

LA CENTRIFUGACION COMO SISTEMA SEPARADOR DE AGUA Y CAFE EN UN PROCESO CONTINUO

Andrés Ramírez P.¹; Fernando Alvarez M.²; Arturo Correa P.³

RESUMEN

Con el fin de reducir el contenido de humedad del café pergamino lavado y desmucilaginado, un centrifugador para la separación del agua y el café fue contruido y evaluado de acuerdo al escalonamiento sugerido por Ghosh (1.972). Los tratamientos de centrifugación consistieron en la variación de la velocidad de giro para dos tratamientos (950 y 1.380 r.p.m.), utilizándose café (*Coffea arabica*) lavado de la variedad Colombia permaneciendo constante el caudal de alimentación agua café. Los resultados indicaron que a una velocidad de rotación o centrifugación de 950 r.p.m., se logra la mayor capacidad (4,5 ton/h), y los menores consumos de potencia y humedad del café pergamino lavado. Los valores obtenidos de capacidad (4, 5 ton/h), está muy distante del valor sugerido por Ghosh (1 ton/h a 2.500 r.p.m.) Aunque los porcentajes de humedad obtenidos, no lograron alcanzar los valores esperados teóricamente, se puede afirmar que sí se cumple el principio básico de funcionamiento planteado para la separación del agua y el café como un proceso continuo, que debe ser mejorado bajo las recomendaciones presentadas en este trabajo.

Palabras clave: *Café, centrifugación, separación agua y café, Coffea arabica.*

¹ Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

² Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Apartado 568.

³ Jefe Sección Beneficio. Comité Departamental de Cafeteros de Antioquia. Apartado 1195.

VAN VLECK, L.D., POLLAK, ABSTRACT and OLTRERU, E. A. B. Genética and Introduction to mixed model

With the purpose of reducing the content of moisture of the parchment Coffee washed and desmucilaging, a centrifuge for the separation of the water and coffee was evaluated and built according to the stepping suggested by Ghosh, 1972. The centrifugation treatments consisted on the variation of the turn speed for two treatments (950 and 1.380 r.p.m.), being used coffee(arabic coffee) laundry, of the variety Colombia, remaining constant the feeding flow water coffee. The results indicated that to a rotation speed o centrifugation of 950 r.p.m., the biggest capacity is achieved (4.5 ton/h), and the smallest consumptions of power and moisture of the parchment Coffee washed. The obtained values of capacity (4,5 ton/h), is very distant of the value suggested by Ghosh(1 ton/h to 2.500 r.p.m.). Although the obtained percentages of moisture, they were not able to reach the prospective theoretically valuues, one can affirm that the basic principle of operation is completed outlined for the separation of the water and coffee as a continuos process that should be improved under the recomendations presented in this work.

Key words: Coffe, centrifugation, separation water and coffee, Coffea arabica.

INTRODUCCION

El proceso tradicional de beneficio del café en Colombia es el denominado "beneficio húmedo" de gran importancia para la agroindustria cafetera, ya que ha contribuido para que el país sea el principal exportador de cafés suaves a nivel mundial. Aunque la proyección hacia el futuro determina que el "beneficio ecológico" debe ser implementado en el país, existen muchas granjas cafeteras, cuyos beneficiaderos seguirán utilizando agua dentro del proceso.

Desde hace varios años se vienen implementando una serie de cambios

en las diferentes etapas del beneficio del café, fundamentados en investigaciones, cuyo objetivo principal es disminuir al máximo el consumo y la contaminación del agua. Actualmente la separación del agua y el café antes de llegar al sistema de secado se lleva a cabo utilizando el "escurrimiento", en el cual actúan la fuerza de gravedad y la evaporación, lográndose un café con un porcentaje de humedad mayor al 50 % .

La separación del agua y el café provenientes del lavado, se realiza en patios o canales escurridores. El sistema más utilizado es el de los patios, construcción que consta de

un entrepiso (losa), muros envolventes generalmente de 60 cm. de altura, un conjunto de rejillas en aluminio y un sistema de evacuación del agua por tuberías internas, en la mayoría de los beneficiaderos esta losa debe ser elevada o levantada sobre columnas a un nivel superior, sobre el silo secador. La implementación de cualquiera de estos dos sistemas requiere de una inversión elevada para su construcción, representativa dentro de los costos totales del beneficiadero. La operación de los escurridores en Colombia es manual, y consiste en voltear la masa de grano y agua con alguna frecuencia entre 2 y 15 horas, convirtiéndose así en una labor agotadora para el operario que la realice.

Disminuir los contenidos de humedad con los que el café ingresa a los sistemas de secado, es el objetivo principal que se persigue con el escurrido; el café se transporta hacia los patios mediante la mezcla con agua en relaciones que pueden variar entre dos a uno (2:1) y cinco a uno (5:1), luego de terminado el proceso el café que sale del escurridor se denomina " café seco de agua " y presenta una humedad alrededor del 50 al 56 %, valor que depende principalmente

del tiempo de permanencia del grano en los patios.

En el campo de las investigaciones, se le ha dado gran importancia y prioridad al área del secado, logrando avances realmente significativos dentro del proceso de beneficio, a diferencia de los sistemas de escurrido tradicionales, que continúan siendo muy utilizados en las zonas cafeteras del país, que no han sido objeto de investigación hasta el momento.

Teniendo en cuenta que el tiempo de permanencia del café en el silo hasta alcanzar la humedad entre el 10 y 12 %, es proporcional al porcentaje de humedad con el cual entra el grano a la cámara de secado o presecado y que éste porcentaje de entrada al silo es el mismo con el que sale el café del sistema de escurrido, es lógico afirmar que un escurridor más eficiente, tendrá como consecuencia directa una disminución en el tiempo de secado y con ello una disminución notable de los costos originados en proceso de secado.

En este artículo se presentan los resultados obtenidos en la evaluación de un equipo giratorio de agua-café en cuanto a: capacidad, humedad final y consumo de potencia.

REVISION DE LITERATURA

Según el Comité Departamental de Cafeteros de Antioquia (1991), el café cereza después de haber sido recolectado debe ser sometido a un proceso que consta de varias etapas cuya finalidad es obtener café pergamino de excelente calidad. A este proceso se le denomina **BENEFICIO**. Las etapas del beneficio húmedo son: recolección, transporte, recibo en tolvas, despulpado del café cereza, clasificación, fermentación o desmucilaginado y lavado del café en baba, lavado y clasificación, **escurrido**, secado y almacenamiento del café pergamino. El proceso de escurrido es llevado a cabo antes del secado y no es considerado como una etapa independiente y necesaria.

El Escurrido. Dentro del proceso del beneficio del café es necesario lavar el grano después de la fermentación o del desmucilaginado mecánico; con el fin de retirar la capa de mucilago que permanece adherida al grano aunque ya haya sido desprendida de él en los pasos anteriormente mencionadas. En el lavado se consumen entre 8 y 15 litros de agua por cada kilogramo de café seco (Comite Departamental de Cafeteros de Antioquia, 1991), los que deben ser evacuados o separados del grano antes de ingresar a

cualquiera de los sistemas de secado; la separación del agua y el café es lo que se denomina "**Escurrido**".

Los lugares de desagüe o escurrideros, utilizados en las zonas cafeteras del país se clasifican en tres categorías, según el Comité Departamental de Cafeteros de Antioquia 1.991:

Zarandas. Ubicadas a continuación del sistema de lavado, tienen el fondo de malla gruesa a través de la que solo puede pasar el agua hacia los tanques o canales de desagüe, el grano queda sobre la zaranda de donde es trasladado luego a los sitios de secado utilizando palas, baldes o cajones.

Patios cementados. Son patios que permiten almacenar café durante la clasificación, pero ante todo su finalidad principal es facilitar la salida rápida del exceso de agua utilizada en la misma.

Canales. Son canales que tienen el fondo inclinado con una pendiente del 10 % (a lo ancho), en la parte más baja cuentan con rejillas fundidas en aluminio bajo las cuales se encuentra el sistema de evacuación del agua escurrida, se ubican a continuación de los canales de lavado y clasificación igual que los patios.

CENTRIFUGACIÓN

Generalidades. Cuando un cuerpo gira alrededor de un eje, se generan dos fuerzas de igual magnitud pero de sentido contrario; una de ellas trata de desviar el cuerpo hacia el centro del eje de giro denominada "Fuerza Centrípeta" y la segunda fuerza trata de alejarlo del eje denominada "Fuerza Centrífuga"; ésta es la que puede ser aprovechada para una gran diversidad de procesos de separación de líquidos, sólidos y gases; así como también mezclas entre ellos, a nivel industrial, minero o agroindustrial (Baumeister *et al* 1992, Charm, 1971).

La acción de la fuerza centrífuga se utiliza en gran número de aparatos (molinos, lavadoras, separadores, etc.); sin embargo el nombre genérico de "*centrífugas*" se aplica especialmente a todas aquellas disposiciones provistas de un tambor rotatorio, donde el efecto de la fuerza centrífuga se aprovecha para separar, secar, lavar, depositar o clasificar productos diversos. Someter a la acción de la fuerza centrífuga una mezcla de materiales recibe el nombre de "*centrifugación*", los equipos acondicionados para realizar esta operación se denominan centrífugas y se utilizan para separar cuerpos sólidos en mezcla con líquidos, y también para

separar mezclas de líquidos con distinto peso específico. Esencialmente consisten en tambores que giran a gran velocidad alrededor de su eje, con el objeto de comunicar esta velocidad al material que los llena y someterlo así a la acción de la fuerza centrífuga (Gonzalez, s.f.).

Máquinas Centrífugas. Según Valero (1976), éstas máquinas comprenden un recipiente que puede girar a altas velocidades y la cual puede ser incrementada con la velocidad de rotación del eje hasta ciertos límites. Los cuerpos introducidos en éstas máquinas se alejan del eje de rotación debido al exceso de velocidad y fuerza centrífuga.

Clases de centrífugas. Las centrífugas pueden considerarse como cilindros excavados o, más exactamente, como tambores giratorios alrededor de un eje a cuyo interior se hacen llegar los materiales para que se separen allí en función de sus densidades o de su forma.

El tambor o cestillo centrífugo, ha de estar perfectamente centrado con relación a su eje de giro, de tal modo, que el centro de gravedad del conjunto formado por el cestillo y la carga en movimiento esté situado

sobre el eje de la centrífuga. Si esto no ocurriera así, este último eje tendría que girar alrededor del eje hipotético que pase por el centro de gravedad, como consecuencia de esto se ocasionarían vibraciones y esfuerzos locales sobre los apoyos capaces de llevar hasta la ruptura de una o varias partes de la máquina. González (s.f.) clasifica las centrífugas así:

- centrífugas con tambor perforado (centrífugas de tamiz, filtros centrífugos, etc.),
- centrífugas con la envoltura del tamiz sin perforar (sin tamiz),
- separadores centrífugos de platillos o discos.

En este trabajo se tiene especial interés sobre las centrífugas con tambor perforado o de tamiz.

Centrífugas de tamiz. Las centrífugas de tamiz, llamadas también filtros centrífugos, se utilizan principalmente para desecar, separar de los líquidos o lavar materiales sólidos que se hallen bajo la forma de granos (cristales, etc.), de igual modo, estos aparatos se aplican asimismo a la separación de pequeñas cantidades de impurezas (sedimentos) que acompañan a los líquidos. Se caracterizan por tener

perforada la pared lateral del tambor. Este último va, por lo común, encerrado en una caja formada por una tapa superior anular y un robusto fondo, al que esta sujeto el árbol, que puede ser vertical u horizontal.

Estas centrífugas son casi siempre de funcionamiento discontinuo denominado comúnmente como "*centrifugación por cochadas*", y en ellas la carga se hace desde arriba, haciendo llegar al interior del tambor los materiales a centrifugar. Cuando por observación se comprende que el depósito sólido ha alcanzado ya un cierto espesor sobre las paredes del cilindro, se detiene el giro de la máquina, procediendo a vaciar el interior de los materiales depositados, (Gonzalez, s.f.).

CRITERIOS DE DISEÑO PARA UN PROCESO CONTINUO DE SEPARACIÓN DE AGUA Y CAFÉ POR CENTRIFUGACIÓN.

Los principales parámetros considerados para determinar los criterios de diseño son expuestos detalladamente por Ghosh (1972), quien afirma que puede usar una centrífuga para remover el exceso de agua de lavado adherida a la superficie de los granos de café, antes de entrar en el proceso de

secado, sostiene además que un proceso continuo de centrifugación sería más eficiente y económico que los sistemas tradicionales de escurrido.

El autor encontró que el agua superficial retenida en los granos de café puede ser eliminada eficientemente a velocidades alrededor de 2.500 r.p.m., suministrando un producto intermedio entre café drenado (contenido de humedad entre 54 y 56 %) y el seco superficialmente (humedad promedio de 44 %).

Características de los granos de café. Un grano de café está compuesto por capas de materiales con densidades y propiedades físicas diferentes. En el proceso de secado la humedad interna debe moverse a través de las diferentes capas que ofrecen resistencias al paso del agua (Ghosh, 1972).

La velocidad de secado depende directamente de la velocidad de extracción de la película de agua libre existente sobre la capa más externa del grano y probablemente una pequeña porción del agua inmediatamente por debajo de la misma (Ghosh, 1.972).

En la etapa de secado superficial la humedad de los granos de café

tiene un valor promedio de 56 %; la centrifugación la reduce a un estado entre drenado (54 - 56 %) y seco superficial (44 %), y debe ser llamada etapa de escurrido.

Con los procesos tradicionales de escurrido se forma una película delgada de agua libre en la superficie del grano, mientras que con la centrifugación la superficie se encuentra seca; el grano de café drenado tiende a unirse o a pegarse con otros granos cuando se deja en masa, ésta característica no se presenta cuando se realiza el escurrido por centrifugación, (Ghosh, 1972).

Desarrollo de una centrífuga de operación continua. El diseño de una máquina centrífuga de operación continua para escurrir café, fue realizado por Ghosh (1972) Citado por Ramírez (1997), que luego de las pruebas de laboratorio, recomienda las siguientes dimensiones de la canasta giratoria para una máquina con la que desee escurrir 1 ton / hora de café lavado (Figura 1).

- Altura** : 42 cm
- Diámetro inferior** : 30 cm
- Diámetro superior** : 60 cm
- Ángulo del cono con la horizontal** : 70°



La canasta tiene la sección de la pared inclinada (70°) provista de perforaciones circulares de tres milímetros, que van a permitir la salida del agua libre. En el borde superior de ella se tiene una especie de pestaña con una menor inclinación que la pared perforada, con el fin de incrementar la componente horizontal de la fuerza

que actúa sobre el grano lanzándolo hacia el cilindro de evacuación del café escurrido y no hacia la tapa.

La canasta gira a 2.500 r.p.m., velocidad proporcionada por un motor eléctrico de 3,6 hp que transmite la rotación mediante bandas y poleas a un eje acoplado a la parte inferior de la misma.

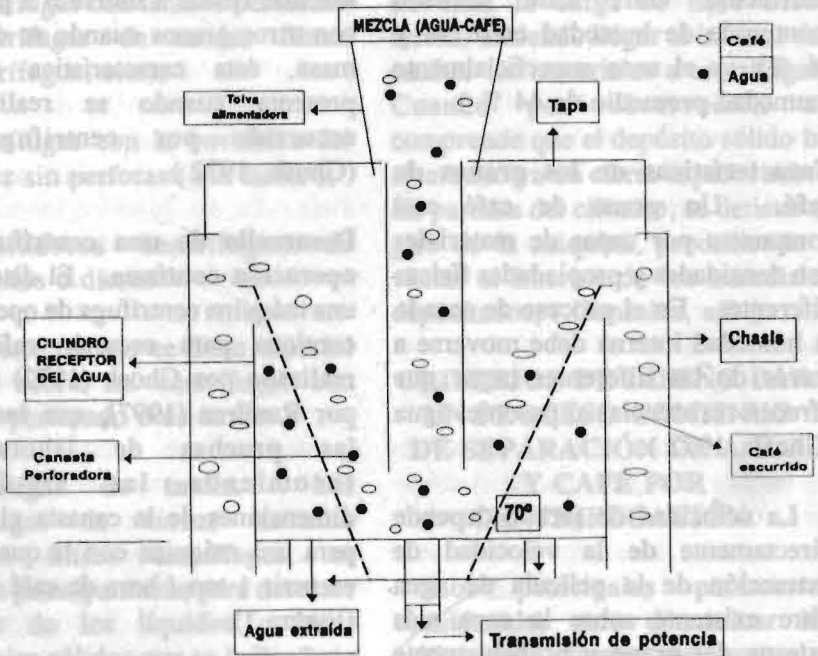


Figura 1. Escurridor centrífugo de agua y café.

Principio físico de funcionamiento de la máquina. Para comprender el principio de funcionamiento del escurridor es necesario analizar un

grano de café como una partícula única en el proceso; representando gráficamente todas las fuerzas que actúan sobre ella(Figura 2).

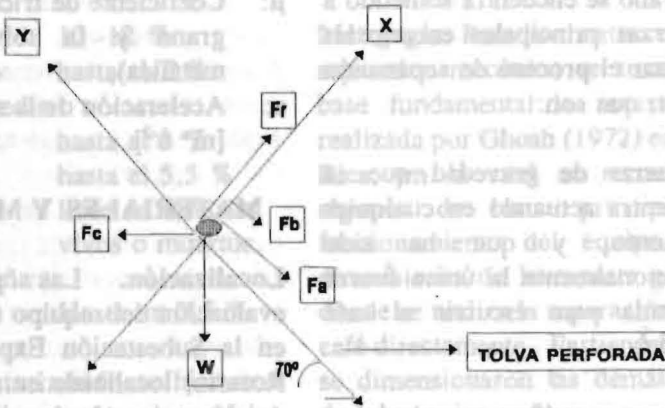


Figura 2. Diagrama de fuerzas de un grano de café sometido a centrifugación.

Donde:

- Fc: Fuerza centrífuga (N)
- W: Peso del grano (N)
- Fa: Fuerza de fricción entre el grano y la tolva (Lámina metálica) (N)
- Fr: Fuerza normal ejercida por la pared sobre el grano (N).
- Fb: Fuerza de fricción entre los granos; es nula (N)

Se puede utilizar la siguiente expresión citada por Charm(1.971), para encontrar la fuerza Centrifuga sobre la partícula.

$$F_c = (m * 4 * \pi^2 \cdot (N/60)^2 \cdot r)$$

Donde:

Fc: Fuerza centrífuga(N)

- r: Distancia desde el eje sobre el cual gira el cuerpo hasta el centro de gravedad (m)
 N: Revoluciones por minuto de la máquina.
 m: Masa del cuerpo (kg)

El grano se encuentra sometido a dos fuerzas principales encargadas de realizar el proceso de separación del agua; que son:

- la fuerza de gravedad que se encuentra actuando en cualquier momento, y que ha sido tradicionalmente la única fuerza utilizada para escurrir el café lavado,
- la fuerza centrífuga que puede ser controlada ya que depende directamente de la velocidad de rotación de la máquina; es así como esta fuerza alcanza magnitudes muy superiores que la gravitacional,

Tomando como referencia la Figura 2, el análisis físico de un grano de café ascendiendo por la pared inclinada de la tolva perforada, permiten plantear la siguiente expresión que gobierna el proceso de escurrido a que se está sometiendo el grano:

$$[(m \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot (N/60)^2 \cdot r) \cdot (\sin 20^\circ - \mu \sin 70^\circ)] - [W \cdot (\sin 70^\circ + \mu \sin 20^\circ)] = m \cdot a$$

- Donde:
 m: Masa de un grano de café [kg.],
 N: Velocidad en [r.p.m.],
 w: mg. peso del cuerpo (N),
 r: Radio del círculo [m],
 μ : Coeficiente de fricción entre el grano y la tolva (Lámina metálica),
 a: Aceleración de la máquina [$m \cdot s^{-2}$].

MATERIALES Y METODOS

Localización. Las pruebas de evaluación del equipo se realizaron en la Subestación Experimental el Rosario, localizada en el municipio de Venecia (Antioquia); con las siguientes características: altura de 1630 m.s.n.m., temperatura media de 22 °C. y humedad relativa del 68 %.

La construcción del separador se llevó a cabo en las instalaciones de "Ingeaire", empresa constructora especializada en balanceo estático y dinámico de maquinaria giratoria.

Materiales. Se utilizó para todas las pruebas café (*Coffea arabica*) pergamino lavado de la variedad Colombia tipo federación, procedente de la granja Experimental el Rosario; con las mismas especificaciones que exige la

Federación Nacional de Cafeteros para la compra de café pergamino seco tipo exportación, ya que la última selección del café se hace durante la etapa de lavado inmediatamente anterior al escurrido y que son:

- Humedad: 10 -12 %
- Grano pelado: hasta el 2 %
- Guayaba y media cara: hasta el 3 %
- pasillas: hasta el 5,5 %
- Infestación: libre de insectos vivos o muertos.
- Materia extraña o impurezas: Hasta un 0,5 %

Esta caracterización se hizo con el café lavado antes de comenzar las pruebas en la máquina escurridora, y después de terminado el proceso de escurrido.

Equipos.

- Lámina metálica.
- Accesorios de lavadoras comerciales.
- Canasta en lámina perforada.
- Motor eléctrico de 3,6 trifásico, 1.745 r.p.m.
- Bandas y poleas.
- Tubería de P.V.C.
- Rodamientos.
- Microcomputador.
- Cronómetro.

- Medidor de volumen de agua (balde).
- Balanza electrónica
- Amperímetro o voltímetro.
- Tacómetro.
- Estufa para determinar la humedad.

Metología. Para la construcción del separador mecánico se tuvo como base fundamental la investigación realizada por Ghosh (1972) en Costa Rica; en la cual se recomiendan algunos de los principios de funcionamiento del equipo y las dimensiones de la canasta giratoria donde se realiza la separación agua - café directamente. Partiendo de esto se dimensionaron las demás partes de la máquina como:

- chasis,
- cilindro receptor del agua,
- sistema de evacuación del agua separada,
- sistema de evacuación del café escurrido,
- sistema de alimentación de la mezcla (agua - café) a la máquina,
- ubicación, anclaje y conexión del motor,
- sistemas de transmisión de potencia o movimiento hacia la tolva,
- tapa,

Procedimiento de la evaluación.

Pruebas preliminares llevadas a cabo a 2.300, 2.500 y 2.800 r.p.m., presentaron serios inconvenientes con la evacuación del café, debido a la salida de una cantidad elevada de agua en conjunto con el grano escurrido, además, la apertura de la válvula reguladora de la mezcla no permitió el paso de todo el café impulsado por la bomba, teniendo como consecuencia el atascamiento de la misma por la sobrecarga generada; estas condiciones obligaron al replanteamiento de la velocidad de giro de la canasta perforada, haciéndose necesario la reducción de esta velocidad hasta 1.380 y 950 r.p.m., rango que permite el funcionamiento del sistema en proporciones de cuatro partes de agua por una parte de café utilizando el motor de 3,6 hp.

En la evaluación de la máquina se determinaron tres características fundamentales:

Capacidad (C), en [kg × min⁻¹]: Se refiere a la cantidad de café procesado por unidad de tiempo.

Para la determinación de este parámetro, fue necesario considerar las siguientes variables:

Cantidad inicial de mezcla (agua - café) en [kg]: se tomó mediante el

aforo del caudal instantes antes de comenzar el proceso de centrifugación, en canecas de 55 litros, de donde posteriormente eran separados, para ser pesados en la balanza.

Cantidad final de café escurrido en [kg]: el café que sale de la máquina, cae directamente al patio escurridor, de donde se recogió en baldes para ser pesado en la balanza.

Cantidad final de agua extraída en [kg]: la máquina cuenta con dos puntos de evacuación del agua, que se dirigieron hacia canecas, y posteriormente fueron pesadas en la balanza.

Tiempo requerido para escurrir una tanda en [min.]: fue necesario establecer un tiempo fijo de 0,5 minutos para cada repetición.

Para el cálculo de la capacidad, se utilizó la siguiente relación:

$$C = \frac{Pc}{T}$$

Donde:

C: Capacidad de la máquina en [kg/min],

Pc: Peso total de café procesado en [kg],

T: Tiempo total de procesamiento de la muestra en [min].

Humedad final (Hf) en [%].

Debido a la imposibilidad para determinar la humedad inicial con la que el grano entra a la máquina; se debe establecer con que humedad sale ó finaliza el proceso de escurrido por centrifugación, es de anotar que en los datos se tiene determinada la relación agua - café que se utilizó en cada prueba.

Esta humedad se determinó utilizando el método de la estufa, en las instalaciones de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín; donde se contó con el laboratorio de Procesos Agrícolas perteneciente al Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos.

Consumo de potencia (P) en [kW].

Cantidad de energía consumida por el motor durante el procesamiento del café, en cada repetición.

Para realizar el cálculo de éste parámetro, fue necesario determinar dos variables durante las pruebas de campo; mediante la utilización del tester:

Fuerza electromotriz: Se promediaron los tres valores obtenidos (una lectura para

cada línea), como un único dato ; es importante aclarar que esta variable permaneció relativamente constante si se considera que los valores oscilaron entre dos y tres unidades alrededor de 220 V.

Consumo de potencia: Igualmente se promediaron los valores en los tres conductores que salen desde el arrancador hacia el motor. La potencia eléctrica fue determinada utilizando la siguiente relación:

$$P = E \times I$$

Donde:

- P:** Potencia eléctrica consumida por el motor, en [kW],
- E:** Fuerza electromotriz, en V,
- I:** Corriente eléctrica, en A.

El análisis estadístico se realizó sobre dos tratamientos diferentes, cada uno de los cuales correspondió a una velocidad (950 y 1.380 r.p.m.) ; con doce repeticiones en cada modelo, estabilizando el tiempo de duración del ensayo. El efecto de la velocidad de rotación de la máquina o tratamientos se evaluó bajo un análisis de varianza de una sola vía en las variables respuestas: capacidad, humedad final y potencia) además de una análisis descriptivo.

RESULTADOS Y DISCUSION

Capacidad. El cálculo de la capacidad se realizó con el objetivo de verificar la capacidad teórica esperada, según el escalamiento propuesto por Ghosh (1972), y para verificar el correcto funcionamiento del separador en las condiciones de producción de una finca cafetera mediana; además, se

crea la necesidad de conocer la capacidad real presentada por el equipo durante los ensayos de campo, en las condiciones ofrecidas por la granja. En la Figura 3, se observa el comportamiento presentado por la capacidad del equipo, durante las doce repeticiones, en cada uno de los tratamientos.

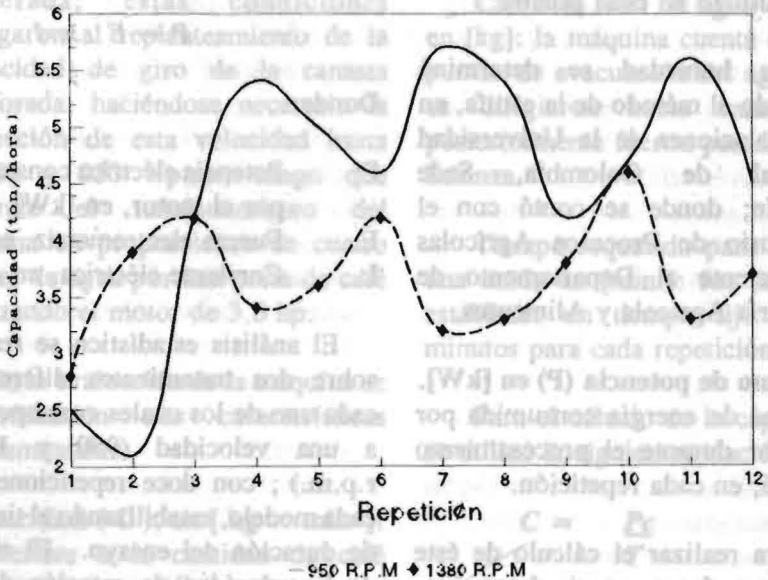


Figura 3. Variación de la capacidad de centrifugado para 950 y 1.380 r.p.m. de velocidad de rotación del eje.

La capacidad de la máquina es el parámetro que presenta las mayores variaciones en las prácticas realizadas, debido a la dificultad que se tiene en el sistema de beneficio de la granja, para controlar el caudal de la mezcla (agua - café) entregado por la bomba hacia la máquina.

La dosificación del café debió ser establecida desde un tanque auxiliar, ubicado sobre el tanque de almacenamiento de agua, donde se encuentra instalada la bomba sumergible (1,5 hp) encargada de impulsar la mezcla hacia el separador centrífugo.

El análisis estadístico realizado mediante una distribución "F" comparativa entre las dos velocidades, mostró diferencias significativas entre los valores encontrados para la capacidad en ambos tratamientos, indicando que la cantidad de mezcla procesada en el tratamiento uno (950 r.p.m.) es mayor que la procesada con el tratamiento dos (1.380 r.p.m.).

Humedad final. La reducción de los porcentajes de humedad, con los cuales el café finaliza el proceso de escurrido, es el principal objetivo de la presente investigación; característica que tendría consecuencias favorables para los

caficultores, teniendo en cuenta que el tiempo necesario para realizar todo el proceso de beneficio disminuiría ; específicamente durante las etapas de escurrido y secado.

En la Figura 4, se muestra el comportamiento que presentó la humedad final, en cada una de las pruebas realizadas para los dos tratamientos.

La comparación de los dos tratamientos utilizando una distribución " F ", indicaron que los porcentajes de humedad son estadísticamente diferentes, y que el tratamiento uno (950 r.p.m.) presenta valores menores de la humedad (57,21 %), es decir bajo los parámetros de diseño y construcción de este trabajo, un incremento de la velocidad de rotación no disminuye el contenido de humedad del café pergamino lavado y escurrido con la centrifugadora.

Es importante indicar que los rangos de humedad obtenidos para los dos tratamientos, se encuentran muy cerca de los valores establecidos para los sistemas tradicionales de escurrido (entre 50 y 55 %); pero no se logró reducir a menos del 50% por varios factores,

siendo uno de los más significativos el tiempo tan corto de permanencia

de los granos en el interior del equipo.

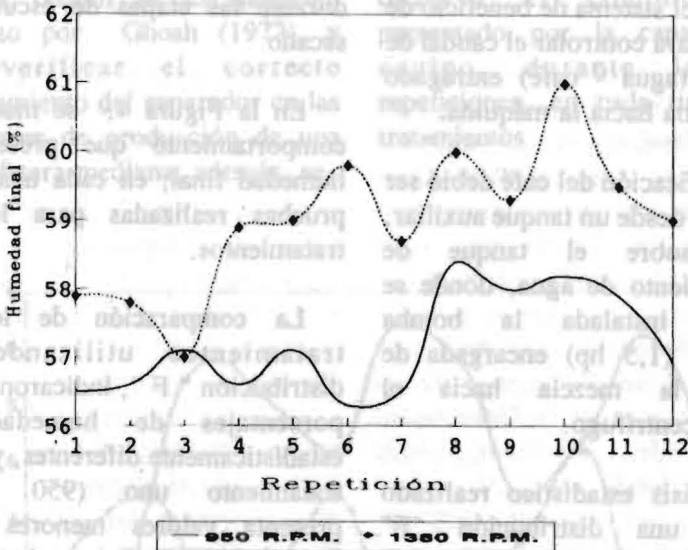


Figura 4. Variación del contenido de humedad final del café pergamino lavado después del proceso de centrifugación de 950 y 1.380 r.p.m.

El café sometido en el proceso de separación centrífuga, puede ser enviado inmediatamente hacia la siguiente etapa del beneficio (secado o presecado); permitiendo de esta manera que el proceso sea continuo entre las etapas de recibo en la tolva y el secado. Convirtiéndose éste último en el único proceso que requiere de la permanencia del grano durante varias horas.

Consumo de potencia. El motor es la fuente de potencia del separador, y representa un porcentaje elevado dentro de los costos de construcción del mismo; por tal razón resulta de gran importancia, la determinación de los requerimientos mínimos de la máquina con respecto a la potencia utilizada y su incidencia sobre los costos totales de operación. Con el fin de analizar la posibilidad de

cambio del actual motor (3,6 hp), por otro de menor capacidad, que puede influir favorablemente en la disminución de los costos totales en la operación.

En la Figura 5, se indica la variación de la potencia consumida por el motor, a través de las repeticiones hechas en cada tratamiento.

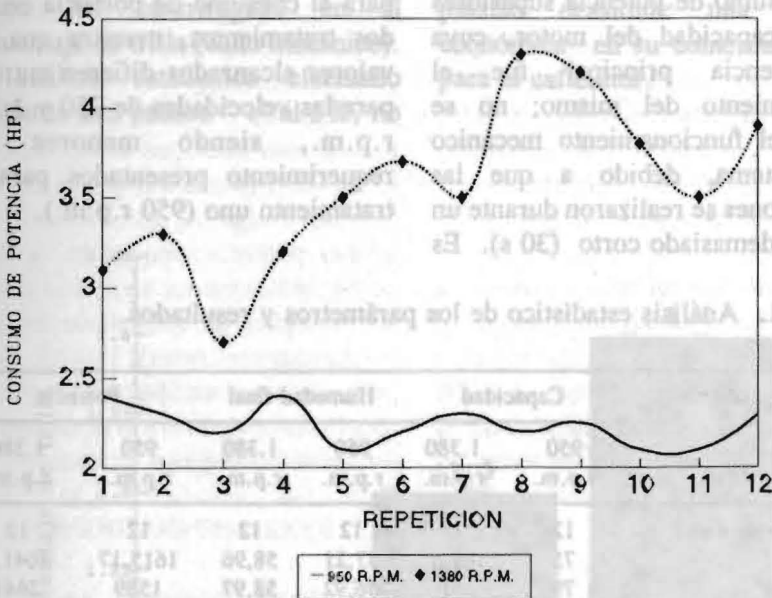


Figura 5. Consumo de potencia de la centrífuga a 950 y 1.380 r.p.m.

El cálculo del consumo de potencia para el tratamiento correspondiente a 950 r.p.m., muestra una variación entre dos y dos cinco; rango dentro del cual no se ve afectado el funcionamiento del motor, si se tiene en cuenta que el

trabajo fue realizado con un motor de 3,6 hp.

Se pudo observar que los requerimientos de fuerza electromotriz presentados por el motor en ambos tratamientos, para el

correcto funcionamiento del separador, fueron relativamente constantes; teniendo en cuenta que la variación en las medidas fue mínima, entre una y cinco unidades alrededor de 220 V.

Para el tratamiento realizado a 1.380 r.p.m., se obtuvieron valores del consumo de potencia superiores a la capacidad del motor, cuya consecuencia principal fue el calentamiento del mismo; no se afectó el funcionamiento mecánico del sistema, debido a que las repeticiones se realizaron durante un tiempo demasiado corto (30 s). Es

necesario aclarar que el caudal de entrada de la mezcla (agua - café) hacia la máquina, es regulado por una válvula ubicada después de la bomba, el cual se mantuvo constante en ambos tratamientos y para cada una de las pruebas.

El análisis estadístico realizado para el consumo de potencia en los dos tratamientos, muestra que los valores alcanzados difieren entre sí para las velocidades de 950 y 1.380 r.p.m., siendo menores los requerimientos presentados para el tratamiento uno (950 r.p.m.).

Tabla 1. Análisis estadístico de los parámetros y resultados.

Variable	Capacidad		Humedad final		Potencia	
	950 r.p.m.	1.380 r.p.m.	950 r.p.m.	1.380 r.p.m.	950 r.p.m.	1.380 r.p.m.
Número de datos	12	12	12	12	12	12
Media	75	61,6	57,21	58,96	1615,17	2641,5
Mediana	79	61	56,92	58,97	1589	2641
Varianza	357,46	74,27	0,48	1,26	5891,42	94598,3
Desviación estándar	18,9	8,61	0,7	1,12	76,76	307,57
Error estándar	5,45	2,48	0,2	0,32	22,16	88,79
Coficiente de variación (C.V.)%	25,2	14	1,2	1,9	4,75	11,64
Int. de confianza						
Para la media 95%	62,98	56,02	56,77	58,25	1566,39	2446,03
	87,02	66,98	57,65	59,68	1663,95	2836,97
Para la varianza	179,38	37,27	0,24	0,63	2956,46	47471,7
95%	1030,49	214,11	1,39	3,63	16984,2	272715

En la Tabla 1, se muestra el análisis estadístico descriptivo para las variables: capacidad, humedad final y potencia. La capacidad es el parámetros que presenta la mayor variación mientras la humedad final es el parámetro de menor variación.

En la Figura 6, se observa el efecto del centrifugado en el porcentaje de trilla (daño mecánico). El análisis estadístico efectuado mediante una prueba " t" al 5%, no

mostró diferencias significativas de los tratamientos uno y dos (950 y 1.380 r.p.m) con respecto al porcentaje inicial de trilla antes de ingresar al equipo (1,2%), indicando que bajo los parámetros de funcionamiento establecidos bajo este trabajo, el "centrifugado" de café no ocasiona daños severos que puedan ocasionar una pérdida económica en su comercialización para el caficultor.

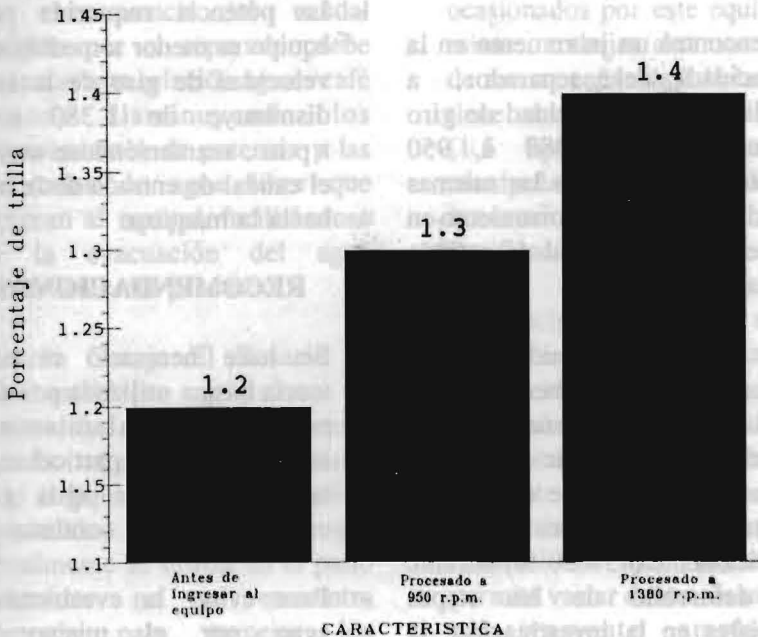


Figura 6. Efecto del centrifugado del café en el porcentaje de trilla.

CONCLUSIONES

- Las condiciones de funcionamiento teóricas para el equipo propuestas por Ghosh (1972), en su escalamiento (velocidad de giro a 2.500 r.p.m., para una capacidad teórica de 1 ton * hora⁻¹), difieren significativamente de las condiciones reales encontradas en el presente trabajo (velocidad de giro a 950 r.p.m., para una capacidad de 4.5 ton * hora⁻¹), a pesar de haber utilizado estrictamente las dimensiones reportadas en sus trabajos.
- Se encontró un incremento en la capacidad del separador, a medida que la velocidad de giro disminuye de 1.380 a 950 r.p.m., conservando las mismas condiciones de funcionamiento en lo referente al caudal de entrada de la mezcla.
- Los resultados obtenidos para la humedad final o humedad con la cual el café se encuentra al momento de concluir el proceso de separación, no se encuentran dentro de los niveles esperados teóricamente (45 - 50 %) durante el desarrollo de las etapas iniciales en la investigación; la humedad presentada por los granos de café al finalizar el proceso de escurrido, varió entre 56,5 y 58,5 %.
- La evacuación de pequeñas cantidades de agua por el mismo lugar dispuesto para la salida de los granos de café escurridos hacia el patio de recibo, interviene desfavorablemente en el objetivo principal de la máquina que es disminuir el porcentaje de humedad al máximo, ya que el material escurrido vuelve a entrar en contacto con agua libre luego de haber finalizado el proceso.
- La potencia requerida por el equipo es menor a medida que la velocidad de giro de la canasta disminuye de 1.380 a 950 r.p.m., manteniéndose constante el caudal de entrada de la mezcla hacia la máquina.

RECOMENDACIONES

- Se hace necesario revisar la teoría básica utilizada por Ghosh para el escalamiento de centrífugas y en particular, para la separación de agua y café como un proceso continuo.
- Para evitar la evacuación del agua por el mismo lugar dispuesto para la salida de los granos escurridos hacia la parrilla de presecado o hacia el patio de

recibo, se requiere replantear el diseño del sistema en lo relacionado con la forma y tamaño de las perforaciones de la canasta y con la inclinación de la misma.

- Implementar un dispositivo separador de agua - café utilizando únicamente la fuerza gravitacional, antes de la tolva encargada de recibir la mezcla que llega a la máquina; tal efecto podría lograrse con un tramo de tubería perforada a manera de colador con su respectivo sistema de evacuación del agua separada. En consecuencia el caudal recibido por el separador debe presentar una relación agua - café menor, disminuyendo los requerimientos de potencia y las cantidades de agua libre que ingresan al equipo, facilitándose así la evacuación del agua proveniente del proceso.

- Para la Granja El Rosario se debe establecer un sistema de evacuación del agua que cuente con la capacidad de conducir todo el líquido proveniente de la separación, ya que el que actualmente se utiliza en el patio escurridor no se encuentra adaptado para manejar los caudales trabajados.

- Proteger las paredes internas del

chasis con algún tipo de material elástico o amortiguante que absorba la energía con la que salen los granos de café desde la canasta perforada, con el fin de disminuir las posibilidades de trilla producidas por el choque del grano con las partes metálicas del separador.

- Establecer un sistema de tuberías que permita utilizar la mezcla de agua-café proveniente directamente del hidrociclón, evitando así el paso del grano por la bomba y los inconvenientes ocasionados por este equipo; así mismo, trabajar con una bomba de menor capacidad de la que se tiene actualmente en la granja (1,5 hp), que permita una manipulación fácil de los accesorios que regulan la dosificación de la mezcla.

- El principal aspecto que se debe modificar al separador actual, es la velocidad de giro de la canasta perforada; las condiciones ideales de trabajo podrían obtenerse mediante la utilización de un dispositivo regulador de las revoluciones del motor, que permite variar dentro de un rango relativamente amplio las velocidades de la máquina; con el fin de trabajar el equipo a menos de 950 r.p.m., aumentando así el

tiempo de permanencia del grano dentro de la canasta perforada, como también el tiempo de acción de las dos fuerzas sobre el grano, y muy probablemente la eficiencia del proceso en cuanto a separación de agua se refiere.

BIBLIOGRAFÍA

BAUMEISTER, Theodore *et al.* Marks, Manual del ingeniero mecánico. 8ed. México: McGraw-Hill, 1992. p. 2-10, 2-15, 3-15, 3-18.

COMITÉ DEPARTAMENTAL DE CAFETEROS DE ANTIOQUIA. El beneficio del café. Medellín: Edinalco, 1991. 213 p.

CHARM, Stanley E. Fundamentals of food engineering. West Port, Conn.: The AVI Publishing, 1971. p.520-523.

GONZALEZ DEL TANAGO, José. Separaciones mecánicas. Madrid: Dossat, s.f. p. 239-294.

GHOSH, B.N. Criterios de diseño para un proceso continuo de separación de agua y café por centrifugación. *En*: Turrialba. Vol 22, No 2(abri.-Jun. 1972); p.181-188.

RAMÍREZ P. Javier Andrés. Construcción y evaluación de un separador centrífugo de agua y café en un proceso continuo. Medellín, 1997. 51p. Trabajo de Grado (Ingeniero Agrícola). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

VALERO, Michel. Física 1. 2ed. Bogotá: s.n., 1976. p. 96-100