

TECNOLOGÍAS Y SISTEMAS PARA EL MANEJO DE AGUA Y CONDENSADOS EN LA PRODUCCIÓN DE AZÚCAR

TECHNOLOGIES AND SYSTEMS FOR WATER MANAGEMENT AND CONDENSATES IN THE SUGAR PRODUCTION

Meilyn González Cortés^{1}, Inés Alomá Vicente¹, Rubén Espinosa Pedraja¹
y Erenio González Suárez¹*

¹ Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Química y Farmacia. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas; Carretera a Camajuaní Km 5 ½. Santa Clara, Villa Clara. Cuba.

Recibido: Julio 7, 2014; Revisado: Octubre 20, 2014; Aceptado: Noviembre 18, 2014

RESUMEN

En las fábricas de azúcar si se logra un uso eficiente del agua de proceso, el mismo deber autosostenerse en cuanto a su consumo ya que estas fábricas tienen la característica especial de que la materia prima principal que procesan, la caña, consiste en aproximadamente 70% de agua.

Los condensados recuperados constituyen la primera opción para recuperar agua de proceso y son destinados para la alimentación a calderas. Las cantidades de los diferentes tipos de condensados son dependientes de la configuración de evaporadores y del grado en que se presenten las extracciones de vapor en los mismos.

En este artículo, se describen los aspectos fundamentales en cuanto al uso y manejo de agua en el proceso de fabricación de azúcar. También se presentan consideraciones importantes sobre los sistemas de tratamientos de residuales que en estas fábricas se generan. Se muestra como el área más importante en cuanto al manejo del agua en el proceso es el sistema de evaporación, en el mismo se produce vapor vegetal, que es utilizado en otros equipos tecnológicos del proceso y cuanto más eficiente energéticamente sea ésta área, mayor será el excedente producido.

Se muestra a través de un balance de agua que el proceso tiene posibilidades de autosostenerse en cuanto a consumo de agua.

Palabras clave: manejo de agua, recicló, reúso, tratamiento de efluentes, azúcar, balance de agua

Copyright © 2015. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

* Autor para la correspondencia: Meilyn González, Email: mgonzalez@uclv.edu.cu

ABSTRACT

Sugar factories do achieve an efficient use of process water, but this process should be self-sufficient for consumption because these sugar factories have the special characteristic of having as its main raw material, sugar cane, which consists in approximately 70% of water

Those condensed recovered will be the first option to recover process water and are aimed to the feeding of boilers. The quantities of the condensate types are dependent of the evaporator's configuration, also the grade in that show up the vapor extractions.

In this paper the fundamental aspects are described as for the use and handling of water in the process of sugar production. Also, important considerations are shown on the treatment systems of residual that are generated in these factories. The evaporation system is shown as the most important area for the handling of water in the process, in it, vegetable vapor takes place and it is used in other technological equipment. A major surplus of steam will be produced in this area if the process is more energetically efficient.

It is shown through a balance of water that the process is self-sufficient for water consumption.

Key words: water management, use, recycle, effluent treatment, sugar, water balance

1. INTRODUCCIÓN

La industria depende en alto grado de un adecuado abastecimiento de agua, la que se utiliza como componente de productos o de manera indirecta en el control del proceso de producción, (Jensen y Schumann, 2001); Lavarack (2000).

En la industria azucarera el agua necesaria en el proceso de fabricación puede provenir de dos fuentes: el agua contenida en la caña de azúcar y que se recupera en los procesos de evaporación, el agua de cursos y pozos naturales que se consume principalmente en los condensadores barométricos, en el lavado de humos, como agua de refrigeración para las turbinas y máquinas, etc.

La filosofía de efluente cero plantea el reúso o recicló de agua de manera de reducir lo más posible la cantidad de agua fresca alimentada al proceso de fabricación; Kumana (2000); Purchase (1995).

Esto contribuye a un ahorro económico importante y a la conservación de los recursos naturales, en particular, en los lugares donde la zafra se realiza en épocas de sequía. En la bibliografía se pueden encontrar diferentes propuestas tendientes a mejorar el uso del agua en las industrias

Los estudios relacionados con el consumo de agua en las fábricas de azúcar comenzaron a desarrollarse hace muchos años. La característica más común en todos estos estudios es el enfoque parcial hacia alguno de los aspectos del proceso, por ejemplo: el porcentaje del agua de imbibición, o la visión de algunos de los aspectos del subsistema, como es el caso del sistema de condensado.

El uso del agua en los ingenios azucareros depende de varios factores, y los más importantes son los vinculados con su disponibilidad, calidad y temperatura. De esta

forma los estudios que se han realizado en este sentido han permitido establecer las categorías siguientes para el uso del agua:

- agua vinculada directamente al proceso productivo.
- agua vinculada indirectamente con el proceso productivo.
- agua no vinculada al proceso productivo.

Este trabajo resume los aspectos fundamentales del uso y manejo del agua en el proceso de fabricación de azúcar. Se muestra a través de un balance de este recurso que el proceso tiene posibilidades de autosostenerse en cuanto a consumo de agua, dado el excedente que se tiene si hace un uso eficiente de la misma en el proceso.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Debido a que la caña consiste en aproximadamente 70% de agua, una fábrica de azúcar procesa más agua que azúcar. Toda el agua que ingresa a una fábrica de azúcar también deberá abandonarla en una u otra forma.

Teóricamente existe un excedente de agua producida en una fábrica de azúcar que inevitablemente deberá encontrar su salida de la fábrica en una corriente de efluente. Adicional al agua que ingresa a la fábrica con la caña, también puede haber agua adicional agregada en forma de agua de servicios o cruda. Del análisis del proceso de producción de azúcar se puede determinar que el agua que abandona a la fábrica lo hace en las siguientes formas:

1. Junto con los productos de la fábrica
 - a) en la melaza
 - b) en la cachaza
 - c) en la ceniza húmeda y si se utiliza lavado de gases de la combustión , en el hollín
 - d) en el bagazo, ya sea hacia las calderas o como subproductos
2. En forma de vapor en:
 - a) gases de la combustión, que podrán estar o no saturados, dependiendo si se utiliza lavado gases de combustión
 - b) vapor generado en torres de enfriamiento con aspersores
 - c) vapor de flasheo proveniente del jugo calentado
 - d) evaporación en difusores o molinos
3. En forma líquida como:
 - a) excedente de condensados
 - b) sobreflujo en el circuito de agua de enfriamiento
 - c) soplado de calderas
 - d) pérdidas por desplazamiento en torres de enfriamiento o piscinas de enfriamiento
 - e) efluentes (lavados o fugas)

En la figura 1, se muestra un diagrama con los flujos de agua en una fábrica de azúcar.



Figura 1. Corrientes que contienen agua que ingresan y abandonan un complejo industrial azucarero, Rein (2007)

En cuanto a las pérdidas de agua que ocurren por evaporación, las mismas tienen lugar en ciertas corrientes de proceso y durante el flasheo de jugo ocurre evaporación. Parte del agua condensada en los condensadores de contacto directo se evapora en las torres de enfriamiento o en las piscinas de enfriamiento para proporcionar el enfriamiento evaporativo requerido. Tanto como un 85% del vapor condensado se evapora para proporcionar el enfriamiento, también existe una pérdida por desplazamiento desde el sistema de enfriamiento (típicamente un 0,05% del flujo de agua en el sistema de enfriamiento), pero ésta es una pérdida física y no una pérdida por evaporación. Adicionalmente, ocurre cierta evaporación en el agua de lavado de los gases de combustión. Este último es de aproximadamente un 10% del vapor generado (potencia).

2.1. Manejo y recuperación de condensados

Dentro de la fábrica el condensado se recircula como agua de alimentación a las calderas y como agua de proceso. Como se conoce el condensado de mejor calidad se recircula a las calderas. El condensado tiene mejor calidad que el agua cruda y es por lo tanto, la fuente preferida de agua para uso en proceso. Esto minimiza la carga de impurezas en el proceso la que de otra forma se vería significativamente incrementada si se utilizara agua de baja calidad, lo cual implicaría una mayor producción de miel. En la figura 2, se muestra un diagrama que representa los flujos dentro de una fábrica de azúcar.

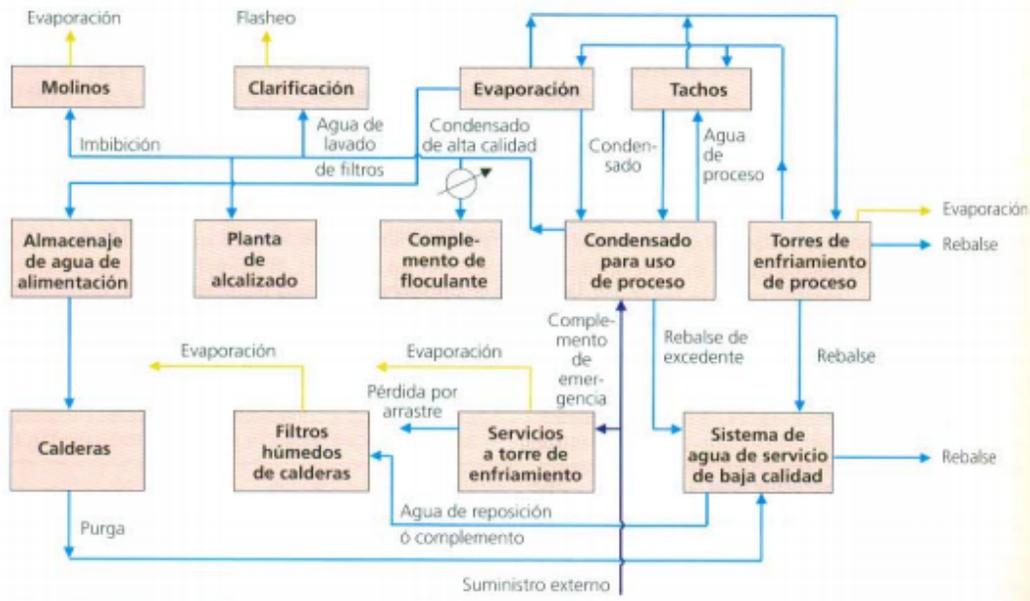


Figura 2. Principales flujos de agua en una fábrica de azúcar, Rein (2007)

2.1.1. Agua de alimentación a calderas

El condensado siempre será utilizado de primera opción para el agua de alimentación a calderas. La cantidad del condensado producido es mucho mayor que la cantidad requerida por las calderas y el excedente debiera utilizarse para consumos de agua en los procesos en la fábrica. Las cantidades de los diversos tipos de condensado son dependientes de la configuración de evaporadores y del grado en que se presenten las extracciones de vapor. Para calcular los flujos de condensado de los calentadores, evaporadores y tachos es necesario un balance de vapor.

2.1.2. Cantidad de condensado

La selección de la mejor calidad de condensado para la alimentación a calderas requiere generalmente utilizar el condensado de vapor de escape lo más que se pueda ya que éste es el más limpio. El vapor 1 y posteriores condensados algunas veces están contaminados con compuestos volátiles, los que se evaporan con el agua en los evaporadores y tachos, y adicionalmente estos condensados pueden estar potencialmente contaminados por arrastre de jugo azucarado durante la ebullición. Adicional al azúcar, estos condensados también pueden contener pequeñas cantidades de etanol, ácidos orgánicos volátiles, tales como ácido fórmico y acético, así como amoníaco. El etanol y los ácidos orgánicos ingresan a la fábrica en el jugo crudo y generalmente son formados por reacciones de degradación en la caña antes de la molienda y/o en el área de molienda. Estos pueden volatilizarse en los evaporadores y en casos severos los vapores ácidos pueden ocasionar corrosión en las calandrias y en las tuberías de condensados.

La cantidad máxima de contaminación permitida en el agua de alimentación a calderas depende de la presión de la caldera. A mayor presión, menor es el límite permitido de contaminación. En la tabla 1, se presentan valores típicos.

Tabla 1. Concentración máxima de azúcar en condensado para alimentación de calderas

<i>Presión de caldera, bar (g)</i>	<i>mg azúcar/kg de agua</i>
20	15
30	10
>40	nulo

2.1.3. Suavizado

Muchas fábricas están equipadas con una planta de tratamiento de agua para suministrar agua a las calderas para uso durante el arranque o en emergencias, Tomaszewka (1998). Nunca debe utilizarse agua no suavizada para la alimentación de calderas. Cuando la presión de la caldera es superior a 40 bar(g) se requiere de una completa desmineralización del agua de reposición. Una detección de trazas de azúcar funcionando adecuadamente y un sistema de administración de la alimentación de las calderas significaría que la planta de suavizamiento de agua es raramente utilizada.

2.1.4. Parámetros de calidad dependientes de la presión

Adicional al azúcar en el agua de alimentación, existen otros límites en la calidad del agua de alimentación como son materia orgánica, aceite, pH, oxígeno, hierro, cobre entre otros que también dependen de la presión de la caldera. A mayor presión más estrictos serán los requerimientos del agua de alimentación. Esencialmente esta requiere baja dureza (y un valor de cero para presiones arriba de 60 bar(g)), bajo contenido de oxígeno con disminución al aumentar la presión de la caldera y valores de pH entre 8,5 y 9,5 en todos los casos.

2.2. Requerimientos de agua de proceso en fábrica

2.2.1 Imbibición

La cantidad de agua utilizada como imbibición varía ampliamente entre diferentes industrias azucareras, desde valores tan bajos como 15% de la caña, hasta por arriba de 60% de la caña. La mejor fuente de agua para uso de imbibición es el condensado y preferentemente a una temperatura tan alta como sea posible. Con difusores se utiliza imbibición a aproximadamente 80°C. Algunos tandems de molienda también son capaces de utilizar condensado caliente, pero muchos operadores optan por utilizar una temperatura menor. La alta temperatura es responsable de fundir ceras que incrementan el deslizamiento de las mazas y dificultan alcanzar la producción propuesta. Sin embargo, Honig (1953), indicó que experimentos en Java demostraron que agua de imbibición entre 85 y 95°C no extrajo más cera que el agua a 28 °C. Algunas fábricas han mostrado que la imbibición en caliente puede ser ventajosa para incrementar la extracción, dado que dichas fábricas poseen mazas con tracción adecuada.

Si se requirieran temperaturas menores de imbibición, es mejor enfriar el condensado utilizándolo para calentar el jugo crudo que agregar agua de baja calidad al tanque de suministro de imbibición para reducir su temperatura. Esto mejorará la eficiencia energética y no incrementará la carga de impurezas en el jugo crudo.

2.2.2 Uso de agua de proceso

Todas las necesidades de agua de proceso de las fábricas, es decir, el agua agregada al proceso debieran suministrarse generalmente por un excedente de condensado. Asumiendo que todo condensado de salida del primer efecto de la evaporación sea retornado a las calderas como agua de alimentación, únicamente una pequeña proporción de condensados provenientes de otras unidades será requerido para la reposición en la alimentación de calderas y el resto estará disponible para uso como agua de proceso. Esta cantidad estará afectada por la cantidad de condensado en el último efecto, la cual no está disponible para su uso en el proceso, es decir, está afectada por la economía de vapor de la fábrica. Mientras mayor sea la eficiencia de vapor de la fábrica, mayor será la cantidad de condensado disponible.

Para realizar un primer balance puede asumirse que toda el agua en el jugo crudo será evaporada, exceptuando el agua que abandona la fábrica en la corriente de cachaza, azúcar y melaza (aproximadamente 4%). La cantidad de agua en el jugo crudo se puede tomar igual a la cantidad de caña de manera que el condensado producido es 96t/100 tc. De esta cantidad, aproximadamente 5t/100tc tienen que retornarse como reposición para alimentación de calderas con el fin de aumentar el condensado retornado proveniente del vapor de escape y aproximadamente de 10 a 16t/100tc son condensadas en el condensador evaporador.

De manera que en términos promedios, permitiendo un 10% de pérdidas, la cantidad de condensado disponible para uso en proceso es bastante próxima a 70t/100tc. Aproximadamente la mitad de esta cantidad irá a la imbibición dejando la otra mitad para uso en proceso, significativamente más de lo requerido en el proceso. Esto resultará en un excedente.

2.2.3 Agua para alcalizado.

Se requiere de agua para preparar la lechada de cal. esta cantidad depende del nivel de densidad (°Baumé) requerido para la lechada de cal y de la cantidad de cal utilizada. El uso de cal para la clarificación, así como para el control de ph del agua de enfriamiento, del ph del agua de los filtros, etc. generalmente varía entre 0,5 y 0,8 kg de cal/t de caña.

2.2.4 Agua para la preparación de floculante.

El agua ideal para la preparación de floculante no debe contener especies iónicas. De manera que la opción a utilizar es el condensado. Sin embargo existe un límite de temperatura que no debe excederse ya que de lo contrario ocurrirá daño al floculante. El condensado debe enfriarse por debajo de 55°C, particularmente cuando se utilicen floculantes de alto peso molecular.

La cantidad de agua requerida no es grande y normalmente es despreciable en un balance de agua.

2.2.5 Agua para el lavado de los filtros.

Se requiere de un suministro de agua caliente, preferiblemente condensado. De estudios realizados se ha inferido un uso de agua entre 80 y 320g/100g de torta, con un promedio de 200g/100g de torta. La cantidad de agua aplicada varía de fábrica a fábrica pero típicamente estará en el rango de 5-10 t de agua/100 t de caña.

2.2.6 Requerimientos en tachos.

Se requiere de condensado caliente para el agua de lavado de centrifugas y para acondicionar las mieles A y B para la alimentación de los tachos. El agua también es necesaria para fundir excedentes de azúcar de bajo grado y para preparar magma para pie de los tachos, aunque algunas veces se utiliza jugo clarificado para estas tareas para mejorar la economía del vapor.

2.2.7. Requerimientos de agua de servicios.

Aunque el agua de los inyectores de los condensadores puede considerarse como agua de servicio, usualmente existe sobreflujo de agua de estos sistemas de enfriamiento debido a la condensación directa que ocurre y ellos generan un excedente de agua, más que requerir entrada adicional de agua.

2.3. Agua cruda

Muchas fábricas tienen acceso a una fuente de agua cruda, por ejemplo de un río, la cual puede usarse para lavados o durante el arranque para proporcionar un suministro inicial de agua. El uso de fuentes externas debiera mantenerse en un mínimo, ya que su uso inflará la cantidad de agua a ser desechada posteriormente. Es posible para a fábrica existir sin un suministro externo partiendo de un manejo cuidadoso de los circuitos de agua.

2.4. Agua tratada.

Frecuentemente las fábricas tienen una planta de tratamiento de agua para tratar el agua cruda y llevarla a los estándares de agua potable y uso doméstico. Esta agua o la de suministro de agua doméstica es preferible al agua cruda en la fábrica si fuera necesario utilizar una fuente externa de agua, por ejemplo, para suavizar agua para la alimentación a las calderas.

2.5. Sistema de enfriamiento de agua de servicios.

Se requiere de agua de enfriamiento para los cojinetes de las turbinas y los enfriaderos de aceite. Para ello frecuentemente se emplea agua de calidad de un solo paso, pero una mejor solución hace uso de un pequeño sistema dedicado de torre de enfriamiento. No debiera combinarse con otros sistemas de enfriamiento que pueden estar contaminados con azúcares debido a que estos sistemas de enfriamiento son vitalmente importantes y deben estar libres de crecimiento o acumulación potenciales de biomasa en el sistema.

También pueden ser utilizados sistemas de enfriamiento separados para enfriamiento de cristalizadores, por razones similares, son altamente indeseables la incrustación de elementos del cristizador y particularmente la corrosión causada por la degradación de azúcares en el sistema. La cantidad de agua de enfriamiento utilizada es significativa, pero un sistema cerrado para esta tarea tiene un efecto despreciable en el balance de agua debido a que la carga calórica no es alta.

Usualmente se suministra agua para las bombas de vacío del circuito de agua de enfriamiento del condensador, aunque puede instalarse una torre de enfriamiento para esta labor, particularmente para asegurar un suministro de agua fresca en todas las condiciones.

2.6. Agua para remoción de cenizas.

La remoción de cenizas de las calderas frecuentemente incorpora sistemas de canaletas y/o conductores de ceniza sumergidos. Este sistema de agua generalmente está integrado con el sistema de filtros húmedos que incorpora un clarificador y algunas veces un filtro de banda para desaguar la ceniza y el hollín de la caldera para producir una torta de menor humedad y más fácil manejo. Para esto se emplea agua de una fuente de baja calidad. Esto es necesario para reemplazar el agua evaporada en los filtros húmedos debido a los gases calientes de combustión y a la presencia de agua en el hollín y/o cenizas eliminados del sistema.

2.7. Balance de agua.

En la mayoría de las fábricas de azúcar es posible realizar un balance global, así como balances internos en los que agua y condensados son recirculados y reutilizados para el proceso y otros propósitos.

A partir del balance global puede mostrarse que aproximadamente de un 20 a un 30% del agua que ingresa con la caña, es un excedente que finalmente tendrá que ser desechado de la fábrica. Cualquier otra cantidad de agua cruda agregada a las instalaciones de la fábrica aumentará esa cantidad en proporción igual al agua cruda agregada, (Urbaniec et al, 2000) y (Yoo et al, 2006). En cuanto más eficiente energéticamente sea una fábrica, mayor será el excedente producido. Todas las fábricas están calibradas de diferente manera y el balance de agua puede mostrar grandes variaciones entre una fábrica y otra. Esta tabla muestra que aunque no se agregue agua adicional a la fábrica, todavía existe un excedente de agua para desechar.

El excedente de agua se puede expresar como:

$$\text{Excedente, (t/h)} = (m_C * w_{wC} / 100 - (m_B * w_{wB}) / 100 - (m_{FC} * w_{wFC}) / 100 - (m_{Mol} * w_{wMol}) / 100 - m_C * C_1 * m_E$$

$$m_E = c_2 * (m_{DS,Sy} * c_3 + m_{V,N})$$

donde el factor C_1 representa el total de las pérdidas menores (ítems 4-8 y 10) de las corrientes de agua de salida en la tabla 2, las cuales pueden representarse como 0,10 t/tC), m_E es la evaporación en la torre de enfriamiento en t/h, c_2 representa la fracción de vapor condensado que se evapora en la torre de enfriamiento (aquí se asume que es 0,85) y c_3 representa el vapor de la disolución de sólidos utilizado en los tachos (del orden de 1,15) . Asumiendo valores promedio para el bagazo, cachaza melaza con respecto a la caña, la ecuación anterior puede simplificarse a:

$$\text{Excedente, (t/h)} = (m_C * w_{wC} / 100 - m_C * c_4 - m_C * C_1 - m_E$$

Donde c_4 tiene un valor promedio de 0,20 t/tc. Asumiendo 70 kg de humedad /100 kg de caña y utilizando un valor de 0,1 para c_1 se llega a una relación más simple:

$$\text{Excedente, (t/h)} = 0,40 * m_C - m_E$$

Esta es una relación muy aproximada, pero ilustra que el excedente depende de las cantidades relativas de caña y de evaporación en las torres de enfriamiento.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El balance detallado en la sección anterior, asume un sistema de agua de enfriamiento reciclado. Un sistema de un solo paso eliminará el vapor que se dirige a los condensadores desde el sistema. En la tabla 2, la evaporación mencionada en el ítem 9 representa 113 t/h, pero en un sistema de un solo paso las pérdidas debido a la evaporación y al desplazamiento desaparecen. El resultado neto es un excedente reducido de 60t/h, aunque aún así, existe excedente.

Tabla 2. Balance de agua global para una fábrica de 10 000 t caña/d

<i>Entrada de agua</i>	<i>t/h</i>	<i>Salida de agua</i>	<i>t/h</i>
1. En caña	294,6	1. En bagazo hacia calderas	63,3
Ton de caña/h	417	kg humedad/100kg bagazo	51
kg fibra/100 kg caña	14	kg SD/100 kg bagazo	2
kg SD/100 kg caña	15,3		
2. Agua suavizada a calderas	0,0	2. En cachaza	14,6
		kg cachaza/100kg caña	5
		kg de humedad/100 kg cachaza	70
3. Agua cruda a fábrica	0,0	3. En mieles	3,2
		kg mieles/100kg caña	3,5
		kg SD/100 kg mieles	78
		4. Evaporación de la planta de extracción	4,2
		Evaporación % caña	1
		5. Purga de calderas	5,2
		t vapor/100 t caña	50
		Vapor producido HP	208,3
		t sopladadas/100 t vapor	2,5
		6. Flasheo en jugo crudo	2,7
		t jug/100 t caña	120
		temperatura jugo calentado °C	103
		7. En ceniza de caldera/hollín	4,4
		t hollín/100t caña	1,5
		Kg humedad/100 kg hollín	70
		8. Evaporación en filtros húmedos	20,8
		9. De piscina de enfriamiento: evaporación	95,7
		Evaporación en tachos t/h	64
		Vapor de aparejos t/h	2,5
		Evaporación ultimo efecto t/h	46,1

	10. De piscina de enfriamiento:	2,0		
	pérdida por arrastre			
	Temp. de entr. agua de inyección °C	30		
	Temp. de sald. agua de inyección °C	47,7		
	Flujo de agua de inyección a molinos t/h	3949		
	Flujo de agua de inyección desde molinos t/h	4069		
Total	294,6	Total	216,1	
Excedente total, t/h	78,5			
t excedente/100t caña	18,8			

El balance de agua en estado estable mostrado en la tabla 2, puede ser muy diferente de la situación real de arranque o paro o durante períodos de paradas ya sean programadas o no de la fábrica. Estas muy frecuentemente llevan a cantidades mayores de efluentes líquidos debido a los lavados o a la limpieza de evaporadores.

Esto no toma en cuenta el lavado de la caña, lo que complica la situación considerablemente debido a los altos consumos de agua involucrados en las fábricas que realizan este lavado. Existen fabricas de azúcar en las que se ha medido este consumo y se ha determinado que el mismo se puede encontrar en una relación entre 1 y 10 veces la relación de molienda de caña, es decir, una relación de consumo de agua mucho mayor que cualquiera de las corrientes mostradas en la tabla 2. Una complicación adicional es el hecho de que una cantidad significativa del agua de lavado queda atrapada en la caña e ingresa al área de extracción. El agua atrapada puede encontrarse en el orden de las 10t/100 t de caña.

3.1. Tratamiento de efluentes

3.1.1. Sistema de manejo de excedentes de agua.

Todas las fábricas tienen un excedente de agua que deben desechar. Una de las opciones es desechar esta agua mediante el riego en los campos mezclando esta agua con el agua normal de riego monitoreando las descargas. Otras fábricas tienen piscinas en donde colectan toda el agua excedente durante la época de cosecha y tratada posteriormente durante la época de no cosecha. Esta es una opción solo para fábricas con temporadas cortas de cosecha.

En todos los casos si debe quedar claro que el agua antes de reusarse o retornarse a una corriente de agua el agua deberá ser tratada. Debe hacerse un control y esfuerzo para reducir la cantidad y la concentración de sustancias disueltas en el efluente.

3.1.2. Cantidad de agua excedente a ser tratada

La forma más eficiente en cuanto a costos para tratar con un problema de excedente de agua o de desecho de efluente es reducir esta cantidad a un mínimo. el tratamiento de efluentes es un costo in valor agregado y pagara el mantener el tamaño del problema tan pequeño como sea posible. Como lo muestra el balance de agua, es imposible eliminar el excedente de agua. Debido que el efluente frecuentemente tiene materia suspendida,

se deben utilizar medidores especiales para medir la cantidad de efluente. El uso excesivo de agua para limpieza debe ser restringido.

Purchase (1995), reporta que muchas fábricas sin lavado de caña producen un promedio entre 0,2 y 0,3 t de efluente/ t de caña molida.

Se han descrito esfuerzos Rein (2007) así como (Jensen y Schumann, 2001), para reducir la cantidad de efluente. Jensen y Shumann describen el trabajo para obtener una situación de “cero efluente”, que no debe confundirse con cero excedente, Figura 3.



Figura 3. Sistema de manejo de agua en fábrica para permitir que únicamente el condensado sea descargado como excedente. (Jensen y Schumann, 2001)

Su enfoque involucra reciclar las corrientes con contenido de azúcar o contaminadas en la planta de tal forma que el excedente de agua a la fábrica sea un condensado limpio y no un efluente. Este objetivo es alcanzado de sobra utilizando agua reciclada en lugar de condensado de imbibición. Pero esto presenta dos desventajas. Primero, el reciclar las corrientes contaminadas al proceso introduce el riesgo de elevar la contaminación dentro del sistema, lo que conlleva a incrementos en las pérdidas microbiológicas y una mayor carga de impurezas lo que ocasiona una mayor cantidad de melaza o lo que lo mismo, mayores pérdidas de azúcar en melaza. Segundo, el condensado no es limpio y contiene cantidades sustanciales de etanol, lo que presenta una mayor DQO por lo que necesita aún de tratamiento antes de desecharlo.

Los métodos a través de los que el efluente puede ser reducido se resumen a continuación:

- Reducir la cantidad de agua fresca hacia la fábrica, cada tonelada de agua llevada hacia la fábrica desde una fuente externa (toda el agua aparte de la contenida en la caña), incrementa la cantidad de efluente en exactamente la misma cantidad
- Cerrar todos los sistemas de torres de enfriamiento todo enfriamiento de un paso
- Utilizar el condensado excedente o el sobreflujo de las torres de enfriamiento para limpiezas/lavados
- Corregir filtraciones de drenajes y retornarlas al proceso
- Reducir el lavado de caña a un mínimo
- Utilizar condensado limpio como reposición en torres de enfriamiento pequeñas
- Utilizar los excedentes de la torre de enfriamiento y los condensados para reponer la evaporación que ocurra en los filtros de agua de la chimenea.

3.1.3. Calidad de la corriente de agua excedente

Los efluentes de una fábrica de azúcar son no tóxicos y la mayoría biodegradables ya que los sustratos disueltos son mayoritariamente orgánicos por naturaleza. Esto hace del tratamiento en sitio de los efluentes una propuesta factible. Un efluente altamente contaminado por definición implica grandes pérdidas para la fábrica.

El efluente de una fábrica puede ser variable, siendo mucho más alto luego de una parada por limpieza aunque generalmente tiene una DQO en el rango de 2000 a 5000 mg/kg. Los componentes mayoritarios en el efluente son por supuesto azúcares aunque incluye compuestos inorgánicos disueltos y etanol y generalmente también algunos sólidos suspendidos, particularmente pequeñas partículas de bagazo.

3.2. Caso de Estudio. Manejo de agua en una fábrica de azúcar crudo.

Para finalizar el estudio que se ha realizado en cuanto al manejo y consumo de agua en fábricas de azúcar, en la siguiente tabla se muestran los resultados en cuanto al consumo de agua en dos esquemas tecnológicos. El primero, representa una fábrica en la que todo el jugo extraído en el tándem es empleado en la fabricación de azúcar y el segundo el cual se ha denotado como (con desvío), se refiere a una fábrica donde los jugos del 3er y 4to molino y el de los filtros se destinan a la producción de alcohol, mientras el resto, es decir los jugos más ricos se utilizan para la producción de azúcar.

Tabla 3. Resultados del balance de agua por bloques tecnológicos

	<i>Sin desvío de jugo</i>	<i>Con desvío de jugo</i>
	<i>t/h</i>	<i>t/h</i>
Equivalente en caña molida	89,6	69,88
Azúcar producida	8,62	6,71
Rendimiento (t caña /t azúcar)		10,41
<i>Molienda</i>		
Jugo de caña	77,95	60,79
Agua de imbibición	26,88	20,96
Agua en bagazo	5,82	4,54
Jugo mezclado	99,01	77,21
Agua de limpieza		0,458
Agua consumida en molienda	27,31	21,41
<i>Purificación</i>		
Agua en alcalización	2,97	2,31
Jugo alcalizado	101,98	79,52
Jugo de los filtros	20,39	20,39
Agua de lavado en los filtros	3,67	3,67
Agua cachaza	3,36	3,36
Jugo clarificado	102,29	79,82
Agua consumida en purificación	6,64	5,98
<i>Múltiple efecto</i>		
Masa de vapor calentador jugo	2,31	1,81

clarificado		
Masa de vapor calentador jugo mezclado (calentador 1)	3,38	2,63
Masa de vapor calentador jugo mezclado (calentador 3)	1,69	1,32
Masa de vapor calentador jugo mezclado (4)	3,72	2,90
Jugo a destilería	-	17,16
Masa de vapor calentador de jugo a destilería	-	0,52
Condensado de los calentadores	11,10	9,18
Agua generada (masa de agua generada producto de la evaporación)	78,76	61,46
Tachos		
Consumo de vapor en tachos	17,02	13,28
Agua condensada en tachos	16,50	12,88
Dilución de mieles		
toneladas de meladura	9,23	7,20
agua para dilución de miel A	2,03	1,58
toneladas de miel B	5,73	4,47
agua dilución miel B	1,26	0,98
agua total consumida para dilución de mieles	3,29	2,56
Centrifugación		0,40
Balance de agua del proceso de extracción		
Generada en evaporación	78,76	61,46
Condensados calentadores	11,1	9,18
Generada en tachos	16,50	12,88
Consumida en molienda	27,34	21,41
Consumida en purificación	6,64	5,98
Consumida en dilución de mieles	3,29	2,56
Consumida en centrifugación		0,40
Sobrante	69,09	53,17

Del análisis de la tabla anterior se puede observar que en los dos escenarios evaluados del proceso de producción de azúcar, el proceso debe ser suficiente para suplir sus requerimientos de agua y de hecho aportar agua para otros circuitos como es el circuito de agua de enfriamiento de equipos.

Es importante hacer notar que en este proceso se puede recuperar agua como condensado en los calentadores de jugo, pre-evaporadores y tachos. Esta agua en dependencia de sus características puede ser recirculada a diferentes etapas del proceso. Del análisis realizado en el laboratorio a los azúcares presentes en los condensados que pueden recuperarse, se obtuvieron las calidades de estas aguas, tabla 4.

Tabla 4. Consumo y entrega de agua de ambas calidades por bloques tecnológicos

<i>Bloque</i>	<i>Agua de buena calidad</i> <i><10ppm (azúcares)</i>		<i>Agua contaminada</i>	
	<i>Consumo,</i> <i>t/h</i>	<i>Entrega, t/h</i>	<i>Consumo,</i> <i>t/h</i>	<i>Entrega,</i> <i>t/h</i>
Molienda	-	-	21,41- 27,34	-
Purificación	-	-	5,98-6,64	-
Calentadores	-	-	-	9,18-11,1
Evaporador múltiple efecto			-	-
Pre 1	-	22,53-24,83	-	-
Pre 2	-	20,90-23,01	-	-
Vaso 1	-	16,74- 21,47	-	-
Vaso 2	-	-	-	6,46-8,28
Vaso 3	-	-	-	5,26-6,74
Condensado evaporación V3	-	-	-	5,53-7,09
Tachos	-	12,88-16,50	-	-
Dilución de mieles	-	-	2,56-3,29	-
Centrifugación	-	-	0,4	-
Total		73,05- 85,81	30,35- 37,67	17,25- 22,11
Saldo Consumo				30,35- 37,67
Saldo Entrega				90,3- 107,92

Como se ha podido ver el área más importante en cuanto al manejo del agua en el proceso es el sistema de evaporación, debido a que produce vapor vegetal, el cual es utilizado en otros equipos tecnológicos como por ejemplo calentadores de jugo, tachos, vapor a la destilería.

4. CONCLUSIONES

1. La caña de azúcar consiste en aproximadamente 70% de agua, por lo que la fábrica procesa más agua que azúcar, además de un 20 - 30% del agua que ingresa con la caña constituye un excedente que finalmente tendrá que ser desechado.
2. Los condensados recuperados serán la primera opción para el agua de alimentación a calderas y las cantidades de los diferentes tipos son dependientes de la configuración de evaporadores y del grado en que se presenten las extracciones de vapor.
3. Los condensados pueden tener trazas de azúcar así como pequeñas cantidades de etanol, ácidos orgánicos volátiles, tales como ácido fórmico y acético, así como amoníaco.

4. Nunca debe utilizarse agua no suavizada para la alimentación de calderas. Cuando la presión de la caldera es superior a 40 bar(g) se requiere de una completa desmineralización del agua de reposición.
5. Tanto cuando se emplea todo el jugo en la fabricación de azúcar o una parte es destinado a la fabricación de alcohol, el proceso es suficiente para suplir sus requerimientos de agua y de hecho aportar agua para otros circuitos como el de enfriamiento de equipos.
6. El área más importante en cuanto al manejo del agua en el proceso es el sistema de evaporación, en éste produce vapor vegetal, que es utilizado en otros equipos tecnológicos como por ejemplo calentadores de jugo, tachos, vapor a la destilería y cuanto más eficiente energéticamente sea ésta área, mayor será el excedente producido.
7. El efluente de una fábrica puede ser variable, siendo mucho más alto luego de una parada por limpieza aunque generalmente tienen una DQO en el rango de 2000 - 5000 mg/kg. y la opción óptima considera un tratamiento anaeróbico seguido de un tratamiento aeróbico, particularmente cuando es necesario descargar hacia un cuerpo acuífero.

REFERENCIAS

- Honig, P., Principles of sugar technology., Elsevier Publishing company, New York, 1953.
- Jensen, C., Schumann, G., Implementing a zero effluent philosophy at a cane sugar factory., Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol., Vol. 24, 2001, pp.74-79.
- Kumana, J., Water Pinch Success Story At Solutia's Krummrich Plant., Proceedings from the Twenty-second National Industrial Energy Technology Conference., Houston, TX, April 5-6, 2000.
- Lavarack, B., Reducing process steam usage? What will happen to the water balance? Proc. Aust. Sugar Cane Technol., Vol. 23, 2001, pp. 410-415.
- Purchase, B.S., Disposal of liquid effluents from cane sugar factories., Proc. Int. Sug. J., Vol. 98, No. 1167, 1995, pp. 100-109.
- Rein, P., Cane Sugar Engineering, ISBN 978-3-87040-110-8. Berlin, Germany, www.canesugarengineering.com, 2007.
- Tomaszewska, A., Environment-friendly Water and Wastewater Management in Sugar Factories, Part I: Water Management in the Sugar Industry, Warszawa, Fundacja Rozwoj SGGW., 1998.
- Urbaniec, K., Zalewski, P. and Kleme, J., Applications of process integration methods to retrofit design for Polish sugar factories, Sugar Industry/Zuckerindustrie, Vol. 125, 2000, pp. 439-443.
- Yoo, K., Lee, T., Jung, H., Hang, Ch., Water Reuse Network Design in Process Industries: State of the art. Monograph (Eco-Industrial Park Workshop), 2006.