

Gobernacion de Antioquia

SECRETARIA DE AGRICULTURA Y FOMENTO

# **INDUSTRIALIZACIÓN DE LA CAÑA**

Compendio No 42 Agosto de 1.981

## CONSIDERACIONES DE DISEÑO EN HORNILLAS PANELERAS

**Fernando  
Moreno P.  
Fernando  
Rojas L.  
Nelson Pinto  
P, \*\***

### 1. GENERALIDADES SOBRE HORNILLAS PANELERAS

Las hornillas se definen como una instalación compuesta por un horno, generalmente anclado, recubierto en sus caras laterales por material refractario, el cual tiene como techo una serie de vasijas evaporadoras y concentradoras donde se lleva a cabo el proceso principal de la elaboración de la panela.

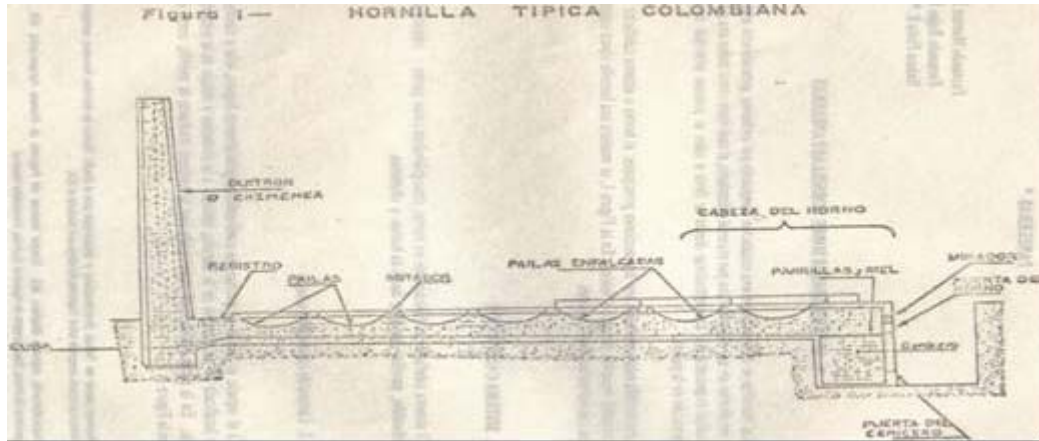
Una hornilla está constituida por dos secciones principales: el horno o sistema calefactor y el conjunto receptor de jugos y mieles. En la Figura 1, se muestra una hornilla típica colombiana con sus partes constituyentes.

#### 1.1. SISTEMA CALEFACTOR

El sistema calefactor es básicamente un horno, distinguiéndose cinco partes: cámara de combustión, parrilla, cenicero, ducto de humos y chimenea.

##### 1.1.1. Cámara de combustión u hogar

Es el espacio en donde se queman los combustibles, generalmente bagazo, leña y caucho; está localizada en un extremo de la hornilla, opuesto a la chimenea y debajo de la primera vasija. En la parte inferior está comunicada con el cenicero mediante la parrilla, como se ve en la Figura 1.



El combustible es alimentado por una abertura situada en la parte frontal; en la parte posterior el hogar se comunica con el ducto de humos, por donde se evacuan los gases calientes resultantes de la combustión.

#### 1.1.2. Parrilla

Es una estructura metálica horizontal o ligeramente inclinada, compuesta por barras de acero o secciones del riel de ferrocarril separado, sobre las que descansa el lecho de combustible en ignición; por las aberturas entre las barras caen los residuos sólidos hacia el cenicero y asciende el aire de combustión. Las barras o varillas se disponen horizontalmente, espaciadas de dos a cinco centímetros; su longitud varía entre 80 y 120 cm., siendo el ancho de la parrilla de 100 cm.

#### 1.1.3. Cenicero

Es el espacio situado debajo de la parrilla en donde caen las cenizas y los sólidos no quemados. Posee una abertura hacia el exterior por la cual entra el aire necesario para la combustión.

#### 1.1.4. Ducto de humos

Es un canal ubicado a continuación de la cámara de combustión por la cual pasan los gases; está colocado debajo de las vasijas. Su función es dirigir los productos gaseosos de la combustión desde el hogar a la chimenea, con el fin de que cedan a las vasijas que contienen los jugos el calor necesario para su concentración.

El ducto o conducto de humos, llamado en algunas regiones "buque" o "camino de fuego", está compuesto por dos partes: la plantilla o camino y el talud.

El extremo inferior, conocido como piso, camino o plantilla, consiste en un plano trapezoidal en donde la base mayor corresponde a la boca del horno y la menor a la base de la chimenea; tiene generalmente una leve pendiente, entre el 2 %y 5 %que asciende desde el final de la parrilla hasta el pie de la chimenea. El extremo superior o "talud" lo constituye el techo sobre el cual, a trechos convenientes, se construyen los arcos que han de sostener las vasijas.

#### 1.1.5. Chimenea o buitrón

Es un ducto vertical construido generalmente en forma de un tronco de pirámide de sección cuadrada, que se levanta al final del conducto de humos. Su sección transversal es menor que la del conducto de humos, reduciéndose inmediatamente después de la última vasija.

La chimenea arrastra por el canal que va hacia ella los gases que calientan los recipientes. Su función es producir el tiro o succión necesaria para mantener el flujo de aire requerido para la combustión; la magnitud del tiro con que trabaja la hornilla depende de la altura de la chimenea.

### 1.2. CONJUNTO RECEPTOR DE JUGOS Y MIELES

Está compuesto por los recipientes o vasijas en que se calientan, clarifican, evaporan y concentran los jugos, hasta la formación de mieles y obtención del punto de panela; pueden ser en número de tres a nueve. En algunas regiones se conocen como "calderos" o "fondos" a los de forma rectangular o trapeciforme y "pailas" a los hemisféricos.

#### 1.2.1. Calderos

Son las vasijas en donde se hace la limpieza, neutralización de la acidez, calentamiento y cocción de los jugos, hasta obtener la melaza cuya concentración de sólidos es de 85 Brix.

El fondo de los calderos está en contacto con los gases calientes de la combustión; a la parte que no está en contacto con ellos generalmente se le adiciona láminas de aluminio o "falcas", con el fin de evitar el posible derramamiento de los jugos al entrar éstos en ebullición.

#### 1.2.2. Pailas

Son los recipientes que están ubicados después del último caldero de evaporación; son generalmente de forma semiesférica; su tamaño se mide por su diámetro. Se les conoce como "fondos" o "pailas de saturación", pues en ellas es en donde termina el proceso de evaporación ya que a la primera paila se traspasan las primeras mieles formadas; en la última paila o a veces en una paila intermedia se determina el punto para sacar la panela.

Al igual que los calderos, vienen enfalcadas mediante remaches con lámina delgada de cobre, zinc o aluminio. En algunas regiones existen hornillas en donde solamente se utilizan pailas para realizar las dos operaciones (evaporación y punteo).

Entre la última paila y la chimenea se coloca un dispositivo llamado "registro", que consiste en una plancha metálica o de concreto, que al ser quitada, permite limpiar fácilmente el interior de la hornilla.

## **2. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

### **2.1. SISTEMA CALEFACTOR**

La estructura de la cámara de combustión se hace en ladrillo común semicocido; se acostumbra utilizar ladrillo macizo corriente para paredes, talud del ducto y chimenea, mientras que para los arcos se usa ladrillo pequeño o "bocadillo". También es común el empleo del ladrillo "tapa", el cual es de barro cocido con 60% de barro y 40% de arena.

En cuanto a la parrilla, son utilizadas las encontradas en el mercado que obedecen a las normas de diseño definidas; generalmente se usan rieles de ferrocarril.

### **2.2. CONJUNTO RECEPTOR DE JUGOS Y MIELES**

Los calderos se hacen generalmente de lámina de hierro de 1/16 a 1/8 de pulgada; sus capacidades varían de acuerdo con el tamaño de la panelería.

Las pailas se hacen de cobre laminado o fundido con espesor variable entre 1/4 y 1/2 pulgada y a veces un poco más. En los calderos y pailas hemisféricas, el fondo es construido en fundición de hierro, cobre o aluminio.

## **3. COMBUSTIBLES UTILIZADOS**

Las hornillas paneleras colombianas emplean como principal combustible para la concentración de los jugos, el bagazo de caña; sin embargo, el hecho de que la mayoría de las hornillas no pueden ser utilizadas como único combustible, se debe a la defectuosa

construcción de las mismas, esto se debe recurrir a usar uno o vanos de los siguientes combustibles: leña, guadua, caucho, ACPM, carbón mineral, cascarillas de café y arroz.

### 3.1. BAGAZO

Es el residuo fibroso que queda convertida la caña después de molida para la extracción del jugo; es el principal combustible utilizado en nuestras panelerías. Tiene una densidad de 200 Kg./m<sup>3</sup> cuando está apilado y 112 Kg./m<sup>3</sup> suelto.

Debido a que el bagazo sale con un elevado porcentaje de humedad (superior al 50% en promedio), solo se puede emplear mediante su secamiento en cobertizos especiales llamados "bagaceras", ya que entre mayor sea su contenido de humedad menor es su potencia calorífica y consecuentemente se debe utilizar grandes cantidades de él o recurrir a otros combustibles.

Su composición varía con la eficiencia de extracción de los molinos y la variedad de la caña; una composición promedio del bagazo obtenida en las panelerías es la siguiente:

Humedad	58%
Fibra	35%
Sólidos solubles (sacarosa y otros azúcares)	7 %

### 3.2 LEÑA Y GUADUA

Son los combustibles adicionales más empleados, especialmente la leña; las panelerías con capacidades de 48 a 120 Kg. de panela /hora, son las que más lo requieren causando deforestación y destrucción paulatina de bosques y monte.

La leña común tiene aproximadamente entre 2.500 y 3.200 Kcal. /Kg. y presenta la siguiente composición aproximada en peso: 49,8 % C; 41,3 % O<sub>2</sub>; 6,05 % H<sub>2</sub>; 1,05% N<sub>2</sub> y 1,8% de cenizas.

### 3.3. CARBÓN MINERAL

Se utiliza principalmente en las panelerías grandes, cuyas capacidades de producción son de 180 a 480 Kg. de panela por hora; también se utilizan en hornillas que poseen un horno auxiliar, en el cual se lleva a cabo la saturación de las mieles y la obtención del punto, mientras que en el horno principal se concentran los jugos.

Su potencia calorífica varía de 7.000 a 8.000 Kcal. /Kg.

### 3.4 ACPM, CAUCHO Y OTROS

En general, en las panelerías medianas y grandes se utilizan como refuerzos del bagazo, el ACPM, el caucho proveniente de llantas, cascarilla de arroz y de café. El ACPM, cuya potencia calorífica varía entre 10.000 y 12.000 Kcal. /Kg., es utilizado directamente o mediante suministro en quemadores.

## 4. PROBLEMAS QUE PRESENTAN LAS HORNILLAS

La construcción de hornillas en el país es realizada por maestros constructores que obran por tradición, intuición o práctica. Este hecho trae como consecuencia que el diseño desde el punto de vista térmico y la construcción de las hornillas sean defectuosos, lo cual no permite utilizar en forma eficiente el bagazo como combustible, requiriéndose el uso de leña, caucho y otros combustibles que cada día son más difíciles de adquirir, causando con ello el aceleramiento de la erosión y la agudización de las dificultades energéticas del país.

### 4.1. ESTADO ACTUAL DE LAS HORNILLAS PANELERAS COLOMBIANAS

En la mayoría de las hornillas, el bagazo alimentado contiene humedades mayores del 4,5% especialmente en las panelerías pequeñas; esto es muy desventajoso, ya que el calor requerido para concentrar los jugos se hace mayor, pues se debe evaporar esta humedad; además en todas las panelerías, exceptuando los ingenios paneleros, el bagazo es almacenado en forma irracional, y así, después de 20 a 30 días de almacenamiento solo se ha reducido su contenido de humedad en un 5%.

Según estadísticas del IIT., el 90% de las hornillas emplean leña y guadua además del bagazo y sólo un 10% utiliza únicamente el bagazo como combustible; aún en los ingenios, el 90% de ellos emplean ACPM, caucho y cascarilla de arroz y café. El 10% de las panelerías existentes en el país corresponde a los ingenios paneleros, los cuales producen el 78% de la panela que es consumida por los colombianos.

En cuanto a características de diseño, el principal problema que presentan es la insuficiencia de tiro en la chimenea, siendo las deficiencias de altura del orden del 10 al 50% de la altura requerida; además, el área de transferencia de calor proporcionada por las vasijas es insuficiente para procesar los jugos que albergan.

En lo referente al volumen de la cámara de combustión y a la sección transversal del ducto de humo, no presentan mayores problemas, excepto que en la mayor-a de 'as hornillas e área transversal del ducto parece estar sobrediseñada.

Las hornillas pequeñas presentan un porcentaje de utilización de su capacidad disponible muy bajo; es así como sólo el 16% de ellas son utilizadas entre el 30 y el 50% de su capacidad hasta instalada y el 84% restante operan durante el año entre el 10 y el 20% de su capacidad disponible. En promedio se considera que las hornillas trabajan unos 200 días al año.

#### 4.2. DEFICIENCIA TÉRMICA

La eficiencia de una hornilla se define como el porcentaje de calor aprovechado o transmitido a los jugos, del total suministrado por el combustible. Por el criterio artesanal con que se construyen las hornillas, estas son ineficientes térmicamente; la eficiencia de una hornilla depende, entre otras, de las siguientes razones: alta humedad del bagazo, grandes pérdidas de calor, características de diseño, procedimiento de operación seguido y condiciones de la combustión.

Las consecuencias de la ineficiencia son varias: desperdicio de energía, demasiado tiempo para obtener la panela, mala distribución del calor en las diferentes vasijas, altos consumos de bagazo, utilización de combustibles adicionales, entre otros. Todos estos problemas van a repercutir en la calidad y rendimiento del producto final y en el aumento de los costos de producción, haciendo antieconómico el proceso.

Las eficiencias térmicas de las hornillas oscilan entre 15 y 30%, siendo el 20.7% en promedio general; estas eficiencias son bajas, puesto que en sistemas semejantes, como son las calderas que operan con bagazo, se logran eficiencias entre 50 y 60 %

#### 4.3 PERDIDAS DE CALOR

Se calcula que las hornillas actuales pierden la mayor parte del calor suministrado por el combustible, en los gases de chimenea, aproximadamente del 70% y 90 %, lo que implica que el calor perdido sea de dos a siete veces el calor aprovechado en los jugos. Estas pérdidas se deben a que las temperaturas de salida de los gases de chimenea son muy altas (entre 450 y 700 C) y a que el porcentaje de aire en exceso utilizado es, o muy alto o muy bajo (menores del 20% ó mayores del

Se estima que por cada kilogramo de panela se suministra de tres a siete veces más del calor requerido, como consecuencia de las pérdidas de calor.

#### 4.4. DESEQUILIBRIO ENTRE EL MOLINO Y LA HORNILLA

Un problema que se presenta en todas las panelerías pequeñas, es que el molino tiene demasiada capacidad con relación a la hornilla; así por ejemplo, en algunos trapiches el

molino trabaja media hora y permanece parado durante otra media hora, o sea, el tiempo muerto es de 50% del total. Por esta razón se concluye que la capacidad del molino está subutilizada.

El desbalance entre el molino y la hornilla ocasiona que el jugo demora mucho tiempo en el pozuelo, acelerando así su fermentación, lo cual deriva en el inversión de la sacarosa, haciendo difícil la cristalización de la meladura, se necesita más cal y la panela resulta de mala calidad.

Existen dos soluciones para este problema: disminuir la capacidad del molino o aumentar la capacidad de la hornilla agregando más pailas. Sin embargo, el desequilibrio anotado es justificable ya que el molino es un medio mecánico, mientras que el proceso en la hornilla depende en parte de la pericia y la disponibilidad de trabajo de los operarios.

## **5. CONSIDERACIONES DE DISEÑO**

El diseño completo de una hornilla comprende su dimensionamiento, especificación y diseño mecánico. Por esta razón, además de unas consideraciones generales que cobijan a todas las hornillas, como las que a continuación se presentan, hay detalles constructivos particulares que se deben definir cuando se diseña una específica.

Las etapas para el diseño de las hornillas se pueden resumir en la siguiente forma:

- .1. Identificar las variables y parámetros importantes para el diseño.
- .2. Seleccionar las ecuaciones y recomendaciones a utilizar, basados en revisión bibliográfica y experiencias prácticas.
- .3. Efectuar la interrelación entre las variables y parámetros en forma sistemática, mediante una metodología de diseño.

En este trabajo se muestran las consideraciones de diseño valoradas en la identificación de las variables y parámetros necesarios para el diseño. Se entiende por parámetro los valores que se deben conocer o determinar de antemano para iniciar el diseño y por variables los factores de diseño que se deben hallar y constituyen el dimensionamiento y especificación de la hornilla.

### **5.1. PARÁMETROS DE DISEÑO**

#### **5.1, 1 Capacidad de la hornilla**

Cantidad de jugo a procesar o de panela a producir.

#### 5.1.2. Condiciones de Operación:

##### 5.1.2.1. En la molienda

Relación de extracción en el molino, factor que incluye las pérdidas de jugo en la molienda.

##### 5.1.2.2. En el horno

Relación de exceso de aire, temperaturas de los gases en varias partes de la hornilla, velocidad de circulación de los gases.

##### 5.1.2.3. En las vasijas

Sistema de operación, concentraciones del jugo y la panela, tiempos de residencia de los jugos, temperaturas de los jugos (a la entrada, en las vasijas y a la salida).

#### 5.1.3. Condiciones ambientales

Presión barométrica, temperatura de bulbo seco, humedad relativa, velocidad máxima de los vientos.

#### 5.1.4. Propiedades

##### Fisicoquímicas: 5.1.4.1.

##### Bagazo

Poder calorífico neto, humedad (del obtenido en la molienda y del "seco" para utilizar como combustible), composición.

## 5.1, 4.2. Gases y jugos

Calor específico, conductividad térmica, densidad, viscosidad, coeficiente de expansión térmica del líquido, calor de vaporización del agua, tensión superficial en la interfase líquido-vapor en los jugos.

### 5.1.4.3, Materiales de la hornilla

Conductividad térmica de las vasijas, calor específico de la mampostería.

## 5, 1,5. Otros parámetros:

Coeficientes por sólidos no quemados; coeficiente por radiación en la cámara; coeficiente que incluye las pérdidas de calor en la hornilla; coeficiente por pérdidas de jugo en la clarificación, trabajo de la parrilla; relación entre el área total y el área libre en la parrilla; resistencia del terreno donde se construye la hornilla.

## 5.2. VARIABLES DEL AÑO

### 52.1. Cámara de combustión

Volumen, forma, materiales, forma de alimentación.

### 5.2.2. Parrillas

Área, forma, disposición, materiales.

### 5.2.3 Cenicero

Volumen, forma, materiales, dispositivo para regular la entrada del aire.

### 5,2.4 Conducto de humos

Longitud, área transversal, forma, pendiente, materiales, dispositivos para su limpieza.

#### 5.2.5. Chimenea

Tiro requerido, altura, sección transversal, forma, materiales, cimentación.

#### 5.2.6. Vasijas

Área expuesta a los humos, forma, número, tamaño, disposición, volumen, materiales.