

DESARROLLO DE UN SEPARADOR DE OBJETOS DUROS EN EL CAFÉ COSECHADO¹

Ildebrando Restrepo-Hernández*; Juan Rodrigo Sanz-Uribe**; Fernando Alvarez-Mejía***

RESUMEN

RESTREPO H., I.; SANZ U., J.R.; ALVAREZ M., F. Desarrollo de un separador de objetos duros en el café cereza cosechado. Cenicafé 50 (3): 183-194. 1.999.

En Cenicafé se desarrolló y evaluó un dispositivo separador de objetos duros presentes en el café cereza cosechado, de las variedades Caturra y Colombia. Se determinaron como variables importantes para el diseño del prototipo: la distancia de separación entre frutos que caen consecutivamente sobre la misma línea, velocidad de caída de los frutos, altura de caída, fuerza de espesación, separación entre punzones y masa del fruto. De acuerdo con estas variables se planteó una desigualdad y una ecuación, con las cuales se determinaron la velocidad angular del tambor de punzones (0,43rad/s) y el diámetro del mismo (5,08cm), para obtener el mejor desempeño del equipo. La evaluación del prototipo se hizo utilizando diferentes porcentajes de objetos duros en muestras de café cereza cosechado. La eficacia promedia de separación de objetos duros en el café cereza obtenida fue de 37,01% y la eficacia promedia de separación de frutos verdes del resto de la masa de café fue de 8,75%.

Palabras claves: *Coffea arabica*, cosecha, clasificación, café cereza, punzones.

ABSTRACT

A mechanical device to separate hard materials (stones, pieces of metal and green berries) from the mass of coffee berries, based on hardness differences, for Colombia and Caturra cultivars, was developed and tested in Cenicafé. The main variables considered for the prototype design were distance between fruits falling on the same line, velocity of falling fruits, falling height, expectation force, separation between punchers, and fruit mass. An equation to determine angular velocity (0,43 rad/s) and diameter (5,08 cm) of the puncher drum to achieve the best performance of the prototype was derived. The prototype was evaluated using different percentages of hard objects in the mass of coffee berries. Average efficacy of separation of hard objects from coffee berries was 37,01% and of green berries from the rest of the coffee was 8,75%.

Keywords: *Coffea arabica*, harvest, classification, coffee berry, mechanization, punchers.

¹ Fragmento de la tesis de grado "Desarrollo de un separador sencillo de objetos duros del café cereza, que no utilice agua" presentada a la Universidad Nacional de Colombia para optar al título de Ingeniero Agrícola, Medellín. Septiembre de 1.997.

* Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional, Sede Medellín.

** Auxiliar de investigación. Ingeniería Agrícola. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

*** Profesor Asociado Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional, Sede Medellín.

Las leyes de protección de recursos naturales que demandan la reducción drástica del consumo diario del agua y su uso racional, están llevando a los caficultores a optimizar y minimizar su consumo en cada una de las etapas del proceso de beneficio húmedo del café. Sin embargo, en muchas fincas cafeteras de mediana y gran producción se utilizan dispositivos hidráulicos como el tanque sifón y las trampas, para separar los objetos duros y clasificar el café cereza, gastando considerables cantidades de agua (más de 4,5L/kg de café en cereza) (2).

Con la práctica del despulpado sin agua se reduce la contaminación potencial de las aguas en un 72%. Uno de los principales problemas para llevar a cabo esta práctica ecológica, es la presencia de objetos duros como piedras, puntillas y otros, en el café recolectado, que además dañan las despulpadoras generando costos adicionales por mantenimiento (2).

Entre los principios mecánicos estudiados para separar objetos duros en los productos agrícolas se pueden citar los sistemas de separación por rebote (7), de plano inclinado (10), de cepillos (8), de criba rotatoria (6, 14, 15),

neumáticos (1), de pisos de cribas (3), electrónicos (9), electrostáticos (5) y la separación por visión de máquina (12, 13).

Otro sistema utilizado está basado en el principio físico de la dureza, es decir, la diferencia que tienen los objetos duros a ser penetrados. De manera descriptiva, el concepto consiste en dejar caer los objetos contra una superficie con punzones, donde los materiales menos duros son espetados² y los más duros rebotan, siendo separados posteriormente (4). Para el caso particular del café bajo este sistema, se debe tener en cuenta la fuerza requerida para espetar la cereza, que depende de sus características físicas y mecánicas. Una vez espetada la cereza, la fuerza que la soporta debe ser mayor al peso del fruto y a la fuerza centrífuga que actúa sobre el mismo cuando el fruto gira sobre el tambor cilíndrico (4) (Figura 1).

La Figura 2 representa el diagrama de cuerpo libre cuando un fruto de café cereza es espetado.

Si el peso del fruto de café (W) más la fuerza centrífuga (F_c) a que es sometido es igual a la

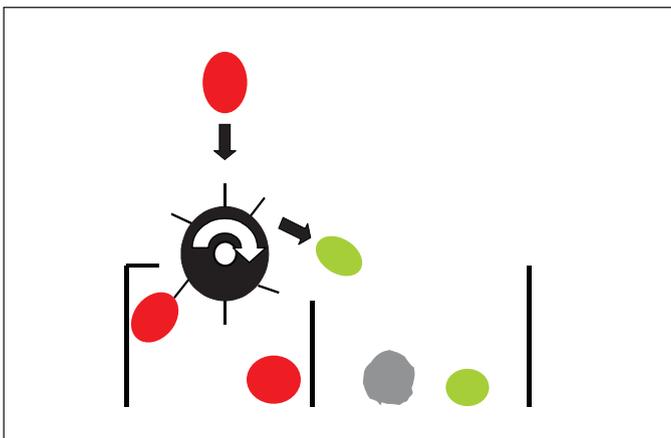


Figura 1. Descripción del principio de separación por punzones.

² Espetar: Introducir a través de un cuerpo un instrumento puntiagudo. (Diccionario hispánico universal, 1966).

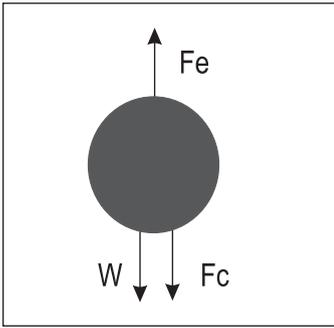


Figura 2. Diagrama de cuerpo libre de un fruto de café cereza espetado.

fuerza de espetación (F_e) que lo sostiene al punzón, éste no cae y puede entonces plantearse el siguiente balance de fuerzas:

$$F_e = F_c + W \quad \langle\langle 1 \rangle\rangle$$

La fuerza de espetación tiene dos componentes:

$$F_e = F_m + F_p \quad \langle\langle 2 \rangle\rangle$$

Donde:

F_m : fuerza de naturaleza viscosa, (N).
 F_p : fuerza que actúa en la pulpa, (N).

F_m puede calcularse a partir del esfuerzo que actúa en la superficie del punzón cuando es introducido en el mucílago, considerando el mucílago como un fluido seudoplástico con comportamiento reológico explicado por el modelo de Casson (11):

$$\sqrt{\tau} = \sqrt{\tau_0} + \eta\sqrt{\dot{\gamma}} \quad \langle\langle 3 \rangle\rangle$$

Donde:

t : esfuerzo cortante, Pa.
 t_0 : esfuerzo cortante de fluidez, Pa
 h : índice del comportamiento del flujo.
 g : tasa de corte. (dv/dr), 1/s.

Al despejar t_0 y multiplicar por el área de la superficie del punzón (A) introducida en el mucílago se tiene:

$$F_m = (\sqrt{\tau} - \eta\sqrt{\dot{\gamma}})^2 * A \quad \langle\langle 4 \rangle\rangle$$

F_p puede calcularse a partir de F_m y W sobre una placa de punzones en condiciones estáticas ($F_c=0$). La fuerza centrífuga F_c se calcula con la siguiente expresión:

$$F_c = m * \omega^2 * r \quad \langle\langle 5 \rangle\rangle$$

Donde:

m : masa del fruto, kg.
 w : velocidad angular del fruto espetado, rad/s.
 r : radio del tambor de punzones (incluida la longitud del punzón), m

Reemplazando $\langle\langle 2 \rangle\rangle$ y $\langle\langle 5 \rangle\rangle$ en la ecuación $\langle\langle 1 \rangle\rangle$ se obtiene la siguiente condición de separación que debe cumplir el prototipo diseñado para separar los objetos duros, utilizando el principio de punzones mostrado en la Figura 1.

$$F_m + F_p \gg m * \omega^2 * r + W \quad \langle\langle 6 \rangle\rangle$$

En este trabajo se presenta el desarrollo y la evaluación de un dispositivo mecánico diseñado para separar los objetos duros del café cereza y los frutos verdes presentes en el café recolectado partiendo del análisis de fuerzas anterior y utilizando el principio de dureza de los materiales mediante un sistema de punzones como el mostrado en la Figura 1.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en las instalaciones del Beneficiadero Experimental de Ingeniería Agrícola, localizado en la sede central de Cenicafé, en Chinchiná, Caldas. Se

encuentra a una altitud de 1.310m, con temperatura de 20,6°C en promedio y humedad relativa del 75%. Se empleó café cereza de las variedades Colombia y Caturra, proveniente de la Estación Central Naranjal y se emplearon objetos duros de los más comunes identificados en las tolvas de recibo en los beneficiaderos, como piedras y puntillas.

Materiales y equipos.

- Viscosímetro Brookfield HBDVIII.
- Balanzas electrónicas Metler PE 360 y PC 24 de 360 y 2.400 g de capacidad respectivamente.
- Zaranda plana de 2,5 cm x 2,5 cm de orificio y área de 50 cm x 50 cm.
- Dispositivo llamado “punto de caída libre” que consta de un tubo de PVC de 7,62 cm de diámetro y 20cm de longitud.
- Cinta métrica.
- Motor trifásico 3 HP 220-240V.
- Variadores mecánicos de velocidades.
- Bandas planas de transmisión, eslabonadas y en “V”.
- Tolva y eje alimentador de una despulpadora de cilindro horizontal.
- Cámara marca Panasonic NUBR5000PN.
- Cronómetro digital, marca Cassio de sensibilidad una centésima de segundo.
- Tacómetro digital marca Jaquet, rango 0-10.000rpm, sensibilidad 0,1rpm.
- Dos placas de punzones de acero inoxidable de 0,4mm de espesor.

En la Figura 3 se muestra el tipo de punzón utilizado, elaborado sobre una lámina de acero inoxidable AISI 304 de 0,4mm de espesor y 100cm² de área. Los punzones de forma triangular (isósceles) con 3mm de base, 5mm de altura y 7mm de separación, se soldaron y doblaron sobre esta lámina. También se utilizó una placa de alfileres (de acero dulce) soldados perpendicularmente sobre una lámina de acero inoxidable de 160cm². La distancia entre alfileres fue de 7mm.

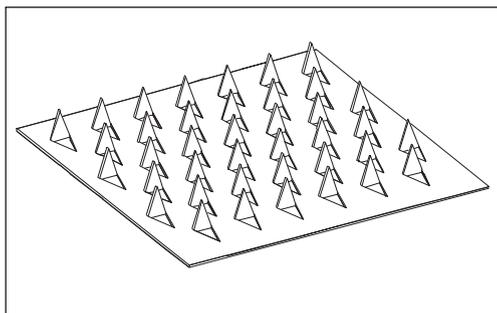


Figura 3. Lámina de punzones utilizada en el experimento.

Metodología. Esta investigación se dividió en cuatro fases, la primera correspondió a la determinación de las fuerzas viscosas que actúan en el punzón, en la pulpa y en los frutos cuando son espetados por un punzón. Luego se evaluó el efecto de la altura de caída y el tipo de punzón en la eficacia de separación de los materiales. Posteriormente se diseñó y construyó el prototipo a partir de las mejores condiciones evaluadas y finalmente, se evaluó el prototipo utilizando diferentes porcentajes de objetos duros en las muestras de café cereza.

Fuerzas viscosas que actúan en el punzón. Se utilizó un viscosímetro Brookfield HBDVIII, empleando el método de los cilindros concéntricos con 2,4cm de radio, para medir el esfuerzo cortante (t) del mucílago obtenido en un modulo BECOLSUB-600 con 0,4L agua/kg cps, a tazas de cortante de 0-3 (1/s). Se determinaron los parámetros reológicos, esfuerzo de fluidez (t_0), índice de comportamiento del fluido (h), viscosidad aparente (m_a) e índice de consistencia (k), con los cuales se hizo la gráfica de la curva de esfuerzo cortante vs la velocidad angular. Con los valores promedio de 15 pruebas se determinó la fuerza que ofrece el mucílago (F_m) al ser penetrado por el punzón, ecuaciones <<3 y 4>>.

Fuerzas para espetar la pulpa y los frutos. Se midió la fuerza mínima que se necesita para espetar los frutos maduros del café y la fuerza

mínima para espetar solamente la pulpa del café, utilizando una balanza electrónica y un punzón de acero inoxidable. Luego se procedió a comparar estas fuerzas mediante una prueba t al 5%. Se midió la fuerza necesaria para espetar frutos maduros, pintones y verdes utilizando una muestra de 21 frutos por cada estado de madurez. Los valores promedios se compararon mediante prueba t al 5%.

Evaluación de la altura de caída y tipo de placa. Se utilizó un dispositivo desde el cual se arrojaron uno a uno los elementos hacia la placa de punzones montada sobre una balanza. Los tratamientos evaluados estuvieron constituidos por la combinación de cuatro alturas (4, 8, 12 y 16cm) y dos placas de punzones por altura (acero inoxidable y otra compuesta de alfileres de acero dulce). Para cada tratamiento se tomó una muestra de 20 frutos por estado de maduración (verdes, pintones, maduros, sobremaduros, secos, ramilletes verdes, ramilletes pintones, ramilletes maduros) y por objetos duros (piedras y puntillas). Se realizaron cinco repeticiones por tratamiento.

Con el fin de obtener la combinación óptima en la variable proporción de frutos espetados por estado de maduración, se realizó el análisis de varianza y la prueba de Tukey al 5% para cada tipo de placa de punzones y luego se procedió a evaluar la eficacia de los dos tipos de punzones comparando los resultados mediante un análisis de varianza de una vía en arreglo factorial 4x2 (cuatro alturas y dos placas) en la variables eficacia de separación de objetos duros y eficacia de separación de frutos verdes. Se seleccionó la combinación óptima de altura y placa en estas variables para hacer el diseño y construir el prototipo.

Diseño del prototipo separador de objetos duros. Con las características óptimas de altura de caída y tipo de placa de punzones evaluadas, se diseñó el prototipo utilizando la tolva y el eje alimentador de una despulpadora de

cilindro horizontal. La tolva se modificó para permitir menor flujo de café. Se calibró el flujo de café alimentado en función de la velocidad del eje. Luego se hizo la filmación de la distribución de los frutos a la salida del eje con el propósito de determinar la distancia entre frutos durante su caída, para lo cual se utilizó la Cámara de video y un papel graduado con líneas separadas 5cm entre sí. Al reproducir la cinta se determinó la distancia vertical de separación entre frutos. Se realizaron 46 mediciones a cuatro diferentes velocidades del eje alimentador (38, 256, 369 y 442rpm). Los promedios en la distancia de separación entre frutos para cada velocidad se sometieron al análisis de varianza y a la prueba t al 5%.

Se realizó el análisis cinemático y dinámico de la caída del fruto desde el eje alimentador hasta el tambor de punzones con el propósito de seleccionar la velocidad angular y el diámetro de este que permitía retener el fruto una vez espetado.

Evaluación del prototipo. Una vez construido se procedió a determinar la capacidad de alimentación del equipo mediante pruebas de calibración de la velocidad del eje alimentador (4, 15 y 30rpm) utilizando muestras de 15kg de café cereza y cinco repeticiones para cada velocidad. El criterio para seleccionar la velocidad de alimentación fue la mayor eficacia en la separación de objetos duros.

Con la velocidad de alimentación escogida se evaluó el efecto de tres porcentajes de objetos duros (0,5; 0,75 y 1,0 %) presentes en el café procesado, en la variable eficacia de separación del prototipo. También se evaluó la eficacia de separación de frutos verdes; para ello, se tomaron en total 15 muestras de 15kg, las cuales se caracterizaron por el porcentaje de frutos verdes, secos y sobremaduros, y se adicionó el 1%, el 0,75% y el 0,5% de objetos duros.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fuerzas viscosas que actúan en el punzón.

Los parámetros reológicos determinados por el método de los cilindros concéntricos fueron:

Esfuerzo de fluidez (τ_0): 12,85N/m².

Índice de comportamiento del flujo (η): 0,254

Viscosidad aparente (μ_a): 21.525,75 para γ entre 0-3 (1/s).

Índice de consistencia (k): 21,525Pa·sⁿ.

En la Figura 4 se observa la variación del esfuerzo cortante (τ) para diferentes tasas cortantes (γ) obtenidas a partir de los valores anteriores.

A partir del esfuerzo de fluidez (τ_0) obtenido, se determinó una fuerza (F_m) de $1,285 \times 10^{-8}$ N que ofrece el mucílago en el punzón cuando este último lo penetra.

Fuerzas para espetar la pulpa y el fruto. Los resultados obtenidos para la fuerza mínima necesaria para espetar los frutos maduros y la pulpa no mostraron diferencias significativas (Figura 5). Teniendo presente que resultó más

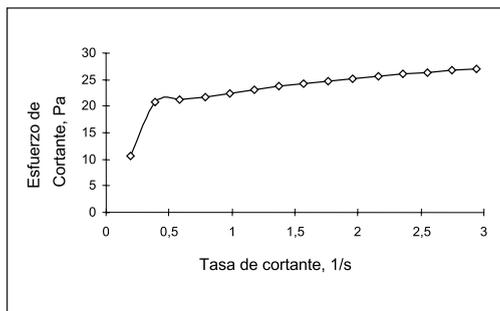


Figura 4. Variación del esfuerzo cortante en función de la tasa cortante para determinar la fuerza viscosa que actúa en un punzón.

fácil manejar el fruto que la pulpa, se escogió este como elemento a analizar en el estudio de la fuerza para espetar según el grado de maduración.

En cuanto a la fuerza mínima necesaria para espetar los frutos maduros, pintones y verdes se presentaron diferencias significativas entre los frutos verdes y los maduros (Figura 6).

La fuerza determinada para espetar el mucílago fue de 0,000128N, valor despreciable comparado con la fuerza para espetar el fruto o la pulpa (0,29 a 0,39N), puede decirse que $F_m = 0$, por tanto, $F_c = W$, según <<1>>. Con lo anterior, se procedió a estimar el número de frutos espetados a diferentes alturas, para determinar las alturas óptimas del lanzamiento del fruto.

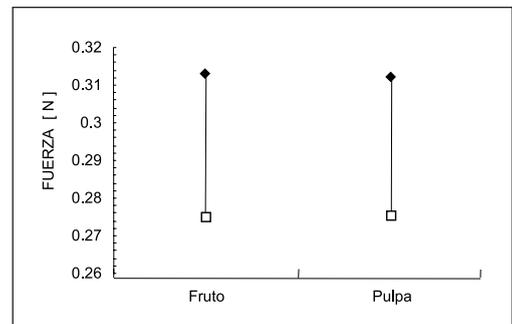


Figura 5. Comparación de la fuerza mínima para espetar el fruto y la pulpa de café.

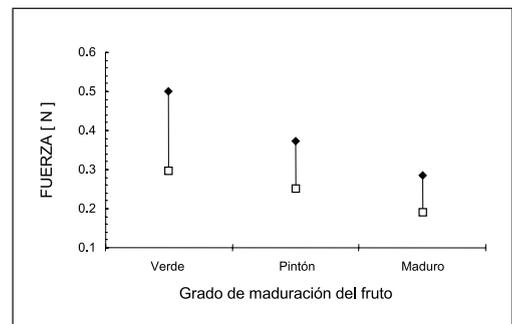


Figura 6. Comparación de la fuerza mínima para espetar el fruto y la pulpa de café.

Evaluación de la altura de caída y tipo de placa. Para la placa de punzones de acero inoxidable el análisis de varianza mostró efecto de la altura de caída en el porcentaje de frutos espetados para todos los estados de maduración a excepción de los frutos secos. La Tabla 1 muestra las diferencias estadísticas para cada estado de maduración (Tukey al 5%). Se observó que al aumentar la altura de caída se incrementa el porcentaje de espetación. El menor porcentaje de frutos verdes espetados se obtuvo con la menor altura (4cm). Los objetos duros, piedras y puntillas, presentaron una eficacia de separación del 100% con esta placa.

En la evaluación de la placa de alfileres de acero dulce, el análisis de varianza mostró efecto de la altura en el porcentaje de frutos espetados en todos los estados de maduración. Las diferencias se pueden observar en la Tabla 2. Los mayores porcentajes de frutos espetados se alcanzaron con la altura de 16 cm. El menor porcentaje de frutos verdes espetados se obtuvo con 4cm. Ningún objeto duro fue espetado, es

decir, la eficacia de separación de estos fue del 100%.

Al comparar los dos tipos de placas para cada altura, el análisis de varianza mostró diferencias a favor de la placa de alfileres para las alturas 12 y 16cm, en la eficacia de separación de objetos duros (Figura 7) y en la eficacia de separación de frutos verdes (Figura 8).

Se escogió para el diseño del prototipo la altura de 16cm con la que se obtuvo la mayor eficacia de separación de objetos duros. Se eligió como material para los punzones, el acero inoxidable, debido a que con los punzones de acero dulce hubo mayor dificultad de instalación y menor resistencia al impacto de los objetos duros.

Diseño del prototipo separador de objetos duros. En la Figura 9 se muestra el plano del prototipo separador de objetos duros. Éste, utiliza como fuente de potencia un motor eléctrico de 3HP y como sistemas de transmisión

TABLA 1. Porcentaje de frutos de café espetados en placa de acero inoxidable a diferentes alturas. Cenicafé 1997.

Altura (cm)	Frutos Secos	Frutos sobremaduros	Frutos Maduros	Frutos pintones	Frutos Verdes	Ramilletes Maduros	Ramilletes pintones	Ramilletes Verdes
16	7a*	46a	85a	85a	81a	90a	87a	81a
12	7a	27b	81a	83a	72ab	83a	84a	65 ab
8	6a	18bc	61b	72a	63b	68b	59b	44b
4	5a	11c	50b	55b	18c	52c	36c	19c

* Valores en la columna con la misma letra no presentan diferencia estadística. Tukey al 5%.

TABLA 2. Porcentaje de frutos de café espetados en placa de alfileres de acero dulce a diferentes alturas. Cenicafé 1997.

Altura (cm)	Frutos secos	Frutos sobreMaduros	Frutos maduros	Frutos pintones	Frutos verdes	Ramilletes maduros	Ramilletes pintones	Ramilletes verdes
16	10a*	57a	96a	99a	82a	91a	88a	82a
12	9a	53a	90a	96a	81a	86a	84a	70a
8	5ab	48a	82a	78b	73a	69b	61b	42b
4	1b	28b	53b	37c	11b	62b	40c	19c

* Valores en la columna con la misma letra no presentan diferencia estadística. Tukey al 5%.

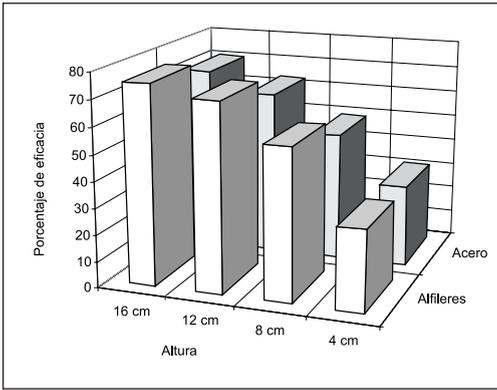


Figura 7. Eficacia de separación de objetos duros según tipo de placa por utilizar en el separador de objetos duros. Cenicafé, 1997.

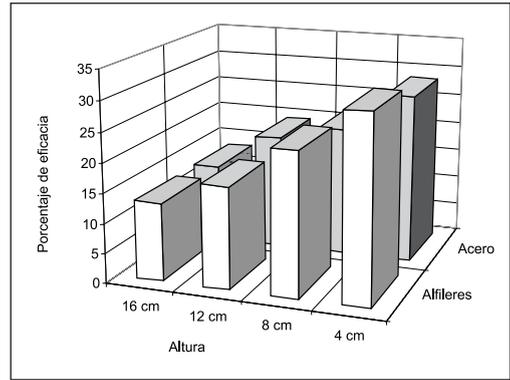


Figura 8. Eficacia de separación de frutos verdes según el tipo de placa por utilizar en el prototipo separador de objetos duros. Cenicafé, 1997.



Figura 9. Prototipo separador de objetos duros en el café cereza cosechado. Cenicafé 1997.

En la Figura 11 se presentan las curvas de calibración del flujo de café con la tolva original y con la tolva modificada, en función del número de revoluciones por minuto del eje alimentador. A velocidades menores de 100rpm las diferencias en capacidad no fueron grandes, resultando menores los valores de la tolva modificada y más favorables para la operación del equipo.

utiliza tres reductores mecánicos; uno acoplado al eje alimentador del cuerpo de una despulpadora de cilindro horizontal, mediante juego de poleas y banda plana y los otros dos acoplados para accionar el tambor de punzones. La tolva original de la despulpadora se modificó para conseguir menor flujo de masa de café cereza hacia el tambor de punzones. La modificación consistió en la reducción del ancho a 7,6cm (Figura 10).

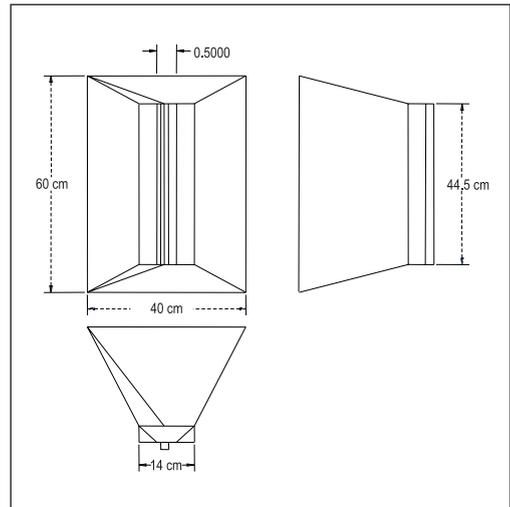


Figura 10. Detalle de la tolva modificada del prototipo separador de objetos duros en el café en cereza cosechado. Cenicafé 1997.

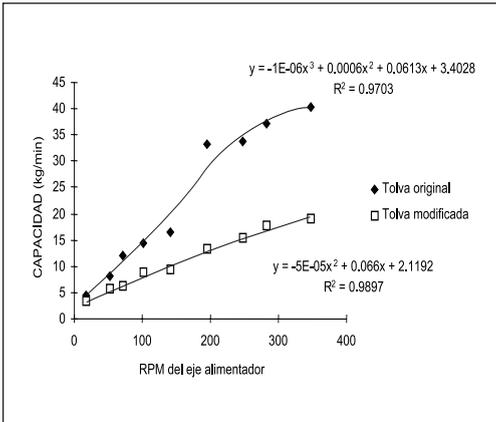


Figura 11. Curvas de calibración del flujo de café en el prototipo separador de objetos duros en el café cosechado. Cenicafé 1997.

No se presentó diferencia estadística (prueba t al 5%) para la distancia vertical de separación entre frutos, obtenida de las pruebas de filmación para las cuatro velocidades del eje alimentador evaluadas (Figura 12). Se eligió para el análisis dinámico como valor de separación de los frutos durante su caída el mayor límite superior (10,86cm) que corresponde a la velocidad de 38rpm.

En el análisis cinemático se relacionó el tiempo de caída libre del fruto, la distancia de

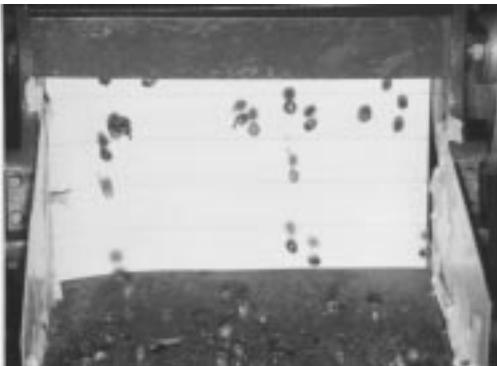


Figura 12. Determinación de la separación vertical.

separación entre frutos y el tiempo de giro de un punzón al siguiente, asumiendo que la placa de punzones es plana y los punzones tienen una separación de 7mm distribuidos en cuadro. El tiempo total de caída de un fruto respecto a otro con una distancia de separación de 10,86cm se calculó con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{0,01086}{g * \sqrt{\frac{2 * h}{g}}} \quad \langle\langle 7 \rangle\rangle$$

Donde:

g : aceleración de la gravedad ($g = 9,8m/s^2$)
h : altura de caída de los frutos desde la tolva de alimentación.

Con este tiempo t se determinó la velocidad lineal de un punzón con la siguiente ecuación:

$$v_l = 0,6445 * g * \sqrt{\frac{2 * h}{g}} \quad \langle\langle 8 \rangle\rangle$$

Esta velocidad lineal debe ser igual a la velocidad tangencial del tambor de punzones, por tanto:

$$60 * r * \omega = 0,6445 * g * \sqrt{\frac{2 * h}{g}} \quad \langle\langle 9 \rangle\rangle$$

Con las ecuaciones <<6 y 9>> y con los valores conocidos de F_m , F_p y m (1,8 gramos) se procedió a calcular para diferentes alturas de caída h, los valores de velocidad angular ω y radio r del tambor que resuelven ambas ecuaciones simultáneamente. Después de realizar los diferentes cálculos se escogió una altura de caída de 16cm, un radio de 4,44cm y una velocidad angular de 0,4297rad/s (4,1rpm). Se escogió finalmente un diámetro comercial de

5,08cm (2 pulgadas) para el tambor de punzones. Los punzones se soldaron sobre este tambor a lo largo de 10cm de longitud. El tambor diseñado y construido se puede observar en la Figura 13.

Evaluación del prototipo. En la Tabla 3 se muestra el análisis descriptivo de los resultados obtenidos de eficacia de separación de objetos duros y capacidad del prototipo operando a tres velocidades del eje alimentador. Al aumentar la velocidad se incrementa la capacidad de procesamiento y se disminuye la eficacia de separación. Se eligió la velocidad de diseño de

4rpm con la cual se alcanzó el promedio más alto en eficacia de separación.

En la Tabla 4 se muestra el análisis descriptivo de los resultados obtenidos de la eficacia de separación de objetos duros y la capacidad del prototipo operando este con tres porcentajes de objetos duros presentes en el café cosechado. No se presentaron diferencias estadísticas en la variable eficacia de separación según prueba t al 5% (Figura 14).

En la Tabla 5 se muestran los resultados estadísticos de la caracterización de las muestras de café utilizadas en la evaluación del prototipo separador.

Utilizando el porcentaje de frutos verdes antes y después del proceso de separación realizado por el prototipo se determinó una eficacia media de separación de los frutos verdes de 8,75%. Los resultados estadísticos obtenidos para esta variable se presentan en la Tabla 6.

Se concluye que los mayores porcentajes de frutos espetados y la mayor eficacia de separación de los objetos duros del café cereza cosechado se obtienen a una altura de caída de 16cm. La fuerza de espetación utilizada para el

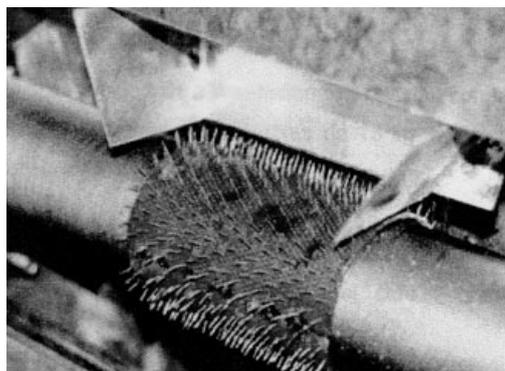


Figura 13. Detalle del tambor con punzones, del prototipo separador de objetos duros en el café en cereza cosechado. Cenicafé, 1997.

TABLA 3. Análisis estadístico descriptivo de la eficacia de separación de objetos duros (%) y capacidad (kg de café/min.) del prototipo separador de objetos duros de Cenicafé, operado a diferentes velocidades del eje alimentador.

	4rpm		15rpm		30rpm	
	Eficacia	Capacidad	Eficacia	Capacidad	Eficacia	Capacidad
Media	37,01	0,41	20,85	0,71	11,57	1,23
Mediana	33,33	0,40	23,00	0,68	11,93	1,26
Desviación Estándar	2,92	0,01	3,56	0,08	2,10	0,21
Varianza	8,51	0,00	12,69	0,01	4,39	0,05
Rango	7,00	0,04	7,60	0,20	4,73	0,47
Máximo	40,33	0,43	23,67	0,84	14,07	1,45
Mínimo	33,33	0,39	16,07	0,64	9,33	0,98
CV (%)	8,76	2,44	17,0	11,27	18,15	17,07

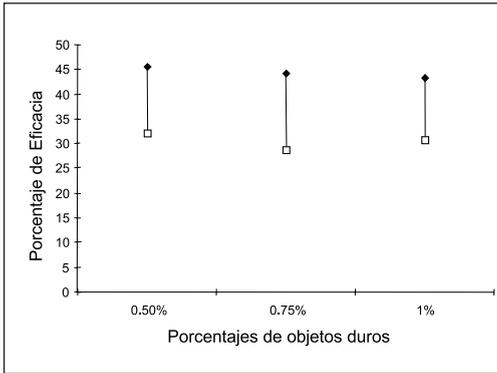


Figura 14. Eficacia de separación de objetos duros. Cenicafé.

diseño del prototipo depende de la masa de los frutos, con una fuerza de espesación mayor a 0,65N se puede aumentar la velocidad angular del tambor de punzones logrando incrementar la capacidad del prototipo. La principal dificultad observada en este diseño fue la elaboración del tambor de punzones y la calidad del material de estos.

Se recomienda el diseño de un nuevo prototipo donde el tambor y los punzones, sean construidos de una sola pieza y la alimentación del café sea regulada en intervalos de tiempo determinados.

TABLA 4. Eficacia de separación de objetos duros (%) y capacidad (kg de café/min.) del prototipo separador de Cenicafé, según el porcentaje de objetos duros.

	0,50 %		0,75%		1,00%	
	Eficacia	Capacidad	Eficacia	Capacidad	Eficacia	Capacidad
Media	38,40	0,38	36,40	0,37	37,01	0,37
Mediana	40,00	0,39	38,0	0,34	37,33	0,38
Desviación Estándar	3,11	0,03	3,65	0,05	2,92	0,015
Varianza	9,7	0,0	13,3	0,0003	8,51	0,0002
Rango	7,0	0,11	8,0	0,11	7,0	0,037
Máximo	35,0	0,33	32	0,33	33,33	0,35
Mínimo	42,0	0,44	40,0	0,44	40,33	0,39
CV (%)	8,10	7,89	10,02	13,5	7,89	4,05

TABLA 5. Resultados estadísticos de la caracterización de las muestras de café evaluadas en el prototipo separador de objetos duros diseñado en Cenicafé. 1997

	Frutos maduros	Frutos pintones	Frutos verdes	Frutos secos	Frutos Sobremaduros
Media	67,32	20,92	6,47	0,93	3,95
Mediana	66,96	21,08	6,23	0,80	3,09
Desviación Estándar	3,86	3,85	9,85	0,55	2,56
Varianza	14,87	14,79	3,41	0,31	6,56
Rango	14,33	12,69	6,54	1,77	8,74
Máximo	75,30	26,99	10,12	2,03	9,48
Mínimo	60,97	14,30	3,58	0,26	0,74
CV (%)	5,73	18,40	152,24	59,14	64,8

TABLA 6. Parámetros estadísticos de la eficacia de separación de frutos verdes.

Media	8,75
Mediana	8,32
Desviación estándar	2,33
Varianza	5,43
Rango	9,18
Máximo	13,02
Mínimo	3,84
CV (%)	26,6

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a la investigadora Esther Cecilia Montoya R. asesora estadística de este trabajo, al auxiliar de investigación Ricardo Grisales por su valiosa colaboración y al personal técnico de la disciplina de Ingeniería Agrícola por todos sus aportes.

LITERATURA CITADA

- ARIAS V., L. A.; LOZANO D., N. Diseño y evaluación de un clasificador neumático para café cereza. Cali, Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería, 1990. 85p. (Tesis: Ingeniero Agrícola).
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. FEDERACAFE. Beneficio ecológico del café, Chinchiná, Cenicafé, 1995. 49 p.
- FELLER, R.; FOUX A. Oscillation screen motion effect on the particle passage through perforations. Transactions of the ASAE 18 (5): 926-931. 1975.
- HEILAND, W. K.; KOZEMPELL, M. A mechanical destoner for small processing plants. American Potato Journal 65 (9):543-546. 1988.
- KRISHNAN, P; BERLAGE, A. G.; KLEIN E. Electrostatic separation of flower parts from onion seeds. Transactions of the ASAE 28 (5): 1676 - 1679. 1985.
- LONG, J. D.; HAMDY, M.; JOHNSON, W. H. Centrifugal force and wheat separation. Agricultural Engineering 50 (16): 578 - 580. 1969.
- MARTINEZ R. A.; MORALES F., A; GÓMEZ, A.D.; ALOYSIUS, H.N. Investigaciones de la separación de los frutos de café mediante el principio de rebote. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 2 (3): 15-26. 1989.
- MISENER, G. C.; MCLEOD, C. D. A resource efficient approach to potato- stone- clod separation. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America 20 (2): 33-36. 1989.
- MISENER G. C.; MCLEOD, C. D. A evaluation of potato-stone-clod separation mechanisms. Agricultural Engineering 29 (2): 169-171. 1987.
- MOLFE, R. R.; SINGH, A. K.; PUTHUR P. A. Roll-bounce firmness separation of blueberries. Transactions of the ASAE 23 (5): 1330-1336. 1980.
- PASCUAS L., R. T. Estudio de la retención en pulpa del efluente líquido sólido resultante del beneficio ecológico de café. Neiva, Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería, 1996. 92 p. (Tesis: Ingeniero Agrícola).
- SARKAR, N.; WOLFE, R. Computer vision based system for quality separation of fresh. Transactions of the ASAE 28 (5): 1714-1718. 1985.
- SARKAR, N.; WOLFE, R. Feature extraction techniques for sorting tomatoes by computer vision. Transactions of the ASAE 28 (3): 970-974. 1985.
- SRIVASTAVA, A. K.; HAMDY, M. Y. Centrifugal grain-straw separation: Part 1 Theoretical analysis. Transactions of the ASAE 17 (2): 198-201. 1974.
- SRIVASTAVA, A. K.; HAMDY, M. Y. Centrifugal grain-straw separation: Part 2. Transactions of the ASAE. 17 (2): 200-204. 1974.