



Revista Industrial
y Agrícola de
Tucumán

ISSN 0370-5404

En línea
1851-3018

Tomo 103 (1):
24-26; 2026



ESTACION EXPERIMENTAL
AGROINDUSTRIAL
OBISPO COLOMBRES
Tucumán | Argentina

Av. William Cross 3150
T4101XAC - Las Talitas.
Tucumán, Argentina.

Trabajo ya publicado

*Trabajo
presentado en
el XXXII ISSCT
Centennial
Congress, 24 al 28
de agosto de 2025,
Cali, Colombia,
traducido al
castellano.*

Fecha de
recepción:
30/09/2025

Fecha de
aceptación:
01/10/2025

Mejoras en el sector calentamiento y evaporación en un ingenio de Tucumán, Argentina

Marta Carolina Cruz*, Federico Franck* y Marcelo Ruiz*

* Sección Ingeniería y Proyectos Agroindustriales, EEAOC. C.P. 4101- Las Talitas- Tucumán. www.eeaoc.org.ar - Tel. 0381-4521000. E-mail: ccruz@eeao.org.ar

RESUMEN

El proceso de evaporación es el principal consumidor de vapor escape y condiciona la eficiencia energética de la planta. El consumo de vapor escape en Tucumán podría mejorarse modificando el esquema de operación en la evaporación, lo que en general requiere inversiones, en mayor o en menor medida, en función de las modificaciones que se realicen. En este trabajo se analizó la performance del sistema de calentamiento y evaporación de un ingenio de Tucumán, considerando los equipos existentes en el proceso. El estudio se centró en la optimización del consumo de vapor de escape y del agua de refrigeración al condensador barométrico, con el propósito de establecer una guía estratégica para la toma de decisiones en futuras inversiones del ingenio. Los resultados muestran que con la extracción de vapor vegetal del segundo efecto, equivalente a 7,85% caña destinado a los tachos de cocimiento, se logaría un ahorro de vapor de escape de 0,84%, operando en cuádruple efecto y sin inversión en superficie. Con diferentes inversiones en superficie, según las alternativas planteadas, podría ahorrarse hasta 3,82% de vapor escape, junto con la mayor disminución en el vapor enviado al condensador barométrico.

Palabras clave: evaporadores, eficiencia energética, ahorro de vapor.

ABSTRACT

Improvements in the heating and evaporator stations in a mill in Tucumán, Argentina

The efficiency of the evaporation plant contributes significantly to determine the exhaust steam demand and energy efficiency of the plant. Exhaust steam consumption in Tucumán can be improved by modifying the evaporation operation scheme, which generally requires investments, to a greater or lesser extent depending on the modifications made. The performance of the heating and evaporation stage of a sugar mill in Tucumán was analyzed. Possible improvements were proposed and evaluated as a guide for planning future investments, including strategies of rational use of energy to reduce the consumption of exhaust steam and water in the barometric condenser. The results show that shifting the vapor bleeding from the first effect to the second effect of quintuple evaporation plant equivalent to 7.85% on cane for vacuum pans would result in a saving of 0.84% exhaust steam without any investment in surface area. With some investments in the surface area, according to the proposed alternatives, up to 3.82% exhaust steam could be saved, alongside a greater reduction in the steam sent to the barometric condenser.

Key words: Evaporators, energy efficiency, steam saving.

INTRODUCCIÓN

El consumo de vapor escape depende del esquema de operación de cada ingenio; es decir, del número

de efectos, del tipo de tecnología empleada (evaporadores tipo Robert, película descendente, de placas, etc.), de la realización o no de extracciones de vapores vegetales y de cómo se emplean para el calentamiento de jugo, ta-

chos de cocimiento, destilería, refinería, etc. En Tucumán, los trenes de evaporación están constituidos, en general, por evaporadores tipo Robert (Almirón *et al.*, 2006) en cuádruple o quíntuple efecto. El consumo de vapor escape ronda entre los 38% y 58% caña, y podría mejorarse mediante modificaciones en el esquema de operación del sistema de evaporación (Cruz *et al.*, 2022), alcanzando valores de 30-35% caña, como sucede en ingenios de otros países. Para ello, en general sería necesario realizar inversiones, en mayor o menor medida en función de las modificaciones a realizar.

El objetivo de este trabajo fue analizar la performance del sistema de calentamiento y evaporación de un ingenio de Tucumán y, teniendo en cuenta los equipos existentes en el proceso, evaluar posibles mejoras basadas en estrategias de uso racional de la energía, orientadas a disminuir el consumo de vapor escape y de agua en el condensador barométrico, y que sirvan como guía para planificar futuras inversiones.

MATERIALES Y MÉTODOS

En octubre de 2023 se realizaron ensayos de medición en un ingenio azucarero de Tucumán, cuya capacidad de molienda fue de 8375 t/d. En este caso, el sistema de evaporación está constituido por cinco efectos, donde el jugo y el vapor de calefacción son alimentados en serie a través del tren. El primer efecto tiene la particularidad de estar conformado por un tanque de expansión central y cinco reboilers de 1200 m² cada uno dispuestos a su alrededor. Desde allí, cada efecto hacia el final está formado por una sola caja: tres de 1500 m² y dos de 1000 m². La superficie total en evaporación es de 12.500 m². Se realizan extracciones de vapor vegetal del primer, segundo y tercer efecto para abastecer los calentadores, los cuales trabajan en paralelo para calefaccionar el jugo encalado. Los tachos de cocimiento y la destilería son abastecidos por vapor vegetal del primer efecto. Además, el sistema cuenta con recalentadores de jugo claro antes de su ingreso a la evaporación. A partir de los ensayos realizados, se calcularon los valores promedio (Tabla 1) y se definió un caso base para estudiar posibles mejoras orientadas al ahorro de vapor escape. Se propusieron cinco casos

de estudio: **Caso 1:** cinco efectos, con extracción de vapor vegetal del último efecto (VG5) para el primer calentamiento de jugo encalado; **Caso 2:** cinco efectos, con extracción de vapor vegetal del segundo efecto (VG2) para tachos de cocimiento; **Caso 3:** cinco efectos, con extracción de vapor vegetal del último efecto (VG5) para el primer calentamiento de jugo encalado y con extracción de vapor vegetal del segundo efecto (VG2) para tachos de cocimiento; **Caso 4:** cuatro efectos, con extracción de vapor vegetal del segundo efecto (VG2) para tachos de cocimiento; **Caso 5:** cuatro efectos, con extracción de vapor vegetal del último efecto (VG4) para el primer calentamiento de jugo encalado y con extracción de vapor vegetal del segundo efecto (VG2) para tachos de cocimiento.

Los valores de coeficientes globales de transferencia de calor adoptados para sistemas de cuádruple efecto y quíntuple, se obtuvieron con la ecuación de Baloh (T. Baloh y E. Wittwer):

$$U = \frac{5,23 \times 10^6}{r_e^2 + r_s^2 + 800} \quad \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

Donde:

r_e = contenido de materia seca del jugo a la entrada

r_s = contenido de materia seca del jugo a la salida.

Se empleó el programa de simulación, desarrollado en la EEAOC, denominado SIMCE 3.0, que permite efectuar simulaciones en estado estacionario de sistemas de calentamiento y evaporación de la industria azucarera. Los datos de entrada para la simulación de los casos de estudio se muestran en la Tabla 1. Según los datos aportados por el ingenio, se consideró 32 t/h (9,17%) de vapor vegetal del primer efecto (VG1) para destilería y 62 t/h (17,83 %C) para tachos de cocimiento. En el caso de derivar vapor vegetal del segundo efecto a tachos de cocimiento, se consideró 27,4 t/h (7,85 %C) por condiciones de tachos con agitación.

RESULTADOS

En la Figura 1 (a y b) se muestran los ahorros de vapor escape logrados para cada caso de estudio en %

Tabla 1. Datos de entrada para las simulaciones.

Variable de entrada	Unidad	5 efectos	4 efectos
Caudal de JE*	%C**	104,8	104,8
Caudal de JC***	%C	91,9	91,9
Brix de JE	%Brix	17,8	17,8
Brix de JC	%Brix	16,8	16,8
Brix del melado	%Brix	62	62
Temperatura de JC antes del calentamiento	°C	88,3	88,3
Temperatura de JC después del calentamiento	°C	116,7	114,8
Temperatura de JE antes del calentamiento	°C	38	38
Temperatura de JE final	°C	103,7	103,7
Presión de VE	bar	2,21	2,21
Temperatura de VE	°C	123,6	123,6
Temperatura del último efecto	°C	65	65

* JE: Jugo encalado. ** %C: Caudal expresado como porcentaje de caña molida. ***JC: jugo claro.

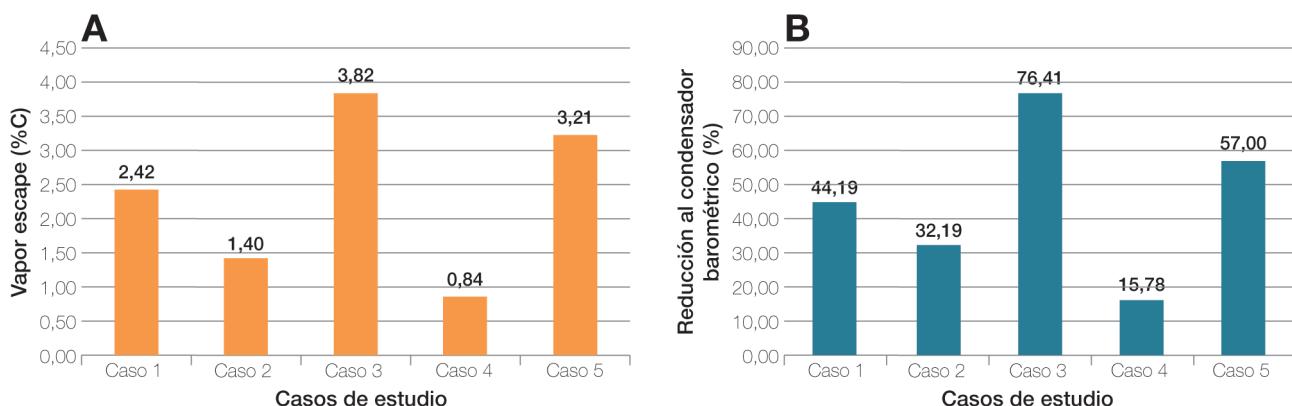


Figura 1. Ahorro de vapor escape y disminución del consumo de vapor al condensador barométrico en relación al caso base.

caña, como así también la disminución porcentual del vapor al condensador barométrico en relación al caso base.

CONCLUSIONES

Los resultados muestran que con la extracción de vapor vegetal del segundo efecto -equivalente a 7,85% caña para tachos de cocimiento-, se lograría un ahorro de vapor de escape del 0,84% operando en cuádruple efecto, sin necesidad de inversión en superficie. Con diferentes inversiones en superficie, según las alternativas planteadas, el ahorro podría alcanzar hasta un 3,82 % de vapor escape, y se lograría la mayor reducción del vapor enviado al condensador barométrico.

Cabe destacar que se pueden plantear diferentes alternativas, cada una con sus modificaciones específicas

en la fábrica y las inversiones asociadas correspondientes. Las alternativas aquí planteadas se realizaron con el objetivo de conformar una base de análisis para proyectar esquemas de mejoras a futuro.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Almirón, M. y D. Paz. 2006.** Evaporadores empleados en la industria azucarera de caña. Avance Agroindustrial (1): 33-38.
- Cruz, M. C.; F. Franck Colombres y D. Paz. 2022.** Evolución de la eficiencia en la evaporación. Revista Agroindustrial y Agrícola de Tucumán (RIAT).
- Baloh, T. and E. Wittwer. 1995.** Energy Manual for Sugar Factories Manual de Energía para Fábricas de Azúcar. 2a edición. Bartens. Berlin.