

Método para determinar la cantidad de agua de imbibición a utilizar en la industria de azúcar de caña

Félix González-Pérez, Juan A. Castellanos-Álvarez, Juan Francisco Puertas-Fernández

Recibido el 15 de enero de 2010; aceptado el 2 de abril de 2010

Resumen

Se hizo un estudio del uso del agua de imbibición en la industria del azúcar de caña de Cuba y, se revisaron más de 200 fuentes bibliográficas llegándose a conclusiones importantes en cuanto a la cantidad y temperatura del agua de imbibición, así como la revisión del esquema de imbibición más utilizado.

A partir de aquí se obtiene un procedimiento para determinar la cantidad óptima de agua de imbibición teniendo en cuenta los precios actualizados del azúcar y el bagazo como combustible y para otros usos, Es utilizado para su validación en dos empresas azucareras de la provincia de Cienfuegos, se obtuvo que en las condiciones económicas actuales, es recomendable utilizar entre 10,4 – 15,4 % caña en dependencia del uso que se le dé al bagazo y no entre 18-22 % caña como se viene haciendo históricamente, lo que permitió lograr un ahorro de agua de 66670,1 t, esto hace que se ahorren 9531.77 kWh de energía eléctrica por bombeo, permitiendo un efecto económico total entre 22939,92 – 218505,47 USD.

Palabras claves: imbibición, ingenios azucareros, energía.

Methodology to determine the amount of imbibition water to use in the sugar cane industry.

Abstract

A study was performed of the use of the water of imbibition in the industry of the sugar cane of Cuba and internationally. More than 200 bibliographical sources were reviewed reaching important conclusions as far as the amount and temperature from the imbibition water, as well as the scheme used of imbibition water most commonly used.

A very simple procedure is obtained to determine the optimal amount of imbibition water considering the updated prices of the sugar and the bagasse as fuel and for other uses. It is applied for his validation in two sugar companies of the province of Cienfuegos. In the present economic conditions the results showed that it is advisable to use an amount of imbibition water between 10.4 -15.4 % of the amount of cane processed based on the use of the bagasse and not between 18-22% as it is historically done. It resulted on 66670.1 tons of water and 9531.77 kWh of electrical energy saved. The total economic effect was between 22939,92 - 218505,47 USD.

Key words: imbibition, energy, sugar mill.

1. Introducción.

El balance energético, y como resultado, la cogeneración de energía eléctrica y el sobrante de bagazo en las fábricas azucareras se ven comprometidas por el comportamiento de un grupo de factores agroindustriales que por lo general no son controlados, o no se controlan adecuadamente durante la operación, dentro de estos factores uno de los más importantes es la cantidad de agua de imbibición a utilizar.

La cantidad de agua de imbibición a utilizar para un sistema de extracción por compresión dado, depende fundamentalmente de la composición de la caña y de la relación precio del azúcar/ precio del combustible, un incremento en la cantidad de agua de imbibición utilizada trae consigo ventajas desde el punto de vista de extracción de azúcar, disminuyendo el contenido de sacarosa en el bagazo (pol en bagazo) pero también conlleva a un descenso gradual del Brix del jugo mezclado lo que a su vez provoca considerables incrementos del vapor necesario para evaporar esa agua.

El uso del agua de imbibición estudiada con profundidad por Hugot [4], Honig y Jenkins citados por Hugot [4] y más recientemente Gil [2], Castellanos y Romero citados por González [3], entre otros, concuerdan en utilizar una cantidad de agua de imbibición igual a dos veces la fibra en caña, incluso hay referencias [1-6] que hablan de valores superiores, pero con el uso de mejoras tecnológicas en el área de fabricación que contrarresten el incremento del consumo de vapor en proceso; criterios obtenidos hace más de seis décadas aún cuando la relación precio del azúcar/precio del combustible ha disminuido grandemente (más de 100 veces desde 1970 hasta el año 2004). Por lo tanto el objetivo de nuestro trabajo es buscar un método que permita determinar la cantidad de agua de imbibición adecuada a las condiciones económicas actuales.

2. Desarrollo

Aún cuando el bagazo se someta a presiones considerables y repetidas, no cede jamás todo el jugo que contiene. Tiende hacia una humedad mínima, 50 % en general, 45 % en los casos más favorables [4], pero conserva siempre una fracción

importante del jugo, que representa aproximadamente, la mitad de su peso.

Para extraer la mayor cantidad posible del azúcar contenido en ese jugo debe recurrirse a un artificio: si no es posible disminuir la humedad se hará lo posible por reemplazar el jugo que la constituye, por agua, este artificio lo constituye la "imbibición". Cuando se trabaja a la presión seca, el límite de extracción se obtiene muy rápidamente, después de la desmenuzadora y el primer molino la humedad del bagazo se ha reducido ya a cerca del 60 %; después del segundo molino la humedad se aproxima a 50 y del tercero en lo adelante no baja más allá de 45 %; puede considerarse que se ha obtenido por simple presión la máxima extracción posible. Si en este momento se agrega agua, uniformemente, ésta se distribuye dentro del bagazo y diluye el jugo que contiene. El molino siguiente volvería a llevar al bagazo a la humedad límite, es decir, alrededor de 45 %. Sin embargo, esta humedad ya no estará constituida por jugo absoluto sino por jugo diluido, en esta forma se habrá extraído azúcar. La operación puede repetirse.

La imbibición puede ser simple o compuesta, es simple cuando se agrega agua al bagazo después de cada molino. Este sistema de agua de imbibición consume mucha agua, que es necesario evaporar más tarde, el jugo diluido obtenido del último molino es casi agua, debe tomarse, entonces, para enviarlo al molino penúltimo. En este caso se le llama imbibición compuesta, la que en este caso es doble.

La imbibición compuesta consiste en aplicar agua antes del último molino, retornando al jugo obtenido de éste, al penúltimo; el jugo del penúltimo al precedente, y así sucesivamente. El jugo obtenido del primer molino de presión húmeda va a la fabricación junto con el jugo de presión seca.

En la industria azucarera cubana el esquema de imbibición más utilizado es el de compuesta cuádruple como se muestra en la figura 1:

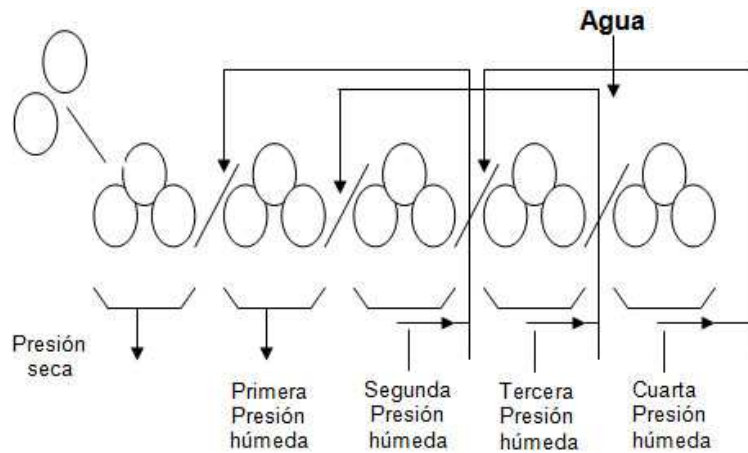


Figura 1. Imbibición cuádruple compuesta

Si la fábrica consume combustible comprado o si obtiene alguna utilidad del bagazo, existe evidentemente una cantidad de agua que corresponde a un beneficio máximo, esta cantidad depende de la relación: precio del azúcar/precio del combustible y deberá calcularse en cada caso.

El comportamiento de los precios del azúcar desde el año 1993 hasta el 2001 se puede observar en el gráfico que se muestra a continuación (figura 2). [2]

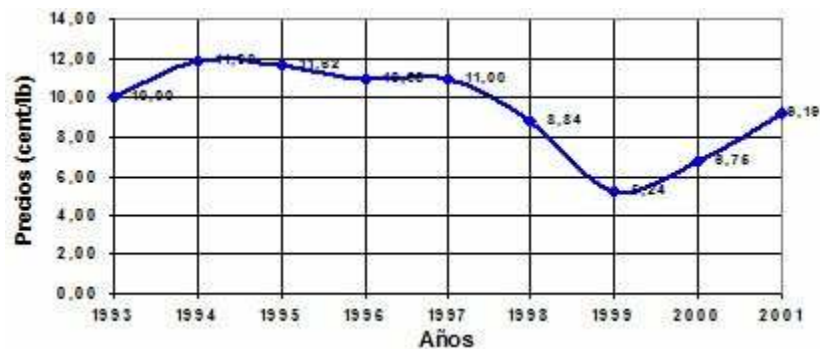


Figura 2. Comportamiento de los precios del azúcar crudo en el mercado mundial en los últimos años.

A partir de 1970 y hasta la actualidad el comportamiento de los precios del petróleo ha tenido una tendencia hacia el aumento e inestablemente, lo que puede observarse en la figura 2. [7]

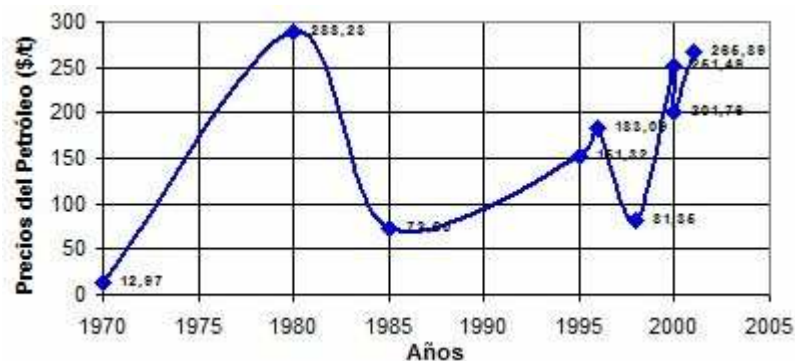


Figura 3. Comportamiento de los precios del petróleo en el mercado mundial en los últimos años.

En cuanto a la temperatura del agua de imbibición las experiencias hechas al respecto concuerdan poco, pero pueden anotarse los siguientes puntos:

Un ligero aumento de la extracción a favor del agua caliente, algunas veces difícil de cuantificar y frecuentemente desechable.

Los molinos toman con mayor dificultad el bagazo imbibido con agua caliente.

La imbibición con agua caliente tiene la gran ventaja de economizar agua fría y dar un excelente uso a las aguas de retorno de los últimos cuerpos del múltiple efecto.

Por mucho tiempo se creyó que la imbibición con agua caliente tenía la desventaja de aumentar la proporción de ceras que pasaba al jugo mezclado, sin embargo, Honig en el 8^{vo} *International Society of Sugar Cane Technologists Congress*. ISSCT da los resultados de experimentos en Java, los que no concluyen que la imbibición con agua caliente a 85 – 95 °C extraiga más cera que a 28 °C. La proporción varía de 30 – 45 % en ambos casos, pero no se afecta notablemente con la temperatura del agua de imbibición [4]. Mientras mayor sea la temperatura del agua de imbibición, con mayor temperatura llegará el jugo a los calentadores primarios, por lo que la temperatura a alcanzar por este en este intercambiador se obtendrá con menores consumos de vapor de escape.

La temperatura conveniente del agua de imbibición es entre 80 – 85 °C. [4]

Datos Experimentales.

Se realizó el análisis estadístico de los datos obtenidos durante nueve zafras, con mediciones diarias, decenal y por zafras en un ingenio y durante dos zafras en el resto de los ingenios de la provincia de Cienfuegos.

Los datos tomados en los laboratorios fueron verificados a través de los lazos de control del Sistema de Simulación Termoazúcar; y los instrumentos utilizados en las mediciones fueron verificados y certificados por la Oficina Territorial de Normalización de Cienfuegos.

Construcción del Nomograma

La cantidad adecuada de agua de imbibición a utilizar se determina por la relación precio del azúcar/precio del combustible, se tomaron diferentes precios del azúcar crudo y del bagazo incluyendo el fuel-oil por si fuese necesario utilizarlo, y se evaluó la disminución de las pérdidas de azúcar y el incremento en el consumo de vapor de escape que se producen con el incremento de la cantidad de agua de imbibición desde 10 – 35 % caña tomando como referencia los valores correspondientes para el 10 % de agua de imbibición (Ver fig. 4), donde las curvas de PA son las curvas de las pérdidas de azúcar en el bagazo para diferentes precios del azúcar 110-660 USD/t que se corresponden con los precios de 5-30 centavos la libra y PC variación en el consumo de combustible para la valorización del bagazo 5,75-50 USD/t según su uso [5] PC127 combustible convencional, PC 5.75-16.5 como combustible dentro y fuera del MINAZ respectivamente, PC13.3 - PC21.3 para la producción de energía eléctrica, PC30.7 para la producción de tableros, PC50 para la producción de furfural . El punto donde se igualan las pérdidas de azúcar (\$/h) con el consumo de combustible (\$/h) que se corresponde con la cantidad adecuada de agua de imbibición, hoy se ha desplazado hacia la izquierda en el gráfico, es decir, hacia la zona de uso de menor cantidad de agua de imbibición. A pesar de lo sencillo de este cálculo no se reportan resultados en este sentido, por lo que puede considerarse el mismo como una contribución a los estudios para la reducción de los altos índices de consumo de agua en la industria azucarera cubana actual y reducir los consumos de energía eléctrica por bombeo.

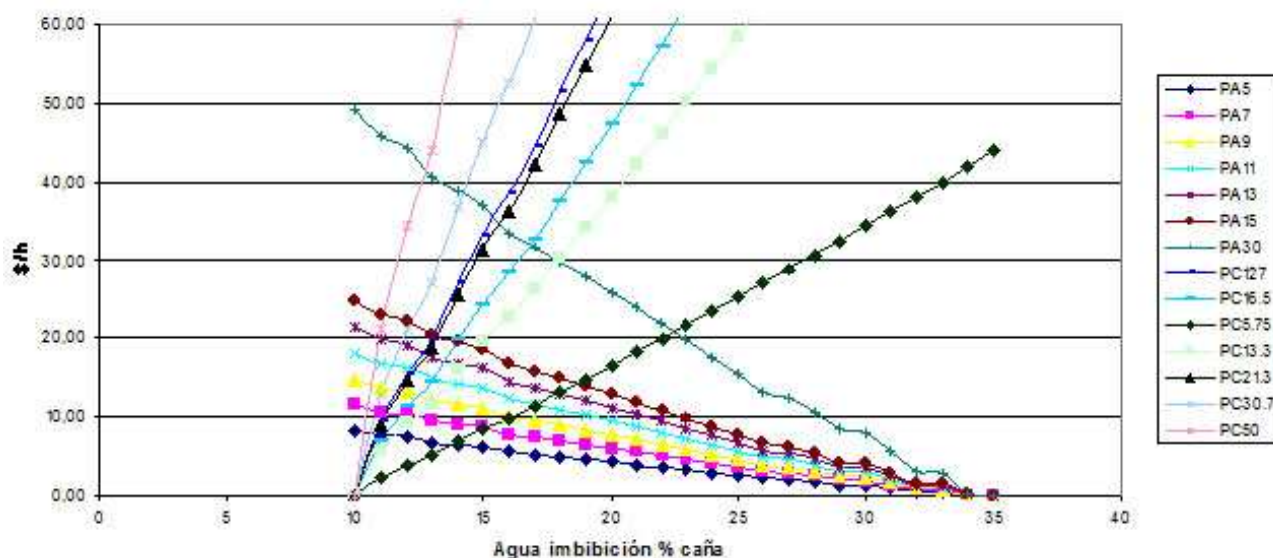


Figura 4. Relación de la pérdida de azúcar y el consumo de combustible con el agua de imbibición % de caña utilizado

Del gráfico se puede determinar, para un precio del azúcar y un precio del bagazo para sus diferentes usos la cantidad de agua de imbibición que económicamente es factible utilizar. El ejemplo para diferentes combinaciones de precios del azúcar crudo y precios del bagazo para diferentes usos aparecen en la siguiente tabla.

Tabla No. 1. Resultados de la cantidad de agua de imbibición a utilizar en función de los precios del azúcar y el bagazo como combustible y para otros usos.

Precio del azúcar 5 centavos / libra. 110 USD/t							
Precios del bagazo para diferentes usos. (\$/t)	5,75	13,30	16,50	21,30	22,70	30,70	50,00
Cantidad de agua de imbibición a utilizar (% caña)	13,7	11,3	11	10,7	10,5	10,3	10
Precio del azúcar 9 centavos / libra. 198 USD/t							
Cantidad de agua de imbibición a utilizar (% caña)	16,5	13,3	12,6	12,2	12	11	10,5
Precio del azúcar 13 centavos / libra. 286 USD/t							
Cantidad de agua de imbibición a utilizar (% caña)	18	14,4	13,6	12,9	12,7	12	11
Precio del azúcar 30 centavos / libra. 660 USD/t precio establecido para el CAME							
Cantidad de agua de imbibición a utilizar (% caña)	22,5	18	15,9	15,6	15,2	14,4	12,6

Como se puede apreciar en la tabla ni siquiera para los precios diferenciados que pagaba la antigua URSS se justifica los niveles de agua de imbibición que se utilizan en la industria azucarera, solamente en el caso de que obligatoriamente haya que quemar todo el bagazo que se produce.

Validación de los resultados.

Para realizar la validación se escogieron dos empresas azucareras “Pepito Tey” y “14 de Julio” y posteriormente se aplicó a las restantes siete empresas azucareras de la provincia.

Empresa Azucarera “14 de Julio”.

Para aplicar el procedimiento se utilizaron los precios del azúcar del día 3 de diciembre de 2001: 16,58 centavos USD/kg (7,64 centavos USD/lb) y los precios del bagazo como combustible y para otros usos que aparecieron anteriormente.

Utilizando el nomograma podemos determinar para estos precios que la máxima cantidad de agua de imbibición a utilizar está entre 15,4 - 10,4 % caña.

Antes de aplicar el procedimiento se empleó como promedio 29,52 % caña de agua de imbibición y valores puntuales que llegaron hasta 32,5 % caña y se utilizó el agua de imbibición a 65 °C de temperatura, existiendo las condiciones para usarla a 85°C.

Tabla No. 2. Resultados fundamentales antes y después de aplicado el procedimiento propuesto por los autores.

Molida: 300000 @/día	
Condiciones de operación existentes	Condiciones de operación establecidas
Consumo de vapor de escape: 62,3 t/h	Consumo de vapor de escape: 57,60 t/h
Brix del jugo mezclado : 13,59 °Bx	Brix del jugo mezclado : 16,45 °Bx
Bagazo disponible : 44,1 t/h	Bagazo disponible : 39,19 t/h
Pol en el bagazo : 1,81 %	Pol en el bagazo : 2,33 %
Humedad del bagazo: 47,78 %	Humedad del bagazo: 45,38 %
CECI : 8068,11 kJ/kg	CECI : 8379,35 kJ/kg
Índice de generación de vapor: 2,036 kgv/kgbag.	Índice de generación de vapor: 2,114 kgv/kgbag.

Se incrementan las pérdidas de azúcar en el bagazo en 0,1016 t/h y disminuye el consumo de vapor en proceso 4,7 t/h, para el tiempo efectivo de molida en la zafra pasada que fue 2227,8 horas dejaron de obtenerse en la zafra 226,34 t de azúcar, que con el precio del azúcar actual representan 34381,04 USD, pero, se ahorran 4078,87 toneladas de bagazo, que según el destino que se le de al bagazo representan: entre (54248,97 - 203943,50) USD/zafra.

Con la aplicación del procedimiento el índice de consumo de vapor se reduce de 433 kg/t.c.m hasta 400 kg/t.c.m, el consumo de agua para la imbibición de 42,45 t/h a 21,57 t/h, es decir, se ahorran en una zafra 46516.46 t de agua y el de energía eléctrica por bombeo del agua en 6574,77 kW-h en la zafra.

El efecto económico total por la aplicación del procedimiento propuesto para una zafra puede representar para esta empresa azucarera entre

(20196,67 – 170088,44) USD según el uso que se le de al bagazo.

Empresa Azucarera “Pepito Tey”.

Antes de aplicar el procedimiento se utilizaba como promedio 30 % caña de agua de imbibición, y temperatura del agua de imbibición de 65 °C, los resultados aparecen a continuación:

Tabla No. 3. Resultados fundamentales antes y después de aplicado el procedimiento propuesto por los autores.

Molida: 215000 @/dia	
Condiciones de operación existentes	Condiciones de operación establecidas
Consumo de vapor de escape: 49,93 t/h	Consumo de vapor de escape: 47,57 t/h
Brix del jugo mezclado : 13,95 °Bx	Brix del jugo mezclado : 16,096 °Bx
Bagazo disponible : 31,48 t/h	Bagazo disponible : 29,24 t/h
Pol en el bagazo : 1,90 %	Pol en el bagazo : 2,26 %
Humedad del bagazo: 48,02 %	Humedad del bagazo: 43,52 %
CECI : 7990,56 kJ/kg	CECI : 8290,1 kJ/kg
Índice de generación de vapor: 2,453 kgv/kgbag.	Índice de generación de vapor: 2,546 kgv/kgbag.

En los resultados se observan incrementos de las pérdidas de azúcar en el bagazo en 0,06268 t/h y disminución del consumo de vapor en proceso de 2,36 t/h , para el tiempo efectivo de molida en la zafra pasada, que fue 1340 horas dejaron de obtenerse 83,99 t de azúcar, que con el precio del azúcar actual representan 13924,53 USD, pero, se ahorran 1242,1 toneladas de bagazo por la disminución del consumo de vapor en proceso, que según el destino que se le de al mismo representan entre (16519,93 - 62105) USD/zafra.

Con la aplicación del procedimiento el índice de consumo de vapor se reduce de 485 kg/t.c.m hasta 461 kg/t.c.m, el consumo de agua para la imbibición de 30,9 t/h a 15,86 t/h, es decir, se ahorran en una zafra 20153,6 t de agua y el de energía eléctrica por bombeo del agua en 2957 kW/h en la zafra.

El efecto económico total por la aplicación del procedimiento propuesto para una zafra puede representar para esta empresa azucarera entre 2743,25 – 48417,03 USD según el uso que se le de al bagazo.

3. Conclusiones.

1. La cantidad de agua de imbibición a utilizar depende de la relación precio del azúcar/ precio del combustible y de la composición de la caña fundamentalmente la fibra, los criterios que se utilizan para su uso fueron emitidos hace más de sesenta años y prevalecen en la actualidad a pesar que esta relación se han deprimido grandemente en los últimos años (mas de 100 veces).
2. El nomograma permite determinar la cantidad adecuada de agua de imbibición a utilizar en función de los precios del azúcar y del bagazo como combustible y para otros usos utilizando criterios económicos actualizados.
3. Al aplicar el nomograma para las condiciones económicas actuales en las dos empresas azucareras seleccionadas se obtuvo que es recomendable utilizar entre 10,4 – 15,4 % caña de agua de imbibición en dependencia del uso que se le de al bagazo y no entre 18-22 % caña como se viene haciendo históricamente lo que permitió lograr un ahorro de agua de 66670,1 t y de energía eléctrica por bombeo de 9531.77 kWh.

4. Referencias.

1. **CRUZ RODRÍGUEZ, F.** *Situación de la Producción Mundial de Azúcar. Ingenio.* Junio 1999, vol. año 1, No 1,
2. **GIL ORTÍZ, J. M. et al.** *El Detergente Industrial en el Agua de Imbibición para Disminuir el Pol y la Humedad del Bagazo en el Central Azucarero.* Facultad Universitaria de Las Tunas, Cuba, 2000.
3. **GONZÁLEZ PÉREZ, F.** *Control operacional de algunos factores agroindustriales que afectan la cogeneración en ingenios azucareros.* Tesis en Opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias, UCf, 2002.
4. **HUGOT, E.** *Manual para Ingenieros Azucareros.* La Habana: Editora Revolucionaria, 1967.
5. **MINAZ.** *Planeación Estratégica del Ministerio de la Industria Azucarera de Cuba. Proyección hasta el año 2002 y Pronóstico hasta el 2010.* Consejo Científico Asesor, 2000,

6. PETRÓLEO, U. P. L. 2001, Disponible en:
www.miactualidad.com/244/53-petroleo.htm.
7. Productividad Azucarera Mundial y de algunos
Productores Destacados. 2001, Disponible en:
www.mexico.businessline.com/esp/agroind.htm.

Dr. Felix González-Pérez¹, Dr. Juan A. Castellanos-Álvarez², Dr. Juan Francisco Puertas-Fernández³

1. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente (CEEMA). Cienfuegos. Cuba

E-mail: fgonzalez@fmec.ucf.edu.cu

2. Departamento de Mecánica. Universidad de Cienfuegos. Cuba

E-mail: jcastel@fmec.ucf.edu.cu, jfpuertas@fmec.ucf.edu.cu