



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

EVALUACIÓN MEDIANTE INDICADORES PRODUCTIVOS Y ENERGÉTICOS DE TRES MÓDULOS DE PRODUCCIÓN DE PANELA GRANULADA

Hans Rogelio Santamaría Chipana

Piura, 13 de Abril de 2012

FACULTAD DE INGENIERÍA

Área Departamental de Ingeniería Mecánico-Eléctrica

Abril 2012



Esta obra está bajo una [licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

U N I V E R S I D A D D E P I U R A

FACULTAD DE INGENIERÍA



**“Evaluación mediante indicadores productivos y energéticos de tres módulos de
producción de panela granulada”**

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Mecánico – Eléctrico

Hans Rogelio Santamaría Chipana

Asesor: Dr. Ing. Daniel Marcelo Aldana

Piura, Marzo 2012

A **Dios**,
por haberme dado la existencia y permitirme llegar
hasta este punto al lado de personas maravillosas,
por darme salud para conquistar mis objetivos
y por las bendiciones y obsequios que recibo cada día.

A **Iris**, mi madre
por apoyarme en cada instante de mi vida, por sus consejos, sus valores,
por la motivación inquebrantable que sólo ella me sabe dar,
por creer en mí, pero sobre todo por brindarme todo su amor.

A **Gilberto**, mi padre
por los ejemplos de perseverancia y valentía que me ha inculcado con sus actos,
por haberme educado y soportado mis errores,
por corregirme en esos momentos e infundirme que sea una persona de bien.

A **Cinthya, Stephanie y David**, mis hermanos
por sus corazones nobles y comprensivos
y por la confianza que tienen en mí.

A todos ellos,
muchas gracias de todo corazón.

Prólogo

La producción de panela granulada en el Perú, tiene un gran potencial de desarrollo industrial, gracias a los grandes beneficios que posee este producto. Y para que llegue a desarrollarse este potencial, es necesario que el proceso sea energéticamente eficiente.

El motivo de la investigación, es realizar la validación de una metodología, a través de indicadores energéticos y de producción, en tres casos de estudio de módulos de producción de panela granulada, siendo necesario realizar mediciones y recopilar información científicamente confiable. Así, el cálculo de los indicadores energéticos y de producción, permitirá saber cuál es la situación actual del proceso de producción de la panela, para así identificar las mejoras tecnológicas, que se podrían implementar, aumentando la eficiencia energética y de producción en los módulos de producción panela granulada.

Es oportuno el agradecimiento a las personas que hicieron posible la realización de la presente tesis:

Al Dr. Ing. Daniel Marcelo, en representación de la Universidad de Piura, como mi asesor de tesis, por su paciencia, dedicación y asesoramiento durante la realización de la misma, que ha significado un notable aporte en mi formación como profesional.

Al Dr. Ing. Rafael Saavedra García Zabaleta, de la Universidad de Piura, por su importante aporte y participación activa e incondicional en el desarrollo de la tesis, que hizo que sus siempre acaloradas explicaciones dieran como resultado un consistente trabajo.

Al Mgtr. Ing. Raúl La Madrid Olivares, de la Universidad de Piura, por la confianza y por haberme facilitado los medios necesarios para la realización de la tesis, pero sobre todo por su amistad y consejo que ha significado un constante aliento para la finalización de este trabajo.

Y a mis amigos que siempre me apoyan y de los cuales, las palabras de aliento son infaltables.

Resumen

El objetivo de ésta investigación es el desarrollo y validación de una metodología para determinar los indicadores de producción y energéticos (de sostenibilidad); identificar el estado y problemas de los módulos paneleros usando los indicadores para plantear soluciones; comprobar si el uso de la ingeniería y los cambios tecnológicos ha contribuido en el desarrollo de las plantas paneleras, mejorando el valor de los indicadores.

Se ha realizado mediciones de los parámetros in situ (en tres módulos paneleros en la sierra de Piura), con dicha información recopilada y la metodología desarrollada, se realizan los cálculos necesarios para posteriormente obtener los indicadores de dichos módulos paneleros.

Con estos resultados de los indicadores se comprueba, que sólo uno de los tres módulos paneleros (Módulo de Santa Rosa de Chonta) es el de mayor eficiencia energética y de producción, demostrando que el uso de indicadores brinda la información necesaria para determinar cuál de los módulos es más eficiente y proponer alternativas viables que lleven a menores costos de producción, mayor volumen de producción, disminución del impacto ambiental y mejorar la calidad de la panela.

Índice

Prólogo.....	vii
Resumen	ix
Índice	xi
Introducción.....	1
Capítulo 1	3
1 Industria panelera.....	3
1.1 Panela granulada o azúcar orgánica	3
1.2 Materia prima	4
1.3 Denominación de la panela en diferentes países	5
1.4 Producción mundial.....	5
1.5 Producción en el Perú.....	5
1.6 Valor nutricional general de la panela granulada	5
1.7 Valor nutricional de la panela granulada del distrito de Montero - Ayabaca - Piura...	6
1.8 Factores determinantes en la calidad de la panela.....	7
1.9 Usos de la panela.....	8
1.10 El proceso en una planta de panela granulada.....	8
1.10.1 Extracción de la materia prima.....	11
1.10.2 Recepción y acondicionamiento de la caña de azúcar.....	12
1.10.3 Extracción y acondicionamiento de jugos	14
1.10.4 Obtención de mieles para la panela	18
1.10.5 Elaboración de la panela.....	22
1.10.6 Hornilla panelera	23
Capítulo 2	29
2 Indicadores energéticos y de producción del proceso	29
2.1 Indicadores	29
2.1.1 Rendimiento del cultivo (I_1)	30
2.1.2 Rendimiento de bagazo (I_2)	30
2.1.3 Pérdidas en la chimenea (I_3)	31
2.1.4 Pérdidas en las paredes (I_4).....	44
2.1.5 Rendimiento del módulo panelero (I_5)	46
2.1.6 Eficiencia energética de la hornilla (η_e)	47
2.1.7 Capacidad real de producción ($\eta_{panela-tiempo}$).....	48
2.1.8 Cálculos adicionales para obtener los indicadores	48

Capítulo 3	49
3 Requerimientos y procedimientos para la evaluación de indicadores	49
3.1 Lista general de materiales, equipos e instrumentos	50
3.1.1 Lista in situ de materiales, equipos e instrumentos	50
3.1.2 Lista en laboratorio de materiales, equipos e instrumentos.....	51
3.2 Procedimiento.....	51
3.2.1 Pesaje de bagazo combustible	51
3.2.2 Pesaje de la caña de azúcar.....	53
3.2.3 Pesaje de bagazo fresco	55
3.2.4 Medición de intervalos de tiempos.....	57
3.2.5 Medición del porcentaje de extracción.....	57
3.2.6 Medición de la temperatura en la base de la chimenea	59
3.2.7 Medición de la composición de los gases en la chimenea.....	61
3.2.8 Medición de la temperatura del jugo en las pailas.....	63
3.2.9 Medición de pH y grados Brix de los jugos	64
3.2.10 Medición de las condiciones ambientales	66
3.2.11 Pesaje del bagacillo	67
3.2.12 Pesaje de la cachaza.....	68
3.2.13 Pesaje de la panela granulada	69
3.2.14 Medición de humedad de la panela, bagazo fresco y bagazo combustible	71
Capítulo 4	75
4 Resultados.....	75
4.1 Características de los módulos paneleros visitados.....	75
4.1.1 Módulo panelero de Santa Rosa de Chonta.....	75
4.1.2 Módulo panelero de Marmas Bajo	78
4.1.3 Módulo panelero de Santa Lucía	81
4.2 Datos adquiridos de los tres módulos paneleros visitados	84
4.2.1 Datos adquiridos del módulo panelero de Santa Rosa de Chonta	84
4.2.2 Datos adquiridos del módulo panelero de Marmas Bajo.....	88
4.2.3 Datos adquiridos del módulo panelero de Santa Lucía	90
4.3 Resultados de los tres módulos paneleros visitados	93
4.3.1 Indicadores del módulo panelero de Santa Rosa de Chonta.....	93
4.3.2 Balance de energía del módulo panelero de Santa Rosa de Chonta.....	94
4.3.3 Tiempo entre punteos del módulo panelero de Santa Rosa de Chonta	95
4.3.4 Indicadores del módulo panelero de Marmas Bajo	96
4.3.5 Balance de energía del módulo panelero de Marmas Bajo	97
4.3.6 Tiempo entre punteos del módulo panelero de Marmas bajo.....	98

4.3.7	Indicadores del módulo panelero de Santa Lucía	99
4.3.8	Balance de energía del módulo panelero de Santa Lucía	100
4.3.9	Tiempo entre punteos del módulo panelero de Santa Lucía.....	101
4.4	Comparación de los indicadores de los módulos paneleros evaluados	102
4.4.1	Comparación del rendimiento del cultivo (I_1)	102
4.4.2	Comparación del rendimiento de bagazo (I_2)	103
4.4.3	Comparación de las pérdidas en la chimenea (I_3).....	103
4.4.4	Comparación de las pérdidas en las paredes (I_4)	104
4.4.5	Comparación del rendimiento del módulo panelero (I_5)	104
4.4.6	Comparación de la eficiencia energética de la hornilla (η_e)	105
4.4.7	Comparación de la capacidad real de producción ($\eta_{panela-tiempo}$)	105
4.5	Discusión de resultados	106
4.5.1	Discusión de resultados del rendimiento del cultivo (I_1).....	106
4.5.2	Discusión de resultados del rendimiento del bagazo (I_2)	106
4.5.3	Discusión de resultados de las pérdidas en la chimenea (I_3)	106
4.5.4	Discusión de resultados de las pérdidas en las paredes (I_4).....	107
4.5.5	Discusión de resultados del rendimiento del módulo panelero (I_5).....	107
4.5.6	Discusión de resultados de la eficiencia energética de la hornilla (η_e).....	107
4.5.7	Discusión de resultados de la capacidad real de producción ($\eta_{panela-tiempo}$)	108
4.5.8	Discusión de resultados del balance de energía.....	108
4.5.9	Discusión de resultados de tiempos entre punteos del cada módulo panelero .	108
	Conclusiones y recomendaciones	109
	Conclusiones.....	109
	Recomendaciones	110
	Bibliografía.....	113
	Anexo A. Confección de un bolso de lona	115
	Anexo B. Norma técnica peruana NTP 207.063:2008	117
	Anexo C. Norma técnica peruana NTP 207.005:2010	127
	Anexo D. Fichas de control	135
	Anexo E. Características y especificaciones del analizador de gases Eurotron GreenLine ...	143

Introducción

En la actualidad la producción de azúcar orgánica (panela granulada) en nuestro país se está convirtiendo en una actividad productiva importante en comunidades rurales, teniendo un gran impacto en todos los sentidos: social, al permitir a familias pobres realizar actividades productivas que le permitan mejorar su calidad de vida; económico, pues los ingresos por las ventas de la panela van directamente al productor (familia); y ambiental, permitiendo un optimizado uso de los residuos de biomasa, en este caso bagazo.

Esta tesis se divide en cuatro capítulos. El primer capítulo presenta fundamentos teóricos de la obtención de la panela granulada, los nombres comunes de la panela en varios países, la producción mundial y en el Perú de la panela, el valor nutricional de la panela, factores que determinan la calidad de la panela granulada y su uso de la misma.

El segundo capítulo describe los indicadores energéticos y de producción del proceso y los principios termodinámicos y parámetros empleados para la determinación de los mismos.

El tercer capítulo detalla los requerimientos y procedimientos para la evaluación de los indicadores energéticos y de producción.

El cuarto capítulo presenta los resultados, comparación y discusión de los indicadores energéticos y de producción, en tres casos de estudio de producción de panela granulada en el distrito de Montero – Piura.

Y para finalizar se muestran las conclusiones, brindando los alcances obtenidos como consecuencia de este trabajo.

Capítulo 1

Industria panelera¹

1.1 Panela granulada o azúcar orgánica

Es un alimento edulcorante y energético sólido granulado (ver figura 1.1), cuya materia prima es la caña de azúcar. Este producto alimentario, a diferencia del azúcar común, no sufre ningún tipo de refinamiento o adición de sustancias clarificantes sintéticas.

La panela o azúcar orgánica ha tomado importancia debido a sus beneficios frente al azúcar común, ya que además de brindar su función como edulcorante, ofrece minerales como el hierro y fósforo, vitaminas A, B, C, D y E, proteínas, glucosa, fructosa y entre otros.



Figura 1.1: Panela granulada en la mesa piurana
Fuente: propia

¹ Este capítulo ha sido elaborado con las referencias bibliográficas [1], [2], [3], [4], [5], [6], [14], [15], [16] como guías

1.2 Materia prima

La materia prima para la elaboración de la panela es la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*²) tal como se ve en la figura 1.2. Las propiedades de la caña influyen directamente en la calidad de la panela, varían según la zona donde se cultive, la altura sobre el nivel del mar (msnm), el tipo caña y el tiempo en que se corta la caña (madurez de la caña). A continuación se presenta la composición del jugo de caña de azúcar. Ver tabla 1.1

Tabla1.1: Composición del jugo de caña de azúcar

Fuente: Bibliografía [1]

Componentes mayores	
Componentes	Valor
Agua, %	75 – 88
Azúcares, %	11 – 21
Sacarosa, %	10 – 20
Glucosa, %	2 – 4
Fructosa, %	2 – 4
Sales, mg/100 g	1 – 3
Ácidos orgánicos libres, mg/100 g	1.25 – 52.5
Carboxílicos, mg/100 g	1.1 – 3
Aminoácidos, mg/100 g	0.5 – 2.5
Componentes menores:	
Componentes	Valor
Proteínas, %	0.5 – 0.6
Almidón, %	0.001 – 0.05
Gomas, %	0.3 – 0.6
Cera, grasas fosfátidos, %	0.05 – 0.15
Otros, %	3 – 5



Figura 1.2: Caña de azúcar

Fuente propia, tomada en el distrito de Montero - Piura – Perú.

² Nombre científico de la caña de azúcar.

1.3 Denominación de la panela en diferentes países

Este producto alimentario, es también conocido como **azúcar orgánica** en España, **panela** o **chancaca** en Perú, Colombia, Chile, Bolivia y Argentina, **rapadura** en Cuba, **raspadura** en Brasil, **atado dulce** o **dulce** en Ecuador, **papelón** en Venezuela y Guatemala, **piloncillo** o **panocha** en México, “**gur**” o “**jaggery**” en la India y Pakistán o como lo registra la FAO [4] (*Food and Agriculture Organization*) **azúcar no centrifugado**.

1.4 Producción mundial

El principal productor y exportador en el mundo es India, según la FAO [4] (*Food and Agriculture Organization*), que en el periodo de 1998 hasta el año 2002, alcanzó el 86 % del total de la producción, en segundo lugar está Colombia con un 13.9 %, y en un tercer nivel el 0.1 % restante los producen 25 países, entre ellos el Perú.

1.5 Producción en el Perú³

Se vienen desarrollando proyectos para mejorar la calidad del producto y el autoabastecimiento del horno, con el propio bagazo⁴, aumentando así la eficiencia de la planta. Un buen ejemplo es el desarrollado por la Universidad de Piura, junto con FINCyT⁵ y con la colaboración de CEPICAFE⁶, en el Centro Poblado Rural de Santa Rosa de Chonta, distrito de Montero, provincia de Ayabaca, en el departamento de Piura – Perú. De ésta manera se busca el desarrollo económico de los lugareños, el ser más amigable con el medio ambiente minimizando las emisiones tóxicas de la combustión generada en el horno y la deforestación.

La panela del distrito de Montero, se exporta a Francia, Italia y Suiza. En el 2009 se exportó 600 toneladas aproximadamente, con una entrada de 720000 dólares. El consumo a nivel nacional alcanza el 5% de la producción total de CEPICAFE.

1.6 Valor nutricional general de la panela granulada

La composición de la panela presenta carbohidratos, minerales, proteínas, vitaminas, grasas y agua. Un estudio realizado por laboratorio CORPOICA – CIMPA⁷ 1988 y 2004 muestra los siguientes resultados (ver tabla 1.2).

³ Los datos mencionados en este apartado tienen como fuente la referencia bibliográfica [6] como guía.

⁴ Bagazo: residuo de materia después de extraído su jugo, para el caso del bagazo de caña de azúcar éste es un residuo leñoso que comprende fibra y fracción del jugo que no se ha podido extraer.

⁵ FINCyT: Programa de Ciencia y Tecnología que financia proyectos que contribuyen al mejoramiento de los niveles de competitividad del país, fortaleciendo las capacidades de investigación e innovación tecnológica.

⁶ CEPICAFE: Central Piurana de Cafetaleros.

⁷ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.

Tabla 1.2: Composición general de la panela granulada por el laboratorio CORPOICA – CIMPA

Fuente: Bibliografía [1]

Componente	Panela granulada
Carbohidratos, g/100 g	97.0
Sacarosa, g/100 g	89.5
Azúcar invertido ⁸ , g/100 g	6.0
Proteína, g/100 g	0.74
Grasa, g/100 g	0.35
Fibra, g/100 g	0.01
Ceniza, g/100 g	1.7
Minerales en mg/100 g	
Potasio	535.0
Calcio	170.0
Magnesio	29.0
Fósforo	133
Sodio	23
Hierro	2.5
Zinc	2.8
Cobre	0.6
Humedad, g/100 g	1.9
Energía en Cal/100 g	377.5
pH	6.0

1.7 Valor nutricional de la panela granulada del distrito de Montero - Ayabaca - Piura

Composiciones más relevantes que informa CEPICAFE, acopiador y exportador mayoritario de la panela procesada en Montero, se muestra en la tabla 1.3:

Tabla 1.3: Composición de la panela granulada en el distrito de Montero

Fuente: CEPICAFE. [2]

Componente	Panela granulada
Sacarosa, g/100 g	83.3
Glucosa, g/100 g	5.81
Fructosa, g/100 g	5.81
Calcio, mg/100 g	79.18
Magnesio, mg/100 g	81.21
Fósforo, mg/100 g	68.46
Hierro, mg/100 g	1.98

⁸ Azúcar invertido: representa a la glucosa y fructosa.

1.8 Factores determinantes en la calidad de la panela

La panela al ser un producto orgánico, debe ser cuidada de manera correcta para su buena conservación, algunos de los factores más predominantes son:

- Grado de madurez, o el tiempo en que es cosechada la caña de azúcar, ya que depende de este tiempo, como es que la inversión de la sacarosa se acelera (indeseado) y con ello la calidad de textura y color adecuado.
- Modo de cosecha de la caña de azúcar, donde se obtienen resultados diferentes cuando se realiza por entresaque⁹ y por parejo¹⁰.
- Cuando se cosecha más de cinco veces la misma caña, es decir cuando la caña de azúcar ya se encuentra vieja, en el producto final se ve desfavorecida.
- Buena distribución de los ambientes de la planta de producción de panela granulada, para que el vapor de agua que se encuentra evaporando del proceso, no entre en contacto directo con la panela granulada (producto final) y así no aumentar la humedad de la panela, que deterioraría en calidad y la conservación del producto.
- El tiempo que tiene el apronte¹¹ de la caña de azúcar, después del corte y antes de la molienda¹², es un periodo que pone en juego la inversión de la sacarosa.
- Climatología, donde las condiciones atmosféricas varían la calidad de la panela, como presencia de lluvias o sequías.
- La dosificación del regulador¹³ en muchos casos: (ceniza de la cáscara del café orgánico, bicarbonato de sodio, etc.), que debe controlar correctamente el pH del jugo de caña, caso contrario es seguro que no se obtengan buenos resultados de panela e incluso no llegue a granular.
- Cuando se mezcla diferentes tipos de caña en la molienda, el jugo de ésta mezcla tendrá un pH desconocido y en caso que éste no se controle, se obtendrá panela de mala calidad.
- Limpieza dentro del proceso de la panela, incluyendo utensilios, pailas, tuberías, envases, empaques, etc.
- Uso de fertilizantes en el cultivo ya sea de carácter orgánico o industrial.
- Habilidad del operario o persona capacitada en el proceso de producción de panela.
- Correcto envasado y almacenaje para conservar la calidad de la panela.
- El saneamiento correcto y oportuno de la caña de azúcar, para disminuir las enfermedades y plagas en la caña.

⁹ Entresaque o desguíe: Método de corte manual realizada por el campesino, que consiste en recolectar las cañas de azúcar maduras y dejando en el campo las cañas de azúcar inmaduras para su posterior recolección, es el más utilizado en pequeños productores.

¹⁰ Parejo: Método de corte utilizado en los cultivos tecnificados, realizada con maquinaria, porque el crecimiento de la caña de azúcar es uniforme y por lo tanto la caña de azúcar madura a la misma edad.

¹¹ Apronte: Operación que se realiza para almacenar la caña de azúcar suficiente para logra una operación continua en la molienda.

¹² Molienda: proceso donde se realiza la extracción de los jugos de la caña de azúcar.

¹³ Regulador: Sustancia empleada para modificar el grado de acidez (pH) del jugo de caña de azúcar.

1.9 Usos de la panela

- Edulcorante, para la elaboración de bebidas y refrescos, en reemplazo del azúcar tradicional.
- Ingrediente en la gastronomía peruana en postres, mermeladas, tortas, galletas, salsas; empleados también en otros países como Colombia, Venezuela, Ecuador, etc.
- Energético, utilizada con agua por algunos deportistas como bebida hidratante natural que mejora el rendimiento y la resistencia física.
- Medicinal, preparada con agua caliente y jugo de limón por tener propiedades curativas de enfermedades en el sistema respiratorio como la bronquitis.

1.10 El proceso en una planta de panela granulada

El proceso en una planta de panela granulada comprende varias etapas, donde en cada una de las etapas se realiza una tarea diferente que permite la transformación de la caña de azúcar en panela granulada. A continuación se detallan las etapas:

- Extracción de la materia prima: se realiza el corte de la caña de azúcar.
- Recepción y acondicionamiento de la caña: se desarrolla el alza, transporte, recepción, apronte y pesaje de la caña de azúcar.
- Extracción y acondicionamiento de los jugos: se ejecuta la molienda, la pre-limpieza y el almacenamiento de los jugos.
- Obtención de mieles para la panela: se efectúa la clarificación¹⁴, evaporación, concentración y punteo¹⁵.
- Elaboración de la panela: se hace el batido – enfriamiento y tamizado¹⁶.

Se presenta, en la figura 1.3, el flujo detallado del proceso para la obtención de la panela y en la figura 1.4 se muestra el diagrama de flujo del proceso de producción de la panela granula.

Cabe destacar que existe también la panela en bloques; producto que en el momento del punteo no se bate hasta convertirla en granos, sino que se deposita en gaveras o moldes donde se seca y enfría hasta obtener el bloque totalmente sólido.

¹⁴ Clarificación: consiste en la eliminación de sustancias en suspensión y la regulación del pH de los jugos de la caña de azúcar, administrando cal apta para el consumo humano o sustancia similares.

¹⁵ Punteo: término denominado como “punto panela”, en el cual la miel ya está lista para extraerse y convertirse en panela.

¹⁶ Tamizado: método físico para separar partículas de diferentes tamaños por un tamiz o cedazo.



Figura 1.3: Flujo completo del proceso para la producción de la panela
Fuente: Bibliografía [1]

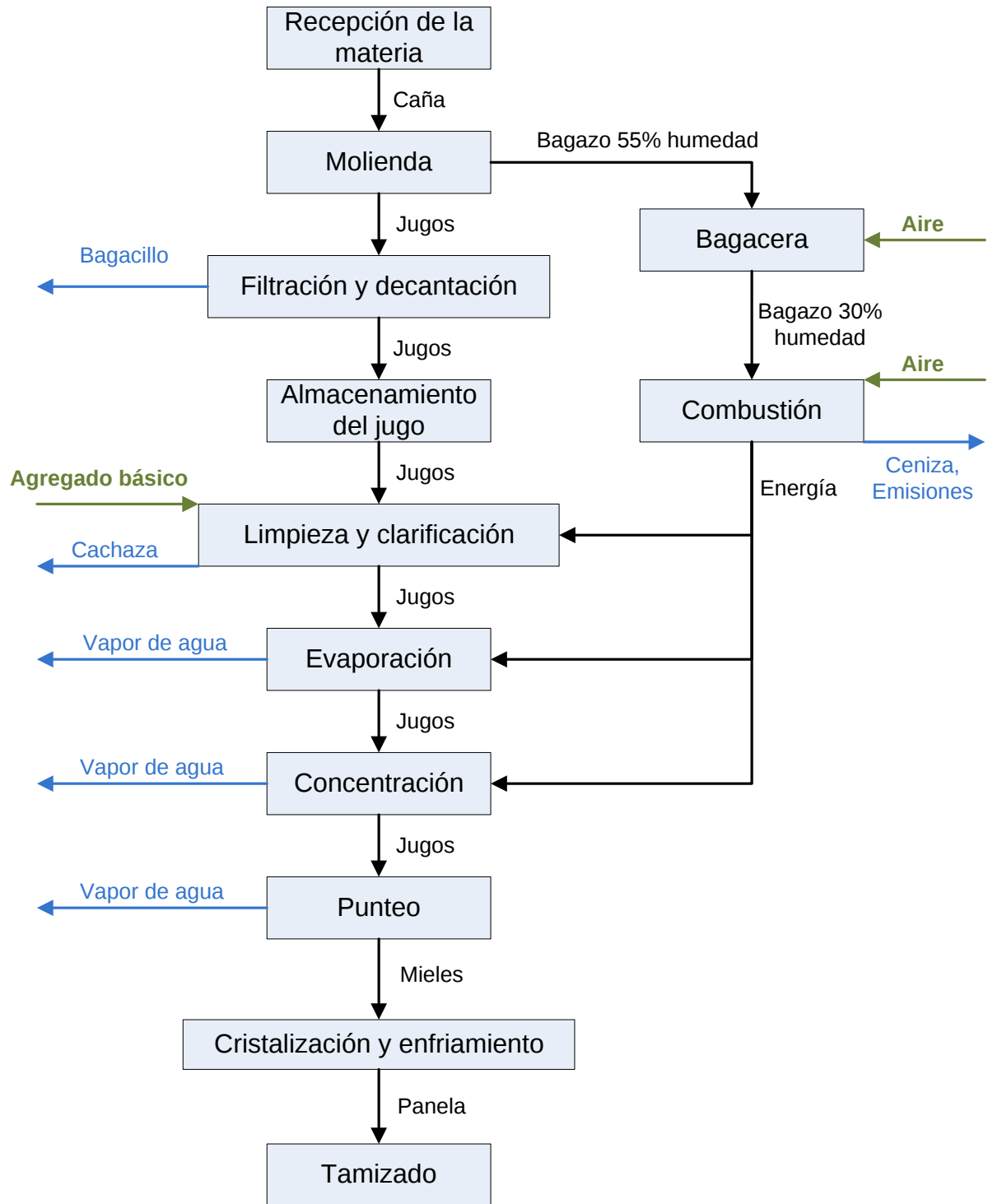


Figura 1.4. Diagrama de flujo del proceso de producción de panela

Fuente: Tesis, La Madrid Olivares. [14]

1.10.1 Extracción de la materia prima

1.10.1.1 Corte

Existen dos formas de cortar la caña de azúcar para su posterior procesamiento la primera, es por entresaque o desguíe (véase figura 1.5), aquí el agricultor selecciona una por una la caña de azúcar y la corta según le determine su experiencia para identificar cuál de los tallos de caña de azúcar se encuentra maduro. El otro tipo de corte es por parejo (ver figura 1.6), en el que todos los tallos de caña de azúcar son cortados a la vez; este tipo de corte se realiza normalmente en cultivos tecnificados en los que existe una homogeneidad en el crecimiento y por lo tanto la madurez de la caña de azúcar es uniforme, este tipo de corte se justifica cuando los costos de producción son menores al emplear equipos de corte y no mano de obra.

Para que la panela sea de buena calidad, es necesario determinar la madurez óptima de la caña de azúcar y esto depende principalmente de las condiciones ambientales, del tipo de caña y de la altura sobre el nivel mar. Por eso se ha establecido la madurez de la caña de azúcar, según su periodo vegetativo¹⁷, como se observa la siguiente tabla 1.4:

Tabla 1.4: Madurez de caña de azúcar según altura y periodo vegetativo
Fuente: Bibliografía [1]

Rango de altitud [m.s.n.m.]	Periodo Vegetativo
0 – 600	10 – 12 meses
600 – 1200	12 – 15 meses
1200 – 1600	14 – 18 meses



Figura 1.5: Corte por entresaque o desguíe

Fuente propia, tomada en el distrito de Montero - Piura – Perú.

¹⁷ Tiempo de duración de la maduración, desde la siembra hasta la cosecha.



Figura 1.6: Corte por parejo

Fuente: Libros de Agro. [3]

1.10.2 Recepción y acondicionamiento de la caña de azúcar

1.10.2.1 Alce y transporte

El alce y transporte tiene como objetivo recoger los tallos de caña cortados y transportarlos hasta la zona destinada para su almacenamiento en el cañatero¹⁸, de la mejor manera posible; en los distritos de Piura el transporte en la zona de cultivo, se viene realizando en su mayoría con animales de carga (asnos) como se muestra en la figura 1.7 y en pequeñas unidades de camiones (ver figura 1.8).



Figura 1.7: Animales de carga transportando caña de azúcar

Fuente propia, tomada en el distrito de Montero - Piura - Perú.

¹⁸ Cañatero: Lugar destinado para el almacenaje de la caña de azúcar cortada. Normalmente se encuentra ubicado muy cerca del molino panelero para asegurar la continuidad del proceso del molido de caña.



Figura 1.8: Camión de transporte de caña de azúcar
Fuente propia, tomada en el distrito de Montero -Piura - Perú.

1.10.2.2 Recepción y apronte de la caña de azúcar

La recepción de los troncos de caña de azúcar, es realizada de tal manera que facilite su continuidad a la hora de la molienda como se evidencia en la figura 1.9, con lo cual el cañatero debe estar cerca y tener un fácil acceso al molino, además de encontrarse protegido del sol para evitar la deshidratación de la caña de azúcar y con ello la inversión de la sacarosa.



Figura 1.9: Camión de transporte descargando la caña de azúcar en el cañatero
Fuente propia, tomada en la planta panelera que cuenta el centro poblado rural de Santa Rosa de Chonta, distrito de Montero – Ayabaca – Piura.

1.10.2.3 Pesaje de la caña

Es una operación fundamental que permite obtener datos necesarios para la determinación de parámetros productivos, de capacidad, de rendimiento y eficiencia. Para realizar esta etapa se puede hacer uso de plataformas de pasaje (para carros, camiones y asnos), de balanzas romanas o de balanzas de plataforma; cualquiera que sea la forma, es necesario que sea eficiente para no interferir con el proceso de la obtención de la panela.

1.10.3 Extracción y acondicionamiento de jugos

1.10.3.1 Molienda

Llamada así a la operación que consiste en pasar la caña de azúcar por medio de los rodillos o mazas de un molino (ver figura 1.10), para obtener el jugo de caña o guarapo.

En este mismo proceso también se obtiene el bagazo fresco, que es residuo de fibra de caña de azúcar, siendo muy importante la humedad con la que sale del molino; ya que este bagazo fresco, al perder parte del agua restante de manera natural (secado a la intemperie), será usado como combustible para aumentar la temperatura de los jugos evaporando el agua contenida en ellos y concentrando las mieles hasta llegar al punto de panela.

Existen diversos tipos de molinos o trapiches, los más comunes de 3 ó 5 mazas, también hay de dos disposiciones como: horizontal y vertical, o de peculiar distribución como la triangular y más arreglos donde se ordena por conveniencia: mejor maniobrabilidad, tipo de energía que aprovechará el molino (caídas de agua, energía eléctrica, combustibles, etc.), capacidad de la planta, así como el factor humano (mano de obra disponible y organización para el inicio de producción).



Figura 1.10: Molino de tres mazas, horizontal, de marca “El Panelero”

Fuente propia, tomada en la planta panelera que cuenta el centro poblado rural de Santa Rosa de Chonta, distrito de Montero – Ayabaca – Piura.

En el caso de la sierra de Piura, en el centro poblado rural de Santa Rosa de Chonta, distrito de Montero, cuenta con un molino de tres mazas, con distribución triangular, y de forma horizontal, modelo “R8” de fabricación colombiana con capacidad de 1500 kg caña/hora de marca “El Panelero” y un motor diesel de combustión interna (véase figura 1.11), caracterizándose según la tabla 1.5:

Tabla 1.5: Características de un motor industrial de uso panelero

Fuente propia: Datos tomados directamente de la placa del motor, que cuenta el centro poblado rural de Santa Rosa de Chonta, distrito de Montero – Ayabaca – Piura.

Motor Diesel	
Marca: Shandong Laidong Engine Co., Ltd	
Potencia	24 HP
Velocidad	2200 rpm
Peso neto	190 kg
Cilindros	1



Figura 1.11: Motor diesel

Fuente propia, tomada en la planta panelera que cuenta el centro poblado rural de Santa Rosa de Chonta, distrito de Montero – Ayabaca – Piura.

El acople entre el molino y el motor, se realiza con una correa de transmisión de potencia por simple presión, tal como aprecia en la figura 1.12, que para éste caso el eje del motor y el eje del molino se encuentran distanciados aproximadamente 3.2 m.

Hay que tener en cuenta que esta zona, entre el molino y el motor, es de peligro, ya que pueden ocasionarse accidentes.



Figura 1.12: Conexión de correa para la transmisión de potencia, desde el motor diesel hasta el molino
Fuente propia, tomada en la planta panelera que cuenta el centro poblado rural de Santa Rosa de Chonta, distrito de Montero – Ayabaca – Piura.

1.10.3.2 Pre-limpieza

La pre-limpieza es la tarea que se basa en separar por medios físicos y a temperatura ambiente las impurezas dispersas en el jugo, constituidas primordialmente por restos de bagazo, bagacillo de la caña, partículas de tierra, material flotante, lodos, ceras y grasas. Para llevar a cabo dicha operación se utilizan los pre-limpiadores, como se presenta en las figuras 1.13 y 1.14, que son depósitos diseñados de forma conveniente para que separen y sedimenten por diferencia de densidades, las partículas sólidas en suspensión del jugo de la caña obtenido de la molienda.

Los pre-limpiadores están ubicados después del molino, con la debida separación para que no se contamine el jugo con aceite del molino. Se recomienda usar dos pre-limpiadores cuando el caudal del jugo es mayor de 500 litros por hora y el orden de conexión entre los pre-limpiadores debe ir en serie, para su correcto funcionamiento, según la referencia bibliográfica [1].

El primer pre-limpiador se encarga de remover las impurezas de mayor tamaño y el segundo pre-limpiador remueve las impurezas más pequeñas, que son más difíciles de separar, como los lodos.



Figura 1.13: Pre-limpiador 1
Fuente: Bibliografía. [1]



Figura 1.14: Pre-limpiador 2

Fuente: Bibliografía [1]

1.10.3.3 Almacenamiento del jugo

Esta etapa consiste en almacenar los jugos de caña de azúcar después de haber pasado por el pre-limpiador (véase figura 1.15). Este depósito debe ser de acero inoxidable porque es un material resistente a la corrosión de fácil limpieza y recomendado en los procesos de producción de alimentos.



Figura 1.15: Depósito para almacenamiento del jugo de caña de azúcar

Fuente propia, tomada en la planta panelera que cuenta el centro poblado rural de Santa Rosa de Chonta, distrito de Montero – Ayabaca – Piura.

1.10.4 Obtención de mieles para la panela

1.10.4.1 Clarificación

Esta etapa se realiza en la paila¹⁹ clarificadora, dicha paila se encuentra en contacto con el flujo de gases calientes emitido por la hornilla²⁰ panelera, como se muestra en la figura 1.16 y en la figura 1.17.

El objetivo de ésta etapa es limpiar el jugo de caña de azúcar mediante una operación combinada de calor generado en la hornilla (para lograr un precalentamiento) y la adición de un agente floculante²¹ generalmente a base de cortezas de plantas como el guácimo o el cadillo (Colombia), para facilitar la formación de cachaza²², en otras regiones como la sierra de Piura, se usa un regulador de pH, generalmente jugo con tamo del café (ceniza de la cáscara del café orgánico) o bicarbonato de sodio (ver figura 1.18) para regular la acidez de los jugos, parámetro que al variar ocasiona la floculación.

En esta etapa se retira manualmente la cachaza formada y se controla el pH del jugo de la caña de azúcar, tratando de mantener un pH neutro ($\text{pH}=7$) para evitar la inversión de la sacarosa en azúcares reductores (fructosa y glucosa), asegurando la calidad de panela.

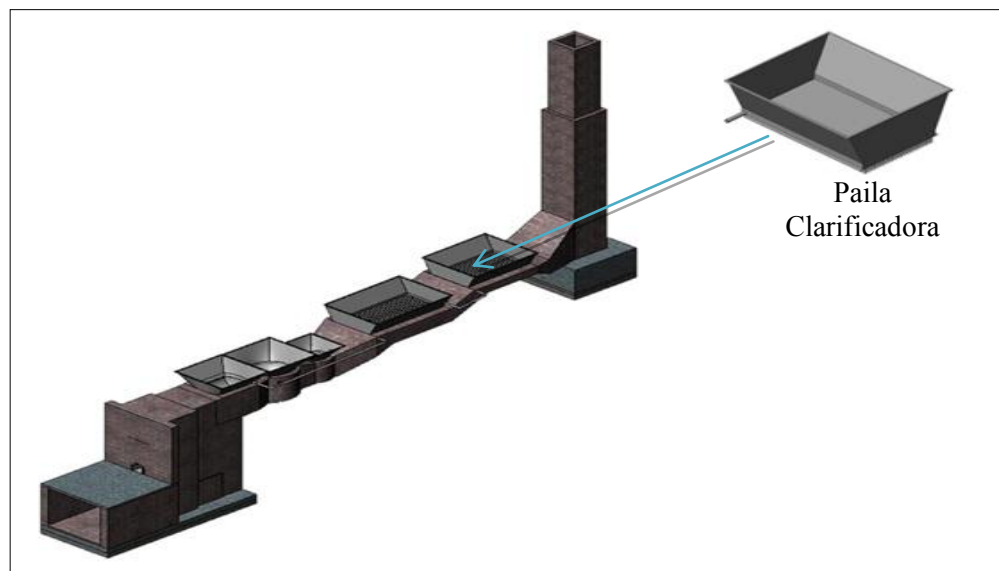


Figura 1.16: Paila clarificadora en el esquema de la hornilla panelera de flujo mixto

Fuente: Bibliografía [6]

¹⁹ Paila: Depósito de material resistente a las altas temperaturas, normalmente de acero inoxidable por tratarse de alimentos.

²⁰ Hornilla: Componente del módulo donde se realiza la combustión.

²¹ Floculante: Sustancia que aglutina sólidos en suspensión.

²² Cachaza: Impurezas concentradas por flotación, que se forman en la superficie superior del jugo de caña de azúcar en forma de espuma.



Figura 1.17: Paila clarificadora

Fuente propia, tomada en la planta panelera que cuenta el centro poblado rural de Santa Rosa de Chonta, distrito de Montero – Ayabaca – Piura.



Figura 1.18: Bicarbonato de sodio

Fuente propia, tomada en la planta panelera que cuenta el centro poblado rural de Santa Rosa de Chonta, distrito de Montero – Ayabaca – Piura.

1.10.4.2 Evaporación y concentración

Finalizada la etapa de clarificación, se inicia la evaporación del agua contenida en los jugos de la caña de azúcar, de ésta manera se logra concentrar los azúcares en los jugos. En dicha etapa el calor suministrado por la combustión en la hornilla, es aprovechado para el cambio de fase del agua (de líquido a vapor) con lo cual se logra aumentar el contenido inicial de sólidos solubles hasta el punto para la obtención de panela.

Cuando los jugos alcanzan un contenido de sólidos solubles cercanos a 70 °Brix, éstos jugos adquieren el nombre de mieles.

El número de pails evaporadoras y concentradoras dependen del diseño de la hornilla panelera. Tal como se evidencia en la figura 1.19, para el caso del módulo panelero de Santa Rosa de Chonta.

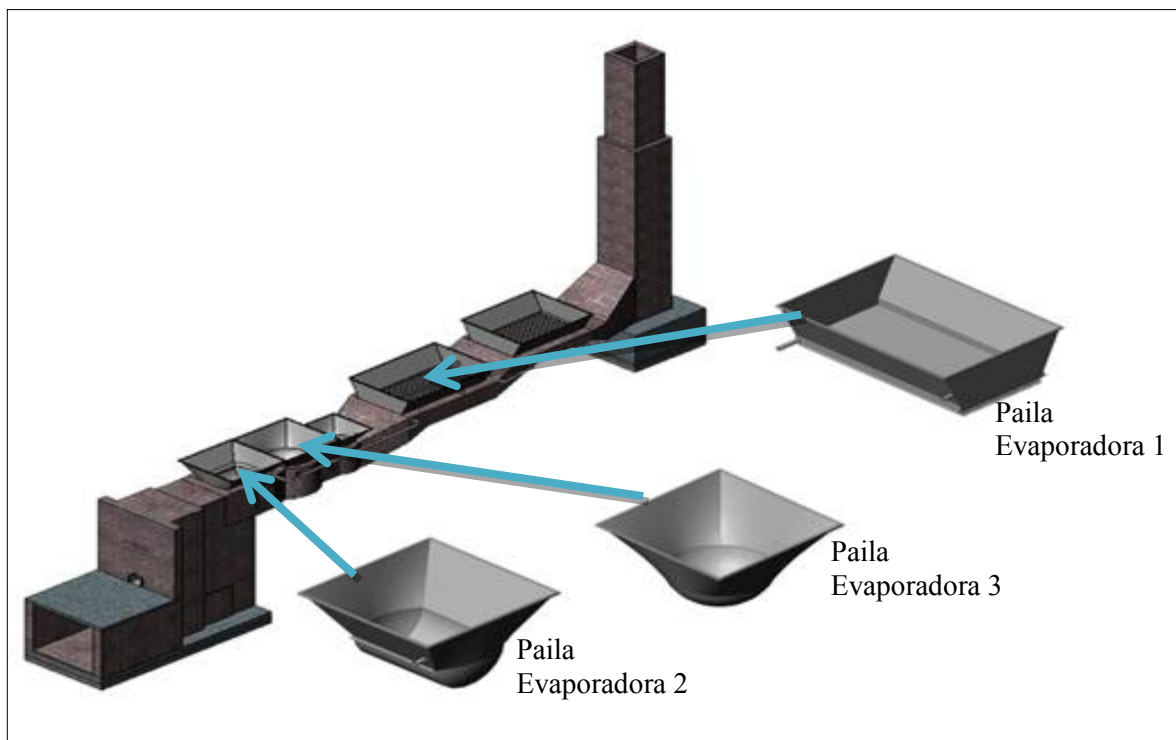


Figura 1.19: Pails evaporadoras en el esquema de la hornilla panelera de flujo mixto

Fuente: Bibliografía [6]

1.10.4.3 Punteo

El punteo es la operación de trasvasar las mieles (a 96 °Brix aproximadamente) de la paila punteadora (ver figura 1.20) a un depósito fuera del contacto con el flujo caliente de los gases de combustión, para su posterior batido y enfriamiento, como se indica en la figura 1.21. Esta operación se repite cada cierto tiempo hasta procesar todas las mieles y el tiempo de espera entre punteo y punteo depende de la capacidad de producción del módulo panelero.

En ésta etapa de elaboración de panela, se persigue la obtención del “punto panela”²³ en el que un indicativo térmico es la temperatura de 128 °C que alcanzan las mieles, lo que indica que está alrededor de 96 °Brix.

En las plantas de procesamiento de panela granulada, por la falta de instrumentos de control, se recurre a la observación de ciertas características. Un ejemplo típico es el método empleado en la sierra de Piura, donde se toma una muestra de miel y ésta inmediatamente es sumergida en agua fría a temperatura ambiente, al realizar este procedimiento la miel debería cristalizar y volverse frágil o quebradiza, determinando de este modo que las mieles están listas para pasar a la siguiente etapa, tal como se señala en la figura 1.22.

²³ Punto panela: Mieles con características idóneas para pasar a la siguiente etapa del proceso. En el caso de panela granulada la característica principal es que las mieles deben encontrarse alrededor de 96 °Bx.

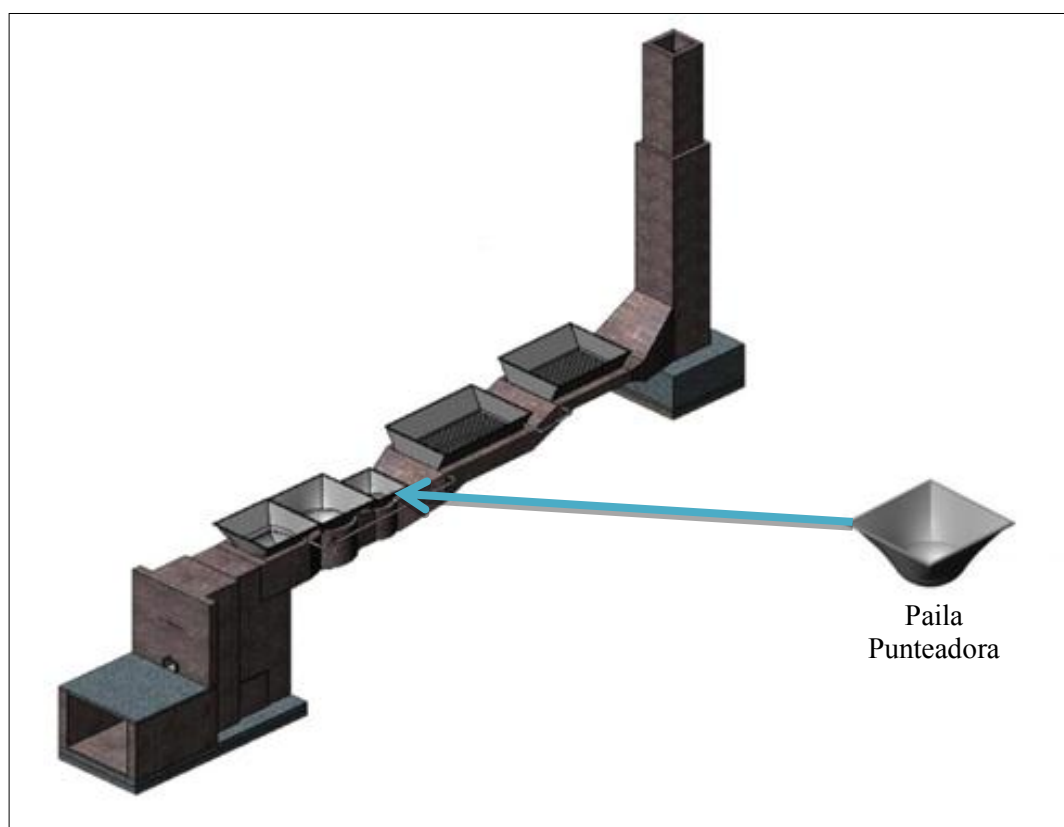


Figura 1.20: Paila punteadora en el esquema de la hornilla panelera de flujo mixto
Fuente: Bibliografía [6]



Figura 1.21: Finalización del punteo

Fuente propia, tomada en la planta panelera que cuenta el centro poblado rural de Santa Lucía, distrito de Montero – Ayabaca – Piura.



Figura 1.22: Procedimiento empírico para verificar el punto panela

Fuente propia, tomada en la planta panelera que cuenta el centro poblado rural de Marmas Bajo, distrito de Montero – Ayabaca – Piura.

1.10.5 Elaboración de la panela

1.10.5.1 Batido y enfriamiento

Esta etapa se realiza en una batea de acero inoxidable (ver figura 1.23), donde por fuerza intermitente de batido se cristaliza progresivamente y se da la forma de grano a la panela mientras ésta se enfría.



Figura 1.23: Batido y enfriamiento de la panela

Fuente propia, tomada en la planta panelera que cuenta el centro poblado rural de Santa Rosa de Chonta, distrito de Montero – Ayabaca – Piura.

1.10.5.2 Tamizado

Esta etapa consiste en separar partículas de diferentes tamaños de granos de panela por un tamiz o cedazo (véase figura 1.24). Los granos más finos en su conjunto se denominan panela granulada y los granos que no logren pasar el tamiz (granos gruesos) en su conjunto se denomina confitillo.



Figura 1.24: Tamizado de la panela

Fuente propia, tomada en la planta panelera que cuenta el centro poblado rural de Marmas Bajo, distrito de Montero – Ayabaca – Piura.

1.10.6 Hornilla panelera

Es la parte primordial de la planta de procesamiento, en ella se transforma la energía química, obtenida de la combustión directa del bagazo, en energía térmica necesaria para evaporar el agua contenida en los jugos de la caña en las etapas de clarificación, evaporación, concentración y punteo.

La hornilla panelera está formada por la cámara de combustión, el ducto de gases, las pailas y la chimenea.

Según los manejos de jugos, existen tres formas de flujo de los jugos a través de la hornilla: el paralelo, en contracorriente y el mixto. Como se evidencia en la figura 1.25.

- Flujo paralelo: La dirección que tienen los jugos es la misma que tienen los gases de combustión.
- Flujo en contracorriente: La dirección de los jugos es opuesta a la de los gases de combustión.
- Flujo mixto: La dirección que toma los jugos inicialmente es contracorriente y luego paralela a la dirección de los gases de combustión.

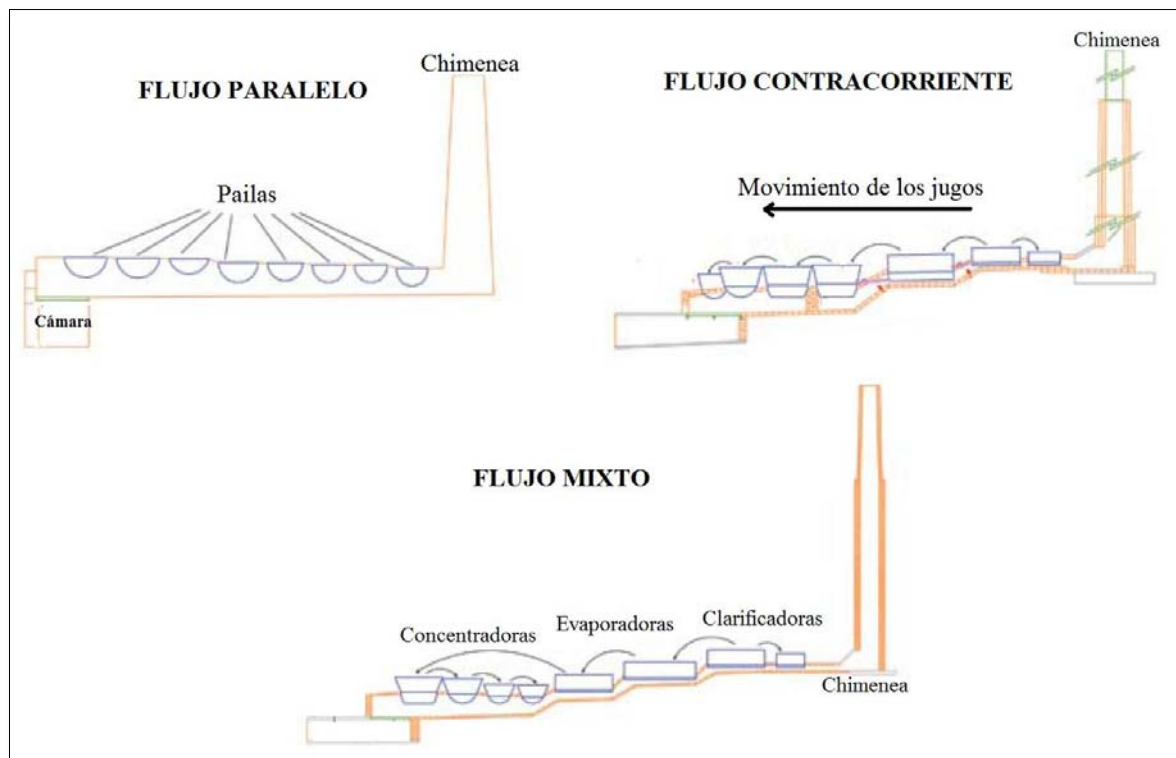


Figura 1.25: Tipos de flujo en la hornilla panelera

Fuente: Bibliografía [1]

1.10.6.1 Cámara de combustión

Es una cavidad donde se quema el bagazo y todo tipo de combustibles auxiliares empleados, como por ejemplo la leña, en la obtención de la panela granulada. Los tipos de cámaras de combustión más usados en la actualidad son: el tradicional (ver figura 1.26), tradicional mejorado, tipo Ward y el tipo Ward-Cimpa (véase la figura 1.27). Todas las cámaras de combustión están compuestas por:

- Puerta de hornilla o boca de alimentación: que es una pequeña puerta por donde se introduce el bagazo a la cámara de combustión, ésta puede ser de diversos materiales, formas, y tamaños, dependiendo del diseño de la planta panelera.
- Parrilla: Es una rejilla formado por un conjunto de barras de materiales de alta resistencia a la temperatura, tendidos horizontalmente y sirve como lecho al bagazo permitiendo la entrada del aire necesario para la combustión y el paso de cenizas.
- Cenicero: Es una cavidad ubicada directamente debajo de la parrilla. Su función es acumular las cenizas que se forman en la quema del bagazo. Además, canaliza y precalienta el aire para la combustión. Estas construcciones pueden ser de ladrillos o por excavaciones directas en la tierra.

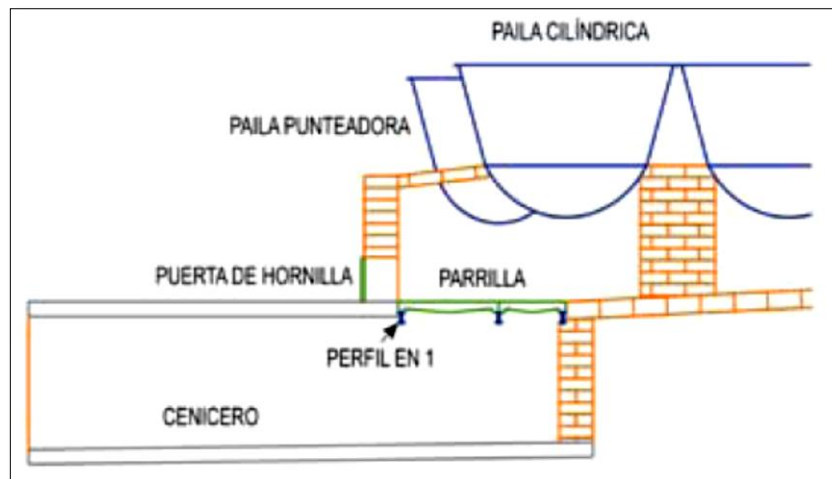


Figura 1.26: Cámara de combustión tradicional
Fuente: Bibliografía [1]

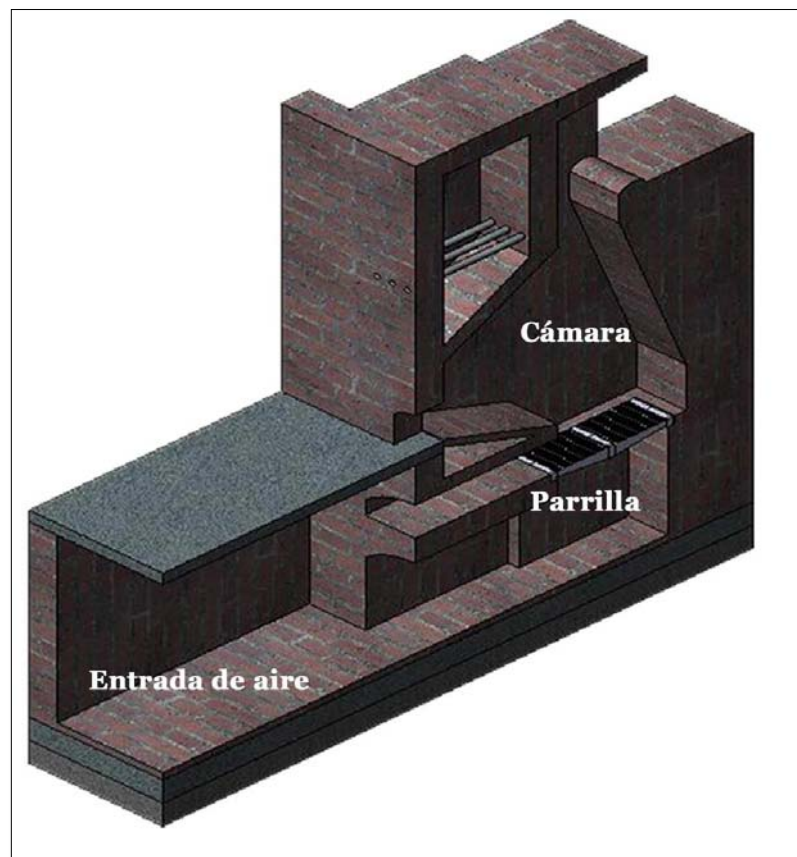


Figura 1.27: Cámara de combustión tipo Ward-Cimpa
Fuente: Bibliografía [6]

1.10.6.2 Ducto de gases

Es un conducto ubicado a continuación de la cámara de combustión, como se presenta en la figura 1.28, cuya función es guiar los gases de combustión y ponerlos en contacto con las pailas para transferir gran parte de su energía térmica a los jugos. Este conducto tiene diversas formas dependiendo del tipo de las pailas y materiales usados; lo constituyen las paredes, los muros de soporte, el piso, los arcos o incluso excavaciones directas en la tierra, dependiendo del desarrollo tecnológico y económico de cada región.



Figura 1.28: Ducto de gases
Fuente: Bibliografía [6]

1.10.6.3 Pailas

Consiste en un sistema de intercambiadores de calor. Cada paila, es de material de alto punto de fusión pero de buena conducción del calor, la gran mayoría son de acero inoxidable, otros de hierro galvanizado, aluminio, etc.

Existen varios tipos de pailas (ver figura 1.29): semiesférica, semicilíndrica, aletada, pirotubular, piroaletada y plana o recibidora. La forma y dimensiones dependen del diseño, de las capacidades de producción requeridas y del desarrollo tecnológico de cada región, siendo el objetivo incrementar el área de contacto de los gases de combustión para aumentar la energía que se transfiere a cada paila sin acrecentar el volumen de cada recipiente.

Debido a la ebullición de los jugos se forma espuma, y con el fin de prevenir su derrame se aumenta el volumen en la parte superior de las pailas, mediante paredes de cemento, madera o láminas metálicas denominadas falcas.

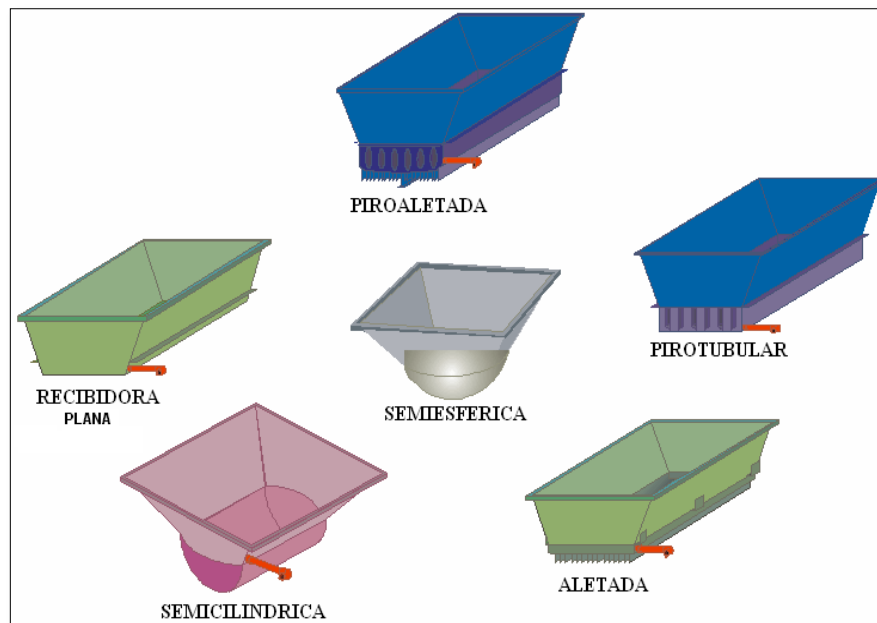


Figura 1.29: Diferentes tipos de pailas

Fuente: Bibliografía [1]

1.10.6.4 Chimenea

Es el conducto vertical que guía a los gases de combustión hacia la atmósfera, tal como se ilustra en la figura 1.30. Su función es crear el tiro²⁴ necesario para hacer circular de manera natural los gases de combustión desde la cámara de combustión hasta el exterior y producir la succión de aire necesaria para que se lleve a cabo la combustión. Existen varias formas en la sección de la chimenea: cilíndrica, trapezoidal o cónica, las dimensiones dependen del diseño de la hornilla.

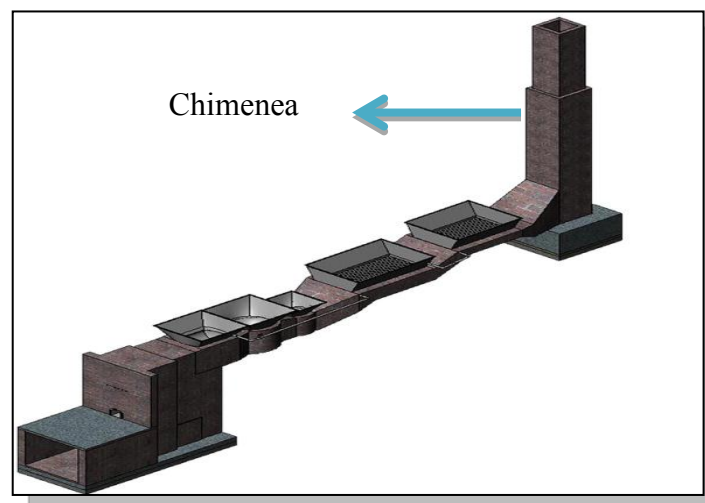


Figura 1.30: Chimenea

Fuente: Bibliografía [6]

²⁴ Tiro: Diferencia de presión, que existe entre la presión atmosférica y la presión de los gases de combustión dentro de la hornilla. Es causado por la diferencia entre la densidad del aire y la de los gases de combustión.

Capítulo 2

Indicadores energéticos y de producción del proceso²⁵

2.1 Indicadores

Un indicador es un cuantificador, que pone de manifiesto una dimensión conceptual y que al aplicarse produce un número, comúnmente empleado para comparar, evaluar, estimar o demostrar desempeños de una actividad. Según la referencia bibliográfica [17].

Es importante mencionar que en la Universidad de Piura, específicamente en la Sección de Energía, viene realizando investigaciones enfocados en aumentar la eficiencia de las plantas paneleras, tales como las tesis de: La Madrid Olivares [14], con el tema “Uso eficiente de la energía producida por la combustión de biomasa”; la tesis de Manrique Silupú [15], con el tema “Evaluación tecnológica y económica de sistemas de producción de panela con tecnología a vapor” y la tesis de Yépez Oblitas [16] con el tema de “Simulación de la transferencia de calor en una paila pirotubular para la industria panelera”, además del proyecto realizado por la Universidad de Piura junto con FINCyT²⁶ y con la colaboración de CEPICAFE²⁷, que implicó el diseño, dimensionamiento y construcción de una hornilla para la producción de panela granulada con una cámara de combustión tipo Ward-Cimpa en la localidad de Santa Rosa de Chonta, distrito de Montero, provincia de Ayabaca en el departamento de Piura.

Los indicadores energéticos y de producción del proceso para este trabajo son 7 (Ver tabla 2.1), con los cuales se cuantifica y por lo tanto se compara módulos de producción de azúcar orgánica, y de ésta manera seguir innovando y mejorando la construcción de dichos módulos.

²⁵ Este capítulo se ha elaborado con las referencias bibliográficas: [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13] como guía.

²⁶ FINCyT: Programa de Ciencia y Tecnología que financia proyectos que contribuyen al mejoramiento de los niveles de competitividad del país, fortaleciendo las capacidades de investigación e innovación tecnológica.

²⁷ CEPICAFE: Central Piurana de Cafetaleros.

Tabla 2.1: Indicadores
Fuente: Bibliografía [6], [7]

Nombre	Cálculo	Significado
Rendimiento de cultivo	$I_1 = \frac{m_p}{m_{ca}}$	Razón de panela producida y caña procesada.
Rendimiento de bagazo	$I_2 = \frac{m_{bg} - m_{bu}}{m_{bg}} * 100\%$	Razón de bagazo sobrante (bagazo generado menos bagazo usado o quemado) y bagazo generado; todas en base seca de bagazo.
Pérdidas en la chimenea	$I_3 = \frac{Q_{ch}}{Q_d} * 100\%$	Razón entre la energía térmica contenida en los gases de escape y la energía disponible por el combustible.
Pérdidas en las paredes	$I_4 = \frac{Q_{pp}}{Q_d} * 100\%$	Razón entre la energía perdida en las paredes y la energía disponible por el combustible.
Rendimiento del módulo panelero	$I_5 = \frac{m_{bu}}{m_p}$	Razón entre el bagazo seco consumido y la panela producida.
Eficiencia energética de la hornilla	$\zeta_e = \frac{Q_v}{Q_d} * 100\%$	Razón entre la energía aprovechada y la energía disponible por el combustible.
Capacidad real de producción	$\zeta_{panela-tiempo} = \frac{m_p}{tiempo}$	La capacidad de la hornilla desde el momento del encendido.

2.1.1 Rendimiento del cultivo (I_1)

Tiene que ver con las características de la materia prima, es decir dependiendo del tipo de cultivo empleado y de la zona de cultivo, se obtiene más panela granulada empleando la misma cantidad (toneladas) de caña de azúcar. Es por eso que la relación de este indicador es la razón de la masa de la panela producida entre la caña procesada.

$$I_1 = \frac{m_p}{m_{ca}} \quad (2.1)$$

Los valores obtenidos de este indicador se encuentran alrededor de 0.1 (10%), siendo mayores, en los casos donde se usa abonos y técnicas de cultivo avanzadas. [7]

2.1.2 Rendimiento de bagazo (I_2)

Este rendimiento permite determinar en el módulo panelero si el bagazo combustible (que se genera al principio del proceso de obtención de panela) sobra o falta al alimentar la hornilla panelera. Y de esta manera se determina si una hornilla panelera es energéticamente auto-suficiente o no.

Para comparar el bagazo fresco (que sale con un alto porcentaje de humedad) y bagazo usado directamente en la hornilla (que posee un bajo porcentaje de humedad ya que previamente el bagazo fresco ha sido secado a la intemperie) es necesario una misma base de comparación y como el bagazo con diferentes humedades no ofrece una comparación directa, es que se calcula el autoabastecimiento en base seca de la siguiente manera:

$$I_2 = \frac{m_{bg} - m_{bu}}{m_{bg}} * 100\% \quad (2.2)$$

Donde:

m_{bg} : Masa de bagazo seco generado [kg]

m_{bu} : Masa de bagazo seco usado en al hornilla [kg]

Las cuales se determinan como:

$$m_{bg} = \frac{m_{bg,húmedo} * (100 - w_{bg})}{100} \quad (2.3)$$

$$m_{bu} = \frac{m_{bu,húmedo} * (100 - w_{bu})}{100} \quad (2.4)$$

Donde:

w_{bg} : Humedad del bagazo generado [%]

w_{bu} : Humedad del bagazo usado en la hornilla [%]

$m_{bg,húmedo}$: Masa del bagazo húmedo generado [kg]

$m_{bu,húmedo}$: Masa del bagazo húmedo usado en la hornilla [kg]

Los valores de este indicador pueden ser positivos o negativos, señalando el signo positivo un autoabastecimiento energético y con el signo negativo una insuficiencia energética que indica que se requiere más bagazo del que se produce.

2.1.3 Pérdidas en la chimenea (I_3)

Este indicador permite determinar cuánta energía térmica se pierde con los gases de escape, que salen por la chimenea, en relación a la energía suministrada, en la cámara de combustión, por el bagazo que se usa en la hornilla. Se define de la siguiente manera:

$$I_3 = \frac{Q_{ch}}{Q_d} * 100\% \quad (2.5)$$

Donde:

Q_{ch} : Es la energía perdida en la chimenea

$$Q_{ch} = m_{gases} * (h_{gases} - h_{amb}) = \sum_k m_k * (h_k - h_{amb,k}) \quad (2.6)$$

$$Q_{ch} = n_{gases} * (\bar{h}_{gases} - \bar{h}_{amb}) = \sum_k n_k * (\bar{h}_k - \bar{h}_{amb,k}) \quad (2.7)$$

El subíndice “k” en las sumatorias representa a los componentes: CO_2 , CO , N_2 , NO , O_2 y H_2O (agua contenida en los gases de combustión).

Además:

m_{gases} : Masa de los gases de escape de la combustión [kg]

m_k : Masa del k-ésimo componente de los productos de combustión [kg]

h_{gases} : Entalpía de los gases a la temperatura de salida de los gases de combustión, en la base de la chimenea [kJ/kg]

h_{amb} : Entalpía de los gases de combustión a temperatura ambiente [kJ/kg]

h_k : Entalpía del k-ésimo componente de los productos de combustión [kJ/kg]

n_{gases} : Número de moles de los gases de escape de la combustión [kmol]

n_k : Número de moles del k-ésimo componente de los productos de combustión [kmol]

$\bar{h}_{gases}$: Entalpía de los gases a la temperatura de salida de los gases de combustión, en la base de la chimenea [kJ/kmol]

$\bar{h}_{amb,k}$: Entalpía del k-ésimo componente de los gases de combustión a temperatura ambiente [kJ/kmol]

$\bar{h}_k$: Entalpía del k-ésimo componente de los gases de combustión de los productos de combustión [kJ/kmol]

Y Q_d es la energía disponible por el combustible:

$$Q_d = m_{bu,húmedo} * PCI_{bh} \quad (2.8)$$

$$PCI_{bh} = 17765 - 20270 * \frac{w_{bu}}{100} \left[\frac{kJ}{kg \text{ de combustible}} \right] \quad (2.9)$$

Donde:

$m_{bu,húmedo}$: Masa del bagazo húmedo usado en la hornilla

PCI_{bh} : Poder calorífico inferior del bagazo, teniendo en cuenta la humedad del bagazo [5]

w_{bu} : Humedad del bagazo usado en la hornilla [%]

Se utiliza el PCI (Poder Calorífico Inferior) y no el PCS (Poder Calorífico Superior), porque este parámetro depende de la fase en que se presenta el agua en los productos de combustión y como el agua presente en los gases de escape en los módulos visitados se encuentra en fase gaseosa (vapor de agua), se usa el PCI, caso contrario ocurre, cuando en los gases de escape, se presenta agua en fase líquida (condensada), que no se ha visto en las visitas, pero si este hecho inusual ocurre se debe usar el PCS [8]. Cabe señalar que los poderes caloríficos se relacionan por medio de:

$$PCS = PCI + (m * h_{fg})_{H_2O} \quad (2.10)$$

Donde:

m: Es la masa del agua en los productos de combustión por unidad de masa de combustible [kg/kg de combustible]

h_{fg} : Es la entalpía de vaporización del agua a la temperatura especificada [kJ/kg]

Las pérdidas excesivas son causadas por un mal diseño de la cámara de combustión, las deficiencias de aire, las bajas temperaturas de los gases de combustión y el contenido de cenizas en los gases de combustión.

2.1.3.1 Análisis Orsat

Para determinar las pérdidas con los gases de combustión, es necesario usar un analizador de gases Orsat, ya que se obtiene información necesaria acerca del proceso de combustión.

Dicho analizador de gases debe contar como mínimo en sus características principales, la medición de concentración de: CO_2 , O_2 , CO y NO , porque son las concentraciones más altas, en comparación a otras concentraciones en el quemado de combustible.

Este dispositivo recoge una muestra de los gases de combustión que se enfría a temperatura y presión ambiental, en cuyo punto mide su volumen; dentro de este equipo se absorbe cada componente (CO_2 , O_2 , CO y NO) de modo sucesivo para medir cada disminución de volumen. La porción entre cada disminución de volumen y el volumen original se denomina fracción de volumen. Por lo tanto cada concentración de cada componente, es la fracción de volumen de dicho componente, además como la muestra de gas, que recoge el dispositivo es enfriada a temperatura y presión ambiental, se considera comportamiento de gas ideal, de esta manera la fracción de volumen es equivalente a la fracción molar, como se demuestra a continuación:

$$y_i = \frac{V_i}{V_T} = \frac{\frac{RT}{P} n_i}{\frac{RT}{P} n_T} = \frac{n_i}{n_T} = \tilde{x}_i \quad (2.11)$$

Nótese que se ha empleado la ecuación de estado del gas ideal.

Donde:

y_i : Fracción de volumen del i-ésimo componente [m^3/m^3]

$\tilde{x}_i$: Fracción molar del i-ésimo componente [kmol/kmol]

V_i : Disminución de volumen del i-ésimo componente [m^3]

V_T : Volumen original [m^3]

n_i : Número de moles del i-ésimo componente [kmol]

n_T : Número de moles totales [kmol]

R : Constante de los gases [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]

T : Temperatura [K]

P : Presión [kPa]

Además el analizador de gases registra las concentraciones en base seca, ya que el equipo, al recoger la muestra, mantiene saturado el gas (muestra) a la presión de saturación del vapor de agua, para así ignorar la presencia del vapor de agua.

Las concentraciones que registra el analizador de gases, se muestran en porcentaje (%) o partes por millón (ppm), según la magnitud de la concentración; es decir, cuando las concentraciones en una muestra de gases son muy bajas, el analizador de gases suele usar ppm (partes por millón), este concepto es semejante al del porcentaje común, simplemente que en este caso no es partes por ciento sino por millón (tanto por mil). Por lo tanto, si es necesario se toma la siguiente equivalencia:

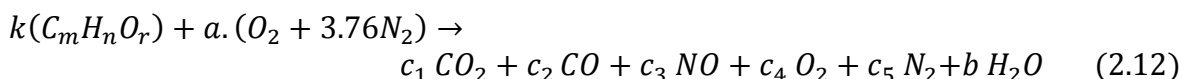
$$10000 \text{ ppm} = 1 \%$$

En este caso se usaron datos obtenidos del analizador de gases: Eurotron GreenLine 6000²⁸. Dichos datos fueron adquiridos con anterioridad a este trabajo, en el módulo panelero de Marmas Bajo y se considerarán estas concentraciones de los gases de combustión, para el cálculo de indicadores de los tres módulos paneleros visitados, sin perder una gran aproximación en los resultados de los indicadores.

El analizador de gases: Eurotron GreenLine 6000 determina experimentalmente la concentración de la muestra de los productos de combustión de los siguientes componentes: CO_2 , O_2 , CO , NO . Por conveniencia se considera 100 kmol de productos secos, así la concentración de N_2 se calcula por diferencia del 100 por ciento menos la suma de las concentraciones de los demás componentes. Nótese que se desconoce cuánto combustible o aire se ha quemado para obtener las concentraciones de esa pequeña muestra.

²⁸Las características y especificaciones del analizador de gases Eurotron GreenLine 6000 se muestran en el anexo E

Por lo tanto la ecuación química que representa el análisis Orsat es [11]:



Donde:

k : Coeficiente desconocido que afecta a $C_m H_n O_r$

$C_m H_n O_r$: Combustible

a : Coeficiente que afecta al aire

c_1 : Concentración de CO_2 , considerada para 100 kmol de productos secos

c_2 : Concentración de CO , considerada para 100 kmol de productos secos

c_3 : Concentración de NO , considerada para 100 kmol de productos secos

c_4 : Concentración de O_2 , considerada para 100 kmol de productos secos

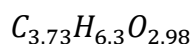
c_5 : Concentración de N_2 , considerada para 100 kmol de productos secos

b : Coeficiente que afecta al agua de los productos

En la ecuación química (2.12), se conoce c_1 , c_2 , c_3 y c_4 por medio del analizador de gases y por cálculo se obtiene c_5 , de la siguiente manera:

$$c_5 = 100 - (c_1 + c_2 + c_3 + c_4) \quad (2.13)$$

La composición elemental del bagazo seco determinada experimentalmente en un laboratorio [7] es:



Se realiza el balance químico y se obtiene las variables:

$$k = \frac{c_1 + c_2}{m} \quad (2.14)$$

$$b = \frac{k * n}{2} = \frac{n}{2} * \left(\frac{c_1 + c_2}{m} \right) \quad (2.15)$$

$$a = \frac{2 * c_5 + c_3}{2 * 3.76} \quad (2.16)$$

De esta manera se reemplaza (2.14), (2.15) y (2.16) en la ecuación química (2.12) y se obtiene:

$$\left(\frac{c_1 + c_2}{m}\right)(C_m H_n O_r) + \left(\frac{2 * c_5 + c_3}{2 * 3.76}\right) \cdot (O_2 + 3.76 N_2) \rightarrow$$

$$c_1 CO_2 + c_2 CO + c_3 NO + c_4 O_2 + c_5 N_2 + \left(\frac{n}{2} * \left(\frac{c_1 + c_2}{m}\right)\right) H_2O \quad (2.17)$$

Para realizar el análisis por un kmol de combustible, se divide la ecuación (2.17) por: $k = \left(\frac{c_1 + c_2}{m}\right)$ de la siguiente manera:

$$(C_m H_n O_r) + \frac{\left(\frac{2 * c_5 + c_3}{2 * 3.76}\right)}{k} \cdot (O_2 + 3.76 N_2) \rightarrow$$

$$\frac{c_1}{k} CO_2 + \frac{c_2}{k} CO + \frac{c_3}{k} NO + \frac{c_4}{k} O_2 + \frac{c_5}{k} N_2 + \frac{\left(\frac{n}{2} * \left(\frac{c_1 + c_2}{m}\right)\right)}{k} H_2O \quad (2.18)$$

Hay que tener presente que el análisis Orsat no es exacto, y suelen haber errores hasta del 10% como máximo en los peores casos, dependiendo de la calibración y estado del analizador de gases [11], [12], esto se comprueba al realizar el balance del oxígeno, con los datos reales.

Para reducir el tamaño de la ecuación química (2.18) se usa la siguiente simbología, aprovechando para definir las variables por un kmol de combustible, de la siguiente manera:

$$C_m H_n O_r + a_r \cdot (O_2 + 3.76 N_2) \rightarrow$$

$$\tilde{n}_{CO_2} CO_2 + \tilde{n}_{CO} CO + \tilde{n}_{NO} NO + \tilde{n}_{O_2} O_2 + \tilde{n}_{N_2} N_2 + \tilde{n}_{H_2O} H_2O \quad (2.19)$$

Se conoce:

$$a_r = \frac{\left(\frac{2 * c_5 + c_3}{2 * 3.76}\right)}{\left(\frac{c_1 + c_2}{m}\right)} \quad (2.20)$$

$$\tilde{n}_{CO_2} = \frac{c_1}{\left(\frac{c_1 + c_2}{m}\right)} \quad (2.21)$$

$$\tilde{n}_{CO} = \frac{c_2}{\left(\frac{c_1 + c_2}{m}\right)} \quad (2.22)$$

$$\tilde{n}_{NO} = \frac{c_3}{\left(\frac{c_1 + c_2}{m}\right)} \quad (2.23)$$

$$\tilde{n}_{O_2} = \frac{c_4}{\left(\frac{c_1 + c_2}{m}\right)} \quad (2.24)$$

$$\tilde{n}_{N_2} = \frac{c_5}{\left(\frac{c_1 + c_2}{m}\right)} \quad (2.25)$$

$$\tilde{n}_{H_2O} = \frac{\left(\frac{n}{2} * \left(\frac{c_1 + c_2}{m}\right)\right)}{\left(\frac{c_1 + c_2}{m}\right)} = \frac{n}{2} \quad (2.26)$$

Donde:

a_r : Aire real

$\tilde{n}_{CO_2}$: Número de moles de CO_2 por kmol de combustible

$\tilde{n}_{CO}$ Número de moles de CO por kmol de combustible

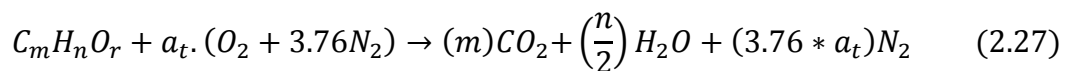
$\tilde{n}_{NO}$ Número de moles de NO por kmol de combustible

$\tilde{n}_{O_2}$: Número de moles de O_2 por kmol de combustible

$\tilde{n}_{N_2}$: Número de moles de N_2 por kmol de combustible

$\tilde{n}_{H_2O}$: Número de moles de H_2O (sin tener presente el agua contenida en el aire, ni el agua contenida en el bagazo) por kmol de combustible

Para obtener el aire estequiométrico por kmol de combustible, se utiliza la siguiente ecuación [8]:



La ecuación (2.27) corresponde a la modelización matemática de una combustión completa por cada kmol de combustible, donde sólo hay como productos CO_2 , H_2O y N_2 , y sin presencia de agua en los reactantes.

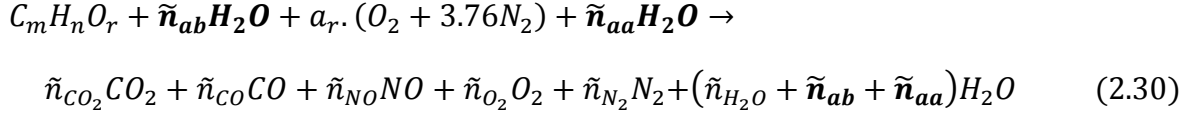
Del balance químico, se obtiene en aire teórico o estequiométrico por kmol de combustible [8]:

$$a_t = m + n/4 - r/2 \quad (2.28)$$

El exceso de aire [8] se calcula:

$$Exceso\ de\ aire\ [\%] = \frac{a_r}{a_t} * 100\ \% - 100\ \% \quad (2.29)$$

En las ecuaciones químicas, se omitió las concentraciones de agua presentes en la reacción química como: la concentración de agua contenida en el bagazo y la concentración de vapor de agua contenida en el aire, sin embargo, es necesario calcular dichas concentraciones ya que en los gases de escape, éstas llevan energía que se pierde al escaparse y enfriarse en el medio ambiente y, debido al objetivo de calcular las pérdidas en los gases de escape, es necesario agregarlas en la ecuación química (2.19) de la siguiente manera [8]:



Donde:

$\tilde{n}_{ab}$: Número de moles de agua contenida en el bagazo por kmol de combustible

$\tilde{n}_{aa}$: Número de moles de vapor de agua contenida en el aire por kmol de combustible

Al observar los productos, se ha añadió $(\tilde{n}_{ab} + \tilde{n}_{aa})$ al H_2O . Por conveniencia se agregan para tener $\tilde{n}_{ab}$ y $\tilde{n}_{aa}$ en base por kmol de combustible [8]. Además, hay que recordar que el análisis químico se realizó con datos del analizador de gases, éstos en base seca.

2.1.3.2 Cálculo del agua contenida en el bagazo $\tilde{n}_{ab}$

Se recurre a la definición de humedad según la siguiente ecuación:

$$m_{bu} = m_{bu, \text{húmedo}} * \left(\frac{100 - w_{bu}}{100} \right) \quad (2.31)$$

$$m_{bu} = (m_{bu} + m_{ab}) * \left(\frac{100 - w_{bu}}{100} \right) \quad (2.32)$$

$$m_{bu} - m_{bu} * \left(\frac{100 - w_{bu}}{100} \right) = m_{ab} * \left(\frac{100 - w_{bu}}{100} \right) \quad (2.33)$$

$$m_{bu} * \left(\frac{w_{bu}}{100} \right) = m_{ab} * \left(\frac{100 - w_{bu}}{100} \right) \quad (2.34)$$

$$m_{ab} = \frac{\left(\frac{w_{bu}}{100} \right)}{\left(\frac{100 - w_{bu}}{100} \right)} * m_{bu} \quad (2.35)$$

$$m_{ab} = \left(\frac{w_{bu}}{100 - w_{bu}} \right) * m_{bu} \quad (2.36)$$

$$n_{ab} * M_{H_2O} = \left(\frac{w_{bu}}{100 - w_{bu}} \right) * (n_{bu} * M_{C_m H_n O_r}) \quad (2.37)$$

$$\tilde{n}_{ab} = \frac{n_{ab}}{n_{bu}} = \left(\frac{w_{bu}}{100 - w_{bu}} \right) * \frac{M_{C_m H_n O_r}}{M_{H_2O}} \quad (2.38)$$

Donde:

- $\tilde{n}_{ab}$: Número de moles de agua contenida en el bagazo por kmol de combustible
- m_{bu} : Masa de bagazo seco usado en la hornilla [kg]
- $m_{bu,húmedo}$: Masa del bagazo húmedo usado en la hornilla [kg]
- w_{bu} : Humedad del bagazo usado en la hornilla [%]
- m_{ab} : Masa del agua contenida en el bagazo [kg]
- n_{ab} : Moles del agua contenida en el bagazo [kmol]
- n_{bu} : Moles del bagazo seco usado en la hornilla [kmol de combustible]
- $M_{C_m H_n O_r}$: Peso molecular del combustible [kg/kmol]
- M_{H_2O} : Peso molecular del agua [kg/kmol]

En el caso de tener grupos de muestras de bagazo húmedo para ser usado en la hornilla, con su respectiva humedad se considera:

$$w_{bu} = \frac{\sum_i (m_{bu,húmedo})_i * (w_{bu})_i}{\sum_i (m_{bu,húmedo})_i} \quad (2.39)$$

Donde:

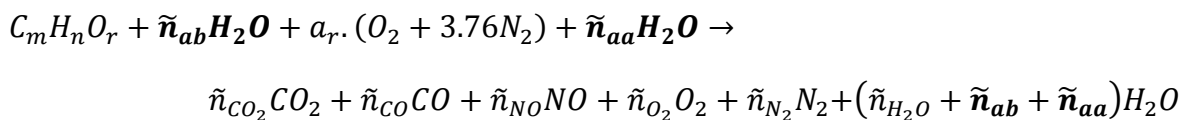
- $(m_{bu,húmedo})_i$: Masa del grupo i-ésimo del bagazo usado en la hornilla [kg]
- $(w_{bu})_i$: Humedad del bagazo usado en la hornilla del grupo i-ésimo [%]

2.1.3.3 Cálculo del vapor de agua contenida en el aire $\tilde{n}_{aa}$ [8]

De la ecuación de los gases ideales, a volumen constante [8], se tiene:

$$\frac{P_{total}}{n_{total}} = \frac{P_{aa}}{\tilde{n}_{aa}} \quad (2.40)$$

De la ecuación química (2.30):



El número de moles totales del aire por kmol de combustible es:

$$n_{total} = 4.76 * a_r + \tilde{n}_{aa} \quad (2.41)$$

Despejando de (2.40):

$$\tilde{n}_{aa} * P_{total} = P_{aa} * n_{total} \quad (2.42)$$

Reemplazando (2.41) en (2.42), se obtiene:

$$\tilde{n}_{aa} * P_{total} = P_{aa} * (4.76 * a_r + \tilde{n}_{aa}) \quad (2.43)$$

Reordenando (2.43):

$$\tilde{n}_{aa} * (P_{total} - P_{aa}) = P_{aa} * 4.76 * a_r \quad (2.44)$$

Despejando " $\tilde{n}_{aa}$ " de (2.44):

$$\tilde{n}_{aa} = 4.76 * a_r * \frac{P_{aa}}{(P_{total} - P_{aa})} \quad (2.45)$$

La presión parcial de la humedad en el aire [8] es:

$$P_{aa} = \frac{H_r}{100} * P_{sat} \quad (2.46)$$

Donde:

a_r : Aire real

$\tilde{n}_{aa}$: Número de moles de vapor de agua contenida en el aire por kmol de combustible

P_{aa} : Presión parcial del vapor de agua contenida en el aire [kPa]

n_{total} : Número de moles totales del aire por kmol de combustible

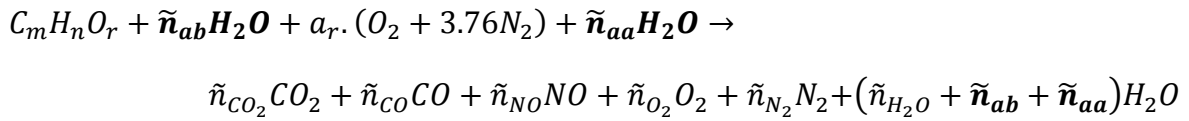
P_{total} : Presión atmosférica [kPa]

P_{sat} : Presión de saturación a temperatura ambiente [kPa]

H_r : Humedad relativa del ambiente [%]

2.1.3.4 Cálculo del número total de moles para cada componente de los productos de combustión

De la ecuación (2.30):



Se observa que el coeficiente de cada componente, en los productos de la ecuación química, tiene como unidades: [kmol de componente/kmol de combustible] y como es necesario obtener los moles totales de cada componente generados por todo el combustible empleado, en el proceso de la obtención de la panela, se halla el número de moles totales del combustible o bagazo seco usado en la hornilla:

$$n_{bu} = \frac{m_{bu}}{M_{C_m H_n O_r}} \quad (2.47)$$

Donde:

n_{bu} : Número de moles del bagazo seco usado en la hornilla [kmol de combustible]

m_{bu} : Masa del bagazo seco usado en la hornilla [kg]

$M_{C_m H_n O_r}$: Peso molecular del bagazo seco usado en la hornilla [kg/kmol de combustible]

Con el número de moles totales del combustible, se halla el número de moles totales de cada componente, de la siguiente manera:

$$n_{CO_2} = \tilde{n}_{CO_2} * n_{bu} \quad (2.48)$$

$$n_{CO} = \tilde{n}_{CO} * n_{bu} \quad (2.49)$$

$$n_{NO} = \tilde{n}_{NO} * n_{bu} \quad (2.50)$$

$$n_{O_2} = \tilde{n}_{O_2} * n_{bu} \quad (2.51)$$

$$n_{N_2} = \tilde{n}_{N_2} * n_{bu} \quad (2.52)$$

$$n_{H_2O} = (\tilde{n}_{H_2O} + \tilde{n}_{ab} + \tilde{n}_{aa}) * n_{bu} \quad (2.53)$$

Donde:

n_{CO_2} : Número de moles de CO₂ [kmol de CO₂]

n_{CO} : Número de moles de CO [kmol de CO]

n_{NO}	Número de moles de NO [kmol de NO]
n_{O_2} :	Número de moles de O ₂ [kmol de O ₂]
n_{N_2} :	Número de moles de N ₂ [kmol de N ₂]
n_{H_2O} :	Número de moles totales de H ₂ O (incluyendo el vapor de agua producido por la combustión, el vapor de agua contenida en el aire y el vapor de agua contenida en el bagazo) [kmol de H ₂ O]

Los kmol de cada componente, se multiplican por la variación de entalpía de su respectivo componente y se obtiene la energía que se pierde con los gases de escape.

2.1.3.5 Determinación de la variación de entalpía del k-ésimo componente " $\bar{h}_k$ "

Se usa la siguiente ecuación [9], [13]:

$$\bar{h}_k = R_u * T * \left(a_{i1} + \frac{a_{i2}}{2} * T + \frac{a_{i3}}{3} * T^2 + \frac{a_{i4}}{4} * T^3 + \frac{a_{i5}}{5} * T^4 + \frac{a_{i6}}{T} \right) \quad (2.54)$$

Dicha ecuación, utiliza los coeficientes de las tablas termodinámicas JANAF, del programa de la NASA [13]: a_{i1} , a_{i2} , a_{i3} , a_{i4} , a_{i5} , y a_{i6} . Y para el caso, el subíndice "k" representa a los componentes: CO₂, CO, N₂, NO, O₂ y H₂O (agua contenida en los gases de combustión).

Además:

$\bar{h}_k$: Entalpía del k-ésimo componente de los productos de combustión [kJ/kmol]

T: Temperatura en Kelvin [K]

R_u : Constante universal de los gases [kJ/(kmol*K)]

$$R_u = 8.314 \frac{kJ}{kmol * K}$$

Es importante mencionar, que dichas entalpías han sido calculadas en un Anexo adjunto (archivo Excel), ya que reduce significativamente la tarea del cálculo.

Hay que tener presente, que existe un rango de temperatura T(K) que divide el uso de los coeficientes a_{i1} , a_{i2} , a_{i3} , a_{i4} , a_{i5} y a_{i6} . A continuación se muestra la tabla que contiene los valores de los coeficientes:

Tabla 2.2: Coeficientes termodinámicos para usar en la ecuación polinómica

Fuente: Bibliografía [13]

Especie	Rango de T [K]	a _{i1}	a _{i2}	a _{i3}	a _{i4}	a _{i5}	a _{i6}
CO ₂	(300-1000)	2.400780E+00	8.735096E-03	-6.607088E-06	2.002186E-09	6.327404E-16	-4.837753E+04
	(1000-5000)	4.460804E+00	3.098172E-03	-1.239257E-06	2.274133E-10	-1.552595E-14	-4.896144E+04
CO	(300-1000)	3.710093E+00	-1.619096E-03	3.692359E-06	-2.031967E-09	2.395334E-13	-1.435631E+04
	(1000-5000)	2.984070E+00	1.489139E-03	-5.789968E-07	1.036458E-10	-6.935355E-15	-1.424523E+04
NO	(300-1000)	4.045952E+00	-3.418178E-03	7.981919E-06	-6.113932E-09	1.591908E-12	9.745393E+03
	(1000-5000)	3.189000E+00	1.338228E-03	-5.289932E-07	9.591933E-11	-6.484793E-15	9.828329E+03
O ₂	(300-1000)	3.783714E+00	-3.023363E-03	9.949275E-06	-9.818910E-09	3.303183E-12	-1.063811E+03
	(1000-5000)	3.612214E+00	7.485317E-04	1.982065E-07	3.374901E-11	-2.390737E-15	-1.197815E+03
N ₂	(300-1000)	3.704418E+00	-1.421875E-03	2.867039E-06	-1.202889E-09	-1.395468E-14	-1.064080E+03
	(1000-5000)	2.853290E+00	1.602213E-03	-6.293689E-07	1.144102E-10	-7.805747E-15	-8.900809E+02
H ₂ O (Vapor de agua)	(300-1000)	4.167723E+00	-1.811497E-03	5.947129E-06	-4.869202E-09	1.529199E-12	-3.028997E+04
	(1000-5000)	2.611047E+00	3.156313E-03	-9.298544E-10	1.333154E-10	-7.468935E-15	-2.986817E+04

Para cada caso, nótese que se deben hallar dos valores de $\bar{h}_k$, una a temperatura de los gases de combustión en la base de la chimenea y otra a temperatura ambiente y así obtener la variación de entalpía de cada especie “ $\Delta\bar{h}_k$ ”.

Variación de entalpía del CO₂:

$$\Delta\bar{h}_{CO_2} = \bar{h}_{CO_2} - \bar{h}_{amb,CO_2} \quad (2.55)$$

Variación de entalpía del CO:

$$\Delta\bar{h}_{CO} = \bar{h}_{CO} - \bar{h}_{amb,CO} \quad (2.56)$$

Variación de entalpía del NO:

$$\Delta\bar{h}_{NO} = \bar{h}_{NO} - \bar{h}_{amb,NO} \quad (2.57)$$

Variación de entalpía del O₂:

$$\Delta\bar{h}_{O_2} = \bar{h}_{O_2} - \bar{h}_{amb,O_2} \quad (2.58)$$

Variación de entalpía del N₂:

$$\Delta\bar{h}_{N_2} = \bar{h}_{N_2} - \bar{h}_{amb,N_2} \quad (2.59)$$

Variación de entalpía del H₂O (Vapor de agua):

$$\Delta\bar{h}_{H_2O} = \bar{h}_{H_2O} - \bar{h}_{amb,H_2O} \quad (2.60)$$

No se debe olvidar que el objetivo es hallar la energía perdida en la chimenea, recordando la ecuación (2.7):

$$Q_{ch} = n_{gases} * (\bar{h}_{gases} - \bar{h}_{amb}) = \sum_k n_k * (\bar{h}_k - \bar{h}_{amb,k})$$

El subíndice “k” en las sumatorias representa a los componentes: CO_2 , CO , N_2 , NO , O_2 y H_2O (agua contenida en los gases de combustión).

Resolviendo la ecuación (2.7):

$$Q_{ch} = n_{CO_2} * (\bar{h}_{CO_2} - \bar{h}_{amb,CO_2}) + n_{CO} * (\bar{h}_{CO} - \bar{h}_{amb,CO}) + n_{N_2} * (\bar{h}_{N_2} - \bar{h}_{amb,N_2}) + n_{NO} * (\bar{h}_{NO} - \bar{h}_{amb,NO}) + n_{O_2} * (\bar{h}_{O_2} - \bar{h}_{amb,O_2}) + n_{H_2O} * (\bar{h}_{H_2O} - \bar{h}_{amb,H_2O}) \quad (2.61)$$

En la ecuación (2.61) se reemplazan las variaciones de entalpía respectivas para cada componente, tal como se muestra:

$$Q_{ch} = n_{CO_2} * \Delta \bar{h}_{CO_2} + n_{CO} * \Delta \bar{h}_{CO} + n_{N_2} * \Delta \bar{h}_{N_2} + n_{NO} * \Delta \bar{h}_{NO} + n_{O_2} * \Delta \bar{h}_{O_2} + n_{H_2O} * \Delta \bar{h}_{H_2O} \quad (2.62)$$

Se reemplaza las ecuaciones (2.48), (2.49), (2.50), (2.51), (2.52), (2.53), (2.55), (2.56), (2.57), (2.58), (2.59) y (2.60) en (2.62) para determinar la energía perdida en la chimenea Q_{ch} .

Calculada la de energía disponible por el combustible " Q_d " hallada en la ecuación (2.8) y calculada también la energía perdida en la chimenea " Q_{ch} " en la ecuación (2.62), se reemplaza en la ecuación (2.5) para obtener el indicador de las pérdidas en la chimenea (I_3).

2.1.4 Pérdidas en las paredes (I_4)

Este indicador determina el grado de aislamiento térmico y depende de la construcción del módulo panelero, de los materiales y de la tecnología de construcción empleada. Se define de la siguiente manera:

$$I_4 = \frac{Q_{pp}}{Q_d} * 100\% \quad (2.63)$$

Realizando el balance de energía [7], se tiene:

$$Q_{pp} = Q_d - Q_v - Q_{ch} \quad (2.64)$$

Según la energía disponible de la ecuación (2.8) y PCI de la ecuación (2.9)

$$Q_d = m_{bu,húmedo} * PCI_{bh}$$

$$PCI_{bh} = 17765 - 20270 * \frac{w_{bu}}{100} \left[\frac{kJ}{kg \text{ de combustible}} \right]$$

Donde:

Q_{pp} :	Energía perdida en las paredes [kJ]
Q_d :	Energía disponible del combustible [kJ]
Q_v :	Energía aprovechada en el proceso [kJ]
Q_{ch} :	Energía perdida en la chimenea [kJ]
$m_{bu,húmedo}$:	Masa del bagazo húmedo usado en la hornilla [kg]
PCI_{bh} :	Poder calorífico inferior del bagazo, teniendo en cuenta la humedad del bagazo [5]

Además, la energía que aprovecha el proceso se distribuye en: la energía que evapora el agua de los jugos, la energía necesaria para formar la cachaza y la energía necesaria para llegar al punto de la obtención de panela. Por lo que, se plantea las siguientes ecuaciones [7]:

$$Q_v = E_{ae} + E_{ch} + E_p \quad (2.65)$$

$$E_{ae} = m_{ae} * C_{p,ae} * (T_{sat,agua} - T_{amb}) + m_{ae} * h_{fg} \quad (2.66)$$

$$E_{ch} = m_{ch} * C_{p,ch} * (T_{sal,ch} - T_{amb}) \quad (2.67)$$

$$E_p = m_p * C_{p,p} * (T_{sal,p} - T_{amb}) \quad (2.68)$$

Donde:

w_{bu} :	Humedad del bagazo usado en la hornilla [%]
E_{ae} :	Energía para evaporar el agua de los jugos [kJ]
E_{ch} :	Energía para formar la cachaza [kJ]
E_p :	Energía para llegar al punto de obtención de la panela [kJ]
m_{ae} :	Masa del agua evaporada en el proceso [kg]
$C_{p,ae}$:	Calor específico a presión constante del agua evaporada [kJ/(kg*K)]
$T_{sat,agua}$:	Temperatura de saturación del agua, que se determina a presión atmosférica [K]
T_{amb} :	Temperatura ambiente [K]

h_{fg} :	Entalpía de evaporación del agua a la temperatura de saturación [kJ/kg]
m_{ch} :	Masa de la cachaza obtenida del proceso [kg]
$C_{p,ch}$:	Calor específico a presión constante de la cachaza [kJ/(kg*K)]
$T_{sal,ch}$:	Temperatura a la que se retira la cachaza del proceso [K]
m_p :	Masa de la panela obtenida del proceso [kg]
$C_{p,p}$:	Calor específico a presión constante de la panela [kJ/(kg*K)]
$T_{sal,p}$:	Temperatura de salida de la panela [K]

Este indicador engloba también la energía perdida con las cenizas, pero éstas se excluyen del cálculo, porque que las cenizas son retiradas a temperatura ambiente y no contribuyen a una pérdida de energía considerable a lo largo del proceso.

Se puede guiar de la tabla 2.3 para ciertos valores [10]:

Tabla 2.3 Valores referenciales de temperaturas y calores específicos a presión constante

Fuente: Bibliografía [10]

	AGUA	CACHAZA	PANELA
$C_p \left[\frac{kJ}{kg * K} \right]$	4.186	2.8	2.2
$T_{sal} [^{\circ}C]$	$T_{ebullición\ del\ agua}$	60°C	128°C

La temperatura de ebullición del agua, depende de la presión atmosférica del medio ambiente; la temperatura de salida de la cachaza es la temperatura a la que se retira la cachaza del proceso, y la temperatura de la panela es la temperatura a la que se obtiene la panela.

2.1.5 Rendimiento del módulo panelero (I_5)

Una manera efectiva de comparar los módulos paneleros desde el punto de vista energético, es realizarlo por medio de un índice. Este índice se puede definir como la relación entre el bagazo seco usado en la hornilla y la panela producida y da una idea de la forma como se emplea el recurso energético en el proceso productivo.

Se calcula de la siguiente manera:

$$I_5 = \frac{m_{bu}}{m_p} \quad (2.69)$$

Mientras más bajo sea este indicador será mejor el rendimiento (energético y productivo) del módulo panelero.

Cabe señalar que la manera de cómo se calcula éste rendimiento es de forma inusual (inverso), pero es para dar idea de cuanto bagazo se consume por unidad de panela producida. Además de seguir un estándar de comparación de indicadores en países productores como Colombia [7].

Los valores obtenidos de este indicador dependen de la extracción de los jugos, el secado del bagazo, el proceso de combustión y como es que se aprovecha la energía brindada a lo largo del proceso de obtención de la panela.

2.1.6 Eficiencia energética de la hornilla (ζ_e)

La eficiencia energética de la hornilla relaciona la energía aprovechada en el proceso y la energía disponible por el combustible.

$$\zeta_e = \frac{Q_v}{Q_d} * 100\% \quad (2.70)$$

Las ecuaciones (2.65), (2.8), (2.9), (2.66), (2.67) y (2.68) son necesarias para el cálculo de este indicador, tal como se muestra:

$$Q_v = E_{ae} + E_{ch} + E_p$$

$$Q_d = m_{bu,húmedo} * PCI_{bh}$$

$$PCI_{bh} = 17765 - 20270 * \frac{w_{bu}}{100} \left[\frac{kJ}{kg \text{ de combustible}} \right]$$

$$E_{ae} = m_{ae} * C_{p,ae} * (T_{sat,agua} - T_{amb}) + m_{ae} * h_{fg}$$

$$E_{ch} = m_{ch} * C_{p,ch} * (T_{sal,ch} - T_{amb})$$

$$E_p = m_p * C_{p,p} * (T_{sal,p} - T_{amb})$$

Donde:

Q_v : Energía aprovechada en el proceso [kJ]

Q_d : Energía disponible por el combustible [kJ]

PCI_{bh} : Poder calorífico inferior del bagazo, teniendo en cuenta la humedad del bagazo [5]

w_{bu} : Humedad del bagazo usado como combustible [%]

E_{ae} : Energía para evaporar el agua de los jugos [kJ]

E_{ch} : Energía para formar la cachaza [kJ]

E_p : Energía para llegar al punto de obtención de la panela [kJ]

m_{ae} :	Masa del agua evaporada en el proceso [kg]
$C_{p,ae}$:	Calor específico a presión constante del agua evaporada [kJ/(kg*K)]
$T_{sat,agua}$:	Temperatura de saturación del agua, que se determina a presión atmosférica [K]
T_{amb} :	Temperatura ambiente [K]
h_{fg} :	Entalpía de evaporación del agua a la temperatura de saturación [kJ/kg]
m_{ch} :	Masa de la cachaza obtenida del proceso [kg]
$C_{p,ch}$:	Calor específico a presión constante de la cachaza [kJ/(kg*K)]
$T_{sal,ch}$:	Temperatura a la que se retira la cachaza del proceso [K]
m_p :	Masa de la panela obtenida del proceso [kg]
$C_{p,p}$:	Calor específico a presión constante de la panela [kJ/(kg*K)]
$T_{sal,p}$:	Temperatura de salida de la panela [K]

2.1.7 Capacidad real de producción ($\zeta_{panela-tiempo}$)

Esta capacidad indica el manejo de cantidades de producción. Se calcula dividiendo la masa de panela producida en kilogramos, entre un intervalo de tiempo (horas), transcurrido desde el encendido de la hornilla y la hora de salida del último punteo.

$$\zeta_{panela-tiempo} = \frac{m_p}{tiempo} \quad (2.71)$$

2.1.8 Cálculos adicionales para obtener los indicadores

2.1.8.1 Extracción en peso (Ep)

Con este cálculo se estima la masa de la caña de azúcar, la masa de guarapo o la masa del bagazo fresco, ya que es una relación expresada en porcentaje, que se define como el peso del jugo recuperado del molino o guarapo (P_j) entre el peso de la caña de azúcar antes de pasar por el molino (P_c) y se expresa de la siguiente manera:

$$Ep = \frac{P_j}{P_c} * 100\% \quad (2.72)$$

Hay que tener en cuenta que en esta relación, uno de los factores que influyen directamente son las tolerancias²⁹ que existen entre mazas o rodillos del molino panelero.

²⁹ Tolerancia entre mazas o rodillos: es la holgura o espacio que separa a las mazas en el molino panelero, tanto al ingreso de la caña de azúcar, como a la salida del bagazo.

Capítulo 3

Requerimientos y procedimientos para la evaluación de indicadores

Estos requerimientos se han empleado in situ en los tres los módulos paneleros visitados, ubicados en el distrito de Montero, provincia de Ayabaca, en el departamento de Piura – Perú, como se muestra en la figura 3.1.

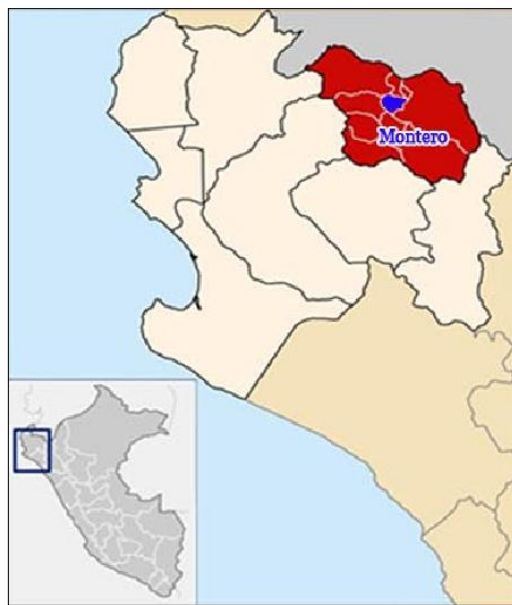


Figura 3.1: Mapa de Montero-Ayabaca-Piura

Fuente: Bibliografía [6]

Dichas visitas han permitido la determinación total de los parámetros productivos y energéticos de las plantas de producción de panela granulada. A continuación se muestra una lista de materiales, equipos e instrumentos necesarios para la determinación de los indicadores:

3.1 Lista general de materiales, equipos e instrumentos

3.1.1 Lista in situ de materiales, equipos e instrumentos

- Dos bolsos de lona con sus respectivos accesorios: tiras de driza y anillos de metal. Los detalles para la confección de este prototipo se encuentra en el anexo A.
- Dos balanzas romanas de capacidad máxima 100 kg.
- Una balanza mecánica de plataforma, con capacidad de 500 kg.
- Dos trozos de driza de alta resistencia, aproximadamente 3 m c/u. (para colgar las balanzas romanas).
- Dos tachos o baldes plásticos industriales de alta resistencia de 50 litros cada uno.
- Un reloj.
- Un taladro y brocas (2 brocas para concreto de 1/2" de diámetro).
- Un carrete de extensión eléctrica de longitud necesaria para llegar al suministro de energía eléctrica, con adaptadores de enchufe plano-redondo y viceversa.
- Un termómetro digital con termocupla rígida tipo K, con rango de operación de [0-200 °C].
- Un termómetro digital, con termocupla tipo K con bulbo cerámico, con rango de operación de [0 – 1200 °C.]
- Un analizador de gases, que mida concentraciones básicas de: CO_2 , O_2 , CO y NO .
- Una escalera.
- Un refractómetro de laboratorio simple o uno digital, con un rango de operación de [0 a 50] °Brix. Con sus accesorios de limpieza como: algodón, agua destilada y un pequeño depósito o jeringa para coger algunas gotas de muestra de juego de caña de azúcar.
- Una caja de cintas para medición de pH.
- Un barómetro.
- Un higrómetro con sensor de temperatura.
- Una caja de bolsas de plástico con cierre hermético resellables.
- Un cooler para traslado de muestras.
- Un rollo de driza de 50 m de largo.
- Una wincha de 30 y 5 metros.
- Dos o más linternas de mano a pilas.
- Dos pilas tipo V1 para repuesto de linterna.
- Una batería de 9 V para repuesto de termómetro digital.
- Una cuchilla multiuso de corte tipo x-acto, con agarre de goma.
- Una cinta masking tape.
- Un lapicero.
- Unas tijeras.
- Un casco de seguridad industrial.
- Un equipo de arnés de seguridad industrial.
- Ocho pares de guantes de cuero de seguridad industrial.
- Ocho lentes de seguridad industrial.
- Ocho a más filtros de protección respiratoria.
- Un botiquín de primeros auxilios.

3.1.2 Lista en laboratorio de materiales, equipos e instrumentos

- Estufa de secado, con rango de operación: 105 +/- 3 °C.
- Balanza robusta para uso intensivo, con resolución de hasta 0.1 g.
- Contenedor de muestra para secado, tamiz de 250 mm de diámetro y apertura de malla de 250 µm.
- Estufa de ventilación forzada a presión atmosférica.
- Deshumidificador.
- Cápsulas con tapa ajustada.
- Equipo de protección en laboratorio: lentes, guantes y filtros respiradores.

3.2 Procedimiento

3.2.1 Pesaje de bagazo combustible

El bagazo que se usa como combustible en la hornilla panelera, se encuentra ubicado en la bagacera de cada módulo panelero. Los materiales y equipos que se necesitan para esta tarea son:

- Dos bolsos de lona con sus respectivos accesorios: tiras de driza y anillos de metal. Los detalles para la confección de este prototipo se encuentra en el anexo A.
- Dos balanzas romanas de capacidad máxima 100 kg.
- Dos trozos de driza de alta resistencia, aproximadamente 3 m c/u. (para colgar las balanzas romanas).
- Ocho pares de guantes de cuero de seguridad industrial.
- Ocho lentes de seguridad industrial.
- Ocho a más filtros de protección respiratoria.

Personal por cada bolso de lona:

Personal capacitado (mínimo)	Ayudantes ³⁰ (mínimo)	Kilogramos de bagazo pesado	Tiempo duración de la tarea. [horas]	Tiempo traducido en jornadas[días]
01	04	2000	8	1

Antes de iniciar el pesaje, se debe ubicar estratégicamente el punto de apoyo donde colgará la balanza romana, cuidando los aspectos de seguridad. Se recomienda que sea una viga de concreto armado o estructura de acero, pasante o en voladizo³¹ en la zona cercana a la bagacera. Después de haber escogido el punto de apoyo, se pasa el trozo de driza a través del apoyo, asegurando que no se deslice la driza e inmediatamente se engancha la balanza romana a una altura prudencial para que cuando se cuelgue el bolso de lona, éste se encuentre siempre en suspensión.

³⁰ Como referencia: El precio de mano de obra por jornal (8 horas) es S/ 20 cada hombre.

³¹ Cualquier viga, travesaño u otro miembro estructural que se proyecta más allá de su miembro sustentante.

Se inicia el llenado de cada bolso de lona, con el bagazo que se usará en la hornilla, tal como se evidencia en la figura 3.2. Si es que se usa madera en la hornilla, también se debe de pesar, así como cualquier otro material de consumo en la hornilla. Hay que tener en cuenta el uso correcto de los equipos de seguridad para evitar un incidente o accidente.



Figura 3.2: Llenado de la lona con bagazo combustible

Fuente propia, tomada en la bagacera de la planta panelera que cuenta el centro poblado rural de Marmas Bajo, distrito de Montero - Ayabaca - Piura

Luego de que el bolso de lona se encuentra lleno de bagazo, éste se traslada debajo donde se encuentra colgada una de las balanzas romanas y se alza el bolso de lona con su contenido, con ayuda como mínimo de 4 personas por bolso de lona, hasta enganchar los anillos de metal (que están en los extremos de la bolsa de lona) en el gancho de la balanza romana, como se presenta en la figura 3.3, ahora se deja que el peso se estabilice para anotar el peso del bolso lleno. Este procedimiento se repite hasta pesar todo el bagazo que se usará en la hornilla. Hay que tener en cuenta que debemos anotar el peso del bolso de lona con sus accesorios, recordando restar este peso, ya que el bolso de lona no es parte del bagazo que se usará en la hornilla.



Figura3.3: Alza el bolso de lona con bagazo que se usará en la hornilla

Fuente propia, tomada en la bagacera de la planta panelera que cuenta el centro poblado rural de Marmas Bajo, distrito de Montero - Ayabaca - Piura

Se recomienda señalar los montículos de bagazo ya pesado, para así controlar cuanto bagazo se ha consumido realmente en la hornilla y no volver a pesar nuevamente el bagazo que exceda la alimentación de la hornilla.

Con este procedimiento se obtiene directamente:

$m_{bu,húmedo}$: Masa del bagazo húmedo usado en la hornilla [kg]

3.2.2 Pesaje de la caña de azúcar

La caña de azúcar se encuentra aprontada en el cañatero de la planta panelera. Hay que recordar que el tiempo de apronte tiene un tiempo límite de estadía para su procesamiento, de lo contrario la panela producida será de baja calidad.

Los materiales y equipos que se necesitan para esta tarea son:

- Dos bolsos de lona con sus respectivos accesorios: tiras de driza y anillos de metal. Los detalles para la confección de este prototipo se encuentra en el anexo A.
- Dos balanzas romanas de capacidad máxima 100 kg.

- Dos trozos de driza de alta resistencia, aproximadamente 3 m c/u. (para colgar las balanzas romanas).
- Ocho pares de guantes de cuero de seguridad industrial.
- Ocho lentes de seguridad industrial.
- Ocho a más filtros de protección respiratoria.

Personal por cada bolso de lona:

Personal capacitado (mínimo)	Ayudantes (mínimo)	Kilogramos de caña de azúcar pesado	Tiempo duración de la tarea. [horas]	Tiempo traducido en jornadas[días]
01	04	6000	8	1

Antes de iniciar el pesaje, se debe ubicar estratégicamente el punto de apoyo donde colgará la balanza romana, cuidando los aspectos de seguridad, se recomienda que sea una viga de concreto armado o estructura de acero, pasante o en voladizo en la zona cerca al cañatero. Después de haber escogido el punto de apoyo, se pasa el trozo de driza a través del apoyo, asegurando que no se deslice la driza e inmediatamente se engancha la balanza romana a una altura prudencial para que cuando se cuelgue el bolso de lona, éste se encuentre siempre en suspensión.

Se inicia el llenado de cada bolso de lona, con los troncos de caña de azúcar que se usarán en la molienda, tal como se indica en la figura 3.4.



Figura 3.4: Llenado de la lona con los troncos de caña de azúcar

Fuente propia, tomada en el cañatero de la planta panelera que cuenta el centro poblado rural de Marmas Bajo, distrito de Montero - Ayabaca - Piura

Luego de que el bolso de lona se encuentra lleno de caña de azúcar, éste se traslada debajo donde se encuentra colgada una de las balanzas romanas y se alza el bolso de lona con su contenido, con ayuda como mínimo de 4 personas, hasta enganchar los anillos de metal (que están en los extremos de la bolsa de lona) en el gancho de la balanza romana, se deja que el peso se estabilice para anotar el peso del bolso lleno. Este procedimiento se repite hasta pesar todos los troncos de caña de azúcar a procesar. Hay que tener en cuenta que se debe anotar el peso del bolso de lona con sus accesorios, recordando restar este peso, ya que el bolso de lona no es parte de la caña de azúcar que se va a procesar.

Con este procedimiento se obtiene directamente:

$$m_{ca}: \text{Masa de la caña de azúcar [kg]}$$

3.2.3 Pesaje de bagazo fresco

El bagazo fresco, que sale inmediatamente después de la molienda, se encuentra ubicado y generado continuamente en la zona de la molienda. Los materiales y equipos que se necesitan para esta tarea son:

- Dos bolsos de lona con sus respectivos accesorios: tiras de driza y anillos de metal. Los detalles para la confección de este prototipo se encuentra en el anexo A.
- Dos balanzas romanas de capacidad máxima 100 kg.
- Dos trozos de driza de alta resistencia, aproximadamente 3m c/u. (para colgar las balanzas romanas).
- Ocho pares de guantes de cuero de seguridad industrial.
- Ocho lentes de seguridad industrial.
- Ocho a más filtros de protección respiratoria.

Personal por cada bolso de lona:

Personal capacitado (mínimo)	Ayudantes (mínimo)
01	04

Antes de iniciar el pesaje, se debe ubicar estratégicamente el punto de apoyo donde colgará la balanza romana, cuidando los aspectos de seguridad, se recomienda que sea una viga de concreto armado o estructura de acero pasante o en voladizo en una zona cercana a la molienda, después de haber escogido el punto de apoyo, se pasa el trozo de driza a través del apoyo, asegurando que no se deslice la driza, inmediatamente se engancha la balanza romana a una altura prudencial para que colgar el bolso de lona, éste se encuentre siempre en suspensión.

Se inicia el llenado de cada bolso de lona, con el bagazo fresco que sale inmediatamente después de la molienda de la caña de azúcar, como se ilustra en la figura 3.5.



Figura 3.5: Llenado de la lona con bagazo fresco

Fuente propia, tomada en el cuarto de molienda de la planta panelera que cuenta el centro poblado rural de Santa Lucía, distrito de Montero - Ayabaca - Piura

Posteriormente este bolso lleno de bagazo fresco, se traslada hasta el punto donde está colgada una de las balanzas romanas y se alza el bolso con su contenido, con ayuda como mínimo de 4 personas por bolso de lona, hasta enganchar los anillos de metal (que están en los extremos de la bolsa de lona) en el gancho de la balanza romana, se deja que el peso se estabilice para anotar el peso del bolso lleno (véase figura 3.6). Este procedimiento se repite hasta pesar todo el bagazo que se usará en la hornilla. Hay que tener en cuenta que se debe anotar el peso del bolso de lona con sus accesorios, recordando restar este peso ya que el bolso de lona no es parte del bagazo fresco.

Es importante pesar el bagazo fresco inmediatamente después de salir de la molienda porque de lo contrario pierde peso por la evaporación del agua restante contenida en el bagazo fresco.



Figura 3.6: Lectura en la balanza romana del peso de la lona con bagazo fresco

Fuente propia, tomada en el cuarto de molienda de la planta panelera que cuenta el centro poblado rural de Santa Lucía, distrito de Montero - Ayabaca - Piura

Con este procedimiento se obtiene directamente la masa del bagazo fresco que es igual a:

$$m_{bg,húmedo}: \text{Masa del bagazo húmedo generado [kg]}$$

3.2.4 Medición de intervalos de tiempos

Hasta ahora no se ha tomado en cuenta la toma de datos de intervalos de tiempos en el proceso, para eso se necesita:

- Un reloj.

Personal:

Una persona capacitada.

Estos tiempos deben anotarse para cada productor de panela granulada y es recomendable tomar los datos en formato: horas y día/mes/año. Así después se calculan las diferencias de tiempos correspondientes y necesarios para evaluar los indicadores productivos y de producción correctamente; además, tomar datos en el formato mencionado resulta muy conveniente cuando hay interrupciones en el proceso y cambios de productor. A continuación se presenta una lista de tiempos que se tienen en cuenta:

- Tiempo de encendido de la hornilla.
- Tiempo de duración de la molienda de la caña de azúcar (desde el inicio hasta su final)
- Tiempo en que ingresan los jugos en la paila clarificadora.
- Tiempo de duración de cada punteo.
- Tiempo en que culminan las actividades (Se hace referencia al momento en que se terminó de empacar y pesar el último saco con panela).
- Tiempo en que se realiza alguna pausa o interrupción en el proceso por diversos inconvenientes.

3.2.5 Medición del porcentaje de extracción

Es muy útil al momento de determinar la eficiencia de la planta de panela granulada. Los materiales y equipos que se necesitan para esta tarea son:

- Una balanza mecánica de plataforma, con capacidad de 500 kg.
- Dos tachos o baldes plásticos industriales de alta resistencia de 50 litros cada uno.
- Un bolso de lona con sus respectivos accesorios: tiras de driza y anillos de metal. Los detalles para la confección de este prototipo se encuentra en el anexo A.
- Una balanza romana de capacidad máxima 100 kg.
- Un trozo de driza de alta resistencia, aproximadamente 3 m c/u. (para colgar la balanza romana).
- Cuatro pares de guantes de cuero de seguridad industrial.
- Cuatro lentes de seguridad industrial.
- Cuatro a más filtros de protección respiratoria.

Personal por cada ensayo:

Personal capacitado (mínimo)	Ayudantes (mínimo)	Kilogramos caña de azúcar pesada	Tiempo de duración de la tarea.
01	04	100	15 minutos – dependiendo del molino y la potencia del motor.

Antes se debe realizar el montaje de la balanza romana en un lugar estratégico (apoyo) con ayuda de la driza y demás, como se ha mencionado en cada medición de pesaje con el bolso de lona.

Para comenzar se pesa 100 kg de troncos de caña de azúcar con ayuda del bolso de lona y accesorios. Hay que tener en cuenta que los 100 kg de caña de azúcar no deben incluir el peso del bolso de lona con sus accesorios. A estos 100 kg de caña de azúcar le denominaremos “muestra de caña de azúcar”.

Con el molino sin funcionar, se desacopla la conexión (tubería) que hay entre el molino y el pre-limpiador “1” para recoger el jugo de caña de azúcar en los baldes plásticos industriales de 50 litros cada uno. Después se inicia la molienda de los 100 kg de caña de azúcar y se recoge el jugo obtenido de la molienda de la muestra de caña de azúcar (ver figura 3.7).

Posteriormente se traslada y acomoda los baldes industriales con el jugo recolectado, hacia la balanza mecánica de plataforma y se realiza el pesaje del jugo obtenido. Hay que tener presente que se debe restar el peso de los baldes, para obtener sólo el peso del jugo de caña de azúcar recolectado.



Figura 3.7: Recolección de jugos de la muestra de caña de azúcar

Fuente propia, tomada en la planta panelera que cuenta el centro poblado rural de Santa Lucía, distrito de Montero - Ayabaca - Piura

Con la ecuación (2.78):

$$Ep = \frac{\text{Peso del jugo de la muestra de caña de azúcar}}{\text{Peso de la muestra de caña de azúcar}} * 100$$

Y con esta relación se obtiene indirectamente:

m_{ca} : Masa de la caña de azúcar [kg]

ó

$m_{bg,húmedo}$: Masa del bagazo húmedo generado [kg]

3.2.6 Medición de la temperatura en la base de la chimenea

Es necesaria para cuantificar el nivel de energía que se escapa por la chimenea a través de los gases de combustión, ya que ésta se encuentra en función de la temperatura. Los materiales y equipos que se necesitan para esta tarea son:

- Un taladro y brocas (2 brocas para concreto de 1/2" de diámetro).
- Un carrete de extensión eléctrica de longitud necesaria para llegar al suministro de energía eléctrica, con adaptadores de enchufe plano-redondo y viceversa.
- Un termómetro digital, con termocupla tipo K con bulbo cerámico, con rango de operación de [0 – 1200 °C.]
- Dos pares de guantes de cuero de seguridad industrial.
- Dos lentes de seguridad industrial.
- Dos a más filtros de protección respiratoria.

Personal necesario:

Personal capacitado (mínimo)	Ayudantes (mínimo)	Tiempo duración de la tarea.
01	01	15 a 30 minutos

Se ubica la base de la chimenea y se escoge un punto por donde se realizará la perforación. Se usa el carrete de extensión eléctrica (si es necesaria) hasta llevar la alimentación de energía eléctrica cerca del punto de trabajo. Se instala correctamente la broca para concreto en el taladro y, con los equipos de seguridad industrial puestos, se inicia el taladrado tal como se presenta en figura 3.8, hasta atravesar la pared de la base de la chimenea. Este taladrado debe realizarse antes de encender la hornilla se encienda, para evitar accidentes.



Figura 3.8: Taladrado de la base de la chimenea

Fuente propia, tomada en la planta panelera que cuenta el centro poblado rural de Santa Lucía, distrito de Montero - Ayabaca - Piura

Después de realizar la perforación y cuando la hornilla ya se encuentre encendida, se ingresa la termocupla hasta que entre en contacto directo con los gases de combustión (ver figura 3.9) y se espera hasta que la lectura en el termómetro se estabilice; este tiempo debe ser el menor posible (aproximadamente 5 minutos, dependiendo del manual de uso de la termocupla) para prolongar la vida útil de la termocupla. Este procedimiento se debe realizar cada tres horas a lo largo del proceso, para después calcular una media de temperatura.

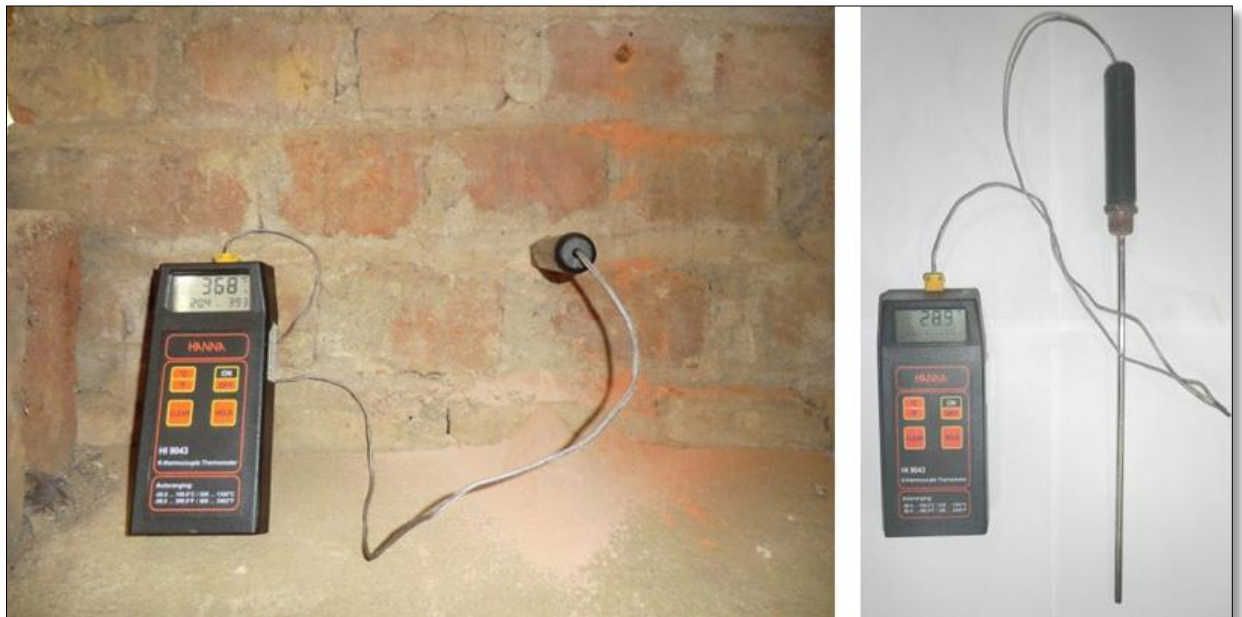


Figura 3.9: Medición de la temperatura en la base de la chimenea

Fuente propia, tomada en la planta panelera que cuenta el centro poblado rural de Santa Lucía, distrito de Montero - Ayabaca - Piura

Con este procedimiento se obtiene directamente:

T: Temperatura de salida de los gases en la base de la chimenea [K]

3.2.7 Medición de la composición de los gases en la chimenea

La composición de los gases a la salida de la chimenea es necesaria para determinar la energía perdida en la chimenea. Para realizar esta tarea se necesitan los siguientes materiales y equipos:

- Un analizador de gases, que mida concentraciones básicas de: CO_2 , O_2 , CO y NO . (ver figura 3.10)
- Un taladro y brocas (2 brocas para concreto de 1/2" de diámetro).
- Un carrito de extensión eléctrica de longitud necesaria para llegar al suministro de energía eléctrica, con adaptadores de enchufe plano-redondo y viceversa.
- Una escalera.
- Un casco de seguridad industrial.
- Un equipo de arnés de seguridad.
- Un par de guantes de cuero de seguridad industrial.
- Un juego de lentes de seguridad industrial.
- Un filtro de protección respiratoria.

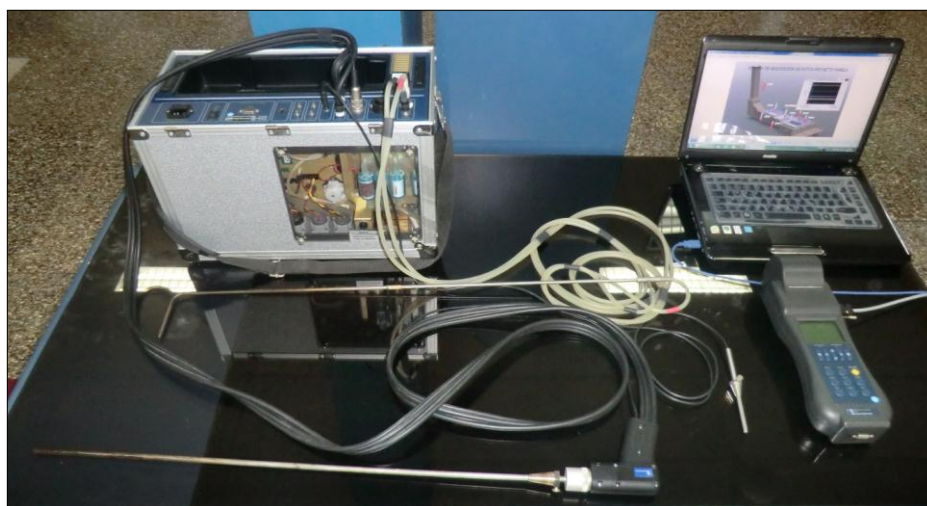


Figura 3.10: Analizador de gases Eurotron GreenLine 6000

Fuente propia, tomada en el Laboratorio de Energía de la Universidad de Piura (UDEP)

Personal necesario:

Personal capacitado (mínimo)	Ayudantes (mínimo)	Tiempo duración de la tarea.
02	01	15 a 30 minutos

Para comenzar, y con la hornilla apagada para evitar accidentes, se realiza el montaje de la escalera en la chimenea. Este montaje debe efectuarse con mucho cuidado, sujetando correctamente la escalera a la chimenea para alcanzar el siguiente esquema tal como se detalla en la figura 3.11. Sin olvidar llevar el equipo de protección industrial, para evitar accidentes.

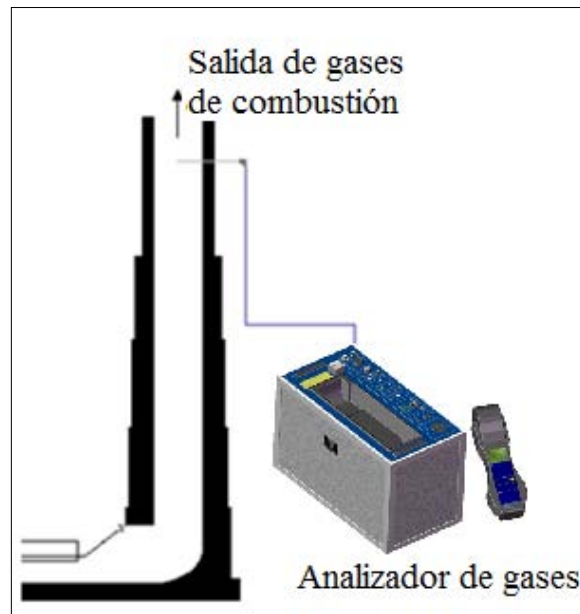


Figura3.11: Esquema de distribución del analizador de gases en la chimenea
 Fuente: Bibliografía [6]

Una vez segura la escalera y con el acondicionamiento del suministro de energía eléctrica (usar extensiones eléctricas si es necesario) se procede a realizar una abertura con el taladro y broca a una distancia desde la base de la chimenea de al menos 3 veces el diámetro de la chimenea. La abertura debe ser del espesor de la broca y de largo de 10 cm aproximadamente, para que el extremo de la sonda del analizador de gases ingrese en dirección vertical sin problemas, como se muestra en figura 3.12. Se recomienda que el contacto directo con los gases de escape debe ser por un tiempo no mayor de los 5 minutos [12], para no disminuir considerablemente la vida útil del analizador de gases por efectos de las elevadas temperaturas.



Figura 3.12: Abertura en la chimenea

Fuente propia, tomada en la chimenea de la planta panelera que cuenta el centro poblado rural de Marmas Bajo, distrito de Montero - Ayabaca - Piura

Se coloca y asegura la sonda del analizador de gases en la chimenea tal como se presenta en la figura 3.13. El tornillo de retención en el cono permite la sonda se muevan fácilmente con el fin de ubicar el flujo de núcleo, normalmente correspondiente al centro de la sección de la chimenea. Una forma fácil de encontrar la profundidad correcta para el sondeo es insertar la sonda hasta que el analizador detecte la máxima temperatura de los gases de combustión. Cabe señalar, que los datos obtenidos y guardados por el analizador gases serán transferidos a la computadora por el software del analizador de gases.



Figura 3.13: Montaje de la sonda del analizador de gases en la chimenea

Fuente propia, tomada en la chimenea de la planta panelera que cuenta el centro poblado rural de Marmas Bajo, distrito de Montero - Ayabaca - Piura

Con este procedimiento se obtiene directamente:

Concentración de los siguientes componentes: CO_2 , O_2 , CO , NO .

3.2.8 Medición de la temperatura del jugo en las pailas

Es necesaria para conseguir la energía aprovechada en el proceso, para realizarla se necesita:

- Un termómetro digital con termocupla rígida tipo K, con rango de operación de [0-200 °C].

Personal necesario:

Personal capacitado (mínimo)	Tiempo duración de la tarea.
02	5 a 10 minutos

En la sala de procesos se ubican las pailas, enumerándolas para un mejor control e identificación, luego se ingresa la termocupla en el jugo que se encuentra en cada paila y se toma datos instantáneos de todas las pailas tal como se realiza en figura 3.14. Un punto importante es tomar la temperatura a la cual se realiza la clarificación, evaporación, punteo y salida de cachaza. Este procedimiento se debe repetir cada vez que se realice un movimiento de jugos o mieles, para después calcular la media de las temperaturas.



Figura 3.14: medición de la temperatura en una paila

Fuente propia, tomada en la planta panelera que cuenta el centro poblado rural de Santa Rosa de Chonta, distrito de Montero - Ayabaca - Piura

Con este procedimiento se obtiene directamente:

$T_{sal,ch}$: Temperatura a la que se retira la cachaza del proceso [K]

$T_{sal,p}$: Temperatura de salida de la panela [K]

3.2.9 Medición de pH y grados Brix de los jugos

Estas mediciones son necesarias para la determinación de la calidad de la panela, los materiales y equipos para esta tarea son:

- Un refractómetro de laboratorio simple (ver figura 3.15) o uno digital, con un rango de operación de [0 a 50] °Brix. Con sus accesorios de limpieza como: algodón, agua destilada y un pequeño depósito o jeringa para coger algunas gotas de muestra de jugo de caña de azúcar.
- Una caja de cintas para medición de pH (véase figura 3.16).

Personal:

Personal capacitado (mínimo)	Tiempo duración de la tarea.
01	5 a 10 minutos

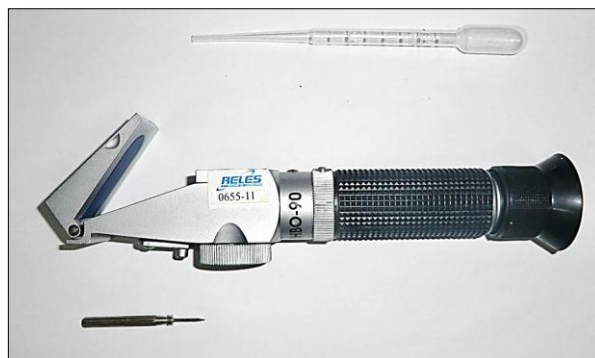


Figura 3.15: Refractómetro simple

Fuente propia, tomada en el Laboratorio de Energía de la Universidad de Piura (UDEP)



Figura 3.16: Caja de cintas para la medición de pH

Fuente propia, tomada en el Laboratorio de Energía de la Universidad de Piura (UDEP)

En la sala de procesos, se toma una muestra de jugo de caña de azúcar para el prelimpiador 1, la paila almacenamiento y de clarificación de jugos. En cada muestra se introduce una cinta indicadora de pH y se determina el grado de acidez por comparación del tono de color que se observa en la cinta indicadora de pH.

Para medir los grados brix en un refractómetro simple, se toma algunas gotas de jugo de caña, se colocan el prisma del refractómetro y se observa la cantidad de grados brix. Es recomendable un refractómetro digital ya que las medidas son más precisas que el refractómetro convencional y la diferencia de grados brix entre el prelimpiador, la paila de almacenamiento y clarificación son muy bajas, incluso llegando a diferencias de 0.5 grados brix.

Hay que evitar usar las mediciones de grados brix para el cálculo de indicadores, así por ejemplo en el caso que se use para el cálculo del peso del jugo de caña se pueden presentar errores hasta de una tonelada.

Sólo con el fin de prever requerimientos de personal, materiales o para comparar calidad de cosecha y panela, se pueden emplear las siguientes ecuaciones [5]:

$$^{\circ}B_{j,clarificado} = \frac{msst}{m_{j,clarificado}} * 100 \quad (3.1)$$

$$^{\circ}B_p = \frac{msst}{m_p} * 100 \quad (3.2)$$

Relacionado las dos ecuaciones [5], se tiene:

$$\frac{^{\circ}B_{j,clarificado}}{m_p} = \frac{^{\circ}B_p}{m_{j,clarificado}} \quad (3.3)$$

Donde:

$^{\circ}B_{j,clarificado}$: Grados brix del jugo de caña de azúcar clarificado (sin bagacillo y sin cachaza) [$^{\circ}$ Bx]

$msst$: Masa de sólidos solubles totales (sacarosa) [kg]

$m_{j,clarificado}$: Masa de jugo de caña de azúcar clarificado (sin bagacillo y sin cachaza) [kg]

$^{\circ}B_p$: Grados brix de la panela granulada [$^{\circ}$ Bx]

m_p : Masa de la panela obtenida del proceso [kg]

3.2.10 Medición de las condiciones ambientales

Estas mediciones son necesarias para estimar la energía perdida en la chimenea. Dentro de esas mediciones se determina el agua presente en aire y la temperatura real de ebullición del agua. Ahora para esto se necesitan los siguientes equipos:

- Un barómetro.
- Un higrómetro con sensor de temperatura. (ver figura 3.17)

Personal capacitado (mínimo)	Tiempo duración de la tarea.
01	5 a 10 minutos



Figura 3.17: Higrómetro con sensor de temperatura

Fuente propia, tomada en el Laboratorio de energía de la Universidad de Piura (UDEP)

Con el higrómetro se obtiene humedad relativa del ambiente y con su sensor adicional de temperatura se obtiene la temperatura ambiental.

Las condiciones ambientales, se deben obtener fuera de la planta de procesamiento de azúcar orgánica porque dentro del módulo las condiciones de temperatura y humedad son mayores por las continuas evaporaciones; además, el objetivo es analizar las pérdidas con respecto al medio ambiente.

Con el Barómetro se obtiene presión atmosférica. En el caso de no contar con un barómetro, se hace uso de un altímetro y con este dato (metros sobre el nivel del mar) dirigirse a las tablas que se encuentran en la referencia [8] y estimar una presión a dicha altura.

Las mediciones se deben realizar a lo largo del proceso de obtención de la panela (ya sea día, tarde, noche o madrugada) y con éstas calcular una media representativa.

Con este procedimiento se obtiene directamente:

T_{amb} : Temperatura ambiente [K]

P_{total} : Presión atmosférica [kPa]

H_r : Humedad relativa del ambiente [%]

3.2.11 Pesaje del bagacillo

Esta medición se requiere cuando se desea obtener el jugo limpio (sin bagacillo). Para realizar esta tarea se requiere de los siguientes materiales y equipos:

- Una balanza mecánica de plataforma.
- Un tacho o balde plástico industrial.

Personal:

Personal capacitado (mínimo)	Ayudantes (mínimo)
01	01

Se debe recolectar todo el bagacillo que se ha eliminado del proceso en un tacho o balde plástico industrial como se evidencia en figura 3.18. Éste residuo es obtenido en los prelimpiadores y antes del proceso de clarificación, además, no es necesario conservarlo, sino saber cuántos kilogramos se han retirado del proceso; en algunas plantas paneleras se usa como abono, alimento para animales o simplemente se desecha.



Figura 3.18: Recolección del bagacillo en el prelimpiador

Fuente propia, tomada en la planta panelera que cuenta el centro poblado rural de Santa Rosa de Chonta, distrito de Montero - Ayabaca - Piura

Posteriormente se traslada y acomoda el tacho o balde industrial con el bagacillo recolectado, hasta la balanza mecánica de plataforma y se realiza el pesaje correspondiente. Hay que tener presente que se debe restar el peso del tacho o balde, para obtener el peso sólo del bagacillo recogido.

Y con este pesaje se obtiene directamente:

$m_{bagacillo}$: Masa del bagacillo obtenido en el proceso [kg]

3.2.12 Pesaje de la cachaza

Esta medición es útil para obtener el peso del jugo clarificado (sin bagacillo y sin cachaza). Para realizar esta tarea se requiere de los siguientes materiales y equipos:

- Una balanza mecánica de plataforma.
- Un tacho o balde plástico industrial.

Personal:

Personal capacitado (mínimo)	Ayudantes (mínimo)
01	01

Se debe recolectar toda la cachaza que sale del proceso, en un tacho o balde plástico industrial tal como se desarrolla en figura 3.19. La cachaza se obtiene en la etapa de

clarificación del jugo de caña de azúcar. En algunos módulos paneleros es obtenida sólo en la paila de clarificación; en otros módulos se obtiene tanto en la paila de clarificación como en la paila de evaporación e incluso en la concentradora. Cualquiera sea el caso, es necesario recolectarla. Este subproducto de la panela no es necesario conservarlo; lo importante es anotar cuántos kilogramos se han retirado del proceso. La cachaza, por conservar todavía cierta dulzura, en algunos casos se usa como alimento para animales, abono o se desecha.



Figura 3.19: Recolección de la cachaza en el proceso

Fuente propia, tomada en la planta panelera que cuenta el centro poblado rural de Santa Rosa de Chonta, distrito de Montero - Ayabaca - Piura

Posteriormente se traslada y acomoda el tacho o balde industriales con la cachaza recolectada hasta la balanza mecánica de plataforma y se realiza el pesaje. Hay que tener presente que se debe restar el peso del tacho o balde, para obtener el peso sólo de la cachaza recogida.

Y con este pesaje se obtiene directamente:

m_{ch} : Masa de la cachaza obtenida del proceso [kg]

3.2.13 Pesaje de la panela granulada

Esta medición resulta importante, ya que influye directamente en la determinación de los indicadores energéticos y de producción del proceso de la planta de panela granulada. El equipo que se necesita para esta tarea es:

- Una balanza mecánica de plataforma.

Personal:

Personal capacitado (mínimo)	Ayudantes (mínimo)
01	01

Una vez envasada la panela granulada, se ubica la balanza mecánica de plataforma y se realiza el pesaje, tal como se muestra en la figura 3.20. Es necesario contabilizar el peso de confitillo (ver figura 3.21) y chancaca (véase figura 3.22), productos que no llegaron al punto de obtención de la panela granulada.



Figura 3.20: Pesaje de la panela granulada

Fuente propia, tomada en la planta panelera que cuenta el centro poblado rural de Santa Lucía, distrito de Montero - Ayabaca - Piura



Figura 3.21: Confitillo en el tamiz

Fuente propia, tomada en la planta panelera que cuenta el centro poblado rural de Santa Rosa de Chonta, distrito de Montero - Ayabaca - Piura



Figura 3.22: Chancaca

Fuente propia, tomada en la planta panelera que cuenta el centro poblado rural de Santa Rosa de Chonta, distrito de Montero - Ayabaca - Piura

Y con este pesaje se obtiene directamente:

m_p : Masa de la panela obtenida del proceso [kg]

En el caso que se obtenga confitillo o chancaca, estos subproductos se agregan a la masa de la panela granulada para fines del cálculo de la obtención de indicadores, ya que dichos subproductos no dependen del funcionamiento del módulo panelero, sino de la experiencia y habilidad del operario.

3.2.14 Medición de humedad de la panela, bagazo fresco y bagazo combustible

En los módulos de panela sólo se realiza la extracción de muestras. La determinación de humedades se realiza en un laboratorio calificado, que fue el Laboratorio de Química de la Universidad de Piura.

3.2.14.1 Extracción de muestras para la medición de la humedad de la panela, bagazo fresco y bagazo combustible

Para la extracción de muestras se necesita:

- Una caja de bolsas de plástico con cierre hermético resellables.
- Un cooler para traslado de muestras.
- Una cinta masking tape.
- Un lapicero.

Personal para recojo de muestras:

Personal capacitado (mínimo)	Tiempo duración de la tarea.
01	5 a 10 minutos

Se extrae una muestra representativa de 1kg aproximadamente de bagazo que se usará en la hornilla, ésta se coloca en una bolsa de plástico y se sella con su cierre hermético y con la cinta masking tape y un lapicero se coloca: “muestra de bagazo que se usará en la hornilla” con la hora y fecha de envasado, después éstas se guardan en el cooler para evitar interacción con el medio ambiente.

Para extraer las muestras de bagazo fresco y panela granulada se procede de la misma forma colocando en el envase: “muestra de bagazo fresco” y “muestra de panela granulada” respectivamente.

Para el caso de varios productores, se debe acumular 1 kg por cada tipo de muestra (bagazo combustible, bagazo fresco y panela granulada); para obtener mejores resultados es recomendable utilizar la técnica de muestreo del tipo estratificado³².

3.2.14.2 Medición en laboratorio de la humedad de la panela, bagazo fresco y bagazo combustible

Para este análisis se utilizan dos normas técnicas peruanas (NTP):

Código de Norma Técnica Peruana	Título
NTP 207.063:2008	BAGAZO. Determinación de humedad en caña y bagazo usando horno de secado.
NTP 207.005:2010	AZUCAR. Determinación de humedad en azúcar por pérdida en secado. 5a. ed

Éstas han sido adquiridas en el centro de información y documentación de INDECOPI y se citan en los anexos B y C respectivamente.

Para la medición de humedad en las muestras se necesita:

- Estufa de secado, con rango de operación: 105 +/- 3 °C.
- Balanza robusta para uso intensivo, con resolución de hasta 0.1 g.
- Contenedor de muestra para secado, tamiz de 250 mm de diámetro y apertura de malla de 250 µm.
- Estufa de ventilación forzada a presión atmosférica.
- Deshumidificador.
- Cápsulas con tapa ajustada o placas preti.
- Equipo de protección en laboratorio: lentes, guantes y filtros respiradores.

Personal para análisis de laboratorio por muestra:

Personal capacitado (mínimo)	Tiempo duración de la tarea.
02	3 horas aproximadamente

³² Técnica de muestreo probabilístico, que consiste en la división previa de la materia a analizar en grupos o clases que se suponen homogéneos con respecto a alguna característica de las que se van a analizar.

Determinación de humedad del bagazo usando horno de secado:

Para la determinación de la humedad del bagazo fresco y bagazo combustible se emplea la norma técnica peruana NTP 207.063:2008 que se muestra en el anexo B y se procede de la siguiente manera:

Pesar el contenedor de la muestra del horno del secado, limpio y vacío, y registrar la masa m_1 a la décima de gramo más próxima. Agregar aproximadamente 1000 g de bagazo a los contenedores vacíos y apuntar la masa del contenedor más el bagazo hasta la décima de gramo más próxima, m_2 .

Colocar el contenedor con bagazo en el horno de secado y secar a 105 ± 3 °C hasta que la pérdida de masa sea menor a 2 g en 30 min.

Pesar el contenedor caliente más la muestra de caña seca y registrar la masa a la décima de gramo más próxima, m_3 . Realizar éste paso rápidamente para evitar errores debido a la absorción de humedad por parte de la muestra seca y caliente.

Y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Humedad del bagazo [\%]} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \quad (3.4)$$

Determinación de humedad de la panela por pérdida en secado

Para la determinación de la humedad de la panela granulada se emplea la norma técnica peruana NTP 207.005:2010 que se muestra en el anexo C y se procede de la siguiente manera:

Precalentar la estufa a 105 °C. Colocar las cápsulas vacías con tapas abiertas en el horno durante por lo menos 30 min. Empleando un paño para manejarlas, retirar las cápsulas de la estufa, cerrar las tapas y colocarlas en el deshumidificador por 15 minutos a 30 minutos. Pesar las cápsulas con una exactitud de $\pm 0,1$ mg. Hay que tener en cuenta que la profundidad de la panela en la cápsula no deberá ser mayor de 1 cm.

Volver a colocar las cápsulas con las tapas abiertas en la estufa y secar la muestra exactamente durante 3 horas. Asegurarse que no haya otros materiales en la estufa durante el periodo de secado.

Para determinar la pérdida durante el secado. Cerrar las cápsulas con las tapas, retirar las cápsulas de la estufa y colocarlas en el deshumidificador por 15 min a 30 min con el termómetro de contacto sobre una de ellas. Enfriar las cápsulas hasta que el termómetro indique la temperatura ambiente $+ 2$ °C. Pesar las cápsulas con una exactitud de ± 0.1 mg.

NOTA: No tratar de secar a un peso constante y asegurarse que no haya pérdida física alguna de panela granulada en cualquier etapa. Sostener las cápsulas siempre con un paño quita polvo limpio y seco.

Y se calcula la humedad de la panela granulada:

$$\text{Humedad Panela } [\%] = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} * 100 \quad (3.5)$$

Donde:

m_1 : Masa de la cápsula [g]

m_2 : Masa de la cápsula + panela granulada antes del secado [g]

m_3 : Masa de la cápsula + panela granulada después del secado [g]

Para una correcta forma de toma de datos in situ, se han elaborado fichas de control (ver anexo D) que tienen en cuenta todas las mediciones hasta ahora mencionadas.

Con las fichas de control en los módulos paneleros se mejoró la organización del personal y la eficiencia en la toma de datos.

Es importante resaltar que en la mayoría de procesos de la obtención de panela granulada, que se lleva a cabo en la sierra de Piura, se realiza diariamente y de forma continua (24 horas) por lo tanto se recomienda organizar al personal de toma de datos, como mínimo en dos turnos (12 horas al día) o tres turnos (8 horas al día).

Capítulo 4

Resultados

Las visitas a las plantas producción de panela granulada comprendió no sólo la determinación total de los parámetros productivos y energéticos de las plantas de visitadas, sino también la inspección de las instalaciones, verificación de la tecnología empleada para la construcción y la supervisión de la operación.

A continuación se reporta las características de los tres módulos paneleros, de ésta manera se permite comparar con sus respectivos indicadores.

4.1 Características de los módulos paneleros visitados

4.1.1 Módulo panelero de Santa Rosa de Chonta

El módulo se encuentra ubicado en el centro poblado rural de Santa Rosa de Chonta, distrito de Montero, provincia de Ayabaca, departamento de Piura – Perú (ver figura 4.1). La toma de datos se realizó del 14 al 17 de setiembre del 2011.



Figura 4.1: Módulo panelero Santa Rosa de Chonta

Fuente: Propia

Características principales de la hornilla del módulo panelero de Santa Rosa de Chonta	
Cámara de combustión	- El tipo de cámara de combustión es una Ward-Cimpa, que permite utilizar bagazo con humedades de hasta 45 %; cuenta con dos entradas de aire, la entrada primaria de aire permite un pre-secado del bagazo y la segunda brinda el aire necesario para llevar a cabo una mejor combustión. Este tipo de cámara es más amigable con el ambiente que las cámaras tradicionales y permite un mejor mantenimiento y limpieza. - La parrilla de trabajo está constituida por cuatro bloques que funcionan conjuntamente. Antes del arranque se le realiza una limpieza. - La puerta de alimentación del bagazo en la hornilla siempre permanece abierta. - El aislamiento de la hornilla está constituida por dos capas, la primera y más interna es de ladrillo refractario, la otra es de ladrillo simple y entre ambas paredes se encuentra un espacio lleno de aire que permite un mejor aislamiento térmico.
Ducto de gases	El aislamiento del ducto de humos está constituido por dos capas, la primera capa es de ladrillo refractario, la otra capa (la más externa) es de ladrillo común y entre ambas paredes se encuentra un espacio lleno de aire, que permite un mejor aislamiento térmico.
Chimenea	La chimenea está hecha de ladrillo común, en su base tiene una válvula mariposa que regula el flujo másico de los gases de combustión y se encuentra construida fuera de la sala de procesos.
Pailas	Las pailas ubicadas en el ducto de humos son seis (véase figura 4.2): paila clarificadora tipo aletada, pailas evaporadoras tipo aletada, semicilíndrica y semiesférica, paila punteadora tipo semiesférica y paila melotera del tipo plana. Todas la pailas son de acero inoxidable AISI 304 – 2B.



Figura 4.2: Pailas ubicadas en el ducto de humos del módulo panelero Santa Rosa de Chonta

Fuente: Propia

Características principales del área de molienda del módulo panelero de Santa Rosa de Chonta	
Molino	El molino es de procedencia colombiana, de marca METALAGRO LTDA, modelo EL PANELERO de tipo R-8, con capacidad nominal de molienda de 1500 kg de caña de azúcar/hora. La tolerancia del ingreso de la caña de azúcar entre mazas es de 13 mm aproximadamente y de salida con 1 mm aproximadamente.
Motor	- Motor Diesel, de marca Shandong Laidong Engine Co., Ltd, con una potencia nominal de 24 HP y una velocidad nominal de 2200 rpm. - Para su refrigeración se conecta a través de mangueras de jebe con un tanque de concreto lleno de agua, este líquido circula a través del tanque y el motor cumpliendo la función de enfriar al motor. - La transmisión de potencia motor-molino, se realiza con una faja de transmisión de 4" de ancho y la distancia entre ejes es de 3.20 m.

Características principales del área de procesamiento del módulo panelero de Santa Rosa de Chonta	
- Para el filtrado y decantado de los jugos cuenta con dos prelimpiadores de acero inoxidable AISI 304 – 2B. - El interior de la sala de proceso está construida con cierta pendiente que facilita el movimiento de jugos, además cuenta con dos canales abiertos para facilitar la limpieza y un punto de agua con llave para las operaciones de limpieza. - El regulador de pH que normalmente se usa es bicarbonato de sodio. - El módulo no posee ventana para la comunicación directa entre el operador de punteo y el operario que alimenta la cámara de combustión con bagazo.	

Características generales de las instalaciones del módulo panelero de Santa Rosa de Chonta
--

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • El piso es de cemento pulido y gran parte de esta sala está recubierta por lozas de cerámica. • Las ventanas están cubiertas por celosía que permite el escape de vapor de agua y protege las instalaciones de insectos. • El techo está compuesto por vigas de estructuras metálicas y calaminas con caída para las lluvias y con luminaria correspondiente. • Cuenta con los servicios básicos de aseo como baños y vestidores. • Tiene avisos con señalizaciones de seguridad industrial y recomendaciones para el buen desempeño del personal. |
|--|

Utensilios y equipos usados en módulo panelero de Santa Rosa de Chonta
--

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • La sala de batido, enfriamiento y tamizado consta de equipos y utensilios de acero inoxidable entre ellos se tiene: un depósito homogenizador, un depósito de enfriamiento, tres bateas o bunques y utensilios para el batido, enfriamiento y tamizado. • El almacén para la panela granulada cuenta con una balanza mecánica de plataforma de 500 kg de capacidad máxima y seis parihuelas para almacenar la panela envasada. |
|---|

4.1.2 Módulo panelero de Marmas Bajo

El módulo se encuentra ubicado en el centro poblado rural de Marmas Bajo, distrito de Montero, provincia de Ayabaca, departamento de Piura – Perú (ver figura 4.3). La toma de datos se realizó del 08 al 11 de noviembre del 2011.



Figura 4.3: Módulo panelero Marmas Bajo

Fuente: Propia

Características principales de la hornilla del módulo panelero de Marmas Bajo	
Cámara de combustión	• La cámara de combustión es de tipo tradicional. • La parrilla de trabajo está constituida por elementos individuales espaciados 3 cm aproximadamente uno del otro, que en su conjunto funcionan como parrilla. Antes del arranque se le realiza una limpieza parcial. • La entrada al cenicero es tapada con una pieza de calamina para reducir el exceso de aire que reduce la temperatura de los gases de combustión y además de generar un tiro muy grande debido a la poca área que cubre la parrilla por estar muy espaciados sus elementos que la conforman. • La puerta de alimentación del bagazo en la hornilla permanece siempre obstruida por bagazo para no permitir más entrada de aire. • La hornilla está constituida por una sola capa de ladrillo simple.
Ducto de gases	• El ducto de humos está constituido por una capa de ladrillo simple.
Chimenea	• La chimenea está hecha de ladrillo común y se encuentra construida dentro de la sala de procesos
Pailas	• Las pailas ubicadas en el ducto de humos son cinco (véase figura 4.4): paila clarificadora tipo aletada, pailas evaporadoras tipo semicilíndrica y semiesférica, paila punteadora tipo semiesférica y paila melotera del tipo plana. Todas la pailas son de acero inoxidable AISI 304 – 2B.



Figura 4.4: Pailas ubicadas en el ducto de humos del módulo panelero Marmas Bajo

Fuente: Propia

Características principales del área de molienda del módulo panelero de Marmas Bajo	
Molino	El molino es de procedencia colombiana, de marca METALAGRO LTDA, modelo EL PANELERO de tipo R-5, con capacidad nominal de molienda de 1200 kg de caña de azúcar/hora. La tolerancia del ingreso de la caña de azúcar entre mazas de 20 mm aproximadamente y de salida de salida de 3 mm aproximadamente.
Motor	- Motor Diesel, de marca Shandong Laidong Engine Co., Ltd, con una potencia nominal de 18 HP y una velocidad nominal de 2200 rpm. - Para su refrigeración se conecta a través de mangueras de jebe con un tanque de concreto lleno de agua, este líquido circula a través del tanque y el motor cumpliendo la función de enfriar al motor. - La transmisión de potencia motor-molino, se realiza con una faja de transmisión de 4" de ancho aproximadamente y la distancia entre ejes es de 3 m aproximadamente.

Características principales del área de procesamiento del módulo panelero de Marmas Bajo
- Para el filtrado y decantado de los jugos cuenta con dos prelimpiadores de acero inoxidable AISI 304 – 2B. - El interior de la sala de proceso está construida con cierta pendiente que facilita el movimiento de jugos, además de contar con dos canales abiertos para facilitar la limpieza y un punto de agua con llave para las operaciones de limpieza. - El regulador de pH que normalmente se usa es jugo con tamo del café (ceniza de la cáscara del café orgánico). - El módulo posee ventana para la comunicación directa entre el operador de punteo y el operario que alimenta la cámara de combustión con bagazo.

Características generales de las instalaciones del módulo panelero de Marmas Bajo
- El piso es de cemento pulido y está recubierto por lozas de cerámica. - Las ventanas están cubiertas por celosía que permite el escape de vapor de agua y protege las instalaciones de insectos. - El techo está compuesto por vigas de estructuras metálicas y calaminas con caída para las lluvias y con luminaria correspondiente. - Cuenta con los servicios básicos de aseo como baños y vestidores. - Tiene avisos con señalizaciones de seguridad industrial y recomendaciones para el buen desempeño del personal.

Utensilios y equipos usados en módulo panelero de Marmas Bajo
- La sala de batido, enfriamiento y tamizado consta de equipos y utensilios de acero inoxidable entre ellos se tiene: un depósito homogenizador, un depósito de enfriamiento, tres bateas o bunques y utensilios para el batido, enfriamiento y tamizado. - El almacén para la panela granulada cuenta con una balanza mecánica de plataforma de 500 kg de capacidad máxima y cuatro parihuelas para almacenar la panela envasada.

4.1.3 Módulo panelero de Santa Lucía

El módulo se encuentra ubicado en el centro poblado rural de Santa Lucía, distrito de Montero, provincia de Ayabaca, departamento de Piura – Perú (ver figura 4.5). La toma de datos se realizó del 23 al 25 de noviembre del 2011.



Figura 4.5: Módulo panelero Santa Lucía

Fuente: Propia

Características principales de la hornilla del módulo panelero de Santa Lucía	
Cámara de combustión	- La cámara de combustión es de tipo tradicional. - La parrilla está constituida por partes de parrilla y el restante por elementos individuales espaciados 3 cm aproximadamente uno del otro, que en su conjunto funcionan como la parrilla de dicho módulo y antes del arranque se le realiza una limpieza parcial. - La puerta de alimentación del bagazo en la hornilla permanece siempre obstruida por bagazo para no permitir más entrada de aire. - La hornilla está constituida por una sola capa de ladrillo simple.
Ducto de gases	El ducto de humos está constituido por una capa de ladrillo simple
Chimenea	La chimenea está hecha de ladrillo común y se encuentra construida fuera de la sala de procesos.
Pailas	Las pailas ubicadas en el ducto de humos son cinco (véase figura 4.6): paila clarificadora tipo plana, pailas evaporadoras tipo semicilíndrica y semiesférica, paila punteadora tipo semiesférica y paila melotera del tipo plana que ha sido anulada. Todas la pailas son de acero inoxidable AISI 304 – 2B.



Figura 4.6: Pailas ubicadas en el ducto de humos del módulo panelero Santa Lucía

Fuente: Propia

Características principales del área de molienda del módulo panelero de Santa Lucía	
Molino	El molino es de procedencia ecuatoriana, de marca MEFUNJAR, modelo N°4, con capacidad nominal de molienda de 1000 kg de caña de azúcar/hora. La tolerancia del ingreso de la caña de azúcar entre mazas es de 20 mm aproximadamente y de salida de salida de 3 mm aproximadamente.
Motor	- Motor Diesel, de marca Zhejiang Sifang Group Corporation, con una potencia nominal de 18.38 kW y una velocidad nominal de 2200 rpm. - Para su refrigeración se conecta a través de mangueras de jebe directamente con el suministro de agua de la zona. - La transmisión de potencia motor-molino, se realiza con una faja de transmisión de 4" de ancho aproximadamente y la distancia entre ejes es de 2.5 m aproximadamente

Características principales del área de procesamiento del módulo panelero de Santa Lucía
--

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Para el filtrado y decantado de los jugos cuenta con dos prelimpiadores de acero inoxidable AISI 304 – 2B. • El interior de la sala de proceso está construida con cierta pendiente que facilite el movimiento de jugos, además cuenta con dos canales abiertos para facilitar la limpieza pero no cuenta con ningún punto de agua con llave para las operaciones de limpieza. • El regulador de pH normalmente usado es jugo con tamo del café (ceniza de la cáscara del café orgánico). • El módulo sí posee ventana para la comunicación directa entre el operador de punteo y el operario que alimenta la cámara de combustión con bagazo. |
|---|

Características generales de las instalaciones del módulo panelero de Santa Lucía

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • El piso es de cemento pulido. • Las ventanas están cubiertas por celosía que permite el escape de vapor de agua y protege las instalaciones de insectos. • El techo está compuesto por vigas de estructuras metálicas y calaminas con caída para las lluvias y con la luminaria correspondiente. • Cuenta con los servicios básicos de aseo como baños y vestidores, pero no se encuentran en buenas condiciones de servicio. • No tiene avisos con indicaciones de seguridad industrial, ni recomendaciones para el buen desempeño del personal. |
|---|

Utensilios y equipos usados en módulo panelero de Santa Lucía

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • La sala de batido, enfriamiento y tamizado consta de equipos y utensilios de acero inoxidable entre ellos se tiene: un depósito homogenizador, un depósito de enfriamiento, dos bateas o bunques y utensilios para el batido, enfriamiento y tamizado. • El almacén para la panela granulada cuenta con una balanza mecánica de plataforma de 500 kg de capacidad máxima y dos parihuelas para almacenar la panela envasada. |
|---|

4.2 Datos adquiridos de los tres módulos paneleros visitados

Se ha tenido en cuenta la organización de los productores de caña azúcar del distrito de Montero, porque cada módulo panelero está a cargo de un número determinado de productores aledaños, estos productores se organizan para iniciar el encendido de la hornilla y coordinar los turnos consecutivos de cada productor, con la finalidad de no apagar la hornilla panelera, hasta que el último productor haya procesado y obtenido su panela.

Cada productor tiene sus propios lotes de caña de azúcar, por lo tanto la fecha elegida para el encendido de la hornilla depende de la fecha de maduración de la caña de azúcar de cada uno de los productores, es por eso que se elige una fecha idónea para que ningún productor salga perjudicado.

Cabe resaltar que no es necesario que todos los productores deban procesar su caña de azúcar en dicha fecha elegida, sino sólo los que tienen su lote de caña madura, además que cada productor es responsable de llevar a sus operarios y ayudantes para procesar su lote de caña de azúcar, ya que se procesa las 24 horas del día y los días necesarios, dependiendo del número de productores y de la capacidad de producción del módulo panelero.

4.2.1 Datos adquiridos del módulo panelero de Santa Rosa de Chonta

Datos adquiridos generales

Tabla 4.1: Datos generales adquiridos in situ y en laboratorio referidas al módulo panelero de Santa Rosa de Chonta. Fuente: Propia

Peso total del bagazo usado como combustible	6254 kg
Humedad del combustible (determinada en laboratorio ³³)	20.76 %
Peso total de troncos de caña de azúcar	32580 kg
Peso total del bagazo fresco	11077 kg
Humedad del bagazo fresco (determinada en laboratorio)	51 %
Peso total del bagacillo	190 kg
Peso total de la cachaza	200 kg
Peso total de panela producida	4050 kg
Humedad de la panela (determinada en laboratorio)	1.94 %
Peso total del jugo sucio de caña de azúcar	21503 kg
Peso total del jugo clarificado de caña de azúcar	21113 kg
Extracción del molino	66 %
Presión promedio ambiental	87.67 kPa
Humedad relativa promedio del ambiente	71 %
Temperatura promedio ambiental	21.6 °C
Temperatura promedio de los gases en la base de la chimenea	372 °C
Concentración de CO ₂	6.475 %
Concentración de CO	0.1677 %
Concentración de NO	0.0081 %

³³ El laboratorio que determinó las humedades fue el Laboratorio de Química de la Universidad de Piura

Concentración de O ₂	10.34 %
Hora de encendido de la hornilla	9:50 am del 15/09/2011
Hora del último punteo	6:30 am del 17/09/2011
pH del jugo sucio	5.5
Grados brix del jugo sucio	20 °Bx

En la toma de datos que se realizó del 14 al 17 de setiembre del 2011 al módulo de Santa Rosa de Chonta, participaron 6 productores de manera consecutiva, además se usó sólo un lote de combustible (bagazo de caña de azúcar) que se tenía almacenado ya que éste lote fue suficiente para alimentar la hornilla panelera.

Datos de punteos:

Tabla 4.2: Datos de punteos del primer productor del módulo panelero de Santa Rosa de Chonta

Fuente: Propia

N° punteo	Productor 1	Día	Hora
1	Raúl Luzón	15-sep	1:26 PM
2		15-sep	1:58 PM
3		15-sep	2:10 PM
4		15-sep	2:28 PM
5		15-sep	3:12 PM
6		15-sep	3:33 PM
7		15-sep	4:06 PM
8		15-sep	4:31 PM
9		15-sep	4:55 PM
10		15-sep	5:16 PM
11		15-sep	5:38 PM
12		15-sep	6:16 PM
13		15-sep	7:13 PM
14		15-sep	7:56 PM
15		15-sep	8:20 PM
16		15-sep	8:45 PM
17		15-sep	8:51 PM
18		15-sep	9:09 PM
19		15-sep	9:27 PM
20		15-sep	9:28 PM
21		15-sep	9:57 PM
22		15-sep	10:05 PM
23		15-sep	10:38 PM
24		15-sep	11:03 PM
25		15-sep	11:07 PM
26		15-sep	11:09 PM

Tabla 4.3: Datos de punteos del segundo productor del módulo panelero de Santa Rosa de Chonta
Fuente: Propia

N° punteo	Productor 2	Día	Hora
27	Francisco Castillo	16-sep	1:22 AM
28		16-sep	1:36 AM
29		16-sep	2:00 AM
30		16-sep	2:24 AM
31		16-sep	2:48 AM
32		16-sep	3:17 AM
33		16-sep	3:45 AM
34		16-sep	4:06 AM
35		16-sep	4:35 AM
36		16-sep	5:03 AM
37		16-sep	5:29 AM
38		16-sep	5:54 AM
39		16-sep	6:22 AM
40		16-sep	6:45 AM
41		16-sep	6:47 AM
42		16-sep	6:49 AM

Tabla 4.4: Datos de punteos del tercer productor del módulo panelero de Santa Rosa de Chonta
Fuente: Propia

N° punteo	Productor 3	Día	Hora
43	Jorge Suárez	16-sep	8:23 AM
44		16-sep	8:41 AM
45		16-sep	8:59 AM
46		16-sep	9:55 AM
47		16-sep	10:04 AM
48		16-sep	10:30 AM
49		16-sep	10:59 AM
50		16-sep	11:20 AM
51		16-sep	11:48 AM
52		16-sep	12:12 PM
53		16-sep	12:35 PM
54		16-sep	1:01 PM
55		16-sep	1:26 PM
56		16-sep	1:40 PM
57		16-sep	1:45 PM

Tabla 4.5: Datos de punteos del cuarto productor del módulo panelero de Santa Rosa de Chonta

Fuente: Propia

N° punteo	Productor 4	Día	Hora
58	Antero Amayo	16-sep	3:02 PM
59		16-sep	3:25 PM
60		16-sep	3:57 PM
61		16-sep	4:24 PM
62		16-sep	4:50 PM
63		16-sep	5:29 PM
64		16-sep	5:50 PM
65		16-sep	6:00 PM

Tabla 4.6: Datos de punteos del quinto productor del módulo panelero de Santa Rosa de Chonta

Fuente: Propia

N° punteo	Productor 5	Día	Hora
66	Ernestina Cortes	16-sep	7:29 PM
67		16-sep	7:40 PM
68		16-sep	8:07 PM
69		16-sep	8:29 PM
70		16-sep	8:51 PM
71		16-sep	9:19 PM
72		16-sep	9:53 PM
73		16-sep	10:13 PM
74		16-sep	10:26 PM
75		16-sep	10:57 PM
76		16-sep	11:49 PM
77		17-sep	12:02 AM
78		17-sep	12:04 AM

Tabla 4.7: Datos de punteos del sexto productor del módulo panelero de Santa Rosa de Chonta

Fuente: Propia

N° punteo	Productor 6	Día	Hora
79	César Muñoz	17-sep	2:06 AM
80		17-sep	2:35 AM
81		17-sep	3:00 AM
82		17-sep	3:32 AM
83		17-sep	3:50 AM
84		17-sep	4:14 AM
85		17-sep	4:36 AM
86		17-sep	5:09 AM
87		17-sep	5:26 AM
88		17-sep	6:06 AM
89		17-sep	6:24 AM
90		17-sep	6:30 AM

Datos de la molienda:

Tabla 4.8: Datos de las moliendas de todos los productores del módulo panelero de Santa Rosa de Chonta. Fuente: Propia

Productor	Inicio		Fin	
	Día	Hora	Día	Hora
Raúl Luzón	15-9-11	6:28 AM	15-9-11	9:51 AM
	15-9-11	1:30 PM	15-9-11	4:31 PM
Francisco Castillo	15-9-11	6:45 PM	15-9-11	11:41 PM
	16-9-11	12:16 AM	16-9-11	1:56 AM
Jorge Suárez	16-9-11	3:54 AM	16-9-11	8:54 AM
Antero Amayo	16-9-11	10:45 AM	16-9-11	1:06 PM
	16-9-11	1:12 PM	16-9-11	2:45 PM
Ernestina Cortes	16-9-11	2:29 PM	16-9-11	7:05 PM
César Muñoz	16-9-11	9:07 PM	16-9-11	11:57 PM
	17-9-11	12:01 AM	17-9-11	1:28 AM

4.2.2 Datos adquiridos del módulo panelero de Marmas Bajo

Datos adquiridos generales:

Tabla 4.9: Datos generales adquiridos in situ y en laboratorio referidas al módulo panelero de Marmas Bajo. Fuente: Propia

Peso del combustible (grupo 1) ³⁴	802 kg
Humedad del combustible determinada en laboratorio (grupo 1)	20.76 %
Peso del combustible (grupo 2) ³⁵	1746 kg
Humedad del combustible determinada en laboratorio (grupo 2)	45 %
Peso del combustible (grupo 3) ³⁶	145 kg
Humedad del combustible determinada en laboratorio (grupo 3)	20 %
Peso total de troncos de caña de azúcar	7200 kg
Peso total del bagazo fresco	3232.8 kg
Humedad del bagazo fresco	60.34 %
Peso total del bagacillo	38.4 kg
Peso total de la cachaza	47.8 kg
Peso total de panela producida	745 kg
Humedad de la panela	1.94 %
Peso total del jugo sucio de caña de azúcar	3967.2 kg
Peso total del jugo clarificado de caña de azúcar	3881 kg
Extracción del molino	55.1 %

³⁴ Grupo 1: Se refiere al bagazo usado como combustible, con humedad del grupo 1.

³⁵ Grupo 2: Se refiere al bagazo usado como combustible, con humedad del grupo 2, diferente a la humedad del grupo 1.

³⁶ Grupo 3: Se refiere a madera usada como combustible, con humedad del grupo 3.

Presión promedio ambiental	87.3 kPa
Humedad relativa promedio del ambiente	71.01 %
Temperatura promedio ambiental	20.5 %
Temperatura promedio de los gases en la base de la chimenea	372 °C
Concentración de CO ₂	6.475 %
Concentración de CO	0.1677 %
Concentración de NO	0.0081 %
Concentración de O ₂	10.34 %
Hora de encendido de la hornilla	6:15 am del 10/11/2011
Hora del último punteo	11:38 pm del 10/11/2011
pH del jugo sucio	5.5
Grados brix del jugo sucio	19.67 °Bx

En la toma de datos que se realizó del 08 al 11 de noviembre del 2011 al módulo de Marmas Bajo, únicamente participó un productor, además se observó que en dicho módulo panelero se usó tres lotes (grupos) de combustible ya que el bagazo almacenado no fue suficiente para alimentar la hornilla panelera.

El primer lote de combustible que se usó fue de bagazo con un porcentaje de humedad del 20.76%, el segundo lote también fue bagazo, pero éste contaba con un mayor porcentaje de humedad (45%) debido a que tenía menor tiempo de secado que el primer lote y el tercer lote fue de madera con un porcentaje de humedad diferente a los lotes anteriores (20%). Cabe señalar que el PCI del lote de madera se halla en tabla, según muestra la referencia bibliográfica [4]; de manera diferente al PCI del bagazo que se determina por la ecuación (2.9).

Datos de punteos:

Tabla 4.10: Datos de punteos del único productor del módulo panelero de Marmas Bajo
Fuente: Propia

Nº punteo	Productor	Día	Hora
1	Roberto Chira Jabo	10-nov	9:32 AM
2		10-nov	9:51 AM
3		10-nov	11:19 AM
4		10-nov	11:37 AM
5		10-nov	12:58 PM
6		10-nov	2:00 PM
7		10-nov	3:40 PM
8		10-nov	3:55 PM
9		10-nov	5:22 PM
10		10-nov	5:52 PM
11		10-nov	7:57 PM
12		10-nov	8:26 PM
13		10-nov	9:55 PM
14		10-nov	10:35 PM
15		10-nov	11:38 PM

Datos de la molienda:

Tabla 4.11: Datos de las molindas del único productor del módulo panelero de Marmas Bajo
Fuente: Propia

Productor	Inicio		Fin	
	Día	Hora	Día	Hora
Roberto Chira Jabo	10-11-11	3:30 AM	10-11-11	5:55 AM
	10-11-11	10:14 AM	10-11-11	12:34 PM
	10-11-11	5:05 PM	10-11-11	5:42 PM

4.2.3 Datos adquiridos del módulo panelero de Santa Lucía**Datos adquiridos generales:**

Tabla 4.12: Datos generales adquiridos in situ y en laboratorio referidas al módulo panelero de Santa Lucía. Fuente: Propia

Peso del combustible (grupo 1) ³⁷	1424 kg
Humedad del combustible determinada en laboratorio (grupo 1)	20.76 %
Peso del combustible (grupo 2) ³⁸	188 kg
Humedad del combustible determinada en laboratorio (grupo 2)	45 %
Peso del combustible (grupo 3) ³⁹	275 kg
Humedad del combustible determinada en laboratorio (grupo 3)	20 %
Peso total de troncos de caña de azúcar	7230.1 kg
Peso total del bagazo fresco	3203 kg
Humedad del bagazo fresco	60.34 %
Peso total del bagacillo	59.9 kg
Peso total de la cachaza	50.4 kg
Peso total de panela producida	779 kg
Humedad de la panela	1.94 %
Peso total del jugo sucio de caña de azúcar	4027 kg
Peso total del jugo clarificado de caña de azúcar	3916.7 kg
Extracción del molino	55.7 %
Presión promedio ambiental	86.4 kPa
Humedad relativa promedio del ambiente	52.5 %
Temperatura promedio ambiental	22.64 °C
Temperatura promedio de los gases en la base de la chimenea	426 °C
Concentración de CO ₂	6.475 %
Concentración de CO	0.1677 %
Concentración de NO	0.0081 %
Concentración de O ₂	10.34 %

³⁷ Grupo 1: Se refiere al bagazo usado como combustible, con humedad del grupo 1.

³⁸ Grupo 2: Se refiere al bagazo usado como combustible, con humedad del grupo 2, diferente a la humedad del grupo 1.

³⁹ Grupo 3: Se refiere a madera usada como combustible, con humedad del grupo 3.

Hora de encendido de la hornilla	7:05 am del 24/11/2011
Hora del último punteo	6:00 am del 25/11/2011
pH del jugo sucio	5.3
Grados brix del jugo sucio	20 °Bx

En la toma de datos que se realizó del 23 al 25 de noviembre del 2011 al módulo de Santa Lucía, participaron 3 productores de manera consecutiva, además se observó que en dicho módulo panelero se usó tres lotes (grupos) de combustible ya que el bagazo almacenado no fue suficiente para alimentar la hornilla panelera, de manera similar que ocurrió en el módulo de Marmas Bajo.

Datos de punteos:

Tabla 4.13: Datos de punteos del primer productor del módulo panelero de Santa Lucía

Fuente: Propia

N° punteo	Productor 1	Día	Hora
1	Ricardo Dominguez	24-nov	10:24 AM
2		24-nov	11:25 AM
3		24-nov	12:34 PM
4		24-nov	2:42 PM
5		24-nov	3:20 PM

Tabla 4.14: Datos de punteos del segundo productor del módulo panelero de Santa Lucía

Fuente: Propia

N° punteo	Productor 2	Día	Hora
6	Luciano Dominguez	24-nov	5:32 PM
7		24-nov	7:55 PM
8		24-nov	9:57 PM
9		24-nov	11:31 PM
10		25-nov	1:00 AM

Tabla 4.15: Datos de punteos del tercer productor del módulo panelero de Santa Lucía

Fuente: Propia

N° punteo	Productor 3	Día	Hora
11	Paulino Herrera	25-nov	2:52 AM
12		25-nov	4:29 AM
13		25-nov	6:00 AM

Datos de la molienda:

Tabla 4.16: Datos de las moliendas de todos los productores del módulo panelero de Santa Lucía
Fuente: Propia

Productor	Inicio		Fin	
	Día	Hora	Día	Hora
Ricardo Dominguez	24-11-11	3:09 AM	24-11-11	3:14 AM
	24-11-11	3:20 AM	24-11-11	3:56 AM
	24-11-11	3:59 AM	24-11-11	6:22 AM
Luciano Dominguez	24-11-11	1:23 PM	24-11-11	1:29 PM
	24-11-11	1:35 PM	24-11-11	1:47 PM
	24-11-11	1:54 PM	24-11-11	2:40 PM
	24-11-11	2:53 PM	24-11-11	4:54 PM
Paulino Herrera	24-11-11	7:10 PM	24-11-11	8:30 PM

4.3 Resultados de los tres módulos paneleros visitados

Los resultados obtenidos han sido calculados en un Anexo adjunto (archivo Excel). A continuación se muestran los resultados de los indicadores para cada módulo panelero visitado.

4.3.1 Indicadores del módulo panelero de Santa Rosa de Chonta

Tabla 4.17: Resultado de todos los indicadores del módulo panelero de Santa Rosa de Chonta

Fuente propia: Cálculos realizados en un anexo adjunto (archivo Excel) con los datos adquiridos en el módulo panelero de Santa Rosa de Chonta

Nombre	Cálculo	Concepto	Resultado	
Rendimiento del Cultivo	$I_1 = \frac{m_p}{m_{ca}}$	Razón de panela producida y caña procesada	0.124	Adimensional
Rendimiento de bagazo	$I_2 = \frac{m_{bg} - m_{bu}}{m_{bg}} * 100\%$	Razón de bagazo sobrante (bagazo generado menos bagazo usado o quemado) y bagazo generado; todas en base seca de bagazo.	8.70	[%]
Pérdidas en la chimenea	$I_3 = \frac{Q_{ch}}{Q_d} * 100\%$	Razón entre la energía térmica contenida en los gases de escape y la energía disponible por el combustible.	39.88	[%]
Pérdidas en las paredes	$I_4 = \frac{Q_{pp}}{Q_d} * 100\%$	Razón entre la energía perdida en las paredes y la energía disponible por el combustible	7.09	[%]
Rendimiento del módulo panelero	$I_5 = \frac{m_{bu}}{m_p}$	Razón entre el bagazo seco consumido y la panela producida	1.22	Adimensional; Obs: Mientras más bajo es mejor.
Eficiencia energética de la hornilla	$\zeta_e = \frac{Q_v}{Q_d} * 100\%$	Razón entre la energía aprovechada y la energía disponible por el combustible	53.03	[%]
Capacidad real de producción	$\zeta_{panela-tiempo} = \frac{m_p}{tiempo}$	La capacidad de la hornilla desde el momento del encendido	90.67	[kg de panela/hora]

4.3.2 Balance de energía del módulo panelero de Santa Rosa de Chonta

Se ordena la ecuación (2.70), de la siguiente manera [7]:

$$Q_d = Q_v + Q_{ch} + Q_{pp} \quad (4.1)$$

Donde:

Q_d : Energía disponible del combustible [kJ]

Q_v : Energía aprovechada en el proceso [kJ]

Q_{ch} : Energía perdida en la chimenea [kJ]

Q_{pp} : Energía perdida en las paredes [kJ]

Del cálculo realizado en un anexo adjunto (archivo Excel), para el módulo panelero de Santa Rosa de Chonta se obtiene:

$$Q_d = 84785152.79 \text{ kJ}$$

$$Q_v = 44962376.72 \text{ kJ}$$

$$Q_{ch} = 33810661.71 \text{ kJ}$$

$$Q_{pp} = 6012114.36 \text{ kJ}$$

Considerando la energía disponible del combustible " Q_d " como el 100%, se tiene:

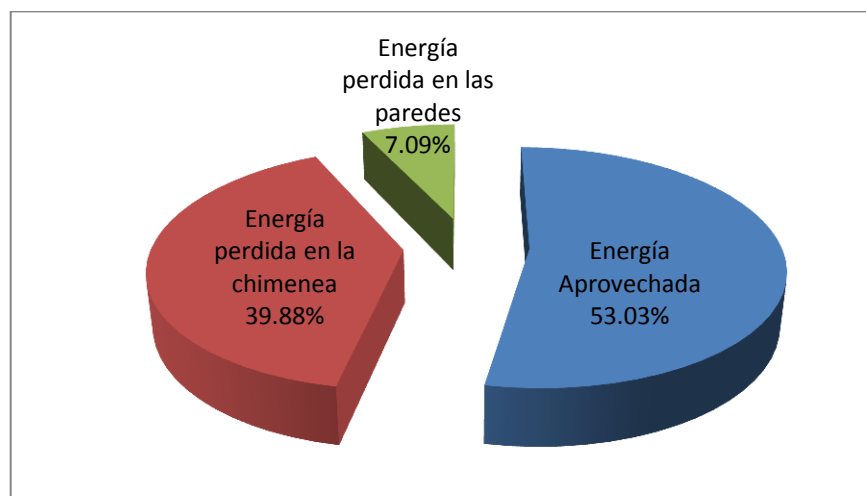


Figura 4.7: Balance energético del módulo panelero de Santa Rosa de Chonta

Fuente propia: Gráfico generado en un anexo adjunto (archivo Excel) con los datos adquiridos en el módulo panelero de Santa Rosa de Chonta

4.3.3 Tiempo entre punteos del módulo panelero de Santa Rosa de Chonta

De los datos de punteos de las tablas: (4.2), (4.3), (4.4), (4.5), (4.6) y (4.7) se tiene la siguiente figura 4.8, obtenida en un anexo adjunto (archivo Excel):

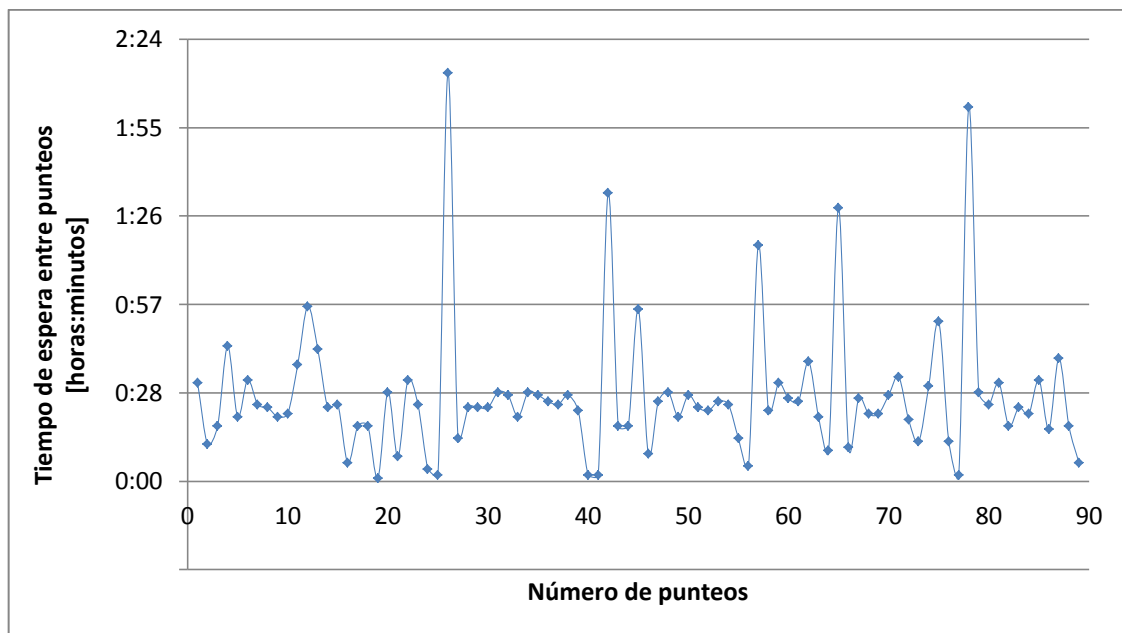


Figura 4.8: Tiempo de espera entre punteos en el módulo panelero de Santa Rosa de Chonta

Fuente propia: Gráfico generado en un anexo adjunto (archivo Excel) con los datos adquiridos en el módulo panelero de Santa Rosa de Chonta

En la figura 4.8 se muestra los intervalos de tiempo (minutos) entre cada punteo, desde el primer punteo hasta el último punteo.

4.3.4 Indicadores del módulo panelero de Marmas Bajo

Tabla 4.18: Resultado de todos los indicadores del módulo panelero de Marmas Bajo

Fuente propia: Cálculos realizados en un anexo adjunto (archivo Excel) con los datos adquiridos en el módulo panelero de Marmas Bajo

Nombre	Cálculo	Concepto	Resultado	
Rendimiento del Cultivo	$I_1 = \frac{m_p}{m_{ca}}$	Razón de panela producida y caña procesada	0.104	Adimensional
Rendimiento de bagazo	$I_2 = \frac{m_{bg} - m_{bu}}{m_{bg}} * 100\%$	Razón de bagazo sobrante (bagazo generado menos bagazo usado o quemado) y bagazo generado; todas en base seca de bagazo.	-33.51	[%]
Pérdidas en la chimenea	$I_3 = \frac{Q_{ch}}{Q_d} * 100\%$	Razón entre la energía térmica contenida en los gases de escape y la energía disponible por el combustible.	41.85	[%]
Pérdidas en las paredes	$I_4 = \frac{Q_{pp}}{Q_d} * 100\%$	Razón entre la energía perdida en las paredes y la energía disponible por el combustible	29.41	[%]
Rendimiento del módulo panelero	$I_5 = \frac{m_{bu}}{m_p}$	Razón entre el bagazo seco consumido y la panela producida	2.30	Adimensional; Obs: Mientras más bajo es mejor.
Eficiencia energética de la hornilla	$\zeta_e = \frac{Q_v}{Q_d} * 100\%$	Razón entre la energía aprovechada y la energía disponible por el combustible	28.74	[%]
Capacidad real de producción	$\zeta_{panela-tiempo} = \frac{m_p}{tiempo}$	La capacidad de la hornilla desde el momento del encendido	42.86	[kg de panela/hora]

4.3.5 Balance de energía del módulo panelero de Marmas Bajo

Del cálculo realizado en un anexo adjunto (archivo Excel), para el módulo panelero de Marmas Bajo se obtiene:

$$Q_d = 28817243.3 \text{ kJ}$$

$$Q_v = 8280808.725 \text{ kJ}$$

$$Q_{ch} = 12060057.88 \text{ kJ}$$

$$Q_{pp} = 8476376.694 \text{ kJ}$$

Donde:

Q_d : Energía disponible del combustible [kJ]

Q_v : Energía aprovechada en el proceso [kJ]

Q_{ch} : Energía perdida en la chimenea [kJ]

Q_{pp} : Energía perdida en las paredes [kJ]

Considerando la energía disponible del combustible “ Q_d ” como el 100%, se tiene:

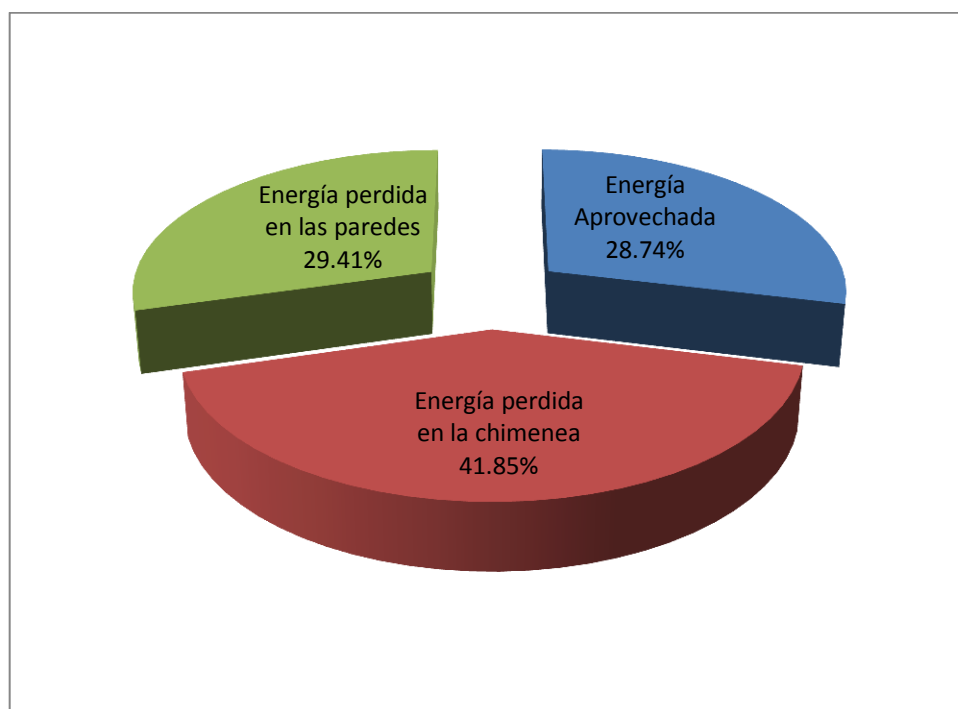


Figura 4.9: Balance energético del módulo panelero de Marmas Bajo

Fuente propia: Gráfico generado en un anexo adjunto (archivo Excel) con los datos adquiridos en el módulo panelero de Marmas Bajo

4.3.6 Tiempo entre punteos del módulo panelero de Marmas bajo

De los datos de punteos de la tabla (4.10) se tiene la siguiente figura 4.8, obtenida en un anexo adjunto (archivo Excel):

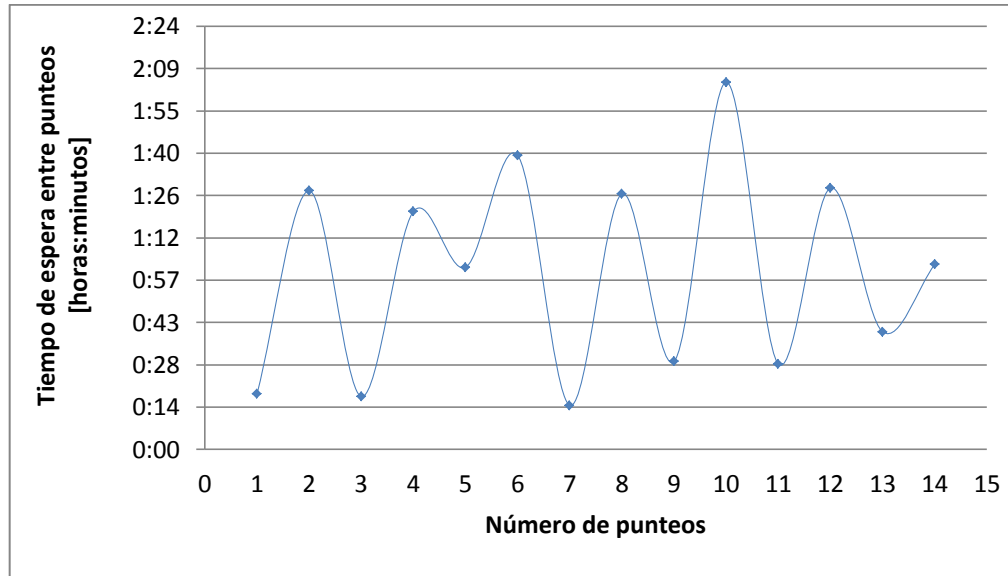


Figura 4.10: Tiempo de espera entre punteos en el módulo panelero de Marmas Bajo

Fuente propia: Gráfico generado en un anexo adjunto (archivo Excel) con los datos adquiridos en el módulo panelero de Marmas Bajo

En la figura 4.10 se muestra los intervalos de tiempo (minutos) entre cada punteo, desde el primer punteo hasta el último punteo.

4.3.7 Indicadores del módulo panelero de Santa Lucía

Tabla 4.19: Resultado de todos los indicadores del módulo panelero de Santa Lucía

Fuente propia: Cálculos realizados en un anexo adjunto (archivo Excel) con los datos adquiridos en el módulo panelero de Santa Lucía

Nombre	Cálculo	Concepto	Resultado	
Rendimiento del Cultivo	$I_1 = \frac{m_p}{m_{ca}}$	Razón de panela producida y caña procesada	0.108	Adimensional
Rendimiento de bagazo	$I_2 = \frac{m_{bg} - m_{bu}}{m_{bg}} * 100\%$	Razón de bagazo sobrante (bagazo generado menos bagazo usado o quemado) y bagazo generado; todas en base seca de bagazo.	-14.29	[%]
Pérdidas en la chimenea	$I_3 = \frac{Q_{ch}}{Q_d} * 100\%$	Razón entre la energía térmica contenida en los gases de escape y la energía disponible por el combustible.	43.52	[%]
Pérdidas en las paredes	$I_4 = \frac{Q_{pp}}{Q_d} * 100\%$	Razón entre la energía perdida en las paredes y la energía disponible por el combustible	25.12	[%]
Rendimiento del módulo panelero	$I_5 = \frac{m_{bu}}{m_p}$	Razón entre el bagazo seco consumido y la panela producida	1.86	Adimensional; Obs: Mientras más bajo es mejor.
Eficiencia energética de la hornilla	$\zeta_e = \frac{Q_v}{Q_d} * 100\%$	Razón entre la energía aprovechada y la energía disponible por el combustible	31.36	[%]
Capacidad real de producción	$\zeta_{panela-tiempo} = \frac{m_p}{tiempo}$	La capacidad de la hornilla desde el momento del encendido	34.0	[kg de panela/hora]

4.3.8 Balance de energía del módulo panelero de Santa Lucía

Del cálculo realizado en un anexo adjunto (archivo Excel), para el módulo panelero de Santa Lucía se obtiene:

$$Q_d = 26340971.95 \text{ kJ}$$

$$Q_v = 8260152.201 \text{ kJ}$$

$$Q_{ch} = 11464426.39 \text{ kJ}$$

$$Q_{pp} = 6616393.361 \text{ kJ}$$

Donde:

Q_d : Energía disponible del combustible [kJ]

Q_v : Energía aprovechada en el proceso [kJ]

Q_{ch} : Energía perdida en la chimenea [kJ]

Q_{pp} : Energía perdida en las paredes [kJ]

Considerando la energía disponible del combustible “ Q_d ” como el 100%, se tiene:

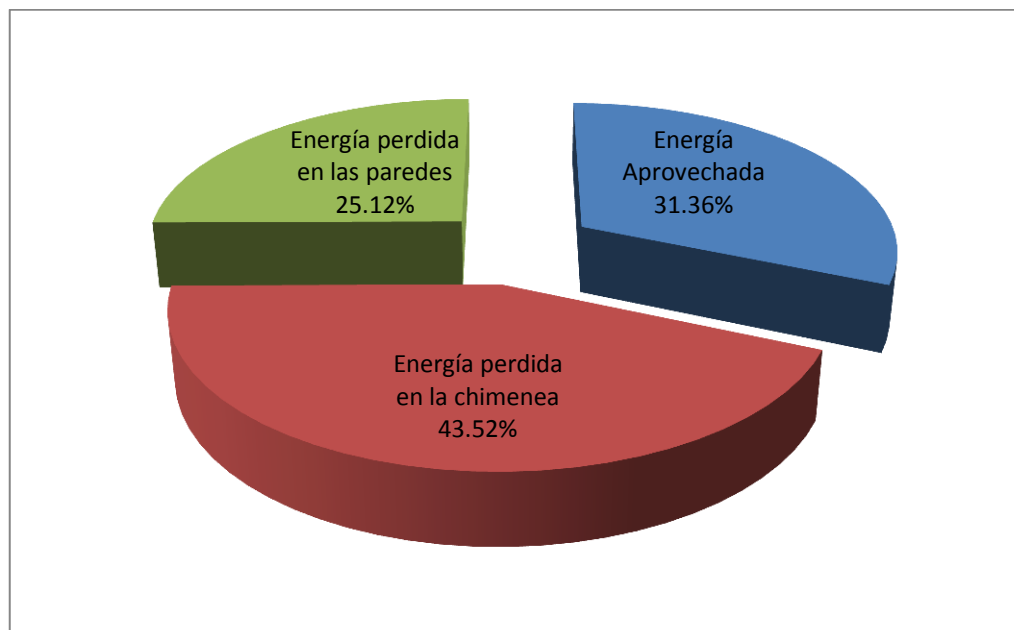


Figura 4.11: Balance energético del módulo panelero de Santa Lucía

Fuente propia: Gráfico generado en un anexo adjunto (archivo Excel) con los datos adquiridos en el módulo panelero de Santa Lucía

4.3.9 Tiempo entre punteos del módulo panelero de Santa Lucía

De los datos de punteos de las tablas: (4.13), (4.14) y (4.15) se tiene la siguiente figura 4.8, obtenida en un anexo adjunto (archivo Excel):

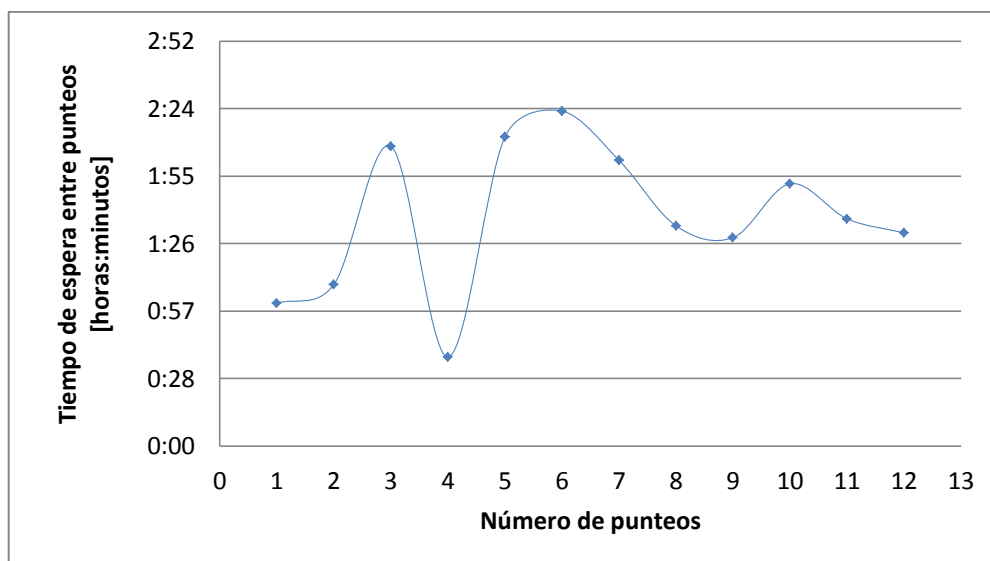


Figura 4.12: Tiempo de espera entre punteos en el módulo panelero de Santa Lucía

Fuente propia: Gráfico generado en un anexo adjunto (archivo Excel) con los datos adquiridos en el módulo panelero de Santa Lucía

En la figura 4.12 se muestra los intervalos de tiempo (minutos) entre cada punteo, desde el primer punteo hasta el último punteo.

4.4 Comparación de los indicadores de los módulos paneleros evaluados

Tabla 4.20: Cuadro descriptivo con la denominación de cada módulo panelero

Fuente Propia: Tabla construida con las características principales de cada módulo panelero visitado.

Designación	Ubicación	Tipo de planta panelera	Características
M1	Santa Rosa de Chonta Montero Ayabaca - Piura - Perú	Tipo Ward CIMPA	Hornilla de flujo mixto, diseñada por el Dr. Ing. Rafael Saavedra García Zabaleta, en el Laboratorio de la Universidad de Piura
M2	Marmas Bajo – Montero Ayabaca - Piura - Perú	Tradicional	Hornilla de flujo mixto, construida por la asociación CEPICAFE y colaboración de los pobladores.
M3	Santa Lucía – Montero Ayabaca - Piura - Perú	Tradicional	Hornilla de flujo mixto, construida por la asociación CEPICAFE y colaboración de los pobladores.

4.4.1 Comparación del rendimiento del cultivo (I_1)

Tabla 4.21: Indicador del rendimiento de cultivo de los tres módulos paneleros visitados

Fuente Propia: Tabla comparativa construida con las tablas 4.17; 4.18 y 4.19

Indicador	M1	M2	M3
I_1	0.124	0.103	0.108

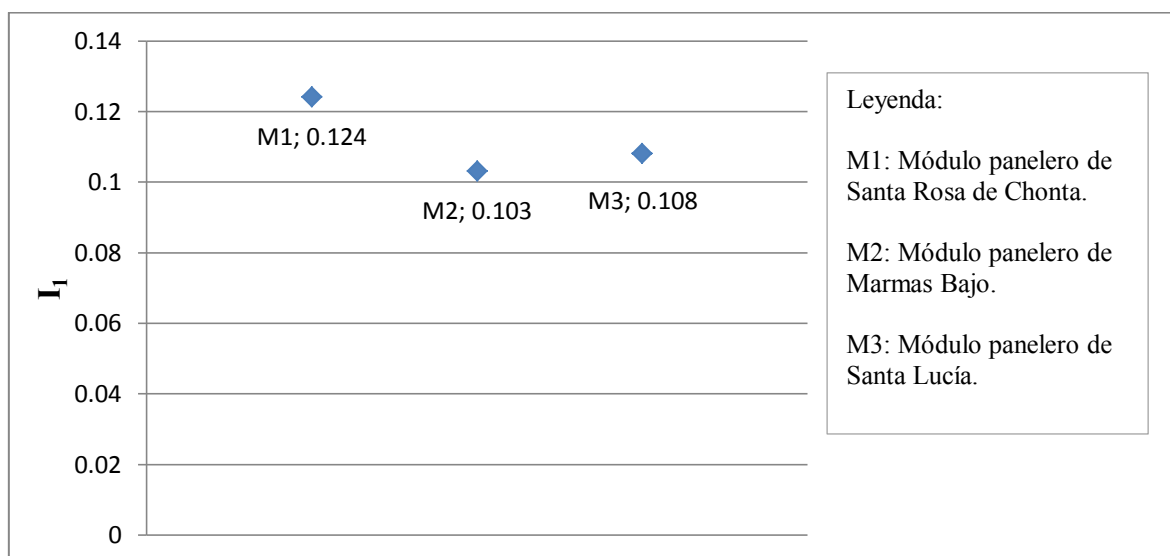


Figura 4.13: Gráfico comparativo del rendimiento del cultivo de los tres módulos paneleros visitados

Fuente Propia: Gráfico comparativo construido con la tabla 4.21

4.4.2 Comparación del rendimiento de bagazo (I_2)

Tabla 4.22: Indicador del rendimiento del bagazo de los tres módulos paneleros visitados

Fuente Propia: Tabla comparativa construida con las tablas 4.17; 4.18 y 4.19

Indicador	M1	M2	M3
I_2	8.70	-33.51	-14.29

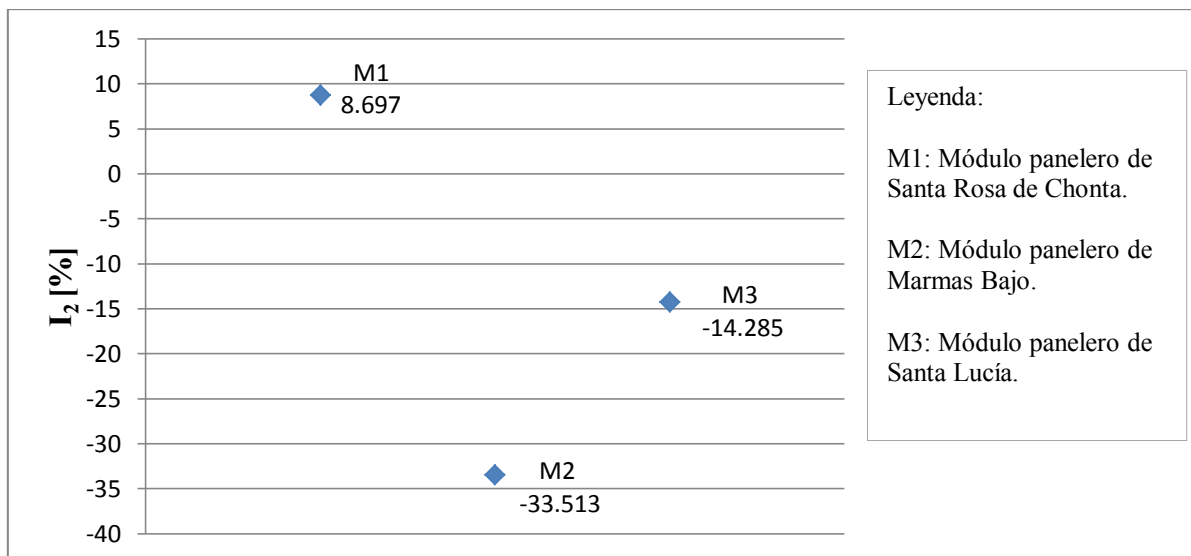


Figura 4.14: Gráfico comparativo del rendimiento del bagazo de los tres módulos paneleros visitados

Fuente Propia: Gráfico comparativo construido con la tabla 4.22

4.4.3 Comparación de las pérdidas en la chimenea (I_3)

Tabla 4.23: Indicador de la pérdidas de gases de combustión de los tres módulos paneleros visitados

Fuente Propia: Tabla comparativa construida con las tablas 4.17; 4.18 y 4.19

Indicador	M1	M2	M3
I_3	39.88	41.85	43.52

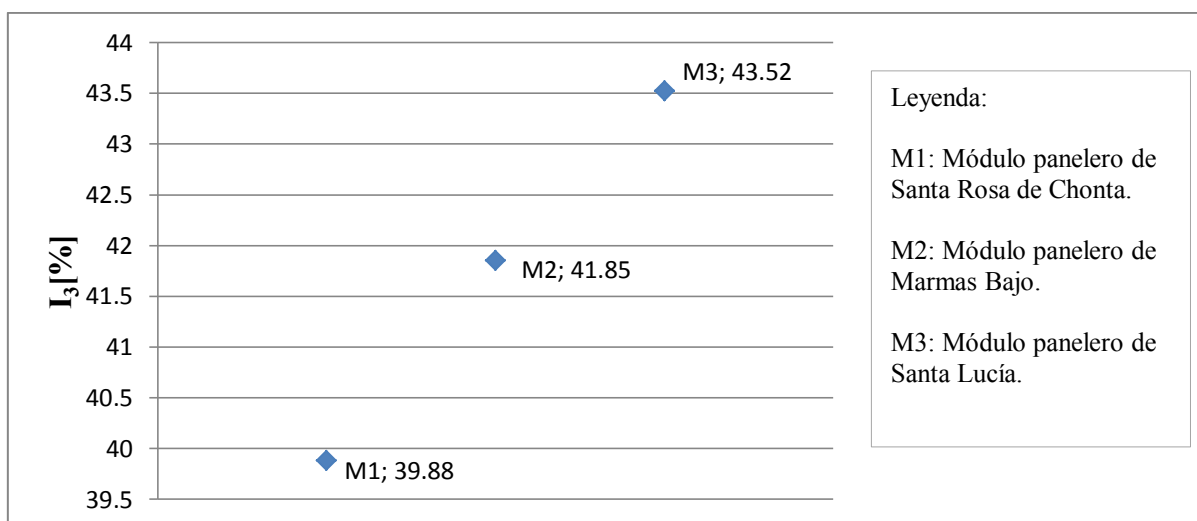


Figura 4.15: Gráfico comparativo de la pérdidas en la chimenea de los tres módulos paneleros visitados

Fuente Propia: Gráfico comparativo construido con la tabla 4.23

4.4.4 Comparación de las pérdidas en las paredes (I_4)

Tabla 4.24: Indicador de la pérdidas en las paredes de los tres módulos paneleros visitados

Fuente Propia: Tabla comparativa construida con las tablas 4.17; 4.18 y 4.19

Indicador	M1	M2	M3
I_4	7.09	29.41	25.12

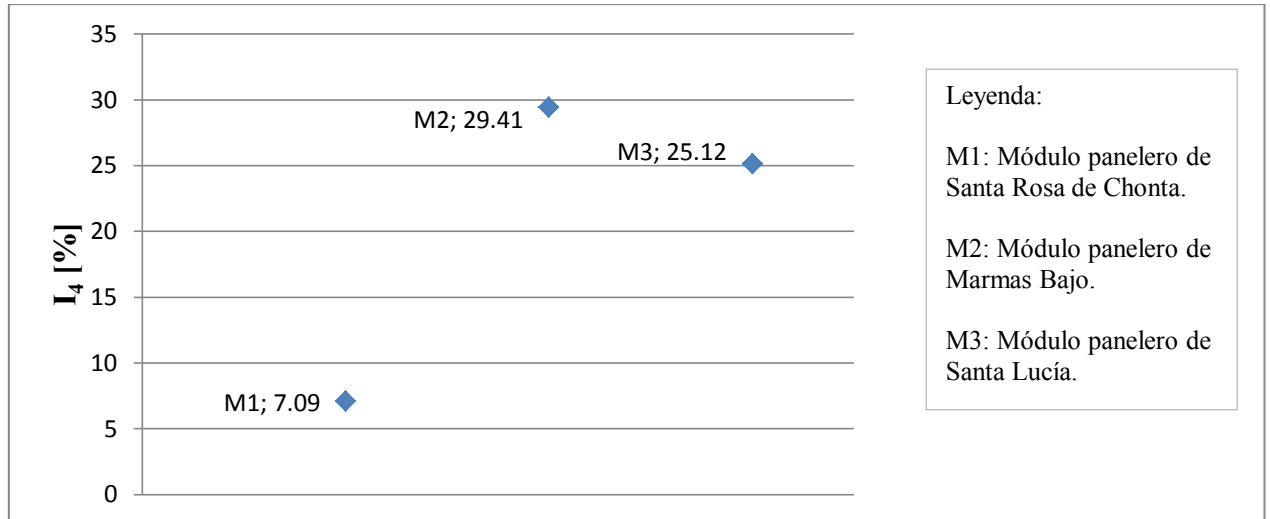


Figura 4.16: Gráfico comparativo de la pérdidas en las paredes de los tres módulos paneleros visitados

Fuente Propia: Gráfico comparativo construido con la tabla 4.24

4.4.5 Comparación del rendimiento del módulo panelero (I_5)

Tabla 4.25: Indicador del rendimiento de los tres módulos paneleros visitados

Fuente Propia: Tabla comparativa construida con las tablas 4.17; 4.18 y 4.19

Indicador	M1	M2	M3
I_5	1.22	2.30	1.86

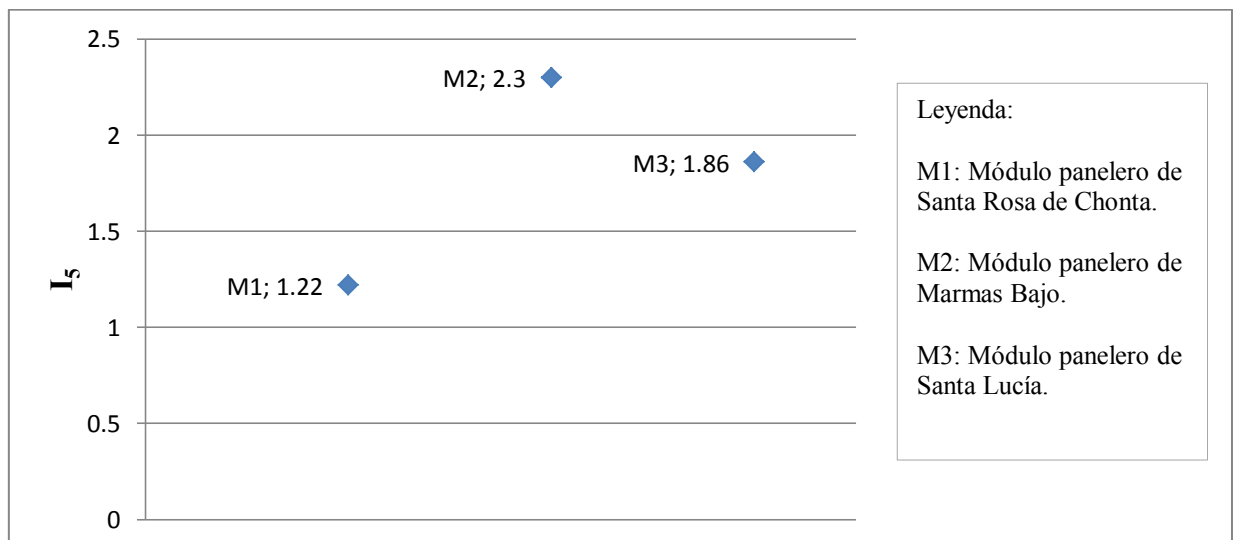


Figura 4.17: Gráfico comparativo del rendimiento de los tres módulos paneleros visitados

Fuente Propia: Gráfico comparativo construido con la tabla 4.25

4.4.6 Comparación de la eficiencia energética de la hornilla (ζ_e)

Tabla 4.26: Indicador de eficiencia energética de los tres módulos paneleros visitados

Fuente Propia: Tabla comparativa construida con las tablas 4.17; 4.18 y 4.19

Indicador	M1	M2	M3
ζ_e	53.03	28.74	31.36

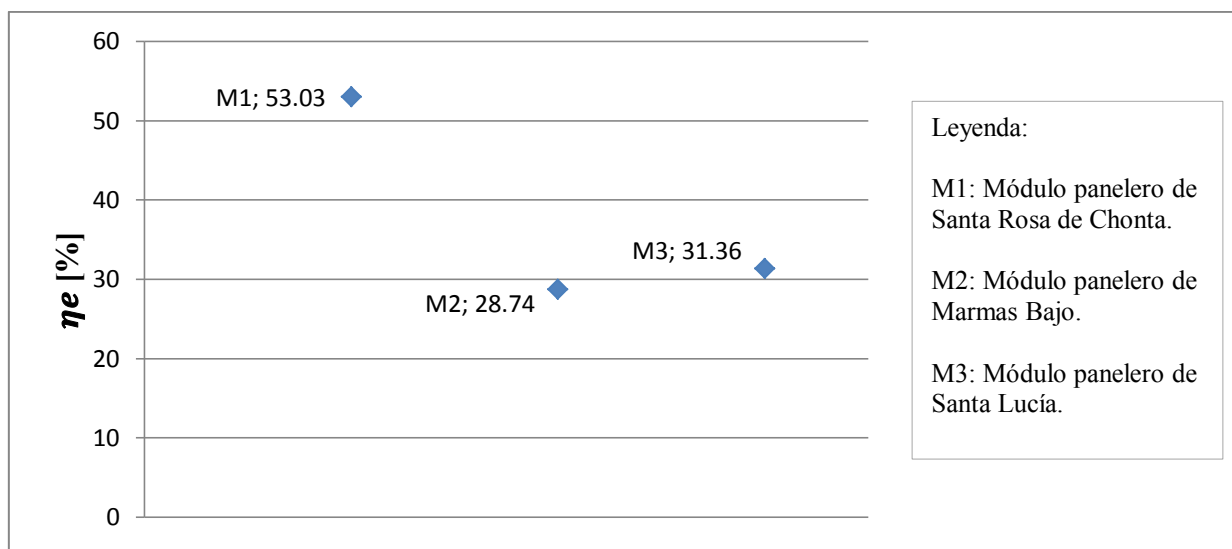


Figura 4.18: Gráfico comparativo de eficiencia energética de la hornilla de los tres módulos paneleros visitados

Fuente Propia: Gráfico comparativo construido con la tabla 4.26

4.4.7 Comparación de la capacidad real de producción ($\zeta_{panela-tiempo}$)

Tabla 4.27: Indicador de la capacidad real de producción de los tres módulos paneleros visitados

Fuente Propia: Tabla comparativa construida con las tablas 4.17; 4.18 y 4.19

Indicador	M1	M2	M3
$\zeta_{panela-tiempo}$	90.67	42.86	34.0

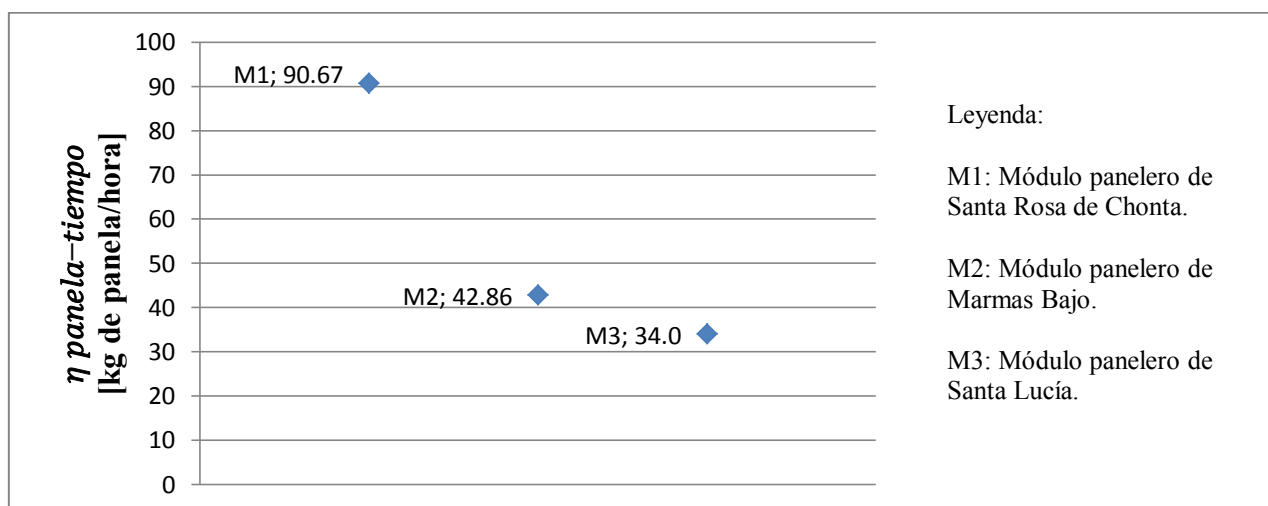


Figura 4.19: Gráfico comparativo de la capacidad real de producción de los tres módulos paneleros visitados

Fuente Propia: Gráfico comparativo construido con la tabla 4.27

4.5 Discusión de resultados

4.5.1 Discusión de resultados del rendimiento del cultivo (I_1)

Este indicador tradicionalmente tiene un valor de 0.10 según la referencia bibliográfica [7] y como se aprecia en la figura 4.13 todos los módulos paneleros del distrito de Montero – Piura – Perú han superado este valor, este aumento de productividad es debido al uso de abonos o fertilizantes naturales en la sierra de Piura, revelando el buen grado de conocimiento por parte de los productores de dicha zona. Y como se observa en el mismo gráfico (figura 4.13) la productividad más alta la tiene el módulo M1 (módulo de Santa Rosa de Chonta), donde los pobladores se preocupan por la calidad de la panela obtenida innovando y siguiendo recomendaciones de cultivo.

4.5.2 Discusión de resultados del rendimiento del bagazo (I_2)

Un tema de interés es el autoabastecimiento energético, utilizando los mismos recursos que ofrece la caña de azúcar, en este caso el bagazo. La necesidad de utilizar fuentes adicionales de energía como la leña, es indicador de ineficiencia energética y lo único que logra es debilita el ecosistema con la deforestación.

Este parámetro depende mucho de la tecnología empleada en la construcción de hornillas paneleras y como se evidencia en la figura 4.14, el módulo panelero que es autosuficiente, es el módulo M1 (módulo de Santa Rosa de Chonta), que cuenta con una cámara de combustión tipo Ward-Cimpa con un exceso de bagazo del 8.697% a diferencia de las otras dos, que cuentan cada una con una cámara de combustión del tipo tradicional, con una deficiencia del 33.513% y 14.285% en el bagazo faltante para considerar que la hornilla sea autosuficiente.

4.5.3 Discusión de resultados de las pérdidas en la chimenea (I_3)

El valor de este indicador depende de factores como el exceso de aire, la composición de los gases en la chimenea, la temperatura de los gases en la chimenea y de la tecnología empleada para la construcción de la cámara de combustión.

Como se presenta en la figura 4.15 los valores fluctúan alrededor de 40%; es decir de toda la energía disponible que suministra el bagazo, el 40% se pierde en los gases de combustión. Los módulos M2 y M3 reflejan problemas en el diseño de la cámara de combustión y en la zona de transferencia de calor de las pailas, y el módulo M1 es el que tiene un mayor aprovechamiento de la energía que brinda el bagazo, demostrando así las ventajas de la cámara tipo Ward – Cimpa.

4.5.4 Discusión de resultados de las pérdidas en las paredes (I_4)

Este indicador nos brinda información de la energía que se pierde a través de las paredes de la cámara de combustión y del ducto de humos; por lo tanto, refleja el tipo de aislamiento térmico que posee cada módulo panelero, dependiendo de los materiales usados.

En la figura 4.16 se observa, que en los módulos M2 y M3 pierden, a través de las paredes un 29.41% y 25.12% respectivamente. Esto refleja un deficiente aislamiento térmico, debido a que en la construcción tanto de la cámara de combustión como en el ducto de humos, se ha empleado una sola capa de material simple. A diferencia del módulo M1, en que el valor está en 7.09% reflejando un buen aislamiento térmico, debido a la doble capa con que está construida, tanto la cámara de combustión como el ducto de humos. La primera capa y más interna construida de material refractario, la segunda capa construida de material simple y entre ambas paredes se encuentra un espacio lleno de aire, que permite un mejor aislamiento térmico.

4.5.5 Discusión de resultados del rendimiento del módulo panelero (I_5)

Dado que este indicador es la relación del peso del bagazo seco consumido entre la panela producida, es de esperar que mientras más bajo sea el valor, es mucho mejor para el proceso. Además, este indicador depende de la extracción del jugo de caña de azúcar, la humedad que posee el bagazo combustible y la manera de cómo se aprovecha la energía brindada en el proceso de la obtención de la panela granulada.

En la figura 4.17 se observa que el valor más alto lo tiene el módulo M2 con un rendimiento del módulo panelero de 2.3. Esto se refleja por el bajo aprovechamiento de la energía en el proceso del módulo panelero de tipo tradicional, también por una baja extracción del molino (55.1%), debido a la gran tolerancia que existe entre las mazas del molino, a diferencia del molino M1, que con valor de 1.22 de rendimiento del módulo panelero, tiene un mejor comportamiento que combina una extracción del molino de 66% y un diseño en la cámara de combustión de pre-secado del bagazo, lo que permite usar bagazo con valores de humedad de hasta 45%.

4.5.6 Discusión de resultados de la eficiencia energética de la hornilla (ζ_e)

El valor de este indicador depende de la forma de cómo se aprovecha la energía disponible por el combustible a lo largo del proceso de la obtención de la panela granulada, además de la conveniente ubicación de las pailas y el tipo de cada paila que se usa para determinada etapa del proceso para que exista una correcta transferencia de calor.

Como se ilustra en la figura 4.18, los valores de eficiencia energética de la hornilla más bajos son de 28.74% y 31.36% correspondientes a los módulos paneleros M2 y M3 respectivamente, que reflejan un deficiente aprovechamiento de la energía en el proceso, debido a la baja transferencia de calor que ocurre en las pailas, a diferencia del módulo panelero M1 con un valor de eficiencia energética de la hornilla de 53.03% superando ampliamente los valores anteriores, esto refleja un aprovechamiento correcto de la energía

disponible por el combustible, además del buen diseño, del tipo de pailas empleadas, la ubicación de las pailas, el correcto movimiento de los jugos en el proceso y una eficiente transferencia de calor que hay entre los gases de combustión y las pailas.

4.5.7 Discusión de resultados de la capacidad real de producción ($C_{\text{panela-tiempo}}$)

Este parámetro de producción, brinda una idea de la cantidad de panela que maneja el módulo, es decir la grandeza del módulo panelero, además este parámetro depende de los volúmenes de jugos que se manejan en cada paila, de la caña de azúcar que los productores pueden cosechar y abastecer a este módulo y del tiempo empleado para generar cada kilogramo de panela.

Como se presenta en la figura 4.19, el módulo panelero que tiene una mayor capacidad, es el módulo M1 con un valor de 90.672 kg de panela por hora, lo cual refleja un gran manejo de volúmenes de panela a diferencia de los otros dos módulos, que procesan panela lentamente.

4.5.8 Discusión de resultados del balance de energía

En la figura 4.9 se identifica que en el módulo M2 la energía que se aprovecha es del 28.74% y se desperdicia el 41.85% con los gases de escape y se pierde el 29.41% en las paredes, lo que refleja la deficiencia energética del módulo panelero tipo tradicional, de forma similar ocurre en el módulo M3 (ver figura 4.11), donde la energía que se aprovecha es del 31.36% y la energía que se desperdicia con los gases de escape es del 43.52% y la que se pierde a través de las paredes es del 25.12%, reflejando así la deficiencia energética del módulo panelero que también es del tipo tradicional.

El balance de energía en el módulo M1, que se visualiza en la figura 4.7, la energía que se aprovecha es del 53.03% y la energía que se desperdicia en la chimenea es del 39.88% y la energía que se pierde a través de las paredes es del 7.09%, que refleja un claro aumento de la eficiencia energética y una disminución significativa en las pérdidas de energía a través de las paredes. De ésta manera se demuestra, que la tecnología e innovación es conveniente, desde el punto de vista energético y productivo, ya que al aumentar la eficiencia aumenta la productividad, se reducen costos y con ello las ganancias para los productores de panela granulada.

4.5.9 Discusión de resultados de tiempos entre punteos del cada módulo panelero

En la figura 4.8 se muestra que, en el módulo M1, cada punteo, sale cada 30 min aproximadamente, a diferencia de los otros dos módulos M2 y M3 que tienen un manejo de volúmenes de panela pequeños y hay que esperar más tiempo, como se observa en la figura 4.10 para el módulo M2 que hay que esperar un promedio de 1 hora para cada punteo y para el módulo M3, se evidencia en la figura 4.12 que hay que esperar 1 hora con 38 minutos para cada punteo.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Este estudio ha permitido evaluar y diagnosticar el estado de las hornillas paneleras en base a indicadores tanto energéticos como productivos.
- Al comparar directamente cada indicador energético y productivo de cada módulo panelero visitado como se muestran en las figuras 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18 y 4.19. Y si ordenamos de modo decreciente partiendo de la alta eficiencia y productividad, el módulo que encabeza la lista es el módulo M1, le sigue el módulo M3 y finaliza con el módulo M2.
- La aplicación de la ingeniería e innovaciones tecnológicas en el diseño de plantas paneleras, demuestra que se mejora significativamente los indicadores energéticos como la eficiencia energética de la hornilla, el rendimiento de módulo panelero y del bagazo, disminuye la energía perdida por las paredes y por chimenea. Todas estas aseveraciones se pueden comprobar en el caso del módulo M1 (Módulo con hornilla tipo Ward-Cimpa) que tiene los mejores indicadores tanto desde el punto de vista energético y de producción.
- En todos los módulos analizados el rendimiento del cultivo es alto, revelando un buen grado de conocimiento por parte de los productores de la sierra de Piura que se preocupan y capacitan para obtener resultados favorables en la calidad de la panela.
- El único módulo que es auto-suficiente energéticamente es el módulo M1, demostrando que las plantas paneleras con diseños actuales aumentan considerablemente la eficiencia energética y de producción, utilizando los mismos recursos que ofrece la caña de azúcar (bagazo), sin hacer uso de fuentes energéticas como madera que debilita el ecosistema con la deforestación.
- A pesar de las innovaciones tecnológicas, sigue existiendo un alto potencial energético que se pierde con los gases de combustión, debido a las altas temperaturas con que los gases abandonan la chimenea y en algunos casos debido a los excesos de aire.
- El módulo panelero M1 tiene la capacidad real de producción más alta y el menor tiempo promedio de espera entre punteos de los módulos analizados, es decir dicho módulo emplea menor horas de personal de trabajo y produce más panela que los otros dos módulos (M2 y M3). Por lo tanto el módulo M1 es el más productivo y esto se traduce en la disminución de costos de personal contratado y en la capacidad para satisfacer grandes demandas del producto.
- A través de los indicadores, se identifican los problemas que existen en los módulos paneleros y así se tiene la certeza, para realizar cambios o mantenimientos respectivos, dependiendo del financiamiento de cada módulo panelero.

Recomendaciones

Las recomendaciones en el módulos paneleros, podrían ser varias como: el uso de calderas en vez de cámara de combustión para producir vapor y transferir calor por medio de intercambiadores de calor dentro de las pailas utilizando dicho vapor; o por ejemplo, reconstruir la cámara de combustión con los nuevos diseños de GIPUN⁴⁰ o CIMPA; o también cambiar el sistema de alimentación manual del bagazo a la hornilla por uno sistema electromecánico, para regular la combustión; otra variante es implementar un tiro inducido (con ventilador) para controlar con más precisión la combustión; o utilizar los gases de combustión para pre-calentar el bagazo o calentar vapor reforzando el uso de calderas. Todas éstas y demás ideas están limitadas por un factor económico significativo, que se podrían llevar a cabo en procesos industriales, pero dichos procesos se encuentran fuera del alcance de las familias campesinas de la sierra de Piura.

Recomendaciones para el módulo panelero M1 de Santa Rosa de Chonta

- Verificar la válvula mariposa instalada en la chimenea para regular el área de salida de los gases de combustión o disminuir la altura de la chimenea, sin perjudicar el tiro natural.
- Se debe realizar mantenimiento por lo menos cada un año, esto incluye limpieza al ducto de gases, superficies de las pailas en contacto con los gases de combustión y chimenea. Además se debe realizar limpieza de la parrilla, cenicero después de cada proceso de productivo.

Recomendaciones para el módulo panelero M2 de Marmas Bajo

- Modificar el lecho del bagazo por una parrilla de fierro que regule la entrada de aire para una combustión más completa.
- Reducir el volumen y profundizar la cámara de combustión aún más, para lograr controlar mejor el ingreso de aire y que desarrollen temperaturas más elevadas en el ducto de gases, debido a que se obtiene una mejor combustión.
- Recortar la altura de la chimenea, debido a que es muy alta y origina un ingreso de aire frío perjudicial.
- Colocar una válvula mariposa regulable en la base de chimenea, para regular el tiro natural.
- Reducir las tolerancias entre las mazas del molino a las recomendadas por el fabricante de molinos paneleros: 13 mm de tolerancia en la entrada de la caña de azúcar y 1 mm entre las mazas por donde se expulsa el bagazo. Esto permite una mayor extracción del jugo de caña, aumentando la cantidad de panela producida.

⁴⁰ GIPUN: Grupo de Investigación en Panela de la Universidad Nacional de Colombia

- Soldar aletas de acero (mismo material de la paila) en la parte externa correspondiente al fondo de la paila, para aumentar la eficiencia en la transferencia de calor.
- Reducir la altura y ampliar el ancho del ducto de gases, de manera que el flujo caliente de gases de combustión transfiere más calor a las pailas y éstas a los jugos y mieles de la caña de azúcar.
- Revestir el ducto de humos con ladrillo refractario con una capa para reducir las pérdidas de energía a través de las paredes. Si se cuenta con un fondo mayor se recomienda realizar el revestimiento con dos capas de material refractario separadas por un espacio lleno de aire.
- También se debe realizar mantenimiento como se especifica para el módulo M1.
- De contar con una mayor inversión es recomendable que se cambia la cámara de combustión por una tradicional mejorada o mejor aún por una cámara tipo Ward-Cimpa, que como se puede comprobar del módulo panelero M1, se obtienen mejores eficiencias energéticas y de producción.

Recomendaciones para el módulo panelero M3 de Santa Lucía

El módulo panelero de Santa lucía es de características muy similares al módulo M2, por lo tanto son aplicables las mismas recomendaciones.

Bibliografía

- [1] Hugo R. García B., Luis C. Albarracin C., Adriana Toscano Latorre, Natalia J. Santana M., Orlando Insuasty B. **Guía tecnología para el manejo integral del sistema productivo de caña panelera**. Ministerio de Agricultura y desarrollo Rural – Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). 2007.
- [2] **CEPICAFE**: Central Piurana de Cafetaleros: Página oficial: www.cepicafe.com.pe
- [3] **Libros del agro**, Página web: <http://librosdelagro.blogspot.com/2010/11/el-cultivo-de-la-cana-de-azucar.html>
- [4] **Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura** o por sus siglas en inglés Food and Agriculture Organization, Página web oficial: www.fao.org
- [5] Gerardo Gordillo A., Hugo R. García B. **Manual para el diseño y operación de hornillas paneleras**. Convenio de investigación y divulgación para el mejoramiento de la industria panelera. CIMPA. 1992.
- [6] Rafael Saavedra García Zabaleta, Daniel Marcelo Aldana, Raúl La Madrid Olivares, **Innovaciones tecnológicas para mejorar la eficiencia energética en el proceso de la producción de la panela granulada**. XVIII International Congress of Electronic, Electrical and Systems Engineering. IEEE. INTERCON 2011.
- [7] Héctor Iván Velásquez Arredondo, Farid Chejne Janna, y Andrés Felipe Agudelo Santamaría. **Diagnóstico energético de los procesos productivos de la panela en Colombia**. Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín, vol.57, núm 2, Universidad Nacional de Colombia, 2004.
- [8] Yunus A. Çengel & Michael A. Boles, **Termodinámica**. Sexta Edición. McGraw – Hill/Interamericana Editores, Mexico D.F, Cop. 2009.
- [9] John B. Heywood. **Internal Combustion engine fundamentals**. Primera Edición. McGraw – Hill/Series in mechanical engineering, New York, 1988.
- [10] Carlos F. Montoya Gonzales, Pablo A. Giraldo Prieto. **Propuesta de diseño de planta de procesamiento de caña en la elaboración de la panela. Yolombo – Antioquía**. Trabajo dirigido de grado para obtener el título de Ingeniero Mecánico. Universidad Nacional de Colombia – Medellín. 2009.
- [11] María Angélica Juárez Sánchez. **Análisis de procesos de combustión (a través de un programa de cómputo)**. Tesis para la obtención del título de Licenciatura en Ingeniería en Energía. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa – México, 2003.
- [12] Eurotron Instruments SpA. **Manual de Instrucciones de analizador de gases Ecoline 6000/GreenLine 8000**. USA. 2003.

- [13] Bonnie J. McBride, Sanford Gordon, Martin A. Reno. **Coefficientes for Calculating Thermodynamic and Transport Properties of Individual Species**. NASA National Aeronautics and Space Administration. Scientific and Technical Information Program. 1993.
- [14] La Madrid Olivares, Raúl. **Uso eficiente de la energía producida por la combustión de biomasa**. Tesis para optar por el título de Master en Gestión y Auditorías Ambientales. Universidad de Piura – 2012.
- [15] Manrique Silupú, José José. **Evaluación tecnológica y económica de sistemas de producción de panela con tecnologías a vapor**. Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico – Eléctrico. Universidad de Piura – 2010.
- [16] Yépez Oblitas. Mario Alejandro. **Simulación de la transferencia de calor en una paila pirotubular para la industria panelera**. Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico – Eléctrico. Universidad de Piura – 2011.
- [17] Universidad Complutense de Madrid. **Informe documental “Valoración del Cuadro de Indicadores y Cargas de Trabajo”**. Página oficial: www.ucm.es

Anexo A. Confección de un bolso de lona

Materiales:

- 10.5 m² aproximadamente de lona (tela gruesa de alta resistencia).
- 12 metros aproximadamente de driza.
- 04 anillos de metal.
- Hilo y aguja de costura industrial.

El procedimiento a seguir en la construcción consiste en cortar la lona para darle la siguiente forma (ver figura A.1) con costura resistente para prever desgarres.

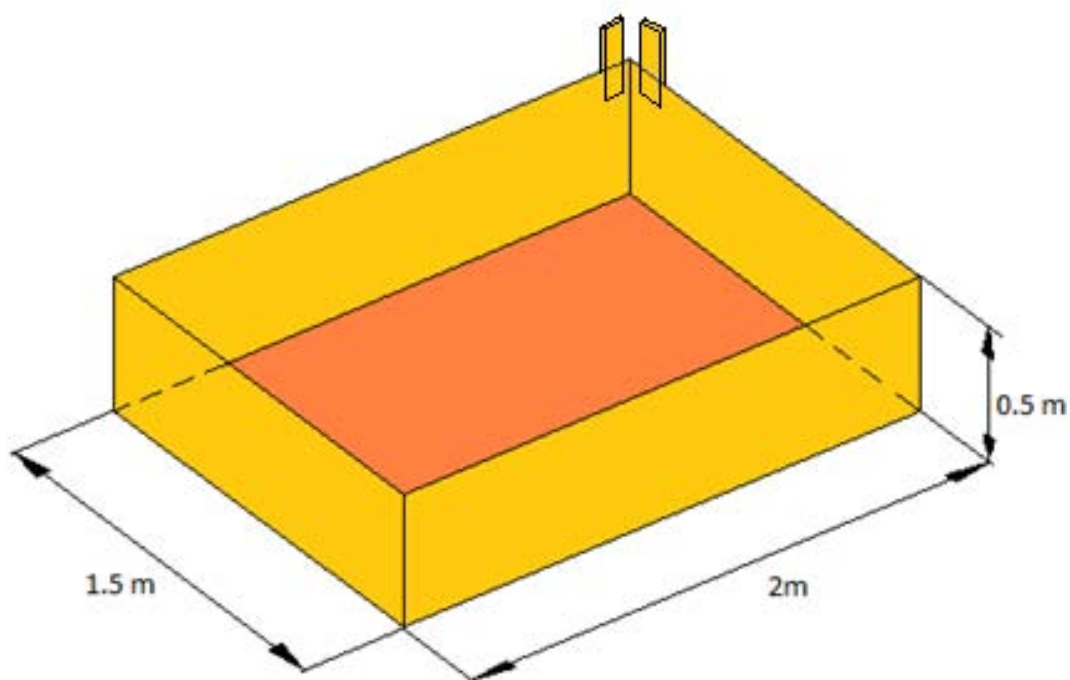


Figura A.1: Forma del prototipo del bolso de lona

Fuente: elaboración propia

En los cuatro extremos de la lona se cosen unas orejas del mismo material (lona), los cuales están adheridos de forma tal que se pasar la driza de nylon entre las orejas (dos por cada esquina) y así sirva como un bolsón (ver figura A.2).



Figura A.2: Forma final después de la construcción del prototipo del bolso de lona.
Fuente propia, tomada en el Laboratorio de Energía de la Universidad de Piura (UDEP)

Posterior mente se ata la driza al pasar por las orejas del bolso de lona y en el otro extremo de la driza de nylon se atan unos anillos de metal que servirá para la fácil manipulación de los ayudantes, tal como se muestra en la figura A.3:



Figura A.3: Conexión anillos de metal – driza – orejas del bolso de lona
Fuente propia, tomada en el Laboratorio de Energía de la Universidad de Piura (UDEP)

Anexo B. Norma técnica peruana NTP 207.063:2008

NORMA TÉCNICA	NTP 207.063
PERUANA	2008

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI
Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

Lima, Perú

BAGAZO. Determinación de humedad en caña y bagazo usando horno de secado

BAGASSE. Determination of moisture in cane and bagasse by oven drying

2008-06-18

1ª Edición

R.0090-2008/INDECOPI-CRT. Publicada el 2008-07-07

Precio basado en 04 páginas

I.C.S.: 67.180.10

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descripción: Bagazo, humedad en caña, horno de secado

ÍNDICE

	página
INDICE	i
PREFACIO	ii
1. OBJETO	1
2. REFERENCIAS NORMATIVAS	1
3. CAMPO DE APLICACIÓN	2
4. FUNDAMENTO	2
5. EQUIPOS	2
6. MUESTREO	3
7. PROCEDIMIENTO	3
8. EXPRESIÓN DE RESULTADOS	4
9. ANTECEDENTE	4

PREFACIO

A. RESEÑA HISTORICA

A.1 La presente Norma Técnica Peruana ha sido elaborada por el Comité Técnico de Normalización de Azúcar y Derivados, mediante el sistema 2 u Ordinario, durante los meses de agosto a noviembre del 2007, utilizando como antecedente el método ICUMSA GS7-5 (1994) The Determination of Moisture in Cane and Bagasse by Oven Drying.

A.2 El Comité Técnico de Normalización de Azúcar y Derivados presentó a la Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales –CRT-, con fecha 2008-02-18, el PNT 207.063:2007, para su revisión y aprobación, siendo sometido a la etapa de Discusión Pública el 2008-04-18. No habiéndose presentado observaciones fue oficializado como Norma Técnica Peruana **NTP 207.063:2008 BAGAZO. Determinación de humedad en caña y bagazo usando horno de secado**, 1ª Edición, el 07 de julio de 2008.

A.3 Esta Norma Técnica Peruana fue tomada en su totalidad de la ICUMSA GS7-5 (1994). La presente Norma Técnica Peruana presenta cambios editoriales referidos principalmente a terminología empleada propia del idioma español y ha sido estructurada de acuerdo a las Guías Peruanas GP 001:1995 y GP 002:1995.

B. INSTITUCIONES QUE PARTICIPARON EN LA ELABORACION DE LA NORMA TECNICA PERUANA

Secretaría	Colegio de Ingenieros del Perú - Filial La Libertad
Presidente	Marino Rodríguez Valverde - Empresa Agro Industrial Paramonga S.A.A.
Secretaria	Gloria Eslava Laiza - Colegio de Ingenieros del Perú - Filial La Libertad

ENTIDAD	REPRESENTANTES
Empresa Agroindustrial Laredo S.A.A.	Roberto Acosta Jarama
Empresa Agro Industrial Casa Grande S.A.A.	Johanna Grados Marquina
Complejo Agro Industrial Cartavio S.A.A.	Jaime Cabellos Vargas
Agro Industrial San Jacinto S.A.A.	Virgilio Rosell Dioses
Empresa Agro Industrial Andahuasi S.A.A.	Dante Barzola Cámara
Empresa Azucarera Andahuasi S.A.A.	José Romero Mundo
Empresa Agro Industrial Tumán S.A.A.	Oscar Samamé Nevado
Empresa Agro Industrial Pomalca S.A.A.	Félix Pillaca Sánchez
Empresa Azucarera del Norte	Mónica Caipo Torero
Gloria S.A.	Carlos Martín Náquira Cornejo
DESTILERIAS UNIDAS S.A.C.	Freddy Chávez Cruzado
Corporación José R. Lindley – Planta Trujillo	Dénis Noriega Angeles
Colegio de Ingenieros del Perú – La Libertad	Adela Rodríguez Paredes
Ministerio de Agricultura – La Libertad	Dacio Muñoz Alva
SGS del Perú S.A.C.	Ricardo Saavedra Zapata
CERPER	José Valdivia Ilizarbe
SENASA	Henry Horna Arroyo
Universidad Nacional de Trujillo	Feliciano Bernui Paredes
SAT S.A.C.	Diana Quispe Ramírez
Universidad Nacional del Santa	Gilbert Rodríguez Paúcar
Universidad Privada Antenor Orrego	Luis Márquez Villacorta
DESA – LL (Direcc. Ejecut. Salud Amb.)	Roelia Ruiz Sánchez
DISP / DESA / DISHAZ	María Díaz Pinillos

SUD CHEMIE PERU S.A.

Rosalina Condemarín Vargas
Alberto Vega Vásquez

Dirección Regional Agraria La Libertad

César Paredes Rodríguez

---oooOooo---

BAGAZO. Determinación de humedad en caña y bagazo usando horno de secado

1. OBJETO

Esta Norma Técnica Peruana establece las especificaciones mínimas de calidad para determinar las características del bagazo en cuanto a su calidad como combustible.

2. REFERENCIAS NORMATIVAS

Las siguientes Normas contienen disposiciones que al ser citadas en este texto, constituyen requisitos de esta Norma Técnica Peruana. Las ediciones indicadas estaban en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda Norma está sujeta a revisión, se recomienda a aquellos que realicen acuerdos en base a ellas, que analicen la conveniencia de usar las ediciones recientes de las Normas citadas. El Organismo Peruano de Normalización posee la información de las Normas Técnicas Peruanas en vigencia en todo momento.

- | | | |
|-----|----------------------|---|
| 2.1 | NTP-ISO 2859-10:2008 | PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO PARA INSPECCION POR ATRIBUTOS. Parte 10: Introducción a la serie de normas de la ISO 2859 para el muestreo para inspección por atributos |
| 2.2 | NTP-ISO 2859-1:1999 | PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO PARA INSPECCION POR ATRIBUTOS. Parte 1: Planes para muestreo clasificados por calidad de nivel aceptable (NCA) para inspección lote por lote |

- | | | |
|-----|---------------------|---|
| 2.3 | NTP-ISO 2859-2:1999 | PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO PARA INSPECCION POR ATRIBUTOS. Parte 2: Planes de muestreo clasificados por calidad límite (CL) para la inspección de lotes aislados |
| 2.4 | NTP-ISO 2859-3:1999 | PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO PARA INSPECCION POR ATRIBUTOS. Parte 3: Procedimiento de muestreo por salteo de lotes |

3. CAMPO DE APLICACIÓN

La presente Norma Técnica Peruana, puede aplicarse a cualquier muestra de caña preparada o bagazo proveniente de una estación ya sea de molienda o de difusión en conexión con la determinación de pol (polarización).

4. FUNDAMENTO

Una porción de muestra de caña preparada (ya sea con molino de martillos o con molino de cuchillas) o de bagazo se seca bajo condiciones estándar utilizando una estufa de secado y el contenido de humedad se determina a partir de la pérdida de masa.

5. EQUIPOS

- 5.1 Estufa de secado:** Capacidad de 160 litros y operación a 105 ± 3 °C .
- 5.2 Balanza robusta para uso intensivo:** Con resolución de hasta 0.1 g .

5.3 Contenedor de muestra para secado. Tamiz de 250 mm de diámetro y apertura de malla de 250 μm .

6. MUESTREO

Es muy importante obtener una muestra representativa de caña o de bagazo. Si se muestrea caña, la muestra debiera tomarse después de la picadora y la mejor muestra es obtenida de un muestreador que cubra toda la anchura de la compuerta o similar, situado en el punto de transferencia entre los transportadores utilizando un muestreador de compuerta oscilante.

Generalmente se requerirá un sub muestreo.

7. PROCEDIMIENTO

El procedimiento descrito es aplicable cuando se utilice el diseño de horno de secado tal como se describe en el Manual de Laboratorio para Ingenios Azucareros de QUEENSLAND. Cuando se utilicen diferentes diseños de estufas de secado, deben realizarse los ajustes apropiados a las cantidades de caña y bagazo.

Pesar el contenedor de la muestra del horno del secado limpio y vacío y registrar la masa a la décima de gramo mas próxima, m_1 . Agregar aproximadamente 1000g de caña preparada o bagazo a los contenedores vacíos y apuntar la masa del contenedor más la caña o bagazo hasta la décima de gramo más próxima, m_2 .

Colocar el contenedor con caña o bagazo en el horno de secado y secar a 105 +/- 3°C hasta que la pérdida de masa sea menor a 2 g en 30 min .

Pesar el contenedor caliente más la muestra de caña seca y registrar la masa a la décima de gramo más próxima, m_3 . Realizar éste paso rápidamente para evitar errores debido a la absorción de humedad por parte de la muestra seca y caliente.

8. EXPRESIÓN DE RESULTADOS

Se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Contenido de humedad \% de caña o bagazo} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100$$

9. ANTECEDENTE

ICUMSA GS7-5 (1994)

The Determination of Moisture in Cane and Bagasse by Oven Drying

Anexo C. Norma técnica peruana NTP 207.005:2010

NORMA TÉCNICA	NTP 207.005
PERUANA	2010

Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales No Arancelarias-INDECOPI Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145	Lima, Perú
--	------------

AZÚCAR. Determinación de humedad en azúcar por pérdida en secado

SUGAR. Sugar moisture determination by lossing on drying

2010-09-29
5ª Edición

R.0026-2010/CNB-INDECOPI. Publicada el 2010-12-17

Precio basado en 04 páginas

I.C.S.: 67.180.10

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptores: Azúcar, humedad, pérdida en secado, secado.

ÍNDICE

	página
ÍNDICE	i
PREFACIO	ii
1. OBJETO	1
2. REFERENCIAS NORMATIVAS	1
3. CAMPO DE APLICACIÓN	1
4. DEFINICIONES	1
5. PRINCIPIO	2
6. EQUIPOS	2
7. PROCEDIMIENTO	3
8. EXPRESIÓN DE RESULTADOS	4
9. ANTECEDENTES	4

PREFACIO

A. RESEÑA HISTORICA

A.1 La presente Norma Técnica Peruana ha sido elaborada por el Comité Técnico de Normalización de Azúcar y derivados, mediante el sistema 2 u Ordinario, durante los meses de enero a junio de 2010, utilizando como antecedentes a los documentos que se mencionan en el capítulo correspondiente.

A.2 El Comité Técnico de Normalización de Azúcar y derivados presentó a la Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales No Arancelarias –CNB- con fecha 2010-07-09, el PNTP 207.005:2010, para su revisión y aprobación, siendo sometido a la etapa de Discusión Pública el 2010-07-30. No habiéndose presentado observaciones fue oficializado como Norma Técnica Peruana **NTP 207.005:2010 AZÚCAR. Determinación de humedad en azúcar por pérdida en secado**, 5ª Edición, el 17 de diciembre de 2010.

A.3 La presente Norma Técnica Peruana presenta cambios editoriales referidos principalmente a terminología empleada propia del idioma español y ha sido estructurada de acuerdo a las Guías Peruanas GP 001:1995 y GP 002:1995.

B. INSTITUCIONES QUE PARTICIPARON EN LA ELABORACIÓN DE LA NORMA TÉCNICA PERUANA

Secretaría	Colegio de Ingenieros del Perú - Filial La Libertad
Presidente	Jaime Cabellos Vargas - Cartavio S.A.A.
Secretaria	Adela Rodríguez Paredes
ENTIDAD	REPRESENTANTE
Empresa Agro Industrial Laredo S.A.A.	Roberto Acosta Jarama

Empresa Casa Grande S.A.A.	Johanna Grados Marquina
Empresa Cartavio S.A.A.	Jaime Cabellos Vargas
Agro Industrial San Jacinto S.A.A.	Virgilio Rosell Dioses
Empresa Agro Industrial Paramonga S.A.A.	Marino Rodríguez Valverde
Empresa Agro Industrial Tumán S.A.A.	Pablo Molinero Durand Oscar Samamé Nevado
Empresa Agro Industrial Pomalca S.A.A.	Fernando Sánchez Julca
DESTILERIAS UNIDAS S.A.C.	Zoila López
Gloria S.A	Carlos Náquira Cornejo
Colegio de Ingenieros del Perú- La Libertad	Adela Rodríguez Paredes
Ministerio de Agricultura – La Libertad	Dacio Muñoz Alva
SGS del Perú	Ricardo Saavedra Zapata
CERPER	José Valdivia Ilizarbe
SENASA	Henry Horna Arroyo
Universidad Nacional de Trujillo	Feliciano Bernui Paredes
S.A.T. S.A.C	Ronal Alva Alcántara
Universidad Nacional del Santa	Gilbert Rodríguez Paúcar
DESA – LL (Direcc. Ejecut. Salud Amb.)	Roelia Ruiz Sánchez
SUD CHEMIE PERU S.A.	Rosalina Condemarín Vargas Alberto Vega Vásquez

---oooOooo---

AZÚCAR. Determinación de humedad en Azúcar por pérdida en secado

1. OBJETO

Esta Norma Técnica Peruana establece la metodología para determinar la humedad del azúcar por pérdida en secado.

2. REFERENCIAS NORMATIVAS

Otras Normas Técnicas

ICUMSA GS2/1/3-15:2005	The Determination of Sugar Moisture by Loss on Drying
------------------------	---

3. CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma Técnica Peruana se aplica a todo tipo de azúcar, rubia, cruda, blanca directa y azúcar refinada.

4. DEFINICIONES

4.1 pérdida en secado: Puesto que el agua es un principal componente volátil térmicamente tanto en el procesado de la caña como de la remolacha, es indudablemente el principal componente volátil perdido durante el secado del azúcar, por lo tanto el punto de vista descrito en el secado en este método se denomina “humedad” o “agua”.

4.2 humedad: La humedad en el azúcar puede presentarse de tres formas:

4.2.1 **humedad Libre:** es la que viene en la superficie del cristal desde las centrífugas y que es fácil de eliminar.

4.2.2 **humedad ligada:** es la contenida en la capa vítrea superficial y en los ángulos de reentrada, que únicamente se desprende lentamente durante la cristalización de dicha capa.

4.2.3 **humedad inherente:** es la incluida dentro de la estructura del cristal, y que, en general, solamente es liberada por pulverización.

5. PRINCIPIO

El principio del método es el secado en estufa, empleando la técnica de estufa a presión atmosférica (105 °C) seguida de unas condiciones estandarizadas de enfriamiento después del secado en la estufa. En este método se determina principalmente la humedad libre.

6. EQUIPOS

6.1 estufa de ventilación forzada a presión atmosférica

Mantenida a una temperatura de $105\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$, medida a una distancia de $2,5\text{ cm} \pm 1\text{ cm}$ sobre las cápsulas de ensayo. El horno deberá tener ventilación y el ventilador de circulación ajustado con un interruptor de control el cual se acciona cuando la puerta de la estufa está abierta.

6.2 **deshumidificador:** Contenido de gel de sílice con indicador.

6.3 **cápsulas con tapa ajustada o placas petri:** Deberán tener un diámetro de 6 cm a 10 cm y ser de una profundidad de 2 cm a 3cm. Pueden ser de vidrio, platino o níquel, se recomiendan que sean de aluminio. El grosor de las cápsulas es opcional, pero se debe tener en cuenta el peso de la cápsula en relación al peso de la muestra y la pérdida por determinar.

6.4 **pañó quitapolvo limpio y seco**

6.5 **termómetro de dial, de superficie o similar:** Puede emplearse un termómetro electrónico provisto de sonda de superficie.

6.6 **balanza analítica:** de 0,1 mg de resolución.

7. PROCEDIMIENTO

7.1 **Secado:** Llevar a cabo la determinación por duplicado y precalentar la estufa a 105 °C . Colocar las cápsulas vacías con tapas abiertas en el horno durante por lo menos 30 min .

Empleando el paño (6.4) para manejarlas, retirar las cápsulas de la estufa, cerrar las tapas y colocarlas en el deshumidificador por 15 min a 30 min . Pesar las cápsulas con una exactitud de $\pm 0,1$ mg . Colocar el termómetro de contacto encima de una de las cápsulas. Cuando la temperatura de las cápsulas haya bajado hasta la temperatura ambiente +2 °C , pesar las cápsulas lo más rápido posible con una exactitud de ± 0.1 mg .

Pesar la muestra con exactitud de ± 0.1 mg .

NOTA: La profundidad del azúcar en la cápsula no deberá ser mayor de 1 cm .

Volver a colocar las cápsulas con las tapas abiertas en la estufa. Su posición dentro de la estufa se rige según las necesidades descritas en el apartado 6.1.

Secar la muestra exactamente durante 3 horas. Asegurarse que no haya otros materiales en la estufa durante el periodo de secado.

7.2 Pesaje para determinar la pérdida durante el secado. Cerrar las cápsulas con las tapas, retirar las cápsulas de la estufa y colocarlas en el deshumidificador por 15 min a 30 min con el termómetro de contacto sobre una de ellas. Enfriar las cápsulas hasta que el

termómetro indique la temperatura ambiente + 2 °C . Pesar las cápsulas con una exactitud de ±0,1 mg .

NOTA: No tratar de secar a un peso constante y asegurarse que no haya pérdida física alguna de azúcar en cualquier etapa. Sostener las cápsulas siempre con un paño quita polvo limpio y seco.

8. EXPRESIÓN DE RESULTADOS

8.1 Cálculo de pérdida en el secado: Se expresa la pérdida de masa como % de la masa original de la muestra, o sea:

$$\text{Pérdida durante el secado, \%} = \frac{100 * (m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)}$$

En donde:

m_1 : masa de la cápsula (g)

m_2 : masa de la cápsula + azúcar antes del secado (g)

m_3 : masa de la cápsula + azúcar después del secado (g)

Los resultados obtenidos por duplicado son aceptables si ninguno de ellos está fuera de los límites de ± 10 % del valor medio del test. Ensayos en los cuales el duplicado pase el 10 % deberán ser repetidos.

9. ANTECEDENTES

9.1	NTP 207.005:2003	Determinación de humedad en el azúcar por pérdida en secado
9.2	ICUMSA GS2/1/3-15:2005	Determinación de la humedad en el azúcar por pérdida en secado

Anexo D. Fichas de control

Ficha de control del pesaje del BAGAZO COMBUSTIBLE							
Tiempo que tiene de secado:							
#	Fecha	Hora	Peso [kg]	#	Fecha	Hora	Peso [kg]
1				41			
2				42			
3				43			
4				44			
5				45			
6				46			
7				47			
8				48			
9				49			
10				50			
11				51			
12				52			
13				53			
14				54			
15				55			
16				56			
17				57			
18				58			
19				59			
20				60			
21				61			
22				62			
23				63			
24				64			
25				65			
26				66			
27				67			
28				68			
29				69			
30				70			
31				71			
32				72			
33				73			
34				74			
35				75			
36				76			
37				77			
38				78			
39				79			
40				80			
				Total	---	---	

Ficha de control del pesaje del BAGAZO “FRESCO”								
#	Fecha	Hora	Peso [kg]		#	Fecha	Hora	Peso [kg]
1					41			
2					42			
3					43			
4					44			
5					45			
6					46			
7					47			
8					48			
9					49			
10					50			
11					51			
12					52			
13					53			
14					54			
15					55			
16					56			
17					57			
18					58			
19					59			
20					60			
21					61			
22					62			
23					63			
24					64			
25					65			
26					66			
27					67			
28					68			
29					69			
30					70			
31					71			
32					72			
33					73			
34					74			
35					75			
36					76			
37					77			
38					78			
39					79			
40					80			
				Total	---	---		

Ficha de control del pesaje de los TRONCOS DE CAÑA de azúcar antes de la molienda								
Tiempo promedio desde que ha sido cortada:								
Hectáreas promedio de cosecha:								
Tipos de caña molidas:								
#	Fecha	Hora	Peso [kg]		#	Fecha	Hora	Peso [kg]
1					41			
2					42			
3					43			
4					44			
5					45			
6					46			
7					47			
8					48			
9					49			
10					50			
11					51			
12					52			
13					53			
14					54			
15					55			
16					56			
17					57			
18					58			
19					59			
20					60			
21					61			
22					62			
23					63			
24					64			
25					65			
26					66			
27					67			
28					68			
29					69			
30					70			
31					71			
32					72			
33					73			
34					74			
35					75			
36					76			
37					77			
38					78			
39					79			
40					80			
					Total	---	---	

EXTRACCIÓN:

- ☐ Muestra de 100 kg de troncos de caña

Pesaje muestra del jugo de caña				
Nombre del productor [propietario de la caña]				
#	Peso [kg]	Volumen [litros]	Volumen [m ³]	Densidad[kg/m ³]
1				
2				
Total				

EXTRACCIÓN: (Peso Jugo de caña / Peso de los troncos de caña)*100	E =
---	-----

Pesaje del BAGACILLO				
Nombre del productor [propietario de la caña]				
#	Peso [kg]	Volumen [litros]	Volumen [m ³]	Densidad[kg/m ³]
1				
2				
3				
4				

Pesaje de la CACHAZA				
Nombre del productor [propietario de la caña]				
#	Peso [kg]	Volumen [litros]	Volumen [m ³]	Densidad[kg/m ³]
1				
2				
3				
4				

Nota: No olvidar quitar el peso de los tachos o baldes usados como depósitos.

FICHA DE CONTROL DE PRODUCCIÓN DE PANELA EN MÓDULO:

Nombre del productor[Propietario de la caña]	
Tipos de caña a procesar	

MOLIENDA

# Molienda	Inicio		Fin		Caña procesada [t]	Combustible [latas o galones]
	Hora	Fecha	Hora	Fecha		
1						
2						
3						
4						

HORNILLA

	Hora	Fecha
Encendido de la hornilla ¹		
Ingreso del guarapo a la clarificadora		
Primer punteo		
Último punteo		
Culminación de actividades ²		
Bagazo consumido ³		

Cantidad de panela obtenida [kg]	
Cantidad de confitillo obtenido [kg]	

PUNTEOS

	Fecha	Hora		Fecha	Hora		Fecha	Hora
1			7			13		
2			8			14		
3			9			15		
4			10			16		
5			11			17		
6			12			18		

*1galón= 3.7854 litros

* 1 lata = 18 litros

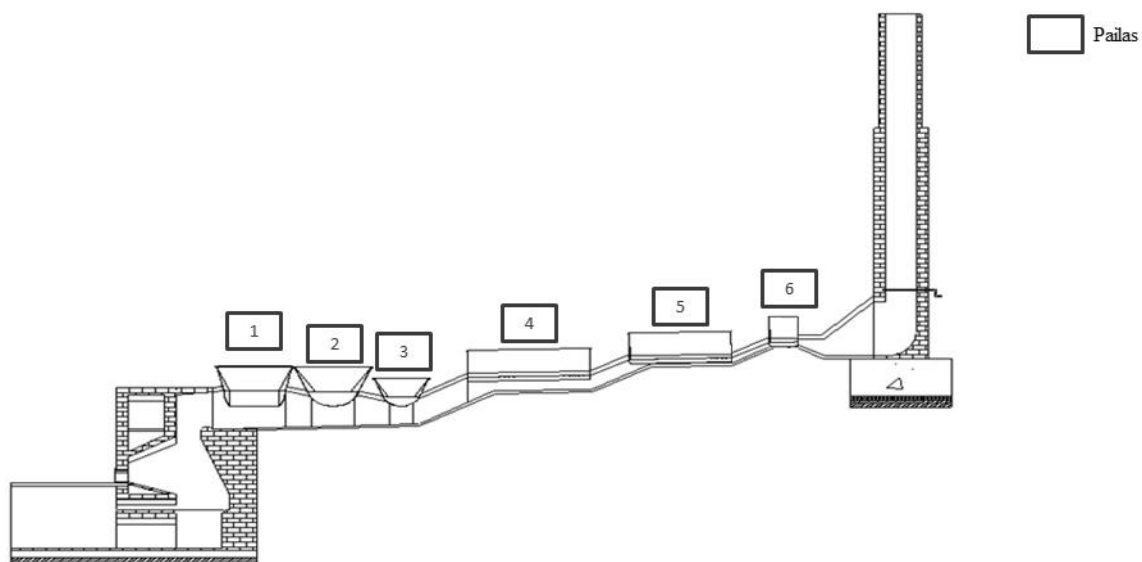
t: tonelada = 1000kg

¹ Si la hornilla está encendida, dejar los espacios en blanco.² Hace referencia al momento en que se terminó de empacar y pesar el último saco con panela.³ Bagazo total usado como combustible en toneladas para determinar si es auto-suficiente.

CONTROL DE TEMPERATURAS DEL JUGO EN PAILAS									
#	Fecha	Hora	Observación	1°	2°	3°	4°	5°	6°
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									
33									
34									
35									
36									
37									
38									
39									
40									

*Obs: Ingreso de jugo a la paila

Paso de jugo a la siguiente paila

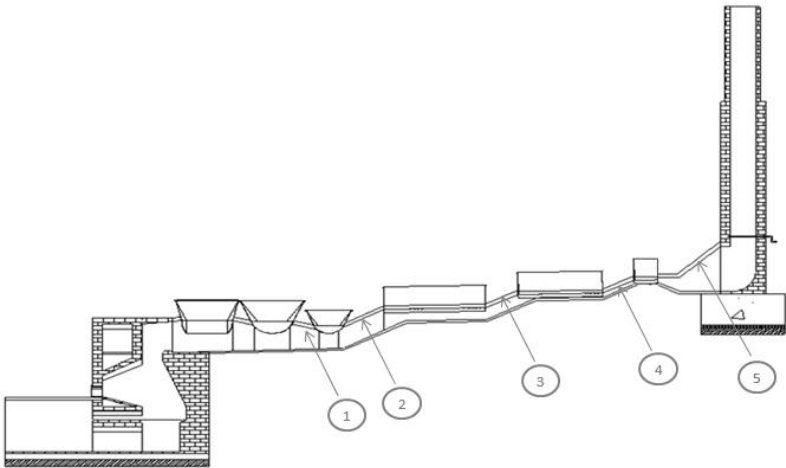


CONTROL DE TEMPERATURA EN LA BASE DE LA DE CHIMENEA				
#	Fecha	Hora	Observación	5°
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				
39				
40				

Obs: "Alimentando" la hornilla

Sin "alimentar"

 Ducto de humos



Anexo E. Características y especificaciones del analizador de gases Eurotron GreenLine

Descripción general

El analizador de gases cuenta con dos componentes principales: El MCU (*Master Center Unit*) a la izquierda y el RCU (*Remote Central Unit*) a la derecha:

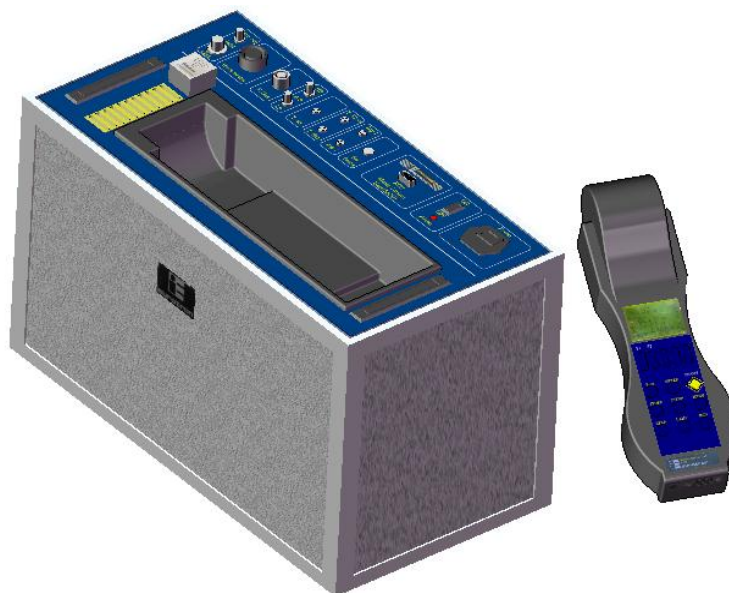


Figura E.1: Componentes principales del analizador de gases
Fuente: Manual de Instrucciones de analizador de gases [12]

Características:

El analizador de gases está equipado con:

- Bomba de aspiración para la muestra de gas.
- Sonda de caldeo de muestra.
- Sonda de ingreso de muestra de gas.
- Sensores de temperatura.
- Sensores de presión.
- Sensores para mediciones de concentraciones de los gases.
- Controlador de temperatura.
- Filtro de partícula suspendida.
- Bomba peristáltica de drenaje de condensación.
- Unidad de control remota (RCU) con impresora integrada.
- Comunicación de datos vía bus y vía bluetooth con alcance de 20 m.
- Memoria interna que puede almacenar 9000 datos.
- Baterías recargables tanto para el RCU y el MCU.
- Cables de conexión directa al suministro de energía tanto para el RCU y el MCU.

El analizador de gases mide las siguientes concentraciones:

- O₂
- CO₂
- CO
- NO
- SO₂
- H₂S
- C_xH_y

Especificaciones:

Unidad de control principal (MCU)

- **Tipo:** EcoLine de 2 a 6 células para el analizador portátil de gas.
- **Calibración:** Procedimiento de calibración automática con el encendido del instrumento. Entrada de aire limpio con electro válvula y circuito neumático separado.
- **Auto diagnosis:** Prueba de eficiencia de sensores con página de diagnóstico.
- **Bomba:** 2.6 l/min a 560mbar con controlador electrónico de flujo.
- **Vida de la batería:** 6h de operación continua (sin sonda de caldeo y con el refrigerador apagado).
- **Alimentación:** 110/230 Vac a 50/60Hz con batería recargable.
- **Memoria interna de datos:** hasta 9000 datos de análisis completos.
- **Interfaz serie:** RS422 bi-direccional. RS232 con adaptador.
- **Medida de humo:** Usando la sonda de caldeo o la bomba externa opcional.
- **Sondas opcionales:** CO ambiente, succionador de la salida de gas.
- **Temperatura de trabajo:** desde -5°C a +45 °C (hasta 50°C por un corto período de tiempo)
- **Temperatura de almacenaje:** desde -20 a +60°C
- **Maletín de transporte:** aluminio
- **Dimensiones:** 455x205x365 mm
- **Peso neto:** 10 kg

Unidad de control Remoto (RCU)

- **Tipo:** Unidad de control remoto (RCU) con 2.5 m de cable de conexión.
- **Vida de la batería:** 6 horas continuas en operación (sin impresora y sin luz trasera).
- **Alimentación:** Baterías recargables y cargador externo de baterías.
- **Tiempo de carga:** 8 horas al 90% con el instrumento apagado.
- **Impresora:** Tipo impacto de 24 columnas con rollo de papel de 58 mm de ancho y 18m de longitud.
- **Alimentación impresora:** Pack de baterías de RCU.
- **Autonomía de impresión:** Hasta 40 informes con la batería completamente cargada.
- **Datos de servicio y usuario:** 3 líneas programables para cada cliente usando un PC y el Software DBGas.
- **Cabecera del informe:** 4 hileras x 16 caracteres programables desde teclado.
- **Pantalla:** Largo (40x56 mm) pantalla gráfica LCD con dispositivo de luz trasera. Barra gráfica y capacidad de orientación.
- **Filtro de línea:** cartucho intercambiable
- **Interfaz serie:** RS422 bi-direccional. RS232 con adaptador
- **Temperatura de trabajo:** desde -5°C a $+45^{\circ}\text{C}$ (hasta 50°C por un corto período de tiempo).
- **Temperatura de almacenaje:** desde -20 a $+60^{\circ}\text{C}$
- **Dimensiones:** 115x90x330 mm
- **Peso neto:** 0.9 kg. con batería e impresora.