

## **Análisis del uso de la energía en el central azucarero Melanio Hernández**

### **Energy use analysis at Melanio Hernández sugar mill**

Jorge Guevara-Rodriguez<sup>1</sup> <https://orcid.org/0009-0009-7436-5233>

Lirianet Fuentes-Ramirez<sup>2</sup> <https://orcid.org/0009-0001-2318-5920>

Dalia Rosa Quintana-Salvador<sup>3</sup> <https://orcid.org/0009-0006-0137-927X>

Juan Pedro Hernández-Touset<sup>2\*</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0032-8685>

<sup>1</sup>Empresa Agroindustrial Azucarera Heriberto Duquesne, Remedios, Villa Clara. Cuba

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química y Farmacia, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Cuba

<sup>3</sup>Empresa Agroindustrial Azucarera Melanio Hernández, Tuinicu, Sancti Spiritus

\*Autor para correspondencia: [juanpedro@uclv.edu.cu](mailto:juanpedro@uclv.edu.cu)

### **RESUMEN**

El central azucarero carece de un procedimiento que permita la identificación del potencial para la recuperación de la energía térmica y la definición de indicadores de desempeño energético. El objetivo de la investigación es evaluar el uso de la energía térmica y el potencial de recuperación del calor para la definición de mejoras en el esquema energético del central azucarero. Se aplica un procedimiento que incluye las metodologías de análisis del uso de la energía según norma ISO 50001 y de integración de procesos con el uso del software Aspen Energy Analyzer. El esquema energético actual satisface, tanto la demanda de vapor de escape y de vapor secundario por los equipos tecnológicos y permite distribuir 24 t/h de vapor de escape para el proceso de destilación de alcohol. La definición de 15 indicadores de desempeño energético, actualmente no reportados para esta industria, contribuye a la definición de una línea base energética y a la medición sistemática de la eficiencia en la industria para propósitos de mejora continua. La red de intercambiadores actual recupera el 100 % de la energía y su diseño térmico es apropiado.

**Palabras clave:** central azucarero; energía térmica; integración de calor.

Recibido: 30/04/2025

Aceptado: 14/06/2025

## **ABSTRACT**

The sugar mill lacks a process to identify the potential for thermal energy recovery and to define energy performance indicators. The objective of the research is to evaluate the use of thermal energy and the potential for heat recovery for the definition of improvements in the energy scheme of the sugar mill. A procedure is applied that includes methods of energy use analysis according to ISO 50001 standard and process integration methodologies using Aspen Energy Analyzer software. The current energy scheme satisfies both the demand for waste steam and secondary steam for the technological equipment and allows the distribution of 24 t/h of waste steam for the alcohol distillation process. The definition of 15 energy performance indicators which are not currently reported for this industry, contribute to the definition of an energy baseline and the systematic measurement of industry efficiency for continuous improvement. The current network of heat exchangers recovers 100 % of the energy and its thermal design is appropriate.

**Keywords:** sugar mill; thermal energy; heat integration.

## **Introducción**

La industria azucarera ha sido el principal motor del desarrollo socio-económico de nuestro país. Uno de los problemas identificados en la industria azucarera es la deficiente gestión de la ciencia e innovación, así, en las proyecciones del grupo azucarero AZCUBA <sup>(1)</sup> hasta el año 2024 se declara elevar la eficiencia industrial y energética y disminuir la carga contaminante al medioambiente. El uso eficiente de la energía es una necesidad imperativa para mejorar la competitividad y la rentabilidad en las industrias de procesos. <sup>(2)</sup>

Como resultado de los factores climáticos y fisiológicos, la producción de caña de azúcar se concentra en las regiones tropicales y subtropicales del mundo. La producción de caña de azúcar también tiene importancia económica y se utiliza en la producción de azúcar y muchos otros subproductos, lo que la convierte en un cultivo muy importante en la transición económica y energética de muchos países. La cogeneración puede ayudar a estabilizar la red complementando las energías renovables variables, como la solar y la eólica, al

tiempo que genera otros beneficios socioeconómicos, como la creación de empleo. <sup>(3)</sup>

Las fábricas de azúcar producen azúcar como producto principal, mientras que el bagazo es un coproducto rico en energía con importantes beneficios económicos y técnicos con un importante potencial económico y técnico para la generación de electricidad. <sup>(4)</sup> La industria azucarera actual está muy integrada y diversificada que produce una amplia gama de productos (azúcar, melaza, etanol, electricidad y otros) para que sea sostenible y competitiva. <sup>(5)</sup>

El principal objetivo de la norma ISO 50001 sobre sistemas de gestión de la energía es permitir que las empresas sean más eficientes desde el punto de vista energético. En consecuencia, es fundamental investigar el ámbito de la gestión energética para ayudar a los responsables de la toma de decisiones industriales a identificar las acciones específicas necesarias para reducir los retrasos en la gestión de la energía. <sup>(6)</sup>

No cabe duda de que el consumo excesivo de energía tiene una repercusión importante y perjudicial para la salud. Por lo tanto, para un país, y sobre todo para el resto del mundo, el consumo excesivo de energía tiene un impacto negativo en el medio ambiente. <sup>(7)</sup> El uso eficiente de la energía es una necesidad imperativa para mejorar la competitividad y la rentabilidad en las industrias de procesos. <sup>(8)</sup> Las medidas de mejora de la eficiencia energética en ingenios azucareros han sido y continúan siendo críticas tanto para la cogeneración como en las unidades de procesamiento de azúcar/etanol. Algunas de las posibles mejoras incluyen las siguientes: reducción del consumo de vapor en los cristalizadores, instalación de tachos continuos, instalación de difusores de caña en lugar de rodillos de molino, aumento en el número de efectos de evaporadores múltiples, y uso de máxima extracción de vapor en múltiple efecto evaporado. <sup>(9)</sup>

El concepto de Análisis del Pellicco (AP) es sencillo pero potente para estimar el ahorro energético en el diseño de redes de intercambiadores de calor. El Pellicco se basa en la 1ª y 2ª leyes termodinámicas. La 1ª ley de la termodinámica establece que el calor liberado por las corrientes calientes será igual al calor absorbido por las corrientes frías, mientras que según la 2ª ley no es posible que ningún proceso tenga transferencia de calor de corrientes frías a corrientes calientes. La necesidad de energía externa (servicios) aumenta en

función de la parte creciente de  $\Delta T_{min}$  elegido. Hay tres reglas de oro que se han convertido en un consenso en la aplicación del Pellizco: (1) El calor transferido a través del pellizco está prohibido, (2) No se recomienda la colocación incorrecta de servicios, dado que debajo del pellizco sólo se necesitan servicios fríos frío, mientras que por encima del pinzamiento sólo se necesitan calientes, (3) No se permite una transferencia de calor inferior al valor  $\Delta T_{min}$  determinada. <sup>(10)</sup>

Algunos autores <sup>(11)</sup> refieren que, en la mayoría de los centrales cubanos, aún es insuficiente la aplicación de las técnicas de integración de procesos vinculadas al manejo del agua y la energía y proponen modificaciones en el esquema de evaporación mediante la aplicación del método de AP. En la extracción de datos incorpora corrientes calientes, las cuales se enfrían por efecto del vacío y no por enfriamiento con servicio externo, constituyendo corrientes blandas que no deben ser consideradas en la aplicación del método de AP.

Una gran cantidad de la energía térmica utilizada en la industria química no se recupera (mediante proceso - intercambio de calor de la corriente del proceso), sino que se elimina como calor residual de bajo grado que termina siendo liberado al medio ambiente. <sup>(12)</sup>

El central azucarero carece de un procedimiento que permita la identificación del potencial para la recuperación de la energía térmica y la definición de indicadores de desempeño energético; los cuales determinan la adopción de modificaciones tecnológicas en el esquema energético para la producción de azúcar y etanol.

Los aspectos destacados de la investigación son: la determinación de indicadores de desempeño energético que no se reportan por la industria, la verificación del diseño térmico y definición de los requerimientos mínimos de servicios, basado en métodos de integración de calor. El objetivo de la investigación es evaluar el uso de la energía térmica y el potencial de recuperación del calor para la definición de mejoras en el esquema energético del central azucarero.

## **Materiales y métodos**

La evaluación del desempeño energético de la refinería del central se sustenta en la implementación de las actividades de la revisión energética según la norma cubana ISO 50001:2019 para los sistemas de gestión de la energía.

Se aplican las metodologías del balance termoenergético <sup>(13)</sup> y el procedimiento de análisis del uso de la energía, <sup>(14)</sup> que constituyen las principales actividades de la revisión energética, con el objetivo de determinar, analizar y comparar evaluativamente los indicadores de desempeño energético (IDEns).

La integración de calor se aplica para la determinación de los objetivos de desempeño energético de la red de intercambio térmico, tales como los servicios mínimos de calentamiento y de enfriamiento, la máxima energía recuperable (MER), el número mínimo de unidades de transferencia de calor y el área mínima mediante la aplicación de métodos de integración de calor (Smith,2016), <sup>(15)</sup> y para el diseño de la red de recuperación de calor; con el uso del recurso informático Aspen Energy Analyzer.

Las principales actividades realizadas en la revisión energética fueron: (1) análisis del uso y consumo actual de la energía, (2) determinación del desempeño energético actual, (3) el análisis de la red de recuperación del calor y (4) la determinación del ahorro de recursos para mejorar el desempeño energético.

## **Resultados y discusión**

### **Análisis del uso de la energía en el central azucarero**

El central tiene una capacidad de trituración de 4 600 t/d. El suministro de vapor consiste en dos calderas acuotubulares, alimentadas con bagazo, con capacidades de generación de vapor sobrecalentado de 55 t/h a 1,76 MPa y 380 °C. El vapor es consumido por dos turbogeneradores de contrapresión de 4 MW. El vapor de escape es consumido por el primer efecto evaporador con dos vasos, en un sistema de evaporación de cinco efectos. Los calentadores de jugo consumen los vapores secundarios de los tres primeros efectos. Una destilería de alcohol cercana al ingenio consume la meladura, los jugos y parte del vapor de escape. El condensado contaminado de los tres últimos efectos y calentadores se recupera. Para el diagnóstico energético, se registra y analiza el consumo actual (al menos tres meses) de materias primas, recursos

energéticos (electricidad, agua) y producción. Mediante los balances de materiales y energía, se determinan los flujos de jugo y de vapores secundarios, el consumo de vapor, el agua de reposición y la potencia térmica, que son flujos de materiales y calor, esenciales para estimar los indicadores de desempeño energético (IDEns), y para evaluar la recuperación del calor mediante el Método de Análisis del Pellizco.

La ecuación (1) representa el balance total en los molinos. Se determina el flujo de jugo (J), bagazo (B), a partir de la información de zafra que incluye: caña molida (C), bagazo % caña, % de extracción en los molinos, agua de imbibición (A), % de fibra en caña. El flujo de jugo clarificado (JC) está dado por la ecuación (2) determinado por la suma de jugo mezclado (JM), jugo de los filtros (JF) y lechada de cal (LC) en la proporción de 2 % del JM.

$$C+A=B+J \quad (1)$$

$$JC=JM+LC+JF \quad (2)$$

El balance de vapor se aplica en equipos consumidores (turbogeneradores, evaporadores y tachos). El flujo de vapor por la válvula reductora ( $D_{VR}$ ) está dado por la ecuación (3) que se obtiene por la diferencia del consumo de vapor de los equipos de baja presión o necesidades tecnológicas ( $D_{NT}$ ) y de los motores primarios, que en este caso son dos turbogeneradores ( $D_{TG}$ ). Otros consumos de vapor de alta presión ( $D_{otros}$ ) están dados por la ecuación (4).

$$D_{VR}=D_{NT}-D_{TG} \quad (3)$$

$$D_{otros}=0,03 \cdot D_{TG} \quad (4)$$

La demanda de vapor requerida por el proceso ( $D_V$ ), expresada en kg/h, está dada por la ecuación (5).

$$D_V = D_{VR}+D_{TG}+D_{otros} \cdot 1,05 \quad (5)$$

En el balance de agua se asume que  $D_V$  es igual a la cantidad vapor condensado ( $D_a$ ). La disponibilidad de condensados puros ( $D_{apuros}$ ) solo se obtiene del primer efecto evaporador ( $D_{efecto1}$ ) y los flujos de condensados contaminados  $D_{acont}$  provienen de los calentadores, segundo, tercer, cuarto y

quinto efecto evaporador. El agua de reposición ( $D_{\text{areposic}}$ ) está dada por la ecuación (6).

$$D_{\text{areposic}} = D_{\text{a}} - D_{\text{apuros}} \quad (6)$$

Mediante el balance de calor se determina la potencia térmica requerida por el proceso ( $Q_T$ ), expresada en kW y dada por la ecuación (7), en la cual intervienen el calor del turbogenerador ( $Q_{TG}$ ), calor de las necesidades tecnológicas ( $Q_{NT}$ ), otros calores de vapor de alta presión ( $Q_{\text{otros}}$ ) y el calor del condensado recuperado ( $Q_{\text{cond}}$ ). Por tanto, de esta ecuación se obtienen las pérdidas de calor ( $Q_{\text{perd}}$ ), donde  $i_0$  es la entalpia del vapor sobrecalentado.

$$Q_T = G_{\text{cald}} \cdot i_0 = (Q_{TG} + Q_{NT} + Q_{\text{otros}} + Q_{\text{cond}}) + Q_{\text{perd}} \quad (7)$$

**Tabla 1-** Información general

Caña molida t/h	% agua imbibición	Bagazo % cana	Cachaza t/h	Lechada de cal m <sup>3</sup> /h	% fibra en caña
192	20	33,5	1,7	2,9	14,5

El consumo de combustible está dado por la ecuación (8), donde VCN es el valor calórico neto del bagazo con un valor de 6900 kJ/kg. La eficiencia térmica general y la eficiencia de la generación están dada por las ecuaciones (9) y (10), donde  $G_{\text{nom}}$  es la capacidad de diseño de la caldera.

$$\text{Consumo de combustible} = \frac{Q_{\text{cald}}}{\text{VCN}_{\text{comb}}} \quad (8)$$

$$\text{Eficiencia térmica} = \frac{Q_{\text{cald}} - Q_{\text{perd}}}{Q_{\text{cald}}} \cdot 100 \quad (9)$$

$$\text{Eficiencia de generación} = \frac{D_V}{G_{\text{nom}}} \cdot 100 \quad (10)$$

La tabla 2 muestra los resultados de los balances (masa, vapor, agua, calor).

**Tabla 2-** Resultados de los balances de materiales, vapor, agua y calor

Balance de vapor	
Consumo de vapor de los turbogeneradores, t/h	71
Demanda total de vapor, t/h	76
Balance de agua	
Condensados puros, t/h	71
Condensados contaminados, t/h	116,5
Agua de reposición, t/h	5,4
Balance de calor	
Demanda total de calor, MW	66,8

Como se observa, el vapor de escape de los turbogeneradores satisface la demanda de vapor de los preevaporadores, por lo que se pueden desviar 24 t/h hacia la destilería.

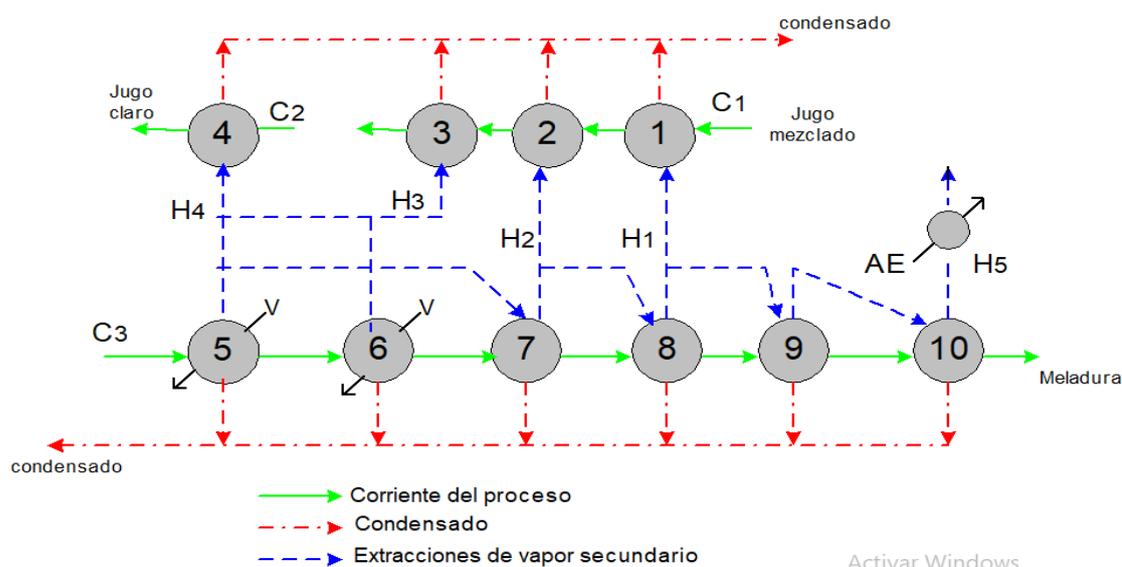
**Tabla 3-** Indicadores de desempeño energético

Indicadores	Calculado	Reportado <sup>(13)</sup>
Consumo específico de vapor kgv/kgb	1,18	
Generación de electricidad kWh/tc	41,74	
Consumo específico de vapor kgv/kWh	9,50	
Consumo específico de bagazo kgb/kWh	3,98	
% de flujo de vapor por válvula reductora	0	=15
% de flujo de agua de reposición	7,12	=15
% de pérdidas de calor	7,57	5
% Eficiencia Térmica	92,42	90-95
% Eficiencia de generación	69,12	95-100
Consumo de vapor de baja presión % caña	36,84	
Consumo específico de vapor tv/tc	0,40	
Consumo específico de energía MJ/ta	10913,94	
Consumo específico de bagazo tb/ta	1,44	
Consumo específico de vapor tv/ta	3,45	
Consumo específico de energía MJ/tc	1255,1	

Se definen 15 IDEns que actualmente no se reportan por la fábrica, mostrados en la tabla 3, los cuales se pueden tener en cuenta para definir una línea base energética en la evaluación sistemática del desempeño energético por los productores.

### **Análisis de la red de recuperación del calor en el central azucarero**

En la figura 1 se muestra el diagrama simplificado de intercambio térmico existente en el proceso y la tabla 4 muestra los flujos másicos (m) y datos térmicos de las corrientes.



**Fig. 1-** Diagrama de flujo (Elaboración propia)

Los flujos considerados en el análisis son: Flujo de vapor vegetal a calentador primario 1 de jugo mezclado (H1); Flujo de vapor vegetal a calentador primario 2 de jugo mezclado (H2); Flujo de vapor vegetal a calentador secundario o rectificador (H3); Flujo de vapor vegetal a calentador de jugo clarificado (H4); Flujo de vapor vegetal del quinto efecto evaporador (H5); Jugo mezclado (C1); Jugo clarificado a calentador de jugo clarificado (C2); Jugo clarificado a primer efecto evaporador (C3).

Las corrientes de servicios de calentamiento y enfriamientos son: vapor (V), agua de enfriamiento (AE). Los equipos son: calentador primario 1 de jugo mezclado (1), calentador primario 2 de jugo mezclado (2), calentador secundario de jugo mezclado (3), calentador de jugo clarificado (4), evaporadores (5-10). Las variables son  $T_i$  = temperatura inicial,  $T_f$  = temperatura final,  $m$  = flujo másico,  $C_p$  = calor específico,  $\lambda$  = calor latente,  $CP$  = flujo de capacidad calorífica, variación de entalpía ( $\Delta H$ ),  $h$  = coeficiente pelicular de transferencia de calor.

Los coeficientes peliculares para vapor que condensa y jugo/agua son  $10000 \text{ W/m}^2\text{°C}$  y  $4000 \text{ W/m}^2\text{°C}$ , respectivamente. <sup>(15)</sup>

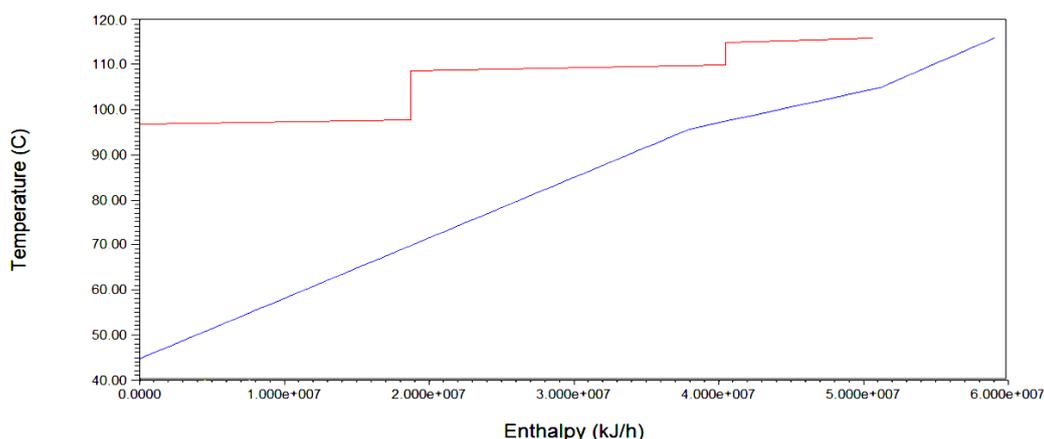
**Tabla 4-** Datos de las corrientes

Corriente	Ti (°C)	Tf (°C)	m (kg/h)	cp (kJ/kg°C) o ? (kJ/kg)	CP=m·cp (kJ/h°C)	ΔH (kJ/h)	h (kJ/hm <sup>2</sup> °C)
H1	98	97	8273	2270	18 777 228,1	18 777 228,1	36000
H2	110	109	9757	2229,3	21 751 280,1	21 751 280,1	36000
H3	116	115	1690	2212,12	3 738 482,8	3 738 482,8	36000
H4	116	115	2910	2212,12	6 437 269,2	6 437 269,2	36000
C1	45	105	196449	3,8	746 506,2	44 790 372	14000
C2	96	105	187842	3,8	713 799,6	6 424 196,4	14000
C3	105	116	187842	3,8	713 799,6	7 851 795,6	36000

La  $\Delta T_{\min}$  en este caso se establece en 10 °C, basada en la menor  $\Delta T$  entre las corrientes del proceso, donde como regla fundamental en la integración de calor en, ningún extremo de una unidad de intercambio térmico puede ser menor de 10 °C.

En la figura 2 se muestra el diagrama de las curvas compuestas generado por el software Aspen Energy Analyzer que define las demandas mínimas de servicios de enfriamiento ( $Q_{C_{\min}}$ ) y de calentamiento ( $Q_{H_{\min}}$ ) y la MER. Aquí se observa que se está en presencia de un caso, donde está satisfecho el requerimiento de enfriamiento y solo presenta requerimiento mínimo de calentamiento.

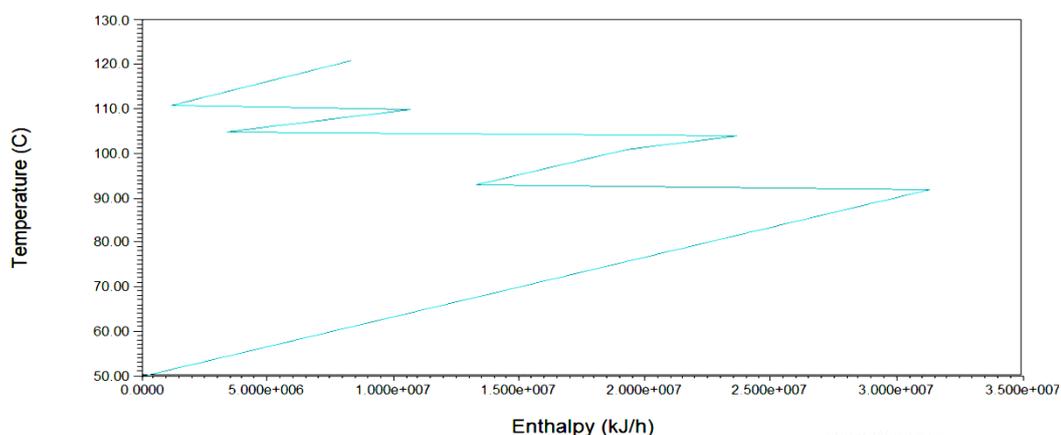
La figura 3 constituye la curva compuesta combinada, que muestra el requerimiento mínimo de calentamiento y los intercambios entre corrientes de proceso (cuatro intercambios). No hay demanda mínima de enfriamiento ( $Q_{C_{\min}} = 0$ ). En este caso  $Q_{H_{\min}}$  es 8 362 103,8 kJ/h, muy inferior a la demanda de servicio de calentamiento real (preevaporador), lo cual es apropiado y es el equipo que determina el servicio mínimo de calentamiento con vapor de escape. El punto de pellizco, está en 100,8 °C, por debajo del cual el número de corrientes calientes tiene que ser mayor que el número de corrientes frías, que demanda servicio de enfriamiento y el CP de las corrientes calientes es mayor que el de las corrientes frías. Existen cuatro combinaciones factibles en unidades de intercambio térmico. El requerimiento de servicio de calentamiento real, generalmente es superior al requerimiento mínimo y en este caso el comportamiento es lo contrario.



**Fig. 2-** Curvas compuestas

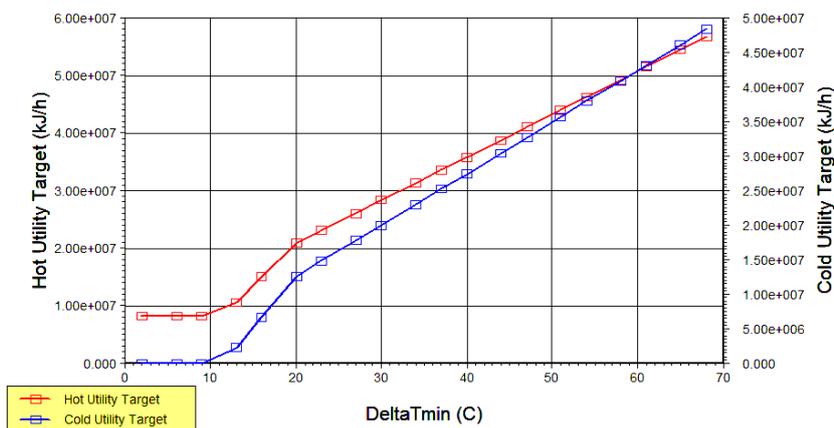
La máxima recuperación de energía, gráficamente, es la región entre  $Q_{c_{min}}$  y  $Q_{H_{min}}$  y se determina mediante la diferencia de la energía disponible acumulada ( $Q_{ACUM}$ ) de las corrientes calientes con un valor de 50 704 260,2 kJ/h como se observa en la Tabla 4 y  $Q_{c_{min}}$  (0 kJ/h), mediante la ecuación (11); esto define un potencial energético recuperable (MER) de 50 704 260,2 kJ/h mediante intercambio de calor entre corrientes del proceso.

$$Q_{MER} = Q_{ACUM} - Q_{C_{min}} \quad (11)$$



**Fig. 3-** Curva compuesta combinada

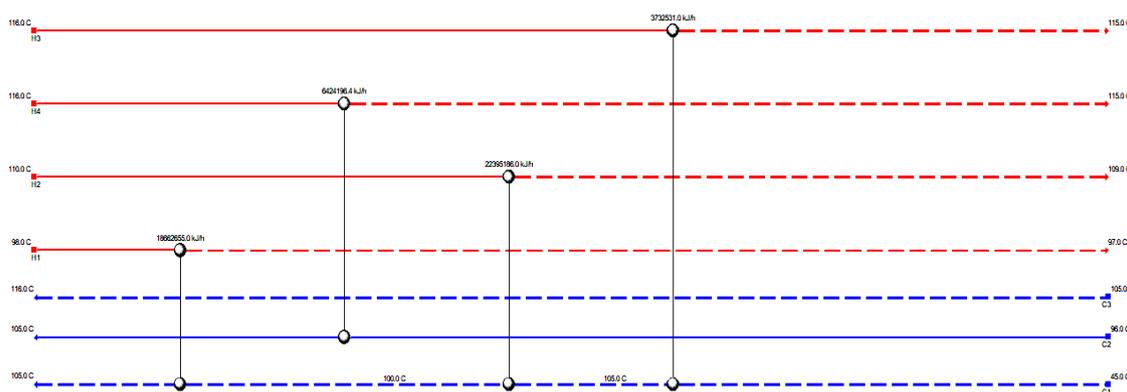
La figura 4 muestra el diagrama de energía, el cual representa el comportamiento de los servicios de calentamiento y de enfriamiento con la  $\Delta T_{min}$ . Se observa que existe un umbral de temperatura hasta 10 °C en el cual permanecen constantes los requerimientos de enfriamiento y calentamiento y se incrementan para cualquier  $\Delta T_{min}$  por encima de este valor.



**Fig. 4-** Diagrama de energía

### Diseño de la red de intercambiadores actual

La figura 5 muestra la representación de las corrientes y las combinaciones factibles en un diagrama de rejillas.



**Fig. 5-** Red de intercambiadores de calor

La tabla 7 muestra el resultado del diseño actual de la RIC, donde se observan los datos térmicos de cada intercambiador de calor: áreas mínimas de transferencia de calor,  $\Delta T_{min}$  en cada extremo de los intercambiadores, las cuales no pueden ser inferiores a la  $\Delta T_{min}$  fijada, para la aplicación del método de AP ( $10^{\circ}C$ ).

El número mínimo de unidades de intercambio de calor ( $U_{min}$ ) depende fundamentalmente del número total de corrientes de proceso y servicios ( $N$ ) implicados en el intercambio de calor y se determina mediante ecuación (12).

$$U_{min} = N - 1 \quad (12)$$

Se determina que el Umin para este proceso es 7 (4 calentadores y un pre- evaporador con dos vasos, operando en serie), considerando 7 corrientes de proceso y el servicio de vapor.

Por otro lado, el análisis y diseño de la RIC aporta las metas energéticas mínimas y define las temperaturas para evitar violaciones termodinámicas para el diseño de una estación de evaporación en un central de este tipo.

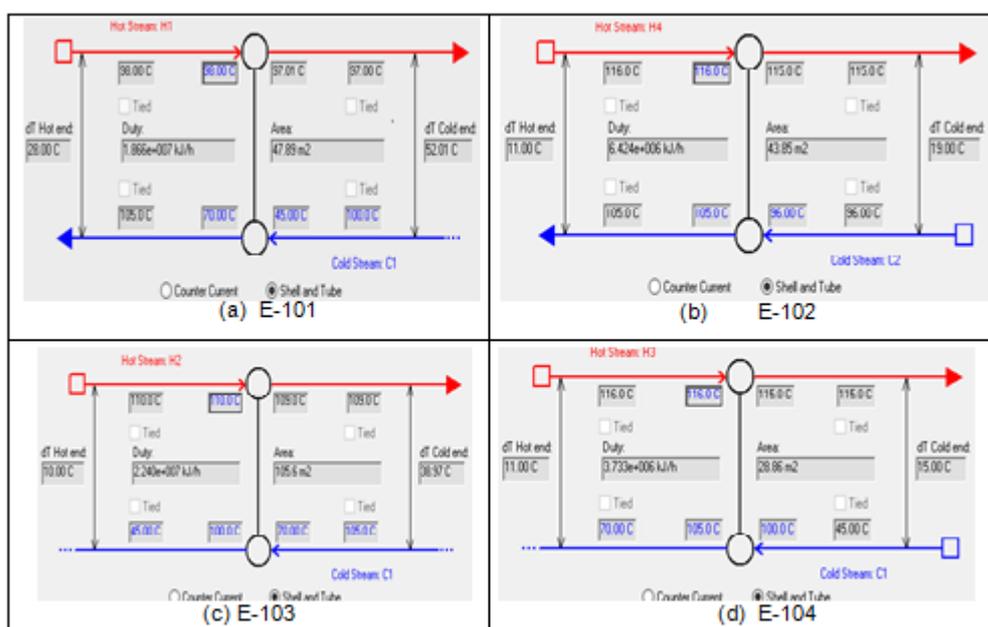
**Tabla 5-** Diseño de la red de recuperación de calor

IC	Corriente fría	T <sub>ci</sub> (°C)	T <sub>cf</sub> (°C)	Corriente caliente	T <sub>hi</sub> (°C)	T <sub>hf</sub> (°C)	Q (kJ/h)	Área (m <sup>2</sup> )	ΔT <sub>Hmin</sub> (°C)	ΔT <sub>Cmir</sub> (°C)
E-101	C1	45	70	H1	98	97	18662655	47,89	28	52
E-102	C2	96	105	H4	116	115	6424496	43,85	11	19
E-103	C1	70	100	H2	110	109	22395186	105,64	10	39
E-104	C1	100	105	H3	116	115	3732531	28,86	11	15

El porcentaje de recuperación de la energía térmica ( % Q<sub>recuperado</sub> ) se determina mediante la ecuación (13), donde Q<sub>recuperado</sub> es la suma de la demanda de calor para calentamiento/enfriamiento en cada unidad de intercambio térmico, mostrado en la Tabla 5.

$$\% Q_{\text{recuperado}} = \frac{Q_{\text{recuperado}}}{Q_{\text{MER}}} \cdot 100 \quad (13)$$

Las figuras 6a, 6b, 6c y 6d muestran la combinación de corrientes de cada intercambiador de calor en las figuras que definen una recuperación de calor de 51214568,4 kJ/h.



**Fig. 6** Conectividad de la RIC (a) E-100, (b) E-101, (c) E-102, (d) E-103

La maximización de la recuperación de energía minimiza necesidades externas de servicios de calentamiento y enfriamiento y minimiza el consumo de energía.

El análisis de la red de intercambiadores de calor, muestra que la red de intercambiadores (calentadores y pre-evaporador) recupera el 100% del calor. Este resultado permite afirmar que la red de recuperación del calor del central tiene un diseño térmico apropiado.

## Conclusiones

1. El esquema energético actual satisface, tanto la demanda de vapor de escape y de vapor secundario por los equipos tecnológicos y permite distribuir 24 t/h de vapor de escape para el proceso de destilación de alcohol.
2. La definición de 15 indicadores de desempeño energético, actualmente no reportados para esta industria, contribuyen a la definición de una línea base energética y a la medición sistemática de la eficiencia en la industria para propósitos de mejora continua.

3. El análisis de la red de intercambiadores de calor mediante el Método de Análisis del Pellizco determinó 8 362 103,8 kJ/h de requerimiento mínimo de calentamiento; satisfacción del requerimiento mínimo de enfriamiento; 50 704 260,2 kJ/h de máxima energía recuperable; las áreas mínimas de transferencia de calor y el número mínimo de unidades de intercambio térmico, hasta ahora no reportado para un central azucarero de este tipo en el país, que constituyen la base para diseños de modificación de la red actual de intercambiadores de calor.
4. La red de intercambiadores actual recupera el 100 % de la energía y su diseño térmico es apropiado.

### Referencias bibliográficas

1. GRUPO AZUCARERO AZCUBA. Proyección estratégica [en línea]. [Consultado 26 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://www.azcuba.cu/proyeccion-estrategica/#>
2. RAY, A., Kazantzis, N., Foo, D.C., Kazantzi, V., Tan, R.R., Bandyopadhyay, S. Financial Pinch Analysis for Selection of Energy Conservation Projects with Uncertainties. *Chemical Engineering Transactions*, 2021, **88**, p. 109-114. DOI: <https://doi.org/10.3303/CET2188018>
3. KABEYI, M.J.B. Potential and challenges of bagasse cogeneration in the Kenyan sugar industry. *Int J Creat Res Thoughts*, 2022, 10 (4), p.379–526, <http://doi.org/10.1729/Journal.30042>
4. ARSHAD M., Ahmed, S. 2016. Cogeneration through bagasse: A renewable strategy to meet the future energy needs. *Renew Sustain Energy Rev*, 54, pp. 732–7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.145>
5. KABEYI, M.J.B. Investigating the challenges of bagasse cogeneration in the Kenyan sugar industry. *Int J Eng Sci Res Technol*, 2020, 9(5), p. 7-64. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.3828855>
6. HASAN, A.S.M.M.; Trianni, A. A Review of Energy Management Assessment Models for Industrial Energy Efficiency. *Energies*, 2020, 13 (21), p. 1-21. <http://dx.doi.org/10.3390/en13215713>
7. ROOZBEH, A., Awasthi, A., Bhuiyan, N. Industry 4.0 and demand forecasting of the energy supply chain: A literature review, *Computers & Industrial Engineering*, 2021, 154. p. 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107128>

8. RAY, A., Kazantzis, N., Foo, D.C., Kazantzi, V., Tan, R.R., Bandyopadhyay, S. Financial Pinch Analysis for Selection of Energy Conservation Projects with Uncertainties. *Chemical Engineering Transactions*, 2021, 88, p. 109-114. DOI: <https://doi.org/10.3303/CET2188018>
9. BIRRU, E., Erlich, C., Martin, A. Energy performance comparisons and enhancements in the sugar cane industry. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2029, 9, p. 267–282 <https://doi.org/10.1007/s13399-018-0349-z>
10. MANDALAGIRI, L., Irawan, A., Yani, S. Operability and Flexibility of Pinch Applications on Heat Exchanger Network in Chemical Industry – A Review, *Journal of Chemical Process Engineering*, 2021, 6 (1), p. 36 – 47, <https://jurnal.teknologiindustriumi.ac.id/index.php/JCPE/index>
11. ROSALES, Y., Clavelo, D., Morales, M., González M. Modificaciones en el esquema de evaporación para reducir los consumos de agua y energía en un central azucarero, *Revista Centro Azúcar*, 47, enero-marzo, 2020, p. 43-52. <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v47n1/2223-4861-caz-47-01-43.pdf>
12. KISS A.A. Rethinking Energy Use for a Sustainable Chemical Industry, *Chemical Engineering Transactions*, 2019, 76, p: 13-18 DOI: 10.3303/CET1976003
13. ESPINOSA, R., Hernández, J. P., Espinosa, J., Castellanos, J. *Gestión Energética Eficiente y Análisis de los Sistemas Auxiliares en las Plantas Químicas*. La Habana: Editorial Universitaria Félix Varela, 2019. ISBN 978-959-07-2326-1. <http://bibliografia.eduniv.cu:8083/read/32/pdf>
14. HERNÁNDEZ, J. P., de Armas, A. C., Espinosa, R., Pérez, O., Guerra, L. Procedimiento de análisis energético para la conversión de industrias de la caña de azúcar en biorrefinerías. *Revista Universidad y Sociedad*, 2021, 13 (5), pp. 277-288. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus>
15. SMITH R. (Ed). *Chemical Process Design and Integration*, John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, West Sussex, UK, 2016

### **Conflicto de Interés**

Los autores declaran que no existen conflictos de interés relacionados con el presente artículo a publicar.

## **Contribución de los autores**

Jorge Guevara Rodriguez: análisis formal, investigación, supervisión

Lirianet Fuentes Ramirez: investigación

Dalia Rosa Quintana Salvador: redacción del borrador original

Juan Pedro Hernández Tousest: software, redacción (revisión y edición), supervisión.