

# Aprovechamiento de gases efluentes de calderas en el secado de cáscara de limón

Walter D. Morales\*\*, M. Carolina Cruz\*, Federico J. Franck Colombres\*\*, Marcos A. Golato\*\* y Dora Paz\*\*\*

## Introducción

La industria cítrica de Tucumán consume gas natural con dos fines: su combustión en calderas, para obtener vapor para el proceso productivo, y su empleo en las cámaras de combustión de los secadores de cáscara.

En el año 2002, comenzaron a manifestarse en la Argentina los primeros indicios de problemas en el abastecimiento de gas natural, luego de más de una década de un sistema que funcionó sin fisuras.

Debido a esta problemática, entre los años 2002 y 2004 se desarrolló en Tucumán, el Proyecto Incremento de la Eficiencia Energética y Productiva en las PyMES Argentinas (PIEEP), con el apoyo de la agencia Alemana de Cooperación Técnica (GTZ) y de la Secretaría de Energía de la Nación, siendo la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) la unidad ejecutora del proyecto, a través de su Sección Ingeniería y Proyectos Agroindustriales. El objetivo general del proyecto PIEEP en la provincia de Tucumán fue estudiar las operaciones que demandan combustible o fluidos de calefacción en una planta procesadora de cítricos y en un ingenio azucarero, con el fin de elaborar propuestas de baja inversión tendientes a la disminución de sus consumos energéticos.

En el sector cítrico, se realizaron estudios para disminuir el consumo energético en el secado de cáscara de limón, que es la operación que requiere de 60% a 80% del gas natural que se consume en las fábricas de Tucumán. En la Figura 1 se observa un esquema de dicho proceso.

Las alternativas teóricas estudiadas en el proyecto PIEEP fueron:

- 1- Disminución de la humedad de la cáscara en el proceso de prensado hasta alcanzar valores de 85%.
- 2- Aprovechamiento de gases efluentes del secadero que aún poseen capacidad de secado y son descartados, recirculándolos al mismo secadero.
- 3- Empleo de los gases efluentes de la caldera

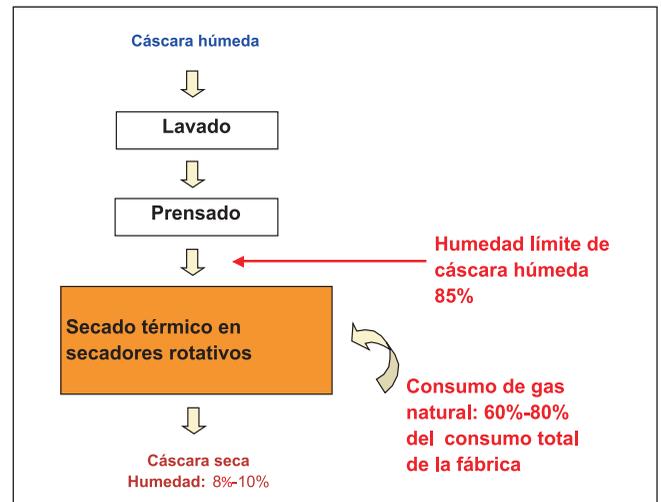


Figura 1. Esquema del proceso de secado de cáscara de limón en una industria cítrica de Tucumán, año 2009.

de la fábrica (donde se produce el vapor para la concentración del jugo), como reemplazo de una parte del aire secundario del secadero.

4- Presecado de la cáscara en un equipo adicional a los secaderos existentes, empleando los gases efluentes del secadero.

La Tabla 1 muestra los valores de ahorro de gas natural (Gn) que teóricamente podrían obtenerse para cada una de las propuestas anteriores y el ahorro total, considerando las cuatro propuestas en conjunto.

Se observa que se podría obtener una economía potencial total de aproximadamente 180 Nm<sup>3</sup> por tonelada de cáscara seca, lo que representa una disminución en el consumo de gas del 21,1%.

En los últimos años, una cítrica local puso en práctica una de estas alternativas: el empleo de los gases efluentes de la caldera de la fábrica, como reemplazo de una parte del aire secundario en el horno del secadero.

El objetivo del presente trabajo es presentar los resultados de ensayos realizados en el sistema de secado de cáscara de esa cítrica y evaluar el ahorro de gas natural producido.

\*Ing. Qca., \*\*Ing. Mec., \*\*\*Dra. Ing. Qca., Sección Ingeniería y Proyectos Agroindustriales.

Tabla 1. Ahorro de gas natural (GN) posible de obtener, en el proceso de secado en una industria cítrica de Tucumán, año 2003.

Opciones de secado	Ahorro de gas natural	
	Gas natural/cáscara seca Nm <sup>3</sup> /tn cáscara seca	% de gas natural en secaderos
1- Descenso de humedad (por punto)	65,6	7,7
2- Recirculación de gases del secador	29,3	3,4
3- Recirculación de gases de caldera	32,1	3,8
4- Presecado con gases del secador	53,4	6,2
<b>Total</b>	<b>180,4</b>	<b>21,1</b>

### Características del sistema de secado

Los secadores estudiados son del tipo rotatorio y constan de tres partes principales: horno (cámara de combustión), secador y ciclón de separación. En el horno se encuentra un quemador, el cual es alimentado con gas natural y aire primario, para dar lugar a la combustión.

El aire primario empleado es próximo al aire estequiométrico (exceso de aire: aproximadamente 0,1), obteniéndose como producto gases de combustión con una temperatura elevada, mayor que la que puede soportar la cáscara sin deteriorarse. Por esta razón, para obtener los gases de secado con temperatura aceptable y capacidad de secado razonable, después de producida la combustión, se mezclan los gases de combustión con el aire secundario a temperatura ambiente.

En el caso analizado de esta cítrica, se incorporan los gases provenientes de la caldera al aire secundario antes de su entrada a la parte final del horno. Luego, los gases de secado así obtenidos pasan al secador, donde entra la cáscara húmeda. El secador se compone de un cilindro rotatorio que contiene en su interior un conjunto de paletas o vuelos distribuidos adecuadamente, para mejorar el contacto de la cáscara húmeda con los gases secantes, aumentando así la transferencia de calor. Después, los gases y la cáscara presecada pasan por un ciclón, donde se separan. La cáscara presecada se envía por medio de un transportador helicoidal hacia otro equipo de seca-

do o al sector de prensado y embalaje. Los gases efluentes del ciclón son aspirados por un ventilador de tiro inducido (VTI), que los expulsa hacia la atmósfera a través de una chimenea.

En la Figura 2 se presenta un esquema de un secador en el que se muestran las corrientes de entrada y salida del proceso.

### Análisis del sistema de secado con aprovechamiento de gases de caldera

Se evaluó el funcionamiento del sistema de secado de cáscara de limón constituido por dos equipos de secado: presecador y secador (Figura 3), donde se han aprovechado los gases de caldera en el presecador.

Donde:

Ch: flujo de cáscara húmeda de alimentación al presecador;

Ch<sub>2</sub>: flujo de cáscara húmeda de alimentación al secador;

Cs<sub>1</sub>: flujo de cáscara a la salida del presecador;

Cs<sub>2</sub>: flujo de cáscara a la salida del secador;

A<sub>1-1</sub>: flujo de aire primario de la combustión en presecador;

A<sub>1-2</sub>: flujo de aire primario de la combustión en secador;

A<sub>2-1 a</sub>: flujo de aire secundario al presecador del ventilador a;

A<sub>2-1 b</sub>: flujo de aire secundario al presecador del ventilador b;

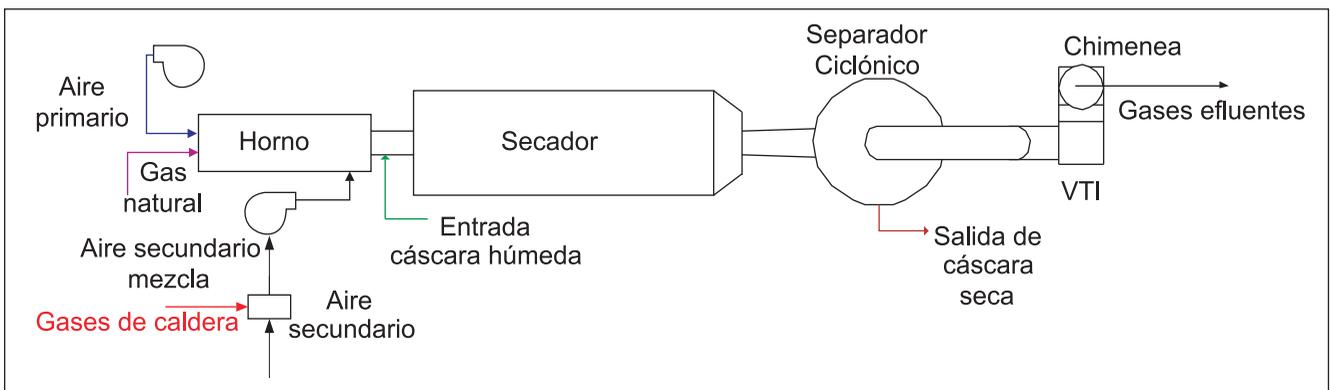


Figura 2. Diagrama de flujo de un secador de cáscara de limón.

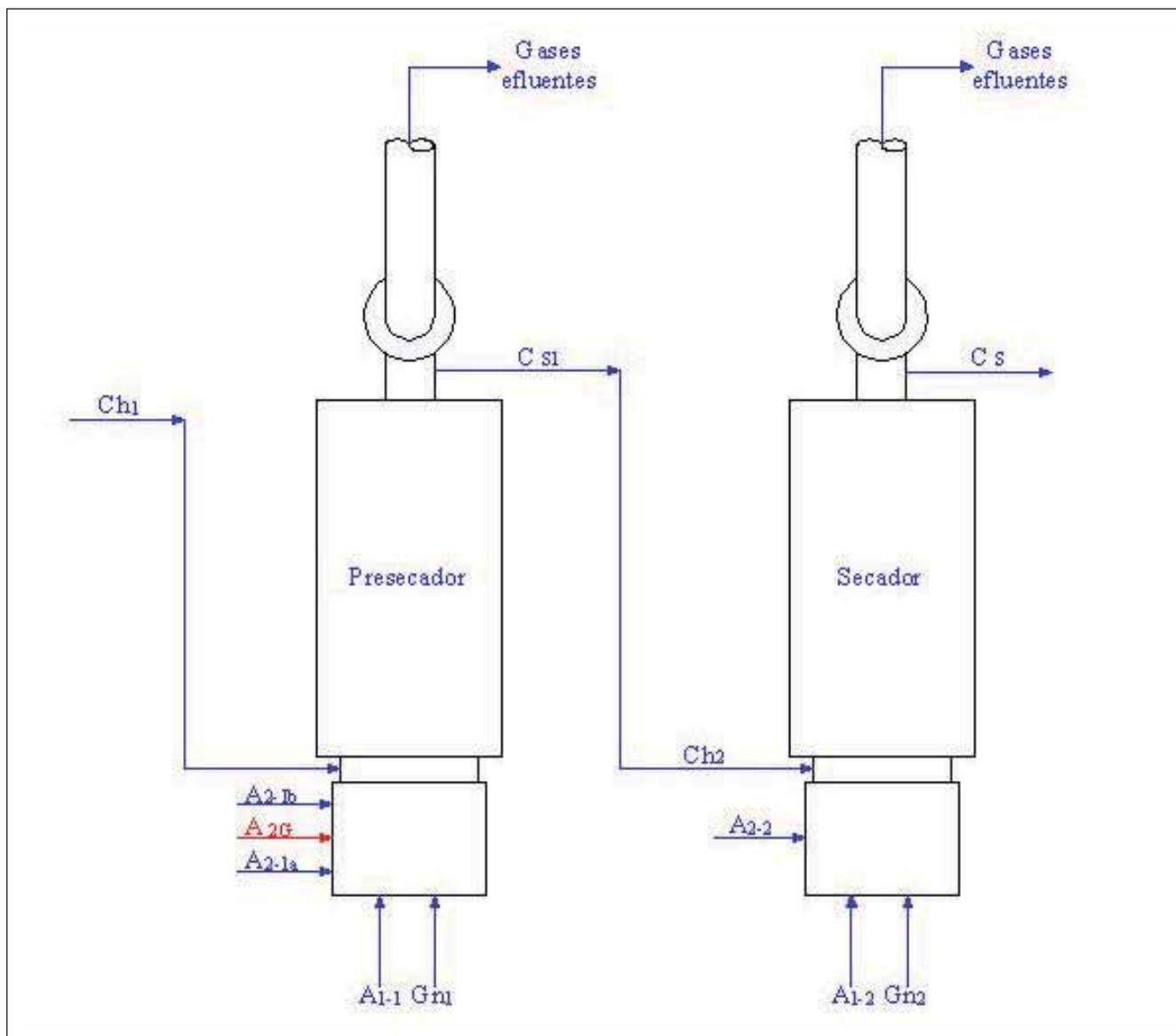


Figura 3. Esquema del sistema de secado de una industria cítrica de Tucumán, año 2009.

$A_{2-c}$ : flujo de gases de caldera al presecador, como aire secundario;

$A_{2-2}$ : flujo de aire secundario al secador;

$G_{n1}$ : caudal de gas natural en presecador;

$G_{n2}$ : caudal de gas natural en secador.

Se realizó un relevamiento pormenorizado de las instalaciones, verificándose la apropiada instalación y funcionamiento de los accesorios necesarios para realizar las mediciones y muestreos de cáscara de limón.

Se llevaron a cabo ensayos en cada secador, donde se midieron las variables del proceso para conocer el estado de operativo actual de la planta, y se determinaron los valores promedio para cada variable. Algunas de las variables medidas fueron: humedad de la cáscara, caudales de gases, composición de gases de chimenea, temperaturas, etc.

Se determinaron los balances de masa y energía en cada sector del sistema de secado. Se calculó la eficiencia térmica de cada equipo secador y se determinaron los consumos de gas natural.

La Figura 4 muestra una foto del sistema con el aprovechamiento energético de los gases de caldera, introducidos a la corriente de aire secundario del presecador. En esta se puede ver la sencilla interconexión de los equipos y la distancia entre el secador y la caldera, la cual es un factor importante desde el punto de vista técnico y económico.

## Resultados

En la Tabla 2 se muestran los resultados del ensayo promedio para cada secadero, indicando variables medidas y calculadas.

El rendimiento del sistema ( $\eta_{\text{sistema}}$ ) representa la fracción de la energía aprovechada de la com-

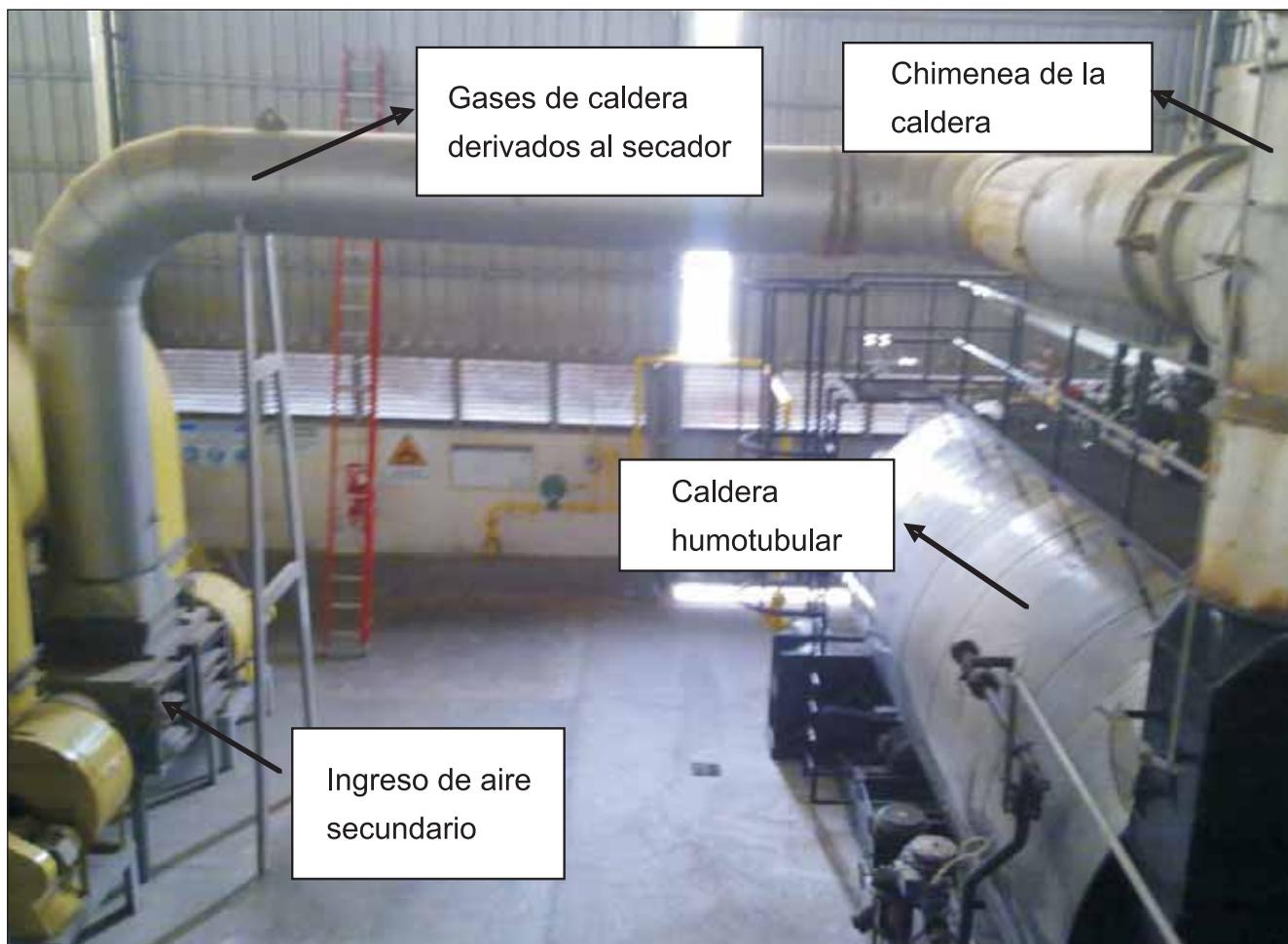


Figura 4. Vista de los gases efluentes de caldera introducidos como parte del aire secundario en un secador rotatorio, instalado en una cítricola de Tucumán en el año 2009.

bustión del GN para evaporar el agua contenida en la cáscara de limón, desde la humedad de entrada al secador hasta la humedad de salida de este.

Por otro lado, el rendimiento del secador ( $\eta_{\text{secadero}}$ ) representa la energía aprovechada de los gases de secado (gases de combustión + gases de caldera + aire secundario), para evaporar la misma cantidad de agua mencionada anteriormente.

Para evaluar el beneficio del aprovechamiento de los gases de caldera en el presecador, se procedió a comparar el consumo de gas natural en el caso actual (empleando gases de caldera junto con el aire secundario) con el consumo de gas natural empleando aire secundario ambiente sin la adición de gases de caldera en el presecador. Para determinar este último valor, se mantuvieron constantes el agua evaporada de la cáscara, la fuerza impulsora de los gases de secado ( $\Delta T = \text{temperatura}_{\text{bulbo seco}} - \text{temperatura}_{\text{bulbo húmedo}}$ ) y el flujo de gases de chimenea (en base seca). El resultado obtenido se muestra en la Tabla 3.

Como puede observarse ahí, la alternativa de aprovechar el calor de los gases efluentes de la caldera resulta adecuada, dado que el consumo de Gn es menor, lo que repercute en un ahorro de combustible en el presecador del 7,28%, en comparación con el Gn

que consumiría este sin utilizar los gases de la caldera. Si se refiere este ahorro al Gn total consumido sin el aprovechamiento de los gases de caldera, se obtiene un ahorro de 3,86%, valor comparable con el determinado por el estudio teórico del proyecto PIEEP (Tabla 1).

En el presecador actual (que aprovecha los gases de caldera), la relación encontrada entre la cantidad de agua evaporada y el consumo de gas (índice agua evap/Gn) presenta un valor superior al observado en equipos operando solo con aire.

### Consideraciones finales

La puesta en práctica de la alternativa de introducir gases de caldera en la corriente de aire secundario por parte de una cítricola local confirmó los resultados que se obtuvieron anteriormente en el estudio teórico, logrando un ahorro de Gn.

Los resultados obtenidos en términos de ahorro de gas natural son importantes para la agroindustria tucumana, sobre todo considerando las restricciones actuales al consumo de gas natural, que limitan no solo el funcionamiento de la agroindustria, sino también la instalación de nuevos emprendimientos productivos que requieren este fluido para su funcionamiento.

**Tabla 2. Valores promedio de las variables medidas y calculadas para cada secadero en una citrícola de Tucumán, año 2009.**

Ensayo promedio			
Parámetro	Unidades	Presecador	Secador
<b>Variables medidas</b>			
Humedad cáscara entrada	%	86,23	77,01
Humedad cáscara salida	%	76,59	8,14
Cáscara seca (Cs)	kg/h	3.094,26	673,26
Gases de chimenea de secador	kg/h	30.325,91	40.734,62
Factor de dilución del aire ( λ )		5,12	14,00
CO <sub>2</sub> en gases de chimenea de secador	%	2,32	0,85
O <sub>2</sub> en gases de chimenea de secador	%	16,90	19,50
CO en gases de chimenea de secador	ppm	49,00	39,00
Gases de caldera	kg/h	11.040,43	
Temperatura gases de caldera	°C	195,00	
Temperatura de aire primario	°C	32,00	32,00
Temperatura de aire secundario	°C	32,00	32,00
Temperatura de aire secundario mezcla	°C	107,00	
Temperatura de gases secado	°C	382,23	375,50
Temperatura de chimenea secador	°C	77,23	82,92
<b>Variables calculadas</b>			
Agua evaporada	kg/h	2.166,21	2.016,67
Gases de secado	kg/h	28.159,70	38.717,95
Gas natural (Gn)	Nm <sup>3</sup> /h	244,06	233,43
Cáscara húmeda (Ch)	kg/h	5.260,47	2.689,93
Ch/Gn	kg cáscara húmeda/ Nm <sup>3</sup> Gn	21,55	11,52
Agua evap / Gn	kg agua evap./Nm <sup>3</sup> Gn	8,88	8,64
Gases secadero / Ch	kg gas sec./ kg cas. húmeda	5,19	14,39
Aire calculado total (aire primario+aire secundario mezcla)	kg/h	27.081,08	38.531,07
% de gases de caldera en aire secundario mezcla	%	46,00	
Aire /Gn	Nm <sup>3</sup> /Nm <sup>3</sup>	89,15	128,59
η sistema	Calor aprovechado del Gn	61,36	58,50
η secadero	Calor aprovechado de gases de secado	62,36	41,56

**Tabla 3. Valores de consumo de gas natural (Gn) para los casos planteados (con y sin gases de caldera) en el proceso de secado de una industria citrícola de Tucumán, año 2009.**

	Presecador	
	Con gases de caldera	Sin gases de caldera
Gas natural [Nm <sup>3</sup> /h]	263,22	244,06
Ahorro de gas natural [Nm <sup>3</sup> /h]		19,16
Ahorro respecto a gas natural del presecador		7,28%
Ahorro respecto a gas natural total		3,86%