

Integración de la red de agua en una ronera cubana

Bexy González Mora¹; Osney Pérez Ones²; Lourdes Zumalacárregui de Cárdenas³ y Junior Lorenzo Llanes⁴

^{1,2,3,4} Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría"; La Habana, Cuba.

¹ osney@quimica.cujae.edu.cu

² bexy@quimica.cujae.edu.cu

³ lourdes@quimica.cujae.edu.cu

⁴ junior@quimica.cujae.edu.cu

Recibido: 7 dic. 2017

Aceptado: 15 abr. 2018

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza el balance de agua en una ronera cubana, determinándose los flujos de agua de todas las corrientes del proceso. A partir de la aplicación del Análisis Pinch como método de integración de agua, se presentan dos alternativas para el uso de los condensados provenientes de la concentración de vinazas: 1) basada en el reúso de los condensados como agua de dilución de miel y 2) basada en el reúso con regeneración por neutralización de los condensados con NaOH. Se obtuvieron las curvas compuestas de las fuentes y las demandas con la ayuda de Microsoft Excel. En la alternativa 1 se determinó un consumo mínimo de agua fresca de 21 067 kg/h y la reutilización de 2 832 kg/h de condensados de la etapa de concentración de vinazas. En la alternativa 2 el consumo mínimo de agua fresca fue de 18 236 kg/h y se logró reutilizar 5 664 kg/h de condensados. Para el rediseño de la red de agua se empleó el algoritmo del vecino más cercano, lográndose reducir el vertimiento de condensados a 7 668 kg/h en la alternativa 1 y a 4 836 en la 2, lo que representa un 27% y un 54% respectivamente con relación al caso base. Se realizó la evaluación económica del conjunto de las propuestas resultando más ventajosa la alternativa 2 con el ahorro de 8 055 \$/año.

PALABRAS CLAVE: Integración; Pinch; Vinazas; Condensados

ABSTRACT

Integration of the water network in a Cuban rum. Water integration in a Cuban rum factory. In the present paper the water balance in a Cuban rum factory is carried out, determining the water flows of all the streams of the process. By the application of the Pinch Analysis as a water integration method, two alternatives for the use of condensates from the concentration of vinasses are presented: 1) based on the reuse of the condensates as molasses dilution water and 2) based on reuse with regeneration by neutralization of condensates with NaOH. The composite curves of the sources and the demands were obtained from Microsoft Excel. In alternative 1, a minimum fresh water consumption of 21 067 kg / h and the reuse of 2 832 kg / h of condensates from the vinasse concentration stage were determined. In alternative 2, the minimum consumption of fresh water was 18 236 kg / h and 5,664 kg / h of condensate were reused. For the redesign of the water network, the algorithm of the nearest neighbor was used, managing to reduce the discharge of condensates to 7 668 kg / h in alternative 1 and 4 836 in alternative 2, which represents 27% and 54% respectively in relation to the base case. The economic evaluation of all the proposals was made, with the alternative 2 being more advantageous, saving \$ 8 055 / year.

KEYWORDS: Integration; Pinch; Vinasses; Condensates

INTRODUCCIÓN

El etanol es un producto de gran utilidad derivado de la caña de azúcar. Sus múltiples aplicaciones hacen que tenga una gran demanda, por lo que resulta importante el incremento de su producción de manera eficiente. En la producción de alcohol se tiene un alto consumo de vapor (300-600 kg/hL) y una demanda muy baja de energía eléctrica (12-18 kW.h/hL) en dependencia del tipo de etanol producido (Espinosa y otros, 2012; Pérez, 2011).

La separación y recuperación del alcohol producido a partir de diferentes materias primas se realiza en columnas de destilación. El principal objetivo de la operación de destilación es separar el etanol presente en el vino producto de la fermentación y elevar su pureza (Gómez y otros, 2011).

De la fermentación y destilación de las mieles de caña de azúcar se obtiene el aguardiente, que para los cubanos significa aguardiente de caña, destacándose por su transparencia y agradable aroma. Los rones se producen por la mezcla de alcoholes y aguardientes destilados en sistemas de columnas continuas, a partir de mostos fermentados obtenidos de las melazas provenientes de la fabricación del azúcar de caña, que se añejan en barriles de roble blanco por períodos de tiempos definidos en dependencia del tipo de ron (Gallardo, 2000).

Con el florecimiento de la industria ronera cubana en el siglo XIX se sientan las bases para la producción de uno de los mejores rones del mundo: Havana Club. Esta bebida ha alcanzado un alto grado de calidad, identificándose por su aroma definido y constante, por su poca acidez en el sabor y por no presentar picor exagerado, convirtiéndose en un importante renglón de exportación (López, 2010). Dada la alta demanda de sus rones, en la actualidad, Cuba trabaja en el mejoramiento continuo de su calidad, en el incremento de la eficiencia energética y en reducir los efectos negativos al medio ambiente.

Para la realización de este trabajo se seleccionó una ronera cuya planta de destilación está compuesta por tres áreas fundamentales, el área de fermentación, la de destilación y la de evaporación, teniendo como función principal la producción de aguardiente fresco de caña y la concentración de vinaza. Este último proceso es único en el país. La naturaleza de la miel, el agua de proceso utilizada y la tecnología instalada hacen que se presenten situaciones adversas que se han de solucionar.

El uso de los condensados extraídos en la concentración de la vinaza como medio de enfriamiento en los condensadores de cobre de la columna de aguardiente, ha generado un alto grado de corrosión en los mismos. Esto ha motivado el recambio total o parcial de los condensadores. Al surgir esta problemática fue necesario discontinuar el uso de condensados en los condensadores e implementar un sistema de enfriamiento para esta área a partir del uso de agua fresca de pozos existentes en la planta, por lo que el efluente de condensados hacia las lagunas de tratamiento de residuales se incrementó con esta modificación. Es por ello que este trabajo tuvo como objetivo aplicar técnicas de integración de agua en la ronera para encontrar una solución que permita el reúso de los condensados extraídos que quedan disponibles en el proceso de concentración de la vinaza.

MATERIALES Y MÉTODOS

Posibilidad de reúso de los condensados extraídos a las vinazas

Se operó siguiendo una metodología de trabajo que tiene en cuenta los siguientes pasos (Wan Alwi y Manan, 2013):

1. Análisis de la red de agua
2. Extracción de datos
3. Determinación de los consumos mínimos teóricos
4. Diseño y rediseño de la red de agua
5. Evaluación económica de las alternativas

Análisis de la red de agua

El sistema de obtención y distribución del agua industrial en la ronera seleccionada para el estudio comienza con la recepción de agua proveniente de los pozos existentes en la fábrica. Una porción de esta se dirige a un tanque destinado a mantener la operación segura del sistema contra incendios y el resto entra a la planta de tratamiento de filtración-cloración. Luego toda esa agua se impulsa por una bomba hacia un tanque, para la posterior distribución de esta a los diferentes puntos de consumo de la fábrica: preparación de la materia prima, servicios auxiliares, torres de enfriamiento y otras áreas.

Uno de los servicios auxiliares que posee la entidad es el tratamiento del agua para la obtención de agua suavizada y purificada. El proceso de purificación del agua se lleva a cabo mediante una ósmosis inversa de dos etapas, con el objetivo de retener los contaminantes como sales, ácidos y otros compuestos, en una membrana semipermeable. El agua obtenida en la segunda ósmosis se utiliza en la producción de ron y el agua de primera ósmosis abastece fundamentalmente a las calderas del área de generación de vapor. Otro servicio auxiliar es la generación de vapor,

cuya agua proveniente de la planta de ósmosis es la que se alimenta a los tres generadores de vapor, los que a su vez suministran el vapor de agua necesario para la realización de los procesos que lo requieran. Además del agua que entra a la fábrica por los pozos existentes, se dispone de un flujo de condensados de la etapa de concentración de vinazas, el cual se reutiliza como medio de enfriamiento en condensadores del área de destilación y en el enfriamiento de los condensados al finalizar la etapa de concentración de vinazas; el resto se vierte hacia las lagunas.

En la Figura 1 se muestra el esquema realizado para conocer cada corriente y el trasiego del agua en la ronera. El número de cada corriente del esquema se corresponde con el de la Tabla 1 donde se da a conocer el balance realizado además de otras características y propiedades de cada corriente.

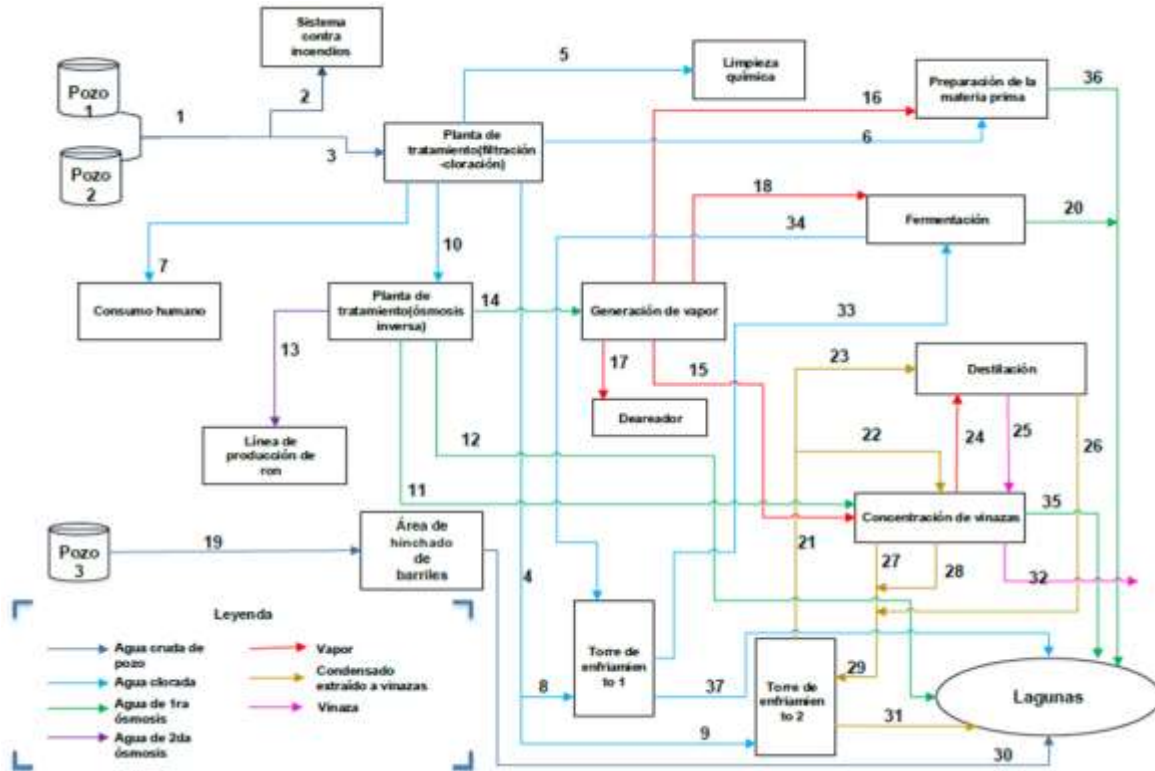


Figura 1. Diagrama hidráulico de la ronera

Con el empleo de flujómetros en los distintos puntos de la planta y balances de materiales realizados, se pudieron determinar los flujos de agua de las corrientes, tanto de las demandas como de las fuentes (Anexo 1).

Extracción de datos

Uno de los posibles usos de los condensados extraídos a las vinazas pudiera ser la dilución de la miel. Para ello hay que tener en cuenta el grado de acidez admisible, de forma tal que no se afecte el proceso fermentativo. Además, es posible continuar su uso en los condensadores, pero no en su totalidad como se opera actualmente, sino una parte de ellos. Para llevar a cabo el estudio de integración de agua es necesario conocer los compuestos que forman parte de los condensados para así determinar cuál es el contaminante principal que pudiera ocasionar la corrosión en los condensadores.

La vinaza es un ácido orgánico débil y su corrosividad no depende tanto del pH como de la concentración total de ácidos o acidez total. En este caso un aumento de la concentración y de la temperatura trae un aumento de la corrosión de cualquier metal en contacto con ella, teniendo mayor efecto a la temperatura de ebullición (Pérez y Garrido, 2007). Por ejemplo, el acero ferrítico en el mosto a temperatura de ebullición tiene una velocidad de corrosión entre 20 y 50 mm/año para concentraciones entre 8 y 50 °Brix y en cobre y acero inoxidable (18 % Ni, 8 %

Cr) tiene una velocidad de 0,1473 mm/año y 0,1235 mm/año respectivamente.

El tiempo de vida útil para el cual se diseñaron los condensadores del área de destilación es de 30 años y los tubos de cobre que se encuentran en su interior poseen un espesor de 1,2 mm, por lo que se puede determinar el valor de la velocidad de corrosión que permita operar sin dificultad un tiempo equivalente al tiempo de vida útil de los equipos mencionados. El cálculo se realiza mediante la ecuación 1:

$$v_{\text{corrosión}} = \frac{\text{Espesor inicial} - \text{Espesor final}}{\text{tiempo}} \quad \left[\frac{\text{mm}}{\text{año}} \right] \quad (1)$$

También se conoce que dentro de los parámetros más significativos y comunes para calificar las mieles finales para su posterior uso en fermentación se tiene que la acidez total no debe estar por encima del 0,7 % peso (**Estévez, 2014**), cuyo valor equivale a una concentración de ácidos en la miel de 8,54 mg/L (Rodríguez, 1974).

La composición y concentración de compuestos orgánicos en los condensados, es función de las características de las vinazas. La carga orgánica varía entre 2 500 mg/L (2 500 ppm) y 6 000 mg/L (6 000 ppm). En la Tabla 1 se muestra un análisis típico con parámetros analíticos (Perera, 2011).

Parámetro	Valor	Unidad
Contenido de etanol	Ausente	% v / v
Ácido acético	2 705	mg/L
Ácido propiónico	223	mg/L
Ácido butírico	429	mg/L
Ácido isobutírico	59	mg/L
Ácido isovalérico	47	mg/L
Ácido valérico	18	mg/L
Acidez total	3 481	mg/L

Tabla 1: Parámetros analíticos de los condensados extraídos

En la alternativa 1 se analiza la posibilidad de reutilizar los condensados extraídos a la vinaza conociendo su acidez total, sin embargo, en la alternativa 2 se pretende realizar el mismo análisis una vez neutralizados estos condensados con 234 L/d de NaOH, conociendo previamente que con este volumen de NaOH, la acidez total de los condensados disminuye hasta 1 740 mg/L.

Determinación de los consumos mínimos de agua

La determinación de los requerimientos mínimos teóricos de agua es el tercer paso para la integración de la red de agua. Se trazaron las curvas compuestas de las fuentes (CCF) y de las demandas (CCD) con la ayuda de Microsoft Excel. Para la construcción de estas curvas compuestas en el presente trabajo se siguió la metodología presentada por (**Prakash y Shenoy, 2005**), para operaciones a flujo fijo. Primeramente, se ordenaron las fuentes y las demandas en forma creciente de sus concentraciones teniendo como datos ya obtenidos los valores tanto de la carga contaminante como el flujo acumulado. Luego se graficó la carga contaminante acumulada contra el flujo acumulado para cada grupo de corrientes.

Rediseño de la red de agua

Una vez que los requerimientos mínimos se han determinado, el siguiente paso es el diseño de la red. Para ello se emplea el algoritmo del vecino más cercano. El mismo plantea que: para satisfacer un sumidero en particular, de las fuentes disponibles se escogen las vecinas más cercanas en términos de concentración (Prakash & Shenoy, 2005). Para determinar las cantidades de cada una de las fuentes se debe resolver el sistema de ecuaciones (balance total y balance de contaminante) dado por las ecuaciones 2 y 3:

$$F_{Sk,Dp} + F_{S(k+1),Dp} = F_{Dp} \quad (2)$$

$$F_{Sk,Dp} * C_{Sk} + F_{S(k+1),Dp} * C_{S(k+1)} = F_{Dp} * C_{Dp} \quad (3)$$

Donde:

k, p : Índices para denotar los números de las fuentes y demandas respectivamente

$F_{Sk,Dp}$: Flujo de agua de la fuente k a la demanda p [kg/s o kg/h]

F_{Dp} : Flujo de la demanda p

C_{Sk} : Concentración de la fuente k [kg_{contaminante}/kg_{fuentes k}]

C_{Dp} : Concentración del sumidero p [kg_{contaminante}/kg_{demanda p}]

Análisis económico de las modificaciones

Para realizar los cálculos económicos que permitan evaluar desde este punto de vista las alternativas que se plantean anteriormente, es necesario determinar el costo de la inversión, así como los egresos relacionados con el consumo de agua, electricidad y recambio de tubos y condensadores. Para determinar el costo de la inversión necesaria para instalar y garantizar el buen funcionamiento de los equipos se aplica el método de Hand. Una vez determinado el costo de inversión se calculan los egresos obteniéndose previamente los costos que se muestran en la Tabla 2.

Costo del agua clorada (\$/m ³)	0,11
Costo de la electricidad (\$/kW h)	0,2283
Costo de condensadores E-20 (\$/equipo)	59 565
Costo de condensadores E-21 (\$/equipo)	24 312
Costo de tubos de condensadores (\$/tubo)	68

Tabla 2. Costos de los equipos cambiados y servicios auxiliares

También se necesitan otros datos para realizar la evaluación económica, los cuales se recogen en la Tabla 3.

Tiempo de operación (h/día)	24
Tiempo de producción (d/año)	180
Tasa impositiva (t, fracción)	0,35
Tasa de interés (%)	12
Tiempo de vida económica (años)	5

Tabla 3. Otros datos

Resultados y discusión

Resultados de la modificación para el reúso de condensados

Teniendo en cuenta que se quiere disminuir la velocidad de corrosión en los condensadores a 0,04 mm/año para garantizar que estos operen sin dificultad durante su tiempo de vida útil, sería necesario que los condensados a utilizar como medio de enfriamiento en los condensadores tuvieran una concentración máxima de ácidos igual a 930 mg/L.

En la Tabla 4 se muestra el resumen de los valores obtenidos de flujos y composiciones de las corrientes de agua de las fuentes y demandas de interés en la ronera. En el caso de las demandas de agua se presentan las concentraciones máximas que admiten los condensadores y la miel para ser diluida.

Corrientes	Concentración de ácidos (mg/L)	Flujo (t/h)	Carga contaminante (kg/h)	Flujo acumulado (t/h)	Carga contaminante acumulada (kg/h)
Demandas					
Dilución de miel	8,54	13,4	0,11	13,4	0,11
Condensadores de área de destilación	930	10,5	9,74	23,9	9,86
Fuentes					
Agua de pozo	0	0	0	0	0
Condensado	3 481 (alternativa 1)	15,26	53,12 (alternativa 1)	15,26	53,12 (alternativa 1)
	1 740 (alternativa 2)		26,55 (alternativa 2)		26,55 (alternativa 2)

Tabla 4: Flujos y concentraciones de las fuentes y demandas de agua

Teniendo en cuenta las fuentes y demandas de interés en la ronera para dar solución al problema de la corrosión de los condensadores y disminuir el consumo de agua para la dilución de mieles, se aplicó la metodología descrita anteriormente. La Figura 2 muestra las CCF y las CCD.

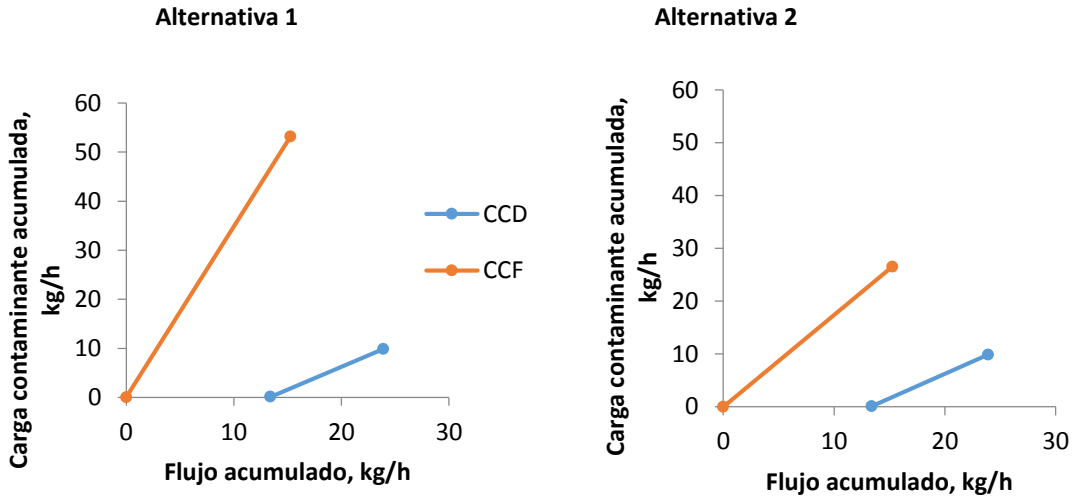
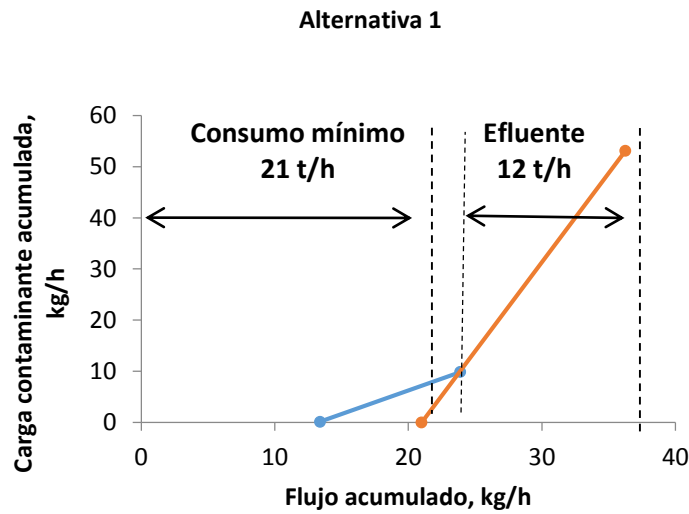


Figura 2. Curvas compuestas de las fuentes (CCF) y las demandas (CCD)

En cada punto de las curvas debe cumplirse que la carga de las fuentes debe ser menor o igual que la de las demandas, lo cual no se cumple en los gráficos de la figura 2. Para que las fuentes logren satisfacer las demandas es necesario el desplazamiento horizontal de la CCF hasta que se encuentre justo debajo de la CCD. Esto solo se logra agregando cierta cantidad de agua fresca mezclada con la de condensado, resultado que se muestra en la Figura 3.



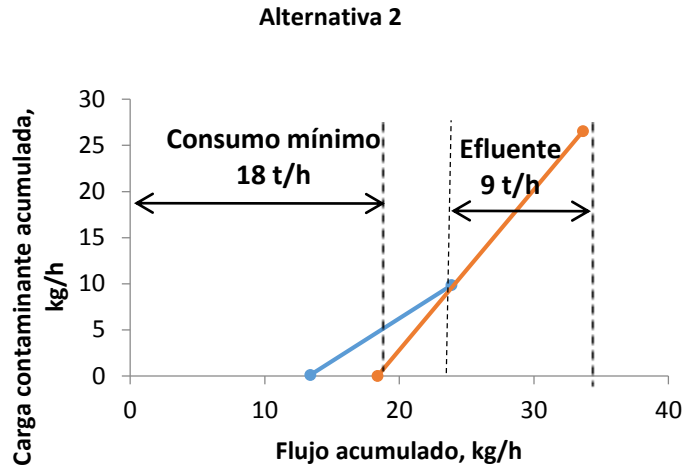


Figura 3. Curvas compuestas desplazadas

En la Figura 3 el punto de contacto entre ambas curvas representa el punto de máxima aproximación o punto Pinch de la red, que es una guía del mínimo desplazamiento horizontal que se debe realizar para lograr que la CCF esté por debajo de la CCD, lo cual indica el requerimiento mínimo de agua que puede existir donde la fuente supla todo el flujo de la demanda. Por otra parte, la porción no solapada de la CCF por la CCD representa el efluente.

En la gráfica correspondiente a la alternativa 1 se observa que existe un flujo de condensados que no es posible reutilizar. Esto se debe a su elevada concentración de ácidos y a que la concentración de estos compuestos orgánicos que se admiten en la miel es extremadamente pequeña, pues, en el proceso fermentativo se forma gran cantidad de ellos y el aguardiente tiene un valor límite de acidez. En el caso de la segunda gráfica existe también un efluente que no es posible reutilizar, sin embargo, es menor que en la alternativa 1, esto se debe a que al neutralizar los condensados con NaOH disminuye la concentración de ácidos lo que posibilita que puedan ser reusados en mayores proporciones para la dilución de miel y enfriamiento del aguardiente. A pesar de ser un flujo pequeño el que se recupera, se deja de verter al medio ambiente un total de 12 306 m³ de condensados anualmente en el primer caso y 24 617 m³/año en el segundo caso.

Para el rediseño de la red de agua, una vez aplicado el algoritmo del vecino más cercano se determinaron todos los flujos involucrados en el rediseño de la red. Al realizar el algoritmo se obtuvo el rediseño que se muestra en la Figura 4.





Figura 4. Rediseño de la red de agua

Luego de haber realizado el Análisis Pinch como método de integración de agua para las dos alternativas se determinó un consumo mínimo de agua fresca de 21 067 kg/h y la reutilización de 2 832 kg/h de condensados extraídos a las vinazas en el caso 1 y en el caso 2, se obtuvo que el consumo mínimo de agua fresca es de 18 236 kg/h y se logró reutilizar 5 664 kg/h de condensados. De los 10 500 kg/h que se verterían al medio ambiente producto de la sustitución de este flujo de condensados por agua fresca, con el rediseño de la red en la alternativa 1 se disminuyó a 7 668 kg/h y en la 2, a 4 836 kg/h; lo que representa un 27% y un 54% respectivamente.

En la Figura 5 se muestra cómo quedaría la distribución del agua en las áreas de destilación y concentración con las modificaciones propuestas en este trabajo. En la Tabla 5 se muestran los nombres de las corrientes enumeradas.

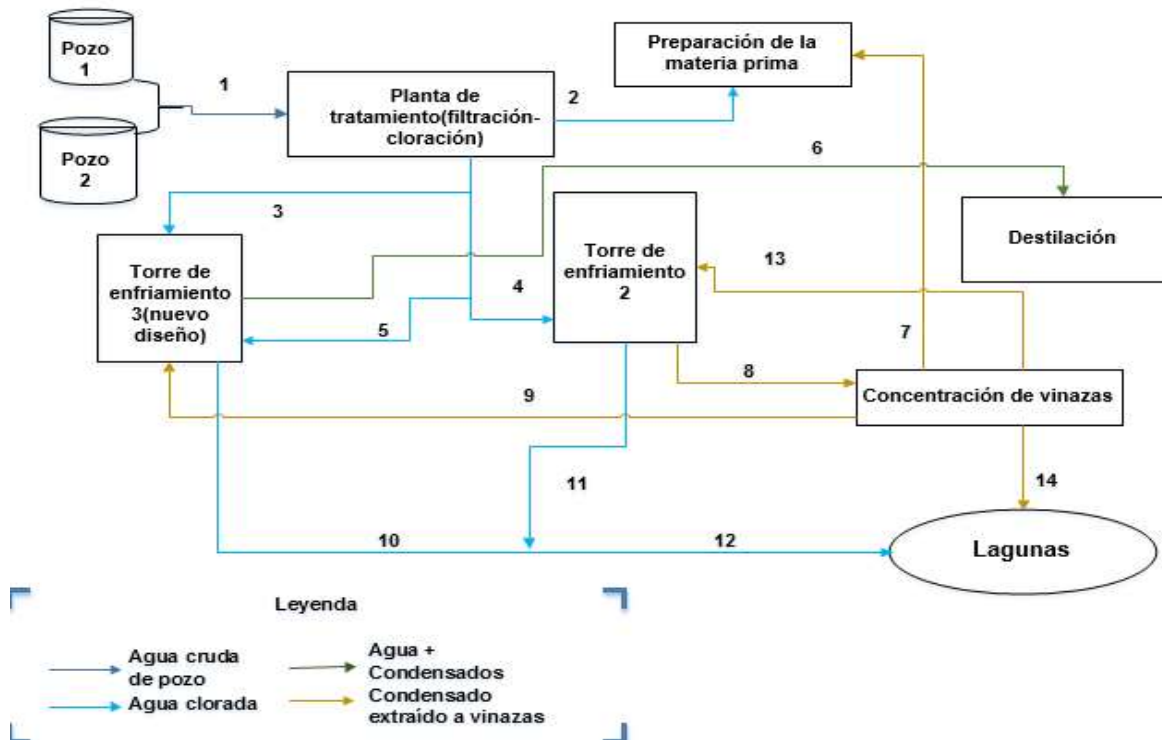


Figura 5. Modificaciones realizadas en la destilería de la ronera

No. corriente	Nombre de la corriente
1	Agua de pozo hacia la planta de tratamiento
2	Agua clorada para la dilución de miel
3	Agua clorada para la torre de enfriamiento diseñada
4	Agua de reposición para la torre existente anteriormente
5	Agua de reposición para la torre diseñada
6	Agua de enfriamiento (condensado + agua) para condensadores
7	Condensado extraído a la vinaza usado para dilución de miel
8	Agua de enfriamiento (condensado) usada en concentración de vinazas
9	Condensado usado como medio de enfriamiento en la torre diseñada
10	Agua purgada en la torre diseñada
11	Agua purgada en la torre existente
12	Total de purgas hacia lagunas
13	Condensado usado como medio de enfriamiento en la torre existente
14	Condensado hacia lagunas

Tabla 5: Nombres de las corrientes que se numeran en la figura 5

Evaluación económica de las modificaciones realizadas

Los resultados de la aplicación del método de Hand se muestran en la Tabla 6.

Instalando un sistema de enfriamiento	Costo (\$)
1 torre de enfriamiento	11 000
Usando el factor de Hand (1,2)	13 200
1 bomba	2 000
Usando el factor de Hand (2,8)	5 600
Costo de la inversión	18 800

Tabla 6. Resultados del método de Hand

En las condiciones actuales de la fábrica las pérdidas económicas están dadas por el deterioro corrosivo de los tubos y condensadores producto del uso de condensados extraídos a las vinazas como medio de enfriamiento. Esto trae como consecuencia que cada 6 años es necesario cambiar los tubos de los condensadores de cobre, sin embargo, estos equipos están diseñados para un tiempo de vida útil de 30 años. La Tabla 7 muestra las pérdidas ocasionadas por este problema.

Equipos sustituidos	Costo unitario (\$)	Cantidad	Costo (\$)
Tubos de cobre E-22	68	28	1 904
Tubos de cobre E-20	68	121	8 228
Condensador E-20	59 565	1	59 565
Condensador E-21	24 312	1	24 312
Monto total			94 009
Egreso anual			15 668 \$/año

Tabla 7. Egresos por reposición de tubos y condensadores

Para la determinación del resto de los egresos (electricidad y agua), se utilizaron los precios y costos obtenidos en la ronera, los cuales se muestran en la Tabla 3. En la Tabla 8 se reflejan los resultados de la evaluación económica de las alternativas propuestas en este trabajo, calculados en una hoja de Excel, donde se puede apreciar que ambas alternativas cumplen con todos los indicadores económicos establecidos.

Indicador	Alternativa 1	Alternativa 2	Análisis
Valor actual neto (VAN)	5 503 CUC	10 238 CUC	VAN>0
Tasa interna de rendimiento (TIR)	23%	32%	TIR>i (12%)
Plazo de recuperación del capital (PRC)	2,8 años	2,3 años	PRC<3 años
Retorno sobre la inversión (RSI)	36%	42%	RSI>33%

Tabla 8. Evaluación económica de las alternativas

Como las alternativas que se analizan son de ingresos, el VAN debe ser positivo y la alternativa más económica es aquella que tiene el mayor valor. En la **Tabla 9** se observa que las alternativas analizadas son económicamente ventajosas, obteniéndose los mayores beneficios en la alternativa 2, debido a que el flujo de agua fresca a utilizar es inferior al de la alternativa 1 y por tanto el egreso por concepto de compra de agua disminuye.

En ambos casos la TIR presenta valores por encima de la tasa a la cual la empresa puede obtener fondos (tasa de interés: 12%) y el RSI es superior al 33%, lo que denota que las inversiones son atractivas. En las alternativas la inversión se recupera mediante las utilidades netas obtenidas, en un tiempo inferior a tres años, demostrando la gran liquidez de las mismas.

CONCLUSIONES

1. Se propusieron dos modificaciones para el reúso de los condensados en la dilución de las mieles y como medio de enfriamiento en los condensadores aplicando la integración de agua y se obtuvo un consumo mínimo de agua de 21 067 kg/h en la alternativa 1 y 18 236 kg/h en la alternativa 2, logrando ahorrar 2 832 kg/h y 5 664 kg/h de agua respectivamente, lo que demuestra que la alternativa 2 es la más ventajosa desde el punto de vista ambiental.

2. Se realizó la evaluación económica de las modificaciones propuestas que requieren de una inversión de \$ 18 800, resultando más atractiva económicamente la alternativa 2, al obtenerse los siguientes indicadores: VAN = \$ 10 238, TIR = 32%, PRC = 2,3 años y RSI = 42%.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Espinosa, R., Castellanos, J., y Cuevas, M. (2012). Gestión energética eficiente a un proceso de producción de alcohol Fino A. *La Sociedad Académica*, 10 (39). Recuperado de: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar39/HTML/articulo04N.htm>
2. Estévez, R. (2014). Manual Tecnológico Industria Alcohola Cubana (Tema:Materias Primas). En ICIDCA (Ed.). La Habana.Cuba.
3. Gallardo, R. (2000). *El ron cubano y sus cocteles*. (Tesis profesional presentada como requisito parcial para obtener el título en Licenciatura en alimentos), Universidad de la Habana, Ciudad Habana. Recuperado de: <http://www.uh.cu/>
4. Gómez, D. P., Gutiérrez, A. P., Rangel, V. H., y Rivera, G. (2011). Comportamiento exergético de una torre de destilación productora de bioetanol. En: *Memorias del XVII congreso internacional anual de la SOMIM*, Salamanca, Gto., México.
5. López, N. (2010). *Evaluación del sistema de enfriamiento del área de soplado de botellas plásticas (PET) de la UEB Ronera Occidental*. (Trabajo de diploma para optar por el título de ingeniero químico), Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría"CUJAE
6. Perera, J. G. H. (2011). Alternativas de tratamiento de vinazas y economía del agua (pp. 11). Cruz Alta,Brasil.
7. Pérez, I., y Garrido, N. (2007). Aprovechamiento integral de vinazas de destilerías. Una revisión actual. En ICIDCA (Ed.). Ciudad Habana. Cuba.
8. Pérez, O. (2011). *Modelación, simulación y análisis con fines energéticos de destilerías de etanol hidratado*. (Tesis de doctorado), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana.
9. Prakash, R., y Shenoy, U. (2005). Targeting and design of water networks for fixed flowrate and fixed contaminant load operations. *Chemical Engineering Science*, 1 (60), pp.(255-268).
10. Rodríguez, J. L. D. (1974). *Propiedades físicas y termodinámicas de los fluidos azucareros*. (Tesis de Maestría), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Ciudad de la Habana.Cuba.
11. Wan Alwi, S.R. y Manan, Z.A.(2013). Water pinch analysis for water management and minimisation: an introduction, in *Process Integration Handbook*. Cambridge, UK: Woodhead publishing. ISBN: 978-1-84569-195-0

Anexo 1: Características y propiedades de las corrientes involucradas en el balance de agua

No	Nombre de la corriente	T(°C)	P (kPa)	F _{másico} (kg/h)	Densidad (kg/m ³)
1	Agua fresca de pozo	27	901,3	40 858,78	996,56
2	Agua fresca de pozo hacia el sistema contra incendios	27	1101,3	1 753,94	996,56
3	Agua fresca de pozo hacia planta de tratamiento	27	901,3	39 104,84	996,56
4	Agua clorada para reposición de torres	27	901,3	2 124,00	996,56
5	Agua clorada para limpieza química en destilería	27	901,3	124,57	996,56
6	Agua clorada para dilución de miel	27	901,3	13 453,50	996,56
7	Agua clorada de consumo humano	27	901,3	2 690,70	996,56
8	Agua clorada de reposición a torre 1	27	901,3	864,00	996,56
9	Agua clorada de reposición a torre 2	27	901,3	1 260,00	996,56
10	Agua clorada a planta de ósmosis inversa	27	901,3	20 712,07	996,56
11	Agua de 1ra ósmosis usada para hacer vacío	27	301,3	1 494,83	996,56
12	Agua de 1ra ósmosis (rechazo de 1ra ósmosis)	27	301,3	8 946,67	996,56
13	Agua de 2da ósmosis para producción de ron	27	301,3	3 886,57	996,56
14	Agua de 1ra ósmosis para la generación de vapor	27	301,3	6 384,00	996,56
15	Vapor de caldera hacia EF-01 y EF-02.	200	1601,3	4 200,00	7,33
16	Vapor de caldera para calentamiento de miel	110	151,3	200,00	0,86
17	Vapor de caldera para consumo del deareador	164	301,3	1 480,00	3,97
18	Vapor de caldera para esterilizar la carga en cultivador	110	151,3	200	0,86
19	Agua fresca de pozo para el hinchado de barriles	27	301,3	4 484,50	996,56
20	Condensado que sale del cultivador	81,3	301,3	200	970,72
21	Condensado usado como agua de enfriamiento en destilación y concentración	34,9	301,3	29 703,84	994,13
22	Condensado usado como agua de enfriamiento en EF-4	34,9	301,3	19 203,84	994,13
23	Condensado usado como agua de enfriamiento en condensadores	34,9	301,3	10 500,00	994,13
24	Vapor extraído a vinazas	110	251,3	2,57	0,83
25	Vinaza que sale de la columna destiladora de aguardiente	105	301,3	18 200,00	1 040,00
26	Condensado extraído a vinazas de retorno a torre de enfriamiento 2	65	251,3	10 500,00	980,36
27	Condensado extraído a vinazas en el taller de evaporación	67	251,3	15 262,00	979,24
28	Condensado de retorno a torre de enfriamiento 2	50	251,3	19 203,84	988,01
29	Flujo de agua de condensado que entra a torre 2	48,6	251,3	44 965,84	988,65
30	Agua usada para el hinchado de barriles	27	301,3	4 484,50	996,56
31	Agua de enfriamiento(condensado)hacia lagunas	34,9	101,3	15 262,00	994,13
32	Vinaza concentrada	78	201,3	2 938,00	1 130,00
33	Agua de enfriamiento para fermentación	28	301,3	37 858,68	996,56
34	Agua de enfriamiento para fermentación de retorno a torre 1	38	401,3	37 734,93	993,02
35	Agua de 1ra ósmosis usada por la bomba de vacío	27	301,3	1 494,83	996,56
36	Condensado obtenido del calentamiento de la miel	81,3	151,3	200,00	970,72
37	Purga de torre de enfriamiento 1	28	301,3	108,00	996,28
38	Purga de torre de enfriamiento 2	34,9	301,3	216,00	994,13