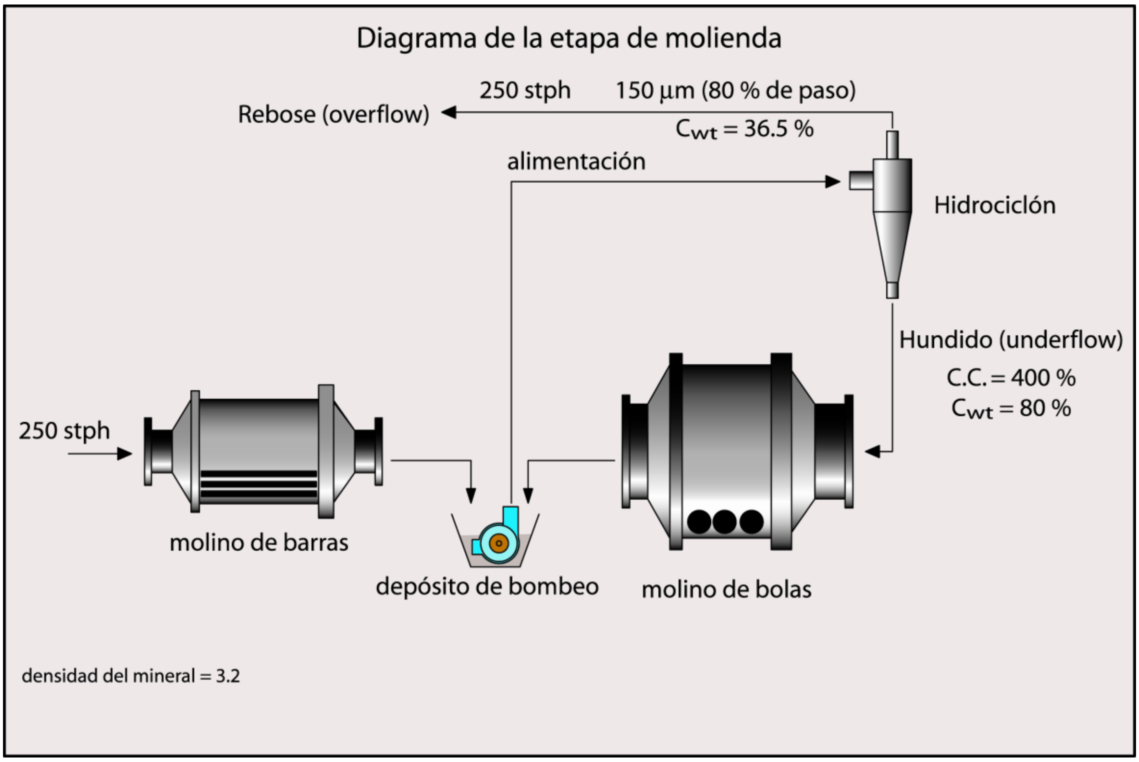
EJERCICIOS DE TECNOLOGÍA MINERALÚRGICA. PROBLEMA DE CLASIFICACIÓN POR EQUIVALENCIA (HIDROCICLONES)

SOLUCIÓN

1.- Una planta de molienda procesa 250 stph[1] de mineral de una densidad de 3.2 ton/m^3 (Ver diagrama de flujo).

Determinar[2] el **número de ciclones** y su **diámetro** para obtener un rebose que cumpla las siguientes condiciones:

- Un porcentaje en peso de sólidos del 36.5 % (C_{wt}).
- Teniendo un 80 % de paso por la abertura de 150 µm.
- La caída de presión es de 55.17 kPa.



[1] stph: toneladas cortas por hora. $(1 stph = 0.907\ t/h)$
[2] Es necesario el balance de material del ciclón.

C_{wt} = Porcentaje (%) de los sólidos en peso (en tanto por uno).
C_v = Porcentaje (%) de los sólidos en volumen.
ρ_{pulpa} = Densidad de la pulpa.
1 l/s = 15.84 USGPM (galones por minuto US)
1 Galón (US) = 4 litros
1 PSI = 6.9 kPa.

$$\rho_{pulpa} = \frac{\rho_{líquido}}{1 - C_{wt} \cdot \left(\frac{\rho_{sólido} - \rho_{líquido}}{\rho_{sólido}}\right)}$$

$$C_v = \frac{\rho_{pulpa} - \rho_{líquido}}{\rho_{sólido} - \rho_{líquido}}$$

Solución:

Para resolver este tipo de problemas hay que hacer uso del balance de materia que ocurre en el hidrociclón (o grupo de ciclones), como unidad de proceso:

REBOSE (Overflow)

Se considerará que el flujo en el rebose coincide con la cantidad de material que entra, es decir 250 stph de mineral.

Sólidos (P_o = Porcentaje de sólidos en peso en el rebose) = 36.5%

250 stph → 36.5%
x tph → 100%
Así, x = 684.93 stph de pulpa (sólidos + agua)

Líquidos = 63.5% = porcentaje de líquido en peso en el rebose, es decir 434.93 stph (W_o).

Pulpa (sólidos + agua) = 694.93 stph = P_o + W_o.

Densidad de la pulpa:

$$\rho_{pulpa} = \frac{1.00}{1.00 - 0.365\left(\frac{3.2 - 1.00}{3.2}\right)} = 1.34\ t/m^3 \cdot 1.103\ ^{st}/_{t} = 1.48\ ^{st}/_{m^3}$$

Caudal de pulpa (gpm), sabiendo que 1 galón es 3.8 litros (4 litros) y que un 1 metro cúbico son 250 galones:

$$\frac{\text{Caudal de pulpa (stph)}}{\text{densidad de la pulpa } (^{st}/_{m^3})} = \frac{684.93\ \text{stph}}{1.48\ ^{st}/_{m^3}} = 462.79\ ^{m^3}/_{h}$$

$$462.79\ ^{m^3}/_{h} \cdot 250\ \text{galones}/_{m^3} \cdot 1\ ^{h}/_{60\ m} = 1928.29\ gpm$$

<u>HUNDIDO (Underflow)</u>

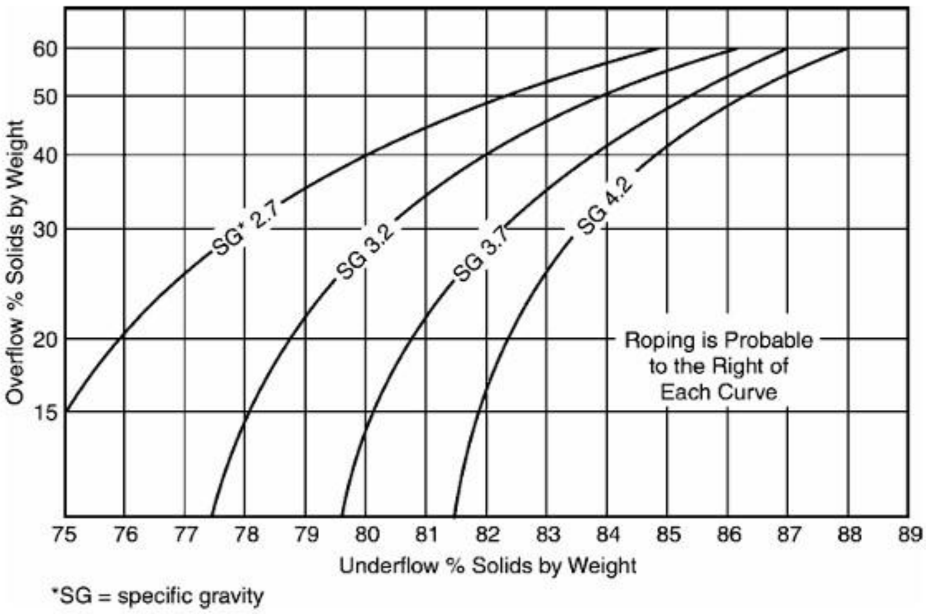
Carga Circulante (C.C.) = 4 x (hundido/Alimentación), es decir el hundido es igual a 4 x 250 stph = 1000 stph.

Nota para evitar condiciones de espesamiento a la salida del hundido (fenómeno de "roping"), el porcentaje de sólidos en el hundido no debe de exceder del 81.3% en peso, por lo que para estar del lado de la seguridad se tomará un 80% de sólidos en peso (Ver Fig. 4.2, pág. 164 (Maurice C. Fuerstenau and Kenneth N. Han)).

$$80\% \rightarrow 1000\ stph \text{ de sólidos}$$
$$100\% \rightarrow y$$
$$\text{Así, } y = 1250\ stph \text{ (sólidos + agua)}$$

<u>Sólidos</u> (P_U= Porcentaje de sólidos en peso en el hundido) = 80% = 1000 stph (U)
<u>Líquidos</u> = 250 stph = 20% porcentaje de líquido en peso en el hundido (W_U).
<u>Pulpa</u> = (P_U + W_U) = 1250 stph.
% de sólidos en peso en el hundido = 80%
Densidad de la pulpa:

$$\rho_{pulpa} = \frac{1.00}{1.00 - 0.8\left(\frac{3.2 - 1.00}{3.2}\right)} = 2.22\ t/m^3 \cdot 1.103\ ^{st}/_{t} = 2.45\ ^{st}/_{m^3}$$



Source: Mular and Jull 1982.

FIGURE 4.32 Critical percentage solids cyclone overflow versus underflow at different specific gravities

Caudal de pulpa (gpm = galones por minuto):

$$\frac{\text{Caudal de pulpa (stph)}}{\text{densidad de la pulpa } (st/m^3)} = \frac{1250 \text{ stph}}{2.45 \ st/m^3} = 510.20 \ m^3/h$$

$$510.20 \ m^3/h \cdot 250 \text{ galones}/m^3 \cdot 1 \ h/60 \ m = 2125.85 \text{ gpm}$$

ALIMENTACIÓN (Feed)

Sólidos (T) = 250 stph + 1000 stph = 1250 stph = 64.60%
Líquidos (W_T) = 434.93 stph + 250 stph = 684 stph = 35.40%
Pulpa = ($T + W_T$) = 1934.93 stph = 100%

1934.93 stph → 100%

1250 stph → x

684.93 stph → y

Así, x = 64.60% de sólidos en peso (P_T);

y = 35.40% (W_T)

Densidad de la pulpa:

$$\rho_{pulpa} = \frac{1.00}{1.00 - 0.646\left(\frac{3.2 - 1.00}{3.2}\right)} = 1.80\ t/m^3 \cdot 1.103\ ^{st}/_{t} = 1.99\ ^{st}/_{m^3}$$

Caudal de pulpa (gpm = galones por minuto):

$$\frac{\text{Caudal de pulpa (stph)}}{\text{densidad de la pulpa } (^{st}/_{m^3})} = \frac{1934.93\ \text{stph}}{1.99\ ^{st}/_{m^3}} = 972.33\ ^{m^3}/_{h}$$

$$972.33\ ^{m^3}/_{h} \cdot 250\ ^{\text{galones}}/_{m^3} \cdot 1\ ^{h}/_{60\ m} = 4051.36\ gpm$$

Porcentaje (%) de sólidos en volumen ($C_{V(S)}$) en la alimentación:

$$C_{V(S)} = \frac{\rho_{pulpa} - \rho_{líquido}}{\rho_{sólido} - \rho_{líquido}} = \frac{1.80 - 1}{3.2 - 1} \cdot 100 = 36.36\%$$

CÁLCULO DEL D_{50C} (APLICACIÓN):

El corte de aplicación es aquel que se produce bajo condiciones reales de trabajo. En nuestro caso el ciclón (o grupo de ciclones) debe cumplir con un rebose (overflow) cuyo contenido en sólidos presente un 80% de paso por la abertura de 150 micras (d_{80}).

Con estos datos y entrando en la tabla siguiente:

Table 1. Relationship of $D50_C$ to Overflow Size Distribution

Required Overflow Size Distribution (Percent Passing) of Specified Micron Size	Multiplier (To Be Multiplied Times Micron Size)
98.8	0.54
95.0	0.73
90.0	0.91
80.0	1.25
70.0	1.67
60.0	2.08
50.0	2.78

Obtenemos un factor K = 1.25, así:

$$D_{50c}(aplicación) = K \cdot d_{80}\ (micras) = 1.25 \times 150\ micras = 187.5\ micras$$

CÁLCULO DEL D_{50c}(BASE):

El D_{50c}(BASE) es el corte que un **hidrociclón Krebs estándar** daría trabajando bajo condiciones base y cumple que:

$$D_{50c}(aplicación) = D_{50c}(Base) \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3$$

Ahora habrá que calcular los coeficientes (C_i) anteriores:

Cálculo del coeficiente (C_1):

Tiene en cuenta el % de sólidos en volumen en la alimentación al hidrociclón (o grupo de hidrociclones), sería el parámetro ($C_{V(S)}$) previamente calculado, así tendríamos:

$$C_1 = \left(\frac{53 - C_{V(S)}}{53}\right)^{-1.43} = \left(\frac{53 - 36.36}{53}\right)^{-1.43} = 5.24$$

Cálculo del coeficiente (C_2):

Tiene en cuenta la caída de presión que se produce internamente a lo largo de la longitud del hidrociclón (ΔP):

$$C_2 = 3.27 \cdot \Delta P^{-0.28} = 3.27 \cdot \ 55.17\,kPa^{\ -0.28} = 1.06$$
$$55.17\,kPa = 8\,PSI$$

Cálculo del coeficiente (C_3):

Tiene en cuenta la variación de la densidad de las partículas sólidas a partir de las condiciones base (ρ_S):

$$C_3 = \left(\frac{1.65}{\rho_{sólido} - \rho_{líquido}}\right)^{0.5} = \left(\frac{1.65}{3.2 - 1}\right)^{0.5} = 0.87$$

Una vez calculados todos los coeficientes, nos vamos a la siguiente expresión y obtenemos el D_{50C}(BASE):

$$D_{50C}(aplicación) = D_{50C}(Base) \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3$$
$$187.5\ micras = D_{50C}(Base) \cdot 5.24 \cdot 1.06 \cdot 0.87;$$
$$D_{50C}(Base) = 38.80\ micras$$

Ahora se calcularía el diámetro del hidrociclón ($D_{CICLÓN}$) con la siguiente expresión:

$$D_{50C}(Base, micras) = 2.84 \cdot D_{CICLÓN}^{0.66};$$
$$38.80\ micras = 2.84 \cdot D_{CICLÓN}^{0.66};$$
$$D_{CICLÓN}^{0.66} = 52.53\ cm = 20.68\ pulgadas$$

Según la siguiente gráfica, entrando con una caída de presión de 8 PSI y buscando la recta para un hidrociclón con un diámetro aproximado de 20 pulgadas, éste proporcionaría una capacidad de tratamiento de aproximadamente 750 gpm, como según nuestros cálculos anteriores se necesitarán procesar 4051.36 gpm, entonces habrá que colocar:

$$\frac{4051.36\ gpm}{750\ gpm} = 5.4\ \text{unidades} = 6\ \text{unidades}$$