

**EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CANTIDAD DE MATERIAL
PARTICULADO EMITIDO POR LA CHIMENEA Y LAS CONDICIONES DE
PROCESO EN DOS TIPOS DE HORNILLAS (TRADICIONAL MEJORADA Y
WARD – CIMPA).**

EDUARDO BENITEZ PEREA

**INSTITUTO UNIVERSITARIO DE LA PAZ
FACULTAD DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
ESCUELA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
BARRANCABERMEJA**

2001

**EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CANTIDAD DE MATERIAL
PARTICULADO EMITIDO POR LA CHIMENEA Y LAS CONDICIONES DE
PROCESO EN DOS TIPOS DE HORNILLAS (TRADICIONAL MEJORADA Y
WARD – CIMPA).**

EDUARDO BENITEZ PEREA

Director

LUZ ESPERANZA PRADA FORERO

Ingeniera química

**INSTITUTO UNIVERSITARIO DE LA PAZ
FACULTAD DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
ESCUELA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
BARRANCABERMEJA**

2001

TABLA DE CONTENIDO

	página
INTRODUCCIÓN	3
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
2. JUSTIFICACIÓN	7
3. OBJETIVOS	8
3.1. Objetivo general	8
3.2. Objetivos específicos	8
4. MARCO TEORICO	9
4.1 Corte y transporte de la caña	9
4.1.2 Apronte de la caña	10
4.1.3 Extracción del jugo	10
4.1.4 Prelimpieza	10
4.1.5 Clarificación	11
4.1.6 Evaporación y clarificación	12
4.1.7 Batido y moldeo	12
4.1.8Empaque y almacenamiento	12
4.2 CLASIFICACION DE LAS HORNILLAS	13
4.2.1 Combustibles utilizados en las hornillas	13
4.2.2 Composición de los gases de combustión	14

4.2.3 PARTES PRINCIPALES DE UNA HORNILLA	14
4.4.1 Cámara de combustión	14
4.4.2 Ducto de humos	16
4.4.3 Chimenea	16
4.5 Métodos empleados para la recolección del material particulado	17
5. METODOLOGIA	
5.1 BUSCAR UNA TÉCNICA ADECUADA PARA LA RECOLECCIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO EMITIDO POR LA CHIMENEA	18
5.1.1 Revisión bibliografica	19
5.1.2 Fabricación del equipo de material particulado	19
5.1.2.1 Sistema 1	19
5.1.2.2 Sistema 2	20
5.1.2.3 Sistema 3	20
5.1.3 EVALUACION EN LAS HORNILLAS	21
5.1.3.1 Tabla de datos	21
5.1.3.2 Toma de material particulado	22
5.1.3.3 Capacidad real Kg panela / hora	22
5.1.3.4 Consumo real de bagazo / hora	22
5.1.3.5 Relación Kg de bagazo / Kg de panela	22
5.1.3.6 Grado de extracción de jugo	22
5.1.3.7 Variedad d caña	22
5.1.3.8 humedad del bagazo	23
5.1.3.9 Poder calorífico	23
5.1.3.10 Dimensiones de la hornilla	23
5.1.3.10.1 Alto de la cámara	23
5.1.3.10.2 Largo de la parrilla	23

5.1.3.10.3 Ancho de la parrilla	24
5.1.3.10.4 Altura desde la base de la chimenea hasta el piso de la cámara y el cenicero	24
5.1.3.10.5 Distancia de la primera paila	24
5.1.3.10.6 Tamaño o diámetro de la primera paila evaporadora	24
6. ANALISIS DE LOS RESULTADOS	25
6.1 Sistema 1	25
6.1.1 Primer recolector de material particulado	25
6.1.1.1 Parte lateral	27
6.1.1.2 Parte frontal	27
6.1.1.3 Parte posterior	28
6.2 Sistema 2	30
6.2.1 Evaluaciones	34
6.2.1.1 Ensayo 1	34
6.2.1.2 Ensayo 2	34
6.2.1.2.1 Ventajas	35
6.2.1.2.2 Desventajas	35
6.3 Sistema 3	36
6.3.1 Procedimiento de evaluación en las hornillas	37
6.3.2 EVALUACION EN LAS HORNILLAS	39
6.3.3 El material particulado	41
6.3.4 Análisis Estadístico (SPSS)	41
6.4 Variables de proceso (Relación existente entre el material particulado)	51
6.4.1 Humedad	51
6.4.2 Tamaño del primer fondo evaporador	51
6.4.3 Largo de la parrilla	52

6.4.4 Altura desde la base de la chimenea hasta la cámara y cenicero	52
6.4.5 Porcentaje de fibra	52
6.4.6 Alto de la cámara	52

7. CONCLUSIONES

8. RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

LISTA DE FIGURAS

	página.
Figura 1. Diseño del primer recolector	25
Figura 2. Recolector de material particulado	26
Figura 3. Parte lateral del recolector	27
Figura 4. Parte frontal del recolector	27
Figura 5. Parte posterior del recolector	28
Figura 6. Ubicación del recolector en la chimenea	29
Figura 7. Entrada del recolector en la chimenea	32
Figura 8. Recolector en medio del orificio	32
Figura 9. Salida al interior de la hornilla	32
Figura 10. Recolector de malla de acero inoxidable	33
Figura 11. Bomba utilizada para formar vacío	36
Figura 12. Abertura del orificio en la hornilla	37
Figura 13. Montaje de la bomba en el trapiche	38
Figura 14. Relación del material particulado Vs Humedad	42
Figura 15. Relación del material particulado Vs primera paila	43
Figura 16. Relación del material particulado Vs largo de parrilla	44
Figura 17. Relación del material particulado Vs altura de chimenea Hasta cenicero.	45

Figura 18. Relación del material particulado Vs porcentaje de fibra	46
Figura 19. Relación del material particulado Vs Distancia. Primera paila	47
Figura 20. Relación del material particulado Vs Alto de cámara	48
Figura 21. Relación del material particulado Vs Ancho de parrilla	49
Figura 22. Relación del material particulado Vs altura de chimenea Hasta cámara.	50

INTRODUCCIÓN

Colombia ocupa el primer lugar en América en la producción de panela, con cerca de un millón de toneladas y el tercero en el mundo contribuyendo aproximadamente con el 8% de la producción en el contexto global. Su popularidad se fundamenta no solo en su valor energético sino que a diferencia de otros edulcorantes aporta minerales como: calcio, sodio, potasio, fósforo, magnesio, hierro y vitaminas. La agroindustria de la caña se cataloga como una de las actividades económicas de mayor importancia para el país, puesto que después del café sobresale por las 225 mil hectáreas manejados principalmente bajo el modelo de economía campesina, (70000 unidades agrícolas y 15000 trapiches) generan nueve millones de jornales en el cultivo y quince millones en el beneficio que representan entre cincuenta mil y setenta mil empleos permanentes. (Rodríguez, 2001,1)

En el proceso de obtención de panela, se realiza en dos partes: molienda y procesamiento de jugos. El primero de ellos se desarrolla en un molino donde se extrae el jugo de la caña; el segundo se lleva acabo en una hornilla panelera que es un dispositivo que cumple la función de obtener la energía para transformar los jugos en panela, del bagazo obtenido como subproducto de la molienda.(Gordillo y García. 1994,15)

El bagazo esta compuesto por fibra leñosa mezclada con jugo residual. En algunos trapiches es utilizado en su totalidad en la hornilla panelera como combustible; en otras fabricas tradicionales se utilizan combustibles adicionales como leña, carbón, caucho de llantas usadas, cisco de café. (Duque, et al, 1997,25)

La combustión se realiza en la cámara donde se produce la cantidad de calor necesario para el funcionamiento de la hornilla, en la chimenea se generan emisiones de gases y material particulado, en la evaluación de los sistemas de limpieza se encontró que en algunas hornillas este material particulado cae en mieles y forma parte del residual sólido presente en el producto final, también se observo diferencias de material particulado producido por las hornillas pues, sabemos que la calidad es un factor importante para el uso de la panela a nivel industrial como casero. La competencia de otros edulcorantes en el mercado de mejor calidad están causando perdidas en el consumo y comercialización de estos productos.

El trabajo tiene como objetivo evaluar y analizar la relación que tiene el material particulado con las condiciones de proceso en dos tipos de hornillas, se empezara a buscar una técnica apropiada para cuantificar el material particulado emitido por la chimenea con el fin de crear una metodología adecuada y poder correlacionar los parámetros adquiridos en el campo con los establecidos en el laboratorio, para determinar que esta afectando y como esta influyendo estos factores en la cantidad de material particulado.

En la búsqueda de la técnica se probaron tres diseños. Una vez el instrumento diseñado ofreció resultados satisfactorios se dio paso a la evaluación técnica de las hornillas con diferente grado tecnológico, los resultados se analizaron estadísticamente con ayuda de los programas estadísticos Excell y SPSS, las tomas de material particulado se hicieron después del segundo día de calentamiento en cada hornilla, bajo igualdad de condiciones.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La hornilla es usada en la elaboración de la panela y es el implemento encargado de transformar la energía del bagazo en energía calórica, las temperaturas más altas se registran en la cámara de combustión y va disminuyendo a medida que estos se acercan a la chimenea.(Gordillo y García,1994,17)

Durante la quema del material de combustión en la cámara se produce la ceniza; este material particulado puede ser generado por : exceso de aire, forma de alimentación del bagazo en las cámaras, caracterización físico – química del bagazo o factores de diseño y mantenimiento de la hornilla. Dentro de uno de estos factores el mantenimiento de la hornilla y la forma de limpieza. Generalmente se realiza según datos preliminares de los productores cada cuatro moliendas, ** esta limpieza empieza en la cámara, ducto y cenicero, parte de ella queda en el emparrillado y otro porcentaje es conducida por los gases en todo el ducto reteniéndose en las paredes de ladrillo refractario, otros debajo de las pailas clarificadoras y recibidoras formando hollín y el resto del material particulado es emitido y expulsado al medio ambiente.

Muchas veces esta limpieza no se hace adecuadamente, la ceniza forma tortas a su vez se distribuye y tapa el acceso de los gases obligando en muchos casos a parar el proceso al disminuir la temperatura, lo cual afecta la calidad del producto final.

* una molienda equivale a una semana

El material particulado que sale de la chimenea se deposita sobre el techo y parte de este es arrastrado por los vientos a través de los ductos de ventilación hacia los jugos deteriorando y aumentando el porcentaje de sólidos presentes en el producto final.

JUSTIFICACION

El cultivo de la caña de azúcar para la producción de panela es una de las principales actividades agroindustriales de la economía campesina del país. Su importancia se debe al área sembrada, a la generación de empleo rural y al uso de panela en la dieta alimenticia de los colombianos. (Manrique, et, al,2000)

En materia de generación de empleo, se considera que el cultivo de la caña y la elaboración de la panela son las actividades que mas utilizan unidades de trabajo por hectárea cosechada y beneficiada. En la actualidad se emplean cerca de 25 millones de jornales y se vinculan a esta actividad alrededor de 350.000 personas, es decir, el 12 % de la población rural económicamente activa, siendo el segundo renglón generador de empleo después del café. (Rodríguez B, 2000)

La venta de la panela día a día va disminuyendo aun más en nuestro país, el material particulado que cae a las pailas de procesamiento de los jugos y los residuos sólidos quedan presentes en el producto final dificultando la venta de este producto, debido a este problema se esta dejando de consumir este alimento natural siendo remplazada por otros edulcorantes pues, estos ofrecen mejores resultados y optima calidad a la hora de consumirlo, de esta manera todas las investigaciones que en estos momentos se adelantan centradas en este problema van a ser de gran ayuda y vital para que la agroindustria panelera pueda ser la mejor en el país.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar una evaluación comparativa en dos tipos de hornillas (□RADICIONAL MEJORADA Y TIPO WARD CIMPA) sobre el material particulado emitido por la chimenea.

3.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Desarrollar una técnica adecuada para evaluar la cantidad de material particulado emitido por la chimenea.

Correlacionar el material particulado emitido por la chimenea con las condiciones de proceso como: extracción de jugo, variedad de caña , porcentaje de humedad, poder calorífico, capacidad de la hornilla, consumo de bagazo, tipo de trapiche y volumen de cámara, ducto y chimenea.

Socializar los resultados del proyecto de pasantía por medio de un informe técnico.

4. MARCO TEORICO

La caña es una gramínea del genero *Saccharum*. Su forma es erecta con tallos cilíndricos de 2 a 5 metros de altura y diámetro variable de 2 a 4 cm con nudos pronunciados sobre los cuales se insertan alternadamente las hojas delgadas. Consta de una corteza cubierta de cera de grosor variable que contiene el material colorante, seguidamente se encuentra la porción interna constituida por el parénquima y paquetes fibrovasculares dispuestos longitudinalmente terminando longitudinalmente terminando en hojas o yemas.

Tanto para la producción de panela como de mieles es fundamental un buen manejo agronómico que permita obtener un producto de excelente calidad.(Prada, 2001,2)

4.1 CORTE Y TRANSPORTE DE LA CAÑA

El corte de la caña se debe realizar cuando la caña alcanza el sazonado adecuado, ósea cuando tiene el mayor contenido de sólidos solubles, y el nivel de sacarosa máximo. El rendimiento del corte de caña depende del sistema empleado (parejo o por entresaque), del rendimiento del cultivo, de la topografía del terreno y de la pericia del obrero, entre otros y varia entre 0,4 y 4,0 toneladas por hombre día o jornal. (García y Gordillo, 1994,2)

Una vez es cortada la caña , esta es transportada del lote al trapiche empleando mulas en la mayor parte de los casos y en algunas ocasiones combinando el

transporte en mulas con el de camiones o en muy pocos casos mediante el uso de carros cañeros halados con tractor.(7)

4.1.2 APRONTE DE LA CAÑA

Cuando la caña llega del campo se arruma en montones en el patio del trapiche esperando el momento de iniciar la molienda. Por escasez de mano de obra y en muchas ocasiones por falta de mulas para el transporte de la caña, se ha establecido la costumbre de comenzar a cortar y transportar la caña de varios días antes de iniciar la molienda. El tiempo de apronte máximo debe ser de tres días a fin de conservar la calidad de la panela. (7)

El efecto del tiempo de apronte depende de las condiciones ambientales y de la variedad y se manifiesta sobre la pérdida de peso de la caña y de la calidad de la panela y en términos generales en la disminución de la panela obtenida.(García y Gordillo, 1994,8)

4.1.3 EXTRACCION DE JUGO

Se lleva a cabo en un molino, generalmente de hierro y de tres rodillos o mazas, donde la caña es sometida a compresión y se obtiene el jugo crudo (entre 40 y 60% con relación al peso de la caña). (García y Sierra, 1994,9)

En las hornillas Ward – Cimpa utilizan el bagazo humedo para alimentación y como combustible para las camaras, en cambio con las hornillas tradicional mejorada este bagazo es almacenado en las bagaceras para obtener un bagazo mas seco y aumentar el pode calorifico en las camaras.(10)

4.1.4 PRELIMPIEZA

El jugo crudo se dirige por medio de canales a un recipiente metálico, de madera o de ladrillo llamado “Prelimpiador”, diseñado por CIMPA, donde se retira parte de las impurezas de los jugos aplicando principios de separación por diferencia de densidad. (García y Sierra, 1994,11)

Cualquiera de estos equipos de prelimpieza requieren para su buen funcionamiento una adecuado mantenimiento y limpieza mínimo cada 6 horas con el fin de evitar la fermentación de los jugos y como consecuencia un deterioro de la calidad del producto. (Prada, 2001,5)

4.1.5 CLARIFICACIÓN

La etapa de clarificación en el proceso de la panela difiere altamente del proceso azucarero debido a que en este ultimo se entiende por impureza todas las sustancias diferentes a la sacarosa. Consiste en la eliminación de los sólidos en suspensión y demás sustancias coloidales e impurezas presentes en el jugo crudo de caña, por efecto del calor y mejorada con algunas sustancias vegetales aglutinantes como Balso, Cadillo o Guásimo.(García y Gordillo, 1994,12)

Existe la alternativa de remplazar los mucílagos vegetales por compuestos químicos Como el Mafloc 975, pero su uso le quita el carácter de producto natural a la panela. Este debe disolverse a una temperatura de 30 y 40 °C para asegurar la dispersión del polímero y la formación de la baba gelatinosa. Se prepara en soluciones hasta de 2.000 p.p.m. se agrega al jugo con pH de clarificación de 5,4 - 6,4. En dosis de 2 a 10 p.p.m.(Prada, 2001,6)

Las impureza que flotan, denominada cachaza se retiran manualmente y se depositan a unos recipientes llamados cachaceras, posteriormente es llevada a una paila melotera donde se concentra hasta 45 - 50 ° Brix, esta cachaza concentrada se emplea en la alimentación de animales. (7)

4.1.6 EVAPORACIÓN Y CONCENTRACION

Tiene por objeto eliminar el 90% del agua presente en el jugo, para elevar la concentración de los sólidos solubles de 16 - 21° Brix hasta el punto de miel o panela, en este punto se alcanzan las mieles a una temperatura de 120 ° C. El punto de miel o panela debe ser con bastante precisión pues, si se saca a muy alta temperatura se presentara una caramelización de los azúcares con su consecuente oscurecimiento. En caso contrario se dificultará su solidificación. Para la determinación de punto final para mieles se obtiene a una temperatura de 100 a 102 °C que corresponde a un porcentaje de sólidos solubles entre 66 - 70 ° Brix y para panela entre 118 a 125 °C correspondiente a una concentración de sólidos solubles de 88 - 94 ° Brix. (Prada, 2001,8)

Durante el tiempo de punteo se adicionan grasas para evitar que la miel no forme películas sobre las paredes de las pailas ni se caramelice o se queme, en algunas empresas los productores se ven obligados a agregarle colorantes a la panela debido a las exigencias del consumidor. La producción de mieles y panela depende de la capacidad de producción de la hornilla de la cual va desde 25 Kg / hora hasta 400 Kg / hora. (8)

4.1.7 BATIDO Y MOLDEO

La miel obtenida se lleva a un recipiente donde se agita, hasta lograr airearla y cambiar textura y estructura, luego se lleva a varios moldes o graveras donde ocurre el proceso de solidificación y la panela adquiere su forma definitiva y para panela pulverizada se agita y se cierne. (Prada, 2001,9)

4.1.8 EMPAQUE Y ALMACENAMIENTO

La panela es empacada para su comercialización en cajas de cartón, costales de fique o bolsas de papel. En la conservación de la panela se deben tener en cuenta el grado higroscopicidad, la temperatura y la humedad relativa del ambiente. (10)

4.2 CLASIFICACIÓN DE LAS HORNILLAS

Existen diferentes tipos de hornillas, de acuerdo a la forma, numero y tamaño de las pailas, pero la diferencia básica radica en la dirección de los jugos con relación a la dirección del flujo de los gases de la combustión. (García y Gordillo, 1994,15)

Durante las evaluaciones en campo se observó que la cantidad de humo y de material particulado con relación al tipo de hornilla es proporcional siendo que la mayor particularidad consistió no solo en medir la cantidad de material particulado expulsado por la chimenea sino, todas las condiciones del proceso a evaluar.

4.2.1 COMBUSTIBLES UTILIZADOS EN LAS HORNILLAS

La energía utilizada en la evaporación del agua y concentración de los jugos de la hornilla, proviene de diferentes combustibles entre los cuales prima el bagazo producido por la misma caña. Además de éste se utilizan otros como leña, caucho, carbón, y cisco de café. (García y Gordillo, 1994,33)

La energía obtenida de un combustible depende de la calidad utilizada y de su poder calorífico, que se define como la energía interna de un material, por unidad de masa, que es liberada en el momento de la combustión. En el caso de los materiales sólidos, es función de su composición química elemental y del contenido de humedad.(35).

En el caso de la leña el valor calorífico depende de la especie del árbol y en general se puede tomar un valor cercano a las 19 MJ / Kg cuando su humedad es cero. Así mismo el poder calorífico de carbón varia de acuerdo con el tipo y pureza del mismo. (García y Gordillo, 1994,36)

Una de las evaluaciones realizadas en la hornilla es la toma de bagazo una vez este sea introducido a la cámara de combustión para suministrar energía en la hornilla, después de haber tomado este dato se evalúa el poder calorífico con respecto a la humedad que tiene el bagazo seco o húmedo según se encuentre en las diferentes hornillas su forma de evaluación fue mediante la siguiente formula.

$$VCN = 17,765 - 20,27 * H_B / 100$$

VCN = valor calorífico neto del bagazo, MJ / KG

H_B = Humedad del bagazo, %.

La composición del bagazo desde el punto de vista bromatológico, tal como sale del molino esta dada por el promedio de muestras de varios trapiches del occidente de Cundinamarca.(40)

4.2.2 COMPOSICION DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN

La combustión del bagazo se da entre los componentes elementales del mismo y el oxígeno (O_2) del aire. Despreciando las pequeñas concentraciones de otros gases, la composición en masa del aire es :23,3% y Nitrógeno 76,8%. (41).

4.2.3 PARTES PRINCIPALES DE UNA HORNILLA

Las partes que componen una hornilla: Cámara de combustión, ducto de humos, chimenea.

4.2.4 CAMARA DE COMBUSTIÓN

Es un espacio confinado que se encuentra ubicado en la parte anterior de la hornilla, donde se realiza la combustión del bagazo, consta de: cenicero, puerta de alimentación y parrilla. (García y Gordillo, 1994,42)

El cenicero es un compartimiento ubicado directamente debajo de la parrilla. Sus funciones son almacenar las cenizas que se producen al quemar el bagazo y canalizar y precalentar el aire necesario para la combustión.(42)

La puerta es la abertura por donde el hornero introduce el bagazo. Se construye generalmente en fundición de hierro gris, el cual soporta temperaturas medianamente altas sin deformarse. (43).

A partir de este estudio se tendrá en cuenta el área de la parrilla y el exceso de aire en cada hornilla de acuerdo a sus dimensiones pues, como se sabe en algunas hornillas el mismo calentamiento y temperaturas en las parrillas hace que estas se deformen creando en los espacios de la misma alteraciones y exceso de aire formando en dado caso material particulado.

La parrilla es una especie de enrejado que sirve de lecho para el bagazo, permite la entrada de aire para la combustión y el paso de las cenizas hacia el cenicero. Se fabrica generalmente en fundición hierro gris, en diferentes tamaños y formas.

En algunos casos se construye en ladrillos pero su vida útil es corta y se desperdicia mucho bagazo que se pasa por los orificios dejados por el ladrillo. También utilizan rieles de ferrocarril, pero presentan el inconveniente de sufrir deformaciones con el calor.(44)

4.2.5 DUCTO DE HUMOS

También recibe el nombre de conducto de gases, camino y buque, entre otros. Las partes que constituyen el ducto son las paredes, pisos, arcos, pailas y muros de soporte que se construyen en ladrillo refractario y otros materiales que soportan altas temperaturas que mantienen en calentamiento los conductos y paso de aire necesario para una buena combustión . Su función es guiar los gases de la combustión y ponerlos en contacto con las pailas para transferir parte de su energía a los jugos. ((García y Gordillo, 1994,46)

Las pailas son vasijas o recipientes metálicos en algunas partes llamadas fondos donde se depositan los jugos, para la evaporación del agua, durante el proceso de elaboración de la panela. El calor es producido por la combustión del bagazo y transportado por los gases, se transfiere a los jugos a través de las pailas. Estas se fabrican generalmente en: cobre, aluminio o hierro, por procesos de fundición o deformado en caliente. (47)

Hoy en día las pailas mas utilizadas para el calentamiento, evaporación y concentración de jugos en el proceso de obtención de la panela se construyen de acero pues, según evaluaciones se determino que este material es mas resistente, durable y por consiguiente es mejor conductor de energía.

4.2.6 CHIMENEA

Es un conducto construido en ladrillo y en lamina de hierro o canecas, ubicado al final de la hornilla y empalmado directamente con el ducto de humos. Su forma puede ser cilíndrica, trapezoidal o cónica. Sus dimensiones depende de su forma y del tamaño de la hornilla. (García y Gordillo, 1994,48)

Su función es crear una diferencia de presión llamada tiro, que garantice el suministro del aire necesario para la combustión del bagazo y el transporte de los gases a través del ducto.(48)

El aire para la combustión varia de acuerdo con la humedad del bagazo utilizado y por lo tanto el tiro debe ser regulado, para esto se cuenta con una válvula tipo mariposa, que permite hacer los ajustes requerido. (26)

Según el estudio realizado y datos preliminares se pensaba que la altura de la chimenea influía con la expulsión de material particulado. Esta afirmación es cierta pero, de las hornillas evaluadas se noto que el material particulado expulsado aumentaba en las chimeneas de mayor altura y en las de menor altura disminuía, en cambio la cantidad de humo negro era mayor en las tradicionales mejoradas que en las tipo CIMPA.

4.3 METODOS EMPLEADOS PARA LA RECOLLECCION DE MATERIAL PARTICULADO

Los métodos o sistemas de recolección de material particulado emitido por la chimenea son:

- Muestreos isocineticos: determina velocidad y cantidad de material particulado y gases.
- Filtros de mangas, filtros hidrostáticos, ciclones y lavado de gases: cada uno de estos analizadores de gases, aunque muy costosos, manuales y muy sensibles son capaces de capturar el material particulado expulsado a diferentes condiciones.

5. METODOLOGIA

El presente trabajo de pasantía se llevara a cabo en las instalaciones de centro de investigación para el mejoramiento de la agroindustria panelera CIMPA de la Corporación Colombiana de investigación agropecuaria CORPOICA. El centro de investigación esta situado a 220 kilómetros de Santa fe de Bogotá DC, al norte del municipio de Barbosa en el departamento de Santander, a dos kilómetros por la antigua carretera que va de esta ciudad al corregimiento de Cite. Se encuentra a

una altura de 1580 m.s.n.m, con una temperatura media de 22 ° C, precipitación media anual de 1800 mm y una humedad relativa de 75%.

Se llevo a cabo en los siguientes pasos:

Los datos de campo y de laboratorio se realizaran en 4 tipos de hornillas WARD CIMPA Y 4 tipos TRADICIONAL MEJORADA. En el laboratorio se trabajara por triplicado, esto con el fin de disminuir el margen de error creando un valor promedio y poder correlacionar los datos con las condiciones de proceso y el material particulado emitido.

Durante el trabajo de pasantía se realizara un estudio bibliográfico acerca de las actividades las relaciones o diferencias en la cantidad de material particulado emitido por las chimeneas en los dos trapiches.

5.1 BUSCAR UNA TECNICA ADECUADA PARA LA RECOLECCIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO EMITIDO POR LA CHIMENEA.

5.1.1 REVISION BIBLIOGRAFICA

Durante el trabajo de pasantía se realizo un estudio bibliográfico, consultas a expertos, visitas a campo, consultas en Internet acerca de las actividades relaciones o diferencias en la cantidad de material particulado emitido por la chimenea, parámetros de diseño de la hornilla, equipos existentes para la medición de material particulado, normas y reglamentos establecidos por la autoridad ambiental.

5.1.2 FABRICACION DEL EQUIPO DE RECOLECCION DE MATERIAL PARTICULADO

Para determinar la cantidad de material particulado emitido por la chimenea en los dos trapiches se probaron tres metodologías para la recolección y determinación del material particulado. Inicialmente en el plan de trabajo se planteo probar dos metodologías pero en el transcurso de la pasantía se amplio a tres sistemas. Cada uno de los sistemas se probó en frío en la hornilla del centro de investigación y en caliente en las hornillas Ward – CIMPA de los señores Jorge Grandas y Edilberto Soto.

5.1.2.1 SISTEMA No 1

La primera metodología diseñada fue la construcción de un recolector en ángulos de aluminio, malla No 4, abrazaderas de hierro y laminas de aluminio los cuales se colocaron con ayudas de guaduas y bambúes sobre la chimenea.

La abertura de la boquilla de la trampa es de 85 cm facilitando la entrada de material particulado, en la parte inferior de la trampa se colocara lamina de aluminio obligando al gas y al particulado a subir y llevar su recorrido a la parte superior donde el gas pasa por medio de la malla y el material particulado es dirigido a una especie de cámara o caja el cual retendrá las cenizas en el tiempo establecido.

El recolector tiene una altura de por lo menos de 10 a 12 metros de longitud que por sus características y condiciones será de igual o mayor altura a las chimeneas a evaluar.

5.1.2.2 SISTEMA No 2

La segunda técnica se diseñó con una especie de malla sostenida con una varilla de hierro, esta varilla estará sujeta a unos electrodos de soldadura eléctrica y unidos en los extremos con un resorte de tal forma que al introducirlo por un orificio de 20 mm hecho en la hornilla justo al lado de la válvula mariposa pueda recoger muestra de material particulado.

5.1.2.3 SISTEMA No 3

La tercera técnica se hizo mediante la utilización de una bomba de agua con capacidad de un caballo de fuerza, la bomba estará conectada con tubos de PVC de 1 pulgada donde recirculaba agua en el mismo medio a través de ella, se instaló una tubería T con el fin de formar vacío con la misma presión del agua circundante.

Una vez formado el vacío se instaló una manguera provista de un tubo de aluminio y una especie de trampa donde retuvo el material particulado sin dejarlo pasar al agua.

El tubo se llevo al orificio hecho en la hornilla, este orificio según las especificaciones fue igual a la de la metodología anterior ósea, de 20 mm.

Una vez introducido y según el tiempo requerido se hicieron las pruebas correspondientes y se tomaron muestras de material particulado.

En cada visita al trapiche se hizo una toma de una hora aproximadamente con el equipo a utilizar para recoger muestra de la cantidad de material particulado que se esta arrojando al medio ambiente.

Estas pruebas solo se hicieron cuando la hornilla cumplía mas de dos días de calentamiento y según la evaluación se describió en que momento se hacían dichas tomas.

5.1.3 EVALUACION EN LAS HORNILLAS

Durante los tiempos establecidos se tomaron muestras de bagazo para determinar Porcentaje de humedad, Poder calorífico, variedad de caña además, se determinó la Capacidad de la hornilla, consumo de bagazo, tipo de hornilla. etc. el material particulado una vez recogido se llevó al laboratorio para sus respectivos análisis.

Para esta evaluación se construyo una tabla para llevar todos los datos obtenidos en el campo.

5.1.3.1 Tabla de datos

- Hora :
- Tipo de hornilla :
- Material particulado. Kg/h :
- Capacidad real. kg panela /h :
- Consumo bagazo real. Kg bagazo/h:
- Relación peso bagazo, panela. Kg bagazo/ kg panela:
- Grado de extracción de jugo :
- Humedad de bagazo :
- Poder calorífico :
- Variedad de caña :
- Dimensiones de la chimenea:

5.1.3.2 Toma de material particulado

Una vez se recoja una muestra representativa de material de material particulado con el recolector en la hornilla, inmediatamente será llevado al laboratorio para obtener el peso total capturado en el tiempo de una hora.

5.1.3.3 Evaluación Capacidad real kg panela / hora

Para determinar producción de panela se trabajo en tres repeticiones pesando y contabilizando el tiempo de cada punto.

5.1.3.4 Evaluación consumo real de bagazo hora

Esta evaluación consiste en verificar cuanto bagazo esta entrando en la hornilla para alimentación de la cámara , se realizó en tres repeticiones para las cuales se peso de 30 a 40 kg de bagazo y contabilizar cuanto tiempo demora el hornillero en alimentar con bagazo la cámara de combustión.

5.1.3.5 Relación kg de bagazo / kg de panela

5.1.3.6 Grado de extracción de jugo.

El grado de extracción del jugo se hará en los diferentes trapiches a estudiar de la siguiente manera:

- se pesan 100 kg de caña y se procede a extraer el jugo contenido.
- se pesa el bagazo y se calcula la diferencia, esto nos indicara la cantidad de jugo extraído.

5.1.3.7 Humedad del bagazo

En el momento de alimentar la hornilla se tomaran varias muestras las cuales se homogeneizaran y se tomara una muestra representativa para analizar en el laboratorio.

5.1.3.7.1 Procedimiento:

- Pesar la caja vacía y tomar el peso.
- Colocar una muestra de 100g de bagazo en la caja y anotar el peso inicial (Pi).
- Llevar al horno durante 24 horas a 105°C.
- Pesar nuevamente y anotar el peso final (Pf).

5.1.3.8 Poder calorífico.

El poder calorífico se calculará mediante formula establecida por Gordillo y García,1992 como:

$$\mathbf{V.C.N} = 17,85 - 20,35 * H_B / 100$$

V.C.N = Valor calorífico neto del bagazo, MJ / KG.

H_B = Humedad del bagazo, (%).

6.1.3.9 Variedad de caña

6.1.3.10 Dimensiones de la hornilla.

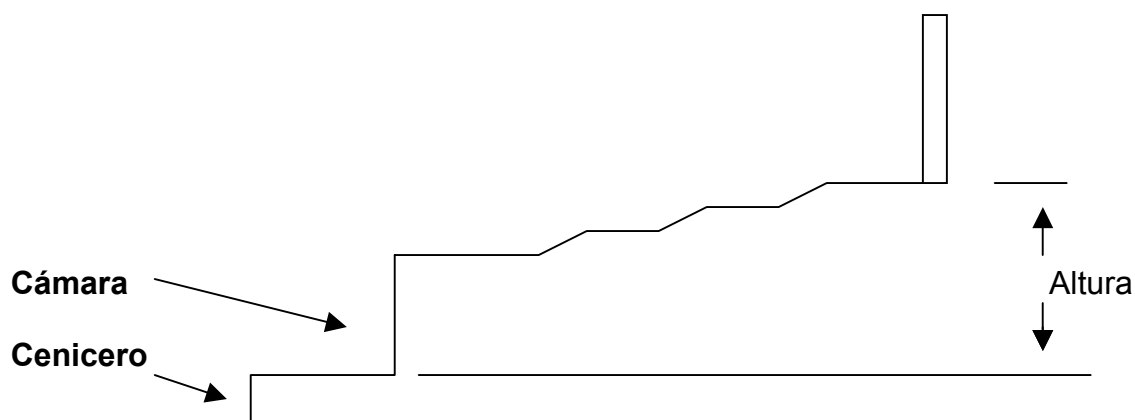
5.1.3.10.1 Alto de la cámara.

5.1.3.10.2 Largo de la parrilla.

5.1.3.10.3 Ancho de la parrilla.

5.1.3.10.4 Altura desde la base de la chimenea hasta el cenicero y la cámara.

Las alturas anteriores se determinaron mediante los planos sabiendo que los ángulos de inclinación entre las pailas creando una diferencia de altura, como se muestra a continuación.



5.1.3.10.5 Distancia de la primera paila

Esta medida fue difícil tomarla en la hornilla por lo que fue necesario la utilización de planos.

5.1.3.10.6 Tamaño o diámetro de la primera paila o fondo evaporador.

6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Durante el trabajo de pasantía se probaron tres instrumentos de medición para determinar cual de ellos recogía muestra de material particulado.

6.1 SISTEMA 1:

6.1.1 Primer recolector de material particulado

El primer diseño utilizado fue un tipo de recolector con un área de 85 cm^2 , y un peso aproximado de 7 Kg. En lamina de aluminio y malla en sus partes frontal, lateral y posterior del recolector como se observa en la **Figura 1**.



Figura 1. Diseño del primer recolector

En la parte superior tiene cables unidos y sostenidos a un gancho con el cual son halados por un sistema de polea como apoyo para subir el recolector con la ayuda de las guaduas a la chimenea para la toma del material particulado.

Las Guaduas alcanzan longitudes de 4 a 5 metros haciendo posibles unir las con abrazaderas de lamina de hierro y tornillos para asegurar un buen agarre con el fin de aumentar de tamaño y lograr llevar el recolector a la altura deseada.

Lo que se busca de la cubierta del aluminio es obligar a los gases presentes a buscar salidas por los extremos y por el frente conduciendo el material particulado al recolector como se muestra en la **Figura 2**.



Figura 2. Recolector de material particulado

6.1.1.1 PARTE LATERAL



Figura 3. Parte lateral del recolector

6.1.1.2 PARTE FRONTAL



Figura 4. Parte frontal del recolector

6.1.1.3 PARTE POSTERIOR



Figura 5. Parte posterior del recolector

Los primeros ensayos hechos en las instalaciones del CIMPA se hicieron con guaduas en uniones y abrazaderas sencillas ubicando en la boca del buitrón el marco del recolector tal como nos muestra la **Figura 6**.

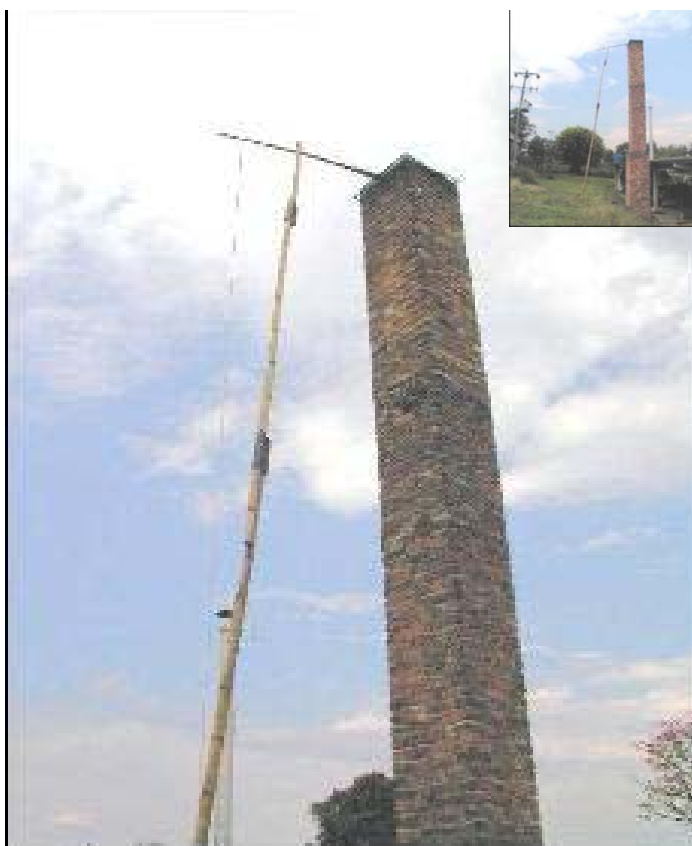


Figura 6. ubicación del recolector en la chimenea

Los resultados fueron satisfactorios para alturas de 13 metros, pues se requería de guaduas mas gruesas y por tanto mayores soportes lo cual dificultaba el peso haciéndose necesario buscar personal de ayuda.

Una vez construido el recolector fue sometido a varios ensayos, estos ensayos se hicieron en las instalaciones de CIMPA el problema que empezaba a presentar era que al aumentar la altura en las guaduas se flexionaban y se partían y las abrazaderas se doblaban por no resistir el peso de las mismas, el recolector era halado por una polea a la altura de la guadua para ser llevada a la boca del buitrón. Se empezó a dificultar el trabajo de llevar el recolector hasta la cima de la chimenea a mayor altura.

Después se consiguió guadua de mayor grosor y mas resistentes con dobles uniones, abrazaderas y tornillos de 5 pulgadas para resistir el peso del recolector Logrando una altura de 12 metros, pero igual el peso del recolector junto con la guadua no me facilito la tarea por lo que fue necesario buscar 5 personas para me pudieran sostener y ayudar a encajar el recolector en la boca de la chimenea.

Pero los resultados para colocar el instrumento fueron poco satisfactorios para alturas superiores a los 12 metros, por lo tanto se descarto este sistema.

6.2 SISTEMA 2:

La segunda técnica aplicada en el trabajo consistió en:

Introducir por un orificio de 20 mm en la chimenea cerca de la válvula mariposa para la toma de material particulado, el orificio se hizo con un taladro y una broca inoxidable con punta de tungsteno de 40 cm .

El modelo de trampa de este sistema consta de :

- ✓ Electrodo para soldadura eléctrica
- ✓ Varillas de hierro
- ✓ Malla de acero inoxidable de diámetro de 150 micras
- ✓ Resorte de hierro
- ✓ Grapas

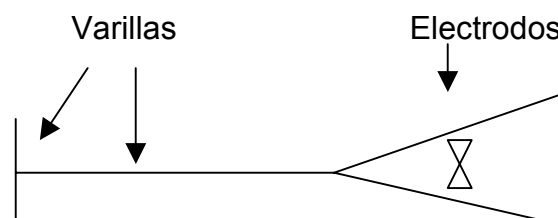
Estos materiales se sometieron a evaluación con el fin de probar su resistencia a altas temperaturas en la chimenea.

Las varillas y los electrodos no se probaron , pues estos se funden a una temperatura de 1100°C , La malla , los resortes y las grapas se sometieron a temperaturas de 400, 500 hasta 750°C durante 10 y 20 minutos en la mufla con el fin de determinar si eran aptos para soportar temperaturas altas. una vez concluido las pruebas se empezó a diseñar de la siguiente manera:

La trampa de material particulado debe tener un diámetro menor de 20 mm, con el fin de introducirlo fácilmente por el orificio. Pero una vez dentro debe presentar un área significativa para la toma de la muestras. Cumpliendo con el objetivo se optó un sistema de tijera.

Se soldaron dos tramos de varilla de hierro , una de 11 cm y otra de 64 cm de tal manera que quedara así:

Al finalizar en la varilla mas larga se soldaron dos electrodos para soldadura eléctrica , cada uno de 32 cm completamente lisos formando un triángulo.



45grados

12 cm

64 cm

32 cm

Una vez soldado los electrodos , se ensayó en el orificio de 20 mm en la hornilla ubicada en las instalaciones del CIMPA determinándose que al introducirlo al orificio hecho en la hornilla se tenía como medida un área específica y un Angulo de 45° , pero al pasar y llegar al otro extremo estas medidas cambiaban.

Se concluyó que debería ponerse un resorte en los extremos de cada electrodo el resorte a utilizar tendría que ser resistente a altas temperaturas y lo mas importante tendría que ser menor al diámetro del orificio hecho en la parte inferior de la hornilla que era de 20 mm. La medida del triangulo tendría que ser exacta al entrar o introducirse en la chimenea y lógicamente al salir al otro extremo. Como se expresa en la **Figura 7**.

Figura 7. Entrada del recolector en la chimenea

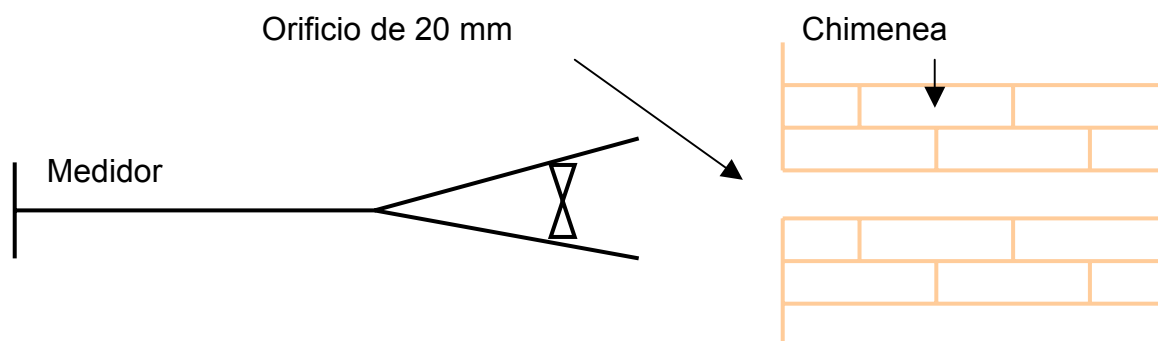


Figura 8. Recolector en medio del orificio de 20 mm.

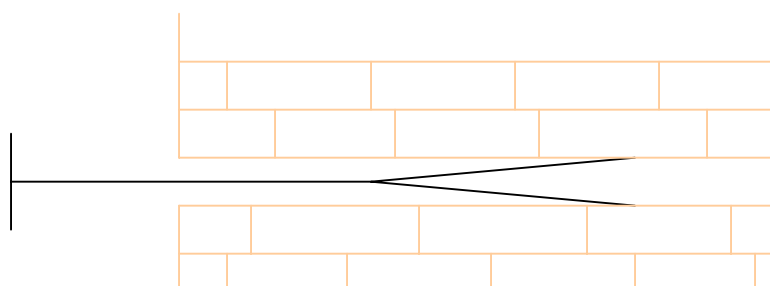
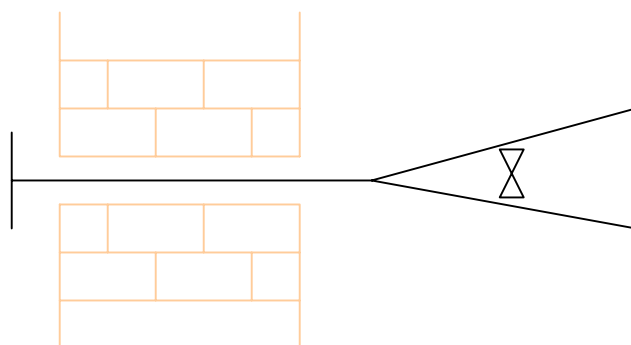




Figura 9. Salida al interior de la hornilla.



Una vez terminado se colocó la malla de acero inoxidable de 150 micras, con cerca de 237,36 g. **Figura 10.**



Figura 10. Recolector de malla de acero inoxidable.

Durante los ensayos en el centro de investigación CIMPA , se estableció que la malla no cedía a la presión de la hornilla. El modelo se volvió a someter a prueba en el centro con resultados satisfactorios. Se probó posteriormente en caliente en las hornillas. mismos.

El procedimiento en las salidas a campo se hizo de la siguiente manera:

- ✓ Al llegar a la hornilla se tiene que tener en cuenta en que sentido esta ubicada la válvula mariposa.
- ✓ Una vez definido el sitio para el orificio se tomaba la broca de un grosor de 20 mm y de 40 cm de longitud junto con el taladro iniciando la operación.
- ✓ Una vez hecho el orificio se introducía el recolector y se tomaban tiempos de 5,10,15 y 20 minutos para verificar que cantidad se recogía en función del tiempo.

Los procedimientos en campo fueron iguales para los dos tipos de hornillas y el resultado fue nulo.

6.2.1 EVALUACIONES

6.2.1.1 Ensayo 1.

Primeras hornillas Ward - cimpa evaluadas con el nuevo sistema de trampa para material particulado, propietario: JORGE GRANDAS, con capacidad de 150 Kg.

El ensayo realizado fue hecho el día 10 de mayo. El material particulado emitido por esta hornilla es bajo, según datos suministrados de los trabajadores del trapiche declaraban que ese problema casi no se presentaba, en los ensayos en esta hornilla no se pudo recoger muestra.

6.2.1.2 Ensayo 2.

Este ensayo fue realizado en otra hornilla Ward – cimpa con capacidad de 150 Kg.

Administrador : EDILBERTO SOTO.

Se realizo el ensayo en esta hornilla por la cantidad de material particulado arrojado al medio ambiente, pues se pensó obviar el anterior por ese problema.

6.2.1.2.1 VENTAJAS

- Al introducir el modelo de trampa este tenia mejor acceso al interior de la hornilla y al material particulado alcanzando una longitud adecuada.
- Para esta medición y estas pruebas no se necesito romper ni quitar ladrillos como se hacen con otros estudios para evaluar este tipo de problemas , simplemente con el orificio hecho fue posible evaluar el modelo.

6.2.1.2.1 DESVENTAJAS

- Al introducir el modelo al interior de la hornilla por la misma presión de la chimenea no permitía que el material particulado se adhiriera a la malla.
- Una vez cumplía su tiempo de toma de material particulado se sacaba el recolector y la malla se dañaba en los extremos porque pegaba con la pared del orificio no logrando sacar material particulado trayéndose consigo polvo de ladrillo y cemento.

6.3 SISTEMA 3 :

Aprovechando las ventajas del modelo anterior se pensó en utilizar una bomba de agua con capacidad de 1 caballo de fuerza, conectado a un circuito de tubería PVC de 1 pulgada, este circuito va a recircular de tal manera que al regresar el agua circundante al medio inicial en la tubería T forme vacío, con el fin de llevarlo al orificio hecho en la hornilla de 20 mm y succionar el material particulado emitido por la chimenea.

Para poder atrapar el particulado expulsado por el orificio se diseñara a partir del vacío formado por la misma presión del agua una especie de trampa hermética dirigido con manguera y tubo de aluminio, esta trampa tendrá la capacidad de retener el particulado dejando pasar los gases como muestra la **Figura 11**.



Figura 11. Bomba utilizada para formar vacío a través de la presión del agua en una tubería de PVC de una pulgada para recoger muestra de material particulado

Durante la construcción de este diseño se pensó que al aumentar el diámetro de la tubería podría aumentar el vacío, pero por la capacidad de la bomba fue imposible.

Después se pensó en reducir por la capacidad de la bomba el diámetro a $\frac{1}{2}$ pulgada pero con la presión el agua se rebosaba y caía a la trampa. Simplemente se siguió probando el sistema con tubería de 1 pulgada.

6.3.1 Procedimiento de evaluación en las hornillas :

Antes de comenzar el trabajo en la hornilla se observa el sentido de abertura de la válvula mariposa.





Figura 12. Abertura del orificio en la hornilla de 20 mm.

Una vez definido el sitio para el orificio se tomaba la broca de un grosor de 20 mm y de 40 cm de longitud junto con el taladro a iniciar la operación.

Una vez hecho el orificio se introducía el tubo unido a la manguera y dirigido a la trampa del recolector una vez se formara vacío.

El 13 y 14 de junio del 2001 se evaluaron las hornillas Ward – CIMPA del señor Jorge Grandas y de Fidel Peña.

Se ajusto el equipo y se probó nuevamente.



Figura 13. Montaje de modelo para recoger material particulado

Los ensayos previos se realizaron en estas hornillas para verificar la efectividad del diseño y la técnica aplicada, una vez probados arrojaron resultados satisfactorios, la muestra recogida durante 20 minutos en particulado no fue mucha pero, por lo menos el objetivo propuesto se estaba logrando.

Teniendo en cuenta las posibilidades y fracasos en los métodos anteriores se podría para las pruebas siguientes evaluar en la hornilla sobre un tiempo de una hora para correlacionar este dato con las demás variables de proceso. Ahora se esperaba hacer las pruebas y toma de datos para el trabajo final de pasantía.

6.3.2 EVALUACION DE LAS HORNILLAS

Mediante los datos obtenidos de cada uno de las hornillas se construyo una tabla para el análisis empleando las herramientas estadísticas Excell y SPSS.

En el **Anexo 1**. Se encuentra la tabla de los datos triplicados tomados y en el **Cuadro 1**. Muestra los promedios de los datos anteriores sobre la cual se realizo el análisis estadístico.

En el **Anexo 2**. Muestra la tabla de resultados sobre las correlaciones de la variable : material particulado arrojadas por el programa SPSS respecto a otras variables, en ella se observa que la cantidad de material particulado emitido por la chimenea no se correlaciona para ninguno de los tipos de hornillas con el poder calorífico, porcentaje de extracción, consumo de bagazo hora, producción de panela hora, relación panela / bagazo, altura de la chimenea, base de la cámara, longitud total de la hornilla, altura de la ultima paila y de la chimenea. Esto se corroboró graficando las variables en Excell.

La variable diámetro o tamaño de la primera paila se encontró altamente correlacionada en **0.95** con el material particulado emitido por la chimenea en el cual se ordenaron los datos de acuerdo al tipo de cámara y cantidad de material particulado, se observa una relación directa entre estas variables, las hornillas tipo plana presentan los menores valores de diámetro a la paila evaporadora e igualmente menores cantidades de material particulado emitido por la chimenea, estas representan una alta significancia bilateral con un valor de cero (0), cabe anotar que se presenta alguna correlación con la distancia de esta paila a la cámara pero ninguna con la altura de la paila.

Propietarios	Tipo de trapich	Mat. Particula	Humedad %	Poder cal. M.
Roberto manrique	Planas	0.13	26.91	12.38
Victor ramos	Planas	0.25	16.67	14.46
Miguel moreno	Planas	0.26	30.76	11.59
Raul aranda	Planas	0.29	41.32	9.45
Hildebando y Vicente	Ward	0.29	53.59	6.94
Lizardo zarate	Ward	0.34	51.44	7.38
Jorge grandas	Ward	0.74	57.1	6.23
Edilberto soto	Ward	0.86	54.53	6.71
Propietarios	Extraccion %	C.R Bagazo K	C.R Kg pan./	Rel.Kb/h / Kp
Roberto manrique	55.3	623.3341655	116.285923	5.64606442
Victor ramos	51.96	891.1410203	141.837191	6.38216258
Miguel moreno	55.46	1174.341546	122.428095	9.61819792
Raul aranda	56.4	931.0248326	148.174545	6.37731349
Hildebando y Vicente	58.8	585.0993886	122.218779	4.86415031
Lizardo zarate	55.16	551.350932	141.637095	3.96472152
Jorge grandas	55.4	680.8457721	113.92828	6.06697268
Edilberto soto	53.86	552.0595835	119.852637	4.71532412
Propietarios	Al. Chim (mts)	Largo parrilla	Ancho parril	Distancia 1ra
Roberto manrique	18	1.86	0.58	0.87
Victor ramos	22	1.86	0.58	0.87
Miguel moreno	10	1.8	0.58	1
Raul aranda	22	1.86	0.58	0.87
Hildebando y Vicente	16	1.1	0.9	2.24
Lizardo zarate	18	1	1.1	2
Jorge grandas	18	1	1.1	2.1
Edilberto soto	18	1.1	1.1	2.2
Propietarios	Tamaño 1ra pai	Alto cámara(r	Base cámara	Alto cenicero
Roberto manrique	1.2	0.94	1.86	1
Victor ramos	1.27	1.045	1.86	1
Miguel moreno	1.3	1.15	1.65	1
Raul aranda	1.24	1.045	1.86	1
Hildebando y Vicente	1.25	2	1.7	1
Lizardo zarate	1.3	2	1.71	1
Jorge grandas	1.38	2	1.71	1
Edilberto soto	1.48	2.2	1.7	1
Propietarios	Altura 1ra paila	Long. Tot.pail	Long. Tot.pail. Planas(mts)	Fibra%
Roberto manrique	0.57	4.61	8.85	
Victor ramos	0.58	4.03	8.41	14
Miguel moreno	0.58	4.52	6.5	13
Raul aranda	0.58	4.85	8.91	12
Hildebando y Vicente	0.57	5.24	10.14	15
Lizardo zarate	0.58	5.3	9.2	15
Jorge grandas	0.57	5.3	8	15
Edilberto soto	0.58	6.43	8.26	15
Propietarios	Al. B chim. Cen	Al. B chim. Ca	Pend. Tot. (F	AL. ultima. P
Roberto manrique	2.9	1.9	8	0.2
Victor ramos	3.065	2.065	6.68	0.2
Miguel moreno	3.38	2.38	6.44	0.19
Raul aranda	3.055	2.055	6.68	0.19
Hildebando y Vicente	5.29	2.59	4.25	0.14
Lizardo zarate	5.3	2.8	6.04	0.19
Jorge grandas	5.31	2.81	5.47	0.2
Edilberto soto	5.3	2.8	6.68	0.19

Cuadro 1. promedios de los datos estadísticos tomados para correlación.

Las demás variables presentan una leve correlación con el material particulado siendo mayor para el ancho de la parrilla, posición de la paila, alto de la cámara y las alturas desde la base de la chimenea hasta el cenicero y la cámara. Esto lo podemos observar en las siguientes figuras.

6.3.2.1 EL MATERIAL PARTICULADO

6.3.2.1.1 El análisis estadístico en SPSS

Aunque una de las variables que marca la diferencia en el tipo de hornilla es la humedad del combustible, este no se correlaciona con la cantidad de material particulado como ocurre para las correlaciones entre las demás variables así:

Muestra altos valores para el tipo de cámara con poder calorífico, porcentaje de extracción, consumo real de bagazo, producción de panela, relación panela / bagazo, altura de la chimenea, cenicero, pailas, ultimas pailas, pendiente total de la hornilla, lo cual determina que el material particulado expulsado por la chimenea sea mayor en las Ward. La distancia de la primera paila también se correlaciona altamente con las dimensiones de parrilla alto, ancho y a su vez estas dos entre sí.

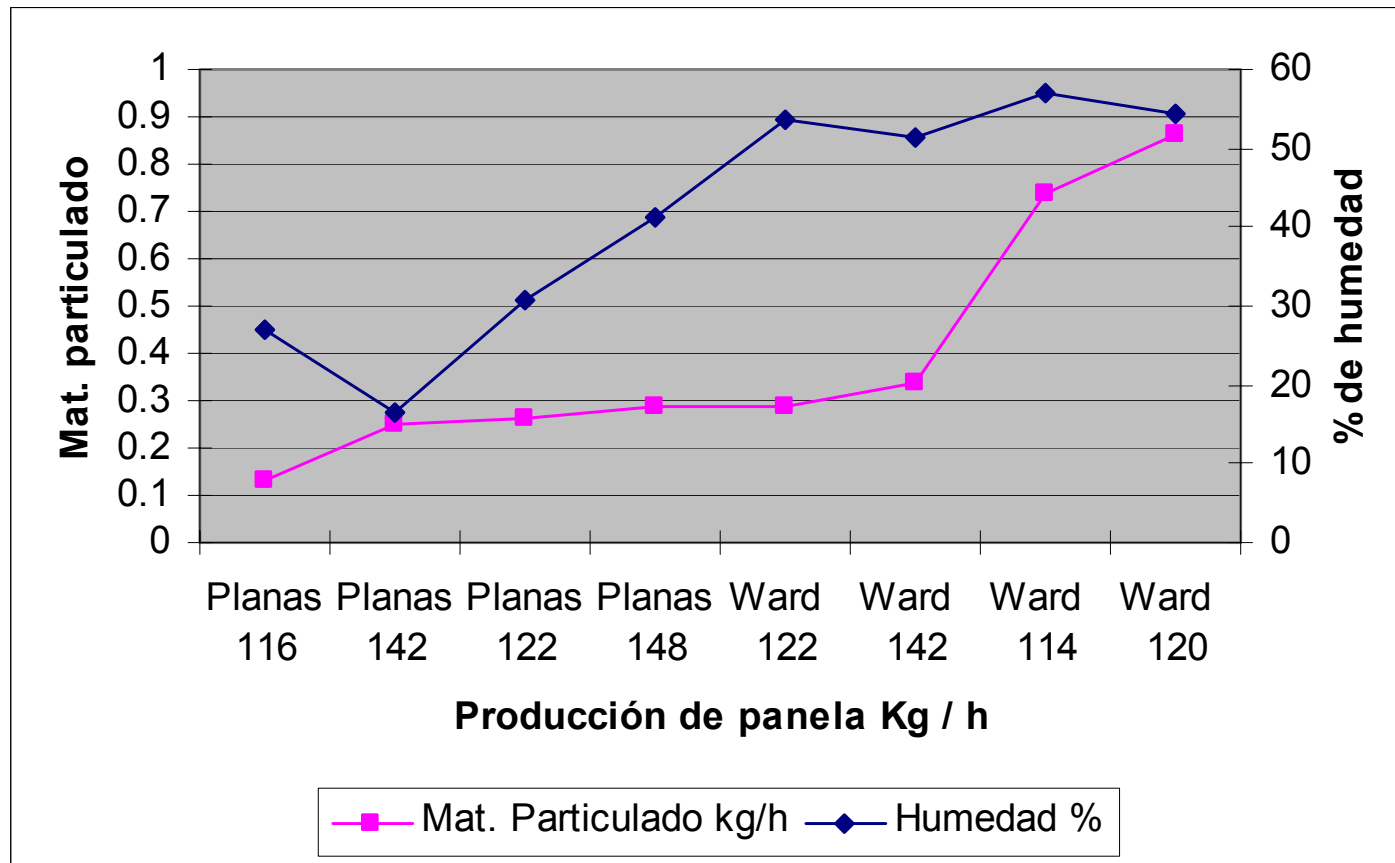


Figura 14. Relación existente entre el material articulado y el porcentaje de humedad

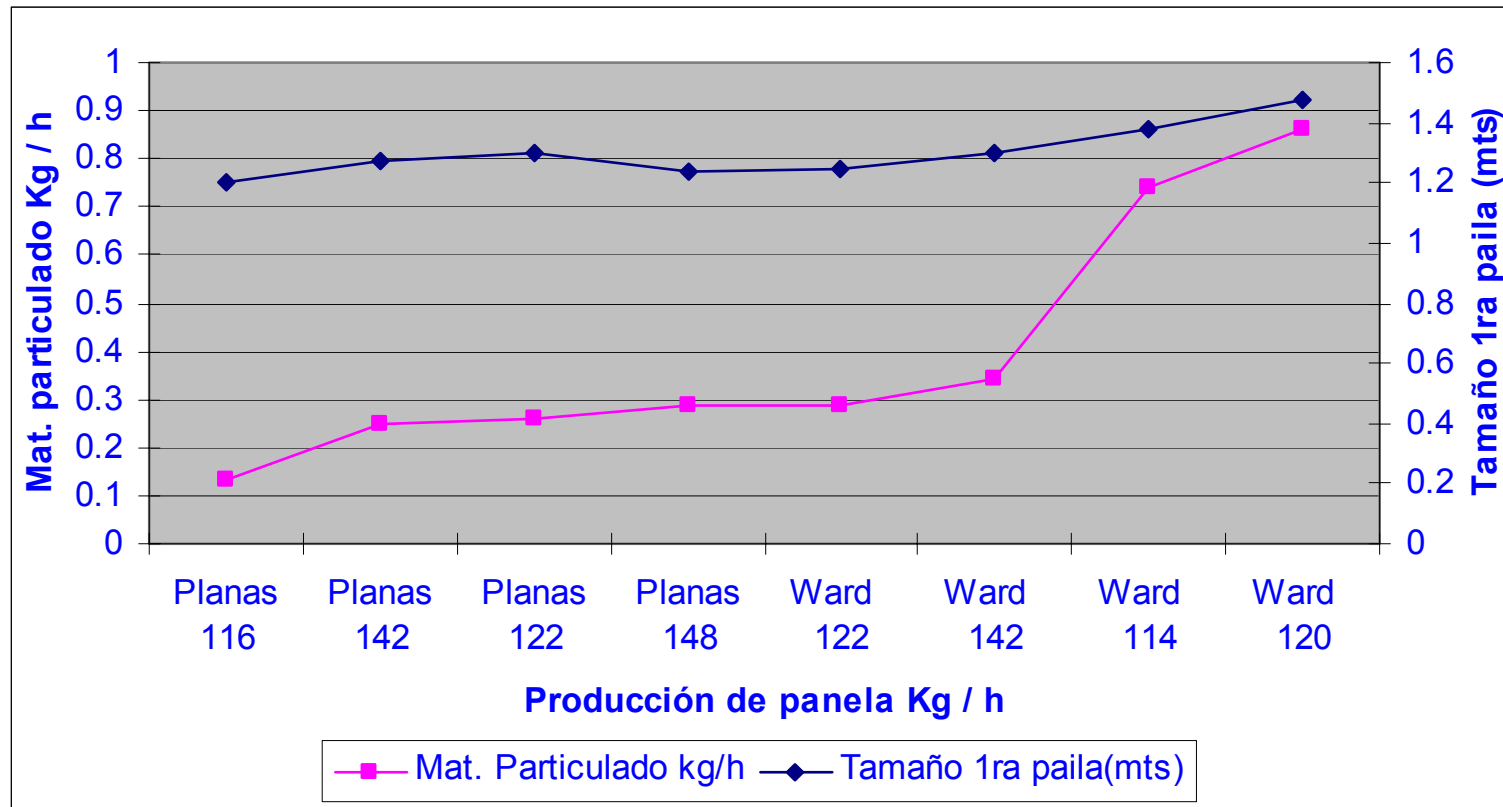


Figura 15. Relación existente entre el material particulado y el tamaño de la primera paila

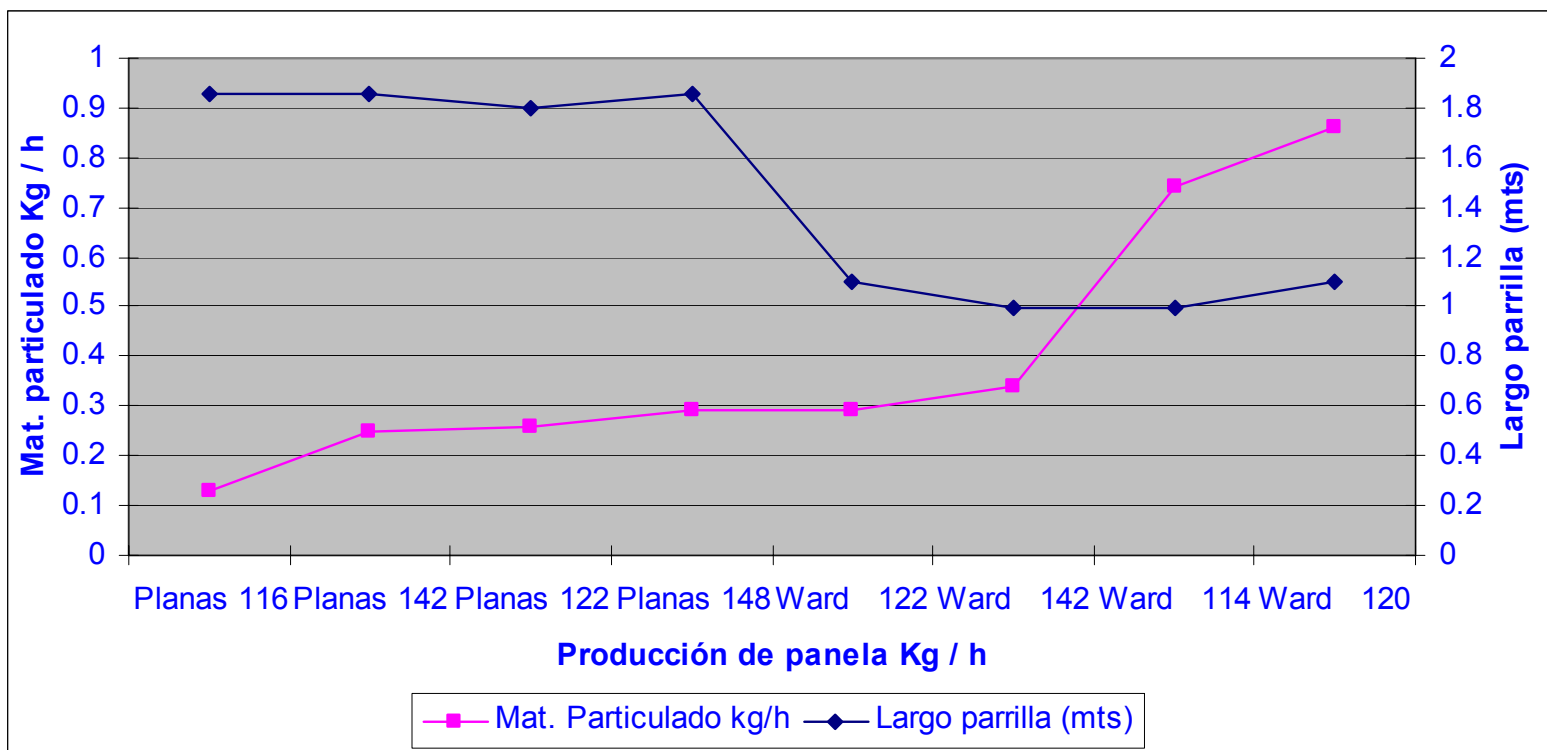


Figura 16. Relación existente entre el material particulado y el largo de la parrilla

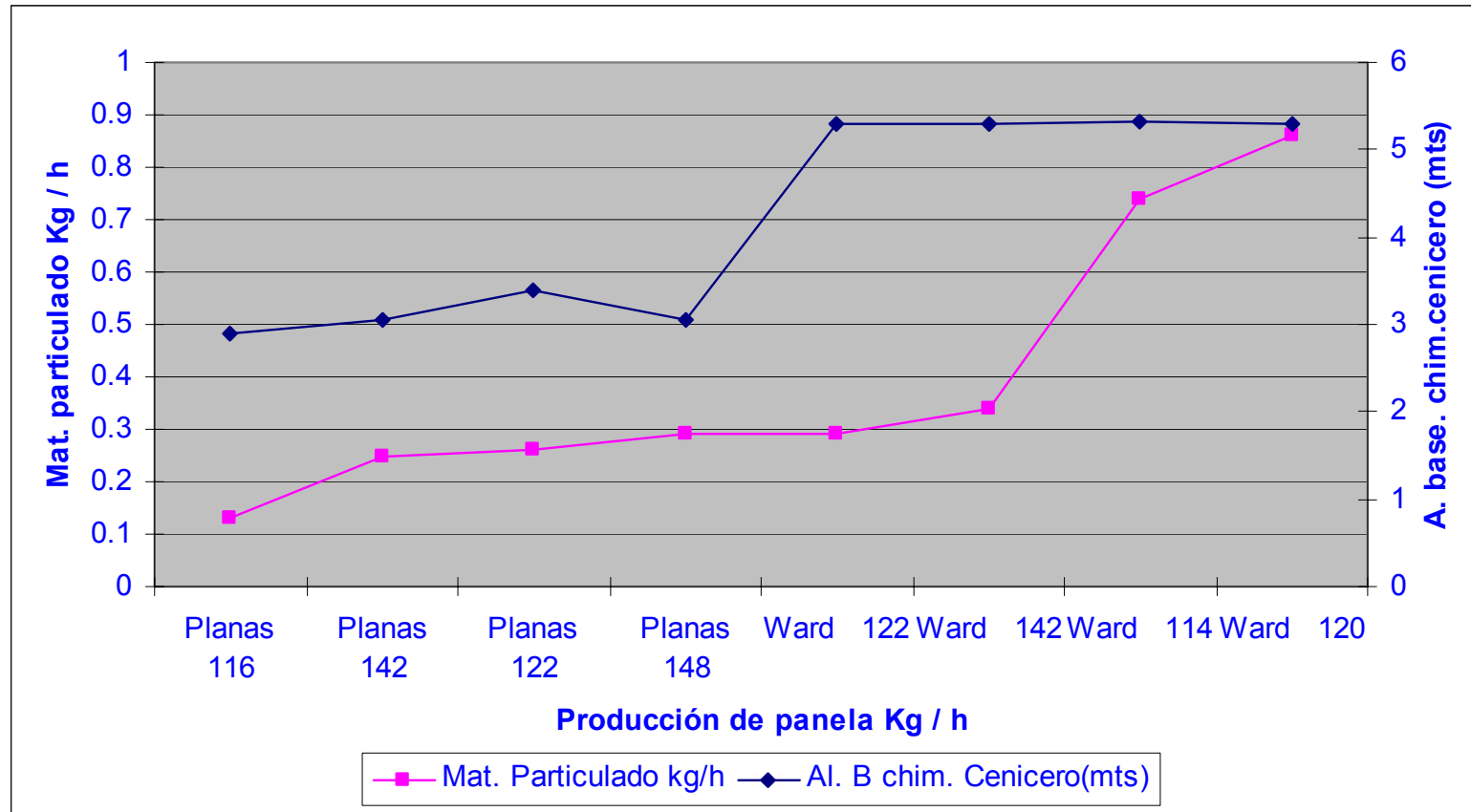


Figura 17. Relación existente entre el material articulado y la altura de chimenea hasta el cenicero

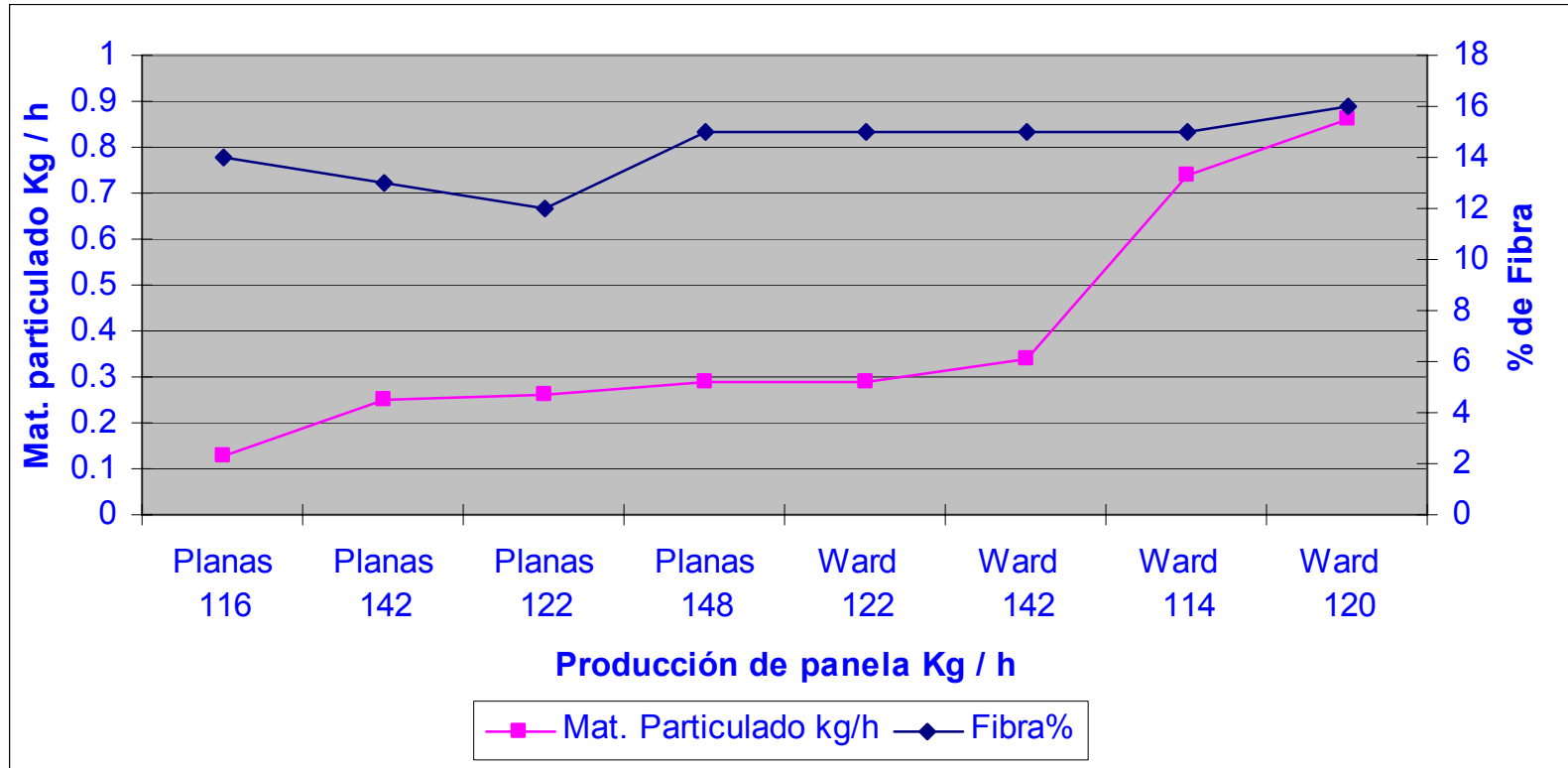


Figura 18. Relación existente entre el material articulado y el porcentaje de fibra

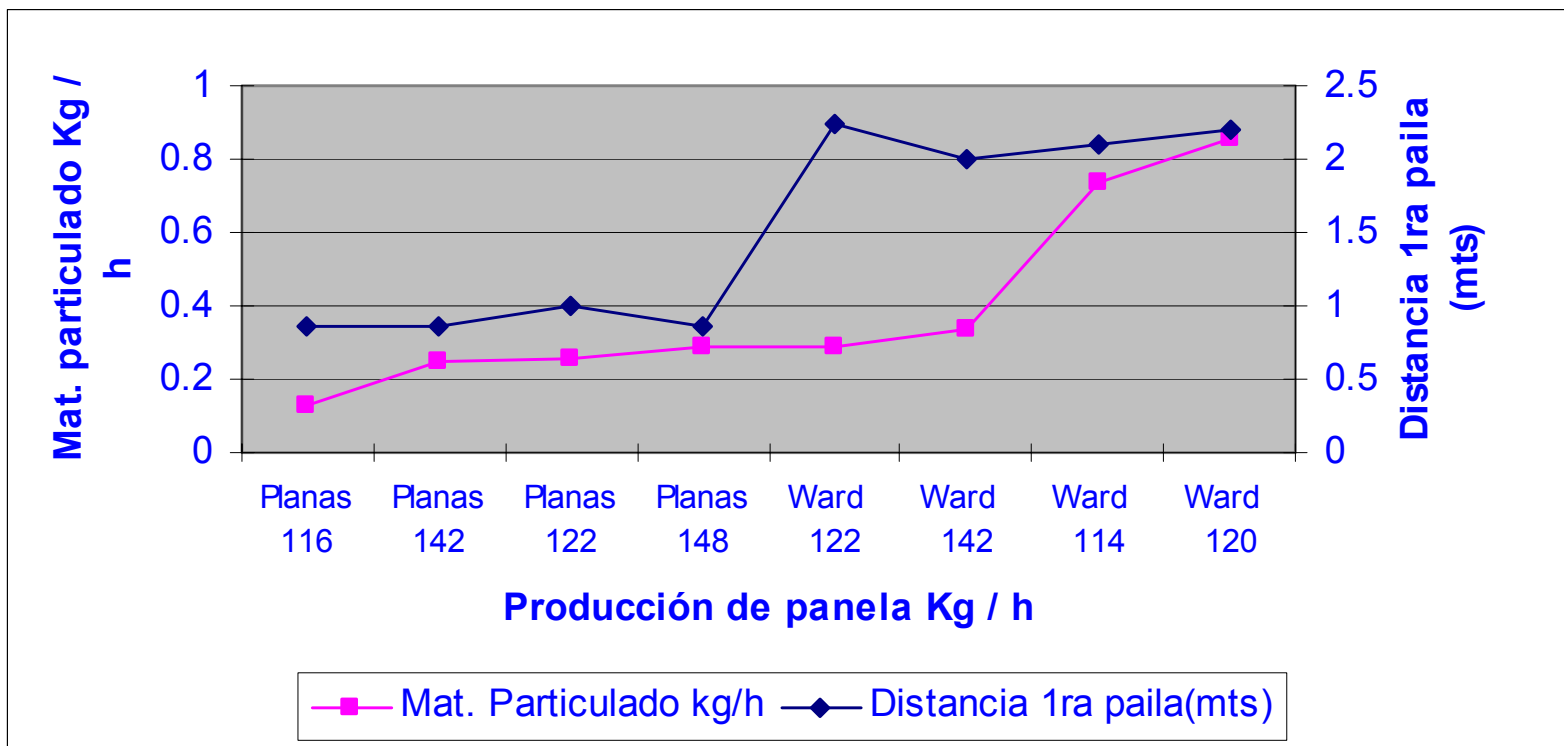


Figura 19. Relación existente entre el material articulado y la distancia de la primea paila

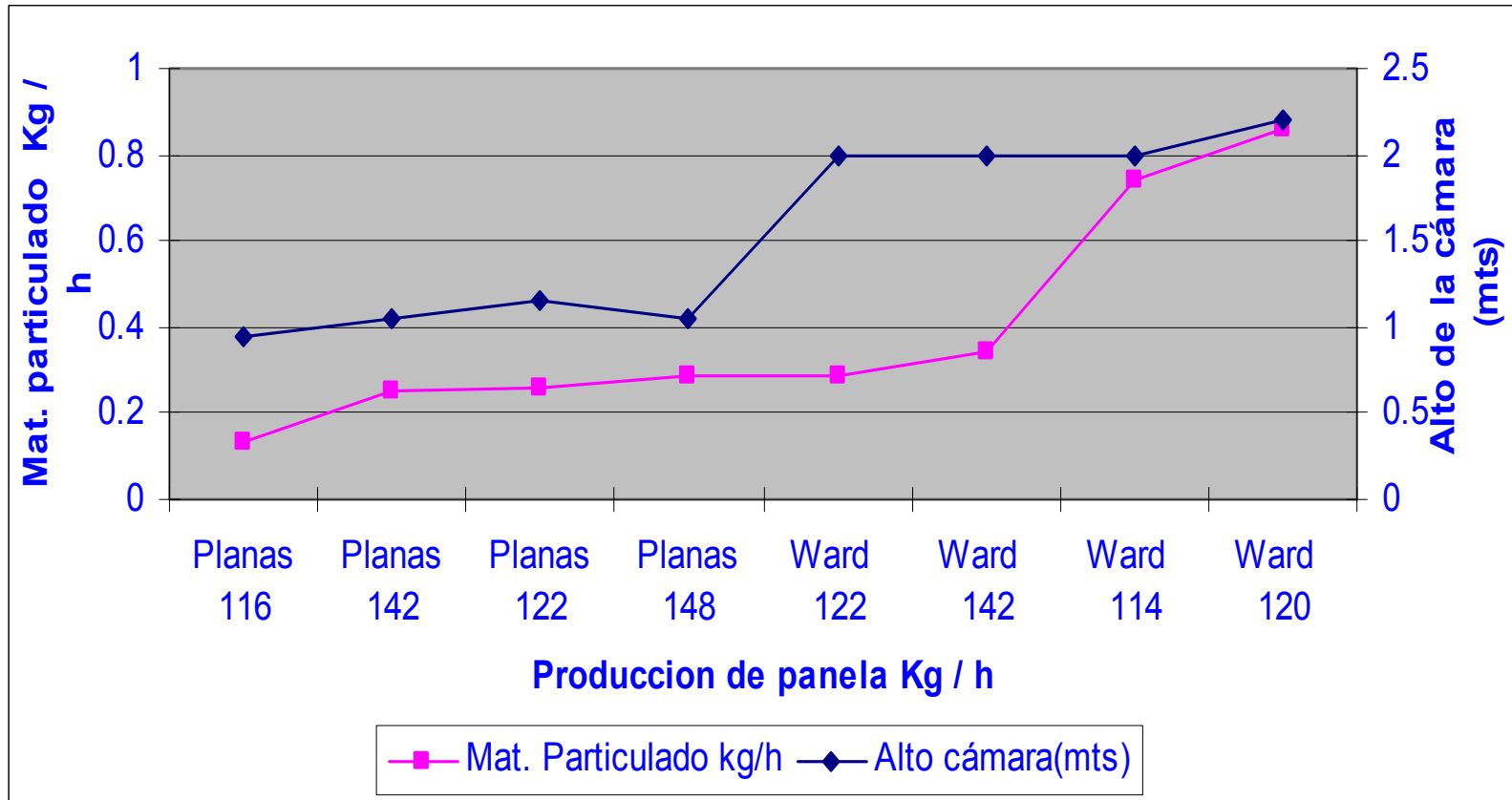


Figura 20. Relación existente entre el material articulado y el alto de la cámara

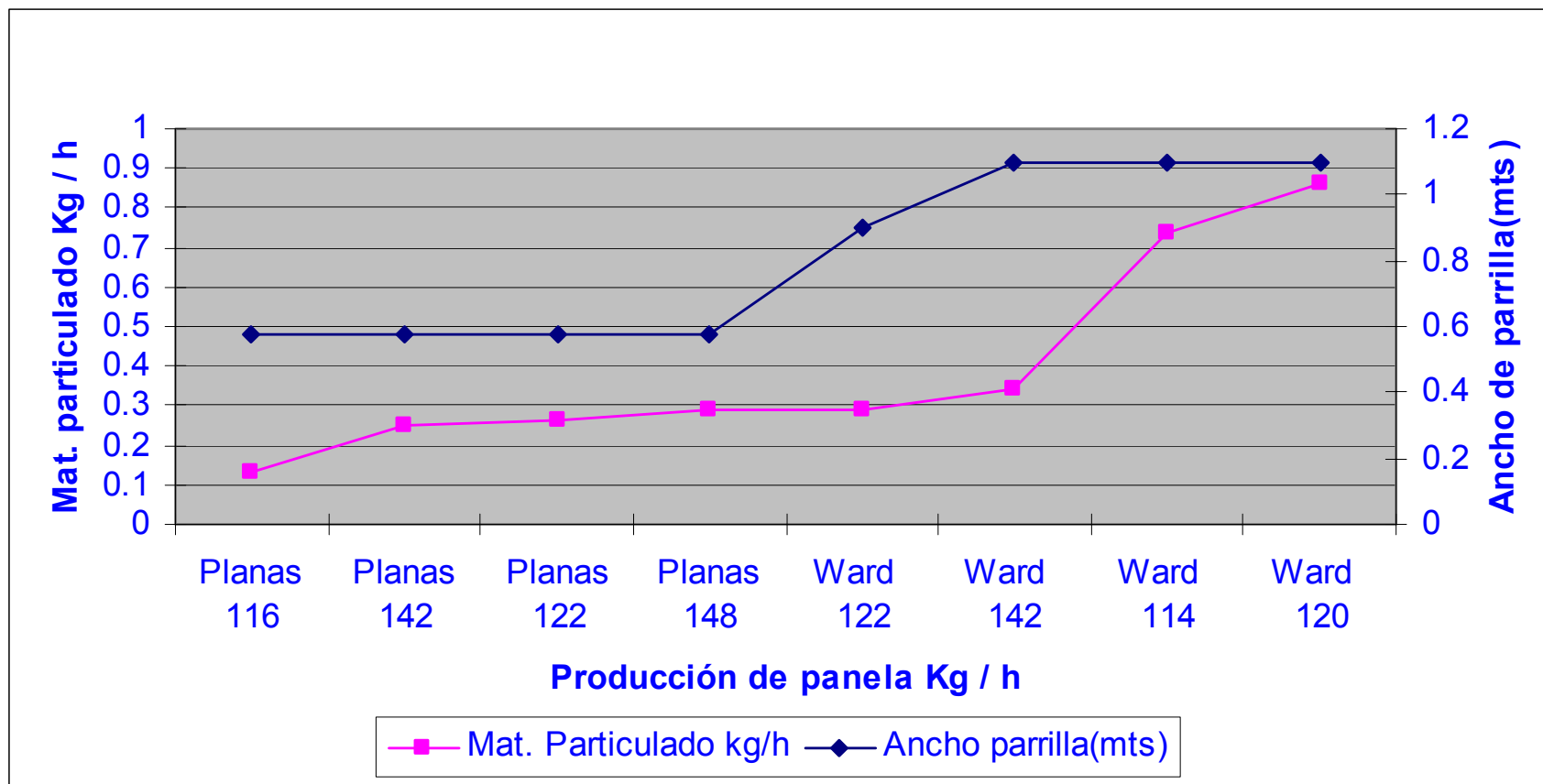


Figura 21. Relación existente entre el material articulado y el ancho de la parrilla

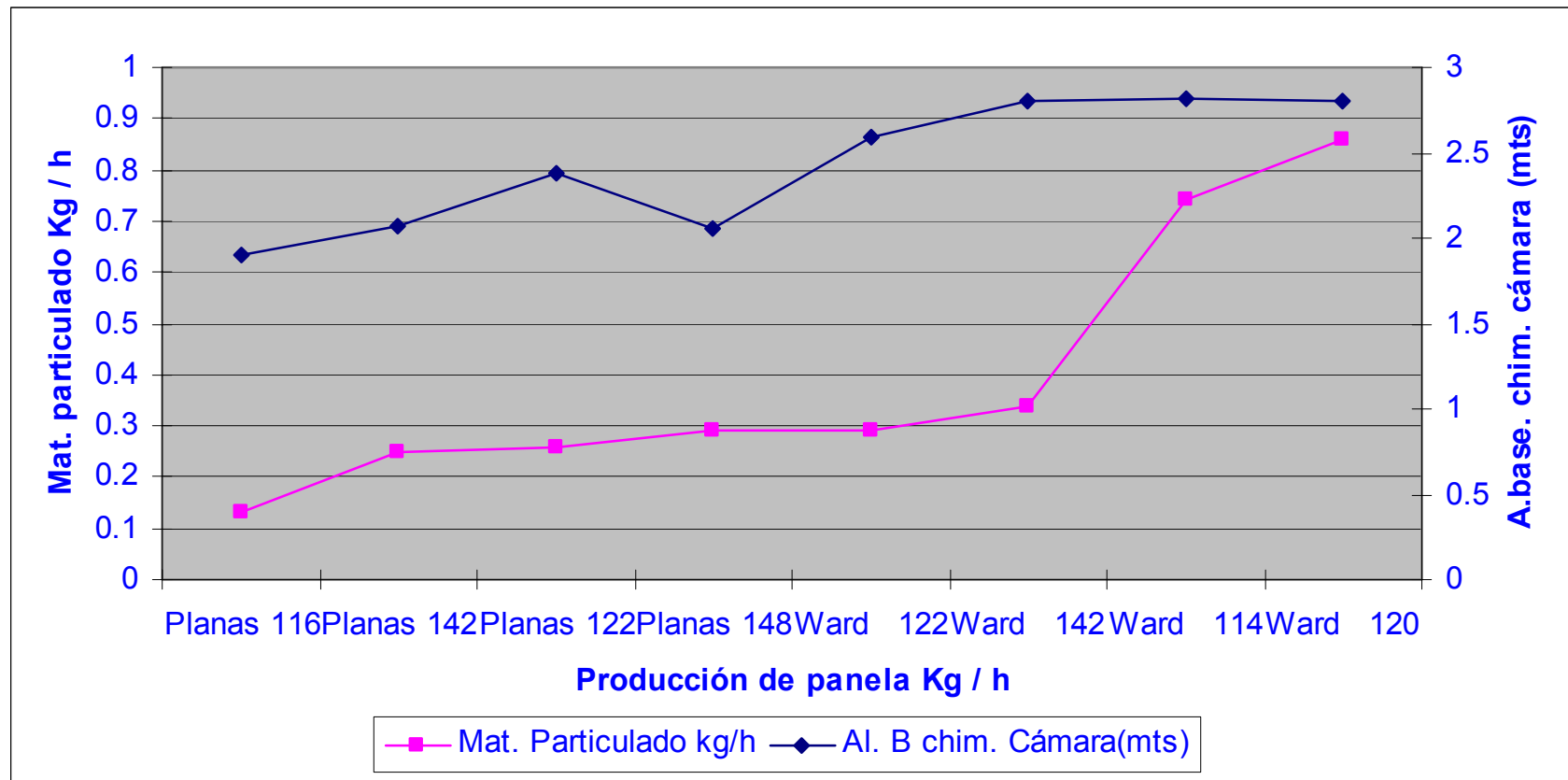


Figura 22. Relación existente entre el material articulado y la distancia a la cámara

6.4 VARIABLES DE PROCESO

Según las relaciones existentes entre las condiciones de proceso y el material particulado emitido por la chimenea sobre la base de datos en el programa Excell se puede decir :

6.4.1 humedad:

La humedad es un factor muy importante dado que se trata del combustible que alimenta la cámara de combustión con el fin de dar la suficiente cantidad de energía necesaria para su funcionamiento o proceso.

El bagazo que se arruma en las bagaceras debe tener un poder calorífico mucho mas alto del que es sometido. Produciendo mayor calor y requiriendo mas bagazo para mantener su combustión estable.

Se pensaba que el material particulado entre mas seco seria expulsado mas rápidamente por la chimenea, pero los datos estadísticos presentados en la Figura 14, muestran lo contrario.

6.4.2 Tamaño del primer fondo evaporador:

Un problema notorio en el diámetro de la paila en las tipo Ward es que alcanzan longitudes de 1,38 a 1,48 m Según la Figura 15, en cambio en las planas no superan los 1,30 m, por lo que es evidente que para mayor diámetro es necesario mayor conducción de calor y la utilización de mas bagazo para producir en la cámara una buena combustión.

6.4.3 Largo de la parrilla:

La figura 16, muestra en las hornillas Ward que a medida que el largo de la parrilla sea menor, la cantidad de particulado es mayor, en cambio en las planas el largo de la parrilla es mayor pero con poco material particulado expulsado.

6.4.4 Altura desde la base de la chimenea hasta la cámara y el cenicero:

La relación existente se puede generar en la pendiente que ejercen las hornillas, los ángulos de inclinación influyen de manera significativa en el material particulado.

6.4.5 Porcentaje de fibra:

En la figura 18, se observa que hay una leve relación con el material particulado de acuerdo a su capacidad los valores mayores se encuentran en las Ward, pero esta variable no incide en el porcentaje expulsado en las planas.

6.4.6 Alto de la cámara:

La verdadera relación entre el alto de la cámara es con las alturas referentes a las bases de la chimenea porque la altura incide en la velocidad y presión ejercida. En la figura 20, se puede observar que la diferencia en altura es mayor en las Ward que en las planas y debido a esta diferencia es mayor el material expulsado.

6.4.7 Ancho de la parrilla:

En la figura 21, muestra que a medida que va incrementando el ancho de la parrilla con valores de 0,90 a 1,1 m mayor es el material particulado expulsado en cambio en las planas por ser de valores de 0,58 m la cantidad disminuye.

7. CONCLUSIONES

Los datos suministrados por los productores y por los trabajadores sobre la manera como limpian y hacen mantenimiento a la cámara y ducto es diferente para cada hornilla por tal motivo no se corroboraron.

la molienda en los diferentes trapiches tipo Ward - Cimpa y tradicional mejorada varia según las condiciones en que se encuentre. Los datos obtenidos anteriormente por los productores y por los trabajadores sobre la manera como limpian y hacen mantenimiento a la cámara y ducto es diferente para cada hornilla, en algunas se trabaja por semana y al terminar proceso hay limpieza, en otras partes esta limpieza se realiza cada molienda * en fin cada una tiene criterios diferentes a la hora de limpiar la cámara, ducto y a veces la chimenea.

En algunas hornillas esta limpieza cuando se realiza debe ser general ósea, no solo la cámara, ducto y/o chimenea sino que en oportunidades se levantan las pailas para retirar la ceniza adherida a la parrilla, a los fondos de las pailas y a las paredes.

La ceniza adherida alas paredes se mezcla con el jugo que queda de las cañas una vez molidas y llevadas a la cámara de combustión se transforman en una costra dura llamada cascoche.

En el diseño del primer recolector probado en la hornilla en frío ubicada en el centro de investigación CIMPA, es posible utilizarlo para mediciones en hornillas con chimeneas inferiores a 10 metros.

El segundo diseño de la trampa de malla en forma de tijera se empleo, se evaluó, y no tuvo aceptación porque no se recogió muestra de material particulado.

La ultima técnica utilizada fue mas aceptable pues, con ella se pudo alcanzar tomar muestras significativas de material particulado mediante una bomba circulando agua en un mismo medio formando vacío para atrapar las cenizas expulsadas.

8. RECOMENDACIONES

El material particulado que sale de la chimenea se deposita sobre el techo y parte de este es arrastrado por los vientos a través de los ductos de ventilación hacia los jugos deteriorando y aumentando el porcentaje de sólidos presentes en el producto final.

El trabajo de pasantía realizado en las instalaciones del CIMPA y actividades hechas solo se pudieron realizar en ocho hornillas por la baja disponibilidad de tiempo de esta pasantía.

Según la evaluación realizada en las hornillas tradicionales mejoradas y tipo Ward – CIMPA la cantidad de material particulado expulsado al medio ambiente genera problemas ambientales y problemas en el proceso de obtención de la panela, aun es posible seguir adaptando este modelo en las hornillas y seguir evaluando para dar a conocer un dato mas exacto, pues lo visto en las cámaras tradicionales la cantidad de humo negro era mayor y en menor grado el material particulado y en las cámaras Ward lo contrario.

En general las hornillas planas presentan menores cantidades de material particulado que las Ward por:

Para diámetros mayores de 1,38 m es elevado el material particulado en las Ward que en las planas pues, el tamaño de la paila es menor, recomendaría la utilización de pailas iguales a las planas porque la capacidad para calentar los jugos se extiende el calor y por supuesto la cantidad de material particulado.

De igual manera ocurre en el ancho y largo de la parrilla, entre mas ancho y menos larga sea la parrilla en comparación con las planas el material particulado expulsado por la chimenea será mayor, recomendaría hacer un análisis previo al hacer la construcción en las hornillas e implementar ensayos de evaluación.

9. BIBLIOGRAFÍA

- BEDAUX Michael. Evaluación de los prototipos cámara de combustión Tipo Ward Barbosa Julio 1991.
- CALA TOLOZA, Severiano. MARTÍNEZ Pablo Emilio Especialistas en Ingeniería Ambiental. Evaluación del Impacto Ambiental Generado por la operación de trapiches con la tecnología CIMPA en el área de Socorro Sder. 1999.
- CENTRO DE INVESTIGACIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DE LA AGROINDUSTRIA PANELERA CIMPA, Manual para la selección, Montaje y Operación de los Equipos de Molienda para la Producción de Panela. Barbosa Agosto de 1991.
- GARCÍA B ,Hugo R.; SIERRA Rocío, Mejoramiento de Hornillas Paneleras. Diciembre 1994.
- GORDILLO, Gerardo. GARCÍA B, Hugo R. Manual para el diseño y operación de hornillas paneleras. Barbosa Julio 1992.
- GUÍA AMBIENTAL EMPRESAS PANELERAS. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca C.A.R.
- PERRY H, Robert . Manual de Ingeniero químico 6ª Edic. Tomo II Edit Mc Graw-hill.

- SANDOVAL S, Gilberto.; GARCÍA B, Hugo. Director Investigaciones CIMPA. Colaborador CASTAÑEDA Henry. Mejoramiento de las condiciones de operación, Diseño y Materiales de construcción de molinos paneleros Barbosa Septiembre de 1992.
- SANDOVAL, Gilberto. Manual de caña de azúcar para la producción de panela. Bucaramanga : CORPOICA-SENA. 1998, p. 132-140.