

HORNILLAS PANELERAS

* Gerardo Gordillo Ariza

En la producción de panela, la hornilla juega un papel importante ya que de su funcionamiento depende en parte la calidad final de la panela como también los costos de producción.

La mayoría de las hornillas del país presentan eficiencias térmicas bajas (33% en promedio), implicando el consumo de combustibles adicionales al bagazo como: leña, caucho, carbón y otros. En promedio el consumo de leña en las hornillas es de 500 kg por cada mil kilogramos de panela producida. Esto contribuye en gran parte a la tala de bosques en el país como también al aumento de los costos de producción de panela.

En el proceso de producción de panela los jugos cumplen 3 etapas: clarificación, evaporación y concentración; de la forma como se realizan estas 3 etapas depende la buena calidad de la panela. El diseño actual de la mayoría de las hornillas presentan un desbalance entre las áreas destinadas a la limpieza, evaporación y concentración; repercutiendo en un flujo térmico inadecuado hacia los jugos en el proceso de elaboración, contribuyendo a una mala calidad de la panela.

DESCRIPCION

La hornilla es un horno cuya función es tomar energía de un combustible sólido para la evaporación del agua ligada a los jugos de la caña en la producción de panela.

* Ingeniero Mecánico - CIMPA

La mayoría de las hornillas existentes en el país presentan una misma configuración, encontrándose variantes únicamente en lo que respecta al número de pailas y al sitio donde se realiza la clarificación. En las hornillas de la Hoya del Río Suárez y Cundinamarca, la clarificación se realiza cerca a la chimenea en los puntos de menores temperaturas dentro de la hornilla, mientras que en las hornillas de Nariño y Antioquia la clarificación se realiza directamente en el sitio donde se hace la combustión del bagazo que es el sitio donde se registran mayores temperaturas dentro de la hornilla. En la figura 1, se muestra una hornilla típica de la Hoya del Río Suárez.

Las hornillas constan de las siguientes partes:

- Cámara de combustión.
- Conicero.
- Ducto de humos.
- Chimenea.
- Area de transferencia o superficie receptora de jugos.

CÁMARA DE COMBUSTIÓN

La cámara de combustión u hogar, es el sitio dentro de la hornilla donde se realiza la combustión del bagazo. Esta debe tener un volumen que depende de la cantidad de bagazo consumido por la hornilla en la Unidad de tiempo. Las hornillas actuales no tienen cámara de combustión, lo que hace que la combustión se haga directamente en el ducto de humos.

La cámara de combustión debe tener una puerta de alimentación y una parrilla. La puerta es el sitio por donde se hace la alimentación del bagazo. La parrilla sirve de lecho para el bagazo y permite la entrada de aire necesario en la combustión, como también el paso de las cenizas,

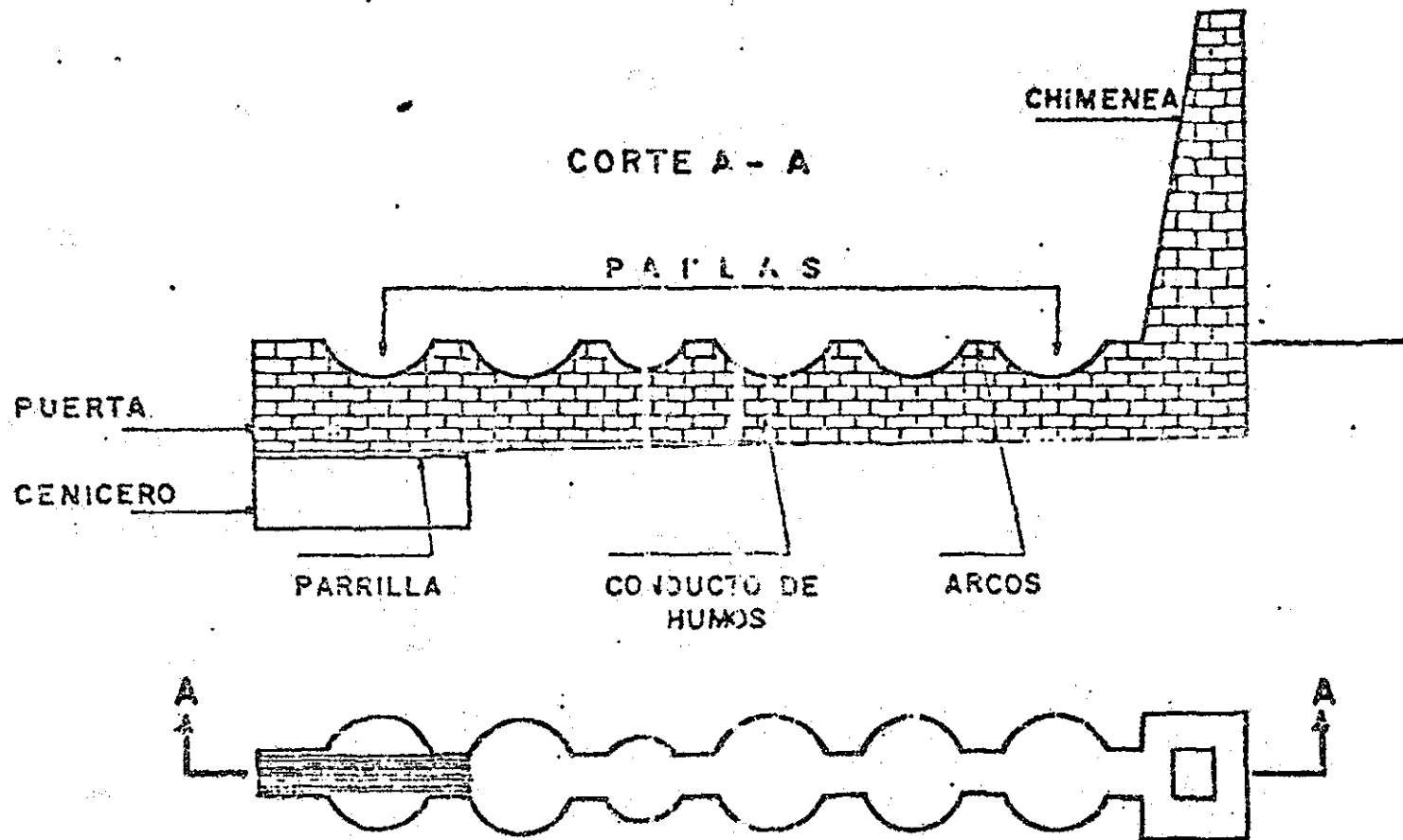


Figura 1.- HORNILLA PANELERA

producto de la combustión; el área de la parrilla depende de la cantidad de bagazo que se consume en la unidad de tiempo.

La figura 2, muestra la puerta y la parrilla que se utiliza en la actualidad para la construcción de hornillas, éstas se encuentran normalmente en los mercados del país.

CENICERO

Es un compartimiento ubicado directamente debajo de la parrilla y su función principal es la de almacenar las cenizas que se producen en la combustión del bagazo; también permite la canalización del aire necesario en la combustión figura 1.

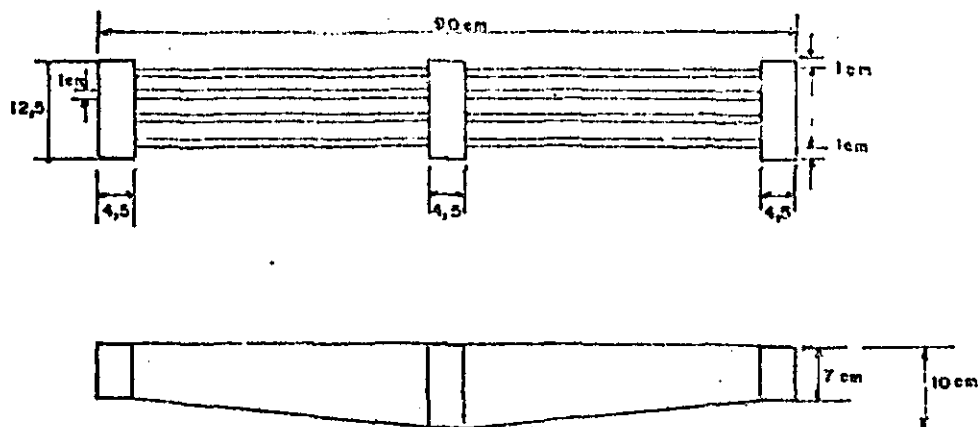
DUCTO DE HUMOS

El ducto de humos figura 1, se encuentra ubicado debajo de la área receptora de jugos (pallas) y su función principal es la de canalizar y transportar los gases productos de la combustión desde la cámara combustión hasta la chimenea. Este es muy importante en el diseño de las hornillas ya que de la forma de éste depende la velocidad con que pasan los gases a través de la hornilla.

CHIMENEA

Es un ducto ubicado al final de la hornilla y empalmado directamente con el ducto de humos; está puede ser de forma cilíndrica o cuadrada; su función principal es la de crear el tiro necesario para succionar el aire para la combustión y hacer pasar los gases obtenidos en la combustión a través del ducto de humos.

PARRILLA



PUERTA

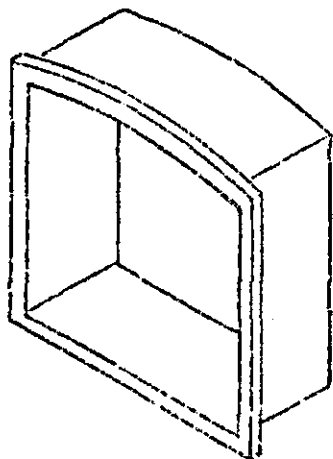
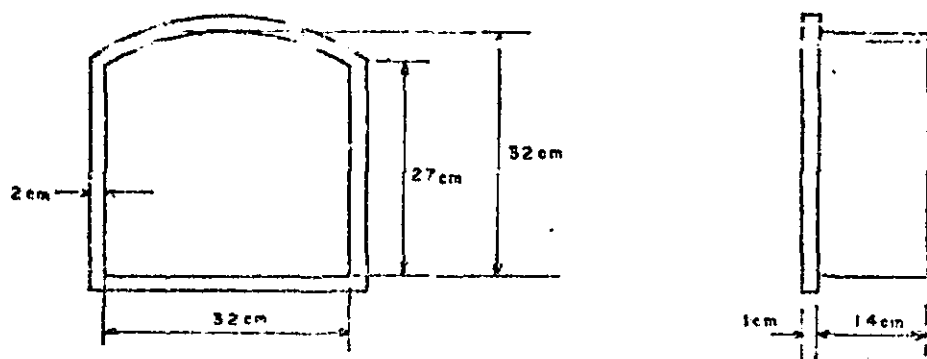


FIGURA 2.- PARRILLA Y PUERTA DE UNA HORNILLA.

AREA DE TRANSFERENCIA

Se dá el nombre de área de transferencia a la superficie de las pallas que se encuentren en contacto directo con los gases; a través de ésta área los gases de la combustión ceden el calor necesario a los jugos de caña para el proceso de elaboración de panela. El tamaño de las pallas o área, depende de la producción de panela requerida en la unidad de tiempo.

PROCESO TERMICO EN LAS HORNILLAS

De la energía suministrada por el bagazo en las hornillas, una parte es aprovechada para la obtención de panela y otra parte se pierde por diferentes mecanismos dentro del proceso térmico de la hornilla; la suma de la energía aprovechada y la energía perdida, es la energía total suministrada en el bagazo.

Las pérdidas de energía en una hornilla se pueden asociar en tres grupos que son: pérdidas por sólidos no quemados y combustión incompleta del bagazo; pérdidas en la chimenea y pérdidas a través de las paredes y las pallas. Fig 3.

Las pérdidas por combustión incompletas se debe a una parte de material no quemado y a la transformación de carbón en monóxido de carbono (CO) sin alcanzar su transformación completa a dióxido de carbono (CO₂). Se estima que por cada 1% de monóxido de carbono obtenido en los gases de la combustión se pierde aproximadamente un 4,5% de la energía del bagazo.

Las pérdidas de combustión incompletas en las hornillas de la zona, se estiman en el 22,5% que corresponden a registros de monóxido de carbono del orden de un 5%.

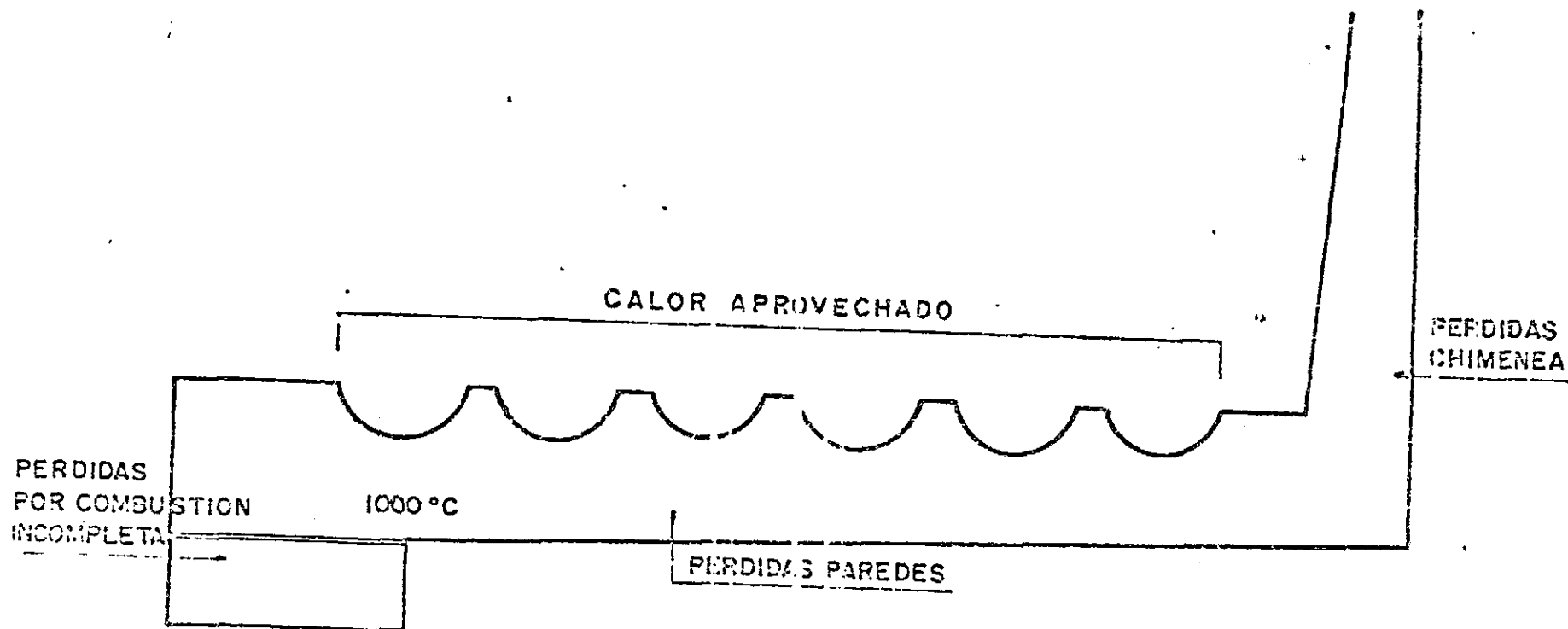


FIGURA 3.- PROCESO TERMICO EN UNA HORNILLA PANELERA.

Las pérdidas en la chimenea corresponden al calor sensible arrastrado por los gases de la chimenea; éstas pérdidas aumentan con el incremento de la temperatura de los gases; se estima que para un bagazo de 25% de humedad, las pérdidas por cada 100 grado centígrados de temperatura en la chimenea, corresponden a un 6,5% de la energía suministrada. Teniendo en cuenta que la temperatura promedio registrada en la chimenea de la hornilla de la zona es del orden de 600 grados centígrados se tiene como promedio de pérdidas en la chimenea el 40% de la energía suministrada. Figura 4A y 4B.

Las pérdidas de calor por conducción y radiación a través de las paredes y las pallas, se estima en un 4,5% como promedio de la energía total suministrada para las hornillas actuales.

Asociando todas las pérdidas de energía originadas se obtiene una pérdida total del 67%; lo que indica que en la actualidad se está aprovechando un 33% de la energía suministrada.

El balance térmico en la hornilla cumple la siguiente relación:

$$ES = EA + EP$$

$$EP = Pch + Pc + pr$$

Es = Energía suministrada

EA = Energía aprovechada

EP = Energía perdida

Pch = Pérdidas en la chimenea

Pc = Pérdidas por combustión incompleta

Pr = Pérdidas por las paredes y pallas.

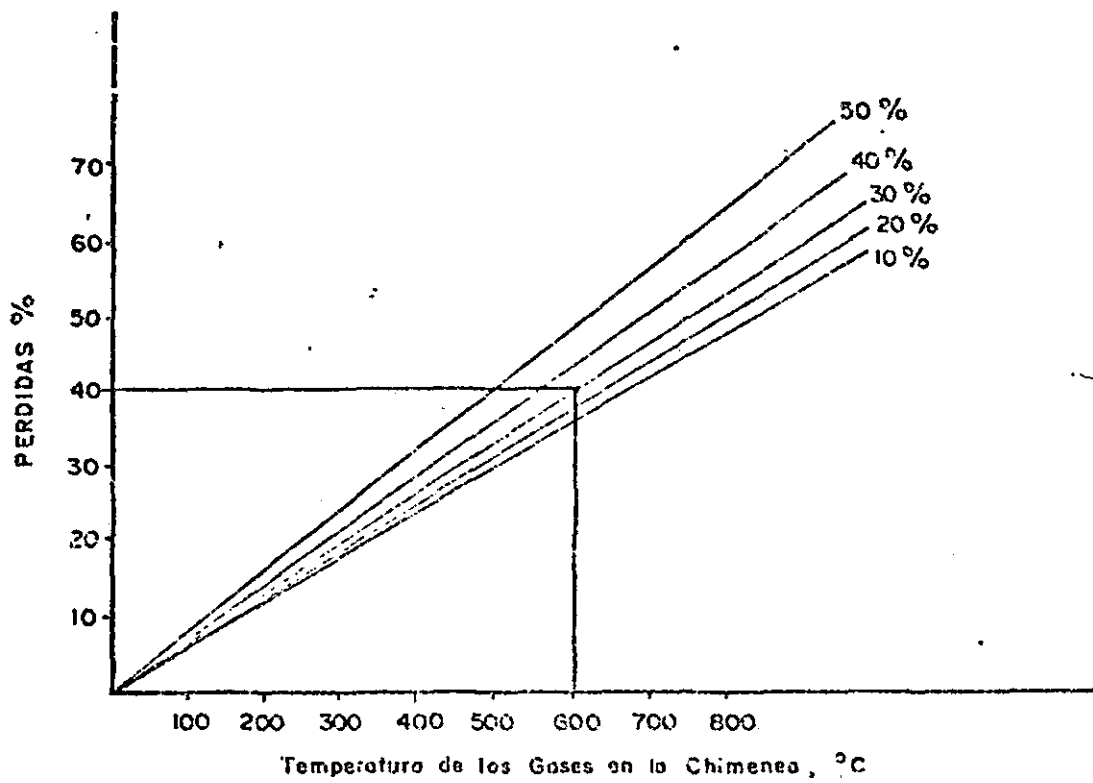


FIGURA 4A.- PERDIDAS EN LA CHIMENEA EN FUNCION DE LA TEMPERATURA RELATIVA Y LA HUMEDAD DEL BAGAZO.

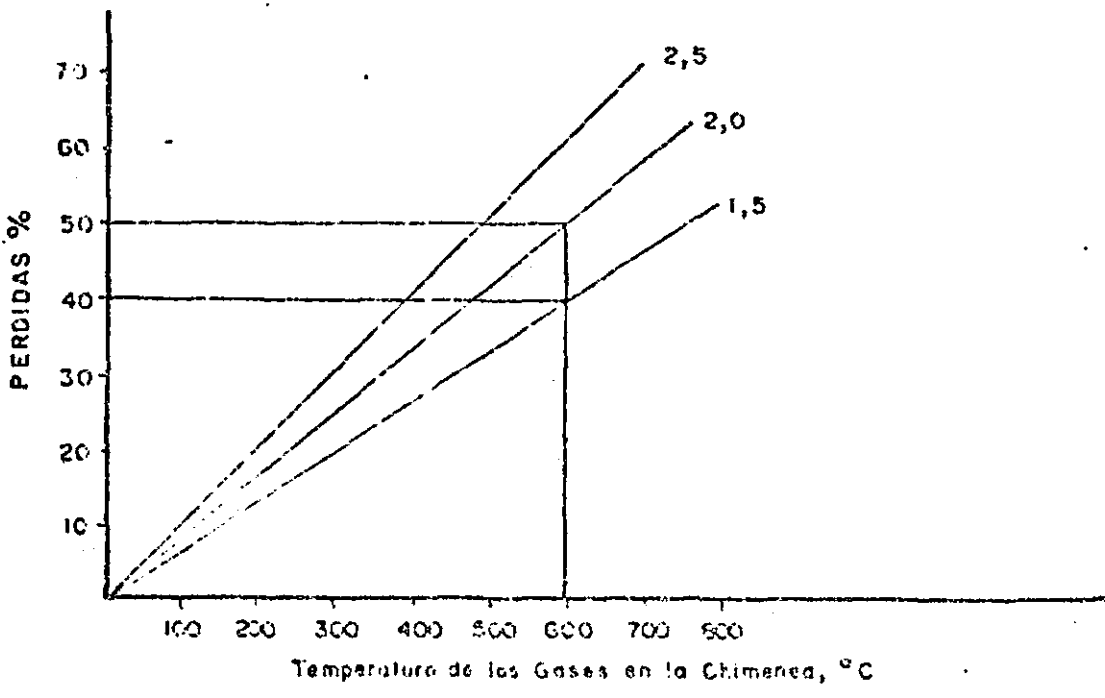


FIGURA 4B.- PERDIDAS EN LA CHIMENEA EN FUNCION DEL EXCESO DE AIRE Y LA TEMPERATURA, PARA UNA HUMEDAD DEL BAGAZO DEL 30%

Relacionando la energía suministrada con la energía aprovechada, se obtiene la eficiencia térmica de la hornilla; definida como:

$$n = \frac{EA}{ES} \times 100$$

n = Eficiencia térmica (%)

La eficiencia en una hornilla permite determinar el porcentaje de energía que es aprovechada en una hornilla.

PARAMETROS DE DISEÑOS EN LAS HORNILLAS

El parámetro más importante que se debe tener en cuenta cuando se diseña una hornilla, es la producción de panela por hora requerida; con base a éste parámetro se determina otras variables fundamentales para el diseño de cada una de las partes de una hornilla.

CÁMARA DE COMBUSTIÓN

El parámetro a determinar en la cámara de combustión, es el volumen que debe tener dicha cámara; la variable que determina este volumen es la potencia de operación de la hornilla. Ecuaciones:

$$\text{Potencia (Kw)} = \frac{9065 \times Pp}{3600 \times n}$$

$$\text{Volumen (m}^3\text{)} = \frac{\text{Potencia (kw)}}{300}$$

Pp = Producción de panela por hora (kg/hora).

n = Eficiencia térmica supuesta de la hornilla.

AREA DE LA PARRILLA

El área de la parrilla está determinada por la potencia de operación de la hornilla.

$$\text{Area (m}^2\text{)} = \frac{\text{Potencia (Kw)}}{900}$$

AREA DE TRANSFERENCIA

El área de transferencia determina la producción de panela; se tiene por cada metro cuadrado de área de transferencia y se puede obtener de 15 a 17 kg de panela por hora.

$$\text{Area de Transferencia (m}^2\text{)} = \frac{Pp}{16}$$

El área total se debe dividir en tres áreas dedicadas a la clarificación, evaporación y concentración de los jugos; del balance de estas tres áreas dependen en gran parte la calidad final de la panela.

Cuando la clarificación se hace en los puntos de baja temperatura; es decir, en la parte final de la hornilla se recomienda que estas áreas cumplan la siguiente relación:

Area de clarificación	= 38% del área total
Evaporación	= 53% del área total
Concentración	= 9% del área total

En caso que la clarificación se realice en los puntos de mayor temperatura, es decir, en el inicio de la hornilla se recomienda disminuir el porcentaje de área de clarificación de acuerdo con la distribución de cada una de las pallas.

DUCTOS DE HUMOS

El parámetro a determinar en el ducto de humos, es el área transversal del ducto; ésta área debe ser de tal forma que la velocidad de los gases sea constante a través de la hornilla.

La velocidad recomendada debe ser de 4 a 7 metros por segundo.

Para el cálculo del área se debe conocer el caudal de gases a través de la hornilla; el caudal se determina de acuerdo a la potencia de operación de la hornilla dado por:

$$\text{Bagazo suministrado (kg/hora)} = \frac{\text{Potencia} \times 3.600}{(17765 - 20273 \times W)}$$

$$\dot{m}_G \text{ (Kg/Hora)} = 5,75 \times (1-W)^{m+1} \times \text{Bagazo suministrado (kg/h)}$$

$$\text{Caudal (m}^3\text{/Sg)} = \frac{\dot{m}_G}{3600 \times \rho_G}$$

$$\text{Area transversal ducto} = \frac{\text{Caudal (m}^3\text{/Sg)}}{VG}$$

\dot{m}_G = Masa de gases que pasa en la hornilla (kg/hora)

W = Humedad del bagazo en relación a la unidad (%)

m = Exceso del aire en % con relación a la unidad

ρ_G = Densidad de los gases (Kg/m³)

VG = Velocidad de los gases (m/Sg)

Es importante tener en cuenta que el área transversal del ducto debe ir disminuyendo regularmente en la medida que los gases disminuyen su temperatura para conservar una velocidad constante a través de la hornilla.

CHIMENEA

La chimenea es la que proporciona el tiro necesario para obligar el paso de los gases a través de la hornilla; además succiona del medio ambiente el aire necesario para la combustión del bagazo; la variable a determinar es la altura y área transversal; el área transversal se calcula en la misma forma como se calcula el área transversal del ducto, tratando siempre de conservar la misma velocidad de los gases en la chimenea como en el ducto.

La altura de la chimenea se puede calcular por la siguiente expresión:

$$AP = K_t \times \frac{V^2}{2g} \times \frac{\varphi_g}{\varphi_A} - g(\varphi_A - \varphi_g) \times AZ$$

$$H = \frac{AP}{256 \times P_b \times \left(\frac{\varphi_A}{TA} - \frac{\varphi_G}{T_m} \right)} - \frac{2 \times 10^{-4} \times W_g^2 \times T_m \times F}{d^5 \times PA + \varphi_g}$$

AP = Tiro requerido en mm de agua

V = Velocidad de los gases (m/sg)

φ_g y φ_A = Densidad de los gases y el aire (kg/m^3)

K_t = Coeficiencia total de pérdidas dinámicas en el ducto de humos.

TA = Temperatura absoluta del aire ambiente ($^{\circ}\text{C}$)

T_m = Temperatura absoluta media de los gases ($^{\circ}\text{C}$)

W_g = Flujo másico de gases (kg/hora)

PA = Presión atmosférica

F = Factor de rozamiento en la chimenea.

BIBLIOGRAFIA

1. CIMPA, Convenio de Investigación ICA-HOLANDA para el Mejoramiento de la Industria Panelera en Colombia. Evaluación técnico económica de la producción panelera de la Hoya del Río Suárez. CIMPA Barbosa, Santander. Documento de trabajo.
2. HUGOT, E. 1984 . Manual para Ingenieros Azucareros Mexico, Continental.
3. HERN DONALD, Q. 1976. Procesos de Transferencia de calor. México, CECOSA, S.A.
4. PINTO, N.P. y ROJAS, A.L. 1980. Consideraciones y metodología para el diseño técnico de hornillos paneleras, proyecto de grado. Bogotá, U. Nacional.
5. SANGEN, E. 1986. Informe de Trabajo presentado a CIMPA (Agosto-Sept. de 1986). CIMPA.