

EVALUACION DE UN SECADOR INTERMITENTE DE FLUJOS CONCURRENTES (IFC) PARA CAFE //

**JULIO E. OSPINA MACHADO¹
FERNANDO ALVAREZ MEJIA²
GONZALO ROA MEJIA³**

RESUMEN

En Colombia, el secado de café pergamino, beneficiado por vía húmeda se realiza en dos sistemas: al sol y mecánico.

El secado mecánico más utilizado es el estático, el cual presenta algunas desventajas, entre ellas, la desuniformidad en el contenido de humedad final del grano.

Con el fin de disponer de una tecnología alterna de secado, el Centro Nacional de Investigaciones del Café (CENICAFE), desarrolló un pro-

¹ Profesor Asociado, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá. Apartado 14490.

² Profesor Asociado, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional, Seccional Medellín. Apartado 568.

³ Ingeniero Electromecánico, Coordinador de Postcosecha del Centro Nacional de Investigaciones del Café, CENICAFE, Chinchiná, Caldas. Apartado 2427.

yecto de investigación sobre secado dinámico, para lo cual diseñó y evaluó un secador intermitente de flujos concurrentes (IFC).

En este trabajo se presentan los resultados de la evaluación de un secador tipo IFC de capacidad de 500 kg de café pergamino seco (c.p.s.) y el sistema de transporte utilizado durante el secado. Las diferencias del contenido de humedad final de la masa de grano fue menor al 1% base seca (b.s.). Las mejores condiciones de operación del secador fueron: temperatura del aire de secado, 80°C; flujo de grano, 0,04 m³/min.m² (volumen de grano); flujo de aire, 210 m³/min.ton de café pergamino seco y tiempo de secado, 28 horas; incluyendo dos horas de aireación al final del proceso.

Como resultado del análisis de calidad del café pergamino seco se encontró un promedio de 0,6% de grano pelado y una cantidad de pasillas en la almendra inferior al 5%. Después de cuatro meses de almacenamiento del café, en condiciones ambientales diferentes, la prueba de taza dio un café bueno (aroma y sabor normal).

El consumo de combustible (ACPM) en promedio fue de 0,5 galones por hora y un rendimiento térmico de 5.600 KJ/kg de agua evaporada.

El transportador de cangilones de descarga por gravedad demostró ser una buena alternativa para mover el grano en este sistema de secado.

Palabras clave: secado de café, calidad del café, secado continuo, elevador de cangilones.

ABSTRACT

EVALUATION OF CONTINUOUS INTERMITTENT WITH CONCURRENT AIR FLOW DRIER (IFC).

Washed coffee is dried in the sun and by mechanical driers. The batch driers are the mechanical method mostly used in Colombia, giving an uneven final moisture content as principal disadvantage.

To avoid this problem, the Centro Nacional de Investigaciones del Café (CENICAFE) of Colombia developed a 500 kg capacity (of dried parchment coffee in 28 hr) continuous intermittent with concurrent air flow drier (IFC), using a bucket elevator to move the grain. The best operating conditions were found at 80°C at a grain rate of 0,04 m³ / min.m², at an air flow of 210 m³ / min.ton dried parchment coffee, and at a resting time of two hr at the end of the drying process, getting a final moisture difference content of 1% (d.b.).

A quality analysis of dried parchment coffee gave a 0,6% of hulled grain, and it was found also less than 5% of low quality green coffee (pasilla) storing assays for a 4 month period at environment conditions gave a good quality cup.

The fuel oil consumption was 0,5 gal / hr, with a latent heat of 5.600 KJ / kg of water.

A perfect discharge bucket elevator was used to recirculate the grain, showing a good performance.

Key words: coffe drying, coffe quality, continuous driers, buckets elevator.

INTRODUCCION

En Colombia, el beneficio del café se realiza por vía húmeda. El grano una vez cosechado se somete a las siguientes operaciones : despulpado, fermentado, lavado, clasificado y secado. Esta última operación es la más importante del beneficio, la cual consiste en remover la humedad del grano del 55% base húmeda (b.h.) a un contenido de humedad final del 10% al 12% b.h. Este proceso puede hacerse en forma natural o mecánicamente.

El secado al sol es práctico en fincas cuya producción sea menor a una tonelada de café pergamino seco por un año.

El secado mecánico se realiza principalmente en secadores de capa fija como el silo tipo alberca construido en mampostería. La mayoría de ellos constan de dos cámaras llamadas de secado y presecado dependiendo de la entrada del aire de secado. Existen varios modelos, como el tipo CENICAFE que trabaja con una capa fija media de 0,40 m con una temperatura del aire de secado de 50°C y un caudal de aire recomendado de 60 a 80 m³/min.ton c.p.s. Estos secadores a los cuales se les puede invertir el flujo del aire de secado tienen una capacidad entre 50 y 400 @ de c.p.s. En trabajos realizados por Ospina (1990) en CENICAFE - Chinchiná, se encontraron diferencias de humedad hasta del 4,5% b.h., al final del proceso de secado en la misma masa de grano, procesado en un secador de 80 @ c.p.s. de capacidad. En el caso de que se seque café en

un silo, manteniendo el flujo de aire en una sola dirección estas diferencias de humedades son mucho mayores.

Otro sistema de secar granos mecánicamente es el secado dinámico que según la dirección del flujo de aire con respecto al producto, puede ser de flujo cruzado, de flujo en contracorrientes y de flujo paralelo. El aire caliente puede estar en contacto directo durante todo el proceso de secado o en forma intermitente, es decir que el grano se somete a reposo por períodos fijos sin recibir corrientes de aire.

Con el fin de aportar alternativas para superar algunas desventajas de los silos secadores, principalmente la desuniformidad en el contenido de humedad así como un mejor rendimiento térmico y, con base a los trabajos de Soares (1982), quien construyó y evaluó un secador intermitente para café cereza (proceso por vía seca) y de Marcal de Queiroz (1984), quién evaluó un secador intermitente de tres capas de secado para maíz, López (1986) en CENICAFE, construyó y evaluó un secador intermitente de flujos concurrentes para secado de café beneficiado por vía húmeda con capacidad de 600 kg de c.p.s., quien trabajó con flujos de grano de 0,02 a 0,06 m³/min.m² y temperaturas de secado de 80 a 100°C.

Uno de los mayores problemas en el sistema evaluado por López (1986) y Correa (1987) fue el transporte del grano dentro del secador, por lo tanto, Correa (1987) adaptó un sistema de transporte cadena-disco para mover grano a través de un secador IFC y lo operó con flujos de grano de café de 0,034 y 0,048 m³/min.m² y temperatura promedia de secado de 80°C observando un buen comportamiento del secador, pero no así del sistema de transporte.

Montoya *et al* (1989) optimizaron el desempeño del secador intermitente de flujos concurrentes (IFC), mediante el modelo de simulación de la Universidad de Michigan. Para su aplicación se determinaron las propiedades del café: difusión de humedad, entalpía específica, densidad aparente, radio equivalente y área específica. Las diferencias máximas de contenido de humedad y de temperatura del grano entre los valores simulados y los experimentales fueron del 1% b.s. y de 5°C, respectivamente. Encontraron además, que las mejores características físicas y condiciones de operación del secador fueron: temperatura de secado, 83°C; flujo de café pergamino, 800 kg/h m²; flujo de aire; 50 m³/min. m², índice de redistribución 0,7; tiempo de secado 23,7 h; números de pasadas del grano a través de la etapa de secado, 12; longitud de la sección de reposo, 2 m y longitud de la cámara de secado de 0,65 m.

Oliveros y Alvarez (1989) evaluaron un secador IFC tipo comercial encontrando una serie de inconvenientes en el sistema de transporte del secador y en el proceso de secado que comprometían la calidad del grano.

Este trabajo tuvo como objetivos modificar y evaluar el secador intermitente de flujos concurrentes IFC para obtener café pergamino de buena calidad física, mediante la reducción del daño mecánico ocasionado al grano durante el proceso de secado; evitar la decoloración del café pergamino durante el secado y, determinar las mejores condiciones de operación del secador IFC (temperatura del aire y flujo del grano).



MATERIALES Y METODOS

Este trabajo fue realizado en el Laboratorio de experimentación en beneficio del café del Centro Nacional de Investigaciones del Café (CENICAFE), Chinchiná, Caldas.

DESCRIPCION DEL SISTEMA

El secador evaluado, consta de los siguientes elementos básicos (Figura 1): de una fuente de energía o quemador de ACPM con boquillas intercambiables de 1,0 a 3,0 galones por hora; de un intercambiador de calor vertical de tipo indirecto, para calentar el aire de secado; de un ventilador centrífugo de aletas curvadas hacia atrás de 2.800 r.p.m., con capacidad de succionar $45 \text{ m}^3/\text{min}$ y vencer una presión estática de 12,7 cm de columna de agua; de un transportador de cangilones de descarga por gravedad propuesto por Alvarez (1989); de una estructura de secador dividida en dos secciones de reposo (inferior y superior) y una sección intermedia o de secado en la cual el aire caliente entra en contacto con el grano tomando una dirección vertical descendente, para luego salir por unos ductos perforados tipo caballete ubicados en la base de esta sección. El secador permite una relación de masa de café en reposo por masa de café en la zona de secado de 1:3.

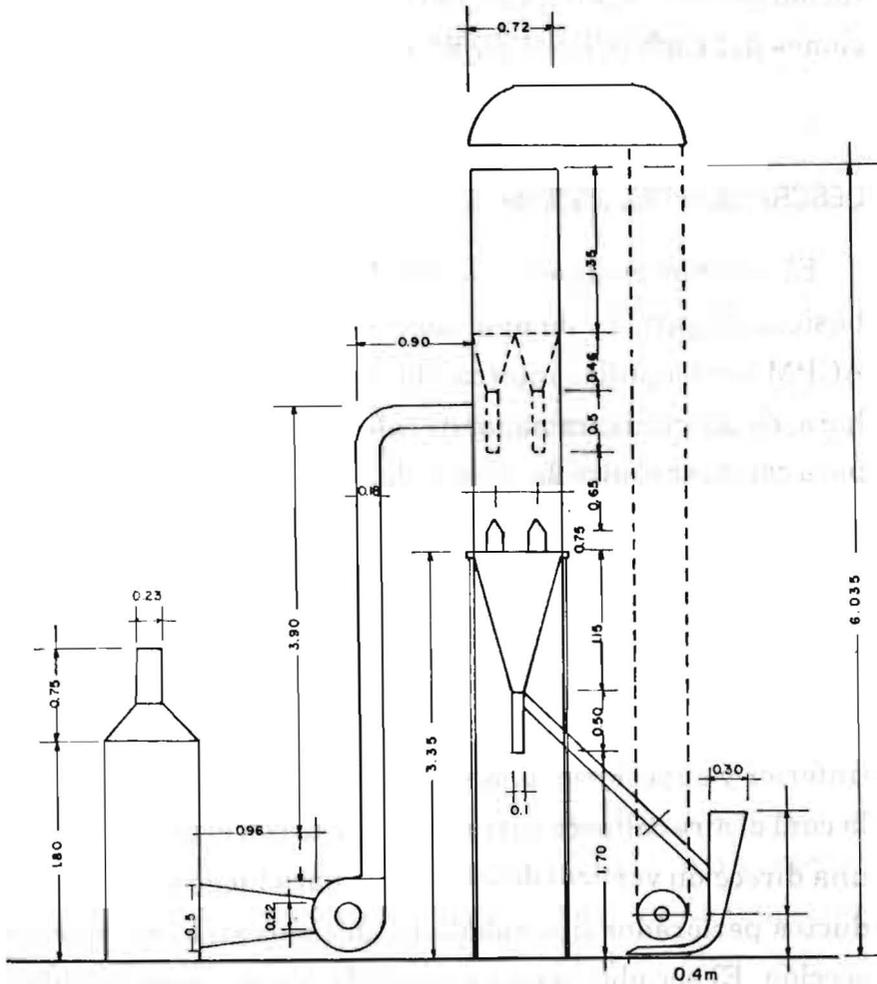


FIGURA 1. Esquema del sistema de secado, intercambiador de calor vertical-ventilador y secador intermitente de flujos concurrentes (IFC).

Atendiendo a las relaciones matemáticas y recomendaciones dadas por Targetta y López (1960), Castillo (1984), Henderson y Perry (1980) y el manual del Cafetero Colombiano (1958) referente a los transportadores de cangilones y a Krutz, Thompson y Clear (1984), sobre el diseño de las transmisiones de potencia por cadena de rodillos, Alvarez (1989) llegó al sistema de transporte que se muestra en la Figura 2 y cuyas características más importantes son: potencia del motor, 1 HP; 1.800 r.p.m. del motor; relación de reducción, 1:60, así: reductor 1 a 10, relación de poleas de 1 a 3 y de 1 a 2; 4 piñones conductores de $\frac{1}{2}$ " de paso y 95 dientes; diámetro total, 390, 14 mm; manzana de $3\frac{1}{2}$ " y hueco máximo permisible de $25\frac{8}{8}$ "; 2 piñones tensores de $\frac{1}{2}$ " de paso y de 17 dientes; 30 r.p.m. de los piñones conductores; $1\frac{1}{4}$ " de diámetro de eje de los piñones; 6,6 mm de distancia entre centros de los ejes; 2 cadenas de paso doble de 1" y 14,4 m de longitud cada una; $0,6 \text{ m.s}^{-1}$ de velocidad tangencial de la cadena; tensión de las cadenas mediante tornillos manuales; 18 cangilones perforados de nylon de $5\frac{3}{4}$ " x 5" x 4" (145 mm x 125 mm x 100 mm) con un espaciamiento entre ellos de 0,8 m.

Con el fin de probar durante los ensayos varios valores de flujos de granos ($0,02$ a $0,05 \text{ m}^3/\text{min.m}^2$), se utilizó el sistema de transmisión de potencia, descrito anteriormente pero con un motor de 3,2 HP.

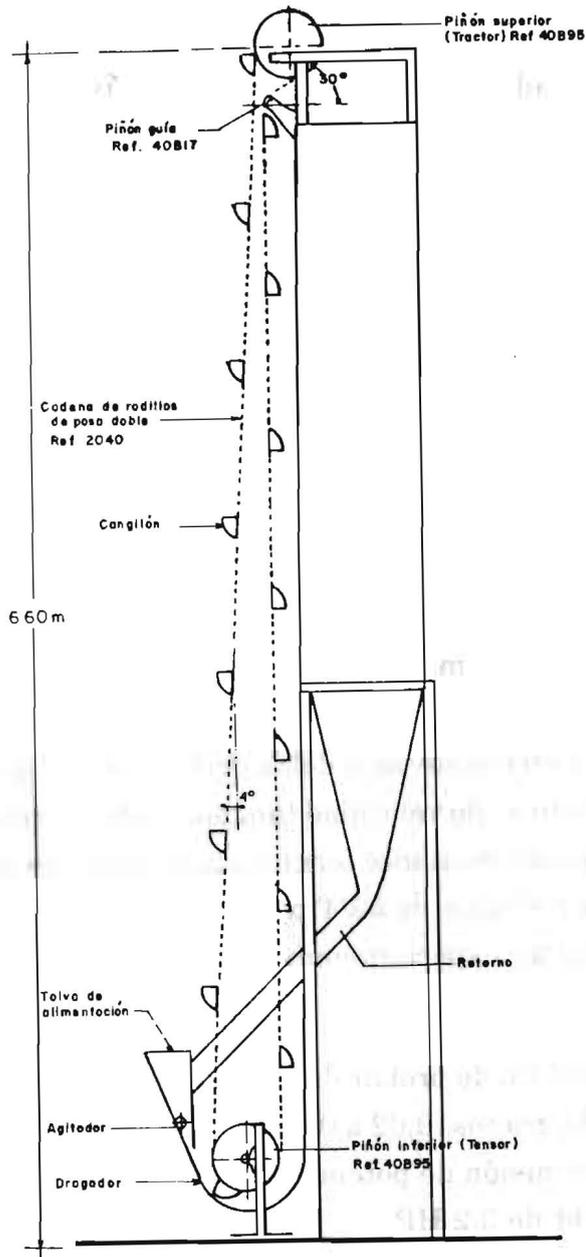


FIGURA 2. Esquema del elevador de cangilones para el secado intermitente de flujos concurrentes (IFC - Prototipo modificado).

Aunque el tamaño de cangilón utilizado excede al valor calculado (125 mm x 100 mm x 85 mm), fue seleccionado con base al material de fabricación (nylon) y a su disponibilidad en el mercado nacional.

Para eliminar la decoloración del café pergamino por la lámina galvanizada se recubrió completamente la parte interior del secador con una lámina de aluminio de espesor de 0,4 mm, la cual no reacciona con la humedad y componentes del café.

VARIABLES CUANTIFICADAS DURANTE EL PROCESO DE SECADO

Para la evaluación del secador IFC se realizaron ocho ensayos, durante los cuales se controlaron las variables del grano (temperatura, contenido de humedad y flujo másico), del aire (temperatura y humedad relativa) y la eficiencia del sistema de secado.

El contenido de humedad del grano se midió al inicio del proceso de secado y luego a intervalos de tres horas y, se determinó utilizando un medidor CENICAFE MH-2 y la estufa con convección forzada a 105°C/16 h. El café recién lavado (humedad entre 52 a 56% b.h.) se depositó en el secador por medio de una bomba centrífuga de 1 HP, siendo conducido por una tubería de PVC con una relación de agua-café de 1:1. Cuando el grano alcanzó una humedad entre el 13 y 14% b.h. se suspendió la fuente de calor y se dejó recircular a través del secador por dos horas.

El flujo de grano se midió tomando la cantidad de café que los 18 cangilones transportaron en cada vuelta y luego determinándole el volumen en un recipiente previamente calibrado. Esta operación se realizó cada tres horas.

La temperatura del grano se midió cada tres horas, tomando una muestra de 100 g de la cámara de secado, la cual se colocó en un recipiente térmico provisto de un termómetro digital marca Testoterm con precisión de $0,1^{\circ}\text{C}$.

La temperatura del aire de secado se controló utilizando un termostato marca Sauter con escala diferencial de 30 a 90°C .

Las temperaturas y las humedades relativas del aire de secado fueron medidas a la salida del secador utilizando un termohigrómetro, marca Testoterm con precisión de $0,1^{\circ}\text{C}$ y 0,1% respectivamente.

El consumo de combustible se cuantificó midiendo las diferencias de nivel de un recipiente de capacidad de 208 litros, al inicio y al final del proceso de secado.

DETERMINACION DE LA CALIDAD DEL CAFE

Calidad física del café pergamino seco

Impurezas o materias extrañas: de cada bulto de 40 kg de café pergamino seco en el secador IFC, se tomó una muestra de 500 g a los cuales se les retiró las impurezas, siguiendo la norma de la Almacenadora de Café (ALMACAFE), que indican que no debe ser mayor al 0,5%.

Guayaba y media cara: de la misma muestra mencionada anteriormente se sacaron los granos guayaba y media cara, se pesaron y se determinó el porcentaje respectivo, que no debe ser mayor al 3% según la norma ALMACAFE.

Grano pelado: para calcular el porcentaje de café pelado se tomó la misma muestra limpia de impurezas y de granos

guayaba y media cara. Se separó el grano pelado siguiendo la norma de ALMACAFE, que acepta un porcentaje no mayor al 2%.

Para calcular el porcentaje real de grano pelado, se tomó una muestra de 15 kg de café pergamino húmedo, antes de depositarlo en el secador, y se llevó al secador experimental LIQC, en donde se secó a una temperatura entre 46 a 48°C. A estas muestras se les cuantificó el porcentaje de grano pelado. Obtenido el porcentaje de grano pelado del café secado en el prototipo y el del testigo, se hizo la diferencia y se obtuvo el porcentaje real de café pelado, durante el proceso de secado en el IFC.

Calidad física de la almendra: para hacer el análisis de calidad física de la almendra se tomaron las mismas muestras de 500 g de café pergamino seco, de cada bulto de 40 kg utilizadas para el análisis de la calidad física del pergamino. De estas muestras se sacaron 150 g aproximadamente para trillarlas manualmente.

El análisis fue hecho con base en los siguientes daños: grano cristalizado, cuya principal causa es el uso de altas temperaturas durante el secado. Grano decolorado o sobresecado, producido por demasiada exposición en el secador; grano flojo, con contenido de humedad por encima del 12% por falta de secamiento; daño mecánico producido principalmente por interacción máquina-grano y otros defectos no contemplados anteriormente.

Prueba de taza: como el propósito fundamental es hacerle un seguimiento a la calidad del café, se almacenaron muestras de dos experimentos en los cuales se utilizaron las siguientes condiciones:

1. experimento A: (ensayo 3, Tabla 1) temperatura del aire de secado de 79,8°C y flujo de grano de 0.0416 m³/min. m² y,
2. experimento B: (ensayo 7, Tabla 1) temperatura del aire de secado de 84,8°C y flujo de grano de 0.037 m³/min. m². Se utiliza como testigo, café pergamino secado en el silo secador CENICAFE a una temperatura de 47°C y un flujo de aire de 70 m³/min. ton c.p.s.

TABLA 1. Condiciones del aire de secado y flujo de granos para cada ensayo.

Ensayo No.	Temperatura aire de Secado °C*	Flujo de granos m ³ /min. m ² *
1	80,5	0.0241
2	80,0	0.0320
3	79,8	0.0416
4	79,8	0.0477
5	85,0	0.0480
6	86,2	0.0410
7	84,8	0.0370
8	80,2	0.0401

* Promedio de 10 lecturas cada tres horas.

Para hacer la prueba de taza se prepararon muestras de 1.500 g en empaques de fique, las cuales fueron almacenadas en el beneficiadero para experimentación de CENICAFE, en Chinchiná y en las bodegas de ALMACAFE, en el Páramo de Letras. De estos sitios se sacaron muestras al inicio del almacenamiento y posteriormente cada tres meses, las cuales se remitieron al Laboratorio de Análisis de la Fábrica de Café Liofilizado en Chinchiná y al laboratorio de Calidades de la Federación Nacional de Cafeteros en Bogotá.

RESULTADOS Y DISCUSION

Condiciones del Area y del Grano

El secador IFC prototipo fue instalado en el beneficiadero experimental de CENICAFE y una vez hechas las modificaciones pertinentes, se procedió a evaluarlo.

La temperatura del aire que se muestra en la Tabla 1 corresponde a valores promedios. El termostato controló la temperatura en un rango de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ lo cual permitió que en la mayoría de los ensayos el coeficiente de variación se mantuviera alrededor del 2%.

El flujo del grano se incrementó después del segundo ensayo, debido al daño por calor que se observó en el pergamino y en la almendra cuando el paso por la cámara de secado fue más lento (menor a $0.032 \text{ m}^3/\text{min}.\text{m}^2$, Tabla 1).

El flujo de aire varió entre $45 \text{ m}^3/\text{min}.\text{m}^2$ para café húmedo y $57 \text{ m}^3/\text{min}.\text{m}^2$ para café seco (205 a $250 \text{ m}^3/\text{min}.$ ton c.p.s.).

Igualmente se midieron las condiciones del aire de salida

(exhausto) de la cámara de secado obteniéndose un promedio de temperatura media de 35,8°C, cuando la temperatura del aire de secado fue de 80°C. y 39°C. para la temperatura del aire de secado de 85°C. La máxima temperatura del aire exhausto fue de 44°C para el primer caso y 51°C para la temperatura de entrada a 85°C; estas temperaturas se observaron al final del proceso de secado. La humedad relativa del aire de salida fue inferior a 60% después de 20 horas de secado.

COMPORTAMIENTO DEL GRANO EN EL PROCESO DE SECADO

En la Tabla 2 se muestra el tiempo total de secado para los diferentes ensayos, el contenido de humedad inicial y final del grano y la temperatura media alcanzada por el grano.

TABLA 2. Tiempo de secado, contenido de humedad inicial y final del grano y la temperatura media alcanzada por el grano durante el proceso de secado.

Ensayo No.	Tiempo total de secado (h)	Contenido inicial de humedad % b.h.	Contenido final de humedad % b.h.	Temp. media del grano °C
1	29,0	53,2	10,12	38,8
2	31,0	55,1	11,92	43,9
3	30,0	52,6	11,0	49,2
4	31,0	54,0	10,86	47,2
5	29,0	53,5	11,80	49,8
6	29,0	54,9	10,06	52,3
7	26,0	53,0	11,28	53,0
8	32,0	53,9	10,16	-

Como se observa en la Tabla 2 el tiempo de secado fue en promedio de 30 horas cuando se utilizó aire de secado a una temperatura media de 80°C (ensayos 1, 2, 3, 4 y 8) y 28 horas cuando la temperatura del aire de secado llegó a 85°C (ensayos 5, 6 y 7).

El total de horas de secado corresponde al tiempo total que permaneció el grano en movimiento en el secador. En todos los ensayos, se le suspendió la fuente de calor, cuando el contenido de humedad alcanzó el 14% dejando airear el grano por dos horas, tiempo suficiente para llevar el grano a un contenido de humedad entre el 10 y 12%.

En el ensayo 1 se dejó airear una hora al final, mientras que en el ensayo 2 se aireó una hora al inicio del proceso y dos horas al final, caso en el cual no se observó ninguna diferencia en el comportamiento del grano y del proceso en sí en relación a los demás ensayos.

La suspensión de la fuente de calor a nivel del 14% de humedad y las dos horas finales de aireación, permitió que el grano conservara su calidad física, especialmente cuando se secó con aire a una temperatura de 80°C y un flujo de grano por encima de 0,04 m³/min.m².

La temperatura del grano de los ensayos 1 y 2, se midió a la salida de la tolva de descarga, mientras que para los demás ensayos las muestras se sacaron directamente de la cámara de secado y luego fueron colocadas en un recipiente térmico para determinarles la temperatura. Como era de esperarse, a medida que se incrementó la temperatura del aire de secado, se aumentó la temperatura del grano. En los ensayos con aire de secado de 85°C, el grano alcanzó temperaturas ligeramente por encima de 60°C, al final del proceso, produciéndose

algunos granos sobresecados. Esto no afecta a la gran parte de la masa de grano puesto que el café no permaneció por un tiempo mayor a cinco minutos en contacto directo con el aire cuando éste alcanzó su mayor temperatura en la cámara de secado, en la mayoría de los ensayos.

En la Figura 3 se muestra las disminuciones de humedad a través del tiempo presentando un comportamiento similar para todos los ensayos. Igualmente se muestra el comportamiento de la temperatura del aire de secado y del grano, durante todo el proceso, observándose la forma como se incrementa la temperatura del grano a través del tiempo.

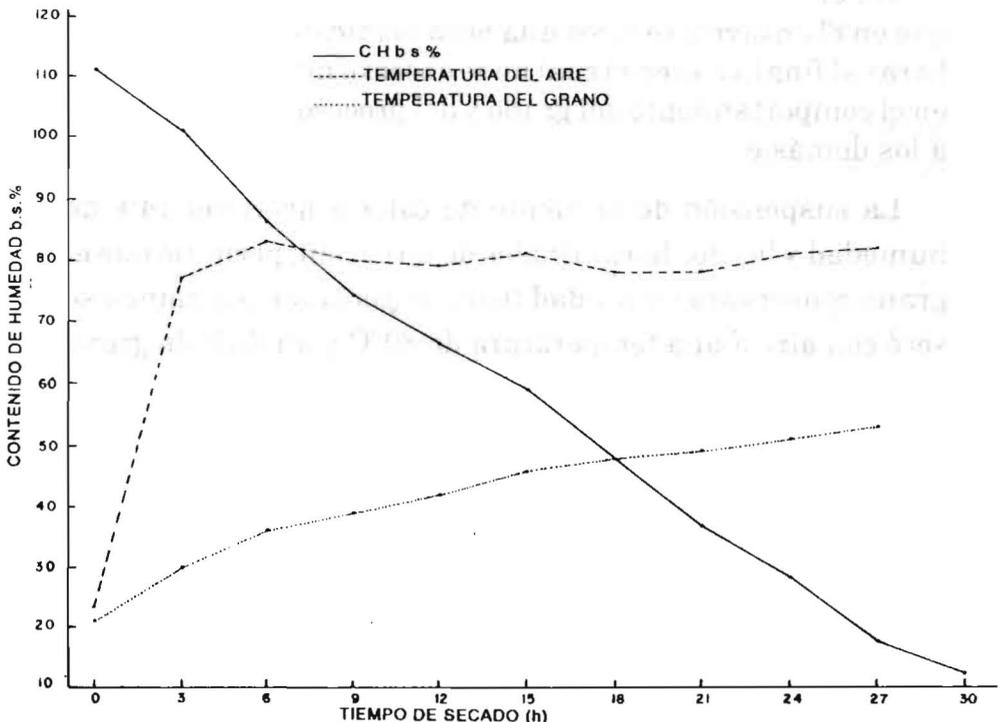


FIGURA 3. Curvas de secado y de la temperatura del aire y del grano para el ensayo 3.

En la Figura 4 se muestra la curva de secado obtenida experimentalmente y simulada, utilizando el modelo matemático de secado propuesto por la Universidad de Michigan y adaptado para café por Montoya *et al* (1989). La simulación del proceso se realizó con las mismas condiciones de contenido de humedad inicial del grano, temperatura del aire ambiente, temperatura del aire de secado y del grano y el flujo del grano en kg c.p.s./h m² utilizada en el ensayo 3.

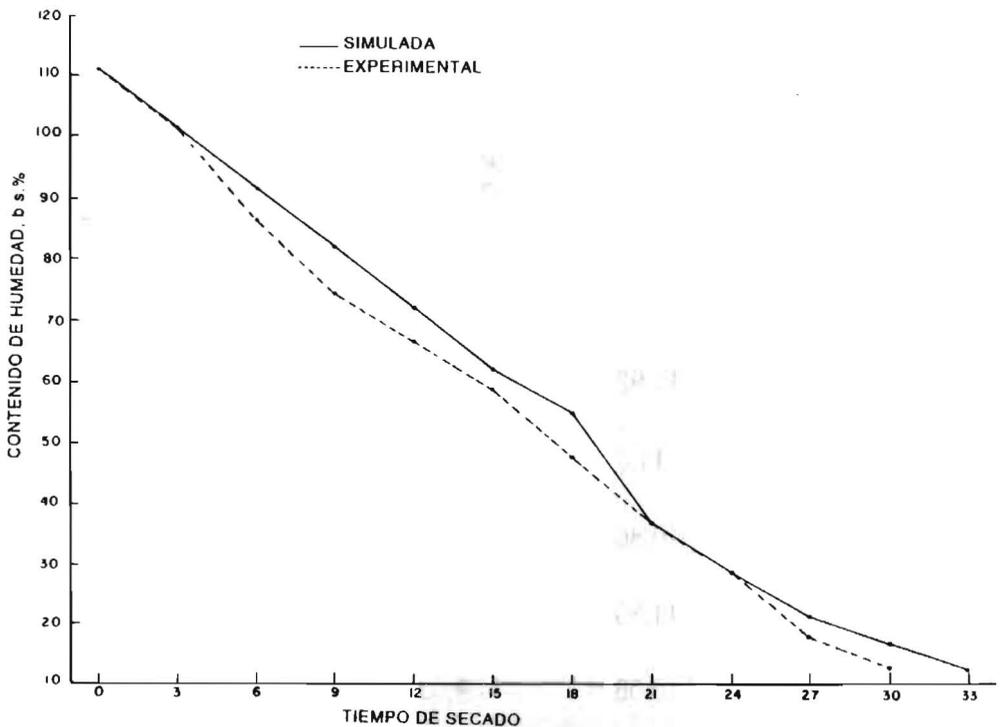


FIGURA 4. Curva de secado experimental y simulada para el ensayo 3.

ANALISIS DE CALIDAD FISICA DEL CAFE PERGAMINO

En la Tabla 3 se muestran los valores de contenido de humedad final promedia máxima y mínima y el coeficiente de variación para cada uno de los ensayos realizados, la máxima diferencia de contenido de humedad se presentó en el ensayo 2 y la mínima en los ensayos 6 y 8. El coeficiente de variación muestra esa diferencia la cual se hace ligeramente más notoria en los primeros ensayos cuando se trabajó con temperatura de aire de 80°C.

TABLA 3. Valores de contenido de humedad final promedia, máxima y mínima y el coeficiente de variación para cada ensayo.

Ensayo No.	Humedad Final			C.V. %
	Media (% b.h.)	Mínima (% b.h.)	Máxima (% b.h.)	
1	10,12	9,59	10,75	5,14
2	11,92	11,42	12,66	2,29
3	11,0	10,60	11,51	2,81
4	10,86	10,70	11,20	1,89
5	11,80	11,56	12,17	1,33
6	10,06	9,92	10,31	1,01
7	11,28	11,07	11,46	0,75
8	10,16	9,30	10,66	4,82

El porcentaje de grano pelado que se muestra en la Tabla 4 es el porcentaje neto ocasionado por el sistema de secado IFC, es decir, el valor que se obtuvo una vez descontado el porcentaje determinado en el testigo. En todos los ensayos, con excepción del ensayo 6, el porcentaje de grano pelado fue inferior al 2%.

TABLA 4. Valores de grano pelado, guayaba y media cara e impurezas del café secado en el SIFC y los del grano tomado como testigo, secado en el secador experimental.

Ensayo	Café secado en el SIFC				Testigo		
	Pelado neto %	Pelado total %	Guayaba media cara %	Impurezas %	Pelado %	Guayaba media cara %	Impurezas %
1	0,93	1,63	0,30	0,23	0,75	0,25	0,20
2	0,75	1,80	0,35	0,35	1,05	0,30	0,18
3	0,32	0,82	0,45	0,10	0,50	0,42	0,15
4	0,86	2,03	0,14	0,25	1,17	0,16	0,21
5	0,59	1,76	0,32	0,39	1,17	0,26	0,37
6	0,40	3,05	0,08	0,45	2,65	0,10	0,30
7	0,36	1,73	0,27	0,37	1,37	0,30	0,26
8	0,65	1,70	0,18	0,34	1,05	0,25	0,22

En la tabla 4 se muestran los porcentajes promedios para las impurezas, guayaba, media cara y grano pelado tanto para el café pergamino secado en el IFC comparado con el café secado en el secador experimental, utilizado como testigo.

Es importante destacar que no se detectaron al final del secado, secciones específicas del cuerpo del secador con grano con contenidos de humedad con diferencias mayores al 1% con respecto a toda la masa de grano. En la Figura 5 se muestra el secador propiamente dividido en 11 secciones y en las Figuras 6 y 7 se indica el respectivo contenido de humedad final del grano de cada una de las secciones para los ensayos 3 y 5, con temperatura de aire de secado de 80 y 85°C y coeficientes de variaciones para el contenido de humedad de 1,81% y 1,01% respectivamente.

ANALISIS DE LA CALIDAD FISICA DE LA ALMENDRA

Con base a las normas de FEDERACAFE se hizo el análisis para las muestras de cada uno de los ensayos. Como se puede observar en la Tabla 5, el mayor porcentaje de pasillas se produjo en los ensayos en los cuales se utilizaron temperaturas mayores a 84°C, como consecuencia del sobresecado del grano.

TABLA 5. Porcentaje de grano cristalizado, sobresecado, daño mecánico, grano flojo y otros defectos, obtenidos durante los ensayos 2, 4, 5 y 7.

Característica	Ensayo 2	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 7
Grano cristalizado	-	-	0,00	0,12%
Grano sobresecado	0,56	1,34	6,84 %	6,87 %
Daño mecánico	-	1,30	0,93 %	0,69 %
Grano flojo	-	0,00 %	0,00 %	
Otros defectos (vinagre, mantequillo, etc)	0,97	2,22	2,51 %	6,25 %
Total pasilla	2,86	5,86	10,76 %	13,97 %

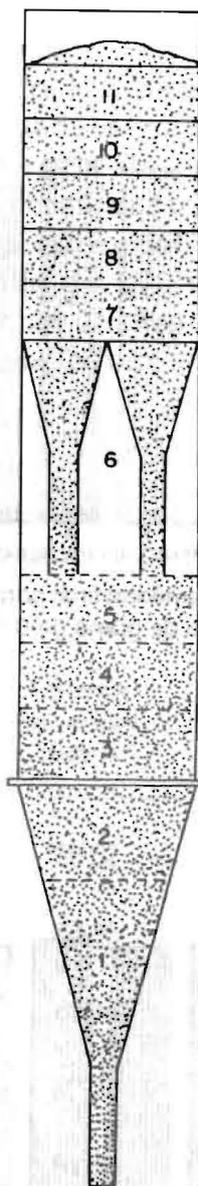


FIGURA 5. Divisiones (secciones) del secador IFC. prototipo relacionadas con la ubicación de la masa de grano al final del proceso de secado.

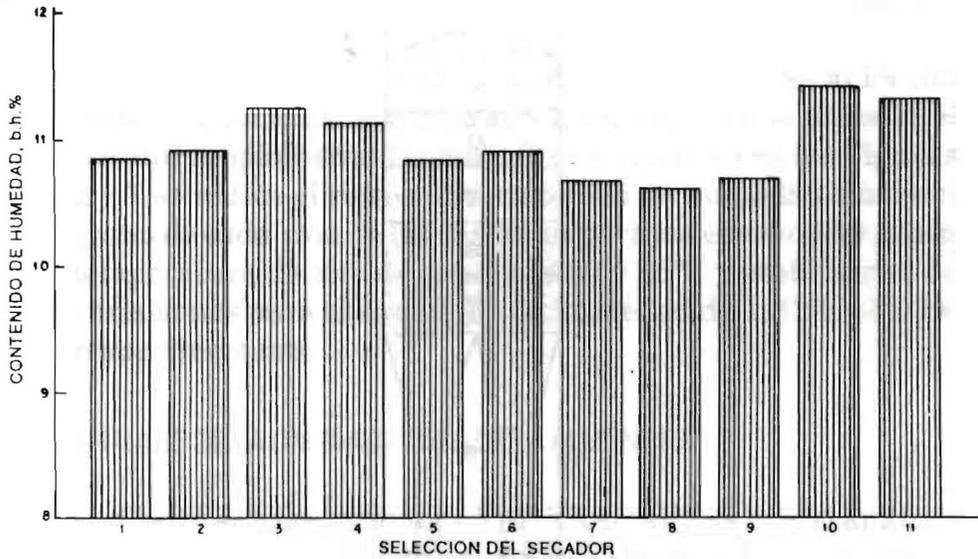


FIGURA 6. Contenido de humedad final para cada sección del secador IFC. Temperatura de 80°C y flujo de grano de 0.041 m³/min.m².

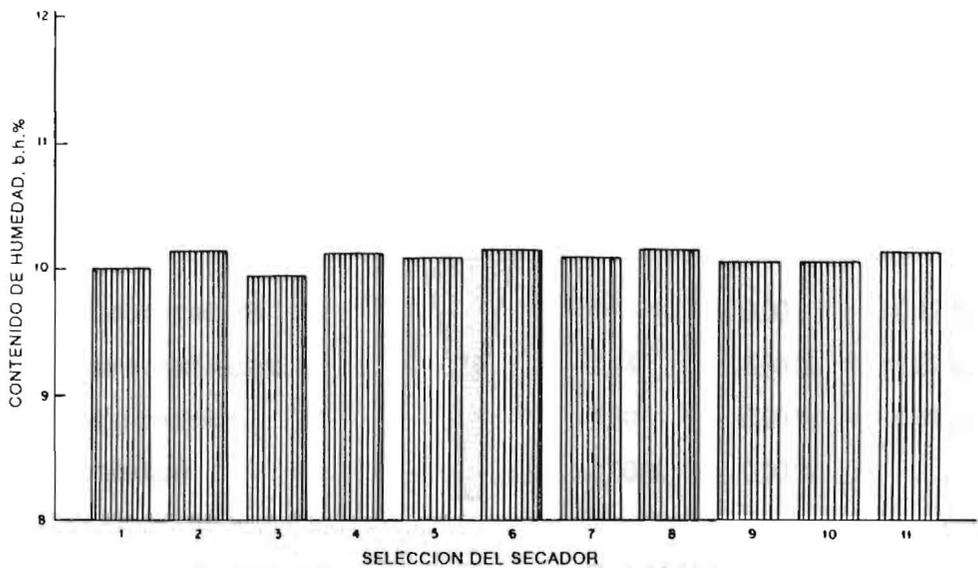


FIGURA 7. Contenido de humedad final para cada sección del secador IFC. Temperatura 85°C y flujo de grano de 0.041 m³/min.m².

COMPORTAMIENTO DEL SECADOR IFC

En la Tabla 6 se muestra la capacidad dinámica con base en la cantidad de café utilizado en cada ensayo, así como la eficiencia del intercambiador y la eficiencia térmica global del secador y el consumo de energía durante el proceso de secado. Para los ensayos con temperatura de 80°C se utilizó el quemador de ACPM con boquilla de 1,75 GPM y ángulo de 60°, mientras que para mantener una temperatura promedio del aire de secado a 85°C, se empleó una boquilla de 2,0 GPM y un ángulo de 60°.

TABLA 6. Valores de capacidad dinámica, eficiencia del intercambiador, consumo de energía y eficiencia térmica global del secador, para cada uno de los ensayos realizados.

Ensayo No.	Capacidad dinámica kg c.p.s./h	Eficiencia del intercambiador %	Consumo energía KJ / kg a.e.	Eficiencia global del secador %
1	15,14	60,52	7824	34,81
2	15,48	53,25	6847	38,59
3	15,32	49,89	6245	37,64
4	16,20	52,92	6672	40,65
5	16,07	51,66	6857	35,13
6	14,20	53,04	7458	34,16
7	17,46	46,32	5979	40,24

En términos de consumo de ACPM, durante el proceso de secado, este fue de 1,28 y 1,42 galones por hora en promedio, para los ensayos con temperatura a 80 y 85°C respectivamente. Con base en la eficiencia del intercambiador mostrada en la Tabla 6, se encontró que el consumo neto de ACPM por arroba de café pergamino seco, varió de 0,5 a 0,65 galones. Igualmente se considera que la eficiencia global del secador, está dentro de los rangos conocidos para este tipo de equipo.

COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE

El sistema de buje de acero empleado inicialmente en el eje de los piñones conductores, se cambió por bujes de bronce fosforado, debido a que el calentamiento de los primeros, frenó el sistema de transmisión de cadena en los ensayos iniciales de este experimento.

Con el objeto de mejorar la descarga de los cangilones en el secador, se diseñó el sistema con una inclinación de 4° con respecto a la vertical, con buenos resultados a través de los ensayos. Sin embargo, en el momento de cargar el secador con el sistema de cangilones y en la primera vuelta de circulación del grano se presenta una notable caída de granos por la pierna del transportador. Tres son las razones de este desprendimiento: desuniformidad en la ubicación y en el tamaño de las perforaciones en los cangilones, excesiva inclinación del cangilón con respecto a la horizontal y, mala dosificación del cangilón al inicio del ensayo.

Se mejoró la inclinación del cangilón con respecto a la horizontal doblando adecuadamente la varilla, que lo une con la cadena transportadora.

La inadecuada dosificación del cangilón fue corregida en parte, ubicando un agitador con dos paletas en la base de la

tolva del sistema alimentador, aprovechando el eje de los piñones conducidos para su movimiento.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El sistema de secado intermitente de flujos concurrentes para café pergamino es un sistema válido y será competitivo con otros sistemas mecánicos si se logran disminuir los costos de construcción, especialmente en el sistema de transporte.

Según los resultados obtenidos se recomienda no utilizar temperaturas de aire de secado mayores a 80°C y un flujo de grano dentro del secador entre 0,037 m³/min. m² y 0,042 m³/min. m².

BIBLIOGRAFIA

- ALVAREZ, M.F. Diseño de un elevador de cangilones de descarga por gravedad del secador intermitente de flujos concurrentes para café (IFC). s.l.: s.n., 1989. 18 p. (Sin publicar).
- BAKKER ARKEMA, F.W.; BROOKER, D.B. and HALL, C.W. Drying cereal grains. Wesport, Co. : The Avi, 1974. 265 p.
- BAUDET, Leopoldo; POPINIGIS, Flavio e PESKE, Silmar. Danificações mecânicas em sementes de soja (*Glycine max* L. Merrill) transportadas por un sistema elevador-secador. *En: Revista Brasileira de Armazenamento*. Vol. 3, Nº 4 (dez. 1978); p. 29-38.
- BROOK, R.C. Simulation of design of commercial flow dryers. *En: Transactions of the ASAE*. Vol. 21, No. 5 (1978); p. 978-981.
- _____ and BAKKER ARKEMA, F.W. Design of mustitadge grains dryers usen computer optimization. *En: Paper ASAE*. No. 77 (1977); p. 35-29
- CASTILLO, N.A. Almacenamiento de granos: aspectos técnicos y económicos. 2 ed. Bogotá: DIAGRO, 1984. p. 199-210.

- CORREA, A. Evaluación del secado del café en un secador intermitente de flujos concurrentes. Medellín, 1987. 258 p. Tesis (Ingeniero Agrícola). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía.
- ECHEVERRI E., C.; HENAO Q., E. y MEJIA G., F. Beneficio del café. p. 241-382. *En*: TECNOLOGIA DEL cultivo del café. Chinchiná: CENICAFE, 1987.
- FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Curso básico de beneficio del café. Chinchiná: CENICAFE, 1989. 123 p.
- _____. Manual del cafetero colombiano. 4 ed. Bogotá: FEDERACAFE, 1979. 209 p.
- _____. _____. 2 ed. Bogotá: FEDERACAFE, 1958. p. 517-519.
- HERNDERSON, S.M. and PERRY, R.L. Agricultural process engineering. 3 ed. Wesport, Co. : The Avi, 1980. p. 209-215.
- KRUTZ, G.; THOMPSON, L. and CLEAR, R. Design of agricultural machinery. New York: Jhon Wiley, 1984. p. 228-270.
- LOPEZ, H. Diseño, construcción y evaluación mecánica de un secador intermitente de flujos concurrentes para café pergamino. Cali, 1986. 190 p. Tesis (Ingeniero Mecánico). Corporación Universitaria Autónoma de Occidente.
- MONTOYA, E. C. Optimización operacional del secador intermitente de flujos concurrentes para café pergamino. Pereira, 1989. 114 p. Tesis (Magister Science en Investigaciones de Operaciones y Estadística), Universidad Tecnológica de Pereira.
- OLIVEROS, C.E. y ALVAREZ, J. Informe Proyecto INA - 50: implementación comercial de secadores intermitentes de flujos concurrentes para café (IFC). Chinchiná: CENICAFE, 1989. 29p.
- _____. y ROA, G. Pérdidas de presión por el paso del aire a través del café pergamino variedad caturra. *En*: CENICAFE Vol.37, No. 1 (1986); p. 23-37.

- OSPINA M., J.E. Informe evaluación del secado prototipo modificado intermitente de flujos concurrentes-IFC-. Chinchiná: CENICAFE, 1990. 19 p.
- QUEIROZ, D.M. Simulação de secagem de milho em secadores de fluxos concurrentes. Vicosá, 1984. 69p. Tesis (Magister Scientiae en Ingeniería Agrícola). Universidade Federal de Vicosá.
- RODRIGUEZ, J.C. *et al.* Grain quality and energy efficiency of commercial dryers. *En: Paper ASAE. No.81 (1981); p. 3019.*
- SOARES, A. Projeto e construção de um secador intermitente de fluxos concurrentes a sua avaliação na secagem de café. Vicosá, 1982. 57 p. Tesis (Magister Science en Ingeniería Agrícola). Universidad Federal de Vicosá.
- TARGETTA, A. y LOPEZ, R. Transporte y almacenamiento de materias primas en la industria. Barcelona: Blume, 1969. v. 2, p. 661-682.
- VALENCIA, M.A. Ensayo comparativo de los secadores mecánicos existentes en CENICAFE, guardiolas, silos (Belga, eléctrico y 160 ladrillos). *En: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFE. Informe Anual de Labores. Chinchiná: CENICAFE, 1978. 114 p.*