4$ y $1/2$ el diámetro de la olla en el tramo inicial y final bajo la segunda olla respectivamente. Para simplificar los cálculos de pérdidas de presión, se tomará como un ducto de sección constante de altura media de $(5/8)D_o$.

Las pérdidas de presión en el ducto de la segunda olla se estima por medio de la ecuación :

$$H_{rpa} = \frac{f L \rho v^2}{2 Dh} \quad (4.12)$$

El movimiento de los gases en los fogones domésticos parecería que por la baja magnitud de su velocidad, se espera que probablemente el flujo sea laminar, pero como los tramos son relativamente pequeños y la dinámica de los gases en la combustión de los lignocelulósicos dan a lugar que, el flujo no puede ser catalogado como verdadero flujo laminar. De acuerdo a NIEVERGELD y SULITATU⁽¹⁴⁾ de ensayos en laboratorios en

fogones domésticos recomienda un factor de fricción (f) de 2,5.

Este ducto en la segunda olla tendrá 24x35x15 cm. de ancho, largo, y altura respectivamente. Se asume temperatura de entrada de 700°C y de salida de 300°C. Con la temperatura media, se obtendrá de la Tabla XV y XVIII la $\rho_{300^{\circ}\text{C}}=0,4557 \text{ kg/m}^3$ y $Fg/P)_{300^{\circ}\text{C}}=1,28 \text{ l/Kw.s.}$

La velocidad de los gases que cruza la sección transversal del ducto es obtenida por la ecuación (4.5):

$$v_d = 0,306 \text{ m/s}$$

Como el ducto es rectangular es necesario hallar el diámetro hidráulico, y así poder evaluar las pérdidas de presión:

$$D_h = \frac{4 A}{P} = 0,185 \text{ m.}$$

De acuerdo a la ecuación (4.12):

$$H_{rpd} = 0,101 \text{ Pa.}$$

4.2.12 Contracción brusca

El cambio repentino de sección en un ducto ocasiona caída de presión que puede evaluarse por:

$$hrs = \frac{k \rho v^2}{2 g} \quad (4.13)$$

donde k , es el coeficiente de contracción brusca y es expresado en función de las áreas, así⁽⁸⁾:

$$k = 0,5 (1 - A_2/A_1) \quad (4.14)$$

De acuerdo a las dimensiones de las áreas de contracción de la Figura 4.15 y reemplazando en (4.14), se tiene:

$$k = 0,5 (1 - 0,011/0,036)$$

$$k = 0,344$$

Por ser un tramo pequeño se asume la misma temperatura que en la tercera olla (300°C) y la velocidad en el ducto de menor área, entonces:

$$hrs_c = 0,056 \text{ Pa.}$$

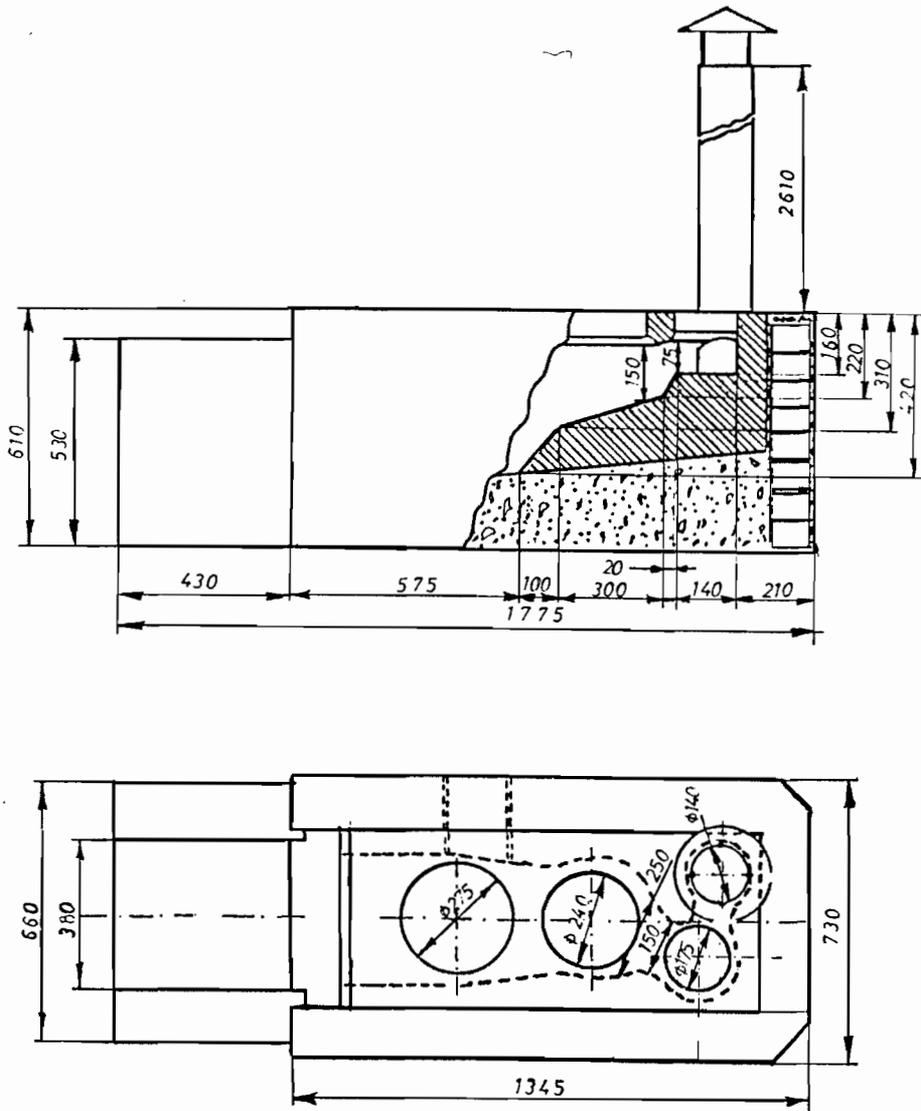


FIGURA 4.15 VISTA GENERAL DEL FOGON

4.2.13 Regulador de flujo

De acuerdo al ángulo de inclinación del regulador de flujo en la chimenea se produce la caída de presión por reducción de área y mayor dificultad al flujo de gases. Esta se calcula por la ecuación (4.13). Donde k está dado en función de la posición del ángulo tanto para secciones transversales circulares como rectangulares y la fórmula del valor de k (Ref.8) es:

$$k = \frac{1,4}{1 - \text{sen}\theta} - 1 \quad (4.15)$$

Como las condiciones de funcionamiento de la chimenea se estimaron en la sección 4.2.8., se tiene el siguiente cuadro de pérdidas de presión de acuerdo a la posición del ángulo regulador:

| Angulo | k | Hrs. (Pa) |
|--------|----------|-----------|
| 15 | 0,790 | 0,144 |
| 30 | 3,240 | 0,591 |
| 45 | 14,288 | 2,607 |
| 60 | 89,298 | 16,293 |
| 75 | 1606,950 | 293,191 |

4.2.14 Tiro disponible

El tiro disponible en el fogón se obtiene de la diferencia entre el tiro estático natural y la sumatoria de pérdidas a través de la chimenea, codo entre la chimenea y la tercera olla y la posición de la compuerta de flujo.

$$d_n = d - (H_{rp} + h_{rs_{b1}} + h_{rs_r}) \quad (4.16)$$

Expresado en función de las pérdidas de presión según la posición del regulador de flujo por (4.16), tenemos:

$$d_n = 10,594 - h_{rs_r}$$

El tiro neto disponible tiene una gran influencia sobre el fogón. Su función es proporcionar tiro suficiente para aspirar los gases dentro del volumen de la cámara de combustión y vencer todas las resistencias que se oponen al flujo en el fogón.

Debido a que no se disponen de datos de tiro neto disponible para arrastre del aire en el fogón con cama de cascarilla de arroz, se va a probar variando la resistencia en la compuerta hasta obtener el tiro neto para que

el arrastre del aire sea óptimo. Entonces:

$$dn_a = dn - (Hr_{p_d} + hr_{s_{b2}} + hr_{s_c}) \quad (4.17)$$

reemplazando los valores respectivos tenemos:

$$dn_a = 10,199 - hr_{s_c}$$

En el siguiente cuadro se da el tiro neto de arrastre, de acuerdo a la posición de la compuerta en la chimenea.

| Angulo | dn_a (Pa) |
|--------|-----------------------|
| 15 | 10,055 |
| 30 | 9,608 |
| 45 | 7,592 |
| 60 | -6,094 (no hay flujo) |

4.3. ALIMENTACION DE COMBUSTIBLE

El sistema de alimentación de combustible es una tolva, en el cual se deposita la cascarilla a quemar. El flujo de cascarilla se realizó inicialmente por acción de la gravedad, sobre una plancha perforada con una inclinación tal para que descienda.

En base a estos requerimientos se diseñó el sistema de alimentación con capacidad de 11 kg. como se ilustra en la Figura 4.16, hubo problemas por la

retención de cascarilla en la tolva y la correcta dosificación a la zona de combustión (parrilla inclinada), ocasionando ahogamiento del frente de llama, por el descenso violento de la cascarilla.

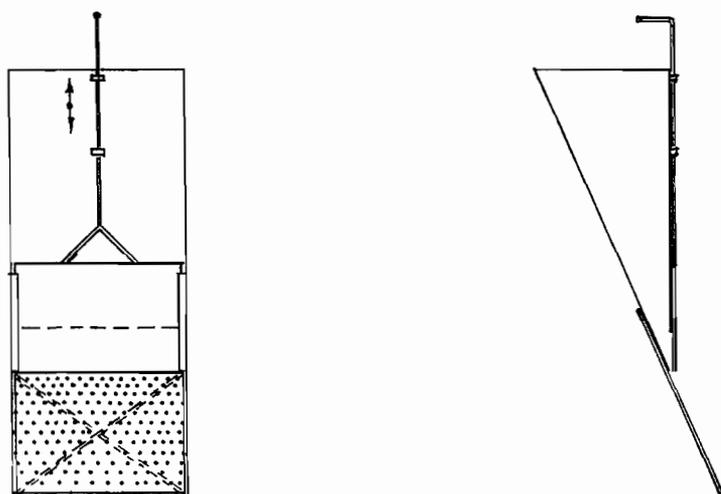


FIGURA 4.16 TOLVA DE ALIMENTACION POR GRAVEDAD.

Por esto, se vió en la necesidad de rediseñar el sistema de alimentación con un alimentador de compuerta rotatorio de paletas, formado por seis compartimientos o sectores; las paletas están montadas sobre un eje. Cuando giran las compuertas rotatorias se llenan los compartimientos superiores, luego lleva consigo la cascarilla y lo descarga en la parrilla inclinada, (ver Figura 4.17).

4.4. ENTRADA DE AIRE PARA LA COMBUSTION

La entrada de aire para la combustión de cascarilla,

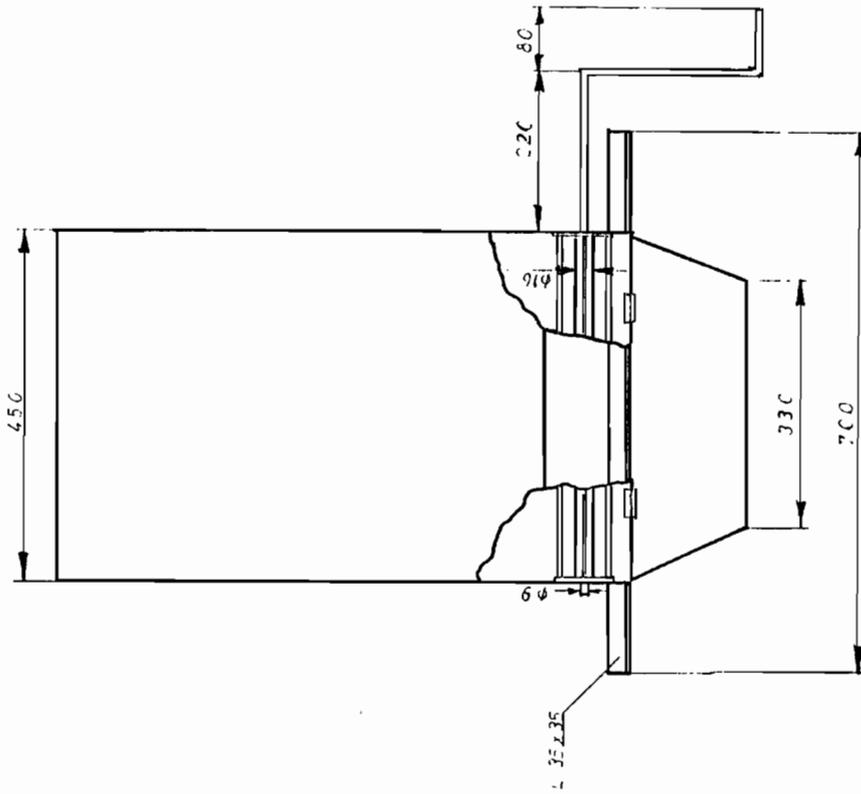
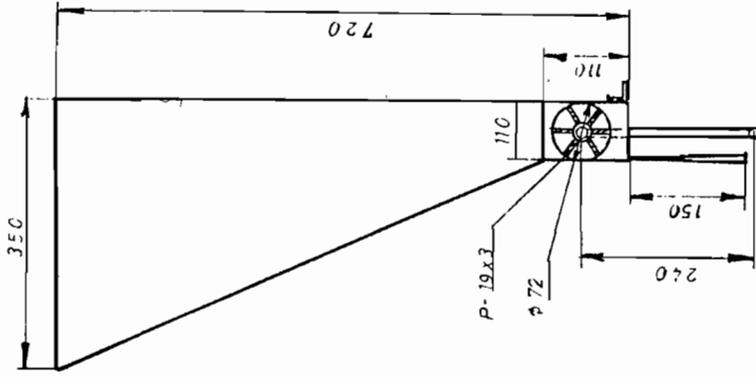


FIGURA 4.17 SISTEMA DE ALIMENTACION POR COMPUERTA ROTATORIA.

se realizó a través de un lecho inclinado de cascarilla de tres a cinco centímetros de espesor. Es por esto se requiere un gran tiro de chimenea para lograr que el aire cruce la cama de cascarilla, y así quemar los volátiles y carbón fijo del combustible.

La dimensión de la parrilla inclinada es de 33 cm. de ancho y 29 cm. de largo, con área disponible de suministro de aire para la combustión del 50% y 25%; como se muestran las dos parrillas (Apéndice C).

4.5. SALIDA DE GASES DE COMBUSTION

La evacuación de los gases productos de la combustión de la cascarilla de arroz se realiza por diferencia de densidades, a través de una chimenea de 2,68 metros. Su diseño se trató detallada y ampliamente en la sección 4.2.4 y 4.2.9.

4.6. RECOLECCION DE CENIZAS

El depósito recolector de cenizas será en la misma cámara de combustión, de manera que ayude a mantener caliente la cámara, tratando de hacer lo más simple el sistema, para que pueda ser operado por cualquier usuario sin ninguna dificultad. El

desalojo de cenizas se hace manualmente, por medio de una pala como se muestra en las fotos (Apéndice C).

4.7. CONSTRUCCION DEL FOGON

La construcción del fogón tipo "artesanal" para combustión de cáscara de arroz se realizó en las instalaciones del Centro de Investigaciones Experimentales de Tecnología Energética (CETE) de la Facultad de Ingeniería Mecánica, ESPOL.

Para la construcción se trató en lo posible de usar materiales típicos de las zonas rurales y con procedimientos sencillos.

4.7.1. Materiales y herramientas

En la construcción de este fogón se emplearon determinados materiales y herramientas que de acuerdo a su utilización se clasifican:

- a. ELEMENTOS BASICOS .- Son aquellos materiales y herramientas necesarios para la construcción del fogón: Ladrillos de arcilla, barro, arena, cemento, piedra de relleno, agua.*

b. MATERIALES Y HERRAMIENTAS AUXILIARES.-

Estos materiales y herramientas tienen su importancia en la construcción por ser elementos de ayuda en la realización del trabajo. Estos elementos son: Pala, machete, espátula, varilla, cuchara, tablones de madera, tamiz, recipiente, pintura, kéréx, flexómetro, taladro, balanza, soldadora.

4.7.2. Proceso de construcción

En el proceso de construcción del fogón se considera lo siguiente:

ESTRUCTURA DEL FOGÓN

Se construyó la estructura del fogón con ladrillos de arcilla o adobe, enlucido con cemento y reforzado con varilla para dar una buena consistencia en las paredes laterales y posterior. El piso de la base se hizo de hormigón (por facilidad), con una ligera inclinación en dirección hacia la chimenea para aprovechar mejor el tiro. En la figura 4.18 se muestra las dimensiones de la estructura del fogón.

PREPARACION DE LA MEZCLA LODO-ARENA

Las hornillas de lodo son tradicionales en muchas zonas. El lodo suele ser tierra con elevado contenido de arcilla, mezclado con estiércol, paja, arena y otros materiales.

Los suelos de diferentes zonas tienen distintas propiedades. Por lo que antes de hacer una hornilla de tipo "Lorena" deberá analizar el suelo local. Así, se obtuvo barro proveniente de la vía Durán Tambo, pero cabe destacar que después de realizar las pruebas de apariencia físicas; el barro no tenía la proporción debida de arcilla y arena (20-30% arcilla y 70-80% arena), por lo que debería agregarse a la mezcla arcilla o arena, según el caso.

En vista de las deficiencias del barro obtenido, se realizó diferentes mezclas del lodo con variados porcentajes de arena y cemento. Siete muestras de forma esférica con aproximadamente 2,5 cm. de diámetro se realizaron, secándolas al ambiente.

Entre las muestras (Figura 4.19) se escogió la muestra con 70% de arcilla, 15% de arena y 15% de cemento. Porque es la que mejor

aspecto físico presenta, no hay rajaduras, tiene buena resistencia al rayado y posee las cualidades que recomienda el manual de VITA/ITDG (Ref. 25).

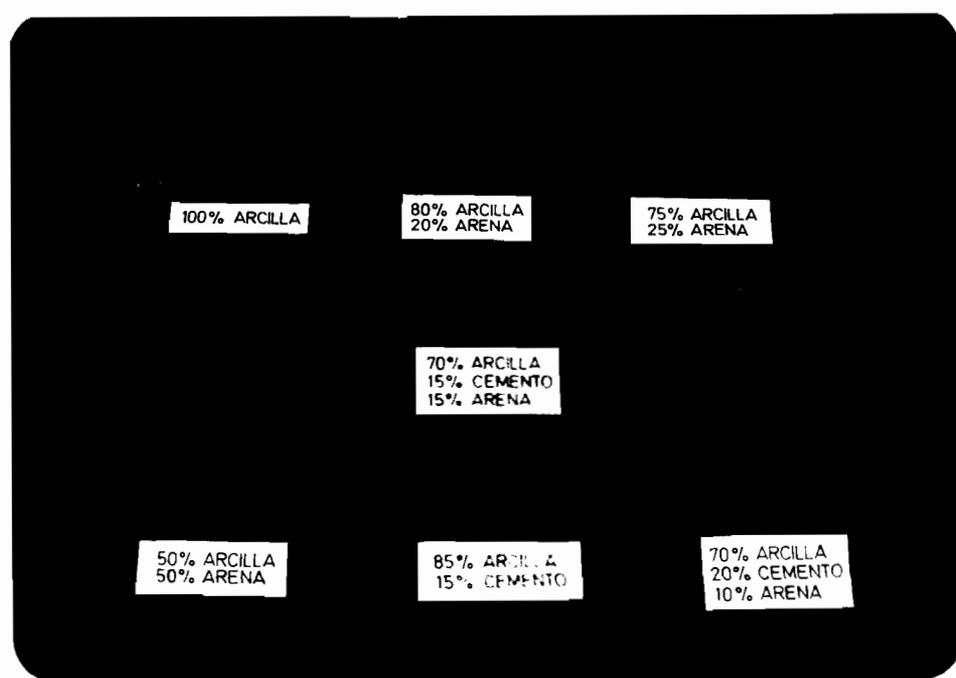


FIGURA 4.19 DIFERENTES MUESTRAS PARA LA MEZCLA EN EL FOGON

Comprobada que la mezcla reúne los requisitos necesarios para formar el mortero de lodo. Se procedió a cernir el barro y arena para obtener una mejor mezcla a las proporciones volumétricas de lodo, arena y cemento anteriormente mencionadas. Una vez bien mezclado los tres elementos, formada una masa semihúmeda sin llegar a ser acuoso, se

introduce en la estructura del fogón y compactando muy bien esta masa hasta llegar al tope del fogón, (Apéndice C).

EXCAVACION

En el proceso de excavación de hoyos, túneles y la cámara de combustión se siguen los procedimientos siguientes para lograr la correcta construcción:

- a. Señálese el contorno de la base en las hornillas y el ducto de entrada a la cámara de combustión de acuerdo a las medidas de los planos (Figura 4.18).
- b. Se hacen surcos al principio de la caja de fuego para evitar la formación de fisuras. Figura 4.20.
- c. Se excavan los hoyos por el centro de cada marca, ver Apéndice C.
- d. El lugar destinado para la caja de fuego se excava arriba y al frente hasta que los hoyos se encuentren.
- e. Se amplían y forman los hoyos utilizando una cuchara, ver figura 4.21.

- f. Se moja la superficie exterior de la olla y se hace girar en el centro del hoyo sin presionar hacia abajo. Figura 4.22.
- g. En lo posible tratar de introducir las ollas hasta las agarraderas por lo menos. Figura 4.23.
- h. A la entrada de la cámara de fuego se debe procurar dar forma curvada en los vértices, para evitar grietas por dilatación térmica.
- i. Se dejará el espacio de acuerdo al diseño de la cámara de fuego.
- j. Se excavará los túneles de acuerdo a las dimensiones del diseño.
- k. Procurar hacer en el hoyo un volcancito y cerro debajo de cada olla. Esto es importante para que el aire caliente circule alrededor de la olla. Figura 4.24.

CHIMENEA

La chimenea se construyó de plancha de hierro negro de 1,27 mm. de espesor. El diámetro de la chimenea es de 12 cm., el

alto de 268 cm. y la compuerta elíptica reguladora de flujo, se la ubicó a 31 cm. de la base de la chimenea.

El casquete cónico posee 25 cm. de diámetro y 6 cm. de altura; la distancia de separación entre el sombrero protector y el ducto de la chimenea es de 9 cm., apoyado con cuatro varillas de 4 mm. de diámetro.

Se procurará que el agujero de la chimenea tenga suficiente profundidad en el interior del túnel. Este espacio adicional se deja con el fin de que el paso del aire tenga menos posibilidades de quedar obstruido con los residuos de hollín que caen de la pared interior de la chimenea.

Por el tamaño y peso de la chimenea necesita apoyo adicional. Por esto, para fijarla se la sujeto con alambre a los soportes de la instalación.

SISTEMA DE ALIMENTACION

La primera tolva del sistema de alimentación de cascarilla se construyó con plancha de hierro negro de 1,27 mm. de espesor y con capacidad de 11 kg. de cascarilla, de acuerdo

a los planos. La parrilla va unida a la tolva con un ángulo de 37° con respecto a la vertical. Se utilizó plancha perforada de un milímetro de espesor reforzándose con un marco exterior empleando varilla de 5 mm. de diámetro.

En el segundo diseño del sistema de alimentación se utilizó la misma tolva inicial, pero se añadió el alimentador con paletas o secciones que está formado por un tubo de diámetro exterior de 16 mm. y soldadas seis platinas de 20×3 mm. a igual distancias. Apoyado este conjunto por un eje de 9 mm. de diámetro, se instaló este eje dosificador de tal forma que pueda ser desmontado.

La parrilla en este caso se construyó de tal modo que se pueda variar el ángulo de combustión de cascarilla. Está formado por un soporte de tubo cuadrado, apoyado en la parte superior la parrilla perforada de tal manera que permita su movimiento dentro de la cámara de combustión. La construcción del soporte de la parrilla se lo realizó, de tal forma que permita probar algunos tipos de parrillas.

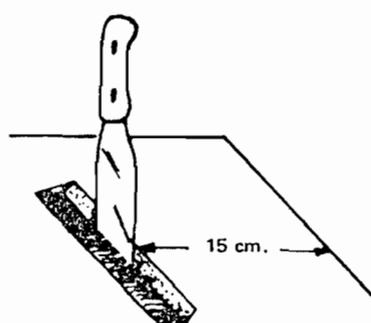


FIGURA 4.20. SURCO INICIAL DE LA CAMARA DE COMBUSTION.

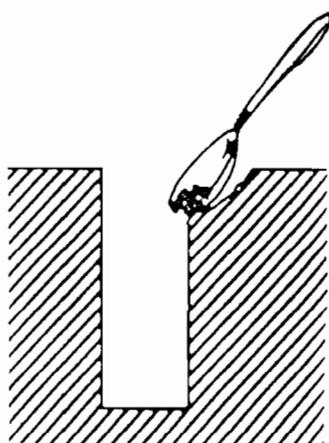


FIGURA 4.21. EXCAVACION CON CUCHARA.

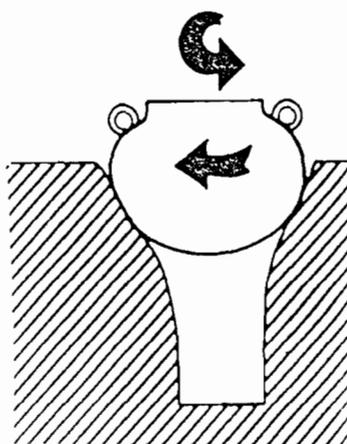


FIGURA 4.22. FORMACION DEL HOYO CON EL RECIPIENTE.

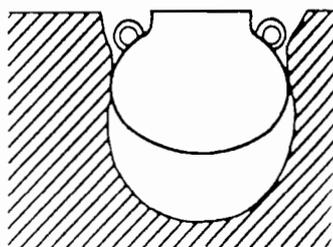


FIGURA 4.23. OLLA INTRODUCIDA HASTA LAS AGARRADERAS.

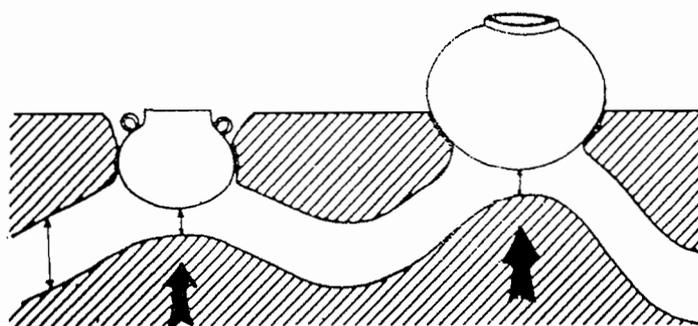


FIGURA 4.24. DUCTO TIPO VOLCAN.

C A P I T U L O V

PRUEBAS EXPERIMENTALES

5.1. RELACION AIRE-COMBUSTIBLE

Para cuantificar el exceso o deficiencia de aire empleado durante la combustión, puede efectuarse fácilmente por medio de diagramas triangulares, estudiados por OSTWALD. Estos diagramas permiten relacionar cuatro porcentajes volumétricos: % de CO_2 , % de CO , % de O_2 y % de exceso de aire; conociendo dos de estos porcentajes es posible encontrar el valor de los otros dos.

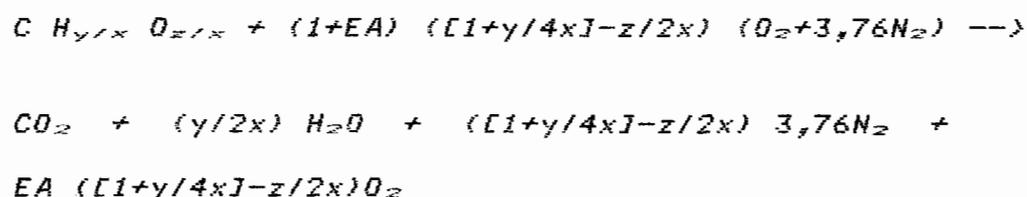
CONSTRUCCION DEL DIAGRAMA DE OSTWALD

Para la construcción del diagrama es necesario conocer la composición en porcentaje volumétrico del combustible que se obtiene de la Tabla XIV, y admitir que durante la combustión no haya formación de hollines. Además, es preciso que todo el hidrógeno del combustible se quemara completamente y

que el único producto de combustión incompleta presente en los humos sea el CO; lo cual es una buena aproximación para fines tecnológicos.

El diagrama está formado por un triángulo rectángulo, sobre uno de cuyos catetos como eje de las abscisas, se colocan los porcentaje de O_2 y sobre el otro cateto como ordenada, los tantos por ciento de CO_2 . El valor máximo de % O_2 corresponde a la concentración atmosférica (21%) y el máximo porcentaje de CO_2 corresponde al valor obtenido de la combustión completa con aire estequiométrico.

De la reacción de combustión ideal se tiene:



donde x , y , i z son los porcentajes volumétricos del carbono, hidrógeno y oxígeno de la cascarilla.

Por definición de concentración volumétrica de una substancia, la máxima concentración de CO_2 para $EA=0$, se tiene:

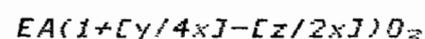
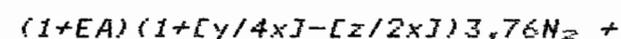
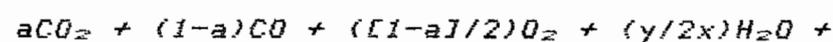
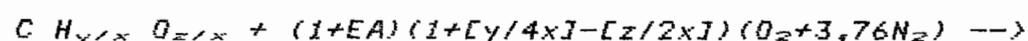
$$CO_2)_{max} = \frac{1}{1+ 3,76 ([1+ y/4x]-z/2x)} \times 100$$

La hipotenusa obtenida uniendo los extremos de

ambos catetos, constituyen un conjunto de puntos caracterizados por la combustión completa del carbono del combustible con diferentes excesos de aire. Ver Figura 5.1.

La línea separadora entre la zona correspondiente a la combustión con exceso de aire y la zona con deficiencia de aire, se obtiene trazando desde el vértice de $(CO_2)_{max}$ al segmento sobre el cateto de oxígeno en el punto correspondiente al valor $\% O_2$, obtenido cuando se tiene combustión estequiométrica con formación de máximo de CO y $\% CO_2$ igual a cero. Ver Figura 5.1.

Para hallar este porcentaje consideremos el caso general:



donde el término $([1-a]/2)O_2$ se obtiene sabiendo que $CO_2 \rightarrow CO + 1/2O_2$

Entonces, si $CO_2=0$, $EA=0$ y $a=0$

$$\% O_2)_{CO=MAX} = \frac{1/2}{1 + 1/2 + (1 + y/4x - z/2x) 3,76} \times 100$$

o también puede ser expresado en porcentajes de máxima concentración de CO_2 .

$$\% \text{O}_2)_{\text{CO}_2 \text{ MAX}} = \frac{\text{CO}_2)_{\text{MAX}}}{\text{CO}_2)_{\text{MAX}} + 200} \times 100 \quad \text{Ref. (3)}$$

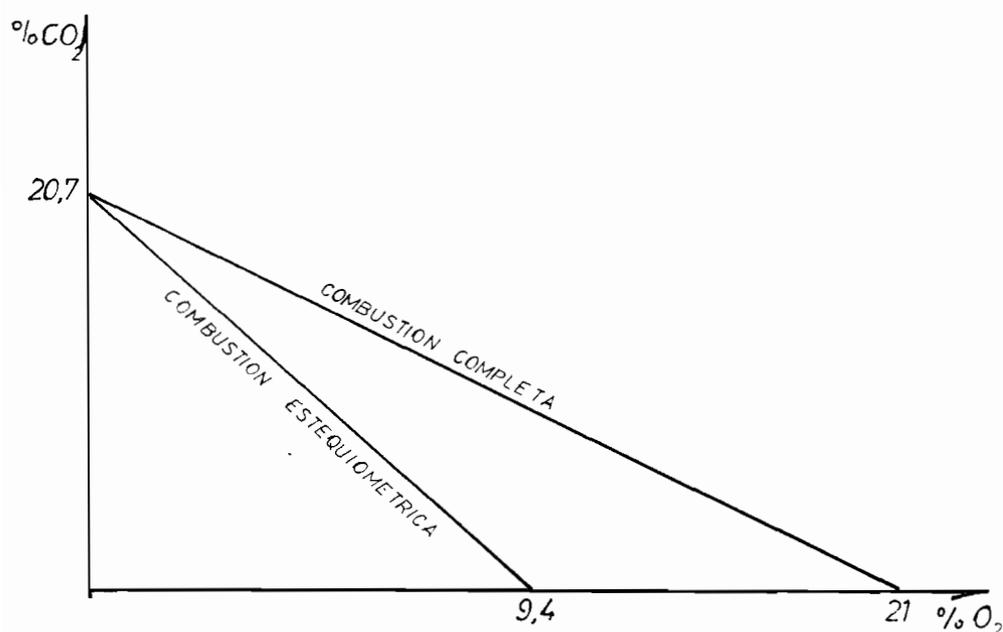


FIGURA 5.1. LINEAS DE COMBUSTION ESTEQUIOMETRICA Y COMPLETA EN EL DIAGRAMA DE OSTWALD.

Los valores del $\% \text{CO}$ constante están representados por una familia de segmentos paralelos a la misma hipotenusa, y para trazarlas es suficiente hallar el punto de intersección de estas líneas con la línea de combustión estequiométrica.

La manera de encontrar los porcentajes de monóxido de carbono está dado por:

$$\% CO = 2[CO_2]_{CO_2=0, EA=0} \quad \text{Ref. (3)}$$

Los valores de % de aire vienen dado por segmentos paralelos a la condición de combustión estequiométrica, las líneas paralelas a la derecha de combustión estequiométrica serán de exceso de aire constante y las paralelas a la izquierda son los valores con deficiencia de aire.

Para trazarlas es suficiente conocer el punto de intersección de estas líneas con la hipotenusa del triángulo.

$$\% CO_2) = \frac{1}{n_{max} \quad 1+(1+EA)(1+ y/4x - z/2x)3,76 + EA(1+ y/4x)}$$

EA=const.

En la Figura 5.2, se muestra el diagrama de Ostwald para cascarilla de arroz $C_{3,45} H_{4,94} O_{2,33}$.

Por medio del analizador de gases de DRSAT fue posible determinar la cantidad de CO_2 , O_2 y CO de las muestras de los gases de combustión de cascarilla. Con dos de estos porcentajes volumétricos y empleando el diagrama de Ostwald se interpolan las condiciones de la combustión.

En las Tablas del Apéndice D, se dan los rangos de valores de oxígeno y dióxido de carbono que fue posible analizar en los diferentes tipos de ensayos en el fogón para quema de cascarilla.

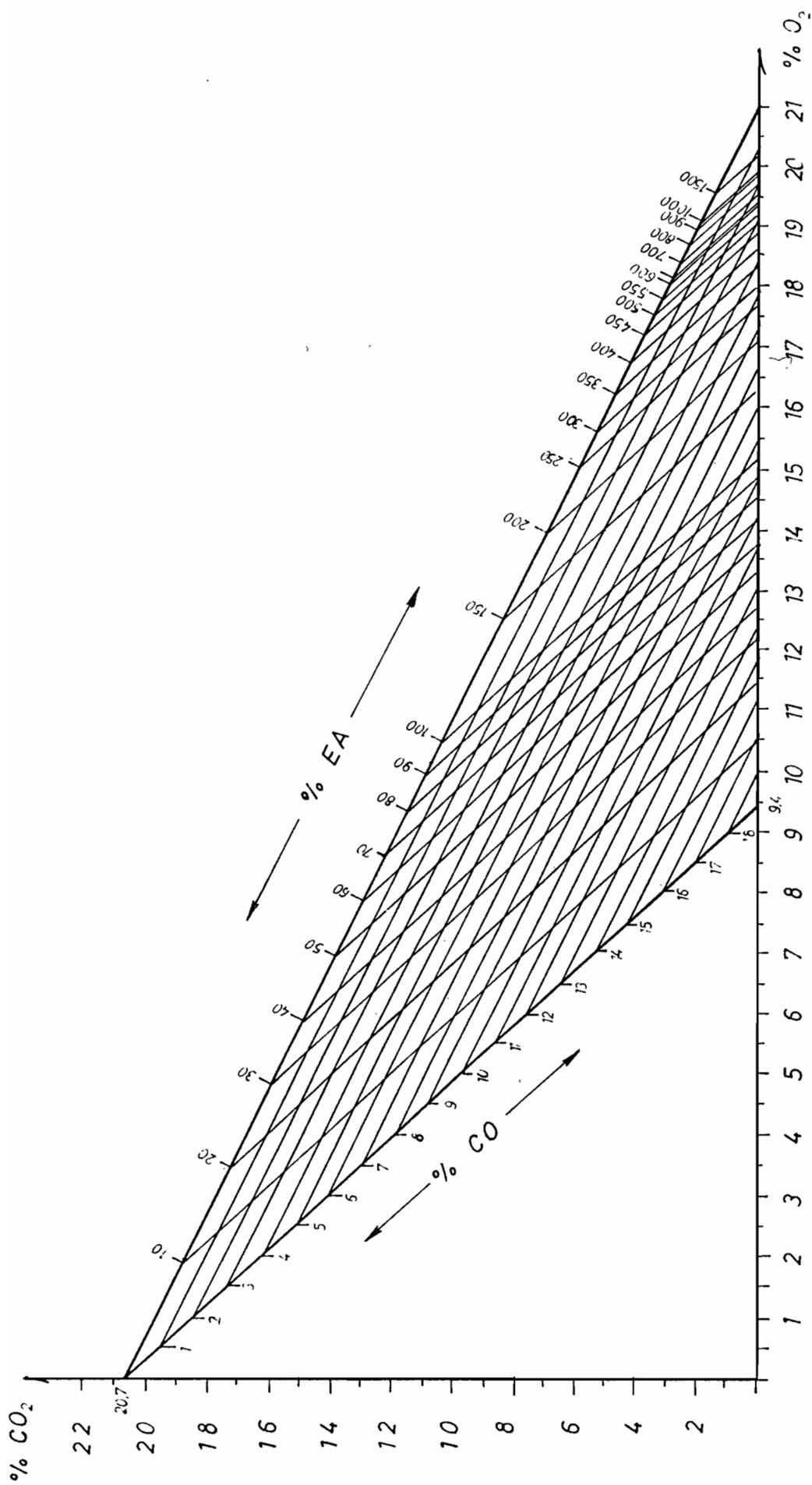


FIGURA 5.2 DIAGRAMA DE OSTWALD PARA CASCARILLA DE ARROZ.

5.2. EFICIENCIA DE COMBUSTION

La eficiencia de combustión, se define como el calor generado por la combustión para el potencial de energía del combustible (Ref. 25).

$$\eta_c = \frac{\text{Calor generado por la combustión}}{\text{Potencial de energía del combustible}}$$

Para obtener el calor generado por la combustión, se calculará de la diferencia entre el poder calorífico de la cascarilla y las pérdidas por combustión incompleta del combustible, debido a la presencia de CO y de carbono en las cenizas. Varios investigadores⁽²³⁾ han encontrado que, cuando está presente el CO, está acompañado de una cantidad aproximadamente igual de H₂ o de H₂ más CH₄.

Como la pérdida producida por la combustión incompleta depende de los volúmenes iguales de CO y H₂, debe determinarse la pérdida causada por el CO. En vista que no se posee suficiente información para combustión incompleta por CO para combustibles lignocelulósicos, se asume un 8,5% de la potencia calorífica superior en pérdidas, un valor mayor al de la Tabla XIX para carbón con 80% de carbono, debido a la diferencia de combustible y exceso de

aire con que se combustiona la cascarilla.

Otro factor de pérdida es la presencia de combustible no quemado en los residuos de la combustión, para la cascarilla es bien notoria por la apariencia carbonosa de las cenizas, debido a que no se logra desprender todo el carbono de la estructura de sílice. Por esto, se realizó análisis inmediato o aproximado de cuatro muestras de cenizas de cascarilla, en la Facultad de Geología, Minas y Petróleo de ESPOL, y se obtuvo un porcentaje promedio de:

| | |
|---------------|-------|
| Volátiles: | 4,15% |
| Carbón Fijo : | 0,30% |

A partir de este análisis inmediato, se calculó el poder calorífico superior, según la fórmula del Apéndice B, obteniéndose $PCS)_{ca} = 321 \text{ Kcal/Kg}$ ó 1.342 KJ/Kg . La fracción de masa de cenizas se tomará del 19% con respecto al de cascarilla cruda, de acuerdo a los análisis del Apéndice B.1.

Entonces,

$$\eta_c = \frac{PCS)_{ca} - [8,5\% PCS)_{ca} + 19\% PCS)_{ca}]}{PCS)_{ca}}$$

$$\eta_c = 81\%$$

T A B L A X I X

PERDIDAS DE CALOR INDICADAS POR LA PRESENCIA EN
 GASES QUEMADOS SECOS (CUANDO NO EXISTE NI ESCASEZ
 NI EXCESO DE AIRE).

| Combustible | 1 %CO + 1%H ₂ , % de la potencia calorifica superior | 1 %CO, sin H ₂ % de la potencia calorifica superior |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Carbón, 70% carbono | 5,94 | 3,17 |
| Carbón, 80% carbono | 6,00 | 3,20 |
| Aceite | 5,53 | ... |
| Gas natural | 5,02 | ... |
| Gas de batería de cok | 4,78 | ... |
| Gas pobre o gasógeno (bruto o limpio) | 7,50 | ... |
| Gas de agua | 4,60 | ... |
| Cok | | 3,42 |
| Gas de horno alto | | 5,17 |

5.3. ENSAYOS DE EFICIENCIA

Existen diferentes maneras para visualizar el rendimiento y medir la eficiencia de una estufa. Un método ampliamente usado, es el que compara la energía que entra a la estufa con la energía que sale de ella y allí se calcula el porcentaje de calor utilizado (PCU). En la Figura 5.3 se aprecia un balance térmico por el diagrama de SANKEY.

Se siguió procedimientos paso a paso de pruebas normalizadas provisionales para ensayos de eficiencias de estufas a leña para cocinar, por VITA (Voluntario en asistencia técnica) con ciertas modificaciones hechas por el Cuerpo de Paz (Ref. 22). El propósito de desarrollar normas de pruebas, es el de ayudar a que se obtengan resultados más confiables e interpretar los resultados de sus ensayos.

5.3.1. Ensayos de agua hirviendo

Los ensayos de agua hirviendo (EAH), es una medida de la eficiencia total de la estufa. Los ensayos de agua hirviendo, son simulaciones simples y cortos de los procedimientos normalizados para cocinar.

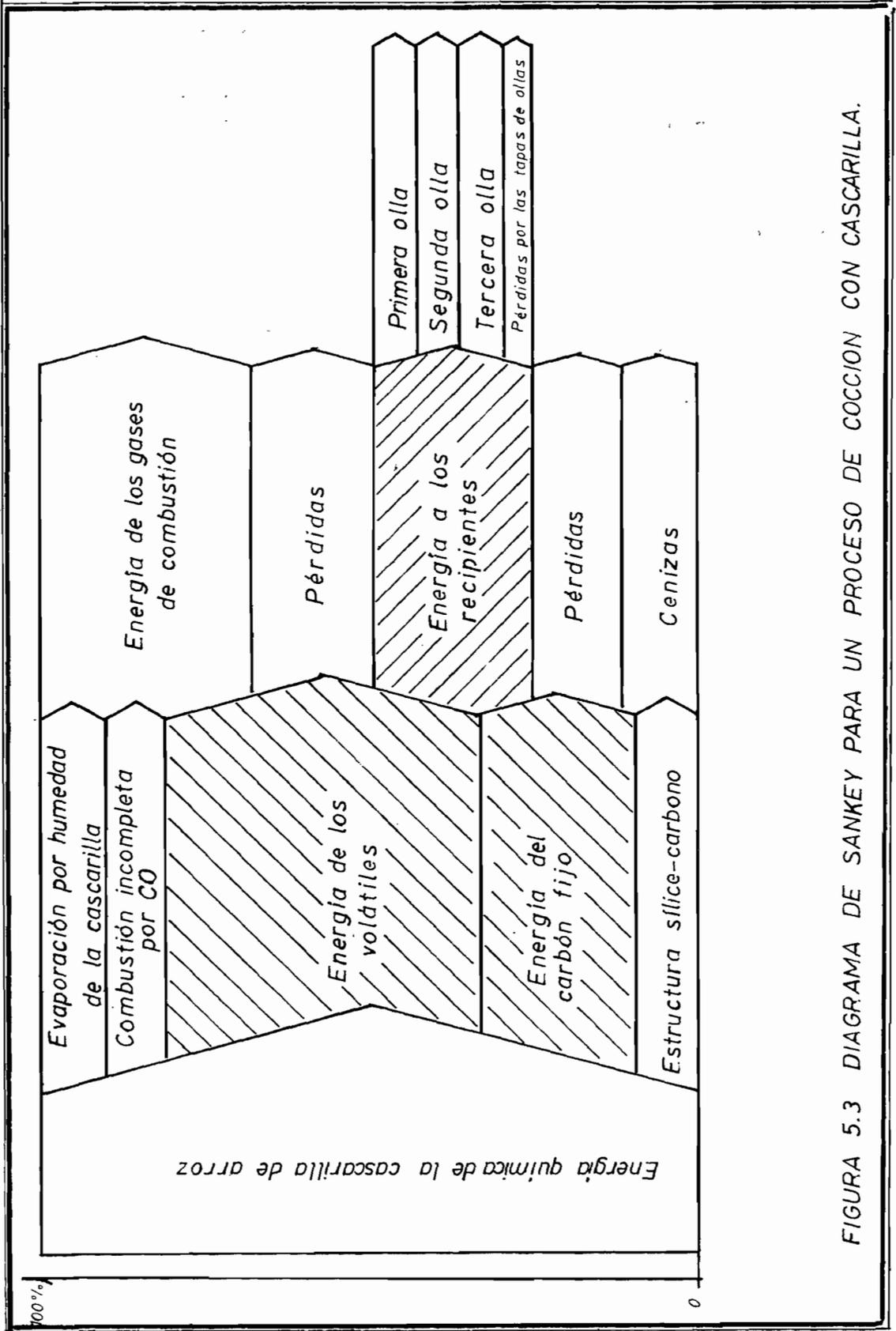


FIGURA 5.3 DIAGRAMA DE SANKEY PARA UN PROCESO DE COCCION CON CASCARILLA.

Ellos miden la cantidad de combustible consumido, así como el tiempo requerido para simular la cocción. Son usados para realizar una rápida comparación del rendimiento de diferentes estufas o de la misma estufa bajo diferentes condiciones de operación y cuantificar el rendimiento esperado de la misma.

Los ensayos de agua hirviendo utilizan el agua como si se tratara de comida; la capacidad normalizada es de 2/3 del volumen total de la olla.

Los ensayos de agua hirviendo, incluyen una fase "Alta Potencia" y otra de "Baja Potencia". La fase de ALTA POTENCIA implica el calentamiento de una cantidad determinada de agua de la temperatura ambiente hasta la ebullición tan rápido como sea posible⁽²²⁾. La fase de BAJA POTENCIA, consiste de un calentamiento a un nivel de potencia controlada en el que la generación de vapor simule el calor absorbido, es decir, reducir la potencia al más bajo nivel necesario, manteniéndose dentro del límite de $\pm 5^{\circ}\text{C}$ del punto de ebullición, durante 45 minutos.

Los ensayos de agua hirviendo deben ser repetidos como promedio cuatro veces, para obtener mayor confiabilidad.

EQUIPO UTILIZADO

- Fogón artesanal con tres hornillas*
- Tres ollas No. 26, 22 y 18*
- Balanza electrónica, 10 Kg con exactitud de +/- 5 gr*
- Termómetros de mercurio hasta 105°C*
- Medidor de temperatura tipo K*
- Selector de canales para termocuplas*
- Termocuplas tipo K*
- Medidor de flujo de aire, (VELOMETRO)*
- Analizador de gases Orsat y accesorios*
- Cronómetro*
- Agua a temperatura ambiente*
- Cascarilla*
- Corchos para sujeción de los termómetros.*

PROCEDIMIENTO

El procedimiento en las pruebas de ensayos de agua hirviendo, es el siguiente:

- 1. Anotación de las condiciones climáticas.*

2. *Pesaje de cada olla vacía.*
3. *Pesaje de las ollas llenas de agua hasta $\frac{2}{3}$ de su capacidad.*
4. *Pesaje de la cascarilla estimada a ser utilizada.*
5. *Colocación de termómetro de mercurio en cada olla de manera que se mantengan fijos en el centro a una distancia aproximada de un centímetro entre el bulbo y el fondo de la olla.*
6. *Formar un lecho de cascarilla de manera que cubra totalmente la parrilla perforada.*
7. *Después de comprobar todas las anotaciones pertinentes, se enciende el lecho de cascarilla, procurando formar un buen frente de llama para evitar el ahogamiento inmediato del fuego. Se registra el tiempo exacto del inicio del ensayo de Alta Potencia.*
8. *Se registra regularmente la temperatura del agua en cada olla y cualquier reacción del fuego.*

9. Una vez que la primera olla llega a una vigorosa ebullición, se lleva a cabo:
- Registro del tiempo
 - Registro de la temperatura de cada olla
 - Pesaje de cada olla
 - Registro de la cantidad de cascarilla utilizada.
10. Registradas todas las anotaciones, se regresan las ollas al fogón, procurando no demorar más de cuatro minutos. Se continúa con la fase de Baja Potencia, manteniendo el fuego a un nivel justo para lograr que la temperatura del agua de la primera olla no disminuya más de 5°C debajo de la temperatura de ebullición y utilizando la menor cantidad de cascarilla para evitar una ebullición vigorosa. Se continúa con el registro igual que en el punto 8.
11. Después de 45 minutos de fuego lento, se deberán registrar la temperatura, tiempo y agua remanente de cada olla y combustible consumido.

Las pruebas experimentales se realizaron en siete diferentes condiciones de operación en

el fogón de cascarilla de arroz , para poder evaluar el mejor funcionamiento. En la Tabla XX y la Figura 5.4, se detallan cada uno de las modificaciones en el proceso de perfeccionamiento del fogón.

En el Apéndice D, se dan todos los datos registrados en las pruebas experimentales de ensayos de agua hirviendo.

T A B L A X X

MODIFICACIONES EN LA CONDICION DE OPERACION DEL FOGON

| forma del fogón | (mm) | | | | Desviador (mm) | | Parrilla área libre |
|-----------------|------|-----|-----|-----|-------------------|-----------|---------------------------|
| | X | Y | Z | W | 2da. Olla | 3ra. Olla | |
| F-I | 305 | 250 | 200 | 180 | no | no | 50% |
| F-II | 305 | 250 | 200 | 180 | no | 150x75x40 | 50% |
| F-III | 305 | 250 | 200 | 180 | 190x75x40 | 150x75x40 | 50% |
| F-IV | 280 | 200 | 175 | 155 | no | no | 50% |
| *F-V | 240 | 185 | 170 | 140 | no | no | 50% |
| F-VI | 240 | 185 | 170 | 140 | no | no | 25% |

* Fogón precalentado a 75°C en promedio.

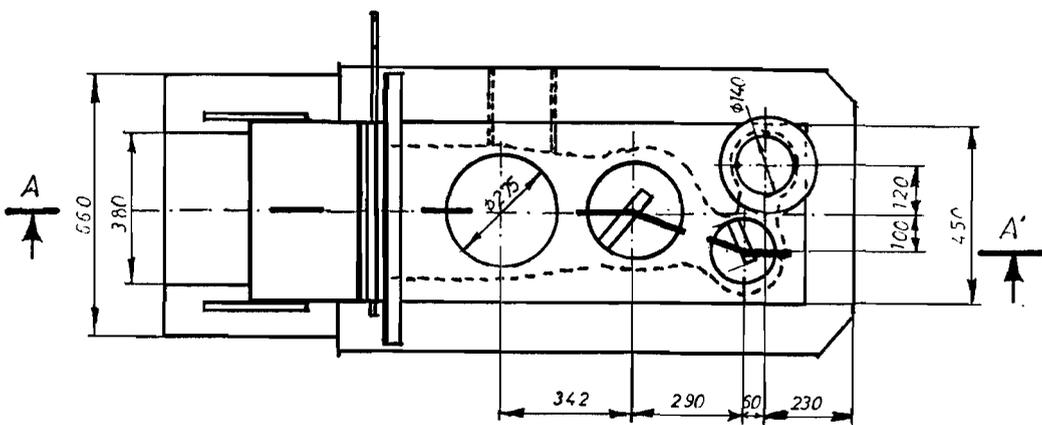
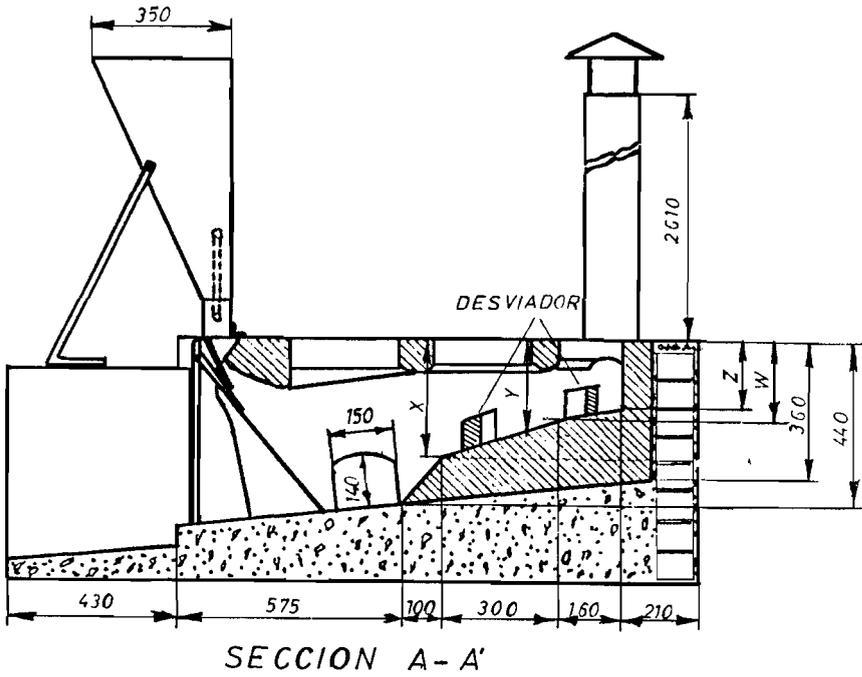


FIGURA 5.4 VARIACION DE PARAMETROS EN EL FOGON.

C A P I T U L O VI

R E S U L T A D O S

Las evaluaciones de cada uno de los factores en los Ensayos de Agua Hirviendo, se obtienen por las siguientes expresiones:

Porcentaje de Calor Utilizado en Alta Potencia

$$PCU)_a \text{ [\%]} = \frac{\Sigma [C_a m_{aa}(T_2-T_1) + m_{va} H_{fg}]}{m_{ca} [(PCS)_{BH} - [19\% PCS)_{CZ} + 8,5\% PCS)_{BH}]}$$

Porcentaje de Calor Utilizado en Baja Potencia

$$PCU)_b \text{ [\%]} = \frac{\Sigma [C_a m_{ab} (T_2-T_1) + m_{vb} H_{fg}]}{m_{cb} [(PCU)_{B.H.} - [19\% PCS)_{CZ} + 8,5\% PCS)_{B.H.}]}$$

Porcentaje de Calor Utilizado en General

$$PCU)_c \text{ [\%]} = \frac{\Sigma [C_a m_{aa} \Delta T + m_{va} H_{fg} + C_a m_{ab} \Delta T + m_{vb} H_{fg}]}{[m_{ca} + m_{cb}] [0,915 \times PCS)_{B.H.} - 0,19 \times PCS)_{CZ}]}$$

Alta Potencia

$$P(a) \text{ [Kw]} = \frac{m_{ca} \times PCS)_{B.H.}}{t_{ab} \times 60}$$

Baja Potencia

$$P(b) \text{ [Kw]} = \frac{m_{CB} \times PCS)_{B.H.}}{2700}$$

Rango de Potencia

$$RP \text{ [Kw]} = P(a) - P(b)$$

Flexibilidad

$$F \text{ [Kw/Kw]} = P(a)/P(b)$$

Consumo Específico

$$CE \text{ [%]} = \frac{\text{Cantidad de combustible quemado}}{\text{Cantidad de comida}} \times 100$$

El porcentaje de monóxido de carbono (CO) y exceso de aire (EA) se obtienen por interpolación del diagrama de Ostwald para cascarilla de arroz.

De acuerdo a los datos del Apéndice D, se obtienen las tablas de resultados (Apéndice E). En la Tabla XXI, se dan los resultados promedios de cuatro pruebas de los Ensayos de Agua Hirviendo para cada una de las condiciones de funcionamiento del fogón experimental para quema de cascarilla de arroz.

También, se realizaron pruebas de ensayos de cocción de alimentos cuyos datos y resultados se reportan en la Tabla XXII.

T A B L A X X I .
R E S U L T A D O S P R O M E D I O S D E L O S E N S A Y O S D E A G U A H I R V I E N D O

| PRUEBA No. | (PCU) _a (%) | (PCU) _b (%) | (PCU) (%) | P(a) (Kw) | P(b) (Kw) | RP (Kw) | F (Kw/Kw) | CE (%) | EA (%) | CO/CO ₂ (%) |
|---------------|---------------------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|------------|--------------|-----------|-----------|---------------------------|
| F-I | 13,74 | 23,80 | 18,29 | 12,17 | 6,13 | 6,04 | 2,01 | 29,96 | 549 | 71 |
| F-II | 17,65 | 29,66 | 23,11 | 13,05 | 4,75 | 8,30 | 2,75 | 23,23 | 700 | 27 |
| F-III | 17,18 | 21,34 | 19,30 | 11,06 | 4,90 | 6,16 | 2,33 | 23,80 | --- | -- |
| F-IV | 17,13 | 23,72 | 20,11 | 10,55 | 5,12 | 5,44 | 2,07 | 24,62 | 568 | 2,8 |
| F-V | 15,38 | 21,91 | 18,30 | 12,84 | 5,23 | 7,61 | 2,46 | 26,25 | 503 | 0 |
| F-VI | 20,88 | 21,21 | 20,88 | 13,32 | 5,29 | 8,04 | 2,58 | 23,01 | 478 | 1,4 |
| F-VII | 16,28 | 19,17 | 17,53 | 13,53 | 5,30 | 8,23 | 2,56 | 26,20 | 1069 | 10,8 |

TABLA XXII.
PRUEBAS DE COCCION

| FORMA DEL FOGON | TEMP. AMB (°C) | TIPO DE OLLA N° | PESO INICIAL | | PESO FINAL TOTAL (Kg) | TIPO DE COMIDA | TIEMPO DE COCCION (min) | CANTIDAD DE CASCARILLA (Kg) | C E (%) |
|-----------------|----------------|-----------------|--------------------|-------------|-----------------------|----------------|-------------------------|-----------------------------|---------|
| | | | AGUA + COMIDA (Kg) | COMIDA (Kg) | | | | | |
| F - II | 29 | 26 | 5,775 | 2,305 | 5,240 | Choclo | 34 | 2,205 | 27,01 |
| | | | 1,150 | 0,365 | 0,950 | Araoz | | | |
| | | | 0,885 | 0,155 | 0,785 | Choclo | | | |
| F - III | 32 | 26 | 5,280 | 1,785 | 4,585 | Choclo | 35 | 2,305 | 26,02 |
| | | | 2,695 | 0,860 | 2,555 | Choclo | | | |
| | | | 0,885 | 0,155 | 0,785 | Choclo | | | |
| F - IV | 29 | 26 | 4,620 | 1,475 | 4,015 | Choclo | 25 | 2,270 | 28,64 |
| | | | 2,150 | 1,475 | 4,015 | Choclo | | | |
| | | | 1,155 | 0,295 | 1,125 | Salchichas | | | |

C A P I T U L O V I I

ANALISIS DE RESULTADOS

Los resultados promedios de cuatro pruebas para el mismo tipo de fogón de los ensayos de agua hirviendo (Tabla XXI), tienen las siguientes características:

- El fogón de la forma F-II posee el mayor porcentaje de calor utilizado del orden de 23,11% en general, presenta mejor condición para el cocimiento lento y prolongado debido a que el valor de PCU, sobrepasó al esperado. El porcentaje de calor utilizado en alta potencia está bien aproximado al valor diseñado con una diferencia de 1,89%, no se alcanzó el porcentaje esperado por a la necesidad de utilizar 0,3 Kg de cascarilla en el encendido inicial.
- Respecto al rango de potencia y flexibilidad las diferencias son mínimas entre los siete tipos de fogones, notándose una mejor disposición al fogón tipo F-II. Estos valores nos indican la capacidad del fogón a ser utilizado tanto en alta como en baja

potencia, cuando la flexibilidad se aproxima a uno o el rango de potencia se acerca a cero. En los siete fogones se notan que tienen marcadas características de funcionamiento y mejores condiciones en baja potencia, porque están distanciados de uno y cero.

- El consumo específico es también una medida de eficiencia del fogón, a menor consumo específico mayor eficiencia ($CE = [c \text{ ATI}] / [n \text{ PCS}]$). Basado en esto, se puede dar cuenta que el fogón de la forma F-II tiene menor consumo específico, por tanto mayor eficiencia.
- Las pruebas se realizaron con un valor promedio de 600% de exceso de aire (F-II), este flujo de aire alcanza a atravesar la camada de cascarilla para la quema del carbón fijo y volátil liberándose casi toda su energía y manteniéndose el frente de llama.
- Las relaciones CO/CO_2 están en rangos bien elevados, ya que el valor máximo admisible para fogones a leña es del orden de 4,5% en potencia máxima⁽¹⁸⁾. No se puede afirmar que el porcentaje de CO sea correcto debido a que las mediciones se realizaron indirectamente por el diagrama de Ostwald en el rango de trabajo de 16 a 20 por ciento de oxígeno, zona de poca resolución y con altos porcentaje de errores al interpolar. Lamentablemente no se pudo determinar

con mayor exactitud el porcentaje de CO con el reactivo de Cloruro Cuproso en el analizador de Orsat por la dificultad de obtenerlo.

- La primera olla alcanza a hervir en primera instancia a los 19 minutos en el fogón F-II, siendo el más rápido, luego la segunda y tercera olla respectivamente, porque la primera olla recibe el calor directo de fuego.
- Es de notar que de los siete fogones no funcionaron: fogones sin desviadores de flujo, fogón con dos desviadores de flujo (F-III) y fogón con reducción de entrada de aire para la combustión del 25%, esto se debe por la falta de turbulencia en los ductos del fogón en unos de los casos y en los otros por el exceso del mismo, produciendo velocidades no convenientes e impidiendo que se efectúe la mejor transferencia de calor. Resultó mejor el fogón con un desviador en la tercera olla (F-II) que es el más eficiente para este tipo de distribución de los hoyos.
- De acuerdo a cada uno de los valores evaluativos las condiciones de los fogones de mejor eficiencia en forma descendente son: F-II, F-VI, F-IV, F-III, F-V, F-VII y F-I. Se puede apreciar que el fogón de la forma F-VI no tiene mejor condición de funcionamiento a pesar que las pruebas se realizaron

precalentando el hogar, debido a que las dimensiones de los ductos no eran los óptimos y perdía demasiado calor en los gases de combustión, las dimensiones de los ductos del fogón no fueron las mismas que del fogón F-II.

- El fogón de la forma F-II, resulta ser el más eficiente para este arreglo de hoyos, porque cumplió con los requerimientos esperados, y además la velocidad de los gases de combustión en la chimenea están dentro del rango de 0,4 a 1 m/s., condición que aproximadamente cumple el fogón de la forma F-II.

Las pruebas de cocción de alimentos (Tabla XXII) para los tres tipos de fogones, resultaron con variaciones mínimas de los consumos específicos presentando mejores características el fogón tipo F-III, pero no se puede afirmar que este es el más eficiente, debido a que en las pruebas de cocinado hubieron variaciones de los elementos de trabajo (alimentos). Las pruebas se efectuaron para establecer que la primera, segunda y tercera olla son utilizadas para un cocimiento intenso, medio y lento respectivamente, puesto que con los ensayos de agua hirviendo se evaluaron perfectamente los rendimientos de los fogones utilizando normas específicas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La zona de posible explotación de la cascarilla de arroz como recurso energético están localizadas en las provincias del Guayas y Los Ríos, formando un área triangular cuyos vértices comprenden los cantones de Daule, Babahoyo y Yaguachi, sectores donde se encuentran las mayores distribuciones de cultivos y plantas procesadoras de arroz, y lógicamente sitios donde se acumulan grandes pilas de cascarilla. Pero es necesario un estudio más detallado de factibilidad de la utilización de estos residuos, que no cuestan prácticamente nada y establecer si resulta rentable o no.

- Las características físico-químicas para la combustión de la cáscara de arroz son casi similares al de la leña, con el inconveniente que la cascarilla produce altos porcentajes de cenizas. La quema de la cascarilla en parrilla inclinada es la manera más eficiente, debido a que hay un mayor control de las zonas de alimentación, combustión y desalojos de cenizas; el ángulo de inclinación adecuado de la parrilla es de 40 grados con respecto a la vertical, en esta posición la

cascarilla circula y alcanza a quemarse y las cenizas se acumulan en la parte inferior del fogón listo para ser evacuados.

- Con las pruebas del fogón para quema de cascarilla de arroz, se experimentó que es posible lograr un buena combustión, de manera inmediata sin previo proceso de acondicionamiento, en este caso para cocción de alimentos. Además, podría ser un recurso alternativo a ser usado por nuestros campesinos en reemplazo de la leña, ya que las pruebas realizadas en fogones domésticos son satisfactorias.

- El fogón presenta buenas condiciones para el cocimiento prolongado en sus tres hornillas. Para freír alimentos el segundo hoyo es el apropiado, en el primer hoyo no es posible colocarla directamente al fuego debido a las altas temperaturas que se alcanzan. En este tipo de fogón, asar alimento no es recomendable porque los gases de combustión fluyen por las zonas donde menos resistencias se oponen. Todos estos requerimientos pueden ser solucionados con accesorios que se pueden añadir para lograr múltiples usos en el fogón.

- El costo del fogón fue de 8.955 sucres que resulta un valor inalcanzable a nuestros campesinos, pero esto valores se deben en su mayor parte al material empleado y

gastos en transporte. Los costos se puede reducir a accesorios como el rodillo dosificador y la parrilla inclinada, ya que el resto de los elementos del fogón se pueden fácilmente hacer con las tierras arcillosa de las zonas rurales.

- La compuerta reguladora de flujo de la chimenea funcionó totalmente abierto en todas las pruebas, por lo que se procurará en fogones artesanales con parrilla inclinada para quema de cáscara de arroz que 9/10 del tiro neto sea para arrastre del aire para la combustión de los volátiles y carbón sólido, y el restante (1/10) para arrastre del gas combustible a través de los ductos del fogón (segunda y tercer ollas), de esta manera se obtiene una correcta mezcla del aire con el combustible logrando la quema casi total del carbón en la estructura de sílice de la cascarilla, estos requerimientos los cumplió en fogón tipo F-II.

- En diseños futuros de este tipo de fogón se deberá colocar las ollas linealmente, para evitar excesivas caídas de presión en ductos, codos y reducciones, logrando así que la segunda y tercera olla no reciban el calor convectivo uniformemente. Además se deberá seguir probando un sistema de alimentación continuo por gravedad, para evitar controlar la dosificación de cascarilla.

- Con estas pruebas se dejan sentadas una serie de inquietudes para futuros trabajos en la quema industrial de cascarilla de arroz donde es más conveniente, de esta manera se daría solución a problemas comunes en nuestras piladoras. El paso inmediato es utilizar la cascarilla como combustible en secadores de granos e ir dotando de una alternativa para el aumento y mejoramiento de la producción de arroz de mejor calidad en la piladoras de segunda y tercera categoría donde existen más dificultades de secado.

- La cascarilla de arroz tiene la ventaja de no solo aprovecharse su potencial energético por medio de la combustión sino también sus cenizas, solucionándose los problemas de la excesiva producción de las mismas que poseen múltiples aplicaciones, de esta manera crear nuevas fuentes de trabajo que mejorarían las condiciones de las zonas rurales y aumentaría la productividad del País.

- Los gobiernos de turno deberían extender mayores incentivos a los propietarios de molinos, que utilicen sus propios combustibles naturales, de esta manera ir desarrollando y mejorando técnicas de utilización de la energía biomásica que en nuestro País no es aprovechada todavía, quemándose a la intemperie o contaminando el ambiente formando depósitos de desperdicios.

A P E N D I C E S

APENDICE A
.....

RENDIMIENTO DE PILADO EN VARIAS ZONAS ARROCERAS

| ZONA | VARIEDAD | % ARROZ | % ARROCILLO | % POLVILLO | % CASCARILLA |
|--------------|----------------|---------|-------------|------------|--------------|
| Ventanas | Donato patucho | 48,36 | 3,21 | 15,16 | 33,27 |
| Vía Valencia | Donato patucho | 55,96 | 2,67 | 13,10 | 28,27 |
| Ventanas | Donato patucho | 59,50 | 3,32 | 9,58 | 27,60 |
| Babahoyo | Donato patucho | 49,87 | 3,12 | 14,68 | 32,33 |
| Montalvo | Donato patucho | 58,66 | 6,00 | 13,67 | 21,67 |
| Yaguachi | Donato patucho | 60,33 | 2,67 | 14,00 | 23,00 |
| Catarama | Donato patucho | 62,33 | 3,33 | 14,07 | 20,27 |
| Yaguachi | Donato patucho | 60,34 | 3,33 | 14,60 | 21,73 |
| Vernaza | Donato patucho | 58,60 | 3,73 | 16,00 | 21,67 |
| Vía Valencia | Donato | 58,58 | 2,63 | 11,86 | 26,93 |
| Montalvo | Donato | 38,54 | 10,13 | 16,33 | 35,00 |
| Montalvo | Donato | 60,00 | 3,80 | 15,53 | 20,67 |
| San Juan | Donato | 62,67 | 3,33 | 13,67 | 20,33 |
| Ricaurte | Donato | 59,00 | 5,33 | 13,00 | 22,67 |
| Catarama | Donato | 59,67 | 3,40 | 14,73 | 22,20 |

viene Apéndice A.

| | | | | | |
|-------------|---------------|-------|-------|-------|-------|
| Catarama | Donato | 60,66 | 2,67 | 14,67 | 22,00 |
| San Juan | Donato | 59,87 | 4,00 | 15,13 | 21,00 |
| Ricaute | Donato | 60,33 | 4,67 | 13,67 | 21,33 |
| Pueblobiejo | Donato grande | 63,46 | 3,20 | 14,47 | 18,87 |
| Mocache | Lira | 61,70 | 4,23 | 10,47 | 23,60 |
| Ventanas | Lira | 58,88 | 2,85 | 10,60 | 27,67 |
| Quevedo | Lira | 58,50 | 4,21 | 11,42 | 25,87 |
| Mocache | Juma | 59,32 | 3,25 | 10,50 | 26,93 |
| Ventanas | Taylan | 54,85 | 4,50 | 10,58 | 30,07 |
| El Triunfo | Taylan | 49,30 | 3,50 | 15,20 | 32,00 |
| Babahoyo | Taylan | 53,88 | 4,20 | 14,05 | 27,87 |
| El Triunfo | Medellín | 59,96 | 5,00 | 12,77 | 22,27 |
| El Triunfo | Medellín | 50,08 | 13,00 | 14,52 | 22,40 |
| Tres Postes | Corriente | 51,34 | 11,60 | 12,39 | 24,67 |
| Yaguachi | 100 días | 45,46 | 6,00 | 25,61 | 22,93 |
| Yaguachi | 1001 | 52,60 | 4,20 | 12,67 | 30,53 |
| Yaguachi | 1001 | 60,07 | 4,00 | 12,53 | 23,40 |
| Yaguachi | 1001 | 55,99 | 5,10 | 12,58 | 26,33 |
| Salitre | Dormilón | 56,33 | 4,00 | 16,60 | 23,07 |

Viene Apéndice A

| | | | | | |
|-------------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| Vernaza | Dominión | 61,60 | 2,67 | 14,40 | 21,33 |
| Salitre | Canilla | 58,67 | 3,00 | 15,33 | 23,00 |
| Balzar | Rexona | 62,00 | 3,10 | 15,50 | 19,40 |
| Balzar | Híbrido | 59,40 | 4,50 | 14,40 | 21,70 |
| Mocache | INIAP-415 | 65,07 | 4,00 | 7,73 | 23,20 |
| Vía Quevedo | INIAP-415 | 63,69 | 2,20 | 8,91 | 25,20 |
| El Trúñfo | INIAP-415 | 63,32 | 3,10 | 8,38 | 25,20 |
| El Trúñfo | INIAP-415 | 60,79 | 2,00 | 13,54 | 23,67 |
| Babahoyo | INIAP-415 | 58,81 | 3,00 | 11,86 | 26,33 |
| El Trúñfo | INIAP-415 | 53,66 | 9,00 | 13,41 | 23,93 |
| Quevedo | INIAP-415 | 60,45 | 4,00 | 12,55 | 23,00 |
| El Trúñfo | INIAP-415 | 60,12 | 4,20 | 9,88 | 25,80 |
| Quevedo | INIAP-415 | 56,86 | 3,00 | 14,14 | 26,00 |
| Dauile | INIAP-415 | 66,00 | 2,00 | 11,13 | 20,87 |
| Dauile | INIAP-415 | 62,79 | 3,07 | 10,47 | 23,67 |
| Dauile | INIAP-415 | 48,47 | 10,87 | 13,33 | 27,33 |
| Dauile | INIAP-415 | 64,13 | 2,47 | 10,67 | 22,73 |
| Dauile | INIAP-415 | 62,94 | 3,73 | 11,33 | 22,00 |
| Dauile | INIAP-415 | 59,20 | 2,80 | 13,13 | 24,87 |

vieve Apéndice A

| | | | | | |
|----------------------|-----------|-------|------|-------|-------|
| <i>Daule</i> | INIAP-415 | 59,13 | 5,33 | 13,87 | 21,67 |
| <i>Daule</i> | INIAP-415 | 60,40 | 5,00 | 12,27 | 22,33 |
| <i>Daule</i> | INIAP-415 | 61,67 | 3,30 | 12,20 | 22,83 |
| <i>Daule</i> | INIAP-415 | 62,67 | 4,00 | 11,33 | 22,00 |
| <i>Daule</i> | INIAP-415 | 63,99 | 2,67 | 12,67 | 20,67 |
| <i>Daule</i> | INIAP-415 | 49,33 | 4,33 | 13,01 | 33,33 |
| <i>Naranjal</i> | INIAP-415 | 60,60 | 4,53 | 11,87 | 23,00 |
| <i>Naranjal</i> | INIAP-415 | 57,67 | 5,33 | 12,33 | 24,67 |
| <i>Naranjal</i> | INIAP-415 | 64,13 | 2,47 | 11,20 | 22,20 |
| <i>Vinces</i> | INIAP-415 | 60,33 | 4,67 | 13,67 | 21,33 |
| <i>J. B. Agúrrre</i> | INIAP-415 | 65,00 | 1,67 | 12,93 | 20,40 |
| <i>J. B. Agúrrre</i> | INIAP-415 | 65,66 | 1,87 | 11,47 | 21,00 |
| <i>Daule</i> | INIAP-415 | 60,07 | 2,50 | 11,28 | 26,15 |
| <i>Daule</i> | INIAP-415 | 55,00 | 2,72 | 14,48 | 27,80 |
| <i>Daule</i> | INIAP-415 | 54,87 | 3,00 | 17,66 | 24,47 |
| <i>Daule</i> | INIAP-415 | 58,13 | 4,53 | 14,87 | 22,47 |

PROMEDIO

58,41

4,13

13,15

24,29

A P E N D I C E B

ANALISIS DEL PODER CALORIFICO DE LA CASCARILLA Y CENIZAS.

El poder calorífico de la cascarilla se determinó en el Instituto de Química, ESPOL, de cuatro muestras tomadas al azar de la pila de cascarilla, para establecer las condiciones de nuestros combustibles. Ver resultados en el Apendice B.1.

En vista que la combustión de la cascarilla no es totalmente uniforme, ya que se forman cascarilla rosácea y carbonosa, se hizo necesario determinar el poder calorífico o el análisis inmediato de este residuo de cenizas. Se realizaron análisis de cuatro muestras de cenizas y una muestra de carbón de briqueta de cascarilla en la Facultad de Minas y Petróleo de ESPOL, como se muestra los resultados en el Apéndice B.2.

Debido a que el poder calorífico de la cenizas de cascarilla no es detectado por la bomba calorimétrica, este es posible calcular a partir del análisis inmediato del carbón vegetal por la fórmula de GOUTAL⁽¹⁷⁾, siempre

y cuando que el porcentaje de materias volátiles no sobrepasen el 40%.

$$PCS \text{ (Kcal/Kg)} = (82 C + AV)$$

donde: PCS = Poder calorífico superior.

C = Porcentaje de carbón fijo.

V = Porcentaje de materia volátil.

A = Coeficiente dado por la relación $V/(V+C)$

(Apéndice B.3.).

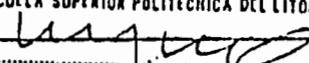
Esta fórmula es de gran importancia porque, a través del análisis inmediato del carbón, es posible obtener un valor bien aproximado del poder calorífico del carbón.

APENDICE B.3

VALORES DE A EN FUNCION DE LA RELACION V/V+C.

| $V/(V+C)$ | A |
|-----------|-----|
| < 0,05 | 150 |
| 0,05 | 145 |
| 0,10 | 130 |
| 0,15 | 117 |
| 0,20 | 109 |
| 0,25 | 103 |
| 0,30 | 96 |
| 0,35 | 89 |
| 0,40 | 80 |

APENDICE B.1.

| ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL INSTITUTO DE QUIMICA | | AREA DE EXTENSION | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------|
| SOLICITANTE: | DR. ALFREDO BARRIGA | | | | |
| MUESTRAS (Cantidad): | (4) cascarillas de arroz | | | | |
| PARAMETROS SOLICITADOS | % humedad, cenizas y poder calorífico | | | | |
| | | | | | |
| TIPO DE ANALISIS | CUANTITATIVO | x | CUALITATIVO | | OTROS |
| ANALISIS EFECTUADO | RESULTADOS SOBRE MUESTRA | | | | |
| | #1 | #2 | #3 | #4 | |
| HUMEDAD (%) | 7,52 | 6,70 | 7,26 | 6,96 | |
| CENIZAS (%) | 18,36 | 19,82 | 18,31 | 19,25 | |
| PODER CALORIFICO (Cal/g) | 3357,00 | 3531,45 | 3418,50 | 3265,99 | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| OBSERVACIONES: FECHA DE ENTREGA: 28 de julio de 1986 Estos resultados sustituyen a la Hoja de Reportes que se entregó el día 28 de mayo del presente año, en esa ocasión se cometió el error de reportar las cenizas con valores elevados. Los valores de este informe concernientes a cenizas han sido revisados y son los verdaderos. | | | | | |
| ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL | | | | | |
| FECHA DE SOLICITUD: | Abril 30 de 1986 | |  Ing. Mariano Alvarado Quijón Director del Instituto de Química | | |

APENDICE B.2

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 FACULTAD DE GEOLOGIA MINAS Y PETROLEO.

ANALISIS- DE CARBONES

Solicitado por: Ing. Jorge Duque (Proyecto "fuerza motriz") Fecha: 10 de septiembre de 1986
 Facultad I.M. ESPOL
 N° de muestras: 5 Analista: Tec. Min. Pedro López

| MUESTRA | 1 | 2 | 3 | 4 | Brique ta. | | | | | | | |
|-------------------------|------|------|------|-----|---------------|--|--|--|--|--|--|--|
| HUMEDAD % | 2 | 1,8 | 0,9 | 0,6 | 1,9 | | | | | | | |
| CEJIZAS % | 93,8 | 93,9 | 92,2 | 97 | 39,1 | | | | | | | |
| VOLATILES % | 4,1 | 4 | 6,3 | 2,2 | 22,9 | | | | | | | |
| CARBON FIJO % | 0,1 | 0,3 | 0,6 | 0,2 | 36,1 | | | | | | | |
| AZUFRE % | | | | | 0,2 | | | | | | | |
| VALOR CALORIFICO cal/gr | | | | | 3.345 | | | | | | | |

A P E N D I C E C

SECUENCIAS DE FOTOS EN LA EJECUCION DEL PROYECTO



FIGURA C.1. QUEMA DE LA CASCARILLA EN PILA.



FIGURA C.2. CENIZAS ROSACEAS Y CARBONOSAS.

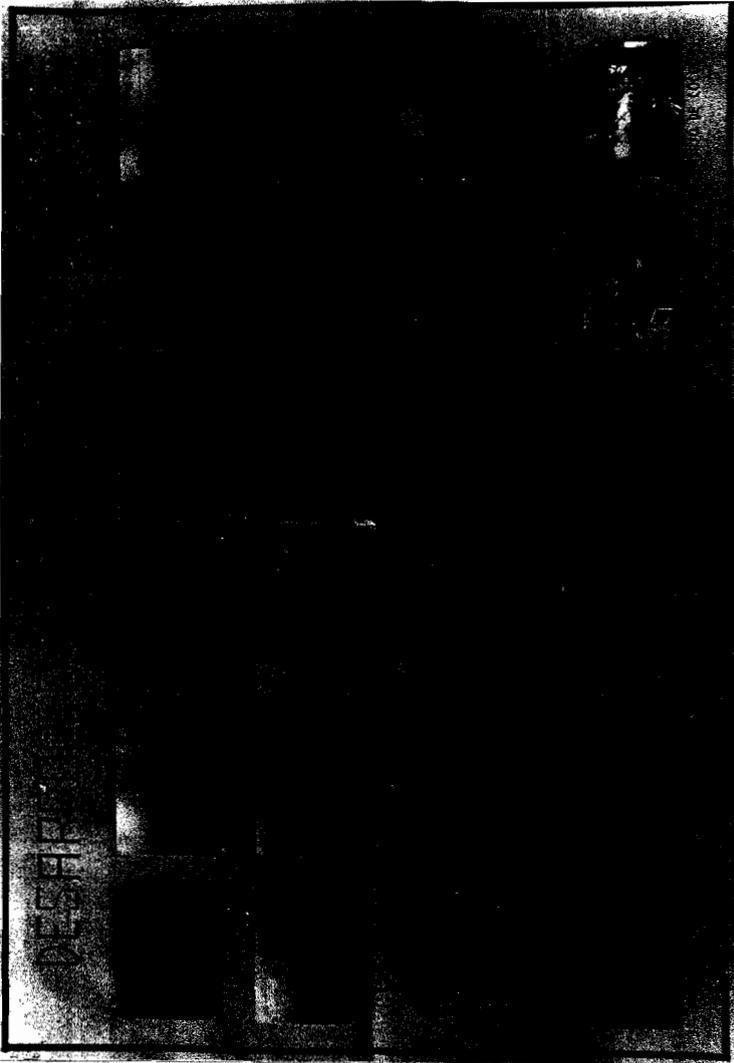


FIGURA C.3 FASES DEL PROYECTO

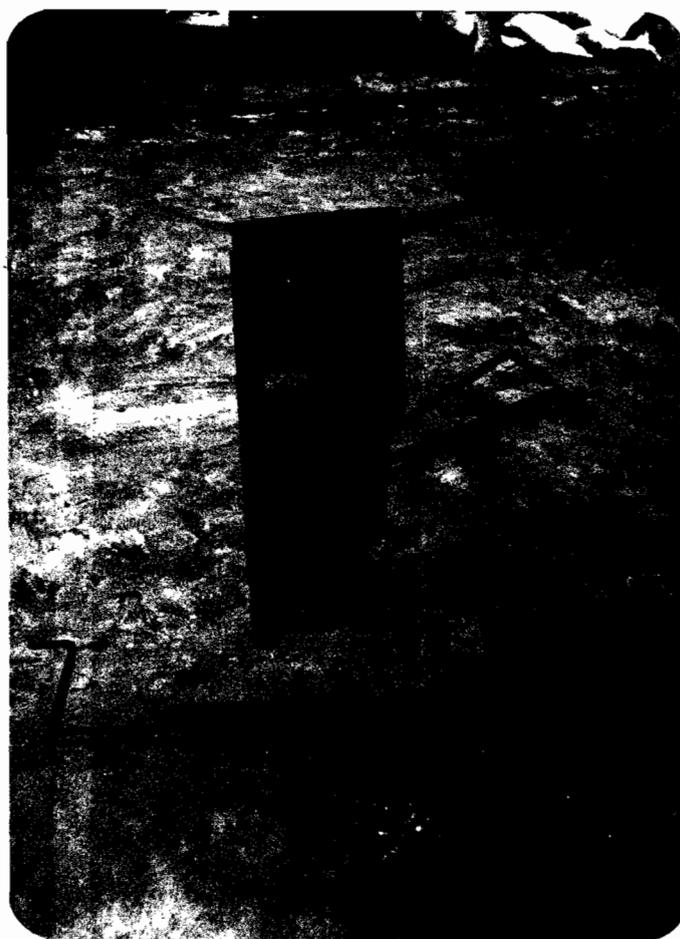


FIGURA C.4. TOLVA DE ALIMENTACION POR COMPUERTA.

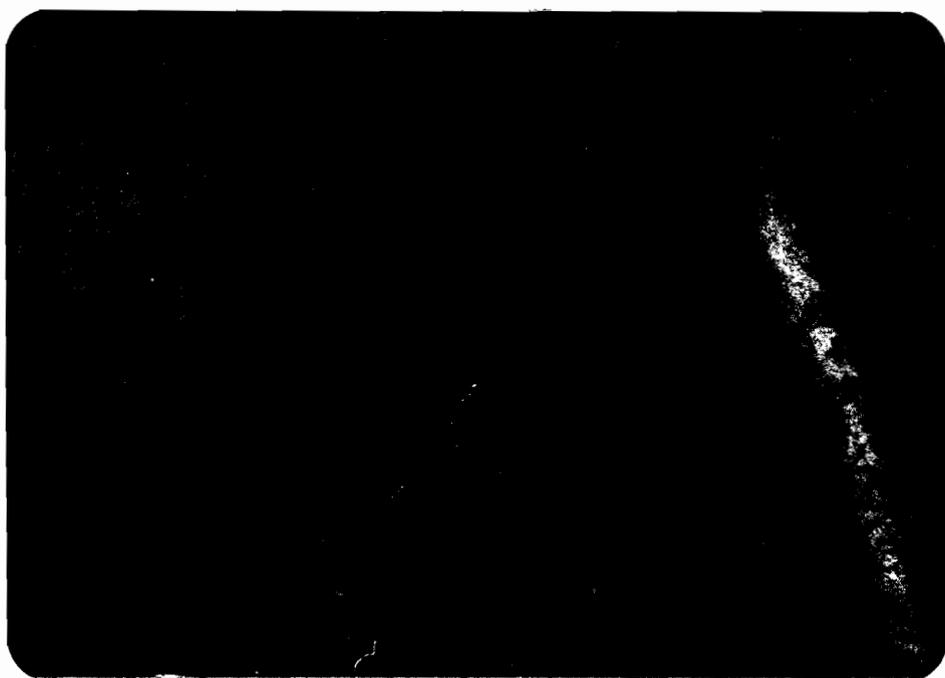


FIGURA C.5. TIPOS DE PARRILLAS EMPLEADAS.



FIGURA C.6. DESALOJO DE CENIZAS.



FIGURA C.7. ENSAYOS DE AGUA HIRVIENDO.



FIGURA C.8. PRUEBAS DE COCCION.

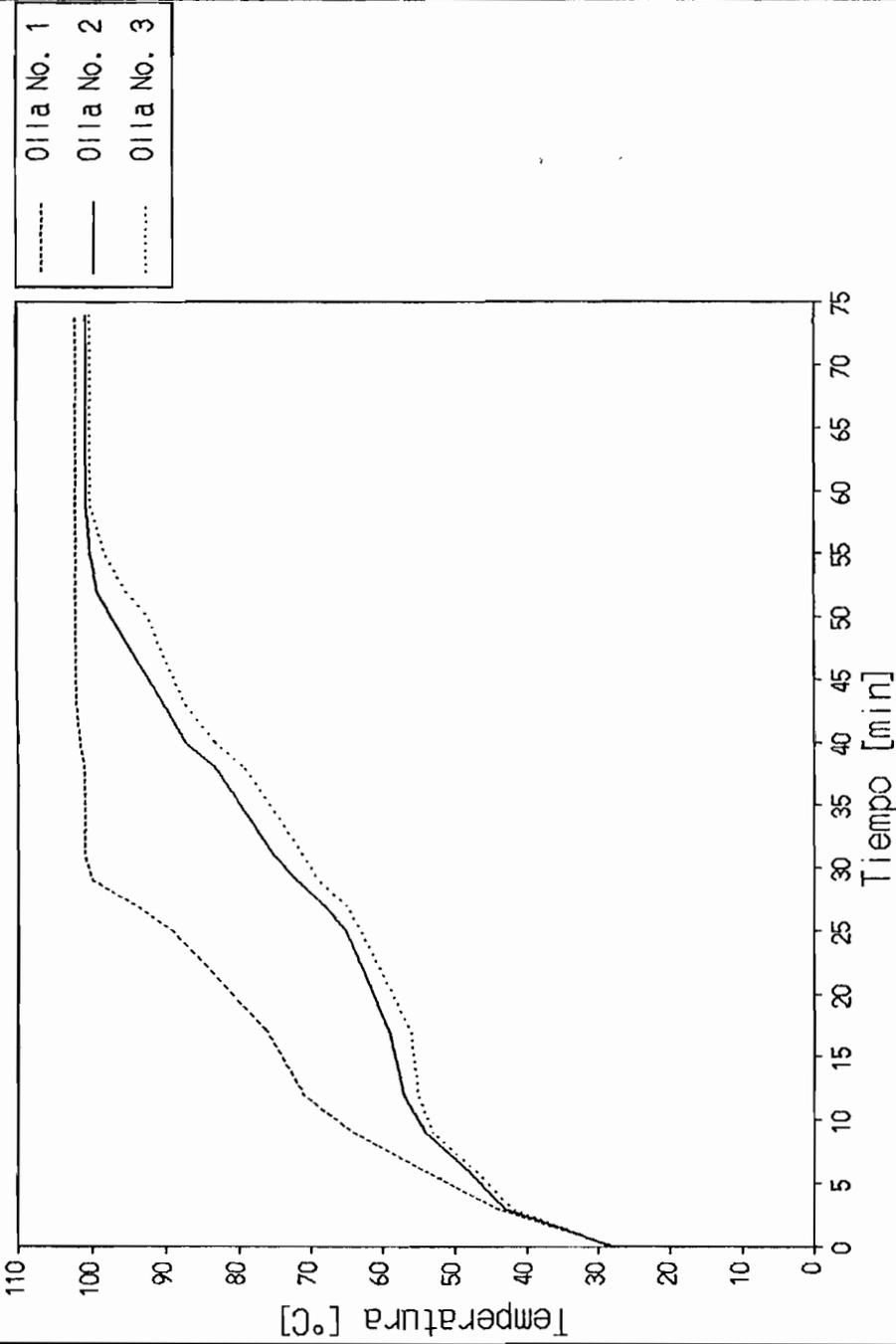
A P E N D I C E D

DATOS EXPERIMENTALES DE LOS ENSAYOS DE AGUA HIRVIENDO

APENDICE D.1
DATOS EXPERIMENTALES, TIPO F-I

| PRUEBA N° | TEMP AMB. (°C) | \bar{T}_{ch} (°C) | TIPO DE OLLA N° | AGUA INICIAL (Kg) | | AGUA EVAPORADA (Kg) | | $T_f - T_i$ (°C) | | TIEMPO EN EBULLIR (min) | CANTIDAD DE CASCARILLA (Kg) | | O ₂ (%) | CO ₂ (%) |
|--------------|----------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------|---------------------------|-------------|---------------------|-------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------|-----------------------|------------------------|
| | | | | Alta Pot | Baja Pot | Alta Pot | Baja Pot | Alta Pot | Baja Pot | | Alta Pot | Baja Pot | | |
| 1 | 25 | 0,421 | 26 | 5,290 | 5,270 | 0,020 | 0,975 | 72 | 2 | 34 | 1,480 | 1,230 | 18,5-19,0 | 1,0-1,5 |
| | | | 22 | 2,995 | 2,995 | -- | 0,065 | 42 | 32 | 66 | 1,565 | 1,235 | | |
| | | | 16 | 1,215 | 1,215 | -- | 0,030 | 41,5 | 31 | 79 | | | | |
| 2 | 28 | 0,203 | 26 | 5,290 | 5,275 | 0,015 | 1,345 | 72 | 3 | 20,5 | 1,587 | 1,453 | 17,5-18,0 | 3,0-2,5 |
| | | | 22 | 2,995 | 2,990 | 0,005 | 0,140 | 47 | 27 | 36 | | | | |
| | | | 16 | 1,215 | 1,210 | 0,005 | 0,060 | 49 | 24 | 36 | | | | |
| 3 | 30 | 0,600 | 26 | 5,290 | 5,275 | 0,015 | 1,280 | 70 | 2 | 37 | 1,577 | 1,258 | 18,0-19,0 | 2,5-1,0 |
| | | | 22 | 2,995 | 2,995 | -- | 0,105 | 42,5 | 28 | 65 | | | | |
| | | | 16 | 1,215 | 1,215 | -- | 0,055 | 49 | 20 | 65 | | | | |
| 4 | 28 | 0,528 | 26 | 5,290 | 5,265 | 0,025 | 1,130 | 73 | 2 | 24 | 1,577 | 1,258 | 18,0-19,0 | 2,5-1,0 |
| | | | 22 | 2,995 | 2,995 | -- | 0,055 | 45 | 28,5 | 54 | | | | |
| | | | 16 | 1,215 | 1,210 | 0,005 | 0,045 | 52 | 21 | 53 | | | | |

APENDICE D.2. CURVAS DE TEMPERATURA VS. TIEMPO, TIPO F-I

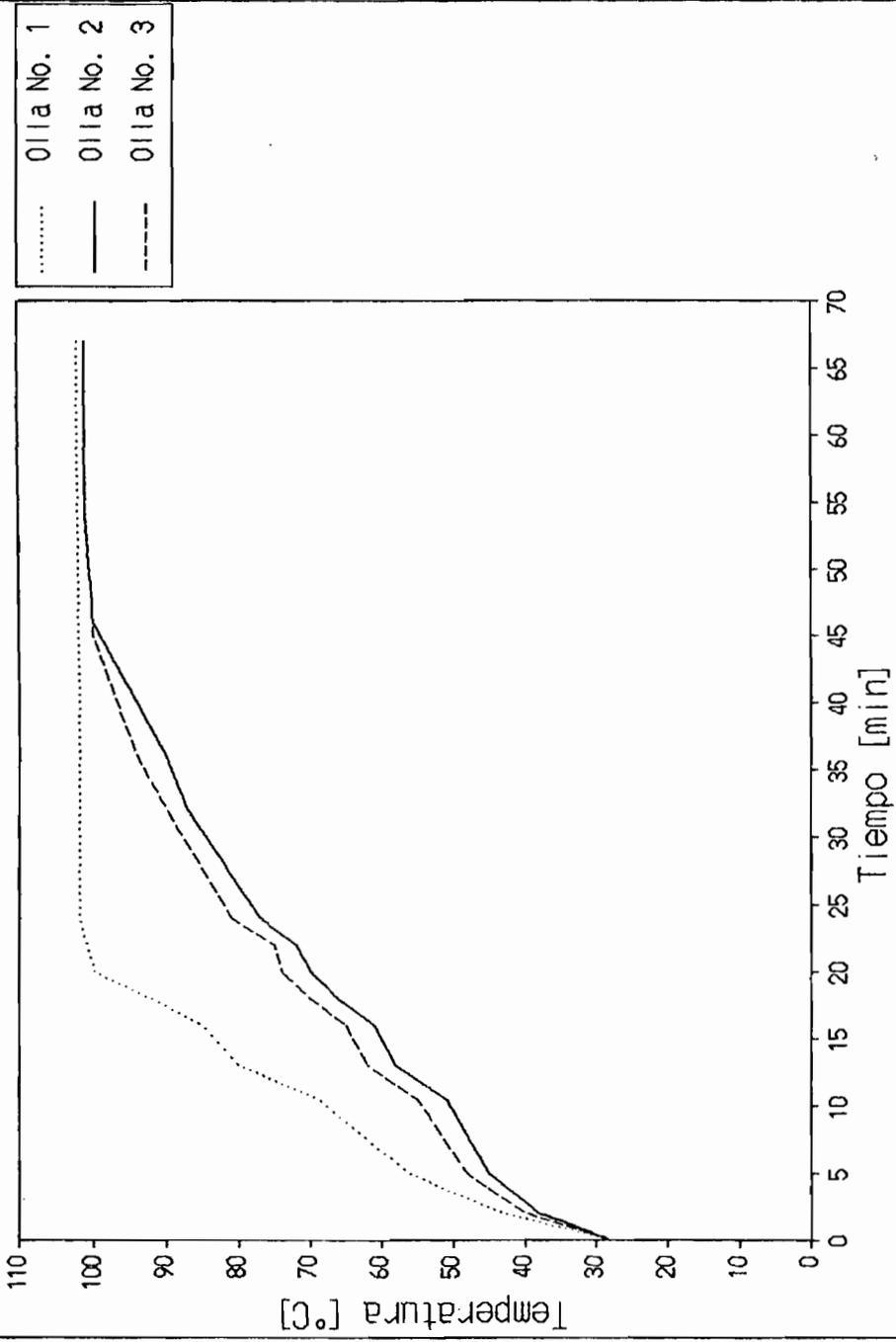


J. CHAO

APENDICE D.3
DATOS EXPERIMENTALES, TIPO F-II

| PRUEBA N° | TEMP AMB. (°C) | \bar{T}_{ch} (°C) | TIPO DE OLLA N° | AGUA INICIAL (Kg) | | AGUA EVAPORADA (Kg) | | $T_f - T_i$ (°C) | | TIEMPO EN EBULLIR (min) | CANTIDAD DE CASCARILLA (Kg) | | O ₂ (%) | CO ₂ (%) |
|-----------|----------------|---------------------|-----------------|-------------------|----------|---------------------|----------|------------------|----------|-------------------------|-----------------------------|----------|--------------------|---------------------|
| | | | | Alta Pot | Baja Pot | Alta Pot | Baja Pot | Alta Pot | Baja Pot | | Alta Pot | Baja Pot | | |
| 1 | 29 | 169 | 26 | 5,290 | 5,270 | 0,020 | 1,295 | 71 | 2 | 19 | 1,225 | 1,060 | 19-18,5 | 1,0-2,5 |
| | | | | 2,995 | 2,990 | 0,005 | 0,090 | 42 | 28 | 50 | | | | |
| | | | | 1,215 | 1,215 | -- | 0,025 | 40 | 31 | 63 | | | | |
| 2 | 28 | 160 | 26 | 5,290 | 5,250 | 0,040 | 1,105 | 72 | 2 | 22,5 | 1,275 | 1,020 | 17 | 3,5 |
| | | | | 2,995 | 2,985 | 0,010 | 0,095 | 40 | 32 | 47 | | | | |
| | | | | 1,215 | 1,205 | 0,010 | 0,080 | 50 | 23 | 32 | | | | |
| 3 | 28 | 158 | 26 | 5,290 | 5,265 | 0,025 | 1,035 | 72,5 | 2 | 19 | | | --- | --- |
| | | | | 2,995 | 2,990 | 0,005 | 0,070 | 42,5 | 31 | 42,5 | 1,125 | 0,915 | | |
| | | | | 1,215 | 1,210 | 0,005 | 0,060 | 49,5 | 23 | 41,5 | | | | |
| 4 | 30 | 135 | 26 | 5,290 | 5,270 | 0,020 | 1,040 | 71 | 2 | 18,5 | | | --- | --- |
| | | | | 2,995 | 2,990 | 0,005 | 0,095 | 42 | 31 | 43,5 | 1,195 | 1,015 | | |
| | | | | 1,215 | 1,215 | -- | 0,050 | 46 | 27 | 43 | | | | |

APENDICE D.4. CURVAS DE TEMPERATURA VS. TIEMPO, TIPO F-11

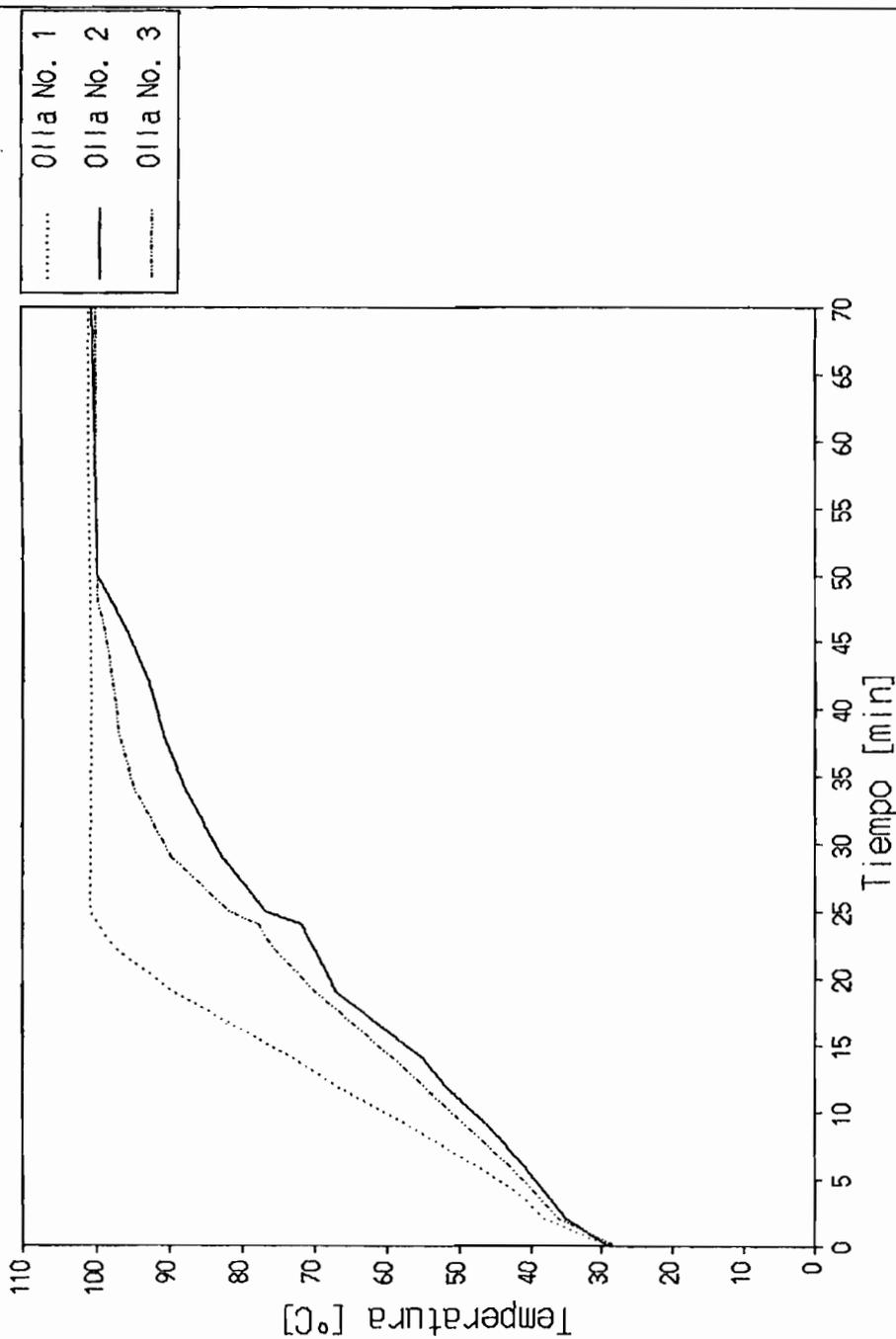


J. CHAO

APENDICE D.5
 DATOS EXPERIMENTALES, TIPO F-III

| PRUEBA N° | TEMP. AMB. (°C) | \bar{T}_{ch} (°C) | TIPO DE OLLA N° | AGUA INICIAL (Kg) | | AGUA EVAPORADA (Kg) | | $T_i - T_f$ (°C) | | TIEMPO EN EBULLIR (min) | CANTIDAD DE CASCARILLA (Kg) | | O ₂ (%) | CO ₂ (%) |
|-----------|-----------------|---------------------|-----------------|-------------------|-----------|---------------------|-----------|------------------|-----------|-------------------------|-----------------------------|-----------|--------------------|---------------------|
| | | | | Alta Pot. | Baja Pot. | Alta Pot. | Baja Pot. | Alta Pot. | Baja Pot. | | Alta Pot. | Baja Pot. | | |
| 1 | 30 | 156 | 26 | 5,290 | 5,250 | 0,040 | 0,075 | 71 | 1 | 23 | | | | |
| | | 1,324 | 22 | 2,995 | 2,990 | 0,005 | 0,080 | 43 | 28 | 53 | 1,240 | 0,080 | -- | -- |
| | | | 16 | 1,215 | 1,210 | 0,005 | 0,045 | 49 | 22 | 42 | | | | |
| 2 | 30 | 180 | 26 | 5,290 | 5,270 | 0,020 | 0,955 | 71 | 2 | 25 | | | | |
| | | 1,354 | 22 | 2,995 | 2,995 | -- | 0,055 | 41 | 30 | 60 | 1,170 | 0,995 | -- | -- |
| | | | 16 | 1,215 | 1,215 | -- | 0,015 | 44,5 | 28 | 62 | | | | |
| 3 | 28 | 198 | 26 | 5,290 | 5,270 | 0,020 | 1,010 | 71 | 2 | 20 | | | | |
| | | 1,476 | 22 | 2,995 | 2,995 | -- | 0,105 | 41,5 | 30 | 43 | 1,165 | 1,070 | -- | -- |
| | | | 16 | 1,215 | 1,210 | 0,005 | 0,050 | 47 | 25 | 42 | | | | |
| 4 | 28 | 169 | 26 | 5,290 | 5,250 | 0,040 | 1,130 | 71 | 1,5 | 28 | | | | |
| | | 1,476 | 22 | 2,995 | 2,990 | 0,005 | 0,135 | 44 | 27 | 44,5 | 1,360 | 1,270 | -- | -- |
| | | | 16 | 1,215 | 1,215 | -- | 0,045 | 43 | 29 | 47 | | | | |

APENDICE D.6.
CURVAS DE TEMPERATURA VS. TIEMPO, TIPO F-III

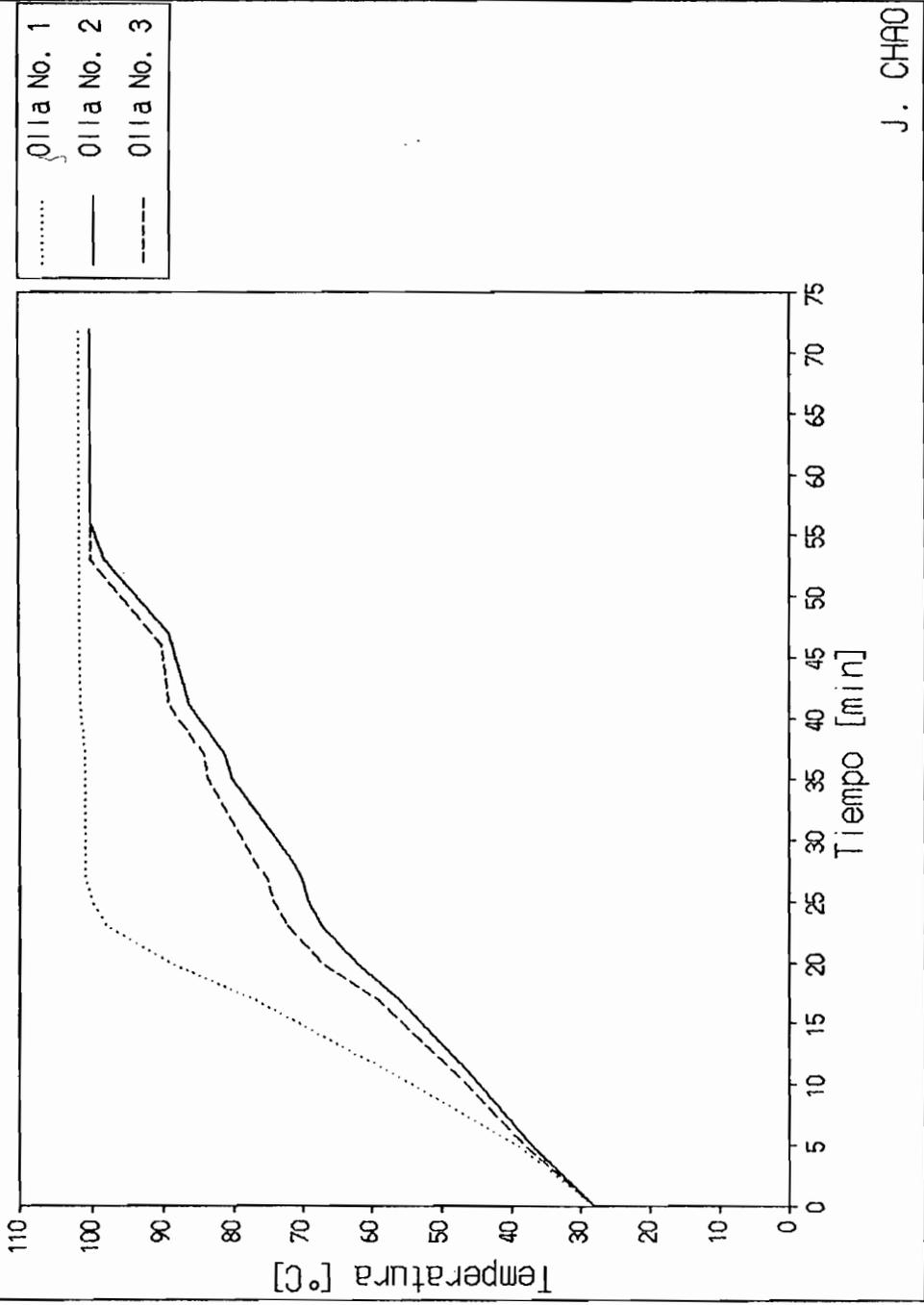


J. CHAO

APENDICE D.7
DATOS EXPERIMENTALES, TIPO F-IV

| PRUEBA N° | TEMP AMB. (°C) | \bar{T}_{ch} (°C) | TIPO DE OLLA N° | AGUA INICIAL (Kg) | | AGUA EVAPORADA (Kg) | | $T_i - T_f$ (°C) | | TIEMPO EN EBULLIR (min) | CANTIDAD DE CASCARILLA (Kg) | | O ₂ (%) | CO ₂ (%) | |
|--------------|----------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------|---------------------------|-------------|---------------------|-------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------|-----------------------|------------------------|--|
| | | | | Alta Pot | Baja Pot | Alta Pot | Baja Pot | Alta Pot | Baja Pot | | | | | | |
| 1 | 26 | 157 | 26 | 5,290 | 5,265 | 0,025 | 1,025 | 72 | 1,5 | 21 | | | | | |
| | | | | 2,995 | 2,995 | -- | 0,065 | 41 | 31 | 50 | 1,205 | 1,140 | | | |
| | | | | 1,215 | 1,215 | -- | 0,060 | 49,5 | 23 | 50 | | | | | |
| 2 | 27 | 157 | 26 | 5,290 | 5,265 | 0,025 | 0,985 | 71,5 | 1,5 | 28 | | | | | |
| | | | | 2,995 | 2,990 | 0,005 | 0,070 | 44,5 | 28 | 55 | 1,285 | 1,15 | 18 | 2,8 | |
| | | | | 1,215 | 1,210 | 0,005 | 0,045 | 53 | 19 | 46 | | | | | |
| 3 | 28 | 167 | 26 | 5,290 | 5,245 | 0,045 | 0,980 | 72 | 1 | 29,5 | | | | | |
| | | | | 2,995 | 2,985 | 0,010 | 0,095 | 44 | 29 | 62 | 1,315 | 0,940 | 14,0-18,4 | 6,6-2,4 | |
| | | | | 1,215 | 1,210 | 0,005 | 0,040 | 49 | 23 | 64 | | | | | |
| 4 | 26 | 153 | 26 | 5,290 | 5,265 | 0,025 | 0,815 | 72 | 1,5 | 24,5 | | | | | |
| | | | | 2,995 | 2,990 | 0,005 | 0,035 | 41 | 32 | 59 | 1,230 | 1,090 | 16,3-19,0 | 4,5-2,0 | |
| | | | | 1,215 | 1,210 | 0,005 | 0,020 | 45,5 | 26 | 53,5 | | | | | |

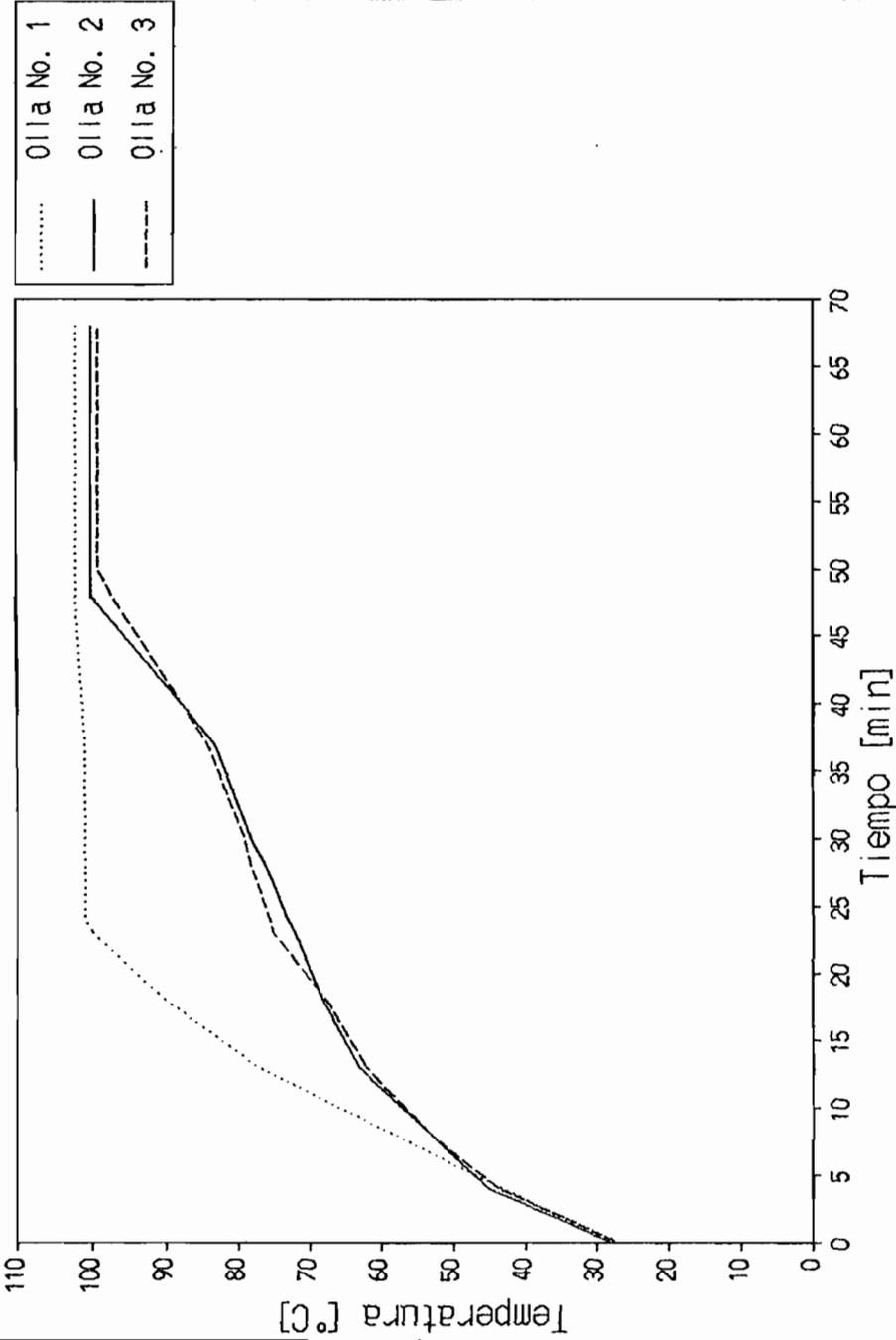
APENDICE D.8. CURVAS DE TEMPERATURA VS. TIEMPO, TIPO F-IV



APENDICE D.9
DATOS EXPERIMENTALES, TIPO F-V

| PRUEBA N° | TEMP AMB. (°C) | \bar{T}_{ch} (°C) | TIPO DE OLLA N° | AGUA INICIAL (Kg) | | AGUA EVAPORADA (Kg) | | $T_f - T_i$ (°C) | | TIEMPO EN EBULLIR (min) | CANTIDAD DE CASCARILLA (Kg) | | O ₂ (%) | CO ₂ (%) |
|--------------|----------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------|---------------------------|-------------|---------------------|-------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------|-----------------------|------------------------|
| | | | | Alta Pot | Baja Pot | Alta Pot | Baja Pot | Alta Pot | Baja Pot | | Alta Pot | Baja Pot | | |
| 1 | 30 | 158 | 26 | 5,290 | 5,265 | 0,025 | 1,140 | 69,5 | 1 | 21 | | | | |
| | | | | 2,995 | 2,990 | 0,005 | 0,085 | 43,5 | 26 | 1,450 | 1,275 | 15,8-17,6 | 5,2-3,3 | |
| | | | | 1,215 | 1,215 | -- | 0,025 | 43 | 26 | | | | | |
| 2 | 25 | 145 | 26 | 5,290 | 5,270 | 0,020 | 0,885 | 72 | 1,5 | 26 | | | | |
| | | | | 2,995 | 2,990 | 0,005 | 0,045 | 42,5 | 30 | 1,345 | 1,080 | 15,3-19,0 | 6,0-3,0 | |
| | | | | 1,215 | 1,210 | 0,005 | 0,020 | 44,5 | 23 | | | | | |
| 3 | 24 | 100 | 26 | 5,290 | 5,255 | 0,035 | 0,765 | 73 | 2 | 26 | | | | |
| | | | | 2,995 | 2,990 | 0,005 | 0,010 | 43,5 | 25 | 1,385 | 0,950 | -- | -- | |
| | | | | 1,215 | 1,215 | -- | 0,005 | 40 | 14 | | | | | |
| 4 | 28 | 174 | 26 | 5,290 | 5,275 | 0,015 | 1,000 | 74 | 2 | 20,5 | | | | |
| | | | | 2,995 | 2,990 | 0,005 | 0,055 | 46 | 29,5 | 1,375 | 1,115 | -- | -- | |
| | | | | 1,215 | 1,215 | -- | 0,020 | 49 | 25 | | | | | |

APENDICE D.10. CURVAS DE TEMPERATURA VS. TIEMPO, TIPO F-V

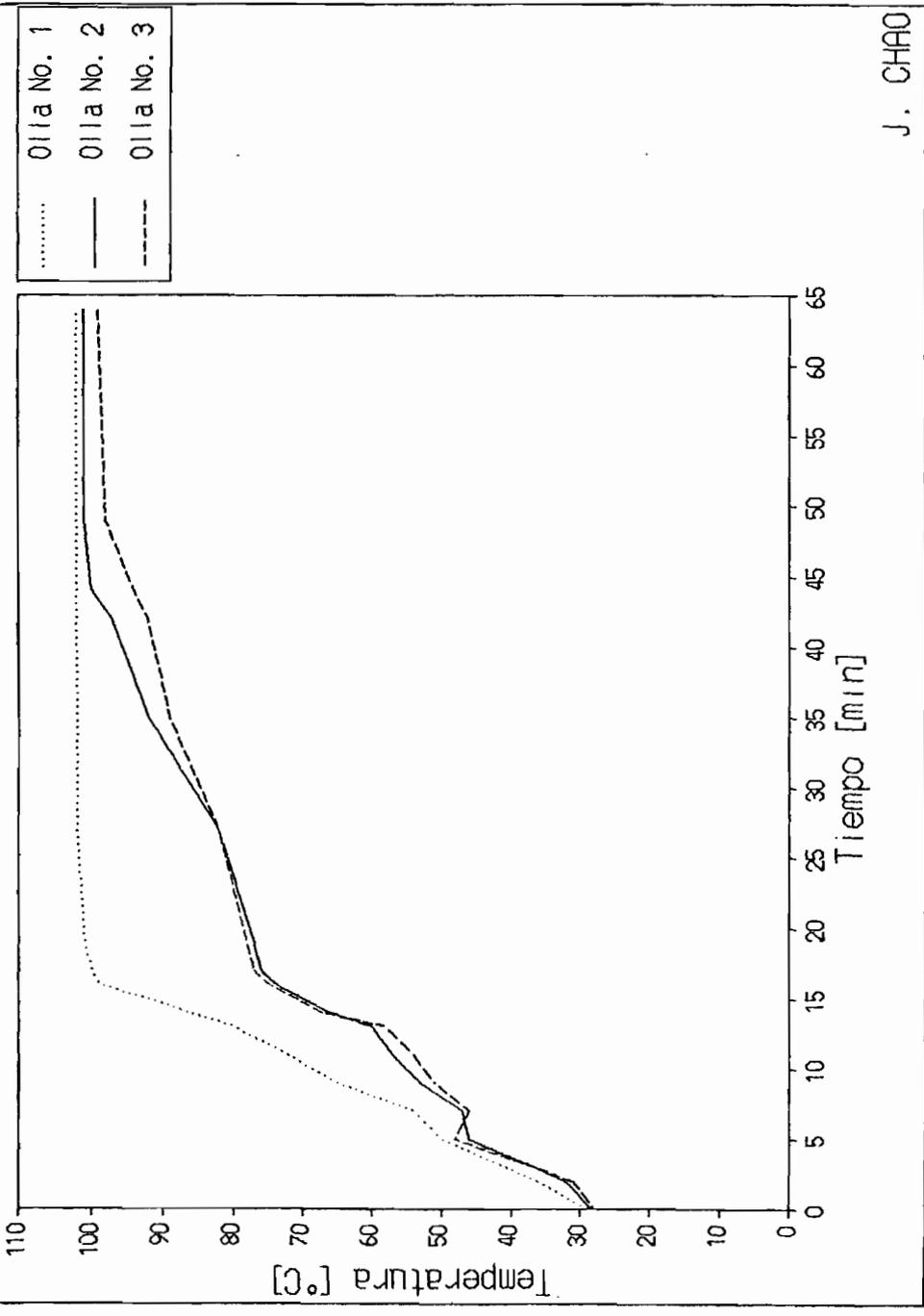


J. CHAO

APENDICE D.11
DATOS EXPERIMENTALES, TIPO F-VI

| PRUEBA N° | TEMP AMB. (°C) | \bar{T}_{ch} (°C) | TIPO DE OLLA N° | AGUA INICIAL (Kg) | | AGUA EVAPORADA (Kg) | | $T_f - T_i$ (°C) | | TIEMPO EN EBULLIR (min) | CANTIDAD DE GASCARILLA (Kg) | | O ₂ (%) | CO ₂ (%) |
|--------------|----------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------|---------------------------|-------------|---------------------|-------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------|-----------------------|------------------------|
| | | | | Alta Pot | Baja Pot | Alta Pot | Baja Pot | Alta Pot | Baja Pot | | Alta Pot | Baja Pot | | |
| 1 | 29 | 164 1,408 | 26 | 5,290 | 5,255 | 0,035 | 0,915 | 70,5 | 1,5 | 21 | | | | |
| | | | 22 | 2,995 | 2,990 | 0,005 | 0,055 | 40,5 | 31 | 48,5 | 0,905 | 1,300 | 18,0-17,3 | 3,5-3,1 |
| | | | 16 | 1,215 | 1,215 | -- | 0,015 | 43,5 | 26 | -- | | | | |
| 2 | 27 | 173 1,446 | 26 | 5,290 | 5,265 | 0,025 | 0,625 | 71 | 2 | 18 | | | | |
| | | | 22 | 2,995 | 2,985 | 0,010 | 0,050 | 50 | 23 | 47,5 | 1,080 | 1,060 | 17,8-16,5 | 4,0-2,0 |
| | | | 16 | 1,215 | 1,205 | 0,010 | 0,010 | 49 | 16 | -- | | | | |
| 3 | 25 | 182 1,481 | 26 | 5,290 | 5,235 | 0,055 | 0,945 | 73,5 | 1 | 17 | | | | |
| | | | 22 | 2,995 | 2,980 | 0,015 | 0,065 | 48,5 | 25 | 44,5 | 1,110 | 1,060 | -- | -- |
| | | | 16 | 1,215 | 1,210 | 0,005 | 0,010 | 48,5 | 22 | -- | | | | |
| 4 | 31 | 150 0,993 | 26 | 5,290 | 5,255 | 0,035 | 1,105 | 71 | 1,5 | 14,5 | | | | |
| | | | 22 | 2,995 | 2,985 | 0,010 | 0,130 | 51 | 21,5 | 32,5 | 1,185 | 1,045 | -- | -- |
| | | | 16 | 1,215 | 1,210 | 0,005 | 0,030 | 48,5 | 23 | 37 | | | | |

APENDICE D.12. CURVAS DE TEMPERATURA VS. TIEMPO, TIPO F-VI



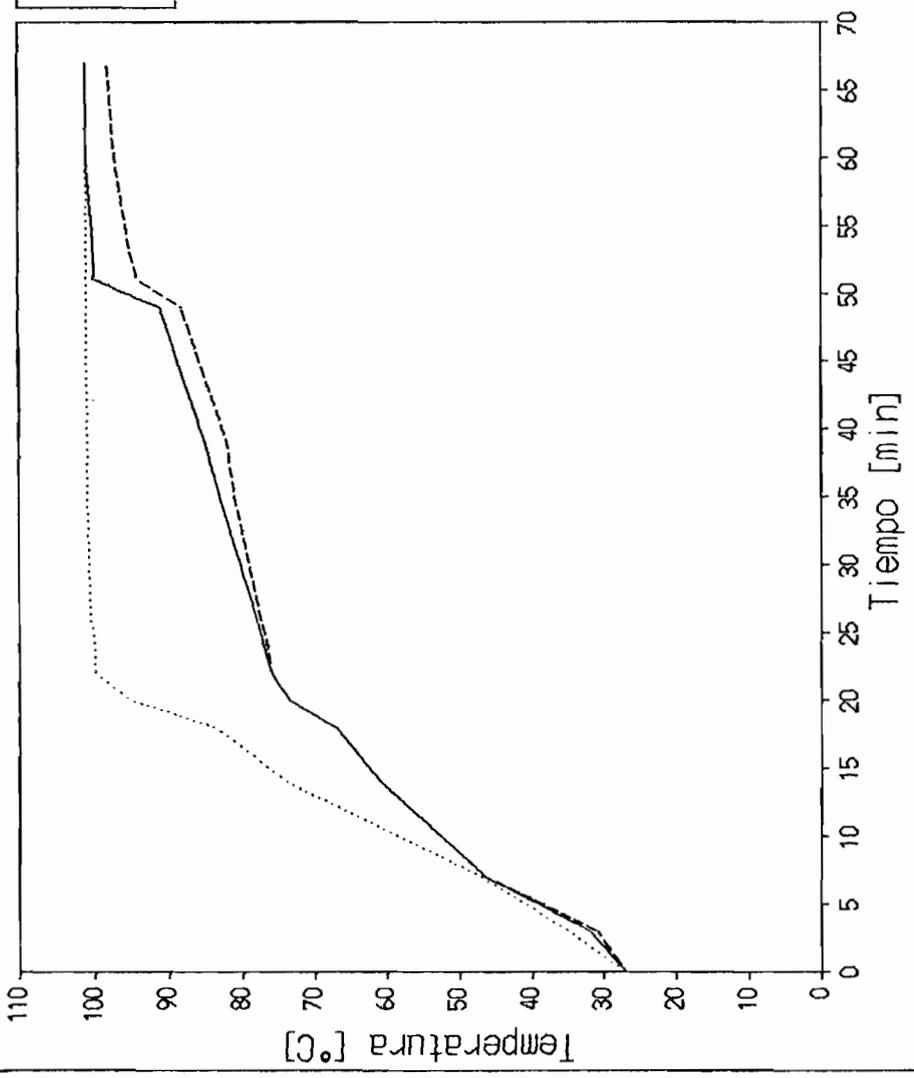
J. CHAO

}
 APENDICE D.13
 DATOS EXPERIMENTALES, TIPO F-VII

| PRUEBA N° | TEMP AMB. (°C) | \bar{T}_{ch} (°C) | TIPO DE OLLA N° | AGUA INICIAL (Kg) | | AGUA EVAPORADA (Kg) | | $T_f - T_i$ (°C) | | TIEMPO EN EBULLIR (min) | CANTIDAD DE CASCARILLA (Kg) | | O ₂ (%) | CO ₂ (%) |
|--------------|----------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------|---------------------------|-------------|---------------------|-------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------|-----------------------|------------------------|
| | | | | Alta Pot | Baja Pot | Alta Pot | Baja Pot | Alta Pot | Baja Pot | | Alta Pot | Baja Pot | | |
| 1 | 28 | 110 | 26 | 5,290 | 5,270 | 0,020 | 0,600 | 71,5 | 2 | 26 | | | | |
| | | | 22 | 2,995 | 2,990 | 0,005 | 0,150 | 47 | 24 | -- | 1,230 | 1,120 | 19,7-18,8 | 1,3-2,0 |
| | | | 16 | 1,215 | 1,210 | 0,005 | 0,030 | 50 | 13 | -- | | | | |
| 2 | 27 | 170 | 26 | 5,290 | 5,265 | 0,025 | 0,860 | 73 | 1 | 19 | | | | |
| | | | 22 | 2,995 | 2,995 | -- | 0,080 | 51,5 | 22 | 48 | 1,420 | 1,200 | 19,5-17,8 | 1,3-2,7 |
| | | | 16 | 1,215 | 1,210 | 0,005 | 0,020 | 50,5 | 21 | 62,5 | | | | |
| 3 | 27 | 164 | 26 | 5,290 | 5,265 | 0,025 | 0,740 | 74 | 1 | 23 | | | | |
| | | | 22 | 2,995 | 2,990 | 0,005 | 0,035 | 50 | 25 | 59,5 | 1,470 | 1,135 | -- | -- |
| | | | 16 | 1,215 | 1,215 | -- | 0,015 | 50 | 22 | -- | | | | |
| 4 | 27 | 163 | 26 | 5,290 | 5,270 | 0,020 | 0,920 | 73 | 1,5 | 20 | | | | |
| | | | 22 | 2,995 | 2,990 | 0,005 | 0,080 | 47 | 27 | 46,5 | 1,360 | 1,020 | -- | -- |
| | | | 16 | 1,215 | 1,215 | -- | 0,020 | 45,5 | 28 | 61,5 | | | | |

APENDICE D.14. CURVAS DE TEMPERATURA VS. TIEMPO, TIPO F-VII

- Olla No. 1
- Olla No. 2
- Olla No. 3



J. CHAO

3

A P E N D I C E E

TABLAS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE AGUA HIRVIENDO

APENDICE E.1
RESULTADOS, TIPO F-I

| PRUEBA N° | (PCU) _a (%) | (PCU) _b (%) | (PCU) _g (%) | P(a) (Kw) | P(b) (Kw) | RP (Kw) | F (Kw/Kw) | CE (%) | EA (%) | CO/CO ₂ (%) |
|--------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|--------------|------------|--------------|-----------|-----------|---------------------------|
| 1 | 14,05 | 21,45 | 17,41 | 9,28 | 5,82 | 3,45 | 1,59 | 28,53 | 450-770 | 250-50 |
| 2 | 13,91 | 28,40 | 20,31 | 16,27 | 5,85 | 10,42 | 2,782 | 29,47 | 435-525 | 20-30 |
| 3 | 13,04 | 22,54 | 17,58 | 9,14 | 6,88 | 2,26 | 1,33 | 32,00 | 435-600 | 25-0 |
| 4 | 13,94 | 22,82 | 17,88 | 14,00 | 5,96 | 8,04 | 2,35 | 29,84 | 525-650 | 30-160 |

APENDICE E.2
RESULTADOS, TIPO F-II

| PRUEBA N° | (PCU) _a (%) | (PCU) _b (%) | (PCU) _g (%) | P(a) (Kw) | P(b) (Kw) | RP (Kw) | F (Kw/Kw) | CE (%) | EA (%) | CO/CO ₂ (%) |
|--------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|--------------|------------|--------------|-----------|-----------|---------------------------|
| 1 | 16,84 | 30,80 | 23,32 | 13,74 | 5,02 | 8,72 | 2,74 | 24,05 | 770-750 | 75-0 |
| 2 | 17,05 | 29,55 | 22,61 | 12,08 | 4,83 | 7,25 | 2,50 | 24,16 | 380 | 20 |
| 3 | 19,20 | 30,36 | 24,21 | 12,62 | 4,33 | 8,28 | 2,91 | 21,47 | 650-950 | 38-0 |
| 4 | 17,49 | 27,94 | 22,29 | 13,76 | 4,81 | 8,96 | 2,86 | 23,26 | --- | --- |

APENDICE E.3
RESULTADOS, TIPO F-III

| PRUEBA Nº | (PCU) _a (%) | (PCU) _b (%) | (PCU) _g (%) | P(a) (Kw) | P(b) (Kw) | RP (Kw) | F (Kw/Kw) | CE (%) | EA (%) | CO/CO ₂ (%) |
|--------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|--------------|------------|--------------|-----------|-----------|---------------------------|
| 1 | 17,45 | 10,22 | 14,62 | 11,49 | 3,79 | 7,70 | 3,03 | 21,47 | --- | --- |
| 2 | 17,63 | 25,27 | 21,14 | 9,97 | 4,71 | 5,26 | 2,12 | 22,79 | --- | --- |
| 3 | 17,93 | 25,95 | 21,77 | 12,41 | 5,067 | 7,35 | 2,45 | 23,26 | --- | --- |
| 4 | 15,72 | 23,92 | 19,68 | 10,35 | 10,35 | 6,01 | 1,72 | 27,684 | --- | --- |

A P E N D I C E E.4
R E S U L T A D O S, T I P O F - I V

| PRUEBA Nº | (PCU) _a (%) | (PCU) _b (%) | (PCU) _g (%) | P(a) (Kw) | P(b) (Kw) | RP (Kw) | F (Kw/Kw) | CE (%) | EA (%) | CO/CO ₂ (%) |
|--------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|--------------|------------|--------------|-----------|-----------|---------------------------|
| 1 | 17,54 | 24,03 | 20,70 | 12,23 | 5,40 | 6,83 | 2,27 | 24,68 | --- | --- |
| 2 | 16,95 | 22,52 | 19,58 | 9,78 | 5,45 | 4,34 | 1,80 | 25,63 | 550-625 | 8,9-0 |
| 3 | 16,83 | 28,06 | 21,52 | 9,50 | 4,45 | 5,05 | 2,13 | 23,74 | 200-725 | 7,6-0 |
| 4 | 17,20 | 20,28 | 18,65 | 10,70 | 5,16 | 5,54 | 2,07 | 24,42 | 360-950 | 0-0 |

A P E N D I C E E.5
R E S U L T A D O S, T I P O F-V

| PRUEBA N° | (PCU) _a (%) | (PCU) _b (%) | (PCU) _g (%) | P(a) (Kw) | P(b) (Kw) | RP (Kw) | F (Kw/Kw) | CE (%) | EA (%) | CO/CO ₂ (%) |
|--------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|--------------|------------|--------------|-----------|-----------|---------------------------|
| 1 | 14,30 | 22,63 | 18,20 | 14,71 | 6,04 | 8,68 | 2,44 | 28,68 | 300-500 | 0 |
| 2 | 15,75 | 21,60 | 18,36 | 11,02 | 5,11 | 5,91 | 2,16 | 25,53 | 260-950 | 0 |
| 3 | 15,51 | 20,14 | 17,39 | 11,35 | 4,50 | 6,85 | 2,52 | 24,58 | --- | - |
| 4 | 16,00 | 23,26 | 19,23 | 14,29 | 5,28 | 9,01 | 2,71 | 26,21 | --- | - |

APENDICE E.6
RESULTADOS, TIPO F-VI

| PRUEBA N° | (PCU) _a (%) | (PCU) _b (%) | (PCU) _g (%) | P(a) (Kw) | P(b) (Kw) | RP (Kw) | F (Kw/Kw) | CE (%) | EA (%) | CO/CO ₂ (%) |
|--------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|--------------|------------|--------------|-----------|-----------|---------------------------|
| 1 | 23,01 | 18,67 | 20,45 | 9,18 | 6,16 | 3,03 | 1,49 | 23,21 | 575-450 | 0-5,7 |
| 2 | 20,65 | 16,15 | 18,42 | 12,79 | 5,02 | 7,77 | 2,55 | 22,53 | 575-310 | 0-0 |
| 3 | 20,89 | 22,65 | 21,75 | 13,91 | 5,02 | 8,89 | 2,77 | 22,84 | --- | --- |
| 4 | 18,98 | 27,33 | 22,91 | 17,41 | 4,95 | 12,47 | 3,52 | 23,47 | --- | --- |

APENDICE E.7
RESULTADOS, TIPO F-VII

| PRUEBA N° | (PCU) _a (%) | (PCU) _b (%) | (PCU) _g (%) | P(a) (Kw) | P(b) (Kw) | RP (Kw) | F (Kw/Kw) | CE (%) | EA (%) | CO/CO ₂ (%) |
|--------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|--------------|------------|--------------|-----------|-----------|---------------------------|
| 1 | 17,74 | 16,65 | 17,22 | 10,08 | 5,30 | 4,78 | 1,90 | 24,74 | 1500-900 | 0-10 |
| 2 | 15,93 | 18,73 | 17,21 | 15,93 | 5,68 | 10,24 | 2,80 | 27,579 | 1350-525 | 16-19 |
| 3 | 15,40 | 17,17 | 16,17 | 13,62 | 5,37 | 8,24 | 2,53 | 27,42 | --- | --- |
| 4 | 16,04 | 24,13 | 19,50 | 14,49 | 4,83 | 9,66 | 3,00 | 25,05 | --- | --- |

A P E N D I C E F

ANALISIS ECONOMICO

F.1. Costos de materiales

| Cant. | Descripción | Costo por unidad sucres | Total sucres |
|-------|------------------------------------------------|----------------------------|-----------------|
| 2 | Fundas de cemento gris | 265 | 530 |
| 4 | Fundas de arena | 40 | 160 |
| 20 | Fundas de arcilla | 20 | 400 |
| 105 | Ladrillos de adobe (200x100x70) mm | 4 | 420 |
| 1 | Plancha de hierro negro (2400x1200x1,3) mm ... | 810 | 810 |
| 1 | (6 m) Angulos de (19x3) mm | 320 | 320 |
| 1 | (6 m) Platina de (19x3) mm | 220 | 220 |
| 1/4 | Plancha de tol perforado de 1 mm | 795 | 795 |
| | Varios | 1.000 | 1.000 |
| | Transporte | 1.500 | 1.500 |
| | SUB-TOTAL | | 6.155 |

F.2. Costo por mano de obra

| <i>Obra</i> | <i>días de trabajo</i> | <i>Números trabajadores</i> | <i>suces/días</i> | <i>Total suces</i> |
|-----------------------------------------------|------------------------|---------------------------------|-------------------|------------------------|
| <i>Construcción del fogón</i> | 2 | 1 | 400 | 800 |
| <i>Cortada y soldada de elementos</i> | 4 | 1 | 500 | 2.000 |
| <i>SUB-TOTAL</i> | | | | <i>2.800</i> |

F.3. Costo total del fogón

| <i>Descripción</i> | <i>Total suces</i> |
|-------------------------------------|------------------------|
| <i>Costos por materiales</i> | <i>6.155,00</i> |
| <i>Costo por mano de obra</i> | <i>2.800,00</i> |
| <i>T O T A L</i> | <i>8.955,00</i> |

B I B L I O G R A F I A

1. ANGLADETTE ANDRE. *El arroz*; Editorial Blume; Barcelona; 1969.
2. BARRIGA ALFREDO. *Seminario: Combustión eficiente de leña y residuos agroforestales*; ESPOL; Julio de 1983.
3. BARRIGA ALFREDO. *Apuntes de clases de "Combustión"*; ESPOL; I término de 1984.
4. BEAGLE E.C. *Rice husk conversion to energy*; FAO Agricultural services bulletin; Rome 1978.
5. CACERES HERNAN. *Artículo: Utilización industrial de los residuos del arroz*; CENDES.
6. FAIRES VIRGIL. *Termodinámica*; U.T.E.H.A.; Mexico 1973.
7. FUNDACION NATURA / USAID. *El fogón lorena*.
8. GANAPATHY V. *Applied heat transfer*; Copyrigt by Pennwell Publishing Company; USA; 1982.
9. Instituto Geográfico Militar, *Atlas del Ecuador*; Les Editions J.A. (Paris) y Banco Central del Ecuador; 1982.

10. JOHNSON/ANDRADE/SALVADOR. Conferencia: Tecnología para la producción arrocerá en la Cuenca del bajo Guayas; Facultad de Ingeniería Agronómica; Universidad de Guayaquil; 1981.
11. KAUPP ALBRECHT. Gasification of rice hulls: Theory and Praxis; Publication of GATE/GTZ; Eschborn 1984.
12. KAUPP/GOSS. Technical and economical problems in the gasification of rice hulls. Physical and chemical properties; Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 20 July 1982.
13. KERN DONALD. Procesos de transferencia de calor; Editorial Continental S.A.; Mexico 1974.
14. LEPELEIRE/PRASAD/VERHAART/VISEER. A woodstove compendium; A publication from the woodburning stove group, the Netherlands; 1981.
15. MATAIX CLAUDIO. Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas; Copyright por Harla S.A.; Mexico 1982.
16. OLADE/GATE/GTZ. Manual del curso de gasificación de la madera en Centroamérica y el Caribe; Costa Rica; Noviembre 1983.
17. OLADE/MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS DE GUATEMALA. I curso sobre carbón vegetal para Centroamérica; Guatemala; Octubre 1983.

18. PALZ/COOMBS/HALL. *Energy from Biomass*; Elsevier applied publishers LTD.; London and New York; 1985.
19. PERRY JOHN. *Manual del Ingeniero Químico (tomo II)*; Unión tipográfica editorial Hispano-Americana; Mexico 1966.
20. PROGRAMA NACIONAL DEL ARROZ/MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA DEL ECUADOR. *Análisis de la situación actual del cultivo de arroz*; Guayaquil, Abril de 1984.
21. SALVI GULIANO. *La combustión: teoría y aplicaciones*; Editorial Dossat S.A.; Madrid; 1975.
22. SOLIS MANUEL. *Informe: Fogones rurales abiertos*; ESPOL; 1985.
23. TRINKS/MAWHINNEY. *Hornos industriales (volumen I)*; URMO, S.A. de Ediciones; España 1975.
24. VOLUNTEERS IN TECHNICAL ASSISTANCE (VITA). *Ensayos de estufas de leña para cocinar*; Arlington 1982.
25. VITA/ITDG. *Hornillas conservadoras de leña. Guía para su diseño*; publicación VITA/ITDG.