

# EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE UN SECADERO UTILIZADO EN EL SECTOR LADRILLERO

FARID CHEJNE

*Grupo Recursos y Procesos Térmicos- Instituto de Energía, Escuela de Procesos y Energía, Facultad de Minas, Universidad Nacional, Medellín.*

DIEGO ROJAS

*Instituto de Energía y Termodinámica, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín.*

MAGDALENA GIRALDO

*Instituto de Energía y Termodinámica, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín.*

LEONARDO VELÁSQUEZ

*Grupo Recursos y Procesos Térmicos- Instituto de Energía, Escuela de Procesos y Energía, Facultad de Minas, Universidad Nacional, Medellín.*

CARLOS LONDOÑO

*Grupo Recursos y Procesos Térmicos- Instituto de Energía, Escuela de Procesos y Energía, Facultad de Minas, Universidad Nacional, Medellín.*

JORGE ESPINEL

*Grupo Recursos y Procesos Térmicos- Instituto de Energía, Escuela de Procesos y Energía, Facultad de Minas, Universidad Nacional, Medellín.*

ALONSO OCAMPO

*Grupo Recursos y Procesos Térmicos- Instituto de Energía, Escuela de Procesos y Energía, Facultad de Minas, Universidad Nacional, Medellín.*

MARLON BASTIDAS

*Grupo de Energía, Universidad Popular del Cesar, Valledupar.*

Recibido para revisar 30 de Marzo de 2002, aceptado 2 de Julio de 2002, versión final 3 de Septiembre de 2002.

**RESUMEN:** Se realizó una evaluación energética a dos secaderos de ladrillo con base en una estrategia de medición de parámetros termodinámicos como el perfil de temperatura, la velocidad de aire de secado y la humedad relativa en el interior de los secaderos. Con los balances de materia y energía para cada una de las experiencias se determinaron los períodos donde los secaderos son eficientes y se determinaron las pérdidas por acumulación en estructuras, paredes y las pérdidas de calor hacia los alrededores. Los resultados obtenidos desde el balance de masa y desde el balance de energía arrojan resultados similares que permiten identificar el tiempo requerido para el secado.

**PALABRAS CLAVES:** Secado, Balances de Materia y Energía, Rendimientos

**ABSTRACT:** It was carried out an energy evaluation for two dryers in the brick industry using the results for the measurements of thermodynamic parameters such as temperature, drying rate, airflow, and relative humidity inside the furnace. Based on the results for the energy and mass balances in each case analyzed, the periods in which the dry process is done efficiently were determined taking in to account the heat losses due to structures, walls and heat losses to the environment. From the results of the energy balance and on the other hand the mass balance, it is reported the same characteristics for the time required for complete the drying process.

**KEYWORDS:** Dry, Energy and Mass Balance, Brick Dryers.

## 1. INTRODUCCIÓN

La industria cerámica en Colombia corresponde al 1% del total de empresas (UPME, 1996), sin embargo, demanda un poco más del 5% del consumo total en energía en el sector industrial del país (UPME, 1996). Adicionalmente, su actividad genera gran impacto ambiental por emisiones de material particulado generado por la combustión ineficiente del carbón, lo que motiva emprender programas de usos eficiente de la energía (chejne, 1992 y Turner, 1982).

La empresa Ladrillera San Cristóbal requiere para el secado de ladrillos, altos consumos de carbón, del orden de unas 44 toneladas por semana, con un costo de dos millones de pesos por semana con problemas de calidad que limitan las posibilidades de exportación del producto.

Los principales problemas de calidad se deben a la descarga de material particulado sobre el producto y a una falta de homogeneidad del proceso de secado al interior del secadero. El material particulado se genera como producto de una mala combustión causada principalmente por deficientes condiciones de operación, tales como la baja relación aire combustible, bajos tiempos de residencia y granulometría grande, entre otros.

En cuanto a la pérdida de calidad del producto debida a la falta de homogeneidad durante el secado, se puede decir que ella se debe a una distribución inadecuada del aire en el interior del secadero. En el presente artículo se ilustra una metodología planteada para evaluar energéticamente los secaderos y detectar las principales causas de ineficiencias.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL SECADERO.

Los secaderos que posee la empresa Ladrillera San Cristóbal denominados, "Secador Morando" y "Seveco", son secaderos de operación discontinua, sin embargo, el aire circula a través de la superficie del ladrillo de manera continua, causando que el secado siga una curva previamente establecida por los

operadores de la empresa. Cada secador se compone de los siguientes elementos (ver Figura 1):

- Sistema de combustión, del cual hace parte una tolva para almacenamiento de carbón, un tornillo dosificador de carbón, un horno de lecho fijo para combustión y mezclado de los gases con aire frío y un ventilador que suministra el aire para la combustión.
- Un ventilador que se encarga de impulsar el aire hacia las cámaras.
- Siete cámaras de secado
- Un ducto principal que conduce el aire caliente hacia las cámaras.

Cada cámara de secado contiene un ducto secundario que distribuye el aire caliente al interior de la cámara, a través de unas aberturas ubicadas en la parte superior; una compuerta (registro), ubicada a la entrada del ducto secundario para regular el flujo de entrada; un ducto de salida del aire que se comunica a la cámara a través de varias aberturas ubicadas en el piso; una chimenea con extractor que evacua el aire y un ventilador interno para mejorar la circulación del aire dentro de la cámara. En la Tabla 1 aparecen las características principales de ambos secaderos.

## 3. MEDICIONES REALIZADAS EN LOS SECADEROS

Para la evaluación termodinámica de los secaderos se registraron durante una tanda de secado: la temperatura, la humedad relativa y el flujo de las corrientes de aire que entran y salen del secadero. También, se midieron las condiciones ambientales en el interior del equipo,

el peso y las dimensiones físicas de varias muestras de ladrillos durante el proceso. Estas mediciones han servido para obtener un análisis preliminar del estado energético de los secaderos.

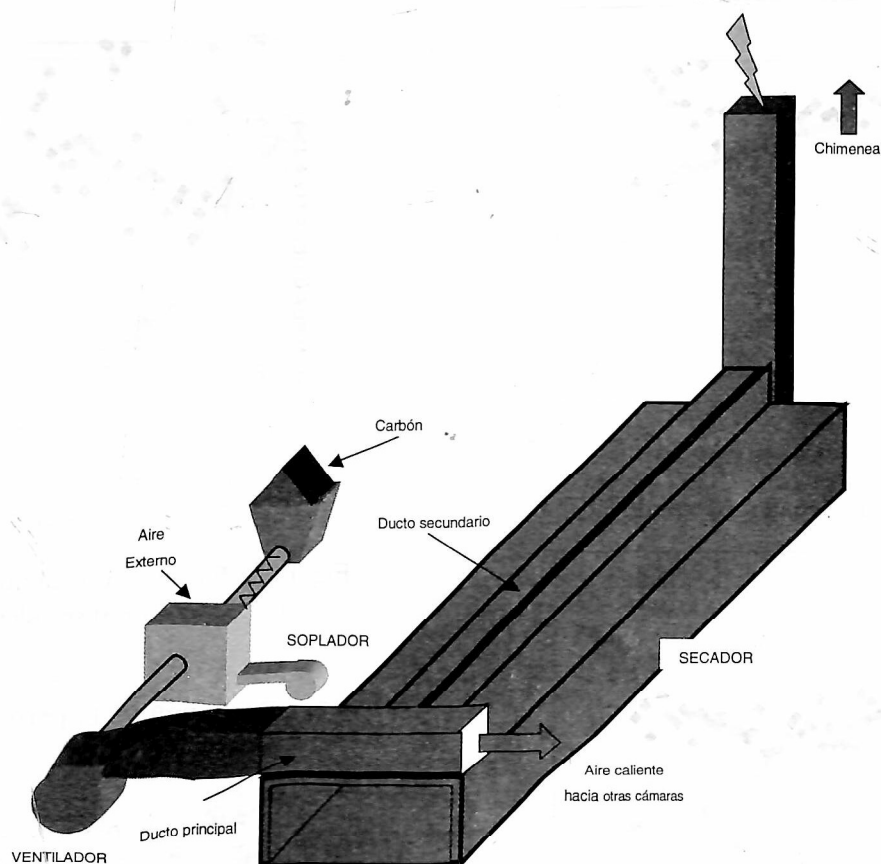


Figura 1. Esquema representativo de los secaderos.

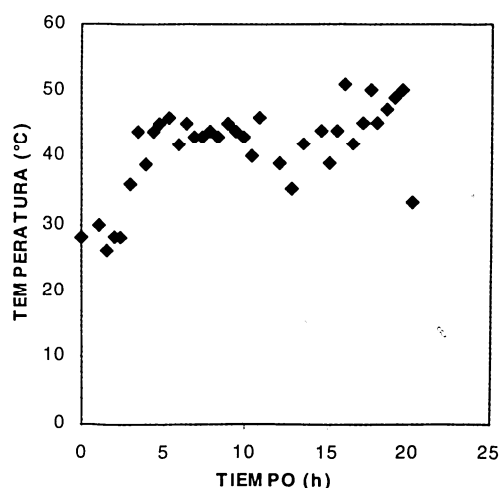
Tabla 1. Características de los secaderos analizados en la Ladrillera San Cristóbal.

Característica	Secadero Morando	Secadero Seveco
Capacidad (ton)	145 (20.7 ton/cámara)	304 (43.5 ton/cámara)
Dimensiones (m X m X m)	18.0 X 4.5 X 3.0	18.5 X 6.9 X 2.8
Área transversal (m <sup>2</sup> )	13.5	19.3
Flujo entrada de aire (m <sup>3</sup> /h)	110.000	90.000
Temp. entrada de aire (°C)	110-120	100
Tiempo secado (h)	24 (promedio/cámara)	65 (promedio/cámara)

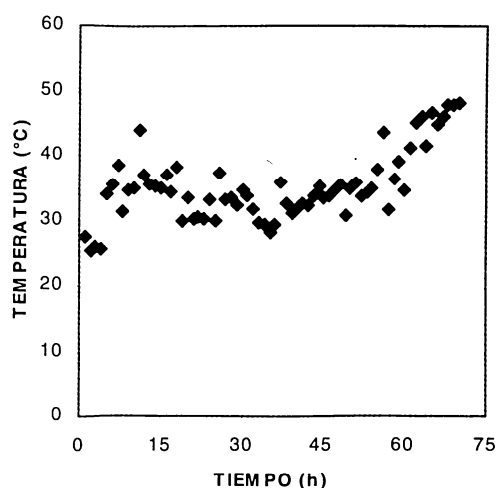
### 3.1 Evolución de la temperatura en el interior del secadero.

Se registró la temperatura en el interior de las cámaras de los secaderos Morando y Seveco, durante el proceso (ver Figura 2). La temperatura del aire de secado alimentado a ambas cámaras permanece constante en un valor aproximado de 110 °C, mientras que la temperatura interna se autorregula alrededor de 60 °C.

En la Figura 2 se puede apreciar que la temperatura en el secadero Morando es ligeramente superior a la del secadero Seveco. Esta diferencia se debe probablemente a un menor tamaño del secadero Morando, a una mayor relación de kilogramos de aire por kilogramo de material en proceso y a que en el secadero Morando se recuperan gases calientes del horno.



a. Secador Morando



b. Secador Seveco

Figura 2. Evolución de la temperatura en el interior del secadero.

### 3.2. Evolución de la humedad relativa en el interior del secadero

En la Figura 3, se observa que en el interior del secadero Seveco, durante las primeras 35 horas de secado, el ambiente se encuentra a una humedad relativa alta (superior al 70%) y luego disminuye drásticamente hasta alcanzar valores del 40%. Este comportamiento es indicativo de un intenso proceso de secado durante las primeras 35 horas, donde el agua evaporada del producto humedece el aire. Entre tanto, durante las 35 horas restantes, no se aprecia secado del producto como para promover un incremento de la humedad relativa del ambiente.

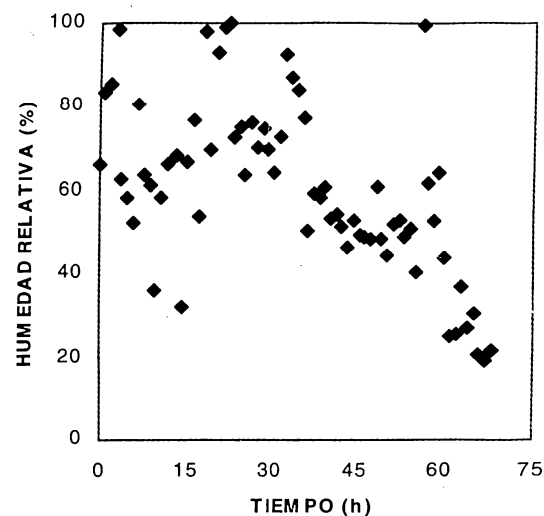


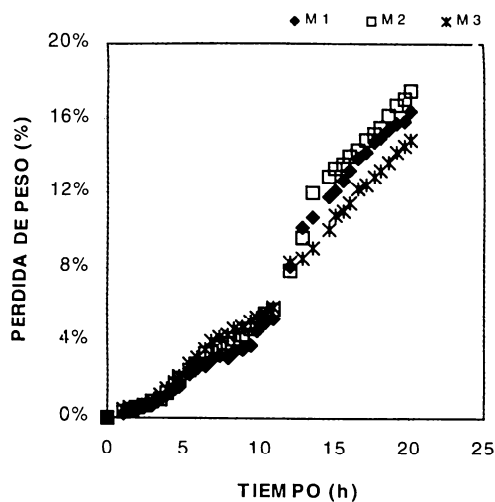
Figura 3. Evolución de la humedad relativa en el interior del secadero Seveco.

### 3.3. Evolución de la pérdida de humedad del producto.

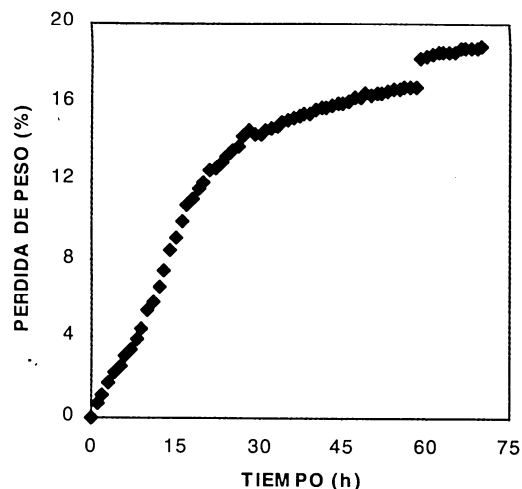
La pérdida de peso del material cerámico se debe al proceso de secado, el cual se caracteriza por la extracción de la humedad contenida en su interior. La eliminación del agua debe hacerse gradualmente para evitar roturas en el material, que se presentan cuando se realiza el secado de manera rápida y sin control, sobre todo en la primeras horas de secado.

Durante las primeras horas de secado, se elimina la humedad superficial y por consiguiente, se debe realizar de manera gradual para que la humedad desde el interior del ladrillo alcance a llegar a la superficie y evitar la extrema sequedad de la zona externa del ladrillo, que se traduce en fisuras y posterior fractura del material. También, la etapa inicial debe controlarse cuidadosamente, debido a que en esa etapa se presenta contracción del material cerámico que puede fracturarlo, si el proceso se realiza rápido.

La pérdida de peso en los ladrillos durante el proceso de secado se presenta en la Figura 4, y en la Figura 5 se presenta la evolución de la contracción.

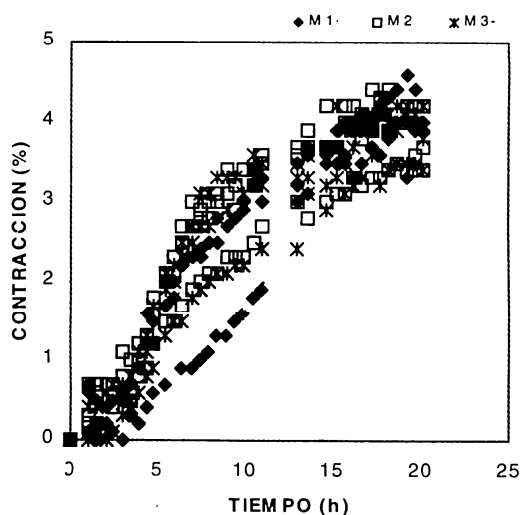


a. Secador Morando

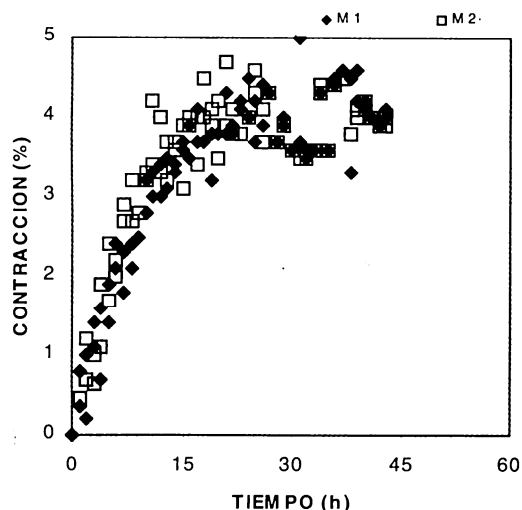


b. Secador Seveco

Figura 4. Evolución de la pérdida de humedad del producto.



a. Secador Morando



b. Secador Seveco

Figura 5. Evolución del porcentaje de contracción del material cerámico durante el secado.

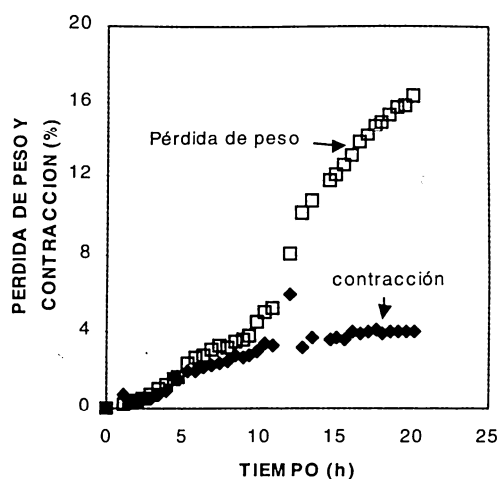
De la Figura 4, se puede concluir que el secado realizado en el equipo Morando se toma aproximadamente 20 horas para alcanzar la humedad final deseada. Entre tanto, se observa que el material a secar en el equipo Seveco permanece 70 horas y sólo se aprecia pérdida de peso significativa en las 35 primeras horas, esto concuerda con el comportamiento de la humedad relativa (Figura 3).

Es importante, resaltar que la humedad final deseada para el material cerámico en el secador Seveco se logró a las 35 horas de proceso y la máxima contracción a las 18 horas aproximadamente, lo cual permite concluir que se operó el secadero innecesariamente durante las 35 horas siguientes, generando pérdidas de energía por consumo de carbón, de energía

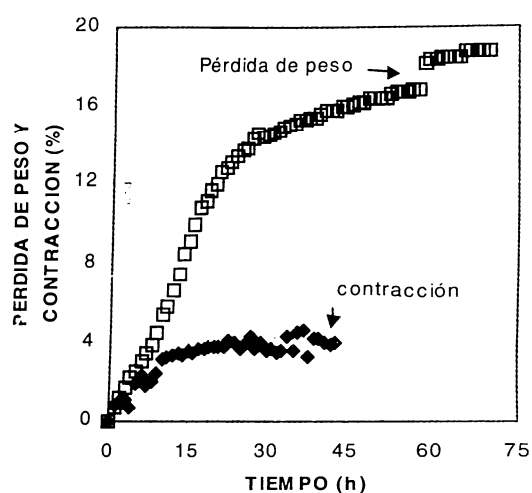
eléctrica en ventiladores y disminución de la producción.

Sin embargo, cabe anotar que se hace necesario el secado durante este período adicional pues en el ladrillo hay una cara que no se ha secado completamente. Dicha cara está soportada sobre una plaqueta de barro para evitar la deformación del material durante el transporte entre la boquilla y la estantería.

Por medio del conocimiento adquirido por la empresa en lo referente a la operación del secadero, se ha logrado un adecuado control del proceso que se observa al comparar las curvas de pérdida de peso con la contracción en el tiempo (Figura 6). En esta se observa un cambio de la pendiente en la curva de evolución de pérdida de peso en el instante en que la contracción del material ha terminado.

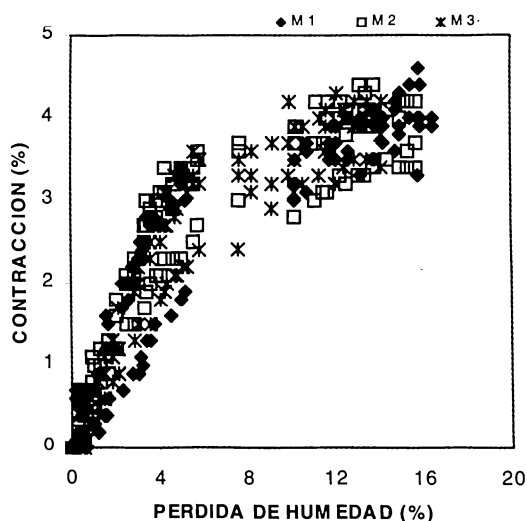


a. Secador Morando

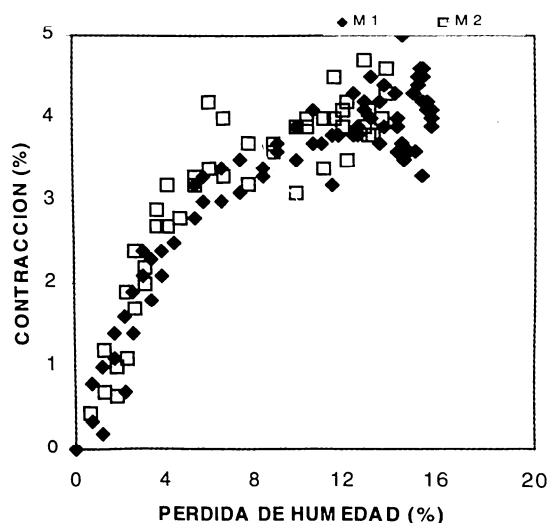


b. Secador Seveco

Figura 6. Comparación entre la evolución del porcentaje de contracción del material cerámico y la pérdida de humedad durante el secado.



a. Secador Morando



b. Secador Seveco

Figura 7. Comportamiento del porcentaje de contracción del material cerámico durante el secado con el porcentaje de pérdida de peso.

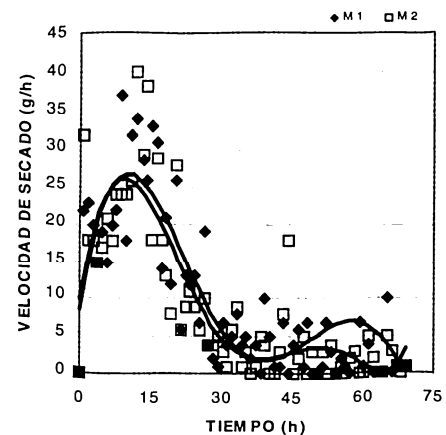
En la Figura 7 se presenta la variación de la contracción contra la pérdida de humedad. Además, se puede observar que el cese de la contracción ocurre cuando el material cerámico ha perdido aproximadamente el 8% del peso inicial. Esto indica que cuando el producto ha perdido el 8 % de la humedad inicial, se reducen los riesgos de rotura.

### 3.4. Velocidad de secado

Para analizar el secado es importante observar la evolución de la velocidad de secado expresada en flujo de agua evaporada (Figura 8), en evolución del flujo de agua evaporada por área de superficie de secado (Figura 9) y en el comportamiento de la velocidad de secado con respecto a la pérdida de peso (Figura 10).

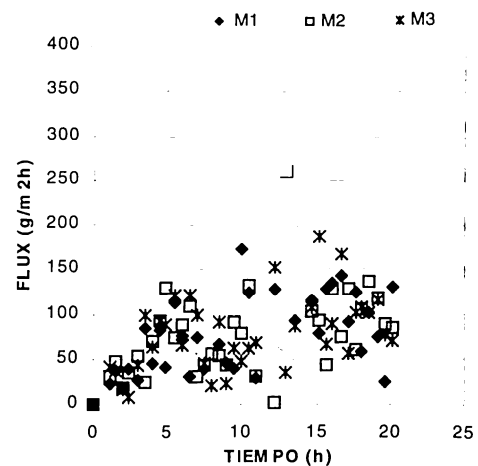
En la Figura 8 se puede apreciar que la velocidad de secado aumenta hasta un máximo y luego disminuye hasta valores cercanos a cero cuando el secado ha finalizado (ver Figura 8b). Nuevamente, se aprecia que el secado en el equipo Seveco ha finalizado después de 35 horas.

Con el fin de analizar la tasa de secado de un equipo con respecto a otro, se construyó la Figura 9, la cual relaciona la velocidad de secado por área de superficie de contacto aire – ladrillo. Este parámetro da la idea de qué tan efectivo es un secador con respecto al otro.

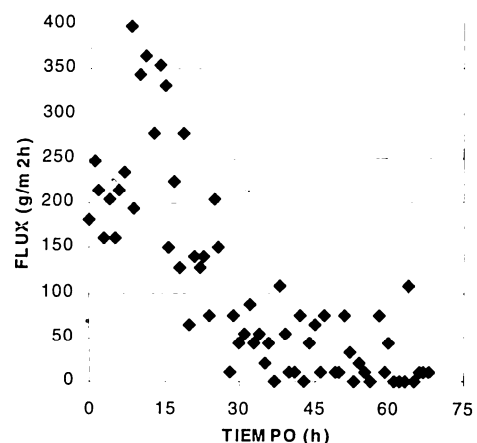


b. Secador Seveco

Figura 8. Evolución de la velocidad de secado.

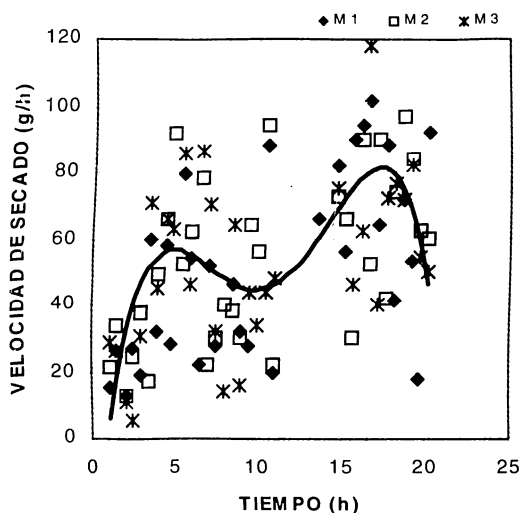


a. Secador Morando



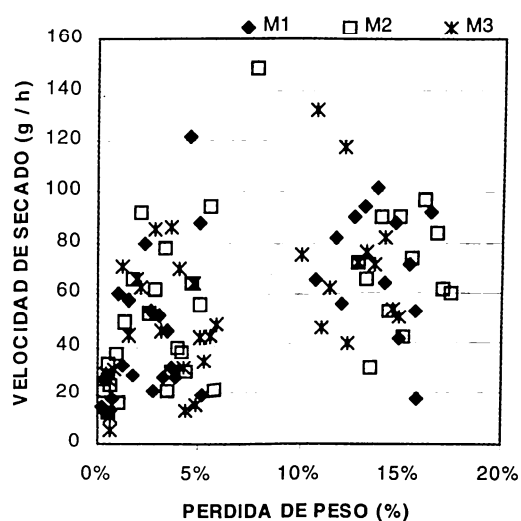
b. Secador Seveco

Figura 9. Evolución de la velocidad de secado por área de superficie de secado.

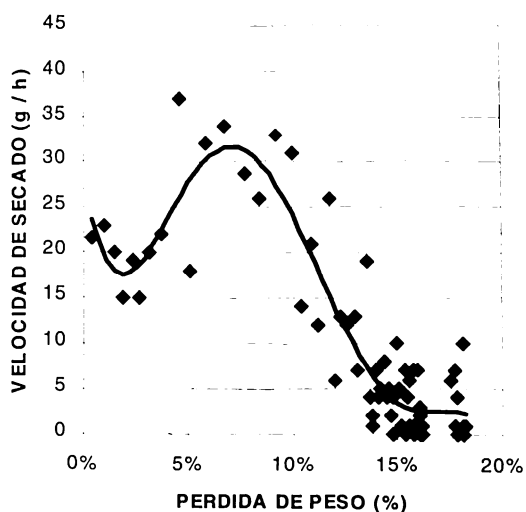


a. Secador Morando

En la Figura 9 se puede apreciar que en el secador Seveco se obtuvieron las mayores tasas de secado por cada metro cuadrado de área de superficie de ladrillo. Esto significa que durante las primeras horas de secado, el equipo Seveco posee una mayor posibilidad de transferencia de humedad desde el ladrillo al aire, debido posiblemente a un mayor flujo de aire suministrado durante las primeras 35 horas de secado. El flux (velocidad de secado por unidad de área) en el secador Morando se mantuvo en un valor constante durante todo el proceso de secado, aproximadamente de  $100 \text{ g/m}^2\text{h}$ .



a. Secador Morando



b. Secador Seveco

Figura 10. Comportamiento de la velocidad de pérdida de peso con el porcentaje de pérdida de peso.

La tasa de secado en el secador Seveco se reduce a cero a partir del momento en que el porcentaje de pérdida de peso ha alcanzado el valor del 15%, tal como se indica en la Figura 10. Lo cual quiere decir que hasta el punto donde se alcanza una pérdida de peso del 15 %, el secado es un proceso económicamente viable, desde este momento, el secado es difícil y costoso debido a que demanda una gran cantidad de energía que no se aprovecha en el proceso, sino que se convierte en pérdidas.

### 3.5. Flujo de aire a la entrada v.s. tiempo

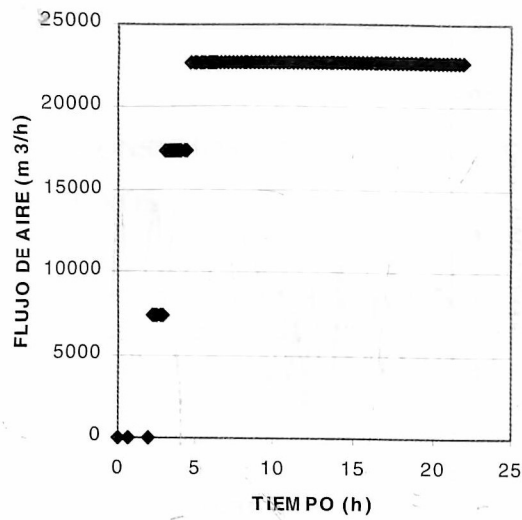
El secado se realiza como consecuencia del transporte de agua desde la superficie del material arcilloso hasta el aire que fluye sobre él. El flujo de aire que entra al secadero se registró en ambos secaderos y su evolución se presenta en la Figura 11, en la cual se puede observar que el proceso de secado inicia con bajos flujos de aire que se van incrementado con el tiempo con el objetivo de evitar el secado brusco en las primeras horas donde se da la contracción del ladrillo. Una vez superada esta etapa de contracción, se incrementa el flujo de aire de secado. Para el secador Morando se mantiene este flujo máximo hasta el final del proceso, mientras que para el secadero Seveco se presentó una reducción con el avance del secado. La reducción del flujo de aire suministrado al secador Seveco se debe a la entrada en operación de otras cámaras adicionales a la cámara donde se realizaron las mediciones.

Una disminución en el flujo de aire suministrado trae como consecuencia una disminución en la velocidad de secado, retardando así el proceso y provocando un incremento en el consumo de energía.

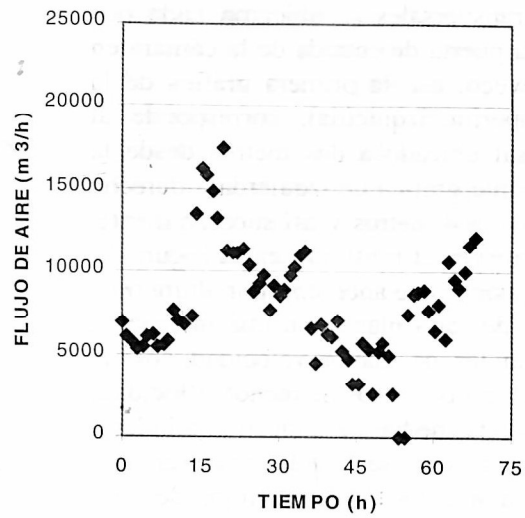
### 3.6. Distribución de flujo en el interior

La distribución del flujo de aire en el interior del secadero es uno de los parámetros de interés para lograr un secado uniforme en el tiempo de todos los ladrillos. Por tal motivo se midieron las velocidades en cada punto de diferentes planos transversales del secadero.





a. Secador Morando



b. Secador Seveco

Figura 11. Evolución del flujo de aire de secado.

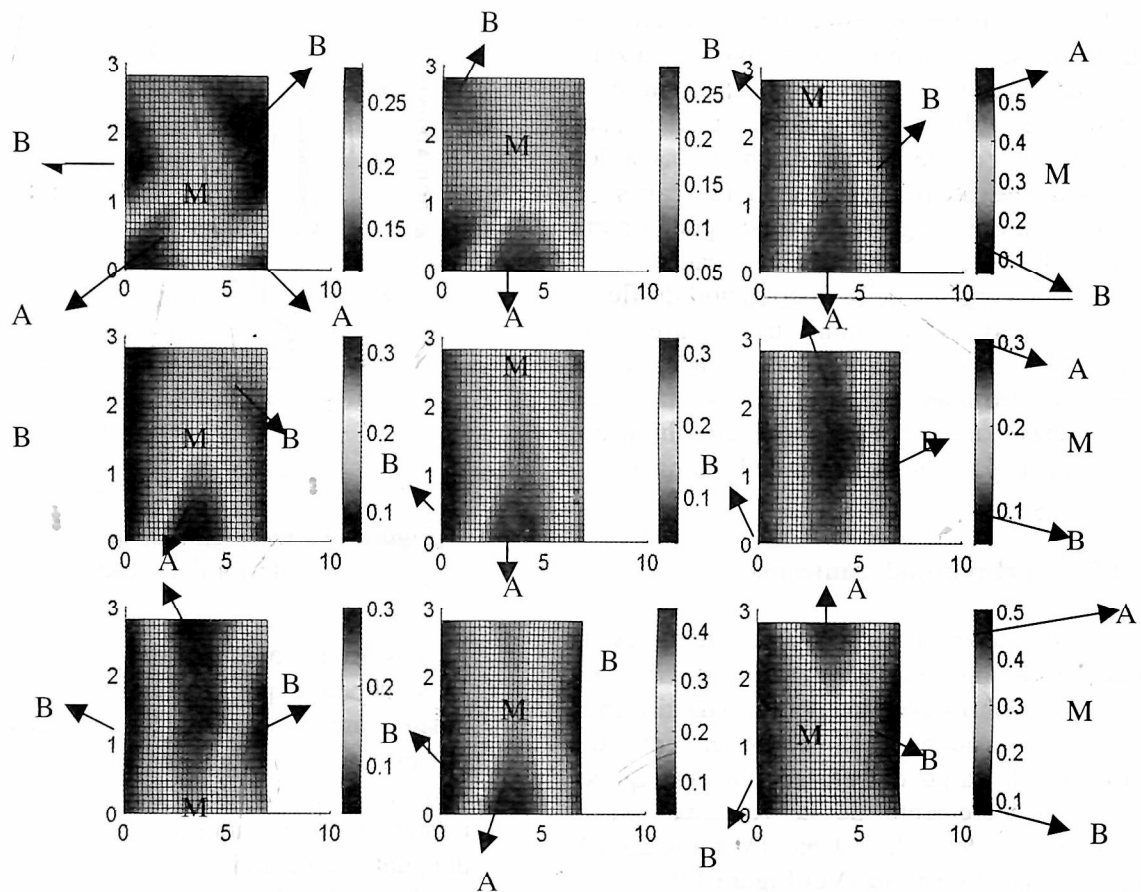


Figura 12. Distribución de velocidad en el interior del secadero Seveco.

Estos planos transversales se ubicaron cada dos metros desde la puerta de entrada de la cámara en el secadero Seveco, así, la primera gráfica de la Figura 12 (superior izquierda), corresponde al plano transversal ubicado a dos metros desde la puerta, la siguiente gráfica de izquierda a derecha (superior centro), a 4 metros y así sucesivamente. Cada plano transversal mostrado en la Figura 12 indica las dimensiones de ancho(m) por altura (m).

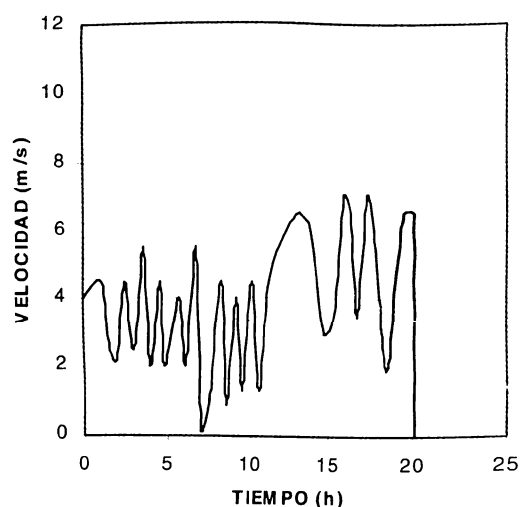
Los puntos de cada plano con una indicación con letra A son los de mayor velocidad, los de indicación con letra B son los de menor velocidad, las velocidades intermedias se indican con la letra M. En consecuencia, se puede observar que existen planos donde los mayores flujos de aire, aquellos con las mayores velocidades, se ubican en la zona superior del secadero y otros donde los mayores flujos se dan en la parte inferior.

Debido a que el suministro de aire es por el eje central de la parte superior del secadero, es evidente que se aprecien mayores flujos en la zona central del secadero. Por tal motivo, en esos secaderos se utilizan ventiladores axiales para dirigir el flujo desde la parte central hacia los costados del secadero atravesando las capas de ladrillos, para que luego sea extraído por la parte inferior de los costados laterales del secadero.

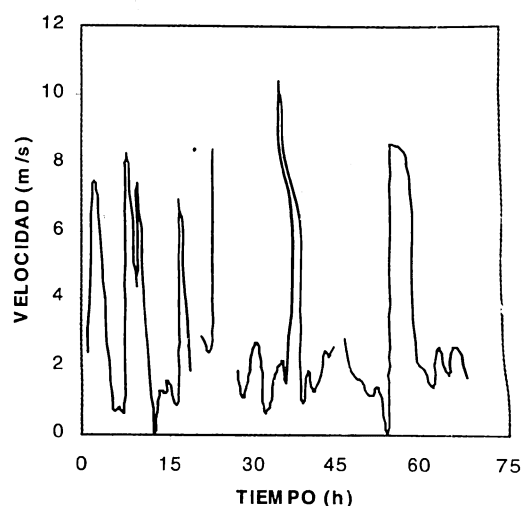
Se puede concluir de la distribución de flujos que las zonas de pobre suministro de aire en la cámara del secadero Seveco corresponden a los primeros cuatro metros desde la entrada y las peores zonas para extracción del aire húmedo, corresponden a la parte posterior de la cámara.

### 3.7. Efecto del ventilador interno

Una práctica común en esos secaderos es la utilización de un ventilador axial móvil, para lograr una mejor distribución del flujo de aire en el interior del secadero. El desplazamiento del ventilador a lo largo del eje central del equipo, provoca un incremento de la velocidad en el interior del secadero, de  $0.4 \text{ m/s}$  (Ver Figura 12) hasta velocidades de  $8 \text{ m/s}$  (Ver Figura 13).



a. Secador Morando



b. Secador Seveco

Figura 13. Evolución de la velocidad en el interior del secadero.

Las oscilaciones que se aprecian en la Figura 13 se deben a que la velocidad se midió en el mismo punto del interior del secadero durante el proceso y por consiguiente, unas veces se registran velocidades altas porque en ese momento el ventilador axial se encontraba cerca del punto de mediciones.

La velocidad de secado se incrementa considerablemente a medida que se disponga en el interior del secadero de ventiladores de recirculación del aire interno, debido a que la transferencia de la humedad desde el ladrillo

hasta la corriente de aire se incrementa con la velocidad del aire.

#### 4. CONSUMOS DE ENERGÍA EN LOS SECADEROS

La cámara del secadero Morando fue utilizada para extraer 3.9 toneladas de agua desde 3300 ladrillos con un área expuesta de 6112 m<sup>2</sup> en una tanda de 22 horas y para ello consumieron 520 kg de carbón (PCS 28500 kJ/kg). Entre tanto, la cámara del secadero Seveco se usó para extraer 10.1 toneladas de agua desde 14752 ladrillos con un área expuesta de 1375 m<sup>2</sup> en una tanda de 68 horas, requiriendo 1900 kg de carbón.

Los consumos específicos expresados en requerimientos de carbón, de energía y de aire de secado se presenta en la Tabla 2. En ella se puede concluir que el proceso de secado en el secadero Morando se realizó con menores consumos específicos, en un menor tiempo de secado, sin embargo, se utilizó una mayor relación de flujo de aire de secado, del orden de 2,14 kg por hora de agua por cada kg de agua evaporada, pero una menor relación por cada m<sup>2</sup> de superficie de ladrillo expuesto al aire, lo cual permite definir que los requerimientos de aire deben ubicarse en valores cercanos a los 2,2 kg por hora de aire por cada kg de agua evaporada.

Tabla 2. Consumos Específicos en las cámaras de los Secaderos Morando y Seveco.

Consumos específicos	Morando	Seveco
kg de carbón / ton de agua evaporada	136,0	187,0
MJ / Kg de agua evaporada	3,9	5,3
kJ / kg de agua evaporada por m <sup>2</sup>	1,64	3,85
kg de aire / hora . kg de agua evaporada	2,14	0,74
kg de aire / hora.. Ton de agua evaporada por m <sup>2</sup>	0,91	0,54

El análisis del secadero se basó en un balance de energía que tiene en cuenta el suministro de energía por parte del aire de secado, la demandada por el proceso, la utilizada para el calentamiento de las estructuras de soporte y paredes y las pérdidas en chimenea. En la Figura 14 se presenta un esquema basado en la carta psicrométrica para explicar los cálculos.

En la Figura 14 se presenta  $h_1$  como la entalpía a las condiciones ambientales,  $h_2$  es la entalpía del aire después del calentador y antes de entrar al secadero,  $h_3$  es la entalpía a las condiciones del aire de salida del secadero en chimenea y  $h_4$  corresponde a la entalpía a las condiciones de temperatura de salida del aire a la humedad absoluta del aire de entrada.

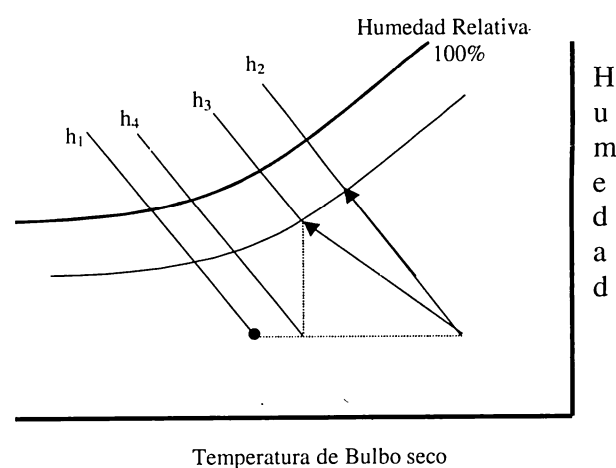


Figura 14. Esquema de una carta psicrométrica para el balance de energía.

Basados en las definiciones de entalpías mencionadas en el párrafo anterior, se calcula el flujo de energía aportado por el aire, teniendo en cuenta la medida del flujo de aire de entrada al secadero y sus condiciones de temperatura y humedad relativa que se expresa como:

$$E_{ae} = F_{ae} * [h_2 - h_1] \quad (1)$$

Donde:

$E_{ae}$ : Flujo de energía del aire de entrada (kW)

$F_{ae}$ : Flujo de aire de entrada (kg/s)

La energía demandada por el proceso se calcula como sigue:

$$E_s = F_{ae} * [h_3 - h_4] \quad (2)$$

Donde:

$E_s$ : Flujo de energía requerido para el secado (kW)

Las pérdidas en chimenea se calculan con:

$$E_{chim} = F_{ae} * [h_3 - h_4] \quad (3)$$

Donde:

$E_{chim}$ : Flujo de energía debido al aire que sale por chimeneas (kW)

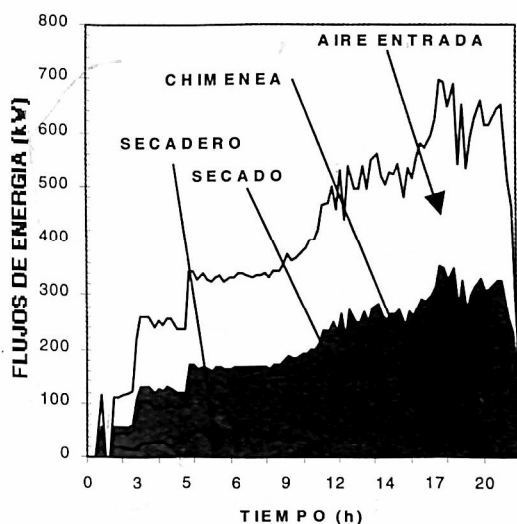
Y las pérdidas debidas al calentamiento de paredes y estructuras del secadero se calculan como:

$$E_p = F_{ae} * [h_3 - h_2] \quad (4)$$

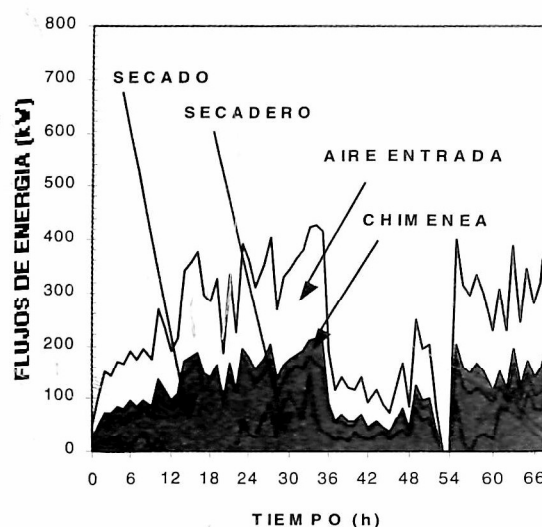
Donde:

$E_p$ : Flujo de energía consumido para el calentamiento de paredes y estructuras (kW).

En la Figura 15, se ilustra la evolución del suministro de energía por parte del aire de secado, la demandada por el proceso, la utilizada para el calentamiento de las estructuras de soporte y paredes y las pérdidas en chimenea calculadas con base en las ecuaciones 1, 2, 3 y 4 respectivamente. En la figura se puede apreciar diferentes áreas en escala de grises; cada área representa la cantidad de energía demandada durante el proceso en kW.h.



a. Secador Morando



b. Secador Seveco

Figura 15. Evolución del suministro de energía por parte del aire de secado, de la energía demandada para el secado y las pérdidas en chimenea y en el secadero.

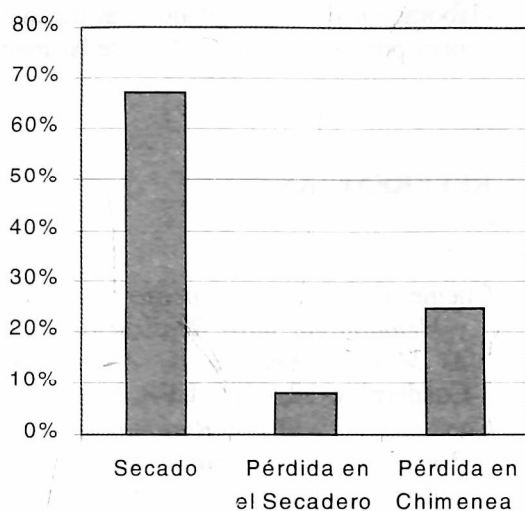
De la Figura 15, se concluye que en la cámara de secado del equipo Morando demanda energía para el calentamiento de sus estructuras de hierro y sus paredes (área denominada "secadero" en la Figura 15) durante el 50% del tiempo total, en el tiempo restante no se requiere energía adicional, puesto que dichas estructuras ya alcanzaron la temperatura de equilibrio. No obstante, el secado prosigue, demandando energía para culminar el proceso (área denominada "secado" en la Figura 15) y algo más que se va al ambiente por la chimenea y las puertas (área denominada "chimenea" en la Figura 15).

De otro lado, en la cámara del secador Seveco se aprecia una situación diferente, el proceso de secado se realiza casi en su totalidad en las primeras 35 horas; el tiempo restante (35 horas más), el secadero es ineficiente y gran parte de la energía aportada durante este tiempo, se gasta en calentamiento de estructuras, paredes y en aire que sale en chimenea al ambiente (poca participación del área de secado en la Figura 15b).

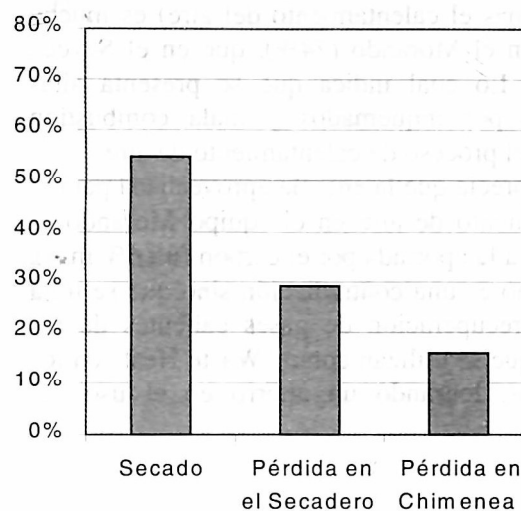
La participación porcentual de la energía demandada para secado, secadero y pérdidas en chimenea se ilustra en la Figura 16. En esta se puede apreciar que el proceso de secado en la

cámara del secadero Morando demanda cerca del 70% del total de energía aportada por el aire de secado, el cual fue calentado hasta una

temperatura de 120 °C, en cambio la cámara del secadero Seveco sólo demanda el 50%.

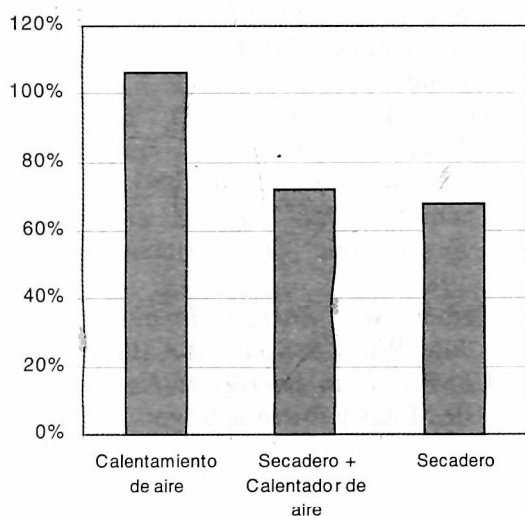


a. Secador Morando

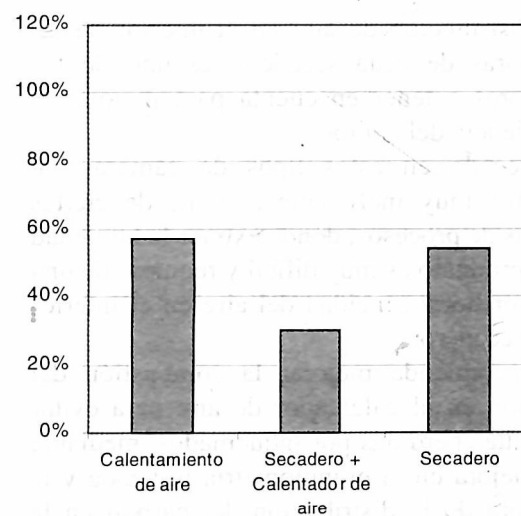


b. Secador Seveco

Figura 16. Participación porcentual de la energía demanda.



a. Secador Morando



b. Secador Seveco

Figura 17. Valores de la eficiencia del proceso de calentamiento de aire y de secado.

Las mayores pérdidas por calentamiento de estructuras y paredes se dieron en el secadero Seveco, cerca del 30% del total suministrado por el aire, valor mucho mayor que el demandado

por el equipo Morando, el cual fue de tan solo 8%.

La eficiencia del proceso de secado en las cámaras No.1 de los secaderos Morando y

Seveco se ilustran en la Figura 17. En ella se puede observar que la eficiencia del secado en el equipo Morando (70%) es superior a la del equipo Seveco (58%).

También, la eficiencia global (que incluye el secado más el calentamiento del aire) es mucho mayor en el Morando (74%), que en el Seveco (30%). Lo cual indica que se presenta altas pérdidas por inquemados y mala combustión durante el proceso de calentamiento de aire.

Se aprecia que la energía aprovechada para el calentamiento de aire en el equipo Morando es superior a la aportada por el carbón (un 6% más), lo cual no es una contradicción sino que se trata de una recuperación de gases calientes de los hornos que se utilizan como "Waste Heat" en los secaderos, logrando un ahorro en el uso del carbón.

## 5. CONCLUSIONES

Y

### RECOMENDACIONES

- La distribución de aire en el interior de las cámaras de cada secadero, es uno de los factores a tener en cuenta para mejorar la eficiencia del equipo.
- El secado en estos tipos de cámaras, se vuelve muy ineficiente a partir de ciertas horas de procesos, donde extraer la humedad del producto es muy difícil y requiere de una mayor homogeneidad del aire en el interior del secadero.
- Se recomienda mejorar la combustión del carbón en el calentador de aire para evitar las altas pérdidas por inquemados, mediante la mejora en la granulometría utilizada y la mejora de la distribución del carbón en la parrilla.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Ladrillera San Cristóbal, COLCIENCIAS, a la Universidad Pontificia Bolivariana, a la Universidad Nacional de Colombia y a la Universidad de Antioquia por

su apoyo financiero y logístico para la realización del proyecto. También, los autores agradecen a Don Luis Carlos Cuartas, Gabriel Cuartas y Victor Aristizabal por toda su colaboración y aportes técnicos para la elaboración de este trabajo y al ingeniero Eder Emery por todo el apoyo durante las mediciones.

## REFERENCIAS

- Chejne, F. y Hill, A. *Proceso de la Combustión y Metodología para Realización de Balances de Masa y Energía de Algunos Procesos*. Cuadernillo 18, CIDI, UPB, Medellín, 1992.
- Chejne F., et al., "Rational use of Energy Project in the industrial sector served by Public Utility of Medellín". Proceedings of III International Congress Energy, Environment and Technological innovation, 1995.
- IDEA. *Manuales Técnicos y de Instrucción para Conservación de Energía*. Madrid, 1983.
- Shell Briefing Service. *Gestión Eficiente de la Energía*. Public Affairs Group, Shell International Petroleum Company, SEI 7NA, London, 1992.
- Singer, P. and G. Joseph. *Combustion Fossil Power*. Combustion Engineering, Inc. Windsor, Connecticut, 1991.
- Thumann, A. *Fundamentals of Energy Engineering*. The Fairmont Press, Inc. USA, 1984.
- Turner, W. *Energy Management Handbook*. John Wiley & Sons, USA, 1982.
- UPME. *Plan Energético Nacional*, Ministerio de Minas y Energía, Bogotá, 1996.