

Modificaciones en la estación de evaporación de un central azucarero

Leopoldo Rostgaard-Beltrán* y Raúl Sabadí-Díaz

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)

Vía Blanca No. 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón. La Habana, Cuba.

*leopoldo.rostgaard@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

Como parte de un análisis integral del proceso, en un central azucarero paralizado, para detectar cuellos de botella y etapas de proceso poco eficientes, con el fin de resolverlos o, al menos reducir su impacto negativo cuando el ingenio vuelva estar en operaciones, en este trabajo se describe el estudio realizado en la estación de calentamiento y evaporación de jugos de ese central. Debido a la escasez de caña y algunas otras deficiencias conocidas, también se desea valorar la disminución de la molida diaria de 5460 a 4500 toneladas de caña por día (tcd). Se identifica el problema en la capacidad del prevaporador y se propone una nueva configuración del equipamiento existente que incremente la superficie de intercambio calórico del prevaporador, que le permita trabajar a valores admisibles de su razón de evaporación y alcanzar 62.5 grados brix en la meladura, algo que no se logra con la configuración actual.

Palabras clave: energía, evaporación, central azucarero, eficiencia.

ABSTRACT

An integral study looking for identifying process bottlenecks and not efficient process stages is carried on in a not working sugar factory, with aims of solving them or at least reducing their negative impacts when the factory begins operations again. In this paper, the study done in the juice heating and evaporation station is presented. Due to lack of sugarcane and other process limitations, two milling rates are considered, 5460 and 4500 tons of cane per day (tcd). The main problem identified is the insufficient capacity of pre-evaporator. A new configuration of existing equipment is proposed, with higher heat exchange area allowing it to work at a adequate evaporation rate reaching 62.5 brix in massecuites, not reached with present configuration.

Key words: energy, evaporation, sugar factory, efficiency.

INTRODUCCIÓN

Se realizan estudios en un central azucarero que está paralizado temporalmente, por estrategia del país, por no existir caña suficiente. Este ingenio se prepara para recomenzar sus actividades productivas en la zafra 2023-24 y necesita prepararse adecuadamente para ese objetivo, razón por la que se sigue un plan de conservación (1) que incluye mantenimiento y reparación que permita tener a esta fábrica en buenas condiciones, cuando se inicie la cosecha.

Se realiza un estudio integral del proceso para detectar cuellos de botella y esquemas de trabajo poco eficientes, con el fin de resolverlos o, al menos, reducir su impacto negativo. También se realiza un estudio en el que se produce con dos masas cocidas, con el fin de simplificar el proceso y vender miel B producida a una destilería anexa. Debido a la escasez de caña y algunas otras de-

ficiencias conocidas, también se desea valorar la disminución de la molida diaria de 5460 a 4500 toneladas de caña por día (tcd).

En este trabajo se describe el estudio realizado en la estación de calentamiento y evaporación de jugos del central azucarero y se propone una nueva configuración del equipamiento existente que incremente la superficie de intercambio calórico del prevaporador, que le permita trabajar a valores admisibles de su razón de evaporación.

MATERIALES Y MÉTODOS

La instalación consta de un prevaporador de dos cuerpos y dos cuádruples posteriores, uno tipo BDM y el otro tipo CECA, con extracción de vapor de primer (V1) y segundo cuerpo (V2), para tachos y calentadores. No se asocian a un calentador de jugo clarificado. Dispone de nueve calentadores de jugo crudo, tipo Webre tradicionales, agrupados de tres en tres, que trabajan dos en paralelo y uno en limpieza. Trabajan con vapores de extracción V2, V1 y V1, y pueden ser, también, en caso de necesidad V2, V1 y escape. Tienen 33 tubos por pase. En la figura 1 se muestra la disposición de los cuerpos de evaporación existentes, y se indican sus superficies de intercambio calórico en pie².

En esta estación de evaporación, durante las zafas más recientes de este central, no se logró alcanzar valores de brix superiores a 56, en las meladuras, lo que indica una deficiente eficiencia energética del proceso.

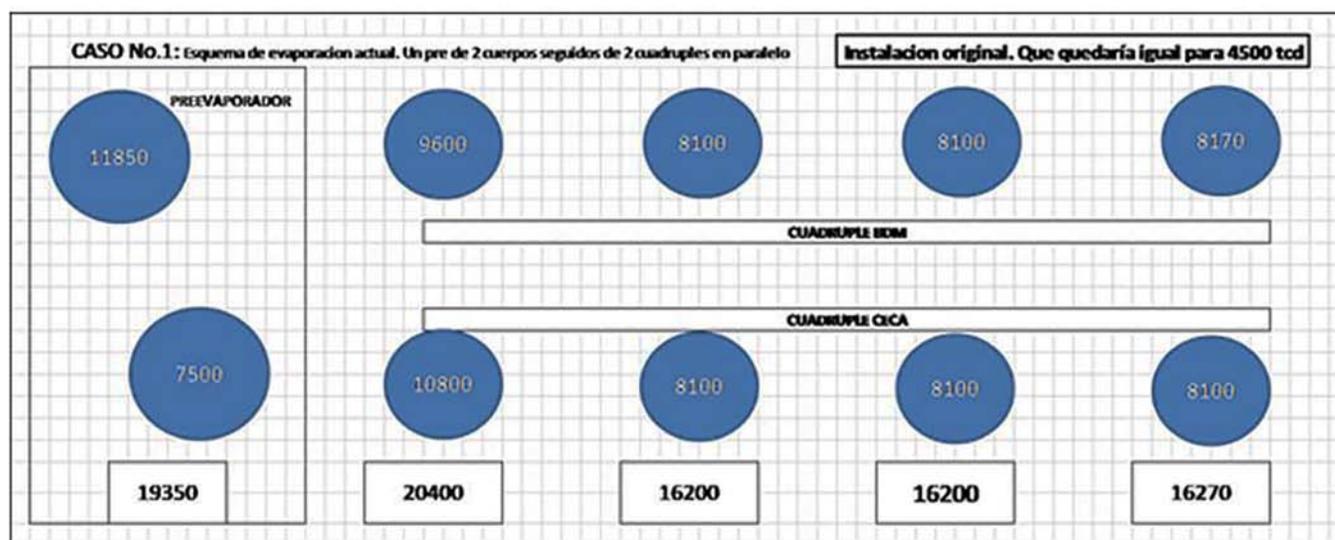


Figura 1. Estación de evaporación existente.

Para la realización del análisis se estudiaron cuatro escenarios, enfocados, en nuestro caso, en el comportamiento del evaporador. En las tablas 1, 2 y 3 se reportan los datos y resultados principales de la simulación.

Tabla 1. Escenario 1 (actual). Moliendo a razón de 5460 tcd

Reporte de la evaporación a quintuple efecto.						
Flujo de vapor al evaporador (t/hr)	98.293					
Flujo de vapor para calentar jugo clarificado (t/hr)	9.930					
Flujo de vapor para la evaporación (t/hr)	88.363					
Temperatura del vapor de escape (°C)	125.99					
Presión del vapor de escape (psig)	20.00					
Presión del vapor de escape (barg)	1.38					
Calor latente del vapor de escape (kcal/kg)	521.43					
Flujo de jugo clarificado (t/hr)	228.81					
Temperatura del jugo clarificado (°C)	95.00					
Brix del jugo clarificado (%)	14.24					
Brix de la meladura (%)	62.50					
% de evaporación	77.22					
	Vaso 1	Vaso 2	Vaso 3	Vaso 4	Vaso 5	General
Superficie de calentamiento (pie ²)	19350	20400	16200	16200	16270	88420
Superficie de calentamiento (m ²)	1798	1896	1506	1506	1512	8217
Presión de vapor en el cuerpo (psia)	28.16	21.62	15.08	8.54	2.00	
Presión de vapor en el cuerpo (psig)	13.66	7.12	0.58	-5.96	-12.50	
Calor latente del vapor (kcal/kg)	524.62	530.09	537.86	547.95	560.37	
Temperatura del vapor en el cuerpo (°C)	119.17	110.97	100.52	85.46	51.98	
Diferencia de temperatura por cuerpo (°C)	6.83	8.19	10.45	15.06	33.48	
Vapor evaporado (t/hr)	88.36	33.11	18.41	18.41	18.41	176.69
Vapor extraído (t/hr)	55.25	14.70	0.00	0.00	0.00	
Vapor al siguiente cuerpo (t/hr)	33.11	18.41	18.41	18.41	18.41	
Flujo de jugo a la salida del cuerpo (t/hr)	140.45	107.34	88.93	70.52	52.11	
Brix del jugo a la salida (%)	23.19	30.35	36.63	46.19	62.50	
Temperatura del jugo a la salida (°C)	119.74	111.87	101.83	87.62	56.22	
Elevación del punto ebullición (°C)	0.58	0.90	1.31	2.16	4.25	
Rate necesario de evaporación (kg/m ² *hr)	49.1	17.5	12.2	12.2	12.2	
Rate necesario de evaporación (lb/p ² *hr)	11.18	3.57	2.50	2.50	2.49	
Rate de evaporación recomendado (lb/p ² *hr)	6.50	6.00	5.50	5.00	5.00	
t de agua evaporada / t de vapor	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	
Superficie necesaria para tener 6.5 lb/p ² *hr	29908	12140	7363	8099	8099	
Calor transferido en kcal/m ² *hr	28500	9162	6481	6576	6671	

Los resultados que se obtienen en la valoración del funcionamiento del evaporador para enfrentar la molida solicitada, vaso a vaso y entre los resultados, las razones de evaporación necesarias (11.18) para lograr la densidad de meladura deseada. Evidentemente en el primer vaso nunca podrían alcanzarse dichos parámetros, razón por la cual el evaporador no alcanza la densidad de meladura deseada.

Tabla 2. Escenario 2 (actual con molida reducida). Moliendo a razón de 4500 tcd

Reporte de la evaporación a quintuple efecto.						
Flujo de vapor al evaporador (t/hr)	81.100					
Flujo de vapor para calentar jugo clarificado (t/hr)	8.184					
Flujo de vapor para la evaporación (t/hr)	72.916					
Temperatura del vapor de escape (°C)	125.99					
Presión del vapor de escape en (psia)	20.00					
Presión del vapor de escape (bara)	1.38					
Calor latente del vapor de escape (kcal/kg)	521.43					
Flujo de jugo clarificado (t/hr)	188.58					
Temperatura del jugo clarificado (°C)	95.00					
Brix del jugo clarificado (%)	14.24					
Brix de la meladura (%)	62.50					
% de evaporación	77.22					
	Vaso 1	Vaso 2	Vaso 3	Vaso 4	Vaso 5	General
Superficie de calentamiento (pie ²)	19350	20400	16200	16200	16270	88420
Superficie de calentamiento (m ²)	1798	1896	1506	1506	1512	8217
Presión de vapor en el cuerpo (psia)	28.16	21.62	15.08	8.54	2.00	
Presión de vapor en el cuerpo (psig)	13.66	7.12	0.58	-5.96	-12.50	
Calor latente del vapor (kcal/kg)	524.62	530.09	537.86	547.95	560.37	
Temperatura del vapor en el cuerpo (°C)	119.17	110.97	100.52	85.46	51.98	
Diferencia de temperatura por cuerpo (°C)	6.83	8.19	10.45	15.06	33.48	
Vapor evaporado (t/hr)	72.92	27.36	15.12	15.12	15.12	145.63
Vapor extraído (t/hr)	45.55	12.25	0.00	0.00	0.00	
Vapor al siguiente cuerpo (t/hr)	27.36	15.12	15.12	15.12	15.12	
Flujo de jugo a la salida del cuerpo (t/hr)	115.66	88.30	73.18	58.07	42.95	
Brix del jugo a la salida (%)	23.21	30.40	36.68	46.23	62.50	
Temperatura del jugo a la salida (°C)	119.74	111.87	101.84	87.63	56.22	
Elevación del punto ebullición (°C)	0.58	0.90	1.31	2.16	4.25	
Rate necesario de evaporación (kg/m ² *hr)	40.5	14.4	10.0	10.0	10.0	
Rate necesario de evaporación (lb/p ² *hr)	9.22	2.95	2.05	2.05	2.04	
Rate de evaporación recomendado (lb/p ² *hr)	6.50	6.00	5.50	5.00	5.00	
t de agua evaporada / t de vapor	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	
Superficie necesaria para tener 6.5 lb/p ² *hr	24679	10034	6046	6651	6651	
Calor transferido en kcal/m ² *hr	23515	7572	5322	5400	5478	

En esta tabla se observan las mejoras en las razones de evaporación necesarias (9.22), pero aún muy altos para alcanzar, al igual que en el caso anterior, la densidad de meladura deseada.

Tabla 3. Escenario 3. Moliendo a razón de 4500 tcd, el mismo anterior, pero con propuestas de mejoras al proceso con el arreglo y disposición de los vasos del pre-evaporador

Reporte de la Evaporación a Quintuple efecto. Esquema propuesto.						
Flujo de vapor al evaporador (t/hr)	80.989					
Flujo de vapor para calentar jugo clarificado (t/hr)	8.184					
Flujo de vapor para la evaporación (t/hr)	72.805					
Temperatura del vapor de escape (°C)	125.99					
Presión del vapor de escape en (psia)	20.00					
Presión del vapor de escape (bara)	1.38					
Calor latente del vapor de escape (kcal/kg)	521.43					
Flujo de jugo clarificado (t/hr)	188.58					
Temperatura del jugo clarificado (°C)	95.00					
Brix del jugo clarificado (%)	14.24					
Brix de la meladura (%)	62.50					
% de evaporación	77.22					
	Vaso 1	Vaso 2	Vaso 3	Vaso 4	Vaso 5	General
Superficie de calentamiento (pie ²)	28950	10800	8100	8100	8100	64050
Superficie de calentamiento (m ²)	2691	1004	753	753	753	5953
Presión de vapor en el cuerpo (psia)	28.16	21.62	15.08	8.54	2.00	
Presión de vapor en el cuerpo (psig)	13.66	7.12	0.58	-5.96	-12.50	
Calor latente del vapor (kcal/kg)	524.62	530.09	537.86	547.95	560.37	
Temperatura del vapor en el cuerpo (°C)	119.17	110.97	100.52	85.46	51.98	
Diferencia de temperatura por cuerpo (°C)	6.83	8.19	10.45	15.06	33.48	
Vapor evaporado (t/hr)	72.81	27.38	15.15	15.15	15.15	145.63
Vapor extraído (t/hr)	45.42	12.24	0.00	0.00	0.00	
Vapor al siguiente cuerpo (t/hr)	27.38	15.15	15.15	15.15	15.15	
Flujo de jugo a la salida del cuerpo (t/hr)	115.77	88.39	73.24	58.10	42.95	
Brix del jugo a la salida (%)	23.19	30.37	36.65	46.21	62.50	
Temperatura del jugo a la salida (°C)	119.74	111.87	101.83	87.62	56.22	
Elevación del punto ebullición (°C)	0.58	0.90	1.31	2.16	4.25	
Rate necesario de evaporación (kg/m ² *hr)	27.06	27.28	20.12	20.12	20.12	
Rate necesario de evaporación (lb/p ² *hr)	5.53	5.58	4.11	4.11	4.11	
Rate de evaporación recomendado lb/(p ² x hr)	6.50	6.00	5.50	5.00	5.00	
t de agua evaporada / t de vapor	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	
Superficie necesaria para tener 6.5 lb/p ² *hr	24642	10040	6059	6664	6664	
Calor transferido (kcal/m ² *hr)	15696	14312	10666	10822	11025	

Con el esquema propuesto, el evaporador se desempeña con las razones de evaporación normales y la densidad de la meladura deseada es perfectamente alcanzable.

Escenario 4. Se muele a razón de 4500 tcd, pero se producen sólo 2 masas cocidas, A y B.

Para este escenario el evaporador presenta un comportamiento adecuado, similar al escenario anterior.

En todos los casos, se trabajó para lograr un brix de 62.5 en la meladura, con el equipamiento disponible, sin inversiones altas en equipos nuevos o remodelados. Estos escenarios fueron simulados con la aplicación LERB (2, 3), que permite realizar los balances de materiales y energía del central azucarero.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se demuestra en el análisis realizado, que este sistema actual de evaporación no es adecuado para 5460 ni para 4500 tcd, incluso con esquema de dos masas cocidas. Obsérvese las razones de evaporación (figura 2); son inalcanzables para el prevaporador, aunque sí para los demás efectos.

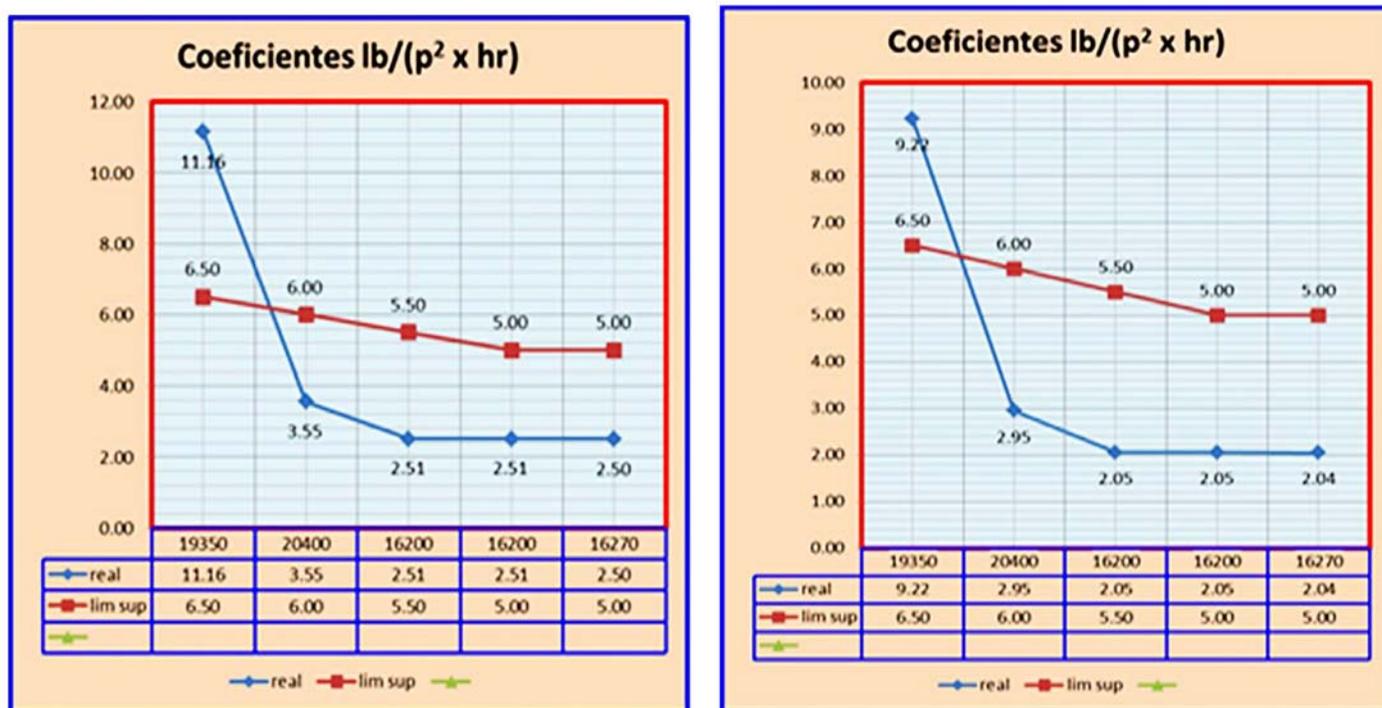


Figura 2. Razón de evaporación en cada efecto del evaporador, para las dos molidas estudiadas.

El sistema de evaporación no es eficiente. La capacidad del prevaporador es insuficiente para dar vapor a tachos y calentadores. Los cuerpos de los cuádruples quedan subutilizados. No contar con un calentador de jugo clarificado ha afectado la operación del evaporador severamente. La combinación de prevaporación establecida no tiene capacidad para enfrentar la molida de 5460 tcd ni la de 4500 tcd. Sin embargo, el prevaporador, ha tenido que utilizar alrededor del 10 % de su superficie para calentar el jugo clarificado.

Para resolver los inconvenientes anteriores se proponen las modificaciones que se muestran en la figura 3. Se observa que con esta nueva disposición del equipamiento disponible, el prevaporador logra trabajar a una razón de evaporación inferior al máximo deseado y quedan tres efectos disponibles.

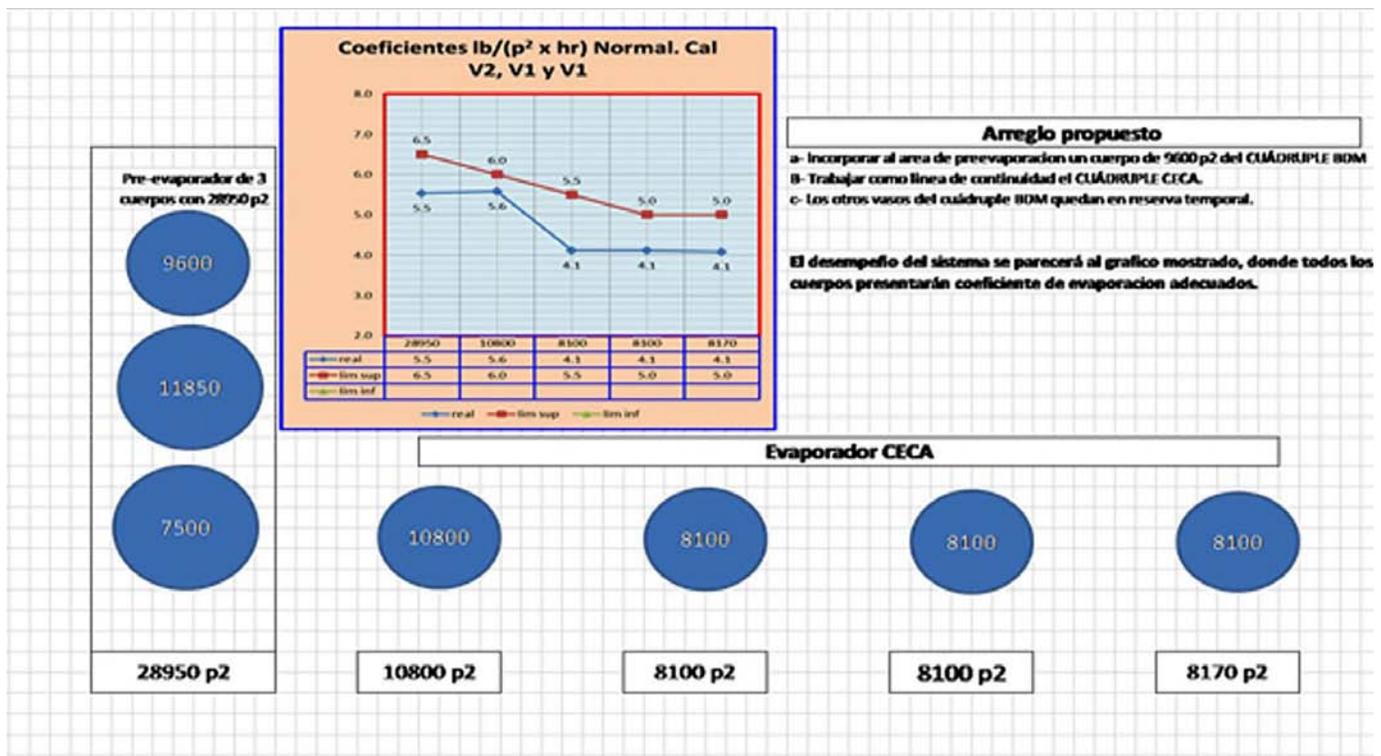


Figura 3. Modificaciones propuestas y efecto en la razón de evaporación del prevaporador.

Los calentadores de jugo crudo, para la molida de 5460 tcd y las condiciones operan con una velocidad de pase promedio de 1.63 m/seg, velocidad baja si la comparamos con la norma establecida de 1.83 a 2.13 m/seg. Cuando la molida se reduzca a 4500 tcd, la velocidad bajará hasta 1.34 m/seg. Con esta velocidad estos equipos pueden alcanzar la temperatura final deseada porque hay superficie disponible para ello; pero se corre el riesgo de que ocurran incrustaciones severas. Se debe analizar la acción de taponear tubos hasta alcanzar la velocidad requerida. Si se dejan 24 tubos por pase, se alcanza una velocidad de 1.84 m/seg y es posible, con la presión de vapor estable, alcanzar 104° C, con la combinación V2, V1, V1.

Con la nueva configuración propuesta se debe estudiar el sistema de limpieza de los evaporadores, pues ya no se dispondrá de dos líneas completas que permitan detener el ingenio para limpieza. Con ese propósito debe realizarse un análisis de interconexiones de los cuerpos con los que quedaron sin utilizar.

CONCLUSIONES

- La configuración actual de la estación de evaporación no permite lograr una concentración adecuada de la meladura, debido a una excesiva demanda de la razón de evaporación en el pre-evaporador.
- Se propone una nueva configuración del equipamiento existente que incremente la superficie de intercambio calórico del prevaporador, lo que le permita trabajar a valores admisibles de su razón de evaporación.
- Debe instalarse un calentador de jugo clarificado, que permitiría mejorar aún más la capacidad de trabajo del prevaporador.
- Es posible realizar interconexiones del sistema de evaporación propuesto, con los vasos que quedaron sin utilizar, para establecer un sistema de limpieza efectivo.

- Se debe analizar la acción de taponear tubos de calentadores de jugo crudo para alcanzar la velocidad requerida y evitar incrustaciones severas en estos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ICIDCA (2021). Manual de conservación de plantas industriales paralizadas. AZCUBA, La Habana, Cuba.
2. Rostgaard, L. (2018). Balances LERB. Presentación en Fórum de Ciencia y Técnica. ICIDCA, La Habana, Cuba.
3. Rostgaard, L.; Ribas, M.; Sbadí, R. (2019). Informe parcial de proyecto 652. Resultado 1. Modelo de balance de masa y energía para el análisis integrado del esquema de producción de azúcar. Etapa 1. Modelo del balance de masa y energía para el análisis y simulación del esquema de producción de azúcar. Fundamentos físicos y tecnológicos. ICIDCA, La Habana, Cuba.