



AVANCES TÉCNICOS

241

Cenicafé

Gerencia Técnica / Programa de Investigación Científica / Julio de 1997

Lavado y clasificación del café en el Hidrociclón

Iván D. Aristizábal T*; Carlos E. Oliveros T**; Carlos A. Salazar M***



Vista general de un hidrociclón.

En el proceso de beneficio húmedo del café (PBH) tradicionalmente se ha utilizado el canal de correteo y el canal semisumergido para lavar el café y retirar los granos vanos y las impurezas con el fin de obtener cafés de alta calidad física. Cuando éstos se utilizan adecuadamente, permiten separar cafés tipo Federación de cafés de calidad inferior ó corrientes (3).

Sin embargo, tanto en el canal de correteo como en el canal semisumergido, se observan importantes limitaciones como un alto consumo específico de agua cuando no hay recirculación (más de 15 litros por kg de café pergamino seco beneficiado) y altos porcentajes de café bueno (19%) separados junto con las pasillas (5,8). En consecuencia, se dificulta y encarece el manejo ecológico de los efluentes, se extiende el tiempo de operación (por el repase) y se ocasionan importantes pérdidas económicas al caficultor.

El hidrociclón, HC, es un dispositivo que permite retirar las impurezas del café con alta eficacia y eficiencia (1). Los granos se introducen al equipo bajo presión,

* Ingeniero Agrícola, Universidad Nacional, Medellín.

** Investigador Científico III. Ingeniería Agrícola, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafe. Chinchiná, Caldas, Colombia.

*** Profesor Asociado, Universidad Nacional, Medellín.

utilizando una bomba sumergible y forman con el agua una suspensión que rota alrededor del eje longitudinal del HC, formando un remolino exterior descendente que arrastra los granos más densos (café bueno) hacia las paredes hasta evacuarlos por la parte inferior ó ápice (Figura 1).

Las partículas de menor densidad (granos verdes, brocados y algunos granos sanos) y de forma aplanada (restos de pulpa) son arrastradas hacia un remolino interior ascendente el cual los descarga en la parte superior ó localizador.

Las variables geométricas ó de diseño de un hidrociclón (Figura 2) son:

- Diámetro principal: D
- Diámetro de entrada: D_i
- Diámetro del ápice: D_u
- Diámetro del localizador: D_o
- Altura del localizador: h_{lv}
- Altura sección cilíndrica: H_{ci}
- Altura sección cónica: H_{co}
- Angulo del cono: θ

Las variables de operación que más influyen en el funcionamiento del HC son el caudal y la concentración de la suspensión agua-café. La capacidad del HC depende principalmente de las variables D y H_{ci} , de la motobomba instalada y del flujo de café alimentado al tanque de bombeo (1, 2,4,7).

Aristizábal (1) diseñó y evaluó el desempeño de un HC en el lavado y en la clasificación de café procedente de tanques de fermentación. Las dimensiones del equipo se presentan en la Tabla 1.



Figura 1. Evacuación de granos buenos por el ápice del hidrociclón.

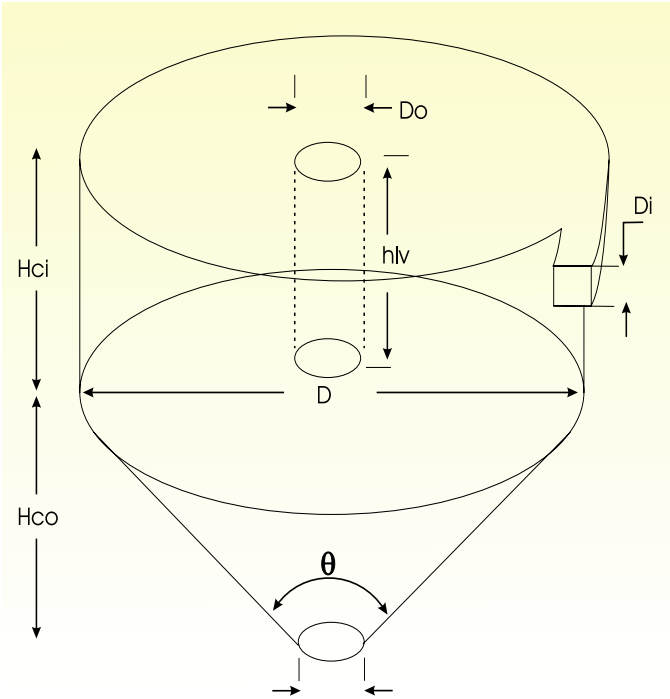


Figura 2. Variables de diseño de un hidrociclón.

TABLA 1. Dimensiones (en cm) de un Hidrociclón construido y evaluado en Cenicafé.

D	Di	Do	Du	Hci	Hco	h _{lv}	θ[°]
35,0	5,17	6,30	3,83	21,0	21,0	12,0	73,2°

Diseño y construcción del hidrociclón

Para diseñar un hidrociclón se debe conocer el flujo de café por procesar (kg/min), el caudal de suspensión agua-café que puede transportar la bomba seleccionada y la altura entre el tanque de bombeo y la entrada al hidrociclón. Con estos parámetros se pueden definir las dimensiones del equipo. En la Tabla 2 se presentan las dimensiones de hidrociclones para diferentes capacidades de transporte y altura dinámica total de bombeo (ΔH). Adicionalmente, se dan los valores mínimos de potencia de la motobomba requeridos en cada caso.

CONSTRUCCIÓN

El hidrociclón está constituido en su parte superior por un cilindro de diámetro D y en su parte inferior por un tronco de cono. El localizador penetra una distancia h_{lv} , equivalente al 40% del valor del diámetro principal. Se recomienda construir la entrada al hidrociclón en forma de envolvente de sección transversal rectangular ($b \times h$), igual al área de la sección circular calculada con D_i , es decir

$$b \times h = \frac{\pi D_i^2}{4}$$
 con el lado mayor (h) paralelo al eje del hidrociclón (Figuras 2 y 3). La altura del cilindro (H_{ci}) debe ser 2 ó 3 veces la altura de la sección de entrada (h). La altura del cono (H_{co}) se elige igual a la altura H_{ci} , o la correspondiente a un ángulo de cono entre 60° y 90° . En la parte final del cono, correspondiente al diámetro del ápice (D_u), se recomienda acoplar

un cilindro del mis-mo diámetro y de altura de 10 cm.

Debe evitarse que la descarga superior ejerza un efecto sifón, el cual se presenta cuando la descarga superior sobrepasa el nivel de referencia (Figura 4). En caso de requerir una conducción por debajo de la descarga inferior se debe agregar una almenara en el tronco horizontal de la tubería de descarga, a manera de "respiradero" para establecer la presión (1,7) (Figura 4).

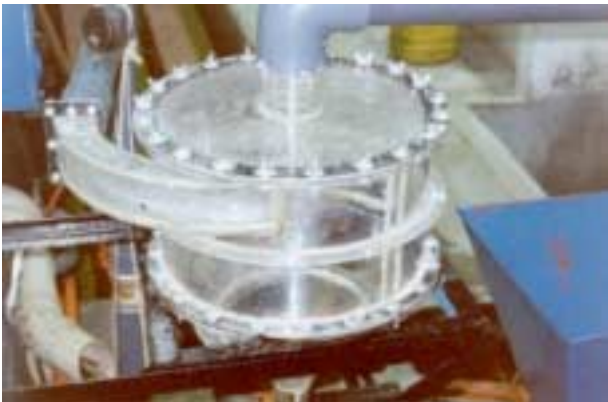


Figura 3. Entrada en envolvente al hidrociclón.

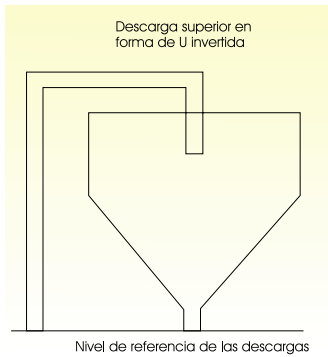


Figura 4. Descarga superior del HC.

TABLA 2. Dimensiones del hidrociclón para diferentes condiciones de bombeo

Capacidad [kg/h]	Caudal [L/min]	ΔH [m]	Potencia [kW]	D [cm]	D_i [cm]	$b \times h$ [cmxcm]	D_u [cm]	D_o [cm]	h_{lv} [cm]	H_{ci} [cm]	H_{co} [cm]	θ [$^\circ$]
1.500	100	5,0	0,37(1/2HP)	35,0	5,46	3,0x7,8	3,34	5,45	14,0	24,0	26,0	62,7
2.200	380	2,5	0,56 (3/4HP)	64,0	8,89	5,7X10,9	1,90	5,45	25,0	29,0	33,0	86,5
3.000	200	5,5	0,74 (1,0HP)	55,0	8,89	5,7X10,9	4,37	8,89	22,0	33,0	30,0	80,3

Instalación y funcionamiento

El hidrociclón puede ser instalado en una estructura construida en ángulo de hierro, que puede fijarse en la zona húmeda del beneficiadero, cerca al desmucilagador mecánico (o tanques de fermentación) o al tanque de bombeo, de tal modo que el café clasificado pueda almacenarse temporalmente en un tanque de trabajo para ser poste-

riormente bombeado a la zona de secado.

La diferencia de altura entre el tanque de bombeo y la descarga superior del equipo y las pérdidas de presión debidas a la tubería y a los cambios de dirección deben ser tales que la presión de entrada al HC esté comprendida entre 13,8 y 34,5 kPa (2 a 5 PSI). De esta forma, se tiene una descarga en el ápice en forma de abanico con ángulos mayores de 30° respecto a la vertical, lo cual indica que el HC está funcionando correctamente y en consecuencia, se puede obtener café pergamino lavado con bajo contenido de guayabas e impurezas. En la Figura 5 se observa el café clasificado por la descarga inferior o ápice. El caudal de agua evacuado por el ápice, aproximadamente el 30% del total utilizado, se debe retornar al tanque de bombeo.

La descarga del localizador entrega un alto porcentaje de pasillas, granos muy brocados, restos de pulpa, un porcentaje relativamente bajo de granos buenos (12,4%) y el restante 70% del caudal de agua utilizada, el cual debe retornar al tanque de bombeo. Los materiales obtenidos en la descarga pueden ser recirculados fácilmente obteniéndose una importante recuperación del café bueno (1).

En la Figura 6 se observan los materiales obtenidos por la descarga superior o localizador y se aprecia el gran volumen de agua (70%) que cae a un separador y luego sigue por el tanque de bombeo. La recirculación de agua garantiza un bajo consumo en la clasificación con el HC.



Figura 5. Descarga inferior y calidad del café clasificado (recuadro).



Figura 6. Material descargado por el localizador.

Evaluación técnica

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 3 y permiten concluir que el HC presenta ventajas con relación al canal de correteo y al canal semisumergido: menor consumo específico de agua (se gasta menos agua para clasificar la misma cantidad de café), menores «pérdidas» de café sano con las pasillas, es decir, el porcentaje en peso del café bueno que se separa junto con el material liviano como pasillas, pulpa y otras impurezas por la ineficiencia propia del clasificador y mayor eficacia en la separación del café afectado por la broca (brocado).

Aunque el porcentaje de pasillas más impurezas con las que queda el café clasificado por el ápice del HC es del 7,3% en húmedo, este café después de seco cumple las normas del Tipo Federación, debido a que las impurezas tienen mayor contenido de humedad. En Cenicafé se beneficiaron durante la cosecha principal de 1995 mas de 196 toneladas de café cereza utilizando despulpado sin agua, desmucilaginado mecánico (desmucilaginador tipo “DESLIM”) y como sistema clasificador el hidrociclón (Figura 1), con un consumo de agua (con recirculación) promedio de este equipo de 3,8 litros por kilogramo de café pergamino seco, obteniéndose alrededor de 40 toneladas de café pergamino seco Tipo Federación.

TABLA 3. Desempeño de un hidrociclón. Prototipo diseñado en CENICAFE (1, 5, 8).

Equipo	Imp.S. [%] [%]	C.B.S [%]	Pas.S. [%]	C.S.P. [%]	Pas + imp. [%]	Capacidad [kg/h]	CEA [l/kg]
Hidrociclón	71,6	24,8	28,2	12,4	7,3	1.640	1,9
Canal de correteo	—	23,6	—	18,9	—	450	18,7
Canal semisumergido	86,5	—	85,2	19,8	3,2	7.000	3,2
Imp. S.	Impurezas separadas						
C.B.S.	Café brocado separado						
Pas. S.	Pasillas separadas						
C.S.P.	Café sano en las pasillas						
Pas. + Imp.	Pasillas más impurezas en el café sano						
C.E.A.	Consumo específico de agua (litros por kilo de café húmedo)						

Costos

En la Tabla 4 se presenta la lista de materiales y su costo a Octubre de 1997, para construir dos hidrociclones, con capacidad para 1.500 y 3.000 kg/h de café pergamino lavado.

TABLA 4. Costos de materiales y mano de obra para construir hidrociclones con capacidad para 1.500 y 3.000 kg/h de café pergamino lavado (Octubre 1997).

MATERIALES	CAPACIDAD: 1.500 Kg/h		CAPACIDAD: 3.000 Kg/h	
	Cantidad	Valor Total [\$]	Cantidad	Valor Total [\$]
Lámina galvanizada calibre 18, 1,20x2,40 m	1	35.000	1	35.000
Angulo de hierro 1/8x1 1/2», 6m	1	7.600	1	7.600
Soldadura Gricon 33	2 Kg	8.000	3 Kg	12.000
Masilla	1/4 Gal	7.200	1/4 Gal	7.200
Tornillos con tuerca y arandela 3/8X1 1/2	8	1.300	8	1.300
Perno de anclaje 3/8x3"	4	3.000	4	3.000
Hojas de segueta	1	1.200	1	1.200
Pintura anticorrosiva	1/4 Gal	4.800	1/4 Gal	4.800
Pintura a base de aceite	1/4 Gal	7.500	1/4 Gal	7.500
Tubería 2" PVC presión	2 m	9.600	---	---
Tubería 3" PVC presión	---	---	2 m	18.900
Codo 90° 2" PVC presión	2	5.000	---	---
Codo 90° 3" PVC presión	-	---	2	15.600
Pegante para PVC	2 onz	800	3 onz	1.200
Imprevistos (10%)		9.100		11.500
Mano de obra construcción		70.000		90.000
Mano de obra instalación		30.000		40.000
COSTO TOTAL		200.100		256.800

Ventajas

Las principales ventajas que presenta el hidrociclón para limpiar y clasificar café proveniente de procesos de desmucilaginado mecánico ó fermentación natural, con relación al canal de correteo y al canal semisumergido, son las siguientes:

- Fácil construcción e instalación.
- Se puede construir en lámina de hierro ó en otros materiales sintéticos.
- Las motobombas sumergibles convencionalmente utilizadas en los beneficiaderos permiten poner en funcionamiento el hidrociclón.
- Opera continuamente. Una vez establecidas las condiciones normales de operación del equipo con agua solamente, se puede iniciar el proceso de clasificación del café.
- El café separado como pasilla puede recircularse después de terminar la clasificación del café disponible del día, hasta conseguir una recuperación cercana al 100% del café bueno.
- Ocupa poco espacio y se puede trasladar de sitio.

- Se puede conectar al circuito que transporta el café lavado al secador.
- Es económico, requiere poco mantenimiento y ahorra mano de obra.
- Es el complemento ideal para los desmucilaginales DESLIM desarrollados en CENICAFE (6).
- Es apropiado para el beneficio ecológico del café en los beneficiaderos que utilizan desmucilaginales DESLIM, ya que se puede utilizar un volumen de agua relativamente pequeño ($< 0,1 \text{ m}^3$) con recirculación.

Desventajas

- Para aumentar su capacidad no basta simplemente aumentar proporcionalmente sus dimensiones, se debe evaluar las características de la bomba y su instalación.
- Para su óptimo desempeño el equipo exige un flujo constante de café al tanque de bombeo.
- Cantidades instantáneas muy altas de café pueden causar taponamiento del ápice con la consecuente evacuación de todo el material sin clasificar por la descarga superior.

Agradecimientos

Los autores quieren expresar sus agradecimientos al Dr. Gonzalo Roa M., Líder de la disciplina de Ingeniería Agrícola, por la revisión del documento y al personal auxiliar y mecánicos que laboran en la disciplina de Ingeniería Agrícola de CENICAFÉ por su valiosa colaboración en la construcción y evaluación de los hidrociclones utilizados en los ensayos.

Literatura Citada

1. ARISTIZÁBAL T., I.D. Diseño, construcción y evaluación de un hidrociclón para lavar y clasificar café fermentado. Medellín, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias, 1995. 195 p. (Tesis: Ingeniero Agrícola).
2. BOUSO, J.L. Equipos de separación sólido-líquido. Alimentación, Equipos y Tecnología 4(3) : 89-94. 1985.
3. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Chinchiná. Manual del Beneficio del café. 1991. 236 p. (Mimeografiado)
4. LONDOÑO R., G.E. ; PÉREZ G., J.E. Hidrociclones: alternativa en la separación sólido-líquido. Medellín, Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería, 1988. 253 p. (Tesis : Ingeniero Químico).
5. MÁRQUEZ G., S.M. Canal semisumergido para la clasificación del café cereza y pergamino húmedo. Chinchiná, Cenicafé, 1988. 32 p.
6. OLIVEROS T., C.E.; SANZ U., J.R.; RAMÍREZ G., C.A.; ALVAREZ H., J.R.; ROA M., G.; ALVAREZ G., J. Desmucilaginosos Mecánicos de Café. Chinchiná, Cenicafé. 1995. 4 p. (Avances Técnicos Cenicafé No. 217).
7. SALAZAR, C. Clasificación hidráulica de café mediante un hidrociclón. Medellín, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas, 1993. (Anteproyecto de Tesis: Magister en Recursos Hidráulicos).
8. VILLABONA G., S. Estudio de la separación del café brocado en el canal de correteo. Chinchiná, Cenicafé, 1995. 45 p.

Edición: Héctor Fabio Ospina O.
Fotografía: Gonzalo Hoyos S.
César A. Ramírez G.
Diagramación: Angela C. Miranda C.

Caficultor:

Complemente la
tecnología
BECOLSUB y
aumente sus
ingresos
utilizando el
hidrociclón

Los trabajos suscritos por el personal técnico del Centro Nacional de Investigaciones de Café son parte de las investigaciones realizadas por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Sin embargo, tanto en este caso como en el de personas no pertenecientes a este Centro, las ideas emitidas por los autores son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente las opiniones de la Entidad.

Cenicafé
Centro Nacional de Investigaciones de Café
"Pedro Uribe Mejía"

Chinchiná, Caldas, Colombia
Tel. (6) 8506550 Fax. (6) 8504723
A.A. 2427 Manzales
cenicafe@cafede colombia.com