

OBTENCION DE DATOS EXPERIMENTALES PARA
EL DISEÑO DE UN SECADOR-CARBONIZADOR
PARA BRIQUETAS.

TESIS PROFESIONAL
ENRIQUE CABRERA CARRILLO



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

OBTENCION DE DATOS EXPERIMENTALES PARA
EL DISEÑO DE UN SECADOR - CARBONIZADOR
PARA BRIQUETAS.

TESIS

QUE PRESENTA PARA SU EXAMEN PROFESIONAL
DE INGENIERO QUIMICO

ENRIQUE CABRERA CARRILLO

ANTE LA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA BERZELIUS
(INCORPORADA)

INSTITUTO MEXICANO DE INVESTIGACIONES TECNOLOGICAS
SECCION DE INGENIERIA AUXILIAR
MEXICO, D. F., 1955.

A mis padres.

RECONOCIMIENTO

Mi sincero reconocimiento al Instituto Mexicano de Investigaciones Tecnológicas por las facilidades que me fueron brindadas para el desarrollo del presente trabajo. Expreso mi agradecimiento al Departamento de Educación y Becas de la Oficina de Investigaciones Industriales del Banco de México, S. A. por el patrocinio otorgado.

S U M A R I O

INTRODUCCION.

- CAPITULO I Descripción y cálculo de las características de la unidad experimental.
- CAPITULO II Selección y calibración de los instrumentos de medición.
- CAPITULO III Descripción de la experimentación.
- CAPITULO IV Resultados experimentales y selección de datos para el diseño de un secador carbonizador.
- CAPITULO V Aplicación de los datos obtenidos al anteproyecto de diseño de un secador carbonizador piloto.
- CAPITULO VI Conclusiones.
- CAPITULO VII Obras consultadas.
- Bibliografía.

INTRODUCCION

El objeto fundamental de la presente tesis fué la ob-
tención de datos básicos experimentales destinados al diseño de
un secador-carbonizador para briquetas de carbón de uso doméstico
en escala piloto.

Sin pretender entrar en detalles sobre la tecnología
de la producción de combustibles sólidos mencionaremos que los -
constituyentes de las briquetas empleadas en este estudio fueron:
carbón mineral, carbón vegetal y mieles incristalizables. De és-
tos el principal constituyente es el carbón mineral, mientras --
que el carbón vegetal se empleó en pequeña proporción para faci-
litar el encendido de las briquetas. Las mieles tienen por ob-
jeto aglutinar los diversos constituyentes a través de un proce-
so de caramelización.

La preparación de las briquetas comprende varias ope-
raciones. Primeramente los carbones minerales conjuntamente con
los residuos celulósicos precarbonizador son sometidos a opera-
ciones de molienda, cernido y mezcla con el aglutinante en una -
relación determinada. A continuación la mezcla es sometida a
una operación de briqueteado en una máquina diseñada para este -
objeto.

Una vez preparadas las briquetas, éstas se someten -
a una operación de secado y carbonización, dependiendo del uso

a que se destinen las briquetas y de las materias primas empleadas en su elaboración.

En la preparación de briquetas según el procedimiento descrito con mayor detalle en una tesis anterior (1), el secado y carbonización de las briquetas salidas de la prensa es una operación que tiene importancia desde los puntos de vista de proceso y de costos.

Una revisión de la literatura mundial sobre el secado y carbonización simultáneos de briquetas fue infructuosa por lo que hace a la localización de datos precisos y definitivos sobre este problema, haciendo necesario el diseño e instalación de un equipo versátil que pudiera utilizarse para la obtención de -datos indispensables de proceso.

Previamente al desarrollo de esta tesis, el personal del Instituto llevó a cabo diversas pruebas preliminares en una unidad intermitente tipo de laboratorio que se componía de una caja de lámina y una mufa eléctrica. La retorta conteniendo aproximadamente dos kilos de briquetas, se introducía en la -mufa eléctrica precalentada, sometiéndosele por tiempos diversos a temperaturas comprendidas entre 500 y 600°C. Esta experimentación permitió observar variaciones importantes en la calidad final de la briquetas en función de la temperatura y el tiempo de duración del tratamiento.

Los resultados anteriores sirvieron de base para el diseño de una unidad mayor que se construyó en el Instituto y cuyas características y diagramas se describen más adelante en detalle. (Ver Fig. No. 1). Esta unidad experimental es el motivo de la presente Tesis.

El presente trabajo comprende los siguientes temas -esenciales.

(1) M. Puebla P., "Combustible Doméstico de Antracitas Sonorenses" Tesis, U. N. A. Fac. de Ciencias Químicas --- (1952).

1o.- Descripción de la unidad experimental desarrollada exprofeso con anterioridad a la tesis.

2o.- Cálculo de las características esenciales del equipo.

3o.- Descripción de la experimentación realizada -- con briquetas y selección de condiciones preferentes de secado y carbonización.

4o.- Cálculo de las características del "proceso óptimo" seleccionado.

5o.- Desarrollo de un anteproyecto de diseño de la unidad piloto propuesta.

Los cálculos que aparecen através de este texto han sido expresados en el sistema de unidades F.P.S. con las abreviaturas inglesas correspondientes. Esto ha tenido por objeto - facilitar la comprensión de las operaciones desarrolladas. Los - resultados de diseño de la unidad piloto se expresan sin embargo en el sistema M.K.S.

CAPITULO I

DESCRIPCION Y CALCULO DE LAS CA-
RACTERISTICAS DE LA UNIDAD EXPE-
RIMENTAL.

La unidad experimental de secado y carbonización cuyo esquema se presenta en el diagrama 1 consta de:

- 1.- Una cámara de secado y carbonización.
- 2.- Una cámara de combustión.
- 3.- Un quemador
- 4.- Ductos
- 5.- Ventilador para los gases calientes.
- 6.- Instrumentos de medición.

A continuación se describe cada una de éstas partes y el desarrollo de los cálculos aplicados a la determinación de sus características, excepción hecha de los instrumentos de medición que se tratan en capítulo aparte.

1.- Cámara de secado y carbonización.

Esta cámara construida de tabique refractario y recubierto interiormente con una capa de cemento refractario es de forma rectangular, sus dimensiones interiores son $35 \frac{1}{2} \times 20 \times$

17 1/2 pulgadas y sus paredes tienen un espesor de 4 3/5 pulgadas.

Los gases entran en la cámara por la parte inferior de la misma a través de un junta de expansión y son dirigidos mediante una mampara de fierro y salen por la parte superior. En la base de la cámara y encima de la mampara se encuentran dos repisas de fierro que sostienen una canasta de alambre de fierro que soporta el lecho de briquetas por carbonizar, el cual puede alcanzar una altura de 1.5 pies; entre las repisas de fierro mencionadas se intercalarán dos mallas de tela de alambre No. 200 con el fin de hacer uniforme el flujo de gases antes de su paso a través del lecho de briquetas. Para lograr un cierre hermético en esta cámara, hubo necesidad de colocar una puerta de fierro fundido que ajusta sobre un marco del mismo material, por medio de un cierre de laberinto empacado con asbesto grafitado. El marco se fija a la cámara por medio de tirantes, y la puerta se aisló exteriormente con lana de vidrio para evitar pérdida de calor; su cierre se logra mediante un dispositivo de aullotina.

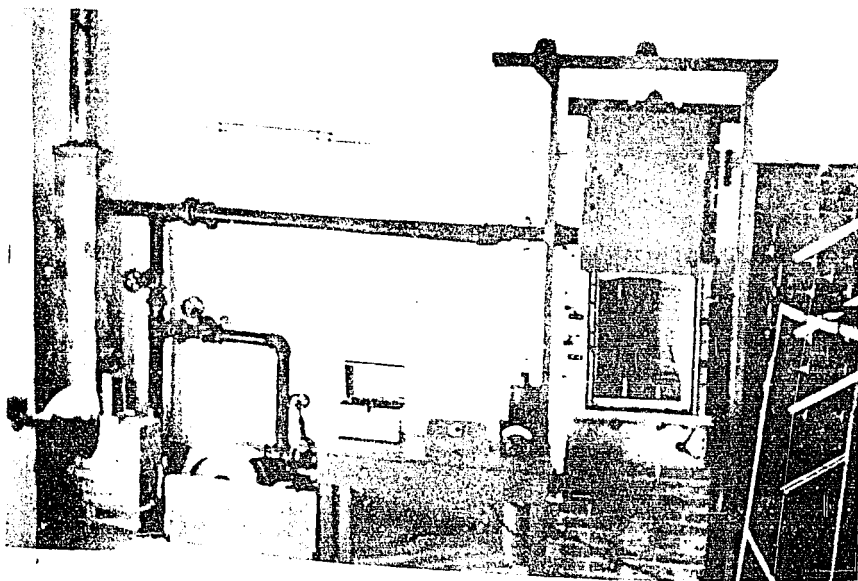
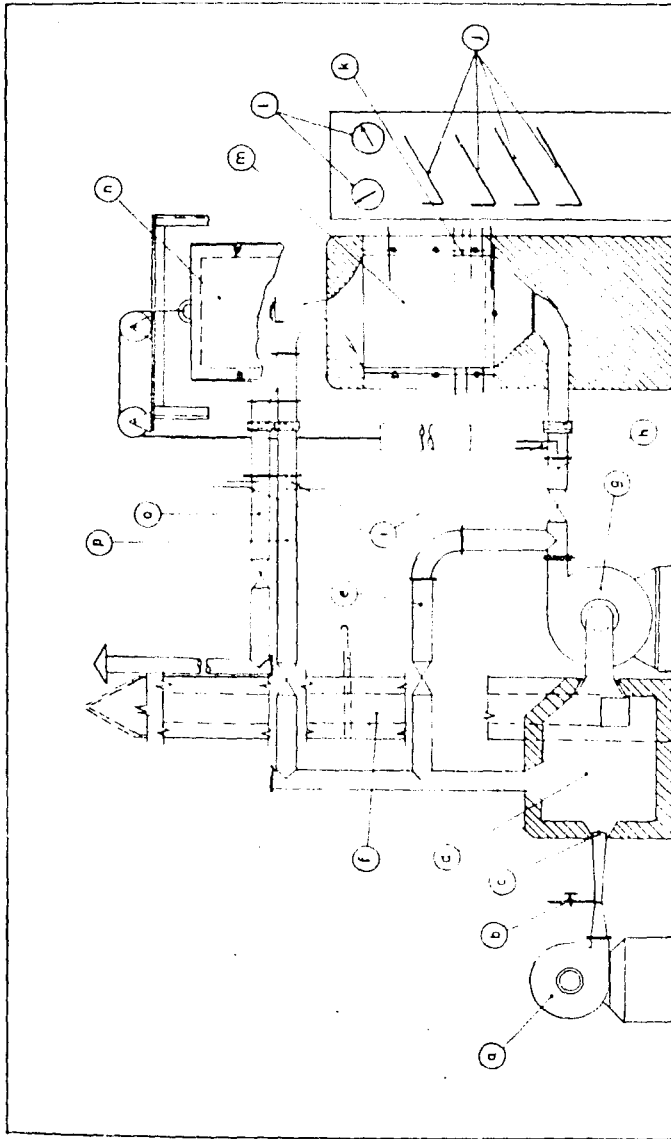


Fig. 1



- a - Ventilador
- b - Toma de Gas Butano
- c - Boquilla del Quemador
- d - Cámara de Combustion
- e - Tubería de Paso
- f - Chimenea
- g - Turboventilador
- h - Entrada de los Gases
- i - Medidores de Flujo
- j - Manómetros Diferenciales
- k - Termopares
- l - Indicadores de Temperatura
- m - Cámara de Sado-Carbonizado.
- n - Puerta de la Cámara
- o - Tubería de Recirculacion
- p - Ventreo.

SECADOR - CARBONIZADOR

DIAGRAMA No.1

TESIS PROFESIONAL.

Enrique Cabrera C.

a.- Cálculo de la temperatura exterior de la cámara de secado y carbonización.

La temperatura exterior de la cámara se calculó para una temperatura interior de 550°C, que es la máxima que se alcanzó en las experimentaciones. Para los cálculos se fijó una temperatura ambiente de 25°C.

El cálculo de esta temperatura se basó en la ecuación:

$$\frac{Q}{A \cdot \theta} = \frac{K (t_i - t_x)}{L} = h_a (t_x - t_a)$$

en la que:

h_a = Coeficiente individual de transmisión de calor

$$\left(\frac{\text{Btu}}{\text{ft}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{F}} \right) \quad (1)$$

k - Conductividad térmica del tabique aislante.

$$\left(\frac{\text{Btu}}{\text{ft} \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{F}} \right) \quad (2)$$

L - Grosor de la pared de la cámara. (ft)

t_a - Temperatura ambiente. ($^\circ\text{F}$)

t_i - Temperatura interior de la pared ($^\circ\text{F}$)

t_x - Temperatura exterior de la pared. ($^\circ\text{F}$)

$\frac{Q}{A \cdot \theta}$ - Cantidad de calor transmitido por unidad de área y -
unidad de tiempo.

$$\left(\frac{\text{Btu}}{\text{ft}^2 \cdot \text{hr}} \right)$$

Esta ecuación se resuelve por tanteos. Para llevar a cabo un primer tanteo, supondremos una temperatura exterior de la pared

igual a 200°F . Por medio de (1) se obtiene que $h_a = 2.4$; sustituyendo los valores de las variables en la ecuación se obtiene -- que $t_x = 213^{\circ}\text{F}$, valor que no corresponde al supuesto. Haciendo un segundo tanteo y fijando $t_x = 210^{\circ}\text{F}$, la ecuación queda satisfecha con suficiente aproximación.

b.- Cálculo de algunas características de esta cámara.

I.- Área de la Cámara: $1.54' \times 1.48' = 2.28 \text{ ft}^2$

II.- Área media libre a través del lecho de briquetas: Para este cálculo se consideró un lecho de 15 cm. de altura.

Volumen del lecho: 0.347 ft^3

El volumen medio de las briquetas se determinó por el siguiente procedimiento: Las briquetas se impermeabilizaron con una capa muy delgada de parafina y se les introdujo en agua colocada en una probeta, donde se determinaba el volumen -- desplazado. El volumen medio por briqueta resultó igual a 0.00145 ft^3 .

En el lecho de briquetas considerado caben 400 briquetas, de donde se dedujo que el volumen realmente ocupado por éstas era igual a 0.582 ft^3 .

Por lo tanto el área libre a través del lecho de briquetas es igual al volumen del lecho de briquetas menos el volumen realmente ocupado por las briquetas dividido entre la altura de dicho lecho.

Área libre igual a 0.62 ft^2 (A_1)

La relación entre el área libre y el área total es -- igual a 0.275.

2.- Cámara de Combustión.

Esta cámara de combustión es de forma rectangular, -- construida de tabique refractario con un espesor de paredes -- igual a $4 \frac{1}{2}''$ forrada exteriormente con una capa de tabique aislante poroso de $2 \frac{1}{2}''$ de grueso.

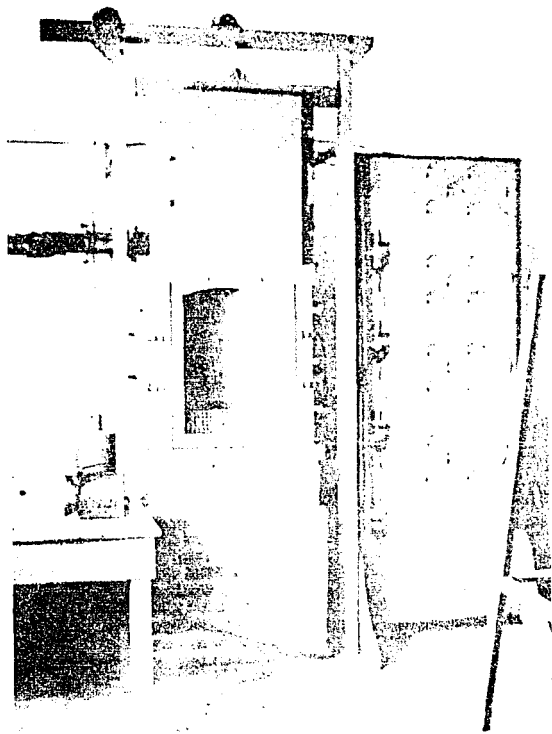


Fig. 2

La cámara tiene un volumen aproximado de 2.5 ft^3 . Cuenta con una compuerta interior que sirve para regular el volumen de gases extraídos y con una chimenea para dar salida a los gases de deshecho de la cámara de combustión, la chimenea cuenta con una compuerta.

a.- Cálculo del volumen de la cámara de combustión.

Se tomó como base la producción de un gasto de $350 \frac{\text{ft}^3}{\text{min.}}$ de gases calientes a 586 mm. de mercurio.

Partiendo de la ecuación $pV = nRT$

en la que:

- n - Número de libras (lb - mol)
- p - Presión atmosférica lb/ft²
- R - Constante universal de los gases $(\frac{\text{lb} - \text{ft}}{\text{lb mol} - ^\circ\text{R}})$

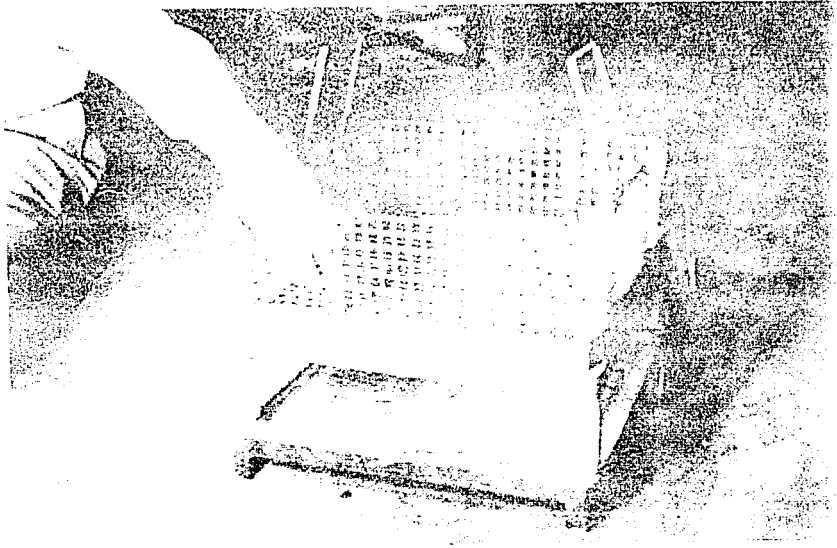


FIG. 5.

T = Temperatura de los gases calientes ($^{\circ}\text{R}$)
 V = Volumen de gases por minuto (ft^3/mi)

Despejando n de la ecuación anterior y sustituyendo los valores numéricos se tiene que:

$$n = \frac{11.5 \times 144 \times 350}{1544 \times 660} = 0.569 \quad \frac{\text{lb - mol}}{\text{min.}}$$

El calor que será necesario librar en la combustión deberá ser igual al calor necesario para calentar los gases de 70°F a 1020°F .

Por lo tanto:

$$Q = \frac{n \bar{c}_p (t_f - t_j)}{60}$$

Donde:

\bar{c}_p Capacidad calorífica molar media $\frac{\text{Btu}}{\text{lb-mol}^{\circ}\text{F}}$

n	Número de libras mol por minuto	$(\frac{\text{lb - mol}}{\text{min.}})$
Q	Calor liberado en la combustión	$(\frac{\text{Btu}}{\text{seg.}})$
t _i	Temperatura inicial	(°F)
t _f	Temperatura final	(°F)

Sustituyendo los valores numéricos en la ecuación se tiene que:

$$Q = \frac{0.569 \times 7.1 \times (1020 - 70)}{60} = 63.3 \quad \frac{\text{Btu}}{\text{seg.}}$$

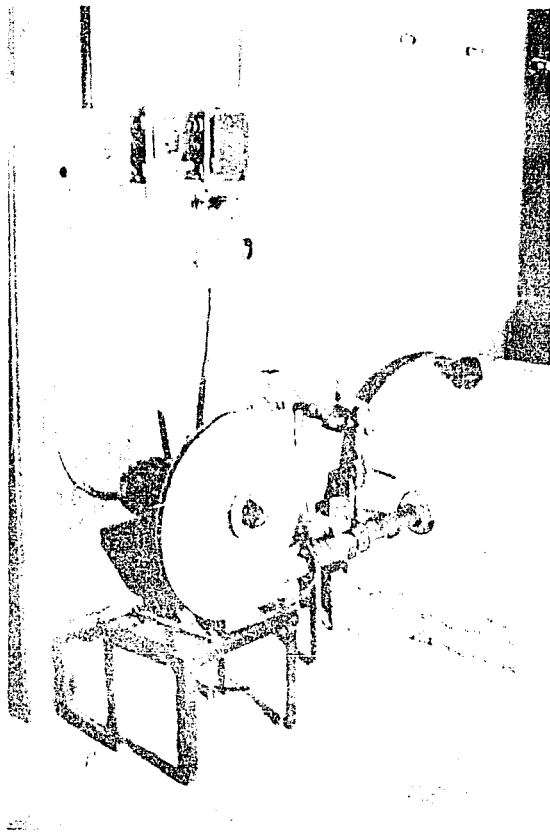
Estimando unas pérdidas de un 10%, habrá que liberar realmente 70 Btu por segundo.

Teniendo en cuenta que para liberar 33 Btu por segundo (4) en este tipo de combustión se necesita 1 pie cúbico de volumen de cámara, para liberar las 70 Btu por segundo se necesitará un volumen de 2.1 pies cúbicos, lo que demuestra que el volumen de la cámara de combustión de que se dispone es aceptable.

3.- Quemador.

Se usó un quemador para gas marca Denver Fire Clay, que consta de un turboventilador movido por un motor de medio caballo. Este turboventilador toma el aire de la atmósfera; su descarga esta regulada por una válvula de mariposa. El aire impulsado por el turboventilador pasa a continuación a un venturi en cuya garganta se encuentra localizada la toma del gas combustible, esta toma está conectada a una tubería de gas de baja presión. - La cantidad de gas es regulada por medio de una válvula de cuadro; en la expansión del venturi se efectúa el mezclado del aire con el gas. La mezcla de aire y gas pasa por la boquilla del quemador que penetra hasta la mitad de la pared de la cámara de combustión; estas boquillas carecen de boquillas piloto, ya que el tubo de refractario se calienta manteniendo la combustión. Para

este tipo de quemadores no se necesita aire secundario. El volumen de gases que debe suministrar este quemador esta dado por el volumen de gases calientes que se van a extraer del horno y una relación entre las temperaturas de los gases que se alimentan y los gases calientes.



- $$V_1 = \frac{V_2 \cdot T_1}{T_2}$$
- V_1 Volumen de gases alimentados por quemador.
 V_2 Volumen de gases extraídos de la cámara.
 T_1 Temperatura de los gases alimentados.
 T_2 Temperatura de los gases extraídos.

FIG. 1

Sustituyendo los valores numéricos correspondientes en la ecuación se tiene que:

$$V_1 = \frac{350 \times 673}{293} = 150 \text{ ft}^3$$

4.- Ductos.

Con el fin de conducir los gases de un punto a otro

de esta unidad experimental de secado y carbonización, se dispone de tres tuberías.

- a.- Para evitar los gases de la cámara de combustión a la cámara de secado y carbonización.
- b.- Para recircular los gases.
- c.- Para arrojarlos a la atmósfera.

Los ductos son tubos de fierro negro de 3 pulgadas - cédula 40 aislados exteriormente con colchoneta de lana de vidrio de 2 pulgadas de grueso.

- a.- Esta tubería empieza en la descarga del ventilador que impulsa los gases calientes y termina en la junta de expansión colocada en la parte inferior de la cámara de secado y carbonización. Este ducto cuenta con una válvula de compuerta para regular el flujo y de un medidor de flujo. Tiene una longitud de 1.2 metros. Además presenta una bifurcación que la comunica con el ducto de recirculación. (By pass).
- b.- En la junta de expansión colocada en la parte superior de la cámara de secado y carbonización se encuentra una tubería que se bifurca, por una de sus ramas se recirculan los gases calientes, esta tiene una longitud de 2.5 metros. En una tubería el flujo es regulado por medio de una válvula de compuerta y cuenta con un medidor de flujo.
- c.- La otra bifurcación citada en el párrafo anterior se utiliza para desalojar los gases de hecho a la atmósfera. El flujo es regulado por medio de una válvula de mariposa; también cuenta con un medidor de flujo.

5.- Ventilador para los gases calientes.

Se empleó un turboventilador marca Mac Kinney, tipo

T.V. 400 S.X. con rotor, caja y flecha de acero inoxidable, de una sola entrada que opera a 3,840 r.p.m. acoplado a un motor de 5 caballos. Este ventilador cuenta además con un pequeño rotor exterior a la caja para evitar un calentamiento excesivo de la chumacera; el ventilador se encuentra fijo a una placa anclada en cemento.

En estas condiciones, según especificaciones dadas a la casa manufacturera, debía suministrar 350 pies cúbicos por minuto contra una presión de 8.5 pulgadas de agua. La primera especificación se verificó experimentalmente por medio de un anemómetro de alambre caliente y los medidores de flujo de la unidad experimental. La segunda especificación se verificó midiendo la diferencia de presión en la descarga del ventilador y la atmosférica.

Se incluye a continuación el cálculo de las caídas de presión producidas en los gases debidas a su flujo a través de la unidad experimental. También se estimó la presión contra la cual puede trabajar el ventilador.

El cálculo de las caídas de presión en la unidad experimental se llevó a cabo tomando como base un flujo de 350 pies cúbicos por minuto a 20°C y a 586 mm. de mercurio.

a.- Cálculo de la caída de presión en el lecho de briquetas (5) Este se calcula para un lecho de briquetas de 1 pie de altura. Para llevar a cabo este cálculo se emplearon las ecuaciones siguientes:

$$Re = \frac{D_p G}{\mu}$$

$$f = j(Re) \quad (\text{Gráfica})$$

$$\Delta P = \Delta P_v + h_{vi}$$

$$\Delta P_v = 4 f \frac{L}{D_p}$$

$$h_{vi} = \frac{V^2}{2gc}$$

donde:

d_p	= Diámetro de las partículas	(ft)
f	= Factor de fricción	(adimensional)
gc	= Factor de conversión	$\left(\frac{1b - ft}{lb - seg.}\right)$
G	= Masa velocidad	$\left(\frac{1b}{ft^2 - seg.}\right)$
h_{vi}	= Valor de un "velocity head"	(Pulg. de agua)
L	= Profundidad del lecho	(ft)
ΔP	= caída de presión.	(Pulg. de agua)
ΔP_v	= Número de "velocity heads"	(Adimensional)
V	= Velocidad de los gases basada en el área total	(ft/seg.)
Re	= Número de Reynolds	(Adimensional)
ρ	= Densidad de los gases	(Lb -ft ³) (6)
μ	= Viscosidad de los gases	(1b/ft-seg.) (7)

Sustituyendo los valores numéricos en las ecuaciones se tiene que:

$$Re = \frac{0.166 \times 0.166 \times 1.488}{0.02} = 2,050$$

Con este dato leyendo en la gráfica correspondiente se obtiene que

$$f = 11$$

$$P_v = \frac{4 \times 11 \times 1}{0.166} = 264$$

$$h_{vi} = \frac{0.065 \times 2.55^2}{2 \times 32.2} \quad 0.0066 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} = 0.00172 \text{ pulg. de agua.}$$

$$\Delta P = 264 \times 0.001272 = 0.336 \text{ pulg. de agua}$$

La diferencia de presiones experimentalmente fué --- igual a 0.35 pulgadas de agua.

b.- Cálculo de la caída de presión en los ductos.

Para llevar a cabo este cálculo se seleccionó la tubería más larga, por ser esta la que origina una mayor caída de presión, tiene una longitud de 18 pies, y en ella se encuentran colocadas dos válvulas de compuerta y un codo.

Una válvula de compuerta completamente abierta equivale a la caída de presión que originarían dos pies de longitud de tubería y un codo equivalente a 8 pies de longitud de tubería; por lo tanto, la longitud total equivalente es igual a:

$$2 \times 2 + 1 \times 8 = 18 + 30 \text{ pies.}$$

La caída de presión en una tubería esta dada por:

$$\Delta P = \Delta P_v h_{vi}$$

$$h_{vi} = \frac{v^2}{2g_c}$$

$$\Delta P_v = \frac{4fL}{D}$$

$$f = j (Re) = j (DG/\mu)$$

donde.

D = diámetro interior de la tubería (ft)
 f = factor de fricción (adimensional)
 G = masa velocidad $\left(\frac{\text{lb}}{\text{ft}^2 \cdot \text{seg.}} \right)$

ξ_c	= factor de conversión	($\frac{\text{lb} - \text{ft}}{\text{lb} - \text{seg.}}$)
h_{vi}	= valor de un "velocity head"	(pulg. de agua)
L	= longitud de tubería	(ft)
ΔP	= caída de presión	(pulg. de agua)
ΔP_v	= número de "velocity heads"	(adimensional)
Re	= número de Reynolds	(Adimensional)
ρ	= Densidad del gas	(lb/ft ³)
μ	= Viscosidad del gas	(lb/ft-seg)

Sustituyendo los valores numéricos se tiene que:

$$Re = \frac{0.25 \times 7.34 \times 1.488}{0.02} = 138,500$$

$$f = 0.0042$$

$$\Delta P_v = \frac{4 \times 0.0042 \times 30}{0.25} = 2.1$$

$$h_{vi} = 2.2 \text{ pulg. de agua.}$$

$$\Delta P = 4.4 \text{ pulg. de agua.}$$

c.- Cálculo de la caída de presión en la expansión

Al descargar los gases de la tubería en la cámara de secado y carbonización (8) se presenta una expansión cuya caída de presión se determinó a continuación.

$$\Delta P = \Delta P_v \quad h_{vi}$$

$$h_{vi} = \frac{v^2}{2\xi_c}$$

$$\Delta P_v = (1 - \alpha)^2$$

$$\alpha = \frac{a^1}{A^1}$$

donde:

A'	Area del secador carbonizador	(ft ²)
a'	Area de la junta de expansión	(ft ²)
g_c	Factor de conversión	($\frac{1b - ft}{1b - seg.}$)
h_{vi}	Valor de un "velocity head"	(pulg. de agua)
ΔP	Caída de presión	(pulg. de agua)
ΔP_v	Número de "velocity heads"	(adimencional)
ρ	Relación de áreas	(adimencional)
μ	Densidad del gas	(1b/ft ²)

Sustituyendo los valores numéricos correspondientes en las ecuaciones se obtiene que:

$$h_{vi} = \frac{0.065 \times 83.5^2}{2 \times 32.2} \quad 0.7 \text{ pulg. de agua.}$$

$$\alpha = \frac{0.07}{1} \quad 0.007$$

$$\Delta P_v = (1 - 0.07) \quad 0.865$$

$$\Delta P = 0.7 \times 0.865 \quad 0.605 \text{ pulg. de agua.}$$

d.- Caída de presión en la contracción repentina.

En la parte superior de la cámara de secado y carbonización, al entrar los gases en la junta de expansión donde se efectúa la descarga de gases de la cámara, se produce una caída de presión que está dada por:

$$P = P_v h_{vi}$$

$$P_v = K_1 (K_2 - \alpha)$$

$$h_{vi} = \frac{v^2}{2g_c}$$

$$\alpha = \frac{a'}{A'}$$

Ya que $\alpha < 0.715$; $K_1 = 0.4$ y $K_2 = 1.25$

donde:

a'	=	Area de la junta de expansión	(ft ²)
A'	=	Area del secader carbonizador	(ft ²)
G_c	=	Factor de conversión	($\frac{1b - ft}{1b - seg.}$)
h_{vi}	=	Valor de un "velocity head"	(pulg. de agua)
K_1	=	Constante	(adimensional)
K_2	=	Constante	(adimensional)
ΔP	=	Caída de presión	(pulg. de agua)
ΔP_v	=	Número de "velocity heads"	(adimensional)
α	=	Relación de Área	(adimensional)
ρ	=	Densidad del gas	(lb/ft ³)

Sustituyendo los valores numéricos:

$$h_{vi} = \frac{0.065 \times 83.5^2}{2 \times 32.2} = 0.8 \text{ pulg. de agua.}$$

$$\Delta P_v = 0.4 (1.25 - 0.031) = 0.492$$

$$\Delta P = 0.7 \times 0.492 = 0.35 \text{ pulg. de agua.}$$

e.- Cálculo de la caída de presión total.

Ya que todas las caídas de presión antes calculadas se encuentran colocadas en serie, la caída de presión total será igual a la suma de éstas. Por lo tanto:

$$\Delta P_T = \Delta P_a + \Delta P_b + \Delta P_c + \Delta P_d + \Delta P_e$$

donde:

- ΔP_a = Caída de presión debida al lecho de briquetas (pulg. de agua)
- ΔP_b = Caída de presión debida a los ductos (pulg. de agua)
- ΔP_c = Caída de presión debida a la expansión repentina. (pulg. de agua)
- ΔP_d = Caída de presión debida a la contracción repentina. (pulg. de agua)
- ΔP_e = Caída de presión debida a causas no consideradas. (pulg. de agua)
- ΔP_T = Caída de presión total (pulg. de agua)

Sustituyendo los valores numéricos correspondientes:

$$\Delta P_T = 0.336 + 4.4 + 0.65 + 0.35 + P_e$$

ΔP_e Es debida a causas menores no consideradas, por ejemplo: mallas para uniformizar el flujo en la cámara de secado -- carbonización, fricción total en la cámara de secado y carbonización, toma de gases por el ventilador en la cámara de combustión. Esta se estimó igual a 0.5 pulgadas de agua.

Por lo tanto:

$$\Delta P_T = 6.309 \text{ pulg. de agua} = 16 \text{ cm. de agua.}$$

Este resultado se verificó durante la experimentación, obteniéndose una buena correspondencia de resultados pues experimentalmente se obtuvo una caída de presión igual a 17.8 cm. de agua.

f.- Cálculo de la presión que puede vencer el ventilador suministrando un gasto de 350 pies cúbicos por minuto a -- 70°F y 586 mm. de mercurio.

Para llevar a cabo este cálculo se aplicó la siguiente ecuación (9)

$$p = \frac{(U_2^2 - U_1^2) + M \cdot U_2^2 - (1 - M) V_r - (N V_o)^2}{V_p^2}$$

donde:

M = Porcentaje de conversión de velocidad en presión en la voluta del ventilador. (10)

N = Relación de áreas actual a efectiva de entrada (10)

p = Presión total desarrollada por el ventilador (pulg. de agua)

U_1 = Velocidad lineal en la base de las aspas (ft/min)

U_2 = Velocidad lineal en la punta de las aspas (ft/min)

V_o = Velocidad del aire en la entrada (ft/min)

V_p = Velocidad correspondiente a la unidad de presión. (ft/min)

V_r = Velocidad radial del aire que deja la punta de las aspas. (ft/min)

$$M = 0.75$$

$$N = 0.90$$

$$U_1 = \frac{\text{r.p.m.} \times \pi \times d}{12} = \frac{3,840 \times \pi \times 5.5}{12} = 5,390$$

$$U_2 = \frac{\text{r.p.m.} \times \pi \times D}{12} = \frac{3,840 \times \pi \times 16}{12} = 16,100$$

$$V_o = \frac{Q}{\frac{d^2 \times 0.785}{144}} = \frac{350 \times 144}{5.5^2 \times 0.785} = 2,140$$

$$V_p = 4,005 \times 1.144 = 4,590$$

$$V_r = \frac{Q}{\frac{D \cdot L}{2 \times 144}} = \frac{350 \times 2 \times 144}{16 \times 1} = 2,020$$

donde:

d = Diámetro de la entrada de los gases al ventilador (pulg.)

D = Diámetro de la caja del ventilador (pulg.)

r.p.m. = Revoluciones del rotor del ventilador por minuto.

L = Ancho del ventilador (pulg.)

Sustituyendo los valores obtenidos en la primera ---
ecuación se obtuvo que $p = 8$ pulg. de agua.

Para cotejar este resultado se llevó a cabo una prueba
en la que se reguló la caída de presión a lo largo de la unidad
experimental por medio de la válvula de descarga de los gases, -
ésta se igualó a 8 pulg. de agua y se comprobó que en estas con-
diciones el flujo de gases era igual a 370 pies cúbicos por minu-
to.

CAPITULO II

SELECCION Y CALIBRACION DE LOS -
INSTRUMENTOS DE MEDICION.

Los instrumentos de medición empleados en esta unidad experimental son:

1. Instrumentos de Medición de Temperatura.-

Con el fin de conocer durante el proceso la temperatura de puntos esenciales en la cámara de secado y carbonización se colocaron termopares de alambre de fierro-constantano.

Estos termopares se seleccionaron por ser los adecuados para las temperaturas de trabajo, y las atmósferas reductoras o neutras.

Se emplearon seis termopares, uno de ellos para medir la temperatura de los gases en la entrada de la cámara de secado-carbonizado, otro para medir la temperatura debajo del lecho de briquetas, tres para medir la temperatura en diversos puntos del lecho de briquetas o en el interior de éstas y el último para conocer la temperatura de los gases que han pasado por el lecho de briquetas. Tanto el primero como el último de los termopares citados fueron protegidos con pozos termométricos metálicos. Para aislar los alambres de los termopares se emplearon aisladores de porcelana dobles y sencillos. Como alambres

de extensión se emplearon los recomendados para reducir a un mínimo los voltajes de contacto. Para conocer el voltaje generado por los termopares a diferentes temperaturas se empleó un galvanómetro portátil marca Hoskins. Con el fin de intercomunicar los termopares con el galvanómetro portátil se empleó un interruptor múltiple de una entrada y seis salida.

Los termopares se calibraron por comparación con un termopar estandar de cromel-alumen conectado a un potenciometro.

El termopar por calibrar y el termopar estandar fueron introducidos en una mufla Hoskinstipo FD 204 C serie 3710. La mufla fué calentada lentamente y se hicieron lecturas simultáneas en el potenciómetro a que estaba conectado el termopar estandar y el galvanómetro al que se había conectado el termopar por calibrar.

Por medio de unas tablas de conversión de voltaje a temperatura, se transformaron las lecturas correspondientes al termopar estandar en temperaturas. Estas temperaturas fueron graficadas contra la lectura simultánea indicada en el galvanómetro a que estaba conectado el termopar por calibrar.

Para cada uno de los termopares se construyó una gráfica teniendo como abscisas las lecturas en milivoltios hechas en el galvanómetro Hoskins y en las ordenadas las temperaturas en grados centígrados y grados fahrenheit. Las gráficas resultaron ser líneas rectas.

Las lecturas hechas en el potenciómetro fueron corregidas por no encontrarse la junta fría a 0°C. y por carecer el potenciómetro de compensador.

Esta corrección se llevó a cabo por medio de la relación siguiente:

$$E(t,0) = E(t,t') + E(t',0)$$

donde:

$E(t,0)$ = fuerza electromotriz generada por un termopar

con la unión caliente a t y la unión fría a 0°C .

$E(t, t')$ = fuerza electromotriz generada por un termopar con la unión caliente a t y la unión fría a $-t'^{\circ}\text{C}$.

$E(t', 0)$ = Fuerza electromotriz generada por un termopar con la unión caliente a t' y la unión fría a 0°C .

2.- Instrumentos de Medición de Flujo.

Con objeto de medir el flujo de gases que entran a la cámara de secado y carbonización, el flujo de gases que se recirculan y el flujo de gases que se arroja a la atmósfera se colocaron 3 tubos de pitot en cada uno de los ductos correspondientes.

Estos tubos de pitot y sus ductos conductores a los medidores de flujo, fueron construidos de tubería de cobre de $5/16$ de pulgada de diámetro exterior.

Los manómetros diferenciales fueron hechos de vidrio, teniendo cada uno de ellos 5 válvulas, 2 de ellas para comunicar las tomas de presión de impacto y de presión estática con cada una de las ramas del manómetro diferencial, otras dos válvulas para purgar cada una de las líneas citadas y otra válvula para intercomunicar las dos ramas de los manómetros diferenciales.

A los manómetros se les dió una inclinación de 30 grados con respecto a la horizontal. Como fluido manométrico se empleó agua destilada coloreada. En cada uno de los manómetros se colocaron escalas graduadas en pulgadas y fracciones decimales de pulgada.

Ya que la relación de diámetros interiores de las ramas y de los manómetros es igual a 10 no hubo necesidad de hacer ningún ajuste.

A continuación se presentan las relaciones indispen-

sables para conocer el flujo de gases en las tuberías a partir de las lecturas hechas en los manómetros diferenciales.

a.- Relación entre las lecturas hechas en los manómetros diferenciales.

Ya que en los manómetros diferenciales la rama donde se hacen las lecturas presentan una inclinación de 50 grados, la lectura debe de ser multiplicada por 0.5 para obtener el valor real de la presión de velocidad en pulgadas de agua.

Para obtener la relación entre las presiones de velocidad en cada tubería se partió de un balance de materiales -- que se plantea a continuación:

$$G_1 = G_2 + G_3$$

pero ya que $G = V \cdot A$

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 + V_3 A_3 ; \quad A_1 = A_2 = A_3$$

$$V_1 = V_2 + V_3$$

se tiene que:

$$c_1 \sqrt{\frac{h_1}{\rho_1}} = c_2 \sqrt{\frac{h_2}{\rho_2}} + c_3 \sqrt{\frac{h_3}{\rho_3}}$$

Estimando que $c_1 = c_2 = c_3$ en vista de que los medidores fueron igualmente contruidos. Además considerando --

$$\rho_1 = \rho_2 = \rho_3$$

$$\sqrt{h_1} = \sqrt{h_2} + \sqrt{h_3}$$

elevando al cuadrado se tiene:

$$h_1 = h_2 + 2 \sqrt{h_2 h_3} + h_3$$

Notación:

A =	Área interior de los ductos.	(ft ²)
c =	Constante	(Adimensional)
G =	Gasto de gases.	(ft ³ /min.)
h =	Presión de velocidad	(pulg. de agua)
V =	Velocidad de los gases.	(ft/min.)
ρ =	Densidad de los gases.	(ft ³ /min.)

Subíndices.

- (1) Tubería de alimentación de los gases.
- (2) Tubería de recirculación de los gases.
- (3) Tubería de deshecho de los gases.

b.- Relación entre la presión de velocidad y el flujo de gases.-

Cada uno de los tubos de pitot fué calibrado por comparación con un anemómetro de alambre caliente.

Se observó que para estos medidores podía hacerse uso de la relación siguiente (13) comúnmente empleada para los tubos de pitot existentes en el mercado.

$$V = 1096.5 \sqrt{\frac{h}{\rho}}$$

en la que:

h =	Presión de velocidad	(pulg. de agua)
V =	Velocidad de los gases	(ft/min.)
ρ =	Densidad de los gases	(lb/ft ³)

Para calcular la densidad de los gases se hizo uso de la ecuación:

$$\rho = \frac{p \cdot V}{R \cdot T}$$

donde:

M =	Peso molecular del aire	(lb-mol.)
p =	Presión atmosférica	(lb/ft ²)

R = Constante universal de los gases	$\frac{\text{ft} - \text{lb}}{\text{lb} - \text{mol} - ^\circ\text{R}}$
T = Temperatura de los gases	($^\circ\text{R}$)
ρ = Densidad de los gases	(lb/ft^3)

Se construyó una tabla de valores de temperatura con tra densidad.

El flujo de los gases en la tubería esta dado por la relación:

$$Q = A.V.$$

donde

A = Area del ducto.	(ft^2)
Q = Flujo de gases.	($\text{ft}^3/\text{min.}$)
V = Velocidad de los gases.	($\text{ft}/\text{min.}$)

3.- Medidores de Diferencia de Presión.

Se midieron las diferencias de presión entre los ductos de la unidad experimental y las diferencias de presión a diferentes niveles del lecho de briquetas colocado en la cámara de secado-carbonizado.

Para llevar a cabo la determinación de las diferencias de presiones entre los ductos, se colocaron varias tomas de presión estática en los ductos intercomunicables a un manómetro vertical de agua, graduado en pulgadas y fracciones decimales de pulgada.

Con el fin de determinar las caídas de presión a diferentes niveles del lecho de briquetas se colocaron seis tomas

de presión estática a diversas alturas de la cámara de secado -- carbonizado, estas ramas están colocadas a un manómetro diferencial de iguales características a los empleados para los medidores de flujo. Una de las tomas se colocó debajo del lecho de briquetas, las diferencias de presión fueron referidas a esta to ma de presión.

CAPITULO III

DESCRIPCION DE LA EXPERIMENTA---
CION.-

La descripción de la experimentación realizada se --
presenta en tres parte: el proceso de preparación de las brique-
tas, el proceso de secado-carbonizado de las mismas y la determi-
nación de calidad de las briquetas.

Antes de describir las técnicas operatorias segui--
das para los procesos antes mencionados, se presentan algunas ca-
racterísticas de las materias primas empleadas.

Inicialmente se presenta a continuación un análisis
de mallas tanto de los carbones minerales como de los carbones -
celulósicos ya molidos en el molino Sturtevant.

TABLA No. 1
ANALISIS DE MALLAS
CARBON MINERAL MOLIDO EN EL MOLINO STUTERVANT

No. de Malla Tyler	Diámetro medio de las partículas m.m.	Porcentaje retenido.
- 6 + 8	2.845	1.0
- 88 + 16	1.676	22.5
- 16 + 30	0.746	24.0
- 30 + 60	0.364	15.1
- 60 + 100	0.198	12.8
-100	--	24.6

TABLA No. 2
ANÁLISIS DE MALLAS

CARBÓN CELULÓSICO MOLIDO EN EL MOLINO STUTERVANT.

No. de Malla Tyler	Diametro medio de las partículas m.m.	Por ciento retenido.
- 6 . 8	2,845	1.0
- 8 . 16	1,676	28.6
- 16 . 30	0,746	26.4
- 50 . 60	0,364	10.4
- 60 . 100	0,198	7.2
- 100	--	26.4
		100.0

TABLA No. 3

ANÁLISIS INMEDIATO DE LOS CARBONES. (1)

Clase de Carbón	Materia Volátil %	Cenizas %	Carbón Fijo %	Humedad %	Azufre %
Carbón Mineral	9.20	26.60	65.54	0.66	0.65
Carbón celulósico	25.26	24.86	50.98	0.51	0.15

Además, estos carbones presentaron las siguientes - características.

(1) Análisis hechos en el Laboratorio de Análisis del --
IMIT.

TABLA No. 4

CARACTERISTICAS DE LOS CARBONES.

Clase de Carbón	Residuo de MV	Poder Calorífico Btu/lb.
Carbón Mineral	No coherente	10,974
Carbón Celulósico	polvo negro	12,315

Las mieles empleadas como aglutinante de los carbones tienen las siguientes características.

TABLA No. 5 1(1)

CARACTERISTICAS DE LAS MIELES

Humedad (110°C)	34.19 %	29.34 %
Humedad (Xilol)	25.81 %	22.50 %
Pérdida por ignición	500°C 61.84 %	60.16 %
	400°C 67.84 %	68.70 %
	500°C 71.73 %	73.94 %
	600°C 74.67 %	73.95 %
Poder Calorífico	6,409 $\frac{\text{Btu}}{\text{lb.}}$	6,318 $\frac{\text{Btu}}{\text{lb.}}$
Azufre	0.76 %	0.79 %

(1) Análisis hechos en Lab. de Anal. del IMIT.

1.- Preparación de las Briquetas.

El carbón mineral y el carbón celulósico fueron sometidos a procesos de molienda en un molino giratorio marca Sturtevant Mod. 1224 actuando por un motor de 3 H.P. El molino tie

ne un cono giratorio que se ajusta durante la operación para obtener el tamaño de partícula deseado.

Los carbones minerales y celulósicos ya molidos fueron muestreados para llevar a cabo un análisis de mallas. Este análisis se efectuó con ayuda de un cernidor automático (Ro-ta-

Como puede verse en las tablas 1 y 2 que muestran los análisis de mallas de los carbones minerales y celulósicos la cantidad de partículas en ambos casos mayores de dos milímetros es muy reducida, por lo cual no hubo necesidad de cribar los carbones.

También debe de tomarse en cuenta que el porcentaje que pasa la malla 100 no sea muy elevado, pues esto aumenta notablemente la cantidad de aglutinante necesario.

Las mieles incristalizables se agregan a los carbones minerales y celulósicos previamente mezclados y el conjunto se procesó durante 20 minutos en un mezclador vertical.

La composición de la mezcla es:

TABLA No. 6
COMPOSICION DE LAS BRIQUETAS

Carbón mineral	58.50 %
Carbón Celulósico	16.5 %
Mieles Incristalizables	17.95 %

A partir de esta mezcla se prepararon las briquetas por medio de una briquetadora continua de rodillos.

Esta consta de dos rodillos que giran en sentido contrario y que presentan tres hileras de huecos en superficie que corresponde a la forma de media briqueta. La presión que ejercen los rodillos sobre la mezcla para formar las briquetas equivale a más o menos a 5000 libras por pulgada cuadrada. Esta máquina

es actuada por un motor de 7.5 H.P. Tanto la carga de la mezcla a la briquetadora como la descarga de las briquetas se efectuó en forma continua.

2.- Proceso de Secado y Carbonización de las briquetas.

Primero se prende el gas en la cámara de combustión para dar tiempo a que esta se caliente y no haya peligro de que se apague la flama durante la operación.

Se hicieron pruebas circulando los gases por la cámara de secado-carbonizado para calentarla antes de introducir en ella el lecho de briquetas, y pruebas sin precalentar la cámara.

La canasta de tela de alambre conteniendo el lecho de briquetas se introdujo en la cámara y se colocaron los termopares en los puntos donde se consideró importante conocer la temperatura.

Una vez cerrada la cámara de secado-carbonizado se dejaron circular los gases calientes. Durante cada una de las experimentaciones llevadas a cabo se mantuvo constante el flujo de gases alimentados, de gases recirculados y de gases desechados a la atmósfera. El lecho de briquetas se pesó antes y después de ser sometido al proceso de secado y carbonización.

Con el fin de evitar que se quemarán las briquetas durante el proceso, en algunas ocasiones se colocó otro lecho inferior de carbón vegetal, que al mismo tiempo sirvió para homogenizar el flujo.

Una vez que se consideró terminada la prueba se retiró el lecho de briquetas de la cámara de secado y carbonización, el lecho se enfrió sumergiéndolo en agua por un corto tiempo o rociándolo con agua. En ambos casos las briquetas volvieron a secarse completamente.

El ventilador que impulsa los gases calientes se dejó trabajar hasta que se enfrió para evitar distorsiones en el ro-

tor.

3.- Determinaciones de Calidad de las Briquetas.

Para determinar la calidad de las briquetas, éstas - fueron sometidas a dos clases de pruebas.

- I.- Determinación de su resistencia al manejo.
- II.- Determinación de facilidad de encendido.

I.- Las pruebas de resistencia al manejo a que se - acostumbra someter a las briquetas son parecidas a las que se so mete el coke; éstas son la prueba Tumbler y la prueba de resis-- tencia a la abrasión.

En este caso solo se llevó a cabo una prueba que con sistió en dejar caer las briquetas desde una altura de dos me-- tros; las briquetas se colocaban dentro de un pequeño costal y a continuación se determinaba el porcentaje de briquetas que ha--- bían resistido la prueba.

II.- En esta prueba se determinó el tiempo necesaa-- rio para encender la briqueta con tiro forzado, la duración del tiempo de combustión con tiro natural, el porcentaje en peso con sumido durante la combustión, y el porcentaje de material sin -- quemar. También se observó la cantidad de gases y humos que se desprendieron durante la combustión.

Esta prueba se llevó a cabo en un bracero en el que el tiro forzado es producido por un pequeño ventilador controlan-- do la cantidad de aire mediante una compuerta. La cantidad - de aire suministrado es semejante a la producida por una persona con un soplador manual.

CAPITULO IV

RESULTADOS EXPERIMENTALES Y SE--
LECCION DE DATOS PARA EL DISEÑO
DE UN SECADOR CARBONIZADOR.

A partir de la experimentación realizada y descrita en el capítulo anterior se obtuvieron una serie de datos en cada prueba de secado-carbonizado. Estos datos se presentan a continuación.

Para efectuar los cálculos se consideraron las propiedades de los gases de combustión (densidades, viscosidades, etc.) iguales a las del aire.

EXPERIMENTO, No. 1

TABLA No. 7

DATOS DE PROCESO

θ	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	G_1	G_2	G_3
min.	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$\text{ft}^3/\text{min.}$	$\text{ft}^3/\text{min.}$	$\text{ft}^3/\text{min.}$
0	-	-	-	-	-	-	400	-	390
3	16	228	174	160	164	170	390	-	380
10	-	314	280	240	242	-	390	-	380
13	-	326	298	260	263	-	380	-	380
17	-	333	307	280	285	-	380	-	380
23	332	344	340	282	287	305	380	-	380
33	362	386	375	406	400	360	380	-	380
36	-	404	416	496	498	-	380	-	380

θ = Tiempo transcurrido durante la experimentación

t = temperatura en diversos puntos de la cámara de secado-carbonizado.

G = Gasto volumétrico de gases.

Nomenclatura.-

Los subíndices en las temperaturas se refieren a cada uno de los termopares que fueron colocados de acuerdo con la siguiente numeración:

- (1) Termopar colocado en la entrada de los gases a la cámara de secado-carbonizado.
- (2) Termopar colocado debajo del lecho de briquetas
- (3) Termopar colocado en el interior de la pared de la cámara de secado-carbonizado.
- (4) Termopar colocado en el interior de una briqueta.
- (5) Termopar colocado en la superficie de una briqueta.
- (6) Termopar colocado arriba del lecho de briquetas.

Los subíndices de los gastos de gases se refieren a las tuberías de:

- (1) Alimentación de gases a la cámara de secado-carbonizado.
- (2) Desecho de gases a la atmósfera.

Observaciones y Conclusiones:

El lecho de briquetas fué formado por una capa de -- briquetas. Este fué colocado en el interior de la cámara de se cado-carbonizado fría.

Al final de la prueba se observó que la temperatura en el interior de las briquetas era superior a la de los gases de alimentación; ésto se debió a que las briquetas empezaron a quemarse.

Las briquetas carbonizadas en esta prueba resultaron de mala apariencia y sin ninguna resistencia. Este se debió a que las briquetas empezaron a quemarse.

Por las razones antes dichas no se llevó a cabo nin-

guna prueba de encendido ni de resistencia al manejo.

Con el fin de evitar que se quemen las briquetas se debe procurar disminuir la cantidad de aire alimentado en relación con el gas combustible. Con esto se lograra una atmósfera neutra o menos oxidante que la tenida en este experiencia.

EXPERIMENTO No. 2

TABLA No. 8

DATOS DE PROCESO

θ	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	G_1	G_2	G_3
min.	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$\text{ft}^3/\text{min.}$	ft^3/min	$\text{ft}^3/\text{min.}$
0	290	298	-	-	-	-	390	-	380
7	335	370	298	316	340	310	370	97	250
15	352	384	348	346	377	360	370	170	200
20	366	400	368	358	395	380	370	170	200
25	374	416	398	380	403	392	370	170	200

Observaciones y Conclusiones.-

El lecho de briquetas consistente en una sola capa - se introdujo en la cámara de secado-carbonizado ya caliente. --- (300 $^{\circ}\text{C}$)

Los termopares fueron colocados igualmente que en la prueba número 1.

Se recirculó una parte de los gases. (25%)

Se disminuyó la cantidad de aire alimentada a la cámara de combustión en relación con el gas combustible. Las -- briquetas comenzaron a quemarse por lo que resultaron de mala -- apariencia. Se estimó que el tiempo de secado-carbonizado

fué excesivo. Para enfriar el lecho de briquetas se sumergió éste en agua y se retiró inmediatamente, las briquetas volvieron a secarse por sí solas.

EXPERIMENTO No. 3

TABLA No. 9
DATOS DE PROCESO

θ	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	G_1	G_2	G_3
min.	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	ft^3/min	ft^3/min	ft^3/min
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	304	323	278	240	240	246	400	200	200
5	348	366	328	306	299	298	400	200	200
10	362	376	346	318	324	317	400	200	200
12	380	400	365	321	332	325	400	200	200
15	384	408	374	349	350	342	410	200	200

Observaciones y Conclusiones.

La cámara de secado fué precalentada. El lecho de briquetas consistió en dos capas. Los termopares fueron colocados como en el experimento número 1. Se recirculó un 50% de los gases. Para enfriar las briquetas se rociaron éstas con agua.

Las briquetas resultantes presentaron muy buena apariencia y una buena resistencia al manejo.

En las pruebas de combustión, el tiempo necesario para encender las briquetas con tiro forzado fué de 20 minutos; la duración de la combustión con tiro natural fué de 7 horas. Se observó el desprendimiento de humos blancos sin olor molesto durante la combustión. Las briquetas se quemaron completamente.

EXPERIMENTO No. 4

TABLA No. 10
DATOS DE PROCESO

θ	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	G_1	G_2	G_3
min.	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$\text{ft}^3/\text{min.}$	$\text{ft}^3/\text{min.}$	$\text{ft}^3/\text{min.}$
0	312	350	206	226	266	220	360	180	180
3	359	391	256	304	318	295	360	180	180
5	382	408	366	324	350	320	360	180	180
10	420	456	403	372	380	352	360	180	180
12	450	482	420	392	398	471	370	180	180

Observaciones y Conclusiones.-

El lecho de briquetas formado por una capa se colocó en la cámara ya caliente. Los termopares fueron distribuidos igual que en experimento No. 1. Se recirculó durante el proceso un 50% de los gases. Debajo del lecho de briquetas se colocó un lecho de carbón vegetal. Una vez terminada la prueba las briquetas fueron rociadas con agua para enfriarlas.

Las briquetas resultaron de buena apariencia y con buena resistencia al manejo.

Las briquetas tardaron en prender con tiro forzado de aire 25 minutos. La combustión con tiro natural duró 12 minutos.

Se estima que esta deficiencia fué debida al proceso de elaboración de las briquetas, pues el aglutinante fué fiuido con mucha agua y éstas resultaron muy compactas.

EXPERIMENTO No. 5

TABLA No. 11

DATOS DE PROCESO

θ	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	G_1	G_2	G_3
min.	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$\text{ft}^3/\text{min.}$	$\text{ft}^3/\text{min.}$	$\text{ft}^3/\text{min.}$
0	250	316	232	-	207	-	350	175	175
3	-	335	240	232	250	318	350	175	175
5	-	347	262	240	336	350	350	175	175
7	-	358	281	262	350	360	350	175	175
8	-	368	308	280	360	375	350	175	175
10	360	382	330	287	371	382	350	175	175
13	-	408	-	307	-	390	350	175	175

Observaciones y Conclusiones.-

En la cámara ya precalentada se colocó el lecho consistente en una capa de briquetas. Los termopares se colocaron igual que en las experiencias anteriores. Se recirculó un 50% de los gases. Una vez terminada la prueba el lecho se dejó en friar al aire por convección natural.

Las briquetas resultaron de buena apariencia y calidad; el tiempo para encenderla con tiro forzado fué igual a 18 minutos; la combustión con tiro natural se prolongó por 6 horas y se consumieron completamente. Se notó un ligero desprendimiento de humos molestos.

Se estima que el tiempo de secado-carbonizado puede reducirse aumentando la temperatura de los gases; se recomienda llevar a cabo experimentaciones bajo estas condiciones.

EXPERIMENTO No. 6

TABLA No. 12

DATOS DE PROCESO

θ	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	G_1	G_2	G_3
min.	o	o	o	o	o	o	ft ³ /min.	ft ³ /min.	ft ³ /min.
0	-	340	290	242	323	-	300	150	150
1	-	380	330	265	346	-	300	150	150
3	-	422	374	181	360	--	300	150	150
5	-	440	418	323	418	-	300	150	150
7	-	447	425	333	438	-	300	150	150
10	448	463	458	350	454	-	300	150	150

Observaciones y Conclusiones.-

El lecho formado por una capa de briquetas se introdujo en la cámara ya precalentada. Una vez terminada la prueba el lecho de briquetas se introdujo por un momento en agua. - Los termopares fueron distribuidos en igual forma que en los experimentos anteriores excepto el número 4 que se colocó sobre la superficie de una de las briquetas y el número 5 que fué colocado arriba del lecho de las briquetas.

Las briquetas obtenidas en este experimento presentaron buena apariencia y resistencia al manejo.

Las pruebas de combustión a que fueron sometidas las briquetas indicaron que éstas eran de mala calidad, pues no llegaron a prender.

Aunque la cámara fué calentada por 20 minutos se estima necesario precalentar aún más con el objeto de que el proceso sea más uniforme y representativo de una operación continua.

EXPERIMENTO No. 7

TABLA No. 13

DATOS DE PROCESO

θ	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	G_1	G_2	G_3
min.	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$\text{ft}^3/\text{min.}$	$\text{ft}^3/\text{min.}$	$\text{ft}^3/\text{min.}$
0	-	450	368	224	390	350	230	115	115
3	440	464	-	240	400	365	230	115	115
3.5	-	466	-	253	412	-	230	115	115
4	-	470	-	271	421	-	230	115	115
5	-	478	408	294	430	-	230	115	115
6	-	483	430	-	439	-	230	115	115
8	-	490	350	446	446	-	230	115	115
9	-	495	-	364	450	-	230	115	115
11	480	497	458	380	468	-	230	115	115
13	-	501	-	396	485	-	230	115	115
14	-	507	469	410	500	-	230	115	115

Observaciones y Conclusiones.-

El lecho de briquetas consistente en 3 capas se colocó en la cámara precalentada a 440°C . Los termopares fueron colocados igualmente que en el experimento número 6.

El flujo de gases se disminuyó en este experimento. Se recircularon un 50% de los gases.

El lecho de briquetas antes de ser carbonizado pesaba 8.0 kilogramos, después de haber sido sometido al proceso de secado-carbonizado pesó 5.0 Kgr.

Al ser retirados las briquetas de la cámara se notó que estas empezaban a quemarse por lo que hubo necesidad de sumergirlas en agua para apagarlas y enfriarlas.

El que las briquetas empezaran a quemarse no llegó -

a afectar su apariencia; además, mostraron buena resistencia al manejo y su encendido fué satisfactorio. La combustión con tiro-natural se prolongó por 6 1/2 horas y se consumieron totalmente.

Las lecturas de los termopares 1 y 6 no fueron tomadas en cuenta ya que como puede observarse de los datos de las pruebas anteriores su lectura no indica la temperatura instantánea, pues el pozo termométrico la impide.

EXPERIMENTO No. 8

TABLA No. 14

DATOS DE PROCESO

θ	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	G_1	G_2	G_3
min.	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$\text{ft}^3/\text{min.}$	$\text{ft}^3/\text{min.}$	ft^3/min
0	-	485	366	286	444	-	200	100	100
1	-	485	385	308	452	-	200	100	100
3	-	490	400	329	460	-	200	100	100
5	-	495	412	350	470	-	200	100	100
7	-	500	426	370	470	-	200	100	100
9	-	508	440	368	477	-	200	100	100
11	-	510	451	388	482	-	200	100	100
13	-	512	462	410	490	-	200	100	100
15	-	514	470	425	495	-	200	100	100

Observaciones y Conclusiones.-

El lecho de briquetas compuesto de 3 capas se introdujo en la cámara de secado carbonizado al finalizar la prueba anterior. Los termopares fueron colocados como en el experimento número 6. En esta prueba se disminuyó aún más el volumen de gases alimentados a la cámara y se recircularon un 50% de és-

tos.

Las briquetas se dejaron enfriar al aire.

Las briquetas resultaron de buena apariencia y resistencia al manejo. Estas tardaron en encender con tiro forzado de -- aire 16 minutos y continuaron quemándose hasta que se consumieron totalmente.

El lecho de briquetas pesaba 7.5 Kg. antes de ser -- carbonizado y despues pesó 6.5 Kg.

EXPERIMENTO No. 9

TABLA No. 15

DATOS DE PROCESO

θ	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	G_1	G_2	G_3
min.	°C	°C	°C	°C	°C	°C	ft ³ /min.	ft ³ /min.	ft ³ /min.
0	-	480	350	270	440	-	200	130	70
2	-	488	380	320	452	-	200	130	70
4	-	493	394	361	460	-	200	130	70
7	-	499	410	395	471	-	200	130	70
10	-	503	423	426	481	-	200	130	70
12	-	506	438	440	487	-	200	130	70
15	-	510	456	458	496	-	200	130	70

Observaciones y Conclusiones.-

El lecho consistente en tres capas de briquetas fué introducido a la cámara de secado-carbonizado ya caliente. El volumen alimentado se mantuvo igual que en el experimento anterior, pero el porcentaje de gases recirculados fué aumentado a un 65%. Los termopares fueron distribuidos como en el experimento No. 6. Una vez terminada la experiencia se enfrió el le

cho de briquetas rociándolo con agua. El lecho de briquetas - pesaba 7.5 Kg. antes de ser sometido al proceso de secado-carbonizado y después de ser sometido al proceso pesó 6.6 kg.

Las briquetas carbonizadas presentaron buena apariencia, buena resistencia al manejo, el encendido de éstas fué rápido y se continuaron quemando por 5 horas sin dejar residuo combustible.

SELECCION DE DATOS BASICOS PARA EL DISEÑO DE UN SECADOR CARBONIZADOR PILOTO.

A partir de los datos experimentales presentados anteriormente se determinaron algunas características de cada proceso para después comparar los resultados obtenidos y seleccionar un experimento que presentara un ciclo óptimo. Es decir, que tenga un menor consumo de calor, un menor requerimiento de gases calientes. También se tomó en cuenta que en ese ciclo se hubieran obtenido briquetas de buena calidad.

Para efectuar los cálculos se consideraron las propiedades de los gases de combustión iguales a las del aire.

Comparando cuantitativamente los datos de proceso de los ciclos de operación de secado-carbonizado se seleccionó como ciclo óptimo el desarrollado en el experimento No. 9.

Las características determinadas para cada ciclo son. El volumen de gases calientes requeridos y el calor. Para estos cálculos se tomó como base un pie cuadrado del lecho de briquetas y 1 minuto.

A continuación se desarrollan éstos cálculos para el experimento No. 9.

1.- Volumen de Gases Requeridos.-

El volumen de gases requeridos en el experimento No.

9 por minuto fué igual a 200 pies cúbicos.

Teniendo en cuenta que la sección transversal al flujo de la cámara de secado de la unidad experimental es igual a 2.28 pies cuadrados, para un pie cuadrado del lecho se necesitan 87.5 pies cúbicos de gases por minuto. El volumen de los gases calientes que deben ser producidos en la cámara de combustión es de 87.5 por 0.55 igual a 50.6 pies cúbicos por minuto y por pie cuadrado del lecho en vista de que el 95% está formado por gases de recirculación. Este volumen de gases está multiplicado por un coeficiente igual a 1.1 con el fin de compensar las pérdidas que pudieran presentarse. Por lo tanto se necesita producir efectivamente 54 pies cúbicos por minuto y por pie cuadrado de lecho de briquetas a 550°C.

El volumen total de gases que deben ser movido es igual a 87.5 por 1.1 igual a 96 pies cúbicos por minuto y por pie cuadrado de lecho de briquetas.

El aire frío que es necesario alimentar en la cámara de combustión para producir los gases calientes está dado por la fórmula:

$$V_2 = V_1 \frac{T_2}{T_1}$$

donde:

T_1 = Temperatura de los gases calientes (°K)

T_2 = Temperatura ambiente (°K)

V_1 = Volumen de gases calientes (Ft³)

V_2 = Volumen de aire a temperatura ambiente (Ft³)

Sustituyendo los valores numéricos se tiene que:

$$V_2 = \frac{54 \times 279}{773} \quad 12$$

2.- Requerimientos de Calor.-

Este cálculo se llevo a cabo bajo las mismas bases - que el anterior.

Ya que los gases requeridos son 34 pies cúbicos por minuto y por pie cuadrado de superficie de lecho de briquetas, el calor que será necesario liberar en la combustión deberá ser igual al calor necesario para calentar estos gases desde la temperatura ambiente a 550°C.

Partiendo de la ecuación.

$$n = \frac{pV}{RT}$$

donde:

n =	Número de lb-mol	$\frac{\text{lb-mol}}{\text{min.}}$
p =	Presión atmosférica	(lb/ft ²)
R =	Constante universal de gases	$\frac{\text{lb-ft}}{\text{lb-mol} - ^\circ\text{R}}$
T =	Temperatura	°R
V =	Volumen de gases	(Ft ³ /min.)

Sustituyendo los valores numéricos:

$$n = \frac{11.5 \times 144 \times 34}{1544 \times 1442} = 0.0262$$

El calor necesario para calentar estos gases desde - la temperatura ambiente hasta 550°C es igual a:

$$Q' = n \bar{c}_p (t_f - t_a)$$

donde:

- \bar{c}_p = Capacidad calorífica molal media $\frac{\text{Btu}}{\text{lb-mol} \cdot ^\circ\text{F}}$
 n = Número de libras mol $\frac{\text{Lb-mol}}{\text{min.}}$
 Q' = Calor necesario para calentar los gases (Btu/min.)
 t_a = Temperatura ambiente. ($^\circ\text{F}$)
 t_f = Temperatura de los gases calientes ($^\circ\text{F}$)

Sustituyendo los valores numéricos correspondientes:

$$Q' = 0.0262 \times 7.2 (1058 - 65) = 163$$

Estimando una eficiencia de combustión igual a 80% - se tiene que:

$$Q = \frac{163}{0.8} = 200$$

Q = Calor que es necesario liberar por minuto y por pie -- cuadrado cuadrado de lecho de briquetas.

A continuación se presenta una tabla en la que se -- muestran las condiciones diseñadas para el experimento No. 9 y -- para cada uno de los otros experimentos llevados a cabo.

TABLA No. 16

CARACTERISTICAS DE LOS CICLOS.

Experimento No.	Unidades	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Vol. de gases requeridos. ^x	ft ³ /min.	184	88	81	78	80	63	41	39	34
Vol. de aire re querido.	ft ³ /min. ^{xx}	65	58	55	28	33	26	16	15	12
Calor requerido	Btu/min.	1270	720	700	690	720	50	415	260	200

\bar{c}_p = Capacidad calorífica molal media $\frac{\text{Btu}}{\text{lb-mol} \cdot ^\circ\text{F}}$
 n = Número de libras mol $\frac{\text{Lb-mol}}{\text{min.}}$
 Q' = Calor necesario para calentar los gases (Btu/min.)
 t_a = Temperatura ambiente. ($^\circ\text{F}$)
 t_f = Temperatura de los gases calientes ($^\circ\text{F}$)

Sustituyendo los valores numéricos correspondientes:

$$Q' = 0.0262 \times 7.2 (1058 - 65) = 163$$

Estimando una eficiencia de combustión igual a 80% - se tiene que:

$$Q = \frac{163}{0.8} = 200$$

Q = Calor que es necesario liberar por minuto y por pie -- cuadrado de lecho de briquetas.

A continuación se presenta una tabla en la que se -- muestran las condiciones diseñadas para el experimento No. 9 y -- para cada uno de los otros experimentos llevados a cabo.

TABLA No. 16

CARACTERISTICAS DE LOS CICLOS.

Experimento No.	Unidades	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Vol. de gases requeridos. ^x	ft ³ /min.	184	88	81	78	80	63	41	39	34
Vol. de aire re _{querido} .	ft ³ /min. ^{xx}	65	38	35	28	33	26	16	15	12
Calor requerido	Btu/min.	1270	720	700	690	720	50	415	260	200

^x Ver capítulo IV.

^{xx} Por pie cuadrado del lecho de briquetas.

3.- Pérdida de Peso del Lecho de Briquetas.

La pérdida de peso sufrida por el lecho de briquetas al ser sometido al proceso de secado-carbonizado en el experimento No. 9 es igual a 7.5 - 6.6 = 0.9 Kg., que representa un 12% del peso inicial.

4.- Determinación del Coeficiente volumétrico de --- Transmisión de calor. (14)

Por definición el coeficiente volumétrico de transmisión de calor es igual a la velocidad de transmisión de calor dada en calorías por segundo, por grado de diferencia de temperatura entre el gas y el sólido y por centímetro cúbico de lecho.

Se determinó este coeficiente entre los tiempos 7 y 10 minutos del proceso (Tabla No. 15)

Se tiene que el cambio de velocidad media de la temperatura del sólido en ese intervalo es igual a (96 - 61):(10-7) x 60 = 0.1945°C/seg. a una diferencia media de temperaturas entre el sólido y el gas igual a 117°C.

Estimando una capacidad calorífica media para las briquetas igual a 0.20 Cal/gr°C (15) y teniendo un peso del lecho de briquetas por centímetro de altura igual a 790 gr y una área de lecho de briquetas igual a 2120 cm², se obtiene que:

$$\begin{array}{r} 790 \text{ gr/cm.} \times 0.2 \text{ cal/gr.}^{\circ}\text{C} = 158/\text{cm}^{\circ}\text{C} \\ 158 \text{ cal/cm.}^{\circ}\text{C} \times 0.1945^{\circ}\text{C}/\text{seg.} = 30.8 \text{ cal/cm}/\text{seg.} \\ 30.8 \text{ cal/cm.}/\text{seg.} : 117^{\circ}\text{C} = 0.265 \text{ cal/cm.}/\text{seg.}-^{\circ}\text{C} \\ 0.265 \text{ cal}/\text{seg.}-^{\circ}\text{C} : 2120 \text{ cm}^2 = 0.000125 \frac{\text{cal}}{\text{cm.}^3 \text{ seg. } ^{\circ}\text{C}} \end{array}$$

Estos datos fueron obtenidos para briquetas de carbón con un diámetro medio de 3.0 cm. y manteniendo un flujo de 0.0447 lt por cm.² del lecho y por segundo.

CAPITULO V

APLICACION DE LOS DATOS OBTENI--
DOS AL ANTEPROYECTO DEL DISEÑO -
DE UN SECADOR CARBONIZADOR PILO-
TO.-

A partir de los datos básicos seleccionados de la experimentación en el capítulo anterior, se presenta a continuación el diseño de un secador carbonizador piloto y un breve estudio - sobre la estimación de costos de la operación de secado y carbonización en éste.

El tipo de secado carbonizador al cual se aplican -- los datos obtenidos es del tipo transportador de banda. Diag. 2
Diag. 2.

En seguida se muestran los cálculos básicos de diseño de las diferentes partes que constituyen esta unidad.

1.- Cámara de Secado y Carbonización.

a) Cálculo de diseño.

Se siguió el procedimiento siguiente para - calcular las dimensiones de la cámara.

Alimentación a la cámara: $F = 2500 \text{ Kg./hr.}$

Tiempo de secado-carbonizado: $\theta = 0.25 \text{ hr.}$

Material que maneja el secador carbonizador:

$$H = F \theta = 2500 \times 0.25 = 625 \text{ Kg.}$$

$$H = 1375 \text{ Lb.}$$

Densidad aparente del lecho de briquetas⁺

$$\rho = 39.5 \text{ Lb/ft}^3$$

Volumen manejado por el transportador:

$$V = \frac{F \theta}{\rho} = \frac{1375}{39.5} = 34.55 \text{ Ft}^3$$

Area requerida de transportador:

$$A = \frac{F \theta}{h} = \frac{34.75}{.333} = 105 \text{ Ft}^2$$

h = Altura del lecho de briquetas (Ft)

Dimensiones del transportador: Con el fin de dar unas - dimensiones razonables al transportador para que ajusten con el espacio disponible, se seleccionó una banda de 2.5 pies de ancho (a), resultando una longitud para el transportador igual a:

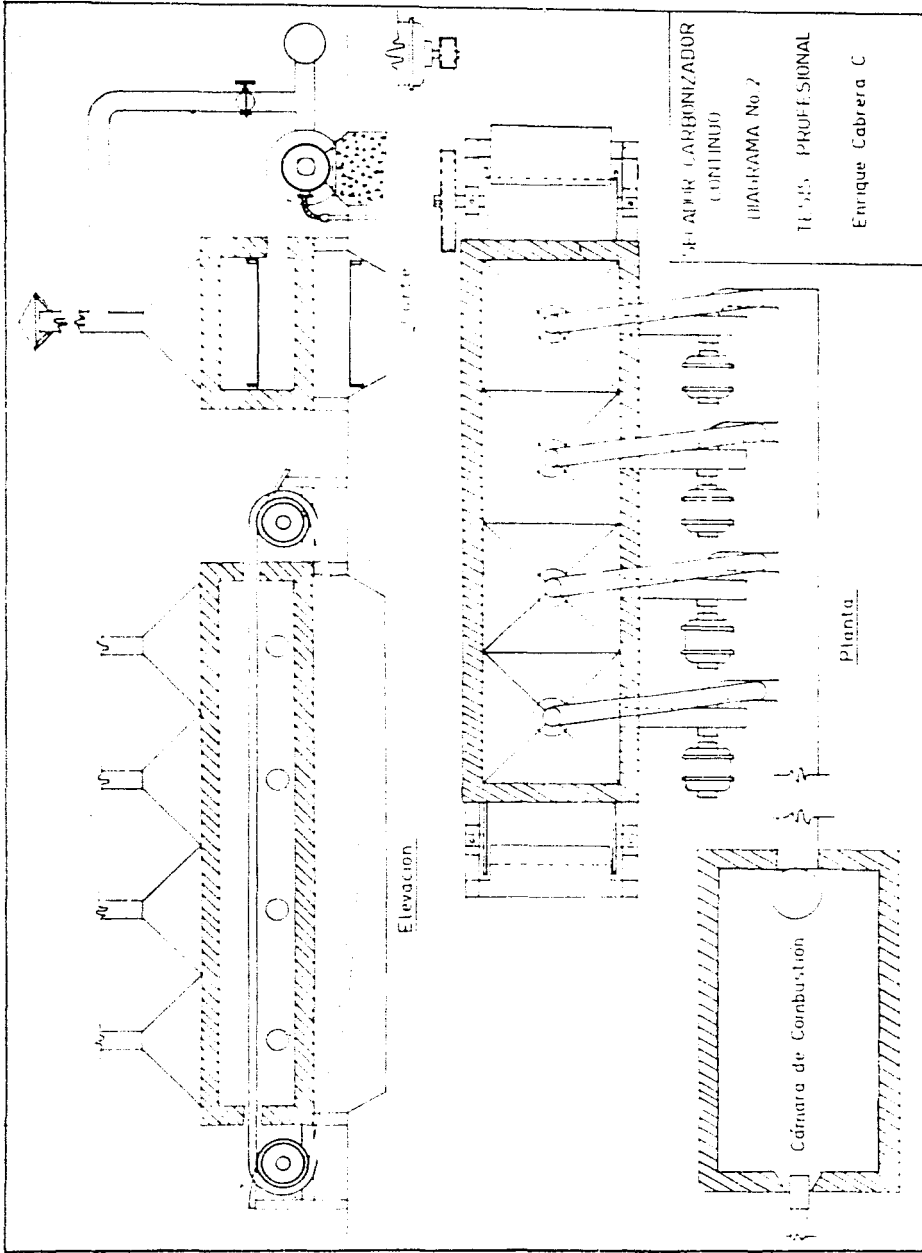
$$L = \frac{A}{a} = \frac{105}{2.5} = 42 \text{ Ft.}$$

Esta longitud se prolongó a 45 pies ya que en los -- puntos cercanos a la entrada y a la salida de la cámara no hay - un flujo efectivo de gases calientes.

El ancho interior de la cámara debe ser igual al ancho de la banda (2.5 ft) más 4 pulgadas, que es el espacio requerido por la cadena que rodea la banda y aditamentos para sostenerlo.

La altura de la cámara debe ser tal que permita el paso libre de la banda con el lecho de briquetas y la colocación - de los ductos para introducir los gases calientes, esta altura - se estimó igual a 3 pies.

⁺ Esta densidad fué determinada experimentalmente para un lecho de briquetas de 4 pulgadas de alto.



DISEÑO CARBURIZADOR CONTINUO

DISEÑO No. 2

DISEÑO PROFESIONAL

Enrique Cabrera C

Elevacion

Planta

Cámara de Combustion

En la parte superior de la cámara se dispusieron 4 campanas de fierro para extraer los gases que han pasado por el lecho de briquetas; éstas campanas tiene forma de una pirámide - cuadrangular truncada, Las dimensiones de estas campanas son - 5.2 pies de altura por 10 pies de longitud y por 2.7 pies de -- ancho.

b) **Resúmen de Dimensiones Resultantes.**

Longitud de la cámara:	12.8 m.
Altura de la cámara:	0.9 m.
Ancho de la cámara:	0.8 m.
Longitud de las campanas	2.9 m.
Altura de las campanas:	2.0 m.
Ancho de las campanas:	0.8 m.

De la parte superior de éstas debe partir un ducto - que se ramifica dando origen a los ductos de recirculación y de desecho de gases.

c) **Materiales de Construcción.**

Como material de construcción para las paredes de la cámara se seleccionó tabique refractario A.P. Green, Crown M. - recubierto exteriormente con una capa de tabique aislante poroso y para pegar los tabiques, cemento Sair Set fabricado por la A. P. Green.

En esta construcción, deberán tenerse en cuenta los - siguientes factores:

- I - La construcción deberá ser lo más compacta posible para evitar entradas de aire frío o escapes de gases.
- II - Facilidad para remover tabiques interiores que - pudieran danarse.
- III - Prever la localización de juntas de expansión - tanto horizontales como verticales.

Para construir las campanas de lámina se seleccionó lámina de fierro del número 16. Estas campanas deberán ser -- aisladas exteriormente con colchoneta de vidrio aislante T W A - de 3 pulgadas de grueso.

Con el fin de homogenizar el flujo de gases que llega al lecho de briquetas se recomienda colocar 5 mallas de latón No. - 200.

2.- Banda del Transportador.

a) Cálculos de diseño.

En el cálculo anterior fué determinada la - longitud básica necesaria de banda. La longitud total de la -- banda debe ser igual al doble de la longitud básica de la banda más una cierta longitud que permita colocar los rodillos fuera - de la cámara de secado-carbonizado, para envolverlos media --- vuelta a cada uno y para formar un festón único en la parte infe rior de la banda.

El diámetro mínimo de los rodillos según especificaciones (16) debe ser igual a 2.5 pies. Colocando el centro de los rodillos a 4 pies de la descarga y de la entrada del horno - respectivamente la longitud total de la banda es igual a 125 --- pies.

La velocidad de la banda debe ser igual a:

$$S = \frac{L}{\theta} = \frac{42}{15} = 2.8 \text{ ft/min.}$$

La potencia necesaria para mover la banda esta dada por: (16)

$$\text{HP} = \frac{W \times S}{f \times 33000}$$

donde:

f = Coeficiente	(Adimensional)
HP = Caballos teóricos necesarios	(HP)
S = Velocidad de la banda	(ft/min.)
W = Peso total (carga y banda)	(lb)

Sustituyendo los valores numéricos en la ecuación:

$$\text{HP} = \frac{1880 \times 2.8}{0.65 \times 35000} = .25$$

Se seleccionó un motor de 1.5 HP.

b) Resumen de dimensiones resultantes:

Longitud total de la banda:	38 m
Ancho de la banda:	0.76 m
Altura del retén:	0.11 m
Distancia de la cámara al centro de los rodillos:	1.30 m
Diámetro de los rodillos:	0.83 m
Velocidad de la banda:	0.93 m/min
Potencia para mover la banda:	5.0 HP

c) Materiales de Construcción.

La banda seleccionada es de tela de alambre de acero inoxidable (18 - 8) R - 22 - 23 - 11. La primera cifra indica el número de enrollados de alambre por pie lineal de longitud de la banda, la segunda cifra indica el número de enrollados de alambres por pie lineal de banda y el tercero designa el número del alambre. Esta banda está provista además con bordes de aletas de fierro que sirven para sostener el lecho de briquetas y con cadenas en ambos lados de la banda para transmitir el movimiento de los rodillos a ésta. El paso de la cadena es de 3/4 de pulgada.

Los rodillos fueron colocados exteriormente a la cámara de secado carbonizado para evitar que éstos fueran de acero inoxidable y para no tener problemas en su lubricación. Con esto además se facilita la carga y la descarga del transportador y se disminuye el volumen de la cámara, ya que la banda en su parte inferior viaja afuera de la cámara.

Esto fué factible ya que se observó experimentalmente que las briquetas no se prendían espontáneamente al salir ca

lientes de la cámara de secado carbonizado y estar en contacto - con la atmósfera.

3.- Horno para Producir Gases Calientes.-

a) Cálculos de Diseño

El volumen de gases calientes que es necesario producir en el horno, se calculó a partir de los datos obtenidos en el capítulo anterior:

$$G = A \cdot G'$$

donde:

A = Area del lecho de briquetas. (ft²)

G = Volumen de gases calientes que se deben producir en la cámara de combustión. (ft³/min)

G' = Volumen de gases calientes que se deben producir por pie cuadrado del lecho de briquetas. (Velocidad de los gases. (ft/min.))

Sustituyendo los valores numéricos se tiene que:

$$G = 105 \times 34 = 3670 \text{ ft}^3/\text{min.}$$

El volumen de aire que se debe alimentar a la cámara por minuto está dado por:

$$G_a = \frac{G \cdot T_a}{T}$$

donde:

G = Volumen de gases calientes por minuto (ft³/min)

G_a = Volumen de aire caliente alimentado: (ft³/min)

T = Temperatura de los gases: (°K)

T_a = Temperatura del aire: (°K)

por lo tanto:

$$G_a = \frac{3670 \times 293}{823} = 1490 \text{ ft}^3/\text{min.}$$

El volumen de la cámara de combustión se calculó a partir de tablas presentadas en (15). A una temperatura de operación en el interior de la cámara igual a 1800°C se necesita un pie cúbico de espacio de combustión para liberar 56,000 -- Btu por hora empleando aceite como combustible.

El calor requerido es igual a:

$$Q = A \cdot q$$

$$Q_h = Q \times 60$$

donde:

- A = Area del lecho de briquetas (ft²)
 Q = Calor total requerido (Btu/min.)
 q = Calor requerido por pie cuadrado de lecho de briquetas (Btu/ft²min)
 Q_h = Calor teórico requerido por hora (Btu/hr.)
 Q_h = Calor total requerido por hora

Sustituyendo los valores numéricos:

$$Q = 200 \times 105 = 21,000$$

$$Q_h = 21,000 \times 60 = 1,260,000$$

El calor total necesario es igual a:

$$Q_h = H Q_h' \times f.$$

Donde f es un factor de eficiencia de combustión --

(95%), pérdidas de calor en la cámara de combustión, en los ductos y en la cámara de secado-carbonizado. Este factor es igual a 1.3.

por lo tanto:

$$Q_h = 1,640,000 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.}}$$

Estimando una eficiencia del espacio de combustión igual a 0.8, se tiene que el espacio total de combustión es igual a 80 pies cúbicos.

Las dimensiones de la cámara son: 3 pies de ancho por 3 pies de alto y por 675 pies de longitud.

El consumo de combustible por min. es:

$$w = \frac{Q_h}{\text{P.C.B.}} = \frac{1640000}{1600 \times 60} = 1.71 \frac{\text{lb.}}{\text{min.}}$$

Con el fin de verificar el resultado obtenido se llevó a cabo un balance técnico.

$$Q' = w \lambda + W \bar{c}_p (t_f - t_i)$$

donde:

\bar{c}_p = Capacidad calorífica media de las briquetas.

Q' = Calor teórico necesario.

t_i = Temperatura inicial de las briquetas.

t_f = Temperatura final de las briquetas.

W = Peso de briquetas por procesar

w = Cantidad de agua por evaporar

λ = Calor latente de evaporación del agua.

Sustituyendo los valores numéricos correspondientes

en la ecuación se tiene que:

$$Q' = 336 \times 1000 + 5500 \times 0,2 (920-70)$$

$$Q' = 1,051,000$$

La eficiencia térmica en este tipo de este tipo de hornos varía entre un 40 y 65%. Tomando un valor medio con objeto de tener un margen razonable de seguridad, del calor requerido por hora resulta: a 1050000: 0,55 = 1,930,000. Este valor debe ser afectado por un factor de eficiencia igual 1.3 de donde resulta un requerimiento total de calor igual a 2,500.000 Btu/hr.

El consumo de combustible resulta igual a:

$$w = \frac{2,500,000}{16,000 \times 60} = 2.6 \frac{\text{lb.}}{\text{min.}}$$

La diferencia entre el calor que se requiere para el proceso de secado carbonizado según el modelo de cálculo seguido y el calor obtenido experimentalmente si se tiene en cuenta la alta capacidad calorífica de la cámara de secado carbonizado en comparación con la capacidad calorífica del lecho de briquetas que se coloca en ésta. Además hay que tener en cuenta que durante el lapso que el lecho de briquetas permanece en el interior de la cámara sin que circulen gases, el lecho se calienta considerablemente con lo que disminuye el calor necesario para el calentamiento del lecho y la evaporación del agua.

Por esta razón se estimó como más probable el calor calculado teóricamente, por lo tanto éste fué el valor que se tomó en cuenta.

El espacio de cámara de combustión no se aumentó ya que está calculado con un amplio margen de seguridad.

b) Resumen de resultados

Volumen de gases calientes que se deben producir.

104 m³/min. (550°C)

Volumen de aire que se debe alimentar a la cámara

42 m³/min. (20°C)

Consumo de combustible: (Diesel)

1.2 Kg/min.

Espacio de combustible:

80 pies cúbicos.

Dimensiones interiores de la cámara:

0.91 x 0.91 x 2.5 m.

C) Materiales de construcción.

Como materiales de construcción de la cámara de combustión se seleccionaron: tabique refractario A.P. Green, Crown - M, tabique aislante poroso, cemento Sair Set y arcilla refractaria Kast Set.

Se seleccionó un quemador de aceite tipo venturi que succiona el combustible, lo que permite alimentarlo sin presión.

La flama producida por estos quemadores es cilíndrica y requieren aire o vapor para atomizar el combustible; en caso de emplear vapor (30-75 lb/in.²) éste debe ser seco, pues si no disminuye considerablemente la eficiencia de la combustión. Este quemador esta provisto además con un controlador manual de aire que permite regular las condiciones de la atmósfera en el horno. Este es un quemador número 530 serie Hauck Venturi.

El aire es suministrado por medio de un ventilador - impulsado por medio de un motor de 2.5 HP.

4.- Ductos y Ventiladores para los Gases Calientes.

a) Cálculos de diseño.

Por medio de un balance de materiales se obtuvo que:

Gases que se alimentan (G'_1)	(10,450 ft ³ /min.)
Gases que se recirculan (G'_2)	(6,780 ft ³ /min.)
Gases que se desechan (G'_3)	(3,670 ft ³ /min.)
Gases de repuesto (G'_3)	(3,670 ft ³ /min.)

Cada uno de estos gases fué repartido en 4 unidades de circulación, y para cada una de éstas se seleccionaron ductos de lámina. Cada uno de estos ductos conducen:

$$G_1 = G'_1 / 4 = 2,620 \text{ ft}^3/\text{min.}$$

$$G_2 = G'_2 / 4 = 1,690 \text{ ft}^3/\text{min.}$$

$$G_3 = G'_3 / 4 = 930 \text{ ft}^3/\text{min.}$$

Como ductos se seleccionaron: (17)

I.- Para la alimentación, un ducto de 12 pulgadas de diámetro. En estas condiciones se presenta una caída de presión igual a 0.02 pulg. de agua por pie de longitud de tubería.

II.- Ductos de recirculación de 19 pulgadas de diámetro interior. Estos presentan una caída de presión igual a 0.025 pulg. de agua por pie de longitud de tubería.

III.- Para los ductos de desecho de gases se seleccionó un ducto de 8 pulgadas de diámetro. La caída de presión que se presenta por pie de longitud de ducto es igual a 0.023 pulg. de agua.

Cada uno de los ductos debe estar provisto de una válvula de mariposa y de un medidor de flujo.

En cada una de las unidades de recirculación se colo

cará un ventilador que debe impulsar 2,620 pies cúbicos de gases calientes (550°C) por minuto, contra una presión de 5 pulgadas - de agua. La potencia requerida para cada motor es igual a 3.9 HP, y se seleccionó un motor de 5 HP. El ventilador deberá operar a 1,823 r.p.m. (18)

b) Resumen de Resultados.

La recirculación de los gases se realiza en cuatro unidades. Los ductos seleccionados para las tuberías de alimen tación, recirculación y desecho de gases tienen 12, 10 y 8 pulga das de diámetro interior respectivamente.

Cada una de las unidades estará provista de un venti lador impulsado por un motor de 5 HP. (18)

c) Materiales de Construcción.

Como material de construcción para los ductos se seleccionó lámina de fierro negro No. 18. Los ductos serán - aislados exteriormente con colchoneta de vidrio aislante T W A - de 2 pulgadas de grueso.

Los ventiladores seleccionados son marca Mc Kinney - tipo V de lámina de acero inoxidable (18-8) de una entrada de 13 pulgadas y una descarga de 10 pulgadas, el ancho de estos venti ladores es igual a 14 pulgadas.

5.- Instrumentos de Medición y Control.-

Se seleccionaron para esta unidad instrumentos de me dición de flujo, de medición de temperatura y un regulador de la unidad de aire que se suministra a la cámara de combustión.

a) Medidores de Flujo

Como medidores de flujo fueron seleccionados tu

bos de pitot modelo M168 de acero inoxidable conectados a un ma-
nómetro diferencial por medio de tubería de fierro standard de -
1/8 de pulgada.

Se necesitan 4 medidores para colocarlos en las tubere
as de alimentación de gases calientes a la cámara de secado --
carbonizado.

b) Medidores de Temperatura.

Para conocer esta variable se recomiendan termopares
de alambre de fierro constantano, que fueron empleados en la --
unidad experimental y dieron resultados satisfactorios, éstos -
serán conectados a un galvanómetro por medio de alambre de extensi
ón y de un interruptor múltiple.

Se necesitan 1 termopares para conocer la temperatura
en las diferentes tuberías de la unidad piloto.

c) Controlador de Aire

Por medio de éste instrumento será posible regular
con precisión el volumen de aire suministrado a la cámara de com
bustión. Con esto se evita cualquier posibilidad de encendido
de las briquetas durante el proceso pues debe mantenerse una atm
ósfera reductora.

BREVE ESTIMACION DEL COSTO DE LA OPERACION UNITARIA
DE UN SECADOR-CARBONIZADOR DE BRIQUETAS.

CAPITAL DE INVERSION.

Terreno y edificio	20,000.00 pesos
Cámara de secado carbonizado y banda	45,000.00 "
Soporte de la Cámara de Secador Carbonizado	4,000.00 "
Cimentación	8,000.00 "
Ventiladores para gases calientes	22,400.00 "
Cámara de combustión	4,000.00 "
Quemador	9,700.00 "
Ductos	8,000.00 "
Motores e instalación eléctrica	9,500.00 "
Instrumentos de medición y control	20,000.00 "
Dirección Técnica	10,000.00 "
Miscelaneos	10,000.00 "
<hr/>	
Costo Total del Equipo Instalado	170,600.00 Pesos

COSTO DE OPERACION

Base: 1 año, 6,720 horas

Producción Anual: 14,800 $\frac{\text{Ton}}{\text{año}}$

COSTOS DIRECTOS

Mano de Obra: 3 hombres, 550 $\frac{\$}{\text{mes}}$ c/u	19,800
Supervisión:	1,980
Energía Eléctrica (15 ¢/KWH)	12,300
Combustible	90,400
	<hr/>
Total costos directos	124,480

Costos Indirectos

Depreciación (5 años)	34,120
Seguros (3%)	5,118
Intereses (8%)	13,648
	<hr/>
Total costos indirectos	52,886
Total costos de operación	<hr/> 177,366

Costo de Operación Unitario

Base: 1 ton. de briquetas -
carbonizadas.

Costos Directos

	Pesos M. N.	%
Mano de obra	1.34	11.2
Supervisión	.13	1.1
Energía Eléctrica	.83	6.9
Combustible	6.11	51.0
Total costos directos	8.41	70.2

Costos Indirectos

Depreciación 5 años	2.30	19.2
Seguro 3%	.35	2.9
Intereses 8%	.92	7.7
Total costos indirectos	3.57	29.8
T O T A L:	11.98	100.0

La operación de secado y carbonización cuesta 11.98 pesos por tonelada de briquetas carbonizadas

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

1.- En la experimentación llevada a cabo se lograron obtener los datos básicos esenciales para efectuar el anteproyecto de una unidad de secado carbonizado.

2.- Las briquetas sometidas a este proceso de secado carbonizado resultaron satisfactorias, pues son de fácil encendido y se eliminó el desprendimiento de humos y gases molestos al quemarse.

3.- Se observó que la resistencia al manejo de las briquetas aumenta si a éstas se les permite reposar un tiempo (12 horas) antes de ser sometidas al proceso de secado carbonizado.

4.- El enfriamiento de las briquetas no presenta un problema crítico, pues en las condiciones en que la experimentación fué realizada no se encendieron espontáneamente al estar en contacto con el aire al salir calientes de la cámara de secado - carbonizado, éstas se pueden dejar enfriar por convección natural al aire sin que se perjudiquen. Sin embargo se estima prudente disponer de un sistema de atomizadores de agua para apagar algunas briquetas en que pueda haberse iniciado la combustión durante el proceso.

5.- Se ha propuesto un tipo de secador-carbonizador aceptable, tanto desde el punto de vista técnico como económico. El costo de la operación unitaria de secado carbonizado por tonelada de briquetas obtenidas es igual a \$11.98

6.- Se recomienda investigar la posibilidad de aprovechar los gases de desecho del proceso.

7.- Si hay gases de combustión de desecho en la planta, habrá que estudiar la posibilidad de emplearlos en este proceso.

8.- Se estima necesario realizar algunas modificaciones en la unidad experimental, por ejemplo, colocar ductos de mayor diámetro con el fin de reducir las caídas de presión, colocar un medidor para conocer la cantidad de combustible consumido, colocar una mirilla en la puerta de la cámara de secado y carbonización para observar el desarrollo del proceso, colocar un dispositivo para hacer uniforme el flujo de gases que llega al lecho por procesar, quitar los pozos termométricos a los termopares 1 y 6, ya que éstos impiden la lectura de la temperatura instantánea.

CAPITULO VII

OBRAS CONSULTADAS

- 1.- Trinks
"Industrial Furnaces".
Vol. 1, 3a. Ed. - pag. 81
John Wiley, 1954
- 2.- A. P. Green.
"Comunicación Personal.
- 3.- Hougen and Watson.
"C. P. P. Charts"
Fig. 37
- 4.- Trinks.
Op. cit.
pag. 41
- 5.- Marshall.
"Drying Texbook".
Universidad de Wisconsin.
- 6.- Perry, J. H.
"Chemical Engineers Handbook".
3a. Ed. Pag. 104.
Mc. Graw Hill, 1950
- 7.- Perry, J. H.
Op. cit.
pag. 328.
- 8.- Perry, J. H.
Op. cit.
Pag. 351.
- 9.- Madison, Richard D.
"Fan Engineering"
5a. Ed. - Pag. - 217
- 10.- M. Kinney.
Comunicación personal.
- 11.- Mac Cormack.
"The Applications of Chem. Eng."
2a. Ed. - Pag. 56
D. Van Nostrand Company. Inc., 1940

- 12.- Standard Conversion Tables.
Leeds & Northrup Company.
- 13.- Meriam Pitot Tubes.
Tech. Bull. 51
- 14.- C.C. Furnas.
"Heat Transfer from a Gas Stream to a bed
of Broken Solids"
U. S. Department of Commerce.
Bureau of Mines. Bull 361.- pag. 10-11
- 15.- Hauck Manufacturing Company.
"Industrial Combustion Data"
3a, Ed. - Pag. 12.
- 16.- Auduban Wire Cloth Corp.
Catalog No. 60
- 17.- Perry, J. H.
Op. cit. - Pag. 348
- 18.- Madison, Richard D.
Op. cit. - Pag. 202

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

E. Fulkon and O. Jensen.

"Coking of Coal Briquettes"
Norweg. Pat. 68.674 (1944)

G. Belz.

"Coking of Coal Briquettes"
Ger. Pat. 750,815

Standard Oil Development Co.

"Briquets Carbonization"
Brit. Pat. 623,849 Conv.

R.J.S. Jennings.

"Plants and Processes for Carbonizing Briquetted
Coal".
Chem. and Process Eng. Vol. 34 (1950)

Heptinstell, W.G.

"Carbonizing and Briquetting of Saskatchewan Lignite"
C.I.M., Trans. Vol. 32 (1929)

Jones, A.B.

"Briquetting, Low Temperature, Lurgi Spulgas Retort"
Coke Vol. 12 (1950)

I. G. Farbenindustrie A.G.

"Low Temperature Carbonization of Briquets"
Fuel Abstracts. IV. 198,926.

I.G. Farbenindustrie A.G.

"Hykoksprozess"
Fuel Abstracts IV, 923,924.

Istrán Mérci. Bányász. Kohász. Lapo.

"Semi-coke briquet Factory at Dorog"
Chem. Abs. Vol. 43 8118 (1948)