

ANALISIS DEL MANEJO EFICIENTE DEL AGUA Y LA ENERGÍA EN UNA DESTILERÍA DE ETANOL.

ANALISIS OF EFFICIENT MANAGE OF ENERGY AND WATER IN ETHANOL DISTILLERY.

Dr. Jose A. Fabelo Falcón*, Dra. Meilyn Gonzalez Cortes*, DrS. Erenio González Suárez*

* Facultad de Química Farmacia. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas; Carretera a Camajuaní km 5 y ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

fabelo@uclv.edu.cu; mgonzalez@uclv.edu.cu; erenio@uclv.edu.cu

Resumen

En este trabajo se evaluó, la factibilidad de alternativas que favorecen el uso del agua y la energía en el proceso de obtención de alcohol.

Se realizaron balances de masa y energía con el fin de determinar los consumos de agua en la producción de alcohol y de esta forma proponer vías para el ahorro y correcta distribución de la misma, además, se aplicaron herramientas de integración para la identificación de una mejor distribución de la energía y con ello propiciar la reducción de los costos.

Para la integración energética se utilizó el software ASPEN PLUS 11.1, donde se realizó la modelación y simulación de las etapas de dilución, pre- fermentación, fermentación y destilación del proceso de producción de alcohol técnico B y extrafino, además se evaluaron alternativas de intercambio de calor entre corrientes calientes y frías con el ASPEN PINCH y se identificaron los requerimientos de utilidades mínimos para el proceso.

Se realizó la evaluación económica de las modificaciones propuestas, con el fin de determinar la factibilidad técnica y económica del ahorro de agua, energía y materias primas. También se evaluó la factibilidad económica de la integración.

Palabras Claves: producción de alcohol, integración energética, ASPEN PINCH, ASPEN PLUS, manejo de agua, manejo de energía.

Abstract

In this paper was evaluated the feasibility of alternatives that the use of water and energy in ethanol process.

Mass and energy balances were carried out in order to determining the consumptions of water in ethanol production and on this way to propose solutions for saving and achieve a correct distribution of the same one, also, integration tools were applied for the identification of a better distribution of energy and with it to propitiate the costs reduction.

For the energy integration the software ASPEN PLUS was used and the simulation of the dilution, pre-fermentation, fermentation and distillation stages was carried out to obtain ethanol in technical and super-fine grade.

In this article were also evaluated alternatives for heat exchange among hot and cold currents, for this ASPEN PINCH software was used and the minimum requirements of utilities were identified for the process.

Also was carried out the economic evaluation of the proposed modifications, with the purpose of determining the technical and economic feasibility of water and energy saving. The economic feasibility of the integration was also evaluated.

Key Words: ethanol production, energy integration, ASPEN PINCH, ASPEN PLUS, water and energy manage.

Introducción

En la actualidad la industria azucarera se propone aumentar de forma gradual la producción de azúcar, avanzar en la creación o recuperación de las plantas de derivados y subproductos teniendo un gran auge en estos momentos los destinados a la obtención de alcohol.

En toda esta estrategia también se le está prestando especial atención al manejo eficiente del agua y energía en estos procesos, debido a que cada día se agotan más los combustibles fósiles y el agua, además un uso eficiente de estos recursos conduce a procesos más eficientes desde el punto de vista técnico y económico.

Por esta razón se han desarrollado métodos como la Integración de Procesos la cual se ha convertido en una herramienta muy útil y aplicable a la industria química para disminuir los consumos de energía y los vertimientos de residuales al medio ambiente; un adecuado control de los anteriores parámetros elevan la eficiencia de los procesos productivos en cualquier industria.

En muchas fábricas de alcohol de Cuba debido a la antigüedad de los equipos tecnológicos y la disciplina tecnológica, no se recupera la cantidad de agua necesaria para mantener el proceso, por lo que se necesita reponer esa cantidad de agua faltante, aumentado así el consumo de la misma y de energía eléctrica.

Las destilerías consumen gran cantidad de energía, y si además hay un derroche de agua, el proceso se vuelve ineficiente, por lo que se trabaja en la fermentación de diferentes sustratos que ayuden a minimizar los consumos de agua.

Por otra parte, la utilización de residuos líquidos, que en la actualidad se convierten en un serio problema para el control de los recursos hídricos de las zonas donde se ubican las destilerías, permite el ahorro de agua y la minimización de la contaminación.⁽¹⁾

El objetivo del trabajo está dirigido a proponer un esquema tecnológico eficiente desde el punto de vista técnico y económico para el reuso del agua y la energía en una destilería de alcohol.

Materiales y Métodos.

1.1 Manejo del agua y residuales en los procesos químicos. En los procesos químicos el agua realiza importantes funciones: se utiliza para transportar otros materiales en diferentes procedimientos de lavado, como materia prima y en un sin número de aplicaciones que pueden ser exclusivas de una sola industria e incluso de una sola planta. El agua es un material relativamente barato y adecuado para diferentes procesos industriales de la más diversa índole. 1.1.1 Manejo de agua y residuales en el proceso de fabricación de alcohol. La fabricación de alcohol está estrechamente vinculada a la producción de azúcar, no solo por la utilización de la miel final, sino por el uso del agua y energía.

El aumento del precio de la energía eléctrica, combustibles fósiles y por ende el transporte de melaza, aunada a la creciente demanda de Etanol en el mercado internacional, hicieron atractiva la anexión de las destilerías de Etanol a los ingenios azucareros, donde podía conseguirse la infraestructura, la materia prima, servicios (vapor, agua, energía eléctrica) y otros insumos a más bajo costo. En la actualidad, prácticamente han desaparecido las destilerías autónomas.

Según el criterio de algunos investigadores se consume mucha agua en la industria alcoholera, lo que constituye un serio problema para algunos países debido a las limitaciones de este recurso.⁽²⁾

El desarrollo de una agroindustria azucarera diversificada y con esquemas flexibles de producción, inducen a un incremento en el nivel de contaminación que puede ser eliminado o atenuado con un adecuado uso y reuso del agua de proceso y la aplicación de los diferentes tratamientos que protejan al medio ambiente.⁽³⁾

El proceso de producción de alcohol cuenta con varias etapas consumidoras de agua, pero una de las más importantes es en el equipo conocido como disolutor. El manejo del agua en esta parte del proceso es de gran importancia ya que se prepara la batición a fermentar, la cual puede ser miel y agua; jugo, miel y agua ó enteramente jugo; de esta batición, de la interacción de los microorganismos (por lo general Levadura *Saccharomyces Cerevisiae*), así como de otros factores que se controlan en el proceso dependerá la cantidad de alcohol a destilar posteriormente.⁽⁴⁾

El principal residuo en las destilerías de alcohol lo constituye la vinaza. En una destilería de mediano tamaño que producen diariamente 50.000 litros, se generan diariamente 750 m³ de vinaza, 225.000 m³ en 300 días de un año, cifra suficiente para preocupar a más de un entendido en la materia.

1.2 Manejo de la energía en los procesos químicos.

El uso eficiente de la energía es una de las principales estrategias para mejorar la competitividad en los procesos industriales. Es también una medida concreta no sólo para la conservación de los recursos energéticos fósiles, sino también para el abatimiento de los impactos ambientales derivados de la producción y consumo de energía, como son entre otros la contaminación del aire y el cambio climático. En la destilería de etanol, el vapor suministrado a la columna destiladora es una de las corrientes energéticas más importantes debido a que en este equipo se lleva a cabo la destilación de las flemas alcohólicas provenientes del vino producido en los fermentadores, si debido a un mal funcionamiento de la caldera no llega el debido vapor a esta columna se corre el riesgo de que las flemas de alcohol se desechen junto con la vinaza representando una gran pérdida para el proceso.⁽⁵⁾

1.3 Integración de procesos (tecnología Pinch, water Pinch)

El análisis Pinch, es una metodología para optimizar la recuperación energética en un proceso químico industrial, minimizando la inversión de capital. Este análisis cuantifica los servicios que existen en una planta industrial (vapor, agua, y en general los servicios de calentamiento y enfriamiento), y los analiza frente a las necesidades de intercambio de calor de la planta.⁽⁶⁾

Actualmente, esta es una tecnología muy utilizada en cuanto a la integración de procesos, para de esta forma lograr un ahorro en cuanto a los consumos de agua y energía y por ende otros parámetros muy importantes a tener en cuenta en cualquier industria y que se traducen en procesos más eficientes desde el punto de vista técnico y económico.

1.3.1 Integración de procesos en la Industria Alcoholera.

La integración energética caracteriza el flujo global dentro de cualquier proceso e identifica las políticas óptimas para su distribución y redistribución de forma tal de obtener la configuración óptima para su consumo mínimo.

La integración de masa es una técnica relativamente nueva que se ha desarrollado mucho en los últimos años. Las investigaciones en este tema han conducido al desarrollo de una herramienta sistemática y potente para el entendimiento total del proceso y explotar así sus posibilidades de integración.⁽⁷⁾

Si estas herramientas son utilizadas adecuadamente permitirá cubrir las necesidades térmicas, mecánicas y eléctricas en las industrias, o sea, llevar a cabo una cogeneración consecuente. Debido a los altos costos de los combustibles en los últimos años y a la crisis energética este procedimiento ha resurgido con

mucha fuerza, sobre todo en la industria azucarera.^(8,9) La tendencia actual es buscar soluciones que garanticen la obtención de una tecnología más limpia donde se aprovechen corrientes intermedias de los procesos dentro del propio proceso, con vista a minimizar el flujo residual a tratar al final de la tubería.^(10,11,12,13) En general, la reducción del consumo de agua a través de su reciclaje también ahorra energía en las fábricas, por lo cual es imprescindible comprender bien la interacción entre estos elementos.⁽¹⁴⁾

Resultados y Discusión

2.1 Debilidades en el uso de la energía y el agua en la producción de alcohol.

Como se ha explicado anteriormente en muchos casos las destilerías de alcohol se encuentran anexas a fábricas de azúcar lo que resulta muy beneficioso para la destilería ya que puede obtener de la fábrica de azúcar recursos materiales como las mieles y jugos como sustrato azucarado, el vapor necesario en la etapa de destilación y otros usos y también agua de proceso para suplir algunos de sus requerimientos. Para que este intercambio funcione de forma óptima ambos procesos deben operar íntegramente. En el caso que se analiza en este trabajo se ha detectado que existen debilidades en la entrega sistemática del vapor a la destilería, debido a que no se está produciendo el vapor necesario para mantener en funcionamiento el proceso de producción de azúcar y que se pueda además generar el requerido para el proceso de fabricación de alcohol, todo ello debido a ineficiencias en el esquema energético del proceso de fabricación de azúcar.

Como consecuencia de esto, el vapor que es enviado a la destilería se interrumpe para alimentar el proceso tecnológico del azúcar, lo cual afecta grandemente a la destilería. Sin el suministro de vapor o una inadecuada presión de vapor en la columna las flemas alcohólicas se condensan y no alcanzan el tope de la columna saliendo todo el alcohol junto con la vinaza lo cual representa una gran pérdida para el proceso. Por otro lado, el uso del agua en la destilería está dirigido a la dilución de las mieles finales para el proceso de fermentación, reportándose 900 m³ diarios. El agua de remplazo para los sistema de enfriamiento, 5 – 10% del agua total usada. El agua de limpieza, 2 % del agua total usada. Y el resto del agua es utilizada en la sección de rectificación de alcohol.

Los valores reportados de utilización de agua en limpieza y refrigerante, reflejan un sobre uso del agua afectando el costo del proceso de obtención de alcohol y la cantidad de residuales que se vierten al medio.

2.1 Balances de masa y energía en los procesos de obtención de alcohol.

Los cálculos se realizaron para obtener alcohol técnico B a 93°GL, para un día de trabajo, en cuatro bloques fundamentales (disolutor, pre-fermentador, fermentador y destilación), los resultados se reportan en las tablas 2.1 a la 2.4:

Tabla 2.1: Resultados de los balances de masa.

Equipo	Cantidad de agua	Cantidad de miel final
Disolutor	3	8
pre-	2	3,
Fermentador	8	1

Tabla 2.2: Resultados de los balances en la etapa de destilación.

Columna	Corriente	Valor de la corriente (kg/h)	Fracción másica de
Destiladora	Alimentación	37376	4,8
	Vapor	5980	0
	Residuo	38059	0,03
	Destilado	5297	34,8
Rectificador a	Alimentación	5297	34,8
	Residuo	3506	8
	Destilado	1708	91
Sección de extrafino	Alimenta	2503	0
	Vapor	3725	0
	Alcohol B	1312	0,91
	Alcohol	1270	0,94
	Reflujo	8811	0

2.3 Balances de energía en la etapa de destilación para la sección de técnico B.

Para calcular la masa de vapor se hace necesario realizar un balance en función de las entalpías, los resultados se muestran a continuación:

Tabla 2.3: Resultados de los balances de energía en la sección de alcohol técnico B.

Equipo	Ecuaciones	Datos	Resultados
Condensador de la columna destiladora.	$Q_g = Q_c$ $Q_g = F * C_{pa} * (T_{2a} - T_{1a})$ $Q_c = M_v * \lambda$	$\lambda = 2016 \text{ kJ/kg}$ $F = 37376,1 \text{ kg/h}$ $C_{pa} = 4,19 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ $T_{1a} = 32^\circ\text{C}$ $T_{2a} = 78,7^\circ\text{C}$	$M_v = 2850 \text{ kg/h}$
Intercambiador de calor de mosto y batición.	$Q_g = Q_c$ $Q_g = F * C_{pb} * (T_{2b} - T_{1b})$ $Q_c = W_1 * C_{pm} * (T_{2m} - T_{1m})$	$F = 37376,1 \text{ kg/h}$ $C_{pb} = 3,24 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ $W_1 = 38059,1 \text{ kg/h}$ $T_{2m} = 105^\circ\text{C}$ $C_{pm} = 4,12 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ $T_{1b} = 34^\circ\text{C}$ $T_{2b} = 78,7^\circ\text{C}$	$T_{1m} = 70,5^\circ\text{C}$
Condensador de la columna rectificadora.	$Q_g = Q_c$ $Q_g = m_a * C_{pa} * (T_{2a} - T_{1a})$ $Q_c = M_v * \lambda$	$C_{pa} = 4,19 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ $T_{1a} = 32^\circ\text{C}$ $T_{2a} = 78,7^\circ\text{C}$ $M_v = 2084 \text{ kg/h}$ $\lambda = 2016 \text{ kJ/kg}$	$m_a = 29496 \text{ kg/h}$
Enfriador de alcohol	$Q_g = Q_c$ $Q_g = D * C_{pa} * (T_1 - T_2)$ $Q_c = m_a * C_{pb} * (T_{2a} - T_{1a})$	$D = 1708,33 \text{ kg/h}$ $C_{pb} = 4,18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ $T_1 = 40^\circ\text{C}$ $T_2 = 78^\circ\text{C}$ $C_{pa} = 3.24 \text{ kJ/kg}$ $T_{1a} = 32^\circ\text{C}$	$m_a = 2462 \text{ kg/h}$

2.3.1 Balance de energía en la etapa de destilación para la sección extrafino.

Tabla 2.4: Resultados de los balances de energía en la sección de extrafino.

Equipo	Ecuaciones	Datos	Resultados
Condensador de la columna lavadora	$Q_g=Q_c$ $Q_g=A \cdot C_{pa} \cdot (T_2 - T_1)$ $Q_c=Mv \cdot \lambda$	$\lambda=442 \text{ kcal/kg}$ $A=119000 \text{ kg/h}$ $C_{pa}=1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ $T_1=34^\circ\text{C}$ $T_2=39^\circ\text{C}$	$Mv=1346 \text{ Kg/h}$
Condensador de la columna rectificadora	$Q_g=Q_c$ $Q_g=A \cdot C_{pa} \cdot (T_2 - T_1)$ $Q_c=Mv \cdot \lambda$	$\lambda=247 \text{ kcal/kg}$ $C_{pb}=1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ $A=31000 \text{ kg/h}$ $T_1=34^\circ\text{C}$ $T_2=44^\circ\text{C}$	$Mv=1255 \text{ kg/h}$
Condensador de la columna purificadora	$Q_g=Q_c$ $Q_g=A \cdot C_{pa} \cdot (T_2 - T_1)$ $Q_c=Mv \cdot \lambda$	$C_{pa}=1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ $T_1=34^\circ\text{C}$ $T_2=39^\circ\text{C}$ $A=20000 \text{ kg/h}$ $\lambda=247 \text{ kcal/kg}$	$Mv=404 \text{ kg/h}$
Rehervidor de la columna purificadora	$Q_g=Q_c$ $Q_g=AF \cdot C_{pA} \cdot (T_2 - T_1)$ $Q_c=Mv \cdot \lambda$	$AF=1305 \text{ kg/h}$ $T_1=36^\circ\text{C}$ $T_2=79^\circ\text{C}$ $C_{pA}=0,8 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ $\lambda=642 \text{ kcal/kg}$	$Mv=69 \text{ kg/h}$
Condensador de la recuperadora	$Q_g=Q_c$ $Q_g=A \cdot C_{pA} \cdot (T_2 - T_1)$ $Q_c=Mv \cdot \lambda$	$A=30000 \text{ kg/h}$ $T_1=39^\circ\text{C}$ $T_2=34^\circ\text{C}$ $C_{pA}=1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ $\lambda=287 \text{ kcal/kg}$	$Mv=522 \text{ kg/h}$
Qg, Qc – Calor generado y	A – área. Cp – capacidad calorífica.		

Los resultados de las tablas 2.3 y 2.4 reflejan el comportamiento del sistema desde el punto de vista energético. La masa total de agua consumida en la etapa de destilación es de 231958 kg/h.

2.4 Aplicación de la tecnología Pinch para la reducción del consumo de agua y energía en la fabricación de alcohol.

Para poder complementar el análisis sobre el consumo y la utilización de la energía se utiliza el programa ASPEN PINCH. Los datos se obtienen de un estudio detallado de las corrientes frías y calientes de este proceso y de los balances de masa y energía realizados. Con los datos introducidos se obtienen las curvas compuestas donde se puede observar el Punto de Pellizco (Pinch) y la curva de de composición grande, figura 1.

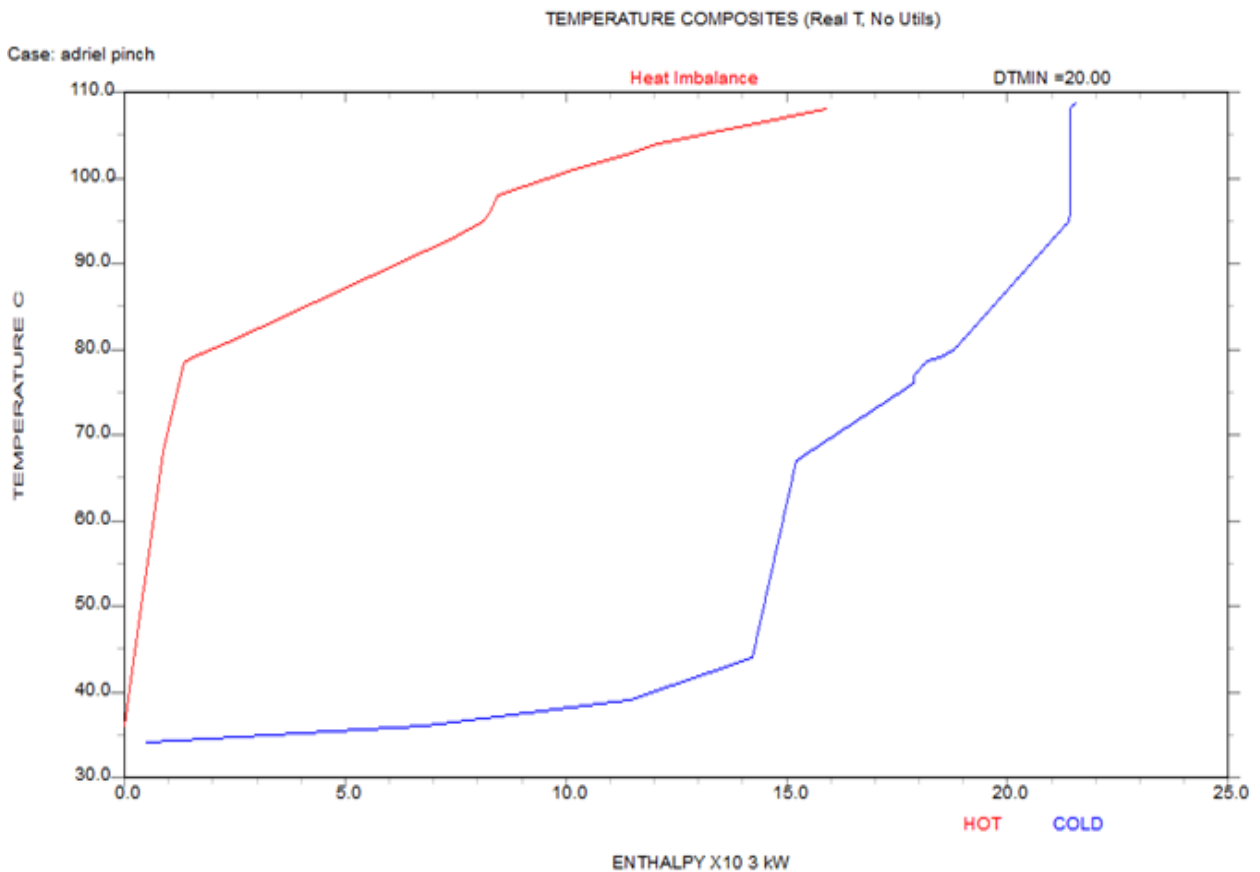


Figura 1: Curvas de composición corrientes frías y calientes del proceso de destilación de alcohol

Se obtiene en este caso el siguiente resultado:

Requerimiento mínimo de utilidad caliente = 5622,7 kW

Requerimiento mínimo de utilidad fría = 490,6 kW

Delta $T_{\min} = 20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$

Punto Pinch (s) se alcanza en las temperaturas siguientes: 44,0 °C y 20,0 °C

Se puede apreciar en las curvas de composición que no existe verticalidad entre las corrientes que conforman los perfiles de temperatura caliente y fría, por lo que no se está aprovechando adecuadamente el área de transferencia de calor en los equipos involucrados.

El consumo de vapor de escape es de 8530 kg/h, encontrándose por encima del consumo mínimo de utilidades pues según la tecnología Pinch solamente son necesarios 7531 kg/h. Esto demuestra que pueden existir otras combinaciones en el proceso que contribuyan a disminuir el consumo de vapor y el mejor aprovechamiento del área instalada.

Es importante señalar que el sobreconsumo de vapor de (1 t/h), implica que a su vez exista una alimentación de agua a caldera en exceso de aproximadamente esa misma cantidad si se tienen en cuenta las pérdidas que ocurren en la misma, por tanto, además de los beneficios en el ahorro de vapor que se tendrían al implementar soluciones que se acerquen al valor reportado por el Pinch, también se tendrían beneficios en el consumo de agua y por ende económicos.

2.5 Análisis de alternativas de uso de diferentes sustratos para la etapa de fermentación alcohólica

Se proponen diferentes sustratos para ser utilizados en combinación con la miel final garantizando el contenido de azúcares fermentables, que permitan un ahorro de agua y disminución de residuales, las variantes utilizadas son:

Variante 1: utilizando materia prima para la fermentación miel final, es la utilizada normalmente en la actualidad.

Variante 2: utilizando como materia prima para los fermentadores miel final y 20% de jugo de los filtros que se desvía del proceso de fabricación de azúcar.

Variante 3: utilizando como materia prima para los fermentadores miel final y 40 % de jugo de los filtros.

Variante 4: Utilizando como materia prima para los fermentadores miel final y 20% de las vinazas.
 Tabla 2.5: Resumen de los resultados calculados en las diferentes variantes estudiadas.

Variantes	Consumo de Agua (t/d)	Consumo de Miel (t/d)	Consumo de Jugo (t/d)	Consumo de Vinaza (t/d)
1	322	81	0	0
2	201	52	150	0
3	79	24	300	0
4	149	74	0	180

Se puede apreciar que la variante 3 de jugo de los filtros con un 40 % del flujo total es la de menor consumo de agua y miel lo cual está motivado porque al utilizar mayor cantidad de esta corriente se ahorran estas materias primas del proceso.

De igual forma, en el caso de la variante que emplea vinaza se observa que el consumo de agua disminuye con relación a la variante que emplea como sustrato miel y agua, la importancia de esta alternativa está dada además, por la disminución de aguas residuales que se vierten al medio ambiente. La recirculación de un % de vinazas mayor no es recomendable porque aumenta el número de impurezas al proceso y puede inhibir el mismo.

2.6 Reducción del consumo de agua y el vertimiento de residuales acuosos en la producción de alcohol. Para llevar a cabo la integración material, en el proceso se analizan las posibilidades de reducir el consumo de agua fresca y el vertido de residuos acuosos a través de la implementación del reciclaje del agua utilizando para ello el diagrama fuente-sumidero, a través del cual se identifican en el proceso, los sumideros que son los equipos consumidores de agua fresca y las fuentes que son los equipos que generan residuales acuosos.

Sumideros			
Equipo	Flujo (kg/h)	Composición (GL)	Temperatura (°C)
Fermentador	33458	5	35
Condensador Columna	29496	0	34
Enfriador Alcohol	2462	0	34
Condensador Columna Lavadora	119000	0	34
Condensador Columna	31000	0	34
Condensador Columna	20000	0	34
Condensador columna	30000	0	34
Demanda Total Agua (kg/h)	265380		
Fuentes			
Corrientes	Flujo (Kg/h)	Composición (GL)	Temperatura (°C)
Vinaza Columna Destiladora	38121	0,015	98,8
Flemazas Columna	8819	0,15	104
Flemazas Ccolumna	88	0	101
Total Generado (kg/h)	47331	-	-

Tabla 2.6: Resultados del balance de agua.

El proceso demanda 265380 kg/h (265,38 m³/d) de agua y se generan 47331 kg/h (47,33 m³/d) de residuales acuosos con posibilidades de ser reciclados. Si estas corrientes se incorporan a los procesos, se disminuirá el consumo de agua fresca en un 17 % por lo que es suficientemente tentador para llevar a cabo el análisis de las posibilidades de reciclaje.

En el proceso que se analiza se identificaron 3 fuentes con posibilidades de ser reciclados y 7 sumideros. Al realizar un análisis detallado de las características de los flujos fuentes se comprobó que los mismos en cuanto a flujo pueden ser asimilados por los sumideros pero en cuanto a temperatura no, ya que todos tienen una temperatura superior a la que requieren estos equipos. En el caso del efluente vinaza, se conoce que recircular hasta un 20 % de la misma no es perjudicial a la fermentación⁽¹⁾ y tendría como beneficios la reducción del consumo de agua que se utiliza para diluir la miel y a su vez la reducción de la cantidad de vinazas (residual contaminante) que se vierte al medio, por tanto en este estudio la reducción del agua se limita a la recirculación de un % de vinaza al fermentador, lo cual traería como resultado una disminución de 7684 kg/h de agua en el fermentador y 30740 kg/h de vinazas a disponer. Es importante hacer notar que como resultado de la integración energética (aplicación de la tecnología Pinch), se obtuvo que en el proceso hay un sobreconsumo de vapor de 1000 kg/h lo que como se dijo anteriormente representa un sobreconsumo de agua de 1000 kg/h, las cuales también podrían ahorrarse.

2.7 Evaluación económica de los escenarios evaluados

Para la estimación de los costos de inversión en las variantes analizadas se tuvo en cuenta la inversión referida a las modificaciones necesarias para el suministro de vapor y jugo a la destilería, así como las que tienen que ver con la redistribución del agua y la energía en los procesos.

Tabla 2.7: Indicadores de factibilidad de la tecnología analizada.

Indicador	Variante JUGO	Variante VINAZA
Valor Actual Neto (VAN), \$	2249131	2712321
Plazo de Recuperación al descontado, años	3	3
Ganancia, \$/a	548 630	608 470

Del análisis económico se desprende que las variantes propuestas de jugo y vinaza son favorables de ejecutar debido a que las inversiones necesarias son factibles económicamente, además, permiten el ahorro de agua y la minimización de residuales al utilizar la recirculación de vinazas como sustrato en la etapa de fermentación.

Conclusiones

1. En la destilería analizada existe un manejo inadecuado de agua y energía lo cual repercute de manera negativa en el proceso de obtención de alcohol.
2. De la caracterización de la destilería se obtiene que el consumo de agua es de 1440 m³/d de ellos el 22 % es utilizado en la etapa de dilución de las mieles, el resto en otros usos tecnológicos y de limpieza.
3. Se propone como estrategia para el uso del agua más adecuado en la destilería, la utilización de sustratos como el jugo de los filtros en un % determinado y la recirculación de vinaza, en la etapa de fermentación.
4. Las alternativas evaluadas con mejor resultados para el ahorro de agua son: la variante donde se utiliza jugo de los filtros en 40 % y la variante donde se utiliza la vinaza hasta un 20 % de su flujo total.
5. La aplicación del análisis Pich ofrece que existe un sobre consumo de energía en la destilería lo cual indica una mala distribución del vapor en el proceso de destilación.
6. El análisis económico permitió identificar las variantes donde se utiliza jugo y vinaza como las de mejores resultados con un PRD de 3 años y además de la minimización de residuos líquidos del sistema.

Bibliografía

1. Fabelo, J.A. 1999, Estudio de diferentes sustratos azucarados para la fermentación alcohólica. En *energético y medio ambiental*. 3. 43-47.
4. Tan, Y. L., Manan, Z. A., and Foo, D.C.Y (2008). Retrofit of Water Network with Regeneration Using Water Pinch Analysis. *Process Safety and Environmental Protection*. 85(B4). 305-317.
5. Polley G. and Picon-Nunez M., 2009, Design of water and heat recovery networks for the simultaneous minimization of water and energy consumption. *Chemical Engineering Transactions* 18, 899-904. doi: 10.3303/CET0918147.
6. Faria, D.C., Bagajewicz, M.J. (2006). Retrofit of water networks in process plants. *Proceedings of the XXII Interamerican Congress of Chemical Engineering, Buenos Aires-Argentina*.
7. Yoo K., Lee T., Jung H., and Hang Ch., 2006, *Water Reuse Network Design in Process Industries: State of the art. Monograph (Eco-Industrial Park Workshop)*
8. Kemp I (2007) *Pinch Analysis and Process Integration*. 2nd edn. Oxford, Butterworth Heinemann.
9. Poplewski G. and Jezowski J. 2009, Optimisation based approach for designing flexible water usage network. *Chemical Engineering Transactions*. 18, 409. AIDIC
ISBN 978-88-95608-04-4. ISSN 1974-9791
10. Kleme J. and Perry S. J. 2007 Process optimization to minimize energy use and Process optimization to minimize water use and wastage, in Waldron K (ed.). *Waste Management and Co-product Recovery in Food Processing*. 59–89, 90– 115.
11. Savulescu L, Kim J and Smith R (2005a) Studies on simultaneous energy and water minimisation – Part I: systems with no water re-use. *Chemical Engineering Science*. 60(12), 3279–3290.
12. Savulescu L, Kim J and Smith R (2005b) Studies on simultaneous energy and water minimisation – Part II: systems with maximum re-use of water. *Chemical Engineering Science*. 60(12), 3291–3308.
13. Matijašević L., Spoja D. and Dejanovic I. (2010) Water system integration by the process superstructure development. *Chemical Engineering Transactions*. 21, 373-378 DOI: 10.3303/CET1021063
14. Wang Y P and Smith R (1994) Wastewater minimization. *Chemical Engineering Science*. 49, 981–1006.