

HIDROCICLONES

El trabajo de un hidrociclón es similar al de una zaranda vibratoria porque ambos separan las partículas de mineral según el tamaño requerido, la diferencia está en que el hidrociclón clasifica eficientemente las partículas finas y la zaranda vibratoria clasifica eficientemente las partículas gruesas. La separación de un hidrociclón depende del d_{50c} y la separación de una zaranda vibratoria depende de la abertura del tamiz por lo tanto ambos términos tienen una definición muy parecida.

La geometría de un hidrociclón se muestra en la figura de la derecha, ahí se puede observar que el vórtex atraviesa toda la sección cilíndrica del hidrociclón para evitar así el cortocircuito de la pulpa y mejorar la separación. El cortocircuito de la pulpa ó BY-PASS es cuando las partículas que ingresan al hidrociclón van directamente al ápex sin ser previamente clasificadas; para evitar esto se debe aumentar la presión de la pulpa en el inlet a fin de obtener la mayor cantidad de agua en el overflow.

En la figura también se observa que dentro del hidrociclón se forma un espiral primario que va al ápex con los gruesos y un espiral secundario que va al vórtex con los finos. Estos espirales se forman por el aire que ingresa del ápex y del vórtex.

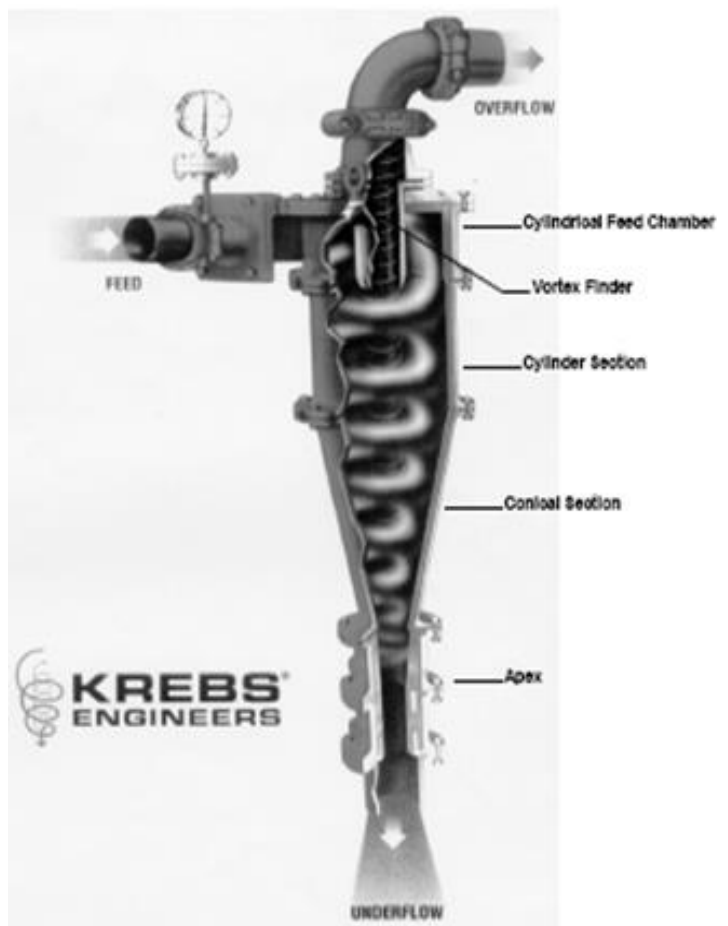
Las dimensiones de hidrociclones Krebs Engineers son:

$$D_o = 0.25 \text{ a } 0.30 D_c$$

$$D_u = 0.15 \text{ a } 0.20 D_c$$

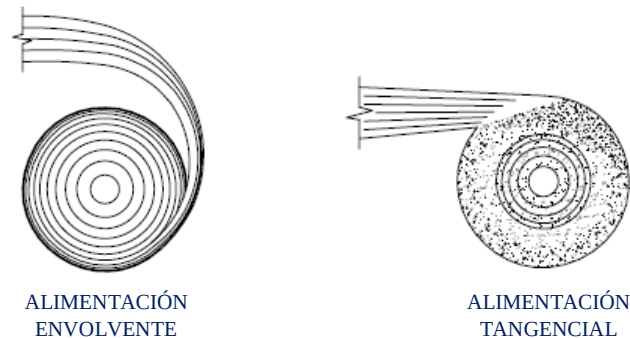
$$D_i = 0.25 D_c$$

$$H_c = 2.50 D_c$$



Se elige el menor valor de ápex cuando se desea baja carga circulante y cuando la granulometría del overflow no es trascendental. El tamaño del vórtex lo define el fabricante según el diámetro del hidrociclón y no es prioridad modificarlo en la planta.

Los hidrociclones con alimentación envolvente (tipo caracol) son más eficientes que los de alimentación tangencial porque la forma geométrica le permite pre-clasificar las partículas de mineral antes de que ingresen a la parte cilíndrica del hidrociclón, esto reduce el cortocircuito de la pulpa y aumenta la eficiencia de la clasificación.



CIRCUITOS CON HIDROCICLONES

Los hidrociclones son usados para los circuitos cerrados de molienda y los clasificadores mecánicos son usados para el lavado de pulpas y para circuitos abiertos de molienda con poca exigencia de separación. Los circuitos de molienda/clasificación son:



VARIABLES DE LOS HIDROCICLONES

Existen muchas variables que controlan el trabajo de un hidrociclón sin embargo lo más común en una planta concentradora es cambiar el diámetro del ápex y regular la presión de ingreso con la válvula “pinch” del inlet. La densidad de pulpa no se debe cambiar porque al hacer eso se altera el tonelaje procesado por la planta y la producción será afectada.

Cualquier cambio en la geometría del hidrociclón modificará significativamente el tonelaje de sólidos tanto en el overflow como en el underflow; por lo tanto, los cambios deben ser leves y el ápex debe modificarse en ¼" como máximo. Según Krebs Engineers:

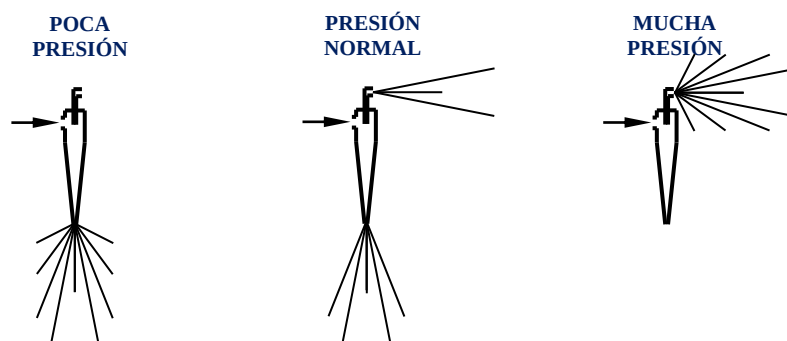
- La densidad del overflow sube cuando el d_{50c} sube o la densidad del inlet sube.
- La densidad del overflow sube cuando el vórtex se cierra o el ápex se abre.
- El overflow será fino cuando el d_{50c} baja o la densidad del inlet baja.

- El overflow será fino cuando el vórtex se abre o el ápex se cierra.
- La carga circulante sube cuando el d50c baja o la densidad del inlet sube.
- La carga circulante baja cuando se aumenta la presión o el ápex se reduce.

$$d_{50c} \approx \frac{D_o * \tau_{inlet} * Presión * D_c}{D_u * H_c}$$

En un circuito cerrado de molienda/clasificación se puede observar que la granulometría y la densidad de pulpa que ingresa al hidrociclón es siempre la misma así se aumente o baje la carga circulante; esto ocurre porque dentro del molino se estabilizan estas variables antes que ingresen al hidrociclón.

La presión de la pulpa representa la energía que produce la separación de las partículas dentro del hidrociclón y es de vital importancia para una buena clasificación. Se recomienda que esta presión sea de 7 psi para hidrociclones menores de 6" y de 10 psi para hidrociclones mayores de 6". En la siguiente figura se muestra en efecto de la presión y el flujo de pulpa.



Krebs Engineers propone la siguiente fórmula empírica para calcular el flujo de pulpa que se debe alimentar a un hidrociclón convencional.

$$Q = 0.7 \times \sqrt{P} \times D_c^2$$

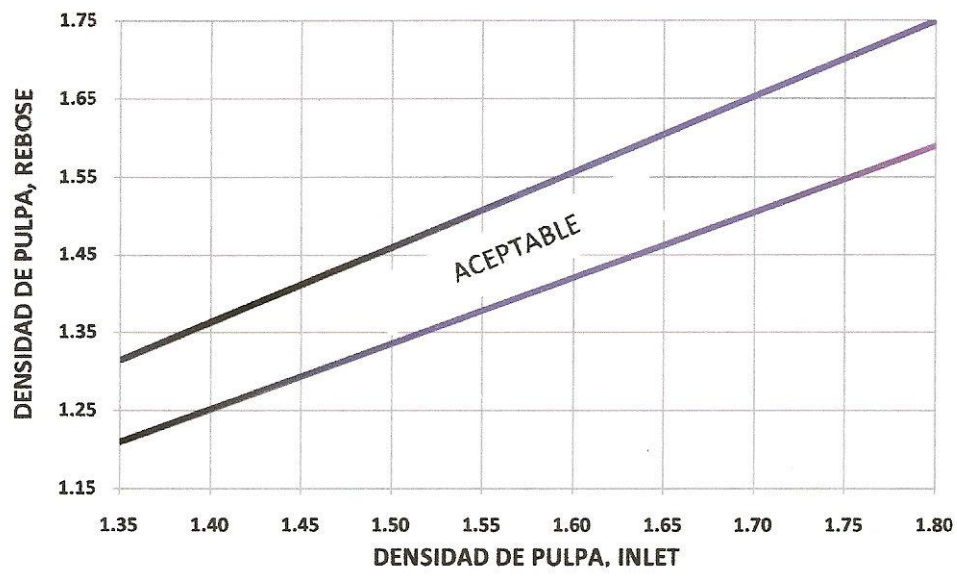
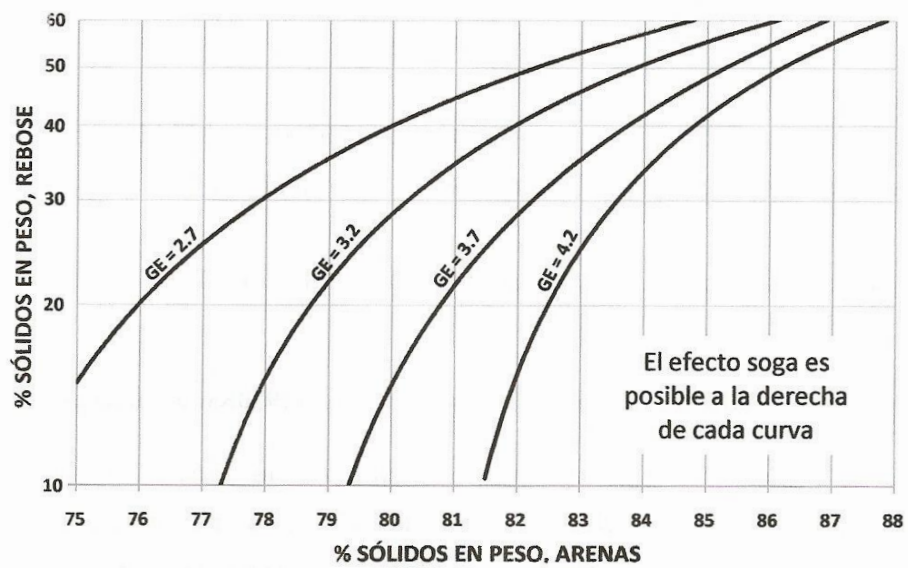
Donde:

Q = Flujo de Pulpa del Inlet (USGPM).

P = Presión del Inlet (psi).

D_c = Diámetro del Hidrociclón (pulg).

Las siguientes gráficas muestran el equilibrio que debe existir entre el % de sólidos y la densidad de pulpa que debe tener un hidrociclón para un trabajo eficiente y sin el efecto “soga” el cual debe evitarse porque promueve el cortocircuito de la pulpa.



Con la fórmula de Tarr se puede hallar el diámetro del ápex de un hidrociclón para un trabajo eficiente y sin el efecto “soga”. La fórmula es:

$$D_u = 4.162 - \left[\frac{16.43}{2.65 - G.E. + \frac{G.E.}{\% w/w_{underflow}}} \right] + 1.10 \times \ln \left(\frac{T}{G.E.} \right)$$

Donde:

D_u = Diámetro del Ápex (pulg).

G.E. = Gravedad Específica del Mineral.

T = Peso de Sólidos del Underflow (TCS/h).

% w/w_{underflow} = Porcentaje de Sólidos (en peso) del Underflow.

CÁLCULO DEL d50_c

El d50_c se calcula con el método empírico o con el método analítico. La diferencia entre ambos métodos es $\pm 10 \mu m$ en el resultado final del d50_c lo cual no es significativo para el dimensionamiento de hidrociclones. El método empírico fue propuesto por Krebs Engineers y es más rápido que el método analítico. Estos métodos se describen a continuación.

MÉTODO EMPÍRICO

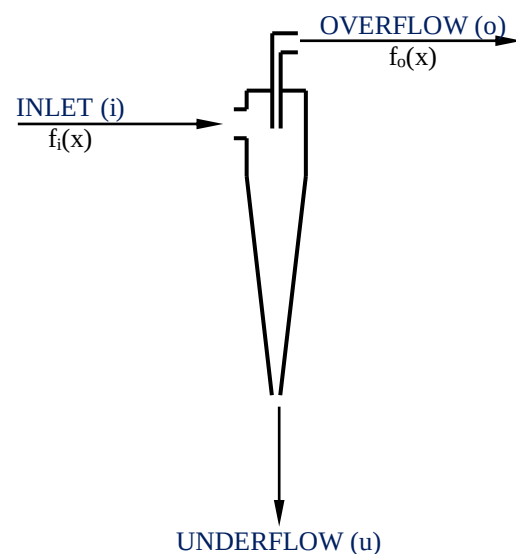
En este método se usa la tabla propuesta por Krebs Engineers para hallar el d50_c con el % de malla requerido en el overflow del hidrociclón. Por ejemplo, para tener un overflow con 80 % -m200 se debe usar un hidrociclón que tenga un d50_c igual a $1.25 \times 74 \mu m = 92 \mu m$. Este método es muy útil para hacer evaluaciones puntuales del hidrociclón.

% passing overflow	FACTOR
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

MÉTODO ANALÍTICO

En este método se usa la distribución de Rossin-Rammler para hallar el d50_c con el análisis granulométrico del inlet, overflow y underflow del hidrociclón. En este caso se hallan las curvas de partición y se encuentra el tamaño que corta la curva en 50 %. Las curvas de partición se hallan con los siguientes métodos:

Con el método de las derivadas:



$$\frac{d}{dx} [F_i(x) - 2 \times E_t - F_u(x)] = 0$$

$$\frac{d}{dx} \left[F_u(x) - F_o(x) \times \left(\frac{1}{E_t} - 1 \right) \right] = 0$$

$$\frac{d}{dx} [F_i(x) - 2 \times (1 - E_t) \times F_o(x)] = 0$$

Con el método de las pendientes:

$$G_u(x) = \frac{1}{1 + \left[\frac{1}{E_t} - 1 \right] \times \left[\frac{\Delta F_o(x)}{\Delta F_u(x)} \right]}$$

$$G_u(x) = 1 - (1 - E_t) \times \left[\frac{\Delta F_o(x)}{\Delta F_i(x)} \right]$$

$$G_u(x) = E_t \times \left[\frac{\Delta F_u(x)}{\Delta F_i(x)} \right]$$

$$G_u(x)_c = \frac{G_u(x) - R_f}{1 - R_f}$$

$$\text{Pendiente "m(x)" = } \frac{(1/R_f) - 1}{(1/E_t) - 1} = \frac{\Delta F_o(x)}{\Delta F_u(x)}$$

Con el método de las eficiencias:

$$E_u(x) = \frac{f_u(x)}{f_u(x) + \frac{f_o(x)}{cc}} = \frac{f_u(x)}{f_i(x) \times \left[\frac{1}{cc} + 1 \right]}$$

$$E_u(x)_c = \frac{E_u(x) - (BY - PASS)}{1 - (BY - PASS)}$$

FÓRMULAS AUXILIARES

$$E_t = \frac{\text{Peso Sólidos Underflow}}{\text{Peso Sólidos Inlet}} = \frac{1}{\left[\frac{1}{cc} + 1 \right]} = \frac{1}{\left[1 + \frac{f_i(x) - f_u(x)}{f_o(x) - f_i(x)} \right]}$$

$$E_t(c) = \frac{E_t - R_f}{1 - R_f}$$

$$cc = \frac{\text{Peso Sólidos Underflow}}{\text{Peso Sólidos Overflow}} = \frac{1}{\left[\frac{1}{E_t} - 1 \right]} = \frac{f_o(x) - f_i(x)}{f_i(x) - f_u(x)} = \frac{F_i(x) - F_o(x)}{F_u(x) - F_i(x)}$$

$$R_f = \frac{\text{Vol. Pulpa Underflow}}{\text{Vol. Pulpa Inlet}} = \frac{E_t \times \left[\frac{1}{G.E.} + \frac{100}{\% w/w_{\text{underflow}}} - 1 \right]}{\left[\frac{1}{G.E.} + \frac{100}{\% w/w_{\text{inlet}}} - 1 \right]}$$

$$BY - PASS = \frac{\text{Peso Agua Underflow}}{\text{Peso Agua Inlet}} = E_t \times \frac{\left[\frac{100}{\% w/w_{\text{underflow}}} - 1 \right]}{\left[\frac{100}{\% w/w_{\text{inlet}}} - 1 \right]}$$

$$\% w/w_{\text{inlet}} = \frac{1}{\frac{(1 - E_t)}{\% w/w_{\text{overflow}}} + \frac{E_t}{\% w/w_{\text{underflow}}}}$$

Donde:

“ E_t ” es la partición total del hidrociclón; es decir, es la cantidad de sólidos que el hidrociclón separa del inlet para enviarlo al overflow.

“ $E_t(c)$ ” es la partición total corregida del hidrociclón.

“ $E_u(x)$ ” es la partición parcial simple del underflow en la malla “x”.

“ $E_u(x)c$ ” es la partición parcial corregida del underflow en la malla “x”.

La “partición” se define como un sinónimo de la “carga circulante” por lo tanto es muy útil para el balance de materiales del hidrociclón.

En algunos casos se usa la partición total “ E_t ” como un indicativo de la eficiencia de separación pero esto no tiene ninguna relación con la verdadera eficiencia del hidrociclón.

EFICIENCIA DEL HIDROCICLÓN

La eficiencia de un hidrociclón es la capacidad que este equipo tiene para enviar las partículas finas (menores al d_{50}) al overflow y las partículas gruesas (mayores al d_{50}) al underflow. La eficiencia de un hidrociclón se calcula con la siguiente fórmula:

$$E_{\text{ciclón}} = \eta_1 \times \eta_2 \times 100$$

Donde:

$$\eta_1 = \frac{\text{peso de partículas menores al d50 en el Overflow}}{\text{peso de partículas menores al d50 en el Inlet}} = \frac{F_o(d50)}{F_i(d50) \times (1 + cc)}$$

$$\eta_2 = \frac{\text{peso de partículas mayores al d50 en el Underflow}}{\text{peso de partículas mayores al d50 en el Inlet}} = \frac{[100 - F_u(d50)]}{[100 - F_i(d50)] \times \left(1 + \frac{1}{cc}\right)}$$

El trabajo de un hidrociclón es eficiente cuando $E_{\text{ciclón}} > 60 \%$.

SIMULACIÓN DE HIDROCICLONES

En una simulación de hidrociclones siempre se mantiene fijo el tonelaje de sólidos del inlet porque siempre se simula con el mismo diámetro de hidrociclón.

Lynch & Rao desarrollaron ecuaciones empíricas para simular el comportamiento de los hidrociclones en cualquier tipo de pulpas. Las ecuaciones propuestas por estos investigadores son muy útiles y se muestran a continuación.

ECUACIÓN DE FLUJO VOLUMÉTRICO - INLET

Esta ecuación se usa cuando se cambia el vórtex y/o el % w/w del inlet. La ecuación es:

$$Q = k \times \sqrt{P} \times D_o \times (100 - \% w/w_{\text{inlet}})^{0.125}$$

Donde:

Q = Flujo de Pulpa del Inlet (m^3/h).

P = Presión del Inlet (psi).

D_o = Diámetro del Vórtex (pulg).

$\% w/w_{\text{inlet}}$ = Porcentaje de Sólidos (en peso) del Inlet.

ECUACIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA

Esta ecuación se usa cuando se cambia el ápex del hidrociclón. La ecuación es:

$$H_2O_{(o)} = k + 1.1 \times H_2O_{(i)} - 10 \times D_u$$

Donde:

$H_2O_{(o)}$ = Agua en el Overflow (TM/h).

$H_2O_{(i)}$ = Agua en el Inlet (TM/h).

D_u = Diámetro del Ápex (pulg).

ECUACIÓN DEL $d50_c$

Esta ecuación se usa cuando se cambia el ápex y/o el vórtex del hidrociclón. La ecuación es:

$$\ln(d50_c) = k + \frac{D_u}{3.5} - \frac{D_o}{2.6} + \frac{P}{10.7} - \frac{H_2O_{(o)}}{52}$$

Donde:

$d50_c$ = Tamaño de Corte Corregido (μm).

D_u = Diámetro del Ápex (pulg).

D_o = Diámetro del Vórtex (pulg).

P = Presión del Inlet (psi).

$H_2O(o)$ = Agua en el Overflow (TM/h).

ECUACIÓN DE PARTICIÓN CORREGIDA - UNDERFLOW

Esta ecuación se usa para hallar la nueva distribución granulométrica de un hidrociclón. La ecuación es:

$$E_u(x)_c = \frac{e^{\left[\frac{k \times x}{d50_c}\right]} - 1}{e^{\left[\frac{k \times x}{d50_c}\right]} + e^k - 2}$$

Donde:

$E_u(x)_c$ = Partición Corregida del Underflow.

$d50_c$ = Tamaño de Corte Corregido (μm).

k = Parámetro del Mineral Clasificado.

x = Tamaño de Partícula (μm).

DIMENSIONAMIENTO DE HIDROCICLONES

MÉTODO DE “PLITT”

La ecuación de $d50_c$ de Plitt es tan confiable y usada como la de Lynch & Rao y puede usarse para hacer simulaciones y para hallar el D_c de un hidrociclón. La ecuación es:

$$d50_c = \frac{k \times (D_c)^{0.46} \times (D_i)^{0.6} \times (D_o)^{1.21} \times e^{0.063 \times \% v/v_{inlet}}}{(D_u)^{0.71} \times (H_c)^{0.38} \times Q^{0.45} \times (G.E. - 1)^{0.5}}$$

Donde:

$d50_c$ = Tamaño de Corte Corregido (μm).

D_c = Diámetro del Hidrociclón (pulg).

D_i = Diámetro del Inlet (pulg).

D_o = Diámetro del Vórtex (pulg).

D_u = Diámetro del Ápex (pulg).

H_c = Altura del Hidrociclón (pulg).

Q = Flujo de Pulpa del Inlet (pie^3/min).

$G.E.$ = Gravedad Específica del Mineral.

k = Constante de Plitt (35).

$\% v/v_{inlet}$ = Porcentaje de Sólidos (en volumen) del Inlet.

MÉTODO “MATEMÁTICO” KREBS

Este método es apropiado para plantas de pequeña minería y minería artesanal porque hace una interacción con todos los “D_c” y todas las “P” de operación. El método matemático Krebs consiste en comparar el % de sólidos requerido con el % de sólidos obtenido de cada combinación “D_c” y “P” simulada; de esa comparación se elige el hidrociclón a usar. Es necesario usar un programa de Excel para hacer dicha simulación. Las fórmulas a usar son:

$$\% v/v_{inlet} = 50 - \frac{40}{\left[\frac{X_{95}}{16.098 \times \left[\frac{1.65}{(G.E. - 1)} \right]^{0.485} \times \left[\frac{10}{P} \right]^{0.252} \times D_c^{0.467}} \right]^{0.5584}}$$

$$\% w/w_{inlet} = \frac{100 \times G.E. \times (\% v/v_{inlet})}{[100 + (\% v/v_{inlet}) \times (G.E. - 1)]}$$

$$\# \text{ Ciclones} = \frac{Q}{0.408 \times \left[\frac{P}{10} \right]^{0.475} \times [1 + 4.461 \times 10^{-3} \times (\% v/v_{inlet})^{1.28}] \times D_c^{2.047}}$$

Donde:

% v/v_{inlet} = Porcentaje de Sólidos (en volumen) del Inlet.

% w/w_{inlet} = Porcentaje de Sólidos (en peso) del Inlet.

G.E. = Gravedad Específica del Mineral.

X₉₅ = Tamaño por el que pasa el 95 % de los sólidos del Overflow (µm).

P = Presión del Inlet (psi).

D_c = Diámetro del Hidrociclón (pulg).

Q = Flujo de Pulpa del Inlet (m³/h).

MÉTODO “EMPÍRICO” KREBS

Este método es muy útil para plantas de mediana minería y gran minería; sin embargo, es muy limitado para plantas de pequeña minería y minería artesanal. Hay que tener presente que:

- Gran Minería > 10,000 TMS/día
- Mediana Minería > 1,000 TMS/día
- Pequeña Minería > 100 TMS/día

- Minería Artesanal < 100 TMS/día

CATÁLOGO DE HIDROCICLONES “ICBA”

Ø Ciclón (interior)	Modelo	Descripción	Capacidad* (USGPM)	Tamaño de Corte (µm)
2	D2B	Ciclón estándar de 2"Ø	7 – 18	15 – 45
	D2BB	Ciclón doble cuerpo cilíndrico de 2"Ø	8 – 20	15 – 40
3	D3B	Ciclón estándar de 3"Ø	17 – 34	20 – 45
	D3BB	Ciclón doble cuerpo cilíndrico de 3"Ø	19 – 37	20 – 50
4	D4B	Ciclón estándar de 4"Ø	25 – 50	25 – 65
	D4BB	Ciclón doble cuerpo cilíndrico de 4"Ø	28 – 56	20 – 60
6	D6B	Ciclón estándar de 6"Ø	50 – 155	35 – 75
	D6BB	Ciclón doble cuerpo cilíndrico de 6"Ø	55 – 170	30 – 70
10	D10B	Ciclón estándar de 10"Ø	65 – 250	40 – 100
	D10LB	Ciclón de 10"Ø con cabezal de mayor capacidad	140 – 350	45 – 110
12	D12B	Ciclón estándar de 12"Ø	170 – 400	50 – 110
15	D15B	Ciclón estándar de 15"Ø	320 – 700	55 – 115
20	D20B	Ciclón estándar de 20"Ø	450 – 1,150	60 – 120
	D20LB	Ciclón de 20"Ø con cabezal de mayor capacidad	680 – 1,300	65 – 140
	DS20B	Súper ciclón de 20"Ø	480 – 1,250	60 – 120
	DS20LB	Súper ciclón de 20"Ø con cabezal de mayor capacidad	800 – 1,650	65 – 140
26	D26B	Ciclón estándar de 26"Ø	1,100 – 2,700	70 – 150

*La capacidad de los hidrociclones y los tamaños de separación son válidos para presión de alimentación de 7 psi a 20 psi, gravedad específica del mineral de 2.5 a 3.5 y % de sólidos en peso menor a 32 %.

- E1:** a) Dos hidrociclones trabajan en el mismo circuito de molienda/clasificación y cada uno recibe 300 USGPM de pulpa con 20 % de sólidos en volumen.
 En el underflow del hidrociclón “A” tenemos 75 USGPM de pulpa con 48 % v/v.
 En el underflow del hidrociclón “B” tenemos 60 USGPM de pulpa con 60 % v/v.
 Cuál de los dos hidrociclones tiene una separación más eficiente?
- b) Hallar las dimensiones estándar de un hidrociclón de 2" de diámetro (D2B) y un hidrociclón de 15" de diámetro (D15B).

SOLUCIÓN:

- a) En este caso vamos a comparar el trabajo de los hidrociclones con la eficiencia de separación corregida “ $E_t(c)$ ” de cada uno de ellos. Según los datos:

HIDROCICLÓN “A”

$$R_f = \frac{75 \text{ USGPM}}{300 \text{ USGPM}} = 0.25$$

$$E_t = \frac{(75 \text{ USGPM}) \times (48\%) \times \text{G.E.}}{(300 \text{ USGPM}) \times (20\%) \times \text{G.E.}} = 0.6$$

$$E_t(c) = \frac{0.6 - 0.25}{1 - 0.25} = \mathbf{0.47}$$

HIDROCICLÓN “B”

$$R_f = \frac{60 \text{ USGPM}}{300 \text{ USGPM}} = 0.20$$

$$E_t = \frac{(60 \text{ USGPM}) \times (60\%) \times \text{G.E.}}{(300 \text{ USGPM}) \times (20\%) \times \text{G.E.}} = 0.6$$

$$E_t(c) = \frac{0.6 - 0.20}{1 - 0.20} = \mathbf{0.50} \rightarrow \mathbf{MÁS EFICIENTE}$$

- b) Según los datos tenemos:

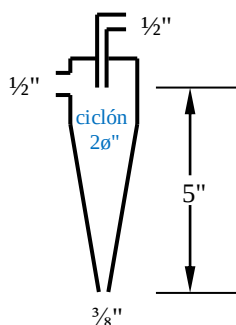
HIDROCICLÓN 2"Ø

$$\text{Vórtex } (D_o) = 0.25 \times 2" = \frac{1}{2}"$$

$$\text{Ápex } (D_u) = 0.15 \times 2" = 0.3" \rightarrow \frac{3}{8}"$$

$$\text{Inlet } (D_i) = 0.25 \times 2" = \frac{1}{2}"$$

$$\text{Altura } (H_c) = 2.50 \times 2" = 5"$$



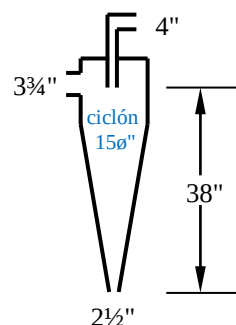
HIDROCICLÓN 15"Ø

$$\text{Vórtex } (D_o) = 0.30 \times 15" = 4.5" \rightarrow 4"$$

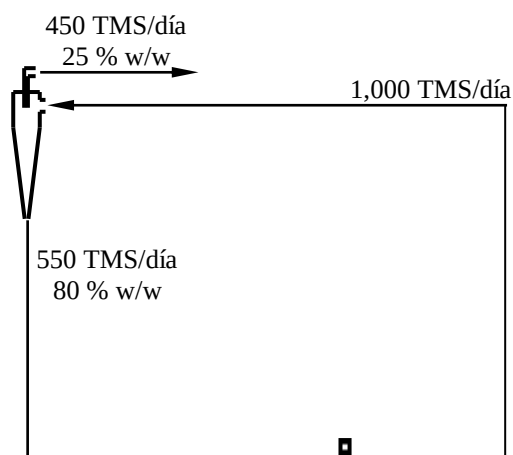
$$\text{Ápex } (D_u) = 0.15 \times 15" = 2.2" \rightarrow 2\frac{1}{2}"$$

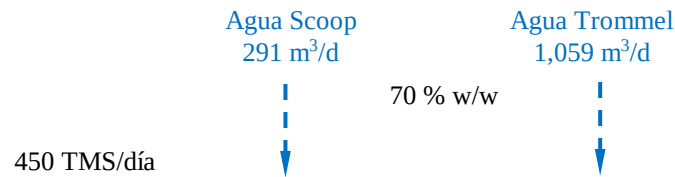
$$\text{Inlet } (D_i) = 0.25 \times 15" = 3.7" \rightarrow 3\frac{3}{4}"$$

$$\text{Altura } (H_c) = 2.50 \times 15" = 37.5" \rightarrow 38"$$



- E2:** Indicar las variables que se deben cambiar en el siguiente circuito para obtener una eficiencia de separación de 60 %. Asumir que el porcentaje de sólidos en el overflow y en el underflow del hidrociclón es siempre constante.





SOLUCIÓN:

La eficiencia de separación “actual” del circuito es $E_t = 550/1,000 = 55 \%$; esto significa que sólo el 55 % de los sólidos que ingresan al hidrociclón van al underflow. Para aumentar esta separación se debe agregar más agua al trommel (para dispersar mejor las partículas) y bajar el agua del scoop (para no alterar la densidad de la molienda). Por lo tanto, para $E_t = 60 \%$:

$$cc = \frac{1}{\left[\frac{1}{60\%} - 1 \right]} = 1.5$$

$$\text{Agua Underflow} = (1.5 \times 450 \text{ TMS/día}) \times \frac{20\%}{80\%} = 168 \text{ m}^3 / \text{d}$$

$$\text{Agua Overflow} = 450 \text{ TMS/día} \times \frac{75\%}{25\%} = 1,350 \text{ m}^3 / \text{d}$$

$$\text{Agua Inlet} = 1,518 \text{ m}^3 / \text{d}$$

$$\text{Agua Scoop} = \left[1,000 \text{ TMS/día} \times \frac{30\%}{70\%} \right] - 168 \text{ m}^3 / \text{d} = \mathbf{260 \text{ m}^3 / \text{d}}$$

$$\text{Agua Trommel} = 1,518 \text{ m}^3 / \text{d} - (168 \text{ m}^3 / \text{d} + 260 \text{ m}^3 / \text{d}) = \mathbf{1,090 \text{ m}^3 / \text{d}}$$

E3: a) Usar los datos del siguiente cuadro para hallar el d_{50c} de los hidrociclones “A” y “B” con el “MÉTODO EMPÍRICO DE KREBS ENGINEERS”.

Abert. (μm)	Overflow “A” % passing	Overflow “B” % passing
212	99.0	99.5
150	92.3	98.6
105	83.0	96.3
74	72.6	91.6
63	60.6	80.1
31	-	61.5
15	-	-

- b) En una planta concentradora se ha instalado un hidrociclón de 10"Ø para que produzca un overflow con 84 % -m200 pero sólo produce 70 % -m200. Determinar si el bajo porcentaje de malla # 200 se debe al tamaño incorrecto del hidrociclón o a la falta de carga moledora. La pulpa que ingresa al hidrociclón tiene 30 % de sólidos en volumen. G.E. = 3.0 y Presión = 10 psi

SOLUCIÓN:

- a) Primero buscamos el % passing que esté más cerca de 80 % y luego hallamos el factor del overflow según la tabla de Krebs Engineers. En este caso:

En el Overflow "A": tenemos 83.0 % -105 µm por lo tanto interpolando tenemos $\text{FACTOR} = 1.15$ y $d_{50_c} = 1.15 \times 105 \mu\text{m} = 120 \mu\text{m}$.

En el Overflow "B": tenemos 80.1 % -63 µm por lo tanto interpolando tenemos $\text{FACTOR} = 1.25$ y $d_{50_c} = 1.25 \times 63 \mu\text{m} = 78 \mu\text{m}$.

- b) En este caso debemos calcular el % -m200 que un hidrociclón estándar de 10"Ø produce con la pulpa indicada. Para este cálculo usamos el método "empírico" Krebs de dimensionamiento de hidrociclones.

Los factores son:

$C_1 = 3.3$ para 30 % v/v

$C_2 = 1.0$ para 10 psi de presión

$C_3 = 0.9$ para 3.0 de G.E.

$d_{50_c}(\text{base}) = 24 \mu\text{m}$ para 10"Ø

Por lo tanto:

$$24\mu\text{m} = \frac{d_{50_c}}{(3.3) \times (1.0) \times (0.9)} \rightarrow d_{50_c} = 71\mu\text{m}$$

$$71\mu\text{m} = \text{FACTOR} \times 74\mu\text{m} \rightarrow \text{FACTOR} = 0.95$$

A este factor le corresponde un % passing de 86 % por lo tanto la granulometría teórica del overflow es **86 % -m200** lo cual indica que este hidrociclón si puede producir la granulometría requerida y el problema está en la carga moledora y no el dimensionamiento del hidrociclón. Hay que tener presente que si la molienda es gruesa entonces el overflow también será grueso.

E4: Usar los datos del siguiente cuadro para hallar el d50 del hidrociclón con el "MÉTODO DE LAS DERIVADAS":

Malla Tyler	INLET % peso	OVERFLOW % peso
65	42.0	1.0
100	15.6	6.7
150	9.3	9.3
200	5.9	10.4
250	6.0	12.0
-250	21.2	60.6

$$E_t = 75 \%$$

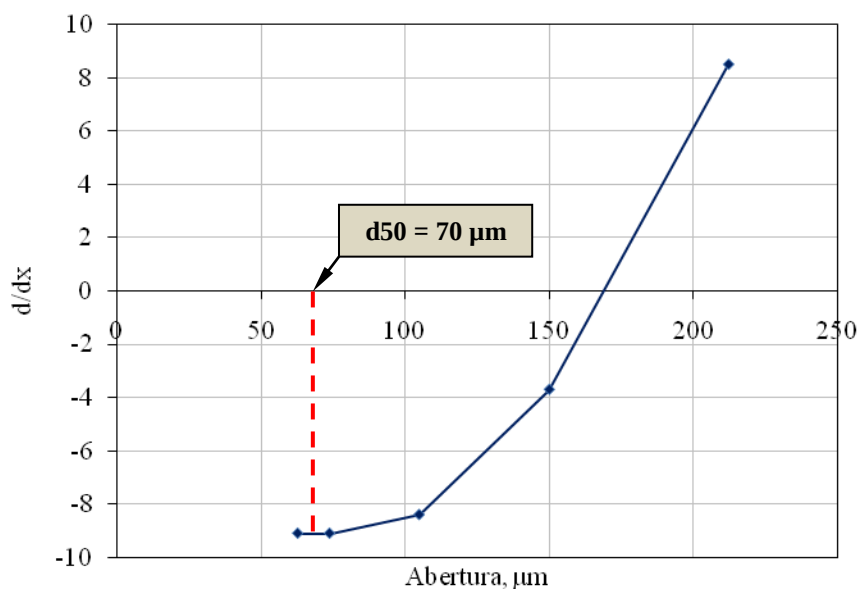
SOLUCIÓN:

Para usar el método de las derivadas debemos cambiar todas las granulometrías a % passing “F(x)” y calcular el “d/dx” del overflow con la fórmula de abajo. Luego se grafican los puntos y se traza una línea vertical en la inflexión de la curva.

$$\frac{d}{dx} [F_i(x) - 2 \times (1 - 0.75) \times F_o(x)] = 0$$

Abert. (μm)	INLET F _i (x)	OVERFLOW F _o (x)	d/dx
212	58.0	99.0	8.5
150	42.4	92.3	-3.7
105	33.1	83.0	-8.4
74	27.2	72.6	-9.1
63	21.2	60.6	-9.1
31	-	-	-

CURVA DE PARTICIÓN - MÉTODO DE LAS DERIVADAS



E5: Usar los datos del siguiente cuadro para hallar el d50 y el d50_c del hidrociclón con el “MÉTODO DE LAS PENDIENTES”.

Malla Tyler	OVERFLOW % passing	UNDERFLOW % passing
48	99.0	45.0
65	92.3	26.6
100	83.0	16.9
150	72.6	12.9
200	60.6	8.3
-200	-	-

E_t = 75.4 % y R_f = 25 %

SOLUCIÓN:

Para usar el método de las pendientes debemos completar el cuadro de % passing de la siguiente manera:

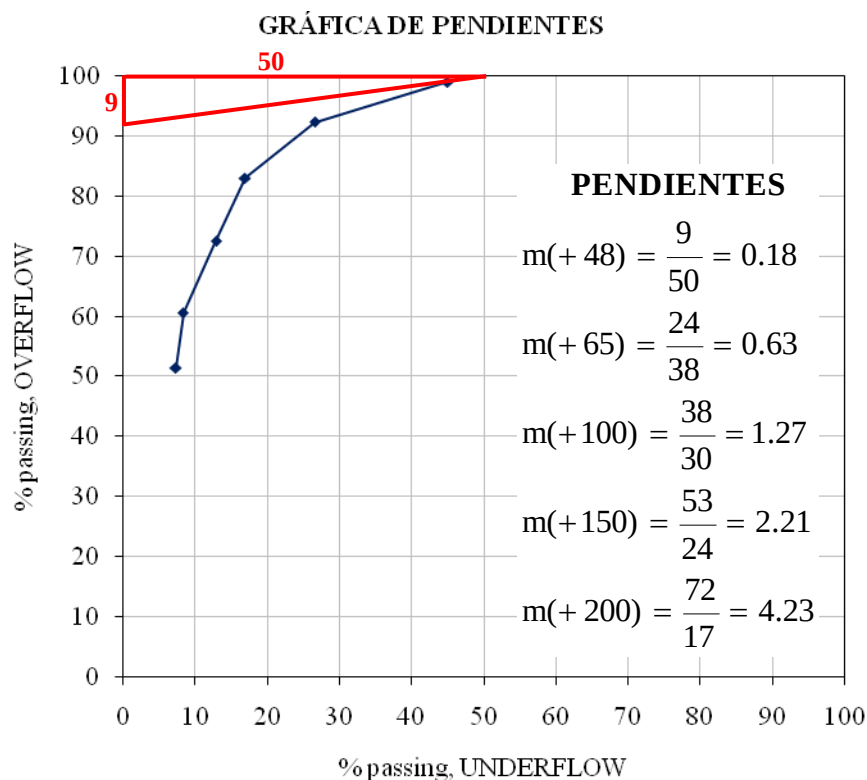
$$\text{Pendiente} = \frac{(1/25) - 1}{(1/75.4) - 1} = \frac{9.2}{1}$$

% passing en -m200 del Overflow = 60.6 – 9.2 = 51.4

% passing en -m200 del Underflow = 8.3 – 1 = 7.3

Malla Tyler	OVERFLOW % passing	UNDERFLOW % passing
48	99.0	45.0
65	92.3	26.6
100	83.0	16.9
150	72.6	12.9
200	60.6	8.3
-200	51.4	7.3

Luego se grafican los puntos y se encuentran las pendientes de cada uno de ellos. Es necesario trazar tangentes a cada punto para hallar las pendientes correctas (ver triángulo de color rojo).

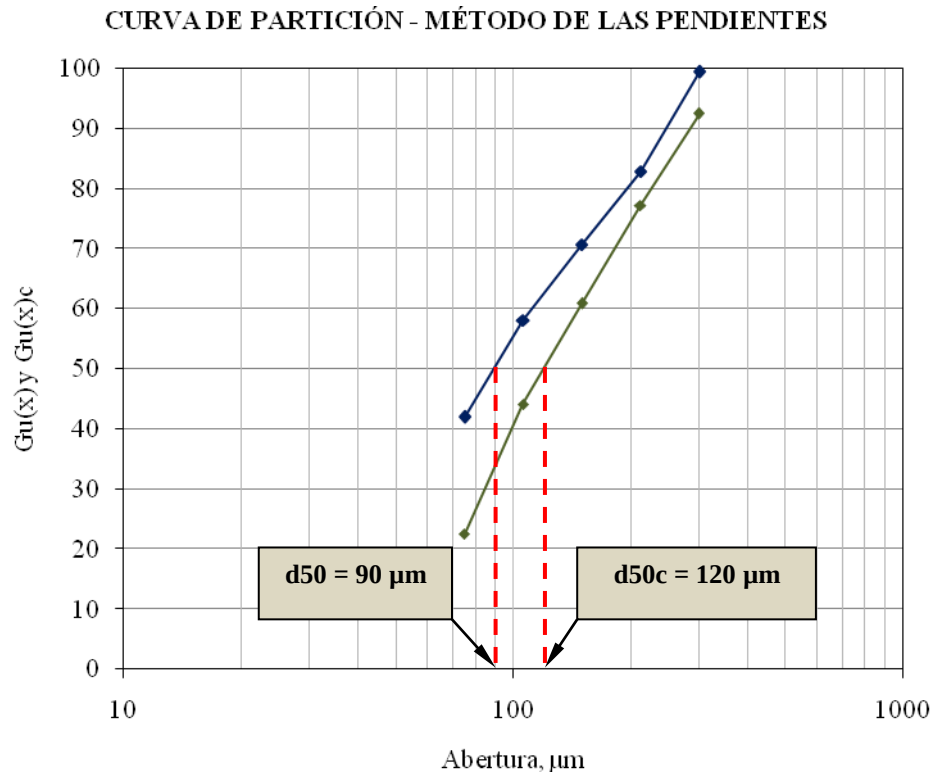


Con las fórmulas de abajo hallamos y graficamos la partición simple y corregida del underflow del hidrociclón. Se debe cortar la curva en $G_u(x)$ y $G_u(x)_c$ igual a 50 para hallar el d50 y el d50_c del hidrociclón.

$$G_u(x) = \frac{1}{1 + m(x) \times \left[\frac{1}{0.754} - 1 \right]}$$

$$G_u(x)_c = \frac{G_u(x) - 0.25}{1 - 0.25}$$

Abert. (μm)	m(x)	$G_u(x)$	$G_u(x)_c$
300	0.18	0.944	0.925
212	0.63	0.829	0.772
150	1.27	0.707	0.609
106	2.21	0.581	0.441
75	4.23	0.420	0.226



E6: Usar los datos del siguiente cuadro para hallar el d_{50} y el d_{50c} del hidrociclón con el “MÉTODO DE LAS EFICIENCIAS”.

El underflow tiene 62 % de sólidos en peso.

El overflow tiene 22 % de sólidos en peso.

Abert. (μm)	OVERFLOW % peso	UNDERFLOW % peso
280	0.5	2.7
170	0.9	7.6
100	2.3	16.2
60	4.7	22.7
30	11.5	18.5
15	18.6	15.8
resid.	61.5	16.5

$E_t = 55 \%$ y $cc = 125 \%$

SOLUCIÓN:

Para usar el método de las eficiencias debemos calcular el BY-PASS de la pulpa y la partición simple y corregida del underflow del hidrociclón.

Usamos las siguientes fórmulas:

Abert. (μm)	$E_u(x)$	$E_u(x)c$
280	0.870	0.842
170	0.913	0.894
100	0.898	0.876
60	0.857	0.826
30	0.667	0.596
15	0.515	0.412
resid.	-	-

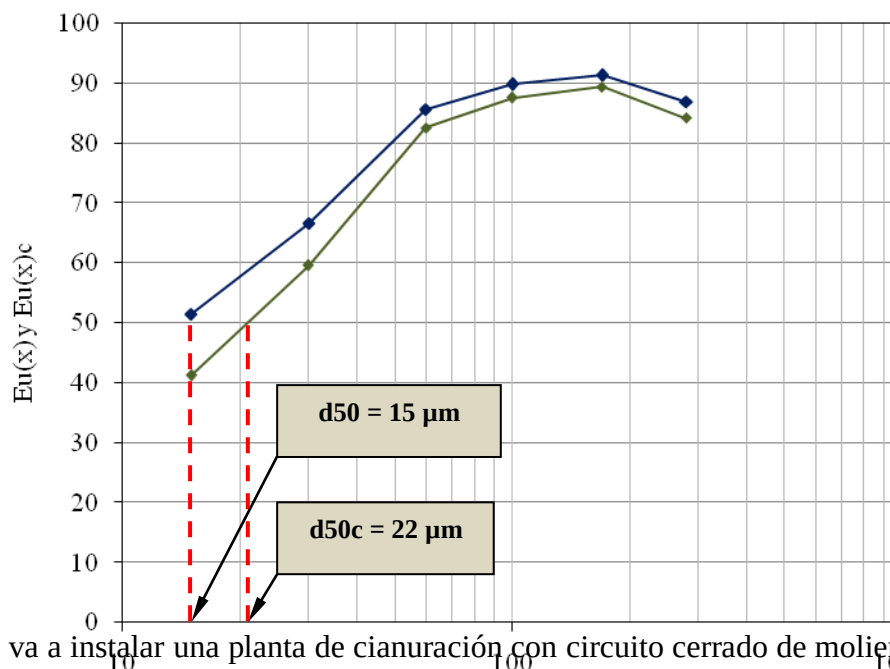
$$\% w/w_{\text{inlet}} = \frac{1}{\frac{(1-55\%)}{22\%} - \frac{55\%}{62\%}} = 34\%$$

$$\text{BY-PASS} = \frac{\left[\frac{1}{\frac{1}{62\%} - 1} \right]}{\left[\frac{1}{\frac{1}{34\%} - 1} \right]} \times 55\% = 0.174$$

$$E_u(x) = \frac{f_u(x)}{f_u(x) + \frac{f_o(x)}{1.25}}$$

$$E_u(x)c = \frac{E_u(x) - (0.174)}{1 - (0.174)}$$

CURVA DE PARTICIÓN - MÉTODO DE LAS EFICIENCIAS



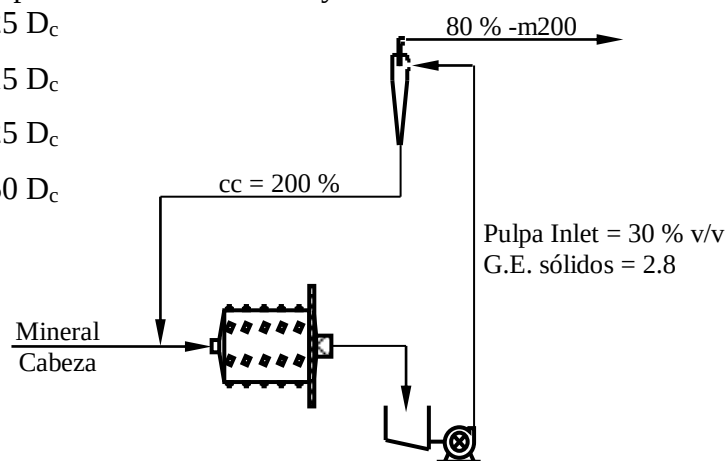
E7: Se va a instalar una planta de cianuración con circuito cerrado de molienda/clasificación tal como se muestra en la figura de abajo. Hallar el diámetro del hidrociclón a instalar para una capacidad de 50 TMS/día y 200 TMS/día de mineral. Asumir que:

$$D_o = 0.25 D_c$$

$$D_u = 0.15 D_c$$

$$D_i = 0.25 D_c$$

$$H_c = 2.50 D_c$$



SOLUCIÓN:

Primero calculamos el d_{50c} con el método empírico de Krebs Engineers y luego usamos la fórmula de Plitt para hallar el diámetro del hidrociclón a instalar.

El overflow debe tener 80 % -m200 por lo tanto el FACTOR = 1.25 y el $d_{50c} = 1.25 \times 74 \mu\text{m} = 92 \mu\text{m}$. Con estos datos tenemos:

PARA 50 TMS/día

$$\text{Sólidos Inlet} = \left[\frac{(50 \text{ TMS/día}) + (50 \text{ TMS/día} \times 200 \%) }{2.8 \text{ TMS/m}^3} \right] = 53.5 \text{ m}^3 / \text{día}$$

$$\text{Pulpa Inlet} = \frac{53.5 \text{ m}^3 / \text{día}}{30 \%} = 178 \text{ m}^3 / \text{día} (4.3 \text{ pie}^3 / \text{min})$$

$$92 \mu\text{m} = \frac{35 \times (D_c)^{0.46} \times (0.25 D_c)^{0.6} \times (0.25 D_c)^{1.21} \times e^{0.063 \times 30 \%}}{(0.15 D_c)^{0.71} \times (2.5 D_c)^{0.38} \times \left(\frac{4.3 \text{ pie}^3 / \text{min}}{1 \text{ ciclón}} \right)^{0.45} \times (2.8 - 1)^{0.5}} \rightarrow D_c = 3.6'' \rightarrow 4''$$

PARA 200 TMS/día

$$\text{Sólidos Inlet} = \left[\frac{(200 \text{ TMS/día}) + (200 \text{ TMS/día} \times 200 \%) }{2.8 \text{ TMS/m}^3} \right] = 214 \text{ m}^3 / \text{día}$$

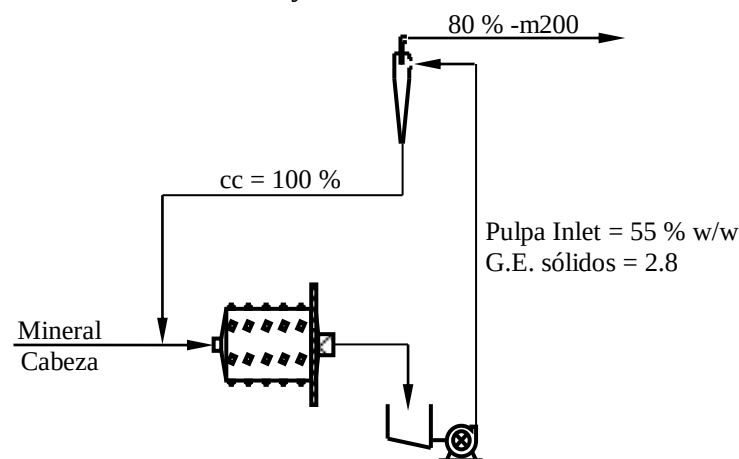
$$\text{Pulpa Inlet} = \frac{214 \text{ m}^3 / \text{día}}{30 \%} = 713 \text{ m}^3 / \text{día} (17 \text{ pie}^3 / \text{min})$$

$$92 \mu\text{m} = \frac{35 \times (D_c)^{0.46} \times (0.25 D_c)^{0.6} \times (0.25 D_c)^{1.21} \times e^{0.063 \times 30 \%}}{(0.15 D_c)^{0.71} \times (2.5 D_c)^{0.38} \times \left(\frac{17 \text{ pie}^3 / \text{min}}{1 \text{ ciclón}} \right)^{0.45} \times (2.8 - 1)^{0.5}} \rightarrow D_c = 6.2''$$

$$92 \mu\text{m} = \frac{35 \times (D_c)^{0.46} \times (0.25 D_c)^{0.6} \times (0.25 D_c)^{1.21} \times e^{0.063 \times 30 \%}}{(0.15 D_c)^{0.71} \times (2.5 D_c)^{0.38} \times \left(\frac{17 \text{ pie}^3 / \text{min}}{2 \text{ ciclones}} \right)^{0.45} \times (2.8 - 1)^{0.5}} \rightarrow D_c = 4.7''$$

Los resultados indican que se debe elegir **un hidrociclón de 6"Ø** porque se ajusta mejor al diámetro de la simulación.

E8: Se va a instalar una planta de cianuración con circuito cerrado de molienda/clasificación tal como se muestra en la figura de abajo. Hallar el diámetro del hidrociclón a instalar para una capacidad de 20 TMS/día y 500 TMS/día de mineral.



SOLUCIÓN:

Primero calculamos el x_{95} del overflow y luego usamos el método matemático Krebs para hallar el diámetro del hidrociclón a instalar. Si el 80 % del mineral pasa la malla # 200 entonces el 95 % pasará la malla # 150 por lo tanto el x_{95} es 105 μm (malla # 150). Por tanto:

PARA 20 TMS/día

$$\text{Sólidos Inlet} = (20 \text{ TMS/día}) + (20 \text{ TMS/día} \times 100 \%) = 40 \text{ TMS/día}$$

$$\text{Agua Inlet} = 40 \text{ TMS/día} \times \left(\frac{100 \% - 55 \%}{55 \%} \right) = 32 \text{ TM/día}$$

$$\text{Pulpa Inlet} = \frac{40 \text{ TMS/día}}{2.8 \text{ m}^3 / \text{día}} + \frac{32 \text{ TM/día}}{1.0 \text{ m}^3 / \text{día}} = 46 \text{ m}^3 / \text{día} (1.9 \text{ m}^3 / \text{h})$$

DIMENSIONAMIENTO DE HIDROCICLONES

(MÉTODO MATEMÁTICO KREBS)

DATOS:

G.E.	=	2.80
x_{95}	=	105.00 μm
Q	=	1.90 m^3/h
% w/w	=	55.00 %

SIMULACIÓN:

Ø Ciclón	Presión (psi)	% w/w (inlet)	# ciclones	Ø Ciclón	Presión (psi)	% w/w (inlet)	# ciclones	Ø Ciclón	Presión (psi)	% w/w (inlet)	# ciclones
2"	4	56.07	1.27	3"	4	53.63	0.57	4"	4	51.64	0.32
	6	57.24	1.04		6	54.99	0.46		6	53.17	0.26
	8	58.02	0.90		8	55.90	0.40		8	54.18	0.23
	10	58.59	0.80		10	56.56	0.36		10	54.92	0.20
	12	59.05	0.73		12	57.08	0.33		12	55.50	0.18
	14	59.41	0.68		14	57.51	0.30		14	55.98	0.17
	16	59.73	0.64		16	57.87	0.28		16	56.37	0.16
	18	59.99	0.60		18	58.18	0.27		18	56.72	0.15
	20	60.23	0.57		20	58.45	0.25		20	57.02	0.14
	22	60.44	0.54		22	58.69	0.24		22	57.29	0.14
	24	60.62	0.52		24	58.90	0.23		24	57.52	0.13
	26	60.79	0.50		26	59.10	0.22		26	57.74	0.12
	28	60.95	0.48		28	59.28	0.21		28	57.94	0.12
	30	61.09	0.47		30	59.44	0.21		30	58.12	0.12

CONCLUSIÓN:

Los resultados de la simulación indican que existen dos alternativas que son usar un hidrociclón de 2"Ø o un hidrociclón de 3"Ø; en este caso, se debe elegir un **hidrociclón de 2"Ø** porque su baja presión corresponde al flujo alimentado.

PARA 500 TMS/día

$$\text{Sólidos Inlet} = (500 \text{ TMS/día}) + (500 \text{ TMS/día} \times 100 \%) = 1,000 \text{ TMS/día}$$

$$\text{Agua Inlet} = 1,000 \text{ TMS/día} \times \left(\frac{100 \% - 55 \%}{55 \%} \right) = 818 \text{ TM/día}$$

$$\text{Pulpa Inlet} = \frac{1,000 \text{ TMS/día}}{2.8 \text{ m}^3 / \text{día}} + \frac{818 \text{ TM/día}}{1.0 \text{ m}^3 / \text{día}} = 1,175 \text{ m}^3 / \text{día} (48 \text{ m}^3 / \text{h})$$

DIMENSIONAMIENTO DE HIDROCICLONES

(MÉTODO MATEMÁTICO KREBS)

DATOS:

G.E.	=	2.80
x_{95}	=	105.00 μm
Q	=	48.00 m^3/h
% w/w	=	55.00 %

SIMULACIÓN:

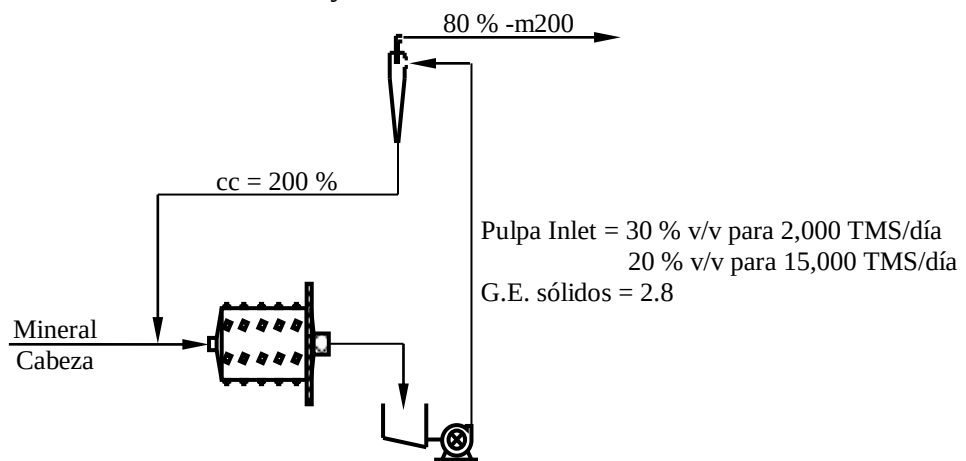
Ø Ciclón	Presión (psi)	% w/w (inlet)	# ciclones	Ø Ciclón	Presión (psi)	% w/w (inlet)	# ciclones	Ø Ciclón	Presión (psi)	% w/w (inlet)	# ciclones
4"	4	51.64	8.12	6"	4	48.43	3.64	10"	4	43.50	1.33
	6	53.17	6.60		6	50.23	2.95		6	45.75	1.08
	8	54.18	5.71		8	51.41	2.55		8	47.21	0.93
	10	54.92	5.10		10	52.28	2.28		10	48.28	0.83
	12	55.50	4.65		12	52.96	2.08		12	49.12	0.75
	14	55.98	4.30		14	53.51	1.92		14	49.80	0.70
	16	56.37	4.02		16	53.98	1.79		16	50.37	0.65
	18	56.72	3.79		18	54.38	1.69		18	50.86	0.61
	20	57.02	3.59		20	54.73	1.60		20	51.29	0.58
	22	57.29	3.43		22	55.04	1.53		22	51.67	0.55
	24	57.52	3.28		24	55.32	1.46		24	52.01	0.53
	26	57.74	3.15		26	55.57	1.40		26	52.31	0.51
	28	57.94	3.04		28	55.80	1.35		28	52.59	0.49
	30	58.12	2.93		30	56.01	1.31		30	52.85	0.47

CONCLUSIÓN:

Los resultados de la simulación indican que existen dos alternativas que son usar 4 hidrociclones de 4"Ø o 2 hidrociclones de 6"Ø; en este caso, se deben elegir **2 hidrociclones de 6"Ø** porque su alta presión corresponde al flujo alimentado.

NOTA: Siempre se elige una cantidad par de hidrociclones porque los distribuidores de pulpa que alimentan a los hidrociclones se diseñan de esa forma. Para la planta de 20 TMS/día se debe adquirir 2 hidrociclones de 2"Ø para que uno trabaje y el otro esté en stand-by. Asimismo, para la planta de 500 TMS/día se debe adquirir un nido de 4 hidrociclones de 6"Ø para que dos trabajen y los otros dos estén en stand-by y no se pare la planta cuando se realice el mantenimiento de rutina.

E9: Se va a instalar una planta de cianuración con circuito cerrado de molienda/clasificación tal como se muestra en el circuito de abajo. Hallar el diámetro del hidrociclón a instalar para una capacidad de 2,000 TMS/día y 15,000 TMS/día de mineral.



SOLUCIÓN:

Primero debemos calcular el flujo de pulpa del inlet y luego usamos el método empírico de Krebs Engineers para hallar el diámetro del hidrociclón ó hidrociclones a instalar.

El overflow debe tener 80 % -m200 por lo tanto el FACTOR = 1.25 y el $d_{50c} = 1.25 \times 74 \mu m = 92 \mu m$. Los factores específicos de operación son:

$C_1 = 3.30$ para 30 % v/v

1.96 para 20 % v/v

$C_2 = 1.00$ para 10 psi de presión

$C_3 = 0.95$ para 2.8 de G.E.

PARA 2,000 TMS/día

$$d_{50c} (\text{base}) = \frac{92 \mu m}{(3.30) \times (1.00) \times (0.95)} = 29 \mu m$$

$$29 \mu m = 2.84 \times D_c^{0.66} \rightarrow D_c = 33 \text{ cm (13") } \rightarrow D_c = \mathbf{15"}$$

$$\text{Sólidos Inlet} = \left[\frac{(2,000 \text{ TMS/día}) + (2,000 \text{ TMS/día} \times 200 \%)}{2.8 \text{ TMS/m}^3} \right] = 2,143 \text{ m}^3 / \text{día}$$

$$\text{Pulpa Inlet} = \frac{2,143 \text{ m}^3 / \text{día}}{30 \%} = 7,143 \text{ m}^3 / \text{día (82 l/s)}$$

En la figura 9 vemos que la capacidad de este hidrociclón es 22 l/s a 10 psi de presión, por lo tanto :

$$\# \text{ Unidades} = \frac{82 \text{ l/s}}{22 \text{ l/s}} = 3.7 \rightarrow \mathbf{4 \text{ hidrociclones de 15"}}$$

PARA 15,000 TMS/día

$$d_{50c} (\text{base}) = \frac{92 \mu m}{(1.96) \times (1.00) \times (0.95)} = 49 \mu m$$

$$49 \mu m = 2.84 \times D_c^{0.66} \rightarrow D_c = 74 \text{ cm (29") } \rightarrow D_c = \mathbf{30"}$$

$$\text{Sólidos Inlet} = \left[\frac{(15,000 \text{ TMS/día}) + (15,000 \text{ TMS/día} \times 200 \%)}{2.8 \text{ TMS/m}^3} \right] = 16,071 \text{ m}^3 / \text{día}$$

$$\text{Pulpa Inlet} = \frac{2,143 \text{ m}^3 / \text{día}}{30 \%} = 53,571 \text{ m}^3 / \text{día (620 l/s)}$$

En la figura 9 vemos que la capacidad de este hidrociclón es 150 l/s a 10 psi de presión, por lo tanto :

Ejemplo 10: Una planta concentradora de minerales necesita 4 hidrociclones en su circuito de molienda/ clasificación el cual produce las curvas de partición que se muestran en las figuras de abajo. Cuál es el diámetro de los hidrociclones que conforman este nido?.

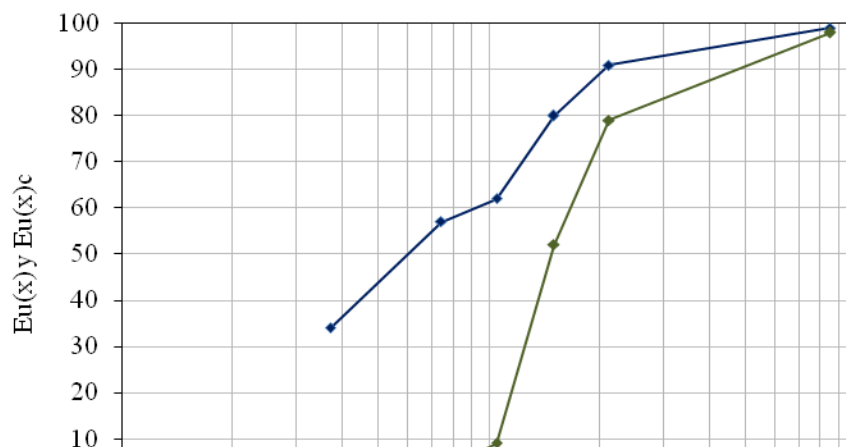
El overflow tiene 40 % de sólidos en peso.

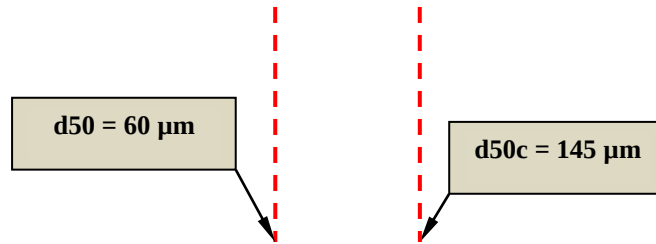
El underflow tiene 75 % de sólidos en peso.

La presión que indica el manómetro es 10 psi.

Asumir que la eficiencia de separación es 70 % y que la gravedad específica del mineral es 2.8.

CURVA DE PARTICIÓN - MÉTODO DE LAS EFICIENCIAS





SOLUCIÓN:

Primero debemos calcular el % v/v del inlet y luego usamos el método empírico de Krebs Engineers para hallar el diámetro del hidrociclón instalado.

$$\% w/w_{\text{inlet}} = \frac{1}{\frac{(100\% - 70\%)}{40\%} + \frac{70\%}{75\%}} \times 100 = 60\%$$

$$\% v/v_{\text{inlet}} = \frac{100}{1 + 2.8 \times \left[\frac{100}{60\%} - 1 \right]} = 35\%$$

Los factores específicos de operación son:

$C_1 = 4.68$ para 35 % v/v

$C_2 = 1.00$ para 10 psi de presión

$C_3 = 0.95$ para 2.8 de G.E.

Por lo tanto:

$$d50_c (\text{base}) = \frac{145 \mu\text{m}}{(4.68) \times (1.00) \times (0.95)} = 32 \mu\text{m}$$

$$32 \mu\text{m} = 2.84 \times D_c^{0.66} \rightarrow D_c = 39 \text{ cm (15") } \rightarrow D_c = 15"$$

E11: Se ha tomado muestras de las tres corrientes de un hidrociclón para hallar su eficiencia y evaluar su trabajo en la planta concentradora. Hallar la eficiencia del hidrociclón con los siguientes datos de análisis granulométrico:

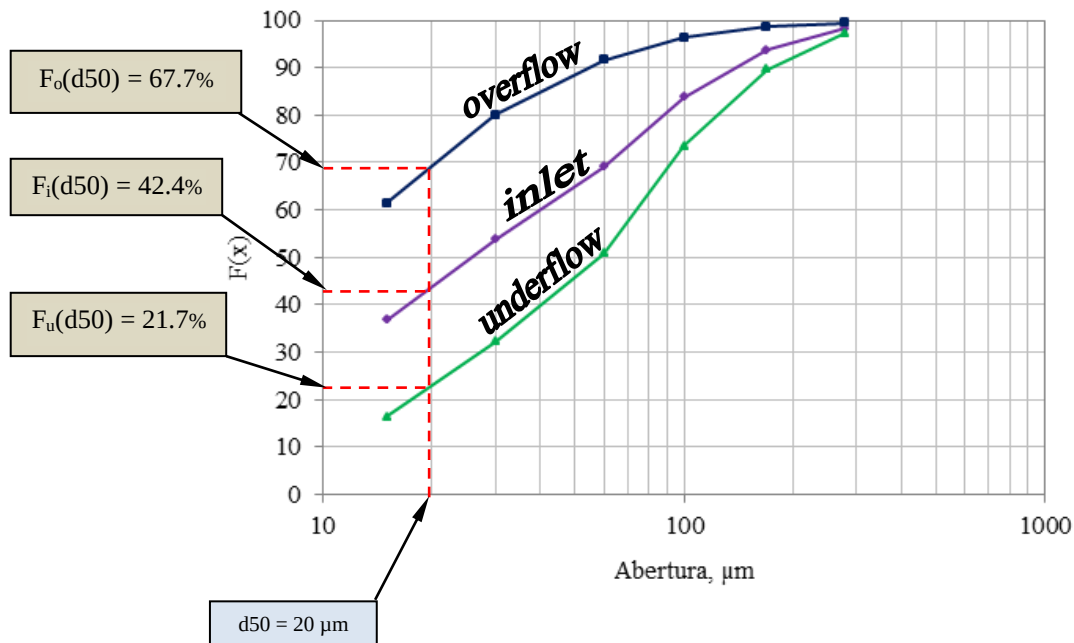
Abert. (μm)	INLET % passing	OVERFLOW % passing	UNDERFLOW % passing
280	98.29	99.50	97.30
170	93.70	98.60	89.70
100	83.76	96.30	73.50
60	69.16	91.60	50.80
30	53.81	80.10	32.30
15	36.75	61.50	16.50
resid.	0	0	0

$d50 = 20 \mu\text{m}$ y $cc = 1.25$

SOLUCIÓN:

Para hallar la eficiencia del hidrociclón hay que graficar el % passing de las tres corrientes del hidrociclón y luego cortar las curvas en 20 μm para obtener el $F_o(d50)$, $F_i(d50)$ y el $F_u(d50)$. En este caso tenemos:

CURVAS DE "% PASSING" DEL HIDROCICLÓN



$$n_1 = \frac{(67.7\%)}{(42.4\%) \times (1 + 1.25)} = 0.710$$

$$n_2 = \frac{(100\% - 21.7\%)}{(100\% - 42.4\%) \times \left(1 + \frac{1}{1.25}\right)} = 0.755$$

$$E_{\text{ciclón}} = 0.710 \times 0.755 \times 100 = 53.6\%$$

E12: Se tiene un hidrociclón de 10" $\varnothing$ en una cancha de relaves "aguas arriba" tal como se muestra en la figura de abajo.

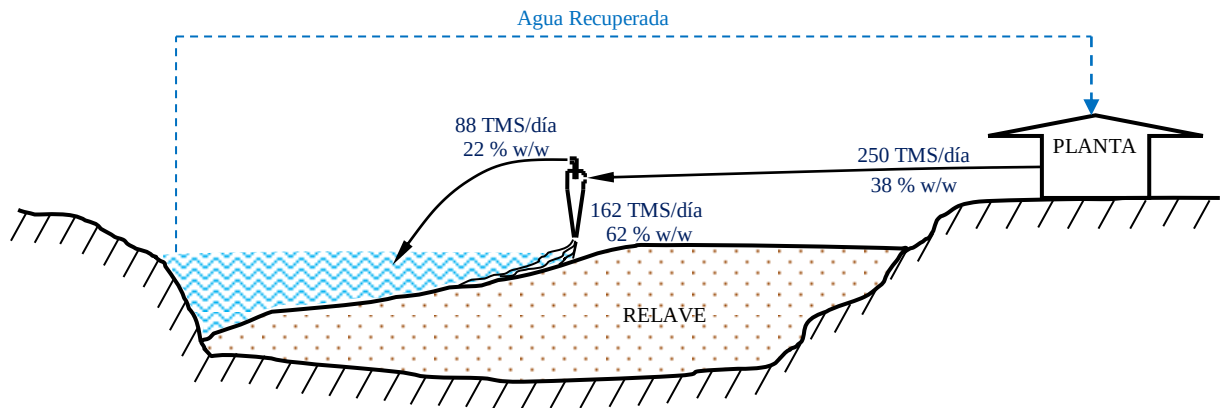
Con el ápex actual sale mucha agua en el underflow del hidrociclón y eso hace que los sólidos del relave demoren mucho tiempo en secar.

Cuál será el % de sólidos del underflow si el ápex se cambia por uno de 1¼"?

Los datos actuales son:

Abert. (μm)	INLET % peso	OVERFLOW % peso	UNDERFLOW % peso	$E_u(x)c$
351	27.97	11.57	36.65	0.809
247	10.98	6.84	13.18	0.695
174	10.31	7.07	12.02	0.684
124	8.97	8.55	9.20	0.561
88	5.60	7.93	4.37	0.349
63	3.78	6.90	2.11	0.158
45	32.39	51.14	22.47	0.274

DATOS	
D_o	= 2"
D_u	= 1½"
G.E.	= 2.8
Presión	= 10 psi
d_{50c}	= 112 μm



SOLUCIÓN:

CON ÁPEX ACTUAL DE 1½" TENEMOS:

FLUJO VOLUMÉTRICO - INLET

$$\text{Sólidos} = \frac{250 \text{ TMS/día}}{2.8 \text{ TMS/m}^3} = 89 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{Agua} = 250 \text{ TMS/día} \times \frac{100\% - 38\%}{38\%} = 407 \text{ TM/día}$$

$$\text{Pulpa} = 89 \text{ m}^3/\text{día} + 407 \text{ m}^3/\text{día} = 496 \text{ m}^3/\text{día}$$

DISTRIBUCIÓN DE AGUA

$$\text{H}_2\text{O}_{(i)} = 407 \text{ TM/día} (16 \text{ TM/h})$$

$$\text{H}_2\text{O}_{(o)} = 88 \text{ TMS/día} \times \frac{100\% - 22\%}{22\%} = 312 \text{ TM / día} (13 \text{ TM/h})$$

$$13 \text{ TM/h} = k + (1.1 \times 16 \text{ TM/h}) - (10 \times 1\frac{1}{2}) \rightarrow k = 10$$

TAMAÑO DE CORTE CORREGIDO

$$\ln(112 \mu\text{m}) = k + \frac{1\frac{1}{2}}{3.5} - \frac{2}{2.6} + \frac{10 \text{ psi}}{10.7} - \frac{13 \text{ TM/h}}{52} \rightarrow k = 4.3$$

PARTICIÓN CORREGIDA - UNDERFLOW

Abert. (μm)	$E_u(x)_c$	k
351	0.809	0.2
247	0.695	0.1
174	0.684	1.0
124	0.561	2.0
88	0.349	2.6
63	0.158	3.6
45	0.274	0.2*
PROMEDIO		1.5

*Se descarta el $k=0.2$ porque su partición corregida es mayor a la anterior.

Con la fórmula de abajo se halla el valor de "k" para cada Abertura de Malla "x" y para cada " $E_u(x)_c$ " del cuadro de la derecha. Usar el método del tanteo.

$$E_u(x)_c = \frac{e^{\left[\frac{k \times x}{112 \mu\text{m}}\right]} - 1}{e^{\left[\frac{k \times x}{112 \mu\text{m}}\right]} + e^k - 2}$$

CON ÁPEX DE 1¼" TENDREMOS:

FLUJO VOLUMÉTRICO - INLET

$$\text{Pulpa} = 496 \text{ m}^3/\text{día}$$

DISTRIBUCIÓN DE AGUA

$$H_2O_{(i)} = 16 \text{ TM/h}$$

$$H_2O_{(o)} = 10 + (1.1 \times 16 \text{ TM/h}) - (10 \times 1\frac{1}{4}) = 15 \text{ TM/h}$$

$$H_2O_{(u)} = 16 \text{ TM/h} - 15 \text{ TM/h} = 1 \text{ TM/h}$$

$$\text{BY-PASS} = \frac{1 \text{ TM/h}}{16 \text{ TM/h}} = 0.06$$

TAMAÑO DE CORTE CORREGIDO

$$\ln(d50_c) = 4.3 + \frac{1\frac{1}{4}}{3.5} - \frac{2}{2.6} + \frac{10 \text{ psi}}{10.7} - \frac{15 \text{ TM/h}}{52} \rightarrow d50_c = 94 \mu\text{m}$$

PARTICIÓN CORREGIDA - UNDERFLOW

Abert. (μm)	$E_u(x)_c$	$E_u(x)$
351	0.987	0.988
247	0.936	0.939
174	0.812	0.824
124	0.642	0.663
88	0.469	0.501
63	0.332	0.372
45	0.232	0.278

Con las fórmulas de abajo se hallan las nuevas particiones del hidrociclón para cada Abertura de Malla “x”. Con estas nuevas particiones se calcula la nueva distribución granulométrica del overflow y del underflow del hidrociclón.

$$E_u(x)_c = \frac{e^{\left[\frac{1.5 \times x}{94 \mu\text{m}}\right]} - 1}{e^{\left[\frac{1.5 \times x}{94 \mu\text{m}}\right]} + e^{1.5} - 2}$$

$$E_u(x) = (0.06) + E_u(x)_c \times (1 - 0.06)$$

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

La partición “ $E_u(x)$ ” es equivalente a la partición total “ E_t ” en la malla “x” por lo tanto según el concepto de partición total tenemos que $E_u(x) = \text{Peso Sólidos Underflow} / \text{Peso Sólidos Inlet}$. Con estos conceptos elaboramos la siguiente tabla:

Abert. (μm)	$E_u(x)$	INLET		UNDERFLOW		OVERFLOW	
		% peso	peso	peso	% peso	peso	% peso
351	0.988	27.97	69.9	69.1	42.13	0.8	0.93
247	0.939	10.98	27.5	25.8	15.73	1.7	1.98
174	0.824	10.31	25.7	21.2	12.93	4.5	5.23
124	0.663	8.97	22.4	14.9	9.09	7.5	8.72
88	0.501	5.60	14.0	7.0	4.27	7.0	8.14
63	0.372	3.78	9.5	3.5	2.13	6.0	6.98
45	0.278	32.39	81.0	22.5	13.72	58.5	68.02
TOTAL		100	250 TMS/día	164 TMS/día	100	86 TMS/día	100

BALANCE DE MATERIALES

UNDERFLOW

$$\text{Sólidos} = 164 \text{ TMS/día}$$

$$\text{Agua} = 1 \text{ TM/h (24 TM/día)}$$

$$\% \text{ w/w} = \frac{164 \text{ TMS/día}}{164 \text{ TMS/día} + 24 \text{ TM/día}} \times 100 = 87 \%$$

OVERFLOW

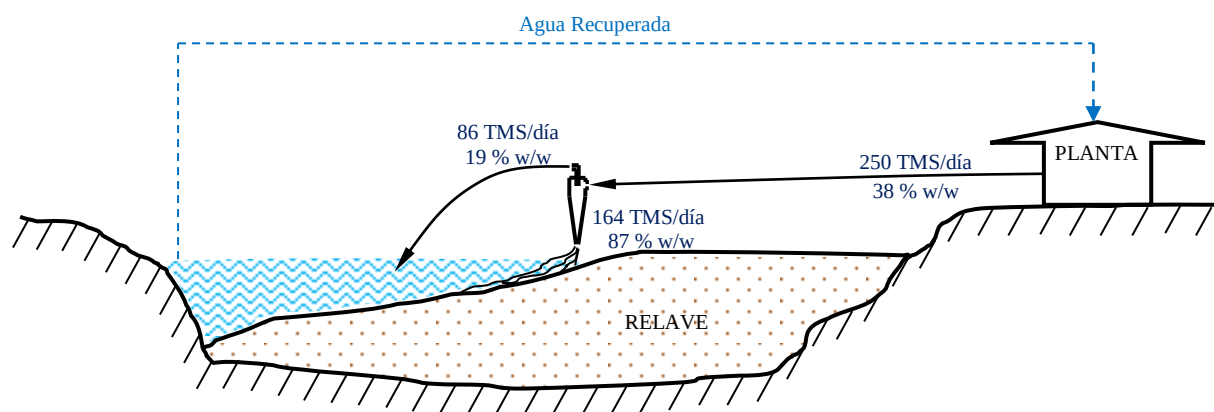
$$\text{Sólidos} = 86 \text{ TMS/día}$$

$$\text{Agua} = 15 \text{ TM/h (360 TM/día)}$$

$$\% \text{ w/w} = \frac{86 \text{ TMS/día}}{86 \text{ TMS/día} + 360 \text{ TM/día}} \times 100 = 19 \%$$

CIRCUITO CON ÁPEX DE 1¼"

Abert. (µm)	INLET % peso	OVERFLOW % peso	UNDERFLOW % peso
351	27.97	0.93	42.13
247	10.98	1.98	15.73
174	10.31	5.23	12.93
124	8.97	8.72	9.09
88	5.60	8.14	4.27
63	3.78	6.98	2.13
45	32.39	68.02	13.72



E13: Se ha instalado un hidrociclón de 10" ø para deslamar un antiguo relave de amalgamación que va a ser cianurado en una planta concentradora tal como se muestra en la figura de abajo.

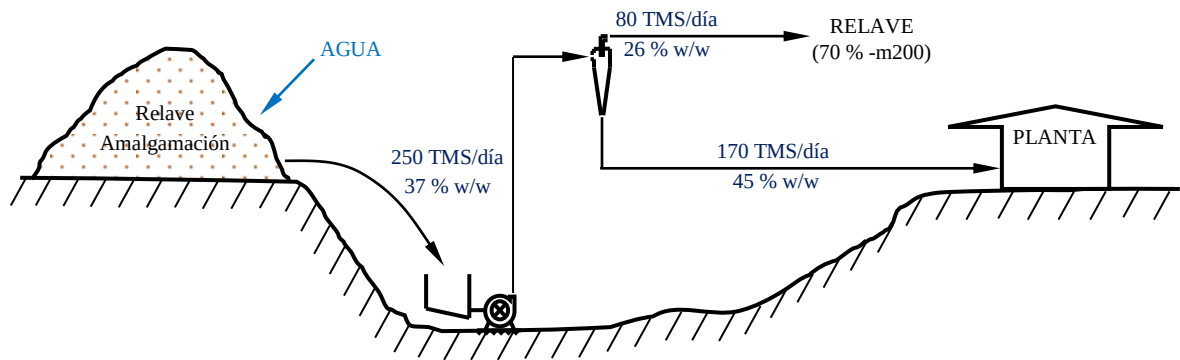
Con el vórtex actual sale mucho mineral grueso (por el overflow del hidrociclón) que no va a ser procesado en la planta concentradora.

Cuál será el % -m200 del overflow si el vórtex se cambia por uno de 2¼"?

Los datos actuales son:

Abert. (µm)	INLET % peso	OVERFLOW % peso	UNDERFLOW % peso	$E_u(x)c$
351	1	0	2	1.000
247	1	0	2	1.000
174	4	0	5	1.000
124	15	1	21	0.957
88	12	16	10	0.159
63	23	28	20	0.222
45	44	55	40	0.230

DATOS	
D_o	= 2"
D_u	= 1½"
G.E.	= 2.8
Presión	= 10 psi
d50c	= 100 µm



SOLUCIÓN:

CON VÓRTEX ACTUAL DE 2" TENEMOS:

FLUJO VOLUMÉTRICO - INLET

$$\text{Sólidos} = \frac{250 \text{ TMS/día}}{2.8 \text{ TMS/m}^3} = 89 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{Agua} = 250 \text{ TMS/día} \times \frac{100\% - 37\%}{37\%} = 425 \text{ TM/día}$$

$$\text{Pulpa} = 89 \text{ m}^3/\text{día} + 425 \text{ m}^3/\text{día} = 514 \text{ m}^3/\text{día} (21 \text{ m}^3/\text{h})$$

$$21 \text{ m}^3/\text{h} = k \times \sqrt{10 \text{ psi}} \times 2'' \times (100\% - 37\%)^{0.125} \rightarrow k = 1.9$$

DISTRIBUCIÓN DE AGUA

$$\text{H}_2\text{O}_{(i)} = 425 \text{ TM/día} (17 \text{ TM/h})$$

$$\text{H}_2\text{O}_{(o)} = 80 \text{ TMS/día} \times \frac{100\% - 26\%}{26\%} = 227 \text{ TM / día} (9 \text{ TM/h})$$

$$\text{H}_2\text{O}_{(u)} = 17 \text{ TM/día} - 9 \text{ TM/h} = 8 \text{ TM/h}$$

TAMAÑO DE CORTE CORREGIDO

$$\ln(100 \mu\text{m}) = k + \frac{1\frac{1}{2}''}{3.5} - \frac{2''}{2.6} + \frac{10 \text{ psi}}{10.7} - \frac{9 \text{ TM/h}}{52} \rightarrow k = 4.1$$

PARTICIÓN CORREGIDA - UNDERFLOW

Abert. (μm)	$E_u(x)_c$	k
351	1.000	2.8
247	1.000	4.6
174	1.000	8.8
124	0.957	13.0
88	0.159	0.1
63	0.222	0.1
45	0.230	0.1*
PROMEDIO		4.9

*Se descarta el $k=0.1$ porque su partición corregida es mayor a la anterior.

Con la fórmula de abajo se halla el valor de “k” para cada Abertura de Malla “x” y para cada “ $E_u(x)_c$ ” del cuadro de la derecha. Usar el método del tanteo.

$$E_u(x)_c = \frac{e^{\left[\frac{k \times x}{100 \mu\text{m}}\right]} - 1}{e^{\left[\frac{k \times x}{100 \mu\text{m}}\right]} + e^k - 2}$$

CON VÓRTEX DE 2¼" TENDREMOS:

FLUJO VOLUMÉTRICO - INLET

$$\text{Pulpa} = 21 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$21 \text{ m}^3/\text{h} = 1.9 \times \sqrt{P} \times 2\frac{1}{4}'' \times (100\% - 37\%)^{0.125} \rightarrow P = 8 \text{ psi}$$

DISTRIBUCIÓN DE AGUA

$$\text{H}_2\text{O}_{(i)} = 17 \text{ TM/h}$$

$$\text{H}_2\text{O}_{(o)} = 9 \text{ TM/h}$$

$$\text{BY-PASS} = \frac{8 \text{ TM/h}}{17 \text{ TM/h}} = 0.47$$

TAMAÑO DE CORTE CORREGIDO

$$\text{Ln}(d50_c) = 4.1 + \frac{1\frac{1}{2}''}{3.5} - \frac{2\frac{1}{4}''}{2.6} + \frac{8 \text{ psi}}{10.7} - \frac{9 \text{ TM/h}}{52} \rightarrow d50_c = 70 \mu\text{m}$$

PARTICIÓN CORREGIDA - UNDERFLOW

Abert. (μm)	$E_u(x)_c$	$E_u(x)$
351	1.000	1.000
247	1.000	1.000
174	0.999	1.000
124	0.978	0.988
88	0.780	0.883
63	0.379	0.671
45	0.143	0.546

Con las fórmulas de abajo se hallan las nuevas particiones del hidrociclón para cada Abertura de Malla "x". Con estas nuevas particiones se calcula la nueva distribución granulométrica del overflow y del underflow del hidrociclón.

$$E_u(x)_c = \frac{e^{\left[\frac{4.9 \times x}{70 \mu\text{m}}\right]} - 1}{e^{\left[\frac{4.9 \times x}{70 \mu\text{m}}\right]} + e^{4.9} - 2}$$

$$E_u(x) = (0.47) + E_u(x)_c \times (1 - 0.47)$$

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

La partición " $E_u(x)$ " es equivalente a la partición total " E_t " en la malla "x" por lo tanto según el concepto de partición total tenemos que $E_u(x) = \text{Peso Sólidos Underflow} / \text{Peso Sólidos Inlet}$. Con estos conceptos elaboramos la siguiente tabla:

Abert. (μm)	$E_u(x)$	INLET	
		% peso	peso
351	1.000	1	2.5
247	1.000	1	2.5
174	1.000	4	10.0
124	0.988	15	37.5
88	0.883	12	30.0
63	0.671	23	57.5
45	0.546	44	110.0
TOTAL		100	250 TMS/día



UNDERFLOW		OVERFLOW	
peso	% peso	peso	% peso
2.5	1.4	0.0	0.0
2.5	1.4	0.0	0.0
10.0	5.7	0.0	0.0
37.0	20.9	0.5	0.7
26.4	14.9	3.6	4.9
38.6	21.8	18.9	25.9
60.0	33.9	50.0	68.5
177 TMS/día	100	73 TMS/día	100

BALANCE DE MATERIALES

UNDERFLOW

$$\text{Sólidos} = 177 \text{ TMS/día}$$

$$\text{Agua} = 8 \text{ TM/h (192 TM/día)}$$

$$\% \text{ w/w} = \frac{177 \text{ TMS/día}}{177 \text{ TMS/día} + 192 \text{ TM/día}} \times 100 = 47\%$$

OVERFLOW

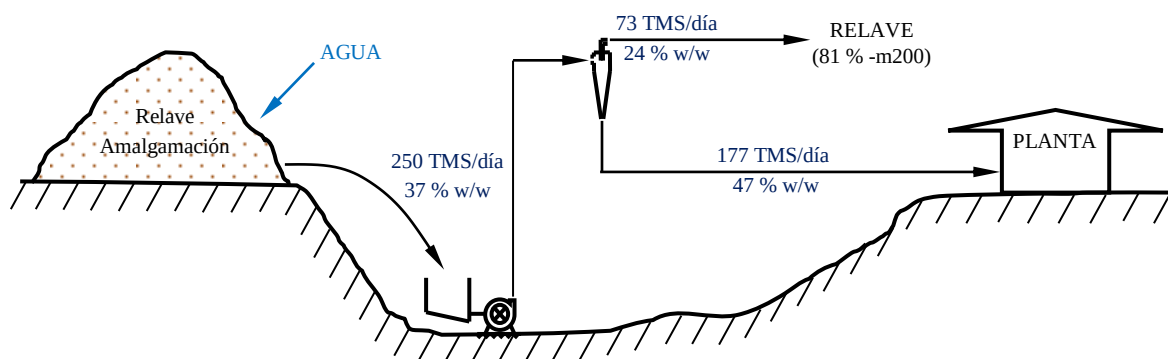
$$\text{Sólidos} = 73 \text{ TMS/día}$$

$$\text{Agua} = 227 \text{ TM/día}$$

$$\% \text{ w/w} = \frac{73 \text{ TMS/día}}{73 \text{ TMS/día} + 227 \text{ TM/día}} \times 100 = 24\%$$

CIRCUITO CON VÓRTEX DE 2¼"

Abert. (µm)	INLET % peso	OVERFLOW % peso	UNDERFLOW % peso
351	1	0.0	1.4
247	1	0.0	1.4
174	4	0.0	5.7
124	15	0.7	20.9
88	12	4.9	14.9
63	23	25.9	21.8
45	44	68.5	33.9



E14: Se ha instalado un hidrociclón de 10" ø en un circuito de molienda/clasificación tal como se muestra en la figura de abajo. El molino de bolas ha sido optimizado para que el overflow del hidrociclón tenga 60 % -m200 pero sólo se obtiene 54 % -m200.

Las alternativas para solucionar este problema son:

- Cambiar el ápex por uno de 1⅜".
- Cambiar el vórtex por uno de 2¼".
- Bajar el % de sólidos en peso del inlet a 55 %.

Cuál de las 3 alternativas se debe elegir?.

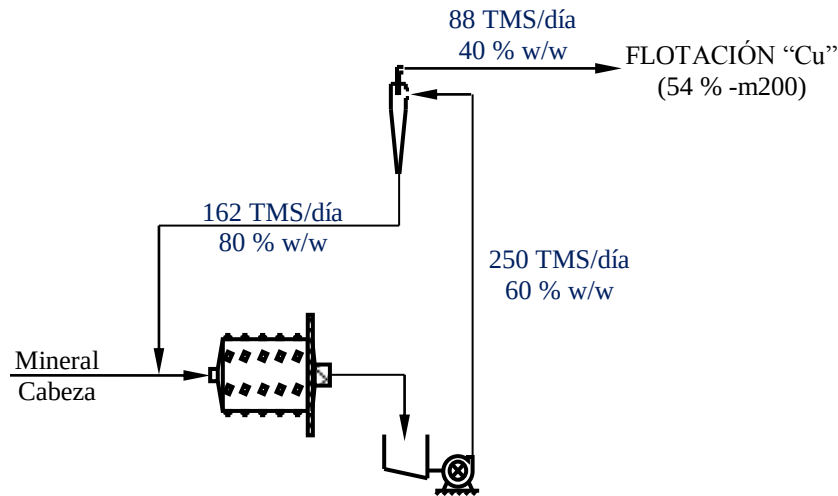
Los datos actuales son:

Abert. (µm)	INLET % peso	OVERFLOW % peso	UNDERFLOW % peso	$E_u(x)_c$
351	27.97	11.57	36.65	0.809
247	10.98	6.84	13.18	0.695
174	10.31	7.07	12.02	0.684
124	8.97	8.55	9.20	0.561
88	5.60	7.93	4.37	0.349

DATOS	
D_o	= 2"
D_u	= 1½"
G.E.	= 2.8

63 45	3.78 32.39	6.90 51.14	2.11 22.47	0.158 0.274
----------	---------------	---------------	---------------	----------------

Presión = 10 psi
d50c = 112 μm



SOLUCIÓN:

CON ÁPEX ACTUAL DE 1½" TENEMOS:

FLUJO VOLUMÉTRICO - INLET

$$\text{Sólidos} = \frac{250 \text{ TMS/día}}{2.8 \text{ TMS/m}^3} = 89 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{Agua} = 250 \text{ TMS/día} \times \frac{100 \% - 60 \%}{60 \%} = 166 \text{ TM/día}$$

$$\text{Pulpa} = 89 \text{ m}^3/\text{día} + 166 \text{ m}^3/\text{día} = 255 \text{ m}^3/\text{día}$$

DISTRIBUCIÓN DE AGUA

$$\text{H}_2\text{O}_{(i)} = 166 \text{ TM/día} (7 \text{ TM/h})$$

$$\text{H}_2\text{O}_{(o)} = 88 \text{ TMS/día} \times \frac{100 \% - 40 \%}{40 \%} = 132 \text{ TM / día} (5 \text{ TM/h})$$

$$5 \text{ TM/h} = k + (1.1 \times 7 \text{ TM/h}) - (10 \times 1\frac{1}{2} \text{ TM/h}) \rightarrow k = 12$$

TAMAÑO DE CORTE CORREGIDO

$$\text{Ln}(112 \mu\text{m}) = k + \frac{1\frac{1}{2} \text{ TM/h}}{3.5} - \frac{2 \text{ TM/h}}{2.6} + \frac{10 \text{ psi}}{10.7} - \frac{5 \text{ TM/h}}{52} \rightarrow k = 4.2$$

Abert. (μm)	$E_u(x)c$	k
351	0.809	0.2
247	0.695	0.1
174	0.684	1.0

124	0.561	2.0
88	0.349	2.6
63	0.158	3.6
45	0.274	0.2*
PROMEDIO		1.5

*Se descarta el k=0.2 porque su partición corregida es mayor a la anterior.

PARTICIÓN CORREGIDA - UNDERFLOW

Con la fórmula de abajo se halla el valor de “k” para cada Abertura de Malla “x” y para cada “ $E_u(x)_c$ ” del cuadro de la derecha. Usar el método del tanteo.

$$E_u(x)_c = \frac{e^{\left[\frac{k \times x}{112 \mu m}\right]} - 1}{e^{\left[\frac{k \times x}{112 \mu m}\right]} + e^k - 2}$$

CON ÁPEX DE 1 $\frac{3}{8}$ " TENDREMOS:

FLUJO VOLUMÉTRICO - INLET

Pulpa = 255 m³/día

DISTRIBUCIÓN DE AGUA

H₂O_(i) = 7 TM/h

H₂O_(o) = 12 + (1.1 × 7 TM/h) – (10 × 1 $\frac{3}{8}$ ") = 6 TM/h

H₂O_(u) = 7 TM/h - 6 TM/h = 1 TM/h

$$BY - PASS = \frac{1 \text{ TM/h}}{7 \text{ TM/h}} = 0.14$$

TAMAÑO DE CORTE CORREGIDO

$$\ln(d50_c) = 4.2 + \frac{1 \frac{3}{8}''}{3.5} - \frac{2''}{2.6} + \frac{10 \text{ psi}}{10.7} - \frac{6 \text{ TM/h}}{52} \rightarrow d50_c = 104 \mu m$$

PARTICIÓN CORREGIDA - UNDERFLOW

Abert. (μm)	$E_u(x)_c$	$E_u(x)$
351	0.978	0.981
247	0.908	0.921
174	0.765	0.798
124	0.589	0.646
88	0.424	0.504
63	0.298	0.397
45	0.208	0.319

Con las fórmulas de abajo se hallan las nuevas particiones del hidrociclón para cada Abertura de Malla “x”. Con estas nuevas particiones se calcula la nueva distribución granulométrica del overflow y del underflow del hidrociclón.

$$E_u(x)_c = \frac{e^{\left[\frac{1.5 \times x}{104 \mu m}\right]} - 1}{e^{\left[\frac{1.5 \times x}{104 \mu m}\right]} + e^{1.5} - 2}$$

$$E_u(x) = (0.14) + E_u(x)_c \times (1 - 0.14)$$

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

La partición “ $E_u(x)$ ” es equivalente a la partición total “ E_t ” en la malla “x” por lo tanto según el concepto de partición total tenemos que $E_u(x)$ = Peso Sólidos Underflow/Peso Sólidos Inlet. Con estos conceptos elaboramos la siguiente tabla:

Abert. (μm)	$E_u(x)$	INLET	
		% peso	peso
351	0.981	27.97	69.9
247	0.921	10.98	27.5
174	0.798	10.31	25.7
124	0.646	8.97	22.4
88	0.504	5.60	14.0
63	0.397	3.78	9.5



UNDERFLOW		OVERFLOW	
peso	% peso	peso	% peso
68.5	41.5	1.4	1.6
25.3	15.3	2.2	2.6
20.5	12.4	5.2	6.1
14.3	8.7	8.1	9.6
7.0	4.2	7.0	8.2
3.6	2.2	5.9	6.9

45	0.319	32.39	81.0
TOTAL		100	250 TMS/día

25.8	15.7	55.2	65.0
165 TMS/día	100	85 TMS/día	100

BALANCE DE MATERIALES

UNDERFLOW

Sólidos = 165 TMS/día

Agua = 1 TM/h (24 TM/día)

$$\% \text{ w/w} = \frac{165 \text{ TMS/día}}{165 \text{ TMS/día} + 24 \text{ TM/día}} \times 100 = 87 \%$$

OVERFLOW

Sólidos = 85 TMS/día

Agua = 6 TM/h (144 TM/día)

$$\% \text{ w/w} = \frac{85 \text{ TMS/día}}{85 \text{ TMS/día} + 144 \text{ TM/día}} \times 100 = 37 \%$$

CON VÓRTEX ACTUAL DE 2" TENEMOS:

FLUJO VOLUMÉTRICO - INLET

Pulpa = 255 m³/día (10 m³/h)

$$10 \text{ m}^3/\text{h} = k \times \sqrt{10 \text{ psi} \times 2"} \times (100 \% - 60 \%)^{0.125} \rightarrow k = 1.0$$

DISTRIBUCIÓN DE AGUA

H₂O_(i) = 7 TM/h

H₂O_(o) = 5 TM/h

TAMAÑO DE CORTE CORREGIDO

$$\ln(112 \mu\text{m}) = k + \frac{1\frac{1}{2}"}{3.5} - \frac{2"}{2.6} + \frac{10 \text{ psi}}{10.7} - \frac{5 \text{ TM/h}}{52} \rightarrow k = 4.2$$

PARTICIÓN CORREGIDA - UNDERFLOW

Abert. (μm)	E _u (x) _c	k
351	0.809	0.2
247	0.695	0.1
174	0.684	1.0
124	0.561	2.0
88	0.349	2.6
63	0.158	3.6
45	0.274	0.2*
PROMEDIO		1.5

*Se descarta el k=0.2 porque su partición corregida es mayor a la anterior.

Con la fórmula de abajo se halla el valor de “k” para cada Abertura de Malla “x” y para cada “E_u(x)_c” del cuadro de la derecha. Usar el método del tanteo.

$$E_u(x)_c = \frac{e^{\left[\frac{k \times x}{112 \mu\text{m}}\right]} - 1}{e^{\left[\frac{k \times x}{112 \mu\text{m}}\right]} + e^k - 2}$$

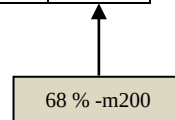
CON VÓRTEX DE 2¼" TENDREMOS:

FLUJO VOLUMÉTRICO - INLET

Pulpa = 10 m³/h

$$10 \text{ m}^3/\text{h} = 1.0 \times \sqrt{P} \times 2\frac{1}{4} \times (100 \% - 60 \%)^{0.125} \rightarrow P = 8 \text{ psi}$$

DISTRIBUCIÓN DE AGUA



$$H_2O_{(i)} = 7 \text{ TM/h}$$

$$H_2O_{(o)} = 5 \text{ TM/h}$$

$$BY - PASS = \frac{2 \text{ TM/h}}{7 \text{ TM/h}} = 0.28$$

TAMAÑO DE CORTE CORREGIDO

$$\ln(d50_c) = 4.2 + \frac{1\frac{1}{2}''}{3.5} - \frac{2\frac{1}{4}''}{2.6} + \frac{8 \text{ psi}}{10.7} - \frac{5 \text{ TM/h}}{52} \rightarrow d50_c = 82 \mu\text{m}$$

PARTICIÓN CORREGIDA - UNDERFLOW

Abert. (μm)	$E_u(x)_c$	$E_u(x)$
351	0.994	0.996
247	0.963	0.973
174	0.869	0.906
124	0.713	0.794
88	0.535	0.665
63	0.383	0.556
45	0.268	0.473

Con las fórmulas de abajo se hallan las nuevas particiones del hidrociclón para cada Abertura de Malla "x". Con estas nuevas particiones se calcula la nueva distribución granulométrica del overflow y del underflow del hidrociclón.

$$E_u(x)_c = \frac{e^{\left[\frac{1.5 \times x}{82 \mu\text{m}}\right]} - 1}{e^{\left[\frac{1.5 \times x}{82 \mu\text{m}}\right]} + e^{1.5} - 2}$$

$$E_u(x) = (0.28) + E_u(x)_c \times (1 - 0.28)$$

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

La partición " $E_u(x)$ " es equivalente a la partición total " E_t " en la malla "x" por lo tanto según el concepto de partición total tenemos que $E_u(x) = \text{Peso Sólidos Underflow} / \text{Peso Sólidos Inlet}$. Con estos conceptos elaboramos la siguiente tabla:

Abert. (μm)	$E_u(x)$	INLET	
		% peso	peso
351	0.996	27.97	69.9
247	0.973	10.98	27.5
174	0.906	10.31	25.7
124	0.794	8.97	22.4
88	0.665	5.60	14.0
63	0.556	3.78	9.5
45	0.473	32.39	81.0
TOTAL		100	250 TMS/día



UNDERFLOW		OVERFLOW	
peso	% peso	peso	% peso
69.6	36.6	0.3	0.5
26.7	14.0	0.8	1.3
23.2	12.2	2.5	4.2
17.7	9.3	4.7	7.8
9.3	4.9	4.7	7.8
5.2	2.7	4.3	7.2
38.3	20.3	42.7	71.2
190 TMS/día	100	60 TMS/día	100

74 % -m200

BALANCE DE MATERIALES

UNDERFLOW

Sólidos = 190 TMS/día

Agua = 2 TM/h (48 TM/día)

$$\% w/w = \frac{190 \text{ TMS/día}}{190 \text{ TMS/día} + 48 \text{ TM/día}} \times 100 = 80 \%$$

OVERFLOW

Sólidos = 60 TMS/día

Agua = 5 TM/h (120 TM/día)

$$\% w/w = \frac{60 \text{ TMS/día}}{60 \text{ TMS/día} + 120 \text{ TM/día}} \times 100 = 33 \%$$

CON 60 % w/w EN INLET TENEMOS:

FLUJO VOLUMÉTRICO - INLET

Pulpa = 255 m³/día (10 m³/h)

$$10 \text{ m}^3/\text{h} = k \times \sqrt{10 \text{ psi} \times 2''} \times (100 \% - 60 \%)^{0.125} \rightarrow k = 1.0$$

DISTRIBUCIÓN DE AGUA

$$H_2O_{(i)} = 7 \text{ TM/h}$$

$$H_2O_{(o)} = 5 \text{ TM/h}$$

$$5 \text{ TM/h} = k + (1.1 \times 7 \text{ TM/h}) - (10 \times 1\frac{1}{2}'') \rightarrow k = 12$$

TAMAÑO DE CORTE CORREGIDO

$$\ln(112 \mu\text{m}) = k + \frac{1\frac{1}{2}''}{3.5} - \frac{2''}{2.6} + \frac{10 \text{ psi}}{10.7} - \frac{5 \text{ TM/h}}{52} \rightarrow k = 4.2$$

PARTICIÓN CORREGIDA - UNDERFLOW

Abert. (μm)	$E_u(x)_c$	k
351	0.809	0.2
247	0.695	0.1
174	0.684	1.0
124	0.561	2.0
88	0.349	2.6
63	0.158	3.6
45	0.274	0.2*
PROMEDIO	1.5	

*Se descarta el $k=0.2$ porque su partición corregida es mayor a la anterior.

Con la fórmula de abajo se halla el valor de “k” para cada Abertura de Malla “x” y para cada “ $E_u(x)_c$ ” del cuadro de la derecha. Usar el método del tanteo.

$$E_u(x)_c = \frac{e^{\left[\frac{k \times x}{112 \mu\text{m}} \right]} - 1}{e^{\left[\frac{k \times x}{112 \mu\text{m}} \right]} + e^k - 2}$$

CON 55 % w/w EN INLET TENDREMOS:

FLUJO VOLUMÉTRICO – INLET

$$\text{Sólidos} = \frac{250 \text{ TMS/día}}{2.8 \text{ TMS/m}^3} = 89 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{Agua} = 250 \text{ TMS/día} \times \frac{100 \% - 55 \%}{55 \%} = 204 \text{ TM/día}$$

$$\text{Pulpa} = 89 \text{ m}^3/\text{día} + 204 \text{ m}^3/\text{día} = 293 \text{ m}^3/\text{día} (12 \text{ m}^3/\text{h})$$

$$12 \text{ m}^3/\text{h} = 1.0 \times \sqrt{P} \times 2'' \times (100 \% - 55 \%)^{0.125} \rightarrow P = 13 \text{ psi}$$

DISTRIBUCIÓN DE AGUA

$$H_2O_{(i)} = 204 \text{ TM/día} (8 \text{ TM/h})$$

$$H_2O_{(o)} = 12 + (1.1 \times 8 \text{ TM/h}) - (10 \times 1\frac{1}{2}'') = 5 \text{ TM/h}$$

$$H_2O_{(u)} = 8 \text{ TM/h} - 5 \text{ TM/h} = 3 \text{ TM/h}$$

$$\text{BY - PASS} = \frac{3 \text{ TM/h}}{8 \text{ TM/h}} = 0.37$$

TAMAÑO DE CORTE CORREGIDO

$$\ln(d50_c) = 4.2 + \frac{1\frac{1}{2}''}{3.5} - \frac{2''}{2.6} + \frac{13 \text{ psi}}{10.7} - \frac{5 \text{ TM/h}}{52} \rightarrow d50_c = 145 \mu\text{m}$$

Abert. (μm)	$E_u(x)_c$	$E_u(x)$
351	0.914	0.946
247	0.773	0.857
174	0.592	0.743

124	0.428	0.640
88	0.299	0.558
63	0.209	0.502
45	0.145	0.462

PARTICIÓN CORREGIDA - UNDERFLOW

Con las fórmulas de abajo se hallan las nuevas particiones del hidrociclón para cada Abertura de Malla “x”. Con estas nuevas particiones se calcula la nueva distribución granulométrica del overflow y del underflow del hidrociclón.

$$E_u(x)_c = \frac{e^{\left[\frac{1.5 \times x}{145 \mu m}\right]} - 1}{e^{\left[\frac{1.5 \times x}{145 \mu m}\right]} + e^{1.5} - 2}$$

$$E_u(x) = (0.37) + E_u(x)_c \times (1 - 0.37)$$

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

La partición “ $E_u(x)$ ” es equivalente a la partición total “ E_t ” en la malla “x” por lo tanto según el concepto de partición total tenemos que $E_u(x) = \text{Peso Sólidos Underflow} / \text{Peso Sólidos Inlet}$. Con estos conceptos elaboramos la siguiente tabla:

Abert. (μm)	$E_u(x)$	INLET	
		% peso	peso
351	0.946	27.97	69.9
247	0.857	10.98	27.5
174	0.743	10.31	25.7
124	0.640	8.97	22.4
88	0.558	5.60	14.0
63	0.502	3.78	9.5
45	0.462	32.39	81.0
TOTAL		100	250 TMS/día



UNDERFLOW		OVERFLOW	
peso	% peso	peso	% peso
66.1	38.2	3.8	4.9
23.5	13.6	4.0	5.2
19.1	11.0	6.6	8.6
14.3	8.3	8.1	10.5
7.8	4.5	6.2	8.1
4.8	2.8	4.7	6.1
37.4	21.6	43.6	56.6
173 TMS/día	100	77 TMS/día	100



59 % -m200

BALANCE DE MATERIALES

UNDERFLOW

Sólidos = 173 TMS/día

Agua = 3 TM/h (72 TM/día)

$$\% w/w = \frac{173 \text{ TMS/día}}{173 \text{ TMS/día} + 72 \text{ TM/día}} \times 100 = 70 \%$$

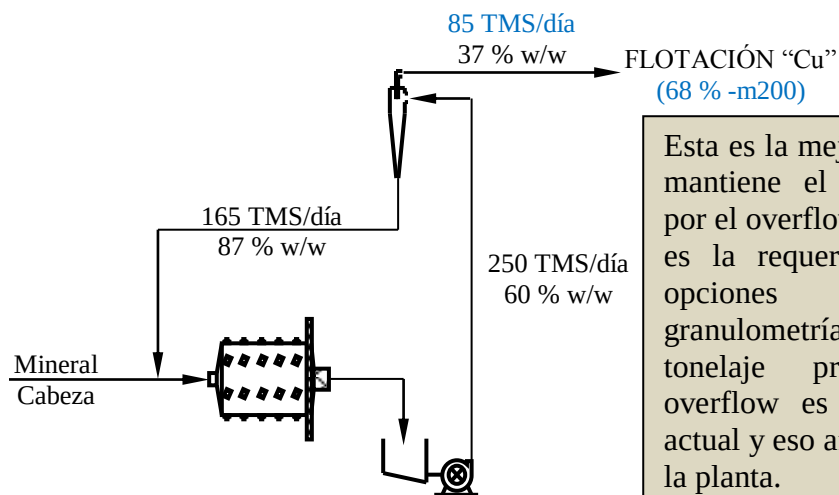
OVERFLOW

Sólidos = 77 TMS/día

Agua = 5 TM/h (120 TM/día)

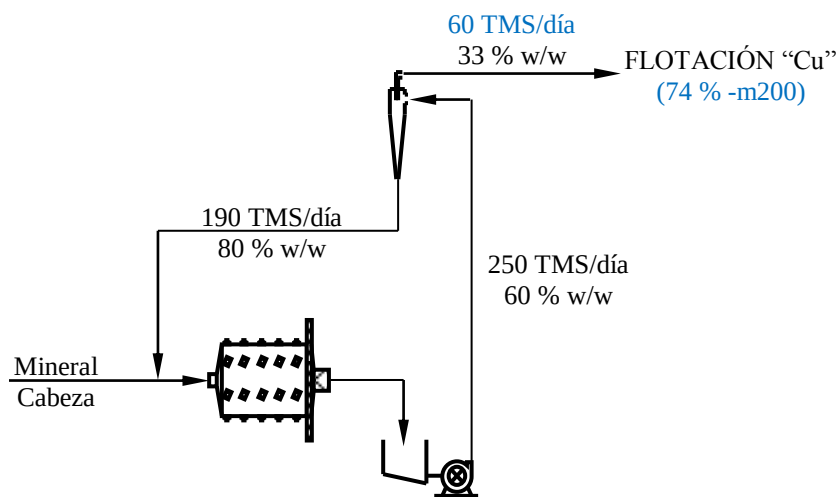
$$\% w/w = \frac{77 \text{ TMS/día}}{77 \text{ TMS/día} + 120 \text{ TM/día}} \times 100 = 39 \%$$

CIRCUITO CON ÁPEX DE 1⅜"

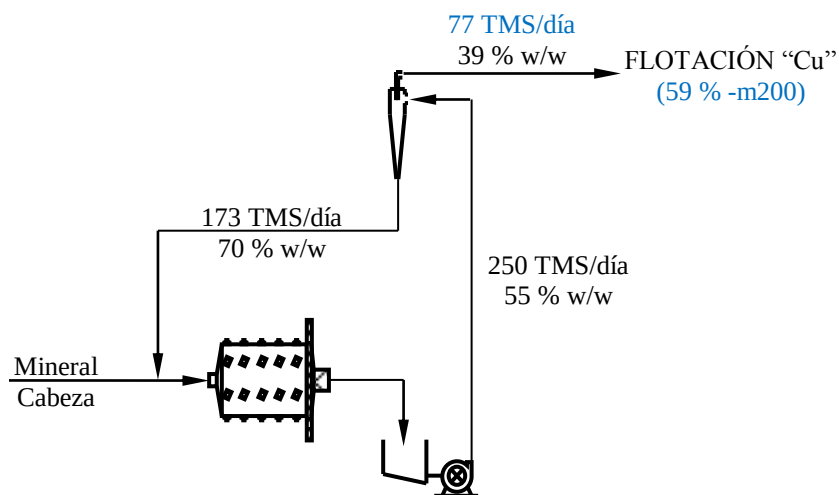


Esta es la mejor opción porque se mantiene el tonelaje producido por el overflow y la granulometría es la requerida. Con las otras opciones se obtiene la granulometría requerida pero el tonelaje producido por el overflow es mucho menor del actual y eso afecta la economía de la planta.

CIRCUITO CON VÓRTEX DE 2¼"



CIRCUITO CON 55 % w/w EN INLET



E15: En una planta concentradora se procesan 790 TMS/día de pirita aurífera con un circuito cerrado de molienda/clasificación. El mineral tiene oro refractario y requiere molienda hasta un tamaño de corte de 20 μm .

El overflow tiene una densidad de 1.26 g/ml.

La pulpa que ingresa a la clasificación tiene una densidad de 1.32 g/ml y una presión de 12 psi. La dilución L/S en el cajón de la bomba es 2/1.

El 70 % de la alimentación (a la clasificación) retorna por el underflow.

- Hallar el # de hidrociclones y sus dimensiones.
- Por desperfectos en la bomba, se cambia por otra que produce el mismo flujo pero a una presión de 11 psi; además se requiere un tamaño de corte más fino que el actual (de 60 % menos la malla de corte hasta 80 % la misma malla). Hallar el ápex que se necesita para lograr esto.

SOLUCIÓN:

- Primero debemos calcular el flujo de pulpa del inlet y luego usamos el método empírico de Krebs Engineers para hallar el diámetro del hidrociclón a instalar.

$$\% w/w_{\text{inlet}} = \frac{1 \text{ parte de sólidos}}{1 \text{ parte de sólidos} + 2 \text{ partes de agua}} \times 100 = 33 \%$$

$$\text{G.E.} = \frac{1}{1 - \frac{100 \times (1.32 \text{ g/ml} - 1)}{33 \% \times 1.32 \text{ g/ml}}} = 3.6$$

$$\% v/v_{\text{inlet}} = \frac{100}{1 + 3.6 \times \left[\frac{100}{33 \%} - 1 \right]} = 12 \%$$

El overflow tiene 60 % - 20 μm por lo tanto el FACTOR = 2.08 y el $d_{50c} = 2.08 \times 20 \mu\text{m} = 41 \mu\text{m}$. Los factores específicos de operación son:

$$C_1 = 1.43 \text{ para } 12 \% v/v$$

$$C_2 = 0.94 \text{ para } 12 \text{ psi de presión}$$

$$C_3 = 0.79 \text{ para } 3.6 \text{ de G.E.}$$

Por lo tanto

$$d_{50c} (\text{base}) = \frac{41 \mu\text{m}}{(1.43) \times (0.94) \times (0.79)} = 38 \mu\text{m}$$

$$38 \mu\text{m} = 2.84 \times D_c^{0.66} \rightarrow D_c = 50 \text{ cm (20") } \rightarrow D_c = \mathbf{20''}$$

$$\text{Sólidos Inlet} = \frac{790 \text{ TMS/día}}{100 \% - 70 \%} = 2,633 \text{ TMS/día (731 m}^3\text{/día)}$$

$$\text{Agua Inlet} = 2,633 \text{ TMS/día} \times \frac{100 \% - 33 \%}{33 \%} = 5,345 \text{ TM/día}$$

$$\text{Pulpa Inlet} = 731 \text{ m}^3\text{/día} + 5,345 \text{ m}^3\text{/día} = 6,076 \text{ m}^3 / \text{día (70 l/s)}$$

En la figura 9 vemos que la capacidad de este hidrociclón es 55 l/s a 12 psi de presión, por lo tanto :

$$\# \text{ Unidades} = \frac{70 \text{ l/s}}{55 \text{ l/s}} = 1.2 \rightarrow \mathbf{1 \text{ hidrociclón de } 20''}$$

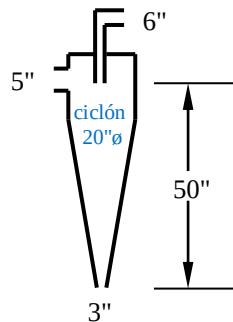
Las dimensiones de este hidrociclón son:

$$\text{Vórtex } (D_o) = 0.30 \times 20'' = 6''$$

$$\text{Ápex } (D_u) = 0.15 \times 20'' = 3''$$

$$\text{Inlet } (D_i) = 0.25 \times 20'' = 5''$$

$$\text{Altura } (H_c) = 2.50 \times 20'' = 50''$$



b) **CON ÁPEX ACTUAL TENEMOS:**

FLUJO VOLUMÉTRICO - INLET

$$\text{Pulpa} = 6,076 \text{ m}^3/\text{día}$$

DISTRIBUCIÓN DE AGUA

$$H_2O_{(i)} = 5,345 \text{ TM/día (222 TM/h)}$$

$$\% \text{ w/w}_{\text{overflow}} = \frac{100 \times (1.26 \text{ g/ml} - 1)}{1.26 \text{ g/ml} \times \left[1 - \frac{1}{3.6} \right]} = 28 \%$$

$$H_2O_{(o)} = 790 \text{ TMS/día} \times \frac{100 \% - 28 \%}{28 \%} = 2,031 \text{ TM / día (84 TM/h)}$$

$$84 \text{ TM/h} = k + (1.1 \times 222 \text{ TM/h}) - (10 \times 3'') \rightarrow k = -130$$

TAMAÑO DE CORTE CORREGIDO

$$\ln(41 \mu\text{m}) = k + \frac{3''}{3.5} - \frac{6''}{2.6} + \frac{12 \text{ psi}}{10.7} - \frac{84 \text{ TM/h}}{52} \rightarrow k = 5.6$$

CON NUEVO ÁPEX TENDREMOS:

FLUJO VOLUMÉTRICO - INLET

$$\text{Pulpa} = 6,076 \text{ m}^3/\text{día}$$

DISTRIBUCIÓN DE AGUA

$$H_2O_{(i)} = 222 \text{ TM/h}$$

$$H_2O_{(o)} = -130 + (1.1 \times 222 \text{ TM/h}) - (10 \times D_u) \dots \dots \dots (1)$$

TAMAÑO DE CORTE CORREGIDO

$$\ln(1.25 \times 20 \mu\text{m}) = 5.6 + \frac{D_u}{3.5} - \frac{6''}{2.6} + \frac{11 \text{ psi}}{10.7} - \frac{H_2O_{(o)}}{52} \dots \dots \dots (2)$$

POR LO TANTO

Resolviendo la ecuación (1) y (2) tenemos que el ápex es 2.3 pulgadas lo cual nos lleva a decidir entre un ápex de 2.25" ó uno de 2.50"; sin embargo, se elige el de mayor diámetro para que el cambio no desequilibre tanto el balance de materiales. En este caso:

$$D_u = 2\frac{1}{2}''$$

E16: En el dimensionamiento de un hidrociclón se usó el tamaño de corte que ha sido calculado con el análisis granulométrico y el R_f de la pulpa (d50 corregido). La presión de operación fue 40.67 kPa trabajando con una alimentación al hidrociclón de 27.027 % de sólidos en volumen.

Ahora, se desea incrementar la capacidad de la planta en 37 % y por lo tanto el hidrociclón debe cambiarse por otro. Hallar:

- Las dimensiones del nuevo hidrociclón para el mismo tamaño de corte.
- La densidad del overflow para 50 kPa de presión y con el mismo ápex.

MALLA TYLER	INLET % peso	OVERFLOW % peso	UNDERFLOW % peso
48	41.7	1.0	55.0
65	15.5	6.7	18.4
100	9.6	9.3	9.7
150	5.6	10.4	4.0
200	6.4	12.0	4.6
-200	21.2	60.6	8.3

$R_f = 0.40$

Dens. Pulpa Inlet = 1.46 g/ml

SOLUCIÓN:

- Primero calculamos la carga circulante “cc” con la siguiente fórmula:

$$cc = \frac{f_o(x) - f_i(x)}{f_i(x) - f_u(x)}$$

MALLA TYLER	INLET $f_i(x)$	OVERFLOW $f_o(x)$	UNDERFLOW $f_u(x)$	cc
48	41.7	1.0	55.0	3.1
65	15.5	6.7	18.4	3.0
100	9.6	9.3	9.7	3.0
150	5.6	10.4	4.0	3.0
200	6.4	12.0	4.6	3.1
-200	21.2	60.6	8.3	3.1
PROMEDIO				3.1

Por lo tanto:

$$E_t = \frac{1}{\left[\frac{1}{3.1} + 1 \right]} = 0.75$$

En el inlet :

$$G.E. = 1 + \frac{100 \times (1.46 \text{ g/ml} - 1)}{27.027 \%} = 2.7$$

$$\% \text{ w/w} = 100 - \left[\frac{100 - 27.027 \%}{1.46 \text{ g/ml}} \right] = 50 \%$$

$$0.40 = \frac{0.75 \times \left[\frac{1}{2.7} + \frac{100}{\% \text{ w/w}_{\text{underflow}}} - 1 \right]}{\left[\frac{1}{2.7} + \frac{100}{50 \%} - 1 \right]} \rightarrow \% \text{ w/w}_{\text{underflow}} = 73 \%$$

$$50 \% = \frac{1}{\frac{(1 - 0.75)}{\% \text{ w/w}_{\text{overflow}}} + \frac{0.75}{73 \%}} \rightarrow \% \text{ w/w}_{\text{overflow}} = 25 \%$$

Según los datos :

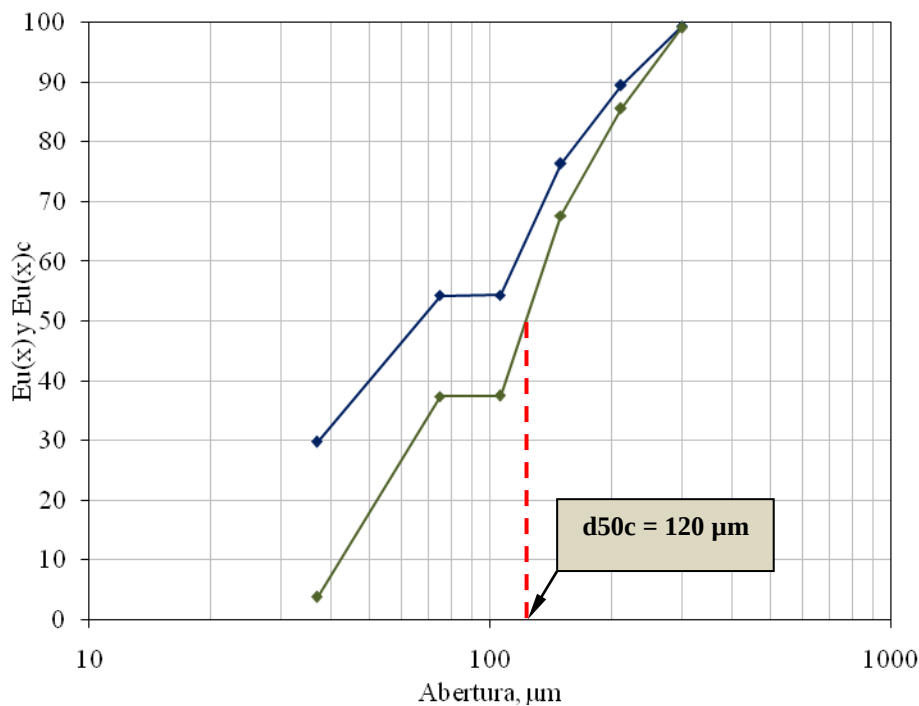
$$BY - PASS = 0.75 \times \left[\frac{\frac{1}{73\%} - 1}{\frac{1}{50\%} - 1} \right] = 0.27$$

Abert. (μm)	$E_u(x)$	$E_u(x)_c$
300	0.994	0.991
212	0.895	0.856
150	0.764	0.677
106	0.544	0.375
75	0.543	0.374
37	0.298	0.038

$$E_u(x) = \frac{f_u(x)}{f_u(x) + \frac{f_o(x)}{3.1}}$$

$$E_u(x)_c = \frac{E_u(x) - (0.27)}{1 - (0.27)}$$

CURVA DE PARTICIÓN - MÉTODO DE LAS EFICIENCIAS



Ahora calculamos el diámetro del hidrociclón con el método empírico de Krebs Engineers. Los factores específicos de operación son:

$C_1 = 2.77$ para 27.027 % v/v

$C_2 = 1.15$ para 40.67 kPa de presión

$C_3 = 0.98$ para 2.7 de G.E.

Por lo tanto:

$$d_{50c}(\text{base}) = \frac{120 \mu\text{m}}{(2.77) \times (1.15) \times (0.98)} = 38 \mu\text{m}$$

$$38 \mu\text{m} = 2.84 \times D_c^{0.66} \rightarrow D_c = 51 \text{ cm (20") } \rightarrow D_c = 20"$$

En la figura 9 vemos que la capacidad de este hidrociclón es 36 l/s a 40.67 kPa (6 psi) de presión por lo tanto ese es el flujo actual de la planta y el nuevo flujo a procesar será $1.37 \times 36 \text{ l/s} = 50 \text{ l/s}$ (106 pie^3/min).

Ahora usamos la fórmula de Plitt para hallar el nuevo diámetro del hidrociclón teniendo en cuenta las siguientes proporciones geométricas:

$$D_o = 0.20 D_c \text{ (valor asumido).}$$

$$D_u = 0.12 D_c \text{ (valor asumido).}$$

$$D_i = 0.25 D_c \text{ (valor asumido).}$$

$$H_c = 2.50 D_c \text{ (valor asumido).}$$

$$120 \mu\text{m} = \frac{35 \times (D_c)^{0.46} \times (0.25 D_c)^{0.6} \times (0.20 D_c)^{1.21} \times e^{0.063 \times 27.027 \%}}{(0.12 D_c)^{0.71} \times (2.5 D_c)^{0.38} \times \left(\frac{106 \text{ pie}^3 / \text{min}}{1 \text{ ciclón}} \right)^{0.45} \times (2.7 - 1)^{0.5}} \rightarrow D_c = 19.6'' \rightarrow 20''$$

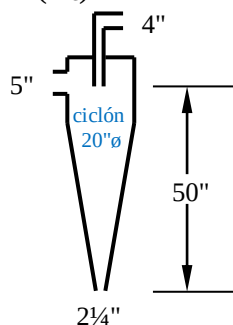
Los resultados indican que con el mismo hidrociclón de 20" ø se puede tratar el nuevo flujo de pulpa; por lo tanto, las dimensiones del nuevo hidrociclón son:

$$\text{Vórtex } (D_o) = 0.20 \times 20'' = 4''$$

$$\text{Ápex } (D_u) = 0.12 \times 20'' = 2.4'' \rightarrow 2\frac{1}{4}''$$

$$\text{Inlet } (D_i) = 0.25 \times 20'' = 5''$$

$$\text{Altura } (H_c) = 2.5 \times 20'' = 50''$$



b) **CON LA PRESIÓN Y FLUJO ACTUAL TENEMOS:**
FLUJO VOLUMÉTRICO - INLET

$$\text{Pulpa} = 3,110 \text{ m}^3 / \text{día} (36 \text{ l/s})$$

DISTRIBUCIÓN DE AGUA

$$H_2O_{(i)} = 3,110 \text{ m}^3 / \text{día} \times (100 \% - 27.027 \%) = 2,269 \text{ m}^3 / \text{día} (94 \text{ TM/h})$$

$$H_2O_{(o)} = 94 \text{ TM/h} \times (1 - 0.27) = 68 \text{ TM/h}$$

$$68 \text{ TM/h} = k + (1.1 \times 94 \text{ TM/h}) - 10 \times 2\frac{1}{4}'' \rightarrow k = -12$$

TAMAÑO DE CORTE CORREGIDO

$$\ln(120 \mu\text{m}) = k + \frac{2\frac{1}{4}''}{3.5} - \frac{4''}{2.6} + \frac{6 \text{ psi}}{10.7} - \frac{68 \text{ TM/h}}{52} \rightarrow k = 6.4$$

PARTICIÓN CORREGIDA - UNDERFLOW

Abert. (μm)	E _{u(x)c}	k
300	0.991	3.0
212	0.856	2.2
150	0.677	2.8
106	0.375	4.2
75	0.374	0.3
37	0.038	4.2
PROMEDIO		2.7

Con la fórmula de abajo se halla el valor de “k” para cada Abertura de Malla “x” y para cada “E_{u(x)c}” del cuadro de la derecha. Usar el método del tanteo.

$$E_{u(x)c} = \frac{e^{\left[\frac{k \times x}{120 \mu\text{m}} \right]} - 1}{e^{\left[\frac{k \times x}{120 \mu\text{m}} \right]} + e^k - 2}$$

CON LA PRESIÓN DE 50 kPa Y FLUJO DE 50 l/s TENDREMOS:

FLUJO VOLUMÉTRICO - INLET

$$\text{Pulpa} = 4,320 \text{ m}^3/\text{día} (50 \text{ l/s})$$

$$\text{Sólidos} = 4,320 \text{ m}^3/\text{día} \times 27.027 \% \times 2.7 = 3,152 \text{ TMS/día}$$

DISTRIBUCIÓN DE AGUA

$$\text{H}_2\text{O}_{(i)} = 4,320 \text{ m}^3/\text{día} \times (100 \% - 27.027 \%) = 3,152 \text{ m}^3/\text{día} (131 \text{ TM/h})$$

$$\text{H}_2\text{O}_{(o)} = -12 + (1.1 \times 131 \text{ TM/h}) - 10 \times 2\frac{1}{4}'' = 109 \text{ TM/h}$$

$$\text{BY - PASS} = \frac{131 \text{ TM/h} - 109 \text{ TM/h}}{131 \text{ TM/h}} = 0.16$$

TAMAÑO DE CORTE CORREGIDO

$$\ln(d50_c) = 6.4 + \frac{2\frac{1}{4}''}{3.5} - \frac{4''}{2.6} + \frac{7 \text{ psi}}{10.7} - \frac{109 \text{ TM/h}}{52} \rightarrow d50_c = 58 \mu\text{m}$$

PARTICIÓN CORREGIDA - UNDERFLOW

Abert. (μm)	$E_u(x)_c$	$E_u(x)$
300	1.000	1.000
212	0.999	0.999
150	0.987	0.989
106	0.909	0.923
75	0.696	0.745
37	0.249	0.369

Con las fórmulas de abajo se hallan las nuevas particiones del hidrociclón para cada Abertura de Malla “x”. Con estas nuevas particiones se calcula la nueva distribución granulométrica del overflow y del underflow del hidrociclón.

$$E_u(x)_c = \frac{e^{\left[\frac{2.7 \times x}{58 \mu\text{m}}\right]} - 1}{e^{\left[\frac{2.7 \times x}{58 \mu\text{m}}\right]} + e^{2.7} - 2}$$

$$E_u(x) = (0.16) + E_u(x)_c \times (1 - 0.16)$$

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

La partición “ $E_u(x)$ ” es equivalente a la partición total “ E_t ” en la malla “x” por lo tanto según el concepto de partición total tenemos que $E_u(x) = \text{Peso Sólidos Underflow} / \text{Peso Sólidos Inlet}$. Con estos conceptos elaboramos la siguiente tabla:

Abert. (μm)	$E_u(x)$	INLET	
		% peso	peso
300	1.000	41.7	1,314
212	0.999	15.5	489
150	0.989	9.6	303
106	0.923	5.6	176
75	0.745	6.4	202
37	0.369	21.2	668
TOTAL		100	3,152 TMS/día



UNDERFLOW		OVERFLOW	
peso	% peso	peso	% peso
1,314	49.4	0	0.0
488	18.4	1	0.2
300	11.3	3	0.6
162	6.1	14	2.9
150	5.6	52	10.5
246	9.2	422	85.8
2,660 TMS/día	100	492 TMS/día	100

BALANCE DE MATERIALES

UNDERFLOW

$$\text{Sólidos} = 2,660 \text{ TMS/día}$$

$$\text{Agua} = 131 \text{ TM/h} - 109 \text{ TM/h} = 22 \text{ TM/h} (528 \text{ TM/día})$$

$$\% \text{ w/w} = \frac{2,660 \text{ TMS/día}}{2,660 \text{ TMS/día} + 528 \text{ TM/día}} \times 100 = 83 \%$$

OVERFLOW

$$\text{Sólidos} = 530 \text{ TMS/día}$$

$$\text{Agua} = 109 \text{ TM/h} (2,616 \text{ TM/día})$$

$$\% \text{ w/w} = \frac{530 \text{ TMS/día}}{530 \text{ TMS/día} + 2,616 \text{ TM/día}} \times 100 = 15 \%$$

$$\tau = \frac{100}{100 - 18 \% \times \left(1 - \frac{1}{2.7}\right)} = 1.10 \text{ g/ml}$$