

Caracterización Energética del Bagazo de Caña de Azúcar del Ingenio Valdez. Ecuador.

R. Díaz

Facultad de Mecánica
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba, Ecuador

Sumario

Se ha determinado experimentalmente y mediante cálculo el poder calorífico superior HHV, así como también la composición química elemental, la composición técnica y la distribución granulométrica del bagazo de caña de azúcar del Ingenio Valdez. Además se han revisado algunas fórmulas para calcular el HHV y se ha encontrado una expresión que entrega los datos más cercanos a los determinados en el calorímetro.

Introducción

Con el antecedente de un trabajo inicial sobre el tema realizado en el Ingenio Valdez, con el fin de llevar adelante la ejecución de las pruebas para el balance térmico de las calderas, y debido al interés de ésta empresa para conocer la calidad de la biomasa que emplea como combustible, se ha continuado con los diversos análisis en el laboratorio tanto del bagazo así como de otros combustibles a partir de la biomasa disponible en los alrededores del ingenio; al momento se tiene la siguiente información que nos permite obtener la caracterización del bagazo de caña de azúcar con el cual se está trabajando.

Composición Química Elemental del Bagazo de Caña de Azúcar

Se ha determinado que el bagazo del Ingenio Valdez tiene la composición química elemental que se muestra en la Tabla 1. Los datos de la columna (1) han sido referidos al 49.50% de humedad, a partir de la composición química seca dada por Espinosa en [1].

Es importante hacer un análisis de los resultados obtenidos, partiendo del hecho que todos los datos reportados en la Tabla 1, tienen un valor de humedad alrededor del 50%, mientras que el resto de elementos tienen cifras relativamente cercanas entre si; las diferencias se deben en parte a que no se presentan datos como por ejemplo de nitrógeno, el mismo que con toda seguridad está incluido en el dato del oxígeno, por ser ésta, una modalidad de presentación.

Tabla I. Comparación de la composición química elemental del bagazo (ar).

ELEMENTO	VALDEZ [%]	SAN CARLOS [%]	HUGOT [%]	(1) [%]
% HYDROGEN	2.53	3.28	3.47	3.26
% CARBON	24.08	23.48	23.52	23.59
% NITROGEN	0.17	-	-	-
% OXYGEN	21.43	23.23	22.03	22.08
% SULFUR	0.25	-	-	-
% MOISTURE	49.50	49.5	49.5	49.5
% ASH	2.03	0.51	1.49	1.56

Si se compara entre los valores de Valdez y San Carlos [2], se puede mencionar que las diferencias más notables corresponden al oxígeno que en Valdez se tiene un 21.43 % que está muy cercano a los valores internacionales de 21.74 % y 21.93 %, mientras que en San Carlos se tiene un dato de 23 %.

El porcentaje del 2.03 % de ceniza que se tiene en Valdez, es el más alto de todos, valor que puede tener su justificación en el corte mecanizado de la caña y en el período en el cual se toman las muestras por el lodo que se forma con las lluvias y que es levantado con la caña.

Se puede indicar que los datos que se muestran en la tabla anterior, son muy similares a los aceptados internacionalmente para el bagazo de caña de azúcar.

Los datos de la composición química fueron calculados y se los muestra en la Tabla II.

Tabla II. Composición química elemental del bagazo (db).

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
% HYDROGEN	5.02	5.03	4.99
% CARBON	47.50	47.61	47.94
% NITROGEN	0.35	0.35	0.34
% OXYGEN	42.51	42.54	42.24
% SULFUR	0.50	0.51	0.50
% MOISTURE	0.00	0.00	0.00
% ASH	4.11	3.97	3.98

Poder Calorífico del Bagazo.

El poder calorífico promedio para el bagazo de Valdez fue determinado en dos calorímetros de la ESPOCH. Con el propósito de verificar la bondad de los mismos se ha utilizado la ecuación (4) que fue obtenida del análisis de varias fórmulas (ecuaciones 1, 2, 3, 5 y 6) que se encuentra en la literatura especializada y que fuera ajustada de aquellas que entregaban resultados de HHV que más se aproximaron a los obtenidos en los calorímetros, obteniéndose los resultados que se detallan en la Tabla III.

Tabla III. Poder calorífico superior (db).

Experimental				
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Calorímetro	HHV Kcal/kg	4120	4237	4393
Calculado				
Francis y Lloyd [3] Ec. (1)	HHV Kcal/kg	4337	4346	4370
Channiwala [4] Ec. (2)	HHV Kcal/kg	4315	4325	4349
Christensen [5] Ec. (3)	HHV Kcal/kg	4277	4286	4311
Díaz Ec. (4)	HHV Kcal/kg	4246	4256	4280
Milne [6] Ec. (5)	HHV Kcal/kg	4220	4230	4254
Márquez y Cordero [3] Ec.(6)	HHV Kcal/kg	4343	4356	4376

$$HHV_{db} = 357.8C + 1135.6H + 59.4N - 84.5O - 974 \quad [kJ/kg] \quad (1)$$

$$HHV_{db} = 349.1C + 1178.3H - 103.4O - 15.1N + 100.5S - 21.1A \quad [kJ/kg] \quad (2)$$

$$HHV_{ar} = 348C + 939H + 105S + 63N - 108O - 24.5W \quad [kJ/kg] \quad (3)$$

$$HHV_{db} = 344.5C + 1239.6H + 18.2S - 28.5N - 112.5O - 7.65A \quad [kJ/kg] \quad (4)$$

$$HHH_{db} = 341C + 1322H - 120(O + N) + 68.6S - 15.3A \quad [kJ/kg] \quad (5)$$

$$HHV_{db} = 356.3C_f + 175.5V \quad [kJ/kg] \quad (6)$$

En donde C, H, N, O, S, A, W, Cf, V, son los porcentajes de carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, azufre, cenizas, humedad, carbón fijo y volátiles que se encuentran presentes en cada muestra.

El valor calórico del bagazo unido a su composición química elemental, es una de las propiedades más importantes como combustible, sin embargo se dan diferentes cifras por diferentes autores, pues se plantea [7],

que en el valor calórico del bagazo influye la variedad de la caña, la estructura del suelo, el riego, el tipo de abono y la madurez (edad) de la caña, mientras que HUGOT [8] plantea que aunque existen pequeñas diferencias como promedio, el valor calórico para el bagazo es más o menos el mismo para diferentes variedades y lugares.

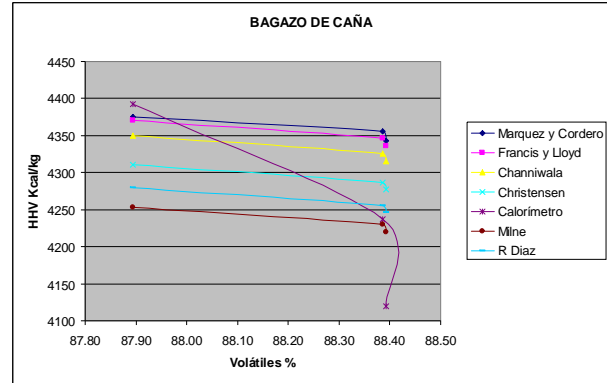


Figura 1. Variación del HHV según el %V en bagazo.

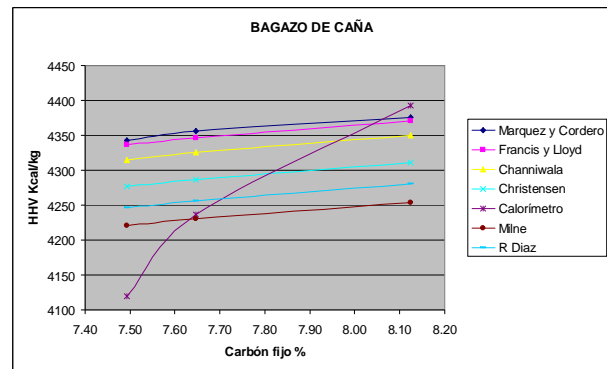


Figura 2. Variación del HHV según el %C_f en bagazo.

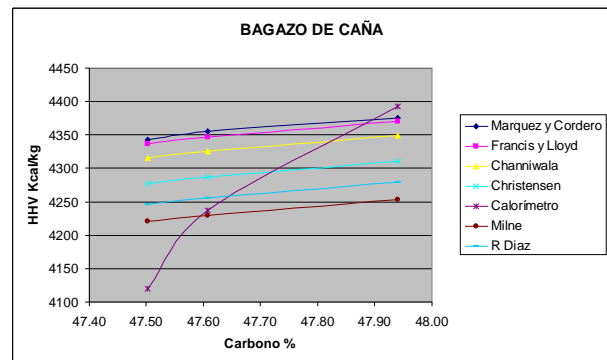


Figura 3. Variación del HHV según el %C en bagazo.

Como se puede observar en todas las Figuras, el poder calorífico superior calculado mediante las ecuaciones anteriores, se encuentra dentro del rango determinado por los valores experimentales obtenidos en el calorímetro,

notándose que los valores correspondientes a la Ec. (4) se encuentran en la mitad del rango.

Con la ecuación de Márquez y Cordero se puede determinar el HHV mediante el análisis inmediato; el resto de las ecuaciones utiliza la información del análisis elemental de las muestras.

Composición Técnica del Bagazo.

El contenido en porcentaje de las sustancias volátiles, carbón fijo, humedad y cenizas, constituye la composición técnica del bagazo (análisis inmediato), reportándose sus resultados en la Tabla IV.

Tabla IV. Composición técnica del bagazo (ar).

	HUMEDAD %	CARBON FIJO %	VOLATILES %	CENIZA %
Muestra 1	46.17	4.37	47.32	2.14
Muestra 2	46.57	4.09	47.22	2.12
Muestra 3	46,52	4.01	47.28	2.20

Composición Granulométrica del Bagazo.

La composición granulométrica del bagazo depende de la variedad de la caña y en gran medida del esquema de preparación y molienda de la misma en la fábrica de azúcar, e incluso del grado de desgaste que sufren los equipos que realizan estas operaciones a lo largo de la zafra.

Las pruebas realizadas en el Ingenio Valdez, con el bagazo que se obtiene tanto en trapiche como en las prensas, nos indican que las partículas del bagazo fino representan la mayor cantidad en porcentaje con una distribución que se caracteriza por presentar un diámetro de las partículas alrededor de 0.8 a 2.3 mm.

Cuanto mayor sea la intensidad, de la preparación de la caña, mayor será el contenido de los finos del bagazo, lo cual es un aspecto importante relacionado con su posterior utilización., pues su combustión en las calderas actualmente existentes en el país estaría acompañada de un arrastre excesivo.

Similar conclusión se ha obtenido en un análisis efectuado en el central “Los Reynaldos” de Santiago de Cuba en donde se ha determinado que la mayor parte del bagazo tiene un diámetro de las partículas entre 1.5 a 2.5 mm.[9].

Se ha observado que la tendencia de la distribución granulométrica es la misma que en el central Los Reynaldos, sin embargo se verificó que en Valdez existe un mayor porcentaje de finos con relación a otro ingenio para el mismo diámetro de tamiz; lo cual pone en evidencia que existe una mayor preparación de la caña, hecho que será ratificado en el arrastre de cenizas por la chimenea.

Humedad del Bagazo.

El contenido de humedad del bagazo varía según la velocidad y la eficiencia de la molienda. En las Antillas el promedio es del 48 al 50 % y los ingenios más modernos obtienen cifras que llegan al 45 %. En Hawaii el contenido de humedad frecuentemente llega al 40 % y menos a veces, debido a que muelen a velocidades mucho más lentas. En Colombia el contenido de humedad del bagazo está entre el 50 % al 52 %, en el ingenio Valdez durante las pruebas de balance térmico el promedio de humedad del bagazo osciló entre 49.36 % hasta 53.26 % o sea muy por encima de la media que es entre 48 y 50%.

La humedad del bagazo que ingresa a las calderas es menor (alrededor del 50.96 %), debido a la evaporación que tiene al permanecer en la pila de almacenamiento, y también al efecto de secado que se logra con el uso de agua caliente en la maceración, con el objeto de elevar la extracción de sacarosa, extracción que no se puede lograr con agua fría; pero el uso de agua caliente no solamente asegura la obtención del jugo tibio, sino que incrementa la temperatura del bagazo sobre la temperatura ambiente, lo cual tiene dos efectos beneficiosos:

- Un secado parcial del bagazo.
- Una temperatura elevada del bagazo a la entrada del horno, lo cual significa incremento del valor calórico normal del bagazo a través de la reducción de la diferencia de la temperatura entre el agua que ingresa con el bagazo y la temperatura de evaporación del agua en el horno.

Cantidad de Fibra en Bagazo.

Si la fibra en caña es insuficiente y la humedad del bagazo es alta, es posible que de como resultado, que en algunas fábricas de azúcar, que tienen baja eficiencia en calderas por otras causas, que no sean capaces de producir el bagazo suficiente para la producción del vapor que necesitan.

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 14 %. (Referencia [1], pág. 50).

El contenido de fibra en caña en Valdez durante las pruebas fue del orden del 13 %.

Calidad del Bagazo

La calidad del bagazo está relacionada con la maceración, el porcentaje de fibra y el pol que representa la cantidad de azúcar en solución con el agua presente en el bagazo.

La presencia de azúcar en la caña es favorable, ya que implica, que la caña es de buena calidad por su alto contenido de sacarosa; en cambio en el bagazo indica pérdidas de azúcar, por lo que se debe tratar de que su contenido sea el menor posible, y su valor puede oscilar entre el 2 y el 4 %; mientras que la cantidad de bagazo en caña varía entre 24 y 28 % del peso de la caña, aproximadamente $\frac{1}{4}$, de esta manera puede calcularse que la cantidad de bagazo que puede esperarse de una tonelada de caña es de aproximadamente 250 Kg. (Referencia [6]. páginas, 616 y 620)

En el ingenio Valdez en el bagazo se tiene un promedio de 3 % de pol y 30 % de bagazo en caña.

Conclusiones.

- 1.- Es la primera vez que se ha realizado en el Ecuador un proceso de caracterización del bagazo de la caña de azúcar, en tal virtud ha sido necesario efectuar previamente algunas pruebas hasta llegar a encontrar la metodología correspondiente que arroje resultados confiables.
- 2.- Paralelamente se ha encontrado un proceso analítico para el cálculo de la composición química elemental del bagazo, así como la determinación de la composición técnica. A través de este método, ha sido posible confrontar el HHV calculado con los datos experimentales.
- 3.- Los resultados obtenidos experimentalmente se encuentran dentro de los valores aceptados internacionalmente, lo cual permitirá realizar cálculos más exactos, que se encuentren ajustados a la realidad de combustible que se produce en el Ecuador. Estos datos son utilizados tanto en los balances de energía como en el diseño de los equipos térmicos.

Bibliografía

1. Espinosa, R., Machado, S., Reymond, A, Carrillo M., Priadko, N. Sistemas de Utilización del Calor en la Industria Azucarera. La Habana. 1990
2. Ingenio San Carlos: Informe sobre las Calderas
3. Márquez F, Cordero T, Rodríguez Mirasol, Rodríguez J, Estudio del potencial energético de biomasa pinus caribea morelet ..., Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente, año/vol. 7, número 001. Universidad Autónoma Chapingo, México.
4. <http://www.woodgas.com/proximat.htm>. Proximate and ultimate analyses.

5. www.rise.dk/rispubl/NEI/nei-dk-4665.pdf. Final report Waste Incineration. Thesis to obtain the Master of Science. Department of Chemical Engineering of University of Denmark, 2004.
6. Rabou L., Van der Drift A., Van Doorn J., Analysis of biomass data in ECN database Phyllis, ECN-RX-02-014.
7. Horst, B.: Generadores de vapor de bagazo, experiencias y tendencias. Power Station Building Industry, RDA. 1984.
8. Hugot, E.: Manual para Ingenieros Azucareros. México, Ed. Continental. 1984.
9. Beatón, P., Silva, E.: Pruebas de Balance Térmico en Calderas para Bagazo. Santiago de Cuba. 1991
8. Díaz, R.: Análisis Energético de las Calderas del Ingenio Valdez. Tesis de Maestría, ESPOCH, Riobamba, Ecuador. 1996.
9. Recio, A.: Caracterización, mediante técnicas de modelación del horno de la caldera Reto CV- 25 – 18 para el quemado de bagazo en torbellino horizontal. Tesis de Doctorado, ISPJAM, Santiago de Cuba. 1988.