

Título: Determinación de los parámetros de diseño y tecnológicos de un hidrociclón para el lavado de arenas en el río Mayarí.

Title: Determination of the design and technological parameters of a hydrocyclone for sand washing in the Mayari River.

Autores:

1. Ing. Raymundo Betancourt Laurencio,
rblaurencio@ismm.edu.cu, profesor, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
2. Dr. C. Roberto Johan Sierra Pérez, rsierra@uho.edu.cu, Director de Ciencia y Técnica, Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya".
3. Dr. C. Rafael Lodezma Tamayo Caballero,
rltamayo@ismm.edu.cu, decano facultad Geomin, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

Resumen

Se realiza la modelación de los hidrociclones para áridos cubanos, desde el punto de vista hidráulico y geométrico. A partir de las diferentes pruebas realizadas se obtuvo el comportamiento del hidrociclón necesario para el lavado de arenas teniendo en cuenta las propiedades físico-mecánicas de la misma. Además se determinó los diferentes valores del factor de diseño K necesario para garantizar una separación de las partículas de manera eficiente. Las correlaciones utilizadas en este trabajo se han estimado, teniendo en cuenta las características del medio filtrante. Los resultados obtenidos de la modelación permiten la selección óptima del hidrociclón a utilizar según la productividad deseada.

Palabras clave: Hidrociclón; Modelación; Características típicas; Diámetro de corte; Diámetro del hidrociclón.

Abstract

The modeling of the hydrocyclon's for Cuban aggregates, from the hydraulic and geometric point of view, is carried out. From the different tests carried out, the behavior of the hydrocyclone necessary for the sand washing was obtained taking into account the physical-mechanical properties of the same. In addition, the different values of the design factor K required to ensure separation of the particles were determined efficiently. The correlations used in this work have been estimated, taking into account the characteristics of the filter medium. The results obtained from the modeling allow the optimal selection of the hydrocyclone to be used according to the desired productivity.

Keywords: Hydrocyclone; Modeling; Typical Properties; Cutting Diameter; Diameter of the hydrocyclone.

Introducción

La industria minera es el principal usuario de los hidrociclones, siendo aplicado en clasificación de líquidos, espesamiento, ordenamiento de partículas por densidad o tamaño y lavado de sólidos. Los ciclones son aparatos diseñados para separar la parte sólida de la fluida en mezclas bifásicas donde una de las fases está formada por partículas sólidas. Si la fase fluida es un líquido, se denominan hidrociclones y si es un gas, aerociclones. El diseño más típico de los ciclones consiste en introducir la mezcla sólido/fluido tangencialmente o axialmente en la parte superior de un recipiente cilíndrico. El momento angular a la entrada se puede lograr mediante una entrada tangencial o, en el segundo caso, mediante unos álabes directrices. La mezcla baja rotando por el ciclón. Debido a la fuerza centrífuga, la fase sólida es lanzada hacia las paredes exteriores del hidrociclón, desciende y es recogida en la parte inferior, que frecuentemente acaba en un cono. La fase fluida, una vez en el fondo, asciende rotando y es recogida mediante una tubería situada en el centro del ciclón. En el centro del ciclón se produce un fuerte vórtice y la baja presión impulsa la fase fluida hacia arriba.

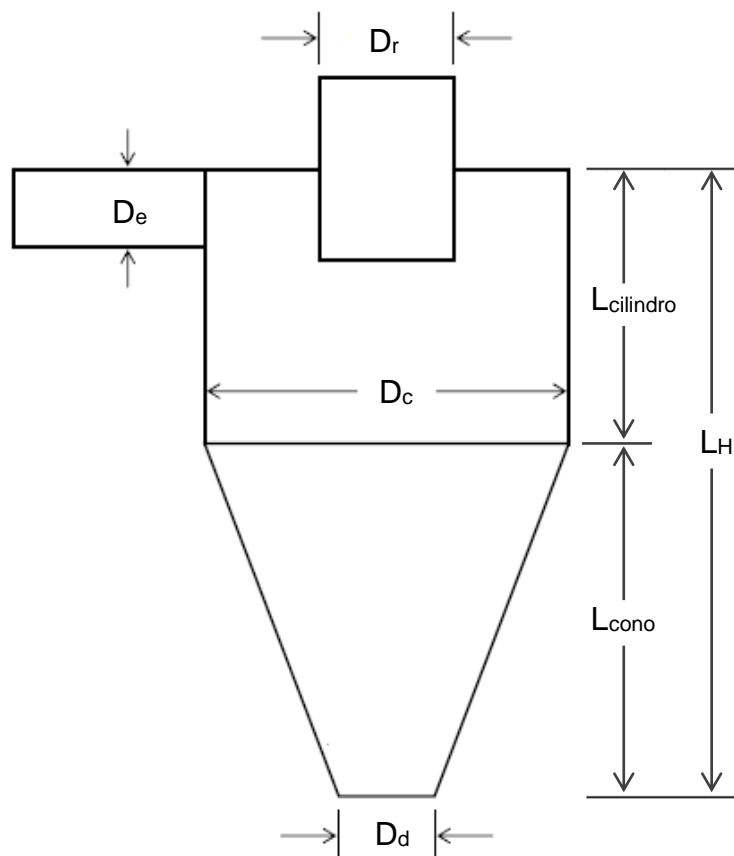


Figura 1: Esquema de un hidrociclón.

Características típicas:

- Rango de diámetro: 10 mm a 2.5 m
- Rango de corte: 2 a 250 μm
- Rango de capacidad: 0.1 a 7200 m^3/h
- Caída de presión: 0.34 a 6 bar
- Máxima concentración de sólidos: 50%

Según Etayo y Barraza (2008) las variables que usualmente se consideran en el comportamiento de un hidrociclón pueden agruparse en cuatro categorías, desde los puntos de vistas:

- De la geometría del hidrociclón se relacionan el diámetro del hidrociclón, el área de alimentación, el diámetro del reboso o líquido clarificado (vortex), el diámetro de descarga del concentrado (Apex), la longitud del reboso, el ángulo del cono y la altura de la cámara cilíndrica.
- Del sólido se relacionan la distribución de tamaño de partículas (PSD por su sigla en inglés) que refleja como mínimo cualquiera de los siguientes rangos: $[d_{10}, d_{50} \text{ y } d_{90}]$; $[d_{20}, d_{50} \text{ y } d_{80}]$ o $[d_{25}, d_{50} \text{ y } d_{75}]$, la concentración de sólidos, la densidad del sólido y densidad a granel, el contenido de lodo y la curva de lavabilidad, la cual predice la densidad de separación y por ende el rendimiento a obtener.
- Del líquido de transporte se relacionan, la densidad y la viscosidad, que junto con la concentración de sólidos permite calcular la reología de la pulpa.
- Operacional, se relacionan, la presión de trabajo, el caudal a procesar, el tamaño de corte deseado y el contenido de lodo deseado a la salida de descarga del hidrociclón (Apex).

Materiales y métodos

Si se tienen los datos de la suspensión o pulpa se puede realizar la modelación matemática de los diferentes parámetros de diseño y funcionamiento del hidrociclón:

- Caudal de arcilla y partículas finas de áridos (Q_e); m^3/h .
- Concentración volumétrica de sólidos en la suspensión o pulpa de áridos cubanos (C_v); %.

- Masa volumétrica de los áridos y la suspensión.
- La composición volumétrica.
- Densidad del sólido y el líquido ρ_s, ρ_L respectivamente.
- Presión de alimentación a la entrada del hidrociclón P_e ; kPa.

Se establecen las relaciones teóricas de los diferentes parámetros geométricos del hidrociclón en función del diámetro del cilindro del hidrociclón (D_c).

$$D_e = K_e \cdot D_c \quad K_e \approx 0,28$$

$$D_r = K_r \cdot D_c \quad K_r \approx 0,35$$

$$D_d = K_d \cdot D_c \quad K_d \approx 0,2$$

$$L_H = K_H \cdot D_c = K_{ci} \cdot D_c + K_{cono} \cdot D_c = H_{ci} + H_{cono} \quad K_H \approx 5$$

Uno de los parámetros geométricos más importantes del hidrociclón lo constituye el diámetro del cilindro (D_c).

Sustituyendo las relaciones anteriores de D_e , D_r , D_d y L_H en función de D_c en la ecuación de Plitt, 1976 y despejando se obtiene.

$$D_c = \sqrt[0.21]{\frac{Q_s (55.2 \times 10^3) \cdot P_e^{-0.56} e^{(0.0031 C_V)}}{(K_e \cdot D_c)^{0.53} (K_H \cdot D_c)^{0.16} [(K_d \cdot D_c)^2 + (K_r \cdot D_c)^2]^{0.49}}}$$

Haciendo

$$A_H = Q_s (55.2 \times 10^3) \cdot P_e^{-0.56} e^{(0.0031 C_V)}$$

Y utilizando algunas transformaciones

$$D_c = \sqrt[0.21]{\frac{A_H}{D_c^{1.67} [(K_e^{0.53} \cdot K_H^{0.16}) (K_d^{0.98} + K_r^{0.98})]}}$$

Haciendo

$$B_H = [(K_s^{0,53} \cdot K_H^{0,16})(K_d^{0,98} + K_r^{0,98})]$$

$$D_c = \sqrt[0,21]{\frac{A_H}{D_c^{1,67} \cdot B_H}} = \left[\frac{A_H}{D_c^{1,67} \cdot B_H} \right]^{1/0,21}$$

$$D_c = \left[\frac{A_H}{D_c^{1,67} \cdot B_H} \right]^{4,67}$$

Despejando

$$D_c = \left(\frac{A_H}{B_H} \right)^{0,532}$$

Se determina el diámetro de corte del hidrociclón o diámetro crítico de las partículas, utilizando la ecuación propuesta por Mular y Jull, 1978.

$$d_{50C} = 2.6539 \frac{D_c^{0,675} e^{(-0.301+0.945 C_V^2+0.0000684 C_V^3)}}{P_s^{0,3} (\rho_S - \rho_L)^{0,5}}$$

Entonces según Vieira et al, 2005. De la ecuación # $\frac{d_{50C}}{D_C}$ se determina el parámetro (K) característico para cada diseño de hidrociclón.

$$K = \frac{d_{50C}}{D_C} \left[\frac{Q_s (\rho_S - \rho_L)}{\mu D_C} \right]^{0,5}$$

Según Massarani, (1997) se determina la relación de flujo inferior al rendimiento (R_L).

$$R_L = B \left(\frac{D_d}{D_C} \right)^C$$

Entonces

$$F(R_L) = \frac{1}{1 + 1.73R_L}$$

$$G(C_V) = e^{(4.5C_V)}$$

Se determina el diámetro crítico reducido

$$d_{50red} = \frac{d'_{50c}}{D_c} = K \left[\frac{\mu D_c}{Q_e (\rho_s - \rho_L)} \right]^{0.5} F(R_L) G(C_V)$$

Se determina la caída de presión a partir de la expresión de E_u

$$Eu = \frac{-\Delta P}{\frac{\rho_L u_c^2}{2}}$$

$$\Delta P = - \left(Eu \cdot \frac{\rho_L u_c^2}{2} \right)$$

Resultados

Qe m ³ /h	Pe kPa	Dc mm	dcorte Microne	Factor Diseño K	RL	F(RL)	G(Cv)	Dcorte Reducido Microne	Euler	Uc m/s	ΔP
50	120,00	1013,51	34,38033	0,37672164	0,10911	0,84121	3,85743	111,560780	7000	0,2196	16,871741
60	120,00	1116,75	36,70659	0,38094173	0,10911	0,84121	3,85743	119,109261	7000	0,2170	16,482561
70	120,00	1212,19	38,79579	0,38454662	0,10911	0,84121	3,85743	125,888518	7000	0,2149	16,160527
80	120,00	1301,43	40,70142	0,38769688	0,10911	0,84121	3,85743	132,072084	7000	0,2131	15,886658
90	120,00	1385,59	42,45985	0,39049702	0,10911	0,84121	3,85743	137,778008	7000	0,2115	15,648943
100	120,00	1465,47	44,09709	0,39301896	0,10911	0,84121	3,85743	143,090702	7000	0,2100	15,439316
110	120,00	1541,70	45,63248	0,39531437	0,10911	0,84121	3,85743	148,072882	7000	0,2088	15,252105
120	120,00	1614,74	47,08081	0,39742161	0,10911	0,84121	3,85743	152,772576	7000	0,2076	15,083178
130	120,00	1684,98	48,45370	0,39937001	0,10911	0,84121	3,85743	157,227487	7000	0,2065	14,929433
140	120,00	1752,74	49,76047	0,40118245	0,10911	0,84121	3,85743	161,467824	7000	0,2056	14,788484
150	120,00	1818,27	51,00871	0,40287719	0,10911	0,84121	3,85743	165,518212	7000	0,2046	14,658461

Discusión

El tamaño de separación o punto de corte producido por el hidrociclón está establecido como el tamaño de aquella partícula, en micrones, que tiene la misma posibilidad de ir tanto al rebose como a la descarga. Como se puede observar en el Gráfico 1, a medida que aumenta el diámetro del hidrociclón aumenta el tamaño de corte de las partículas. Lo cual evidencia lo antes expresado en las ecuaciones antes utilizadas ya que como se puede apreciar dichas magnitudes están relacionadas directamente y además una de las formas de garantizar la eficiencia del equipo es que se mantenga una relación como la que se aprecia entre el diámetro de corte y el del hidrociclón pero siempre teniendo cuidado con las propiedades físico mecánicas del material.

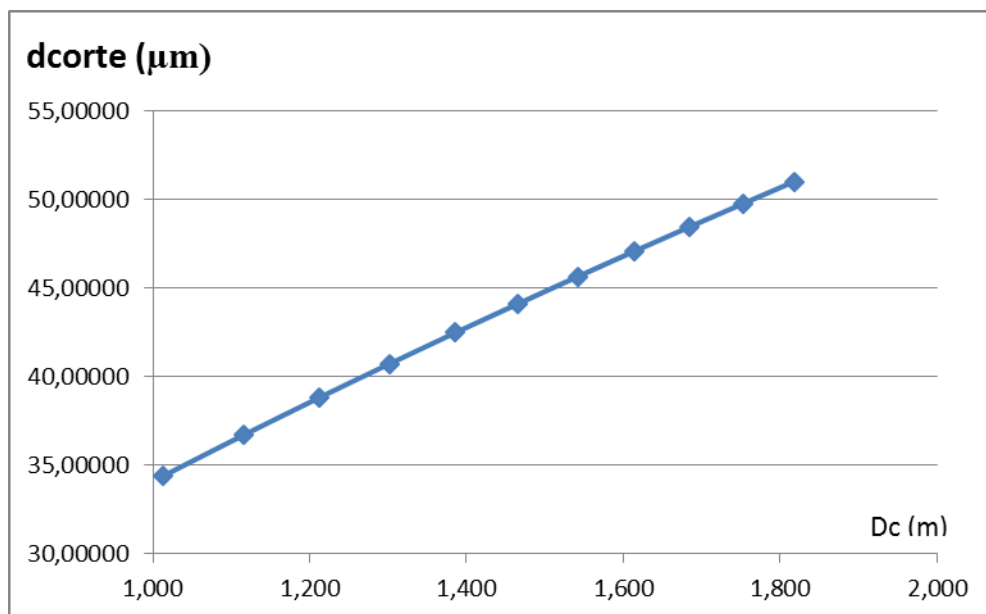


Gráfico 1: Relación entre el diámetro de corte y el diámetro del cono del hidrociclón.

El principal objetivo de un hidrociclón es tratar un determinado caudal de pulpa y separarlo en dos fracciones, una llamada sobre flujo u "overflow" la que arrastra los elementos más finos y/o menos densos y otra llamada bajo flujo o "underflow" la que contiene los elementos más grandes y/o más densos y usualmente son más gruesos que el diámetro de corte. En el caso de los hidrociclones a la hora de realizar el cálculo de los parámetros tanto de diseño como de funcionamiento se debe garantizar un comportamiento como el que se muestra en el Gráfico 2, ya que si opera en condiciones de bajas cargas de sólido

esto provoca una baja eficiencia para partículas de tamaño menor que el diámetro de corte. Lo cual traería consigo una mala separación de las partículas contenidas en el hidrociclón.

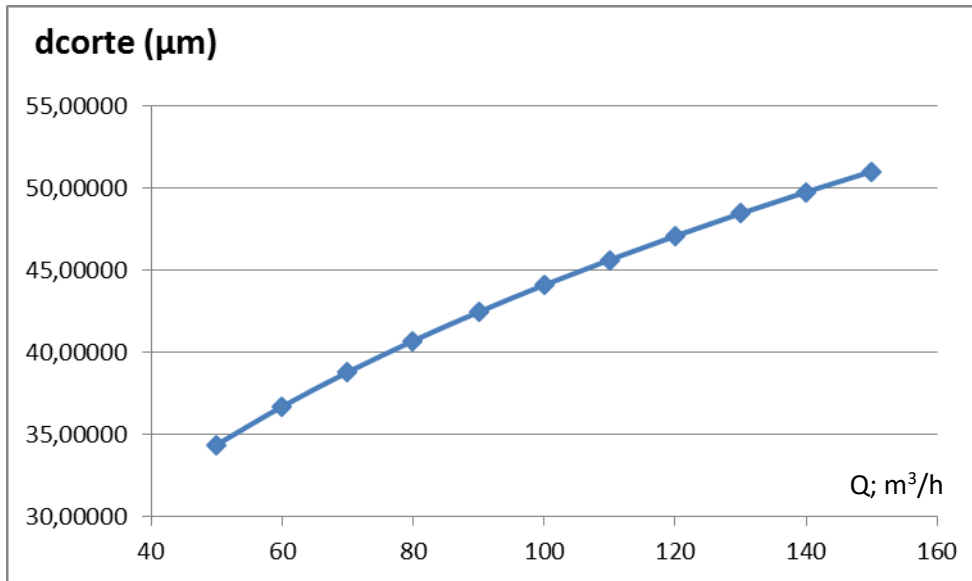


Gráfico 2: Relación entre el diámetro de corte y la productividad del hidrociclón.

El parámetro más importante es el diámetro del hidrociclón, puesto que el tamaño de separación de las partículas depende principalmente de su diámetro. De acuerdo a la bibliografía especializada relacionada con los hidrociclones, el diámetro del hidrociclón y la capacidad varían en relación directa y como se puede apreciar en el Gráfico 3 según los resultados obtenidos de la simulación realizada se obtiene dicho comportamiento lo que evidencia la validez de los resultados obtenidos.

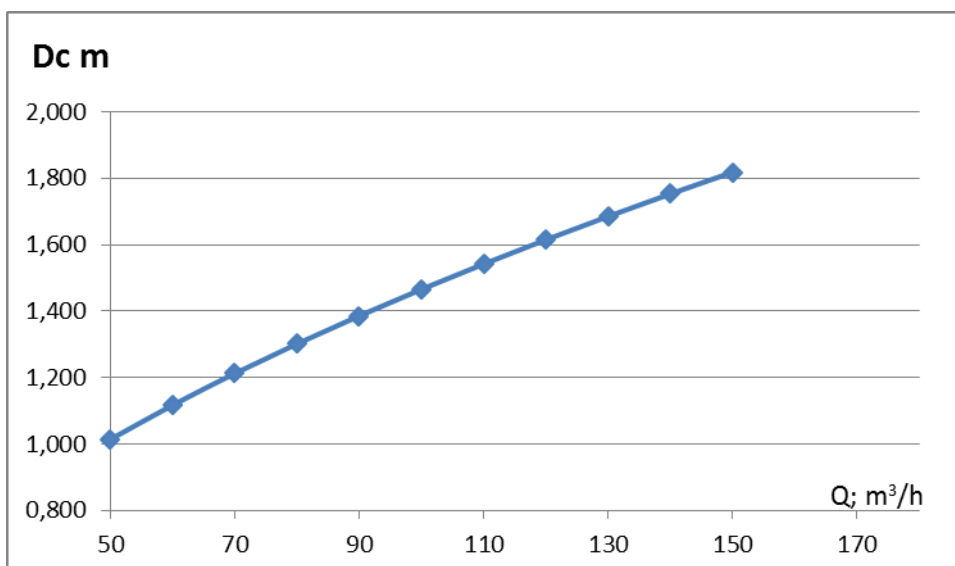


Grafico 3: Relación entre el diámetro del cono del hidrociclón y la productividad.

Para un diseño específico de hidrociclón, se considera que la relación entre la caída de presión estática a través del ciclón ($-\Delta P$) y la presión dinámica, calculado a partir de la velocidad característica u_c ($\rho_L u_c^2/2$), es decir, el número de Euler, es constante. El diámetro del hidrociclón y la caída de presión varían en relación inversa como se puede observar en el Gráfico 4, lo cual es lógico en este caso ya que para poder aumentar la productividad es necesario aumentar el diámetro del hidrociclón lo cual traería consigo una caída de presión como la que se muestra.

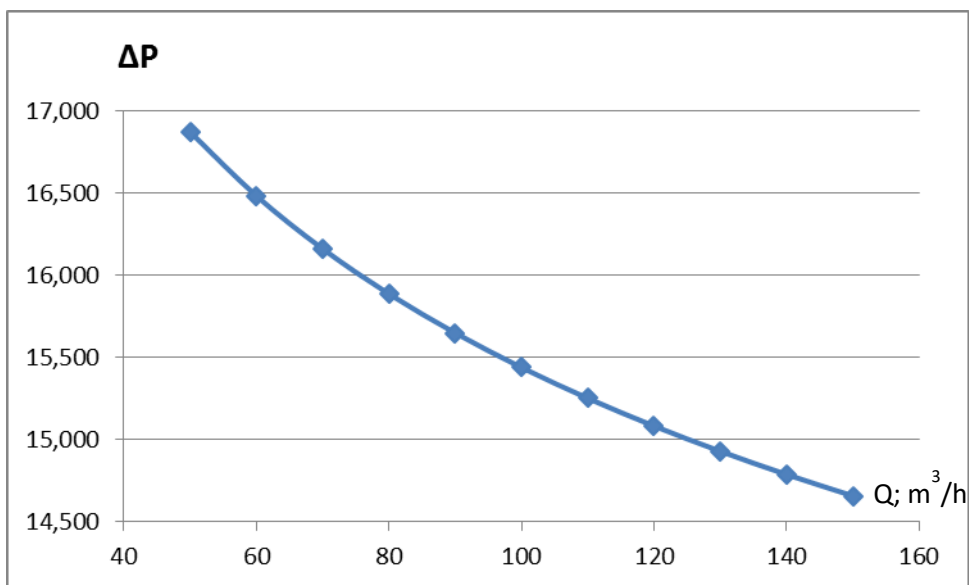


Grafico 4: Relación entre la productividad y la caída de presión.

Conclusiones

Como se puede observar de los resultados obtenidos se puede determinar qué tipo de hidrociclón se necesita para garantizar una productividad determinada según sea la necesidad. El parámetro más importante es el diámetro del hidrociclón, puesto que el tamaño de separación de las partículas depende principalmente de su diámetro. La separación de partículas pequeñas requiere de hidrociclones pequeños y la separación de partículas mayores requiere de hidrociclones grandes. Las ecuaciones y los parámetros antes mencionados se aplican sólo al hidrociclón convencional, es decir, un dispositivo nonfiltering. El procesamiento de minerales necesita de ajustes permanentes para hacer frente a las variaciones de los minerales.

Referencias bibliográficas

1. G. Austin, Leonard; Concha A., Fernando. *Diseño y simulación de circuitos de molienda y clasificación*. Chile. 1994. 394p.
2. Etayo, Julio; Barraza, Juan. *Correlaciones matemáticas para la obtención de rendimiento de producción, remoción de cenizas y partición de agua usando un hidrociclón "solo agua"*. Revista DYNA. Medellín. Marzo, 2009. ISSN 0012-7353.
3. Bustamante, Oswaldo. *Efecto de la geometría del hidrociclón sobre las condiciones normales de operación*. Tesis de Maestría en Ingeniería Metalúrgica. Universidad de Concepción. 1992.
4. Svarovsky, L. *Solid-liquid Separation*. London-UK: Butterworths. 1981.
5. Svarovsky, L. *Hydrocyclones*. Technomic Publishing Co. New York. 1984.
6. Bradley, D. *The Hydrocyclone*. Pergamon Press, Oxford. London. 1965.
7. Trawinski, Helmut. *Aplicaciones y funcionamiento práctico de los hidrociclones*. Adaptación de ERAL, Equipos y Procesos, S. A. 1973.
8. Rietema, K. *Performance and design of Hydrocyclone*. Chemical Engineering Science. 1961.
9. Plitt, L. R. A Mathematical Model of the Hydrocyclone Classifier. CIM Bulletin. 1976.
10. Mular, A. L. y Jull, N.A. *The Selection of Cyclone Classifiers, Pumps and Pump Boxes for Grinding Circuits*. AIME, New York. 1978.
11. Arterburn, R.A.; Mular, A. L. y Jergensen, G. V. *Design and Installation of Comminution Circuits*. Eds Society of Mining Engineers. New York. 1982. 592-607p.
12. Arterburn, R.A. *The sizing and selection of hidrociclones*. Krebs Engineers. Merlo Park CA. 1976.

13. Vieira, L.G.M.; Barbosa, E. A.; Damasceno, J.J.R. and Barrozo, M.A.S. *Performance analysis and design of filtering hydrocyclones*. Brazilian Journal of Chemical Engineering. January - March, 2005. ISSN 0104-6632.
14. Massarani, G. *Fluidodinâmica em Sistemas Particulados*. Editora UFRJ. Rio de Janeiro. 1997.