

MEDICIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE AZÚCAR

EN AGUA INDUSTRIAL POR CROMATOGRAFÍA IÓNICA

José Robério Cavalcante da Silva* Celso Silva Caldas **

RESUMEN

La forma más eficiente para evaluar las fábricas de azúcar alcohol es por intermedio del balance de ART porque muestra más allá de la eficiencia industrial, las pérdidas de azúcar en diversas etapas de la producción. Estas pérdidas se deben medir en el bagazo, la cachaza del tratamiento del jugo, la fermentación, la destilación, y en aguas industriales, incluyendo lavado de la caña de azúcar, agua de los multi eyectores y aguas residuales. En la gran mayoría de los ingenios azucareros y destilerías brasileñas las pérdidas en aguas no son conocidas, comprometiendo los resultados obtenidos en el balance de ART. Esto es debido al hecho de que la cuantificación de la pérdida de azúcar en el agua requiere la medición del flujo de agua, una muestra de forma continua y también una técnica analítica robusta y precisa. La cromatografía iónica es la técnica más precisa y adecuada para llevar a cabo este control. El presente estudio muestra los datos de las pérdidas de agua y el equilibrio de ART obtenido de una destilería situada en el estado de Goiás, centro-oeste de Brasil, durante 75 días de la cosecha 2012. En este período las pérdidas de azúcares reductores totales (ART) en las aguas residuales tenían un valor medio igual a **0,5872** por ciento en comparación con el total de ART entrando en la destilería. También se pudo observar en este estudio que en una planta de etanol donde no se lava la caña y no se mide las pérdidas en el tratamiento de jugo, la medición de las pérdidas de agua se convierte en un control de suma importancia para la evaluación y para el equilibrio de ART.

* Ingeniero Centro Analítico LTDA, Alagoas, Brasil

** Pr °. Dr. De Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología de Alagoas, Brasil

INTRODUCCIÓN

El rendimiento de una fábrica de azúcar y alcohol no sólo debe ser observado por su eficiencia industrial, sino también por sus pérdidas. En Brasil las industrias que producen azúcar y alcohol, el parámetro utilizado en los cálculos de la eficiencia industrial y también para las pérdidas son los azúcares reductores totales (ART). Estos datos forman el balance de ART, herramienta muy eficaz de la gestión industrial. En este balance las pérdidas se miden en la molienda a través del bagazo (P1), en la cachaza (torta de los filtros) obtenida en el tratamiento de jugo (P2), la fermentación (P3), la destilación (P4) y finalmente en agua industrial (P5), incluidos el agua de lavar la caña, agua de los multi eyectores y aguas residuales (SILVA, 2013; SCHIMIDT, 2012; DEMIATE, et al, 2002). A partir de estas pérdidas y de la eficiencia industrial son calculadas las pérdidas indeterminadas (PI) que gira en torno al **2%** de los ART entrando en la fábrica (CONSECANA, 2012). Estas se calculan de la siguiente manera:

$$PI = 100 - \text{Eficiencia Industrial} - (P1 + P2 + P3 + P4 + P5)$$

Las pérdidas en agua industrial son más difíciles de cuantificar porque hay necesidad de una buena medida de su volumen y también un buen sistema de muestreo. Actualmente en Brasil ya hay empresas que tienen buen sistema de medición de flujo junto con el muestreo de forma continua. En relación con el proceso de muestreo se debe considerar que las muestras de agua de enjuague de caña y de condensadores, que son sistemas cerrados, debe ocurrir en los momentos de entrada y salida. No es así con el agua residual es sistemas abiertos, su recolección debe ocurrir sólo en vertedero local. Por lo tanto, en el caso de los sistemas cerrados y teniendo en cuenta los volúmenes de agua medidos por medidor de flujo o estimado por la capacidad de las bombas y el tiempo de molienda, los cálculos para la medición de volúmenes y la pérdida de azúcar

son: Volumen de agua (m^3) = flujo (m^3/h) x horas de molienda efectiva. Finalmente,
Kg ART agua = Volumen de agua (m^3) x [(g/ m^3 ART salida - g/ m^3 ART entrada) /
1000]

Por lo tanto, las pérdidas se calculan así:

$$\text{Pérdida \% aguas} = (\text{kg ART aguas} / \text{kg ART entrada}) \times 100$$

En el caso del cálculo de sistemas abiertos de aguas residuales es simple y solamente: Kg ART en agua residual = volumen de agua (m^3) x [(g/ m^3) ART) / 1000], y las pérdidas se calculan de la misma manera que en sistemas cerrados.

Dado que el volumen es medido, la cuantificación de los azúcares se puede hacer por métodos espectrofotométricos, tales como antrona, Somogyi-Nelson, DNSA (di-nitro ácido salicílico), entre otros (CALDAS, 2005). Sin embargo, la técnica de cromatografía de iones es más precisa y simple para la determinación de los azúcares en las aguas industriales, pero a un mayor costo en comparación con los otros (SILVA, et al, 2002). Este tipo de cromatografía líquida es la más adecuada para tal control debido a la alta sensibilidad del detector amperométrico (KLEIN, 2010; VIEHWEGGER, 2006).

La cuantificación de los azúcares en agua ayuda a minimizar las pérdidas indeterminadas y hace que la planta sea mejor evaluada, pero el mayor beneficio de este control es la posibilidad de tomar medidas encaminadas a reducir al mínimo y, en consecuencia, una mayor eficiencia industrial. En este estudio se reporta el seguimiento de las pérdidas de azúcar en el agua residual en una destilería situada en el estado de Goiás, en el centro-oeste de Brasil, durante 75 días de la cosecha 2012. Debido a la extracción por el difusor que también recibe lodos del decantador, no son medidas las pérdidas en el tratamiento de jugo. En esta destilería la caña de azúcar se corta mecánicamente, lo que no hay agua de lavado de la caña. Por lo tanto, las pérdidas en

el agua se miden sólo en las aguas residuales. Durante el período de estudio, estas pérdidas fueron iguales a **0,5872%** en comparación con los ART de entrada a la destilería.

OBJETIVO

Mostrar la importancia de la cuantificación de la pérdida de azúcar en el agua industrial para un balance de ART, en la evaluación de una planta de etanol.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este control los volúmenes de aguas residuales se han obtenido a través de un medidor de flujo marca TESPRO (TESPRO, 2013) equipado con tomador de muestras de forma continua y ponderada con el flujo de agua. Este equipo se ha instalado en un medidor Parshall en el canal de aguas residuales destinadas a los tanques de tratamiento como se muestra en la Figura 01. Las muestras se obtuvieron por el mismo equipo, de forma continua y ponderada con el flujo de agua, gracias a las válvulas solenoides instalados en la máquina. El conducto que conduce la toma de muestras y recipientes de las muestras se puede ver en la Figura 02. Por último en la figura 03 se muestra el equipo utilizado para la conservación de las muestras, donde también puede ser observado el panel del control de la temperatura del refrigerador. Es importante tener en cuenta que el programa debe ser tal que después de ocho horas el recipiente de muestreo no va a llenar, ya que si esto sucede no se obtendría una muestra representativa de este periodo de muestreo.



Figura 01 - Totalizador Parshall instalado en el canal de agua residual



Figura 02 - Toma de muestras del agua



Figura 03 - Recipiente para conservación de la muestra

Cada ocho (08) horas muestras compuestas fueron llevados al laboratorio para su análisis. Las concentraciones de sacarosa, la glucosa y la fructosa se determinaron usando un cromatógrafo iónico marca METROHM, modelo 850 Professional IC equipado con un detector amperométrico, como se muestra en la Figura 04 (METROHM, 2013).



Figura 04 - Cromatógrafo iónico METROHM 850 Professional IC

Las condiciones de funcionamiento del equipo se muestran en la Tabla 01.

Tabla 01 - Condiciones cromatográficas

Flujo	1mL/min
Volumen de Inyección	0,25 μ L
Tiempo	7 min
Temperatura	32,0 $^{\circ}$ C
Célula Amp.	Wall Jet
Eletródo de trabajo	Oro (Au)
Modo	PAD
Potencia	$E_1=0,05V$; $E_2=0,60V$; $E_3=0,15V$
Tiempo	$T_1=400ms$; $T_2=200ms$; $T_3=400ms$
Tiempo de muestra	100 ms
Rango	200 μ A

Para este control y con las condiciones del análisis previamente demostrado, los análisis de muestras compuestas se realizaron sin dilución. En la figura 05 se muestra un cromatograma de este control. La concentración de ART se determinó por la expresión matemática: $ART = (POL / 0,95) + \text{glucosa} + \text{fructosa}$.

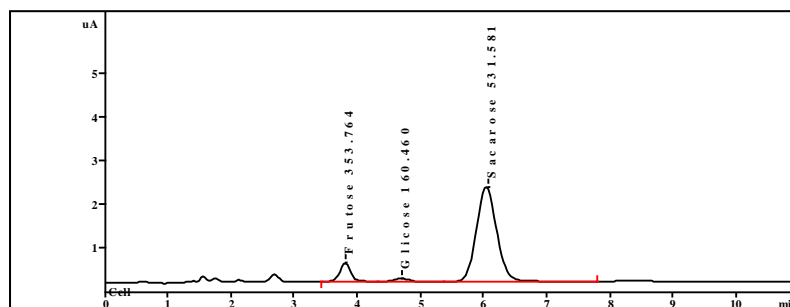


Figura 05 - Cromatograma de análisis de azúcares de aguas residuales

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados promedios diarios mostraron una amplia variación en los 75 días de seguimiento. Esto es normal y esperado en una unidad con un gran número de operaciones y que trabaja con materiales ricos de azúcar como son las destilerías de etanol. Las fugas, botes y algunas descargas necesarias justifican estas variaciones. En el período estudiado se obtuvieron valores medios diarios que van desde **0,026** hasta **1,649%** en comparación con los ART entrando en la destilería, destacando la urgente necesidad de la vigilancia de estas pérdidas. Esta variación en la concentración de azúcar en el agua también muestra que este control debe ser realizado solamente si hay dispositivos que permitan la toma de muestras continuas, preferiblemente ponderada con el flujo del agua. Por otra parte, la medición del volumen de agua es un factor de suma importancia para una medición correcta. Sin estas condiciones, incluso si tenemos laboratorios equipados y capacitados para llevar a cabo los análisis, los datos no serán

fiables. En la figura 06 se muestra el gráfico con los datos medios diarios de las pérdidas de ART en las aguas residuales.

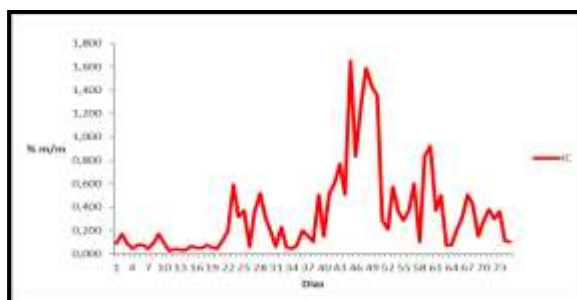


Figura 06 - Las pérdidas diarias del azúcar (% m/m) en las aguas residuales en relación con ART entrando en la destilería

En el caso específico de esta planta que sólo produce etanol y en la que no se lava la caña y no mide las pérdidas en el tratamiento del jugo, las pérdidas en el agua son de gran importancia para el balance de ART. Los datos de este balance durante el período de estudio se encuentran en la Tabla 02.

Tabla 02 - Balance de ART

Pérdidas	Pérdidas % ART entrada
Bagazo	2,2242
Fermentación	8,8933
Destilación	0,1968
Agua residual	0,5872
Total determinadas	11,9015
Eficiencia industrial	86,5873
Perdidas indeterminadas	1,5112

Se observó que las pérdidas en la fermentación son más grandes en las fábricas de etanol, requiriendo una mayor atención por parte del equipo técnico. Cuando no se determinan las pérdidas de azúcar en las aguas, las pérdidas no especificadas o indeterminadas se hacen más grandes e inducen a pérdidas más grandes en la fermentación, ya que estas son las mayores en una destilaría de etanol. Al final de esta investigación, las pérdidas indeterminadas se encontraron dentro del rango esperado para una planta que es bien evaluada, o sea entre **1,5 a 2,0%** en comparación a los ART que entran en la fábrica a través de la caña. Durante este estudio las pérdidas no determinadas fueron igual a **1,5112%**. Debido que las pérdidas en las aguas no eran medidas estas serían consideradas no determinadas, conduciendo a un valor final igual a **2,0984%**.

CONCLUSIONES

Al final del estudio, se llega a la conclusión que:

- El balance de ART es el mejor método de evaluación de los ingenios de azúcar y alcohol.
- Para un correcto cálculo del balance de ART las pérdidas en el agua industrial se debe determinar.
- El control de pérdidas de azúcar (ART) en agua residual se debe realizar solamente si se mide el flujo de agua y si se recolectan muestras de forma continua y ponderada con el flujo del agua.
- La cromatografía iónica es una técnica más precisa e indicada para ser utilizado en la cuantificación de las pérdidas de azúcar en aguas industriales.

- Cuando no se determinan las pérdidas de ART en las aguas, las pérdidas indeterminadas se hacen más grandes y compromete todos los números del balance de ART.

- Con la determinación de las pérdidas de ART en las aguas residuales en una planta de etanol, otras pérdidas llegan a ser más fiable, en especial las de fermentación que es donde se observa la mayor pérdida de ART.

BIBLIOGRAFÍA

- Silva, J. R. C. Quantificação de Perdas de Açúcares nas Águas Industriais Através da Cromatografia Iônica. 2013. Seminario Regional 17 ° en la caña de azúcar. Recife, PE, BR.
- Schimidt, V. W. 2012. Determinação de Açúcares por DNS. UFRG. Consultado 15 de julio 2013. www. Disponible en www.ebah.com.br/.../2-relatorio-bioquimica-determinacao-acucares-redutores
- Demiate, I. M.; Wosiacki, G.; Czelusniak C. y Nogueira, A. Determinação de açúcares reductores e totais em alimentos: comparação entre método colorimétrico e titulométrico. PUBLICATIO UEPG - Ciências Exatas e da Terra, C. Agrárias e Engenharias, Ponta Grossa, v. 8, n. 1, p. 65-78, 2002.
- CONSECANA SP 2013. Consultado 8 de julio 2013. Disponible en www.udop.com.br
- Caldas, C. 2005. Teoria das Análises do Setor Sucroalcooleiro. Brasil. Central Analítica LTDA. 171 p.
- Silva, R. N.; Monteiro, V. N.; Alacnfor, J. D. X.; Asis, M. A. y Asquieri, E. R. 2003. Comparision methods for the determination of reducers sugars and total in honey. Food Science and Tecgnology. vol.23 no.3 Campinas Sept./Dec.
- Klein, A. C. Cromatografia iônica como método analítico alternativo para a análise quantitativa de analitos. UFRG. Consultado 15 de julio 2013. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10183/27868>
- Viehweger, K. H.; Seubert, A.; Rumi, A.; Kolb, M. y Eith, C. 2003. Prátcas em Cromatografia de Íons. Metrohm, Herisou, Suíça.

- TESPRO – Amostradores Poderais e Contínuos para Processos Industriais. Consultado 15 de julio 2013. Disponible em: www.tespro.com.br
- METROHM. Consultado 15 de julio 2013. Disponible em: www.metrohm.com.br