

	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	<b>FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO</b>	<b>F-AC-DBL-007</b>	<b>10-04-2012</b>	<b>A</b>
Dependencia	Aprobado		Pág.	
<b>DIVISIÓN DE BIBLIOTECA</b>	<b>SUBDIRECTOR ACADEMICO</b>		<b>1(109)</b>	

### RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	JULIAN ANDRES VERA BECERRA JORGE ANDRES QUINTERO MANZANO		
FACULTAD	FACULTAD DE INGENIERÍAS		
PLAN DE ESTUDIOS	PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA MECÁNICA		
DIRECTOR	JUAN GUILLERMO GARCÍA RINCÓN		
TÍTULO DE LA TESIS	BALANCE ENERGÉTICO EN LA HORNILLA PANELERA TRADICIONAL CON EL USO DE BAGAZO DE CAÑA EN EL TRAPICHE “SAN ANTONIO” EN CONVENCIÓN, NORTE DE SANTANDER		
<b>RESUMEN</b>			
(70 palabras aproximadamente)			
<p>EN EL DESARROLLO DEL PROYECTO SE ANALIZÓ EL FUNCIONAMIENTO DE LA HORNILLA PANELERA TRADICIONAL UBICADA EN LA FINCA SAN ANTONIO EN CONVENCIÓN, NORTE DE SANTANDER, PARA REALIZAR UNA EVALUACIÓN TÉRMICA DURANTE EL TIEMPO DE QUEMA POR MEDIO DE CÁLCULOS E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN, HALLANDO LAS PÉRDIDAS DE CALOR PRESENTES EN LA HORNILLA CON EL FIN DE DETERMINAR NUMÉRICAMENTE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA MISMA. TAMBIÉN SE ANALIZARON LOS GASES EMITIDOS EN LA CHIMENEA DE LA HORNILLA.</p>			
<b>CARACTERÍSTICAS</b>			
PÁGINAS: 109	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM: 1



**BALANCE ENERGÉTICO EN LA HORNILLA PANELERA TRADICIONAL  
CON EL USO DE BAGAZO DE CAÑA EN EL TRAPICHE “SAN ANTONIO”  
EN CONVENCIÓN, NORTE DE SANTANDER**

**JULIAN ANDRES VERA BECERRA  
JORGE ANDRES QUINTERO MANZANO**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
INGENIERÍA MECÁNICA  
OCAÑA  
2015**

**BALANCE ENERGÉTICO EN LA HORNILLA PANELERA TRADICIONAL  
CON EL USO DE BAGAZO DE CAÑA EN EL TRAPICHE “SAN ANTONIO”  
EN CONVENCION, NORTE DE SANTANDER**

**JULIAN ANDRES VERA BECERRA  
JORGE ANDRES QUINTERO MANZANO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de  
Ingeniero Mecánico**

**Director  
JUAN GUILLERMO GARCÍA RINCÓN**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
INGENIERÍA MECÁNICA  
OCAÑA  
2015**

## DEDICATORIA

A Dios, mi mamá, que es un ejemplo para mí, y mi hermana.

Gracias por todo.

**Julian Vera**

## DEDICATORIA

Primero que todo agradecerle a Dios y a la Virgen del Carmen, por siempre estar presentes protegiéndome y dándome sabiduría e entendimiento.

Dedicarle este logro a mis padres Jorge Quintero Ballesteros & Solides Manzano Montejo ya que fueron mis columnas para poder seguir adelante. Agradecerles por siempre tener confianza total en mí, por hacer ese sacrificio característico de querer lo mejor para sus hijos, por siempre estar a mi lado apoyándome, por ser comprensivos, pacientes, afectuoso, amistosos, consejeros, y sobre todo, por nunca decirme que NO a mis peticiones. Estas características los clasifica entre los mejores padre de la tierra, GRACIAS POR SER MI ORGULLO.

A mis abuelos, Genoveva, Anayibe y Ramón Antonio por darme ese afecto y cuidados desde niño, por recibirme siempre con los brazos abiertos y con una sonrisa, no se imaginan el gusto que me da, que ustedes me vean graduarme, y de poderlos tener aun en mi vida.

A mis hermanos y tíos en general, por siempre estar para apoyarme y siempre querer lo mejor para mí.

A esa mujer que me acompaño desde el principio de mi carrera, Ninfa pity, por siempre tener una palabra de afecto, por siempre darme consejos en momentos cruciales, por saber decir y escoger cada palabra para cada momento, por siempre mantenerme estable, por hacerme mejorar como persona, por darme su amistad, su confianza, su amor.

A esos compañeros se siempre estuvieron hay para brindarme su ayuda y apoyo, como Sergio (checho), Johan (uchua), Viviana (amiga de uchua), Jefferson, Julian, Omar (el pollo), también a Javier (la mica), yeison (el niño), Emilio (el mogo) y Dayan Manuel. ¡Gracias totales!

A mis amigos, Walter, Gerson, Álvaro, Axel, hollman, el pequeño ian, Johan (chan), María, Luís (ñañe), Rubén (más que un tío, un amigo), gracias a todos por estar presentes siempre.

**Jorge Quintero**

## AGRADECIMIENTOS

A la universidad Francisco de Paula Santander y nuestros profesores, por formarnos como ingenieros.

Al ingeniero Juan Guillermo García, por ayudarnos en nuestro proyecto de grado.

Al ingeniero Daniel Ernesto Marrugo Carreazo, por asesorarnos y ayudarnos en la adquisición de datos por medio de su software Horno Test.

Al señor Hernando Quintero y su hijo Sergio Quintero, por colaborarnos y permitirnos utilizar su finca para hacer los respectivos estudios en la hornilla panelera.

# CONTENIDO

pág.

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>14</b>
<b>1. TÍTULO</b> .....	<b>15</b>
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	15
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	16
1.3 OBJETIVOS.....	16
1.3.1 General .....	16
1.3.2 Específicos.....	16
1.4 JUSTIFICACIÓN .....	16
1.5 DELIMITACIONES.....	17
1.5.1 Geográfica .....	17
1.5.2 Conceptual.....	17
1.5.3 Operativa .....	17
1.5.4 Temporal .....	17
<b>2. MARCO REFERENCIAL</b> .....	<b>18</b>
2.1 MARCO HISTÓRICO .....	18
2.1.1 Antecedentes históricos a nivel mundial .....	18
2.1.2 Antecedentes históricos a nivel nacional .....	18
2.1.3 Antecedentes históricos a nivel local.....	19
2.2 MARCO CONCEPTUAL.....	20
2.3 MARCO TEÓRICO.....	21
2.3.1 Caña de azúcar.....	21
2.3.2 Taxonomía.....	22
2.3.3 Variedades de caña .....	22
2.3.4 Características deseables en la caña de azúcar para panela .....	23
2.3.5 Bagazo .....	26
2.3.6 Panela .....	26
2.3.7 Tipos de panela.....	28
2.3.8 Proceso de producción de la panela .....	29
2.3.9 Involucrados en el proceso .....	33
2.3.10 Nivel productivo internacional de la panela .....	33
2.3.11 Nivel productivo nacional de la panela .....	34
2.3.12 Nivel productivo local de la panela .....	36
2.3.13 Trapiche.....	37
2.3.14 Tipos de trapiches.....	38
2.3.15 Hornilla panelera .....	40
2.3.16 Partes de la hornilla panelera.....	40
2.3.17 Tipos de hornillas .....	43
2.3.18 Poder calorífico del bagazo de caña .....	48
2.3.19 Combustión del bagazo .....	50
2.3.20 Principio de la combustión de la biomasa .....	51
2.3.21 Definiciones básicas de la termodinámica.....	53
2.3.22 Primera ley de la termodinámica: Balance de energía.....	54
2.4 MARCO LEGAL.....	54
2.4.1 Constitución política de Colombia .....	54
2.4.2 Normas internacionales .....	55

2.4.3 Normas nacionales.....	55
<b>3. DISEÑO METODOLÓGICO .....</b>	<b>56</b>
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	56
3.2 FASES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	57
3.2.1 Fase I. Recopilación inicial de información .....	57
3.2.2 Fase II. Toma de datos.....	58
3.2.3 Fase III. Calculo de eficiencia energética en la hornilla panelera .....	58
<b>4. GENERALIDADES Y FUNCIONAMIENTO DE LA HORNILLA.....</b>	<b>59</b>
4.1 GENERALIDADES DE LA HORNILLA.....	59
4.2 FUNCIONAMIENTO DE LA HORNILLA.....	59
<b>5. INSTRUMENTOS UTILIZADOS PARA LA TOMA DE DATOS.....</b>	<b>62</b>
5.1 TERMOPARES.....	62
5.2 CABLES.....	63
5.3 MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	63
5.4 SOFTWARE HORNO TEST 1.2.....	64
5.5 SENSOR INFRARROJO DE TEMPERATURA.....	64
5.6 HIGRÓMETRO.....	65
5.7 ANALIZADOR DE GASES DE COMBUSTIÓN.....	65
<b>6. PERFILES DE TEMPERATURAS EN LA HORNILLA .....</b>	<b>66</b>
<b>7. EVALUACIÓN TÉRMICA DE LA HORNILLA PANELERA .....</b>	<b>71</b>
7.1 CALOR SUMINISTRADO POR EL BAGAZO DE CAÑA .....	71
7.2 CALOR POR AGUA FORMADA EN LA COMBUSTIÓN.....	72
7.3 CALOR PARA EXTRAER LA HUMEDAD DEL BAGAZO DE CAÑA .....	73
7.4 CALOR PERDIDO POR INQUEMADOS EN LAS CENIZAS.....	75
7.5 CALOR PERDIDO EN LA CHIMENEA.....	76
7.6 CALOR TRANSFERIDO A LAS PAILAS.....	77
7.7 CALOR PERDIDO POR PAREDES.....	79
7.8 PERDIDAS INTANGIBLES.....	81
<b>8. EFICIENCIA DE LA HORNILLA .....</b>	<b>83</b>
<b>9. ANALISIS DE GASES EN LA CHIMENEA DE LA HORNILLA.....</b>	<b>84</b>
9.1 PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE LOS GASES.....	84
9.2 DETERMINACIÓN DE LA ALTURA IDEAL PARA LA CHIMENEA .....	88
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>89</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>90</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>91</b>
<b>REFERENCIAS ELECTRÓNICAS.....</b>	<b>94</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>96</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Variedad POJ 2878 .....	23
Figura 2. Bagazo apilado .....	26
Figura 3. Contenido nutricional de la panela .....	27
Figura 4. Etapas en la producción de panela. ....	30
Figura 5. Cachaza negra .....	31
Figura 6. Cachaza blanca .....	31
Figura 7. Precio promedio de la panela para productores desde 1998 hasta 2011 .....	35
Figura 8. Producción anual en toneladas de panela en departamentos productores de Colombia .....	36
Figura 9. Trapiche manual .....	38
Figura 10. Trapiche tradicional .....	39
Figura 11. Trapiche accionado por motor combustión interna .....	39
Figura 12. Trapiche accionado por motor eléctrico .....	40
Figura 13. Formas de las pailas .....	41
Figura 14. Válvula de mariposa .....	42
Figura 15. Tipo de ducto semiesférico y plano .....	43
Figura 16. Hornilla tradicional panelera .....	44
Figura 17. Hornilla tradicional con dos entradas de aire .....	44
Figura 18. Hornilla tipo Plana-CIMPA .....	45
Figura 19. Cámara de combustión de la hornilla tipo Plana-CIMPA .....	46
Figura 20. Hornillas tipo Ward-CIMPA .....	47
Figura 21. Cámara de combustión de la Hornilla tipo Ward-CIMPA .....	48
Figura 22. Etapas de la combustión de un sólido .....	51
Figura 23. Diseño metodológico del problema .....	57
Figura 24. Inicio de la quema en la boca de la hornilla .....	59
Figura 25. Aberturas en la parrilla de la hornilla .....	60
Figura 26. Cenicero de la hornilla .....	60
Figura 27. Chimenea de la hornilla .....	61
Figura 28. Termopares de bulbo tipo k .....	62
Figura 29. Termopares tipo k con recubrimiento .....	62
Figura 30. Cables para los termopares de bulbo tipo k .....	63
Figura 31. Módulo de adquisición de datos .....	63
Figura 32. Software Horno Test en funcionamiento .....	64
Figura 33. Sensor infrarrojo de temperatura .....	64
Figura 34. Higrómetro .....	65
Figura 35. Analizador de gases de combustión .....	65
Figura 36. Ubicación de los termopares en la hornilla. ....	66
Figura 37. Perfil de temperaturas de los termopares en la hornilla .....	66
Figura 38. Perfil de temperaturas para el termopar 1 (T1). ....	67
Figura 39. Perfil de temperaturas para el termopar 2 (T2). ....	67
Figura 40. Perfil de temperaturas para el termopar 3 (T3). ....	68
Figura 41. Perfil de temperaturas para el termopar 4 (T4). ....	68
Figura 42. Perfil de temperaturas para el termopar 5 (T5). ....	69
Figura 43. Perfil de temperaturas para el termopar 6 (T6). ....	69
Figura 44. Perfil de temperaturas para el termopar 7 (T7). ....	70
Figura 45. Perfil de temperaturas para el termopar 8 (T8). ....	70

## LISTA DE TABLAS

	<b>pág.</b>
Tabla 1. Variedades para producción de panela para las diferentes regiones agroecológicas .....	22
Tabla 2. Características de las variedades de caña de mayor potencial agroecológico .....	24
Tabla 3. Tipos de panela producidos por COOINCAPRO .....	28
Tabla 4. Producción de panela a nivel mundial para el año 2002.....	34
Tabla 5. Toneladas de producción anuales en departamentos colombianos .....	34
Tabla 6. Producción y rendimiento de la caña panelera en Convención. ....	37
Tabla 7. Valor promedio del poder calorífico superior (PCS).....	49
Tabla 8. Composición química del bagazo de caña.....	50
Tabla 9. Calor por agua formada en la combustión .....	73
Tabla 10. Calor para extraer la humedad del bagazo.....	74
Tabla 11. Calor perdido en la chimenea .....	76
Tabla 12. Calor transferido a las pailas .....	78
Tabla 13. Balance energético en la hornilla.....	82
Tabla 14. Resultados del monitoreo de gases. ....	86
Tabla 15. Monitoreo de gases a través de analizador instrumental en la hornilla .....	87
Tabla 16. Concentraciones a través de Analizador de gases de combustión .....	87

## ANEXOS

	<b>pág.</b>
Anexo 1. Reporte de la adquisición de datos en el horno Test 1.2 .....	96

## INTRODUCCIÓN

La producción de la panela en el municipio de Convención, Norte de Santander ha generado un gran impacto en el sector comercial de la región, considerando que es la principal fuente de empleos directos e indirectos en dicho municipio. En estas condiciones, al realizar estudios en las fincas paneleras, se crea el punto de partida para tecnificar sus procesos, con el fin de mejorar la eficiencia de su producción y calidad de su producto.

En los trapiches paneleros encontrados en Convención, no existen herramientas tecnológicas o instrumentos para llevar un control en cada una de las etapas para la producción de la panela. Para la finca San Antonio, una de las pocas tecnificadas, cuya preocupación por proveer panelas de calidad y a un precio competitivo, se realiza un análisis energético con el fin de caracterizar todas las pérdidas de calor presentes en su hornilla.

Los análisis energéticos permiten la comprensión de los fenómenos físicos que se presentan en los procesos, por medio de los principios físicos como la transferencia de calor y la termodinámica, además, es posible inferir sobre los hechos que ocurren durante la quema en la hornilla para proponer soluciones o mejoras en la misma.

Para la realización del proyecto de investigación se hicieron mediciones de diferentes parámetros, como las dimensiones de la hornilla, los perfiles de temperatura de la misma, por medio de un sistema de adquisición de datos, la humedad relativa del bagazo de caña con ayuda de un higrómetro. También se midieron las emisiones de gases generados por el proceso de combustión de la hornilla.

## 1. TÍTULO

### BALANCE ENERGÉTICO EN LA HORNILLA PANELERA TRADICIONAL CON EL USO DE BAGAZO DE CAÑA EN EL TRAPICHE “SAN ANTONIO” EN CONVENCION.

#### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La producción de panela en la provincia de Ocaña y sus alrededores, está ligada al ciudadano común, abarcando gran parte del comercio en la región. Gracias a los beneficios nutricionales y al consumo masivo de este producto, se debe asegurar que su fabricación implique menos uso de recursos, como lo es la disminución en el uso de madera o cualquier material para generar combustión, por esto es reutilizado el sobrante de la caña o bagazo para reemplazar estos materiales y así optimizar recursos.

Para la cocción de los jugos de la panela se emplean en la región generalmente hornillas tradicionales. Actualmente, en la provincia de Ocaña existen alrededor de 200 fincas paneleras, en los cuales se procesa la caña cultivada en 4500 hectáreas, que representan cerca de 7,2 toneladas de panela anuales, además en el departamento de Norte de Santander, los municipios con más producción de panela son Convención, Teorama y les sigue Toledo.<sup>1</sup>

Uno de los mayores problemas encontrados sobre estos hornos artesanales consiste en que no existe una regulación en el aire entrante, puesto que entra cierta parte de aire por la chimenea, y la otra parte por medio de la boca de alimentación que es pequeña.

Como inconvenientes encontramos además, la quema de elementos como llantas, neumáticos y trozos de madera para que la combustión en la hornilla sea más lenta, es decir, que dure por más tiempo, generando problemas ambientales por la salida de gases contaminantes a la atmosfera. Todo esto se debe a que el bagazo de caña usado como combustible presenta un alto consumo durante la quema en la hornilla.

Todos estos problemas encontrados representan bajos rendimientos en la producción de panela, generando daños al medio ambiente, además aumentando en muchos casos el consumo de combustible y la baja calidad del producto, disminuyendo la competencia en el mercado y por ende pérdidas económicas.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Panela, tradición en quiebra. [En línea]. La opinión. [Consultado el 12 de abril del 2015]. Disponible en: <[http://www.laopinion.com.co/demo/index.php?option=com\\_content&task=view&id=456887&Itemid=94#VTZwwdJ\\_Okr](http://www.laopinion.com.co/demo/index.php?option=com_content&task=view&id=456887&Itemid=94#VTZwwdJ_Okr)>

<sup>2</sup> GONZÁLEZ ARIZA, Karime Lizeth. Determinación de pérdidas energéticas y sus puntos críticos, en hornillas paneleras ward-cimpa en la hoya del río Suárez. Bucaramanga. 2010. Trabajo de Grado (Ingeniera Química). Universidad Industrial De Santander. Facultad De Ciencias Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.

## 1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Ayudará el análisis energético en la eficiencia térmica de la hornilla panelera ubicada en la finca San Antonio, Convención, Norte de Santander?

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 General

Realizar un balance energético en la hornilla panelera tradicional con uso del bagazo de caña como combustible en la finca San Antonio, ubicada en Convención, Norte de Santander.

### 1.3.2 Específicos

- Analizar la hornilla panelera existente en la finca San Antonio y su método de quema de bagazo de caña como combustible.
- Monitorear los perfiles de temperatura presentados en la hornilla panelera en la finca San Antonio durante el proceso de quema, mediante el software Horno Test 1.2.
- Determinar el balance energético al usar bagazo de caña como combustible en la hornilla panelera tradicional.
- Calcular la eficiencia del horno.

## 1.4 JUSTIFICACIÓN

En el Norte de Santander existen suficientes hectáreas de caña de azúcar, cuya explotación genera gran cantidad de empleos directos e indirectos. Para el caso específico de la producción de panela en la provincia de Ocaña y sus alrededores, la cual genera más de 30.000 jornales al mes y de allí se deriva el sustento para más de 2.000 familias.<sup>3</sup>

En el proceso de producción de panela, la cocción es considerada uno de los procesos principales, debido a que ésta es quien determina su calidad como producto en el mercado para esta industria, por esto es importante que en estas hornillas se mejore la combustión y la homogeneización de la temperatura.

---

<sup>3</sup> Panela, tradición en quiebra. [En línea]. La opinión. [Consultado el 12 de abril del 2015]. Disponible en: <[http://www.laopinion.com.co/demo/index.php?option=com\\_content&task=view&id=456887&Itemid=94#.VTZwwdJ\\_Okr](http://www.laopinion.com.co/demo/index.php?option=com_content&task=view&id=456887&Itemid=94#.VTZwwdJ_Okr)>

Es posible determinar por medio de análisis energéticos la operación y comportamiento de los elementos que conforman la hornilla, además de su eficiencia térmica, debido a que permite conocer y entender el funcionamiento de la hornilla, para poder proponer y establecer recomendaciones para su mejor operación.

Para mejorar la competitividad y la sostenibilidad, se debe tener factores como: la búsqueda de la eficiencia térmica del sistema productivo y uso de la tecnología para lograrlo, con el fin para minimizar impactos negativos sobre el ecosistema y potenciar la rentabilidad económica.

## 1.5 DELIMITACIONES

### 1.5.1 Geográfica

Finca San Antonio, en el municipio de Convención, Norte de Santander.

### 1.5.2 Conceptual

Toma de datos, Balance energético en la hornilla, evaluación de la eficiencia térmica, impacto ambiental y económico.

### 1.5.3 Operativa

Se busca por medio del estudio energético proponer una mejora a las hornillas paneleras, para realiza este estudio se registran datos de temperaturas con termopares como herramienta, con el fin de conocer la eficiencia térmica de la hornilla. Con esto se pretende dar especificaciones de mejora, disminuir la contaminación ambiental, mejorar la eficiencia del proceso y aumentar la rentabilidad.

### 1.5.4 Temporal

4 meses.

## 2. MARCO REFERENCIAL

### 2.1 MARCO HISTÓRICO

#### **2.1.1 Antecedentes históricos a nivel mundial**

La historia de la caña de azúcar comienza en Nueva Guinea entre 8.000 y 15.000 años antes de Cristo, en el archipiélago de Melanesia de donde se difundió a las islas vecinas, China e India. Se considera que la caña de azúcar ingresó a India por el Noroeste, en la provincia de Bengala. La dispersión posterior ocurrió hacia Hawái, África Oriental, Madagascar, el Medio Oriente y el Mediterráneo, y hacia las islas del Atlántico, entre ellas las Islas Canarias.

En 1493 Cristóbal Colón en su segundo viaje a América la trajo a las Islas del Caribe, particularmente a la isla La Española, la cual corresponde hoy a República Dominicana y Haití, de donde se difundió posteriormente a Cuba, Puerto Rico, México, Colombia y Perú. Al Brasil fue introducida por los portugueses alrededor del año 1500.<sup>4</sup>

Actualmente, cerca de 3 billones de la población mundial vive en zonas rurales, donde aproximadamente 2.5 billones viven de la agricultura. En los países desarrollados, la agricultura es considerada un factor importante para el crecimiento económico, mientras que los países subdesarrollados se enfrentan a la falta de inversión e infraestructura en áreas rurales, además del pobre funcionamiento de los mercados.<sup>5</sup>

A nivel internacional se encontraron estudios sobre la eficiencia en los hornos tradicionales usados en la India para producir “Jaggery”, que es el nombre que se le da a la panela en este país. Esta investigación fue realizada por Sada Siva Arao, Thrajan y Ramjani en 2003. También publicaciones de artículos de investigación encontrados relacionados con este proyecto como “Diseño mejora basado en una planta rural de panela de tres pailas” por parte de Pankaj Arya, Satish Kumar y U. K. Jaiswal. Otro documento es “Perdidas de energía en procesamiento de panela tradicional” por M. Esther Magdalene Sharon, CV Kavitha Abirami y K. Alagusundaram.

#### **2.1.2 Antecedentes históricos a nivel nacional**

Como la caña de azúcar fue un cultivo que se introdujo durante la época de la conquista española a América, con la caña llegaron también los trapiches y el proceso de la molienda así como también los productos paneleros.<sup>6</sup>

---

<sup>4</sup> OSORIO CADAVID, G. Manual: Buenas Prácticas Agrícolas -BPA- y Buenas Prácticas de Manufactura -BPM-en la Producción de Caña y Panela. [En línea]. FAO. [Consultado el 8 de abril del 2015]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-a1525s.pdf>

<sup>5</sup> Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2013. FAO STATISTICAL YEARBOOK: World Food and Agriculture. Rome.

<sup>6</sup> BARAJAS PADILLA, Ruby. Análisis de la competitividad de la Industria panelera en el municipio de Mogotes departamento de Santander. Málaga. 2012. Trabajo de Grado (Administradora de Empresas).

La caña de azúcar llegó a Colombia a través del puerto de Cartagena en 1538 y poco después, en 1540, sería introducida en el suroccidente por Buenaventura, Valle del Cauca. Las primeras explotaciones de jugos de caña en la región del Valle del Cauca se adelantaron mediante la encomienda, con mano de obra indígena a mediados del siglo XVI. Esta explotación, realizada en trapiches accionados por tracción animal y humana se mantuvo en la Colonia y buena parte de la República.<sup>7</sup>

La caña criolla que trajeron los españoles a finales del período colonial, llegó de las Guayanas; la caña Tahití fue introducida al Valle entre 1802 y 1808.

Cuando en 1801 pasó Alexander Von Humbolt por Cali, recomendó a hacendados sembrar la caña Tahití que poco después importó Francisco José Arboleda a Japio, Manuel de Caicedo Tenorio a Cañasgordas y Miguel Cabal y José María Lozano Peralta a sus haciendas del Llano de Buga. La Tahití se esparció por praderas de una y otra banda del río Cauca.<sup>8</sup>

Entre 1930 y 1932 llegó la variedad POJ 2878, originaria de la isla de Java en Indonesia, que hoy persiste en muchas zonas cañicultoras de Colombia, plantándose inicialmente cerca al río Cauca, en Arroyohondo y Cañas Gordas, lugares muy cercanos a Cali, donde operan los trapiches paneleros.<sup>9</sup>

La llegada de la caña al resto del país tuvo lugar en Valle de Apulo, Rionegro y Guaduas en Cundinamarca; Valle de Tensa en Boyacá y Vélez en Santander.<sup>10</sup>

En Colombia solo se han hecho investigaciones a las hornillas tipo CIMPA, que son las mismas hornillas tradicionales pero con ciertas modificaciones como la inclinación y la alimentación del horno.

### **2.1.3 Antecedentes históricos a nivel local**

En el departamento de Norte de Santander los mayores productores de panela son principalmente Convención, Teorama, Abrego y Gonzales. El municipio de Convención se dedica en mayor medida al cultivo de la caña panelera, la cual ha hecho presencia desde principios del siglo XX.<sup>11</sup>

---

Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela De Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios. Administración de Empresas.

<sup>7</sup>Sánchez, Ricardo. Las iras del azúcar: La huelga de 1976 en el Ingenio Riopaila. En: HISTORIA CRÍTICA. Enero – Junio, 2008, no. 35, p. 34-57.

<sup>8</sup> BURBANO, Orlando y LÓPEZ, Juan. Variedades de caña de azúcar para la producción de panela. [Página web]. Pamplona. CORPOICA y UNIPAMPLONA, 2010. Disponible en: [http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home\\_4/mod\\_virtuales/modulo4/tema\\_14.html](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_4/mod_virtuales/modulo4/tema_14.html)

<sup>9</sup> OSORIO CADAVID, G. Op. cit., p. 30.

<sup>10</sup> Centro de Investigación de la caña de azúcar en Colombia (Cenicaña). Fechas históricas de la agroindustria de la caña en Colombia. Disponible en: <[http://www.cenicana.org/quienes\\_somos/agroindustria/historia.php](http://www.cenicana.org/quienes_somos/agroindustria/historia.php)>

<sup>11</sup> DULCEY, Juan y CORONEL, Yessy. Caña panelera como potencializador de la economía en convención.

“En 1992 se fundó la Cooperativa de Paneleros de Convención, primera de este tipo en el departamento. Sus objetivos son los de mejorar la calidad del producto introduciendo variedades mejoradas para un mayor rendimiento, organizar al gremio, mejorar el mercadeo y brindar asistencia técnica agroindustrial, agronómica/ etc. El sector utiliza el bagazo de la caña como fuente de energía. Algunos trapiches utilizan un prelimpiador, avance tecnológico que se está introduciendo con el apoyo del convenio ICA-Gobierno de Holanda. Igualmente se monta un centro demostrativo para aplicar nuevas tecnologías, en particular la del vapor en la fabricación de la panela, con el apoyo del Fondo Cañada-Colombia”.<sup>12</sup>

El 14 de noviembre del 2004, fue constituida legalmente la cooperativa integral de Cañicultores de la provincia de Ocaña (COOINCAPRO) que cuenta con 95 socios abarcando cuatro municipios de la provincia.<sup>13</sup>

La cooperativa COOINCAPRO, cuya misión es contribuir al desarrollo agropecuario de los municipios productores de caña panelera que integran la provincia de Ocaña a través de asistencia técnica, semillas, insumos, industrialización y comercialización para atender las necesidades de los productores agrícolas y de la comunidad en general, al ser la caña de azúcar para la producción de panela, el primer producto agrícola producido en el municipio de Convención.<sup>14</sup>

Para el año 2010, COOINCAPRO cuenta con una capacidad de producción de 25000 cajas de panela de 20 kilos mensuales.<sup>15</sup>

En la ciudad de Ocaña no se han hecho investigaciones o artículos sobre la realización de estudios aplicados a las hornillas paneleras de la región.

## 2.2 MARCO CONCEPTUAL

**Caña panelera:** Planta gramínea, de unos dos metros de altura, hojas largas, con el tallo leñoso, el cual está lleno de un tejido esponjoso y dulce.

**Bagazo de caña:** Residuo fibroso resultante de la molienda de caña panelera, que se usa como combustible (Biomasa) en las hornillas para la producción de panela.

**Trapiche:** Máquina que tritura la caña para extraer sus jugos.

**Cachaza:** Impurezas del jugo de la caña de azúcar, las cuales se remueven en la clarificación.

**Panela:** Es un producto alimenticio cuyo único ingrediente es el jugo de la caña de azúcar.

---

<sup>12</sup> SANTIAGO, Miguel. CONVENCION. Disponible en:

<<http://laplayadebelen.org/CONVENCION/CONVENCION.html>>

<sup>13</sup> Alcaldía de Convención, Norte Santander. Planeación y ejecución. Disponible en:

<http://www.convencion-nortedesantander.gov.co/dependencias.shtml?apc=aexx-1696166&x=3041686>

<sup>14</sup> COOINCAPRO. Misión y Visión. Disponible en:

<http://www.sipa.org.co/2010/organizaciones/norte/cooincapro/Inicio.html>

<sup>15</sup> COOINCAPRO. Ficha organizacional. Disponible en:

<http://www.sipa.org.co/2010/organizaciones/norte/cooincapro/Ficha%20Organizacional.html>

**Hornilla panelera:** “Equipo donde se transforma la energía del combustible en energía calórica para realizar las etapas de clarificación, evaporación y concentración de los jugos de la caña.”<sup>16</sup>

**Paila:** recipiente donde ocurren las etapas de clarificación, evaporación y concentración de los jugos de caña.

**Ramillón:** Especie de cuchara grande usada para transportar el jugo de caña de una paila a otra y también para remover la cachaza.

**Parrilla:** Lugar donde se deposita el bagazo de caña mientras se quema, dentro de la hornilla.

**Cenicero:** Espacio que constituye la parte inferior de la cámara de combustión de la hornilla, donde caen las cenizas después de quemarse el bagazo de caña.

**Balso:** Árbol cuyas fibras son usadas como filtro natural en las pailas descachazadoras, de modo que absorban las impurezas del jugo de caña extraído.

**Entalpía:** Magnitud termodinámica de un cuerpo físico o material equivalente a la suma de su energía interna más el producto de su volumen por la presión exterior.

**Energía interna:** La energía interna es una función de estado: su variación entre dos estados es independiente de la transformación que los conecte, sólo depende del estado inicial y del estado final.

**Balance de energía:** El balance de energía es un principio físico fundamental al igual que la conservación de masa, que es aplicado para determinar las cantidades de energía que es intercambiada y acumulada dentro de un sistema.

## 2.3 MARCO TEÓRICO

### 2.3.1 Caña de azúcar

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es uno de los cultivos base en la alimentación humana. Especie típica de climas tropicales y su cultivo de una excepcional capacidad productiva, esta es una especie de planta perteneciente a la familia de las poáceas, es la materia prima para la producción de panela, la relación entre la cantidad de panela producida y la cantidad de caña empleada es muy variable, dependiendo de factores como: el tipo de caña, la calidad de los suelos, nivel del mar, el piso térmico y los fertilizantes utilizados, entre otros. Su estado de madurez, el cual se da entre los 12 y los 18 meses de edad. El promedio

---

<sup>16</sup> SOLER, Juan y GÓMEZ, Franco. Determinación de los parámetros de diseño y operación de cámaras de combustión tipo ward-CIMPA y plana-CIMPA en hornillas paneleras. Trabajo de grado Ingeniería química. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química, 2004. Bucaramanga. 19p.

nacional es de 6 kg de panela por cada 100 kg de caña, aunque existen zonas donde este nivel de rendimiento se duplica.<sup>17</sup>

### 2.3.2 Taxonomía

La caña de azúcar se ubica en la siguiente clasificación botánica:

Reino: Vegetal

Familia: Gramíneas

### 2.3.3 Variedades de caña

Actualmente cultivadas en Colombia provienen en gran parte de hibridaciones introducidas de otros países y de algunas producidas en el país. Las introducciones más importantes provienen de JAVA (POJ), Barbados (B), Hawái (H), Puerto Rico (PR), India (CO, coimbatore), Estados Unidos (CP), Venezuela (V), Valle cauca (CC), Brasil (S.P., C.B) y República Dominicana (RD).<sup>18</sup>

En la Tabla 1 se muestra la producción de panela en diferentes regiones de Colombia. La variedad de caña que se encuentra en Convención, Norte de Santander es la POJ (java).<sup>19</sup>

Tabla 1. Variedades para producción de panela para las diferentes regiones agroecológicas

Variedad	Producción potencial de panela, t/ha		Región geográfica y unidad agroecológica
	Min.	Max.	
RD 75-11	20,3	24,1	Hoya del río Suárez Chicamocha
PR 61-632	14,2	17,5	
POJ 28-78	11,5	15,4	
MY 54-65	17,3	19,7	Cundinamarca y Norte de Santander
RD 75-11	18,5	20,6	
POJ 28-78	9,8	13,7	Antioquia
RD 75-11	19,8	23,7	
PR 11-41	19,4	22,5	
SP 701284	20,2	23,3	Llanos Orientales y Cimitarra (Santander)
MY 54-65	18,4	20,4	
MZC 74-275	19,4	22,6	
PR 62-66	21,2	23,7	
RD 75-11	20,1	24,3	

Fuente: OSORIO CADAVID, G. p. 54.

<sup>17</sup> VELÁSQUEZ, Iván. AGUDELO, Andres y ALVAREZ, Jorge. Mejorando la producción de panela en Colombia. Energía en la finca. 2005, vol. 21, no. 1. Disponible en internet: <http://www.agriculturesnetwork.org/magazines/latin-america/energia-en-la-finca/mejorando-la-produccion-de-panela-en-colombia>

<sup>18</sup> OSORIO CADAVID, G. Op cit. p. 54.

<sup>19</sup> DULCEY, Juan y CORONEL, Yessy. Op cit. p. 50.

➤ **Variedad POJ 28-78.**

Este material fue obtenido en la Isla de Java. Tiene tallos largos, diámetro mediano a grueso, color amarillo verdoso y entrenudos de longitud media y cubiertos con cerosina; su hábito de crecimiento es semirecto y sus hojas abiertas. Contiene bastante pelusa, se deshoja fácilmente y se adapta bien a diferentes agro ecosistemas. La maduración es tardía, la floración es escasa y genera jugos de buena calidad; con un equipo que cumpla con una buena práctica de manufactura (BPM) de mantenimiento y calibración adecuada se puede lograr un 55 a 60% de extracción.<sup>20</sup>

En condiciones óptimas de maduración, puede ser utilizada en la fabricación de panela instantánea, granulada, pastilla, panelín y redonda. Los jugos son de fácil clarificación, y por su buena producción de biomasa se convierte en una alternativa viable para la producción de la panela. En la Figura 1 se observa la variedad de caña POJ 2878. La Figura 1 muestra este tipo de caña empleada en el municipio de Convención.

Figura 1. Variedad POJ 2878



Fuente: Autores del proyecto.

### **2.3.4 Características deseables en la caña de azúcar para panela**

Las características agronómicas e industriales más importantes que deben reunir las variedades de caña para panela se pueden clasificar en: características básicas y características secundarias o complementarias.<sup>21</sup>

---

<sup>20</sup> CORPOICA – SENA. 1998. Manual de caña de azúcar para la producción de panela. Bucaramanga (Colombia). p. 145.

<sup>21</sup> OSORIO CADAVID, G. Op cit. p. 56.

Conocer estas características permitirá una buena evaluación del proceso productivo y la adaptabilidad de la variedad a las condiciones locales de producción.

➤ **Características básicas:**

- Altos tonelajes de caña por unidad de superficie (t/ha).
- Resistencia a plagas y enfermedades de importancia económica
- Amplio rango de adaptación a diferentes ecosistemas.
- Alto porcentaje de extracción de jugos en el molino.

➤ **Características secundarias o complementarias:**

Son aquellos caracteres que, sin ser relevantes, se consideran complementarios:

- Resistencia al volcamiento (% de plantas volcadas).
- Baja o nula floración (% de floración).
- Resistencia a sequía (desarrollo vegetativo).
- Eficiencia en el corte, alce manual y transporte

Tabla 2. Características de las variedades de caña de mayor potencial agroecológico

<b>Variedad</b>	<b>POJ 2878</b>	<b>PR 61-632</b>	<b>PR 11-41</b>	<b>RD 75-11</b>	<b>CC 84-75</b>
Deshoje natural	Parcial	Regular	Parcial	Difícil	Bueno
Volcamiento de tallos	Resistente	Resistente	Sí (60%)	Sí (55%)	Sí (20%)
Floración	Baja – nula	Escasa -nula	No presenta	Sí (13%)	No presenta
Rajadura de corteza	No presenta	Frecuente	No presenta	Sí (5%)	Sí (2%)
Presencia de lalas	No presenta	No presenta	No presenta	Algunas	No presenta
Contenido de pelusa	Abundante	No presenta	No presenta	Ausente – poca	Poca – rala
Altura promedia planta, m	2,62	2,69	3,18	3,77	3,30
Altura promedia corte, m	2,14	2,21	2,66	3,12	2,94
Diámetro de tallo, cm	2,30	2,90	2,90	2,93	3,10
Longitud entrenudos, cm	9,70	9,10	10,5	10,02	7,30
Índice de crecimiento, cm/mes	13,1	13,45	15,9	18,33	17,9
Entrenudos/mes, #	1,4	1,45	1,5	2,0	2,40
Tallos molibles, #	79,167	108,333	79,167	118,120	161,332
Producción de caña, t/ha	88,4	145,7	100,2	193,5	229,8
Peso tallo molible, kg	1,12	1,34	1,27	1,64	-
Producción de semilla, t/ha	10,78	18,21	11,52	25,50	31,10
Producción cogollo, t/ha	14,59	26,95	14,73	51,03	37,92
Producción de biomasa, t/ha	113,77	190,86	126,45	270,03	-
Producción de panela, t/ha	8,9	16,46	11,42	24,19	28,4
Producción de cachaza, t/ha	2,24	5,10	4,01	7,50	9,20
Bagazo verde, t/ha	44,7	55,1	43,01	77,4	101,1
Brix jugo, °B	19,8	20,3	21	21,4	22,4
pp. Jugo	5,38	5,38	5,45	5,46	5,26
Azúcares reductores, %	1,1	1,3	0,9	1,1	0,51
Pol (sacarosa), %	18,3	18,9	19,9	20,1	20,8
Pureza, %	92,4	93,1	94,7	93,9	92,9
Fósforo, ppm	209	243	380	84	155

Fuente: OSORIO CADAVID, G. p. 56.

Es importante destacar que no existen diferencias marcadas entre variedades de caña para panela o azúcar; sólo hay diferencias en tecnologías de producción y la función objetivo del sistema. Sin embargo, vale la pena resaltar que algunas características agronómicas o industriales exigidas por la industria azucarera no son estrictamente aplicables a la producción panelera.<sup>22</sup>

Conocer el momento de maduración o punto óptimo de corte es una BPA que depende de la variedad, los factores agroecológicos y la tecnología aplicada; se consideran precoces variedades que alcanzan maduración en 13 meses (RD), medianamente precoces entre 14 y 17 meses (PR) y tardías son después de los 18 meses (POJ).<sup>23</sup>

Es posible obtener mayores beneficios económicos buscando variedades con adaptación particular de acuerdo con las unidades agroecológicas y el conocimiento de su manejo agronómico. Éste es un elemento fundamental para reducir los costos de producción y contribuir con la competitividad de la industria panelera.

### ➤ **Maduración y cosecha**

La variedad, la edad y las condiciones físicas (suelo, clima y luminosidad principalmente) en que se desarrolla el cultivo, cumplen una función fundamental en la producción de tallos y en la concentración de los azúcares. La edad de cosecha, o período vegetativo del cultivo, depende de la variedad y, principalmente, de la altura sobre el nivel del mar factores que influyen en la concentración de sacarosa. A baja altura la concentración es menor y va aumentando, con la altura, hasta llegar a un máximo teórico de sacarosa del 26%.

Las cañas muy jóvenes o biches, las muy viejas, las caídas y las dañadas por cualquier motivo presentan una menor concentración de azúcares. En regiones paneleras ubicadas entre los 800 y 1.500 m.s.n.m., el Brix o concentración de sólidos solubles en el jugo, puede variar en épocas de lluvia entre 17 y 19° Brix y, en épocas secas, entre 19 y 22° Brix. De 0 a 600 m.s.n.m. la caña madura entre los 11 y 12 meses; de 600 a 1.200 m.s.n.m., madura entre los 12 y 15 meses, y de 1.200 a 1.600 m.s.n.m., alcanza la maduración entre los 14 y 18 meses. Desde luego, hay que tener en cuenta la variedad de caña.

El momento de cosechar debería establecerse cuando se alcance el punto de máximo rendimiento, y éste coincidir con el punto de madurez. La mayoría de los productores establecen el punto de madurez de la caña de acuerdo con el color de los tallos, la reducción de la longitud de los entrenudos y el tamaño de las hojas. La madurez de la caña se logra cuando la concentración de los azúcares es igual o semejante en la base y en la parte terminal del tallo.<sup>24</sup>

---

<sup>22</sup> CORPOICA – SENA. 1998. Manual de caña de azúcar para la producción de panela. Bucaramanga (Colombia). p.145.

<sup>23</sup> OSORIO CADAVID, G. Op cit. p. 56.

<sup>24</sup> GARCÍA, B. H. 2004. Oportunidades de producción más limpia en la agroindustria panelera. Programa de procesos agroindustriales. Corpoica. C. I. Tibaitatá. Mosquera, Cundinamarca (Colombia). p. 102.

### 2.3.5 Bagazo

En el proceso de molienda, además del jugo, también se obtiene un residuo sólido llamado “bagazo”, cuya humedad depende del grado de extracción del jugo, que fluctúa entre 50% y 60%. Este bagazo es llevado y almacenado en cobertizos llamados bagaceras hasta que alcance una humedad inferior al 30%, para ser utilizado en las hornillas como combustible. Para alcanzar este porcentaje de humedad, se debe almacenar en pilas altas dejando un espacio entre montón y montón para que circule el aire y seque el bagazo. En la Figura 2 se observa cómo se apila el bagazo de caña en la finca San Antonio.

Figura 2. Bagazo apilado



Fuente: Autores del proyecto.

### 2.3.6 Panela

Su nombre hace referencia al acto de panificar el jugo de caña, deshidratándolo y solidificándolo en moldes rectangulares y de diferentes formas o presentaciones.<sup>25</sup>

#### ➤ **Propiedades nutricionales**

---

<sup>25</sup> Superintendencia de industria y Comercio. Cadena productiva de la panela: Diagnóstico de libre competencia. Disponible en: <<http://www.sic.gov.co/drupal/sites/default/files/files/Panela.pdf>>

La panela ha sido el producto que ha acompañado a los colombianos por varias generaciones. Miles de familias campesinas, por medio de procesos completamente naturales, hacen posible este producto alimenticio de reconocidas cualidades energéticas y nutricionales.<sup>26</sup>

La composición química de la panela se diferencia del azúcar blanco y moreno, por contener no solo sacarosa, sino también glucosa y diversos minerales, grasas, compuestos proteicos y vitaminas, lo cual hace a la panela más rica que el azúcar desde el punto de vista nutricional.<sup>27</sup>

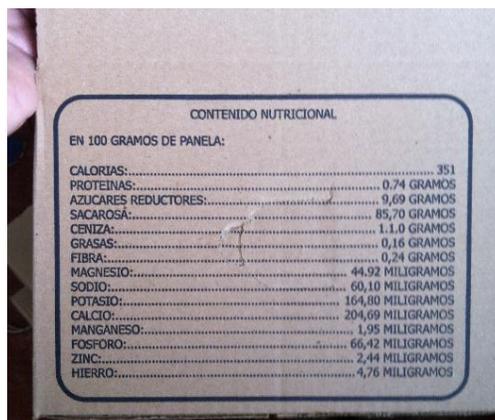
A diferencia de otros endulzantes, la panela no pasa por un proceso de refinación, lo cual le permite conservar las características originales de la caña, cuyos minerales y vitaminas permanecen intactos.

Según la Tabla de Composición de Alimentos del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF), la panela tiene macronutrientes, entre ellos calorías, lípidos y carbohidratos; también cuenta con vitaminas, como C, B6, niacina y tiamina, y minerales, entre los que se destaca el flúor, el potasio, el magnesio y el hierro, entre otros. Debe consumirse en proporciones adecuadas de acuerdo con lo que necesita y gasta cada cuerpo, teniendo en cuenta aspectos como la edad, el género, la talla y la actividad física que se realice.

Según la nutricionista Claudia Figueroa, el producto no es apto para las personas que padecen o son propensas a la diabetes, aquellas con los triglicéridos altos y los pacientes obesos.<sup>28</sup>

En la finca San Antonio, la panela producida se almacena en cajas que muestran su contenido nutricional como se ve en la Figura 3.

Figura 3. Contenido nutricional de la panela



CONTENIDO NUTRICIONAL	
EN 100 GRAMOS DE PANELA:	
CALORIAS:	351
PROTEINAS:	0,74 GRAMOS
AZUCARES REDUCTORES:	9,69 GRAMOS
SACAROSA:	85,70 GRAMOS
CENIZA:	1,10 GRAMOS
GRASAS:	0,16 GRAMOS
FIBRA:	0,24 GRAMOS
MAGNESIO:	44,92 MILIGRAMOS
SODIO:	60,10 MILIGRAMOS
POTASIO:	164,80 MILIGRAMOS
CALCIO:	204,69 MILIGRAMOS
MANGANESO:	1,95 MILIGRAMOS
FOSFORO:	66,42 MILIGRAMOS
ZINC:	2,44 MILIGRAMOS
HIERRO:	4,76 MILIGRAMOS

Fuente: Autores del proyecto.

<sup>26</sup> INVIMA y FEDEPANELA. ABC de la panela. Bogotá D.C, 2009.

<sup>27</sup> Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Producción de panela como estrategia de diversificación en la generación de ingresos en áreas rurales de América Latina. Roma, 2004.

<sup>28</sup> <http://www.elespectador.com/noticias/publirreportaje/los-secretos-nutricionales-de-panela-articulo-534558>

### ➤ Defectos

Los principales defectos en las panelas pueden presentarse por no tener buenas prácticas en el proceso de producción, afectando la calidad y aceptación del producto por parte del consumidor. A continuación se muestran los defectos más comunes que se presentan en la panela.

- Impurezas en el producto como tierra, insectos, bagazo.
- Panelas con aristas mal formadas o rotas por un inadecuado proceso en el moldeo.
- Panelas demasiado oscuras, por mala clarificación y limpieza.
- Panelas demasiado blandas por haber punteado a bajas temperaturas.
- Panelas huecas o con cavidades de aire en su interior.
- Olores y sabores extraños.

### 2.3.7 Tipos de panela

Algunas formas de presentación de la panela, son: panela cuadrada, rectangular, redonda, de pastilla, panelón, panela pulverizada, panela granulada.<sup>29</sup>

Para el caso del municipio de Convención, COOINCAPRO cuenta con una producción de los siguientes tipos de panela mostrada en la Tabla 3:

Tabla 3. Tipos de panela producidos por COOINCAPRO

<b>Tipo</b>	<b>Peso (gramos)</b>	<b>Representación</b>
<b>Panela cuadrada</b>	<b>500</b>	
<b>Pastilla</b>	<b>500</b>	

<sup>29</sup> FUNACH –ASCAPAM. Capacitación en la obtención de nuevos productos derivados de la caña y el manejo adecuado de la agroindustria panelera municipio de Mocoa. Mocoa, 2002. p. 2.

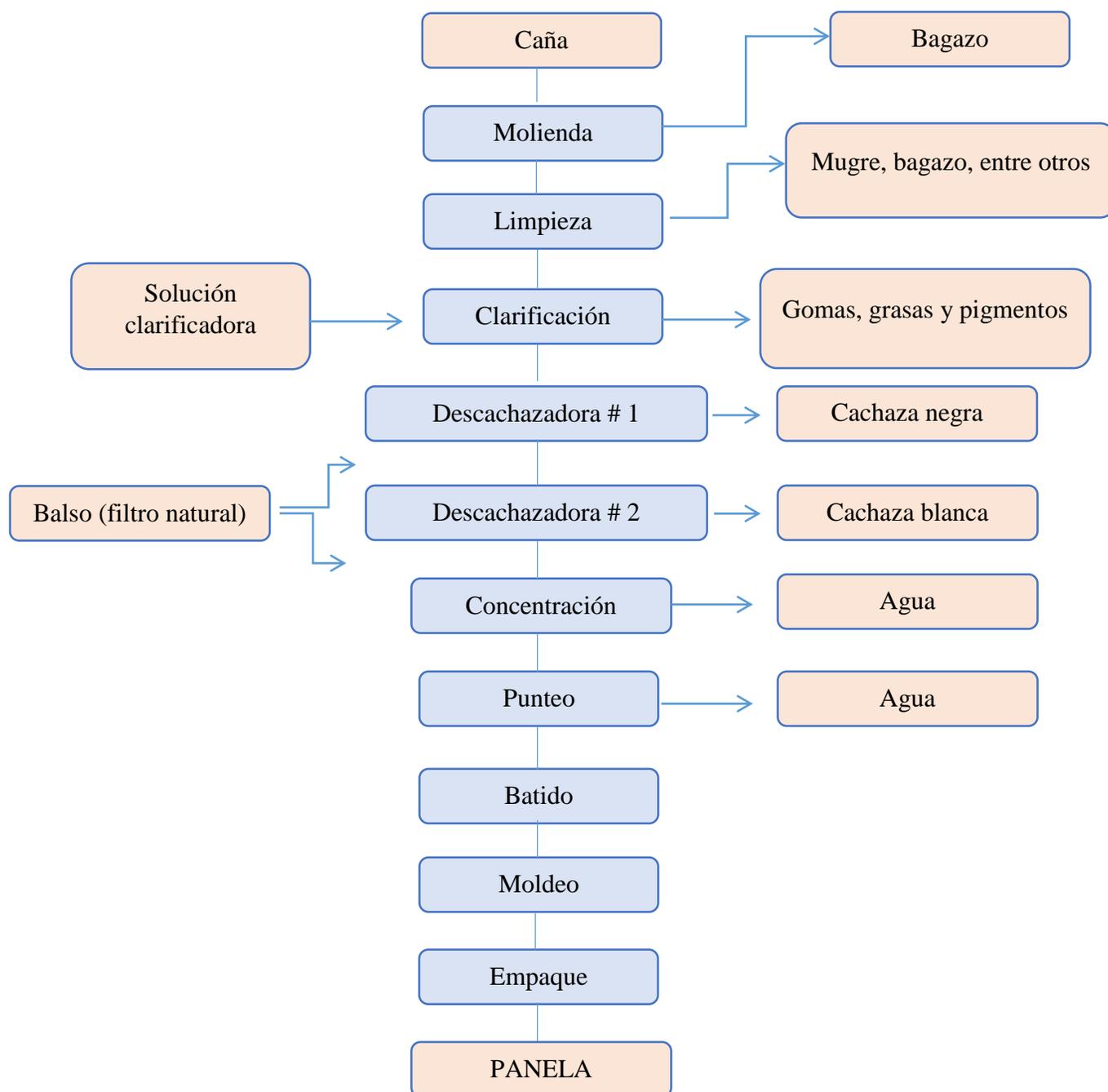
<b>Panelón</b>	<b>1000</b>	
<b>Pulverizada</b>	<b>500-1000</b>	
<b>Granulada</b>	<b>500-1000</b>	

Fuente: COOINCAPRO. Disponible en:  
[www.sipa.org.co/2010/organizaciones/norte/cooincapro/Productos.html](http://www.sipa.org.co/2010/organizaciones/norte/cooincapro/Productos.html)

### 2.3.8 Proceso de producción de la panela

- Transporte de caña
- Molienda o extracción del jugo de caña
- Clarificación o limpieza
- Concentración
- Punteo
- Batido
- Moldeo
- Empaque. (Véase Figura 4)

Figura 4. Etapas en la producción de panela.



Fuente: Autores del proyecto

- **Transporte de caña**

El transporte de la caña del campo al trapiche, se hace mediante tractores, camiones, caballos, mulas o burros.

- **Molienda o extracción**

La extracción del jugo de la caña se lleva a cabo en el trapiche. Luego el jugo de caña extraído, se almacena en tanques, y luego éste pasa al tanque descachazador por medio de bombas o por gravedad.

- **Clarificación o limpieza**

La limpieza del jugo se efectúa tradicionalmente en fondos de acero inoxidable, que son llamadas pailas. Dos de ellas se encargan de extraer las impurezas (cachaza), con una temperatura aproximada de 40-60 °C, donde comienza el descachazado. En la primera paila se extrae la cachaza negra y en la segunda paila se extrae la cachaza blanca, como se ve en Figura 5 y en la Figura 6.

Figura 5. Cachaza negra



Fuente: Autores del proyecto.

Figura 6. Cachaza blanca



Fuente: Autores del proyecto.

Las impurezas más pesadas como la arena y el lodo se van al fondo, los residuos livianos y el bagacillo flotan formando un colchón, el cual es retirado manualmente.

Además del prelimpiador, se adiciona al jugo extractos mucilaginosos provenientes de la corteza macerada de árboles como el balso, que sirve como filtro natural para absorber la cachaza fácilmente. Todo esto es recogido de la paila por medio del ramillón.

- **Concentración**

Esta fase consiste en elevar el contenido de azúcar en el jugo, de 20 a 70 °Brix aproximadamente. En esta etapa es importante un manejo adecuado de la miel, ya que este proceso incide directamente en la textura final de la panela. Cuando el pH del jugo es bajo, se favorece la formación de azúcares reductores que modifican la consistencia final del producto y pueden llegar a impedir su cristalización.

La concentración se efectúa en hornos quemadores que utilizan el bagazo de la misma caña para calentar uno o varios recipientes en los cuales se limpian, clarifican, evaporan y concentran los jugos de la caña hasta obtener las mieles que permiten fabricar la panela. Esta concentración se efectúa en un tren de cinco pailas.

- **Punteo**

Es la fase mediante la cual se da el punto final a la miel para obtener la panela. Se verifica en la última paila. El punto de la panela lo establece el operario experto de varias formas:

- Se toma una muestra y se introduce en agua, agitando constantemente, hasta que forme una melcocha.
- Se observa formación de hilos con el remellón (cucharón) durante el escurrido.
- En los dos casos, los grados Brix oscilan entre 89 y 91 y la miel alcanza temperaturas alrededor de 118 a 125°C.

- **Batido**

Obtenido el punto, se deposita la miel en una batea de acero inoxidable preferiblemente, o en madera con el fin de enfriar la mezcla a 90°C aproximadamente y permitir la formación de gránulos, se bate constantemente con espátulas llamadas mecedores (cagüingas) a fin de que aclare y enfríe, durante 5-7 minutos.

- **Moldeo**

La masa con baja temperatura se vierte sobre moldes de madera previamente colocados sobre una superficie plana, los cuales presentan diferentes formas.

- **Empaque**

La panela se empaqueta en cajas de cartón; el número de unidades del producto depende de la presentación (cuadrada, rectangular o redonda) y la dimensión de las cajas.

### 2.3.9 Involucrados en el proceso

- **Bojotero de caña.** Es el primer operario en la cadena de producción de la panela. Su trabajo consiste en llevar la caña cortada hasta el trapiche, generalmente por medio de una carretilla.
- **Mete caña:** Es el encargado de introducir las cañas cortadas al trapiche, para triturarlas con el fin de extraer el jugo de caña, que es la materia prima para producir la panela.
- **Bojotero de bagazo de caña:** El bagazo que cae del trapiche es llevado a un recinto donde se apilan las cañas, dejándolas secar de dos a cuatro meses para su uso posterior como combustible en la hornilla panelera.
- **Parrillero:** Su función es llevar el bagazo de caña a la boca de la hornilla para usarlo como combustible.
- **Hornero:** Se encarga de menear el jugo de caña por el tren de pailas, agregar aglutinante (balso) para retirar las impurezas (cachaza) y dejar la miel a punto.
- **Pertechero:** Una vez la miel ha pasado por el tren de pailas, ya se encuentra a punto para batirla de modo que adquiera consistencia.
- **Gaverero:** Lleva la masa de miel desde el recipiente de batido (batea) hasta una mesa o superficie plana que tiene dispuestos unos moldes para verter la miel.
- **Empacador:** Después de dejar secar la panela en los moldes alrededor de 15 a 20 minutos, se procede a retirar los moldes y se comienza a empacar el producto en bolsas plásticas transparentes y posteriormente en cajas de cartón.

### 2.3.10 Nivel productivo internacional de la panela

La panela, por sus características nutritivas y proceso de elaboración es universalmente producida en la mayoría de los países.

Colombia ocupa el segundo lugar en producción mundial de panela, con una cifra de 34 panelas consumidas por persona. En esta perspectiva, la producción de panela es considerada la segunda agroindustria rural después del café, gracias al número de establecimientos productivos, el área sembrada y la mano de obra que vincula. En la Tabla 4 se ve claramente como Colombia es el primer país en consumo Per Cápita y el segundo en producción de panela.

Tabla 4. Producción de panela a nivel mundial para el año 2002

PAÍS	PRODUCCIÓN (Miles ton.)	Participación en la Producción	Consumo Per cápita (Kg/año)
1. India	9.857	71.3	10.0
2. Colombia	1.276	9.2	31.2
3. Pakistán	743	5.4	5.0
4. China	458	3.3	0.4
5. Bangladesh	440	3.2	3.5
6. Myanmar	354	2.6	8.0
7. Brasil	240	1.7	1.4
8. Filipinas	108	0.8	1.5
9. Guatemala	56	0.4	5.2
10. México	51	0.4	0.5
11. Indonesia	39	0.3	0.2
12. Honduras	27	0.2	4.4
Otros países	172	1.2	N.D
TOTAL MUNDIAL	13.821	100.0	

Fuente: QUEZADA, W. Guía Técnica de Agroindustria Panelera. p. 46.

### 2.3.11 Nivel productivo nacional de la panela

De acuerdo con Fedepanela, la producción de panela se genera en los departamentos presentados. Sin embargo, las zonas geográficas donde se concentra el 60% de la producción son los departamentos de Santander, Boyacá, Cundinamarca y Antioquia. En la Tabla 5 se puede inferir que Norte de Santander representa el 3.3% de la producción

Tabla 5. Toneladas de producción anuales en departamentos colombianos

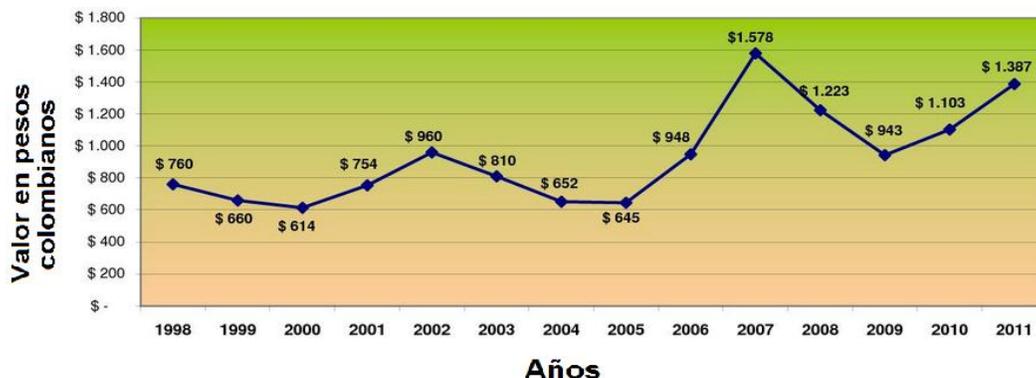
Departamento	Producción Toneladas	Departamento	Producción Toneladas
Santander	226.915	Cesar	14.968
Boyacá	212.353	Caquetá	8.165
Cundinamarca	175.904	Bolívar	7.316
Antioquia	157.093	Putumayo	5.388
Caldas	76.274	Arauca	3.418
Nariño	73.928	Chocó	3.346

Tolima	71.024	Quindío	2.327
Cauca	64.920	Sucre	1439
Huila	49.109	Córdoba	1027
<b>Norte de Santander</b>	<b>42.226</b>	Casanare	886
Valle del Cauca	33.979	Amazonas	330
Risaralda	26.901	La Guajira	198
Meta	15.299	<b>Total</b>	<b>1.274.733</b>

Fuente: Caña para panela estimados 2010. Disponible en:  
[http://www.fedepanela.org.co/images/precios/estadisticas\\_panela\\_2010.JPG](http://www.fedepanela.org.co/images/precios/estadisticas_panela_2010.JPG)

Los precios de la panela suben y bajan dependiendo de condiciones climatológicas, los índices altos o bajos de producción y la oferta y la demanda. En la Figura 7 se muestra el comportamiento de los precios para los productores desde 1998 hasta 2011.

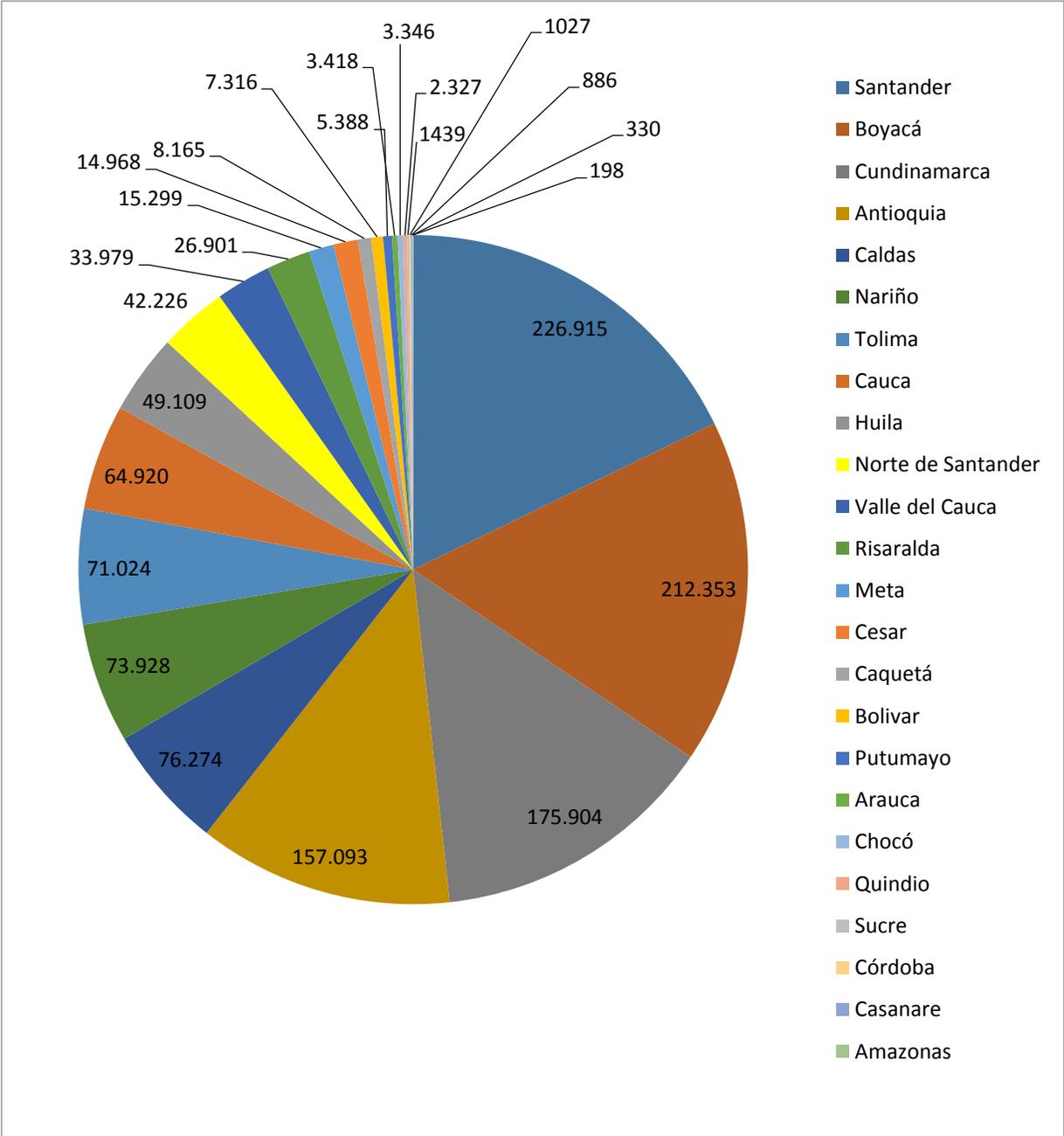
Figura 7. Precio promedio de la panela para productores desde 1998 hasta 2011



Fuente: FEDEPANELA. Disponible en:  
<http://fedepanela.org.co/images/precios/prechist.jpg>

El departamento de Norte de Santander, representado por el color amarillo en la Figura 8, ocupa el décimo lugar a nivel nacional representando el 3.31% de la producción de panela nacional que es de 1.274.733 toneladas anuales.

Figura 8. Producción anual en toneladas de panela en departamentos productores de Colombia



Fuente: Autores del proyecto.

**2.3.12 Nivel productivo local de la panela**

La panela de Convención se consume en todo Norte de Santander, siendo Ocaña su principal cliente y desde donde se distribuye al departamento. Por su parte, al municipio llegan clientes

provenientes de la Costa Atlántica principalmente de Barranquilla, los cuales la compran de forma directa a los productores y son ellos los que asumen los costos de transporte.

El producto final se agrupa en cajas de cuarenta panelas, donde cada una pesa cerca de 300 gramos y es comercializada en las bodegas de panela. Allí se acopia parte del producto y es comercializado por clientes de Ocaña, la Costa Atlántica y en menor medida municipios aledaños. El precio es fijado mediante oferta y demanda, estos se mantuvieron en promedio entre \$27.000 pesos y \$30.000 pesos por caja.<sup>30</sup>

En la Tabla 6 se observa el aumento en la producción y el rendimiento de caña en el municipio de Convención.

Tabla 6. Producción y rendimiento de la caña panelera en Convención.

Año	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)
2000	130 871	3.8
2005	155 600	4.4
2010	158 000	4.0
2012	373 800	7.2

Fuente: Perfil Productivo Municipio de Convención.

### 2.3.13 Trapiche

Molino para extraer el jugo de algunos frutos de la tierra, como la aceituna o la caña de azúcar.<sup>31</sup>

Hay tres características básicas que definen el desempeño del molino: La capacidad, la extracción y el consumo de potencia.<sup>32</sup>

- La capacidad es la cantidad de caña que se puede moler en un tiempo determinado y se mide en toneladas por hora.
- La extracción es la relación entre el jugo recuperado en el molino y el que hay en la caña antes de la molienda; se expresa en porcentaje.

<sup>30</sup> PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO PNUD, MINISTERIO DEL TRABAJO, GRUPO DE INVESTIGACIÓN-ORMET NODO OCAÑA. Perfil Productivo Municipio de Convención, 2014.

<sup>31</sup> <http://lema.rae.es/drae/srv/search?key=trapiche>

<sup>32</sup> FLÓREZ, Daniel; IDÁRRAGA, Guillermo y ARIAS, Walter. Rediseño de un trapiche panelero de 4 mazas accionado con motor. Medellín, 2011.

- La potencia es la medida del trabajo realizado por el molino en un tiempo determinado.

#### 2.3.14 Tipo de trapiches

Existen 2 grandes tipos de trapiches, los de acción manual y los automáticos. Los primeros se usan desde la época de la colonia

- **Trapiche de acción manual**

Comúnmente empleado por mano de obra esclava, actualmente es obsoleto. Véase Figura 9.

Figura 9. Trapiche manual



Fuente: LUGO, Jose, A.

- **Trapiche tradicional**

Este tipo de trapiche es accionado por fuerza animal, en algunos casos burros, o caballos. Constan esencialmente de dos o en otros casos de tres cilindros, encargados de exprimir la caña. Para efectuar el proceso completo se necesita la participación de dos hombres para realizar la actividad en torno de la máquina, uno que parte e inserta la caña previamente cortada en tramos aproximados de un metro, y uno que va arreando a los animales que van jalando el timón y que es también responsable de ir retirando el bagazo que va desechando la máquina. En la Figura 10 se observa este tipo de trapiche.

Figura 10. Trapiche tradicional



Fuente: Soy de Solaga. Disponible en: <http://soydesolaga.blogspot.com/>

- **Trapiche accionado por motor**

Estos trapiches están compuestos por tres rodillos surcados que prensan la caña de azúcar previamente desmenuzada y extraen su jugo. Este jugo es concentrado y cocido hasta obtener la cristalización del azúcar. Como residuo, del trapiche sale un producto que se llama bagazo, el cual se puede usar como combustible en las mismas calderas.

Los motores usados son eléctricos o de combustión interna. La diferencia es solo el método de impulsión del movimiento. Para combustión interna con diésel o gasolina (véase Figura 11). Y para impulsión por motor eléctrico de 10 hp (véase Figura 12).

Figura 11. Trapiche accionado por motor combustión interna



Fuente: Autores del proyecto.

Figura 12. Trapiche accionado por motor eléctrico



Fuente: Autores del proyecto.

### 2.3.15 Hornilla panelera

Es un horno puesto en un ambiente cerrado o subterráneo encargado de transformar la energía del bagazo mediante la combustión del mismo, en energía calorífica y así aprovecharla de manera directa al dirigir los gases de combustión a través del ducto de humos para ponerlos en contacto con las pailas con la finalidad de evaporar el agua presente en el jugo de caña<sup>33</sup>. Las hornillas paneleras, se pueden diseñar de acuerdo a la región, al tamaño del trapiche y a la disponibilidad de recursos y esta se puede fabricar utilizando barro de la región, con bloques macizos de las ladrilleras o con material altamente refractario. En general, puede decirse que la hornilla está formada por la cámara de combustión, el área de evaporación (pailas), el ducto de humos y la chimenea.

### 2.3.16 Partes de la hornilla panelera

La hornilla panelera consta de una cámara de combustión, el ducto de humos, la chimenea y las pailas.

- **Cámara de combustión:** Es el espacio donde se realiza la combustión del bagazo. Consta de cenicero, boca de alimentación y parrilla.
- **Cenicero:** Está ubicado debajo de la parrilla. Su función es almacenar las cenizas y precalentar el aire necesario para la combustión.
- **Pailas:** Existen muchos tipos de pailas o intercambiadores abiertos, cada uno tiene una geometría definida y por tanto con un particular coeficiente global de

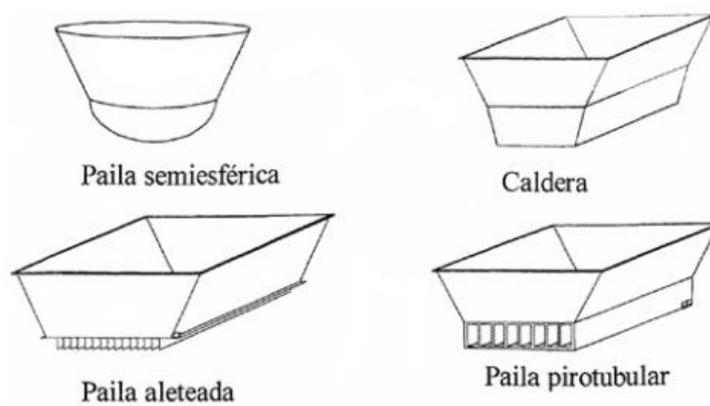
---

<sup>33</sup> Vishal R. Sardeshpande, D. J. Shendage, Indu R. Pillai. "Thermal performance evaluation of a four pan jiggery processing furnace for improvement in energy utilization". Indian Institute of Technology. Bombay, India, 2010.

transferencia de calor. En la Figura 13 se encuentran las disposiciones de pailas; dentro de ellas tenemos:

- **Paila plana:** Tiene la forma de un tronco de pirámide, la cual se encuentra abierta en su base mayor. Su área transversal es trapezoidal, es llamada también caldera y suele utilizarse en las etapas de precalentamiento y clarificación. La superficie de transferencia de calor o superficie de contacto con los gases calientes es plana, como su mismo nombre lo dice.
- **Paila plana aleteada:** Tiene la forma de la paila anteriormente mencionada, con la particularidad que en el área de transferencia de calor posee unas aletas a lo largo de la paila separadas unas de otras una distancia entre 6 a 10 cm, con la finalidad de mejorar la transferencia de calor entre los gases de combustión y el jugo de caña.
- **Paila semiesférica:** Este tipo de paila se obtiene de unir un tronco de cono y un casquete esférico. La superficie de transferencia de calor es la que posee el casquete esférico sobre esta se suelda un tronco de cono.
- **Paila pirotubular:** Esta paila fue diseñada por el CIMPA como un esfuerzo por mejorar la transferencia de calor. Posee una forma parecida a la paila plana, pero que en la parte inferior, en la parte de la paila que va dentro del ducto, es atravesado por 4 o 6 cilindros trapezoidales huecos, distribuidos uniformemente respecto a la arista mediana.

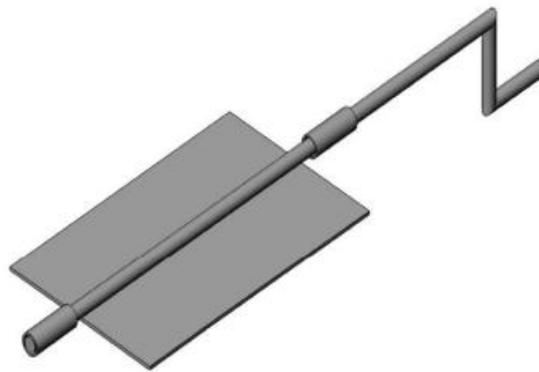
Figura 13. Formas de las pailas



Fuente: Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) en la producción de caña y panela.

- **Chimenea:** Es un conducto construido de ladrillo refractario o lámina de hierro, ubicado al final de la hornilla y contiguo al ducto de humos. Su forma puede ser cilíndrica trapezoidal o cónica. Su función es crear la diferencia de presión que garantice el suministro de aire necesario para la combustión y permitir el flujo de los gases de combustión a través del ducto de humos.<sup>34</sup>
  - **Válvula mariposa:** Esta se ve en las hornillas Ward-CIMPA ya que la altura de la chimenea es muy baja, provoca que la velocidad salida de los gases sea muy alta y esto ocasiona un estancamiento o retorno de los gases de combustión. Véase Figura 14. Debido al clima cambiante se la zona se ha incluido una válvula mariposa para reajustar el tiro.<sup>35</sup>

Figura 14. Válvula de mariposa



Fuente: Implementación de mejoras tecnológicas para el módulo de producción de panela granulada de Santa Rosa de Chonta, Montero, Ayabaca, Perú.

- **Boca de alimentación:** Es la abertura por donde se introduce el bagazo a la hornilla, que soporta temperaturas altas sin deformarse.

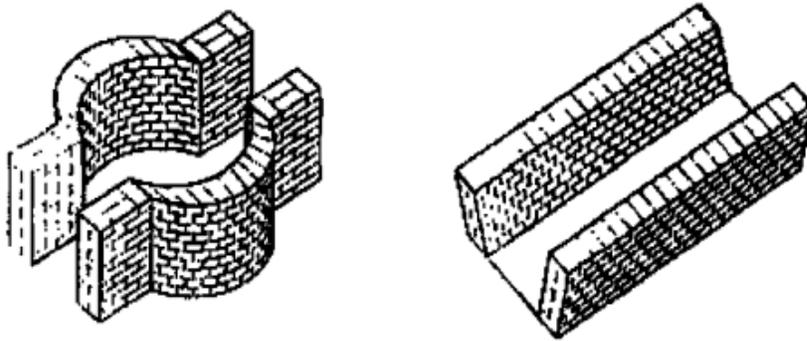
---

<sup>34</sup>Memorias Primera capacitación a nivel regional sobre filanejo y Postcosecha del Cultivo de Caña panelera. Caquetá. Julio 14-15 de 1998. Disponible en: <http://207.239.251.110:8080/jspui/bitstream/11348/4726/2/Memorias%20primera%20capacitaci%C3%B3n.pdf>

<sup>35</sup> Implementación de mejoras tecnológicas para el módulo de producción de panela granulada de Santa Rosa de Chonta, Montero, Ayabaca, Perú. Disponible en: [http://perusolar.org/17-spes-ponencias/08-Biomasa/AldanaDanielMarcelo/IMPLEMENTACION\\_DE\\_MEJORAS\\_TECNOLOGICAS\\_PARA\\_EL\\_MODULO\\_DE\\_PRO.pdf](http://perusolar.org/17-spes-ponencias/08-Biomasa/AldanaDanielMarcelo/IMPLEMENTACION_DE_MEJORAS_TECNOLOGICAS_PARA_EL_MODULO_DE_PRO.pdf)

- **La parrilla:** Sirve de lecho para el bagazo, permite la entrada de aire para la combustión y el paso de cenizas hacia el cenicero.
- **Ducto de humos:** Es aquí donde los gases de combustión transitan para ceder parte del calor que poseen a las pailas, éstos se mueven por la diferencia de presión o tiro natural determinado principalmente por las dimensiones de la chimenea. La Figura 15 muestra los tipos de ductos usados.

Figura 15. Tipo de ducto semiesférico y plano.



Fuente: Memorias Primera capacitación a nivel regional sobre filanejo y Postcosecha del Cultivo de Caña panelera. Caquetá. pág. 74.

### 2.3.17 Tipos de hornillas

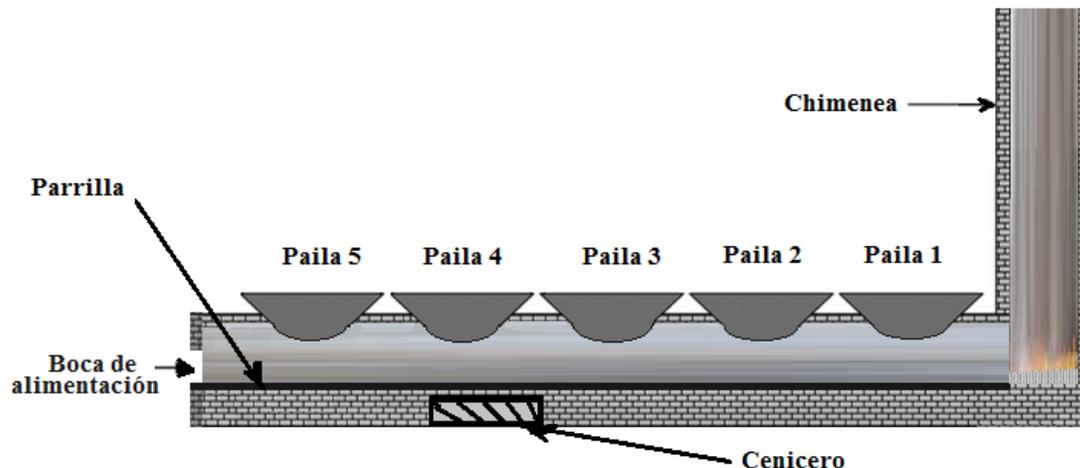
Lo que diferencia una hornilla de otra es el diseño de la cámara de combustión, principalmente.

#### ➤ **Hornillas tradicionales**

- **Hornilla tradicional con una entrada de aire**

En las hornillas tradicionales la cámara de combustión tiene una geometría básica, en definitiva es un cubo. Cercana a la cámara de combustión se ubica la primera paila. En la Figura 16 se ve la configuración de la hornilla en la Finca San Antonio. Se debe considerar que mientras mayor es la humedad del bagazo, menos energía calorífica se obtiene de la combustión y por tanto menores temperaturas son desarrolladas.

Figura 16. Hornilla tradicional panelera



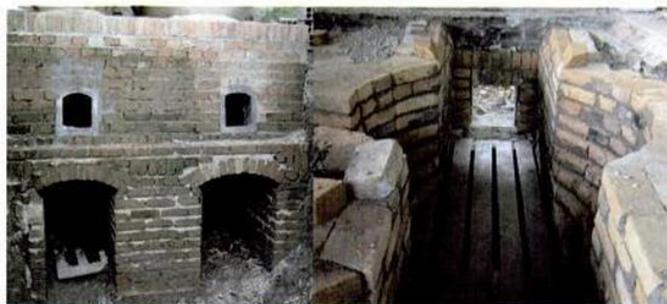
Fuente: Autores del proyecto.

En la etapa de hornilla, la deficiencia fundamental es la cámara de combustión, siendo una cámara tradicional, es decir, tiene el área de parrilla demasiado grande y demasiado exceso de aire, originando una combustión ineficiente y altos porcentajes de liberación de CO.

➤ **Hornilla tradicional con dos entradas de aire.**

Básicamente esta hornilla se basa en un diseño similar al de una cámara tradicional, el flujo es paralelo ascendente. Pero difiere en el diseño de la parrilla y en el mayor volumen de la cámara de combustión. Consta de dos entradas alimentación paralela al flujo y dos entradas de aire debajo de la alimentación, los gases productos de la combustión salen por la parte final del horno en un tiro vertical (véase Figura 17).

Figura 17. Hornilla tradicional con dos entradas de aire



Fuente: Programa de procesos agroindustriales. CORPOICA-C.I. Tibaitatá, 2006.

En esta cámara el exceso de aire y de CO es menor (4% a 5%), de forma tal que se consiguen temperaturas entre 850 a 950°C.

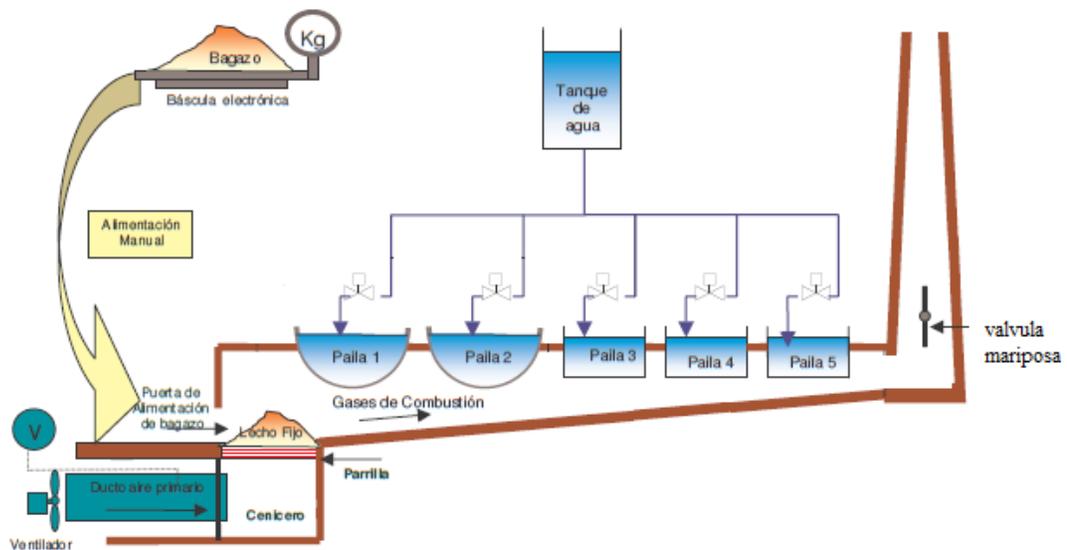
- **Hornillas Ward-CIMPA**

- **Hornillas tipo Plana-CIMPA**

Posee una cámara con un diseño mejorado respecto a la cámara tradicional (véase Figura 18), donde a diferencia de ésta, el bagazo se quema a una distancia prudente de la primera paila alcanzando mayores temperaturas de combustión en algunos casos superiores a 900°C; el bagazo suministrado a este tipo de cámara se caracteriza por presentar un bajo contenido de humedad.

Por lo general, una cámara de combustión Plana-CIMPA (véase Figura 19), produce 7% en volumen de monóxido de carbono y entre 11 y 12% en volumen de dióxido de carbono, cuando se le suministra un bagazo seco (28% humedad relativa) y un exceso de aire cercano al 60%. Las dimensiones se determinan a partir de la energía requerida para el proceso.<sup>36</sup>

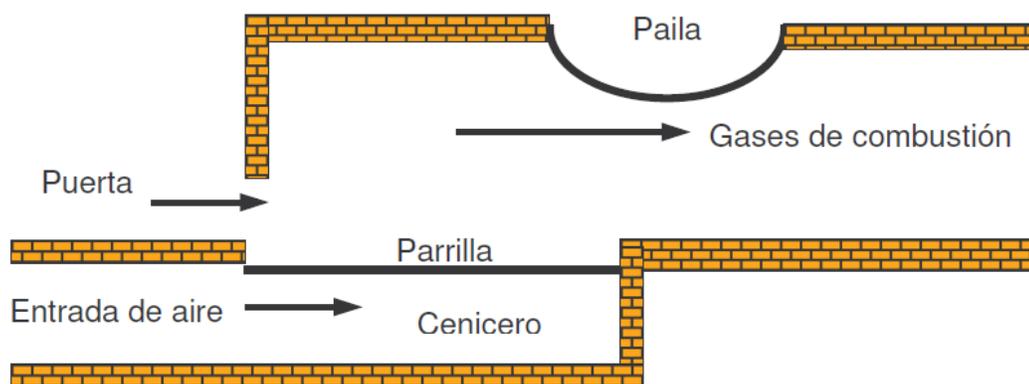
Figura 18. Hornilla tipo Plana-CIMPA



Fuente: Determinación de los parámetros de diseño y operación de cámaras de combustión tipo Ward-CIMPA y plana-CIMPA en hornillas paneleras. Pág. 56.

<sup>36</sup> SOLER, Juan y GÓMEZ, Franco. Determinación de los parámetros de diseño y operación de cámaras de combustión tipo ward-CIMPA y plana-CIMPA en hornillas paneleras. Trabajo de grado Ingeniería química. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química, 2004. Bucaramanga. 14p.

Figura 19. Cámara de combustión de la hornilla tipo Plana-CIMPA



Fuente: SOLER, Juan y GÓMEZ, Franco. Determinación de los parámetros de diseño y operación de cámaras de combustión tipo ward-CIMPA y plana-CIMPA en hornillas paneleras. Pág. 36.

### ➤ **Hornillas tipo Ward-CIMPA**

La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) ha sido líder en el mejoramiento de las tecnologías para los trapiches paneleros y en los últimos 40 años, la producción de panela en Colombia ha evolucionado bastante. Hacia la década de 1970 inicio con una tecnología basada en el conocimiento empírico de los productores y de algunos prestadores de servicio, como los fabricantes de equipos de molienda y constructores de los hornos u hornillas. La investigación se consolidó una década más tarde con la creación del Convenio ICA - Holanda que creó el centro CIMPA, (Centro de Investigación para el Mejoramiento de la Panela) ubicado en Barbosa Santander y fue enfocado al incremento de la eficiencia de los recursos físicos, ambientales y humanos. Desde el punto de vista ambiental, la tecnología generada para elevar la eficiencia de las hornillas de los trapiches ha permitido reducir en cerca de un kilogramo de bagazo por kilogramo de panela como fuente de calor.<sup>37</sup>

Su cámara de combustión cuenta con un diseño especial, (véase Figura 20 y 21):

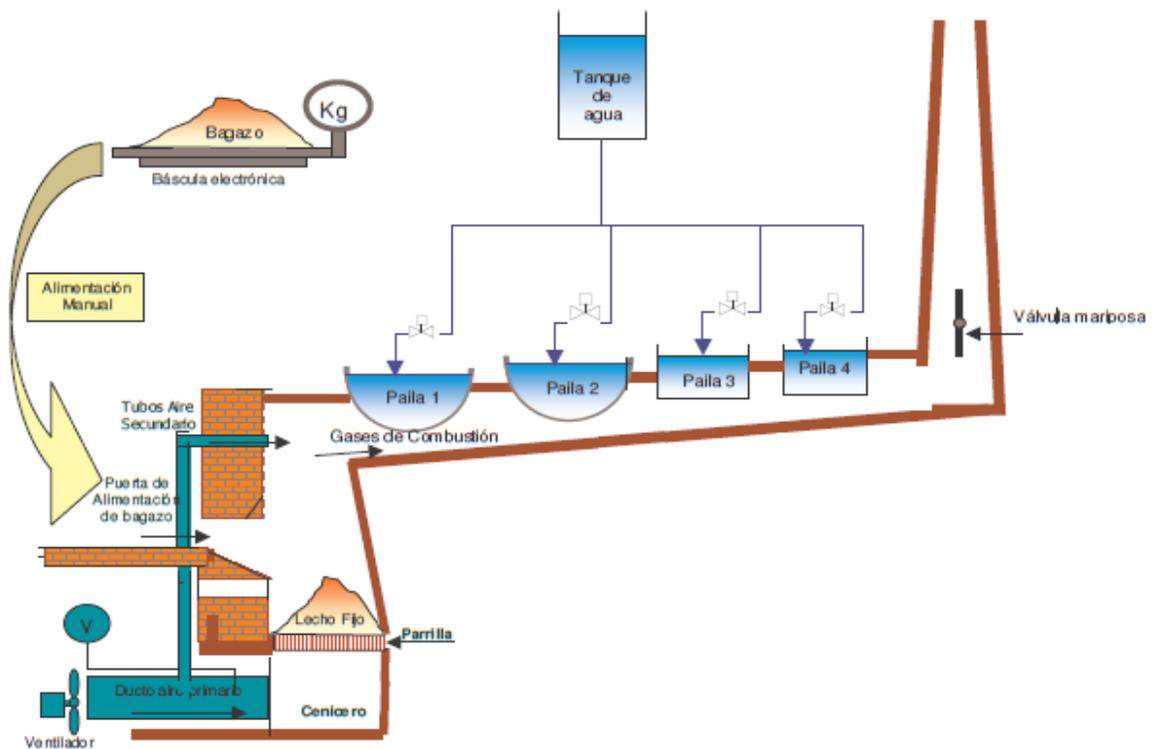
- Tiene una superficie inclinada o rampa la cual es llamada cámara de presecado, donde se seca el bagazo con el calor proveniente de la combustión en la cámara de combustión; esta particularidad permite trabajar con el bagazo recién salido del proceso de molienda que cuenta

<sup>37</sup> La panela. Disponible en: [http://www.trapichepanelerogualanday.com/LA\\_PANELA\\_PASOS\\_EN\\_LA\\_PREPARACION.pdf](http://www.trapichepanelerogualanday.com/LA_PANELA_PASOS_EN_LA_PREPARACION.pdf)

con una humedad aproximada de 55%. Con ello se logra aumentar la eficiencia de combustión, teniendo menos inquemados.

- El aire necesario para la combustión se suministra en dos etapas: La primera es el aire primario que corresponde al 70% del volumen total de diseño, y otra de aire secundario correspondiente al 30% restante en la parte superior de la cámara Ward.<sup>38</sup>

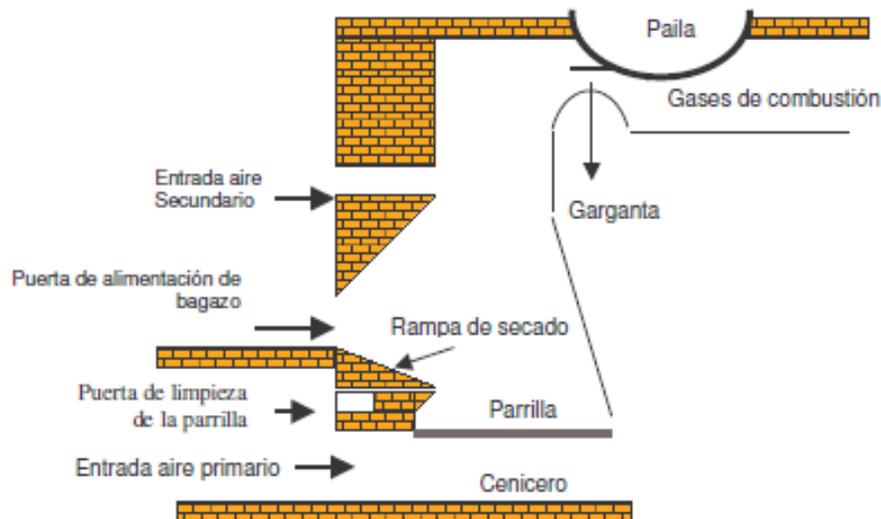
Figura 20. Hornillas tipo Ward-CIMPA



Fuente: SOLER, Juan y GÓMEZ, Franco. Determinación de los parámetros de diseño y operación de cámaras de combustión tipo ward-CIMPA y plana-CIMPA en hornillas paneleras. Pág 55.

<sup>38</sup> Gerardo Gordillo A, Hugo R. García B (1992). “Manual para el diseño y operación de hornillas paneleras” – CIMPA - Colombia.

Figura 21. Cámara de combustión de la Hornilla tipo Ward-CIMPA



Fuente: SOLER, Juan y GÓMEZ, Franco. Determinación de los parámetros de diseño y operación de cámaras de combustión tipo ward-CIMPA y plana-CIMPA en hornillas paneleras.

En una cámara de este tipo se pueden alcanzar temperaturas cercanas a  $1200^{\circ}\text{C}$ , con una producción promedio de monóxido de carbono de 3% en volumen y de dióxido de carbono de 14% en volumen, cuando se le suministra un exceso de aire y una humedad promedio de bagazo del 40%.<sup>39</sup>

### 2.3.18 Poder calorífico del bagazo de caña<sup>40</sup>

**Poder calorífico.** Generalmente, se determinan dos tipos de poder calorífico en los combustibles: uno denominado Poder Calorífico Superior, que tiene en cuenta el calor aprovechado si los productos de combustión salieran a la temperatura de referencia del proceso, y otro denominado Poder Calorífico Inferior, que tiene en cuenta el calor real aprovechado considerando que el agua producido por la combustión del hidrógeno y el agua contenida en el combustible sale en forma de vapor.

<sup>39</sup> REYES, Jeisson “Eficiencia energética del sistema de producción de caña panelera en el municipio del valle de san José, departamento de Santander” –Pontificia Universidad Javeriana – Colombia, 2003.

<sup>40</sup> SOLER, Juan y GÓMEZ, Franco. Determinación de los parámetros de diseño y operación de cámaras de combustión tipo ward-CIMPA y plana-CIMPA en hornillas paneleras. Trabajo de grado Ingeniería química. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química, 2004. Bucaramanga. 22p.

El Poder calorífico superior (PCS) para los combustibles biomásicos son del orden de 8500 a 9500 Btu/lb. El rango es causado por la variación de carbono y el bajo contenido de hidrógeno.

En el caso del bagazo, a pesar de las diferencias que en apariencia tienen las diversas variedades de caña, el poder calorífico superior del bagazo seco es notablemente constante en todos los países y en todas las variedades de caña; esto se observa en los datos reportados en la Tabla 7.

Tabla 7. Valor promedio del poder calorífico superior (PCS)

Autor	País	Referencia	V.C.S del bagazo seco (BTU/lb)
Behne	Queensland (Australia)	ISJ. (1935) P.160	8177
Hedley	Sudáfrica	ISJ. (1936) P.349	8253
Gregory	Cuba	FAS (1944) P.26	8444
Gregory	Puerto Rico	FAS (1944) P.26	8270
Promedio			8286

Fuente: HUGOT, 1982.

Aunque en la práctica, el bagazo que alimenta la hornilla no está seco, es posible tomar como valor promedio el valor del PCS del bagazo seco de: 8286 Btu/lb.

Es útil considerar el Poder Calorífico Inferior (PCI) del combustible, debido a que este valor representa la energía que realmente se puede capturar de un proceso de combustión.

Se puede calcular por la siguiente ecuación:

$$PCI_{bTU/LB} = PCS_{bTU/LB} - [(1050 * \xi) + (9 * H * 1050)] \quad (1)$$

$$PCI_{bTU/LB} = 8286 - [(1050 * 0.018) + (9 * 0.0615 * 1050)]$$

$$PCI_{bTU/LB} = 7685.92 \text{ Btu/lb} = 17877.45 \frac{kJ}{kg}$$

En la Tabla 8 se muestran los principales componentes que conforman el bagazo de caña. Al promediar estos valores se tienen los siguientes valores:

Carbono (C): 46.625%

Hidrogeno (H<sub>2</sub>): 6.15%

Oxigeno (O<sub>2</sub>): 45.425%

Cenizas (ξ); 1.8%.

Tabla 8. Composición química del bagazo de caña

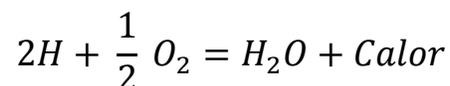
Componente	N. Deer	Tromp	Kelly	Kersten	Promedio
Carbono (C)	46.5	44	48.5	47.5	46.625
Hidrogeno (H <sub>2</sub> )	6.5	6	6	6.1	6.15
Oxigeno (O <sub>2</sub> )	46	48	43.3	44.4	45.425
Cenizas (ξ)	1	2	2.2	2	1.8

Fuente: HUGOT, 1982.

### 2.3.19 Combustión del bagazo

- Química de la Combustión de los sólidos

La combustión es la oxidación rápida de un combustible ( $C_x H_y O_z$ ) resultando en un gas no combustible:



La generación de gas ("gasificación") es la conversión de un combustible sólido ( $C_x H_y O_z$ ) en un gas combustible ( $CO, H_2, CH_x, CO_2, H_2O$ ), a través de los siguientes procesos:

- **Secado:**



- **Devolatilización:**

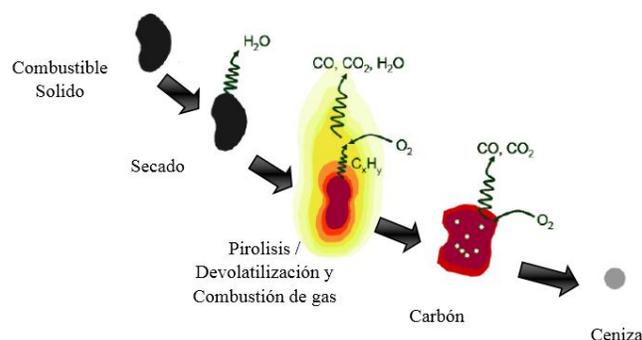


- **Gasificación:**



En la Figura 14 se aprecia el proceso por el que pasa la biomasa, en este caso el bagazo de caña, que finalmente se convierte en cenizas por medio de combustión y gasificación.

Figura 22. Etapas de la combustión de un sólido



Fuente: Energy from Biomass A Review of Combustion and Gasification Technologies.

La combustión completa de las biomazas depende del control de 5 factores:

- Cantidad de Aire (Oxígeno).
- Productos de combustión.
- Temperatura de combustión
- Tiempo de residencia.
- Turbulencia.

La cantidad de aire que debe suministrarse al proceso de combustión se adiciona en dos etapas, denominadas aire primario y aire secundario respectivamente el aire primario se suministra al combustible y el secundario se adiciona a la mezcla anterior.<sup>41</sup>

### 2.3.20 Principio de la combustión de la biomasa

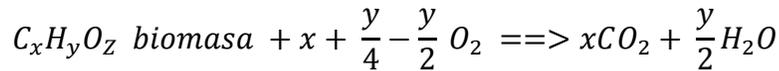
La composición variable de los combustibles biomásicos y el contenido variado de humedad y cenizas puede causar problemas de combustión y encendido. Hay numerosas maneras de abordar estos problemas, como son la mezcla de tipos de biomasa diferentes, que podrían mejorar la estabilidad de la llama, así como disminuir los efectos de la corrosión.

Cuando la biomasa es sometida a altas temperaturas, se producen cambios en su estructura química y sus componentes principales se degradan. Estos cambios dependen fundamentalmente de la forma de material, así como de los parámetros del proceso, como la velocidad de calentamiento. Cuando una biomasa como la madera se calienta progresivamente a temperaturas elevadas, se producen diversos productos de degradación. La pérdida de agua y de componentes volátiles tiene lugar a temperaturas por debajo de 140 °C. Cuando la temperatura se eleva por encima de 140 °C, ya se puede empezar a detectar la producción de CO<sub>2</sub> y CO.<sup>42</sup>

<sup>41</sup> Quaak Peter, Knoef Harrie, Stassen Hubert, (1999) Energy from Biomass A Review of Combustion and Gasification Technologies WORLD BANK TECHNICAL PAPER NO. 422 Energy Series.

<sup>42</sup> Ramajo-Escalera B, Espina A, García JR, Sosa-Arno JH, Nebra SA. 2006. Model-free Kinetics applied to sugarcane bagasse combustion. Thermochemica Acta 448(2):111-116.

El método más sencillo de extracción de energía útil de la biomasa seca es quemarla utilizando aire como el oxidante<sup>43</sup>. La química de la oxidación completa de materiales que contengan principalmente C, O y H se indica la forma siguiente:



Donde x, y, z representan la composición elemental media de la biomasa.

Si la combustión es incompleta debido a la insuficientes O<sub>2</sub> entonces se liberan en los gases de combustión tanto C, CO, hidrocarburos como otros gases y se reduce el calor de la reacción. En la Figura 15 se muestra el proceso de combustión de la biomasa.

El rendimiento termodinámico del calor obtenido de las reacciones de combustión, no se reduce por la presencia de humedad en la biomasa. Un contenido de humedad de más 30% impide la quema directa de la biomasa y es necesario entonces proceder a un secado previo, o alternativamente puede agregarse un combustible complementario. La combustión directa puede ser uno de los métodos más eficientes de utilizar la energía potencial de la biomasa, y lograr una eficiencia térmica de hasta 85%.

La combustión ideal es aquella que produce la oxidación completa de la parte orgánica sólida del combustible en gases CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. El proceso de conversión se realiza en tres pasos.<sup>44</sup>

- **Secado:** Vaporización de agua.
- **Pirolisis/gasificación:** Degradación térmica en la ausencia o presencia de oxígeno suministrado externamente.
- **Oxidación del carbón:** Oxidación final de los gases de carbón y combustión.

La relación entre la cantidad de aire añadido y el aire necesario para la combustión completa es el parámetro de control principal del proceso de combustión y se conoce como factor lambda ( $\lambda$ , exceso de aire).

Cuando  $\lambda$  es menor que 1, se produce una oxidación incompleta y no todo el combustible se convierte en energía térmica. O bien cuando  $\lambda \gg 1$ , se agrega demasiado aire que enfría el proceso y conduce a la combustión incompleta y pérdidas térmicas.

Idealmente,  $\lambda$  debe ser igual a 1 para la combustión óptima. Realmente esto es difícil debido a las limitaciones del sistema de mezcla. Por lo tanto, a fin de lograr una combustión completa, un  $\lambda$  entre 1,1 - 1,8 en grandes instalaciones y un  $\lambda$  1.5 - 2.0 para pequeñas

---

<sup>43</sup> Boyles, D. (1984) Bio-energy technology, thermodynamics and costs. Publication Details: Chichester Horwood, 1984.

<sup>44</sup> Obernberger, I.; Thek, G. (2004) Physical characterization and chemical composition of dandified biomass fuels with regard to their combustion behaviour. Source: Biomass and Bioenergy, v 27, n 6, p. 653-669

instalaciones es lo aconsejable, dependiendo por supuesto de la tecnología del sistema de combustión.<sup>45</sup>

### 2.3.21 Definiciones básicas de la termodinámica

El sistema, es la parte del mundo físico (objeto) que sometemos a estudio.

La frontera delimita al sistema y puede ser tanto real como imaginaria. La parte del mundo físico que está fuera de la frontera del sistema en estudio lo denominamos Ambiente. Si la frontera permite el intercambio de materia, calor y trabajo entre el sistema y el ambiente, se dice que el sistema es abierto. Por el contrario, si no hay flujo de materia a través de la frontera, aunque exista intercambio de calor y trabajo, se dice que el sistema es cerrado. Si el sistema no intercambia materia ni calor ni trabajo con el ambiente, entonces se habla de un sistema aislado.

Cada punto en el espacio termodinámico representa un estado del sistema, El estado o propiedades de un sistema es el conjunto de magnitudes necesarias para definir su condición en determinado momento y este queda completamente definido por dichas propiedades.

Las propiedades o magnitudes termodinámicas son la característica macroscópicas del sistema, a las cuales se les puede asignar un valor numérico en determinado momento sin necesidad de conocer la historia del sistema. Entonces, dos estados son idénticos siempre y cuando sus propiedades sean idénticas. Cuando el valor de alguna propiedad cambia, entonces el estado del sistema cambia y se dice que ha experimentado un proceso o una transformación. Si al final del proceso o serie de procesos los valores de todas las propiedades son idénticos a los valores iniciales, y por lo tanto el estado final es idéntico al estado inicial, entonces se dice que el sistema realizó un ciclo.<sup>46</sup>

Las propiedades o magnitudes termodinámicas cuyos valores no dependen de la cantidad de materia del sistema se conocen como propiedades intensivas. Por ejemplo se pueden citar:

La presión  $P$  y la temperatura  $T$ . Las que propiedades que si dependen de la cantidad de materia se denominan propiedades extensivas, como ejemplo podemos citar: la energía  $E$ , el volumen  $V$  y la entropía  $S$ , sus valores son directamente proporcionales a la cantidad de materia. Si dividimos una propiedad extensiva entre la cantidad de masa que tiene esta propiedad, proporción resultante, es independiente de la cantidad de materia y se conoce como propiedad extensiva específica como la energía específica  $e$ , el volumen específico  $v$ , o la entropía específica  $s$ .

Cuando un sistema aislado no presenta cambios en sus propiedades con el tiempo y por lo tanto su estado permanece constante, no intercambia calor ni trabajo ni materia con el ambiente, entonces se dice que está en estado de equilibrio termodinámico. Un sistema se

---

<sup>45</sup> Obernberger, I. Op cit. p. 653-669

<sup>46</sup> Montes J.M., Hernández J.M., Xiberta J., Cámara A., Querol E., (2001) "Análisis Exergético" apuntes de cátedra del Depto. De Ingeniería Química de la E.T.S. Ing. de Minas UPM.

encuentra en estado de equilibrio termodinámico cuando existe una condición de balance térmico, mecánico y químico; es decir, cuando la temperatura, la presión y el potencial químico del sistema son uniformes y permanecen constantes.

Cuando un sistema mantiene sus propiedades constantes pero existe un flujo de materia o de energía se dice que el sistema está en régimen permanente o estacionario. Un proceso cuasiestático o proceso de cuasiequilibrio es aquel durante el cual la separación del estado del sistema del estado de equilibrio termodinámico es a lo sumo infinitesimal. De este modo, todos los estados a través de los cuales pasa el sistema durante un proceso cuasiestático se consideran estados de equilibrio, y pueden representarse como puntos en el espacio termodinámico. Para un proceso cuasiestático, los valores de las propiedades intensivas son uniformes en todo el sistema en cada estado.

Cuando el objeto en estudio es una región dada del espacio dentro de unos límites definidos a dicha región se la denomina volumen de control, a través de la frontera del volumen de control puede fluir masa.<sup>47</sup>

### **2.3.22 Primera ley de la termodinámica: Balance de energía**

La primera Ley de la Termodinámica establece que para un sistema abierto con flujo estable, la cantidad neta de energía añadida al sistema como calor y cualquier forma de trabajo es igual a la energía almacenada de la materia que sale del sistema menos la energía almacenada de la materia que entra al sistema. Esta Ley se utiliza para realizar los balances de energía en procesos térmicos. Para un sistema cerrado, la primera ley implica que el cambio en la energía del sistema iguala a la energía neta transferida al sistema por medio de calor y trabajo.

En la ecuación anterior, se ha utilizado la convención usual de los signos: el calor es positivo cuando es añadido al sistema, y el trabajo es positivo cuando es producido por el sistema.

Aunque la Primera Ley puede determinar los requerimientos de transferencia de energía en la forma de calor y trabajo útil en un proceso, por cambios específicos de las corrientes, no puede dar información para determinar si la energía es usada de forma eficiente durante el proceso.

En general, la eficiencia de un sistema térmico indica la relación entre la energía útil producida y la cantidad de energía usada.

## **2.4 MARCO LEGAL**

### **2.4.1 Constitución política de Colombia**

Ley 40 de 1990, por la cual se dictan normas para la protección y desarrollo de la producción de la panela y se establece la cuota de fomento panelero.

---

<sup>47</sup> Morán, M. J., Shapiro, H. N. (2008) "Fundamentos de Termodinámica Técnica". Ed 6. Editorial Reverté.

## **2.4.2 Normas internacionales**

A la fecha de esta revisión no existe reglamentación internacional específica para panela, ni para productos similares.<sup>48</sup>

## **2.4.3 Normas nacionales**

La Resolución 779 de 2006 del Ministerio de la Protección Social: Establece los requisitos para la fabricación y comercialización de panela para consumo humano.

La Resolución 3462 de 2008 del Ministerio de la Protección Social: Establece la inscripción tanto de Trapiches Paneleros como de las Centrales de Acopio de mieles provenientes de trapiches paneleros y amplía el plazo de cumplimiento de los siguientes requisitos hasta septiembre de 2011:

- Separación de la vivienda.
- Delimitación física entre las áreas de recepción, producción, almacenamiento y servicios sanitarios.
- Servicios sanitarios conectados a un sistema de disposición de residuos.
- Flujo secuencial del proceso en la fábrica.
- Paredes, pisos y techo en buen estado y de materiales que puedan limpiarse fácilmente.<sup>49</sup>

---

<sup>48</sup><http://www.ins.gov.co/lineasdeaccion/investigacion/ueria/Publicaciones/CONCEPTO%20POLIACRILAMIDA%20EN%20PANELA.pdf>

<sup>49</sup> INVIMA y FEDEPANELA. ABC de la panela. Bogotá D.C, 2009.

### **3. DISEÑO METODOLÓGICO**

#### **3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El proyecto se desarrolló bajo el enfoque de investigación descriptiva, ya que utiliza el método de análisis, se logra caracterizar un objeto de estudio o una situación concreta, señala sus características y propiedades. Combinada con ciertos criterios de clasificación sirve para ordenar, agrupar o sistematizar los objetos involucrados en el trabajo indagatorio. Su objetivo es describir la estructura de los fenómenos y su dinámica.<sup>50</sup>

Esta investigación consiste en determinar y/o conocer la eficiencia energética de la hornilla panelera, de la finca san Antonio, en el municipio de Convención, Norte de Santander; analizando los procesos involucrados, e identificando las variables que intervienen en dichos procesos, de igual forma se analizaron cuidadosamente los datos obtenidos y los resultados, con el fin de obtener generalizaciones que contribuyan al mejoramiento de este tipo de hornillas, debido a que se presenta en toda la zona panelera nortesantandereana.

En la Figura 23, se muestra la problemática que existe con su respectivo planteamiento dándole solución a diferentes aspectos considerados. Una herramienta fundamental para la mejora de esta hornilla.

---

<sup>50</sup> BEHAR RIVERO, Daniel. Metodología de la investigación, 2008. p. 21.

Figura 23. Diseño metodológico del problema



Fuente: Autores del proyecto

### 3.2 FASES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

#### 3.2.1 Fase I. Recopilación inicial de información

Esta primera fase cumple con el primer objetivo específico, lo cual se obtuvo como información inicial, la cantidad aproximada de fincas paneleras en la provincia de Ocaña y sus alrededores y en los cuales se procesa la caña, representando un modo de trabajo medianamente alto para la región. Para este estudio se tomó como referencia, la hornilla de la finca San Antonio, en el municipio de Convención, la cual mantiene una producción constante de panela, aproximadamente se realiza una molienda cada 15 días, Esta etapa del proyecto se sintetiza lo relacionado con el conocimiento de toda la zona panelera y proceso de elaboración, entre otros conceptos claves para la ejecución de este proyecto.

### **3.2.2 Fase II. Toma de datos**

Esta primera fase cumple con el segundo y tercer objetivo específico, los cuales van de la mano, ya que una vez se hayan determinado las temperaturas en el interior de la hornilla a través del programa Horno Test 1.2, el cual está diseñado para monitorear diferentes temperaturas al tiempo a intervalos requeridos, a través de un módulo de adquisición de datos, tarjeta de adquisición, termopares tipo k, los cuales estuvieron distribuidos entre las pailas y en el tiro de la chimenea, para registrar y almacenar las temperaturas en cada una de ellas, además, por medio de un analizador de gases se determinan los contaminantes provenientes de la combustión que salen por el tiro de la chimenea. Para hallar la humedad relativa del bagazo de caña, se implementa un higrómetro.

### **3.2.3 Fase III. Calculo de eficiencia energética en la hornilla panelera**

En esta etapa del proyecto se determina la eficiencia de la hornilla a través de la evaluación del balance de energía calculado. Por lo que al conocer la eficiencia de la hornilla se sabe si la energía que se suministra al proceso se está aprovechando toda, y también se puede caracterizar la hornilla e identificar sus fallas.

## **4. GENERALIDADES Y FUNCIONAMIENTO DE LA HORNILLA**

### **4.1 GENERALIDADES DE LA HORNILLA**

La hornilla está ubicada bajo tierra, de forma rectangular, sobre la cual, el jugo de la caña es evaporado en las pailas. Luego de haber molido la caña y de haberla dejado secar de dos a cuatro meses. Se reutiliza el bagazo de caña como combustible para la hornilla.<sup>51</sup> Los gases de escape son liberados a la atmósfera a través de una chimenea vertical. El jugo de caña pasa a través de las cinco pailas para su clarificación y preparación, con el fin de llevarlo luego a los moldes del producto final.

### **4.2 FUNCIONAMIENTO DE LA HORNILLA**

El principio de funcionamiento de la hornilla en la finca San Antonio consiste en este caso, en llenar la cámara de combustión, que es un espacio rectangular, con el bagazo de caña que cuenta con un secado al aire libre de dos a cuatro meses. Una vez llenada la cámara, se enciende con una mechera o con fósforos una pequeña tira de bagazo y se deposita en la boca de la hornilla. Un momento después, comienza el fuego a propagarse como como se ve en la Figura 24.

Figura 24. Inicio de la quema en la boca de la hornilla



Fuente: Autores del proyecto.

---

<sup>51</sup> Vishal R. Sardeshpande, D.J. Shendage y Indu R. Pillai. Thermal performance evaluation of a four pan jaggery processing furnace for improvement in energy utilization. Department of Energy Science and Engineering, Indian Institute of Technology, Bombay, India. 2010.

El fuego se propaga de una forma continua, haciendo que el calor generado se transmita a las paredes semiesféricas de las pailas. Las cenizas provocadas por la combustión del bagazo, llegan al fondo por medio de unas cavidades hechas en la parrilla, mostradas en la Figura 25.

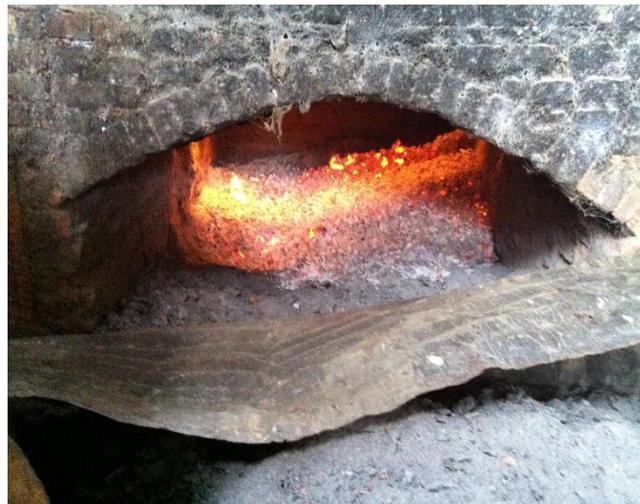
Figura 25. Aberturas en la parrilla de la hornilla



Fuente: Autores del proyecto.

Al final de la quema, las cenizas son removidas por medio del cenicero ubicado a un costado de la hornilla, como se ve en la Figura 26. Durante el funcionamiento de la hornilla, el cenicero es sellado por medio de una lámina de cinc.

Figura 26. Cenicero de la hornilla



Fuente: Autores del proyecto.

Una vez terminada la quema, las cenizas se usan para la fabricación de abono que sirve para mejorar las tierras donde se cultivan las cañas paneleras.

El humo que produce la hornilla llega hasta la chimenea donde finalmente sale al medio ambiente. En la Figura 27 se muestra la chimenea evacuando los gases de combustión.

Figura 27. Chimenea de la hornilla



Fuente: Autores del proyecto.

La carga de bagazo de caña se hace de manera intermitente, aproximadamente cada dos horas, de modo que el parrillero debe estar atento para alimentar la hornilla constantemente.

## 5. INSTRUMENTOS UTILIZADOS PARA LA TOMA DE DATOS

Los instrumentos que se utilizaron para hacer las mediciones fueron los siguientes:

### 5.1 TERMOPARES

Se usaron para medir las temperaturas presentes durante la quema en la hornilla panelera, por lo cual, se necesitó taladrar las superficies entre las pailas y también en el tiro de la chimenea. En la figura 28 se muestran los termopares usados para este propósito.

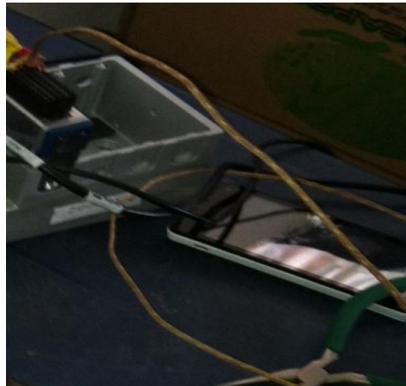
Figura 28. Termopares de bulbo tipo k



Fuente: Autores del proyecto.

Para medir las temperaturas externas de la hornilla se utilizaron termopares tipo k con recubrimiento, ver Figura 29.

Figura 29. Termopares tipo k con recubrimiento

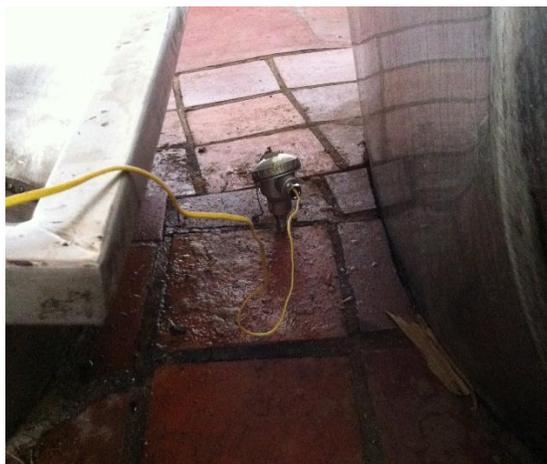


Fuente: Autores del proyecto.

## 5.2 CABLES

Estos son usados para llevar la información que suministran los termopares de bulbo tipo k al módulo de adquisición de datos para después ser tabulados los datos en el software Horno Test 1.2. En la Figura 30, se aprecia el cable amarillo y el termopar ubicado entre las pailas

Figura 30. Cables para los termopares de bulbo tipo k.

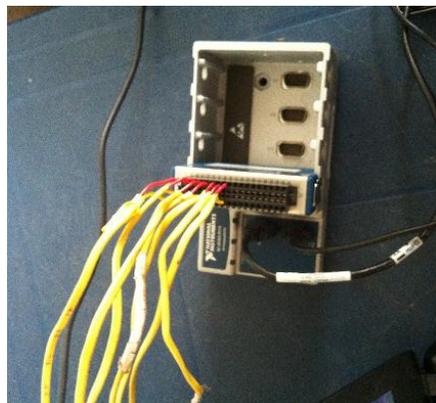


Fuente: Autores del proyecto.

## 5.3 MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Consiste en un equipo que hace uso de tarjetas de adquisición de datos, donde se pueden conectar los cables que están en los termopares. El módulo permite transmitir los datos de temperatura registrados a una interfaz digital, como es el caso del software Horno Test 1.2. En la Figura 31 se muestra el módulo de adquisición de datos de la marca National Instruments, donde se encuentran cuatro ranuras, y en una de ellas está ubicada la tarjeta de datos (NI 9213) con sus respectivos cables.

Figura 31. Módulo de adquisición de datos



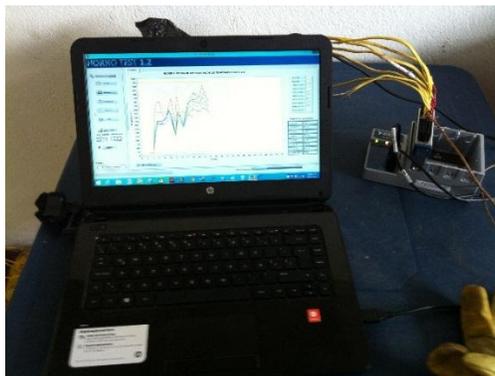
Fuente: Autores del proyecto.

#### 5.4 SOFTWARE HORNO TEST 1.2

Este es un software diseñado por el ingeniero mecánico Daniel Ernesto Marrugo C, para hacer perfiles de temperatura en diferentes hornos.

Después de ubicar todos los termopares en su respectiva posición y de estar instalados todos los cables de manera correcta, se conecta el módulo a un computador por medio de un cable USB. En la Figura 32 se ve el software Horno test 1.2, con una interfaz intuitiva, en funcionamiento haciendo los perfiles de temperatura en tiempo real, registrando los datos a intervalos de 3 minutos.

Figura 32. Software Horno Test en funcionamiento



Fuente: Autores del proyecto.

Finalmente, cuando los perfiles de temperatura estén completos, se le da una instrucción al programa que detiene la adquisición de datos y se puede fácilmente exportar los datos a Excel para ver y analizar las tablas y las gráficas arrojadas por el programa.

#### 5.5 SENSOR INFRARROJO DE TEMPERATURA

Se usó para medir las temperaturas en la superficie de las pailas. Ver Figura 33.

Figura 33. Sensor infrarrojo de temperatura



Fuente: Autores del proyecto.

## 5.6 HIGRÓMETRO

Con el higrómetro se hicieron las mediciones de la humedad relativa presente en el bagazo de caña, mostrando valores de 80.6% para bagazo recién sacado, 21.1% para dos meses de secado del bagazo. Finalmente se obtuvo un valor de 11% para el bagazo secado a cuatro meses. En la Figura 34 se muestra el higrómetro.

Figura 34. Higrómetro



Fuente: Autores del proyecto.

## 5.7 ANALIZADOR DE GASES DE COMBUSTIÓN

Este instrumento se usó para medir la cantidad de CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NO, presión, temperatura, la relación CO/CO<sub>2</sub>, exceso de aire y la eficiencia de combustión.

En la Figura 36 se muestra el analizador de gases equipado con una impresora portátil para registrar los datos mostrando el comportamiento de los gases a través de la chimenea.

Figura 35. Analizador de gases de combustión

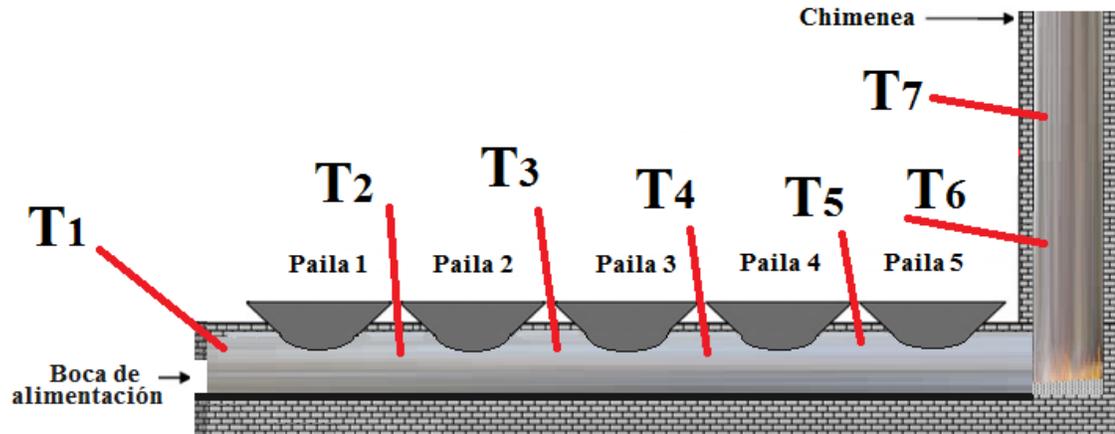


Fuente: Autores del proyecto.

## 6. PERFILES DE TEMPERATURAS EN LA HORNILLA

En la Figura 36, se muestra la ubicación correspondiente a los termopares en la hornilla de la finca panelera San Antonio.

Figura 36. Ubicación de los termopares en la hornilla.

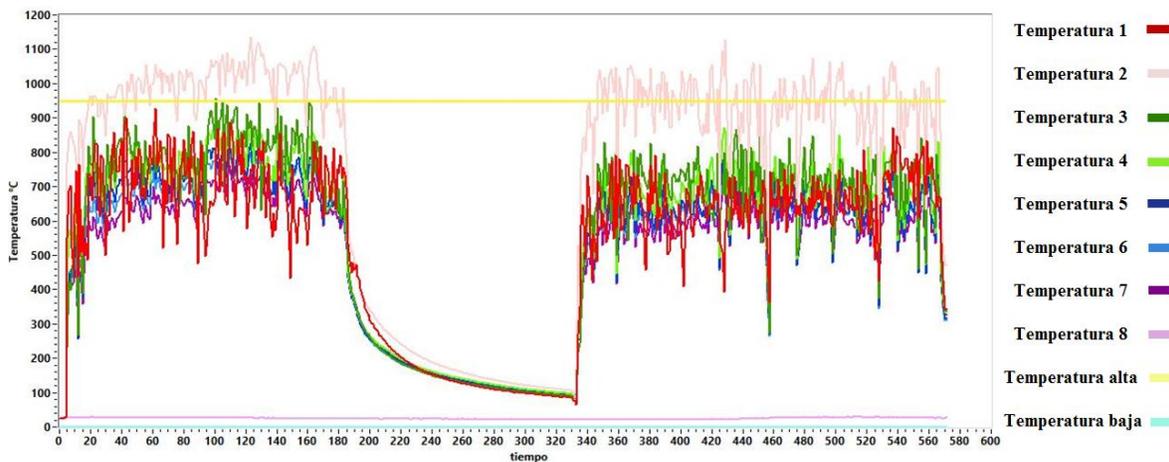


Fuente: Autores del proyecto.

A continuación se muestran los perfiles de temperatura para los termopares de la Figura 37. Se puede observar además, que en todos los perfiles mostrados, existen dos etapas en la quema total hecha en la hornilla.

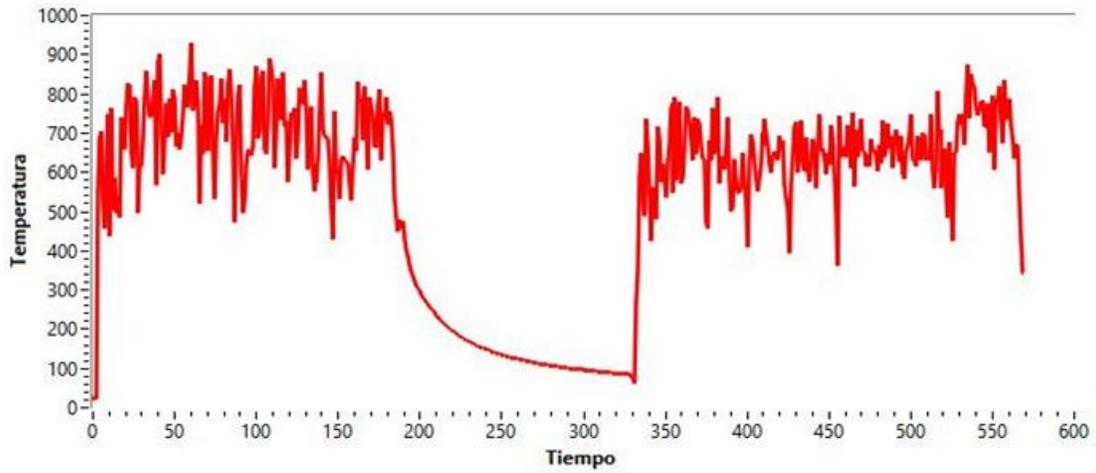
En la Figura 39, donde se encuentra el termopar 2, es el lugar donde se registra la mayor temperatura, con un valor máximo reportado de 1120.30 °C.

Figura 37. Perfil de temperaturas de los termopares en la hornilla.



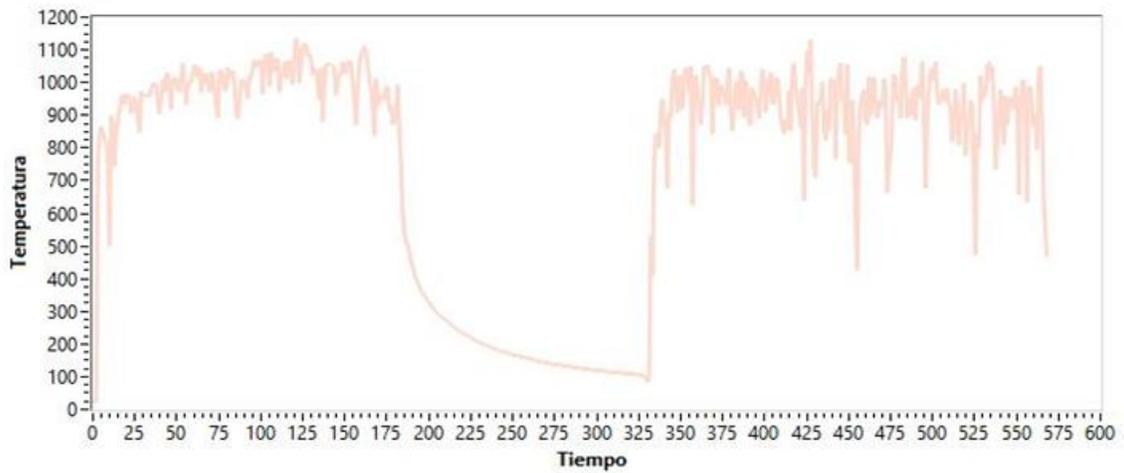
Fuente: Autores del proyecto.

Figura 38. Perfil de temperaturas para el termopar 1 (T1).



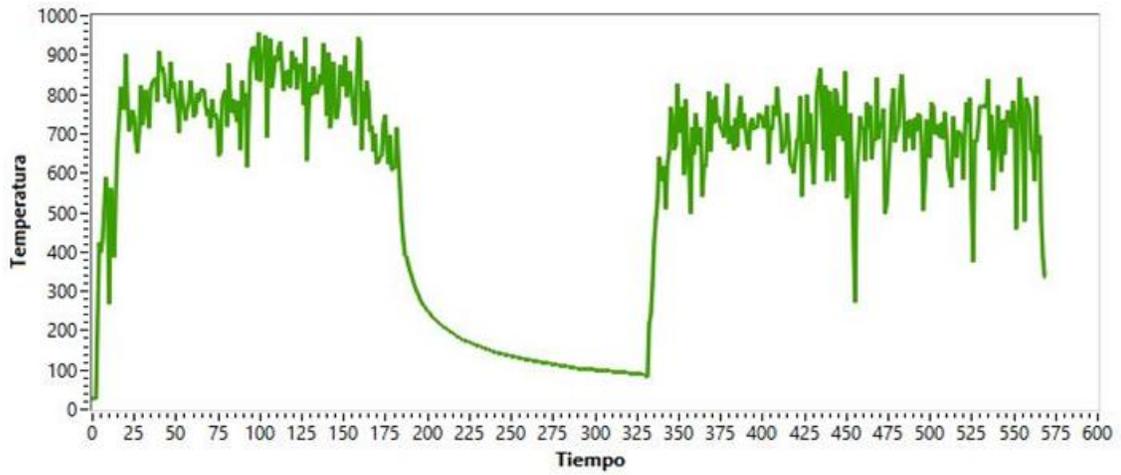
Fuente: Autores del proyecto.

Figura 39. Perfil de temperaturas para el termopar 2 (T2).



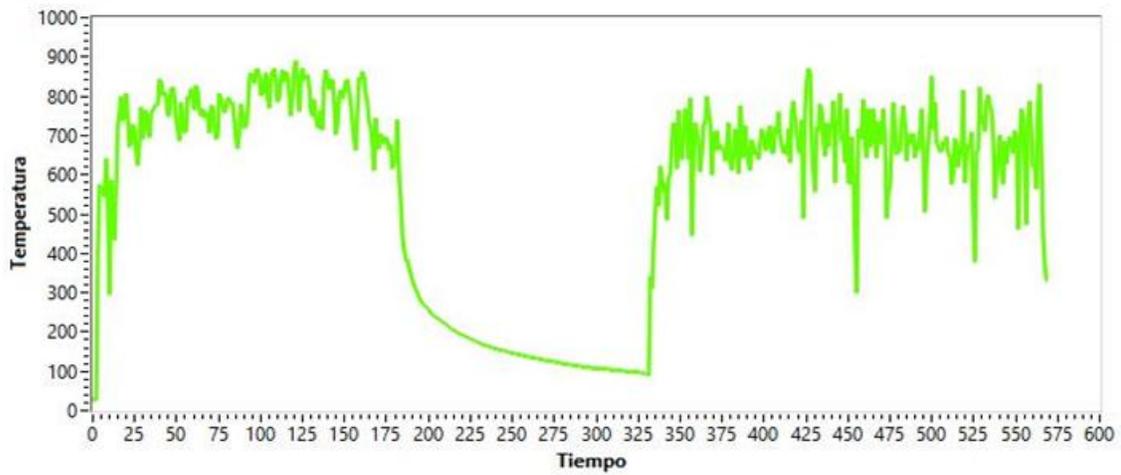
Fuente: Autores del proyecto.

Figura 40. Perfil de temperaturas para el termopar 3 (T3).



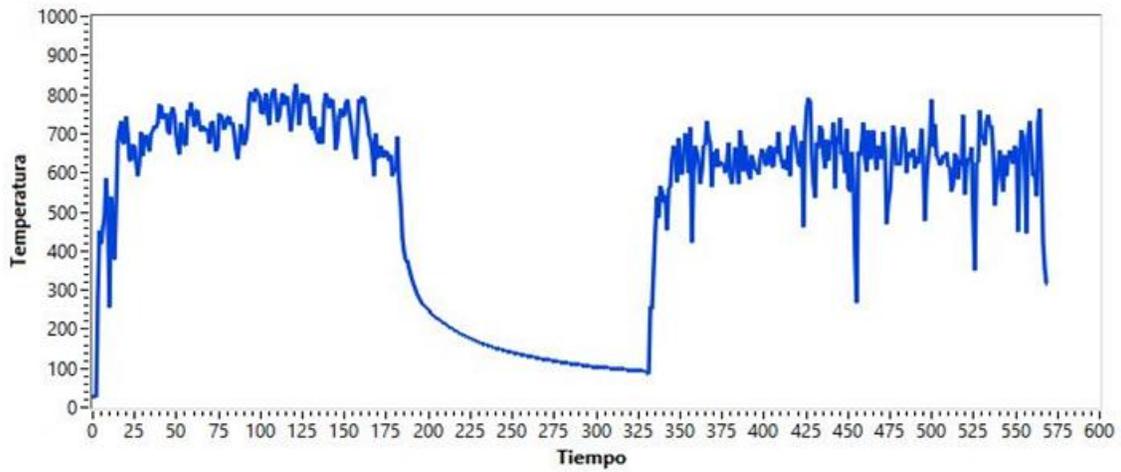
Fuente: Autores del proyecto.

Figura 41. Perfil de temperaturas para el termopar 4 (T4).



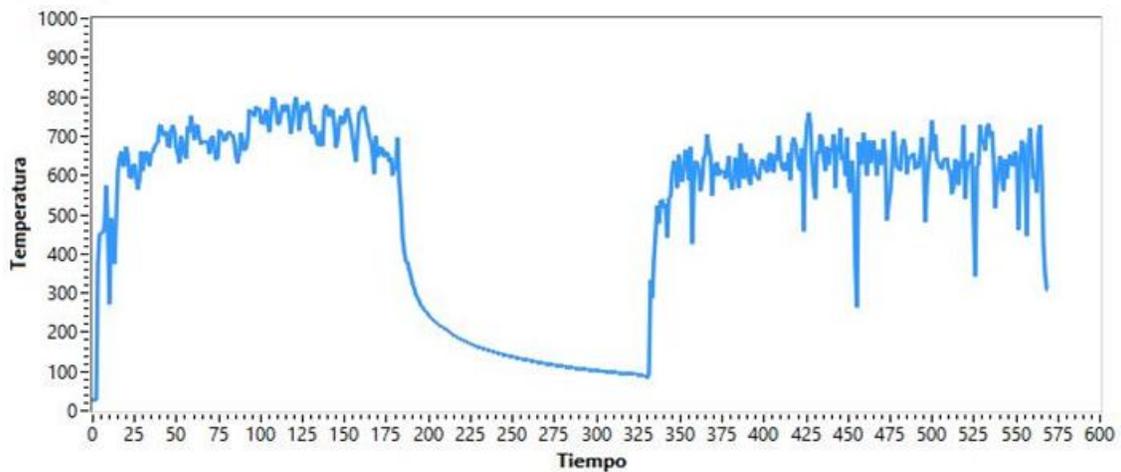
Fuente: Autores del proyecto.

Figura 42. Perfil de temperaturas para el termopar 5 (T5).



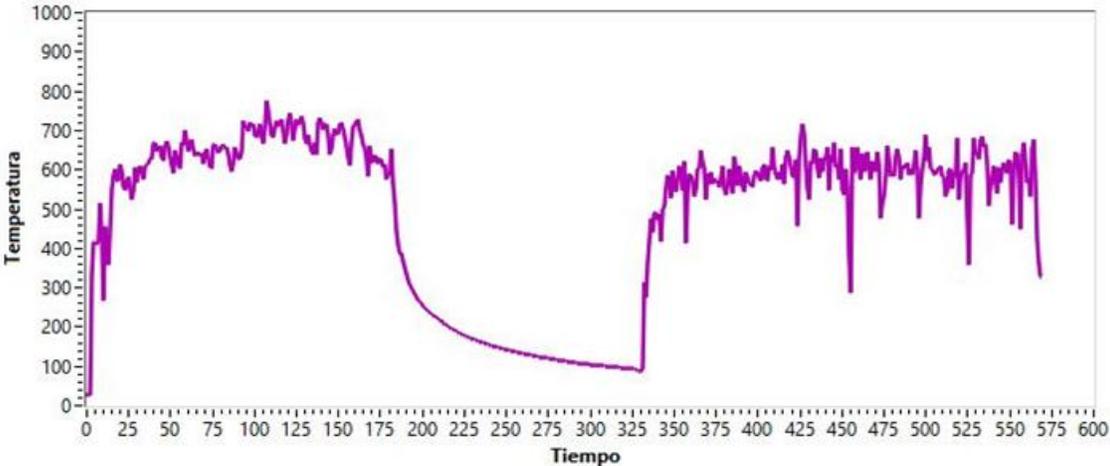
Fuente: Autores del proyecto.

Figura 43. Perfil de temperaturas para el termopar 6 (T6).



Fuente: Autores del proyecto.

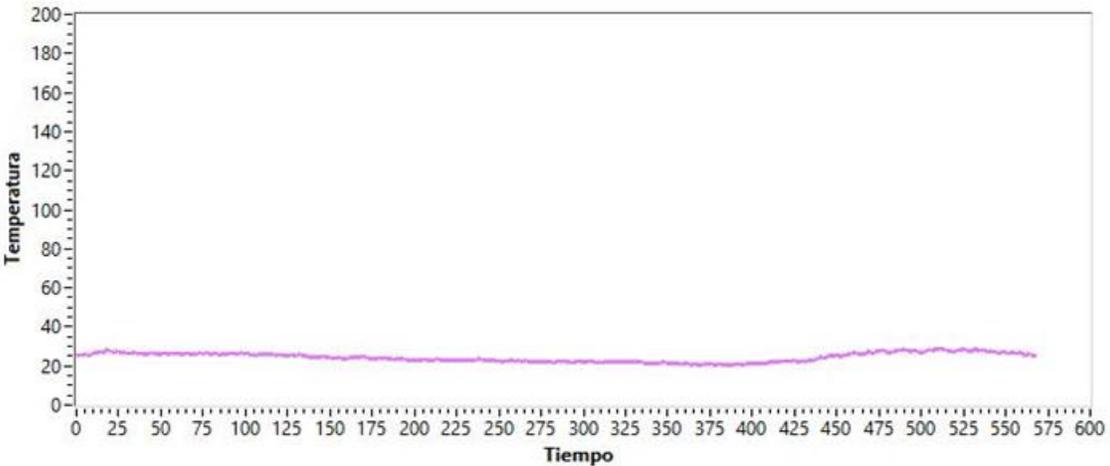
Figura 44. Perfil de temperaturas para el termopar 7 (T7).



Fuente: Autores del proyecto.

Se usó un termopar con recubrimiento tipo k (termopar 8), que indica el comportamiento de la temperatura ambiente del lugar.

Figura 45. Perfil de temperaturas para el termopar 8 (T8).



Fuente: Autores del proyecto.

## 7. EVALUACIÓN TÉRMICA DE LA HORNILLA PANELERA

### 7.1 CALOR SUMINISTRADO POR EL BAGAZO DE CAÑA<sup>52</sup>

Este es el calor total aportado a la hornilla a través del bagazo para la transferencia de calor a las pailas.

Con el programa de adquisición de datos Horno Test 1.2, se midieron los perfiles de temperatura para el proceso de quema en la Finca San Antonio, con un tiempo estimado de 28.6 horas, y en ese lapso hubo dos etapas de producción de panela. La primera etapa duró 9.5 horas, desde la molienda de la caña, hasta llegar al producto final. En la gráfica de los perfiles de temperatura se puede observar una parada en la hornilla entre las dos etapas (ver Figura 36). La segunda etapa duró 11.5 horas. El tiempo de parada en la hornilla entre las dos etapas fue de 7.6 horas.

Para la quema total de bagazo como combustible, se usa una cantidad de 5250 kg. Para la primera etapa se utilizó 2375 kg y para la segunda, una masa de 2875 kg.

Por medio del perfil de temperaturas, se observan 190 muestras en la adquisición de datos de temperaturas en la hornilla, donde cada muestra presenta mediciones cada tres minutos a con ayuda de los termopares. Se calcula un tiempo de 570 minutos, que es igual a 9.5 horas, el cual es el tiempo requerido para la quema durante la evaluación térmica de la hornilla.

Para el balance energético se tomó como referencia la primera etapa mencionada anteriormente.

$$Q_{sum} = m_{bs} * PCI \quad (1)$$

$$PCI = 17877.45 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}^{53}$$

$$Q_{sum} = 2375 * 17877.45$$

$$Q_{sum} = 42,46 * 10^6 \text{ kJ}$$

Donde:

$Q_{sum}$  es el calor suministrado por el bagazo seco. (kJ)

---

<sup>52</sup> GONZÁLEZ ARIZA, Karime Lizeth. Determinación de pérdidas energéticas y sus puntos críticos, en hornillas paneleras ward-cimpa en la hoya del río Suárez. Bucaramanga. 2010. Trabajo de Grado (Ingeniera Química). Universidad Industrial De Santander. Facultad De Ciencias Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.

<sup>53</sup> TranslatorCafé.com. Disponible en: [http://www.translatorscfe.com/cafe/EN/units-converter/fuel-efficiency-mass/5-2/Btu\\_\(IT\)%2Fpound-kilojoule%2Fkilogram/](http://www.translatorscfe.com/cafe/EN/units-converter/fuel-efficiency-mass/5-2/Btu_(IT)%2Fpound-kilojoule%2Fkilogram/)

$m_{bs}$  es la cantidad total del bagazo en la primera etapa. (kg)

$PCI$ : Poder calorífico inferior. (kJ/kg)

## 7.2 CALOR POR AGUA FORMADA EN LA COMBUSTIÓN<sup>54</sup>

$$Q_{ac} = m_{cu} * m_{ac}(h_g - u_a) \quad (2)$$

Donde:

$Q_{ac}$ : Calor por agua formada en la combustión

$m_{cu}$ : Masa del bagazo durante la quema (kg)

$m_{ac}$ : Masa del agua formada en la combustión (kg  $H_2O$  / kg bagazo)

$h_g$ : Entalpía del agua de vapor (kJ/kg)

$u_a$ : Energía interna del agua (kJ/kg) a 20°C

Se halla  $m_{ac}$

$$m_{ac} = 9 \left( H_2 - \frac{O_2}{8} \right)$$

$$m_{ac} = 9 \left( (0,0615 - \frac{0,45425}{8}) \right)$$

$$m_{ac} = 0,0425 \text{ kg } H_2O / \text{ kg bagazo}$$

Se halla el  $m_{cu}$  para cada media hora, de la siguiente manera: Como la quema dura 9.5 horas, se halla la cantidad de bagazo para cada 0.5 horas (media hora), para que resulten 19 tomas seleccionadas para calcular el calor.

$$m_{cu} = 0.5 * 2375 \text{ kg} / (9.5 \text{ h})$$

$$m_{cu} = 125 \text{ kg}$$

Para el primer calor obtenido en la Tabla 9, se reemplaza en (2) y se obtiene:

---

<sup>54</sup> VERA Duarte, Luis Emilio. Evaluación de las pérdidas de energía en los hornos tipo colmena de tiro invertido en la ladrillera Cúcuta. Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de ingeniería. 2003.

$$Q_{ac} = 125 * 0.0425(2548.32 - 83.91)$$

$$Q_{ac} = 13.086 * 10^3 \text{ kJ}$$

Tabla 9. Calor por agua formada en la combustión

Energía interna del agua		83,913	<i>kJ / kg</i>	Entalpía del vapor	$Q_{ac}$
Tiempo	N° de horas	Masa del bagazo (kg)	Temp. Gases (T <sub>7</sub> tiro sup), (°C)	(KJ/Kg)	(KJ)
10:28:16 a. m.	0	125	26,00	2548,32	13086,37371
10:58:18 a. m.	00:30	125	435,61	3354,67	17366,95828
11:28:18 a. m.	00:30	125	572,39	3646,5	18916,1652
11:58:18 a. m.	00:30	125	605,14	3717,79	19294,61484
12:28:18 p. m.	00:30	125	628,88	3770,86	19576,34191
12:58:18 p. m.	00:30	125	661,02	3842,74	19957,92363
1:28:18 p. m.	00:30	125	699,82	3929,5	20418,49723
1:58:18 p. m.	00:30	125	616,78	3743,82	19432,79754
2:28:18 p. m.	00:30	125	647,16	3811,75	19793,41031
2:58:18 p. m.	00:30	125	645,68	3808,44	19775,83887
3:28:18 p. m.	00:30	125	715,41	3965,45	20609,34117
3:58:18 p. m.	00:30	125	717,83	3971,03	20638,96313
4:28:18 p. m.	00:30	125	687,40	3901,42	20269,43191
4:58:18 p. m.	00:30	125	721,11	3978,6	20679,14918
5:28:18 p. m.	00:30	125	731,54	4002,66	20806,87395
5:58:18 p. m.	00:30	125	689,97	3907,49	20301,65508
6:28:18 p. m.	00:30	125	711,31	3955,99	20559,12188
6:58:18 p. m.	00:30	125	660,28	3841,09	19949,16445
7:28:18 p. m.	00:30	125	576,77	3655,98	18966,49066
<b>Total</b>	<b>09:30</b>				<b>370 399.11</b>

### 7.3 CALOR PARA EXTRAER LA HUMEDAD DEL BAGAZO DE CAÑA.<sup>55</sup>

Es el calor necesario para evaporar el agua que está contenida en el bagazo seco.

$$Q_{hr} = m_b * y_{hr} * (h_{va} - u_{ac}) \quad (3)$$

<sup>55</sup> MENESES, Calderón. JOSÉ Agustín. Evaluación de las Perdidas de Energía en los Hornos tipo Colmena de Tiro Invertido. Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de Ingeniería. Plan de estudios de Ingeniería Mecánica San José de Cúcuta. 2003.

Donde:

$Q_{hr}$ : Calor para extraer la humedad en el bagazo de caña (kJ)

$m_b$ : Masa total del bagazo de caña (kg)

$y_{hr}$ : Humedad relativa del bagazo de caña (%)

$h_{va}$ : Entalpía del vapor de agua a la temperatura de los gases de la chimenea (kJ/kg)<sup>56</sup>

$u_{ac}$ : Energía interna del agua (kJ/kg)<sup>57</sup>

Remplazando en la ecuación, se obtiene el calor de ejemplo para la primera temperatura registrada en la termocupla ubicada en la chimenea (T 7), el calor generado para extraer la humedad del bagazo de caña es la sumatoria de todos los calores, como se ve en la Tabla 10.

Como el agua se evapora a los 100 °C, se tomará la entalpía de los gases y la energía interna del material a 20°C.

Para el primer calor obtenido en la Tabla 10, se remplaza en (3) y se obtiene:

$$Q_{hr} = 2375 * 0.11 * (2548.32 - 83.91)$$

$$Q_{hr} = 643.83 * 10^3 \text{ kJ}$$

Tabla 10. Calor para extraer la humedad del bagazo

<b>Calor por humedad de carbón</b>					
<b>Humedad del bagazo</b>		0.11	<b>%</b>	<b>Entalpía del vapor</b>	$Q_{hr}$
<b>Energía interna del agua</b>		83,91	<b>kJ / kg</b>		
Tiempo	N° de horas	Temp. Gases (T7), (°C)		(KJ/Kg)	(KJ)
10:28:16 a. m.	0	26,00		2548,32	643827,1125
10:58:18 a. m.	00:30	435,61		3354,67	854486,05
11:28:18 a. m.	00:30	572,39		3646,5	930726,6375
11:58:18 a. m.	00:30	605,14		3717,79	949351,15
12:28:18 p. m.	00:30	628,88		3770,86	963215,6875
12:58:18 p. m.	00:30	661,02		3842,74	981994,3375
1:28:18 p. m.	00:30	699,82		3929,5	1004660,388
1:58:18 p. m.	00:30	616,78		3743,82	956151,4875
2:28:18 p. m.	00:30	647,16		3811,75	973898,2
2:58:18 p. m.	00:30	645,68		3808,44	973033,4625

<sup>56</sup> Cengel 6ed

<sup>57</sup> Ibid., p. 910

3:28:18 p. m.	00:30	715,41	3965,45	1014052,325
3:58:18 p. m.	00:30	717,83	3971,03	1015510,1
4:28:18 p. m.	00:30	687,40	3901,42	997324,4875
4:58:18 p. m.	00:30	721,11	3978,6	1017487,763
5:28:18 p. m.	00:30	731,54	4002,66	1023773,438
5:58:18 p. m.	00:30	689,97	3907,49	998910,275
6:28:18 p. m.	00:30	711,31	3955,99	1011580,9
6:58:18 p. m.	00:30	660,28	3841,09	981563,275
7:28:18 p. m.	00:30	576,77	3655,98	933203,2875
<b>Total</b>	<b>09:30</b>			<b>18 224 750.36</b>

Fuente: Autores del proyecto.

#### 7.4 CALOR PERDIDO POR INQUEMADOS EN LAS CENIZAS<sup>58</sup>

Según estudios del laboratorio de carbonos de la Universidad Nacional de Colombia seccional Medellín, los inquemados son en promedio, el 55% de los residuos del bagazo de caña. Se considera que los inquemados tienen valores muy bajos y se pueden omitir.<sup>59</sup>

El flujo másico de los residuos, es la cantidad de cenizas presentes en el bagazo.

$$Q_i = m_b * c_r * P_f * PCI \quad (4)$$

Donde:

$m_b$ : Masa total de bagazo (kg)

$C_r$ : Cenizas residuales (%) (55%)

$P_f$ : Pérdida por ignición<sup>60</sup> (%)

$PCI$ : Poder calorífico inferior del bagazo (kJ/kg).

Remplazando los valores en (4) se obtiene:

$$Q_i = 2375 * 0.55 * 0.11 * 17877.45$$

$$Q_i = 2.57 * 10^6 \text{ kJ}$$

<sup>58</sup> MENESES, Calderón. JOSÉ Agustín. Evaluación de las Perdidas de Energía en los Hornos tipo Colmena de Tiro Invertido. Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de Ingeniería. Plan de estudios de Ingeniería Mecánica San José de Cúcuta. 2003.

<sup>59</sup> OSORIO SARAZ, Jairo. VELASQUEZ, Hector José.

<sup>60</sup> Vidal, Diana. Torres Janeth y Mejía Ruby. González, Luis O. Estudio comparativo de cenizas de bagazo de caña como adición puzolánica. Revista Colombiana de Materiales N. 5 p. 13-18

## 7.5 CALOR PERDIDO EN LA CHIMENEA<sup>61</sup>

Es el calor desaprovechado que sale por la superficie de la chimenea del horno.

$$Q_{ch} = m_g * C_g * (T_{ch} - T_{amb}) * t \quad (5)$$

$m_g$ : Masa de los gases que salen de la chimenea (1800 kg/h)<sup>62</sup>

$C_g$ : Calor específico de los gases de escape (kJ/kg\*K)

$\Delta T$ : Diferencia de temperatura entre los gases de escape y el medio ambiente.

$$C_g = 0.23 + 0.00005 * T_7 \quad (5.1)$$

A continuación se hará un ejemplo del cálculo del calor perdido en la chimenea, reemplazando los datos en (5). El peso de los humos producidos por un kilogramo de carbón en unidad de tiempo es:

$$Q_{ch} = 1800 * 0.2517 * (435.61 - 25.81)$$

$$Q_{ch} = 92.86 * 10^3 \text{ kJ}$$

En la Tabla 11 se muestra la sumatoria de todos los calores perdidos en la chimenea durante la quema.

Tabla 11. Calor perdido en la chimenea

Hora de toma	N° de horas	Temperatura Gases (°C)	Temperatura ambiente (°C)	Calor específico	Qch
		T 7 (°C)	T 8 (°C)	(kJ/kg.K)	
10:28:16 a. m.	0	26,00	25,44	0,23130	kJ
10:58:18 a. m.	00:30	435,61	25,81	0,25178	92861,68401
11:28:18 a. m.	00:30	572,39	28,16	0,25862	126673,6414
11:58:18 a. m.	00:30	605,14	26,75	0,26026	135477,0416
12:28:18 p. m.	00:30	628,88	26,43	0,26144	141756,244
12:58:18 p. m.	00:30	661,02	25,62	0,26305	150428,3449
1:28:18 p. m.	00:30	699,82	25,76	0,26499	160757,8501
1:58:18 p. m.	00:30	616,78	26,28	0,26084	138622,8866

<sup>61</sup> MENESES, Calderón. JOSÉ Agustín. Evaluación de las Perdidas de Energía en los Hornos tipo Colmena de Tiro Invertido. Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de Ingeniería. Plan de estudios de Ingeniería Mecánica San José de Cúcuta. 2003.

<sup>62</sup> ARRIETA, Ana y CANO, Eder. Análisis del potencial de la industria panelera del departamento del Tolima para el desarrollo de proyectos MDL, basados en el aumento de la eficiencia energética a partir de hornillas mejoradas. Universidad Industrial de Santander. Escuela de ingeniería química. Bucaramanga. 2012.

<sup>63</sup> VERA, Luis Emilio. Evaluación de las pérdidas de energía en los hornos tipo colmena de tiro invertido en la ladrillera Cúcuta. Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de ingeniería. 2003.

2:28:18 p. m.	00:30	647,16	26,36	0,26236	146584,6618
2:58:18 p. m.	00:30	645,68	26,04	0,26228	146269,492
3:28:18 p. m.	00:30	715,41	26,46	0,26577	164792,3274
3:58:18 p. m.	00:30	717,83	25,95	0,26589	165568,5099
4:28:18 p. m.	00:30	687,40	25,51	0,26437	157485,4734
4:58:18 p. m.	00:30	721,11	25,45	0,26605	166575,7522
5:28:18 p. m.	00:30	731,54	24,56	0,26657	169618,1467
5:58:18 p. m.	00:30	689,97	24,50	0,26449	158414,2351
6:28:18 p. m.	00:30	711,31	23,84	0,26556	164311,4829
6:58:18 p. m.	00:30	660,28	24,32	0,26301	150539,7451
7:28:18 p. m.	00:30	576,77	23,76	0,25884	128826,251
<b>Total</b>	<b>09:30</b>				<b>2 665 563.77</b>

## 7.6 CALOR TRANSFERIDO A LAS PAILAS

Al considerarse la temperatura de los gases, como la temperatura de la superficie interior, ya que presenta una diferencia de temperatura pequeña. Donde se podrá obtener las pérdidas de calor máxima durante el proceso de cocción.

Se usa la ecuación de transferencia de calor<sup>64</sup>:

$$Q_{pa} = A * U * DMLT * t \quad (6)$$

Donde:

$Q_{pa}$ : Calor transferido a las pailas

$A$ : Área de transferencia de calor a las pailas

$U$ : Coeficiente global de transferencia de calor<sup>65</sup> (74.5 W/m<sup>2</sup>\*K)

$DMLT$ : Temperatura media logarítmica<sup>66</sup>

$T_e$ : Temperatura de entrada de los gases a la paila

$t$ : Tiempo para la medición cada media hora (1800 s)

$D_I$ : Diámetro del segmento esférico (m)

<sup>64</sup> GONZÁLEZ ARIZA, Karime Lizeth. Determinación de pérdidas energéticas y sus puntos críticos, en hornillas paneleras ward-CIMPA en la hoyo del río Suárez. Bucaramanga. 2010.

<sup>65</sup> HERNANDEZ RESTREPO, Rosember. Determinación dinámica de los coeficientes globales de transferencia de calor para las pailas aleteada, redonda, plana, piro tubular y caldera enterrada (semicilíndrica) usadas en la industria panelera. Universidad Industrial de Santander. Escuela de ingeniería química, Bucaramanga, 2004. p.38.

<sup>66</sup> Ibid, p. 38.

$h_1$ : Altura del segmento esférico (m)

Para la DMLT se usa la siguiente ecuación:

$$DMLT = -61.887 + 0.911 * T_e \quad (6.1)$$

Para el área se usa la ecuación:

$$A = \frac{\pi}{4} * (D_1^2 + 4h_1^2) \quad (6.2)$$

Donde:

$D_1$ : Diámetro del segmento esférico

$h_1$ : Altura del segmento esférico

Remplazando en 6.2 tenemos:

$$A = \frac{\pi}{4} * (1.16^2 + 4 * 0.484^2)$$

$$A = 1.792 \text{ m}^2$$

Reemplazando tenemos:

$$Q_{pa} = 1.792 * 74,5 * (DMLT) * 1800/1000$$

$$Q_{pa} = 155.034 * 10^3 \text{ kJ}$$

En la Tabla 12 se muestra la sumatoria de todos los calores perdidos en la chimenea durante la quema.

Tabla 12. Calor transferido a las pailas

Hora de toma	N° de horas	Temperatura más alta ° C	DMLT	Q <sub>pa</sub>
		T 2 (°C)	(°C)	
10:28:16 a. m.	0	25.65		kJ
10:58:18 a. m.	00:30	772,88	642,28368	155034,4347
11:28:18 a. m.	00:30	934,72	789,71992	190622,5943
11:58:18 a. m.	00:30	970,25	822,08775	198435,5411

12:28:18 p. m.	00:30	933,56	788,66316	190367,5136
12:58:18 p. m.	00:30	1017,17	864,83187	208753,1168
1:28:18 p. m.	00:30	1004,55	853,33505	205978,0144
1:58:18 p. m.	00:30	974,69	826,13259	199411,8846
2:28:18 p. m.	00:30	978,35	829,46685	200216,7083
2:58:18 p. m.	00:30	1010,63	858,87393	207314,9892
3:28:18 p. m.	00:30	1065,61	908,96071	219404,9362
3:58:18 p. m.	00:30	1072,58	915,31038	220937,6195
4:28:18 p. m.	00:30	994,37	844,06107	203739,4611
4:58:18 p. m.	00:30	1087,13	928,56543	224137,1235
5:28:18 p. m.	00:30	1052,09	896,64399	216431,9263
5:58:18 p. m.	00:30	1061,02	904,77922	218395,6081
6:28:18 p. m.	00:30	1051,73	896,31603	216352,7633
6:58:18 p. m.	00:30	1009,09	857,47099	206976,3476
7:28:18 p. m.	00:30	870,80	731,4888	176566,7665
<b>Total</b>	<b>09:30</b>			<b>3 659 077.35</b>

Como son cinco pailas a las que se transfiere calor, se multiplica por 5 al calor total de la Tabla 12.

El calor total transferido a las pailas es:

$$Q_{pa} = 3659077.35 * 5$$

$$Q_{pa} = 18.29 * 10^6 \text{ kJ}$$

## 7.7 CALOR PERDIDO POR PAREDES

El flujo de calor a través de una pared está dado por:

*R*: Resistencia al flujo de calor del material (ladrillo)

*K*: conductividad térmica para (0,8 W/m-K ladrillo común)<sup>67</sup>

*A*: Área de la sección travesar al flujo de calor

*L*: Distancia entre superficie fría y caliente

*t*: Intervalo de tiempo

$$Q_p = \frac{(T_{pi} - T_{pe}) * t}{R} \quad 68 \quad (7)$$

<sup>67</sup>MILIARIUM. Propiedades térmicas de materiales. [En línea]. (2013). Disponible en: <  
<http://www.miliarium.com/Prontuario/Tablas/Quimica/PropiedadesTermicas.asp>>

<sup>68</sup> DONALD, Kern. Procesos de transferencia de calor. McGraw Hill. México .1999.

A continuación se realizará un ejemplo del cálculo del calor por la pared y se procede a tabular para encontrar el calor total.

$e$ : Espesor de la pared (0,25m)

Ancho de la boquilla (0,55m)

Alto de la boquilla (0.30m)

Al: Área de las paredes del largo (14.21 m<sup>2</sup>)

Af: Área de la pared del frente. (6.19 m<sup>2</sup>) sin boquilla

Ac: Área del cenicero (1.32 m<sup>2</sup>)

Ab: Área de la boquilla (0.52 m<sup>2</sup>)

At: Área del techo modificada (sin las pailas) (23.32 m<sup>2</sup>)

Radio promedio de las pailas: 0.58 m

Radio del círculo de la sección de la boquilla (0,5m)

k: Conductividad térmica (0.8W/m\*k)

$$R = \left( \frac{e}{k*(Al-Ac)} \right) + \left( \frac{e}{k*(Al)} \right) + \left( \frac{e}{k*Af} \right) + \left( \frac{e}{k*(Af-Ab)} \right) + \left( \frac{e}{k*At} \right) \quad (7.1)$$

$$R = \left( \frac{0.25}{(0.8) * (14.21 - 1.32)} \right) + \left( \frac{0.25}{(0.8) * (14.21)} \right) + \left( \frac{0.25}{(0.8) * 6.19} \right) \\ + \left( \frac{0.25}{(0.8) * (6.19 - 0.52)} \right) + \left( \frac{0.25}{(0.8) * 23.32} \right)$$

$$R = 0.17 \frac{k}{W}$$

La temperatura interior y exterior fue tomada por medio del pirómetro, para la duración total de la quema, con un tiempo total de 9.5 horas. La temperatura media alcanzada en las paredes interiores ( $T_{pi}$ ) fue de 115.19 °C y la temperatura exterior ( $T_{pe}$ ) alcanzó 50.28 °C.

Remplazando en (7), para el tiempo total de la quema y las temperaturas,  $T_{pe} = 50.28$  °C y  $T_{pi} = 115.19$  °C; el calor perdido en las paredes es:

$$Q_p = \frac{\left( \frac{(115.19 - 50.28) * \left( 9.5h * \frac{3600s}{h} \right)}{0.17} \right)}{1000}$$

$$Q_p = 13.44 * 10^3 kJ$$

## 7.8 PERDIDAS INTANGIBLES<sup>69</sup>

Es la diferencia entre el calor suministrado por el combustible y las perdidas presentadas en la hornilla.

$$Q_{pin} = Q_{sum} - Q_{per} \quad (8)$$

Donde:

$Q_{pin}$ : Pérdidas intangibles

$Q_{sum}$ : Calor suministrado por el bagazo

$Q_{per}$ : Pérdidas en la hornilla:

Las pérdidas en la hornilla están compuestas la sumatoria de por:

- Calor para extraer la humedad del bagazo
- Calor por agua formada en la combustión
- Calor por inquemados en cenizas
- Calor perdido en paredes
- Calor perdido en chimenea
- Calor transferido a las pailas

Hallando la sumatoria anterior y remplazando en (8), tenemos:

$$Q_{pin} = 42\,458\,943.75 - 42\,138\,235$$

$$Q_{pin} = 320.7 * 10^3 \text{ kJ}$$

---

<sup>69</sup> MENESES, Calderón. JOSÉ Agustín. Evaluación de las Perdidas de Energía en los Hornos tipo Colmena de Tiro Invertido. Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de Ingeniería. Plan de estudios de Ingeniería Mecánica San José de Cúcuta. 2003.

En la Tabla 13 se muestra el balance energético en la hornilla donde se presentan las pérdidas de calor con sus respectivos porcentajes. Es posible inferir que el calor transferido a las pailas, que se considera el calor aprovechado para la eficiencia de la hornilla, es el calor más alto después del calor de entrada.

El calor para extraer la humedad del bagazo es de las pérdidas más significativas, lo cual hace que se deba tener en cuenta la adecuada selección de la humedad relativa del bagazo de caña como combustible para la hornilla.

Tabla 13. Balance energético en la hornilla

<b>Descripción</b>	<b>(kJ)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
<b>Calor suministrado por el combustible</b>	<b>42.458.943,750</b>	<b>100</b>
Calor para extraer la humedad del bagazo	18 224 750,363	42,92
Calor por agua formada en la combustión	370 326,491	0,87
Calor por inquemados en ceniza	2 568 766,097	6,05
Calor perdido por paredes	13 441,536	0,03
Calor perdido en chimenea	2 665 563,770	6,28
Calor transferido a las pailas	18 295 386,74	43,09
<b>Cantidad de calor total</b>	<b>42.138.235,002</b>	<b>99,24</b>
Perdidas intangibles	320.708,748	0,76
<b>Total</b>	<b>42.458.943,750</b>	<b>100,00</b>

Fuente: Autores del proyecto.

## 8. EFICIENCIA DE LA HORNILLA

Para hallar la eficiencia se utilizó el calor aprovechado en la quema, que es la relación entre el calor transferido a las pailas y el calor suministrado por el combustible, en este caso bagazo de caña.

$$n = \frac{Q_{pa}}{Q_{sum}} \quad (9)$$

Donde:

$n$ : Eficiencia de la hornilla

$Q_{pa}$ : Calor total transferido a las pailas

$Q_{sum}$ : Calor total suministrado por el combustible

$$n = \frac{18.295.386,74}{42.458.943,750}$$

$$n = 43.09 \%$$

## 9. ANALISIS DE GASES EN LA CHIMENEA DE LA HORNILLA

### 9.1 PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE LOS GASES

De acuerdo con lo establecido en el artículo 76 de la Resolución 909 del 5 de junio de 2008 se debe cumplir con los estándares de medición directa de las emisiones a través de un ducto o chimenea que se debe construir en cada fuente fija puntual. Para las mediciones se usó un analizador de gases de combustión *UEi EAGLE*.

La Resolución 909 del 5 de junio de 2008, en el Artículo 86, sugiere que todos los resultados de las mediciones de los diferentes contaminantes (en mg/m<sup>3</sup>), deben ser corregidos a condiciones de referencia por medio de la siguiente ecuación:

$$CCR = CCL * \frac{TCL*PCR}{TCR*PCL} \quad (10)$$

CCR: Concentración del contaminante a condiciones de referencia en mg/m<sup>3</sup>

CCL: Concentración del contaminante a condiciones locales en mg/m<sup>3</sup>

TCL: Temperatura de los gases a la salida del ducto en K

PCR: Presión a condiciones de referencia en mm Hg

PCL: Presión de los gases a la salida del ducto en mm Hg

TCR: Temperatura a condiciones de referencia en K

Según el Artículo 88, todos los registros y mediciones de los diferentes contaminantes se le deben realizar la corrección de oxígeno de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$CCR(O_2ref) = CCR(X\%) * \frac{21 - \%O_2ref}{21\% - X\%} \quad (10.1)$$

CCR (O<sub>2</sub>ref): Concentración del contaminante a condiciones de referencia con la corrección de oxígeno, basado en el oxígeno de referencia de conformidad con lo establecido en la presente resolución.

CCR(X%): Concentración del contaminante a condiciones de referencia.

%O<sub>2</sub>ref: Oxígeno de referencia de la medición (se establece un valor de 11%), de conformidad con lo establecido en la presente resolución.

X%: Oxígeno medido a la salida de los gases.

De la Tabla 14, se obtiene un promedio para el oxígeno a la salida de los gases de 6.93, y para el monóxido de carbono (CO) se obtiene 2108.6 ppm.

La concentración de CO a condiciones de referencia por medio de (10.1) es:

$$CCR_{CO} = \left( \frac{21 - O_2 \text{ ref}}{21 - O_2} \right) * CO$$

$$CCR_{CO} = \left( \frac{21 - 11}{21 - 6.93} \right) * 2108.6$$

$$CCR_{CO} = 1498.65 \text{ ppm}$$

Como la norma exige unidades en  $mg/m_3$ , entonces:

$$1 \text{ ppm} = 1.2335 \text{ mg}/m_3^{70}$$

La concentración de CO a condiciones de referencia queda:

$$CCR_{CO} = 1498.65 * 1.2335$$

$$CCR_{CO} = 1848.58 \text{ mg}/m_3$$

La concentración de NO a condiciones de referencia, por medio de (10.1) es:

$$CCR_{NO} = \left( \frac{21 - O_2 \text{ ref}}{21 - O_2} \right) * NO$$

Para determinar la cantidad de NO se realiza un promedio de valores para NO en la Tabla 14. El valor obtenido es de 114.67 para NO.

$$CCR_{NO} = \left( \frac{21 - 11}{21 - 6.93} \right) * 114.67$$

$$CCR_{NO} = 81.50 \text{ ppm}$$

La concentración de NO es finalmente queda:

$$CCR_{NO} = 100.53 \text{ mg}/m_3$$

En la Tabla 14 se muestran todos los datos obtenidos con el analizador de gases.

---

<sup>70</sup> Lenntech. Calculadora online. Disponible en: <http://www.lenntech.com/calculators/ppm/convert-part-per-million.htm>

Tabla 14. Resultados del monitoreo de gases.

<b>TIPO</b>	<b>N°</b>	<b>1:00 pm</b>	<b>2:00 pm</b>	<b>3:00 pm</b>
<b>O2 %</b>	1	9.1	7.1	3.9
	2	10.2	6.5	4.8
<b>Promedio</b>		<b>9.65</b>	<b>6.8</b>	<b>4.35</b>
<b>CO PPM</b>	1	4000	193	2808
	2	2509	184	2957.6
<b>Promedio</b>		<b>3254.5</b>	<b>188.5</b>	<b>2882.8</b>
<b>CO<sub>2</sub> %</b>	1	11.3	13.3	13.3
	2	13.5	14.4	18.4
<b>Promedio</b>		<b>12.4</b>	<b>13.85</b>	<b>15.85</b>
<b>NO PPM</b>	1	111	135	126
	2	75	88	153
<b>Promedio</b>		<b>93</b>	<b>111.5</b>	<b>139.5</b>
<b>Presión (Pa)</b>	1	19.7	28	17.1
	2	18	32.3	23.9
<b>Promedio</b>		<b>18.85</b>	<b>30.15</b>	<b>20.5</b>
<b>T °C</b>	1	603.1	666.8	771
	2	608.2	688.7	782
<b>Promedio</b>		<b>605.65</b>	<b>677.75</b>	<b>776.5</b>
<b>CO/CO<sub>2</sub></b>	1	0,2922	0,0014	0,0172
	2	0,2446	0,0060	0,1850
<b>Promedio</b>		<b>0,2684</b>	<b>0,0037</b>	<b>0,01785</b>
<b>Exceso aire %</b>	1	77.1	51.4	22.9
	2	81.7	75.7	21
<b>Promedio</b>		<b>79.4</b>	<b>63.55</b>	<b>21.95</b>
<b>EFF %</b>	1	57.8	58.5	51.3
	2	61.3	60.9	55.9
<b>Promedio</b>		<b>59.25</b>	<b>59.7</b>	<b>57.6</b>

Fuente: Autores del proyecto.

La Tabla 15 muestra en detalle todos los gases que salen de la chimenea.

Tabla 15. Monitoreo de gases a través de analizador instrumental en la hornilla

<b>TIPO</b>	<b>Resultados</b>	
<b>Horno</b>	<i>Rectangular</i>	
<b>Producto</b>	<i>Panela</i>	
<b>Combustible</b>	<i>Bagazo de caña</i>	
<b>Consumo de combustible (Ton/mes)</b>	<i>12.25 ton/mes</i>	La hornilla de la finca San Antonio cuenta con una chimenea para la emisión de gases.
<b>Porcentaje de O<sub>2</sub></b>	<i>6.93</i>	
<b>CO (PPM)</b>	<i>2108.6</i>	
<b>Porcentaje de CO<sub>2</sub></b>	<i>14.03</i>	
<b>NO (PPM)</b>	<i>114.67</i>	
<b>Presión (Pa)</b>	<i>23.17</i>	
<b>Temperatura de gases (°C)</b>	<i>686.63</i>	
<b>Relación CO/CO<sub>2</sub></b>	<i>0.0966</i>	
<b>X Exceso aire (%)</b>	<i>54.97</i>	
<b>Eficiencia de combustión (%)</b>	<i>58.85</i>	

Fuente: Autores del proyecto.

En la Tabla 16, se indica si cumplen con la norma el CO y el CO.

Tabla 16. Concentraciones a través de Analizador de gases de combustión

<b>Contaminante</b>	<b>Concentración mg/ m<sup>3</sup></b>		<b>Norma mg/m<sup>3</sup></b>	<b>Cumple</b>
	<b>CCL</b>	<b>CCR O<sub>2</sub> ref.</b>		
CO	2108.6	1848.58	43,2	NO
NO	114.67	100.53	550	SI

Fuente: Autores del proyecto.

## 9.2 DETERMINACIÓN DE LA ALTURA IDEAL PARA LA CHIMENEA<sup>71</sup>

Por medio del artículo 70 de la resolución 909 de 2008, para adecuar la altura del punto de descarga de la fuente fija instalada en la Finca San Antonio, siguiendo los lineamientos de buenas prácticas de Ingeniería para fuentes fijas existentes, establecidas en la resolución 2153 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, se procede de la siguiente manera:

Para el caso de la finca San Antonio, la chimenea tiene una altura actual de 7 m

La altura que se puede considerar permitida para la hornilla se determina mediante la ecuación:

$$H_t = 2.5H_e \quad (10.2)$$

La altura requerida según la norma es:

$$H_t = 2.5(6m) = 15 m$$

Dónde:

$H_t$ : Altura de la chimenea medida desde el nivel del terreno en la base de la chimenea hasta el borde superior de la misma.

$H_e$ : Altura de la estructura en el punto en el cual se encuentra ubicado el ducto o chimenea.

---

<sup>71</sup> Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. República de Colombia, 2010.

## CONCLUSIONES

Por medio de la identificación de los procesos en el trapiche de la Finca San Antonio, se logró determinar los calores presentes en la hornilla y también la eficiencia energética de la misma.

El ciclo de secado del bagazo de caña es a la intemperie, el cual es adecuado debido a que disminuye el porcentaje de humedad desde que la caña es triturada en un 80% hasta un rango entre, 11% al 15%, en un periodo de tiempo de 4 meses, lo que facilita su aprovechamiento energético en la quema dentro de la hornilla panelera.

El perfil de temperaturas de la hornilla panelera obtenida por el software Horno Test 1.2 se puede apreciar una variación en los picos, esto se debe a que la alimentación de bagazo en la hornilla es intermitente, lo que genera una alta pérdida energética debido a que las temperaturas en el horno no permanecen constantes, y para lograr regularla se requiere utilizar más combustible), dificultando mantener la temperatura adecuada para la concentración de los jugos en cada una de las pailas.

La temperatura máxima que se registró durante toda la quema en la hornilla tuvo un valor de 1120.30 °C. Esta temperatura se encuentra entre las pailas 1 y 2, tal como se ve en la Figura 36.

En la producción de panela, es importante mantener la combustión ideal, la cual debe mantener las temperaturas en un promedio de 900°C, para garantizar las propiedades del producto final y a su vez eliminar la cantidad de materiales inquemados.

En el balance energético se presentan las principales pérdidas en la hornilla panelera, las cuales influyen en gran medida en la eficiencia de la hornilla. Las destacables son: calor para extraer la humedad del bagazo con un 42.92%, calor por inquemados en cenizas con un 6.05%, y calor perdido en la chimenea con un 6.28%.

A través del balance energético de las pérdidas de calor presentes en la hornilla, se obtuvo la eficiencia energética de la hornilla panelera de la finca San Antonio, alcanzando un 43.09% para una producción total de 120 cajas de panela, por lo tanto se puede apreciar que este valor es favorable, puesto que las hornillas modificadas tipo CIMPA, presentan valores similares.

Con el análisis de gases de combustión se determinó que las emisiones de NO si cumplen con la norma, mientras que las emisiones de CO no lo hacen.

La altura de la chimenea no es la adecuada, según el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas se debe aumentar su altura actual en ocho metros.

## RECOMENDACIONES

Se debe utilizar una humedad relativa del bagazo igual o menor del 11%, para evitar pérdidas de calor por humedad del bagazo como la que se presenta en la hornilla, que alcanza un 42.92% del calor total aportado por el combustible, el cual es relativamente alto. Todo esto se puede mejorar implementado un sistema de secaderos artificiales, ya sea aprovechando los gases generados en la combustión, todo esto contribuyendo en pro de menor tiempo de secado del bagazo y tiempo total de producción del producto.

Estaría apropiado la implementación de un sistema de ventilación, que mejore la combustión en el proceso, por ejemplo: ventiladores apropiados que suministren la cantidad de oxígeno ideal para evitar pérdidas por inquemados y reducir la concentraciones de gases que se generan por la combustión incompleta, como monóxido de carbono.

Sería conveniente rediseñar el tiro de la chimenea en la hornilla, ya que no cumple con la altura mínima establecida por la resolución 909 del 2008, esto a su vez reducirá la temperatura de salida de los gases de combustión, la cual no debe superar los 180°C.

Sería beneficioso recubrir con material refractario las paredes interiores de la hornilla, ya que esto reduciría en gran parte las pérdidas de calor.

Se recomienda implementar un sistema de válvula, que permita controlar la temperatura en el interior de la hornilla, ya que los gases se concentrarían dentro, brindando una temperatura estable, y ahorrando una considerable cantidad de combustible.

Para posteriores investigaciones hacer una caracterización del bagazo de caña en la región de Convención para conocer mejor sus propiedades y obtener resultados más exactos.

## BIBLIOGRAFIA

BARAJAS PADILLA, Ruby. Análisis de la competitividad de la Industria panelera en el municipio de Mogotes departamento de Santander. Málaga. 2012. Trabajo de Grado (Administradora de Empresas). Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela De Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios. Administración de Empresas.

BEHAR RIVERO, Daniel. Metodología de la investigación, 2008. p. 21.

Biomass and Bioenergy, v 27, n 6, p. 653-669.

Boyles, D. (1984) Bio-energy technology, thermodynamics and costs. Publication Details: Chichester Horwood, 1984.

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. *Termodinámica*. México: 6ed, McGraw-Hill, 2003.

CORPOICA y SENA. Manual de caña de azúcar para la producción de panela. Bucaramanga (Colombia). 1998. p. 145.

DULCEY, Juan y CORONEL, Yessy. Caña panelera como potencializador de la economía en convención.

DULCEY, Juan y CORONEL, Yessy. Op cit. p. 50.

FLÓREZ, Daniel; IDÁRRAGA, Guillermo y ARIAS, Walter. Rediseño de un trapiche panelero de 4 mazas accionado con motor. Medellín, 2011.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2013. FAO STATISTICAL YEARBOOK: World Food and Agriculture. Rome.

FUNACH –ASCAPAM. Capacitación en la obtención de nuevos productos derivados de la caña y el manejo adecuado de la agroindustria panelera municipio de Mocoa. Mocoa, 2002. p. 2.

GARCÍA, B. H. 2004. Oportunidades de producción más limpia en la agroindustria panelera. Programa de procesos agroindustriales. Corpoica. C. I. Tibaitatá. Mosquera, Cundinamarca (Colombia). p. 102.

GONZÁLEZ ARIZA, Karime Lizeth. Determinación de pérdidas energéticas y sus puntos críticos, en hornillas paneleras ward-cimpa en la hoya del río Suárez. Bucaramanga. 2010. Trabajo de Grado (Ingeniera Química). Universidad Industrial De Santander. Facultad De Ciencias Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.

GORDILLO, Gerardo y GARCIA, Hugo. Manual para el diseño y operación de hornillas paneleras – CIMPA. Colombia. 1992.

INVIMA y FEDEPANELA. ABC de la panela. Bogotá D.C, 2009.

Montes J.M., Hernández J.M., Xiberta J., Cámara A., Querol E., (2001) "Análisis Exergético" apuntes de cátedra del Depto. De Ingeniería Química de la E.T.S. Ing. de Minas UPM.

MORAN, M. J., SHAPIRO, H. N. Fundamentos de Termodinámica Técnica. Ed 6. Editorial Reverté. 2008.

Obernberger, I.; Thek, G. (2004) Physical characterization and chemical composition of dandified biomass fuels with regard to their combustion behaviour. Source: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Producción de panela como estrategia de diversificación en la generación de ingresos en áreas rurales de América Latina. Roma, 2004.

Obernberger, I. Op cit. p. 653-669.

OSORIO CADAVID, G. Manual: Buenas Prácticas Agrícolas -BPA- y Buenas Prácticas de Manufactura -BPM-en la Producción de Caña y Panela.

OSORIO CADAVID, G. Op cit. p. 54.

OSORIO CADAVID, G. Op cit. p. 56.

OSORIO CADAVID, G. Op. cit., p. 30.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Ministerio Del Trabajo, Grupo de Investigación-Ormet Nodo Ocaña. Perfil Productivo Municipio de Convención, 2014.

Quaak Peter, Knoef Harrie, Stassen Hubert, Energy from Biomass A Review of Combustion and Gasification Technologies WORLD BANK TECHNICAL. PAPER NO. 422 Energy Series, 1999.

Ramajo-Escalera B, Espina A, García JR, Sosa-Arno JH, Nebra SA. 2006. Model-free Kinetics applied to sugarcane bagasse combustion. Thermochemica Acta 448(2):111-116. REYES, Jeisson. Eficiencia energética del sistema de producción de caña panelera en el municipio del valle de san José, departamento de Santander. Pontificia Universidad Javeriana, Colombia, 2003.

SOLER, Juan y GÓMEZ, Franco. Determinación de los parámetros de diseño y operación de cámaras de combustión tipo ward-CIMPA y plana-CIMPA en hornillas paneleras. Trabajo de grado Ingeniería química. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química, 2004. Bucaramanga. p. 22.

SOLER, Juan y GÓMEZ, Franco. Op cit. p. 14.

VISHAL. Sardeshpande, D. J. Shendage, Indu R. Pillai (2010). Thermal performance evaluation of a four pan jiggery processing furnace for improvement in energy utilization. Indian Institute of Technology. Bombay, India.

## REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

Alcaldía de Convención, Norte Santander. Planeación y ejecución. Disponible en:  
<<http://www.convencion-nortedesantander.gov.co/dependencias.shtml?apc=aexx-1696166&x=3041686>.

BURBANO, Orlando y LÓPEZ, Juan. Variedades de caña de azúcar para la producción de panela. [Página web]. Pamplona. CORPOICA y UNIPAMPLONA, 2010. Disponible en:  
[http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIIG/home\\_4/mod\\_virtuales/modulo4/tema\\_14.html](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIIG/home_4/mod_virtuales/modulo4/tema_14.html)

Centro de Investigación de la caña de azúcar en Colombia (CENICAÑA). Fechas históricas de la agroindustria de la caña en Colombia. Disponible en:  
[http://www.cenicana.org/quienes\\_somos/agroindustria/historia.php](http://www.cenicana.org/quienes_somos/agroindustria/historia.php)

CORPOICA, ASCPAZUR y PRONATTA. Memorias primera capacitación a nivel regional sobre filanejo y postcosecha de caña panelera. Florencia, 1998. P. 74. Disponible en:  
<http://207.239.251.110:8080/jspui/bitstream/11348/4726/2/Memorias%20primera%20capacitaci%C3%B3n.pdf>

Implementación de mejoras tecnológicas para el módulo de producción de panela granulada de santa rosa de chonta, montero, Ayabaca, Perú. Disponible en: [http://perusolar.org/17-spesponencias/08Biomasa/AldanaDanielMarcelo/IMPLEMENTACION\\_DE\\_MEJORAS\\_TECNOLOGICAS\\_PARA\\_EL\\_MODULO\\_DE\\_PRO.pdf](http://perusolar.org/17-spesponencias/08Biomasa/AldanaDanielMarcelo/IMPLEMENTACION_DE_MEJORAS_TECNOLOGICAS_PARA_EL_MODULO_DE_PRO.pdf)

LA PANELA, pasos en la preparación. Disponible en:  
[http://www.trapichepanelerogualanday.com/LA\\_PANELA\\_PASOS\\_EN\\_LA\\_PREPARACION.pdf](http://www.trapichepanelerogualanday.com/LA_PANELA_PASOS_EN_LA_PREPARACION.pdf)

Los secretos nutricionales de la panela. El espectador. Disponible en:  
<http://www.elespectador.com/noticias/publirreportaje/los-secretos-nutricionales-de-panela-articulo-534558>

Panela, tradición en quiebra. [En línea]. La opinión. [Consultado el 12 de abril del 2015]. Disponible en:  
[http://www.laopinion.com.co/demo/index.php?option=com\\_content&task=view&id=456887&Itemid=94#.VTZwwdJ\\_Okr](http://www.laopinion.com.co/demo/index.php?option=com_content&task=view&id=456887&Itemid=94#.VTZwwdJ_Okr)

Sánchez, Ricardo. Las iras del azúcar: La huelga de 1976 en el Ingenio Riopaila. En: HISTORIA CRÍTICA. Enero – Junio, 2008, no. 35, p. 34-57. Disponible en:  
<http://historiacritica.uniandes.edu.co/view.php/528/index.php?id=528>

SANTIAGO, Miguel. CONVENCION. Disponible en:  
<http://laplayadebelen.org/CONVENCION/CONVENCION.html>

Sistema de información panelero. COOINCAPRO (Ficha Organizacional). Disponible:<http://www.sipa.org.co/2010/organizaciones/norte/cooincapro/Ficha%20Organizacional.html>

Sistema de información panelero. COOINCAPRO. Disponible en: <http://www.sipa.org.co/2010/organizaciones/norte/cooincapro/Inicio.html>

Superintendencia de industria y Comercio. Cadena productiva de la panela: Diagnóstico de libre competencia. Disponible en: <http://www.sic.gov.co/drupal/sites/default/files/files/Panela.pdf>

Trapiche (definición). Disponible en: <http://lema.rae.es/drae/srv/search?key=trapiche>

VELÁSQUEZ, Héctor, AGUDELO, Andrés y ÁLVAREZ, Jorge. Mejorando la producción de panela en Colombia. Vol 21, num 1, junio de 2005 - Energía en la finca. Disponible en: <http://www.agriculturesnetwork.org/magazines/latin-america/energia-en-la-finca/mejorando-la-produccion-de-panela-en-colombia>

## ANEXOS

Anexo 1. Reporte de la adquisición de datos en el horno Test 1.2

Tiempo	T_1 puerta	T_2 paila 2	T_3 paila 3	T_4 paila 4	T_5 paila5	T_6 tiro inf	T_7 tiro sup	T_8 ambiente
10:28:16 a. m.	25,21	25,65	25,75	26,28	26,49	26,16	26,00	25,44
10:28:18 a. m.	25,21	25,68	25,76	26,28	26,49	26,17	25,99	25,38
10:31:18 a. m.	25,37	25,81	25,92	26,35	26,54	26,20	26,08	25,81
10:34:18 a. m.	25,45	25,85	25,97	26,39	26,57	26,27	26,20	25,31
10:37:18 a. m.	25,59	25,98	26,05	26,37	26,55	26,26	26,18	25,66
10:40:18 a. m.	549,55	768,36	230,86	407,92	282,56	375,07	332,45	25,78
10:43:18 a. m.	686,92	839,89	422,29	573,68	448,64	452,15	413,48	25,54
10:46:18 a. m.	703,73	861,64	398,58	559,59	418,81	452,22	413,15	25,77
10:49:18 a. m.	521,26	850,48	431,64	568,75	458,59	454,57	409,67	26,34
10:52:18 a. m.	458,57	825,89	509,98	544,15	484,70	469,47	418,85	25,67
10:55:18 a. m.	619,71	821,13	589,79	638,93	586,43	572,08	512,41	25,48
10:58:18 a. m.	745,06	772,88	530,24	536,00	494,28	460,33	435,61	25,81
11:01:18 a. m.	439,48	502,09	268,36	295,48	255,32	272,93	267,32	26,29
11:04:18 a. m.	764,16	894,86	561,90	586,62	537,82	488,27	453,55	26,82
11:07:18 a. m.	507,22	879,38	499,57	535,66	496,63	464,50	421,77	26,88
11:10:18 a. m.	585,47	743,69	388,14	433,37	378,06	377,10	358,65	26,87
11:13:18 a. m.	496,52	839,80	551,22	565,13	518,61	488,82	445,87	26,90
11:16:18 a. m.	537,10	884,37	670,59	725,08	678,98	610,18	551,00	27,59
11:19:18 a. m.	487,59	919,22	738,22	756,37	710,62	644,41	584,69	27,09
11:22:18 a. m.	738,77	949,81	818,31	797,03	729,57	659,53	602,03	27,11
11:25:18 a. m.	732,23	963,69	765,91	738,29	674,04	626,08	573,64	28,47
11:28:18 a. m.	660,06	934,72	761,98	741,44	676,39	625,06	572,39	28,16
11:31:18 a. m.	769,67	963,77	902,81	807,95	744,53	673,61	612,82	27,98
11:34:18 a. m.	827,07	962,89	772,97	752,88	700,12	650,79	598,51	27,88
11:37:18 a. m.	822,01	954,12	708,93	672,33	633,07	596,24	555,78	26,84
11:40:18 a. m.	651,61	904,39	722,15	678,95	631,98	592,70	549,03	27,17
11:43:18 a. m.	613,61	908,82	757,65	727,24	672,05	625,64	573,14	27,35
11:46:18 a. m.	791,31	954,24	744,24	716,23	669,80	629,68	581,70	27,46
11:49:18 a. m.	781,96	942,94	684,08	659,48	626,58	594,24	551,63	26,81
11:52:18 a. m.	625,98	897,67	654,03	623,02	592,16	566,46	527,12	26,68
11:55:18 a. m.	499,91	846,87	703,19	679,83	623,58	590,33	545,18	26,90
11:58:18 a. m.	615,29	970,25	822,50	771,85	705,44	659,84	605,14	26,75
12:01:18 p. m.	615,44	957,26	724,11	691,26	645,78	614,04	570,93	26,17
12:04:18 p. m.	683,91	960,53	771,34	736,64	686,79	650,85	597,15	26,80
12:07:18 p. m.	788,67	958,95	809,50	763,86	695,15	660,68	610,07	25,98
12:10:18 p. m.	857,42	961,76	749,17	719,03	670,07	638,15	591,22	26,98
12:13:18 p. m.	783,68	957,79	713,81	696,46	655,99	624,64	578,94	26,57

12:16:18 p. m.	744,23	978,23	813,06	753,77	701,11	656,10	606,85	26,91
12:19:18 p. m.	742,87	996,48	828,80	760,91	705,98	659,74	611,31	26,36
12:22:18 p. m.	787,51	993,72	836,44	773,47	720,67	670,57	618,36	26,38
12:25:18 p. m.	832,63	996,40	840,87	773,29	716,70	679,26	627,67	26,61
12:28:18 p. m.	569,82	933,56	782,45	780,56	727,66	682,53	628,88	26,43
12:31:18 p. m.	880,45	906,42	909,60	842,40	775,96	725,69	666,71	25,63
12:34:18 p. m.	901,36	949,92	863,13	836,24	771,42	726,21	668,67	26,63
12:37:18 p. m.	722,99	1006,71	871,31	804,02	739,44	701,62	650,10	26,29
12:40:18 p. m.	596,40	974,29	848,07	809,11	745,33	704,36	651,27	26,45
12:43:18 p. m.	685,00	1025,46	795,87	802,92	752,41	711,28	658,58	26,86
12:46:18 p. m.	776,65	1029,77	803,70	752,73	706,78	676,18	630,87	27,25
12:49:18 p. m.	692,46	976,07	777,92	749,68	699,27	670,62	624,49	26,39
12:52:18 p. m.	788,30	920,21	879,87	818,02	751,33	715,85	661,30	26,04
12:55:18 p. m.	703,49	1004,84	818,56	823,36	768,67	727,50	673,20	26,69
12:58:18 p. m.	810,94	1017,17	831,16	800,87	746,02	710,30	661,02	25,62
1:01:18 p. m.	791,85	1006,46	791,79	741,57	697,66	673,69	630,73	26,17
1:04:18 p. m.	669,12	979,92	770,90	713,86	668,38	654,37	613,34	26,64
1:07:18 p. m.	697,96	970,58	703,11	687,51	646,77	632,57	592,63	26,34
1:10:18 p. m.	659,35	1015,62	834,48	781,66	726,50	698,84	647,48	26,65
1:13:18 p. m.	691,08	1056,03	790,82	756,14	711,74	681,97	636,96	26,38
1:16:18 p. m.	748,77	997,78	761,57	708,48	671,50	650,96	611,91	26,48
1:19:18 p. m.	821,44	935,01	737,00	709,77	672,38	645,97	605,17	26,34
1:22:18 p. m.	785,17	996,20	765,74	799,80	758,42	721,85	667,24	26,60
1:25:18 p. m.	765,29	997,99	779,70	796,18	747,45	712,01	663,42	26,43
1:28:18 p. m.	847,92	1004,55	832,66	816,61	780,03	751,47	699,82	25,76
1:31:18 p. m.	928,32	1054,74	742,52	765,22	720,42	693,02	650,13	26,52
1:34:18 p. m.	759,64	1019,46	750,70	824,81	758,58	725,48	671,97	26,27
1:37:18 p. m.	768,64	1018,06	801,27	814,95	760,85	725,75	674,88	26,24
1:40:18 p. m.	833,63	1041,33	780,74	767,67	723,25	696,62	652,11	26,30
1:43:18 p. m.	768,92	970,81	807,35	751,52	706,24	680,89	637,63	26,18
1:46:18 p. m.	521,82	1030,69	815,21	765,32	718,42	689,15	643,93	26,46
1:49:18 p. m.	719,48	1026,12	811,73	748,67	707,51	683,09	638,80	26,87
1:52:18 p. m.	649,88	1002,36	772,53	759,47	713,27	687,07	639,66	26,18
1:55:18 p. m.	852,63	1023,87	747,63	751,03	710,39	684,05	639,72	26,29
1:58:18 p. m.	843,32	974,69	764,33	708,90	677,53	654,80	616,78	26,28
2:01:18 p. m.	654,39	1028,27	717,25	774,71	728,65	694,70	644,89	26,48
2:04:18 p. m.	784,18	1027,67	786,56	774,17	731,12	698,61	650,31	26,39
2:07:18 p. m.	845,87	967,30	744,69	727,77	693,36	669,59	629,04	26,32
2:10:18 p. m.	656,60	934,82	751,56	692,71	657,82	641,89	606,74	26,53
2:13:18 p. m.	532,89	889,57	736,94	696,58	665,54	644,64	604,81	26,70
2:16:18 p. m.	686,44	1034,19	645,81	804,39	750,33	716,35	665,34	26,32
2:19:18 p. m.	754,52	1037,48	654,09	795,74	746,48	713,14	662,77	26,06
2:22:18 p. m.	769,82	1025,97	783,72	784,50	733,65	705,48	657,85	26,73

2:25:18 p. m.	836,65	977,54	801,13	757,49	712,99	688,99	645,24	26,64
2:28:18 p. m.	729,09	978,35	811,65	766,13	722,86	692,74	647,16	26,36
2:31:18 p. m.	742,09	1041,80	721,23	793,21	744,13	708,12	659,30	26,37
2:34:18 p. m.	785,60	1017,11	876,08	794,15	743,13	712,72	664,84	26,16
2:37:18 p. m.	679,18	1028,34	783,32	780,68	722,93	702,41	655,43	26,67
2:40:18 p. m.	824,39	1033,97	754,15	780,94	725,84	703,34	657,96	25,98
2:43:18 p. m.	861,56	1002,10	788,15	744,38	699,70	682,23	640,97	25,51
2:46:18 p. m.	798,92	912,03	751,96	693,53	659,18	646,80	613,01	25,84
2:49:18 p. m.	677,04	892,23	731,16	666,37	636,59	631,71	596,79	25,89
2:52:18 p. m.	475,53	944,29	782,83	709,30	671,50	656,20	616,22	26,03
2:55:18 p. m.	692,06	1007,53	658,11	780,43	725,22	706,06	657,55	26,37
2:58:18 p. m.	799,55	1010,63	834,47	757,64	706,80	689,42	645,68	26,04
3:01:18 p. m.	823,68	998,43	771,79	717,52	673,35	664,93	626,65	26,20
3:04:18 p. m.	596,37	983,77	801,06	722,95	682,27	667,36	627,82	26,56
3:07:18 p. m.	496,75	951,85	617,54	755,74	715,21	692,08	645,52	26,07
3:10:18 p. m.	524,80	1021,91	765,27	838,55	788,27	766,30	722,28	26,75
3:13:18 p. m.	616,71	1016,07	879,93	857,68	806,43	763,35	711,91	26,21
3:16:18 p. m.	656,90	1045,41	917,10	850,04	803,83	763,14	709,67	26,18
3:19:18 p. m.	655,86	1068,43	922,83	835,90	781,37	751,31	698,96	26,43
3:22:18 p. m.	644,12	1048,81	885,05	864,50	813,71	775,27	718,46	26,86
3:25:18 p. m.	663,46	1054,97	839,60	867,96	806,42	772,06	717,22	27,19
3:28:18 p. m.	813,64	1065,61	957,01	852,54	797,31	769,09	715,41	26,46
3:31:18 p. m.	869,21	1060,89	833,16	804,33	754,31	735,74	689,20	26,46
3:34:18 p. m.	689,01	965,36	891,96	805,69	752,45	731,87	684,07	26,57
3:37:18 p. m.	706,43	1062,29	900,52	838,66	781,44	751,57	699,36	26,00
3:40:18 p. m.	841,74	1085,20	948,60	858,53	802,64	768,11	714,23	26,45
3:43:18 p. m.	857,02	1043,53	692,59	793,51	748,37	729,30	683,88	25,66
3:46:18 p. m.	660,42	992,23	883,27	771,32	723,29	710,35	668,02	26,14
3:49:18 p. m.	647,75	1090,59	939,07	844,80	786,64	758,43	706,92	25,66
3:52:18 p. m.	736,40	1034,86	817,34	863,10	807,97	796,78	775,46	25,59
3:55:18 p. m.	888,35	1036,56	847,92	870,53	813,72	792,67	751,46	25,75
3:58:18 p. m.	865,86	1072,58	896,48	840,66	778,61	766,28	717,83	25,95
4:01:18 p. m.	834,23	1072,86	883,51	786,33	731,57	729,78	686,58	26,24
4:04:18 p. m.	612,62	973,55	922,43	795,98	741,34	729,69	685,07	26,30
4:07:18 p. m.	705,06	1023,59	932,54	841,70	778,85	760,01	708,75	25,90
4:10:18 p. m.	837,19	1022,63	869,77	866,11	800,72	777,58	723,61	26,26
4:13:18 p. m.	792,71	1062,72	811,72	836,31	772,84	761,15	710,15	26,33
4:16:18 p. m.	734,75	1017,05	858,12	860,11	792,66	777,76	724,47	26,14
4:19:18 p. m.	852,29	1012,86	826,36	854,23	792,87	780,51	727,82	26,22
4:22:18 p. m.	719,10	1065,25	863,07	805,31	750,53	747,32	700,95	25,99
4:25:18 p. m.	732,28	1037,17	816,48	752,68	706,28	709,08	669,61	25,63
4:28:18 p. m.	578,43	994,37	910,96	792,82	742,82	733,39	687,40	25,51
4:31:18 p. m.	651,49	1090,74	867,32	869,28	803,76	780,15	726,17	25,82

4:34:18 p. m.	751,08	1135,80	891,49	887,98	825,73	800,38	741,25	25,52
4:37:18 p. m.	744,15	1100,14	814,76	843,80	788,47	769,11	718,33	26,03
4:40:18 p. m.	764,09	998,62	872,54	762,25	722,64	713,61	674,78	25,41
4:43:18 p. m.	635,68	1063,38	877,55	832,53	771,92	752,31	703,91	25,34
4:46:18 p. m.	692,44	1102,93	852,81	868,70	803,39	779,43	726,93	25,32
4:49:18 p. m.	812,61	1120,30	776,60	840,16	780,49	764,17	716,39	25,19
4:52:18 p. m.	800,64	1115,02	944,43	849,64	788,64	772,38	720,58	25,42
4:55:18 p. m.	775,20	1079,33	631,53	854,86	798,87	785,92	737,14	25,70
4:58:18 p. m.	834,25	1087,13	758,60	824,97	776,17	766,93	721,11	25,45
5:01:18 p. m.	760,92	1071,44	831,62	764,56	721,63	718,78	679,65	25,66
5:04:18 p. m.	610,25	1026,79	798,19	752,93	709,79	706,03	667,17	25,19
5:07:18 p. m.	731,84	1042,29	868,92	789,51	742,25	729,24	686,29	26,14
5:10:18 p. m.	766,61	1036,57	820,28	746,52	705,51	701,74	664,84	25,90
5:13:18 p. m.	601,79	994,85	803,40	721,62	684,57	681,02	647,98	25,26
5:16:18 p. m.	551,95	948,72	818,98	717,54	674,89	677,72	642,13	25,47
5:19:18 p. m.	621,65	1043,85	851,03	762,50	715,69	710,01	668,52	25,58
5:22:18 p. m.	572,46	881,26	825,01	715,65	676,29	675,59	641,47	24,82
5:25:18 p. m.	631,09	993,62	929,22	836,72	775,83	764,94	717,62	24,90
5:28:18 p. m.	751,36	1052,09	839,70	866,00	800,73	779,64	731,54	24,56
5:31:18 p. m.	854,05	1057,95	746,79	844,38	791,36	767,59	717,77	24,52
5:34:18 p. m.	710,43	1056,29	905,65	820,09	767,43	751,10	704,03	24,34
5:37:18 p. m.	692,80	1051,57	713,94	843,35	788,32	765,67	715,37	24,42
5:40:18 p. m.	691,42	1046,35	745,89	843,70	786,49	767,34	717,24	24,67
5:43:18 p. m.	683,93	1041,40	880,30	787,75	740,05	731,63	689,33	24,52
5:46:18 p. m.	628,59	964,33	787,89	703,75	660,64	671,86	641,17	24,24
5:49:18 p. m.	514,57	1002,81	740,69	728,11	682,38	687,44	650,64	24,94
5:52:18 p. m.	432,78	1022,70	771,08	798,65	742,89	732,55	686,80	24,79
5:55:18 p. m.	755,77	1025,08	872,47	814,51	763,30	750,07	703,16	24,53
5:58:18 p. m.	606,99	1061,02	861,80	795,21	741,51	733,19	689,97	24,50
6:01:18 p. m.	594,91	1037,89	820,45	808,47	747,48	736,30	691,74	24,25
6:04:18 p. m.	533,65	1027,86	896,28	838,58	778,71	763,64	715,06	24,06
6:07:18 p. m.	632,02	1057,41	795,74	842,57	786,28	770,01	721,09	23,73
6:10:18 p. m.	639,12	1065,44	848,21	812,84	755,96	746,50	701,97	24,16
6:13:18 p. m.	632,81	1055,98	856,18	777,48	728,13	725,95	684,87	24,05
6:16:18 p. m.	629,99	1006,77	801,49	735,44	693,26	695,29	659,86	24,16
6:19:18 p. m.	619,89	950,61	750,37	688,85	655,83	662,28	632,74	24,39
6:22:18 p. m.	573,48	874,54	722,32	662,20	635,33	638,20	612,75	24,02
6:25:18 p. m.	530,15	985,62	839,05	763,56	716,35	707,94	666,97	24,09
6:28:18 p. m.	616,63	1051,73	944,77	846,55	786,06	760,55	711,31	23,84
6:31:18 p. m.	686,30	1086,09	934,65	840,91	780,61	761,49	712,50	23,79
6:34:18 p. m.	654,61	1093,55	658,57	860,55	795,34	774,36	724,61	23,94
6:37:18 p. m.	830,15	1109,19	804,92	848,70	792,18	776,66	727,21	24,27
6:40:18 p. m.	780,95	1094,06	740,96	806,47	755,83	744,07	700,62	24,18

6:43:18 p. m.	784,72	1064,00	834,78	784,17	735,23	727,80	686,90	24,20
6:46:18 p. m.	685,60	1007,07	801,77	736,80	696,99	697,98	662,80	24,62
6:49:18 p. m.	818,14	986,38	705,76	720,46	683,50	689,16	654,25	24,80
6:52:18 p. m.	721,58	922,77	720,27	681,46	648,39	654,97	627,69	24,87
6:55:18 p. m.	610,33	839,52	655,00	613,41	590,94	604,37	584,96	24,58
6:58:18 p. m.	791,55	1009,09	700,35	741,73	700,63	699,13	660,28	24,32
7:01:18 p. m.	766,72	927,95	626,07	668,87	640,98	649,60	620,43	24,94
7:04:18 p. m.	744,69	946,19	627,77	669,75	640,97	650,65	619,93	24,12
7:07:18 p. m.	666,15	962,62	638,78	703,92	667,69	673,12	637,41	24,74
7:10:18 p. m.	663,63	957,34	645,43	693,07	656,97	669,61	633,41	23,74
7:13:18 p. m.	771,68	946,47	721,77	677,87	642,28	646,93	618,12	23,94
7:16:18 p. m.	812,19	988,04	746,01	696,07	655,61	659,47	628,00	23,66
7:19:18 p. m.	632,96	986,33	676,88	689,02	652,44	657,24	624,51	23,90
7:22:18 p. m.	750,41	914,70	624,94	665,98	633,11	635,06	607,31	23,53
7:25:18 p. m.	737,43	928,03	695,95	675,76	643,39	643,89	612,09	23,33
7:28:18 p. m.	790,18	870,80	606,99	615,72	592,27	600,05	576,77	23,76
7:31:18 p. m.	724,51	886,55	613,74	639,59	612,31	622,66	592,35	24,12
7:34:18 p. m.	755,97	989,16	715,91	739,06	693,54	694,56	650,65	23,91
7:37:18 p. m.	735,65	841,94	638,98	597,37	575,59	585,54	565,25	23,90
7:40:18 p. m.	665,95	749,10	563,95	539,10	523,13	531,50	519,14	24,23
7:43:18 p. m.	534,62	602,32	476,34	448,01	435,29	442,03	444,79	23,55
7:46:18 p. m.	484,43	543,82	428,93	410,84	400,53	406,88	412,77	24,07
7:49:18 p. m.	450,28	508,09	392,48	383,84	373,88	378,19	386,27	24,06
7:52:18 p. m.	478,14	509,44	387,19	384,80	375,22	381,38	386,66	23,57
7:55:18 p. m.	458,10	479,86	368,43	364,36	354,63	357,89	365,86	23,77
7:58:18 p. m.	472,79	456,49	352,97	349,09	339,02	342,50	351,24	23,21
8:01:18 p. m.	439,48	435,20	338,24	333,15	323,68	325,56	335,65	23,99
8:04:18 p. m.	429,15	417,43	325,94	320,37	310,91	310,77	321,95	23,66
8:07:18 p. m.	404,31	399,98	313,55	308,84	299,53	298,39	310,05	23,53
8:10:19 p. m.	385,42	387,06	301,95	298,47	289,62	287,92	300,05	23,42
8:13:19 p. m.	365,50	373,92	291,66	289,41	280,76	278,71	291,00	23,93
8:16:19 p. m.	348,10	365,40	280,68	281,60	273,01	270,23	282,69	23,27
8:19:19 p. m.	336,79	354,86	272,87	274,68	266,12	263,50	275,91	23,13
8:22:19 p. m.	324,05	345,90	266,77	269,03	261,12	258,35	270,55	23,10
8:25:19 p. m.	311,22	339,35	261,28	264,35	256,20	253,05	265,03	22,96
8:28:19 p. m.	303,30	333,33	254,51	259,60	251,50	247,99	259,90	22,96
8:31:19 p. m.	299,46	327,60	247,93	255,30	247,27	243,00	254,94	22,72
8:34:19 p. m.	288,87	319,94	243,14	250,71	242,80	238,68	250,17	23,15
8:37:19 p. m.	282,40	313,05	238,86	246,60	238,73	234,06	245,56	22,99
8:40:19 p. m.	276,64	305,48	235,03	242,38	234,70	229,75	241,26	22,92
8:43:19 p. m.	268,31	301,05	229,82	238,84	231,15	226,18	237,30	23,25
8:46:19 p. m.	264,20	295,96	225,74	235,30	227,89	222,83	233,85	22,62
8:49:19 p. m.	256,39	289,05	222,47	231,66	224,08	219,31	230,11	23,40

8:52:19 p. m.	254,32	284,49	219,07	229,01	221,61	216,50	227,29	22,97
8:55:19 p. m.	248,01	280,99	214,99	226,30	219,01	213,67	224,24	23,12
8:58:19 p. m.	244,46	277,18	211,21	223,34	216,30	210,70	221,06	22,92
9:01:19 p. m.	234,85	273,16	208,00	220,69	213,73	207,91	218,21	23,09
9:04:19 p. m.	232,72	270,20	205,29	218,14	211,20	205,50	215,49	22,91
9:07:19 p. m.	226,34	265,56	202,43	212,63	206,42	200,41	210,55	23,04
9:10:19 p. m.	221,86	260,52	198,91	209,82	203,65	197,86	207,81	23,73
9:13:19 p. m.	218,23	256,13	195,94	206,69	200,61	194,82	204,57	23,59
9:16:19 p. m.	214,03	253,01	193,29	204,64	198,50	192,76	202,08	23,18
9:19:19 p. m.	210,36	248,38	190,15	202,06	195,72	189,89	199,26	23,22
9:22:19 p. m.	205,55	243,83	186,67	198,54	192,34	186,74	195,91	23,12
9:25:19 p. m.	203,30	240,82	184,39	196,62	190,38	185,06	194,00	23,08
9:28:19 p. m.	199,50	238,41	182,65	194,88	188,63	183,43	192,28	22,86
9:31:19 p. m.	195,68	234,47	179,75	192,20	185,86	180,49	189,29	22,79
9:34:19 p. m.	192,33	231,49	177,86	190,11	183,81	178,63	187,28	23,15
9:37:19 p. m.	189,00	228,40	175,54	188,04	181,75	176,86	185,31	23,13
9:40:19 p. m.	186,91	225,57	174,32	186,31	180,07	175,23	183,50	22,72
9:43:19 p. m.	183,66	222,64	172,69	184,31	178,29	173,51	181,62	22,70
9:46:19 p. m.	181,21	219,40	170,63	182,09	176,01	171,13	179,20	22,86
9:49:19 p. m.	178,72	216,48	168,84	180,82	174,65	169,85	177,82	23,23
9:52:19 p. m.	175,32	214,42	167,15	178,81	172,77	167,94	175,73	23,27
9:55:19 p. m.	173,38	211,06	165,41	176,52	170,42	166,03	173,68	23,13
9:58:19 p. m.	171,28	207,50	163,68	174,09	168,06	163,97	171,45	22,78
10:01:19 p. m.	168,58	205,36	162,06	172,64	166,76	162,82	170,17	23,16
10:04:19 p. m.	166,76	203,34	160,50	171,12	165,34	161,40	168,69	22,69
10:07:19 p. m.	164,61	201,18	158,79	169,52	163,59	159,67	166,85	22,89
10:10:19 p. m.	161,10	199,06	157,61	167,93	162,19	158,18	165,20	23,01
10:13:19 p. m.	158,62	197,50	156,10	166,55	160,90	156,87	163,85	22,91
10:16:19 p. m.	157,57	194,99	154,44	165,19	159,39	155,46	162,25	22,96
10:19:19 p. m.	155,09	192,59	152,33	163,55	157,83	153,80	160,55	22,86
10:22:19 p. m.	152,97	190,68	151,27	161,95	156,29	152,55	159,12	23,09
10:25:19 p. m.	152,85	188,16	149,23	161,26	155,17	151,03	157,63	23,54
10:28:19 p. m.	151,65	186,33	147,79	159,53	153,52	149,80	156,25	23,41
10:31:19 p. m.	149,76	184,42	146,27	158,22	152,12	148,45	154,76	23,70
10:34:19 p. m.	148,59	182,94	145,30	157,20	151,07	147,42	153,62	23,17
10:37:19 p. m.	145,67	181,38	144,26	155,37	149,50	146,01	152,15	23,28
10:40:19 p. m.	143,49	179,72	143,23	154,39	148,58	145,05	151,05	22,90
10:43:19 p. m.	143,03	177,24	142,19	153,28	147,31	143,73	149,73	22,90
10:46:19 p. m.	141,85	175,29	141,19	152,33	146,31	142,87	148,76	22,56
10:49:19 p. m.	140,89	173,59	139,99	151,03	145,00	141,60	147,41	23,15
10:52:19 p. m.	139,81	172,76	138,38	150,35	143,96	140,46	146,18	23,24
10:55:19 p. m.	138,08	171,09	137,60	148,65	142,53	139,46	145,06	22,85
10:58:19 p. m.	136,46	170,01	136,73	147,74	141,62	138,69	144,16	22,45

11:01:19 p. m.	134,71	168,37	135,68	147,15	140,74	137,69	143,11	22,61
11:04:19 p. m.	133,85	166,50	135,29	145,26	139,45	136,61	142,00	22,33
11:07:19 p. m.	132,69	166,13	134,22	144,92	138,97	136,06	141,27	22,51
11:10:19 p. m.	130,39	164,47	133,39	143,54	137,74	134,76	139,86	21,99
11:13:19 p. m.	130,63	162,74	132,39	142,36	136,69	133,58	138,71	22,98
11:16:19 p. m.	128,91	161,56	131,30	141,33	135,77	132,72	137,65	22,51
11:19:19 p. m.	127,57	159,78	130,58	140,32	134,80	131,90	136,68	22,56
11:22:19 p. m.	124,68	159,25	128,94	139,95	134,05	131,26	136,07	22,85
11:25:19 p. m.	125,71	157,82	128,39	138,87	133,29	130,40	135,21	23,25
11:28:19 p. m.	125,67	156,18	127,52	137,98	132,32	129,37	134,17	22,64
11:31:19 p. m.	124,94	155,28	125,89	136,85	131,02	128,58	133,11	22,26
11:34:19 p. m.	122,62	154,38	125,32	136,25	130,47	127,88	132,37	22,87
11:37:19 p. m.	123,17	153,10	124,78	135,14	129,50	126,95	131,39	22,55
11:40:19 p. m.	121,72	151,68	122,79	134,12	128,62	126,01	130,46	22,27
11:43:19 p. m.	120,75	150,40	122,36	133,45	127,84	125,21	129,56	22,44
11:46:19 p. m.	119,54	149,14	122,01	132,66	127,13	124,46	128,76	22,89
11:49:19 p. m.	118,33	147,65	122,00	131,66	126,32	123,68	127,93	22,81
11:52:19 p. m.	118,33	146,16	120,97	130,44	125,19	122,54	126,71	21,93
11:55:19 p. m.	117,76	145,47	120,28	129,54	124,27	121,81	125,93	22,30
11:58:19 p. m.	116,24	144,40	119,05	128,63	123,32	121,19	125,28	22,02
12:01:19 a. m.	116,06	143,27	118,72	128,05	122,96	120,49	124,47	21,98
12:04:19 a. m.	115,03	142,38	118,29	127,12	122,15	119,76	123,69	21,99
12:07:19 a. m.	113,41	141,52	117,59	126,24	121,39	119,08	122,95	21,93
12:10:19 a. m.	111,93	141,15	116,81	125,66	120,78	118,42	122,24	22,18
12:13:19 a. m.	111,55	139,64	115,88	124,73	119,90	117,53	121,28	21,99
12:16:19 a. m.	111,89	139,43	114,98	124,52	119,28	117,09	120,77	21,93
12:19:19 a. m.	110,29	137,82	114,61	123,49	118,43	116,29	119,94	21,91
12:22:19 a. m.	110,57	137,15	113,93	122,71	117,76	115,68	119,28	22,03
12:25:19 a. m.	109,29	136,27	113,19	122,22	117,09	115,06	118,56	22,12
12:28:19 a. m.	107,39	135,18	112,35	121,24	116,22	114,11	117,67	22,18
12:31:19 a. m.	107,74	134,65	112,05	120,33	115,50	113,38	116,83	21,97
12:34:19 a. m.	107,28	133,57	111,30	119,95	115,08	112,99	116,36	22,27
12:37:19 a. m.	106,41	133,38	110,65	119,31	114,46	112,37	115,76	21,94
12:40:19 a. m.	106,16	132,19	110,03	118,35	113,53	111,59	114,89	21,66
12:43:19 a. m.	105,30	131,48	109,56	117,80	113,12	110,93	114,10	22,00
12:46:19 a. m.	104,37	130,60	108,47	117,36	112,55	110,36	113,58	21,76
12:49:19 a. m.	104,23	129,10	107,04	116,22	111,71	109,63	112,78	22,58
12:52:19 a. m.	103,82	128,51	106,31	115,95	111,21	109,21	112,29	22,28
12:55:19 a. m.	103,10	127,78	105,36	114,99	110,45	108,33	111,46	22,50
12:58:19 a. m.	102,72	126,79	104,83	114,29	109,85	107,88	110,86	22,75
1:01:19 a. m.	101,47	126,65	104,39	114,37	109,72	107,94	110,72	22,26
1:04:19 a. m.	99,56	126,37	104,72	113,77	109,11	107,08	109,91	22,34
1:07:19 a. m.	100,44	125,05	104,20	112,58	108,29	106,49	109,37	21,82

1:10:19 a. m.	100,60	124,11	103,25	111,97	107,66	105,73	108,59	21,75
1:13:19 a. m.	99,61	123,26	103,46	111,22	107,26	105,23	108,00	21,64
1:16:19 a. m.	99,50	122,54	102,53	110,61	106,47	104,75	107,40	22,47
1:19:19 a. m.	99,31	121,71	101,96	109,90	105,84	104,25	106,88	21,91
1:22:19 a. m.	98,77	121,13	101,40	109,36	105,24	103,53	106,11	22,34
1:25:19 a. m.	98,15	120,39	101,00	108,67	104,73	103,00	105,53	22,66
1:28:19 a. m.	96,89	119,98	100,79	108,54	104,50	102,54	105,18	22,04
1:31:19 a. m.	96,88	119,14	99,74	107,65	103,62	102,01	104,50	22,47
1:34:19 a. m.	96,11	118,97	99,78	107,54	103,57	101,70	104,20	21,86
1:37:19 a. m.	95,59	118,01	98,76	106,92	102,83	101,07	103,44	22,24
1:40:19 a. m.	95,44	117,40	98,29	106,34	102,26	100,63	102,98	22,43
1:43:19 a. m.	95,18	117,50	98,33	106,41	102,40	100,91	103,14	22,65
1:46:19 a. m.	94,62	116,87	98,52	105,71	101,91	100,18	102,44	22,23
1:49:19 a. m.	93,43	116,16	98,38	105,41	101,55	99,56	101,83	21,97
1:52:19 a. m.	93,10	115,65	97,86	105,38	101,04	99,29	101,57	22,15
1:55:19 a. m.	93,20	115,22	97,41	104,61	100,64	98,80	101,01	21,61
1:58:19 a. m.	92,71	114,63	96,84	104,04	100,15	98,34	100,45	22,01
2:01:19 a. m.	92,09	113,93	96,11	103,36	99,41	97,73	99,86	21,95
2:04:19 a. m.	91,52	113,43	96,41	102,97	99,45	97,61	99,64	21,73
2:07:19 a. m.	90,71	112,98	95,61	102,48	98,80	96,95	98,98	22,36
2:10:19 a. m.	90,48	112,41	95,28	102,09	98,22	96,52	98,54	22,20
2:13:19 a. m.	89,69	111,75	94,87	101,66	97,89	96,01	97,95	22,10
2:16:19 a. m.	90,50	111,07	94,27	101,08	97,51	95,58	97,48	22,28
2:19:19 a. m.	89,39	111,15	94,05	100,82	97,48	95,69	97,57	21,94
2:22:19 a. m.	89,55	110,46	93,61	100,21	97,02	95,07	96,91	21,96
2:25:19 a. m.	88,63	109,99	92,92	99,94	96,55	94,58	96,36	22,03
2:28:19 a. m.	88,17	109,75	93,11	99,86	96,61	94,47	96,26	22,21
2:31:19 a. m.	87,92	109,39	92,37	99,54	96,20	94,29	96,02	22,25
2:34:19 a. m.	86,77	108,62	92,08	99,30	95,79	93,70	95,38	22,10
2:37:19 a. m.	87,11	108,15	91,53	98,27	95,20	93,19	94,81	21,98
2:40:19 a. m.	87,26	108,16	91,10	98,43	95,24	93,60	95,12	22,20
2:43:19 a. m.	86,92	107,63	90,70	98,07	94,64	92,80	94,37	21,78
2:46:19 a. m.	86,68	106,54	89,89	97,15	93,75	92,07	93,59	22,34
2:49:19 a. m.	86,10	106,32	89,95	97,19	93,76	92,02	93,53	22,19
2:52:19 a. m.	86,40	105,66	89,56	96,28	93,23	91,36	92,85	22,38
2:55:19 a. m.	85,92	105,32	89,39	96,15	92,91	91,06	92,52	21,93
2:58:19 a. m.	77,66	101,78	86,94	93,41	89,67	86,43	88,57	22,08
3:01:19 a. m.	75,61	85,75	82,93	89,47	85,82	83,48	85,34	22,47
3:04:19 a. m.	63,58	90,80	82,23	91,05	88,27	95,47	94,46	21,97
3:07:19 a. m.	269,31	530,05	217,70	338,38	255,44	331,50	312,21	21,95
3:10:19 a. m.	349,32	411,34	242,81	312,42	253,87	288,45	277,75	21,86
3:13:19 a. m.	588,98	754,54	314,91	421,28	354,99	387,71	364,21	22,05
3:16:19 a. m.	647,66	838,82	427,59	508,43	453,03	452,11	418,97	22,19

3:19:19 a. m.	527,44	843,22	482,48	569,24	535,89	521,52	472,75	21,60
3:22:19 a. m.	488,32	802,74	529,68	521,76	488,06	478,54	443,26	21,59
3:25:19 a. m.	733,30	921,09	639,28	620,19	567,14	532,95	488,18	21,62
3:28:19 a. m.	669,66	948,28	611,74	594,12	554,60	538,18	489,15	21,40
3:31:19 a. m.	550,38	871,70	581,67	558,79	526,69	516,57	473,82	21,49
3:34:19 a. m.	428,83	885,23	617,53	577,18	542,31	527,03	486,44	21,39
3:37:19 a. m.	561,80	679,09	508,90	485,72	453,43	442,08	419,47	21,66
3:40:19 a. m.	539,41	903,67	625,47	593,48	558,70	541,27	498,42	21,33
3:43:19 a. m.	482,28	893,48	653,02	601,97	563,38	546,82	505,15	21,50
3:46:19 a. m.	717,06	1006,84	766,67	685,33	631,81	603,33	554,63	21,58
3:49:19 a. m.	685,92	1038,92	743,19	732,21	668,93	636,54	583,27	21,52
3:52:19 a. m.	578,33	991,16	661,70	704,91	650,58	626,64	574,26	21,95
3:55:19 a. m.	621,71	911,11	668,40	616,90	578,69	568,04	528,13	21,96
3:58:19 a. m.	582,78	1018,30	827,27	762,50	686,88	652,91	595,88	21,94
4:01:19 a. m.	537,37	958,31	743,90	692,33	637,56	621,55	574,27	21,09
4:04:19 a. m.	627,93	918,54	702,74	639,88	597,78	584,64	546,07	21,19
4:07:19 a. m.	667,92	1020,11	767,65	696,18	643,18	615,26	571,65	21,07
4:10:19 a. m.	762,17	1043,38	596,24	767,02	699,79	662,61	609,79	21,04
4:13:19 a. m.	776,27	1022,82	786,11	733,46	676,89	646,38	597,00	21,44
4:16:19 a. m.	548,16	973,32	676,40	641,10	601,33	589,27	548,52	21,30
4:19:19 a. m.	790,50	1046,48	617,51	795,49	716,84	672,25	621,21	21,16
4:22:19 a. m.	580,53	624,50	499,84	445,45	422,30	426,49	416,02	21,46
4:25:19 a. m.	708,52	930,64	716,18	654,96	606,26	579,79	543,30	20,91
4:28:19 a. m.	779,38	1018,64	647,20	729,47	668,94	634,56	587,06	20,97
4:31:19 a. m.	571,89	980,75	752,11	706,98	651,42	630,88	584,13	21,24
4:34:19 a. m.	584,86	938,32	705,82	683,35	629,89	618,35	575,09	21,13
4:37:19 a. m.	665,49	873,69	670,04	608,51	571,19	563,03	531,70	21,22
4:40:19 a. m.	765,34	927,29	716,96	655,27	606,31	584,92	548,94	20,85
4:43:19 a. m.	760,03	1045,87	542,20	732,12	669,23	645,66	598,97	20,91
4:46:19 a. m.	731,84	1038,66	617,96	730,89	673,12	650,89	603,94	20,79
4:49:19 a. m.	682,73	1053,99	617,93	797,79	730,92	701,93	646,40	21,16
4:52:19 a. m.	632,55	1030,78	700,65	761,92	693,24	668,77	618,89	20,85
4:55:19 a. m.	740,31	1020,40	807,43	733,08	674,43	650,77	605,78	20,75
4:58:19 a. m.	650,19	844,45	655,63	601,45	563,70	550,07	524,49	20,89
5:01:19 a. m.	735,40	1013,76	786,39	707,02	653,51	628,00	587,88	20,70
5:04:19 a. m.	723,96	949,69	725,64	662,92	617,47	600,40	563,59	20,77
5:07:19 a. m.	669,68	1012,43	795,30	712,10	659,10	632,89	593,01	21,02
5:10:19 a. m.	637,88	931,11	729,33	662,13	615,78	601,71	566,46	21,00
5:13:19 a. m.	631,73	990,61	742,89	677,03	630,20	611,93	575,18	20,77
5:16:19 a. m.	473,20	964,10	716,82	666,30	623,23	612,23	573,76	21,15
5:19:19 a. m.	457,24	981,43	709,29	663,17	621,82	608,27	570,21	20,97
5:22:19 a. m.	680,66	934,82	693,25	637,50	599,93	591,84	557,19	20,95
5:25:19 a. m.	631,81	988,15	749,14	674,19	627,43	616,38	577,00	20,90

5:28:19 a. m.	761,19	1045,60	826,25	732,41	674,66	649,39	607,47	20,68
5:31:19 a. m.	648,48	904,96	675,74	632,03	592,56	588,52	553,44	20,74
5:34:19 a. m.	714,73	856,10	685,06	613,94	574,29	564,48	536,64	21,08
5:37:19 a. m.	790,19	932,50	717,44	650,71	607,05	590,61	558,63	20,89
5:40:19 a. m.	573,27	994,93	658,79	715,69	662,20	644,58	600,74	20,68
5:43:19 a. m.	640,50	998,78	740,16	681,51	636,26	621,38	582,27	20,66
5:46:19 a. m.	619,44	915,72	668,48	606,61	571,67	569,36	539,74	20,42
5:49:19 a. m.	607,38	1035,58	760,93	774,96	707,31	681,01	632,42	20,67
5:52:19 a. m.	656,02	1029,77	795,38	723,42	668,60	650,87	607,35	20,76
5:55:19 a. m.	740,55	896,46	714,53	645,61	605,50	594,57	562,66	20,83
5:58:19 a. m.	584,10	1005,92	751,30	725,28	669,24	654,41	609,23	20,69
6:01:19 a. m.	501,89	976,20	711,50	676,72	634,82	627,59	587,55	20,92
6:04:19 a. m.	511,33	873,97	674,00	628,59	596,07	590,89	558,34	21,26
6:07:19 a. m.	633,05	871,41	659,01	614,56	583,58	576,78	545,77	20,65
6:10:19 a. m.	582,38	981,73	726,69	687,28	643,74	638,80	592,19	21,01
6:13:19 a. m.	548,77	962,07	737,79	673,77	630,09	621,82	581,02	20,95
6:16:19 a. m.	550,11	953,49	712,94	650,82	608,37	602,56	566,04	20,69
6:19:19 a. m.	562,85	933,36	720,31	656,06	610,45	602,74	566,33	20,82
6:22:19 a. m.	650,04	893,25	714,55	638,77	596,88	589,67	556,32	21,09
6:25:19 a. m.	574,98	978,18	751,87	682,64	635,24	624,45	584,45	21,16
6:28:19 a. m.	521,82	1037,95	745,62	714,08	659,30	641,42	597,41	20,99
6:31:19 a. m.	410,17	1005,58	739,40	702,62	652,13	636,67	594,08	21,14
6:34:19 a. m.	627,23	910,12	715,73	664,57	621,63	617,87	579,33	21,30
6:37:19 a. m.	694,99	956,47	741,17	662,20	618,92	609,28	574,48	21,34
6:40:19 a. m.	678,47	1005,84	770,35	711,89	661,20	646,61	603,62	21,37
6:43:19 a. m.	626,09	1028,93	623,56	725,00	668,87	656,32	611,86	21,59
6:46:19 a. m.	584,58	935,44	718,51	656,72	616,80	612,21	577,46	21,52
6:49:19 a. m.	553,61	938,47	710,15	656,21	616,65	610,26	574,96	21,32
6:52:19 a. m.	586,54	1015,50	771,61	717,93	663,80	650,29	607,77	21,59
6:55:19 a. m.	621,31	1010,68	748,87	706,06	653,19	639,83	600,18	21,66
6:58:19 a. m.	701,43	961,93	819,06	758,84	701,66	698,83	655,05	21,73
7:01:19 a. m.	669,83	897,29	763,56	699,45	647,65	641,13	607,55	21,82
7:04:19 a. m.	735,56	861,90	727,59	674,35	628,75	619,23	588,96	21,87
7:07:19 a. m.	699,08	846,06	652,26	654,29	611,52	611,12	578,36	22,08
7:10:19 a. m.	666,62	882,53	665,26	671,16	630,46	631,29	591,96	22,05
7:13:19 a. m.	620,05	856,41	676,67	653,85	610,61	610,95	576,74	21,96
7:16:19 a. m.	602,15	973,55	751,32	714,70	666,96	656,54	613,50	21,84
7:19:19 a. m.	640,26	856,08	693,45	633,04	592,65	589,34	563,24	22,41
7:22:19 a. m.	651,03	1036,73	618,82	761,33	698,36	678,63	630,64	22,48
7:25:19 a. m.	645,06	1056,48	622,35	785,34	718,66	697,26	647,02	22,73
7:28:19 a. m.	633,74	988,04	600,79	744,85	692,01	678,13	633,22	22,39
7:31:19 a. m.	691,92	909,90	682,44	662,38	622,58	620,78	586,59	22,85
7:34:19 a. m.	660,52	861,11	690,61	657,48	615,37	614,60	581,50	22,47

7:37:19 a. m.	680,92	983,01	795,63	739,59	681,51	667,29	623,49	22,61
7:40:19 a. m.	567,31	638,29	541,83	491,49	461,18	459,81	456,92	22,43
7:43:19 a. m.	532,14	999,85	674,84	766,95	702,94	677,44	630,36	22,82
7:46:19 a. m.	511,65	1095,49	675,92	837,40	767,91	729,27	682,74	22,61
7:49:19 a. m.	393,46	1023,99	799,79	871,16	790,15	758,60	717,30	22,25
7:52:19 a. m.	570,28	1126,80	674,15	862,48	781,11	732,60	690,14	22,39
7:55:19 a. m.	637,79	896,56	750,24	680,53	643,08	636,94	611,20	22,51
7:58:19 a. m.	716,10	745,38	643,03	600,74	572,91	571,34	553,42	22,41
8:01:19 a. m.	727,40	710,90	574,53	558,01	535,59	540,16	525,29	22,82
8:04:19 a. m.	600,86	939,87	670,16	719,16	674,31	660,29	618,68	22,27
8:07:19 a. m.	636,98	934,33	800,55	712,28	665,82	654,44	616,66	22,53
8:10:19 a. m.	730,68	955,25	841,77	777,89	717,43	703,03	653,31	22,68
8:13:19 a. m.	633,20	999,06	865,70	768,67	713,27	697,34	648,46	22,68
8:16:19 a. m.	606,50	853,74	754,62	685,65	645,13	640,53	604,84	22,67
8:19:19 a. m.	686,85	827,39	660,88	647,80	613,34	610,87	582,27	22,84
8:22:19 a. m.	603,76	917,29	823,28	732,60	684,10	670,44	629,70	23,18
8:25:19 a. m.	578,31	855,56	579,43	670,90	633,14	629,80	595,14	23,40
8:28:19 a. m.	626,55	1010,13	806,12	726,04	678,61	669,12	627,52	23,69
8:31:19 a. m.	682,05	1010,14	807,87	724,51	677,23	663,55	626,57	24,43
8:34:19 a. m.	664,67	1005,17	609,34	787,65	726,41	704,09	657,01	24,25
8:37:19 a. m.	561,02	768,90	581,61	581,99	559,32	568,58	547,74	24,81
8:40:19 a. m.	673,89	988,63	816,11	741,08	691,43	677,74	636,44	24,06
8:43:19 a. m.	746,78	1032,24	803,92	725,77	677,72	659,04	622,38	24,33
8:46:19 a. m.	655,99	1060,02	696,35	805,59	739,26	719,91	668,53	24,86
8:49:19 a. m.	661,94	942,34	745,80	687,07	648,27	641,48	608,09	25,29
8:52:19 a. m.	635,93	953,23	771,35	698,92	657,72	653,83	614,48	25,90
8:55:19 a. m.	597,96	843,97	683,26	633,43	602,42	602,70	577,46	24,84
8:58:19 a. m.	646,79	1054,55	858,45	766,45	712,44	696,57	650,93	25,09
9:01:19 a. m.	618,89	762,14	536,08	581,64	561,53	573,25	548,96	25,15
9:04:19 a. m.	719,08	754,52	552,13	577,60	553,12	557,43	536,70	25,83
9:07:19 a. m.	688,80	943,43	749,33	695,61	651,79	637,29	600,50	24,86
9:10:19 a. m.	600,58	824,38	630,47	605,63	580,31	583,40	556,63	24,54
9:13:19 a. m.	505,06	571,32	423,23	428,20	391,76	369,24	382,49	25,13
9:16:19 a. m.	363,28	426,20	273,81	298,68	269,93	264,77	288,99	25,89
9:19:19 a. m.	743,84	859,01	604,06	715,86	650,76	683,02	656,65	25,59
9:22:19 a. m.	641,75	934,37	665,07	690,53	643,35	630,00	594,60	25,93
9:25:19 a. m.	655,54	959,85	742,80	718,13	675,67	659,97	615,86	26,08
9:28:19 a. m.	664,29	979,39	715,38	789,50	726,11	708,86	657,81	26,32
9:31:19 a. m.	638,82	881,18	715,62	674,78	635,86	632,22	600,28	26,74
9:34:19 a. m.	720,92	874,85	632,91	642,44	605,91	601,06	575,40	26,78
9:37:19 a. m.	661,68	1014,50	780,47	766,52	708,32	686,84	641,39	26,82
9:40:19 a. m.	613,03	901,40	716,41	672,71	635,39	632,17	598,33	26,13
9:43:19 a. m.	633,30	962,72	770,51	697,13	653,38	652,42	612,93	25,69

9:46:19 a. m.	750,86	1016,63	635,41	767,27	707,48	689,51	645,44	26,19
9:49:19 a. m.	567,19	920,38	687,98	678,88	638,82	638,80	601,75	26,01
9:52:19 a. m.	706,04	892,72	683,44	645,09	607,99	601,25	576,33	26,21
9:55:19 a. m.	641,32	943,98	842,35	733,49	669,86	665,08	620,43	27,74
9:58:19 a. m.	683,33	925,41	687,38	685,33	643,98	642,61	605,27	27,91
10:01:19 a. m.	736,60	925,14	725,90	678,79	635,93	627,01	596,14	26,96
10:04:19 a. m.	657,48	1008,16	716,72	767,97	704,70	693,03	645,75	26,27
10:07:19 a. m.	650,25	982,19	763,26	699,03	655,22	647,78	611,41	26,58
10:10:19 a. m.	616,93	664,94	499,15	489,45	471,26	485,91	477,73	27,37
10:13:19 a. m.	643,61	734,59	521,59	549,03	525,73	528,97	513,21	27,44
10:16:19 a. m.	615,63	786,38	609,34	574,39	554,34	557,81	533,56	28,04
10:19:19 a. m.	682,83	910,04	679,51	668,47	624,55	621,10	582,44	27,93
10:22:19 a. m.	655,27	1024,92	770,34	782,93	719,11	712,95	659,85	28,19
10:25:19 a. m.	655,74	1013,78	814,05	735,38	684,86	672,77	628,35	27,56
10:28:19 a. m.	647,78	941,55	680,94	650,75	618,82	620,72	585,99	27,18
10:31:19 a. m.	606,27	959,25	708,97	662,57	626,13	621,72	589,38	26,70
10:34:19 a. m.	669,19	892,33	714,66	661,75	621,09	613,78	583,84	26,62
10:37:19 a. m.	625,50	1023,15	806,87	738,61	687,54	672,93	633,32	26,99
10:40:19 a. m.	731,59	1074,59	848,41	775,50	716,49	691,58	650,32	26,67
10:43:19 a. m.	640,49	1014,69	774,86	731,93	684,25	673,30	632,88	27,76
10:46:19 a. m.	658,56	892,32	654,49	636,33	602,25	604,21	576,47	27,50
10:49:19 a. m.	725,17	946,62	732,68	701,87	653,78	642,66	609,40	27,48
10:52:19 a. m.	662,32	901,81	692,26	680,93	639,56	642,60	605,03	28,55
10:55:19 a. m.	690,68	960,84	733,95	692,35	651,96	650,89	611,13	27,74
10:58:19 a. m.	612,95	980,81	703,34	702,45	660,16	655,53	616,47	28,06
11:01:19 a. m.	667,03	885,60	660,32	643,48	612,48	617,81	587,10	28,47
11:04:19 a. m.	709,36	991,65	738,72	681,32	640,25	634,28	600,61	28,50
11:07:19 a. m.	685,49	951,73	705,63	663,63	625,47	618,78	589,89	27,62
11:10:19 a. m.	627,54	1001,17	752,74	705,91	660,47	650,42	613,48	28,78
11:13:19 a. m.	691,04	1063,40	746,42	767,64	710,35	694,94	648,09	26,80
11:16:19 a. m.	596,04	896,78	681,34	660,28	629,27	634,85	599,15	27,61
11:19:19 a. m.	583,19	678,61	506,35	505,62	479,72	483,27	478,09	28,50
11:22:19 a. m.	650,63	872,61	580,37	620,15	587,00	581,89	556,37	27,79
11:25:19 a. m.	669,10	980,98	734,25	682,85	641,16	633,56	599,52	27,58
11:28:19 a. m.	693,81	1024,71	675,19	740,49	687,15	672,63	629,42	27,26
11:31:19 a. m.	747,09	1045,44	642,21	849,72	784,74	739,19	688,93	26,85
11:34:19 a. m.	633,17	1007,40	780,21	713,46	669,14	662,42	624,39	27,07
11:37:19 a. m.	630,73	1063,57	769,64	783,85	722,99	701,74	654,17	26,79
11:40:19 a. m.	615,41	960,48	701,37	684,64	642,77	639,49	604,08	27,47
11:43:19 a. m.	690,91	934,32	723,75	671,41	634,56	631,92	599,06	27,98
11:46:19 a. m.	665,94	954,93	700,65	659,93	622,17	618,61	589,84	28,29
11:49:19 a. m.	632,82	960,51	692,85	659,48	623,18	618,56	588,59	28,72
11:52:19 a. m.	700,08	978,91	726,77	684,85	645,60	640,38	602,04	27,35

11:55:19 a. m.	696,03	945,73	689,62	675,30	639,30	639,43	601,07	27,59
11:58:19 a. m.	631,70	982,57	756,25	693,91	650,90	645,91	607,24	29,45
12:01:19 p. m.	641,12	938,02	696,70	653,05	617,74	614,29	583,19	28,62
12:04:19 p. m.	631,67	918,38	611,55	650,28	613,73	611,07	581,18	28,07
12:07:19 p. m.	747,91	819,73	588,96	577,97	552,22	554,44	534,16	29,15
12:10:19 p. m.	603,49	843,25	566,43	597,57	567,37	567,42	544,36	28,55
12:13:19 p. m.	560,70	975,82	744,31	692,65	648,44	640,40	602,57	28,09
12:16:19 p. m.	607,10	945,00	680,07	679,38	641,18	637,49	600,68	28,44
12:19:19 p. m.	807,39	813,00	639,92	619,98	584,18	577,20	554,41	27,73
12:22:19 p. m.	692,57	893,13	709,42	669,49	633,12	630,48	594,82	27,68
12:25:19 p. m.	706,46	904,08	704,71	654,10	621,86	618,76	586,08	27,58
12:28:19 p. m.	562,22	994,92	689,94	815,45	747,99	726,71	678,99	27,10
12:31:19 p. m.	612,20	775,88	585,84	579,85	545,40	539,69	527,01	27,88
12:34:19 p. m.	660,56	852,77	702,00	649,97	616,02	615,53	581,30	28,10
12:37:19 p. m.	557,36	877,63	779,11	677,58	635,30	636,54	598,58	27,81
12:40:19 p. m.	486,79	944,26	731,27	671,00	633,70	633,12	597,53	28,45
12:43:19 p. m.	675,29	934,28	792,45	709,29	662,09	656,25	617,37	28,24
12:46:19 p. m.	537,18	669,67	533,20	513,22	487,36	488,49	482,20	28,78
12:49:19 p. m.	425,66	473,52	373,63	380,74	353,36	344,16	360,05	28,47
12:52:19 p. m.	647,42	844,15	682,21	657,41	624,43	622,17	584,03	27,92
12:55:19 p. m.	653,23	802,80	678,96	665,79	628,19	627,24	592,36	27,71
12:58:19 p. m.	728,21	1020,00	710,77	821,58	757,60	728,38	679,13	27,33
1:01:19 p. m.	746,39	947,27	770,42	730,48	689,26	684,73	641,85	27,67
1:04:19 p. m.	721,98	968,54	770,65	746,78	694,36	687,46	644,16	27,73
1:07:19 p. m.	747,86	965,07	768,63	713,09	672,06	664,96	626,99	29,07
1:10:19 p. m.	672,96	1047,94	775,88	786,04	729,40	724,34	674,08	27,87
1:13:19 p. m.	793,06	1064,82	766,04	802,67	748,66	733,03	684,36	27,72
1:16:19 p. m.	872,01	1008,29	839,16	774,50	719,13	698,46	658,80	28,50
1:19:19 p. m.	739,26	1050,58	659,20	767,51	719,59	709,71	662,69	27,61
1:22:19 p. m.	848,47	956,23	748,69	694,13	654,59	649,18	615,64	28,35
1:25:19 p. m.	827,65	734,37	559,03	542,91	518,50	519,33	510,87	27,98
1:28:19 p. m.	819,83	821,55	630,40	600,21	577,69	580,62	557,26	27,89
1:31:19 p. m.	767,33	978,72	772,36	699,26	656,86	648,35	610,40	27,25
1:34:19 p. m.	747,80	866,66	661,07	615,89	588,65	591,92	564,94	27,43
1:37:19 p. m.	758,79	811,13	605,01	576,64	553,60	561,26	540,30	27,42
1:40:19 p. m.	779,21	956,10	736,34	684,82	645,28	640,54	603,39	27,26
1:43:19 p. m.	782,28	873,55	648,83	626,99	594,18	592,34	567,67	27,32
1:46:19 p. m.	717,45	928,97	734,27	672,24	634,14	629,88	595,37	26,84
1:49:19 p. m.	713,84	953,58	759,64	696,21	656,46	652,33	614,81	26,31
1:52:19 p. m.	773,01	944,37	731,73	677,37	639,54	629,45	600,32	26,82
1:55:19 p. m.	653,27	920,96	713,65	657,63	624,61	624,66	592,37	26,90
1:58:19 p. m.	742,78	985,68	781,28	710,38	669,27	661,28	624,11	27,66
2:01:19 p. m.	795,79	952,65	737,83	701,23	659,03	644,83	616,06	26,58

2:04:19 p. m.	609,49	658,90	460,16	463,55	448,69	463,47	460,74	26,88
2:07:19 p. m.	775,80	915,30	721,23	684,85	643,49	629,76	600,94	26,33
2:10:19 p. m.	787,69	1004,93	840,82	766,08	709,30	686,67	643,76	27,10
2:13:19 p. m.	818,53	1006,91	790,73	737,50	692,03	681,64	641,97	26,79
2:16:19 p. m.	734,79	883,32	677,69	637,07	606,99	609,63	583,42	26,70
2:19:19 p. m.	675,16	633,52	476,67	473,22	447,30	446,86	448,82	26,60
2:22:19 p. m.	834,80	983,94	792,21	745,03	694,04	676,68	635,07	26,33
2:25:19 p. m.	734,18	988,61	772,86	784,77	729,92	720,77	667,42	26,50
2:28:19 p. m.	760,97	925,67	761,75	710,48	665,62	651,14	618,58	26,54
2:31:19 p. m.	786,95	870,16	659,13	620,32	591,65	593,12	567,76	26,55
2:34:19 p. m.	721,13	901,69	652,29	630,00	602,78	606,31	575,65	25,64
2:37:19 p. m.	685,98	796,86	579,94	563,71	542,22	555,61	535,42	25,38
2:40:19 p. m.	637,43	1033,13	793,68	783,03	726,67	703,50	653,39	26,33
2:43:19 p. m.	670,70	1046,71	652,45	830,87	762,35	727,37	677,03	25,88
2:46:19 p. m.	668,35	864,17	697,25	643,41	605,65	599,77	577,38	26,00
2:49:19 p. m.	537,00	630,97	477,09	445,46	424,16	421,90	428,77	25,63
2:52:19 p. m.	428,93	533,17	388,94	372,59	354,43	348,65	363,65	25,37
2:55:20 p. m.	343,24	470,25	337,67	333,32	316,64	310,10	327,37	25,49
2:55:23 p. m.	342,11	469,33	337,03	332,76	316,11	309,52	326,82	25,50