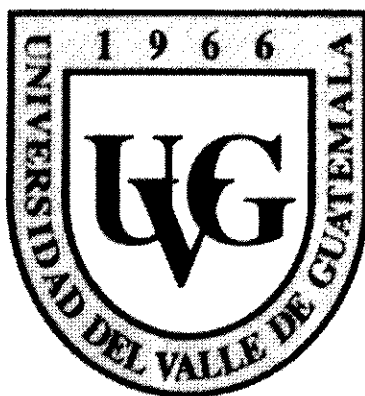


SECADO DE BAGAZO Y SU IMPORTANCIA PARA LA  
COGENERACION DE ENERGIA EN LA INDUSTRIA  
AZUCARERA

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA



“SECADO DE BAGAZO Y SU IMPORTANCIA PARA LA COGENERACION DE  
ENERGIA EN LA INDUSTRIA AZUCARERA”


TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO PARA OPTAR AL GRADO  
ACADEMICO DE INGENIERIA QUIMICA

MARIA JOSE MENDOZA


GUATEMALA, 2000




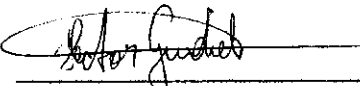
Vo.Bo.:

(f)   
Ingeniero Erick Cruz  
Asesor

Tribunal:

(f)   
Ingeniero Erick Cruz

(f)   
Ingeniero Eduardo Calderon

(f)   
Ing. Héctor Gudiel

Fecha de aprobación: 20 de Noviembre de 2000

## **AGRADEZCO**

**A DIOS Y A LA SANTÍSIMA VIRGEN**

Por brindarme la sabiduría y la fortaleza de haber concluido este trabajo de graduación.

**A MIS PADRES**

Por el amor y apoyo que me han brindado en todo lo que he emprendido y estoy por emprender.

**A MIS HERMANOS**

Por su cariño, colaboración y comprensión

**A MI NOVIO**

Por su apoyo y compañía

**AL EQUIPO DEL INGENIO MONTE ROSA**

Que me abrieron sus puertas para poder realizar el trabajo de campo y resolver las dudas que tenía para poder completarla.

**A CIASA**

Que me asesoró en la elaboración del trabajo de campo.

# INDICE

PAGINA

I. INTRODUCCION.....	1
II. ANTECEDENTES.....	3
A. COMPOSICIÓN DEL COMBUSTIBLE DE BIOMASA.....	3
B. COMPOSICIÓN FÍSICA DEL BAGAZO.....	7
C. CANTIDAD DE BAGAZO.....	8
D. ALMACENAMIENTO DEL BAGAZO.....	9
E. USOS DEL BAGAZO.....	9
F. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL BAGAZO.....	10
G. VALOR CALORÍFICO DEL BAGAZO.....	10
1. Valor calorífico superior del bagazo seco.....	12
2. Valor calorífico neto del bagazo seco.....	12
3. Valor calorífico del bagazo húmedo.....	13
H. COMBUSTIÓN DEL BAGAZO.....	15
1. Reacciones de la Combustión.....	16
2. Propiedades de los productos gaseosos de la combustión.....	16
3. Combustión del bagazo seco sin exceso de aire.....	16
4. Combustión del bagazo húmedo con exceso de aire.....	17
I. COMPOSICIÓN DE LOS GASES.....	20
1. Contenido de CO <sub>2</sub> en los gases de salida.....	21
2. Proporción óptima de CO <sub>2</sub> .....	22
3. Pérdidas de eficiencia debidas al CO.....	23
4. Cálculo de la Temperatura de Combustión.....	23
J. CALOR ESPECÍFICO MEDIO.....	28
K. PÉRDIDAS DE CALOR EN LA CHIMENEA.....	29
L. CANTIDAD DE VAPOR QUE PUEDE OBTENERSE.....	31
M. EFICIENCIA TOTAL.....	33
N. PESO DEL VAPOR POR UNIDAD DE PESO DEL BAGAZO.....	34
O. SECADO DE BAGAZO.....	36
1. Agua a Evaporar.....	37
2. Peso del gas.....	37
3. Calor Requerido.....	37
P. DISEÑO DE CALDERA.....	41
1. Hogar.....	41
2. Sobrecalentador.....	42
3. Calentador de Aire.....	43
4. Economizador.....	43
Q. FORMACIÓN Y CONTROL DE EMISIONES.....	43

R. COGENERACIÓN INDUSTRIAL .....	48
1. <i>Diseño de Calderas de bagazo en referencia a cogeneración</i> .....	48
2. <i>Cogeneración de vapor y potencia eléctrica</i> .....	51
3. <i>Requisitos de Energía</i> .....	53
5. <i>Secado de Bagazo</i> .....	53
6. <i>Factores económicos que influyen en la producción de potencia</i> .....	54
<b>III. JUSTIFICACION</b> .....	<b>57</b>
<b>IV. OBJETIVOS</b> .....	<b>58</b>
A. OBJETIVOS GENERALES .....	58
B. OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	58
<b>V. PROBLEMA A RESOLVER</b> .....	<b>60</b>
<b>VI. METODOLOGIA</b> .....	<b>61</b>
<b>VII. RESULTADOS</b> .....	<b>63</b>
<b>VIII. DISCUSION</b> .....	<b>64</b>
<b>IX. CONCLUSIONES</b> .....	<b>68</b>
<b>X. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>69</b>
<b>XI. BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>70</b>
<b>XII. ANEXOS</b> .....	<b>72</b>
A. DATOS ORIGINALES .....	74
1. <i>Cálculo de la Humedad de Bagazo</i> .....	74
B. DATOS DEL DISEÑO DEL EQUIPO .....	96
C. BOSQUEJO DEL PROYECTO .....	103
D. ESTUDIO ECONÓMICO .....	118
E. CÁLCULO DE MUESTRA DE LOS DATOS EXPERIMENTALES .....	119
1. <i>Cálculo de cantidad de bagazo secado con calor de gases de chimenea</i> .....	119
F. DATOS CALCULADOS .....	126
G. ANÁLISIS DE ERROR .....	148

## INDICE DE TABLAS

No. Tabla	Contenido	Página
No. 1	Composición Química del Bagazo	10
No. 2	Valor Calorífico superior del bagazo	12
No. 3	Valor Calorífico de los componentes del bagazo	13
No. 4	Composición del Aire Seco	16
No. 5	Propiedades de los componentes de los gases de chimenea	16
No. 6	Volumen de los productos gaseosos de la combustión	19
No. 7	Relación entre el contenido de CO <sub>2</sub> de los gases de chimenea y el exceso de aire	22
No. 8	Gases de Combustión	25
No. 9	Cálculo de la Temperatura de Combustión	27
No. 10	Calor Específico medio de los gases de combustión entre 0 °C y T°C	28
No. 11	Escala de Colores de Temperatura	29
No. 12	Temperaturas de Combustión en los hornos de bagazo	29
No. 13	Eficiencia de la Caldera (Tromp)	33
No. 14	Eficiencia de la Caldera	33
No. 15	Eficiencia de la Caldera	34
No. 16	Calor necesario para producir la unidad de peso del vapor	34
No. 17	Calor transmitido al vapor por libra de bagazo	35
No. 18	Cantidades de Calor necesarias y disponibles	38
No. 19	Bagazo extra y potencia por tonelada de caña por hora	54
No. 20	Influencia de la rapidez de molienda en la producción de potencia extra	56

<b>No. Tabla</b>	<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
No. 21	Determinación de la mejora de eficiencia de la combustión en la caldera por reducción de humedad	63
No. 22	Aumento de la eficiencia en la producción de kilovatios de energía	63
No. 23	Resultados promedio de la reducción de humedad obtenidos en la práctica	63
No. 24	Comparación de las variables diseñadas con las obtenidas en la práctica	63
No. 25	Registro de Datos de Bagazo del 01 de Marzo del 2000	75
No. 26	Registro de Datos de Bagazo del 02 de Marzo del 2000	76
No. 27	Registro de Datos de Bagazo del 05 de Marzo del 2000	77
No. 28	Registro de Datos de Bagazo del 06 de Marzo del 2000	78
No. 29	Registro de Datos de Bagazo del 09 de Marzo del 2000	79
No. 30	Registro de Datos de Bagazo del 10 de Marzo del 2000	80
No. 31	Registro de Datos de Bagazo del 13 de Marzo del 2000	81
No. 32	Registro de Datos de Bagazo del 14 de Marzo del 2000	82
No. 33	Registro de Datos de Bagazo del 17 de Marzo del 2000	83
No. 34	Registro de Datos de Bagazo del 20 de Marzo del 2000	84
No. 35	Registro de Datos de Bagazo del 23 de Marzo del 2000	85
No. 36	Registro de Datos de Bagazo del 24 de Marzo del 2000	86
No. 37	Registro de Datos de Bagazo del 25 de Marzo del 2000	87

No. Tabla	Contenido	Página
No. 38	Registro de Datos de Bagazo del 26 de Marzo del 2000	88
No. 39	Registro de Datos de Bagazo del 27 de Marzo del 2000	89
No. 40	Registro de Datos de Bagazo del 28 de Marzo del 2000	90
No. 41	Registro de Datos del Bagazo del 30 de Marzo del 2000	91
No. 42	Registro de Datos del Bagazo del 01 de Abril del 2000	92
No. 43	Registro de Datos del Bagazo del 03 de Abril del 2000	93
No. 44	Registro de Datos del Bagazo del 05 de Abril del 2000	94
No. 45	Registro de Datos del Bagazo del 06 de Abril del 2000	95
No. 46	Temperaturas del Bagazo antes y después de salir del secador	96
No. 47	Determinación de la mejora de eficiencia de la combustión en la caldera por reducción de humedad	96
No. 48	Determinación del aumento de la cantidad de vapor producido por la caldera	100
No. 49	Calor sensible y latente del vapor seco saturado	108
No. 50	Estudio Económico de la inversión del secador y las ganancias que se obtienen usando bagazo seco	118
No. 51	Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 01/03/00	126
No. 52	Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 02/03/00	127
No. 53	Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 05/03/00	128

<b>No. Tabla</b>	<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
No. 54	Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 06/03/00	129
No. 55	Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 09/03/00	130
No. 56	Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 10/03/00	131
No. 57	Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 13/03/00	132
No. 58	Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 14/03/00	133
No. 59	Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 17/03/00	134
No. 60	Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 20/03/00	135
No. 61	Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 23/03/00	136
No. 62	Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 24/03/00	137
No. 63	Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 25/03/00	138
No. 64	Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 26/03/00	139
No. 65	Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 27/03/00	140
No. 66	Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 28/03/00	141
No. 67	Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 30/03/00	142
No. 68	Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 01/04/00	143
No. 69	Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 03/04/00	144
No. 70	Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 05/04/00	145
No. 71	Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 06/04/00	146

<b>No. Tabla</b>	<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
No. 72	Promedio de la Cantidad de Agua extraída por el secador por día	147
No. 73	Incertidumbre de las variables medidas	148
No. 74	Toneladas de bagazo seco encontradas para el 01 de Marzo del 2000	149
No. 75	Análisis de Error de Datos Originales y Datos Calculados	151
No. 76	Análisis de Error del Promedio Total de los promedios de los Datos Originales y Calculados	154

## INDICE DE GRAFICAS

No. Gráfica	Contenido	Página
No. 1	Relación entre los niveles de oxígeno en los gases de chimenea y el aire en exceso para diferentes combustibles	46
No. 2	Temperatura del gas de chimenea vrs. Eficiencia GCV de la quema de bagazo	49
No. 3	Porcentaje de pérdidas de acuerdo a humedad, hidrógeno, gases secos y humedad del aire	98
No. 4	Determinación del porcentaje de CO <sub>2</sub> de acuerdo al porcentaje de exceso de oxígeno	99

## INDICE DE FIGURAS

No. Tabla	Contenido	Página
No. 1	Pila de bagazo al aire libre	09
No. 2	Caldera acuotubular típica alimentada con bagazo de una industria azucarera	41
No. 3	Efectividad relativa de los componentes superficiales del calor	51
No. 4	Bosquejo del Proyecto	103
No. 5	Diseño del Ciclón	116

## RESUMEN

La realización de este proyecto a pequeña escala industrial pretende demostrar la importancia que tiene el secado de bagazo para la cogeneración de energía en la industria azucarera.

La importancia de la cogeneración ha aumentado hoy en día como consecuencia de la preocupación actual que existe por la conservación del medio ambiente, y de la mayor atención que los productores industriales le han puesto a la optimización del consumo de energía en las fábricas azucareras con la intención de asegurar tanta energía como sea posible para exportar a las redes nacionales.

La optimización comienza en el horno, donde es deseable optimizar la conversión del bagazo crudo, producido en los molinos, en vapor de alta calidad. Para lograrlo se sugiere primero secar el bagazo, reduciendo así la humedad presente.

Se presenta el diseño de un sistema de secado, donde se aprovecha el calor específico de los gases de chimenea, al hacerlos pasar por una tubería en la que se alimenta el bagazo húmedo, y durante el transporte neumático se produce una transferencia de masa y de calor, que provoca la reducción de la humedad presente en el bagazo. Esta reducción de la humedad del bagazo, mejora la eficiencia de la combustión que se lleva a cabo en la caldera, pues se disminuye la cantidad de calor que se le debe proporcionar a la caldera, como resultado de que habrá menos agua que calentar y evaporar.

Una vez terminado el trayecto de secado, pasan a ciclones que separan el gas del bagazo. Este bagazo es posteriormente alimentado a las calderas, donde servirá de combustible, para generar vapor de alta calidad. La generación de mayor cantidad de vapor por tonelada de caña, como resultado de una combustión más eficiente en caldera, aumenta entonces la eficiencia de la producción de los kilovatios de energía por tonelada de caña.

El diseño se proyectó para una alimentación de 5.56 kg/s (20 ton/h) de bagazo con 53 % de humedad, y se planteó una salida de bagazo al 40% de humedad. De acuerdo a esa base, se realizaron los cálculos de diseño y el volumen necesario de gases. Para ello se realizó un balance de masa y energía, que proporcionó los datos buscados.

A la par del diseño se analizaron las mejoras de eficiencia que produce el trabajar con bagazo al 40%, comparándolo con bagazo al 53%.

El sistema de secado instalado en el Ingenio Monte Rosa, ubicado en Chinandega, Nicaragua, consistió de un ventilador, la tubería para el transporte neumático, dos ciclones y válvulas rotativas.

La inversión de este sistema de secado puede recuperarse en cinco meses de zafra, lo cual demuestra la factibilidad del proyecto y además aumenta los ingresos del ingenio como consecuencia de la venta de energía a redes nacionales y le permite ahorrarse la compra de combustible auxiliar.

Una vez instalado el proyecto se realizaron las pruebas de secado, al tomar medidas de temperatura de los gases de chimenea de entrada y salida del secador, presión de los gases, y humedades de entrada y salida.

Los cálculos demostraron que el secador redujo la humedad del bagazo al 35%, resultado que se debió a un menor ingreso de bagazo, por problemas de alimentación en la válvula rotativa de alimentación. Esto provocó que el volumen de los gases de chimenea necesarios estuvieran sobredimensionados, ya que habían sido diseñados para 5.56 kg/s (20 ton/h) , cuando solamente pasaron 2.78 kg/s (10 ton/h) por la tubería.

Los cálculos ofrecidos en los anexos fueron presentados en unidades inglesas, para ser consistentes con las unidades con que operan actualmente los ingenios, de tal forma que este estudio pueda ser de utilidad para los ingenios azucareros de Guatemala.

Antes de aplicar este proyecto a una escala mayor, se recomendó cambiar la forma de alimentación del bagazo, aislar la tubería del transporte neumático y colocar una válvula de vapor en la entrada del secador. Estas recomendaciones mejorarían la operación del secador diseñado, que sí cumplió con el objetivo buscado: reducir la humedad del bagazo para mejorar la eficiencia de combustión en caldera.

;

## I. INTRODUCCION

El término biomasa comprende un gran rango de material que puede ser usado como fuente de energía química. Por definición, biomasa es cualquier material celuloso que contiene materia orgánica, que se encuentra disponible para ser convertido a energía. Esto incluye residuos forestales, desechos (como bagazo), desechos animales, desechos municipales, papeles no reciclables, etc. Todos pueden usarse como fuentes de combustible para generar vapor para un proceso y para la producción de energía eléctrica. Los combustibles de biomasa comprenden 15% de la energía consumida en el mundo.

El proceso básico para quemar biomasa requiere de la evaporación de humedad, la destilación y combustión de los componentes volátiles y la combustión del material carbónico.

El uso de biomasa como un combustible comenzó miles de años atrás. El primer uso fue la madera, y aún continúa siendo uno de los combustibles más comunes en estufas de leña y en sistemas de ebullición para la producción de vapor. Varias industrias han utilizado madera, bagazo y otras biomasa como combustibles en generadores de vapor por varios años. Muchos de estos combustibles fueron considerados combustibles de desecho, que eran difíciles de quemar eficientemente debido a su alto contenido de humedad. Debido a la dificultad en quemarlos en comparación con los combustibles fósiles, se puso mayor énfasis en la incineración que en una combustión eficiente.

Sin embargo a partir de los años setentas la biomasa ha adquirido mayor valor y esto se debe a la preocupación ambiental que existe y al aumento de costo de los combustibles fósiles. Las ventajas que existen en utilizar la biomasa como un combustible son:

- a) Costo mínimo, al depender de la disponibilidad y el costo de transporte
- b) Es un recurso reutilizable
- c) La combustión de biomasa minimiza las emisiones de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  y  $\text{NO}_x$ .
- d) Reduce el uso de rellenos sanitarios.

Las desventajas del uso de la biomasa son:

- a) Alto contenido de humedad, que resultan en una baja eficiencia de combustión
- b) La distribución en el tamaño de la partícula es bastante amplia, lo cual incrementa la dificultad de recibir, manejar, procesar, combustión y almacenamiento.
- c) La ceniza puede contener sales de sodio y potasio que reducen la temperatura de fusión, resultando en el horno costras. (5)

Este tipo de combustibles ha adquirido mayor valor y uso, lo que ha forzado a los consumidores industriales a poner mayor énfasis en una combustión eficiente para una generación de vapor y producción de potencia eléctrica.

La industria azucarera ha quemado bagazo en sus calderas por muchos años, como un medio económico de disponer el desecho de los ingenios. En los tiempos actuales se pone mucha más atención a la optimización del consumo de energía en las fábricas azucareras con la intención de asegurar tanta energía como sea posible para exportar a las redes nacionales, pero todo comienza en el horno donde es deseable optimizar la conversión del bagazo crudo que sale de los molinos, en vapor de alta calidad.

El funcionamiento del horno es una función multivariable de la humedad del bagazo, razón de exceso de aire, razón de vapor a bagazo y condiciones del vapor vivo. Es por ello que con este estudio se busca obtener a pequeña escala industrial, disminuir la humedad del bagazo que permite la eficiencia óptima de la combustión en la caldera, mediante el uso de un secador a diseñar, con el fin de producir mayor cantidad de vapor y por ende aumentar la generación de potencia para exportar.

Este proyecto se llevará a cabo en el Ingenio Monte Rosa ubicado en Chinandega, Nicaragua, con personal profesional guatemalteco.

## II. ANTECEDENTES

### *A. Composición del combustible de biomasa*

Las características químicas y físicas de la biomasa deben ser conocidas en detalle antes de comenzar el diseño del manejo del combustible, combustión, manejo de ceniza y control del equipo ambiental. Aunque los análisis de laboratorio indican que la mayoría de especies de leña, poseen aproximadamente la misma composición química en base seca, el contenido de humedad puede extenderse en un amplio rango. Otras características, como valor calorífico, tamaño de partícula y otras características y propiedades del combustible influyen en el diseño del equipo de la planta.

Los combustibles de biomasa, el bagazo en particular, están compuestos primariamente de fibra celulosa y humedad. El bagazo contiene generalmente, un 50% de humedad y tiene un gran contenido de calor al ser quemado como 8,373.6 – 9,769.2 kJ/kg (3,600-4,200 Btu/lb). El alto porcentaje de humedad es significativo debido a que actúa como un absorbedor de calor durante el proceso de combustión.

Esto reduce la temperatura de llama y contribuye a la dificultad de la eficiencia. (5)

#### *Análisis Químico:*

Los elementos básicos de la fibra celulosa son carbón, oxígeno, nitrógeno e hidrógeno, con un pequeño contenido de ceniza. La ceniza es considerada como la combinación de compuestos sólidos o de elementos presentes en el combustible que no se quemarán. El carbono y el hidrógeno son combustibles y se quemarán en presencia del oxígeno que se encuentra en el aire circundante. El oxígeno contenido en el combustible contribuirá al requerido para la combustión. Los porcentajes de carbón, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y ceniza variarán dependiendo de la especie de madera. (5)

Un análisis próximo es aquel que revisa el contenido de humedad, ceniza, materia volátil, y carbón fijo. Otros constituyentes como azufre y fósforo no se incluyen, y no son significantes. Las principales características son expresadas en términos de la

composición química exacta sin referirse a la forma física en la que aparecen los compuestos.

Un análisis último, es la determinación del carbón y del hidrógeno en el material, tal como se encuentran en los productos gaseosos de la combustión completa, además de la determinación de azufre, nitrógeno y ceniza, como un solo material, y el cálculo de oxígeno como una diferencia.

Para los propósitos de especificación y diseño del equipo de combustión, se utiliza generalmente el análisis último. Este usualmente contiene el porcentaje por peso de carbón, hidrógeno, azufre, nitrógeno, oxígeno y ceniza. Es recomendable incluir también el contenido de cloro, debido a su impacto potencial en el incrustamiento del supercalentador y para la determinación del punto de rocío. (5)

El calor liberado por una combustión rápida y completa de un combustible por unidad de volumen se conoce como su valor calorífico. Para los combustibles sólidos esto generalmente se expresa en Btu o kcal. Un Btu es definido como la cantidad de calor requerido para aumentar la temperatura de una libra de agua en un grado Fahrenheit.

Para los combustibles que contienen hidrógeno, existen altos y bajos valores de calentamiento. La razón es que la combustión de hidrógeno, produce vapor de agua sobrecalentado, que escapa a la temperatura de los gases de chimenea.

El valor calorífico más bajo es el calor neto liberado por libra de combustible, luego de que el combustible necesario para vaporizar y sobrecalentar el vapor formado del hidrógeno ha sido deducido.

El alto valor calorífico asume que todo el vapor de agua formado durante la combustión ha sido condensado, mientras que el bajo valor calorífico, asume que todos los productos de combustión se encuentran en estado gaseoso. (5)

El valor calorífico de los combustibles juega un papel básico en la compra de los combustibles como unidades de energía que pueden ser adquiridas.

El bagazo tiene una capacidad calorífica promedio, libre de humedad (base seca) de 19,073.2 kJ/kg (8200 Btu/lb).

En comparación, la madera de variadas especies, tiene aproximadamente un valor calorífico libre de humedad y de resina, de 19,305.800 kJ/kg (8300 Btu/lb). Debido a que la resina tiene un valor calorífico más alto que la fibra celulosa (como 39,309.87 kJ/kg o 16,900 Btu/lb), la resina juntamente con la madera posee un valor calorífico de 20,934 kJ/kg (9000 Btu/lb). (5)

El contenido de humedad en el combustible de biomasa, influye en el diseño del equipo de combustión, generador de vapor y equipo auxiliar. Toda la humedad que entra en el hogar con el combustible debe evaporarse y el vapor resultante debe elevarse a la temperatura del hogar antes de que la combustión del combustible comience. Para poder evaporar esta agua y calentar el vapor, se debe utilizar calor del proceso de combustión. Si el contenido de humedad excede el 65%, la temperatura de llama se vuelve inestable hasta un punto en que es difícil mantener la temperatura de ignición.

Muchas fábricas deben quemar combustibles fósiles en combinación con biomasa húmeda para poder proveer una operación estable de la caldera. Este método de operación puede ser muy caro, de acuerdo al costo de los combustibles fósiles.

Para determinar el contenido de humedad en el combustible de biomasa, éste debe primero ser pesado y luego secado en un horno a 378°K (105°C) a un peso constante. La diferencia entre el peso antes del secado y luego del secado, iguala el peso del agua. Existen dos métodos para expresar el contenido de humedad de la biomasa, que se conocen como base húmeda y base seca.

Para calcular el contenido de humedad en base húmeda, el peso del agua es dividido por el peso de la madera antes de secarse, expresado como porcentaje.

Para calcular el contenido de humedad en base seca, el peso del agua es dividido por el peso de la muestra de biomasa ya secada, expresada de nuevo como porcentaje.

Es más usual calcular el contenido de humedad del combustible de biomasa en base húmeda. (5)

La ceniza es el material no combustible que permanece luego de que el combustible ha sido quemado completamente. En este sentido el término ceniza es diferente al residuo que se toma de los hogares o de los silos colectores, que algunas veces contienen carbono no quemado. El contenido de ceniza en los combustibles de biomasa es menor que en los fósiles, como carbón.

La cantidad de ceniza adicional que pueda encontrarse en los combustibles de biomasa, depende de la siembra, de la recolección, del método de transporte, de los métodos para manejarlos y otros factores.

La ceniza de biomasa es generalmente alta en óxido de calcio, óxido de sodio y óxido de potasio, comparada con la ceniza de carbón.

La utilización efectiva de combustibles de biomasa para la generación de vapor y potencia depende de la capacidad del equipo de combustión para acomodar el material inerte de ceniza. La ceniza diluye el valor calorífico del combustible, y además pone una barrera más para el almacenamiento, manejo del combustible y preparación del equipo.

(5)

El tamaño de la partícula de biomasa, especialmente bagazo, puede ser tan pequeño como 1/8 de pulgada. El tamaño de la partícula y la forma también afecta el contenido de energía total de cualquier combustible. Es importante que la distribución del tamaño de partícula para biomasa procesada o no procesada sea compatible con el equipo que maneja, procesa y descarga la biomasa.

El bagazo algunas veces se quema conjuntamente con otros combustibles fósiles o biomásicos, cuando su contenido de humedad es muy alto. Esto se hace para estabilizar la combustión. Sin embargo algunas combinaciones pueden crear problemas adicionales.

El bagazo ha sido quemado con éxito en los últimos años. Sin embargo su combustión requiere de la evaporación considerable de humedad, de la destilación y combustión de los componentes volátiles y finalmente la combustión de los materiales carbónicos. (5)

El bagazo final, o simplemente el bagazo, es el material sólido, fibroso, que sale de la abertura trasera del último de los molinos de la batería, después de que se le ha extraído el jugo. En otras palabras es el residuo de la molienda de la caña. (2)

### ***B. Composición Física del bagazo***

Aunque existen diversas plantas de molienda y máquinas empleadas para ella, la composición física del bagazo varía entre límites bastante estrechos. Su propiedad más importante, desde el punto de vista de la producción del vapor es su humedad. Cuando el trabajo de los molinos es deficiente, el contenido de humedad del bagazo será de aproximadamente el 55%, mientras que con un buen trabajo su contenido puede ser del 48%. (2)

“De acuerdo con Hugot (1986), los valores más frecuentes son

$$w = 50-55\% ”$$

donde  $w$  se refiere a la humedad en el bagazo.

Se recomienda que el valor estándar que puede usarse sin aportar un error apreciable es de  $w = 50\%$ . (2)

Además del agua el bagazo contiene: (a) material insoluble, principalmente celulosa, y que constituye la fibra del bagazo, (b) sustancias en solución en el agua (evidentemente agua del jugo) consistente en azúcar e impurezas.

Estas sustancias disueltas se presentan en pequeñas cantidades que van del 2 al 4%. Si su proporción en peso se designa D%, y w como humedad, la fibra será:

$$F = 100 - w - D = 45 \text{ a } 52\%, \text{ (Ecuación \# 1)}$$

siendo un valor frecuente  $F = 45 \%$

$$F = \text{fibra } \% \text{ bagazo} \quad (2)$$

### C. Cantidad de bagazo

Los valores extremos del contenido medio de fibra en la caña se encuentran entre  $f = 10$  y  $f = 16\%$ ; pero generalmente caen entre el 12 y el 15%.

La cantidad B de bagazo que se obtiene de 100 partes de caña puede calcularse igualando el peso de la fibra que entra a los molinos con el peso que sale:

$$100f = B * F \text{ (Ecuación \# 2)}$$

$$\text{de donde } B = 100 f/F \quad (2)$$

La cantidad de bagazo varía entre el 24 y el 30% del peso de la caña, aproximadamente  $\frac{1}{4}$ .

De esta forma puede calcularse que la cantidad de bagazo que puede esperarse de una tonelada de caña es de aproximadamente 275 kg (616 lb).

“De acuerdo con Hugot (1986), el peso específico aparente del bagazo amontonado es:

160 a 240  $\text{g/dm}^3$  (160.2 – 240.3  $\text{kg/m}^3$ ) cuando se apila

80 a 120  $\text{g/dm}^3$  (80.1-120.14  $\text{kg/m}^3$ ) cuando se deja suelto.” (2)

Este peso depende principalmente de su humedad, siendo el bagazo más ligero cuando contiene menos agua.

“De acuerdo con Hugot (1986), si la humedad es de  $w = 48\%$ , el peso específico será:

$d = 200 \text{ g/dm}^3$  (200.23  $\text{kg/m}^3$ ) para el bagazo apilado

$d = 120 \text{ g/dm}^3$  (120.14  $\text{kg/m}^3$ ) para el bagazo suelto.” (2)

Se puede tomar una densidad de 160-170  $\text{g/dm}^3$  (160.2-176.2  $\text{kg/m}^3$ ) para el bagazo suelto que va contenido en un camión a una altura de 5 a 7 ft. La densidad del bagazo amontonado en un transportador de faja puede ser de 130  $\text{kg/dm}^3$  (128.15  $\text{kg/m}^3$ ).

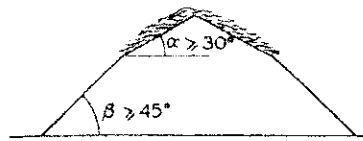
(2)

#### **D. Almacenamiento del bagazo**

La densidad aparente del bagazo hace de éste un material muy voluminoso. Es por ello que el almacenamiento del bagazo que sobra, presenta serios problemas. Solamente en localidades muy secas, el bagazo puede dejarse a la temperatura intemperie. En caso contrario puede fermentarse, descomponerse y perder gran parte de su valor como combustible.

Se conserva en forma de un montón cónico o piramidal cuya inclinación en la parte superior forme un ángulo con la horizontal  $30^\circ$  y cuya parte superior se compone de hojas de caña traslapadas como tejas y colocadas longitudinalmente en la dirección de la pendiente, tal como los techos de las chozas de palma. (2)

Figura #1 Pila de bagazo al aire libre



(2)

Es conveniente almacenarlo bajo techo. El ángulo de reposo es variable pero generalmente se encuentra entre  $45^\circ$  y  $50^\circ$ .

De manera que el bagazo almacenado reduzca su volumen, éste debe comprimirse.

(2)

#### **E. Usos del Bagazo**

Además de su uso como combustible, el exceso de bagazo puede ser útil como:

- (a) Materia prima para la manufactura de planchas aislantes, no combustible, para la construcción.
- (b) Materia prima para la fabricación de pulpa de papel.
- (c) Materia prima para la manufactura de diversos solventes que se emplean en la industria.

(2)

**F. Composición Química del Bagazo:**

La composición química del bagazo seco, varía un poco, de acuerdo con diferentes autores:

Tabla # 1 Composición Química del Bagazo

Elemento	Deerr (Pág.455)	Tromp (ISJ, 1938 pp.175)	Kelly (FAS, 1938 pp.61)	M.R. (ISJ, 1939, pp.69)	Davies (ISJ,1947 pp.103)	Gregory (FAS, Dic.1944, pp.26)
Carbon C	46.5	44	48.2	47.5	47.9	49 48.1
Hidrógeno H	6.5	6	6	6.1	6.7	7.4 6.1
Oxígeno O	46	48	43.1	44.4	45.4	41.8 43.3
Cenizas, ε	1	2	2.7	2	-	1.8 2.5
	100	100	100	100	100	100 100

(Hugot,1986)

M.R. = promedio de los resultados de Kersten, Prinsen Geerligs, Bolk, Kreke and Spencer

Como se pudo ver en la tabla anterior la variación entre las cifras anteriores no es muy grande y es posible basar los cálculos en los siguientes valores medios:

$$C = 47 \%$$

$$H = 6.5 \%$$

$$O = 44 \%$$

$$\varepsilon = 2.5 \%$$

(Ecuación # 3)

(2)

**G. Valor calorífico del bagazo:**

El valor calorífico es la cantidad de calor que puede producirse por la combustión de la unidad de peso del combustible en consideración.

Se distinguen dos valores caloríficos diferentes:

- (a) *El valor calorífico superior*, es el que produce la combustión de un kilogramo de combustible, a 273.15°K y a 101.325 kPa de presión ( 0°C y 760 mm Hg); todos los productos de la combustión se reducen a las mismas condiciones. El agua presente en el combustible, así como el agua formada por la combustión del hidrógeno presente se condensa en consecuencia. El valor calorífico superior, se determina fácilmente en el laboratorio, con la ayuda de un calorímetro Mahler.(2)

(b) *El valor calorífico inferior*, o valor calorífico neto, en este caso el agua que se forma en la combustión, así como el agua presente en el combustible, permanece en estado de vapor. El valor calorífico superior indica el calor que puede obtenerse teóricamente del combustible; sin embargo, en la práctica industrial, no es posible reducir la temperatura de los productos de la combustión hasta el punto de rocío, es el valor calorífico neto el que da la indicación más precisa del calor que puede obtenerse realmente. Es entonces este valor el que debe usarse en la práctica. Sin embargo, ya que no puede medirse es necesario calcularlo. En este cálculo existe cierta contradicción, ya que los gases de combustión deben reducirse a 273.15°K y 101.325 kPa, mientras que el agua no debe condensarse. Por convención, se opera sustrayendo del valor calorífico superior, tantas veces 2,512 kJ (600 kcal), como kilogramos de hidrógeno hay en 1 kg de combustible. En esta forma se supone que, en el valor calorífico superior, la condensación toma lugar en las cercanías de 283.15°K (10 °C) a medida que se enfría a 273.15°K (0°C).

Es además fácil de verificar, por el calor latente y los calores específicos del vapor y el agua que, la temperatura a la cual la condensación ( y en sentido inverso la evaporación), tienen lugar, no tiene gran influencia en el calor total liberado.

Por este motivo se adopta una temperatura cercana a 273.15°K, para facilitar los cálculos y ocuparse más del agua en estado líquido.

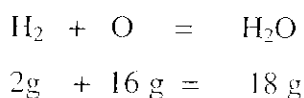
(2)

Entonces el valor calorífico neto de un combustible está dado por la siguiente fórmula:

$$\text{V.C.N.} = \text{V.C.S.} - 600 E \quad (\text{Ecuación 4})$$

E = peso del vapor de agua presente en los gases producidos por la combustión de 1 kg de combustible, expresado en kilogramos.

Por otro lado, la combustión del hidrógeno toma lugar de acuerdo con la reacción:



De esto se puede ver que el peso del agua formada es entonces igual a 9 veces el peso del hidrógeno. Así se tiene, para un combustible seco:  $E = 9H$ , donde H es el peso del hidrógeno contenido en 1 kg de combustible.

De donde:

$$V.C.N. = V.C.S. - 5\,400\,H \text{ (Ecuación 5)}$$

Esta ecuación se aplica únicamente al combustible seco. Para el combustible húmedo es necesario tomar en cuenta el agua originalmente presente, a la que se suma el agua formada por la combustión. (2)

### 1. Valor calorífico superior del bagazo seco

A pesar de las diferencias que en apariencia tienen las diversas variedades de caña, el valor calorífico superior del bagazo seco es notablemente constante en todos los países y en todas las variedades de caña. (1)

La siguiente tabla da diversos valores seleccionados al azar.

Tabla # 2 Valor calorífico superior del bagazo seco:

Autor	País	Referencia	V.C.S del kJ/kg	bagazo seco B.Th.U./lb
Behne	Queensland	ISJ, (1935) pp. 160	19,019.7	8,177
Hedley	Sudáfrica	I S J, (1936) pp.349	19,196.5	8,253
?	Hawaii	ISJ, (1946) pp.126	19,352.3	8,320
Gregory	Cuba	F A S, (Dic. 1944)pp.26	19,640.7	8,444
Gregory	Puerto Rico	F A S, (Dic. 1944) pp.26	19,236.02	8,270
Gregory	S.Africa		19,677.96	8,460
	Promedio		19,352.3	8,320

(Hugot, 1986 )

Puede verse en la tabla anterior que no se cometerá un error de más del 2% dándole un valor al calor superior del bagazo seco de:

$$V.C.S. = 8,280\,BTU/lb = 19,259.3\,kJ/kg \quad (2)$$

### 2. Valor calorífico neto del bagazo seco

Como se vió en la tabla de composición química del bagazo seco, éste contiene del 6 al 7% de hidrógeno y se ha tomado como promedio el 6.5%.

La ecuación 5 proporciona el siguiente resultado (en BTU/lb):

$$V.C.N. = V.C.S. - (0.065 \times 9\,720) = 8\,280 - 630 = 7\,650 \text{ BTU/lb} = 17,793.9 \text{ kJ/kg}$$

(Ecuación 6) (1)

### 3. Valor calorífico del bagazo húmedo:

Ya que se conoce el valor calorífico del bagazo seco, se procederá a calcular el valor calorífico del bagazo húmedo, que es el que se usa en la práctica.

### Cálculos Teóricos

Estos pueden basarse, en primer lugar, en la composición centesimal del bagazo húmedo, que está dado en la siguiente tabla:

Tabla #3 Valor calorífico de los componentes del bagazo

Componente	%	V. C.	
		kcal/kg	BTU/lb
Fibra	F	4,600	8,280
Azúcar	s	3,955 ( $\cong$ 4,000)	7,120
Impurezas	i	4,100	7,380
Agua	w	0	0

(1)

El agua no solamente tiene valor calorífico nulo sino que absorbe el calor al evaporarse durante la combustión (V.C.N.)

$$V.C.S. = 4,600 \frac{F}{100} + 3,955 \frac{s}{100} + 4,100 \frac{i}{100}$$

$$V.C.N. = 4,600 \frac{F}{100} + 3,955 \frac{s}{100} + 4,100 \frac{i}{100} - 350 \frac{100-w}{100} - 600 \frac{w}{100}$$

(Ecuación 7)

O

$$V.C.S. = 46f' + 39.55s + 41i \quad (\text{kcal/kg}) \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$V.C.N. = 46f' + 39.55s + 41i - 2.5w - 350 \quad (\text{kcal/kg})$$

(1)

Debido a que el valor calorífico del azúcar y las impurezas difiere poco, no se entraría en un gran error si se toma el valor promedio de estos dos valores caloríficos. Para simplificar el cálculo, se expresará en términos de azúcar.

Entonces se tiene:  $f' = 100 - s - i - w$

La pureza del jugo residual es generalmente del orden de 75. Si se adopta este valor se

$$\text{tiene que: } i = \frac{35}{75}s = 0.5s$$

Por lo tanto:

<i>Unidades Británicas</i>	<i>Unidades Métricas</i>	
$V.C.S = 8,280 - 49.3s - 82.8w$	$V.C.S = 4,600 - 9s - 46w$	(Ecuación 9)
$V.C.N = 7,650 - 49.3s - 87.3w$	$V.C.N = 4,250 - 9s - 48.5w$	
s = sucrosa % bagazo		
w = humedad % bagazo		
(2)		

Fórmulas análogas se han utilizado, que difieren un poco de éstas.

En particular en la India:

$$V.C.N. = 4,600 - 8s - 53w \quad (8,280 - 14.4s - 95.4w) \quad (\text{Ecuación 10})$$

En Java, la fórmula de von Pritzelwitz van der Horst fue utilizada:

$$\begin{aligned} V.C.S &= 4,550 - 10s - 45w && (8,190 - 18s - 81w) \\ V.C.N &= 4,250 - 10s - 48w && (7,650 - 18s - 86.4w) \quad (\text{Ecuación 11}) \end{aligned}$$

En Mauritius:

$$V.C.N. = 4,150 - 7.5s - 47.5w \quad (7,470 - 13.5s - 85.5w) \quad (\text{Ecuación 12})$$

En Queensland Hesse da:

$$\begin{aligned} V.C.S. &= 4,636 - 12.3s - 46.36w && (8,345 - 22s - 83.45w) \\ V.C.N. &= 4,324 - 12.3s - 49.04w && (7,783 - 22s - 88.27w) \quad (\text{Ecuación 13}) \end{aligned}$$

En Sur de África se utiliza:

$$V.C.N. = 18,309 - 31.14B - 207.63w - 196.09c \quad \text{kJ/kg} \quad (\text{Ecuación 14})$$

Donde B = Brix % bagazo

c = ceniza % bagazo

(2)

Si se expresa  $s$  y  $w$  no como un porcentaje sino como unidad de bagazo, se tendrá entonces:

$$V.C.S. = 4,600(1-w) - 900s \quad (8,280(1-w) - 4,930s) \quad (\text{Ecuación 15})$$

$$V.C.N. = 4,250 - 4,850w - 900 \quad (7,650 - 8,730w - 4,930s) \quad (\text{Ecuación 16})$$

(2)

En estas ecuaciones ya se han tomado en cuenta las siguientes pérdidas caloríficas, desde el punto de vista de la producción de vapor en la fábrica:

(a) Calor latente de vaporización del agua formada por la combustión del hidrógeno contenido en el bagazo, que se pierde en los gases de chimenea con el vapor de esta agua, si no se condensa.

(b) Calor latente de vaporización del agua contenida en el bagazo, que de la misma manera se pierde en los gases de la chimenea. (2)

Deben tomarse en cuenta las siguientes pérdidas únicamente:

(a) Pérdida de calor sensible de los gases que van a la chimenea

(b) Pérdidas por radiación

(c) Pérdidas en sólidos no quemados

(d) Pérdidas por la combustión incompleta del carbón que produce CO en lugar de CO<sub>2</sub>.

(2)

#### **H. Combustión del Bagazo:**

La explicación de esta sección se limitará solamente a unidades métricas, con los siguientes comentarios:

(a) Todos los valores dados como kg/kg son iguales a lb/lb

(b) Se cambian solamente los volúmenes y  $1\text{m}^3/\text{kg} = 16.02\text{ft}^3/\text{lb}$

(c) Se subrayarán los números de tablas y fórmulas que son idénticos en ambos sistemas.

(1)

*Composición del aire:*

La composición del aire seco es la siguiente:

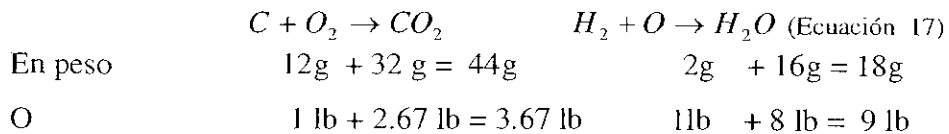
Tabla# 4 Composición del aire seco

	% peso	% volumen
Oxígeno	23.15	20.84
Nitrógeno e inertes	76.85	79.16

(1)

*1. Reacciones de la Combustión*

Los elementos combustibles del bagazo son el carbono y el hidrógeno. Cuando se queman dan:



*2. Propiedades de los productos gaseosos de la combustión:*

La siguiente tabla da los principales componentes de los gases de la chimenea junto con sus propiedades principales.

Tabla # 5 Propiedades de los componentes de los gases de la chimenea

	Peso Molecular	Constante R		Densidad		Volumen Específico	
		(kg/m <sup>2</sup> y m <sup>3</sup> /kg)	(p.s.i. y ft <sup>3</sup> /lb)	a 0°C y 760 mm (kg/m <sup>3</sup> )	(lb/ft <sup>3</sup> )	a 0°C y 760 mm (m <sup>3</sup> /kg)	(ft <sup>3</sup> /lb)
CO <sub>2</sub>	44	19.27	0.2434	1.977	0.1234	0.506	8.10
H <sub>2</sub> O	18	47.06	0.5944	0.804	0.0502	1.244	19.92
N <sub>2</sub> (atmosférico)	28	30.26	0.3822	1.256	0.0784	0.796	12.75
O <sub>2</sub>	32	26.50	0.3347	1.429	0.0892	0.700	11.21
CO	28	30.29	0.3826	1.250	0.0780	0.800	12.81
Aire	29	29.27	0.3697	1.293	0.0807	0.773	12.39

(2)

*3. Combustión del bagazo seco sin exceso de aire*

La composición del bagazo ( ecuación 5) y las proporciones dadas por las reacciones (ecuación 17 ) permiten calcular la cantidad de oxígeno necesaria para la combustión:

(a) Oxígeno. Para quemar 1 kg de bagazo seco se necesita:

$$\begin{array}{rcl}
 \text{C} & 0.470 \text{ kg} \times 2.67 & = 1.253 \text{ kg O}_2 = 0.877 \text{ m}^3 \text{ de oxígeno} \\
 \text{H}_2 & 0.065 \text{ kg} \times 8 & = 0.520 \text{ kg O}_2 = 0.364 \text{ m}^3 \text{ de oxígeno} \\
 \text{en total} & & 1.773 \text{ kg O}_2 = 1.241 \text{ m}^3 \text{ de oxígeno} \\
 \text{como el bagazo contiene} & & 0.440 \text{ kg O}_2 = 0.308 \text{ m}^3 \text{ de oxígeno} \\
 \text{El aire debe proporcionar} & & 1.333 \text{ kg O}_2 = 0.933 \text{ m}^3 \text{ de oxígeno}
 \end{array}$$

(c) Nitrógeno

$$\text{El oxígeno arrastra con el: } 1.333 \times \frac{76.85}{23.15} = 4.425 \text{ kg N}_2 = 3.522 \text{ m}^3 \text{ Nitrógeno}$$

Por lo tanto el peso total de aire necesario es : 5.758 kg aire = 4.455 m<sup>3</sup> de aire; todos los volúmenes de oxígeno, nitrógeno y aire están calculados a 0°C y 760 mm.

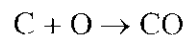
Nótese que la cantidad de agua que se forma es:

$$0.065 + 0.520 = 0.585 \text{ kg agua} = 0.728 \text{ m}^3 \text{ de agua de vapor}$$

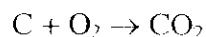
(2)

#### 4. Combustión del bagazo húmedo con exceso de aire

En la práctica no es posible quemar combustible proporcionándole sólo la cantidad de aire teóricamente necesaria: la combustión sería, en esta forma, pobre e incompleta. Para obtener una combustión completa, sin dejar material no quemado y para que todo el carbono se convierta en CO<sub>2</sub> es necesario proporcionar cierto exceso de aire. En efecto, se perderá una proporción considerable de calor, si se permite que parte del carbono se queme al formar únicamente CO. La reacción:



Libera únicamente 2 415 kcal (10,111 kJ) por kg de carbono, mientras que la combustión normal:



Libera 8 000 kcal/kg (33,494.4 kJ).

(2)

Puede escribirse entonces:

Humedad de bagazo con relación a la unidad	w
Relación del peso de aire empleado al peso de aire estrictamente necesario	m
	(2)

Y se debe designar por:

$P_a$  = peso y  $V_a$  = volumen de aire empleado por kg de bagazo

$P_g$  = peso y  $V_g$  = volumen de los productos gaseosos de la combustión

$P_{gs}$  = peso y  $V_{gs}$  = volumen de los gases (supuestos secos)

Todos estos volúmenes están reducidos a 0°C/760 mm.

(a)  $P_a$ . Se tiene que:  $P_a = 5.76(1-w)m$  (Ecuación 18)

(b)  $P_g$ . Y en consecuencia:  $P_g = 5.76(1-w)m + 1$  (Ecuación 19)

Dado que los productos de la combustión constan: (1) de la unidad de peso del combustible cuya combustión se estudia; (2) del aire de la combustión para quemarlo.

(c)  $P_{gs}$ . Esta cantidad se obtendrá al deducir de  $P_g$  el agua que se forma por la combustión del hidrógeno y el agua que se encuentra en el bagazo:

$$P_{gs} = P_g - 0.585(1-w) - w \quad (\text{Ecuación 20})$$

O:

$$P_{gs} = (1-w)(5.75m + 0.415) \quad (\text{Ecuación 21})$$

(d)  $V_a$ . Similarmente, se tiene:

$$V_a = 4.45(1-w)m \quad (\text{Ecuación 22})$$

(e)  $V_g$ . Para calcularlo se debe notar que :

(1) Que se tiene más oxígeno que el necesario para quemar todo el carbono y todo el hidrógeno del bagazo.

(2) Que el volumen de  $CO_2$  es igual al volumen del oxígeno del cual se forma y

(3) Que el volumen de  $H_2O$  es igual al volumen del oxígeno del cual se forma, multiplicado por 2.

(2)

La combustión da entonces, por kg de combustible seco, las cantidades que se muestran en la tabla # 6 , para una cantidad (1 - w) de sustancia seca.

También es necesario agregar el volumen de vapor de agua, originado en el contenido de humedad del bagazo. Se tiene finalmente:

$$V_g = 4.45(1-w)m + 0.672(1-w) + 1.244w \quad (\text{Nm}^3/\text{kg}) \quad (\text{Ecuación 23})$$

O

$$V_g = 4.45(1-w)m + 0.572w + 0.672 \quad (\text{Nm}^3/\text{kg}) \quad (\text{Ecuación 24})$$

Tabla #6 Volumen de los productos gaseosos de la combustión

$V_g =$ volumen de aire introducido		Aire	
+	volumen del oxígeno originado en el bagazo	+	0.308
-	volumen de $O_2$ empleado para formar agua	-	0.364
-	volumen de $O_2$ empleado para formar $CO_2$	-	0.877
+	volumen de agua formada	+	0.728
+	volumen de $CO_2$ formada	+	0.877
Se obtiene como total, el volumen del aire introducido:		+	0.672

(f)  $V_{gs}$  Para obtener esta cantidad es suficiente sustraer de la primera expresión de  $V_g$  (Ecuación 23) el agua contenida,  $1.244w$  y el agua que se forma por la combustión,  $0.728(1-w)$ . Queda entonces:

$$V_{gs} = 4.45(1-w)m + 0.672(1-w) - 0.728(1-w)$$

O (Ecuación 25)

$$V_{gs} = 4.45(1-w)m - 0.056(1-w) \quad (\text{Nm}^3/\text{kg})$$

(2)

Todos los volúmenes dados arriba se calcularon a (273.15 °K y 101.325 kPa) 0°C y 760 mm de mercurio. Para obtener los volúmenes a cualquier temperatura  $t$ , será necesario aplicar la ley de Mariotte,  $p_v = RT$  (en la que  $T = 273 + t$ ). Como  $R$  es un coeficiente y  $p$  es constante (presión atmosférica), se tiene:

$$v_t = v_0 \frac{273+t}{273} \quad (\text{Ecuación # 26})$$

donde  $v_t$  = volumen a temperatura  $t$

$v_0$  = volumen a 0°C.

(2)

### ***I. Composición de los gases***

Se sabe que el peso total de los gases está dado por:

$$P_g = 5.75 (1 - w) m + 1 \quad (\text{Ecuación 27})$$

El peso individual de los gases está dado por:

**(a) Nitrógeno:**

$$N_2 = 1.333 \times \frac{76.85}{23.15} (1 - w)m \quad \text{o} \quad N_2 = 4.43(1 - w)m$$

**(b) Oxígeno**

O <sub>2</sub> derivado del aire	1.333 (1 - w)m
+ O <sub>2</sub> derivado del bagazo	+ 0.440 (1-w)
- O <sub>2</sub> para formar agua	- 0.520 (1-w)
- O <sub>2</sub> para formar CO <sub>2</sub>	- 1.253 (1-w)

es decir:

$$O_2 = 1.33 (1 - w)(m - 1)$$

**(c) Agua, H<sub>2</sub>O:**

Agua formada	0.585 (1 - w)
+ Agua contenida	w

es decir:  $H_2O = 0.585 (1 - w) + w$

**(d) Acido Carbónico, CO<sub>2</sub>:**

$$CO_2 = 0.47 \times 3.67 (1 - w) = 1.72 (1-w)$$

Si se substituye m y w y se divide entre  $P_g$ , puede calcularse fácilmente la proporción por peso de cada uno de los componentes de la combustión.

(2)

***Ejemplo #1:***

Por ejemplo: Si  $w = 0.48$  y  $m = 1.5$ :

$$P_g = (5.76 \times 0.52 \times 1.5) + 1 = 5.49 \text{ kg}$$

Y

N <sub>2</sub>	$4.42 \times 0.52 \times 1.5 =$	3.455 kg	o	63.1%
O <sub>2</sub>	$1.33 \times 0.52 \times 0.5 =$	0.346 kg	o	6.3%
H <sub>2</sub> O	$(0.585 \times 0.52) + 0.48 =$	0.784 kg	o	14.3%
CO <sub>2</sub>	$1.72 \times 0.52$	<u>= 0.894 kg</u>	o	<u>16.3%</u>
		5.479 kg		100 %

La ligera diferencia entre el total y P<sub>g</sub> se debe al contenido de cenizas, porque la suma de los componentes C + H + O del bagazo que se supuso (ecuación #4), no llega a 1 kg mientras se ha tomado 1 kg en la ecuación #27. Para ser más precisos será necesario tomar 1 - ε. (2)

### 1. Contenido de CO<sub>2</sub> en los gases de salida

Anteriormente se observó la composición de los gases de la combustión, por peso. Su composición en volumen es igualmente interesante, dado que el contenido de CO<sub>2</sub> permite conocer el exceso de aire.

En efecto, la cantidad CO<sub>2</sub> producida por la combustión de 1 kg de bagazo seco, es constante, porque el contenido del carbono del bagazo se supone también constante (C = 47% aproximadamente). Si se emplea la cantidad de aire teóricamente necesaria, el contenido de CO<sub>2</sub> en los gases de chimenea será máximo; si hay exceso de aire, la cantidad de CO<sub>2</sub> permanecerá constante en un volumen de aire determinado que se hace mayor a medida que el exceso de aire aumenta. La proporción de CO<sub>2</sub> disminuirá entonces a medida que el exceso de aire aumenta.

Existen aparatos muy simples para determinar la proporción de CO<sub>2</sub> en los gases de la chimenea. Debe buscarse la relación entre esta proporción y el exceso de aire. Se supondrá que se utiliza un aparato que da el CO<sub>2</sub> como porcentaje de gases secos, es decir que condensa o fija el vapor de agua contenido en los gases antes de analizarlos (si se emplea un aparato que da el porcentaje de CO<sub>2</sub> en los gases húmedos, este porcentaje será notablemente menor).

El volumen total de los gases secos  $V_{gs}$  está dado por la ecuación # 25. El volumen de  $CO_2$  contenido en estos gases, se obtiene inmediatamente por medio del peso de  $CO_2$  encontrado arriba:

$$\text{Volumen de } CO_2 \text{ en los gases} = 1.72 (1 - w) \times 0.506 = 0.87 (1 - w)$$

El coeficiente de dilatación es el mismo para todos los gases y, por tanto, la proporción calculada del volumen a  $0^\circ C$  será la misma a una temperatura cualquiera.

El contenido de  $CO_2$  en volumen, en los gases es entonces:

$$\gamma = \frac{0.87(1-w)}{V_{gs}} = \frac{0.87(1-w)}{4.45(1-w)m - 0.056(1-w)} \quad (\text{Ecuación \# 28})$$

De donde se podrá despejar m:

$$m = \frac{0.196}{\gamma} + 0.0126 \quad (\text{Ecuación \# 29})$$

m = radio del peso de aire usado a peso de aire teóricamente necesario

$\gamma$  = contenido de  $CO_2$  de los gases secos con relación a la unidad.

(2)

La tabla #7 da algunos valores correlativos entre  $\gamma$  y m.

Tabla # 7 Relación entre el contenido de  $CO_2$  de los gases de la chimenea y el exceso de aire (m)

$\gamma$	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17
M	3.27	2.81	2.46	2.18	1.97	1.79	1.64	1.52	1.41	1.32	1.23	1.16

(2)

2. Proporción óptima de  $CO_2$

El contenido teórico máximo de  $CO_2$  en los gases de la chimenea, es de 19.8%, de acuerdo con la ecuación 29. Si se desea obtener una combustión completa sin una apreciable formación de CO, es necesario admitir un mínimo exceso de aire.

Los resultados de las pruebas llevadas a cabo en varios países, concluyen que las mayores eficiencias en las calderas se obtienen cuando:

El contenido de  $CO_2$  está entre el 12 y 16%.

El exceso de aire está entre el 25 y 60%.

(2)

### 3. Pérdidas de eficiencia debidas al CO

Según Hugot (1986), en Sudáfrica se considera que cada 1% de CO en los gases de combustión, corresponde a una pérdida de calor del 4.5%. En Cuba, se da una mayor precisión: 4.36% del valor calorífico del bagazo.

### 4. Cálculo de la Temperatura de Combustión

La temperatura de combustión T que prevalece en el horno de bagazo, se obtiene fácilmente si se calcula que el calor desarrollado en la combustión, se encuentra en los gases que pasan del horno a la caldera. El valor calorífico y todos los calores se expresan con referencia a la temperatura básica de 0°C; por lo tanto, es necesario tomar en cuenta el calor almacenado en el combustible y en el aire comburente, a una temperatura ambiente de t°.

Se tiene entonces, para 1 kg de combustible:

$$\int_0^{t_0} 1 c_c dt + \int_0^{t_0} P_a c_a dt + N_i = \sum_0^T P c dt \quad (\text{Ecuación \# 30})$$

t<sub>0</sub> = temperatura ambiente a la que llegan al horno el aire y el combustible.

T = temperatura buscada de combustión

P<sub>a</sub> = Peso del aire empleado, por kilogramo de combustible

P = peso de cada uno de los productos gaseosos de la combustión, por kilogramo de combustible.

c<sub>c</sub> = calor específico del combustible

c<sub>a</sub> = calor específico del aire

c = calor específico de cada uno de los productos gaseosos

N<sub>i</sub> = valor calorífico inferior del combustible.

(2)

Para estos cálculos se emplea el valor calorífico neto, porque en la práctica el valor de agua contenido en los gases no se condensa.

La expresión  $\sum_0^T P c dt$  representa la suma de todos los calores de los diferentes gases

que forman los gases de la combustión.

Es necesario integrar porque el calor específico es una función de la temperatura. Puede evitarse el uso de integrales, empleando la tabla 8, que da el calor específico medio de los diversos cuerpos con los que se trabaja, entre  $0^{\circ}\text{C}$  y cualquier temperatura  $t^{\circ}$  o  $T^{\circ}$ . Con ayuda de esta tabla, puede hallarse fácilmente el calor específico medio entre cualquiera de las 2 temperaturas  $t^{\circ}$  y  $T$ , a presión atmosférica.

(2)

Tabla #8 Gases de Combustión

Temp. a °C	Calor específico a T°				Calor específico medio entre 0 y T°				Calor de 0 a T° cte., kcal/kg	Total al a una presión		
	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub> ,CO	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub> ,CO	O <sub>2</sub>				
0	0.199	0.468	0.246	0.214	0.199	0.468	0.246	0.214	0	0	0	0
50	0.207	0.483	0.248	0.216	0.203	0.476	0.247	0.215	10	23	12	10
100	0.215	0.499	0.250	0.218	0.207	0.484	0.248	0.216	20	48	24	21
150	0.224	0.515	0.252	0.220	0.211	0.492	0.249	0.217	31	73	37	32
200	0.232	0.530	0.254	0.222	0.215	0.499	0.250	0.218	43	100	50	43
250	0.240	0.546	0.256	0.223	0.219	0.507	0.251	0.219	55	126	62	54
300	0.248	0.562	0.258	0.225	0.224	0.515	0.252	0.220	67	154	75	66
350	0.256	0.577	0.260	0.227	0.228	0.523	0.253	0.221	79	183	88	77
400	0.264	0.593	0.262	0.229	0.232	0.530	0.254	0.222	92	212	101	88
450	0.272	0.608	0.264	0.231	0.236	0.538	0.255	0.223	106	242	114	100
500	0.281	0.624	0.266	0.232	0.240	0.546	0.256	0.223	120	273	128	111
550	0.289	0.639	0.268	0.234	0.244	0.554	0.257	0.224	134	304	141	123
600	0.297	0.655	0.270	0.236	0.248	0.562	0.258	0.225	149	337	154	135
650	0.305	0.670	0.272	0.238	0.252	0.569	0.259	0.226	164	370	168	147
700	0.313	0.686	0.274	0.240	0.256	0.577	0.260	0.227	179	404	182	159
750	0.321	0.701	0.276	0.241	0.260	0.585	0.261	0.228	195	439	195	171
800	0.330	0.717	0.278	0.243	0.264	0.593	0.262	0.229	211	475	209	183
850	0.338	0.732	0.280	0.245	0.268	0.600	0.263	0.230	228	510	223	195
900	0.346	0.748	0.282	0.247	0.272	0.608	0.264	0.231	245	547	237	208
950	0.354	0.764	0.284	0.248	0.277	0.616	0.265	0.232	263	585	251	220
1,000	0.362	0.779	0.286	0.250	0.281	0.624	0.266	0.232	281	624	266	232
1,050	0.370	0.795	0.288	0.252	0.285	0.631	0.267	0.233	299	663	280	245
1,100	0.378	0.810	0.290	0.254	0.289	0.639	0.268	0.234	318	703	294	258
1,150	0.387	0.826	0.292	0.256	0.293	0.647	0.269	0.235	337	744	309	270
1,200	0.395	0.841	0.294	0.258	0.297	0.655	0.270	0.236	356	786	324	283
1,250	0.403	0.857	0.296	0.259	0.301	0.663	0.271	0.237	376	828	338	296
1,300	0.411	0.872	0.298	0.261	0.305	0.670	0.272	0.238	397	872	353	309
1,350	0.419	0.888	0.300	0.263	0.309	0.678	0.273	0.239	417	916	368	322
1,400	0.427	0.903	0.302	0.265	0.313	0.686	0.274	0.240	439	960	383	336
1,450	0.435	0.919	0.304	0.267	0.317	0.694	0.275	0.241	460	1,006	398	349
1,500	0.444	0.935	0.306	0.268	0.321	0.701	0.276	0.241	482	1,052	414	362
1,550	0.452	0.950	0.308	0.270	0.325	0.709	0.277	0.242	505	1,099	429	376
1,600	0.460	0.966	0.310	0.272	0.330	0.717	0.278	0.243	528	1,147	444	389
1,650	0.468	0.981	0.312	0.274	0.334	0.725	0.279	0.244	551	1,196	460	403
1,700	0.476	0.997	0.314	0.276	0.338	0.732	0.280	0.245	574	1,246	476	417
1,750	0.484	1.012	0.316	0.277	0.342	0.740	0.281	0.246	598	1,296	491	431

(Hugot, 1986 )

La ecuación 30 queda entonces:

$$(1 - c_c + P_a c_a) t_o + N_i = T \left[ \sum P_c \right]_o \quad (\text{Ecuación 31})$$

Pero:

$$1 + P_a = \Sigma P = P_g$$

y, como los calores específicos del aire y de los gases no difieren mayormente, se puede tomar:

$$1 - c_c + P_a c_a = \sum P_c \quad (\text{Ecuación #32})$$

Finalmente, al tomar en cuenta todas las pérdidas, se tendrá:

$$T = t_o + \frac{\alpha \beta_o N_i}{\left[ \sum P_c \right]_{t_o}} \quad (\text{Ecuación # 33})$$

$\alpha$  = coeficiente que incluye los sólidos no quemados

$\beta_o$  = coeficiente que incluye las pérdidas por radiación en el horno

Puede tomarse, para hornos de bagazo:

$\alpha = 0.98 - 0.99$ , de acuerdo con el tiro

$\beta_o = 0.98 - 0.99$

(2)

Puede comentarse que:

- 1) La temperatura de combustión aumenta a medida que  $t$  aumenta.
- 2) Disminuye a medida que  $\sum P_c$  aumenta. En otras palabras, el exceso de aire tiene una influencia marcada en la temperatura de combustión.

De la misma manera, la humedad del bagazo bajará igualmente esta temperatura, por el vapor de agua adicional presente y a mayor razón, porque el calor específico del vapor de agua es aproximadamente el doble del de los otros gases. Tampoco debe olvidarse (ecuación # 10), que la humedad también reduce a  $N_i$  y consecuentemente tiene un efecto doble en la temperatura de combustión.

(2)

**Ejemplo # 2:**

Se tomará nuevamente el ejemplo #1 y se calculará  $\sum Pc$ , para la composición de los gases encontrados. Se supondrá:

$$t_0 = 30^\circ\text{C}$$

$$\alpha = 0.98$$

$$\beta_0 = 0.99$$

$$N_i = 1,900 \text{ kcal (7,954.92 kJ)}$$

$$\alpha\beta_0 N_i = 1,843 \text{ kcal/kg (7,716.3 kJ/kg)}$$

La suma de  $\sum Pc$  se obtiene al determinar, en cada uno de los productos de la combustión, el término correspondiente  $(T - t)Pc$ . El método más simple es operar por interpolación, lo que se hace con rapidez cuando se tiene cierta idea de la temperatura que se busca. Si por ejemplo, se considera que la temperatura se encuentra entre  $1,050^\circ\text{C}$  y  $1,100^\circ\text{C}$ , la  $\sum Pc$  se calcula para estas dos temperaturas y se interpola en seguida.

Tabla #9 Cálculo de la Temperatura de Combustión

	T=1,050°C	T=1,100°C
N <sub>2</sub>	3.455 kg (280 - 7) = 943 kcal	3.455 kg (294 - 7) = 992 kcal
O <sub>2</sub>	0.346 (245 - 6) = 83	0.346 (258 - 6) = 87
H <sub>2</sub> O	0.748 (663 - 14) = 509	0.784 (703 - 14) = 540
CO <sub>2</sub>	0.894 (299 - 6) = 262	0.894 (318 - 6) = 279
Cenizas	0.025 × 0.2 × 1,050 = 5	0.025 × 0.2 × 1,100 = 6
	$[\sum Pc]_{t_0}^T (T - t_0) = 1,802$	$[\sum Pc]_{t_0}^T (T - t_0) = 1,904$

La ecuación #33 puede ser escrita así:

$$(T - t_0) [\sum Pc]_{t_0}^T = \alpha\beta_0 N_i \quad (\text{Ecuación \#34})$$

El primer término de esta ecuación es el calor requerido para aumentar la temperatura de los gases de chimenea de  $t_0$  a  $T$ . Se requiere saber para qué valor de  $T$  el calor requerido es igual al calor producido, que forma el segundo término en la ecuación. Si se considera por ejemplo que la temperatura  $T$  requerida oscila entre  $1,050$  y  $1,100^\circ\text{C}$ , entonces el cálculo será hecho para estas dos temperaturas con una interpolación. Debido a que el contenido de cenizas es bajo, su calor específico puede asumirse 0.2 (como se mostró en la tabla #9). Al interpolar para 1,843 kcal, se encuentra que:

$$T - t_0 = 1,070^\circ\text{C}$$

$$T = 1,070^{\circ}\text{C} + 30 = 1,100^{\circ}\text{C}$$

Se notará que un cambio de un punto en el aire en exceso consiste en un incremento en la temperatura de 4 – 5 °C.

(2)

### ***J. Calor Específico Medio***

El uso de la tabla #8 puede evitarse, si se emplean las fórmulas de la tabla siguiente:

Tabla # 10 Calor Específico Medio de los gases de combustión entre 0°C (o 30°C) y T°C:

Nitrógeno	$0.246 + 0.000020 T$
Oxígeno	$0.214 + 0.000018 T$
Vapor de Agua	$0.468 + 0.000155 T$
CO <sub>2</sub>	$0.199 + 0.000082 T$

Es entonces necesario multiplicar por T, el calor específico medio, para obtener el calor necesario para elevar la temperatura del gas en consideración, de 0°C a T°C.

No se cae en un error apreciable, si se iguala el calor específico medio, entre 0°C y T°, con el calor específico medio entre 30° y T°.

Dado que la composición de los gases sólo varía entre límites relativamente estrechos, puede hablarse del calor específico medio de los gases mezclados. De esa manera puede tomarse aproximadamente:

*Gases de la combustión del bagazo:*

$$\text{Calor específico medio: } \left( \begin{array}{l} 0.27 + 0.00006T(T \text{ en } ^{\circ}\text{C}) \\ 0.27 + 0.00003T(T \text{ en } ^{\circ}\text{F}) \end{array} \right) \text{ (Ecuación \# 35)}$$

O más generosamente:

$$\text{Calor específico medio: } 0.3$$

(2)

### ***Estimación de la temperatura de Combustión:***

La temperatura del horno se mide con la ayuda de pirómetros o conos de Seger. También puede estimarse con cierta precisión, a la vista, particularmente si el observador se entrena al comparar sus estimaciones con las lecturas del pirómetro.

El color del horno es más brillante a medida que la temperatura aumenta, como puede observarse en la tabla #11.

(2)

**Temperaturas que pueden obtenerse en la práctica:**

Los hornos poco eficientes dan entre 800 y 1 000°C. Las temperaturas más altas llegan a 1,290°C por un período de algunos minutos y a 1,250°C en operación continua. Las temperaturas más comunes son de aproximadamente 1,100°C. La tabla #12 resume aproximadamente la influencia en la temperatura del horno, del exceso de aire y de humedad en el bagazo. Esta tabla supone una temperatura ambiente de 30°C y un producto  $\alpha\beta_0 = 0.96$

(2)

Tabla #11 Escala de Colores de la Temperatura

	°C	°F
Blanco Brillante	1500	2700
Blanco de soldadura	1400	2500
Blanco	1300	2400
Amarillo paja	1200	2200
Amarillo claro	1150	2100
Amarillo oro	1100	2000
Anaranjado	1050	1900
Rojo cereza brillante	1000	1800
Rojo cereza	900	1650
Rojo cereza naciente	800	1500
Rojo oscuro	650	1200

Tabla #12 Temperaturas de Combustión en los hornos de bagazo

Humedad en bagazo	Aire en exceso					
	30% (m = 1.3)	50% (m = 1.5)		75% (m = 1.75)		
	(°C)	(°F)	(°C)	(°F)	(°C)	(°F)
45% (w = 0.45)	1185	2165	1100	2000	1000	1830
50% (w = 0.5)	1120	2050	1040	1900	950	1740

(2)

**K. Pérdidas de Calor en la Chimenea**

La ecuación 16 al dar el valor calorífico neto del bagazo, toma en cuenta la pérdida de calor latente del vapor de agua que arrastran los gases a la chimenea.

La pérdida más importante, que debe restarse, es la que corresponde al calor sensible arrastrado por estos gases.

Se sabe la composición de los gases y el calor específico de los gases y el calor específico de los gases que los componen. Por lo tanto, puede obtenerse inmediatamente la pérdida de calor sensible correspondiente.

El calor específico medio de los gases, entre 0°C (273.15 °K) y su temperatura final, varía ligeramente porque esta temperatura es limitada. En una instalación moderna, que cuente con un economizador y calentador de aire, pueden obtenerse temperaturas debajo de 200°C (473.15°K) , por ejemplo 175°C (448.15°K), y aún es posible lograr 130° (403.15°K), hay poco interés en descender de 150°C (423.15°K), temperatura que puede considerarse como límite económico inferior.

Inversamente, sólo una instalación muy vieja e inadecuada, permitirá que los gases salgan a temperaturas mayores de 300°C (573.15°K).

Así, no se cometerá un error apreciable, si se toma como calor específico medio entre 0°C (273.15°K) y la temperatura de los gases finales, el calor específico verdadero de 100°C (373.15 °K).

Se debe observar que la temperatura de referencia debe ser 0°C (273.15°K) y no la temperatura del ambiente, porque el valor calorífico se calcula a 0°C (273.15°K) y, por lo tanto, es necesario referir todo el balance calórico a esta misma temperatura base.

(2)

Cálculos:

A partir del peso encontrado de los componentes de los gases finales, el calor sensible  $q$ , llevado por cada uno de estos gases será:

$$N_2 \quad q_1 = 4.43 (1 - w) m \times 0.250t$$

$$O_2 \quad q_2 = 1.33 (1 - w) (m-1) \times 0.218t$$

$$H_2O \quad q_3 = [0.585 (1-w) + w] 0.499t$$

$$CO_2 \quad q_4 = 1.72 (1 - w) \times 0.215t$$

Se suma, se simplifica, y se aproxima, para no conservar decimales, y se obtiene la pérdida total de calor sensible (a partir de 0°C):

$$q = [(1-w)(1.4m - 0.13) + 0.5]t \quad \text{unidades métricas} \quad (\text{ecuación \#36})$$

$$q = [(1 - w)(1.4m - 0.13) + 0.5]t - 32) \quad \text{unidades británicas}$$

$q$  = pérdida de calor sensible en los gases en kcal/kg o Btu/lb de bagazo

$t$  = temperatura de los gases finales en °C (°F)

$w$  = humedad del bagazo con relación a la unidad

$m$  = relación entre el peso del aire empleado para la combustión y el peso teórico necesario.

(2)

Ejemplo #3:

Si:  $m = 1.4$   $w = 0.48$  y  $t = 200^\circ\text{C}$ , se tendrá:

$$q = [0.52(1.4 \times 1.4 - 0.13) + 0.5]200 = 290 \text{ kcal/kg bagazo} = 1,214.2 \text{ kJ/kg,}$$

o aproximadamente 15% del valor calorífico neto del bagazo ( 1900 kcal/kg) (7,954.9 kJ/kg).

Se puede observar que para los valores elegidos de  $m$  y  $w$  para este ejemplo, que son buenos valores típicos, se tiene una aproximación de:  $q = 1.5 t$

(2)

#### ***L. Cantidad de Vapor que puede obtenerse***

Puede calcularse ahora la cantidad de vapor que puede obtenerse de la unidad de peso del bagazo.

Las pérdidas de calor en el horno y en la caldera consisten en las siguientes:

Calor latente del agua que se forma por combustión del hidrógeno del bagazo

Calor latente del agua contenida en el bagazo

Calor sensible de los gases que dejan la caldera

Pérdidas en sólido no quemados

Pérdidas por radiación del horno y especialmente de la caldera

Pérdidas debidas a la mala combustión del carbono que da CO en lugar de CO<sub>2</sub>.

Al emplearse el valor calorífico neto (ecuación # 16) ya se tomaron en cuenta las pérdidas de los incisos (a) y (b).

Las pérdidas del inciso (c) se dan en la ecuación #36.

Las otras pérdidas se toman en cuenta por medio de coeficientes aplicados a la cantidad total de calor que todavía permanece después de las tres pérdidas primeras:

$\alpha$  = coeficiente que incluye las pérdidas en los sólidos no quemados

$\beta$  = coeficiente que incluye las pérdidas debidas a la radiación.

$\eta$  = coeficiente que incluye las pérdidas debidas a la combustión incompleta

(2)

La cantidad de calor que queda para pasar al vapor está dada entonces por la expresión:

Unidades métricas

$$Mv = (4250 - 1200s - 4850w - q)\alpha\beta\eta$$

Unidades Británicas ( ecuación #37)

$$Mv = (7,650 - 2160s - 8730w - q) \alpha\beta\eta$$

Donde

$Mv$  = calor transmitido al vapor por kg (lb) de bagazo quemado, en kcal (Btu)

$w$  = humedad por unidad de bagazo

$q$  = calor sensible de los gases finales, dado por la ecuación 36

$\alpha$  = (sólidos no quemados), es del orden de 0.98 para hornos ordinarios. Muy pocas veces desciende de este valor, a menos que se emplee un tiro muy fuerte que arrastre a la chimenea pedazos relativamente grandes de bagazo.

$\beta$  = (radiación y convección) varía entre 0.97 a 0.995, de acuerdo con el aislamiento más o menos

eficiente de la caldera. Para una caldera bien aislada puede tomarse un valor de 0.95

$\eta$  = (combustión mala) puede variar de 0.99 a 0.80. Este coeficiente será mejor de acuerdo con:

la baja humedad del bagazo

El poco exceso de aire

La temperatura del horno elevada (esta condición es consecuencia de las dos anteriores).

Este coeficiente baja rápidamente cuando la humedad del bagazo pasa del 50% o cuando la temperatura del horno baja de 900°C. En un horno moderno fácilmente sobrepasa 0.96.

Si la combustión se lleva a cabo en buena forma podrán calcularse entre 0.98 y 0.99.

(2)

### **M. Eficiencia Total**

La relación:

$$\rho = \frac{M_v}{N_s} = \frac{\text{Calorias transferidas al vapor}}{\text{Valor calorífico superior del bagazo}} \quad (\text{Ecuación \# 38})$$

se llama eficiencia de la caldera.

Esta eficiencia varía generalmente entre 50% y 65%.

Las eficiencias de algunas calderas son:

Tabla #13 Eficiencia de la Caldera (Tromp)

Tipo de caldera	Tipo de horno	Eficiencia total
Caldera tipo elefante	Horno de gradilla	50%
Caldera de tubos de agua	Horno de herradura	60%
Caldera de tubos de agua	Horno Ward	66%

(2)

Tromp reportó que el valor de 66% fue la máxima eficiencia que ha encontrado. En el tiempo de la segunda guerra mundial, se consideraba en Cuba que la eficiencia total no excedía 61.3%. Los hornos modernos proporcionan una eficiencia de 83 – 88 % (en el valor calorífico neto) cuando se opera con bagazo.

En Queensland, las pruebas señaladas por Behne dan las cifras siguientes:

Tabla #14 Eficiencia de la Caldera

Tipo de Caldera	Kg de vapor/kg de bagazo	Eficiencia total %
Thompson	2.3	53.1
Babcock y Wilcox	2.4	56.2
Semitubular	1.8	42.2

(2)

Pruebas más recientes en Queensland, dan valores de 2.9 kg de vapor/kg de bagazo y una eficiencia total del 68%, para una cámara de gran combustión y un calentador de aire grande.

Tabla #15 Eficiencias de la Caldera

	Eficiencia	
	G.C.V.	total N.C.V
Valor típico medio en Australia	50	60
Instalaciones modernas	63	78
Instalaciones modernas bien operadas	65	80
Mejores resultados de pruebas	68	83

(2)

***N. Peso del vapor por unidad de peso del bagazo***

La tabla #16 proporciona valores del calor total necesario para producir la unidad de peso de vapor, según las diferentes condiciones de éste, que puedan obtenerse.

Tabla #16 Calor necesario para producir la unidad del peso del vapor  
(Temperatura del agua de alimentación 90°C)

Presión del Vapor	Temperatura	Del Vapor	Calor	necesario	
Kg/cm <sup>2</sup>	psi	°C	°F	Kcal/kg	
6	85	Saturado	Saturado	569	1025
8	114	Saturado	Saturado	572	1030
10	142	Saturado	Saturado	574	1033
10	142	225	437	599	1078
15	213	300	572	635	1143
20	284	325	617	645	1163
25	355	350	662	656	1181
30	425	400	752	681	1226
45	640	425	793	690	1242

(2)

En todos los casos se ha supuesto que la temperatura del agua de alimentación es de 90°C, que es la común en el tanque de alimentación, antes de que sea bombeada a la caldera o al economizador, pero la operación a 105°C es ahora común para presiones de caldera arriba de 18 kg/cm<sup>2</sup>.

La cantidad total del calor del bagazo que se usa efectivamente y que se recobra en el vapor depende de 4 factores principales:  $w$   $m$   $\eta$   $t$  (temperatura de los gases finales).

(2)

Al adoptar los siguientes valores para las variables anteriores:

$$w = 0.48$$

$$m = 1.4$$

$$\alpha = 0.975$$

$$\beta = 0.975$$

$$\eta = 0.96$$

se tendría para  $M_v$  y para el peso del vapor obtenido por unidad de bagazo los valores correspondientes que se muestran en la tabla #17.

(2)

Tabla #17

Calor transmitido al vapor por libra de bagazo, y Peso del vapor producido por unidad de peso de bagazo, para diferentes temperaturas de los gases de salida

( $w = 0.48$  ;  $m = 1.4$  ;  $\alpha = 0.975$  ;  $\beta = 0.975$  ;  $\eta = 0.96$ )

$t$ (°C)	150	180	200	250	300
$t$ (°F)	302	356	392	482	572
$M_v$ (Btu/lb)	2772	2700	2653	2534	2416
Vapor producido a:					
6 kg/cm <sup>2</sup> satd. 85 psi satd.	2.71	2.64	2.59	2.47	2.36
8 kg/cm <sup>2</sup> satd. 114 psi. std.	2.69	2.62	2.58	2.46	2.35
10 kg/cm <sup>2</sup> satd. 142 psi. satd.	2.68	2.61	2.57	2.45	2.34
10 kg/cm <sup>2</sup> satd. 142 psi. 482°F	2.52	2.45	2.41	2.30	2.19
15 kg/cm <sup>2</sup> satd. 213 psi 572°F	2.43	2.36	2.32	2.22	2.11
20 kg/cm <sup>2</sup> satd. 284 psi 662°F	2.34	2.28	2.24	2.14	2.04
25 kg/cm <sup>2</sup> satd. 355 psi 707°F	2.30	2.24	2.20	2.10	2.00
30 kg/cm <sup>2</sup> satd. 427 psi 752°F	2.26	2.20	2.16	2.07	1.97
45 kg/cm <sup>2</sup> satd. 640 psi 797°F	2.23	2.17	2.14	2.04	1.94

(2)

Estos valores para la producción de vapor varían de acuerdo a condiciones, y particularmente a cuatro factores. En la mayoría de casos, el peso del vapor producido

por unidad peso de bagazo se encuentra entre un rango de 2 – 2.7 y generalmente está en la vecindad de 2.25

De acuerdo al contenido de fibra de la caña y a las condiciones de operación de la caldera, la producción de vapor será 45 – 75% de caña, y comúnmente de 60 – 65%.

(2)

### ***O. Secado de Bagazo***

Aparte del economizador y el precalentador, existe un tercer medio para mejorar la combustión en los hornos, éste consiste en secar el bagazo que abandona los molinos antes de ser enviados a las calderas. Para considerar cómo el secado se puede realizar, se asumen condiciones frecuentes o típicas. Suponer que:

Fibra en caña:	$f = 0.15$
Aire del ambiente:	$t = 30^{\circ}\text{C}$
Aire en exceso al horno:	$m = 1.4$
Bagazo a una humedad del 50% por tonelada de caña:	$B_0 = 300 \text{ kg}$
Humedad en el bagazo que abandona los molinos:	$w = 0.5$
Ceniza % en el bagazo:	$c = 2.5\%$
Temperatura del gas admitido en la salida del secador:	$T = 120^{\circ}\text{C}$
Temperatura de los gases que abandonan los tubos de la caldera:	$T_0 = 350^{\circ}\text{C}$

$B_0$  y  $T_0$  son valores antes de la instalación del secador. La temperatura  $T_0$  depende de varios factores y en particular de la humedad del bagazo. El contenido de humedad debe tomarse en cuenta, y tomar un valor típico, se asume que :  $T_0 = (400 - 100w)^{\circ}\text{C}$ .

De manera similar, el peso  $B_0$  del bagazo variara con el contenido de humedad al cual es reducido, comenzar con un 50% asumido. Para una unidad de peso del bagazo de 50% de humedad, se tendrá que:

A 50% humedad:  $0.50 + 0.50 = 1$  entonces: 300 kg/ ton. caña

A 40% humedad:  $0.50 + 0.40 = 0.9$  entonces: 270 kg/ton. caña

A 30% humedad:  $0.50 + 0.30 = 0.8$  entonces: 240 kg/ton.caña

A w humedad :  $0.50 + w$  entonces:  $300(0.5 + w)$  kg/ton. caña (2)

1. Agua a Evaporar

Para determinar la cantidad X de agua a evaporar por kg de bagazo para reducirlo a un contenido de humedad w, comenzar con una humedad de 0.5, esta cantidad será tal que:

$$w = \frac{0.5 - X}{1 - X} \quad \text{entonces: } X = \frac{0.5 - w}{1 - w} \text{ kg / kg de bagazo}$$

O:

X = 0	para	w = 0.5
X = 0.167	para	w = 0.4
X = 0.286	para	w = 0.3
X = 0.375	para	w = 0.2
X = 0.444	para	w = 0.1
X = 0.500	para	w = 0

(2)

2. Peso del gas

El peso del gas que abandona la caldera tiene el siguiente valor (ecuación #27, que permite el contenido de ceniza):

$$P = 5.76 (1 - w)1.4 + 1 = 9.06 - 8.06w \text{ kg/kg de bagazo}$$

Entonces el peso total de los gases:

$$BP = 300(0.5 + w)(9.06 - 8.06 w) = 1359 + 1509w - 2418w^2 \quad \text{kg/ton. caña} \quad (2)$$

3. Calor Requerido

El bagazo debe calentarse hasta la temperatura final a la cual abandona el secador. El calor específico de la fibra tiene un valor de:

$$cf = 0.266 + 0.00116 t \quad (\text{Ecuación \#39})$$

Entre 30 y 120°C, este valor varía entre 0.301 y 0.405. Ya que es un intervalo insignificante, se asume un valor medio de  $cf = 0.36$ ; el calor requerido para calentar la libra es entonces:  $300 \times 0.5 \times 0.36 (120 - 30) = 4,860 \text{ kcal/ton.caña}$ . También se requiere

calentar el agua contenida en el bagazo y evaporarla. El calor total de este vapor a 120°C es 646. Entonces tenemos:

$$(646 - 30)X = 616 \frac{0.5 - w}{1 - w} = \frac{308 - 616w}{1 - w} \text{ kg/kg de bagazo fresco}$$

o

$$300 \frac{308 - 616w}{1 - w} = \frac{92,400 - 184,800w}{1 - w} \text{ kcal/ton.caña}$$

El calor total necesario es entonces:

$$C.N = 4,860 + \frac{92,400 - 184,800w}{1 - w} = \frac{97,260 - 189,660w}{1 - w} \text{ kcal/ton.caña}$$

El calor disponible (C.D) tiene un valor de, al asumir una eficiencia de 0.85 (si el secador esta aislado):

$$BP(375-120)0.285 \times 0.85 = 61.8 \text{ BP}$$

O

$$61.8(1.359 + 1.509w - 2.418w^2) \text{ kcal/ton.caña}$$

O

$$C.D. = 83.986 + 93.256w - 149.432w^2 \text{ kcal/ton.caña}$$

(2)

A continuación se muestran las cantidades de calor necesarias y disponibles:

Tabla # 18 Cantidades de calor necesarias y disponibles

w	w <sup>2</sup>	C.N. (kcal/ton.caña)	C.D. (kcal/ton.caña)	Balance disponible para secado (kcal/ton.caña)
0.5	0.25	4,860	93,156	93,156
0.4	0.16	35,660	97,379	61,719
0.3	0.09	57,660	98,514	40,854
0.2	0.04	74,160	96,660	22,500
0.1	0.01	86,993	91,817	4,824
0	0	97,260	83,986	-13,274

(2)

No existe ventaja alguna en secar el bagazo abajo del 10% humedad, ya que sería posible aumentar en un 10% por absorción de la humedad atmosférica. La operación de secado, puede tomarse en un 15 o 20%, y el calor disponible restante en los gases puede usarse en otros intercambiadores como un economizador pequeño. La operación bien puede comenzar con el economizador, cuyos gases irán al secador de bagazo. Esta solución presentara la ventaja de que el economizador podrá mostrar un buen retorno.

El volumen del secador es de aproximadamente 12 – 15 m<sup>3</sup>/t/h de agua a evaporar.

El secado de bagazo es caro, pero ofrece la gran ventaja de ser el procedimiento por medio del cual los gases de chimenea pueden reducirse a la temperatura mas baja, y por lo tanto el equipo puede recuperar la mayor cantidad de calor posible de los gases de chimenea.

Aunque los economizadores y calentadores de aire permiten una reducción de la temperatura del gas a 150 - 200°C, el secador de bagazo permite el enfriamiento de gases a 90°C, el único límite está impuesto por la necesidad de evitar el enfriamiento a la temperatura de rocío de 60 - 70°C. También no es recomendable dicho enfriamiento, ya que afecta las dimensiones y costos del secador, que se convierten en excesivos.

Otra ventaja del secador consiste en que el bagazo introducido al horno es calentado, lo que facilita la combustión y provoca una rápida ignición. Esto no se toma en cuenta en los cálculos, pero sí contribuye a una combustión mejorada.

Por el otro lado, ya que el bagazo seco es de rápida ignición se deben tomar precauciones en el secador y en el transporte del bagazo a las calderas. Este consiste en colocar una válvula de vapor en la entrada del secador para extinguir de inmediato cualquier fuego que se pueda provocar en el secador.

La velocidad del gas en el secador no debe exceder 2.5 m/s, para evitar la entrada de partículas finas. Generalmente se mantiene entre 2 y 2.5 m/s.

La principal desventaja del secado de bagazo es su costo, que puede consistir en tres veces la de los economizadores y calentadores de aire.

(2)

Generalmente, se pasan primero los gases a un intercambiador de calor, economizador o calentador de aire, que forman parte de la unidad de la caldera y reducen las temperaturas de los gases a 280 - 300°C. Los gases son enviados posteriormente al secador, que puede ser del tipo tambor rotatorio, en el cual el bagazo se mueve a lo largo del cilindro rotatorio. Debido a su longitud, puede dividirse en dos secciones, el primero tira el gas fuera de la caldera, y el segundo lo regresa a la base de la chimenea. (2)

Actualmente, para la combustión del bagazo en los hornos, el bagazo se seca no menos del 30% de humedad, ya que un combustible muy seco puede ser peligroso,

debido a sus altas temperaturas de combustión, que pueden depositar ceniza fundida en los tubos de las calderas. (2)

Una fábrica de azúcar utiliza vapor saturado a una presión de 34.8 psi absolutas. Por lo tanto, una turbina de condensación instalada en una estación de cogeneración debe equiparse con una etapa controladora de extracción de presión para el proceso. Desafortunadamente el condensado que regresa de una fábrica de azúcar, se encuentra frecuentemente contaminada.

(3)

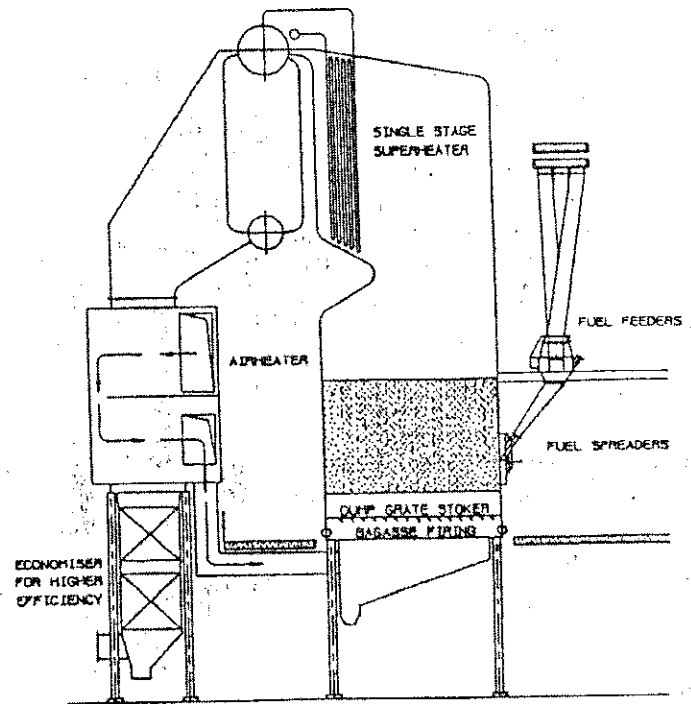
Vapor LP es utilizado para precalentar el aire primario de combustión de 77°F a 224.6°F. El agua caliente de los economizadores se utiliza para calentar el aire de combustión a 392°F en la segunda etapa del precalentador. Esta temperatura se encuentra limitada por la temperatura del agua que abandona el economizador. Si el contenido de humedad del combustible excede 50%, será preferible utilizar una mayor temperatura del aire.

(3)

La figura #2 muestra el arreglo de una caldera típica alimentada con bagazo de una industria azucarera. La unidad comprende un horno, un sobrecalentador, un banco de convección de un sólo paso y gas para el precalentador de aire. Es diseñada para generar vapor a 464 psi absolutas, 761°F. La temperatura del gas que abandona el banco de convección es de 518°F. A esta temperatura, la eficiencia de una caldera será eficiente para adecuarse a los requisitos de vapor de una fábrica balanceada. Normalmente un economizador se añadirá solamente si hay demanda de bagazo extra o de vapor para la manufactura de un co-producto.

(3)

Figura #2 Caldera acuotubular típica alimentada con bagazo de una industria azucarera



(3)

### *P. Diseño de Caldera*

Las calderas modernas de combustión de biomasa pueden tener tamaños de 5,000 PPH a 600,000 PPH de flujo de vapor, con el vapor saturado o sobrecalentado.

#### *1. Hogar*

El horno debe proveer el volumen suficiente para que el combustible pueda quemarse completamente y absorber el calor suficiente para enfriar los gases de chimenea a una temperatura a la que la ceniza no cree incrustaciones en el supercalentador y la superficie calórica de la caldera.

Las calderas de combustión de bagazo tienen cuatro tipos de paredes de construcción:

paredes refractarias con envoltura de ladrillo o soldada

tubo y baldosa

tubo tangente

pared de membrana

Los hornos con paredes refractarias requieren un mantenimiento significativo en una base anual.

Muchos de los diseños de las nuevas calderas comúnmente utilizan hornos con tubo de agua refrigerante, o un diseño de pared de membrana. Esto no solamente reduce el mantenimiento de las paredes del horno, pero también sirve para proveer una construcción más rígida y con mayor presión.

En los hornos con pared de membrana, los tubos de las paredes son colocados con una vara de hierro o membrana que es soldada entre los tubos adyacentes. Esta construcción ofrece la máxima absorción de calor y una erección simplificada.

(6)

## *2. Sobrecalentador*

El tamaño de un supercalentador de una caldera de bagazo puede complicarse por diversos factores. Para un combustible dado, la determinación de la superficie de un sobrecalentador depende de la temperatura final del vapor y del rango de control de temperatura requerido. Debido a que una caldera que quema con bagazo raramente quema un combustible consistente, el rango completo de las condiciones de operación deben ser identificadas, al incluir contenido de humedad, valor calorífico, contenido de ceniza, y otros combustibles auxiliares, como el gas, que pueden quemarse en combinación. Los constituyentes de la ceniza también pueden impactar el diseño del supercalentador.

(6)

### *Banco Generador de una Caldera:*

Debido a la alta proporción de los gases de chimenea con el flujo típico de vapor en las calderas que queman bagazo, se requerirá una gran cantidad de superficie de convección. En adición, la cantidad de absorción de calor en el hogar es bajo comparado con los combustibles fósiles como el gas, debido a las bajas temperaturas de llama adiabáticas creadas por el alto contenido de humedad en el combustible. Por lo tanto, una gran porción de superficie total calentadora es usualmente proveída en el banco generador de la caldera.

Debido a que los combustibles de biomasa generalmente contienen arena u otro material combustible en la ceniza, las velocidades de los flujos de gases de chimenea en el banco generador deben mantenerse a un nivel bajo.

(6)

### *3. Calentador de Aire*

Debido al requisito que existe para proveer de aire caliente para asistir la quema de combustibles biomásicos con un alto contenido de humedad, las calderas que queman bagazo generalmente están equipadas con calentadores de aire. El arreglo común consiste en hacer pasar los gases de chimenea a través de los tubos donde se enfrían por medio del aire de combustión que fluye afuera de los tubos. Los gases de chimenea son enfriados y el aire de combustión es calentado a las temperaturas deseadas. El aire de combustión precalentado asiste con el secado de combustibles húmedos y contribuye a la estabilidad de la combustión.

(6)

### *4. Economizador*

En algunos casos se instala un economizador. Este se encarga de capturar calor de los gases de chimenea y precalienta la temperatura del agua entrante antes de llegar a los domos de vapor.

(6)

### *Q. Formación y Control de Emisiones*

Existen muchos factores que influyen en las emisiones de generadores y hornos de vapor que queman bagazo, entre los que se incluyen tamaño de partícula y características químicas del bagazo.

#### *Emisión de Partículas:*

La emisión de partículas de cada tipo de combustible quemado variará dependiendo del tamaño de partícula y del criterio de humedad. Un gran porcentaje de residuo total de ceniza de calderas de bagazo, se encuentra en la forma de partículas en el

gas de chimenea, referidos como partículas totales suspendidas (TSP) o Materia Particulada (PM). El PM incluye material combustible (carbono), ceniza y otros contaminantes del bagazo. El PM es afectado por factores como geometría del horno, tiempo de residencia, temperatura del horno, condiciones de operación y tamaño de partícula del bagazo.

El contenido de humedad en el combustible es un criterio fundamental para determinar la cantidad de combustible necesario para producir una cantidad determinada de vapor a ciertas condiciones. El tamaño del horno y el espacio de la sección de convección se encuentran significativamente afectados.

La emisión de partículas es una función directa del tamaño de la parrilla o del área seccional del horno. Una combustión adecuada puede alcanzarse en un amplio rango dentro de los siguientes factores limitantes:

El punto al cual la combustión ya no es auto-sostenible.

El punto al cual el fuego arrastra

El punto al cual carbono no quemado aparece en la ceniza

El punto al cual toma lugar daño de parrilla

(6)

Si se consideran estos parámetros, el diseño de la caldera debe seleccionar la parrilla y el diseño del horno que proveerán una unidad con un tamaño competitivo, buena combustión del combustible a quemar y emisiones razonables.

Las velocidades del horno y los tiempos de residencia, juntamente y separadamente, afectan la emisión de partículas de las unidades generadoras de vapor. Un buen diseño generalmente limita la velocidad vertical del horno a aproximadamente 18 ft/s, cuando las unidades queman 100% bagazo.

Los controles para la emisión de partículas generalmente es alcanzado, al instalar uno o más de los siguientes aparatos:

Colector mecánico

Lavador de gases húmedo

Precipitador Electrostático

(6)

A medida que los límites de emisión de partículas se han convertido más exigentes, la utilización de lavadores y precipitadores electrostáticos se han convertido en una necesidad.

Los lavadores son capaces de reducir la emisión de partículas a 0.08 lbs/mmBtu de calor entrante.

Aunque los precipitadores son más costosos que los lavadores, los primeros alcanzan niveles significativamente más bajos, con un uso menor de energía.

(6)

Emisión de óxidos de Nitrógeno:

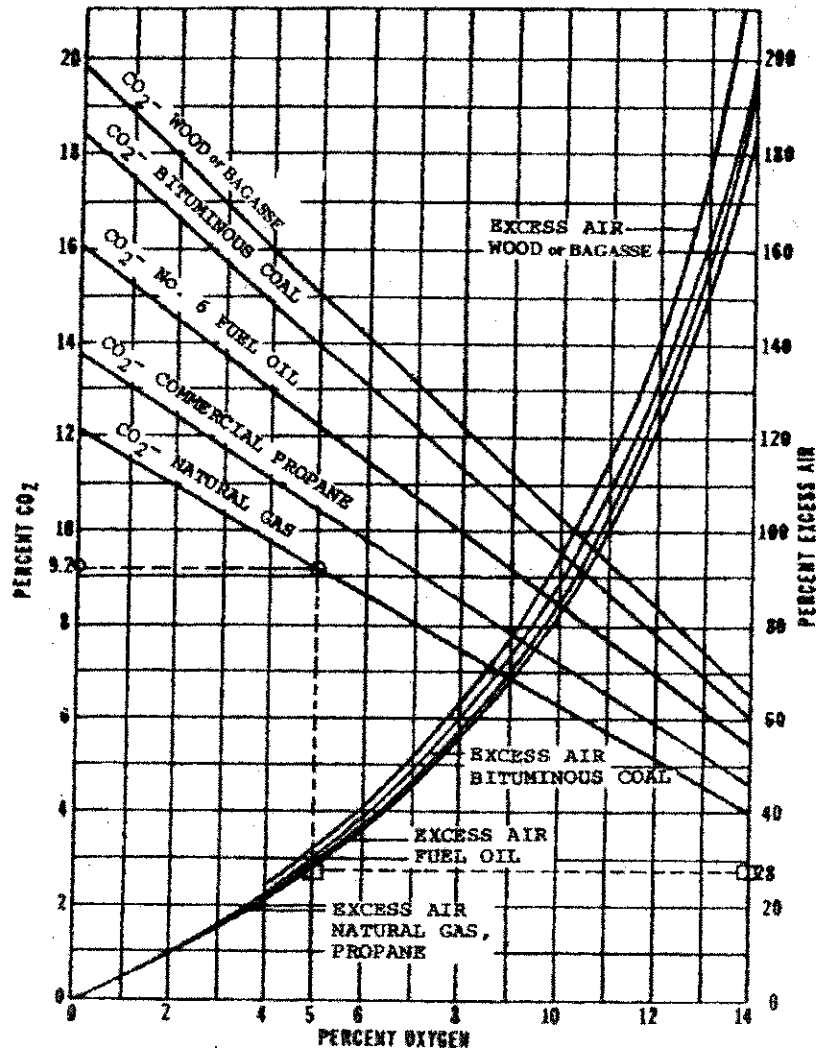
La emisión de óxidos de nitrógeno cuando se quema bagazo es baja en comparación con la de combustibles fósiles. Esto se debe a las temperaturas de combustión, que son lo suficientemente bajas, que una mínima cantidad de óxido de nitrógeno térmico es formado del nitrógeno en el aire de combustión. A medida que la humedad del combustible se evapora, se forma una nube de vapor en el horno que minimiza las temperaturas de combustión.

El contenido de nitrógeno en el combustible influye en las emisiones de óxidos de nitrógeno, más que las características de combustión como aire en exceso, rapidez de liberación de calor, etc. La gráfica #1 ilustra la relación entre los niveles de oxígeno en los gases de chimenea y el aire en exceso para diferentes combustibles. El control del aire en exceso es importante para el control de la formación de los óxidos de nitrógeno. Las emisiones de estos óxidos pueden ser afectados por el contenido de humedad. El contenido de nitrógeno aumenta a medida que la biomasa comienza a deteriorarse.

Reducir los óxidos de nitrógeno en las calderas quemadas con sólidos, resulta más difícil en aquellas en donde se quema bagazo que en las que se queman combustibles fósiles, líquidos o gaseosos, debido a que el bagazo no es tan predecible como el gas o el líquido. Las emisiones de óxidos de nitrógeno pueden controlarse a través de la aplicación de tecnología de combustión, de combustión por etapas y de controles de combustión debidamente diseñados. Basado en la experiencia, el equipo de caldera y de auxiliares puede ser diseñado para garantizar emisiones que se limiten a 0.25 lbs/mmBtu. En casos

extremos, puede ser necesario inyectar reactivos como urea o amonio dentro del horno para reducir los niveles de NOx a 0.15 lbs/mmBtu o menos. (6)

Gráfica #1 Relación entre los niveles de oxígeno en los gases de chimenea y el aire en exceso para diferentes combustibles.



(6)

Emissiones de Monóxido de Carbono:

En el área en donde se quema el bagazo, la cama de combustible es comúnmente operada a condiciones estequiométricas, y un sistema de aire sobre el fuego se provee para completar la quema de monóxido de carbono (CO), y los gases volátiles son liberados de la cama a medida que el combustible se reduce a material carbonizado.

El monóxido de carbono es un producto gaseoso de combustión incompleta que es dependiente del tiempo, temperatura y condiciones de turbulencia. Al variar las condiciones de aire en exceso, alto contenido de humedad en el combustible y reducir la rapidez de quema se incrementan las emisiones de CO. Un incremento ocurre a medida que la humedad del combustible aumenta y también al disminuir las temperaturas del horno.

Si el contenido de humedad promedio es aproximadamente del 50%, las emisiones de monóxido de carbono pueden controlarse de 0.35 a 0.40 lbs/mmBtu. Para poder alcanzar emisiones de CO de 0.275 lbs/mmBtu o menores, el contenido de humedad deberá ser de 40% o menor.

(6)

#### Emisiones de Dióxido de Azufre:

El bagazo contiene una mínima cantidad de azufre elemental (0.0% a 0.1%) en base seca cuando se compara con los combustibles fósiles. Durante la combustión, algo del azufre del combustible se convierte a dióxido de azufre en los gases de chimenea. Las emisiones de SO<sub>2</sub> de la combustión del bagazo son bajas y generalmente no exceden los 0.03 lbs/mmBtu de calor entrante.

(6)

#### Emisiones de compuestos orgánicos volátiles:

Las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (VOC) son productos gaseosos de una combustión incompleta, y son influenciados por los mismos factores que afectan las emisiones de monóxido de carbono. Las emisiones de VOC de 0.05 a 0.1 lbs/mmBtu de calor entrante pueden ser fácilmente alcanzadas.

(6)

#### Otras Emisiones:

Otras emisiones potencialmente dañinas pueden estar presentes si la biomasa es contaminada con químicos como plomo, pintura, etc.

(6)

## ***R. Cogeneración Industrial***

La cogeneración se puede definir como la utilización de una única fuente de energía para una producción secuencial de energía eléctrica, trabajo, y vapor o intercambio de calor. En otras palabras, cogenerar es una tecnología muy eficiente que utiliza toda la energía disponible en la planta, para generar electricidad y/o trabajo mecánico y luego utilizar la energía sobrante o desechada en el proceso en forma de vapor o calor.

En procesos convencionales de las áreas agroindustriales, metalúrgicos, madereros, pulpa y papel y otros, utilizan el 33% de la energía disponible para generación eléctrica.

(7)

### *I. Diseño de Calderas de bagazo en referencia a cogeneración*

Características de los combustibles:

Las propiedades que dirigen eficientemente un ciclo de cogeneración son:

calor específico

reactividad

tamaño de partícula

contenido de azufre y otros elementos que pueden afectar el medio ambiente.

(3)

Las calderas para la industria azucarera son usualmente diseñadas para generar el suficiente vapor del bagazo disponible, que llene los requisitos de calor de la fábrica y la potencia. Si son muy eficientes tendrán que disponer del bagazo extra, y si no lo son entonces deberán hacer uso de los combustibles suplementarios. Ahora bien las calderas que se instalan para cogeneración deben operar a una eficiencia óptima a toda hora y con todos los tipos de combustibles.

(3)

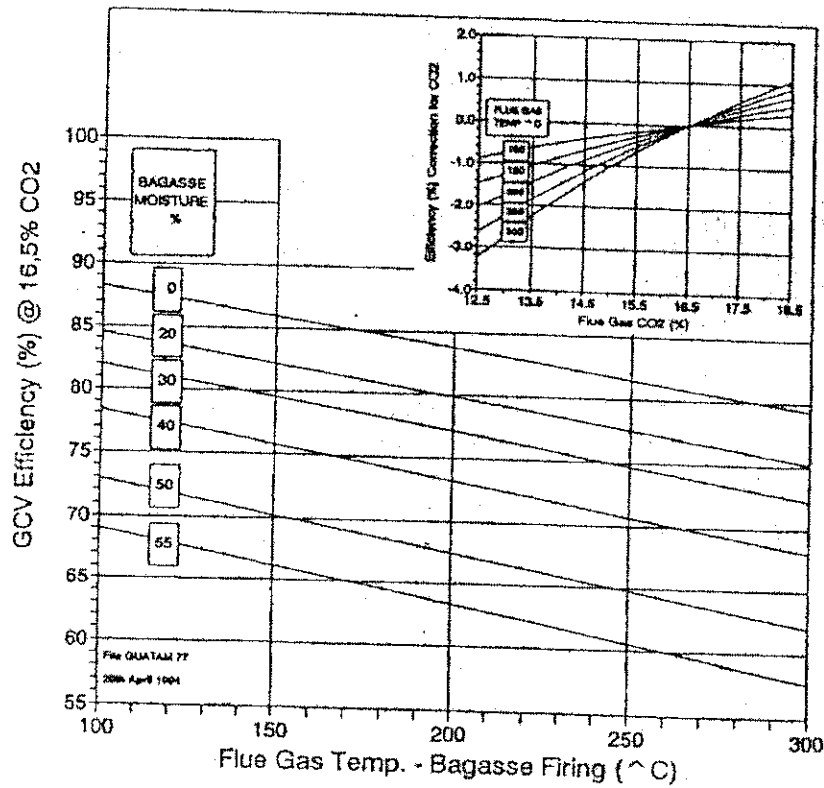
La eficiencia de la caldera varía en función de la humedad del combustible, reactividad del combustible, temperatura de gas que sale y cantidad de aire en exceso requerido para completar la combustión eficientemente.

La gráfica #7 muestra como varía la eficiencia en función de la temperatura del gas de chimenea, de la humedad y del aire en exceso cuando se quema bagazo. Es evidente que

la reducción de humedad es beneficioso.

(3)

Gráfica #2 Temperatura del gas de chimenea vs. Eficiencia GCV de la quema de bagazo (basado en 16.5% de CO2 en los gases de chimenea)



(3)

El bagazo puede secarse eficientemente en cuanto al costo hasta un valor de 45 – 50% utiliza métodos mecánicos. Puede secarse aun más térmicamente y bioquímicamente. La combustión completa puede medirse por el carbono no quemado y la cantidad de CO formado.

Para ciertos combustibles los tres parámetros que determinan la eficiencia son:

La pérdida del carbono no quemado

La relación de exceso de aire; y

La temperatura del gas de chimenea.

(3)

El carbono no quemado es función del diseño del equipo de combustión, la cantidad de calor liberado por unidad de área de la superficie de la parrilla, la temperatura de combustión del aire y la relación de exceso de aire.

Debe encontrarse un balance adecuado del exceso de aire, de tal manera que se pueda quemar la máxima cantidad de carbono y no se expulse mucho exceso de aire en los gases de chimenea.

(3)

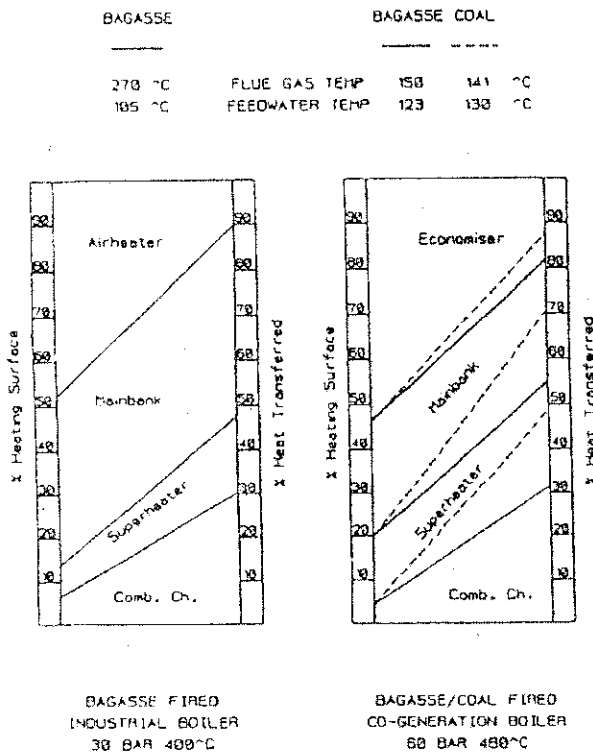
En los hornos modernos con agua de enfriamiento es esencial utilizar aire primario para quemar el bagazo que posee una humedad mayor a 50%. Abajo del 40% este combustible se quema eficientemente y de manera estable sin aire precalentado. Una combustión estable puede lograrse con aire frío, si los combustibles poseen una humedad entre 46 y 50%.

La temperatura máxima del aire primario se encuentra limitado por los materiales de construcción de la parrilla y de la temperatura de fusión de la ceniza. Al considerar que los materiales de construcción, de la parrilla son adecuadamente seleccionados, temperaturas de hasta 250°C y posiblemente mas son beneficiosas cuando se quema bagazo.

Los gases que son mandados a los precalentadores de aire y economizadores, son usados para reducir la temperatura de los gases de chimenea al valor requerido. Las calderas de las industrias azucareras poseen normalmente precalentadores de aire y a veces economizadores. Las calderas de cogeneración se ajustan mejor con economizadores y precalentadores de aire calentados con vapor o agua caliente. La figura #4 muestra la efectividad relativa de los componentes superficiales de calentamiento de una fábrica de azúcar con una caldera alimentada con bagazo contra una caldera que quema tanto bagazo como carbón.

(3)

Figura # 3 Efectividad relativa de los componentes superficiales de calor



(3)

La caldera de una fábrica de azúcar generalmente tiene gases de chimenea a una temperatura de 270°C y la caldera de cogeneración un gas de chimenea con una temperatura de 150°C. Aproximadamente 25% más de superficie de calentamiento debe añadirse en la forma de superficie de economizador a la caldera de una industria azucarera para reducir la temperatura del gas de chimenea a 160°C, ya que esta superficie extraerá 9.5% más de calor de los gases de chimenea. (3)

## 2. Cogeneración de vapor y potencia eléctrica

La industria azucarera es muy afortunada en estos días de crisis de energía global, ya que ella misma se provee de su propio combustible en forma de bagazo. Las características excelentes de la caña de azúcar como un colector y almacenador de energía solar ha sido nombrado por muchos científicos e investigadores.

En las fábricas de azúcar, en donde el bagazo se encuentra disponible prácticamente a ningún costo, y en donde el bagazo guardado crea problemas de disposición, el potencial

para la conservación de energía es considerable. Para poder tener una máxima cantidad de potencia extra, debe enfatizarse que el vapor es usado en la fábrica primariamente para procesos de calentamiento, con una carga de potencia moderada. Al generar el vapor a una presión más alta, relativa a la requerida para el proceso de trabajo, considerables cantidades extras de potencia pueden ser normalmente generadas por un turbo-alternador, y ésto puede ser alimentado a la parrilla utilitaria para consumo externo. La cantidad de vapor que pasa a través de las turbinas, y consecuentemente la salida de potencia, varía de acuerdo al proceso de carga de vapor. Cuando la potencia de salida cae debajo de los requisitos de fábrica, se extrae potencia de la parilla utilitaria. Por lo tanto, un intercambio de energía eléctrica es efectuado de acuerdo al proceso disponible de vapor.

(8)

Cantidad de potencia excedente:

Se debe enfatizar que en una fábrica al usar vapor para un proceso de trabajo, dos tipos de potencia se encuentran disponibles. La operación de la turbina con contrapresión directa, donde toda la cantidad saliente de la turbina se utiliza para requisitos de proceso, es la más económica en consumo de calor. Con un aumento en la potencia saliente, el vapor de escape, a menos que se utilice una presión inicial mayor de vapor, se tornará más grande que el requerido por el proceso de trabajo.

Se requerirá entonces una turbina de extracción con condensación, con una porción del vapor de escape para el proceso y el resto pasa a través de otras etapas de la turbina y expulsándolo luego a un condensador. La eficiencia de este tipo es menor que una turbina de contrapresión, debido a la pérdida parcial de calor en el condensador. Sin embargo, esta turbina tiene la ventaja de que la potencia generada no es proporcional al vapor de proceso requerido, y por lo tanto, la potencia puede ser obtenida aunque el proceso en la fábrica se pare.

Para poder incrementar la potencia disponible para consumo exterior, se requiere una economía mayor en el consumo de vapor para proceso. El requisito esencial en este caso es el intercambio de procesos batch por continuos, especialmente en los departamentos de ebullición, cristalización y centrifugación, juntamente con la utilización máxima de vapores y recompresiones mecánicas de vapor con evaporadores de film. La reducción en el consumo de potencia interna puede lograrse si mejora la preparación de la caña y se

reduce el número de molinos en el tandem. Esto proveerá ahorros en el costo de capital al mismo tiempo que se obtendrá una extracción satisfactoria de azúcar.

Los drives eléctricos deben generalizarse para ahorrar energía, y consecuentemente, bagazo. (8)

### *3. Requisitos de Energía*

El objetivo principal es extraer la potencia máxima del combustible disponible por medio del uso efectivo del calor latente del vapor y reducir al mínimo las pérdidas inevitables que se sostienen en el agua de enfriamiento de los condensadores y la pérdida del calor sensible de los gases de chimenea de la caldera.

(8)

### *4. Pasos para extraer la máxima potencia a partir del combustible disponible:*

Los pasos para extraer la máxima potencia a partir del combustible disponible son:

Mejoramiento de la casa de ebullición, y otros departamentos de la fábrica, al dirigir así a una economía máxima del proceso de calor.

El vapor de escape producido paralelamente debe balancearse de tal manera que siempre permanezca un margen entre el escape producido y consumido para prevenir el escape de vapor de escape a la atmósfera, ya sea intermitentemente o constantemente. Este margen es requerido porque ni el consumo de vapor de los prime movers, ni el requisito de vapor de escape, permanecen constantes.

La generación eficiente de vapor, la recuperación del calor sensible de los gases de chimenea, y el mejoramiento de la eficiencia de combustión.

Uso de la presión inicial y temperatura practicable más alta.

Uso del vapor de escape practicable más bajo del proceso de presión.

No permitir una gran cantidad de vapor vivo de expansión, para provocar una presión al vacío, sin primero obtener un trabajo útil de expansión.

(8)

### *5. Secado de Bagazo*

El valor calorífico del bagazo puede mejorarse por medio de un secado, al utilizar el calor residual de los gases de chimenea de la caldera. Si el contenido de humedad es

reducido a un 40%, el G.C.V incrementará a 11,213.98 kJ/kg. Una ganancia substancial en energía (luego de haber utilizado la energía requerida para operar el equipo de secado) se encuentra disponible para este valor calorífico mejorado del bagazo, que será útil para la conversión en potencia eléctrica vía producción de vapor adicional.

Se encontrará en la práctica, que es imposible secar todo el bagazo, ya que no hay suficiente energía calorífica en los gases de chimenea para realizarlo. En la mayoría de los casos, todo el bagazo que viene de un molino puede secarse a un contenido de humedad del 30% al 40%, y en algunos casos, a niveles más bajos.

(8)

#### 6. Factores económicos que influyen en la producción de potencia

Estos incluyen: a) contenido de fibra de la caña; b) longitud de la temporada de molienda c) rapidez de molienda y d) costos alternativos para la producción de electricidad.

Contenido de fibra de la caña:

La cantidad de fibra en la caña varía de 12 a 18%, e influye en la disponibilidad de bagazo por tonelada de caña. Si se supone que el proceso económico de calor se alcanza en un punto tal que solamente se requieren 500 kg de vapor de proceso por tonelada de caña, para la producción de azúcar blanca, y si la producción de vapor es de 2.7 kg/kg de bagazo (40% humedad), entonces bagazo o potencia extra es disponible de diferentes variedades de caña, como se muestra en la siguiente tabla

Tabla # 19 Bagazo extra y potencia por tonelada de caña por hora

Fibra % caña	Bagazo 50% M, kg	Extra 40% M, kg	Potencia Extra kWh
12	48.42	40.35	40.34
13	69.83	58.19	51.51
14	91.22	76.02	62.68
15	112.61	93.84	73.85
16	134.00	111.67	85.02
17	155.39	129.49	96.18
18	176.77	147.31	107.34

Las suposiciones que se realizaron en los datos de esta tabla son:

El bagazo es presecado por los gases de chimenea a una humedad del 40%

La potencia necesaria para la planta de molienda se asume constante para todas las variedades de caña.

El consumo de potencia interna es de 32.5 kWh/ton.caña

Eficiencia de la caldera en G.C.V. es de 71%

La turbina condensante con extracción tendrá las siguientes rapideces de agua:

De escape a 200 kPa gauge = 9 kg/kWh

Condensante a 685 mm Hg de vacío = 4.31 kg/kWh

Fábrica completamente electrificada

Eficiencia termodinámica a grosso modo para ambas partes del turbo alternador condensante = 72%

Proceso de elaboración de vapor = 10%

(8)

Cuando se estima potencia extra disponible, se asume que todo el bagazo ha sido quemado. La tabla anterior muestra que por cada unidad de incremento en el porcentaje de fibra de la caña, habrá 11 kWh de potencia extra por tonelada de caña por hora.

Longitud de la temporada de molienda:

La mayoría de fábricas en el mundo operan alrededor de 6 meses al año, excepto cerca del ecuador, donde la operación es durante todo el año. A medida que la latitud se incrementa, los períodos de operación son reducidos en relación a la distancia del ecuador. La naturaleza de la temporada de operación de la fábrica de caña de azúcar es una desventaja cuando se compara con plantas industriales que operan todo el año. Este factor descuenta los ahorros alcanzados por el bajo precio del combustible. Sería más económico transferir el bagazo, ya paletizado, desde fábricas de tamaño medio hacia una gran fábrica central, donde una caldera de alta presión y turbo alternador condensante podrían generar electricidad durante todo el año a una eficiencia razonable.

Rapidez de molienda:

Al igual que el contenido de fibra de la caña, una rapidez más alta de molienda tiene una fuerte influencia en la electricidad extra disponible de una fábrica de caña de azúcar.

La siguiente tabla muestra la influencia de la rapidez de molienda en la producción de molienda extra. Para la preparación de esta tabla, se estimó un contenido promedio de fibra del 16%. (8)

Tabla # 20 Influencia de la rapidez de molienda en la producción de potencia extra

Rapidez de molienda (ton/h)	Bagazo extra	ton/h	Potencia extra MWh
	50% M	40% M	
100	13.4	11.17	8.5
150	20.1	16.75	12.75
200	26.8	22.33	17.0
250	33.5	27.91	21.25

A medida que se incrementa la rapidez de molienda, disminuye el costo por tonelada de azúcar. Al estudiar los costos de fábrica de distintos tamaños se ha encontrado que 250 ton/hora es una rapidez óptima.

Aparte de ello, los costos de transporte aumentan y está asociada con atrasos en el abastecimiento de caña. Cuando se toman 250 ton/hora como la rapidez de molienda óptima, entonces de acuerdo a la tabla anterior este tamaño de fábrica puede suplir cerca de 21.25 MWh a la red utilitaria, lo cual puede considerarse un aumento substancial de potencia extra de una fábrica de caña de azúcar.

(8)

### III. JUSTIFICACION

El valor de los residuos agrícolas como combustible ha aumentado hoy en día como consecuencia de la creciente preocupación que se tiene por la conservación del medio ambiente, y al incremento del costo de los combustibles fósiles. Estos residuos se utilizan en varias industrias para generar vapor y energía para llenar los requerimientos de la planta en proceso.

El valor que ha adquirido la biomasa como combustible, ha forzado a los usuarios industriales darle un mayor énfasis a una combustión eficiente para la generación de vapor, que es útil para sus procesos, y para la producción de energía.

Uno de los procesos básicos para quemar la biomasa requiere la evaporación de la humedad, y es por eso que con este proyecto se busca utilizar los residuos gaseosos de la combustión para reducir la humedad del bagazo con el fin de optimizar su combustión y hacer más estable la operación de la caldera, con lo que se ayuda no sólo a incrementar la eficiencia en la producción de vapor y energía, sino también a disminuir la emisión de contaminantes al ambiente.

Los ingenios azucareros están buscando constantemente mejoras en el rendimiento y eficiencia de sus calderas y plantas de electricidad para afrontar el duro mercado competitivo con que cuenta el sector azucarero guatemalteco. Como consecuencia de ello ha implementado en sus industrias lo que se conoce como COGENERACION, lo cual se refiere a las plantas con procesos industriales que necesitan vapor para su proceso, para primero producir energía eléctrica, y luego reusar el vapor. Sin embargo se busca mejorar la eficiencia de la cogeneración, para alcanzar el liderazgo dentro de la dura competición del sector azucarero. Es por eso que con un estudio de la combustión del bagazo podría proporcionar a la industria azucarera guatemalteca una opción para mejorar el difícil proceso de la combustión y más información disponible acerca del efecto del secado de bagazo en la combustión y en la cogeneración.

## IV. OBJETIVOS

### A. OBJETIVOS GENERALES

- 2 Mejorar la eficiencia de la combustión que se lleva a cabo en la caldera, reduciendo la humedad de su combustible principal, bagazo, lo cual disminuirá la cantidad de calor que se le debe proporcionar a la caldera para llevar a cabo la combustión, y también se reduce la cantidad de monóxido de carbono emitido por una mala combustión, y el exceso de aire que se le debe proporcionar.
- 2 Aumentar la eficiencia de la producción de los kilovatios de energía, como resultado de una combustión más eficiente en la caldera, obteniéndose así una mayor cantidad de kilovatios de energía por tonelada de bagazo quemada.

### B. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 2 Reducir la humedad del bagazo a un porcentaje que mejore eficientemente la combustión de la caldera, de tal manera que se requiera el menor calor posible, pero factible, para poder operar la caldera con su combustible principal, el bagazo.
- 2 Reducir la cantidad de combustible fósil utilizado para estabilizar la combustión en la caldera, pero reducir antes la humedad del bagazo, para no requerir calor para la evaporación del bagazo húmedo, proceso que requiere de un alto calor energético, que proporciona el combustible fósil.
- 2 Disminuir las emisiones de los diferentes contaminantes que produce la combustión en la caldera, al quemar bagazo que requiere menos exceso de aire y menor calor energético.

- 2 Sacar provecho del calor específico que poseen los gases de chimenea para secar el bagazo existente.
- 2 Reducir el costo de producción del kilovatio de energía, al requerir menos energía calorífica para operar la caldera.
- 2 Realizar un estudio económico de los costos del equipo de secado de bagazo y los ingresos obtenidos como resultado de una venta extra de kilovatios producidos.

## V. PROBLEMA A RESOLVER

El bagazo que se utiliza para la combustión en las calderas de los ingenios azucareros contienen un porcentaje de humedad que afecta la eficiencia de las mismas, ya que a mayor porcentaje de humedad se requiere mayor porcentaje de exceso de oxígeno. Por consiguiente reducir la humedad reduce el porcentaje de exceso de oxígeno y ello mejora la eficiencia de combustión.

## VI. METODOLOGIA

1. Se calculó la mejora de eficiencia de la combustión en la caldera por reducción de humedad, al suponer una humedad de entrada del 53% y una humedad de salida del 40%.

2. Con las condiciones de trabajo anteriores se determinó el aumento de la cantidad de vapor producido por la caldera, y por ende la cantidad extra de kilovatios para vender, al tomar como base 100 ton caña/h (27.78 kg/s) molidas .

3. Se determinaron las características de diseño del ventilador, ciclón y tuberías de acuerdo a un flujo determinado de gases, que servirían para secar 5.56 kg/s (20 ton/h) de bagazo, y se dimensionaron los requerimientos auxiliares.

4. De acuerdo al diseño del ventilador, ciclón y tuberías se realizaron las cotizaciones y se estudiaron alternativas económicas y se eligió la más atractiva.

5. Se procedió a montar el equipo respectivo para el proyecto dentro del ingenio, cerca de la chimenea de gases.

6. En el equipo montado se llevaron a cabo diversas pruebas, en las cuales se efectuaron las siguientes mediciones por 21 días:

- Medición de las temperaturas de los gases al salir de la chimenea y al salir del ciclón.
- Medición de la presión (estática y dinámica ) de los gases
- Reducción de la humedad a través del equipo, para lo cual se mide la humedad antes y después de salir del contacto con los gases.
- Medición de las revoluciones por minuto del alimentador.

7. De los datos anteriores se obtuvo un promedio de las condiciones de secado.

**8.** Se realizó un estudio económico de los costos de secado y la cantidad de ingresos que se obtendrá con la venta de los kilovatios extra, que se obtuvieron en el paso 2.

## VII. RESULTADOS

Tabla #21 Determinación de la mejora de eficiencia de la combustión en la caldera por reducción de humedad

Humedades	53.00%	40.00%
% Exceso de aire	42%	30%
CO2 gases comb	14.30%	16.30%
Eficiencia en calderas (%)	55.9	64.75

Tabla #22 Aumento de la eficiencia en la producción de kilovatios de energía

Humedad del Bagazo	53%	40%
kw para condensing (kw/ton caña)	0	8.8
(kw / kg caña)	0	0.0088
Aumento de potencia para condensing (kw/ton caña)		8.8
(kw/kg caña)		0.0088

Tabla #23 Resultados promedio de la reducción de humedad obtenidos en la práctica

	T °F (°K)		Humedad		Bagazo seco	Bagazo Húmedo	Agua extraída con el secador ton/h kg/s
	Chimenea	Ciclón	Entrada	Salida	ton/h kg/s	ton/h kg/s	
Promedio	385.94 (469.8)	221.03 (378.2)	53.99	34.54	6.47 1.8	9.23 2.6	2.76 0.77

Tabla #24 Comparación de las variables diseñadas con las obtenidas en la práctica

Datos de	Flujo de bagazo a secar	Temperatura de gas de chimenea entrando a tubería	Humedad de entrada de bagazo	Humedad de salida de bagazo	Temperatura de salida de los gases de chimenea del ciclón	Temperatura de entrada del bagazo	Temperatura de salida del bagazo ciclón	Diámetro de tubería
Diseño	20 ton/h 5.56 kg/s	600°F 588.7 °K	53%	40%	350°F 449.8 °K	56°C 329.15 °K	60°C 333.15 °K	46 in 1.17 m
Práctica (Valores promedio)	9.37 ton/h 2.6kg/s	386°F 469.8 °K	54%	34.5%	221.4 °F 378.4 °K	56°C 329.15 °K	61.7°C 334.85 °K	46 in 1.17 m

## VIII. DISCUSION

El secador de bagazo diseñado redujo la humedad del bagazo a un promedio aproximado de 35%, como se puede observar en la sección de resultados en la tabla #23 En la tabla #76 de anexos también se muestra que los datos y cálculos obtenidos de la experimentación con el secador de bagazo son lo suficientemente precisos y exactos para el objetivo del proyecto. Los datos menos precisos y exactos fueron las temperaturas y el volumen de los gases.

En los resultados de bagazo seco, húmedo y agua eliminada se obtuvo una alta precisión y exactitud, lo que le brinda confiabilidad al proyecto.

El secador cumplió con su objetivo pues como se observa en la sección de resultados, se logró extraer un promedio de 2.81 ton/h (0.78 kg/s) de agua, reduciendo así la humedad al 35%

El secador había sido diseñado para obtener una humedad de salida del 40%, y en la práctica se obtuvo un 35% Sin embargo esto obedece a que durante la operación de secado, se observó que mucho bagazo era mal alimentado a la tubería del transporte neumático y mediante análisis se pudo encontrar que la razón de esta mala alimentación se debe a que el bagazo cae en la parte delantera de los álabes de la válvula. Esto provocaba que el bagazo obstruyera el movimiento de los álabes, expulsando bagazo y ofreciendo un mal sello para los gases.

Por consiguiente aunque el secador había sido diseñado para 20 ton/h (5.56 kg/s), esta alimentación no era la que entraba al ducto sino una cantidad menor. Esto significaba que el flujo de gases diseñado previamente estaría sobredimensionado y ofrecería más calor del necesario para calentar y evaporar el agua.

En la tabla #24 se puede observar que el flujo de bagazo a secar fue realmente la mitad de la cantidad a la que fue diseñada, por lo que se tenía el doble de la cantidad

necesaria de gases y por consiguiente de calor para reducir la humedad al 40%, lo cual provocaba una reducción al 35%.

La diferencia que existe entre la temperatura de gas chimenea entrante de diseño y de práctica, se debe a un mal aislamiento del área cuando los gases pasan de la chimenea al ventilador, a lo cual se añade el mal aislamiento de la tubería.

Se puede decir también que este factor fue la causa de la baja precisión que se obtuvo en las temperaturas de los gases y en su volumen.

Por lo tanto a partir de estas observaciones se recomienda que para la próxima zafra se cambie la forma de alimentar el bagazo. Es decir el bagazo entrará por la parte trasera de los álabes de la válvula, de tal manera que se eviten obstrucciones de los álabes con el bagazo, y éste vaya entrando a la tubería a medida que los álabes van avanzando. También se recomendará aislar la tubería de transporte neumático, para recuperar los gases de chimenea con mayor temperatura.

En las tablas # 22 y # 23 de Resultados se puede observar el beneficio que otorga el secado de bagazo cuando su humedad es reducida en un 13%.

No existe ventaja alguna en secar el bagazo abajo del 10% humedad, ya que sería posible aumentar en un 10% por absorción de la humedad atmosférica. La operación de secado, puede tomarse en un 15 o 20%, y el calor disponible restante en los gases puede usarse en otros intercambiadores como un economizador pequeño. La operación bien puede comenzar con el economizador, cuyos gases irán al secador de bagazo. Esta solución presentará la ventaja de que el economizador podrá mostrar un buen retorno.

El secado de bagazo es caro, pero ofrece la gran ventaja de ser el procedimiento por medio del cual los gases de chimenea pueden reducirse a la temperatura más baja, y por lo tanto el equipo puede recuperar la mayor cantidad de calor posible de los gases de chimenea.

Aunque los economizadores y calentadores de aire permiten una reducción de la temperatura del gas a 150 - 200°C (423.15 – 473.15 ° K), el secador de bagazo permite el enfriamiento de gases a 90°C (363.15 °K), el único límite está impuesto por la necesidad de evitar el enfriamiento a la temperatura de rocío de 60 - 70°C (333.15 – 343.15 °K). Tampoco es recomendable dicho enfriamiento, ya que afecta las dimensiones y costos del secador, que se convierten en excesivos.

Otra ventaja del secador consiste en que el bagazo introducido al horno es calentado, lo que facilita la combustión y provoca una rápida ignición. Esto no se toma en cuenta en los cálculos, pero sí contribuye a una combustión mejorada.

Por el otro lado, ya que el bagazo seco es de rápida ignición se deben tomar precauciones en el secador y en el transporte del bagazo a las calderas. Este consiste en colocar una válvula de vapor en la entrada del secador para extinguir de inmediato cualquier fuego que se pueda provocar en el secador, lo cual se recomienda para prácticas futuras.

Actualmente, para la combustión del bagazo en los hornos, el bagazo no se seca menos del 30% de humedad, ya que un combustible muy seco puede ser peligroso, debido a sus altas temperaturas de combustión, que pueden depositar ceniza fundida en los tubos de las calderas.

La influencia del secado de bagazo en la eficiencia de la combustión en la caldera, puede comprobarse en la tabla #22 donde se observa como la reducción de humedad al 40% aumenta la eficiencia de la combustión en caldera en un 8.85%.

Una combustión más eficiente permite generar energía para vender y ahorrar la compra de combustible auxiliar.

Esto se demostró en el análisis que se hizo en la tabla #48, donde al 53% de humedad es necesario comprar combustible auxiliar (bunker C), ya que el bagazo disponible en la caña no es suficiente para producir la razón total de consumo de vapor de

escape. Ahora bien al 40% de humedad, el bagazo disponible en la caña no sólo es suficiente para esta razón de consumo de vapor de escape, sino que sobra bagazo que sirve para producir vapor que puede generar energía para vender (en este caso  $8.8 \text{ kw/ ton caña} = 8.8E-3 \text{ kw/kg caña}$ ), y le significa a un ingenio de 100 ton/h un ahorro (se evita compra de combustible auxiliar) y un ingreso de aproximadamente 35 centavos de dólar por tonelada caña.

La razón de que exista una cantidad de bagazo excedente, consiste en que el aumento en la eficiencia de combustión provoca que mayor libras de vapor sean producidas por libra de bagazo, pues se aprovecha más su capacidad calorífica. Como consecuencia del aumento de esta proporción se logra que menos cantidad de bagazo sea quemada para generar la razón total de consumo de vapor de escape ( $937.31 \text{ lbs vapor/ton caña} = 0.43 \text{ kg vapor/kg caña}$ ), que es constante sin importar la humedad del bagazo, como se puede ver en la tabla #46. Esto deja entonces una cantidad extra de bagazo que se utiliza para satisfacer el consumo interno y para exportar energía.

La principal desventaja del secado de bagazo es su costo, que puede consistir en tres veces la de los economizadores y calentadores de aire.

La inversión que requiere el secador se recupera rápidamente en cinco meses de zafra, si se toma en cuenta que en ese período se trabajan 24 horas y fines de semana

Este proyecto fue realizado a escala industrial, pero los resultados indican que es factible aplicarlo a capacidades mayores de molienda, si se tiene el cuidado de resolver primero los problemas que se detectaron en este proyecto.

## IX. CONCLUSIONES

1. El alto porcentaje de humedad es significativo para el proceso de combustión debido a que actúa como un absorbente de calor durante el proceso de combustión.
2. La reducción de la humedad del bagazo aumenta la relación de libras de vapor por libra de bagazo, como consecuencia del aumento de eficiencia de combustión en la caldera. Esto permite quemar menos bagazo para satisfacer el consumo interno y esto deja un excedente que puede utilizarse para exportar energía, y se aumenta así la eficiencia en la producción de kilovatios de energía.
3. La reducción de la humedad al 35% se debió a una mala alimentación del bagazo a la tubería de secado neumático, por lo que el volumen de los gases de chimenea (diseñado para 20 ton/h) estaba sobredimensionado para la cantidad real de bagazo que se introdujo en el secador, que fue de 10 ton/h.
4. El secado de bagazo al 40% de humedad le significará a un ingenio de 100 ton/h la posibilidad de generar una cantidad de 8.8 kw/ton caña para potencia de condensando. Traducido en dinero significa un ingreso de aproximadamente 35 centavos de dólar/ton caña, y el ahorro de adquirir combustible auxiliar para alcanzar la razón de vapor del proceso.
5. La inversión del secador se recuperará en cinco meses de zafra.
6. La utilización de un secador de bagazo permitirá operar a un ingenio azucarero con menor impacto ambiental, pues requerirá menor cantidad de combustible fósil.

## X. RECOMENDACIONES

A partir de las observaciones que se pudieron obtener de la experimentación con el secador de bagazo se recomiendan los siguientes aspectos, para mejorar su funcionamiento y objetivo:

- 2 Cambiar la forma de alimentación de bagazo, dejándolo entrar por la parte trasera de los álabes de la válvula, de tal manera que se eviten obstrucciones de los álabes con el bagazo, y éste camine con los álabes a medida que rotan.
- 2 Aislar la tubería de transporte neumático, para recuperar los gases de chimenea a la máxima temperatura posible.
- 2 Colocar una válvula de vapor en la entrada del secador para extinguir de inmediato cualquier fuego que se pueda provocar en el secador.

## XI. BIBLIOGRAFIA

- 1) Baguant, J., P. Harel. 1992. Bagasse Combustion International Sugar Journal. 94: 11-15
- 2) Harris, D. C. 1992. Análisis Químico Cuantitativo. Editorial Iberoamérica, 3ª.ed. México.
- 3) Heald, C.C. 1996. Cameron Hydraulic Data. Ingersoll-Dresser Pumps. 18ª.ed. U.S.A.
- 4) Hugot, E. 1986. Manual para Ingenieros Azucareros. Compañía Editorial Continental, S.A. 3ª.ed. México.
- 5) Koch, W., W. Licht. 1977. New Design approach boosts cyclone efficiency. Chemical Engineering. 5: 81-88
- 6) Magasiner, N. 1993. Bagasse-fired boiler design with reference to co-generation. Journal of Energy in Southern Africa. 4: 22-30
- 7) McBurney, B., J.C. McBurney. 1997. Designing bagasse fired boilers for low emissions-Part1. International Sugar Journal. 99:58-64
- 8) McBurney, B., J.C. McBurney. 1997. Designing bagasse fired boilers for low emissions-Part2. International Sugar Journal. 99:133-139

- 9) Payne, F.W. 1985. Cogeneration Sourcebook. U.S.A.
- 10) Perry, J.H. Manual del Ingeniero Químico. 3ª.ed. Tomo 1 y 2. 5ª.ed Editorial McGraw-Hill, México, 1976. 1 pp.
- 11) Upadhiaya, U.C. 1992 Cogeneration of Steam and electric power. International Sugar Journal.94: 2-10

## XII. ANEXOS

*NOTA*

Las tablas de los datos originales y datos calculados se presentaron en unidades inglesas, para ser consistentes con las unidades con que operan actualmente los ingenios, de tal forma que este estudio pueda ser de utilidad para los ingenios azucareros de Guatemala.

## A. Datos Originales

### 1. Cálculo de la Humedad de Bagazo

Se tomaron muestras de bagazo antes y después del secado (de tres diferentes lugares, para que la muestra fuera representativa). Posteriormente se tomó una cantidad de 10 gramos de cada tipo de bagazo, y se introdujo en una cacerola. Se tomaron los pesos de ambas muestras introducidas en la cacerola.

El bagazo seco se sometió a cuatro minutos en el microondas a potencia 9. Luego se dejó 10 min. en un secador con sílice, y se leyó el peso nuevo. Para encontrar la humedad del bagazo seco se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ humedad} = \frac{(\text{peso de bagazo seco} + \text{cacerola}) - (\text{peso de bagazo seco} + \text{cacerola})_{\text{sometido a microondas}}}{10\text{g}} * 100$$

(Ecuación #40)

De la misma forma se realizó para el bagazo de molino, solamente que se introdujo por cuatro minutos en microondas, luego se le dio un minuto de receso, y posteriormente se le dio 3 minutos más en el microondas. Luego se dejó 10 min. en secador con sílice, y se le tomó su peso.

Tabla #25 Registro de Datos de Bagazo del 01 de Marzo del 2000

Corrida Número	Temperatura °F		Presión en pulgadas de agua		Humedad de bagazo	
	Chimenea	Ciclón	Estática	Dinámica (Pitot)	Entrada	Salida
6:00 AM						
7:00 AM						
8:00 AM						
9:00 AM						
10:00 AM						
11:00 AM						
12:00 PM						
1:00 PM						
2:00 PM						
3:00 PM						
4:00 PM						
5:00 PM						
6:00 PM						
7:00 PM	380	210	4.00	0.5	54.5	33.5
8:00 PM	383	300	4.50	0.75	53.5	35
9:00 PM	392	300	4.00	0.75	53.5	36.5
10:00 PM	365	300	4.50	0.75	54	36.5
11:00 PM	370	300	4.50	0.75	53	34
12:00 AM	374	300	4.50	0.75	54	33.5
1:00 AM	383	300	4.50	0.75	52	35
2:00 AM	380	300	4.50	0.75	56	34.5
3:00AM	376	300	4.50	0.75	57	35
4:00 AM	380	300	4.50	0.75	56	32
5:00 AM	375	300	4.50	0.75	55	33.5
6:00 AM	374	300	4.50	0.75	55	33

Tabla #26 Registro de Datos de Bagazo del 02 de Marzo del 2000

Corrida Número	Temperatura °F		Presión en pulgadas de agua		Humedad de bagazo		RPM
	Chimenea	Ciclon	Estática	Dinámica (Pitot)	Entrada	Saída	Alimentador
6:00 AM	374	300	4.50	0.75	55.50	33.5	12
7:00 AM	365	300	4.50	0.75	51.50	32	12
8:00 AM	365	210	4.00	0.50	50.50	34.5	12
9:00 AM	381	280	4.00	0.50	51.50	33	12
10:00 AM	368	200	4.00	0.50	49.50	31	12
11:00 AM	367	240	4.00	0.50	50.00	32	12
12:00 PM	365	200	4.00	0.50	52.50	34	12
1:00 PM	374	200	4.00	0.50	50.50	34.5	12
2:00 PM	374	200		0.75	53.00	35	12
3:00 PM	347	260	3.00	0.50	53.50	34	12
4:00 PM	374	200	3.00	0.75	52.00	33.5	12
5:00 PM	374	300		0.75	51.00	30	12
6:00 PM	356	205	5.13	0.75	51.50	33	12
7:00 PM	342	280	5.00	0.75	55.50	34	12
8:00 PM	356	200	5.00	0.75	51.50	34	12
9:00 PM	320	250	5.13	0.50	52.50	36	12
10:00 PM	345	265	5.00	0.75	56.50	34	12
11:00 PM	338	250	5.00	0.88	55.50	35.5	12
12:00 PM	340	260	5.00	0.75	56.00	33	12
1:00 AM							
2:00 AM							
3:00 AM							
4:00 AM							
5:00 AM	356	280	4.88	0.88	55.00	32	12
6:00 AM	347	220	4.50	0.75	53.00	33	12

Tabla #27 Registro de Datos de Bagazo del 05 de Marzo del 2000

Corrida Número	Temperatura °F		Presión en pulgadas de agua		Humedad de bagazo		RPM	RPM
	Chimenea	Ciclon	Estática	Dinámica (Pitot)	Entrada %	Salida %	Alimentador	Valv. Sello
6:00 AM	374	200	4 1/2	0.50	55.00	35.5	12	103 amp.
7:00 AM	383	250	4 1/2	0.75	56.00	37	12	102 amp.
8:00 AM	356	190	4 1/2	0.75	55.00	32	12	102 amp.
9:00 AM	373	200	4 1/2	0.75	51.00	30	12	102 amp.
10:00 AM	383	250	4 1/2	0.75	50.00	30	12	103 amp.
11:00 AM	356	190	4 1/2	0.75	50.00	30	12	102 amp.
12:00 PM	383	190	4 1/2	0.75	50.00	31	12	101 amp.
1:00 PM	356	190	4 1/2	0.75	57.00	31	12	101 amp.
2:00 PM								
3:00 PM								
4:00 PM								
5:00 PM								
6:00 PM	356	190	4 1/2	0.75	55.50	35	12	103 amp.
7:00 PM	373	200	4 1/2	0.75	56.00	37	12	102 amp.
8:00 PM	356	190	4 1/2	0.75	55.5	35	12	101 amp.
9:00 PM								
10:00 PM								
11:00 PM								
12:00 PM								
1:00 AM	356	200	4 1/2	0.75	56.00	35.5	12	102 amp.
2:00 AM	374	190	4 1/2	0.75	54.00	30	12	100 amp.
3:00 AM	365	220	4 1/2	0.75	56.50	37.5	12	102 amp.
4:00 AM	356	200	4 1/2	0.75	56.00	39	12	103 amp.
5:00 AM	371	200	4 1/2	0.75	56.00	34.5	12	103 amp.
6:00 AM	356	190	4 1/2	0.75	55.50	33.5	12	102 amp.

Tabla #28 Registro de Datos de Bagazo del 06 de Marzo del 2000

Hora Número	Temperatura °F		Presión en pulgadas de agua		Humedad de bagazo		RPM	RPM
	Chimenea	Ciclon	Estática	Dinámica (Pitot)	Entrada %	Salida %	Alimentador	Valv. Sello
6:00 AM	356	190	4 1/2	0.75	55.50	33.5	12	103 amp.
7:00 AM	356	185	5	0.75	52.50	30.5	12	103 amp.
8:00 AM	360	180	4 1/2	0.75	52.50	30	12	102 amp.
9:00 AM	374	200	5	0.75	52.00	30.5	12	103 amp.
10:00 AM	365	185	5	0.75	56.00	34.5	12	105 amp.
11:00 AM	370	203	5 1/8	0.75	55.50	35	12	102 amp.
12:00 PM	374	230	5	0.88	57.00	33.5	12	110 amp.
1:00 PM	377	200	5	0.75	58.00	32	12	103 amp.
2:00 PM	370	200	5	0.75	55.50	35	12	105 amp.
3:00 PM	374	200	4 1/2	0.50	57	32	12	

INTERRUPCION DE MOLIENDA POR PROBLEMAS DE MOLINOS

5:00 PM								
6:00 PM	356	180	4 1/2	0.50	52.50	30	12	102 amp.
7:00 PM	374	200	5	0.75	56.00	33	12	103 amp.
8:00 PM	377	200	4 1/2	0.75	57.00	32	12	101 amp.
9:00 PM	374	185	4 1/2	0.75	55.50	32.5	12	103 amp.
10:00 PM	365	200	4 1/2	0.75	54.00	35.5	12	102 amp.
11:00 PM	374	190	4 1/2	0.75	52.00	33.5	12	102 amp.
12:00 PM	383	190	4 1/2	0.75	51.50	32.5	12	104 amp.
1:00 AM	370	200	4 1/2	0.75	53.00	34	12	101 amp.
2:00 AM	356	200	4 1/2	0.75	54.50	34	12	102 amp.
3:00 AM	374	200	4 1/2	0.75	56.50	35.5	12	100 amp.
4:00 AM	356	200	4 1/2	0.75	51.50	38	12	103 amp.
5:00 AM	383	190	4 1/2	0.75	52	35	12	101 amp.
6:00 AM	365	194	4	0.63	53.00	30.5	12	102 amp.

Tabla #29 Registro de Datos de Bagazo del 09 de Marzo del 2000

Hora Número	Temperatura °F		Presión en pulgadas de agua		Humedad de bagazo		RPM	RPM
	Chimenea	Ciclon	Estática	Dinámica (Pitot)	Entrada %	Salida %	Alimentador	Valv. Sello
6:00 AM	360	200	4	0.75	53.5	30.5	12	103 amp.
7:00 AM	377	201	4	0.75	55	32.5	12	104 amp.
8:00 AM	356	195	4 1/8	0.63	54	31	12	104 amp.
9:00 AM	352	170	5	0.50	53.5	31.5	12	100 amp.
10:00 AM	360	160	4 1/2	0.50	56	35.5	12	102 amp.
11:00 AM	374	212	4 1/8	0.50	57	33.5	12	100 amp.
12:00 PM	365	176	4	0.50	56	32	12	102 amp.
1:00 PM	365	176	4 1/8	0.50	54.5	33	12	104 amp.
2:00 PM	360	176	4 1/8	0.50	53	32	12	102 amp.
3:00 PM	370	170	4	0.50	55.5	34	12	104 amp.
4:00 PM	365	176	4 1/2	0.50	54	33.5	12	101 amp.
5:00 PM	374	176	4 1/8	0.50	52.5	31.5	12	103 amp.
6:00 PM	377	172	4	0.75	53	32	12	101 amp.
7:00 PM	365	170	4	0.50	53.5	32	12	101 amp.
8:00 PM	365	177	4	0.25	54	32.5	12	100 amp.
9:00 PM	360	190	4 1/2	0.25	55	33	12	102 amp.
10:00 PM	356	175	4 1/2	0.50	56	32.5	12	101 amp.
11:00 PM	365	200	4	0.50	57	33.5	12	100 amp.
12:00 PM	370	195	4 1/4	0.50	54.5	32	12	102 amp.
1:00 AM	383	175	4 1/2	0.50	53	31.5	12	103 amp.
2:00 AM	378	170	4 1/2	0.50	55	39	12	100 amp.
3:00 AM	370	200	4 1/2	0.50	54.5	36	12	100 amp.
4:00 AM	365	200	4 1/2	0.50	55	39	12	101 amp.
5:00 AM	385	175	4	0.50	52.5	31.5	12	105 amp.
6:00 AM	350	167	4	0.50	54	31	12	103 amp.

Tabla #30 Registro de Datos de Bagazo del 10 de Marzo del 2000

Hora Número	Temperatura °F		Presión en pulgadas de agua		Humedad de bagazo		RPM	RPM
	Chimenea	Ciclón	Estática	Dinámica (Pitot)	Entrada %	Salida %	Alimentador	Valv. Sello
6:00 AM	350	167	4	0.50	54	31	12	103 amp.
7:00 AM	356	176	5	0.50	53.5	30.5	12	105 amp.
8:00 AM	356	170	4 1/8	0.50	53	31	12	105 amp.
9:00 AM	347	167	4 1/2	0.50	54	32	12	104 amp.
10:00 AM	360	172	4	0.50	57	32	12	102 amp.
11:00 AM	364	193	4	0.50	56	31	12	101 amp.
12:00 PM	365	194	5	0.75	55.5	31.5	12	105 amp.
1:00 PM	374	203	4 1/8	0.63	53.5	36.5	12	104 amp.
2:00 PM	365	194	5	0.50	55	37.5	12	101 amp.
3:00 PM	376	170	4 1/8	0.50	56	36.5	12	104 amp.
4:00 PM	365	167	4	0.50	57	35	12	103 amp.
5:00 PM	356	176	4 1/2	0.50	55.5	33.5	12	101 amp.
6:00 PM	365	170	4	0.25	56	34	12	101 amp.
7:00 PM	350	167	4	0.50	55	33	12	102 amp.
8:00 PM	370	175	4 1/2	0.50	55.5	37.5	12	102 amp.
9:00 PM	375	170	4	0.25	57	36	12	101 amp.
10:00 PM	383	175	4	0.25	55	35.5	12	103 amp.
11:00 PM	370	175	4	0.50	52.5	33	12	101 amp.
12:00 AM	392	160	4 1/2	0.50	54.5	34	12	101 amp.
1:00 AM	356	180	4 1/2	0.50	53.5	37	12	103 amp.
2:00 AM	365	170	4 1/4	0.50	52	35	12	103 amp.
3:00 AM	374	175	4 1/4	0.50	53	33	12	102 amp.
4:00 AM	356	190	4 1/4	0.50	54	34.5	12	100 amp.
5:00 AM	383	175	4 1/4	0.50	52	30	12	101 amp.
6:00 AM	360	185	4 1/2	0.75	55	30	12	103 amp.

Tabla #31 Registro de Datos de Bagazo del 13 de Marzo del 2000

Hora	Temperatura °F		Presión en pulgadas de agua		Humedad de bagazo		RPM
	Chimenea	Cicloñ	Estática	H (Pitof)	Entrada %	Salida %	Alimentador
6:00 AM	375	215	4	0.13	53.5	34.5	12
7:00 AM	365	215	4	0.13	54	34.5	12
8:00 AM	356	175	4	0.25	53	36.5	12
9:00 AM	370	190	4	0.25	52	34	12
10:00 AM	383	200	4	0.13	54	35	12
11:00 AM	395	220	4 1/2	0.25	53.5	33.5	12
12:00 PM	374	200	4	0.13	55	36	12
1:00 PM	385	220	4	0.13	56	37.5	12
2:00 PM	359	170	4	0.25	55	38.5	12
PARADO							
4:00 PM	365	180	4	0.25	53.5	35.5	12
5:00 PM	367	160	4	0.25	52.5	39	12
6:00 PM	356	175	4	0.5	54	35	12
7:00 PM	360	175	4	0.5	56	38.5	12
8:00 PM	374	200	4	0.5	55	37	12
9:00 PM	370	170	4	0.5	55.5	36.5	12
10:00 PM	360	175	4 1/2	0.625	52.5	33	12
11:00 PM	356	180	4	0.5	54.5	33.5	12
12:00 AM	350	195	4 1/2	0.5	55	34	12
1:00 AM	356	195	4 1/2	0.625	54	32	12
2:00 AM	365	167	4	0.5	53.5	31	12
3:00 AM	360	175	4 1/8	0.5	53	30	12
4:00 AM	370	160	5	0.625	54	32.5	12
5:00 AM	365	170	5 1/8	0.625	53	30	12
6:00 AM							

Tabla #32 Registro de Datos de Bagazo del 14 de Marzo del 2000

Hora Número	Temperatura °F		Presión en pulgadas de agua		Humedad de bagazo		RPM
	Chimenea	Ciclon	Estática	Dinámica (Pitot)	Entrada %	Salida %	Alimentador
6:00 AM	360	175	5	0.625	59	38	12
7:00 AM	347	170	4 1/2	0.25	57.5	37	12
8:00 AM	356	175	5	0.25	55.5	34	12
9:00 AM							
10:00 AM							
11:00 AM							
12:00 PM							
1:00 PM	365	180	5	0.25	54	33.5	12
2:00 PM							
3:00 PM	347	170	4 1/2	0.25	53	33	12
4:00 PM	367	160	4	0.50	55	35.5	12
5:00 PM	356	170	4	0.50	52.5	34	12
6:00 PM	350	185	4	0.50	56	34.5	12
7:00 PM	347	190	4	0.50	55.5	36	12
8:00 PM	365	160	4	0.50	52.5	33.5	12
9:00 PM	356	180	4	0.50	54.5	33.5	12
10:00 PM	374	160	4	0.75	55	32	12
11:00 PM	356	175	4 1/8	0.75	52.5	34.5	12
12:00 AM	370	160	4 1/8	0.75	54	33	12
1:00 AM	360	180	4	0.75	54.5	32	12
2:00 AM	374	185	4 1/2	0.63	53.5	30	12
3:00 AM	370	160	4 1/2	0.75	53	31	12
4:00 AM	365	170	4 1/8	0.75	54	32	12
5:00 AM	380	180	4	0.75	55	32	12
6:00 AM							

Tabla #33 Registro de Datos de Bagazo del 17 de Marzo del 2000

Hora Número	Temperatura °F		Presión en pulgadas de agua		Humedad de bagazo		RPM
	Chimenea	Ciclon	Estática	Dinámica (Pitot)	Entrada %	Salida %	Alimentador
6:00 AM	360	167	4 1/2	0.90	53.00	33.5	12
7:00 AM	365	175	4 1/2	0.88	54.00	34	12
8:00 AM	370	176	4 1/2	0.99	54.50	35	12
9:00 AM	365	168	4 1/2	0.95	56.00	35.5	12
10:00 AM	356	185	5	0.90	55.00	35	12
11:00 AM	365	170	4 1/2	0.90	54.00	34	12
12:00 PM	365	267	4 1/2	0.95	56.50	36	12
1:00 PM	365	230	4 1/2	0.90	57.00	35.5	12
2:00 PM	356	239	4 1/2	0.80	55.50	34	12
3:00 PM	377	232	4 1/2	0.68	53.50	37.5	12
4:00 PM	365	215	5	0.66	53.00	35.5	12
5:00 PM	356	230	4 1/2	0.65	54.50	36.5	12
6:00 PM	365	239	4 1/2	0.64	56.00	35	12
7:00 PM	374	194	4 1/2	0.65	52.50	39	12
8:00 PM	365	224	5	0.63	55.50	32	12
9:00 PM	366	230	4 1/2	0.68	54.50	34	12
10:00 PM	356	222	4 1/2	0.62	58.00	36	12
11:00 PM	365	210	5	0.60	58.50	35.5	12
12:00 AM	356	210	4 1/2	0.58	57.00	34	12
1:00 AM	383	300	4 1/2	0.58	56.50	33	12
2:00 AM	365	240	4 1/8	0.57	56.50	37	12
3:00 AM	380	210	4 1/2	0.58	57.00	36	12
4:00 AM	370	265	4 1/8	0.58	55.50	33.5	12
5:00 AM	365	215	5	0.56	56.00	35	12
6:00 AM							

Tabla #34 Registro de Datos del Bagazo del 20 de Marzo del 2000.

Hora	Temperatura °F		Presión en pulgadas de agua		Humedad de bagazo		RPM	
	Número	Chimenea	Ciclon	Estática	Dinámica (Pitot)	Entrada %		Salida %
6:00 AM		411	185	6 1/2	0.60	55.00	33.50	12
7:00 AM		401	176	6 1/2	0.70	52.00	37.00	12
8:00 AM		399	186	6	0.75	54.00	34.50	12
9:00 AM		388	177	6	0.66	52.00	39.00	12
10:00 AM		393	174	6	0.65	56.00	36.50	12
11:00 AM		392	194	6	0.60	52.50	39.50	12
12:00 PM		397	212	6	0.70	53.50	37.50	12
1:00 PM		399	217	5	0.75	52.00	39.50	12
2:00 PM		401	309	5	0.97	53.50	38.00	12
3:00 PM		408	233	5	0.80	52.50	34.50	12
4:00 PM								
5:00 PM		410	235	5 1/2	0.87	53.00	33.00	12
6:00 PM		404	194	5 1/2	0.68	54.00	35.00	12
7:00 PM		415	200	5 1/8	0.70	55.00	34.50	12
8:00 PM		411	303	5	1.00	56.50	36.00	12
9:00 PM		405	210	6	0.75	56.50	34.50	12
10:00 PM		410	210	6	0.75	54.00	32.00	12
11:00 PM		390	266	5	0.75	54.50	33.00	12
12:00 AM		392	186	6	0.85	55.00	33.50	12
1:00 AM								
2:00 AM								
3:00 AM		408	231	6	0.90	52.00	32.00	12
4:00 AM		428	246	5	0.87	54.00	32.50	12
5:00 AM		413	246	6	0.87	53.50	33.00	12

Observación: Se paró secador por regla entrampada en válvula de sello y se le realizó limpieza a las 1:00 AM.

Tabla # 35 Registro de Datos de Bagazo del 23 de Marzo del 2000.

Hora Número	Temperatura °F		Presión en pulgadas de agua		Humedad de bagazo		RPM
	Chimenea	Ciclon	Estática	Dinámica (Pitot)	Entrada %	Salida %	Alimentador
6:00 AM	405	259	5	0.85	52.00	37.00	12
7:00 AM	395	266	4 1/2	0.80	51.50	35.00	12
8:00 AM	392	266	4 1/2	0.82	53.50	39.00	12
9:00 AM	386	194	5 1/2	0.85	54.00	37.00	12
10:00 AM	401	210	5 1/2	0.85	53.00	34.00	12
11:00 AM	405	196	5 1/2	0.88	52.00	35.00	12
12:00 PM	401	206	5	0.86	53.50	33.00	12
1:00 PM	406	203	5	0.90	54.50	34.50	12
2:00 PM	394	230	5	0.88	54.50	34.50	12
3:00 PM	405	210	5	0.87	55.00	33.00	12
4:00 PM	400	224	5	0.82	53.00	32.00	12
5:00 PM	395	206	5	0.85	52.50	35.00	12
6:00 PM	405	208	5	0.87	54.50	31.50	12
7:00 PM	410	206	5 1/8	0.87	55.50	31.00	12
8:00 PM	408	202	5 1/8	0.85	56.00	33.50	12
9:00 PM	402	231	5	0.88	54.00	32.50	12
10:00 PM	406	231	5	0.70	55.00	33.00	12
11:00 PM	399	231	5 1/2	0.75	54.00	32.50	12
12:00 AM	401	231	5	0.68	56.00	35.00	12
1:00 AM	390	199	5 1/2	0.67	57.00	36.00	12
2:00 AM	402	212	5 1/2	0.67	56.00	35.00	12
3:00 AM	393	195	5	0.65	57.00	36.00	12
4:00 AM	402	217	5	0.67	54.50	34.50	12
5:00 AM	375	275	5	0.67	54.00	33.50	12

Tabla #36 Registro de Datos de Bagazo del 24 de Marzo del 2000.

Hora Número	Temperatura °F		Presión en pulgadas de agua		Humedad de bagazo		RPM
	Chimenea	Ciclón	Estática	Dinámica (Pitot)	Entrada %	Salida %	Alimentador
6:00 AM	401	212	5	0.65	52.50	37.00	12
7:00 AM	392	221	5	0.60	51.50	39.50	12
8:00 AM							
9:00 AM							
10:00 AM	401	206	5	0.65	53.50	36.50	12
11:00 AM	401	179	6	0.70	53.00	35.00	12
12:00 PM	395	181	6	0.65	52.00	34.50	12
1:00 PM	397	154	6	0.68	53.50	35.50	12
2:00 PM	399	174	6 1/2	0.68	52.00	34.50	12
3:00 PM	395	240	6	0.86	53.50	33.00	12
4:00 PM	406	215	6	0.75	52.00	31.00	12
5:00 PM	393	170	6	0.85	53.00	31.50	12
6:00 PM	399	202	6 1/2	0.70	52.50	32.00	12
7:00 PM	383	185	6	0.60	54.00	33.50	12
8:00 PM	395	196	6	0.72	53.50	32.00	12
9:00 PM	385	176	6 1/2	0.87	55.00	33.00	12
10:00 PM	404	240	5	0.57	57.00	36.00	12
11:00 PM	406	271	4 1/2	0.54	55.50	35.00	12
12:00 AM	397	309	4 1/2	0.50	54.00	34.50	12
1:00 AM	401	260	5	0.57	53.50	34.00	12
2:00 AM	408	264	4 1/2	0.57	55.00	36.00	12
3:00 AM	401	260	5	0.57	56.00	36.50	12
4:00 AM							
5:00 AM	402	226	4 1/2	0.54	54.00	34.00	12

Observación: Se realizó limpieza a las 4:00 AM

Tabla #37 Registro de Datos de Bagazo del 25 de Marzo del 2000.

Hora Número	Temperatura °F		Presión en pulgadas de agua		Humedad de bagazo		RPM Alimentador
	Chimenea	Ciclon	Estática	Dinámica (Pitot)	Entrada %	Salida %	
6:00 AM	397	215	4 1/2	0.60	51.50	39.50	12
7:00 AM	406	237	4 1/2	0.55	51.00	37.00	12
8:00 AM	392	246	5	0.53	52.00	36.50	12
9:00 AM	411	221	5	0.55	53.00	37.00	12
10:00 AM	406	203	5	0.56	54.00	37.00	12
11:00 AM	404	158	6	0.60	52.50	36.50	12
12:00 PM	399	149	6	0.55	53.50	37.00	12
1:00 PM	395	174	6	0.77	52.00	37.50	12
2:00 PM	388	161	6 1/8	0.60	53.00	37.00	12
3:00 PM	395	181	6	0.78	53.50	36.50	12
4:00 PM	379	179	6 1/2	0.80	55.00	38.00	12
5:00 PM	380	194	6	0.82	54.00	38.00	12
6:00 PM	396	230	6 1/2	0.88	54.50	37.00	12
7:00 PM	411	220	6	0.65	55.50	37.50	12
8:00 PM	402	198	5 1/2	0.70	56.00	37.00	12
9:00 PM	396	221	6	0.68	57.00	38.00	12
10:00 PM	397	204	5	0.65	55.00	36.00	12
11:00 PM	390	316	4 1/2	0.75	54.00	34.50	12
12:00 AM	402	195	6	0.70	56.50	36.50	12
1:00 AM	415	220	5 1/2	0.72	54.50	34.00	12
2:00 AM	397	200	6	0.74	55.00	35.00	12
3:00 AM	392	188	5 1/2	0.85	54.00	34.50	12
4:00 AM	397	183	6	0.60	53.00	34.00	12
5:00 AM	395	194	6	0.67	54.00	36.00	12

Tabla #38 Registro de Datos de Bagazo del 26 de Marzo del 2000.

Hora	Temperatura °F		Presión en pulgadas de agua		Humedad de bagazo		RPM	
	Número	Chimenea	Ciclon	Estática	Dinámica (Pitot)	Entrada %		Salida %
6:00 AM		402	251	5	0.93	55.00	38.00	12
7:00 AM		383	159	6	0.57	53.50	34.00	12
8:00 AM		385	151	5	0.50	54.50	36.00	12
9:00 AM								
10:00 AM								
11:00 AM		388	188	5	0.70	55.50	39.50	12
12:00 PM		399	179	5	0.80	54.00	37.50	12
1:00 PM		399	195	5 1/2	0.75	56.00	35.00	12
2:00 PM		399	190	5 1/2	0.75	57.00	36.00	12
3:00 PM		399	215	5	0.70	55.00	35.00	12
4:00 PM		395	221	5	0.65	50.00	32.00	12
5:00 PM		397	203	6	0.70	52.50	33.00	12
6:00 PM		401	192	5	0.65	52.00	32.50	12
7:00 PM		397	213	5	0.58	53.00	34.00	12
8:00 PM		339	260	5 1/2	0.60	51.00	33.00	12
9:00 PM		384	192	5 1/2	0.68	52.50	33.50	12
10:00 PM		397	185	5	0.70	53.50	32.50	12
11:00 PM		400	200	5	0.68	53.00	39.00	12
12:00 AM		404	203	5	0.65	54.50	39.50	12
1:00 AM		397	192	5	0.60	52.00	37.50	12
2:00 AM		390	188	5	0.65	54.00	38.00	12
3:00 AM		397	195	5	0.60	53.50	36.50	12
4:00 AM		399	203	5	0.65	52.00	36.00	12
5:00 AM		390	206	5 1/2	0.65	54.00	39.00	12

Tabla # 39 Registro de Datos del 27 de Marzo del 2000.

Hora Número	Temperatura °F		Presión en pulgadas de agua		Humedad de bagazo			RPM
	Chimenea	Ciclón	Estática	Dinámica (Pitot)	Entrada %	Salida %	Caida	Alimentador
6:00 AM	395	202	6	0.68	54.50	36.50	52.00	12
7:00 AM	385	196	5 1/2	0.65	52.50	39.00	51.50 <sup>o</sup>	12
8:00 AM	356	240	5	0.77	53.00	38.50	51.50	12
9:00 AM	402	222	4 1/2	0.67	53.50	38.00	52.00	12
10:00 AM	393	201	5	0.75	53.00	35.00	52.00	12
11:00 AM	386	204	4 1/2	0.72	53.50	36.00	49.00	12
12:00 PM	398	198	4 1/2	0.68	55.50	37.00	51.00	12
1:00 PM	392	203	5	0.72	55.00	36.00	50.00	12
2:00 PM	395	251	4 1/2	0.74	56.00	36.50	53.50	12
3:00 PM	402	226	4 1/2	0.75	55.00	35.50	52.00	12
4:00 PM	399	224	4	0.74	54.00	33.50	51.00	12
5:00 PM	384	267	4	0.70	53.50	33.00	51.50	12
6:00 PM	384	275	4	0.70	53.00	33.00	50.00	12
7:00 PM	404	242	4 1/2	0.75	54.00	34.50	52.00	12
8:00 PM	392	185	5	0.65	55.00	38.00		12
9:00 PM	384	216	5	0.65	56.50	36.00	54.00	12
10:00 PM	392	185	5	0.65	52.50	37.50	51.50	12
11:00 PM	401	192	5	0.60	53.00	35.50	50.00	12
12:00 AM								12
1:00 AM								12
2:00 AM	392	192	4 1/2	0.80	55.50	38.50	52.50	12
3:00 AM	397	204	4	0.85	54.00	36.00	51.00	12
4:00 AM	406	194	4	0.85	52.00	37.00	50.00	12
5:00 AM	384	212	4	0.80	53.00	35.00	52.00	12

Observación: Se paró secador a las 11:00 PM. entrando en línea a las 12:45 AM

Tabla #40 Registro de Datos de Bagazo del 28 de Marzo del 2000.

Hora Número	Temperatura °F		Presión en pulgadas de agua		Humedad de bagazo		RPM
	Chimenea	Ciclón	Estática	Dinámica (Pitot)	Entrada %	Salida %	Alimentador
6:00 AM	376	195	4 1/2	0.78	53.00	36.00	12
7:00 AM	392	212	4	0.80	54.00	37.00	12
8:00 AM							
9:00 AM	384	190	5	0.83	53.00	38.50	12
10:00 AM	400	230	4 1/2	0.75	53.50	37.00	12
11:00 AM	397	231	5	0.78	52.00	36.00	12
12:00 PM	385	198	5	0.75	53.00	37.00	12
1:00 PM	405	218	5	0.70	53.50	35.50	12
2:00 PM	401	210	5	0.80	56.00	36.00	12
3:00 PM	392	224	5	0.77	55.00	35.50	12
4:00 PM	384	257	5	0.75	52.50	33.50	12
5:00 PM	402	188	5	0.77	52.00	32.00	12
6:00 PM	402	197	5	0.74	53.50	33.00	12
7:00 PM	393	186	4 1/2	0.70	52.00	32.50	12
8:00 PM							
9:00 PM	404	203	5	0.57	54.00	34.00	12
10:00 PM	397	170	5	0.55	53.00	35.00	12
11:00 PM	401	212	5	0.55	54.50	38.50	12
12:00 AM	402	185	4 1/2	0.56	52.50	37.50	12
1:00 AM	397	158	4	0.60	55.00	39.50	12
2:00 AM	401	190	4	0.65	53.00	36.50	12
3:00 AM	404	205	4	0.65	55.00	34.50	12
4:00 AM	392	197	4	0.65	54.00	34.50	12
5:00 AM	397	224	4 1/2	0.76	54.50	35.50	12

Tabla #41 Registro de Datos del Bagazo del 30 de Marzo del 2000.

Hora Número	Temperatura °F		Presión en pulgadas de agua		Humedad de bagazo		RPM
	Chimenea	Ciclón	Estática	Dinámica (Pitot)	Entrada %	Salida %	Alimentador
6:00 AM	425	225	3	0.72	54.50	36.00	12
7:00 AM	395	260	3	0.75	53.00	32.00	12
8:00 AM					55.00	35.00	
9:00 AM	395	374	4 1/2	0.77	57.50	36.00	12
10:00 AM	383	298	4	0.75	59.00	38.50	12
11:00 AM	395	314	4	0.72	58.50	38.00	12
12:00 PM	415	320	3	0.82	58.50	37.50	12
1:00 PM	395	198	4	0.78	53.00	35.00	12
2:00 PM	433	276	4	0.85	52.50	33.00	12
3:00 PM	429	269	3	0.82	53.50	34.00	12
4:00 PM	395	318	3 1/2	0.85	52.00	32.00	12
5:00 PM	431	266	3 1/2	0.85	54.00	34.50	12
6:00 PM	424	253	4	0.82	53.00	33.00	12
7:00 PM	420	287	3	0.78	53.50	34.00	12
8:00 PM	420	287	3	0.78	52.50	32.00	12
9:00 PM	411	294	3	0.75	54.00	33.00	12
10:00 PM	429	278	3	0.75	52.50	35.00	12
11:00 PM	424	287	3	0.77	53.50	32.00	12
12:00 AM	415	256	3	0.75	53.00	34.00	12
1:00 AM	408	272	3	0.75	51.50	37.50	12
2:00 AM	412	266	3	0.74	52.50	36.50	12
3:00 AM	424	285	3	0.74	53.00	33.50	12
4:00 AM	420	291	3	0.70	53.50	34.00	12
5:00 AM	411	278	3	0.70	52.00	36.00	12

Tabla #42 Registro de Datos del Bagazo del 1 de Abril del 2000.

Hora Número	Temperatura °F		Presión en pulgadas de agua		Humedad de bagazo		RPM Alimentador
	Chimenea	Ciclón	Estática	Dinámica (Pitot)	Entrada %	Salida %	
6:00 AM	401	233	4	0.73	55.00	33.00	12
7:00 AM	411	302	4	0.85	55.50	32.50	12
8:00 AM	392	285	4	0.82	52.00	33.00	12
9:00 AM	405	231	4	0.78	53.00	33.00	12
10:00 AM	411	230	4 1/8	0.79	53.50	33.50	12
11:00 AM	411	219	4	0.92	52.00	31.00	12
12:00 PM	413	289	4	0.95	51.00	31.50	12
1:00 PM	383	245	4	0.91	52.50	33.00	12
2:00 PM	410	233	4	0.95	55.50	35.00	12
3:00 PM	417	237	4	0.95	54.50	34.50	12
4:00 PM	402	231	4	0.94	53.00	32.00	12
5:00 PM	402	231	4	0.94	53.00	32.00	12
6:00 PM	413	269	4	0.90	54.00	34.00	12
7:00 PM	411	230	4	0.88	55.50	36.00	12
8:00 PM	311	255	3	0.85	54.50	35.00	12
9:00 PM	435	285	3	0.82	53.00	36.00	12
10:00 PM	415	275	3	0.80	53.00	36.50	12
11:00 PM	428	248	3	0.85	54.00	34.50	12
12:00 AM	426	284	3	0.80	53.50	35.00	12
1:00 AM	411	264	3	0.75	52.50	38.00	12
2:00 AM							
3:00 AM	423	267	3	0.80	52.50	38.00	12
4:00 AM	428	271	3	0.80	53.00	37.00	12
5:00 AM	426	275	3	0.80	53.50	36.50	12

Tabla #43 Registro de Datos del Bagazo del 03 de Abril del 2000.

Hora Número	Temperatura °F		Presión en pulgadas de agua		Humedad de bagazo		RPM
	Chimenea	Ciclón	Estática	Dinámica (Pitot)	Entrada %	Salida %	Alimentador
6:00 AM	404	280	3	0.95	54.50	35.00	12
7:00 AM	415	285	4	1	55.00	36.00	12
8:00 AM	397	255	4	0.85	53.00	35.00	12
9:00 AM	381	257	3 1/2	1.00	53.50	36.00	12
10:00 AM	410	262	4	1	56.50	37.00	12
11:00 AM	375	280	4	1.00	55.00	35.50	12
12:00 PM	397	275	4	1	54.00	34.00	12
1:00 PM	404	255	3 1/2	1	53.50	33.00	12
2:00 PM	410	230	4	1	53.00	35.00	12
3:00 PM	395	239	4	0.90	52.00	36.00	12
4:00 PM	401	256	4	0.90	55.00	34.50	12
5:00 PM	385	278	4	0.90	51.00	32.00	
6:00 PM	395	239	4	0.90	53.00	39.00	12
7:00 PM	411	235	4	0.90	54.50	37.50	12
8:00 PM	392	221	4	0.95	53.50	36.50	12
9:00 PM	397	244	4	0.90	53.00	35.00	12
10:00 PM	395	246	4	0.91	52.50	36.00	12
11:00 PM	404	258	4	0.96	53.50	34.00	12
12:00 AM	406	245	4	0.95	52.00	35.00	12
1:00 AM	391	225	4	0.97	53.00	34.50	12
2:00 AM	397	250	4 1/8	0.98	52.00	34.00	12
3:00 AM	395	239	4	0.95	51.00	32.00	12
4:00 AM	415	240	4	0.94	51.50	31.00	12
5:00 AM	397	243	4	0.92	55.00	37.00	12

Tabla #44 Registro de Datos del Bagazo del 05 de Abril del 2000.

Hora	Temperatura °F		Presión en pulgadas de agua		Humedad de bagazo		RPM
	Número	Chimenea	Ciclon	Estática	Dinámica (Pitot)	Entrada %	
6:00 AM	404	276	3 1/2	0.93	54.00	33.50	12
7:00 AM	397	294	3	0.90	53.00	33.00	12
8:00 AM	399	242	4	0.83	53.50	35.00	12
9:00 AM	411	291	3 1/2	0.90	54.00	35.50	12
10:00 AM	406	244	4	0.78	53.00	32.00	12
11:00 AM	422	280	4	0.82	52.00	31.50	12
12:00 PM	417	248	3 1/2	1	52.50	32.50	12
1:00 PM	424	298	4	0.80	53.00	33.00	12
2:00 PM	412	275	4	0.85	54.50	33.50	12
3:00 PM							
4:00 PM							
5:00 PM	406	244	4	0.80	52.00	27.00	12
6:00 PM	411	226	4	0.80	55.00	28.50	12
7:00 PM	404	242	4	0.80	53.50	31.50	12
8:00 PM	415	218	4	0.80	51.50	29.50	12
9:00 PM	401	246	4	0.80	53.00	31.00	12
10:00 PM	397	266	4	0.82	55.30	33.10	12
11:00 PM	406	255	4 1/8	0.85	51.50	37.50	12
12:00 AM	397	242	4	0.90	53.00	35.00	12
1:00 AM	404	246	4	0.91	54.50	38.00	12
2:00 AM	421	258	4 1/8	0.94	53.00	36.50	12
3:00 AM	410	260	4	0.90	52.30	35.10	12
4:00 AM	402	245	4	0.87	53.50	36.00	12
5:00 AM	396	242	4	0.90	53.00	35.00	12

Tabla #45 Registro de Datos del Bagazo del 06 de Abril del 2000.

Hora Número	Temperatura °F		Presión en pulgadas de agua		Humedad de bagazo		RPM Alimentador
	Chimenea	Ciclon	Estática	Dinámica (Pitot)	Entrada %	Salida %	
6:00 AM	386	293	4	1.00	52.50	32.00	12
7:00 AM	411	285	3 1/2	1.00	52.00	31.50	12
8:00 AM	384	266	4	1.00	54.50	32.50	12
9:00 AM	393	240	4	0.95	53.00	32.00	12
10:00 AM	408	244	4 1/2	0.98	52.50	32.50	12
11:00 AM	404	240	4 1/2	0.95	52.00	32.00	12
12:00 PM	408	224	4	0.95	54.50	34.00	12
1:00 PM	410	249	4	0.97	55.50	35.00	12
2:00 PM	413	246	4	0.95	54.50	33.50	12
3:00 PM	408	244	4	0.85	56.00	39.00	12
4:00 PM	406	231	4	0.80	55.50	39.50	12
5:00 PM	404	230	4	0.85	53.00	37.50	12
6:00 PM	397	244	4	0.85	54.50	33.50	12
7:00 PM	401	235	4	0.87	53.50	35.50	12
8:00 PM	403	268	4	0.90	53.00	33.00	12
9:00 PM	395	285	4	0.95	55.00	36.00	12
10:00 PM	402	268	4 1/8	0.96	54.00	36.00	12
11:00 PM	394	240	4	0.95	57.10	38.10	12
12:00 AM	408	244	4	0.97	56.00	37.00	12
1:00 AM	393	240	4 1/8	0.96	55.50	35.50	12
2:00 AM	386	272	4	0.98	52.00	34.00	12
3:00 AM	410	249	4 1/2	0.95	53.00	34.50	12
4:00 AM	393	240	4	0.94	55.00	35.00	12
5:00 AM	412	256	4 1/8	0.97	53.50	34.00	12

Tabla #46 Temperaturas del bagazo antes y después de salir del secador

Temperatura de Entrada (°C)	Temperatura de Salida (°C)
55	61
56	61
56	62
57	61
55	63
56	61
57	63

**B. Datos del Diseño del Equipo**

Tabla #47 Determinación de la mejora de eficiencia de la combustión en la caldera por reducción de humedad

Humedades	53.00%	40.00%
% Exceso de aire	42%	30%
Temp. Gases Chimenea (°K)	588.7	601.2
(°F)	600.00	622.48
CO2 gases comb	14.30%	16.30%
Pérdidas		
Gases secos saliendo (%)	13.3	12.20
Hum. Combustible (%)	17.5	10.20
H2 combustible (%)	8.5	8.55
Rad. Caldera (%)	1.5	1.50
Carbón no quemado (%)	1.5	1.00
Indeterminados (%)	1.5	1.50
Humedad aire (%)	0.3	0.30
Pérdida total (%)	44.10	35.25
Eficiencia en calderas (%)	55.9	64.75

La temperatura de gases de chimenea para un 40% de humedad se calculó de acuerdo a la siguiente ecuación propuesta en la referencia 4, para la temperatura de los gases de chimenea:

$$T_o = 400 - 100 w \quad (\text{Ecuación \# 41})$$

Donde  $w$  es la humedad del bagazo.

Esta ecuación utiliza la temperatura en grados Fahrenheit, por lo que se convertirá 588.7 °K a 600°F.

Entonces se realiza una proporción para poder encontrar la temperatura de los gases de chimenea para la humedad deseada de 40%:

$$T_{40\%} = \frac{600^{\circ}F}{(400 - 100 (.53))} \times (400 - 100 (.40)) = 622.48^{\circ}F = 601.2^{\circ}K$$

Para determinar estas eficiencias se utilizaron las siguientes gráficas, (el porcentaje de exceso de aire fue propuesto, y para menor humedad se propuso un menor exceso de aire, ya que la combustión mejora) :



Gráfica #4: Determinación del % de CO<sub>2</sub> de acuerdo al porcentaje de exceso de oxígeno

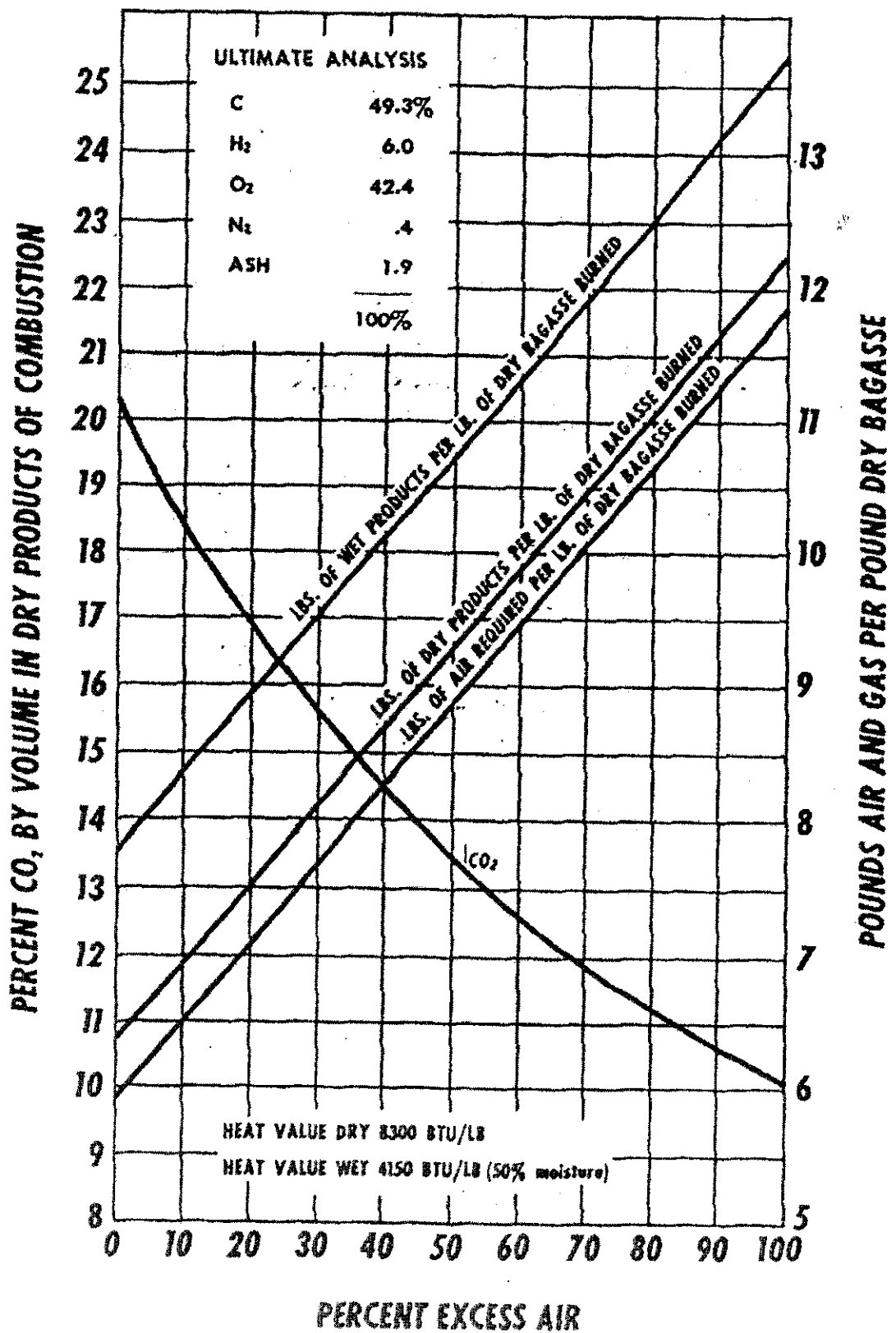


Tabla #48 Determinación del aumento de la cantidad de vapor producido por la caldera, y por ende la cantidad extra de kilovatios para vender de acuerdo a condiciones anteriores

Humedad del Bagazo	53%	40%
Condición general de operación		
Razón de Molida (ton caña/hora)	100.00	100.00
(kg caña/ s)	27.78	27.78
Razón Total de consumo de vapor de escape (lbs vapor/ton caña)	937.31	937.31
(kg vapor/ kg caña)	0.43	0.43
Razón total de consumo de vapor de escape (lbs/h)	93,731	93,731
(kg/s)	11.95	11.95
Condiciones del combustible bagazo		
Bagazo disponible en la caña (%)	26.5%	21.05%
Bagazo producido (ton/h)	26.5	21.05
(kg / s)	7.36	5.85
Reserva de bagazo para arranques y paradas	7.00%	7.00%
Proporción de bagazo disponible (%)	93.00%	93.00%
Cantidad de bagazo disponible (lbs de bagazo/h)	49290	39153
(kg/s)	6.21	4.93
Brix en el bagazo	2.35%	3%
Valor calorífico del bagazo (Btu/lb bagazo)	3763.4	4772.4
( kJ / kg bagazo)	8753.7	8753.7
Generación de vapor para escape		
Presion manometrica del vapor en la linea (psig)	600.00	600.00
(kPa)	4136.9	4136.9
Temperatura del Vapor (°F)	750.00	750.00
(°K)	672.04	672.04
Temperatura del Agua de Alimentación (°F)	240.00	240.00
(°K)	388.7	388.7
Entalpía necesaria para producir vapor (Btu/lb vapor)	1170.60	1170.60
( kJ / kg vapor )	2722.8	2722.8
Relacion de vapor vrs. Bagazo (lbs Vapor/lbs bagazo)	1.80	2.64
(kg vapor/kg bagazo)		
Bagazo necesario para la generacion (lbs bagazo/h)	52073	35504.2
(kg bagazo/ s)	6.6	4.52
Generación de vapor para condensig		
Presion manometrica del vapor en la linea (psig)	800.00	800.00
(kPa)	5515.8	5515.8
Temperatura del Vapor (°F)	900.00	900.00
(°K)	755.4	755.4
Temperatura del Agua de Alimentación (°F)	350.00	350.00
(°K)	449.8	449.8
Entalpía necesaria para producir vapor (Btu/lb vapor)	1455.28	1455.28
(kJ/kg vapor)	3384.98	3384.98
Bagazo disponible para la generación (lb bagazo/h)	-2.783	3648.8
(kg bagazo/ s)	-0.35	0.46
Relacion de vapor vrs. Bagazo (lbs Vapor/lbs bagazo)	1.45	2.12
(kg Vapor/kg bagazo)		
lbs de Vapor/h	0	7,735.46
kg de Vapor/ s	0	0.97
Diferencia (lbs de Vapor/ton caña)	77.35	
(kg de Vapor/ kg caña)	0.035	
kw para condensig (kw/ton caña)	0	8.8
(kw / kg caña)	0	0.0088
aumento de potencia para condensig (kw/ton caña)		8.8
(kw/kg caña)		0.0088

Para realizar estos cálculos se tomaron ciertos datos base de la industria azucarera, y los datos que fueron calculados se determinaron de la siguiente manera:

$$\text{Valor Calorífico del Bagazo} = 8200 * (1 - \text{Humedad}) (1 - \text{Brix})$$

$$\text{Relación vapor vrs. Bagazo} = (\text{Valor calorífico del bagazo} / \text{Entalpia necesaria para producir vapor}) * \text{Ef. Caldera}$$

Bagazo necesario para la generación de vapor para escape:

Este valor se calculó en base a la razón total de consumo de vapor de escape, que tiene un valor de 11.95 kg/s (93,731 lbs vapor/h)

Para la condición de 53% de humedad, el bagazo necesario para la generación de vapor se calculó para utilizar la relación de vapor vrs bagazo correspondiente, 1.80 kg vapor/kg bagazo (1.8 lbs vapor/lbs bagazo), de la siguiente manera:

$$\text{Bagazo necesario} = (11.95 \text{ kg/s}) / (1.80 \text{ kg vapor/kg bagazo}) = 6.6 \text{ kg bagazo/s} = 52,073 \text{ lbs bagazo/h.}$$

Esta cantidad es mayor a la disponible en la caña, por lo que se requiere comprar combustible auxiliar (bunker C) para alcanzar la razón total de consumo de vapor de escape.

Lógicamente a esta condición de humedad no se dispone de la posibilidad de generar energía para vender.

Ahora bien para 40% de humedad, se obtiene una cantidad de bagazo necesario de 4.52 kg/s (35,504. 2 lbs/h).

Esto permite tener bagazo adicional (0.41 kg bagazo/ s = 3648.8 lbs bagazo/h) con respecto al disponible en la caña al 40%. Este bagazo adicional puede ser usado para producir vapor que generaría energía para exportar.

Las libras de vapor por hora que produciría este bagazo extra, se calcula de la siguiente forma:

Libras de Vapor por hora = Cantidad de bagazo disponible \* Relación de vapor vrs.  
Bagazo  
(Ecuación #42)

Kw para condensing:

Para determinar esta cantidad se tomó un dato base de la industria azucarera que establece la siguiente relación:

$$8.79 \text{ lbs vapor/kw} = 3.99 \text{ kg vapor/kw}$$

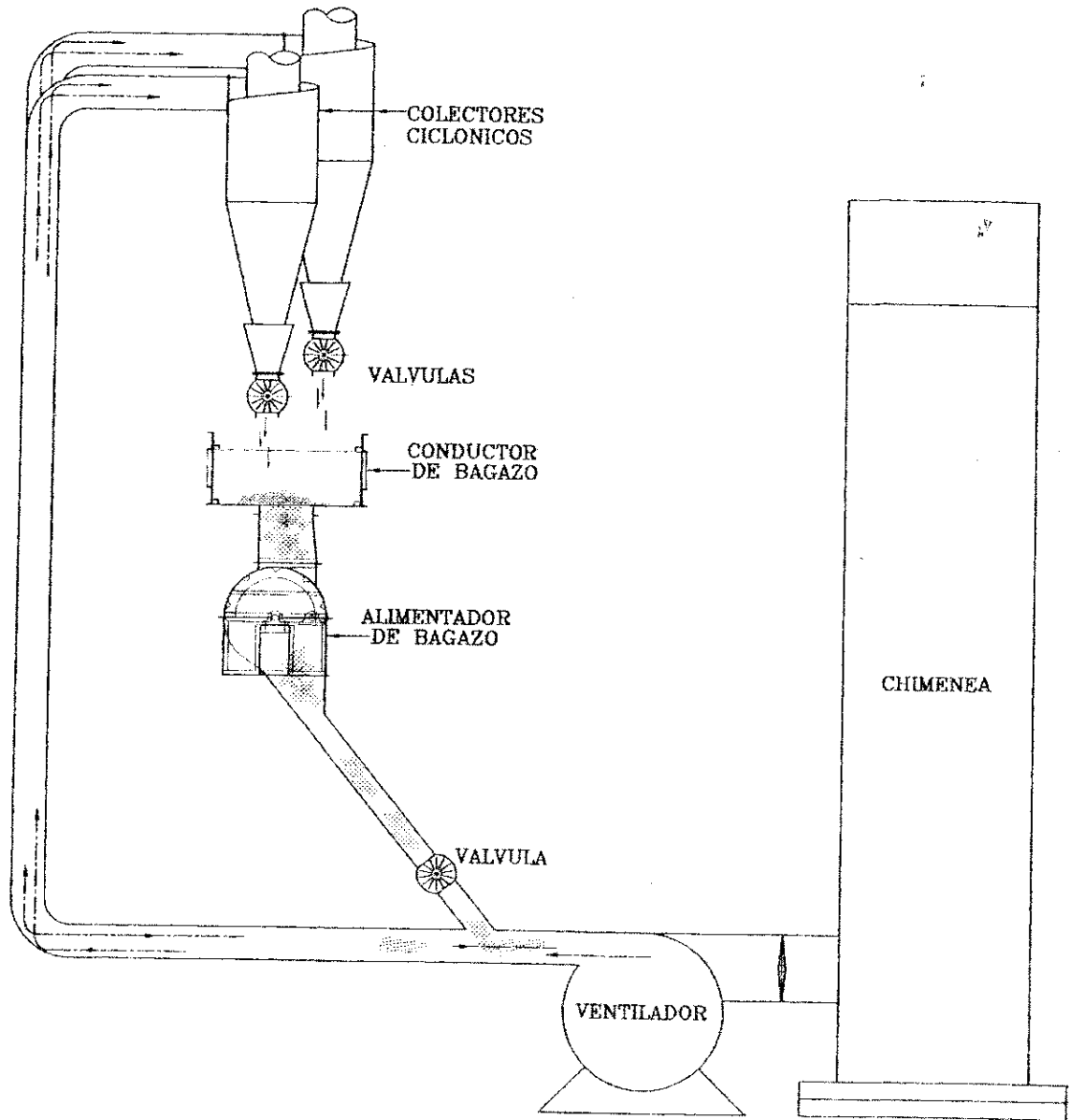
Entonces:

$$\begin{aligned} \text{Kw para condensing} &= (\text{kg de Vapor /s}) / (3.99 \text{ kg vapor/kw}) / (\text{kg caña/s}) \\ &= (\text{lbs de vapor/h}) / (8.79 \text{ lbs vapor/kw}) / (\text{ton caña/h}) \end{aligned}$$

(Ecuación #43)

*C. Bosquejo del Proyecto*

Figura # 4 Bosquejo del Proyecto



## SECADO DEL BAGAZO

Este diagrama muestra el proceso de secado de bagazo que se implementó en un ingenio azucarero para optimizar el uso de este residuo agrícola al reducir su humedad, para luego utilizarlo en la caldera para la producción de energía y vapor.

Los gases de chimenea fueron extraídos por un ventilador, y con un alimentador de bagazo, se introdujo éste en la tubería con secado neumático. Este secado implica una transferencia de masa y de calor.

El bagazo ya seco se alimentaría a las calderas para generar vapor y electricidad.

Para diseñar el secado de bagazo, se pensó en un transporte neumático para transportar los gases de chimenea, y a la tubería de transporte se le alimentaría el bagazo por medio de una válvula de rotación. Se eligió utilizar este tipo de transporte, ya que es el ideal para transportar material suspendido en una corriente de gases. En el caso estudiado se suspendió bagazo húmedo en la corriente de gases de chimenea. Además este tipo de transporte asegura la manipulación adecuada de materiales desmenuzados que fluyen fácilmente, no se compactan y fluyen libremente cuando se dispersan en el gas sin adherirse a las paredes. Este tipo de transporte evita problemas relacionados con el manejo de materiales que son inabordables por medio de un transportador mecánico, como sucede cuando el material está a una temperatura muy alta, o cuando es necesario descargar sin producir en absoluto, polvo alguno. Una ventaja importante es que no hay piczas móviles en la proximidad del operador y que no existe prácticamente riesgo personal.

Para el transporte neumático se utilizó un sistema de presión, ya que de acuerdo al Perry (Ref.9), este es el tipo de sistema que se debe utilizar para flujos arriba de 2.52 kg/s (20,000 lb/hr). En este caso se manejarán 5.56 kg/s (20 ton/h) es decir 40,000 lb/hr de bagazo. En este tipo de sistema el bagazo se deja caer en una corriente de aire por medio de una válvula rotativa. La velocidad de la corriente mantiene al bagazo en suspensión hasta que alcanza el separador, que en este caso será un ciclón para separar los gases de chimenea del bagazo. Se pensó en un ciclón, ya que es uno de los separadores más económicos tanto en operación como en inversión. Los ciclones han sido utilizados para

remover sólidos y líquidos de los gases y sólidos de líquidos, y han sido operados a temperaturas tan altas como 1273.15 °K (1000°C), y presiones tan altas como 50,662.5 kPa (500 atm). Los ciclones se aplican para remover sólidos de gases, cuando el diámetro de la partícula es arriba de 5.1E-6 m (0.0002 in), y en nuestro caso lo cumplé. Además, la simplicidad en la construcción de ciclones, y la habilidad para operar a altas temperaturas y presiones lo hacen atractivos para la limpieza de gases de procesos.

Para determinar el diámetro de la tubería que se utilizaría para el transporte neumático, se consideraron los siguientes aspectos:

Flujo de bagazo a trabajar: 5.56 kg/s (20 ton/h)

Temperatura de los gases de chimenea: 588.7 °K (600°F)

Humedad de entrada del bagazo: 53%

Humedad de salida que se busca: 40%

Temperatura de salida de los gases de chimenea al salir del ciclón: 449.82°K (350°F)

Temperatura de entrada del bagazo: 329.15 °K (56°C)

Temperatura de salida del bagazo del ciclón que se busca: 333.15 °K (60°C) (se busca este aumento de cuatro centígrados, para que el calor de los gases se utilice más para evaporar el agua, que para calentar la fibra).

El cálculo del diámetro implicó realizar un balance de masa y de calor, ya que en el sistema debe haber suficiente energía en el gas en cualquier momento para completar el trabajo de secado en los sólidos presentes en el gas. Con este balance se determinará el flujo de gases de chimenea necesarios para secar el bagazo a la humedad deseada.

Para poder realizar el balance de calor, necesitamos saber el calor necesario para secar la cantidad de bagazo que se desea secar. Sin embargo se deberá tomar en cuenta que en este calor se incluye el calor para calentar la fibra y el calor para calentar y evaporar el agua.

Calor para calentar fibra:

Nuevamente este calor será igual a :  $Q_{FIBRA} = mC_p \Delta T$

en donde:

$m$  = flujo másico de fibra

$C_p$  = Calor específico de la fibra

$\Delta T$  = Gradiente de temperatura de la fibra en la salida del molino y salida del ciclón.

Para calcular la fibra en términos de peso de bagazo seco se realizará un balance de masa. Para este balance de masa se considera que la fibra en el bagazo seco es igual a la del bagazo húmedo. La fibra es una cantidad que permanece constante a pesar del secado.

Entonces la cantidad de fibra es:

$f_{\text{bagazo húmedo}} = f_{\text{bagazo seco}}$

$W_h (1 - h_1) = W_s (1 - h_2)$

(ecuación #44 )

en donde:

$W_h$  = Peso de bagazo húmedo

$W_s$  = Peso de bagazo seco

$h_1$  = humedad de bagazo húmedo

$h_2$  = humedad de bagazo seco

El calor específico de la fibra se obtiene mediante la siguiente ecuación obtenida de la referencia #3 pp.985

$$C_p \text{ fibra} = 0.266 + 0.00116 t \quad (\text{Btu/lb } ^\circ\text{F})$$

en donde  $t$  = promedio de la temperatura de entrada y salida del bagazo del secador en ( $^\circ\text{C}$ )

Se tomó la temperatura de entrada del bagazo utilizando una sonda y se obtuvo una medición de 329.15  $^\circ\text{K}$  ( $56^\circ\text{C}$ ). Se estableció que la temperatura de salida del bagazo

sería de 333.15 °K (60°C), de tal forma que el calor de los gases no se concentrara en calentar el bagazo sino en evaporar el agua :

$$T_{\text{prom.entrada}} = 329.15 \text{ °K} = 56 \text{ °C} = 132.8 \text{ °F}$$

$$T_{\text{prom.salida}} = 333.15 \text{ °K} = 60 \text{ °C} = 140 \text{ °F}$$

$$T_{\text{promedio}} = 331.15 \text{ °K} = 58 \text{ °C} = 136.4 \text{ °F}$$

$C_p = 0.266 + 0.00116 (58 \text{ °C}) = 0.333 \text{ Btu/ lb °F} = 1.394 \text{ kJ/kg °K}$  (este calor específico se utilizó para el resto de datos recopilados)

El calor necesario para calentar fibra en términos de peso de bagazo seco es entonces:

$$Q_{\text{FIBRA}} = W_h (1 - h_1) \times 0.333 \times (140 \text{ °F} - 132.8 \text{ °F})$$

$$Q_{\text{FIBRA}} = W_h (1 - 0.53) \times 0.334 \times 7.2 = 1.128 W_h$$

- *Calor necesario para calentar y evaporar agua:*

La cantidad de agua a evaporar es:  $W_h - W_s$  (Ecuación #45)

De la ecuación #50 se despeja  $W_s$ , y se obtiene:

$$W_s = W_h \frac{(1 - h_1)}{(1 - h_2)} \quad \text{Ecuación #46}$$

Al sustituir en (Ecuación # 45):

$$\text{Agua evaporada} = W_h - W_h \frac{(1 - h_1)}{(1 - h_2)}$$

$$\text{Agua evaporada} = \frac{W_h (1 - h_2) - W_h (1 - h_1)}{(1 - h_2)}$$

$$\text{Agua evaporada} = \frac{W_h (h_1 - h_2)}{1 - h_2}$$

Se requerirá calor sensible para calentar el agua hasta la temperatura de salida (140 °F, 333.15 °K) y calor latente para evaporarlo. Este dato se obtiene a través de la siguiente tabla que se muestra (tabla #62 tomado de referencia 3). Esta tabla proporciona ambos calores sumados.

Tabla #49 Calor sensibles y latentes del vapor seco saturado

$t$  = temperatura, en °F

$p$  = presión absoluta de vapor, en lb/in<sup>2</sup>

$p'$  = presión manométric del vapor, en lb/in<sup>2</sup>

$d$  = peso específico del agua a t°F, lb/ft<sup>3</sup>

$q$  = calor sensible necesario para elevar la temperatura de una libra de agua de 32°F a t°F, en Btu/lb

$r$  = calor latente de vaporización del agua a t°F, en Btu/lb

$\lambda$  =  $q + r$  = calor total de una libra de agua, a t°F

T	P	d	Q	r	$\lambda$
132	2.345	61.52	99.9	1018.5	1118.4
134	2.472	61.486	101.9	1017.4	1119.3
140	2.889	61.382	107.9	1013.9	1121.8

Hay que tener en cuenta que a este calor encontrado en las tablas se le debe restar el calor sensible que sirve para llevar el agua a la Temperatura de entrada (132.8°F, 329.15 °K), que también se encuentra en las tablas anteriores.

Los calores encontrados en las tablas son:

Calor latente + calor sensible para calentar agua de 32°F a 140°F = 1121.8 Btu/lb = 2,609.31 kJ/kg

Calor sensible para llevar el agua de 32°F a  $T_{\text{prom.entrada}}$  (132.8°F) = 100.7 Btu/lb = 234.23 kJ/kg

El calor que se requerirá entonces para calentar y evaporar el agua presente es de:

$$1121.8 \text{ Btu/lb} - 100.7 \text{ Btu/lb} = 1021.1 \text{ Btu/lb} = 2,375.1 \text{ kJ/kg}$$

El calor neto será por tanto,

$$Q_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{W_h (h_1 - h_2)}{1 - h_2} (1021.1)$$

$$Q_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{W_s (0.53 - 0.4)}{(1 - 0.4)} (1021.1)$$

$$Q_{\text{H}_2\text{O}} = W_h (221.24)$$

Así, el calor total necesario para secar el bagazo es:

$$Q_{\text{total nec.}} = Q_{\text{FIBRA}} + Q_{\text{H}_2\text{O}} = 1.128 W_h + 221.24 W_h = 222.37 W_h = 222.37 \text{ Btu/lb} \\ (40,000 \text{ lb/h})$$

$$Q_{\text{total nec.}} = 8894800 \text{ Btu/lb} = 20689304.8 \text{ kJ/kg}$$

Los gases de chimenea que se utilizarán para secar el bagazo, poseen un calor disponible.

Este calor disponible es:

$$Q = m C_p \Delta T \quad (\text{Ecuación \#47})$$

en donde  $Q$  : calor disponible

$m$  : flujo másico de gases

$C_p$  : calor específico de los gases

$\Delta T$  : gradiente de temperatura de los gases al salir de chimenea y salir de ciclones.

El calor específico de los gases se obtiene de la siguiente ecuación obtenida de la referencia # 3 pp. 934 :

$$C_p = 0.27 + 0.00003 T \quad (T \text{ } ^\circ\text{F})$$

$$C_p = 0.27 + 0.00003 (600 \text{ }^\circ\text{F}) = 0.288 \text{ Btu/lb }^\circ\text{F} = 1.206 \text{ kJ/kg }^\circ\text{K}$$

Entonces el calor necesario de los gases de chimenea es:

$$Q = \text{masa} (0.288) (600^\circ\text{F} - 350^\circ\text{F}) = 72 \text{ masa}$$

Con este calor se puede proceder a realizar el balance de calor:

Calor que se debe disponer de los gases = Calor total necesario para secar bagazo

$$72 \text{ masa Btu/h} = 8894800 \text{ Btu/lb}$$

$$\text{masa} = 123538.89 \text{ lb/h} = 2058.98 \text{ lb/min} = 15.57 \text{ kg/s}$$

Para obtener el flujo volumétrico de los gases ( $\text{m}^3/\text{s}$ ,  $\text{ft}^3/\text{min}$ ), se deberá encontrar la densidad de los gases, y para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$D = \text{Peso específico de los gases} = 1.325 P_B/T \text{ (ver apéndice pp.83)}$$

en donde  $P_B$  = presión sobre el nivel del mar + presión estática (in Hg)

$$T = \text{Temperatura absoluta} = T_{\text{gases chimenea}} (^\circ\text{F}) + 460$$

Para determinar  $P_B$  se estimó que el Ingenio se encuentra a 500 ft (152.4 m) sobre el nivel del mar por lo que su presión es de 29.38 in Hg (99.5 kPa)

(tomado de referencia 2).

Se midió la presión estática de los gases y se encuentra en 4.5 in  $\text{H}_2\text{O}$ , por lo que este dato debe dividirse por un factor de 13.6 (relación de densidades entre mercurio y agua) para tener unidades consistentes.

Entonces

$$D = 1.325 \frac{29.38 \text{ in Hg} + 4.5 \text{ in H}_2\text{O} / 13.6}{600 + 460} = 3.71 \text{ E }^{-2} \text{ lb/ft}^3 = 0.6 \text{ kg/m}^3$$

Por consiguiente el volumen de los gases es:

$$V_g = \frac{2058.98 \text{ lb}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{3.71E-2 \text{ lb}} = 55498.15 \text{ ft}^3 / \text{min} = 26.2 \text{ m}^3/\text{s}$$

De acuerdo a la referencia (9) para poder estimar una tubería de transporte neumático se debe considerar una velocidad máxima de 75 ft/s (4,500 ft/min), por lo que se utilizará esta velocidad para determinar el área de la tubería:

$$\text{Area Tuberia} = \frac{55498.15 \text{ ft}^3}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ min}}{4500 \text{ ft}} = 12.33 \text{ ft}^2 = 1.15 \text{ m}^2$$

El diámetro será entonces de:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = 12.33 \text{ ft}^2$$

$$D = 3.96 \text{ ft} = 47 \text{ in} = 1.2 \text{ m}$$

Sin embargo se utilizó un diámetro de 46 in, para poder utilizar una lámina de hierro A36 de 12 ft.

$$\text{Perímetro de circunferencia de tubo} = \pi \times 46 \text{ in} = 144 \text{ in} = 12 \text{ ft}$$

#### **Diseño del Ventilador:**

El ventilador que se utilizará para transportar los gases a través de la tubería será de tiro forzado, y se cotizó para un ventilador de 65000 cfm.

Los datos del ventilador empleado (provistos por Twin City Fan & Blower) son:

Descripción del Ventilador		Desempeño del Ventilador	
Tipo	RTF	CFM	65,000
Tamaño	600	SP	G
Ancho	SWST	RPM	761
Class	IR	Tip Speed (fpm)	13,448
Diámetro de rueda (ft)	67.5	Open	90.7
Drive method	60 Hz belt drive	Standard	156
Porcentaje de anchura	100%	Area exterior (sq.ft)	21.3
Porcentaje de diámetro	100%	Velocidad exterior (fpm)	3,052
		Temperatura (°F)	430
		Altitud (ft)	160
		Density (lb/ft <sup>3</sup> )	0.04333
		Max RPM para la clase	960
		Eficiencia mecánica	71.40

### ***Diseño del Ciclón:***

Para diseñar el ciclón se utilizó un artículo de la Chemical Engineering. Este artículo presentaba el procedimiento para calcular las dimensiones de un ciclón de acuerdo al standard de Stairmand para altas eficiencias.

El procedimiento que se siguió para calcular las dimensiones es el siguiente (de acuerdo al artículo mencionado):

#### **Calcular la eficiencia requerida.**

Se deseaba recuperar la máxima cantidad de bagazo de los gases, de tal manera que fuera óptimo el secado de bagazo, y éste pudiera usarse para la combustión. Además se deseaba reducir el impacto de los gases de chimenea en el ambiente, por lo que debían de llevar la mínima cantidad de bagazo. Se sugirió entonces un 100% de eficiencia.

#### **Comparar la distribución de partícula con los tres estándares de Stairmand, y elegir el que más se acerca.**

Para realizar esta comparación se obtuvo una distribución de las partículas de bagazo, que se muestra a continuación:

DISTRIBUCION		DENSIDAD A 50%		DENSIDAD A 40%	
DIM (mm) Grosor * Largo	% Peso	lb/ft <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	lb/ft <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>
18 × 100	18.22	6.64	106.4	5.54	88.74
8 × 30	12.51	9.38	150.3	7.83	125.42
3 × 15	8.97	9.67	154.9	8.07	129.27
2 × 6	16.14	9.97	159.7	8.32	133.27
1 × 1.8	8.51	10.3	164.99	8.60	137.76
0.5 × 1.0	35.65	11.84	189.66	9.89	158.42
	100	9.95	159.38	8.26	132.31

Para el ciclón se utilizó la densidad a 40%.

Mediante esta comparación se determinó que la distribución de las partículas pertenecían al tipo "Coarse".

**Corrección de la eficiencia en base a 100°F y una densidad de partícula de 2.58 g/cm<sup>3</sup>.**

Para realizar esta corrección se utilizó la gráfica # 2 y 3 del artículo. Sin embargo la densidad más predominante de nuestra distribución era de 0.16 g/cm<sup>3</sup> (160 kg/m<sup>3</sup>), y la gráfica de corrección por densidad tenía como densidad más pequeña 1 g/cm<sup>3</sup> (10 kg/m<sup>3</sup>). Además esta gráfica estaba en función del diámetro de la partícula, pero la más grande era de 50 micrómetros (50E-6m), y el diámetro predominante era mucho mayor, sin embargo se utilizó este parámetro de 50 micrómetros (50E-6 m) y una densidad de 1g/cm<sup>3</sup> (10 kg/m<sup>3</sup>). Como resultado la eficiencia no debería tener corrección alguna.

**Corrección de la relación  $v_i/v_s$ , en base a un estándar de 1.25, a las condiciones de operación.**

$V_i$  se refiere a la velocidad de entrada al ciclón en ft/s

$V_s$  se refiere a la velocidad de saltación, que consiste en la velocidad mínima del fluido necesaria para prevenir el asentamiento de las partículas sólidas arrastradas por el flujo. (ft/s)

Para realizar esta corrección se utilizó la siguiente ecuación:

$$\frac{v_i}{v_{s \text{ operacion}}} = \frac{v_i}{v_{s \text{ estandar}}} (f_T)(f_p),$$

en donde  $f_T$  y  $f_p$  son los factores de corrección por temperatura y densidad respectivamente.

De acuerdo a la gráfica #6 se obtuvieron:

$$f_T = 0.75$$

$$f_p = 1.38$$

Entonces:

$$\frac{v_i}{v_{s \text{ operacion}}} = 1.25 (0.75) (1.38) = 1.29$$

**Calcular  $D_c$  y  $v_i$  de acuerdo a la eficiencia y  $v_i/v_s$  calculada.**

Para realizar este cálculo se debía utilizar la figura correspondiente al tipo de partícula "Coarse". Usando la figura era obvio observar que altas eficiencias de colección podían alcanzarse sólo con ciclones pequeños, y debido a que el flujo volumétrico era grande, es decir de  $924.97 \text{ ft}^3/\text{s}$  ( $26.2 \text{ m}^3/\text{s}$ ) (valor que se obtuvo en el diseño del tubo), se estimó utilizar dos ciclones en paralelo. Es decir cada ciclón sería de  $462.49 \text{ ft}^3/\text{s}$  ( $13.1 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

De acuerdo a la figura #10 del artículo a una relación de  $v_i/v_s = 1.29$  y eficiencia<sup>v</sup> de 97% (era la más grande que tenía la gráfica), se obtuvo un  $D_c = 6.8 \text{ ft} = 2.07 \text{ m}$  = Diámetro del cuerpo del ciclón, y un  $v_i = 89 \text{ ft/s} = 27.13 \text{ m/s}$ .

Para utilizar este diámetro se calculó el resto de dimensiones de acuerdo a los estándares de Stairmand que es:

$$a = \text{altura interior} = 0.5 D_c$$

$$b = \text{ancho interior} = 0.2 D_c$$

$$S = \text{largo exterior} = 0.5 D_c$$

$$D_e = \text{Diámetro exterior} = 0.5 D_c$$

$$h = \text{Altura del cilindro} = 1.5 D_c$$

$$H = \text{Altura total} = 4.0 D_c$$

$$B = \text{diámetro de salida del bagazo} = 0.375 D_c$$

$$l = \text{Largo natural} = 2.48 D_c$$

(Estas dimensiones se muestran en el siguiente dibujo del ciclón que muestra el diseño final del ciclón)

Para el diámetro encontrado se obtuvieron las siguientes dimensiones:

$$a = 3.4 \text{ ft} = 1.04 \text{ m}$$

$$b = 1.36 \text{ ft} = 0.41 \text{ m}$$

$$S = 3.4 \text{ ft} = 1.04 \text{ m}$$

$$D_c = 3.4 \text{ ft} = 1.04 \text{ m}$$

$$h = 10.2 \text{ ft} = 3.11 \text{ m}$$

$$H = 27.2 \text{ ft} = 8.3 \text{ m}$$

$$B = 2.5 \text{ ft} = 0.76 \text{ m}$$

$$l = 16.9 \text{ ft} = 5.15 \text{ m}$$

Con estas dimensiones y utilizando la siguiente ecuación se encontró el flujo volumétrico que manejaría el ciclón:

$$Q_i = abv_i = 3.4 \text{ ft} (1.36 \text{ ft}) (89 \text{ ft/s}) = 411.5 \text{ ft}^3/\text{s} = 125.43 \text{ m}^3/\text{s}$$

Debido a que no cumplía con el flujo establecido anteriormente se debió ajustar el diámetro  $D_c$  para  $13.1 \text{ m}^3/\text{s} = 462.5 \text{ ft}^3/\text{s}$ , y una misma  $v_i = 27.13 \text{ m/s} = 89 \text{ ft/s}$ . Esto se hizo despejando  $D_c$  de la siguiente ecuación:

$$462.5 \text{ ft}^3/\text{s} = ab (89 \text{ ft/s}) = 0.5 D_c (0.2 D_c) (89 \text{ ft/s})$$

$$D_c = 7.2 \text{ ft} = 2.2 \text{ m}$$

Para este diámetro las dimensiones quedaron así:

$$a = 3.6 \text{ ft} = 1.1 \text{ m}$$

$$b = 1.44 \text{ ft} = 0.44 \text{ m}$$

$$S = 3.6 \text{ ft} = 1.1 \text{ m}$$

$$D_c = 3.6 \text{ ft} = 1.1 \text{ m}$$

$$h = 10.8 \text{ ft} = 3.3 \text{ m}$$

$$H = 28.8 \text{ ft} = 8.78 \text{ m}$$

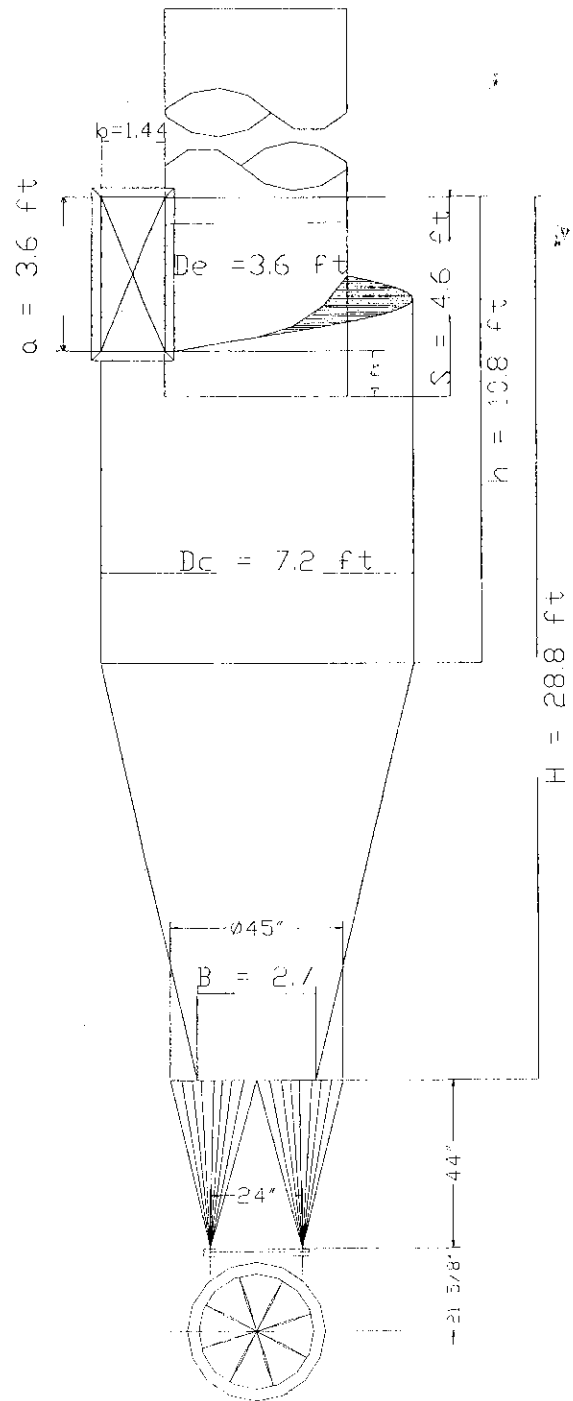
$$B = 2.7 \text{ ft} = 0.82 \text{ m}$$

$$l = 17.86 \text{ ft} = 5.44 \text{ m}$$

Sin embargo la altura  $S$  se aumentó un pie, para que existiera un espacio de 12 in entre el largo de la entrada del flujo al ciclón y la profundidad del cilindro de salida de los gases. Esto ayudaría al efecto vórtice dentro del ciclón.

En la siguiente figura se muestra el diseño del ciclón con las medidas respectivas, y para ello se utilizaron las unidades inglesas, pues éstas fueron las empleadas en la fabricación.

Figura #5 Diseño del Ciclón:



ELEVACION LATERAL

Los medidores de presión fueron proveídos por la empresa Dwyer, de acuerdo a la

presión de los gases a manejar en el secador. A continuación se presenta una descripción de la medición de la velocidad de los gases.

BULLETIN NO. H-11

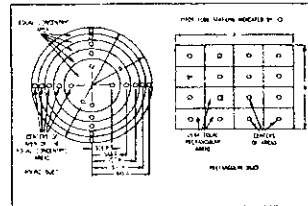
# AIR VELOCITIES WITH THE DWYER PITOT TUBE

## AIR VELOCITY

The total pressure of an air stream flowing in a duct is the sum of the static or bursting pressure exerted upon the sidewalls of the duct and the impact or velocity pressure of the moving air. Through the use of a pitot tube connected differentially to a manometer, the velocity pressure alone is indicated and the corresponding air velocity determined.

For accuracy of plus or minus 2%, as in laboratory applications, extreme care is required and the following precautions should be observed:

1. Duct diameter 4" or greater.
2. Make an accurate traverse per sketch at right, calculate the velocities and average the readings.
3. Provide smooth, straight duct sections a minimum of 8½ diameters in length upstream and 1½ diameters downstream from the pitot tube.
4. Provide an egg crate type straightener upstream from the pitot tube.



In making an air velocity check select a location as suggested above, connect tubing leads from both pitot tube connections to the manometer and insert in the duct with the tip directed into the air stream. If the manometer shows a minus indication reverse the tubes. With a direct reading manometer, air velocities will now be shown in feet per minute. In other types, the manometer will read velocity pressure in inches of water and the corresponding velocity will be found from the curves in this bulletin. If circumstances do not permit an accurate traverse, center the pitot tube in the duct, determine the center velocity and multiply by a factor of .9 for the approximate average velocity. Field tests run in this manner should be accurate within plus or minus 5%.

The velocity indicated is for dry air at 70°F., 29.9" Barometric Pressure and a resulting density of .075#/cu. ft. For air at a temperature other than 70°F. refer to the curves in this bulletin. For other variations from these conditions, corrections may be based upon the following data:

$$\text{Air Velocity} = 1096.2 \sqrt{\frac{Pv}{D}}$$

where Pv = velocity pressure in inches of water  
D = Air density in #/cu. ft.

$$\text{Air Density} = 1.325 \times \frac{Pb}{T}$$

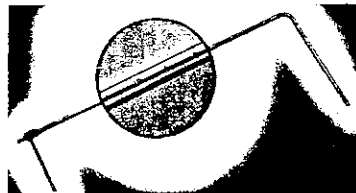
where Pb = Barometric Pressure in inches of mercury  
T = Absolute Temperature (indicated temperature °F plus 460)

Flow in cu. ft. per min. = Duct area in square feet x air velocity in ft. per min.



### AIR VELOCITY CALCULATOR

Computes velocity based on air density corrected for conditions of temperature and pressure. Eliminates tedious calculations. Ranges from .01 to 10" water corresponding to 400 to 20,000 FPM. Furnished with each pitot tube.



### STAINLESS STEEL PITOT TUBES

Test confirmed unity coefficient and lifetime construction of No. 304 stainless steel. Inch graduations show depth of insertion for traversing. Complies with AMCA and ASHRAE specifications. Sizes 12" to 60" long. Hand or fixed mounting types.

Printed in U.S.A. 8/92

©Copyright 1992 Dwyer Instruments, Inc.

**DWYER INSTRUMENTS, INC.**  
P. O. BOX 373 • MICHIGAN CITY, INDIANA 46360, U.S.A.

Telephone 219/879-8000  
Fax 219/872-9057

*D. Estudio Económico*

Tabla #50 Estudio Económico de la inversión del secador y las ganancias obtenidas al utilizar bagazo seco

Inversión del secador		Ganancias obtenidas al utilizar bagazo seco al 40% en lugar de bagazo al 53%	
	Costo (\$)		Ganancia
Tubería para transporte neumático y hechura	10,000	Potencia para condensar (se dispone de bagazo extra para generar 8.8 kw/ton caña = 8.8 E -3 kw/kg caña)  Si muele 100 ton caña por hora (27.8 kg/s)	\$0.352 / ton caña  \$35.2 /hora
Ciclones	14,000 (cada uno a 7,000)		
3 Válvulas Rotativas	18,000 (cada una a 6,000)		
Medidor Pitot y manómetro	1,500		
Ventilador	27,000		
Alimentador de bagazo	10,000		
Motores para las tres válvulas y el alimentador	12,000		
Mano de Obra	15,000		
Total	107,500		

Para realizar el cálculo de las ganancias por los kilovatios extras que se obtienen al secar el bagazo, se utilizó un promedio de 4 centavos de dólar por kilovatio.

Este valor depende del precio del petróleo, ya que el kilovatio se vende como si fuera producido con bunker C #6, y en los últimos dos años ha estado entre 3 y 5.3 centavos de dólar el kw.

De acuerdo a las ganancias obtenidas la inversión se recuperaría en aproximadamente cinco meses de zafra, donde se trabajan las 24 horas y fines de semana. Ya se tomó en

cuenta en este período de cuatro meses las paradas que se pudieran tener por problemas de operación.

Dentro de este estudio económico debe tomarse en cuenta también el ahorro que tiene el ingenio al no requerir combustible auxiliar para alcanzar la razón de vapor del proceso. Para un bagazo al 53% de humedad faltarían 5009 lbs vapor/h, cantidad que el combustible auxiliar generaría. Para ello se requeriría una cantidad equivalente de 317.2 lb bunker/h. Si el precio del bunker es de 35 centavos de dólar por libra, se necesitarían \$11.13 por hora. Esta cantidad de dinero podría ahorrarse un ingenio azucarero si reduce la humedad del bagazo al 40%, y además obtendría ganancias con la venta de los kilovatios de energía.

### ***E. Cálculo de Muestra de los Datos Experimentales***

#### *1. Cálculo de cantidad de bagazo secado con calor de gases de chimenea*

La cantidad de bagazo seco se calculará haciendo uso de un balance de masa y de calor. Para ello se utilizarán los datos de humedades y temperaturas que se encuentran en la sección de Datos Originales. También se utilizarán ecuaciones de pesos específicos y calores específicos.

Ejemplo para datos del día 1 de Marzo del 2000 a las 7:00 PM:

Los gases de chimenea se utilizarán para secar el bagazo, ya que éstos poseen un calor disponible.

Este calor disponible es:

$$Q = mC_p\Delta T \quad (\text{Ecuación \# 47})$$

en donde  $Q$  : calor disponible

$m$  : flujo másico de gases

$C_p$  : calor específico de los gases

$\Delta T$  : gradiente de temperatura de los gases al salir de chimenea y salir de ciclones.

Para calcular el calor disponible es necesario obtener primero el flujo másico (m).

Este se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$m = Vg \times A \times D \times 60\text{min/ 1hora} \quad (\text{Ecuación \#48})$$

donde  $Vg$  = volumen de los gases en  $\text{ft}^3/\text{min}$

$A$  = área del tubo en donde circulan los gases de chimenea ( $\text{ft}^2$ )

$D$  = peso específico de los gases ( $\text{lb}/\text{ft}^3$ )

El volumen de los gases se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$Vg = 1096.2 \sqrt{\frac{\Delta P}{D}} \quad (\text{ver pp. 81}) \quad (\text{Ecuación \# 49})$$

en donde:

$\Delta P$  = Presión dinámica de los gases en pulgadas de agua

$D$  = Peso específico de los gases =  $1.325 P_B/T$  (ver pp. 83 )

en donde  $P_B$  = presión sobre el nivel del mar a 500 ft + presión estática (in Hg)

$T$  = Temperatura absoluta =  $T_{\text{gases chimenea}} (\text{°F}) + 460$

Para determinar  $P_B$  se estimó que el Ingenio se encuentra a 500 ft sobre el nivel del mar por lo que su presión es de 29.38 in Hg = 99.5 kPa (tomado de referencia 2 ).

En los datos originales la presión estática de los gases se encuentra en in  $\text{H}_2\text{O}$ , por lo que este dato debe dividirse por un factor de 13.6 (relación de densidades entre mercurio y agua) para tener unidades consistentes.

Entonces como primer paso se calculará el peso específico:

$$D = 1.325 \frac{29.38 \text{ in Hg} + 4 \text{ in H}_2\text{O} / 13.6}{380 + 460} = 4.68 \text{ E } -2 \text{ lb}/\text{ft}^3 = 0.75 \text{ kg}/\text{m}^3$$

Al tener el peso específico se puede obtener el volumen de los gases:

$$Vg = 1096.2 \sqrt{\frac{0.5 \text{ in H}_2\text{O}}{4.68 \text{ E } -2}} = 3582.8 \text{ ft}/\text{min} = 18.2 \text{ m}/\text{s}$$

El área del tubo se calculará mediante la fórmula:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (\text{Ecuación \#50})$$

en donde el diámetro del tubo es de 46 in (3.83 ft) = (1.17 m)

entonces:

$$A = 11.54 \text{ ft}^2 = 1.07 \text{ m}^2$$

Finalmente se puede calcular el flujo másico, haciendo uso de los datos anteriores:

$$m = 3582.8 \text{ ft}^3/\text{min} \times 11.54 \text{ ft}^2 \times 4.68 \text{ E} - 2 \text{ lb}/\text{ft}^3 \times 60 \text{ min}/1 \text{ hora}$$

$$m = 116,124.81 \text{ lb}/\text{h} \text{ de gases} = 14.6 \text{ kg}/\text{s}$$

El calor específico de los gases se obtiene de la siguiente ecuación obtenida de la referencia # 3 pp. 934 :

$$C_p = 0.27 + 0.00003 T \quad (T \text{ } ^\circ\text{F})$$

Donde  $T = 466.5 \text{ } ^\circ\text{K} = 380 \text{ } ^\circ\text{F}$

$$C_p = 0.27 + 0.00003 (380 \text{ } ^\circ\text{F}) = 0.2814 \text{ Btu}/\text{lb } ^\circ\text{F} = 1.18 \text{ kJ}/\text{kg } ^\circ\text{K}$$

Por lo tanto el calor disponible es:

$$Q = 116,124.8 \text{ lb}/\text{h} \times (0.2814) \times (380^\circ\text{F} - 210^\circ\text{F}) = 5,555,178.58 \text{ Btu}/\text{h} = 1628.1 \text{ kJ}/\text{s}$$

Sin embargo se estimará que sólo el 90 % de este calor se utilizará para secar el bagazo, como consecuencia de pérdidas del efecto de radiación.

$$Q_{\text{disponible}} = 5,555,178.58 \text{ Btu}/\text{h} \times 0.9 = 4,999,660.6 \text{ Btu}/\text{h} = 1,465.3 \text{ kJ}/\text{s}$$

Para poder realizar el balance de calor, necesitamos saber el calor necesario para secar el bagazo. Sin embargo se deberá tomar en cuenta que en este calor se incluye el calor para calentar la fibra y el calor para calentar y evaporar el agua.

– *Calor para calentar fibra:*

Nuevamente este calor será igual a :  $Q_{\text{FIBRA}} = mC_p \Delta T$

en donde:

$m$  = flujo másico de fibra

$C_p$  = Calor específico de la fibra

$\Delta T$  = Gradiente de temperatura de la fibra en la salida del molino y salida del ciclón.

Para calcular la fibra en términos de peso de bagazo seco se realizará un balance de masa. Para este balance de masa se considera que la fibra en el bagazo seco es igual a la del bagazo húmedo. La fibra es una cantidad que permanece constante a pesar del secado.

Entonces la cantidad de fibra es:

$$\begin{aligned} f_{\text{bagazo húmedo}} &= f_{\text{bagazo seco}} \\ W_h (1 - h_1) &= W_s (1 - h_2) \end{aligned}$$

(ecuación #44 )

en donde:

$W_h$  = Peso de bagazo húmedo

$W_s$  = Peso de bagazo seco

$h_1$  = humedad de bagazo húmedo

$h_2$  = humedad de bagazo seco

El calor específico de la fibra se obtiene mediante la siguiente ecuación obtenida de la referencia #3 pp.985

$$C_{p \text{ fibra}} = 0.266 + 0.00116 t$$

en donde  $t$  = promedio de la temperatura de entrada y salida del bagazo del secador ( $^{\circ}\text{C}$ )

Se tomaron temperaturas de entrada y salida del bagazo (ver Datos tabla #59 ) por medio de una sonda

y se obtuvo un promedio de ambos, al obtener como resultados las siguientes temperaturas promedio (Estas temperaturas se utilizaron para todos los datos tomados):

$$T_{\text{prom.entrada}} = 56 \text{ }^{\circ}\text{C} = 132.8 \text{ }^{\circ}\text{F} = 329.15 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

$$T_{\text{prom.salida}} = 61.7 \text{ }^{\circ}\text{C} = 143.06 \text{ }^{\circ}\text{F} = 334.9 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

$$T_{\text{promedio}} = 58.85 \text{ }^{\circ}\text{C} = 332 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

$C_p = 0.266 + 0.00116 (58.85^{\circ}\text{C}) = 0.334 \text{ Btu/lb }^{\circ}\text{F} = 1.4 \text{ kJ/kg }^{\circ}\text{K}$  (este calor específico se utilizó para el resto de datos recopilados)

El calor necesario para calentar fibra en términos de peso de bagazo seco es entonces:

$$Q_{\text{FIBRA}} = W_s (1 - h_2) \times 0.334 \times (143.06 \text{ }^{\circ}\text{F} - 132.8 \text{ }^{\circ}\text{F})$$

$$Q_{\text{FIBRA}} = W_s (1 - 0.335) \times 0.334 \times 10.26 = 2.281 W_s$$

– *Calor necesario para calentar y evaporar agua:*

La cantidad de agua a evaporar es:  $W_h - W_s$  (Ecuación #45 )

De la ecuación #44 se despeja  $W_h$ , y se obtiene:

$$W_h = W_s \frac{(1 - h_2)}{(1 - h_1)} \quad (\text{Ecuación \#46})$$

Al sustituir en (Ecuación # 46 ):

$$\text{Agua evaporada} = W_s \frac{(1 - h_2)}{(1 - h_1)} - W_s$$

$$\text{Agua evaporada} = \frac{W_s (1 - h_2) - W_s (1 - h_1)}{(1 - h_1)}$$

$$\text{Agua evaporada} = \frac{W_s (h_1 - h_2)}{1 - h_1}$$

Se requerirá calor sensible para calentar el agua hasta la temperatura de salida ( $334.85 \text{ }^{\circ}\text{K} = 143.06 \text{ }^{\circ}\text{F}$ ) y calor latente para evaporarlo. Este dato se obtiene a través de la tabla #58

Hay que tener en cuenta que a este calor encontrado en las tablas se le debe restar el calor sensible que sirve para llevar el agua a la Temperatura de entrada ( $329.15 \text{ }^{\circ}\text{K} = 132.8^{\circ}\text{F}$ ), que también se encuentra en las tablas anteriores.

Los calores encontrados en las tablas son:

Calor latente + calor sensible para calentar agua de 32°F a 143.06°F = 1123.1 Btu/lb = 2,612.3 kJ/kg

Calor sensible para llevar el agua de 32°F a  $T_{\text{prom.entrada}}$  (132.8°F) = 100.7 Btu/lb = 234.23 kJ/kg

El calor que se requerirá entonces para calentar y evaporar el agua presente es de:

$$1123.1 \text{ Btu/lb} - 100.7 \text{ Btu/lb} = 1022.42 \text{ Btu/lb} = 2,378.15 \text{ kJ/kg}$$

El calor neto será entonces de:

$$Q_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{W_s (h_1 - h_2)}{1 - h_1} (1022.42)$$

$$Q_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{W_s (0.545 - 0.335)}{(1 - 0.545)} (1022.42)$$

$$Q_{\text{H}_2\text{O}} = W_s (471.89)$$

Entonces el calor total necesario para secar el bagazo es:

$$Q_{\text{total nec.}} = Q_{\text{FIBRA}} + Q_{\text{H}_2\text{O}} = 2.28W_s + 471.89 W_s = 474.17 W_s$$

Con este calor se puede proceder a realizar el balance de calor:

Calor disponible de los gases = Calor total necesario para secar bagazo

$$4,999,660.6 \text{ Btu/h} = 474.17 W_s \text{ Btu/lb}$$

$$W_s = 10,544.1 \text{ lb/h} = 5.27 \text{ ton/h} = 1.33 \text{ kg/s}$$

Si se hace uso de la ecuación #46 se encuentra la cantidad de bagazo húmedo:

$$W_h = W_s \frac{(1 - h_2)}{(1 - h_1)} \quad (\text{Ecuación \#46})$$

$$W_h = 5.27 \text{ ton/h} \frac{(1 - 0.335)}{(1 - 0.545)} = 7.7 \text{ ton/h} = 2.14 \text{ kg/s}$$

La cantidad de agua extraída por el secador es la diferencia entre las toneladas de bagazo seco y humedo:

$$\text{Cantidad de agua evaporada: } 7.7 \text{ ton/h} - 5.27 \text{ ton/h} = 1.43 \text{ ton/h} = 0.4 \text{ kg/s}$$

De la misma forma se realiza para el resto de datos que se obtuvieron en los meses de observación. Todos estos cálculos se realizaron por el uso del programa EXCEL, y los resultados se muestran en las tablas #51 a 75 de Datos Calculados.

F. Datos Calculados

Tabla #51 Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 01 de Marzo del 2000.

Carraca	Velocidad de los gases de chimenea (ft./min)	Volumen de los gases (ft <sup>3</sup> /hora)	Peso Especifico (lb/ft <sup>3</sup> )	Masa de gases (Lb/h)	Cp de gases (Btu/lb F)	Calor de los gases (Btu/h)	Calor para calentar fibra de bagazo (Btu/lb bagazo)	Calor para calentar agua (Btu/lb bagazo)	Bagazo seco (Ton/h)	Bagazo Húmedo (Ton/h)
6:00 AM										
7:00 AM										
8:00 AM										
9:00 AM										
10:00 AM										
11:00 AM										
12:00 PM										
1:00 PM										
2:00 PM										
3:00 PM										
4:00 PM										
5:00 PM										
6:00 PM										
7:00 PM	3582.77	2480928.74	0.047	116125.79	0.28	4999703.17	2.28	471.89	5.27	7.71
8:00 PM	4393.09	3042043.13	0.047	142059.15	0.28	2987120.85	2.23	406.77	3.65	5.10
9:00 PM	4419.21	3060131.40	0.046	141219.34	0.28	3660676.39	2.18	373.79	4.87	6.65
10:00 PM	4345.94	3009390.56	0.048	143600.53	0.28	2622396.92	2.18	388.97	3.35	4.63
11:00 PM	4359.08	3018496.15	0.047	143167.34	0.28	2817103.78	2.26	413.32	3.39	4.76
12:00 AM	4369.58	3025760.89	0.047	142823.60	0.28	2972199.15	2.28	455.65	3.25	4.69
1:00 AM	4393.09	3042043.13	0.047	142059.15	0.28	3319023.17	2.23	362.11	4.55	6.17
2:00 AM	4385.27	3036625.42	0.047	142312.60	0.28	3203741.33	2.25	499.59	3.19	4.75
3:00 AM	4374.81	3029386.73	0.047	142652.66	0.28	3049525.82	2.23	523.10	2.90	4.39
4:00 AM	4385.27	3036625.42	0.047	142312.60	0.28	3203741.33	2.33	557.69	2.86	4.42
5:00 AM	4372.19	3027574.35	0.047	142738.05	0.28	3010880.81	2.28	488.49	3.07	4.53
6:00 AM	4369.58	3025760.89	0.047	142823.60	0.28	2972199.15	2.30	499.85	2.96	4.41

Tabla #52 Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 02 de Marzo del 2000

Córrida N°kmetro	Velocidad de los gases de chimenea (it /min)	Volumen de los gases ft <sup>3</sup> /h	Peso Especifico lb/ft <sup>3</sup>	Masa de gases Lb/h	Cp de gases Btu/lb F	Calor de los gases Btu/h	Calor para calentar fibra bagazo (Btu/lb bagazo)	Calor para calentar Agua (Btu/lb bagazo)	Bagazo seco Ton/h	Bagazo Húmedo Ton/h
6:00 AM	4369.58	3025760.89	0.047	142823.60	0.28	2674979.24	2.28	505.47	2.63	3.94
7:00 AM	4345.94	3009390.56	0.048	143600.53	0.28	2360157.23	2.33	411.08	2.85	4.00
8:00 AM	3550.64	2458677.81	0.048	117176.73	0.28	4592451.83	2.25	330.48	6.90	9.13
9:00 AM	3584.30	2482405.05	0.047	116056.73	0.28	2968961.84	2.30	390.00	3.78	5.23
10:00 AM	3557.09	2463144.08	0.047	116964.26	0.28	4970191.24	2.37	374.55	6.59	9.01
11:00 AM	3554.94	2461656.22	0.048	117034.95	0.28	3759037.50	2.33	368.07	5.07	6.90
12:00 PM	3550.64	2458677.81	0.048	117176.73	0.28	4888739.05	2.26	398.21	6.10	8.48
1:00 PM	3569.95	2472052.40	0.047	116542.76	0.28	5132432.86	2.25	330.48	7.71	10.21
2:00 PM	4394.10	3042740.66	0.047	142025.58	0.28	6254671.70	2.23	391.57	7.94	10.99
3:00 PM	3516.05	2434724.41	0.049	118329.35	0.28	2598051.49	2.26	428.76	3.01	4.28
4:00 PM	4377.70	3031389.19	0.047	142558.09	0.28	6278123.12	2.28	394.06	7.92	10.97
5:00 PM	4394.10	3042740.66	0.047	142025.58	0.28	2660032.79	2.40	438.18	3.02	4.31
6:00 PM	4318.83	2990620.14	0.048	144501.97	0.28	5511942.54	2.30	390.00	7.03	9.70
7:00 PM	4282.28	2965312.02	0.049	145735.22	0.28	2279081.44	2.26	493.98	2.30	3.41
8:00 PM	4319.49	2991081.82	0.048	144479.63	0.28	5693577.13	2.26	368.92	7.67	10.44
9:00 PM	3447.64	2387359.63	0.051	120677.39	0.28	2125708.07	2.19	355.16	2.97	4.01
10:00 PM	4290.28	2970852.94	0.049	145463.41	0.28	2936208.08	2.26	528.84	2.76	4.19
11:00 PM	4613.84	3194905.78	0.049	157806.05	0.28	3501256.82	2.21	459.52	3.79	5.50
12:00 AM	4276.94	2961612.32	0.049	145917.28	0.28	2943793.53	2.30	534.45	2.74	4.18
1:00 AM										
2:00 AM										
3:00 AM										
4:00 AM										
5:00 AM	4666.31	3231236.52	0.048	156031.72	0.28	2995576.76	2.33	522.57	2.85	4.31
6:00 AM	4298.28	2976379.79	0.049	145193.19	0.28	4653566.97	2.30	435.07	5.32	7.58

Tabla #53 Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 05 de Marzo del 2000

Hora	Velocidad de los gases de chimenea (ft./min)	Volumen de los gases (ft <sup>3</sup> /h)	Peso Especifico (lb/ft <sup>3</sup> )	Masa de gases (lb/h)	Cp de gases (Btu/lb F)	Calor de los gases (Btu/h)	Calor para calentar fibra de bagazo (Btu/lb bagazo)	Calor para calentar Agua (Btu/lb bagazo)	Bagazo seco (Ton/h)	Bagazo Húmedo (Ton/h)
6:00 AM	3567.74	2470523.42	0.047	116614.98	0.28	5135613.29	2.21	443.05	5.77	8.27
7:00 AM	4393.09	3042043.13	0.047	142059.15	0.28	4786591.24	2.16	441.50	5.39	7.72
8:00 AM	4322.16	2992930.69	0.048	144390.27	0.28	6054802.67	2.33	522.57	5.77	8.72
9:00 AM	4366.96	3023946.34	0.047	142909.30	0.28	6256752.72	2.40	438.18	7.10	10.14
10:00 AM	4393.09	3042043.13	0.047	142059.15	0.28	4786591.24	2.40	408.97	5.82	8.15
11:00 AM	4322.16	2992930.69	0.048	144390.27	0.28	6054602.67	2.40	408.97	7.36	10.30
12:00 PM	4393.09	3042043.13	0.047	142059.15	0.28	6945955.71	2.37	388.52	8.88	12.26
1:00 PM	4322.16	2992930.69	0.048	144390.27	0.28	6054802.67	2.37	618.21	4.88	7.83
2:00 PM										
3:00 PM										
4:00 PM										
5:00 PM										
6:00 PM	4322.16	2992930.69	0.048	144390.27	0.28	6054602.67	2.23	471.00	6.40	9.34
7:00 PM	4366.96	3023946.34	0.047	142909.30	0.28	6256752.72	2.16	441.50	7.05	10.10
8:00 PM	4322.16	2992930.69	0.048	144390.27	0.28	6054802.67	2.23	471.00	6.40	9.34
9:00 PM										
10:00 PM										
11:00 PM										
12:00 AM										
1:00 AM	4322.16	2992930.69	0.048	144390.27	0.28	5690055.52	2.21	476.36	5.94	8.71
2:00 AM	4369.58	3025760.89	0.047	142823.60	0.26	6651299.72	2.40	533.44	6.21	9.44
3:00 AM	4345.94	3009390.56	0.048	143600.53	0.28	5264966.13	2.14	446.58	5.87	8.43
4:00 AM	4322.16	2992930.69	0.048	144390.27	0.28	5690055.52	2.09	395.03	7.16	9.93
5:00 AM	4361.71	3020313.97	0.047	143081.17	0.28	6190536.78	2.25	499.59	6.17	9.16
6:00 AM	4322.16	2992930.69	0.048	144390.27	0.28	6054802.67	2.28	505.47	5.96	8.91

Tabla #54 Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 06 de Marzo del 2000

Hora	Velocidad de los gases de chimenea (ft./min)	Volumen de los gases (ft <sup>3</sup> /h)	Peso Especifico (lb/ft <sup>3</sup> )	Masa de gases (Lb/h)	Cp de gases (Btu/lb F)	Calor de los gases (Btu/h)	Calor para calentar fibra de bagazo (Btu/lb bagazo)	Calor para calentar agua (Btu/lb bagazo)	Bagazo Ton/h	Bagazo Húmedo Ton/h
6:00 AM	4322.16	2992930.69	0.048	144390.27	0.28	6054802.67	2.28	505.47	5.96	8.91
7:00 AM	4319.49	2991081.82	0.048	144479.63	0.28	6241036.47	2.38	473.54	6.56	9.59
8:00 AM	4332.75	3000257.33	0.048	144037.67	0.28	6552215.90	2.40	484.31	6.73	9.92
9:00 AM	4366.88	3023891.74	0.047	142912.00	0.28	6293708.85	2.38	457.96	6.84	9.90
10:00 AM	4343.25	3007531.52	0.048	143689.40	0.28	6539865.08	2.25	499.59	6.52	9.70
11:00 AM	4355.72	3016185.86	0.048	143278.09	0.28	6059403.40	2.23	471.00	6.40	9.34
12:00 PM	4716.77	3266176.38	0.047	154362.60	0.28	5625916.57	2.28	558.77	5.01	7.75
1:00 PM	4374.72	3029325.52	0.047	142655.65	0.28	6392782.52	2.33	632.93	5.03	8.15
2:00 PM	4356.39	3016631.49	0.047	143255.95	0.28	6161194.83	2.23	471.00	6.51	9.51
3:00 PM	3567.74	2470523.42	0.047	116614.98	0.28	5135613.29	2.33	594.43	4.30	6.80
4:00 PM										
5:00 PM										
6:00 PM	3529.03	2443717.67	0.048	117894.16	0.28	5241540.47	2.40	484.31	5.38	7.94
7:00 PM	4366.88	3023891.74	0.047	142912.00	0.28	6293708.85	2.30	534.45	5.86	8.93
8:00 PM	4377.43	3031198.02	0.047	142567.42	0.28	6388828.42	2.33	594.43	5.35	8.47
9:00 PM	4369.58	3025760.89	0.047	142823.6	0.28	6832041.56	2.31	528.44	6.44	9.76
10:00 PM	4345.94	3009390.56	0.048	143600.53	0.28	5991168.35	2.21	411.19	7.25	10.16
11:00 PM	4369.58	3025760.89	0.047	142823.6	0.28	6651299.72	2.28	394.06	8.39	11.62
12:00 AM	4393.09	3042043.13	0.047	142059.15	0.28	6945955.71	2.31	400.54	8.62	12.00
1:00 AM	4359.06	3018496.15	0.047	143167.34	0.28	6157383.98	2.26	413.32	7.41	10.40
2:00 AM	4322.16	2992930.69	0.048	144390.27	0.28	5690055.52	2.26	460.65	6.15	8.91
3:00 AM	4359.58	3025760.89	0.047	142823.6	0.28	6289616.04	2.21	493.58	6.34	9.41
4:00 AM	4322.16	2992930.69	0.048	144390.27	0.28	5690055.52	2.13	284.59	9.92	12.68
5:00 AM	4393.09	3042043.13	0.047	142059.15	0.28	6945955.71	2.23	362.11	9.53	12.91
6:00 AM	3969.73	2748885.36	0.046	131007.56	0.28	5664531.92	2.38	489.46	5.76	8.52

Tabla # 55 Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 09 de Marzo del 2000

Hora	Velocidad de los gases de chimenea (ft./min)	Volumen de los gases (ft <sup>3</sup> /h)	Peso Específico (lb/ft <sup>3</sup> )	Masa de gases (lb/h)	Cp de gases (Btu/lb.F)	Calor de los gases (Btu/h)	Calor para calentar fibra de bagazo (Btu/lb bagazo)	Calor para calentar Agua (Btu/lb bagazo)	Bagazo lon	Bagazo Húmedo lon
6:00 AM	4335.43	3002114.16	0.0479	143948.47	0.28	5820585.04	2.38	505.72	5.73	8.56
7:00 AM	4390.14	3033074.00	0.0470	142479.13	0.28	6348799.16	2.31	511.21	6.18	9.27
8:00 AM	3947.41	2733427.30	0.0482	131748.46	0.28	5358280.09	2.37	511.21	5.22	7.82
9:00 AM	3518.20	2436214.92	0.0485	118257.33	0.28	5434601.68	2.35	483.73	5.59	8.24
10:00 AM	3537.67	2449699.85	0.0480	117606.26	0.28	5944290.98	2.21	476.36	6.21	9.10
11:00 AM	3569.40	2471669.89	0.0472	116560.82	0.28	4779212.42	2.28	558.77	4.26	6.59
12:00 PM	3550.64	2458677.81	0.0477	117176.73	0.28	5599828.36	2.33	557.69	5.00	7.73
1:00 PM	3550.09	2458297.37	0.0477	117194.88	0.28	5600696.08	2.30	483.12	5.77	8.49
2:00 PM	3539.31	2450836.66	0.0480	117551.64	0.28	5466207.84	2.33	456.83	5.95	8.61
3:00 PM	3561.38	2466117.10	0.0474	116823.25	0.28	5911022.94	2.26	493.98	5.96	8.93
4:00 PM	3548.44	2457157.10	0.0477	117249.94	0.28	5603298.43	2.28	455.65	6.12	8.84
5:00 PM	3569.40	2471669.89	0.0472	116560.82	0.28	5641259.62	2.35	452.02	6.43	9.27
6:00 PM	4380.14	3033074.00	0.0470	142479.13	0.26	7394908.11	2.33	456.83	8.05	11.65
7:00 PM	3550.64	2458677.81	0.0477	117176.73	0.28	5777600.69	2.33	472.73	6.08	8.99
8:00 PM	2510.68	1738547.75	0.0477	82856.46	0.28	3938725.94	2.31	477.87	4.10	6.02
9:00 PM	2501.51	1732199.38	0.0480	83160.19	0.28	3572761.19	2.30	489.85	3.56	5.30
10:00 PM	3529.03	2443717.67	0.0482	117894.16	0.28	5390447.87	2.31	546.07	4.91	7.54
11:00 PM	3550.64	2458677.81	0.0477	117176.73	0.28	4888739.05	2.28	558.77	4.36	6.74
12:00 AM	3560.28	2465354.09	0.0474	116859.45	0.28	5173747.84	2.33	505.59	5.09	7.61
1:00 AM	3566.94	2483817.81	0.0467	115990.81	0.28	6112127.51	2.35	487.70	6.50	9.48
2:00 AM	3576.29	2476440.85	0.0470	116366.33	0.28	6127067.94	2.09	363.53	8.38	11.36
3:00 AM	3559.18	2464591.78	0.0474	116895.65	0.28	5027482.97	2.19	415.71	6.02	8.46
4:00 AM	3548.44	2457157.10	0.0477	117249.34	0.28	4891768.47	2.09	363.53	6.69	9.07
5:00 AM	3593.42	2488301.50	0.0465	115781.72	0.28	6161086.72	2.35	452.02	6.78	9.78
6:00 AM	3518.21	2436223.66	0.0485	118256.72	0.28	5463265.36	2.37	511.21	5.32	7.98

Tabla #56 Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 10 de Marzo del 2000

Hora	Velocidad de los gases de chimenea (ft./min)	Volumen de los gases ft <sup>3</sup> /h	Peso Especifico lb/ft <sup>3</sup>	Masa de gases lb/h	Cp de gases Btu/lb F	Calor de los gases Btu/h	Calor para calentar fibra de bagazo (Btu/lb bagazo)	Calor para calentar Agua (Btu/lb bagazo)	Bagazo Ton/h	Bagazo Humedo Ton/h
6:00 AM	3518.21	2436223.66	0.0485	118256.72	0.28	5463265.36	2.37	511.21	5.32	7.98
7:00 AM	3526.85	2442208.08	0.0483	117967.13	0.28	5363984.15	2.38	505.72	5.28	7.89
8:00 AM	3530.67	2444851.70	0.0482	117839.41	0.28	5536782.62	2.37	478.58	5.76	8.45
9:00 AM	3509.52	2430203.92	0.0488	118549.74	0.28	5385290.34	2.33	488.99	5.48	8.10
10:00 AM	3539.86	2451215.95	0.0479	117533.43	0.28	5584173.15	2.33	594.43	4.68	7.40
11:00 AM	3548.48	2457187.25	0.0477	117247.81	0.28	5069043.45	2.37	580.92	4.35	6.81
12:00 PM	4343.25	3007531.52	0.0478	143689.40	0.28	6212871.83	2.35	551.42	5.61	8.84
1:00 PM	3990.71	2763410.95	0.0472	130318.96	0.28	5640173.14	2.18	373.79	7.50	10.24
2:00 PM	3546.25	2455639.21	0.0478	117321.91	0.28	5072788.61	2.14	397.61	6.34	8.81
3:00 PM	3573.68	2474631.75	0.0470	116421.31	0.28	6071291.36	2.18	453.12	6.67	9.82
4:00 PM	3550.64	2458677.81	0.0477	117176.73	0.28	5866486.86	2.23	523.10	5.58	8.44
5:00 PM	3529.03	2443717.67	0.0482	117894.16	0.28	5360666.39	2.28	505.47	5.28	7.89
6:00 PM	2510.68	1738547.75	0.0477	82896.46	0.28	4085380.63	2.26	511.21	3.98	5.97
7:00 PM	3518.21	2436223.66	0.0485	118256.72	0.28	5463265.36	2.30	499.85	5.44	8.10
8:00 PM	3559.18	2464591.78	0.0474	116895.65	0.28	5766818.70	2.14	413.56	6.94	9.74
9:00 PM	2525.85	1749052.67	0.0471	82358.82	0.28	4273650.54	2.19	499.32	4.26	6.34
10:00 PM	2597.92	1757411.39	0.0466	81967.10	0.28	4319250.28	2.21	443.05	4.85	6.95
11:00 PM	3551.38	2466117.10	0.0474	116823.25	0.28	5763247.37	2.30	419.73	6.83	9.63
12:00 AM	3606.04	2497041.43	0.0462	115376.56	0.28	6787774.62	2.26	460.65	7.33	10.63
1:00 AM	3529.03	2443717.67	0.0482	117894.16	0.28	5241540.47	2.16	362.80	7.18	9.73
2:00 AM	3549.54	2457917.10	0.0477	117213.04	0.28	5779391.09	2.23	362.11	7.93	10.74
3:00 AM	3568.85	2471287.56	0.0472	116578.88	0.28	5871670.35	2.30	435.07	6.71	9.57
4:00 AM	3530.12	2444473.52	0.0482	117857.66	0.28	4942195.11	2.25	433.42	5.67	8.08
5:00 AM	3588.05	2484586.06	0.0467	115954.90	0.28	6110235.22	2.40	468.61	6.49	9.46
6:00 AM	4332.75	3000257.33	0.0480	144037.67	0.28	6370209.90	2.40	568.01	5.58	8.69

24

Tabla #57 Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 13 de Marzo del 2000

Hora	Velocidad de los gases de chimenea (ft./min)	Volumen de los gases (ft <sup>3</sup> /h)	Peso Especifico (lb/ft <sup>3</sup> )	Masa de gases (lb/h)	Cp de gases (Btu/lb F)	Calor de los gases (Btu/h)	Calor para calentar fibra de bagazo (Btu/lb bagazo)	Calor para calentar Agua (Btu/lb bagazo)	Bagazo seco (Ton/h)	Bagazo Húmedo (Ton/h)
6:00 AM	1786.05	1236767.003	0.04709	58236.48	0.28125	2358577.38	2.25	417.76	2.81	3.96
7:00 AM	1775.32	1229338.906	0.04766	58588.36	0.28095	2222154.11	2.25	433.42	2.55	3.63
8:00 AM	2496.95	1729038.761	0.04818	83312.13	0.28068	3809261.74	2.18	358.94	5.27	7.13
9:00 AM	2518.28	1743808.122	0.04737	82606.51	0.2811	3761751.96	2.26	383.41	4.88	6.71
10:00 AM	1794.58	1242677.512	0.04664	57959.49	0.28149	2687083.29	2.23	422.31	3.16	4.47
11:00 AM	2554.34	1768780.776	0.04604	61440.29	0.28185	3615246.55	2.28	439.75	4.09	5.85
12:00 PM	1784.98	1236026.202	0.04714	58271.38	0.28122	2566216.43	2.19	431.69	2.96	4.21
1:00 PM	1796.71	1244150.752	0.04653	57890.86	0.28155	2420426.92	2.14	429.88	2.80	3.98
2:00 PM	2501.53	1732214.225	0.04801	83159.41	0.28077	3971606.28	2.11	374.89	5.27	7.20
3:00 PM										
4:00 PM	2510.68	1738547.754	0.04766	82856.46	0.28095	3875873.93	2.21	395.78	4.87	6.75
5:00 PM	2513.72	1740653.809	0.04754	82756.21	0.28101	4332466.54	2.09	290.58	7.40	9.51
6:00 PM	3531.22	2445230.066	0.04818	117821.15	0.28068	5387109.62	2.23	422.31	6.34	8.97
7:00 PM	3539.86	2451215.95	0.04795	117533.43	0.2808	5495064.00	2.11	406.65	6.72	9.40
8:00 PM	3569.95	2472052.405	0.04714	116542.76	0.28122	5132432.86	2.16	408.97	6.24	8.74
9:00 PM	3561.38	2466117.096	0.04737	116823.25	0.2811	5911022.94	2.18	436.54	6.74	9.61
10:00 PM	3955.24	2736847.698	0.04801	131487.80	0.2608	6147475.40	2.30	419.73	7.28	10.27
11:00 PM	3531.22	2445230.066	0.04818	117821.15	0.28068	5238294.44	2.28	471.89	5.52	8.07
12:00 AM	3516.03	2434716.839	0.04860	118330.00	0.2805	4630223.36	2.26	477.13	4.83	7.08
1:00 AM	3945.58	2732159.416	0.04824	131809.68	0.28068	5360769.80	2.33	488.99	5.46	8.06
2:00 AM	3550.64	2458677.812	0.04766	117176.73	0.28095	5866486.86	2.37	494.72	5.90	8.76
3:00 AM	3539.31	2450836.662	0.04796	117551.64	0.2808	5495915.49	2.40	500.34	5.47	8.14
4:00 AM	3976.82	2753795.19	0.04749	130774.19	0.2811	6947758.16	2.31	477.87	7.23	10.62
5:00 AM	3964.22	2745064.324	0.04779	131190.15	0.28095	6468556.81	2.40	500.34	6.43	9.58

Tabla #58 Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 14 de Marzo del 2000

hora	Velocidad de los gases de chimeneas (ft/min)	Volumen de los gases ft <sup>3</sup> /h	Peso Específico lb/ft <sup>3</sup>	Masa de gases lb/h	Cp de gases Btu/lb F	Calor de los gases Btu/h	Calor para calentar fibra de bagazo (8tu/lb bagazo) Agua	Calor para calentar Bagazo seco Ton/h	Calor para calentar Bagazo Húmedo Ton/h
6:00 AM	3952.79	2737155.79	0.0481	131569.18	0.2808	6151280.12	2.13	523.68	8.85
7:00 AM	2481.60	1718413.67	0.0486	83827.33	0.2804	3744509.06	2.16	493.17	5.60
8:00 AM	2493.86	1726901.89	0.0483	83415.36	0.2807	3813981.29	2.26	493.98	5.70
9:00 AM									
10:00 AM									
11:00 AM									
12:00 PM									
1:00 PM	2507.56	1736399.13	0.0478	82959.12	0.2810	3880676.00	2.28	455.65	6.13
2:00 PM									
3:00 PM	2481.60	1718413.67	0.0488	83827.33	0.2804	3744509.06	2.30	435.07	6.10
4:00 PM	3554.94	2461656.22	0.0475	117034.95	0.2810	6127032.94	2.21	443.05	9.86
5:00 PM	3531.22	2445230.07	0.0482	117821.15	0.2807	5535924.80	2.26	398.21	9.60
6:00 PM	3518.21	2436223.66	0.0485	118256.72	0.2805	4925895.00	2.25	499.59	7.31
7:00 PM	3511.69	2431707.95	0.0487	118476.32	0.2804	4694260.99	2.19	448.03	7.50
8:00 PM	3550.64	2458677.81	0.0477	117176.73	0.2810	6073887.91	2.28	408.97	10.34
9:00 PM	3531.22	2445230.07	0.0482	117821.15	0.2807	5238294.44	2.28	471.89	8.07
10:00 PM	4372.28	3027633.50	0.0471	142735.15	0.2812	7730960.09	2.33	522.57	11.13
11:00 PM	4324.17	2994319.59	0.0482	144323.21	0.2807	6598857.24	2.25	387.44	11.68
12:00 AM	4361.11	3019896.91	0.0474	143100.65	0.2811	7602647.66	2.30	466.76	11.80
1:00 AM	4335.43	3002114.16	0.0479	143948.47	0.2808	6548158.17	2.33	505.59	9.63
2:00 AM	3988.86	2762129.15	0.0472	130379.51	0.2812	6236772.13	2.40	516.71	9.04
3:00 AM	4359.08	3018496.15	0.0474	143167.34	0.2811	7606180.22	2.37	478.58	11.61
4:00 AM	4347.95	3010787.10	0.0477	143533.83	0.2810	7077189.29	2.33	488.99	10.65
5:00 AM	4387.98	3038504.75	0.0468	142224.47	0.2814	7203953.90	2.33	622.57	10.37

Tabla #59 Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 17 de Marzo del 2000

hora Numero	Velocidad de los gases de chimenea (ft./min)	Volumen de los gases ft <sup>3</sup> /h	Peso Especifico lb/ft <sup>3</sup>	Masa de gases lb/h	Cp de gases Btu/lb F	Calor de los gases Btu/h	Calor para calentar fibra de bagazo (Btu/lb bagazo)	Calor para calentar Agua (Btu/lb bagazo)	Bagazo seco Ton/h	Bagazo Húmedo Ton/h
6:00 AM	4746.28	3286617.24	0.04801	157785.36	0.2808	7695974.61	2.2807	424.20	9.02	12.77
7:00 AM	4707.54	3259787.26	0.04772	155548.83	0.2810	7472946.69	2.2635	444.53	8.36	12.00
8:00 AM	5008.21	3467988.04	0.04743	164486.75	0.2811	8073019.69	2.2292	438.18	9.17	13.09
9:00 AM	4891.19	3386957.33	0.04772	161617.06	0.2810	8050539.33	2.2121	476.36	8.41	12.33
10:00 AM	4731.77	3276565.97	0.04830	158269.51	0.2807	6836712.92	2.2292	454.41	7.49	10.81
11:00 AM	4760.73	3296622.18	0.04772	157306.50	0.2810	7756268.12	2.2635	444.53	8.68	12.45
12:00 PM	4891.19	3386957.33	0.04772	161617.06	0.2810	4004836.83	2.1949	481.83	4.14	6.09
1:00 PM	4760.73	3296622.18	0.04772	157306.50	0.2810	5369724.08	2.2121	511.21	5.23	7.84
2:00 PM	4483.91	3091065.52	0.04824	149125.63	0.2807	4407498.05	2.2635	493.98	4.44	6.59
3:00 PM	4168.14	2886277.80	0.04703	135751.33	0.2813	4983561.08	2.1435	351.80	7.04	9.46
4:00 PM	4074.33	2821314.65	0.04778	134792.61	0.2810	5112447.71	2.2121	380.69	6.68	9.16
5:00 PM	4023.72	2786266.83	0.04824	134420.03	0.2807	4278470.06	2.1778	404.48	5.26	7.34
6:00 PM	4014.60	2779955.92	0.04772	132652.48	0.2810	4226272.34	2.2292	487.98	4.31	6.37
7:00 PM	4067.85	2816630.09	0.04720	132961.54	0.2812	6057413.86	2.0920	290.58	10.35	13.29
8:00 PM	3980.65	2756848.17	0.04778	131693.51	0.2810	4695210.20	2.3321	539.93	4.33	6.62
9:00 PM	4140.67	2867249.12	0.04766	136652.26	0.2810	4699737.86	2.2635	460.65	5.08	7.36
10:00 PM	3929.76	2721208.83	0.04824	131281.38	0.2807	4443875.84	2.1949	535.56	4.13	6.30
11:00 PM	3884.72	2690017.97	0.04778	128519.71	0.2810	5037011.88	2.2121	566.64	4.43	6.88
12:00 AM	3800.88	2631964.48	0.04824	126975.90	0.2807	4683042.79	2.2635	546.88	4.26	6.54
1:00 AM	3863.26	2675153.65	0.04670	124925.93	0.2815	2626855.35	2.2978	552.34	2.37	3.65
2:00 AM	3790.46	2624743.34	0.04767	125129.90	0.2810	3954964.97	2.1606	458.33	4.29	6.22
3:00 AM	3856.38	2670389.35	0.04687	125148.81	0.2814	5388181.96	2.1949	499.32	5.37	8.00
4:00 AM	3835.13	2655678.41	0.04739	125841.99	0.2811	3342860.35	2.2807	505.47	3.29	4.92
5:00 AM	3753.00	2598804.26	0.04778	124161.83	0.2810	4709241.09	2.2292	487.98	4.80 **	7.10

\*\*

Tabla #60 Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 20 de Marzo del 2000

Hora	Velocidad de los gases en chimenea (ft./min)	Volumen de los gases (ft <sup>3</sup> /h)	Peso Especifico (lb/ft <sup>3</sup> )	Masa de gases (lb/h)	Cp de gases (Btu/lb F)	Calor de los gases (Btu/h)	Calor para calentar fibra de bagazo (Btu/lb bagazo)	Calor para calentar agua (Btu/lb bagazo)	Bagazo seco (Ton/h)	Bagazo Húmedo (Ton/h)
6:00 AM	3984.18	2756666.65	0.04542	125311.74	0.2823	7196142.09	2.28	486.49	7.33	10.83
7:00 AM	4278.63	2962784.51	0.04595	136135.89	0.2820	7774867.30	2.16	319.51	12.09	15.86
8:00 AM	4426.38	3065095.83	0.04600	140991.05	0.2820	7621080.73	2.25	433.42	8.75	12.45
9:00 AM	4125.64	2856845.39	0.04660	133116.39	0.2816	7119522.01	2.09	276.91	12.76	16.21
10:00 AM	4106.32	2843465.99	0.04632	131716.34	0.2818	7315632.13	2.18	453.12	8.03	11.59
11:00 AM	3942.91	2730311.93	0.04638	126623.21	0.2818	6357704.83	2.07	279.82	11.28	14.36
12:00 PM	4271.31	2957714.67	0.04611	136369.14	0.2819	6400896.77	2.14	361.80	9.04	12.15
1:00 PM	4431.84	3068879.22	0.04589	140817.01	0.2820	6503871.20	2.07	266.26	12.12	15.28
2:00 PM	5045.97	3494137.77	0.04578	159957.78	0.2820	3735347.55	2.13	340.81	5.45	7.26
3:00 PM	4601.10	3186085.59	0.04541	144679.24	0.2822	6431397.21	2.25	387.44	8.25	11.38
4:00 PM										
5:00 PM	4800.74	3324327.49	0.04536	150795.87	0.2823	6704723.77	2.30	435.07	7.66	10.93
6:00 PM	4229.61	2928841.54	0.04568	133778.72	0.2821	7133172.36	2.23	422.31	8.40	11.87
7:00 PM	4320.59	2991841.55	0.04506	134813.44	0.2825	7368103.99	2.25	465.77	7.87	11.46
8:00 PM	5153.07	3568302.46	0.04525	161477.49	0.2823	4431342.28	2.19	481.83	4.58	6.73
9:00 PM	4441.81	3075781.85	0.04568	140501.21	0.2822	6957244.21	2.25	517.09	6.70	10.09
10:00 PM	4454.63	3084658.58	0.04542	140096.89	0.2823	7118883.46	2.33	488.99	7.24	10.71
11:00 PM	4408.57	3052760.10	0.04637	141560.55	0.2617	4450341.02	2.30	483.12	4.58	6.75
12:00 AM	4693.00	3249721.20	0.04638	150711.77	0.2818	7872927.08	2.28	486.49	6.02	11.85
1:00 AM										
2:00 AM										
3:00 AM	4874.19	3375187.94	0.04552	153645.16	0.2822	6908014.27	2.33	426.01	8.06	11.42
4:00 AM	4853.15	3360614.46	0.04439	149167.50	0.2828	6910809.95	2.31	477.87	7.20	10.56
5:00 AM	4806.05	3328002.10	0.04526	150629.49	0.2824	6393200.04	2.30	450.75	7.06 **	10.17

Tabla # 61 Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 23 de Marzo del 2000

hora	Velocidad de los gases de chimenea (ft./min)	Volumen de los gases (ft <sup>3</sup> /h)	Peso Especifico (lb/ft <sup>3</sup> )	Masa de gases (lb/h)	Op de gases (Btu/lb F)	Calor de los gases (Btu/h)	Calor para calentar de bagazo (Btu/lb bagazo)	Calor para calentar Agua (Btu/lb bagazo)	Bagazo seco Ton/h	Bagazo Húmedo Ton/h
6:00 AM	4734.51	3278461.58	0.0456	149390.33	0.2822	5538573.32	2.16	319.51	8.61	11.30
7:00 AM	4569.34	3164091.24	0.0460	145684.82	0.2819	4767213.15	2.23	347.83	6.81	9.13
8:00 AM	4617.98	3197773.30	0.0462	147754.09	0.2818	4720977.14	2.09	318.82	7.36	9.65
9:00 AM	4679.33	3240255.02	0.0466	151151.94	0.2816	7354603.73	2.16	377.85	9.68	13.25
10:00 AM	4720.63	3268854.47	0.0458	149829.50	0.2820	7263877.72	2.26	413.32	8.74	12.27
11:00 AM	4814.36	3333756.98	0.0456	152097.73	0.2822	8072193.91	2.23	362.11	11.08	15.00
12:00 PM	4751.25	3290056.71	0.0458	150615.17	0.2820	7454888.61	2.30	450.75	8.23	11.85
1:00 PM	4874.58	3375458.58	0.0455	153632.80	0.2822	7920419.16	2.25	449.42	8.77	12.62
2:00 PM	4786.60	3314536.86	0.0462	152979.59	0.2818	6363435.54	2.25	449.42	7.04	10.14
3:00 PM	4789.88	3316807.47	0.0456	151137.65	0.2822	7483931.93	2.30	499.85	7.45	11.10
4:00 PM	4636.75	3210766.58	0.0458	147156.27	0.282	6573294.15	2.33	456.83	7.16	10.36
5:00 PM	4707.06	3259455.85	0.0461	150261.42	0.2819	7203935.88	2.23	376.68	9.51	13.01
6:00 PM	4789.88	3316807.47	0.0456	151137.65	0.2822	7560690.20	2.35	516.83	7.28	10.96
7:00 PM	4802.97	3325866.37	0.0453	150726.01	0.2823	7812171.34	2.37	562.91	6.91	10.71
8:00 PM	4741.98	3283634.94	0.0454	149155.00	0.2822	7804877.63	2.28	522.83	7.43	11.23
9:00 PM	4608.97	3330025.44	0.0457	152268.05	0.2821	6609808.93	2.31	477.87	6.88	10.10
10:00 PM	4298.98	2976874.65	0.0455	135491.22	0.2822	6021683.73	2.30	499.85	6.00	8.93
11:00 PM	4429.11	3066985.77	0.0459	140904.06	0.2820	6007284.48	2.31	477.87	6.26	9.18
12:00 AM	4224.87	2925557.34	0.0458	139928.79	0.2820	5779106.52	2.23	487.98	5.89	8.71
1:00 AM	4164.24	2883576.06	0.0464	138880.52	0.2817	6483061.11	2.19	499.32	6.46	9.62
2:00 AM	4193.53	2903859.38	0.0458	139945.37	0.2821	6412255.72	2.23	487.98	6.54	9.66
3:00 AM	4111.39	2846975.80	0.0462	131553.75	0.2818	6605968.83	2.19	499.32	6.59	9.80
4:00 AM	4196.12	2905652.12	0.0457	132863.24	0.2821	6239655.16	2.25	449.42	6.91	9.94
5:00 AM	4129.88	2859783.93	0.0472	134994.24	0.2813	3417041.75	2.28	455.65	3.73**	5.39

\*\*

Tabla #62 Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 24 de Marzo del 2000

hora	Velocidad de los gases de chimenea (ft./min)	Volumen de los gases (ft <sup>3</sup> /h)	Peso Especifico (lb/ft <sup>3</sup> )	Masa de gases (lb/h)	Cp. de gases (Btu/lb F)	Calor de los gases (Btu/h)	Calor para calentar fibra de bagazo (Btu/lb bagazo)/Agua	Calor para calentar Bagazo seco (Ton/h)	Calor para calentar Bagazo Húmedo (Ton/h)
6:00 AM	4130.62	2860295.06	0.0458	130941.16	0.28203	6281679.93	2.16	333.63	12.41
7:00 AM	3947.78	2733682.07	0.0463	126466.91	0.28176	5483967.43	2.07	252.97	13.41
8:00 AM									
9:00 AM									
10:00 AM	4130.62	2860295.06	0.0458	130941.16	0.28203	6481096.34	2.18	373.79	11.77
11:00 AM	4281.27	2964609.12	0.0459	136052.00	0.28203	7666475.12	2.23	391.57	13.46
12:00 PM	4111.13	2846797.52	0.0462	131562.20	0.28185	7141763.06	2.25	372.76	12.99
1:00 PM	4209.85	2915155.40	0.0461	134406.89	0.28191	8286664.51	2.21	395.78	14.44
2:00 PM	4212.16	2916758.74	0.0461	134333.11	0.28197	7670276.37	2.25	372.76	13.96
3:00 PM	4728.83	3274531.16	0.0462	151329.52	0.28185	5949985.53	2.30	450.75	9.46
4:00 PM	4444.38	3077559.24	0.0456	140420.07	0.28218	6811320.03	2.37	447.31	10.89
5:00 PM	4695.76	3251627.76	0.0463	150623.40	0.28179	8518544.41	2.35	467.70	13.21
6:00 PM	4273.68	2959341.41	0.0461	136294.28	0.28197	6813798.46	2.33	441.26	10.99
7:00 PM	3922.03	2715852.98	0.0469	127297.34	0.28149	6385427.87	2.28	455.65	10.08
8:00 PM	4326.84	2996167.92	0.0462	136465.22	0.28185	6989632.00	2.33	472.73	10.76
9:00 PM	4725.44	3272181.99	0.0466	153199.19	0.28155	8113361.09	2.30	499.85	12.03
10:00 PM	3874.82	2683161.92	0.0456	122405.70	0.28212	5097084.93	2.19	499.32	7.56
11:00 PM	3778.17	2616235.14	0.0455	118929.70	0.28218	4077489.18	2.23	471.00	6.29
12:00 AM	3616.60	2504357.71	0.0459	115039.50	0.28191	2568518.10	2.25	433.42	4.20
1:00 AM	3868.09	2678499.60	0.0456	122618.76	0.28203	4366477.36	2.26	428.76	7.23
2:00 AM	3886.18	2691028.13	0.0454	122047.80	0.28224	4464301.38	2.19	431.69	7.32
3:00 AM	3868.09	2678499.60	0.0458	122618.76	0.28203	4388477.36	2.18	453.12	6.96
4:00 AM									
5:00 AM	3769.43	2610186.03	0.0457	119205.32	0.28206	5325891.34	2.26	444.53	8.55

Tabla #63 Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 25 de Marzo del 2000

Hora Número	Velocidad de los gases de chimenea (ft./min)	Volumen de los gases ft <sup>3</sup> /h	Peso Especifico lb/ft <sup>3</sup>	Masa de gases lb/h	Cp de gases Btu/lb.F	Calor de los gases Btu/h	Calor para calentar fibra de bagazo (Btu/lb bagazo)	Calor para calentar Agua (Btu/lb bagazo)	Bagazo seco Ton/h	Bagazo Húmedo Ton/h
6:00 AM	3961.79	2743386.42	0.04594	126019.45	0.28191	5819182.38	2.07	252.97	11.41	14.23
7:00 AM	3812.99	2640348.41	0.04546	120025.85	0.28218	5151458.64	2.16	292.12	8.75	11.25
8:00 AM	3710.35	2569273.36	0.04626	118860.96	0.28176	4400620.54	2.18	330.16	6.62	8.76
9:00 AM	3821.62	2646323.93	0.04525	119754.92	0.28233	5781579.29	2.16	348.06	8.25	11.06
10:00 AM	3845.12	2662597.63	0.04551	121187.03	0.28218	6247710.89	2.16	377.85	8.22	11.26
11:00 AM	3970.58	2749472.25	0.04573	125740.81	0.28212	7853942.92	2.18	344.40	11.33	15.15
12:00 PM	3790.53	2624791.26	0.04600	120737.52	0.28197	7659980.78	2.16	362.80	10.49	14.22
1:00 PM	4474.56	3098455.50	0.04621	143192.34	0.28185	8027357.82	2.14	308.86	12.91	16.80
2:00 PM	3933.04	2723475.80	0.04661	126941.07	0.28164	7304068.79	2.16	348.06	10.43	13.98
3:00 PM	4503.52	3118510.44	0.04621	144119.17	0.28185	7823409.46	2.18	373.79	10.40	14.21
4:00 PM	4515.23	3126622.46	0.04715	147431.14	0.28137	7468885.89	2.13	386.25	9.61	13.24
5:00 PM	4576.86	3169300.46	0.04704	149081.85	0.2814	7022703.37	2.13	355.63	9.82	13.23
6:00 PM	4793.35	3312284.92	0.04622	153083.95	0.28188	6446804.79	2.16	393.24	8.15	11.29
7:00 PM	4149.42	2873310.76	0.04537	130348.22	0.28233	6326128.37	2.14	413.56	7.61	10.69
8:00 PM	4286.39	2968159.27	0.04578	135889.17	0.28206	7037185.82	2.16	441.50	7.93	11.36
9:00 PM	4207.39	2913454.11	0.04616	134485.38	0.28188	5970626.30	2.13	451.77	6.58	9.48
10:00 PM	4121.02	2853643.20	0.04599	131246.38	0.28191	6426842.37	2.19	431.69	7.41	10.53
11:00 PM	4411.29	3054647.09	0.04631	141472.99	0.2817	2654205.96	2.25	433.42	3.05	4.34
12:00 AM	4293.75	2966330.22	0.04584	135973.06	0.28206	7145082.35	2.18	470.08	7.56	11.04
1:00 AM	4379.85	3032877.17	0.04510	136789.16	0.28245	6780635.12	2.26	460.65	7.32	10.62
2:00 AM	4391.65	3041046.88	0.04611	140211.28	0.28191	7008130.19	2.23	454.41	7.67	11.08
3:00 AM	4695.90	3251724.99	0.04632	150618.78	0.28176	7791680.47	2.25	433.42	8.94	12.73
4:00 AM	3954.46	2738311.69	0.04611	126253.29	0.28191	6855031.79	2.26	413.32	8.25	11.58
5:00 AM	4173.90	2890262.60	0.04621	133570.90	0.28185	6810334.52	2.19	400.08	8.46	11.78

\*\*4

Tabla #64 Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 26 de Marzo del 2000

Hora	Velocidad de los gases de chimenea (ft./min)	Volumen de los gases (ft <sup>3</sup> /h)	Peso Especifico (lb/ft <sup>3</sup> )	Masa de gases (lb/h)	Cp de gases (Btu/lb.F)	Calor de los gases (8tu/h)	Calor para calentar fibra de bagazo (8tu/lb bagazo)	Calor para calentar Agua (Btu/lb bagazo)	Begazo seco Ton/h	Begazo Húmedo Ton/h
6:00 AM	4943.70	3423321.51	0.04573	156534.09	0.28206	6000257.39	2.13	386.25	7.72	10.64
7:00 AM	3822.72	2647086.05	0.04667	124074.10	0.28149	7041004.70	2.26	428.76	8.17	11.59
8:00 AM	3589.98	2485226.29	0.04665	115925.17	0.28155	6873716.67	2.19	415.71	8.22	11.57
9:00 AM										
10:00 AM										
11:00 AM	4254.07	2945774.70	0.04648	136921.67	0.28184	6941271.24	2.07	367.61	9.39	12.76
12:00 PM	4577.19	3169524.82	0.04589	145435.19	0.28197	8119655.19	2.14	366.74	11.01	14.95
1:00 PM	4429.11	3066985.77	0.04594	140904.06	0.28197	7294559.72	2.23	487.98	7.44	10.99
2:00 PM	4429.11	3066985.77	0.04594	140904.06	0.28197	7473347.95	2.19	499.32	7.45	11.09
3:00 PM	4281.57	2964818.99	0.04589	136042.16	0.28197	6352384.18	2.23	454.41	6.96	10.05
4:00 PM	4116.21	2850311.45	0.04610	131399.80	0.28185	5799686.23	2.33	388.07	7.83	10.65
5:00 PM	4271.31	2957714.67	0.04611	136369.14	0.28191	6712291.75	2.30	419.73	7.95	11.22
6:00 PM	4130.62	2860295.06	0.04578	130941.16	0.28203	6946407.97	2.31	415.36	8.32	11.69
7:00 PM	3892.80	2695609.57	0.04599	123978.01	0.28191	5787826.19	2.26	413.32	6.96	9.78
8:00 PM	3820.66	2645657.15	0.04939	130674.75	0.28017	2603052.45	2.30	375.58	3.44	4.71
9:00 PM	4180.37	2894744.43	0.04676	135354.50	0.28152	6584543.61	2.28	406.97	8.01	11.21
10:00 PM	4276.58	2961365.50	0.04599	136200.81	0.28191	7325027.45	2.31	461.74	7.89	11.46
11:00 PM	4222.42	2923857.91	0.04583	134006.64	0.282	6802176.94	2.09	304.55	11.09	14.40
12:00 AM	4137.81	2865273.82	0.04562	130713.63	0.28212	6671036.70	2.07	337.06	9.84	13.08
1:00 AM	3959.34	2741691.71	0.04599	126097.45	0.28191	6558630.24	2.14	308.86	10.54	13.73
2:00 AM	4104.15	2841964.99	0.04637	131765.70	0.2817	6749149.09	2.13	355.63	9.43	12.71
3:00 AM	3959.34	2741691.71	0.04599	126097.45	0.28191	6462650.28	2.18	373.79	8.59	11.74
4:00 AM	4125.82	2856971.07	0.04589	131093.51	0.28197	6520526.47	2.19	340.81	9.51	12.67
5:00 AM	4101.62	2840211.55	0.04643	131867.16	0.2817	6151539.94	2.09	333.40	9.17	12.16

44

Tabla #65 Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 27 de Marzo del 2000

Hora	Velocidad de los gases de chimenea (ft /min)	Volumen de los gases ft <sup>3</sup> /h	Peso Especifico lb/ft <sup>3</sup>	Masa de gases lb/h	Cp de gases Btu/ lb F	Calor de los gases Btu/h	Calor para calentar fibra de bagazo (Btu/lb bagazo)	Calor para calentar Agua (Btu/lb bagazo)	Bagazo seco Ton/h	Bagazo Húmedo Ton/h
6:00 AM	4204.93	2911751.83	0.0462	134564.00	0.28185	6587896.26	2.18	404.48	8.10	11.30
7:00 AM	4089.54	2831845.66	0.0467	132256.73	0.28155	6333993.63	2.09	290.58	10.82	13.90
8:00 AM	4376.71	3030700.52	0.0483	146393.35	0.28068	4289763.31	2.11	315.43	6.75	8.84
9:00 AM	4198.72	2907448.17	0.0457	132781.06	0.28206	6067260.76	2.13	340.81	8.85	11.79
10:00 AM	4416.34	3058142.58	0.0462	141311.40	0.28179	6880920.05	2.23	391.57	8.74	12.08
11:00 AM	4311.98	2985680.19	0.0465	138941.97	0.28158	6405393.11	2.19	384.78	8.28	11.40
12:00 PM	4220.11	2922261.31	0.0459	134079.75	0.28194	6804440.00	2.16	425.05	7.96	11.27
1:00 PM	4324.57	2994598.67	0.0463	138537.56	0.28176	6639741.68	2.19	431.69	7.65	10.88
2:00 PM	4394.65	3043125.51	0.0460	140115.18	0.28185	5118093.54	2.18	453.12	5.62	8.11
3:00 PM	4442.32	3076133.73	0.0457	140484.81	0.28206	6276623.14	2.21	443.05	7.05	10.10
4:00 PM	4407.65	3052123.39	0.0458	139702.00	0.28197	6204204.13	2.28	455.65	6.77	9.79
5:00 PM	4249.27	2942455.40	0.0466	137075.91	0.28152	4063485.92	2.30	450.75	4.48	6.46
6:00 PM	4249.27	2942455.40	0.0466	137075.91	0.28152	3785640.73	2.30	435.07	4.33	6.17
7:00 PM	4447.47	3079700.27	0.0456	140322.12	0.28212	5771883.22	2.25	433.42	6.62	9.43
8:00 PM	4108.98	2845306.51	0.0463	131630.93	0.28176	6909556.22	2.13	386.25	8.90	12.26
9:00 PM	4089.64	2831916.76	0.0467	132253.31	0.28152	5629470.93	2.19	481.83	5.82	8.56
10:00 PM	4108.98	2845306.51	0.0463	131630.93	0.28176	6909556.22	2.14	322.87	10.63	13.99
11:00 PM	3988.57	2748082.61	0.0458	125804.20	0.28203	6673692.90	2.21	380.69	8.71	11.96
12:00 AM										
1:00 AM										
2:00 AM	4581.32	3158535.33	0.0462	145941.09	0.28176	7401664.84	2.11	390.59	9.42	13.02
3:00 AM	4718.39	3267303.81	0.0459	149900.26	0.28191	7340281.07	2.19	400.08	9.12	12.69
4:00 AM	4743.10	3284415.21	0.0454	149119.30	0.28218	8028674.73	2.16	319.51	12.48	16.38
5:00 AM	4542.66	3145617.14	0.0466	146540.31	0.28152	6386123.58	2.23	391.57	8.11	11.21

1.0

Tabla #66 Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 28 de Marzo del 2000

Hora	Velocidad de los gases de chimenea (ft./min)	Volumen de los gases (ft <sup>3</sup> /h)	Peso Especifico (lb/ft <sup>3</sup> )	Masa de gases (lb/h)	Cp de gases (Btu/lb F)	Calor de los gases (Btu/h)	Calor para calentar fibra de bagazo (Btu/lb bagazo)	Calor para calentar Agua (Btu/lb bagazo)	Bagazo seco (Ton/h)	Bagazo Húmedo (Ton/h)
6:00 AM	4461.45	3089380.41	0.0471	145477.74	0.28128	6655884.42	2.19	369.81	8.96	12.20
7:00 AM	4584.14	3160490.12	0.0461	145850.71	0.28176	6657372.95	2.16	377.85	8.76	12.00
8:00 AM										
9:00 AM	4621.34	3200094.86	0.0467	149447.59	0.28152	7345855.76	2.11	315.43	11.57	15.14
10:00 AM	4437.16	3072563.06	0.0458	140648.07	0.282	6058401.70	2.16	362.80	8.31	11.26
11:00 AM	4514.35	3126009.51	0.0460	143773.21	0.28191	6055347.21	2.19	340.81	8.83	11.77
12:00 PM	4395.58	3043768.15	0.0466	141978.75	0.28155	6727644.05	2.16	348.06	9.60	12.87
1:00 PM	4296.50	2975155.41	0.0456	135559.52	0.28215	6437633.04	2.21	395.78	8.09	11.22
2:00 PM	4582.51	3173212.46	0.0458	145266.17	0.28203	7042643.14	2.19	464.74	7.54	10.97
3:00 PM	4472.21	3096832.69	0.0463	143267.16	0.28176	6103483.51	2.21	443.05	6.85	9.82
4:00 PM	4392.98	3041966.57	0.0467	142062.84	0.28152	4571260.52	2.28	408.97	5.56	7.78
5:00 PM	4498.38	3114953.57	0.0457	142433.72	0.28206	7737676.96	2.33	426.01	9.03	12.80
6:00 PM	4409.88	3053669.81	0.0457	139631.47	0.28206	7266431.43	2.30	450.75	8.02	11.56
7:00 PM	4269.23	2956272.64	0.0462	136435.34	0.28179	7162511.17	2.31	415.36	8.57	12.06
8:00 PM										
9:00 PM	3874.82	2683161.92	0.0456	122405.70	0.28212	6247037.02	2.26	444.53	6.99	10.03
10:00 PM	3790.75	2624969.96	0.0460	120729.11	0.28191	6953298.32	2.23	391.57	8.83	12.21
11:00 PM	3799.62	2631088.78	0.0458	120448.35	0.28203	5778305.12	2.11	359.53	7.99	10.80
12:00 AM	3638.60	2658083.35	0.0457	121392.75	0.28206	6687079.73	2.14	322.87	10.29	13.54
1:00 AM	3954.24	2745084.27	0.0459	125941.41	0.28191	7636941.15	2.07	352.17	10.78	14.49
2:00 AM	4135.73	2863834.39	0.0457	130779.13	0.28203	7004202.81	2.18	358.94	9.70	13.10
3:00 AM	4142.93	2868819.31	0.0455	130551.86	0.28212	6596485.41	2.25	465.77	7.05	10.26
4:00 AM	4114.06	2848827.29	0.0461	131468.05	0.28176	6500947.79	2.25	433.42	7.46	10.82
5:00 AM	4458.85	3087579.54	0.0459	141830.21	0.28191	6225408.51	2.21	426.95	7.25	10.28

Tabla #67 Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 30 de Marzo del 2000

hora	Velocidad de los gases de chimenea (ft./min)	Volumen de los gases ft <sup>3</sup> /h	Peso Especifico lb/ft <sup>3</sup>	Masa de gases lb/h	Cp de gases Btu/lb F	Calor de los gases 8tu/h	Calor para calentar fibra de bagazo (Btu/lb bagazo)	Calor para calentar Agua (Btu/lb bagazo)	Bagazo seco Ton/h	Bagazo Húmedo Ton/h
6:00 AM	4418.46	3059608.98	0.0443	135593.50	0.2828	8901031.22	2.19	415.71	8.26	11.61
7:00 AM	4432.48	3069318.89	0.0459	140796.49	0.2819	4821544.19	2.33	456.83	5.25	7.60
8:00 AM										
9:00 AM	4482.85	3104197.66	0.0460	142927.13	0.2819	761367.83	2.19	517.23	0.73	1.10
10:00 AM	4395.81	3043925.82	0.0466	141971.18	0.2815	3057205.19	2.11	511.21	2.98	4.47
11:00 AM	4337.54	3003578.25	0.0460	138123.17	0.2819	2837998.07	2.13	505.05	2.80	4.18
12:00 PM	4688.61	3246676.32	0.0448	145528.20	0.2825	3514429.65	2.14	517.37	3.38	5.09
1:00 PM	4514.66	3126223.36	0.0460	143763.15	0.2819	7184132.88	2.23	391.57	9.12	12.62
2:00 PM	4816.48	3335222.70	0.0440	146947.67	0.2830	5871922.60	2.30	419.73	6.96	9.81
3:00 PM	4725.97	3272546.66	0.0441	144377.76	0.2829	5880979.81	2.26	428.76	6.82	9.68
4:00 PM	4715.81	3265511.34	0.0459	149982.43	0.2819	2929467.48	2.33	425.01	3.42	4.84
5:00 PM	4814.06	3333550.13	0.0441	146921.24	0.2829	8172911.22	2.25	433.42	7.08	10.09
6:00 PM	4706.82	3259287.75	0.0445	144985.32	0.2827	6307529.40	2.30	435.07	7.21	10.28
7:00 PM	4585.87	3175533.35	0.0446	141530.56	0.2826	4787585.40	2.26	428.76	5.55	7.88
8:00 PM	4585.87	3175533.35	0.0446	141530.56	0.2826	4787585.40	2.33	441.26	5.40	7.73
9:00 PM	4473.78	3097902.53	0.0450	139497.30	0.2823	4147164.04	2.30	466.76	4.42	6.44
10:00 PM	4519.75	3129749.31	0.0441	138077.85	0.2829	5307993.21	2.23	376.68	7.00	9.58
11:00 PM	4566.72	3162274.28	0.0444	140301.88	0.2827	4890835.99	2.33	472.73	5.15	7.53
12:00 AM	4484.02	3105007.82	0.0448	139178.09	0.2825	5625382.77	2.26	413.32	6.77	9.50
1:00 AM	4466.05	3092562.85	0.0452	139738.16	0.2822	4827419.17	2.14	295.13	8.12	10.46
2:00 AM	4446.38	3078946.50	0.0450	138484.73	0.2824	5138074.73	2.18	344.40	7.41	9.91
3:00 AM	4476.87	3100059.53	0.0444	137541.57	0.2827	4864607.78	2.28	424.20	5.70	8.07
4:00 AM	4344.33	3008280.97	0.0446	134076.28	0.2826	4399023.90	2.26	428.76	5.10	7.24
5:00 AM	4322.06	2992858.18	0.0450	134767.20	0.2823	4554444.16	2.19	340.81	6.64	8.85

Tabla #68 Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 01 de Abril del 2000

Hora	Velocidad de los gases de chimenea (ft./min)	Volumen de los gases (ft <sup>3</sup> /h)	Peso Específico (lb/ft <sup>3</sup> )	Masa de gases (lb/h)	Cp de gases (Btu/lb F)	Calor de los gases (Btu/h)	Calor para calentar fibra de bagazo (Btu/lb bagazo)	Calor para calentar Agua (Btu/lb bagazo)	Bagazo seco (Ton/h)	Bagazo Húmedo (Ton/h)
6:00 AM	4382.86	3034957.76	0.04567	138593.61	0.28203	5910038.24	2.30	499.85	5.88	8.76
7:00 AM	4756.78	3293883.13	0.04514	148690.67	0.28233	4118222.04	2.31	528.44	3.88	5.88
8:00 AM	4620.84	3199752.37	0.04615	147663.58	0.28176	4006600.98	2.30	404.71	4.92	6.87
9:00 AM	4540.98	3144452.22	0.04545	142929.73	0.28215	6315305.99	2.30	435.07	7.22	10.29
10:00 AM	4585.11	3175009.75	0.04516	143368.95	0.28233	6593761.12	2.28	439.75	7.46	10.67
11:00 AM	4948.77	3426830.60	0.04514	154692.11	0.28233	7546906.00	2.37	447.31	8.39	12.06
12:00 PM	5034.58	3486250.34	0.04504	157013.87	0.28239	4948248.79	2.35	406.88	6.05	8.45
1:00 PM	4842.04	3352927.24	0.04664	156383.25	0.28149	5467324.03	2.30	419.73	6.46	9.14
2:00 PM	5026.92	3480255.07	0.04519	157284.35	0.28223	7073138.60	2.23	471.00	7.47	10.92
3:00 PM	5046.10	3494228.04	0.04483	156655.39	0.28251	7169587.74	2.25	449.42	7.94	11.43
4:00 PM	4976.36	3445935.98	0.04561	157178.68	0.28206	6822974.58	2.33	456.83	7.43	10.75
5:00 PM	4976.36	3445935.98	0.04561	157178.68	0.28206	6822974.58	2.33	456.83	7.43	10.75
6:00 PM	4900.30	3393266.91	0.04504	152826.08	0.28239	5593089.72	2.26	444.53	6.26	8.98
7:00 PM	4839.99	3351506.45	0.04514	151291.87	0.28233	6958148.75	2.19	448.03	7.73	11.11
8:00 PM	4480.94	3102877.94	0.05087	157843.44	0.27933	2222156.55	2.23	438.18	2.52	3.60
9:00 PM	4741.89	3283571.55	0.04382	143893.00	0.28305	5498403.36	2.19	389.81	7.39	10.06
10:00 PM	4631.07	3206838.29	0.04482	143742.51	0.28245	5115609.10	2.18	368.94	7.08	9.57
11:00 PM	4808.93	3329998.10	0.04417	147077.84	0.28284	6739118.35	2.25	433.42	7.73	11.01
12:00 AM	4660.09	3226992.60	0.04427	142847.42	0.28278	5162403.39	2.23	406.77	6.31	8.82
1:00 AM	4473.76	3097902.53	0.04503	139497.30	0.28233	5210539.43	2.13	312.11	8.29	10.82
2:00 AM										
3:00 AM	4652.20	3221464.77	0.04442	143089.87	0.28289	5679190.75	2.13	312.11	9.04	11.80
4:00 AM	4665.35	3230572.69	0.04417	142686.46	0.28284	5702506.14	2.16	348.06	8.14	10.91
5:00 AM	4660.09	3226992.60	0.04427	142847.42	0.28278	5489597.97	2.18	373.79	7.30	9.97

Tabla #69 Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 03 de Abril del 2000

hora	Velocidad de los gases de chimenea (ft /min)	Volumen de los gases ft <sup>3</sup> /h	Peso Especifico lb/ft <sup>3</sup>	Masa de gases lb/h	Cp de gases 8tu/ lb F	Calor de los gases Btu/h	Calor para calentar fibra de bagazo (Btu/lb bagazo)	Calor para calentar Agua (Btu/lb bagazo)	Calor para calentar Ton/h	Calor para calentar Ton/h	Calor para calentar Ton/h	Calor para calentar Ton/h
6:00 AM	5014.77	3472535.66	0.0454	157633.74	0.28212	4963034.13	2.23	438.18	5.63	438.18	5.63	8.05
7:00 AM	5171.28	3580912.19	0.0449	160908.62	0.28245	5317490.86	2.19	431.69	6.13	431.69	6.13	8.72
8:00 AM	4718.39	3267303.81	0.0459	149900.26	0.28191	5400621.30	2.23	391.57	6.86	391.57	6.86	9.48
9:00 AM	5072.96	3512826.29	0.0467	164027.24	0.28143	5151699.87	2.19	384.78	6.66	384.78	6.66	9.16
10:00 AM	5156.49	3570666.36	0.0452	161370.34	0.28223	6067905.59	2.16	458.33	6.59	458.33	6.59	9.54
11:00 AM	5051.70	3498105.34	0.0471	164717.64	0.28125	3960944.40	2.21	443.05	4.45	443.05	4.45	6.38
12:00 PM	5117.82	3543888.56	0.0459	162589.66	0.28191	5032754.53	2.26	444.53	5.63	444.53	5.63	8.08
1:00 PM	5141.86	3560537.36	0.0455	161829.28	0.28212	6122372.48	2.30	450.75	6.76	450.75	6.76	9.74
2:00 PM	5156.49	3570666.36	0.0452	161370.34	0.2823	7379885.17	2.23	391.57	9.37	391.57	9.37	12.96
3:00 PM	4849.52	3358102.57	0.0460	154426.40	0.28185	6110921.18	2.19	340.81	8.91	340.81	8.91	11.88
4:00 PM	4866.50	3369864.79	0.0457	153887.38	0.28203	5663812.09	2.25	455.77	6.05	455.77	6.05	8.81
5:00 PM	4821.08	3338406.79	0.0465	155337.47	0.28155	4211706.09	2.33	396.45	5.28	396.45	5.28	7.33
6:00 PM	4849.52	3358102.57	0.0460	154426.40	0.28185	6110921.18	2.09	304.55	9.96	304.55	9.96	12.93
7:00 PM	4894.68	3389377.78	0.0451	153001.44	0.28233	6842388.37	2.14	382.00	8.91	382.00	8.91	12.23
8:00 PM	4973.66	3444064.26	0.0461	158937.12	0.28176	6891968.78	2.18	373.79	9.17	373.79	9.17	12.52
9:00 PM	4855.19	3362027.89	0.0459	154246.10	0.28191	5987680.29	2.23	391.57	7.60	391.57	7.60	10.51
10:00 PM	4876.39	3376707.16	0.0460	155281.95	0.28185	5669049.79	2.19	355.16	8.21	355.16	8.21	11.06
11:00 PM	5034.85	3486439.50	0.0455	158658.04	0.28212	5881543.64	2.26	428.76	6.82	428.76	6.82	9.68
12:00 AM	5014.35	3472245.26	0.0454	157647.18	0.28218	6445859.12	2.23	362.11	8.85	362.11	8.85	11.98
1:00 AM	5022.79	3478085.81	0.0462	160695.76	0.28173	6763758.89	2.25	402.44	8.36	402.44	8.36	11.65
2:00 AM	5065.60	3507727.83	0.0459	160980.49	0.28191	6004040.06	2.26	383.41	7.78	383.41	7.78	10.70
3:00 AM	4982.41	3450122.42	0.0460	158658.04	0.28185	6278374.68	2.33	396.45	7.87	396.45	7.87	10.92
4:00 AM	5013.75	3471823.18	0.0449	156006.70	0.28245	6940094.36	2.37	432.16	7.99	432.16	7.99	11.36
5:00 AM	4908.84	3399178.49	0.0459	155950.82	0.28191	6093412.13	2.16	408.97	7.41	408.97	7.41	10.37

Tabla #70 Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 05 de Abril del 2000

Hora	Velocidad de los gases de chimenea (ft./min)	Volumen de los gases (ft <sup>3</sup> /h)	Peso Especifico (lb/ft <sup>3</sup> )	Masa de gases (lb/h)	Cp de gases (Btu/lb F)	Calor de los gases (Btu/h)	Calor para calentar fibra de bagazo (Btu/lb bagazo)	Calor para calentar Agua (Btu/lb bagazo)	Bagazo seco (Ton/h)	Bagazo Húmedo (Ton/h)
6:00 AM	4958.63	3433657.88	0.0455	156062.50	0.28212	5072096.32	2.28	455.65	5.54	8.01
7:00 AM	4861.21	3366198.38	0.0458	154054.75	0.28191	4025921.66	2.30	435.07	4.60	6.56
8:00 AM	4667.99	3232401.31	0.0458	147953.69	0.28197	5894824.35	2.23	406.77	7.21	10.07
9:00 AM	4697.72	3391478.03	0.0451	152906.57	0.28233	4682372.06	2.21	411.19	5.64	7.91
10:00 AM	4543.61	3146269.30	0.0454	142847.19	0.28218	5876996.69	2.33	456.83	6.40	9.26
11:00 AM	4701.49	3255596.68	0.0446	145129.59	0.28266	5242653.80	2.35	436.66	5.97	8.52
12:00 PM	5180.40	3587223.80	0.0448	160625.38	0.28251	6902035.82	2.31	430.49	7.97	11.33
1:00 PM	4649.06	3219294.97	0.0445	143186.54	0.28272	4590624.66	2.30	435.07	5.25	7.48
2:00 PM	4759.51	3295773.45	0.0451	148605.39	0.28236	5173694.83	2.28	471.89	5.46	7.97
3:00 PM										
4:00 PM										
5:00 PM	4601.49	3186350.78	0.0454	146666.97	0.28218	5951865.91	2.50	532.51	5.56	8.46
6:00 PM	4614.75	3195536.01	0.0451	144251.14	0.28233	6780949.66	2.45	602.09	5.61	8.91
7:00 PM	4596.17	3182669.27	0.0455	144834.31	0.28212	5957483.65	2.35	483.73	6.13	9.03
8:00 PM	4625.34	3202865.24	0.0449	143921.05	0.28245	7207333.52	2.42	463.78	7.73	11.24
9:00 PM	4588.18	3177138.99	0.0457	145086.42	0.28203	5708161.75	2.37	478.58	5.93	8.71
10:00 PM	4634.38	3209127.58	0.0459	147231.20	0.28191	4893551.24	2.29	507.78	4.80	7.18
11:00 PM	4742.37	3283907.00	0.0454	149142.41	0.28218	5719352.07	2.14	295.13	9.62	12.40
12:00 AM	4855.19	3362027.89	0.0459	154246.10	0.28191	6065950.62	2.23	391.57	7.70	10.65
1:00 AM	4901.98	3394432.78	0.0455	154471.07	0.28212	6196987.71	2.13	370.77	8.31	11.32
2:00 AM	5030.13	3483167.19	0.0446	155498.64	0.28263	6447256.87	2.18	358.94	8.93	12.06
3:00 AM	4891.87	3387431.54	0.0452	153089.35	0.2823	5634311.50	2.23	368.67	7.87	10.70
4:00 AM	4787.49	3315147.87	0.0456	151213.07	0.28206	6026608.71	2.19	384.78	7.79	10.72
5:00 AM	4852.35	3360065.80	0.0459	154336.17	0.28188	6029693.04	2.23	391.57	7.66	10.59

Tabla #71 Datos requeridos para calcular cantidades de bagazo húmedo y seco para el día 06 de Abril del 2000

Hora	Velocidad de los gases de chimenea (ft./min)	Volumen de los gases ft <sup>3</sup> /h	Peso Especifico lb/ft <sup>3</sup>	Masa de gases lb/h	Cp de gases Btu/lb F	Calor de los gases Btu/h	Calor para calentar fibra de bagazo (Btu/lb bagazo)	Calor para calentar Agua (Btu/lb bagazo)	Bagazo seco Ton/h	Bagazo Húmedo Ton/h
6:00 AM	5084.87	3521071.36	0.0465	163643.27	0.28158	3856784.91	3.43	1130.05	1.70	3.58
7:00 AM	5162.65	3574931.74	0.0451	161177.68	0.28233	5160300.25	3.43	1107.63	2.32	4.84
8:00 AM	5078.85	3516906.88	0.0466	163837.05	0.28152	4898305.70	3.43	1224.66	1.99	4.38
9:00 AM	4976.58	3446084.83	0.0461	158843.93	0.28179	6163538.92	3.43	1152.95	2.67	5.87
10:00 AM	5095.64	3528630.26	0.0454	160031.53	0.28224	6666693.24	3.43	1130.05	2.94	6.19
11:00 AM	5005.46	3466088.30	0.0456	157927.34	0.28212	6676238.27	3.43	1107.63	2.96	6.17
12:00 PM	5020.14	3476262.47	0.0453	157465.45	0.28224	7359768.84	3.43	1224.66	3.00	6.59
1:00 PM	5078.55	3516698.52	0.0452	158931.35	0.28223	6501129.88	3.43	1275.16	2.54	5.71
2:00 PM	5034.58	3486250.34	0.0450	157013.87	0.28239	6664173.77	3.43	1224.66	2.71	5.96
3:00 PM	4748.58	3288205.65	0.0453	148947.40	0.28224	6204943.90	3.43	1301.27	2.38	5.40
4:00 PM	4601.49	3186350.78	0.0454	144666.97	0.28218	6429484.78	3.43	1275.16	2.51	5.85
5:00 PM	4737.62	3280620.39	0.0455	149291.79	0.28212	6595710.15	3.43	1152.95	2.85	6.07
6:00 PM	4718.39	3267303.81	0.0459	149900.26	0.28191	5818979.29	3.43	1224.66	2.37	5.21
7:00 PM	4784.71	3313224.37	0.0457	151300.86	0.28203	6375104.29	3.43	1176.34	2.70	5.81
8:00 PM	4872.15	3373778.42	0.0456	153708.96	0.28209	5268211.03	3.43	1152.95	2.28	4.85
9:00 PM	4982.41	3450122.42	0.0460	156580.04	0.28185	4427059.07	3.43	1249.63	1.77	3.93
10:00 PM	5028.24	3481863.08	0.0456	158866.60	0.28206	5404075.67	3.43	1200.24	2.24	4.88
11:00 PM	4979.49	3448104.22	0.0460	158750.90	0.28182	6200850.29	3.43	1360.85	2.27	5.30
12:00 AM	5072.71	3512654.01	0.0453	159114.35	0.28224	6628484.78	3.43	1301.27	2.54	5.77
1:00 AM	5001.93	3463638.61	0.0461	159702.51	0.28179	6198853.75	3.43	1275.16	2.42	5.45
2:00 AM	5033.76	3485682.81	0.0465	161986.58	0.28158	4680156.33	3.43	1107.63	2.11	4.39
3:00 AM	5022.81	3478102.50	0.0452	157381.82	0.2823	6437745.67	3.43	1152.95	2.78	5.92
4:00 AM	4950.31	3427899.56	0.0461	158005.70	0.28179	6131013.42	3.43	1249.63	2.45	5.44
5:00 AM	5083.60	3520193.60	0.0451	158773.59	0.28236	6294315.88	3.43	1176.34	2.67	5.74

74

Tabla # 72 Promedio de la Cantidad de Agua extraída por el secador por día

Día	Promedio de Agua extraída con el secador (ton/h)
1 de Marzo del 2000	1.57
2 de Marzo del 2000	1.89
5 de Marzo del 2000	2.86
6 de Marzo del 2000	3.00
9 de Marzo del 2000	2.68
10 de Marzo del 2000	2.67
13 de Marzo del 2000	2.19
14 de Marzo del 2000	2.83
17 de Marzo del 2000	2.59
20 de Marzo del 2000	3.21
23 de Marzo del 2000	3.19
24 de Marzo del 2000	2.99
25 de Marzo del 2000	3.20
26 de Marzo del 2000	3.18
27 de Marzo del 2000	3.02
28 de Marzo del 2000	3.22
30 de Marzo del 2000	2.32
01 de Abril del 2000	2.80
03 de Abril del 2000	2.87
05 de Abril del 2000	2.79
06 de Abril del 2000	2.90

El agua promedio extraída con el secador fue 2.76 ton/h

**G. Análisis de Error**

Tabla #73 Incertidumbres de las variables utilizadas medidas:

Variable	Incertidumbre
Temperatura	± 0.5 °F
Presión	± 0.005 in H <sub>2</sub> O
Peso de bagazo	± 0.5

Los resultados calculados fueron la cantidad de bagazo seco y húmedo y por consiguiente el bagazo que se logró secar con el secador. Se obtuvieron varios resultados (en un solo día) a lo largo del mes de Marzo y Abril, por lo que se obtuvo un promedio de estos valores, y de los que se requirieron para obtenerlos.

Por consiguiente el análisis de error se centrará en un análisis estadístico, para ver la precisión y exactitud de los resultados. Para ello se calcularán las desviaciones estandar de cada coeficiente y los límites de confianza al 95%.

Las fórmulas a utilizar son:

**Desviación Estándar**

$$s = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

(Ecuacion #51 )

Donde

n = numero total de valores

$\bar{x}$  = promedio aritmético de los coeficientes

$x_i$  = valor del coeficiente calculado para cada flujo

(Harris:41)

**Límites de Confianza:**

$$\mu = \bar{x} \pm \frac{ts}{\sqrt{n}}$$

(Ecuacion #52 )

(Harris:41)

Donde:

$T_{\text{student}} = 2.776$  (es la que corresponde a un límite de confianza del 95%)

S = desviación estandar

n = número total de valores

$\bar{x}$  = promedio aritmético de los coeficientes

*Ejemplo para el cálculo de cantidad de bagazo seco del día 1 de marzo:*

Para el día 1 de Marzo se encontraron las siguientes toneladas de bagazo seco, con su respectivo promedio:

Tabla # 74 Toneladas de bagazo seco encontradas para el día 1 de marzo

Valor i	Coficiente i
X <sub>1</sub>	5.27
X <sub>2</sub>	3.65
X <sub>3</sub>	4.87
X <sub>4</sub>	3.35
X <sub>5</sub>	3.39
X <sub>6</sub>	3.25
X <sub>7</sub>	4.55
X <sub>8</sub>	3.19
X <sub>9</sub>	2.90
X <sub>10</sub>	2.86
X <sub>11</sub>	3.07
X <sub>12</sub>	2.96
Promedio	3.61

*Desviación Estandar:*

La desviación estándar se determinó mediante la ecuación #53 de la siguiente manera:

$$s = \sqrt{\frac{(5.27 - 3.61)^2 + (3.65 - 3.61)^2 + (4.87 - 3.61)^2 + (3.35 - 3.61)^2 + (3.39 - 3.61)^2 + (3.25 - 3.61)^2 + (4.55 - 3.61)^2 + (3.19 - 3.61)^2 + (2.90 - 3.61)^2 + (2.86 - 3.61)^2 + (3.07 - 3.61)^2 + (2.96 - 3.61)^2}{(12 - 1)}}$$

$$s = 0.82$$

*Límites de Confianza:*

$$\mu = \bar{x} \pm \frac{ts}{\sqrt{n}} = 3.61 \pm \frac{2.776 \times 0.82}{\sqrt{12}} = 3.61 \pm 0.66$$

De la misma manera se realizó para el resto de datos originales y datos calculados respectivos a cada día. A continuación se muestran tablas con los análisis de error.

Tabla #75 Análisis de Error de Datos originales y Datos calculados

Nota:

- T: Temperatura
- Chim: Chimenea
- Cicl.: Ciclo
- Estac.: Estática
- Dinam.: Dinámica
- E.: Entrada
- S.: Salida
- P.: Peso
- m: masa
- C.: calor
- B.: Bagazo

Corrida	T °F		P (in H <sub>2</sub> O)		Humedad		Vel. Gases chim. (ft/min)	Vol. gases (ft <sup>3</sup> /hora)	P. Espec/ lb/ft <sup>3</sup>	m gases Lb/h	Cp gases Btu/lb F	Calor gases Btu	C. calentar fibra (Btu/lb bagazo)	B. seco B. Ton/h	Agua extraída con el secador Ton/h
	Chim	Cicl	Esta.	Dinam.	E	S									
1 de Marzo del 2000															
Promedio	377.67	292.5	4.42	0.73	54.46	34.33	4312.49	2986230.57	0.047	140324.54	0.28	3234859.32	2.25	453.43	1.57
Desv. Estandar	6.97	25.98	0.19	0.07	1.42	1.35	230.56	159651.65	0.000	7644.68	0.00	613374.72	0.05	63.39	0.30
L.m. Confianza	5.59	20.82	0.16	0.06	1.14	1.09	184.76	127936.79	0.000	6126.15	0.00	491535.30	0.04	50.80	0.24
2 de Marzo del 2000															
Promedio	358.48	242.86	4.40	0.67	52.76	33.40	4060.93	2812034.32	0.048	135148.61	0.28	3894219.11	2.28	421.40	1.89
Desv. Estandar	15.78	38.20	0.67	0.14	2.14	1.45	428.97	297046.60	0.001	14742.63	0.00	1383662.53	0.05	63.97	0.67
L.m. Confianza	9.56	23.14	0.40	0.08	1.29	0.88	259.86	179942.77	0.001	8930.69	0.00	838185.21	0.03	38.75	0.41
5 de Marzo del 2000															
Promedio	366.29	202.35	4.5	0.74	54.41	33.74	4302.09	2979026.85	0.048	141955.21	0.28	5881410.97	2.27	465.29	2.86
Desv. Estandar	10.95	19.54	0	0.06	2.48	3.03	191.34	132495.66	0.001	6596.14	0.00	596364.33	0.10	58.19	0.29
L.m. Confianza	7.37	13.15	0	0.04	1.67	2.04	128.83	89206.53	0.000	4441.04	0.00	401519.52	0.07	39.18	0.20
6 de Marzo del 2000															
Promedio	368.83	195.74	4.66	0.73	54.37	33.20	4284.49	2966640.24	0.048	140965.00	0.28	6166647.02	2.29	478.27	3.00
Desv. Estandar	8.72	10.45	0.29	0.08	2.10	2.10	259.10	179414.37	0.00	8302.26	0.00	491177.39	0.07	79.31	0.24
L.m. Confianza	5.05	6.05	0.17	0.05	1.21	1.22	149.97	103851.50	0.00	4805.65	0.00	284311.16	0.04	45.91	0.14
9 de Marzo del 2000															
Promedio	366.68	182.16	4.24	0.52	54.46	33.04	3562.92	2481029.49	0.0476	118050.82	0.28	5505112.49	2.30	481.51	2.68
Desv. Estandar	9.14	13.99	0.27	0.12	1.29	2.22	423.93	293557.04	0.0005	13744.23	0.00	763553.98	0.08	50.96	0.37
L.m. Confianza	5.67	7.77	0.15	0.06	0.72	1.23	235.37	162982.87	0.0003	7630.80	0.00	423925.17	0.04	28.29	0.21

Continuación de Tabla # 75

Corrida	T °F	P (in H <sub>2</sub> O)		Humedad		Vel. Gases chim. (ft/min)	Vol. gases (ft <sup>3</sup> /hora)	P. Espec/ (lb/ft <sup>3</sup> )	m gases (Lb/h)	Cp gases (Btu/lb F)	Calor gases (Btu)	C. calentar fibra (Btu/lb bagazo)	C. calentar agua (B. seco/B. ton/h)	Húmedd (ton/h)	Agua extraída con el secador (ton/h)	
		Está.	Dínam.	E	S											
10 de Marzo del 2000																
Promedio	365.32	176.64	4.30	0.50	54.60	33.77	3504.99	2427068.98	0.0477	115771.50	0.28	5496057.88	2.28	473.67	5.88	2.67
Desv. Estandar	11.25	10.66	0.33	0.12	1.50	2.94	435.44	301524.48	0.0007	14706.10	0.00	640328.01	0.08	65.07	1.07	0.31
Lím. Confianza	6.25	5.92	0.18	0.06	0.83	1.30	241.76	167406.39	0.0004	8164.83	0.00	355510.11	0.05	36.13	0.59	0.17
13 de Marzo del 2000																
Promedio	366.78	186.17	4.18	0.18	54.00	34.67	2965.85	2053736.84	0.048	97910.41	0.28	4508772.91	2.24	429.73	5.23	2.19
Desv. Estandar	10.77	18.97	0.34	0.07	1.11	2.58	819.61	567547.57	0.0006	27636.01	0.0003	1422803.07	0.09	50.55	1.54	0.69
L.C.	6.23	10.98	0.19	0.04	0.64	1.49	474.42	328516.97	0.0004	15996.72	0.0002	823569.66	0.05	29.26	0.89	0.40
14 de Marzo del 2000																
Promedio	361.32	172.89	4.28	0.61	54.55	33.82	3662.75	2536310.07	0.0479	121347.27	0.2808	5817629.70	2.28	471.61	6.17	2.83
Desv. Estandar	10.12	9.74	0.34	0.16	1.75	2.11	674.62	467145.19	0.0006	21434.93	0.0003	1328881.94	0.07	43.59	1.44	0.65
L.C.	6.44	6.20	0.22	0.10	1.12	1.34	429.63	297505.19	0.0004	13651.01	0.0002	846309.20	0.05	27.76	0.92	0.41
17 de Marzo del 2000																
Promedio	365.63	217.21	4.57	0.73	55.42	35.08	4256.05	2947146.08	0.04769	140582.18	0.2810	5329444.49	2.226	468.24	5.87	2.59
Desv. Estandar	7.36	33.79	0.25	0.15	1.60	1.54	431.67	298914.87	0.00043	14533.18	0.0002	1539713.69	0.053	65.83	2.16	0.75
Lím. Confianza	4.17	19.15	0.14	0.09	0.91	0.87	244.61	169379.70	0.00024	8235.20	0.0001	872476.65	0.030	37.30	1.23	0.42
20 de Marzo del 2000																
Promedio	403.57	218.57	5.67	0.77	53.86	35.17	4488.08	3107821.37	0.0457	142042.66	0.2821	6605010.68	2.22	415.95	8.21	3.21
Desv. Estandar	9.89	38.87	0.53	0.11	1.44	2.45	340.58	235840.78	0.0005	10042.74	0.0003	1103694.76	0.08	79.00	2.26	0.54
L.C.	5.99	23.54	0.32	0.07	0.87	1.48	206.32	142865.94	0.0003	6083.62	0.0002	668588.33	0.05	47.85	1.37	0.33
23 de Marzo del 2000																
Promedio	399.08	221.17	5.09	0.80	54.27	34.29	4565.59	3161494.75	0.0459	145064.13	0.2820	6561289.57	2.25	448.34	7.39	3.19
Desv. Estandar	7.95	24.03	0.28	0.09	1.51	1.89	265.34	183735.41	0.0004	7929.01	0.0002	1148701.96	0.06	66.31	1.50	0.56
L.C.	4.50	13.62	0.16	0.05	0.86	1.07	150.35	104113.42	0.0002	4492.97	0.0001	650910.39	0.04	37.57	0.85	0.32
24 de Marzo del 2000																
Promedio	398.14	216.24	5.50	0.66	53.64	34.50	4133.42	2862229.69	0.0460	131676.09	0.2819	6138297.80	2.25	423.95	7.39	2.99
Desv. Estandar	6.37	40.45	0.72	0.11	1.42	2.06	322.73	223480.87	0.0004	10887.90	0.0002	1578423.58	0.07	59.71	2.25	0.77
Lím. Confianza	3.86	24.50	0.44	0.06	0.86	1.25	195.50	135378.65	0.0002	6595.60	0.0001	956166.17	0.04	35.57	1.37	0.47

Continuación....

Número	T °F		P (in H <sub>2</sub> O)		Humedad		Vel. Gases chim. (ft./min)	Vol. gases ft <sup>3</sup> /hora	P. Espec/ lb/ft <sup>3</sup>	m gases Lb/h	Op gases Btu/lb F	Calor gases Btu	C. calentar agua (Btu/lb bagazo)	C. calentar fibra (Btu/lb bagazo)	B. seco ton/h	B. húmedo ton/h	Agua extraída con el secador ton/h
	Chim	Cicl	Está.	Dinam.	E	S											
25 de Marzo del 2000																	
Promedio	397.58	203.63	5.63	0.68	53.92	36.56	4198.11	2907025.45	0.0460	133876.44	0.2819	6575482.87	2.18	386.59	8.63	11.83	3.20
Desv. Estandar	8.80	34.49	0.62	0.10	1.53	1.36	309.28	214162.28	0.0005	10580.89	0.0003	1221034.79	0.05	57.08	2.01	2.47	0.59
LC	4.96	19.54	0.35	0.06	0.87	0.77	175.25	121354.76	0.0003	5995.65	0.0001	691997.69	0.03	32.34	1.14	1.40	0.34
26 de Marzo del 2000																	
Promedio	392.77	199.14	5.20	0.67	53.55	35.77	4164.80	2883958.39	0.0463	133332.74	0.2818	6535079.20	2.20	391.98	8.41	11.58	3.18
Desv. Estandar	13.42	24.36	0.33	0.09	1.65	2.48	284.89	197272.30	0.0008	8325.30	0.0004	1035110.11	0.08	53.83	1.64	2.02	0.50
LC	7.94	14.42	0.20	0.05	0.98	1.47	188.61	116754.66	0.0005	4927.29	0.0002	612624.94	0.05	31.86	0.97	1.20	0.30
27 de Marzo del 2000																	
Promedio	391.95	215.05	4.64	0.72	53.98	36.16	4326.14	2995686.66	0.0462	138475.55	0.2818	6205066.36	2.19	396.76	7.96	10.98	3.02
Desv. Estandar	10.66	25.74	0.54	0.07	1.24	1.73	203.36	140817.11	0.0006	6361.35	0.0003	1076444.31	0.08	52.05	1.99	2.44	0.52
LC	6.31	15.23	0.32	0.04	0.73	1.02	120.36	83341.93	0.0004	3764.93	0.0002	637068.39	0.04	30.81	1.18	1.45	0.31
28 de Marzo del 2000																	
Promedio	395.82	203.64	4.66	0.70	53.57	35.68	4274.33	2959809.91	0.0460	136244.95	0.2819	6612355.99	2.21	394.33	8.46	11.67	3.22
Desv. Estandar	7.80	22.03	0.42	0.09	1.11	1.97	272.25	188523.54	0.0004	9259.27	0.0002	694073.98	0.07	48.21	1.40	1.65	0.34
LC	4.62	13.04	0.25	0.05	0.65	1.17	161.13	111576.75	0.0003	5480.06	0.0001	410784.35	0.04	27.35	0.83	0.97	0.20
30 de Marzo del 2000																	
Promedio	413.43	280.52	3.33	0.77	53.93	34.65	4535.70	3140796.02	0.0450	141153.11	0.2824	4763941.57	2.24	430.03	5.71	8.03	2.32
Desv. Estandar	14.22	34.31	0.49	0.05	2.21	2.03	147.00	101792.65	0.0008	4093.85	0.0004	1455510.81	0.07	56.39	2.04	2.71	0.71
LC	8.23	19.86	0.28	0.03	1.28	1.18	85.09	58921.25	0.0004	2369.67	0.0002	842502.08	0.04	32.64	1.18	1.57	0.41
01 de Abril del 2000																	
Promedio	408.04	256.04	3.61	0.85	53.46	34.37	4750.06	3289229.69	0.045	148925.00	0.2822	5746341.14	2.25	420.07	6.88	9.68	2.80
Desv. Estandar	24.36	24.47	0.50	0.07	1.21	2.04	196.29	135920.81	0.001	6698.28	0.0007	1222226.01	0.07	54.35	1.50	2.00	0.59
LC	14.10	14.16	0.29	0.04	0.70	1.18	113.62	78675.86	0.001	3877.20	0.0004	707468.43	0.04	31.46	0.87	1.16	0.34
03 de Abril del 2000																	
Promedio	395.71	251.54	3.92	0.95	53.35	35.02	4984.82	3451654.93	0.0458	158020.34	0.2820	5895509.96	2.23	492.45	7.38	10.25	2.87
Desv. Estandar	10.04	17.94	0.24	0.04	1.40	1.84	123.78	85710.05	0.0005	3823.80	0.0003	834037.90	0.06	39.88	1.44	1.80	0.41
LC	5.69	10.16	0.14	0.03	0.79	1.05	70.14	48567.48	0.0003	2166.75	0.0002	472606.43	0.04	22.49	0.82	1.02	0.23

Continuación...

Corrida	T °F	P (in H <sub>2</sub> O)		Humedad		Vel. Gases chim. (ft./min)	Vol. gases (ft <sup>3</sup> /hora)	P. Espec/ lb/ft <sup>3</sup>	m gases Lb/h	Cp gases Btu/lb F	Calor gases Btu	C. calentar agua (Btu/lb bagazo)	C. calentar fibra (Btu/lb bagazo)	Húmedo con el secador ton/h	Agua extraída con el secador ton/h
		Esta.	Dinam.	E	S										
05 de Abril del 2000															
Promedio	407.36	256.27	3.90	0.86	33.36	4770.06	3303080.17	0.0453	149698.16	0.28	5739122.57	2.29	434.98	6.71	2.79
Desv. Estandar	8.49	21.49	0.27	0.06	2.81	162.35	115086.86	0.0004	5144.22	0.0003	782689.20	0.10	66.06	1.41	0.38
LC	5.02	12.71	0.16	0.04	1.66	96.09	68101.77	0.0003	3044.58	0.0002	463230.84	0.06	39.10	0.83	0.23
06 de Abril del 2000															
Promedio	401.21	251.36	4.06	0.94	34.71	4964.81	3437939.87	0.0457	156997.49	0.28	5955830.09	3.43	1205.60	2.47	2.90
Desv. Estandar	8.65	18.66	0.21	0.05	2.29	144.23	99873.90	0.0005	4873.05	0.0003	845472.44	0.00	70.80	0.35	0.41
LC	5.02	10.57	0.12	0.03	1.29	81.73	56593.41	0.0003	2761.31	0.0002	479085.80	0.00	40.12	0.20	0.23

Tabla #76 Análisis de Error del promedio total de los promedios de los datos originales y calculados

Corrida	T °F	P (in H <sub>2</sub> O)		Humedad		Vel. Gases chim. (ft./min)	Vol. gases (ft <sup>3</sup> /hora)	P. Espec/ lb/ft <sup>3</sup>	m gases Lb/h	Cp gases Btu/lb F	Calor gases Btu	C. calentar agua (Btu/lb bagazo)	C. calentar fibra (Btu/lb bagazo)	Húmedo con el secador ton/h	Agua extraída con el secador ton/h
		Esta.	Dinam.	E	S										
05 de Abril del 2000															
Promedio	385.94	221.03	4.51	0.70	34.54	4242.30	2937626.30	0.05	136550.58	0.28	5674641.98	2.30	471.12	6.47	2.76
Desv. Estandar	18.34	33.62	0.63	0.17	0.98	493.72	341884.90	0.00	14059.30	0.00	908639.40	0.26	171.05	1.59	0.44
m. Contianza	8.61	15.78	0.29	0.08	0.46	231.67	160422.53	0.00	6597.04	0.00	426360.54	0.12	80.26	0.75	0.21