

EVALUACIÓN DE UN SECADOR DE BAGAZO ANTE CAMBIOS EN EL FLUJO Y DISTRIBUCIÓN DE GASES CALIENTES

Mario Roberto Muñoz Solares
Especialista en Eficiencia Energética, CENGICAÑA

RESUMEN

Un secador de banda está usándose para secar bagazo en un ingenio azucarero, las mediciones efectuadas en el bagazo a la entrada y salida sugieren que no se ha operado de manera estable y eficiente, además no se han determinado las mejores condiciones de operación para mantener máxima la capacidad de secado. En el estudio realizado se determinó que la distribución y flujo de los gases calientes pueden aumentarse, esto equivale a aumentar el tiempo de residencia del bagazo dentro del secador. La implementación de un distribuidor y el aumento de velocidad del ventilador a 1400 rpm dio como resultado el aumento de secado de un 2.93 por ciento a 7.13 por ciento, es decir que la humedad del bagazo bajó en promedio de 48.12 por ciento a 41.22 por ciento.

Palabras claves: bagazo, secador, calderas, eficiencia, ingenios, energía, biomasa, gases, combustión.

ABSTRACT

A belt dryer is being used to dry bagasse in a sugar mill, measurements made in the bagasse to the input and output suggest that has not been operated stably and efficiently, also have not determined the best operating conditions to maintain maximum drying capacity. In the study it was determined that the distribution and flow of hot gases can be increased, this amounts to increase the residence time within the dryer bagasse. Implementing a distributor and increased fan speed at 1400 rpm's resulted in increased drying of 2.93% to 7.13%, the bagasse moisture decreased on average from 48.12% to 41.22%.

OBJETIVOS

- Evaluar la operación actual de un secador de bagazo y determinar posibles oportunidades de mejora.
- Proponer modificaciones al diseño, la operación y evaluar la mejora alcanzada con las mismas.
- Bajo las nuevas condiciones, determinar las condiciones ideales de operación.

MARCO TEÓRICO

Secador de banda

En un secador de banda, ver la Figura 1, se logran mayores reducciones de humedad que en los secadores rotativos, sin embargo, el volumen de bagazo que puede ser admitido es menor, esto se debe a que el bagazo debe estar sobre la banda, en forma de una delgada capa y a una velocidad relativamente más lenta que en el rotativo. En este secador el bagazo ingresa en un extremo del secador en forma de un colchón de poca altura, es transportado por una banda perforada y sale por el otro extremo de dicha banda. Los gases de combustión impulsados por un ventilador forzado entran perpendicularmente a la banda perforada y la traspasan. De esta manera los gases arrastran la humedad presente en el bagazo.

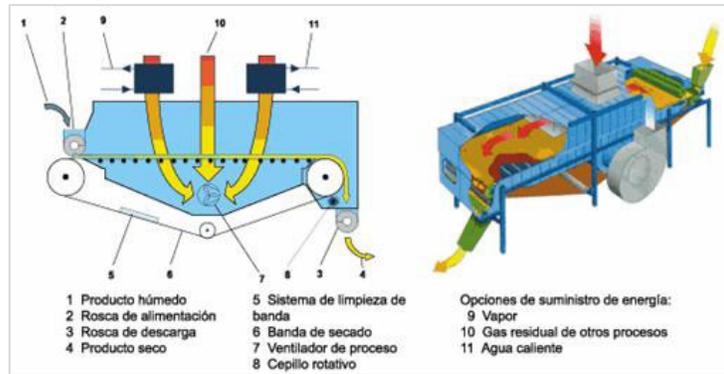


Figura 1. Secador de banda. Fuente: www.otersu.es

En este secador se recomienda contar con dos pasos para los gases, es decir, que el gas luego de pasar por la parte superior final de la banda es forzado a entrar nuevamente en la parte superior de la parte inicial de la banda. Para mejorar la eficiencia de estos secadores se puede hacer pasar nuevamente el bagazo por la banda hasta lograr la humedad deseada, también se puede ralentizar la velocidad de la banda de manera que se aumente el tiempo de residencia del bagazo dentro del secador. En este tipo de secador se consiguen similares disminuciones de la humedad que los rotativos, sin embargo su tamaño suele ser bastante más voluminoso. Los gases que salen de este tipo de secadores pueden lanzarse a la atmósfera o ir nuevamente al ducto de la chimenea de la caldera de donde salieron. Se recomienda el montaje de un ciclón colector de polvillo, generalmente en la salida de gases de este tipo de secadores.

Para mejorar la operación de un secador de bagazo se deben observar los siguientes aspectos:

Bajar la humedad en el bagazo: Mientras más baja sea la humedad del bagazo entrando al secador menos trabajo tendrá que realizar el secador para llevar a una humedad específica de diseño a la salida.

Flujo de bagazo: El secador está diseñado para una capacidad máxima de secado, si el flujo de bagazo aumenta a una mayor cantidad de la de diseño, la humedad a la salida será más alta que la esperada.

Temperatura inicial del bagazo: Si el bagazo y el agua contenida en el mismo, están a una alta temperatura al salir de molinos, se necesitará menos tiempo en el secador para transferir calor y elevar la temperatura del mismo.

Velocidad de fluido secante: La velocidad del gas caliente, debe monitorearse, una velocidad mayor transfiere mejor la energía pero se aumenta el riesgo de arrastre de partículas hacia la caldera.

Temperatura de fluido secante: Para mejorar la transferencia de calor, la diferencia de temperaturas entre el bagazo y los gases calientes debe ser la mayor posible.

Humedad de fluido secante: Los gases calientes deben tener un bajo contenido de agua (humedad) ya que al saturarse no podrán extraer más humedad del bagazo, mientras más secos los gases mayor eficiencia.

Flujo de fluido secante: El flujo de gases calientes atravesando la cama de bagazo es fundamental, a mayor flujo mejor transferencia de calor en todo el secador.

Tiempo de residencia: El tiempo de residencia es el tiempo en el que el bagazo está en contacto con los gases calientes en el secador, a mayor tiempo de residencia más transferencia de calor y por lo tanto menor humedad de bagazo a la salida.

Tipo de secador: El tipo de diseño y las dimensiones del secador determinan la capacidad de secador.

ANTECEDENTES

A lo largo de la zafra 2014/15, el ingenio tomó muestras de bagazo a la entrada y salida del secador, (134 muestras, 1 al

día). Se midió la humedad de las muestras, la diferencia entre entrada y salida indica la humedad que fue removida del bagazo (Ver Cuadro 1).

- La humedad extraída por el secador queda determinada por $Wf2 - Wo$, la humedad promedio que se extrajo en el secador fue de 4.44 por ciento y una desviación estándar de 1.66.
- Con valor máximo de secado de 8.78 por ciento, un mínimo de 0.38 por ciento y con un coeficiente de variación de 36.3 por ciento puede afirmarse que la operación del secador no está bajo control, es decir que la operación ha sido muy variable.
- Con un coeficiente de variación de 3.2 por ciento en las mediciones de humedad, se puede decir que hay confiabilidad en la medición de la misma, sin embargo, la humedad de salida solo es representativa de una porción lateral del secador ya que se comprobó que el muestreo se hace en un solo punto.

Cuadro 1. Mediciones realizadas en el secador en la zafra 2014/15

Muestras	Wo	Wf2	Wf2-Wo
Promedio	51.02	46.58	-4.44
Máximo	52.63	50.91	-0.38
Mínimo	49.47	42.06	-8.78
Rango	3.16	8.85	
Desviación	0.57	1.51	1.61
C.V.	1.1	3.2	-36.3

MÉTODO Y MATERIALES

En la zafra 2015/16 se le dio seguimiento a la operación del secador a lo largo de siete semanas, se tomaron muestras de bagazo a la entrada y salida del mismo (tres medidas a lo ancho del conductor). Al sacar la diferencia de las mediciones promedio se obtuvo la disminución de humedad por corrida. Simultáneamente se tomaron muestras de cenizas en la caldera para estimar posibles arrastres de bagazo hacia el inducido de la misma. A lo largo de este periodo se corrigieron algunos problemas mecánicos del secador y se varió el flujo de gases calientes hasta un punto en el que la operación física del secador lo permitiera (evitando fugas de bagazo al exterior).

En la Figura 2, se observa la disposición actual del secador de bagazo analizado, del ducto de los gases que van hacia la chimenea se extrae el gas (gases de combustión), utilizando para esto un ventilador forzado que posteriormente inyecta dicho gas en el secador, luego de hacer contacto directo con el bagazo, los gases son impulsados e inducidos hacia el ducto de la caldera, aguas abajo de donde fue extraído.

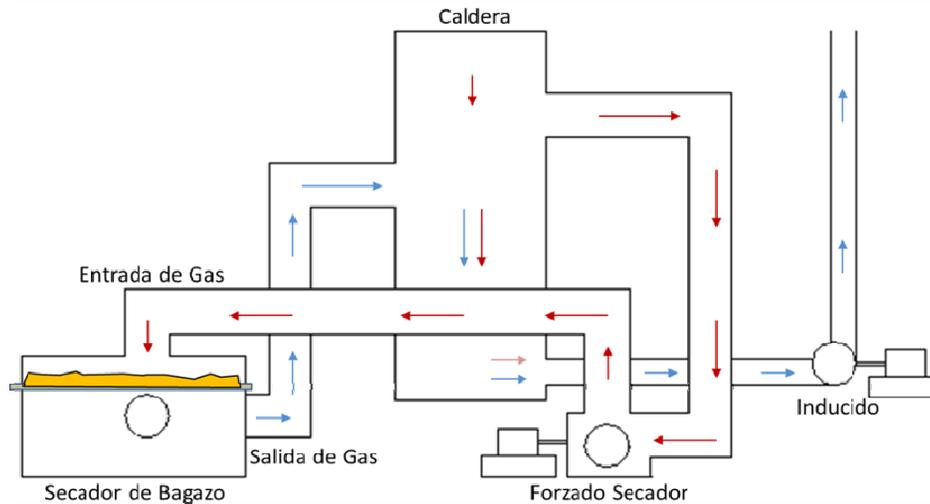


Figura 2. Disposición de secador de bagazo tipo banda acoplado a la caldera

RESULTADOS OBTENIDOS

Durante la zafra 2015/16 se observaron los siguientes problemas operativos y desventajas técnicas del secador:

- En el secador se presenta un bajo tiempo de residencia. Esto se debe a que el flujo de gases es forzado y succionado solamente al centro de la estructura por lo que el tiempo de residencia del bagazo es bajo respecto a la longitud total aprovechable en el secador. El tiempo total estimado disponible es de 22.61 segundos, basado en una longitud efectiva de 4.67 metros y una velocidad de la banda perforada de 0.20 m/s.
- El máximo flujo de gases está condicionado por el

arrastre y la turbulencia de bagazo. La existencia de un pateador aumenta el material particulado en turbulencia, el flujo de gases está restringido por un mal sellado del secador, cuando el flujo se aumenta se presentan pérdidas de bagazo por dichos sellos.

- El secador no cuenta con un ciclón a la salida del gas que atrape las partículas de bagazo arrastradas, la implementación del mismo permitiría aumentar el flujo de gases en el secador.
- El flujo de gases dentro del secador no es uniforme en toda la longitud de la cama de bagazo, en los laterales no fluye correctamente el gas debido a que la entrada del gas está concentrada en el centro del equipo.

Debido al tipo de operación de molinos, al estado físico del secador y a la manera de operación del mismo solo se puede aumentar el flujo de gas y el tiempo de residencia del bagazo. Para lograr lo anterior, se implementaron los siguientes cambios:

Se colocó un distribuidor del flujo de gases que permite que los mismos penetren a todo lo largo de la cama de bagazo. Figura 3. Con esta implementación el gas no solo fluye hacia abajo si no que se le dan otras dos vías hacia el inicio y final del secador, abarcando así toda la cama de bagazo y aprovechando el tiempo total de residencia de 22.6 segundos.

Se aumentó el flujo de gases hacia el calentador aumentando la velocidad del ventilador forzado de 884 a 1420 rpm, se observó que una velocidad mayor a 1420 rpm el bagazo se salía por los sellos del secador, por lo anterior 1420 rpm es el límite operativo.

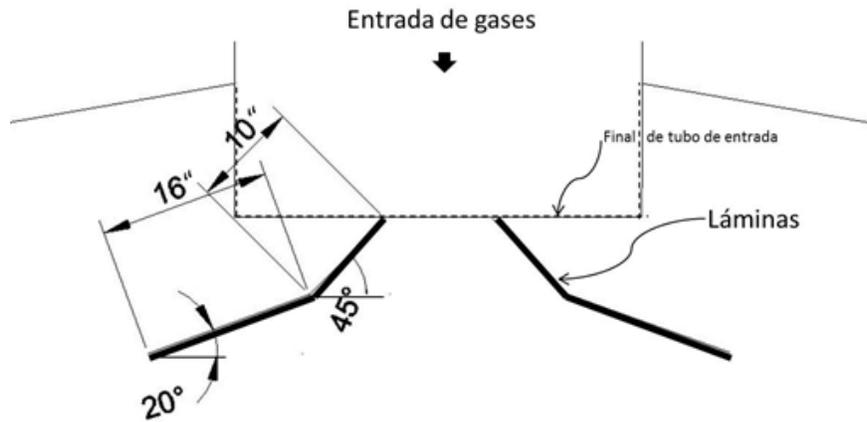


Figura 3. Distribuidor del flujo de gases

Ventajas de las implementaciones propuestas:

- Mayor tiempo de residencia porque en toda la longitud del secador se presenta la transferencia máxima de calor.
- Mayor flujo de gases por menor arrastre, menor turbulencia, ya que se recomienda prescindir del pateador.
- Distribución uniforme del flujo de gas a través de la cama

En el Cuadro 2, aparecen las mediciones efectuadas antes de la implementación del distribuidor y del aumento de velocidad del ventilador, y también se observa el resultado obtenido después de los cambios. Durante las siete semanas se hicieron mediciones, ajustes, pruebas, reparaciones y mejoras físicas en el secador. Se observa que al final se logró aumentar la velocidad del forzado de gases de 884 rpm a 1420 rpm, la velocidad de la banda y del

alimentador quedaron fijos y seteados para 10 toneladas/hora de bagazo. La reducción de humedad aumentó de 2.93 por ciento a 7.13 por ciento, es decir que la humedad extraída mejoró en un 4.2 por ciento, alcanzando humedades pico del bagazo de salida de hasta 41.22 por ciento.

Cuadro 2. Resultados zafra 15-16

Parámetros de operación	UDM	Antes	Después
Velocidad del pateador	rpm's	48	48
Velocidad de banda	rpm's	2.0	2.6
Velocidad de alimentador de bagazo	rpm's	10	10
Velocidad del ventilador	rpm's	884	1420
Temperatura de gas a la entrada	°F	400	400
Temperatura de gas a la salida	°F	220	121
Temperatura de caja superior centro	°F	268	314
Temperatura de caja superior lateral	°F	132	296
Humedad promedio inicial	%	51.05	48.35
Humedad promedio final izquierda	%	47.44	42.29
Humedad promedio final centro	%	48.75	41.41
Humedad promedio final derecha	%	48.17	39.97
Humedad promedio final total	%	48.12	41.22
Reducción de humedad	%	2.93	7.13
% bagazo en residuos de cenicero trasero	%	24.42	25.18
Damper de gases	%	50	50
Compuerta alimentador de bagazo	%	100	100

CONCLUSIONES

- El tiempo de residencia del bagazo aumentó al mejorar la distribución de los gases dentro del secador.
- Según los datos medidos y observados, el secador puede operar eficientemente y alcanzar a la salida una humedad del

bagazo cercana a 41 por ciento. Siempre y cuando opere con una velocidad de 10 rpm en el alimentador de bagazo (10 t/h), 2.5 rpm en la banda perforada, velocidad del forzado de 1400 rpm, 400 °F de temperatura de gases y con sellos en excelentes condiciones.

- El Cuadro 2 indica que al aumentar la velocidad del forzado de 884 rpm a 1420 rpm, la cantidad de partículas arrastradas hacia la caldera no aumentó significativamente, el porcentaje de bagazo sin quemar en las cenizas del inducido de la caldera aumentó de 24.42 por ciento a 25.18 por ciento, dado que cuando el secador está parado se observó que el menor porcentaje de bagazo sin quemar cenizas fue de 21.97 por ciento, se puede decir que la mayoría de bagazo no quemado en las cenizas de los gases a la altura de los inducidos se debe a mala combustión en el horno de la caldera y no necesariamente por arrastres de bagazo seco provenientes del secador.

RECOMENDACIONES

- Operar el secador bajo los siguientes parámetros: Velocidad de 10 rpm en el alimentador de bagazo (10 t/h), 2.5 rpm en la banda perforada, velocidad del forzado de 1400 rpm, 400

°F de temperatura de gases.

- El secador aún sigue necesitando mejorar la distribución de gases sobre y a través de la cama de bagazo, por lo anterior se recomienda la implementación de tres entradas de gas, tres salidas del mismo y la colocación de una lámina perforada sobre la cama de bagazo de manera que el flujo de gases calientes sea forzado a abarcar toda la longitud del secador, esto aumentará el tiempo de residencia del bagazo y la transferencia de calor será mucho más efectiva. La Figura 4, muestra un esquema del diseño recomendado.

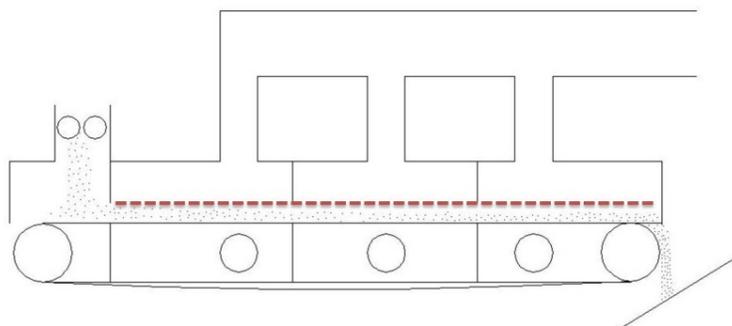


Figura 4. Diseño de secador recomendado

- Dar un mantenimiento periódico a los sellos del secador, la banda perforada y al alimentador de bagazo, garantizará una operación estable y eficiente a lo largo de la zafra.
- Mantener los parámetros del secador constantes para un flujo de 10 toneladas/hora. Respetar el diseño del secador y no variar la operación del mismo según las necesidades del proceso de calderas ya que esto afecta la eficiencia.
- Implementar un sistema de interlocks eléctricos de manera que el ventilador forzado se dispare si se presenta lo siguiente: Disparo de la banda perforada, disparo del alimentador de bagazo o disparo del inducido de la caldera. Esta medida reducirá la posibilidad de incendios en el secador.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bombino, E, G. Roca, J. Marín, L. Barbosa, y L. Brito. 2012. Movimiento de vórtice aplicado a partículas de bagazo de la caña de azúcar. Brasil. 11 pp.
2. Bombino Eugenio, Guillermo Roca y Jorge Marín. 2013. Modelación del secado neumático vortiginoso del bagazo de la

- caña de azúcar. Ingeniería Mecánica. Brasil. Vol. 16. No. 3. 194-201 p.
3. Bunyawanchakul P., M.P. Kirkpatrick, J.E. Sargison, and G.J. Walker. 2006. A three dimensional simulation of a cyclone dryer. Heat and mass transfer. Australia. 6 pp.
 4. Chen C.H. and H.C. Tso. 2007. Bagasse drying system force 65 boiler. Taiwan. 7 pp.
 5. Correa J.L. 2004. The cyclonic dryer. Brazilian Journal of Chemical Engineering. Brasil. Vol. 21. No. 1. 10 pp.
 6. Correia Luis. 2007. Individual bagasse drying system. Brasil. 12 pp.
 7. Correia Luis. 2007. Seven years of experience with bagasse dryers. Brasil. 8 pp.
 8. De Dios Carlos A. Secado de granos y secadoras. 1996. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, oficina regional para américa latina y el caribe. Chile. 332 pp.
 9. Ghosh S.K. 1977. Bagasse drying, a comparison with other methods of waste heat utilization. In Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists. India. 2363-2372 p.
 10. Gómez Jefferson. 2004. Cyclone as a sugar cane bagasse dryer. Brasil. 5 pp.
 11. Keenlside B. A 1983. Comparison of air pre-heaters and bagasse drying systems for energy efficiency. In Congress of the international society of sugar cane technologists, USA. 1508-1517 p.
 12. Paz Dora y Gerónimo Cárdenas. 1999. Secadero de bagazo o economizador: análisis comparativo de su influencia en el rendimiento energético neto de una caldera bagacera. Revista industrial y agrícola de Tucumán. Argentina. 11 pp.
 13. Quintana P., P. Aguilar, G. Martínez y A. Castro. 2006. Escalamiento del proceso de secado de bagazo de caña. Revista Mexicana de Ingeniería Química. Volumen 5. Suplemento 1. México. 57-66 p.
 14. Rodríguez H. Miguel A. 2004. Secado de bagazo. Universidad autónoma metropolitana. México. 45 pp.
 15. Roos Carolyn J. 2008. CHP Northwest, and Application Center. Biomass drying and dewatering for clean heat & power. Northwest CHP Application Center. USA. 35 pp.
 16. Sánchez Z., P. Gauthier and H. Escalante. 2013. Effect of particle size and humidity on sugarcane bagasse combustion in a fixed bed furnace. CEIAM. Colombia. 13 p.
 17. Sosa Juan. 2004. Sugar cane bagasse drying a review. Brasil. 8 pp.
 18. Sosa Juan. 2009. Drying technology. Brasil. 9 pp.
 19. Sosa Juan, Correa, L.G. Jefferson, María Silva, Silvia Nebra. 2006. Sugar cane bagasse drying a review. International sugar journal. Brasil. 5 pp.
 20. Wade Amos. 1998. Report on biomass drying technology. NREL. USA. 35 pp.
 21. Worley Matt. 2011. Biomass drying technology update. Biopro Expo Marketplace Atlanta, USA. 36 pp.

Criterios de Autoría de Publicaciones Técnicas y Científicas:

CENGICANA tiene definido los siguientes criterios para definir autorías:

1. Concepción y diseño de la investigación.
2. Ejecución de experimentos y recolección de datos.
3. Análisis e interpretación de datos.
4. Elaboración del borrador del artículo.
5. Revisión crítica del contenido intelectual del artículo.
6. Aprobación final de la versión para publicación.

Para ser coautor de alguna publicación, el profesional o técnico debe participar en por lo menos 2 de las primeras 5 categorías.

- ❖ Morillo, Aníbal. 2001. Conceptos sobre autoría. Revista Colombiana de Radiología. 12 (3): 944-948.
- ❖ Gisbert, J.; Piqué, J. 2009. Hablemos de... Autoría de las publicaciones científicas. España. GH, continuada, 8 (1): 53-62.

CENTRO GUATEMALTECO DE INVESTIGACIÓN Y CAPACITACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR

- CENGICANA -

5ª Avenida 5-55 Zona 14,
Europlaza, Torre 3, Nivel 18
Guatemala, C.A.
Tel.: (502) 2386 2201
Fax: (502) 2386 2205

Estación Experimental
Finca Camantulul, Km. 92.5
Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla
Tel./Fax: (502) 7828 1000

E-MAIL:

centro@cengicana.org / cengicana@azucar.com.gt

<http://www.cengicana.org>