

Estudio experimental acerca de la capacidad de un hidrociclón con ángulos de cono grande

Oswaldo Bustamante Rúa * I.M.M., DCPME, MSc
Fernando Concha Arcil ** PhD.

* Dirección actual: Universidad Nacional de Colombia, CIMEX, A.A. 1027, Medellín - Colombia

** Universidad de Concepción, Casilla 53-C, Concepción - Chile.

RESUMEN

Se reportan las conclusiones obtenidas en un estudio experimental en hidrociclones de ángulos de cono grande (cerca de los 180°) y se comparan con los obtenidos en un hidrociclón tradicional o de ángulo de cono pequeño, en lo que hace referencia a la capacidad o flujo másico que se alimenta al aparato, respecto a las variables de diseño y operacionales.

PALABRAS CLAVES:

Hidrociclones, capacidad y diseño de hidrociclones.

ABSTRACT

This work presents the conclusions of an experimental study with large-cone hydrocyclons (approximately 180°) and the results are compared with that with little-cone hydrocyclons.

The variable under research is the capacity or masic flow in feeding the hydrocyclon correlated with the operational and design variables.

KEY WORDS:

Hydrocyclones, capacity and design of the hydrocyclones.

1. INTRODUCCION

La capacidad de un hidrociclón, según como se ve en (7-12) para hidrociclones tradicionales o de ángulo de cono pequeño, depende tanto de variables operacionales como de variables de diseño del aparato. Analizaremos la incidencia de estas en la capacidad de un hidrociclón de ángulo de cono grande cercano a los 180° ; para lo cual tendremos resultados obtenidos con diferentes concentraciones de pulpa, incluyendo la concentración de cero - con agua pura.

Se mantuvo constante el área de alimentación, lo mismo que la geometría.

Por otro lado, también se mantuvo constante los espesores del "vortex finder", aunque se varió el diámetro de los mismos.

Las variables de diseño que se manipularon son: altura del hidrociclón, diámetros de ápex y "vortex finder", y altura de "vortex finder". Las variables operacionales que se manipularon fueron: caída de presión en la alimentación, densidad de pulpa y medio donde se descarga el hidrociclón; bien sea a la atmósfera o sumergido en su pulpa.

El estudio experimental emprendido trató de averiguar si ocurren variaciones en las expresiones de capacidad de los hidrociclones cuando el ángulo del cono de éstos sea cercano a los 180° , con respecto a las ecuaciones de Lynch-Rao (7,8) y Plitt (9,11) principalmente.

2. CONSIDERACIONES GENERALES

Un hidrociclón es un aparato como lo muestra la figura 1, que divide un flujo de entrada en dos flujos de salida. Aunque, puede que uno de los flujos regrese al aparato, se considera la capacidad del hidrociclón como el flujo másico y/o volumétrico a la entrada del mismo.

Los hidrociclones que han sido estudiados más detalladamente han sido los de ángulo de cono pequeño, los cuales denominaremos en este trabajo como tradicionales. Los principales trabajos en este aparato son entre otros los de Kélsall (1,2), Rietema (3), Bradley (4), Lilge (5), Dahlstrom (6), entre otros, pero la modelación se tiene en la literatura en los trabajos de Lynch-Rao y de Plitt.

Por otro lado, los hidrociclones de ángulo de cono grande tienen un comportamiento hidrodinámico

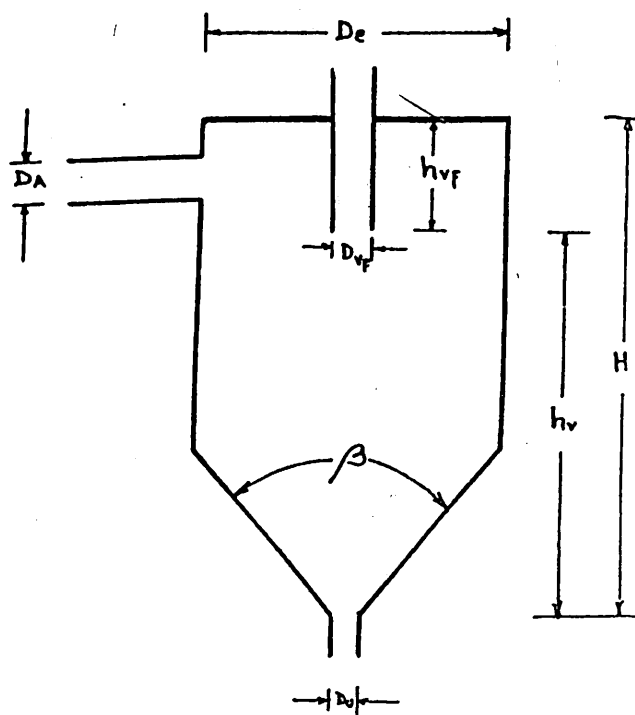


Figura 1. Esquema general de un hidrociclón.

Dc: Diámetro del hidrociclón, Da: diámetro de alimentación.

Dvf: Diámetro de "Vortex Finder", Du: diámetro de ápex.

H: Altura del hidrociclón, Hv: Altura de Vortex libre.

Hvf: Altura de "Vortex Finder", β : Ángulo del cono.

diferente, ya que Van Duijn y Rietema (13); apoyados en un trabajo experimental reportan la existencia de lechos porosos rotando alrededor del eje del hidrociclón, los cuales poseen un gradiente de porosidad variando en la altura. Lo anterior hace pensar que el tiempo de residencia dentro del aparato aumenta cuando los ángulos de cono son significativamente grandes. Ellos (13) hicieron medidas de DTR y dan tiempos promedios significativos, lo cual comprueba en parte lo anterior.

Debe tenerse en la cuenta que el volumen de los hidrociclones aumenta significativamente cuando, sin variar la relación L/D, aumentamos el ángulo del cono.

3. MONTAJE DEL EQUIPO

El montaje del equipo se hizo según la figura 2. Las medidas se hicieron tanto con agua solamente como con pulpas de mineral de hierro (Hematita) de gravedad de 4.0. La temperatura del agua se mantuvo constante, mediante la utilización de un sistema de transferencia de calor colocado en el tanque de acondicionamiento de la pulpa.

Para cada experiencia se toman muestras cuando la operación se encuentre en el estado estacionario, el cual se logra algunos minutos después de iniciada la operación del sistema.

El principal aparato del sistema es el hidrociclón, el cual se diseñó expresamente para este trabajo. El hidrociclón es de acero con un diámetro interno de seis pulgadas y con alargadores del mismo material para aumentar altura. Además se utilizaron dos conos de 90 y 135 grados, también de acero.

Al interior también se le puede adaptar un cono de 16°, lo que permite operarlo como un hidrociclón tradicional. Las dimensiones de las diferentes partes del hidrociclón son como sigue.

Alturas globales del hidrociclón. Las alturas fueron de 808.20, 934.20, 1065.20 y 11889.20 milímetros. Esta magnitud es sin descontar la altura de "vortex finder". Con un ángulo de cono de 16°, el hidrociclón queda con una altura de 1062.20 milímetros.

Alturas y espesor de "vortex finder". Las alturas fueron de 106.80, 177.60 y 278.20 milímetros, mientras el espesor fue de 10 milímetros y mantenido constante.

Diámetros de ápex. Los diámetros fueron de 0.5, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, y 1.75 pulgadas.

4. INFLUENCIA DE LAS VARIABLES GEOMÉTRICAS DEL HIDROCICLÓN

4.1. INFLUENCIA DEL ÁNGULO DEL CONO EN LA CAPACIDAD

Se podría pensar que un incremento en el volumen de los hidrociclones ocasionado por un aumento del ángulo del cono, conservando la relación L/D, podría generar sencillamente un crecimiento en la capacidad del aparato.

La literatura que se mencionó antes, no se refiere a variaciones en la capacidad por un aumento o disminución del ángulo de cono, y en ningún momento detalla este aspecto, por lo que deben hacerse dos observaciones:

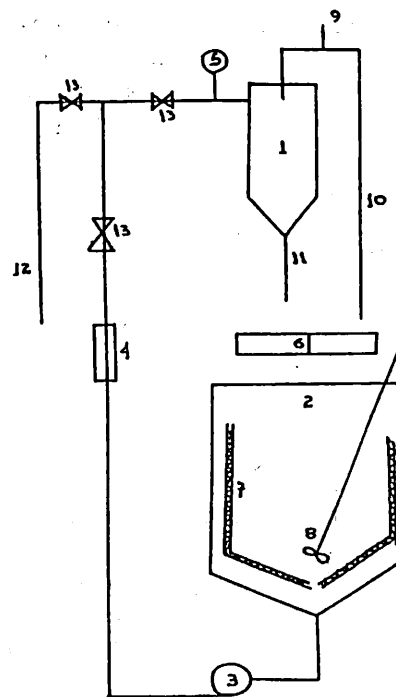


Figura 2. Esquema de Montaje

1. Hidrociclón, 2. Tanque de acondicionamiento,
3. Bomba, 4. Flujómetro
5. Manómetro, 6. Partidor de muestra
7. Circuito de Transferencia de calor
8. Agitador, 9. Conexión a atmósfera de salida de "overflow"
10. Tubo de "overflow"
11. Salida de "Underflow"
12. "Bypass" 13. Válvulas

1. No se hace referencia a ángulos de cono mayores de 45 para clasificación por tamaños, ya que como concentrador gravitacional esta reportado por Visman (12), y bien se sabe que a partir de este valor, aproximadamente, comienza a tenerse dentro del hidrociclón un régimen hidrodinámico diferente por la generación de los lechos porosos rotando alrededor del eje o del "air core".
2. No se remite que sucede con la capacidad del hidrociclón cuando esta variable de diseño entra en juego y dejando constante la relación L/D.

Los ensayos realizados con agua solamente y pulpa, nos permiten reportar que un aumento en el ángulo del cono, aunque cambie el comportamiento hidrodinámico dentro del aparato, no afecta la capacidad siempre y cuando se mantenga constante la relación L/D; y las demás variables de diseño y operacionales constantes. La tabla 1 muestra lo anterior.

TABLA 1. Valores de caudal de alimentación a diferentes ángulos de cono del hidrociclón, con diámetro de "vortex finder" de 50.80 mm y diámetro de ápex de 25.40 mm y con caída de presión de 10 psi en la alimentación.

Angulo de cono	16°	90°	135°	Fluido alimentado
Capacidad (Kg/seg)	5.620	5.800	5.700	Agua
	8.361	8.383	8.358	Pulpa Hematita 40% en peso

4.2. Influencia de la altura del hidrociclón

En los hidrociclones de ángulo de cono grande, la variación de la altura es una variable de diseño muy versátil; a diferencia de los hidrociclones tradicionales. Aunque Plitt (9-11) encuentra una correlación entre la capacidad del aparato y la altura libre del vórtice, esto es, la altura del hidrociclón menos la altura del "vortex finder" (ver figura 1), es mejor para efectos prácticos definir un número adimensional que relacione la altura libre del vórtice dividido por el diámetro del hidrociclón (L/D)

Mediante experiencias con agua solamente y con pulpa mineral, se obtuvo que la capacidad Q y la relación L/D tienen una relación de tipo potencial:

$$Q = k_1 (L/D)^n$$

donde n es una constante, que para un hidrociclón de 152.40 milímetros es de 0.4, como se ve en las figuras 3 y 4.

Las conclusiones anteriores son válidas para un cambio de la relación L/D, manteniendo constante la altura de "vortex finder". Pero si cambiamos la altura de este último, la relación L/D cambia, más no la altura global del hidrociclón y operando nuevamente el aparato, conservando las demás variables tanto operacionales como de diseño, no hay variación del caudal de alimentación con respecto a las condiciones anteriores, como se ve en la figura 5. Esta figura muestra la invariabilidad de la capacidad, aunque cambiemos la relación L/D, pero dejando constante la altura global H del hidrociclón.

Lo anterior nos muestra que es la altura global del hidrociclón lo más importante en la definición de la

capacidad y queda sin fundamento la consideración tradicional de la altura libre de vórtice como lo reporte Lilge (5).

4.3. Influencia de los diámetros de salida

Los diámetros de salida, o sea de "vortex finder" y ápex, tienen una influencia sobre la definición de la capacidad del hidrociclón. Sin embargo antes de entrar a detallar este aspecto debe hacerse una aclaración respecto a la terminología empleada y su efecto en el manejo de estos aparatos. La literatura que se ha mencionado en su totalidad hace referencia de que el diámetro de la abertura del "vortex finder" es el determinante de la capacidad del hidrociclón. A través de nuestra experiencia logramos demostrar que es mejor especificar; que el diámetro de salida más importante es el que sea mucho mayor con respecto al otro, esto es, la abertura más grande de salida que posea determinará la capacidad. Ahora bien, como generalmente se definen condiciones normales de operación (CNO) en (4,7 y 9), entre otros, las cuales claramente son las condiciones bajo las cuales opera el hidrociclón cuando el diámetro de "vortex finder" es mucho más grande que el diámetro del ápex, aquí si es la abertura de aquel la determinante de la capacidad.

Bajo CNO, el diámetro del "vortex finder" (VF), tiene una relación potencial con la capacidad Q, así:

$$Q = K_2 (VF)^n$$

El diámetro del ápex no tienen inferencia en la determinación de la capacidad del hidrociclón, como lo muestra la tabla 2.

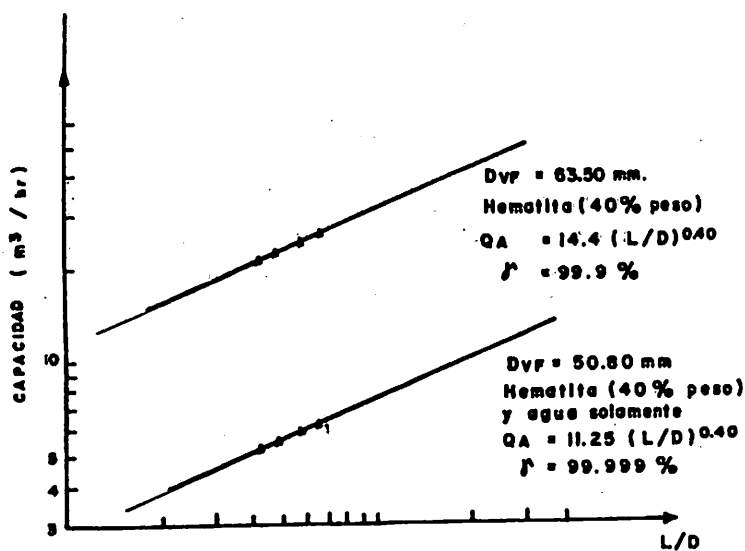


Figura No. 3 L/D vs Capacidad,
Presión de alimentación 10 psi.

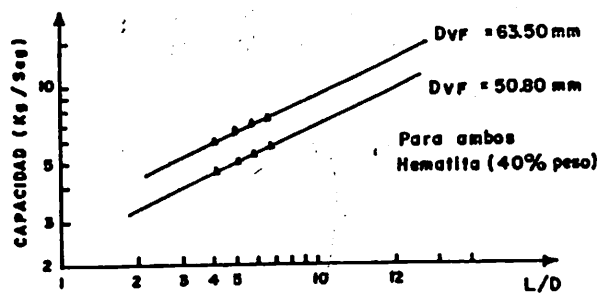


Figura No. 4 L/D vs Capacidad,
Presión de alimentación 10 psi.

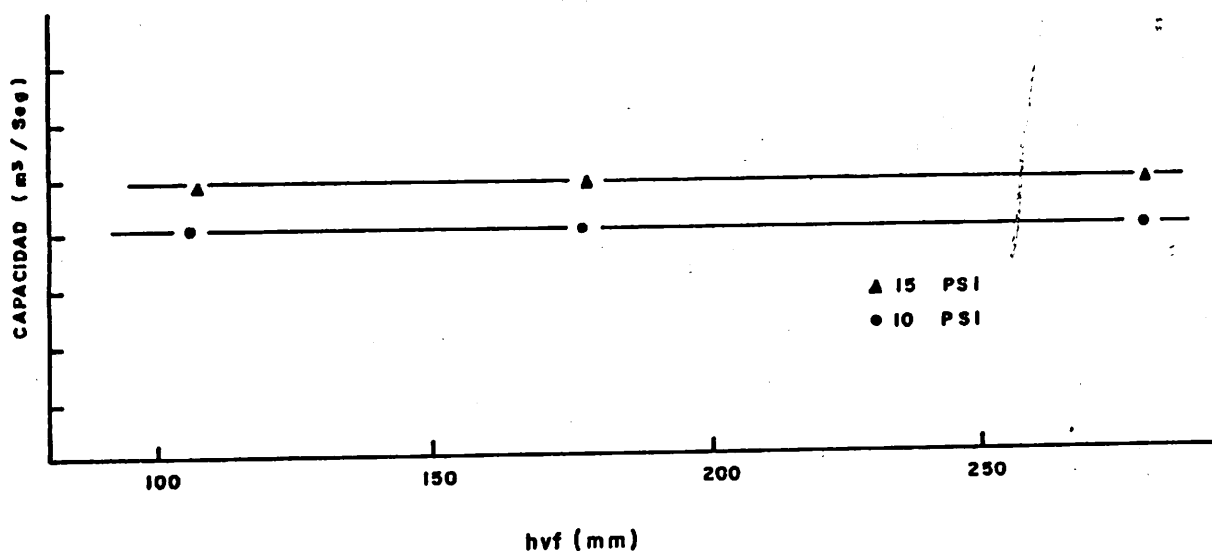


Figura No. 5 Altura de Vértice libre hvf vs. Capacidad

TABLA 2. Valores de capacidad del hidrociclón a diferentes diámetros del ápex,
conservando las demás variables de diseño y operacionales invariantes.

Diámetro "vortex finder" (milímetros)	Diámetro ápex (mm)	Angulo cono	L/D	Capacidad Hidrociclón
50.80	12.70	135°	6.55	6.470
50.80	19.05	135°	6.55	6.210
50.80	25.40	135°	6.55	6.450
50.80	31.70	135°	6.55	6.300

5. INFLUENCIA DE LAS VARIABLES OPERACIONALES

5.1. Influencia de la caída de presión en la alimentación

La relación entre la caída de presión y la capacidad, como fue reportado por Lynch-Rao (7) y por Plitt (9) para hidrociclones tradicionales se conservó para los hidrociclones de ángulo de cono grande, de la siguiente forma:

guiente forma:

$$Q=K3.(P)^n \quad \text{donde} \quad n=0.5$$

5.2. Influencia del medio donde descargue el hidrociclón

El medio donde descarga el hidrociclón, no afectó la capacidad, bien sea que la descarga se halla efectuada a la atmósfera o sumergida en su misma pulpa. En la tabla 3 se demuestra lo anterior.

TABLA 3. Capacidad a diferentes medios de descarga, con pulpa y agua solamente.

Medio de descarga	L/D	Fluido inyectado	Capacidad (Kg/seg)
Sumergida	6.55	pulpa*	11.621
Atmósfera	6.55	pulpa*	11.564
Sumergida	5.72	pulpa*	11.244
Atmósfera	5.72	pulpa*	11.306
Sumergida	6.55	agua	7.480
Atmósfera	6.55	agua	7.470

*Pulpa de hematita al 40% en peso.

6. BIBLIOGRAFIA

1. KELSALL, D.F., Trans. Inst. Chem. Eng. 30,87 (1952).
2. KELSALL, D.F., Chem. Engr. Sci. 2, 254 (1953)
3. RIETEMA, K. and VERDE, A., "Cyclones in Industry", Elsevier 1961.
4. BRADLEY, D., "Hydrocyclones", Pergamon Press
5. LILGE, E.O., Trans. Inst. Min. Met. 71,285 (1962).
6. DAHLSTROM, D. A., Chem. Eng. Progr. 22,85 (1963)
7. LYNCH, A.J. and RAO. T. C., Indian J. Techol., 6 (4), 106 (1975).
8. LYNCH, A.J., "Mineral Crushing and grinding circuits", Elsevier, 1977
9. PLITT, L.R., CIM Bull., 64 (708), 42 (1971).
10. PLITT, L.R., CIM Bull., 69 (776), 114, 1976.
11. PLITT, L.R., et. al., CIM Bull., 80, (905), 39, 1987.
12. VISMAN, J., Can. Min. Metall. Bull., 33, 1966.
13. VAN DUIJN, G. and RIETEMA K., Chem Ingrs Sci. 38 (10), 1983.