CAPITULO III

CALCULO PARA LA DETERMINACIÓN DEL d_{50}

3.1 BALANCE DE SOLIDOS:

3.2 BALANCE DE AGUA.

3.3 CALCULO DEL d_{50} SIMPLE

3.3.1 PRIMER METODO.

3.3.2 SEGUNDO METODO.

3.4 CALCULO DEL d_{50}. DE ROSIN – RAMMLER

3.5 RELACION d_{50}– CARGA CIRCULANTE.

3.5.1 METODO GRAFICO.

3.5.2 METODO DEL CALCULO MATEMATICO.

A) UTILIZANDO EL MODELO DE GAUDIN – SHUMMMAN.

B) UTILIZANDO EL MODELO DE ROSIN – RAMMMLER.

3.6. CALCULO DEL d_{50} CORREGIDO

3.7 EFICIENCIA DE UN CLASIFICADOR

CAPITULO IV

SIMULACIÓN DE HIDROCICLONES

4.- APLICACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE LYNCH-RAO

4.1. CALCULO DE PORCENTAJE VOLUMÉTRICO DEL ALIMENTO AL CICLON (Ø)

4.2. ECUACIÓN DE LA CAPACIDAD VOLUMÉTRICA.

4.3. ECUACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE AGUA

4.4. ECUACIÓN DEL TAMAÑO DE CORTE CORREGIDO

4.5 ECUACIÓN QUE GOBIERNA LA CURVA DE EFICIENCIA REDUCIDA

4.6 CALCULO DE LAS VARIABLES DE TRABAJO A CONDICIONES DESABLES.

4.6.1 CALCULO DEL NUEVO CAUDAL ALIMENTADO AL CICLON

4.6.2 CALCULO DE LA NUEVA CAIDA DE PRESION

4.6.3 CALCULO DE LA NUEVA DISTRIBUCIÓN DE AGUA

4.6.4 CALCULO DEL NUEVO d_{50}

4.6.5 CALCULO DE LOS NUEVOS PORCENTAJES DE PARTICIÓN CORREGIDOS EN LAS ARENAS.

4.6.6 CALCULO DE LOS NUEVOS ANÁLISIS GRANULOMETRICOS DE LAS ARENAS Y DEL REBOSE DEL CLASIFICADOR.

4.6.7 CALCULO DE LOS NUEVOS PORCENTAJES DE SOLIDOS.

4.7. PROBLEMAS DE APLICACIÓN

Introducción

Teniendo en cuenta que el d_{50} llamado "tamaño de corte de un clasificador " es un parámetro de importancia en el procesamiento de minerales . Ya que sus aplicaciones son diversas por que entre otras sirve para:

- Diseñar hidrociclones.
- Optimizar su funcionamiento.
- Simular las operaciones de clasificación.
- Corregir el corto circuito (BY-PASS) en los clasificadores, entre otras.

Todo con la finalidad de operar con una buena alimentación, en el circuito de flotación , con partículas valiosas ya liberadas sin muchos finos, en otras palabras partículas mineralizadas de tamaño adecuado para una máxima recuperación de estas.

En el presente trabajo se hace conocer los diferentes tipos de cálculos para determinar en planta el d_{50} simple, hallando gráficamente en papel semi logarítmico y logarítmico , el d_{50} calculado hallado matemáticamente sin necesidad de grafico y el d_{50} corregido en función del efecto del corto circuito. Se incide en la aplicación de cada una de ellas.

También se tiene el método para calcular el d_{50} relacionado con la carga circulante, que es un método simple para el calculo del d_{50} conociendo la carga circulante y el análisis granulométrico de la alimentación al clasificador, es un método grafico.

Además se establece los criterios que se considera para interpretar la distribución de las partículas de tamaño de corte, tales como las siguientes suposiciones; si tenemos en el alimento partículas de tamaño d_{50}, la mayores parte de estas se van en las arenas y la menor parte al rebose, podríamos decir entonces que el d_{50}, del clasificador es ideal, entonces como debe funcionar.

También no podemos dejar de mencionar la pregunta que siempre nos hacemos , los que estamos vinculados en el procesamiento de minerales. ¿ Que tipo de clasificador es el mas eficiente los clasificadores mecánicos e hidráulicos ?, y siempre, se ha manifestado que para plantas de gran capacidad los ciclones y para plantas pequeñas los mecánicos.

Al respecto se podríamos aclarar lo siguiente:

Los métodos matemáticos que se ha desarrollado eficientemente son referidos a hidrociclones lo que indica que los estudios están referidos y dirigidos a estos , por lo tanto, según los modelos matemáticos podemos tener mayor control sobre los ciclones entonces estos pueden ser mas eficientes y versátiles en sus trabajos si nos proponemos ya que podemos hacer simulaciones y encontrar las variables mas adecuadas del proceso, luego podemos decir que los ciclones son los mas recomendables, ya sea para su uso en plantas pequeñas con la ventaja que se requiere espacios menores y por ende sus costos de instalación son menores a los de los clasificadores mecánicas.

Siendo el Perú un país netamente poli metálico, lo que quiere decir que en cualquier compañía minera no solamente haya una especie mineralógica de extracción particular, sino que hay varias por ejemplo, las mas comunes tenemos. En la recuperación de menas de plomo, plata, zinc, cobre entre otras, hay varias especies minerales entre cada una de ellas y también tenemos que cada especie tiene una determinada malla de liberación, entonces se hace indispensable conocer el d_{50} para cada especie entonces el trabajo de optimizar, consiste en busca nuevas tecnologías que faciliten la determinación del d_{50} , ardua labor para los nuevos metalurgistas que se están formando ya que los resultados que se obtengan será de la dedicación y la entrega al trabajo que se propongan.

CAPITULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1. PROCESAMIENTO DE MINERALES:

Esta establecido que las sustancias minerales se requieren en un estado de alta pureza o concentración, desde un punto de vista económico no se puede aplicar procesos de extracción y refinación muy caros a pequeñas cantidades de metales, tales como, el cobre, plomo, zinc y níquel; tal como se encuentra en la corteza terrestre.

Primeramente es necesario concentrar estos minerales valiosos en pequeños volúmenes, los cuales luego se puedan ser sometidos a tratamientos intensivos y caros que permiten la recuperación del metal puro. La porción del material inservible o ganga, se separa por medio de operaciones relativamente baratas que constituyen el procesamiento de minerales.

El procesamiento de minerales, es el tratamiento de materias primas (Materiales), extraída de la superficie terrestre para obtener los productos comerciales por métodos que no destruyen la identidad física o química de los minerales por lo tanto esta definición margina el procesamiento de minerales a operaciones como la refinación de petróleo la lixiviación el tratamiento por calor y otros procesos químicos.

1.1 ETAPAS DEL PROCESAMIENTO DE MINERALES

El procesamiento de minerales consiste en una serie de operaciones unitarias entre estas operaciones básicas, se tiene:

A) La conminución:
   Que abarca la recepción de minerales.
   Almacenamiento.
   Chancado.
   Clasificación de partículas en seco.
   Molienda de minerales.
   Clasificación de partículas en húmedo.

B) Concentración de menas:

   Por flotación
   Por gravimetría
   Por corrientes laminares
   Por diferencia de densidades

C) Separación de sólidos en líquidos (Eliminación de líquidos).
   Espesamiento.
   Filtrado.

D) Lixiviación por agitación, para eliminación de impurezas y limpieza de concentrados.

De las etapas antes mencionadas solo trataremos la molienda de minerales y la clasificación de partículas en húmedo, por ser los parámetros mas importantes dentro del procesamiento de minerales ya que de esto depende la recuperación de las partículas valiosas

1.1.1.- MOLIENDA DE MINERALES

Como el tema esta referido a clasificación de partículas, entonces primero se define la molienda de minerales que la causante de producir las partículas a clasificar y esta es una operación unitaria que efectúa la etapa final de reducción de tamaño de partícula del mineral, tiene tres objetivos primordiales:

a) Liberación de las partículas valiosas del mineral
b) Llevar la granulometría de las partículas a un tamaño adecuado para la siguiente etapa
c) Homogenizar la pulpa para la siguiente etapa.

La molienda trabaja según sea su funcionalidad y objetivo, en circuito cerrado o abierto en húmedo.

Cuando se trabaja en circuito cerrado quiere decir que se trabaja con un clasificador para incrementar la eficiencia de la molienda.

1.1.2.- CLASIFICACIÓN DE PARTÍCULAS

Se denomina clasificación a la separación de un conjunto de partículas de tamaños heterogéneos en dos porciones, cada uno conteniendo partículas de granulometría homogéneas u otra propiedad específica que el conjunto original; la clasificación se realiza por diferencia de tamaños y por gravedad específica que originan diferentes velocidades de sedimentación, entre las partículas de un fluido (Agua o aire).

Cuando sobre ellas actúan campos de fuerzas como el gravitatorio u otros. Las operaciones de clasificación se efectúan en diferentes tipos de aparatos tales como: los clasificadores helicoidales, los de rastrillos, los ciclones, etc.

1.2.- TAMAÑO DE CORTE (d_{50})

Es el valor del tamaño de partículas que tiene la misma posibilidad de ir a la fracción gruesa (underflow) o a la fracción fina (overflow), en otras palabras el tamaño de corte del clasificador .

1.3. CURVA DE PARTICIÓN DE UN CLASIFICADOR

En forma ideal un clasificador deberá separar de una mezcla original de partícula, en dos porciones una de partículas gruesas de tamaño mayor a un cierto valor llamado d_{50} y otra de partículas menores al d_{50} (finos). Pero en la practica no ocurre así, sucediendo que partícula menores al d_{50} pasan a la fracción gruesa y viceversa. Una forma de determinar cuan alejado del comportamiento ideal opera un clasificador es mediante la determinación de sus curvas de partición, al graficar el tamaño promedio de un rango de tamaños de partículas X versus el porcentaje pasante de partículas en ese rango de tamaños que pasan a

la descarga del clasificador en relación al total de partículas del mismo rango de tamaños alimentadas al clasificador.

1.4 CÁLCULOS PARA DETERMINAR EL d_{50} EN PLANTAS

Para determinar el d_{50} de un clasificador ya sea mecánico o hidráulico durante el funcionamiento de una planta hay varios métodos o formas en este trabajo se desarrolla en detalle posteriormente.

1.5 MALLA OPTIMA DE LIBERACIÓN DE LAS PARTÍCULAS.

Teniendo en cuenta que el objetivo fundamental de la molienda es liberar el mineral valioso del estéril entonces es necesario conocer el tamaño optimo donde la partícula ya se encuentra liberada dado que nos servirá como parámetro principal para el diseño del clasificador, el grado de liberación es un factor de suma importancia en el proceso de flotación debe de ser estudiada cuidadosamente a fin de obtener importantes conclusiones, por que, como se sabe afecta en la buena recuperación de las partículas valiosas.

1.6 MODELOS MATEMÁTICOS VALIDOS PARA EL DISEÑO DE HIDROCICLONES Y OPTIMIZACIONES.

Entre los principales tenemos:

A) Modelo de Dalstrom.
B) Modelo de Bradley.
C) Modelo de Yoshika – Hotta.
D) Modelo de Lynch – Rao.
E) Modelo de Plitt.
F) Modelo de Krebs Engineers.
G) C.I.M.M. Chile .

CAPITULO II

(d_{50}) TAMAÑO DE CORTE

2. Clases de d_{50}

Muchos se preguntan esto ¿Cuántas clases de d_{50} hay?
Si se contestara se diría en forma seguro que solo hay un d_{50}, pero en la practica se usa varias definiciones que a continuación se desarrolla.

2.1. d50 SIMPLE

Viene a ser el d_{50} hallado gráficamente ya sea en un papel semi logarítmico o logarítmico, que resulta de cortar la curva de partición del clasificador hallado gráficamente, en 50% EU y EO ; luego el punto proyectar verticalmente al eje de las abscisas donde se encuentra el

tamaño de las partículas y el punto donde corte a esta será el d_{50} simple en micrones, entonces es necesario aclarar que para determinarlo es necesario hallar la curva de partición gráficamente.

Para determinar el d_{50} simple hay dos métodos conocidos, variando solamente la forma de cálculo matemático, pero el grafico es el mismo para ambos casos y por ende el resultado será similar, sirve como dato para hallar la eficiencia practica de un clasificador.

2.2. d_{50} CALCULADO

Viene a ser el d_{50} calculado matemáticamente a partir de una ecuación o modelo matemático sin ser necesario primero graficar la curva de partición.

Se halla a partir del modelo de Rossín Rammler

$$Y = 100 - 100e^{-0.6931\left(\frac{x}{d_{50}}\right)^m} \qquad (1.1)$$

Donde:

Y = % Eu_c (% de partición de las arenas del clasificador para cada malla).

X = tamaño promedio de partícula de cada malla.

d_{50} = tamaño de corte del clasificador calculado.

m = Precisión de separación propia para cada clasificador

El calculo se hace conociendo de antemano el porcentaje de partición simple (Porcentaje Eu y porcentaje Eo) hallado matemáticamente. Le damos el tamaño promedio de las partículas (x), hacemos una pequeña regresión lineal y aplicando la técnica de mínimos cuadrados hallamos los valores de m y d_{50} calculado y remplazando estos valores en la ecuación obtendremos la ecuación que gobierna la curva de partición de un determinado clasificador.

Para aclarar, los términos de d_{50} simple y calculado podemos relacionarlo con el F_{80} y el P_{80} ; para determinarlo hay 2 métodos. Uno es el método gráfico que se le obtiene a partir de la curva de Gaudin – Shumman y de Rossín Rammler, si lo comparamos con el d_{50} podríamos decir que el F_{80} y el P_{80} hallado gráficamente es el simple y el hallado matemáticamente sin necesidad de previo grafico vendría a ser el F_{80} y P_{80} calculado. Sirve para ajustar la curva de partición debido a los errores que se puedan cometer tanto, en los muestreos, pesadas, análisis granulométrico, entre otras. También podemos usarlo para calcular el d_{50} sino tenemos o no contamos con papel indicado.

2.3 d_{50} CORREGIDO.

Viene a ser el d_{50} obtenido al corregir la curva de partición simple y por ende los porcentajes de partición simple por efecto del By-pass del clasificador:

Los porcentajes de partición simple se corrigen a partir de la siguiente formula:

$$\%Eu_c = \frac{Eu - Bp}{1 - Bp} * 100 \qquad (1.2)$$

Donde:

% Euc = porcentaje de partición corregida de las arenas del clasificador.

Eu = Fracción de partición simple de las arenas del clasificador.

Bp = By – Pass del clasificador que se obtiene de:

$$Bp = \frac{Peso\ de\ agua\ en\ las\ arenas\ del\ clasificador}{Peso\ del\ agua\ en\ el\ a\lim ento\ del\ clasificador}$$

Se corrige la curva de partición para conocer el d_{50} corregido y para conocer cuanto se puede incrementar la eficiencia del clasificador, corrigiendo o eliminado en lo mínimo posible el By – Pass .

Entendemos por By – Pass o corto circuito de un clasificador al proceso donde las partículas finas ya liberadas son arrastradas por acción mecánica del agua sin previa clasificación y viceversa, partículas gruesas que faltan liberarse son arrastradas al rebose también por acción del agua. Todo lo dicho entonces indica que para eliminar este corto circuito es necesario mantener la mayor cantidad de sólidos en las arenas del clasificador y la mayor cantidad de agua en el rebose del clasificador, ya que al regresar nuevamente partículas finas a la molienda consume energía inútilmente y limita el tonelaje del procesamiento del mineral, y por otro lado si partículas gruesas no liberadas se van a la etapa de flotación implicara esto en la baja recuperación de las partículas valiosas redundando todo esto en la rentabilidad económica de la empresa.

Es por esto que en algunas plantas concentradoras la posición que dan a sus hidrociclones son diversos, pudiendo ser estos inclinadas y hasta horizontales con la finalidad de eliminar el By – Pass y aumentar la eficiencia del clasificador.

El d_{50} corregido nos sirve para comparar cuento se incrementa la eficiencia del clasificador al corregir el By – Pass, como se obtiene esto, primero hallamos la eficiencia con el d_{50} simple, como parámetro, luego con el d_{50} corregido, también nos sirve como dato para utilizar en los modelos matemáticos de Linch - Rao y Plitt , entre otras con la finalidad de optimizar los parámetros del trabajo de un hidrociclon .

2.4 Relación del d50 - Carga Circulante

Es otro método para determinar el d_{50} , donde se toma como referencia la carga circulante del clasificador, este método se ha desarrollado su calculo hasta programas computarizados. Pero su uso a sido relegado por que el dato calculado y la premisa de donde parte son eminentemente teóricos (Ideal), hecho que queda demostrado en los acápites siguientes.

El d_{50}, viene a ser el tamaño de corte del clasificador. Si se alimenta a un clasificador un conjunto de partículas de tamaños heterogéneos. El d_{50} indica que las partículas mayores al d_{50} van a las arenas del clasificador y las partículas menores al d_{50} se van al rebose.

Por otro lado si ajustamos los datos del análisis granulométrico del alimento y de los productos del clasificador obtendremos al hacer los cálculos de la carga circulante similar para cada malla o para tamaño de partículas, lo que indica: Si nosotros tenemos un determinado peso, de determinado tamaño de partículas en el alimento entonces este peso se irá solamente tanto a las arenas como al rebose, no puede irse a otro lado ni perderse lo cual se cumple al hacer los cálculos con los datos ajustados, pero no cumpliéndose esto si se calcula con los datos reales obtenidos, no es por esto que el cálculo este mal, sino que hay errores de operación, pudiendo ser de muestreo, análisis granulométrico, pesado u otro.

También si sabemos que la razón de carga circulante esta dada por la siguiente formula:

$$R = \frac{U}{O} \qquad (1.3) \text{ o } (3.3)$$

Donde:

R = Razón de carga circulante
U = Peso de las arenas del clasificador
O = Peso del rebose del clasificador

Si tenemos el análisis granulométrico del alimento al clasificador podemos hallar su distribución granulométrica, ya sea gráficamente o

matemáticamente por los modelos de Gaudin Shumman o Rossin Rammler.

Teniendo ya el perfil granulométrico o la ecuación que gobierna el análisis granulométrico del alimento:

Relacionamos y suponemos que el d_{50} del clasificador con partículas de tamaño d_{50} en el alimento del clasificador, de donde podemos decir que las partículas mayores al d_{50} del alimento se van a las arenas y las partículas menores se van al rebose:

Partículas del d_{50} en el alimento

% Ac (-) = P (partículas menores del d_{50})
% Ac (+) = 100 – P (partículas mayores al d_{50})
Pero:
%Ac(-) + %Ac(+) = 100

por todo lo dicho anteriormente:

Si relacionamos en todo el circuito partículas de tamaño (d_{50}) y la carga circulante es uniforme para cada tamaño. Entonces podemos demostrar según la ecuación (1.3)

$$R = \frac{100 - P}{P} \qquad (1.4)$$

Con lo cual se ha encontrado una ecuación que relacione la carga circulante y el d_{50}, conociendo la razón de carga circulante, reemplazamos en la ecuación (1.4) y hallamos P= %Ac (-) y cortando a la curva de Gaudin Shumman o reemplazamos en los modelos matemáticos de Gaudin Shumman podemos conocer el d_{50}.

Los datos, para graficar y para hallar los modelos matemáticos referentes al tamaño de las partículas hace que podamos utilizar la abertura de las mallas referentes a las aberturas promedio (Media geométrica). Con las cuales hacemos la evaluación.

Si analizamos la formula (1.4) podríamos decir que todas las partículas mayores al d_{50} del clasificador se van a las arenas y las menores se van a rebose los cual indica que la eficiencia del clasificador es 100%.

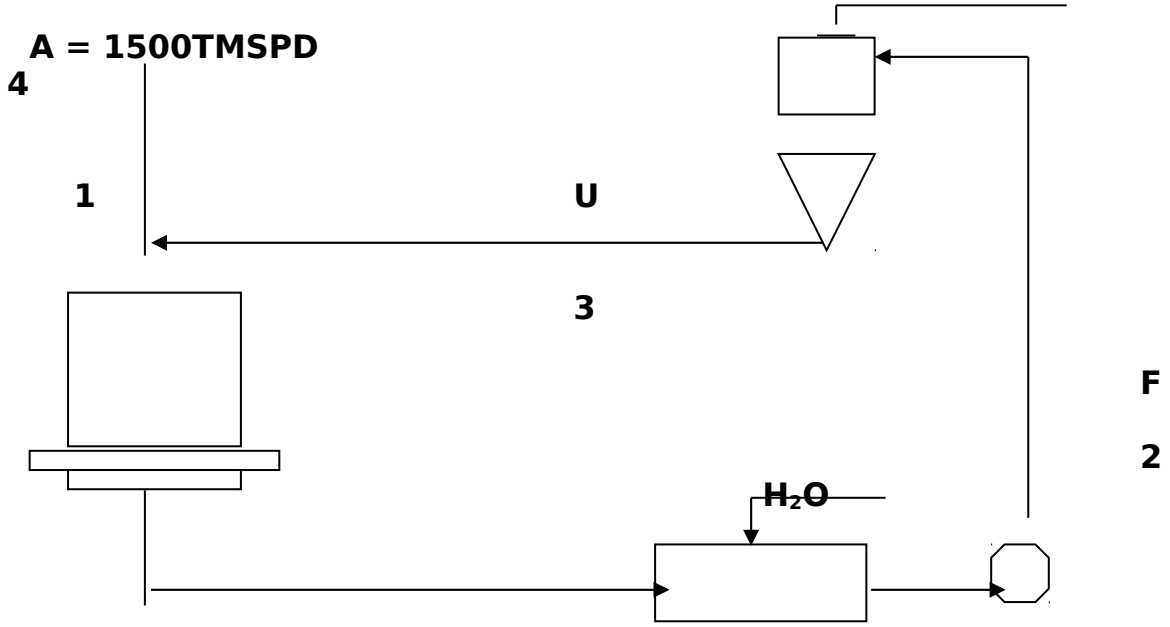
CAPITULO III

EVALUACIÓN DE LA MOLIENDA AL DISMINUIR EL d_{50}

3.1. DETERMINACIÓN DEL TONELAJE DE TRATAMIENTO.

El tonelaje de tratamiento de un circuito de molienda esta determinado por la alimentación fresca del mineral y la carga circulante, por lo que es necesario para su evaluación conocer los tonelajes en los diferentes puntos , así como los flujos de pulpas y cantidad de agua, además se debe conocer , la gravedad especifica y la granulometría del mineral en los diferentes puntos. En el presente trabajo se considera una capacidad de tratamiento de 1500 toneladas secas por día

GRAFICO N° 1 CIRCUITO DE MOLIENDA Y CLASIFICACION



Así mismo se hace necesario conocer las condiciones operativas del circuito de molienda a fin de poder comparar con las posibles modificaciones que se realicen en el circuito, en la tabla 3.1 se indica

- La densidad de la pulpa.
- Porcentaje de sólidos en peso
- Porcentaje de agua
- Dilución.
- Gravedad especifica

TABLA N°3.1 DATOS OPERATIVOS DEL CICLON

TABLA Y PRODUCTO DEL CICLON	PUNTOS	Dp g/lit	% SOLID	% AGUA	DILUCION (D)	G.e
ALIMENTO (F)	2	1667	60.00	40.00	0.667	3.0
ARENAS (U)	3	2158	80.51	19.49	0.242	3.0
REBOSE (O)	4	1370	40.50	59.50	1.469	3.0

La gravedad específica del mineral (G.e) fue hallado por el método de la probeta y nos dio 3.0 g/cc, este valor se considera para los 3 puntos, pero en algunos casos puede variar por que la clasificación es la separación de partículas en porciones más homogéneas, en todo caso es el criterio del que maneja la información, que calcula y verifica en la práctica.

La toma de muestras en los puntos 2, 3 y 4 se recomienda realizarlo durante las 24 horas, de esta manera se obtienen las 3 muestras de pulpa, que se filtra, se seca, se cuartea y se obtiene 1000 gramos de cada muestra.

De cada muestra se realiza el análisis granulométrico, usando como mínimo 6 mallas de donde se obtiene los datos indicados en la TABLA 3.2.

TABLA N° 3.2 ANALISIS GRANULOMETRICO DEL CICLON

MALLA	ABERTURA (μm)	ALIMENTO (F)		REBOSE (O)		ARENAS (U)	
		% PESO	%Ac(-)	% PESO	%Ac(-)	% PESO	%Ac(-)
+48	295	27.90	72.10	11.60	88.40	36.70	63.30
+65	208	11.10	61.00	6.80	81.60	13.10	50.20
+100	147	10.80	50.20	6.90	74.70	11.70	38.50
+150	105	8.80	41.40	8.60	66.10	9.30	29.20
+200	74	5.40	36.00	8.00	58.10	4.50	24.70
+270	54	3.50	32.50	7.00	51.10	2.30	22.40
-270		32.50	---	51.10		22.40	---

Para realizar los cálculos y hallar el d_{50} necesitamos conocer la razón de separación y el porcentaje de carga circulante, por lo que se debe tener claro el concepto de carga circulante; que no es otra cosa que la relación en peso que retorna al molino y se halla constituido por las arenas del ciclón, en relación al alimento fresco o rebose del clasificador; lo que esta en concordancia con el (balance de sólidos y la relación de dilución (que es la razón líquido – sólido) en el clasificador, lo que es usado en la evaluación conocida como Método de la dilución

Por lo tanto hay dos métodos para calcular la carga circulante.

El método de las dilluciones
El método del análisis de malla

3.1.1 BALANCE DE SÓLIDOS PARA DETERMINAR LA CARGA CIRCULANTE:

El método implica hacer un balance de materia, malla por malla, la media aritmética de las razones de todas las mallas será la razón de carga circulante. Si por decir se alimenta un determinado tonelaje en cada malla, esta tendría que ir a las arenas y rebose del clasificador, por lo tanto la carga circulante para cada malla serie la misma, pero el análisis de malla se realiza en material seco y en la práctica estas operaciones se realizan en forma de pulpa lo que implica que no se cumpla exactamente lo indicado, siendo el medio acuoso el que distorsiona la separación indicada .

El Balance de Materia en el Circuito, esta dada por las relaciones:

$$A = 0 \qquad (3.1).$$

La alimentación = Al material fino o rebose

$$F = U+O \qquad (3.2)$$

La alimentación = Al material grueso + material fino

Según la ecuación de relación:

$$R = U/O \qquad (3.3)$$

Donde:

R = razón de separación.
U = material grueso.
O = material fino

Luego hacemos un balance de materia malla por malla, consideremos que tenemos en el flujo de alimentación:

Un tonelaje F, en la malla (+48) el tonelaje será deducido de la siguiente manera:

Del tonelaje de alimentación se reparte tanto en las arenas como en el rebose del clasificador, se considera suponer que no hay pérdida: luego podemos escribir la ecuación 3.2 de la siguiente manera:

$$F(f) = O(o) + U(u) \qquad (3.4)$$

Donde:

f = % Peso de alimento para cada malla.
O = % Peso del rebose de cada malla.
U= % Peso de las arenas para cada malla.

Reemplazando (3.1) en (3.2) se tiene la ecuación 3.4 que representa el balance de materia caracterizado por mallas.

(O + U)f = O(o) + U(u)

Resolviendo y agrupando para obtener la relación de arenas a material fino tenemos:

$$\frac{U}{O}=\frac{f-o}{U-f} \qquad (3.5)$$

Igualamos la ecuación (3.3) con (3.5)

$$R=\frac{f-o}{U-f} \qquad (3.6)$$

Reemplazando valores en la ecuación (3.6) obtenemos la razón de carga circulante para cada malla.

Así tenemos:

Malla (+48)

$$R=\frac{27.90-11.60}{36.70-27.90}=1.85$$

Malla (+100)

$$R=\frac{10.80-6.90}{11.70-10.80}=4.33$$

De esta manera obtenemos la tabla 3.3:

TABLA N° 3.3

FACTOR DE CARGA CIRCULANTE

MALLA	R
+48	1.85
+65	2.15
+100	4.33
+150	0.4
+200	2.89

+270	2.92
-270	1.84

Según la tabla vemos que las razones de carga circulante son diferente para cada malla, esto nos indica que los datos están dispersos, por lo tanto debemos hacer una corrección de datos, por "ajuste estadístico" i/o ajuste de datos.

3.2 CONSUMO DE AGUA CON EL NUEVO D_{50}.

Para Determinar el consumo de agua se uso el método que mide la densidad de la pulpa en los puntos 2, 3 y 4, que consiste en tomar 1 litro de pulpa en cada punto, luego lo filtramos, secamos, pesamos y podremos obtener el porcentaje de sólidos y por diferencia el porcentaje de agua, con lo que tenemos la cantidad de agua en cada punto, usándose la siguiente fórmula:

$$\text{Dilución (D)} = \%\ \text{agua} / \%S \qquad (3.7)$$

Realizando el balance de agua en el circuito, tenemos.

$$H_2O\ (F) = H_2O\ (O) + H_2O\ (U) \qquad (3.8)$$

También sabemos que la dilución en el alimento es igual a la dilución en sus productos:

$$Df\ (F) = Do(O) + Du(U) \qquad (3.9)$$

Donde:

Df = dilución en el alimento
Do = dilución en el rebose
Du = Dilución en las arenas.
F = Tonelaje de alimentación.
O = Tonelaje rebose.
U = Tonelaje arenas.

Reemplazando la ecuación (3.1) en (3.9) tenemos:

$$\frac{U}{O} = \frac{Do - Df}{Df - Du}$$

Reemplazando en la ecuación (3.3) :

$$R = \frac{Do - Df}{Df - Du} \qquad (3.10)$$

Dando valores para el caso considerado se tiene al reemplazar en la ecuación (3.10):

$$R = \frac{1.469 - 0.667}{0.667 - 0.242} = 1.89$$

Una vez hecho los ajustes de los datos tenemos el análisis granulométrico del clasificador, que se indica en la tabla 3.4.

TABLA N° 3.4 ANALISIS GRANULOMETRICO AJUSTADO. DEL CICLON

MALLA	ABERTURA υ	ALIMENTO (F)		REBOSE (O)		ARENAS(U)		R
		% Peso	% A(-)	% Peso	% A(-)	% Peso	% A(-)	
+48	295	27.90	72.03	11.57	88.43	36.65	63.35	1.89
+65	208	10.58	61.05	6.84	81.59	13.18	50.17	1.89
+100	147	10.31	50.74	7.07	74.52	12.02	38.15	1.89
+150	103	8.97	41.77	8.55	65.97	9.19	28.96	1.89
+200	74	5.60	36.17	7.93	53.04	4.27	24.59	1.89
+270	54	3.78	32.39	6.90	51.14	2.212	22.47	1.89
+270	---	32.39	00.00	51.14	00.00	22.47	00.00	1.89
Σ		100.00	----	100.00	----	100.00	-----	

3.3 RELACION DEL d_{50} CON LA CARGA CIRCULANTE

Para poder establecer la relación del d_{50} con la carga circulante es necesario previamente establecer el modelo de calculo del d_{50} para luego relacionarlo con la carga circulante. Por este motivo a continuación se inicia el calculo del d_{50} .

3.3.1 CALCULO DEL d_{50} SIMPLE

El calculo del d_{50} simple implica los métodos que a continuación se indican y se desarrollan.

3.3.11 PRIMER METODO.

Con los datos ajustados del análisis granulométrico del flujo de alimentación y los flujos de los productos del ciclón, construimos la tabla N° 3.5 con la finalidad de hallar los porcentajes de partición tanto del rebose como de las arenas, para posteriormente graficar el % Eu y % Eo (porcentaje de partición) versus tamaño promedio de las partículas en un papel semilogarímico o logarítmico (como vemos en e gráfico N°

3.1 , donde al cortar la curva a 50% de partición y proyectar el eje del tamaño promedio de las partículas nos da que el d_{50} es 85 micrones.

EXPLICACION DE LA TABLA 3.5: FALTA

Esta se realiza en función de la columna que se calcula y se base fundamentalmente en explicar la formula que se usa en su determinación.
Así tenemos, para la:

COLUMNA 7:

$$Ru = \frac{O-f}{U-0} = \frac{\%Ac(-)O - \%Ac(-)F}{\%Ac(-)O - \%Ac(-)U} x100 = \frac{4-2}{4-6} x100$$

$$Malla(+48) = \frac{88.43}{88.43} - \frac{72.03}{63.35} x100 = \frac{16.40}{25.08} x100 = 65.40$$
$$Malla(+65) = \frac{81.59-61.05}{81.59-50.17} x100 = \frac{20.54}{31.42} x100 = 65.40$$
$$Malla(+100) = \frac{74.52-50.74}{74.52-38.15} x100 = \frac{23.78}{36.37} x100 = 65.40$$

$$+Malla(150) = \frac{65.97-4.77}{65.97-28.46} x100 = \frac{24.2}{37.01} x100 = 65.40$$
$$Malla(+200) = \frac{58.04-36.17}{58.04-24.59} x100 = \frac{21.87}{33.46} x100 = 65.40$$
$$Malla(+270) = \frac{51.14-32.39}{51.14-22.47} x100 = \frac{18.75}{28.67} x100 = 65.40$$

Mientras que para la:

COLUMNA 8

Ro =100 – Ru =100-65.40 = 34.6

Para la:

COLUMNA 9

O = Ro x % Peso (3)

Para la:

COLUMNA 10

$$U = Ru \times \% \text{ Peso} \quad (5)$$

Para la:

COLUMNA 11

$$\sum(O + U) = O + U$$

Para la:

COLUMNA 12

$$\% Eo = \frac{O \times 100}{\sum (O + U)}$$

Para la:

COLUMNA 13

$$\% Eu = \frac{U \times 100}{\sum(O + U)}$$

Se debe tener en cuenta las siguientes observaciones a fin de contar con una buena interpretación:

a) El tamaño promedio de las partículas se obtiene de la media geométrica de 2 mallas consecutivas.

   Por ejemplo: -65+100=$\sqrt{208 \times 147} = 148.8\mu m$
   $65 = 208\mu m$
   $100 = 147\mu m$

b) Para la malla +48:

   La malla anterior = malla $48 \times \sqrt{2} = 295 \times \sqrt{2} = 417\ \mu m$
   Malla + $48 = \sqrt{417 \times 295} = 351$.

3.3.1.2 SEGUNDO METODO.

En el segundo método, el cálculo de los porcentajes de partición se obtiene a partir de un balance de materia ya conociendo la razón de carga circulante.

Para el cálculo hacemos lo siguiente: el porcentaje de partición será: El porcentaje de partición en el rebose se obtiene al comparar el peso de partículas de una malla determinada que se fueron al rebose del clasificador, con respecto al flujo de alimentación de la respectiva malla.

Para este cálculo nos valemos del gráfico N° 1 y de las ecuaciones N° 3.2 y N° 3.3.

Donde:

U = R

U = O R

R = 1.89

F = O + U

Reemplazando valores obtenemos:

U = 1,89 O (3.11)

F = O + 1.89 O

F = 2.89 O (3.12)

Luego calculamos los porcentajes de partición con la siguiente fórmula:

(3.13)

$$\%Eo = \frac{O(\%oxi)}{F(\%fxi)} x100$$

$$\%Eu = \frac{U(\%uxi)}{F(\%fxi)} x100$$

(3.14)

Donde:

% Eo = Porcentaje de partición del rebose.

% Eu = Porcentaje de partición de las arenas.

O = Peso en T.M.S del over del clasificador.

U = Peso en T.M.S de las arenas clasificador.

F = Peso en T.M.S del alimento del clasificador.

% oxi = Porcentaje de peso (retenido) de la malla (Xi) en el rebose.

% uxi = porcentaje de peso de la malla (Xi) en el alimento.

Reemplazando valores en las ecuaciones 3.13 y 3.14 de la tabla N° 3.4, tenemos:

a) malla (+48)

$$\%Eo = \frac{O(11.57)}{F(27.97)} x100$$

$$= \frac{O(11.57)}{2.89O(27.97)} x100 = 14.31$$

$$Pero: F = 2.89\ O$$

$$\%Eu = \frac{U(36.65)}{F(27.97)} x100$$

$$= \frac{1.89O(36.65)}{2.89O(27.97)} x100 = 85.69$$

$$Pero: U = 1.89 \quad O$$

$$F = 2.89 \quad O$$

b) (+65)

$$\%Eo = \frac{6.84\ O}{2.89O\ (10.98)} x100$$

$$= 21.56$$

$$\%Eu = \frac{13.18x1.89 \quad O}{2.89 \quad Ox(10.98)} x100$$

$$= 78.50$$

Y así calculamos para cada malla y obtenemos la tabla 3.6:

TABLA N° 3.6 PORCENTAJES DE PARTICION DEL REBOSE Y DE LAS ARENAS DEL CICLON

MALLA	ABERTURA (μm)	%Eo	%Eu
+48	351	14.31	85.69
-48 +65	247.7	21.55	78.50
-65 +100	174.8	23.73	76.25
-100 +150	124.2	32.98	67.02
-150 +200	88.1	48.99	51.03
-200 +270	63.2	63.16	56.63
-270	454	54.63	54.63

Y comparando los porcentajes de partición de las tablas N° 3.5 y 3.6, son similares por lo tanto los 2 métodos son válidos.

3.3.1.3 METODO DE CALCULO DEL d_{50}. DE ROSIN – RAMMLER

Para Este calculo se parte de la ecuación .

$$Y = 100 - 100e^{-0.6931\left(\frac{x}{d_{50}}\right)^m}$$

Si se calcula "m" y d_{50} establecemos la ecuación de partición que gobernará un clasificador cualquiera. Y esto se calcula a partir de los datos de porcentaje de partición simple de las arenas y tamaño promedio de las partículas.

Para hallar los valores tenemos que linealizar la ecuación, hacer una regresión y aplicando la técnica de mínimos cuadrados, se tiene el resultado.

La ecuación también podemos escribir de la siguiente manera.

$$\frac{100 - Y}{100} = e^{-0.6931(\frac{x}{d_{50}})^m}$$

Tomando Logaritmo natural a ambos miembros:

$$In\frac{100-Y}{100} = -0.6931(\frac{x}{d_{50}})^{m} In \quad e$$

Cambiando el signo negativo al otro miembro la ecuación queda así:

$$In\left(\frac{100}{100-y}\right) = 0.6931 - \left(\frac{x}{d_{50}}\right)^{m}$$

Tomando logaritmo vulgar:

(3.15)

$$\log \ln\left(\frac{100}{100-y}\right) = \log\frac{0.6931}{d_{50}{}^{m}} + m\log$$

Que es la ecuación de una recta.

$$Y = a + bx \qquad (3.16)$$

Donde:

$$Y = Log\ In\left(\frac{100}{100-y}\right)$$

$$a = \log\frac{0.6931}{d_{50}{}^{m}} \qquad (3.17)$$

$$b = m \qquad (3.18)$$

$$x = \log x$$

Luego construimos la tabla 3.7 a partir de los porcentajes de partición simple y tamaño promedio de las partículas.

TABLA N° 3.7 TABULACION DE DATOS PARA DETERMINAR PORCENTAJE DE PARTICION CALCULADA.

Malla	**Abertura (μm)**	**%Eu (Y)**	**X log $\bar{x}$**	**Y** $\log\ln\left(\frac{100}{100-y}\right)$	**XY**	**X²**	**Eu_c**
+48	351	85.69	2.545	0.289	0.735	6.477	86.67
-48 +65	247.7	78.46	2.394	0.186	0.445	5.731	79..52
-65 +100	174.8	76.27	2.243	0.158	.354	5.031	71.28
-100 +150	124.2	67.01	2.094	0.045	-0.094	4.385	62.70
-150 +200	88.1	51.02	1.945	-0.146	-0.284	3.789	54.09
-200 +270	63.2	36.74	1.801	-0.339	-.611	3.244	46.18
-270	45.4	45.37	1.657	-0.218	-0.361	2.746	38.94
∑			14.679	-0.025	0.372	31.397	

Calculamos (a) y (b) de la ecuación n° (3.16) con las siguientes fórmulas:

$$a=\frac{\sum X^2\sum Y\sum X\sum XY}{N\sum X^2-(\sum X)^2}=\frac{(31.397)(-0.025)-(14.679)(0.372)}{7(31.397)-(14.679)^2}$$

$$a=-1.4467$$

$$b=\frac{N\sum X\sum Y}{N\sum X^2-(\sum X)^2}=\frac{7(0.372)-14.679(-0.025)}{7(31.397)-(14.679)^2}=0.688$$

En (3.17) y (3.18)

$$0.6888$$

$$-1.4467=\log\frac{0.6931}{d_{50}^{\,0.688}}$$

$$d_{50_0}=74.4\mu$$

Luego la ecuación de la curva de partición quedará así:

$$y = 100 - 100\, a^{-0.6931(x/74.4)^{0.688}} \qquad (3.19)$$

Si queremos graficar: hallamos los porcentajes de partición de las arenas solamente reemplazando valores en la ecuación (3.19).

Así tenemos para la:

a) malla (+48):

$$Y = \%Eu_c = 100 - a^{-0.6931(351/74.4)^{0.688}}$$

$$Y = 86.67$$

Para la:

b) malla (+65):

$$Y = \%Eu_c = 100 - 100\, e^{-0.6931(247.7/74.4)^{0.688}}$$

$$y = 79.52$$

Para la:

c) malla (+100)

$$Y = \%Eu_c = 100 - 100\, a^{-0.6931(174.8/74.4)^{0.688}}$$

$$Y = 71.28$$

3.3.2 RELACION d_{50}– CARGA CIRCULANTE.

Conociendo la razón de carga circulante podemos hallar el d_{50} del clasificador. Partimos de las ecuaciones N° 3.3 y 3.2 donde:

U/O = R

$$F = U + O$$

Donde:

U = Peso de las arenas (carga circulante)

O = Peso de rebose

F = Peso del alimento

Tomamos partículas de tamaño d_{50} en el alimento:

% Ac(-) = P : Porcentaje de partículas menores al d_{50} en el alimento.

% Ac(+) = 100 – P: Porcentaje de particular mayores al d_{50} en el alimento.

Entonces (P x F)/100 = Peso de partículas menores a d_{50} (que se van al rebose del clasificador)

((100 - P) x F)/100 : Peso de partículas mayores al d_{50} (que se van a las arenas del clasificador).

R = 1.89

Reemplazando estos valores en la ecuación se tiene:

$$\frac{\frac{(100-P)xF}{100}}{\frac{PxF}{100}} = 1.89$$

$$de\ donde: \quad \frac{100-P}{P} = 1.89$$

Por lo tanto:

P = %Ac(-) = 34.6

100-P = %Ac(+) = 100 – 34.6 = 65.4

Lo que quiere decir que partículas menores al d_{50} son 34.67% en el alimento y el 65.4% son mayores a este tamaño (d_{50}).

Luego teniendo la distribución granulométrica del alimento, podemos cortar en %Ac(-) = 34.6 ó %Ac(+) = 65.4 y podemos hallar el d_{50}.

Entonces el problema está en hallar la distribución granulométrica del flujo de alimentación y como ya sabemos esto se puede hallar de 2 maneras, gráficamente en papel semi-logarítmico o logarítmico y matemáticamente ya sea por el método de Rosin – Rammler o por modelo de Gaudin – Shumman.

Por otro lado sabiendo que para hallar la distribución granulométrica de las partículas, usando la abertura de cada malla(+). Y también sabemos que para hallar el d_{50} utilizamos el tamaño promedio de partículas que se obtienen de la media geométrica de las mallas pasante y retenida, se puede tomar el tamaño promedio de las partículas.

3.3.3. METODO GRAFICO.

Graficamos la curva de Gaudin – Shumman del alimento al clasificador en un papel semi-logaritmico, ploteando %Ac(-) de las partículas, trazamos y unimos los puntos y tendremos el perfil granulométrico, luego tomamos, 34.6% de Ac(-) y prolongamos horizontalmente hasta cortar la curva (perfil) de este punto, bajamos su forma vertical el eje de las abscisas y tendremos el d_{50} del clasificador. En nuestro caso nos da = 77 micrones. (gráfico N 3.3).

3.3.4. METODO DEL CALCULO MATEMATICO.

A) UTILIZANDO EL MODELO DE GAUDIN – SHUMMMAN.

Tenemos el modelo:

$$Y = 100\left(\frac{X}{K}\right)^m \qquad (3.20)$$

Donde:

Y = % Ac(-)

X = Tamaño de las partículas distribuidas

K = Tamaño máximo de partículas

m = constante

Linealizando y tomando logaritmo vulgar tenemos:

$$\log y = \log \frac{100}{k^m} + m \log x$$

(3.21)

La ecuación de un recta

Y = a + bx

Donde:

$Y = \log$

$a = \log \frac{100}{k^m}$ (3.22)

$b = m$ (3.23)

$x = \log x$

Luego construimos la siguiente tabla:

TABLA N° 3.8 PARA UTILIZAR EL MODELO DE GAUDIN – SHUMMMAN

MALLA	TAMAÑO PROMEDIO DE PARTICA(X)	%Ac(-) (Y)	X Log $\bar{X}$	Y Log (y)	XY	X^2
+48	351	72.03	2.545	1.857	4.726	6.477
+65	247.7	61.05	2.394	1.786	4.276	6.731
+100	174.8	50.74	2.243	1.705	3.824	5.031
+150	124.2	41.77	2.094	1.621	3.394	4.385
+200	88.1	36.17	1.945	1.558	3.030	3.783
+270	63.2	32.29	1.801	1.509	2.718	3.244
-270	45.4	00.00				
			13.022	10.036	21.968	28.651

Aplicando la formula de mínimos cuadrados:

$$a = \frac{\sum x^2 \sum Y - \sum XY}{N\sum X^2 - (\sum X)^2} = \frac{(28.651)(10036) - (13.022)(21.968)}{6(28.651) - (13.032)^2}$$

$$a = -0.632$$

$$b = \frac{N\sum XY - \sum X \sum Y}{N\sum X^2 - (\sum X)^2} = \frac{6(21.268) - 16.002(10.036)}{6(28.651) - (13.022)^2} = 0.480$$

Reemplazando en las ecuaciones (3.22) y (3.23)

$m = 0.48$

$0.632 = \frac{\log 100}{K^{0.48}} \qquad K = 709$

Luego la ecuación N°3.20 queda así :

$Y = 100\frac{(x)^{0.48}}{709}$

Haciendo que : $Y = \%Ac(-) = 34.6 \; y \; x = d50$

$34.6 = 100\frac{(d_{50})^{0.48}}{709}$

$d_{50} = 77.7 \; microns$

B) UTILIZANDO EL MODELO DE ROSIN – RAMMMLER.

Utilizando el (%Ac+)

Partimos del modelo de Rosin – Rammler.

$$G(X) = 100e^{-(x/k)^m} \qquad (3.24)$$

Donde:

G(X) = %Ac(+)

X = Distribución de tamaño de partículas.

K y m = constantes

Linealizando la ecuación (3.24) y tomando logaritmo natural

$$In\left(\frac{Gx}{100}\right) = -\left(\frac{x}{K}\right)^m In(e)$$

Luego por el signo la ecuación queda de la siguiente manera:

$$\ln\left(\frac{100}{Gx}\right) = \left(\frac{x}{K}\right)^m$$

Dando logaritmo decimal, la ecuación queda:

$$\log \ln\left(\frac{100}{Gx}\right) = m \log x - \log K^m \qquad (3.25)$$

La ecuación de una recta:

Y = ax +b

Donde:

$$Y = \log \ln\left(\frac{100}{Gx}\right) \qquad (3.26)$$

a = m

x = log x

b = - log K^m (3.27)

Luego tabulamos

Tabla No 9

Malla	Tamaño promedio de partícula (um)	Gx %Ac( )	Y Log 100/(100-Y)	X Log x	XY	X^2
48	351	27.97	0.005	2.545	0.267	6.477
65	247.7	38.95	-0.026	2.394	-0.062	5.731

100	174.8	49.26	-0.130	2.243	-0.396	5.031
150	124.2	58.23	-0.267	2.094	-0.559	4.385
200	88.1	63.83	-0.347	1.945	-0.675	3.783
270	63.2	67.71	-0.409	1.805	-0.737	3.244
$\sum$			-1.094	13.022	-2.103	28.651

Hallemos los valores de la ecuación (3.29) con las formulas :

$$a = \frac{6(-2.103) - (13.022)(-1.094)}{6(28.651) - (13.022)^2} = 0.7$$

$$b = \frac{(28.651)(-1.094) - (13.022)(-2.103)}{6(28.651) - (13.022)^2} = -1.696$$

Reemplazando en las ecuaciones (3.26) Y (3.27)

Tenemos:

m = 0.7

- 1.696 = - log $K^{0.7}$

K = 265

Luego la ecuación queda :

$$Gx = 100e^{-\left(\frac{x}{265}\right)^{0.70}} \qquad (3.28)$$

Se reemplaza:

Gx = %Ac(+)=100 - 34.6 = 65.4

X = d_{50}

$$65.4 = 100e^{-\left(\frac{d_{50}}{265}\right)^{0.70}}$$

Resolviendo tenemos:

d_{50} = 77.9 micrones

Vemos que los resultados hallados por los dos métodos son similares

3.6. Calculo del d50 corregido

Para hallar el d_{50} corregido debemos en primer lugar conocer el Bp (BY – PASS) luego utilizando la ecuación (1.2) hallamos los porcentajes de partición corregido para cada malla datos que nos servirán para graficar en el papel semi logarítmico ploteando porcentaje de partición de rebose y de las arenas versus tamaño promedio de las partículas cortando al 50% de partición obtenemos el d_{50} corregido que en este caso es de 112 micrones (grafico No2)

Conociendo la carga circulante podemos hallar los pesos de las arenas y rebose , si se sabe los porcentajes de sólidos y densidad de pulpa podemos calcular la cantidad de agua en cada punto con la cual hallaremos el (BY-PASS) por lo tanto construiremos la tabla 10.

Tabla 10 TONELAJE Y CAUDAL EN CADA PUNTO.

Alimento y producto del ciclón	Sólido	% sólido	dp g/lt	Peso de agua TMPD	Peso de pulpa TMPD	Pulpa (Q) m^3/h
Alimento (F)	4335	60.00	1667	2890.0	7225	180.6
Arenas (U)	2835	80.51	2158	686.3	3521.3	68.0
Rebose (c)	1500	40.50	1370	2203.7	3703.7	112.6

Carga Circulante: 189%

U = 1.89 x 1500 = 2835 TMSPD

F = A + U = 1500 + 2835 = 4335 TMSP

Peso de Agua en:

$$F = 4335 * \left(\frac{100 - 60}{60} \right) = 2890 TMPD$$

Peso de Agua en:

$$U = 2835 * \left(\frac{100 - 80.51}{80.51} \right) = 686.3 TMPD$$

Peso de Agua en

$$O = 1500 * \left(\frac{100 - 40.50}{40.50} \right) = 2203 TMPD$$

Caudal de pulpa:

$$Q = \frac{Volumen}{Tiempo} \qquad (3.29)$$

$$Volumen\ pulpa = \frac{Peso\ de\ pulpa}{Densidad\ de\ pulpa} \qquad (3.30)$$

Remplazando (3.29) en (3.30)

$$Q = \frac{Peso\ de\ pulpa}{Densidad\ de\ pulpa\ \ *\ \ Tiempo} \qquad (3.31)$$

Donde:

$$Q(F) = \frac{7225\ TM}{1.667\ TM/m^3\ *\ 24\ horas} = 180.6\ m^3/hora$$

$$Q(U) = \frac{3521.3\ TM}{2.158\ TM/m^3\ *\ 24\ horas} = 68\ m^3/hora$$

$$Q(O) = \frac{3703.7\ TM}{1.370\ TM/m^3\ *\ 24\ horas} = 112.6\ m^3/hora$$

Hallando el BY PASS (Bp)

$$Bp = \frac{Peso\ de\ agua\ en\ las\ arenas}{Peso\ de\ agua\ en\ el\ a\lim ento}$$

Reemplazado Valores:

$$Bp = \frac{686.3}{2890} = 0.2375 * 100 = 23.75\%$$

Lo que quiere decir que de toda el agua que ingresa al ciclón el 23.75% pasa al flujo de las arenas y este será el mismo porcentaje de sólidos que pasan directamente a las arenas sin previa clasificación

Seguidamente hallamos el porcentaje de partición de las arenas corregida con la ecuación 1.2

$$\%Eu_c = Eu - \frac{Bp * 100}{1 - Bp}$$

a) Para la malla (+48)

%Eu = 85.69

Eu = 0.8569

Reemplazando en la ecuación:

$$\%Eu_c = \frac{0.8569 - 0.2375}{1 - 0.2375} * 100 = 81.23$$

b) Para la malla (+65):

Eu = 0.7846

$$\%Eu_c = \frac{0.7846 - 0.2375}{1 - 0.2375} * 100 = 71.75$$

c) Para la malla (+100):

Eu = 0.7627

$$\%Eu_c = \frac{0.7827 - 0.2375}{1 - 0.2375} * 100 = 68.88$$

Y así calculamos para todas las mallas cuyos resultados se indican en tabla 3.11:

Tabla 3.11 (%) Porcentaje y Tamaño Promedio de Partículas para graficar las curvas de Partición

Malla	Tamaño promedio de partículas (um)	%Eu Simple	$\%Eu_c$ calculado	$\%Eu_c$ corregido
48	351.0	85.69	56.67	81.23

65	247.7	78.46	79.52	71.75
100	174.8	76.27	71.28	68.88
150	124.2	67.01	62.70	56.73
200	88.1	51.02	54.09	35.76
270	63.2	36.74	46.18	17.04
-270	3.4	45.37	38.94	28.35

3.7 EFICIENCIA DE UN CLASIFICADOR

Viene hacer el trabajo efectivo del clasificador con respecto a partículas de tamaño referente al d_{50}, , esto, esta dado por la siguiente formula:

$$E_T = E_1 \times E_2 \times 100 \qquad (3.32)$$

Donde : E_T = eficiencia total de clasificador
E_1 = eficiencia con respecto al rebose
E_2 = eficiencia con respecto a las arenas

Y esta dado por :

$$E_1 = \frac{Peso\ de\ partículas\ menores\ al\ d_{50}\ en\ el\ rebose}{Peso\ de\ prtículas\ mayores\ al\ d_{50}\ en\ el\ a\lim ento} \qquad (3.33)$$

$$E_2 = \frac{Peso\ de\ las\ partículas\ mayores\ al\ d_{50}\ en\ las\ arenas}{Peso\ de\ partículas\ mayores\ al\ d_{50}\ en\ el\ a\lim ento} \qquad (3.34)$$

Para hallar los pesos: necesitamos conocer los porcentajes acumulados pasantes %Ac (-) y porcentajes acumulados retenidos %Ac(+) de las partículas referentes al d_{50} ; para esto nos valemos del d_{50} simple que es de 86 micrones y luego en un papel semi log graficamos las curvas de Gaudin – Shumman, para el alimento, rebose y arenas del clasificador (según la figura No 4) Seguidamente en el eje de las abscisas tomamos 86 micrones que es referente al del d_{50} y trazamos una recta que corta a las tres curvas y abstendremos tres puntos luego trazamos líneas horizontales hasta cortar el eje de las ordenadas donde se encontrara los Ac(-) y hallamos los datos para cada uno de ellos , según la figura nos da:

F %Ac(-) = 38% Luego %AC(+) F = 100-38 = 62%

O %Ac(-) = 61% %Ac(+) O = 100-61 = 39%

U %Ac(-) = 26% %Ac(+) U = 100-26 = 74%

Que indica que en el alimento 38% de todas las partículas son menores al tamaño d_{50} y 62% son mayores en el rebose(O) 61% son menores y 39% son mayores, finalmente en las arenas 26% son menores y 74% son mayores

Por otro lado sabemos por ecuaciones anteriores que:

$F = 2{,}89 \quad O$ $U = 1{,}89 \quad O$

Luego reemplazamos valores en las ecuaciones (3.33) y (3.34)

$$E_1 = \frac{(61\%)\ O}{(38\%)\ F} = \frac{(61\%)\ O}{(38\%)(2.89)\ O} = 0{,}65$$

$$E_1 = \frac{(74\%)U}{(62\%)F} = \frac{(74\%)1.889\ O}{(62\%)(2.89)\quad O} = 0{,}78$$

Luego reemplazamos en la ecuación (3.32)

$E_T = 0{,}5 \times 0{,}78 \times 100$

$$\boxed{E_T = 42.9\%}$$

CAPITULO IV

SIMULACIÓN DE HIDROCICLONES

4 APLICACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE LYNCH-RAO.

Según pruebas experimentales de determinación de malla óptima de liberación minera gráficas se determinó que la granulometría actual del rebose del ciclón es muy gruesa y con una granulometría más fina se incrementaría la recuperación en la etapa de flotación de partículas valiosas, reduciendo esto en un incremento económico favorable a la empresa. Para lo cual según experiencias anteriores y estudios bibliográficos, podemos conseguir en el rebose una granulometría más fina, bajando el porcentaje de sólidos en el alimento al ciclón e incrementando el diámetro del APEX (du) del ciclón.

El porcentaje de sólidos bajamos de 60.0 a 55.0% y el diámetro del APEX de 2.5” a 3” y las otras variables se mantienen constantes, utilizando los modelos de LYNCH – RAO, podemos simular y estudiar las nuevas condiciones de trabajo determinando el d_{50} y la nueva granulometría del rebose que debe estar de acuerdo a nuestros requerimientos, con todos los datos podemos hacer pruebas de verificación a nivel de planta piloto. Con la finalidad de optimizar los parámetros del trabajo en planta industrial.

Para lo cual se dispone de los siguientes datos:

$$Ge = 3.0\,gr/c.c. = 3.0\,TM/m^3$$

Ø (porcentaje Volumétrico) = 33.33%

Bp = 0,2375

$H_2O(F)$ = 120,42 TM /Hora

$H_2O(O)$ = 91,82 TM /Hora

$H_2O(U)$ = 28,60 TM /Hora

Q(F) = 180,6 m^3/Hora

%S(F) = 60,0

%S(U) = 80,51

%S(O) = 40,50

DEL CICLÓN

Do (diámetro del ciclón) = 18”

Du (diámetro del Apex) = 2.5”

Do (diámetro deL Vortex) = 5”

h (altura del ciclón) = 48”

P(Presión de alimentación) = 8 psi

4.5. CALCULO DE PORCENTAJE VOLUMÉTRICO DEL ALIMENTO AL CICLON (Ø)

$$Ø = \frac{volumen\ del\ sólido}{volumen\ de\ la\ pulpa} \times 100 \qquad (4.1)$$

$$\text{volumen del sólido} = \frac{\text{Peso del sólido}}{\text{G.e}} \qquad (4.2)$$

volumen pulpa = vol. sólido + Vol líquido(H_2O) (4.3)

Reemplazando valores:

$$\text{Volumen de sólidos} = \frac{4335}{3{,}0} = 1445 m^3$$

Volumen de la pulpa = 1445 + 2890 = 4335 m^3

$$Ø = \frac{1445}{4335} \times 100 = 33{,}33\%$$

4.6. ECUACIÓN DE LA CAPACIDAD VOLUMÉTRICA.

$$Q = Ao(P)^{A1}\ Do^{A2}\ (100 - \%S(F))^{A3} \qquad (4.4)$$

Donde:

Q = Caudal de la pulpa alimentada al ciclón en m^3/hora (180.6 m^3/hora)

P = Presión (8 psi)

Do = Diámetro del vortex del ciclón (5”)

%S(F) = Porcentaje de sólidos en peso del alimento (60%)

Ao,A1,A2,A3 = Constantes típicas para el sistema: Mineral – ciclón

LINCH - RAO. Después de muchas pruebas experimentales hallaron los valores de las constantes para hidrociclones de diámetros que varían entre 15” – 26”, si es diferente a este rango, hay que calcular las constantes con pruebas experimentales.

A1 = 0.5
A2 = 1.0
A3 = 0.125

El valor Ao varia significantemente con el tipo de mineral, las otras constantes varían muy poco.

Reemplazando valores en la ecuación (4.4) tenemos:

$180.6 = Ao(P)^{0,5}\ (5)^{1.0}(100 - 60)^{0,125}$

Ao = 8,05

Por lo tanto la ecuación de capacidad volumétrica queda así:

$$Q = 8,05(P)^{0,5}(Do)^{1}\ (100 - \%S(F))^{0,125} \qquad (4.5)$$

4.7. ECUACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE AGUA

$$H_2O(0) = B_0 + B_1\ (H_2O(F)) + B_2(Du) \qquad (4.6)$$

Donde:

B_0 = Constante a estimarse

B_1 = 1,1

B_2 = -10.0

$H_2O(0)$ = Peso de H_2O en el rebose (C) 91,82 TM / Hora

$H_2O(F)$ = Peso de H_2O en alimento (F) 120.42 TM /Hora

Du = Diámetro del APEX (2,5)”

Reemplazando valores en la ecuación (4.6)

$91.82 = B_0 + 1{,}1\ (120.42) - 10(2.5)$

$B_0 = -15{,}642$

Luego la ecuación de distribución de agua queda así:

$H_2O(0) = -15{,}642 + 1{,}1\ (H_2O(F)) - 10(Du)$ (4.7)

4.8. ECUACIÓN DEL TAMAÑO DE CORTE CORREGIDO

$Ln(d_{50}c) = Co + C1(Do) + C2(Du) + C3(P) + C4(H_2O(0))$ (4.8)

Donde:

Co = constante a estimarse
C1 = 0,3846
C2 = -0,2857
C3 = 0,0935
C4 = -0,0192
d_{50} = Tamaño de corte corregido por el BY-PASS(122 μ)
$H_2O(0)$ = Peso de agua en el rebose. 91,82 TM /Hora

Reemplazando valores en la ecuación (4.8)

$ln(112) = Co + 0.3846(5) - 0.2857(2.5) + 0{,}0935(5) - 0{,}0192(91{,}32)$

Co = 4.525

Luego la ecuación del tamaño de corte corregido que da así:

$ln(d_{50}c) = 4{,}525 + 0{,}3846(Do) - 0{,}2857(Do) + 0{,}0935(P) - 0{,}0192(H_2O(0))$ (4.9)

4.9. ECUACIÓN QUE GOBIERNA LA CURVA DE EFCIENCIA REDUCIDA

Esta dado por la siguiente ecuación:

$$\%Euc = \frac{\exp(a\frac{d}{d_{50}c}) - 1}{\left[\exp(a\frac{d}{d_{50}c}) + \exp(a) - 2\right]} \times 100 \qquad (4.10)$$

Donde:

%Euc = porcentaje de partición corregida en las arenas

exp = e(ejemplo: exp(a) = e^a)

a = Constante a determinar para cada mineral.

d = Tamaño promedio de partículas

$d_{50}c$ = Tamaño de corte corregido.

El problema aquí, es hallar el valor de (a), lo podemos calcular por varios métodos, ya sea por métodos numéricos, cálculos iterativos o con programa computarizado, hallando (a) para cada malla contando con los datos %Euc, d y $d_{50}c$.

Para este caso hallamos con cálculos iterativos y luego comprobamos con programa computarizado, para lo cual tenemos la siguiente tabla:

TABLA Nº 3.12

MALLA	TAMAÑO PROMEDIO DE (d)	$D_{50}c$ (μμ)	$\frac{d}{d_{50}c}$	%Euc	Euc	a
+48	331	112	3,134	81,23	0,8123	0,28
-48+65	247,7	112	2,212	71,75	0,7175	0,22
-65+100	147,8	112	1,561	68,88	0,6888	1,03
-100+150	124,2	112	1,109	56,73	0,5673	2,25
-150+200	88,1	112	0,787	35,76	0,3576	2,43
-200+270	63,2	112	0,564	17,04	0,1704	3,33
-270	45,4	112	0,405	28,35	0,2835	

Luego el valor de “a” será el promedio de todos los valores hallados para cada malla.

$$a = \frac{0,25 + 0,22 + 1,03 + 2,25 + 2,43 + 3,3}{6}$$

a = 1.59

Finalmente la ecuación de la curva de eficiencia reducida quedará expresada por la siguiente ecuación:

$$\%Euc = \frac{\exp(1,59\frac{d}{d_{50}c}) - 1}{\left[\exp(1,59\frac{d}{d_{50}c}) + \exp(1,59) - 2\right]} \times 100 \qquad (4.11)$$

5 CALCULO DE LA VARIABLES DE TRABAJO A CONDICIONES DESEABLES

Luego de establecido los coeficientes de las ecuaciones de LYNCH – RAO para las condiciones actuales de operación, se estima ahora las condiciones de operación con los cambios mencionados anteriormente

5.1. CALCULO DEL NUEVO CAUDAL ALIMENTADO AL CICLON

El tonelaje alimentado el ciclón no varia:

Por lo tanto:

F = 180,6 TM /Hora

%S(deseado) = 55

Peso de pulpa (F) = $\frac{180.6}{0.55} = 328.36\ TM / Hora$

Peso de agua (F) = 180.6 x $\frac{45}{55}$ = 147.76 TM /Hora

Volumen de Agua = 147.46 m^3/hora

Volumen de pulpa = $\frac{180.6}{3} + 147.46 = 207.96 m^3 / hora$

Q = 207.96m^3/hora

5.2. CALCULO DE LA NUEVA CAIDA DE PRESIÓN

Reemplazando valores en la ecuación (4.5)

$207,96 = 8,05(P)^{0,5}(5,0)^{1}(100-55)^{0,125}$

P = 10 P.S.I.

5.3. CALCULO DE LA NUEVA DISTRIBUCIÓN DE AGUA

Reemplazando los nuevos valores en la ecuación (4.7)

$H_2O(F)$ = 147.76 TM /Hora

Du = 3”

$H_2O(O)$ = -15.642 + 1.1(147.76) – 10(3)

= 116.89 TM /Hora

$H_2O(U)$ = 147.76 – 116.89 = 30.87 TM /Hora

Calcular el BY-PASS(Bp)

$$Bp = \frac{H_2O(U)}{H_2O(F)} = \frac{30,87}{147,76} = 0,2089 * 100 = 20,89\%$$

5.4. CALCULOS DEL NUEVO $d_{50}c$

Reemplazando valores nuevos en la ecuación (4.9)

$\ln(d_{50}c) = 4,525 + 0,3846(5) – 0,2857(3)+0,0935(10,3) - 0,0192(116,89)$

$d_{50}c = 74,4$

5.5. CALCULO DE LOS NUEVOS PORCENTAJES DE PARTICIÓN CORREGIDOS EN LAS ARENAS

Reemplazando valores en la ecuación (4.11) hallamos el porcentaje de partición para cada malla.

Así tenemos:

Para la:

a) Malla (+48)

$$\%Euc = \frac{\exp\left(1.59\frac{(351)}{74.4}\right)-1}{\left[\exp(1.59\times\frac{351}{74.4})+\exp(1.59)-2\right]}\times 100 = 99.78$$

b) Malla (+65)

$$\%Euc = \frac{\exp\left(1.59\frac{(247.7)}{74.4}\right)-1}{\left[\exp(1.59\times\frac{247.7}{74.4})+\exp(1.59)-2\right]}\times 100 = 98.06$$

De la misma manera se halla para todas las mallas y se construye la siguiente tabla.

TABLA Nº 3.13
NUEVOS PORCENTAJES Y FRACCIONES DE PARTICIÓN CORREGIDA DE LAS ARENAS

MALLA	TAMAÑO PROMEDIO DE (d)	%Euc	Euc
+43	351	99,78	0,9978
-48+65	247,7	98,06	0,9806
-65+100	174,8	91,29	0,9129
-100+150	124,2	77,19	0,7719
-150+200	88,1	58,80	0,5880
-200+270	93,2	42,28	0,4228
-270	45,4	29,56	0,2956

Luego calculamos los porcentajes de partición simple o reales a partir de la ecuación 1.2

$$\%Euc = \frac{Eu - Bp}{1 - Bp} \times 100$$

Despejando Eu y multiplicando por 100

$$\%Euc = [Euc(1 - Bp) + Bp] \times 100 \qquad (4.12)$$

Donde:

Euc = Fracción de partición corregida

Eu = Porcentaje de partición simple

Bp = BY-PASS (0,2089)

Seguidamente reemplazamos valores en la ecuación (4.12) y hallamos los porcentajes de partición simple para cada malla.

Así tenemos, para la malla:

a) Malla (+48)

$$\%Eu = [0,9978(1 - 0,2089) + 0,2089] \times 100 = 99,82$$

b) Malla(+65)

$$\%Eu = [0,9806(1 - 0,2089) + 0,2089] \times 100 = 98,46$$

c) Malla(+100)

$$\%Eu = [0,9129(1 - 0,2089) + 0,2089] \times 100 = 93,11$$

De la misma manera para cada una de ellas, calculamos los porcentajes de partición simple para cada malla que lo visualizaremos en la tercera columna de la tabla Nº14.

5.6. CALCULO DE LOS NUEVOS ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS DE LAS ARENAS Y DEL REBOSE DEL CLASIFICADOR

Consideremos que la granulometría del alimento permanece constante (es el mismo), primeramente hallando los pesos de las arenas para cada malla, por diferencia hallamos los pesos del rebose para cada malla y por ende los porcentajes. Para lo cual utilizaremos la fórmula (3.14)

De donde: $$U(xi) = \frac{\%Eu \times F(xi)}{100} \qquad (4.13)$$

Donde:

%Eu = Porcentaje de partición simple para cada malla.

Uxi = Peso de las arenas de determinada malla (xi)

Fxi = Peso del alimento de determinada malla (xi)

TABLA Nº 3.14

NUEVO ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS PRODUCTOS DEL CICLON

MALLAS	TAMAÑO PROMED. DE PART	%Eu	ALIMENTO(F)		ARENAS (U)		REBOSE(0)	
			% PESO	PESO TMS.H	% PESO	PESO TMS.H	% PESO	PESO TMS.H
+48	351	99,82	27,97	50,51	36,81	50,42	0,21	0,09
+65	247,7	98,46	10,98	19,83	14,25	19,52	0,71	0,31
+100	147,8	93,11	10,31	18,62	12,66	17,34	2,93	1,28
+150	124,2	81,95	8,97	16,20	9,69	13,28	6,69	2,92
+200	88,1	67,41	6,60	10,11	4,97	6,81	7,57	3,30
+270	63,2	54,33	3,78	6,83	2,71	3,71	7,15	3,12
+270	45,4	44,27	32,39	58,50	18,91	25,90	74,74	32,60
$\sum$	---	---	000,0	180,6	100,0	136,9	100,0	43,62

El peso de las arenas se calcula reemplazando los datos de las columnas 3 y 5 de la tabla nº 14 en la ecuación (4.13).

Con lo que se tiene para la:

a) Malla +48 = xi

$$U(+48) = \frac{99.82 \times 50.51}{100} = 50.42 TMS / Hora$$

b) Malla +65 = xi

$$U(+65) = \frac{98.46 \times 19.83}{100} = 19.52 TMS / Hora$$

c) Malla +100 = xi

$$U(+100) = \frac{93.11 \times 18.62}{100} = 17.34 TMS / Hora$$

y así para todas las otras mallas.

El peso total de las arenas del clasificador será de los pesos parciales de cada malla que es 136.98 TMS /Hora.

El peso del rebose para cada malla obtenemos por diferencia.

Peso rebose(malla xi) = Peso alimento – peso arenas

Reemplazando valores:

Para la:

a) Malla (+43)

Peso Rebose(0) = 50.51 – 50.42 = 0.09 TMS /Hora

b) Malla (+65)

Peso Rebose(0) = 19.83 – 19.52 = 0.31 TMS /Hora

c) Malla (+100)

Peso Rebose(0) = 18.62 – 17.34 = 1.28 TMS /Hora

Y así para todas las otras mallas.

Siendo el peso total del Rebose del clasificador 43.62 TMS /Hora, luego hallamos los porcentajes para cada malla:

Lo que da en la malla:

(+48) %Peso = $\frac{0.09}{43.62} \times 100 = 0.21\%$

$(+100)\ \%Peso = \frac{1.28}{43.62} \times 100 = 2.93\%$

Luego preparamos una tabla de comparación de análisis granulométrico del Rebose actual con el simulado.

TABLA Nº 3.15

COMPARACIÓN DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL REBOSE ACTUAL CON EL SIMULADO.

MALLA	%PESO ACTUAL	%PESO SIMULADO
+48	11,57	0,21
+65	6,84	0,71
+100	7,07	2,93
+150	8,55	6,69
+200	7,93	7,57
+270	6,90	7,15
-270	51,54	74,74
$\sum$	100,00	100,00

5.7. CALCULO DE LOS NUEVOS PORCENTAJES DE SÓLIDOS

%S(F) = 55

$$\%S(U) = \frac{Peso \quad Sólido}{Peso \quad pulpa} \times 100$$

$$= \frac{136.98 \times 100}{(136.98 + 30.87)} = 31.61$$

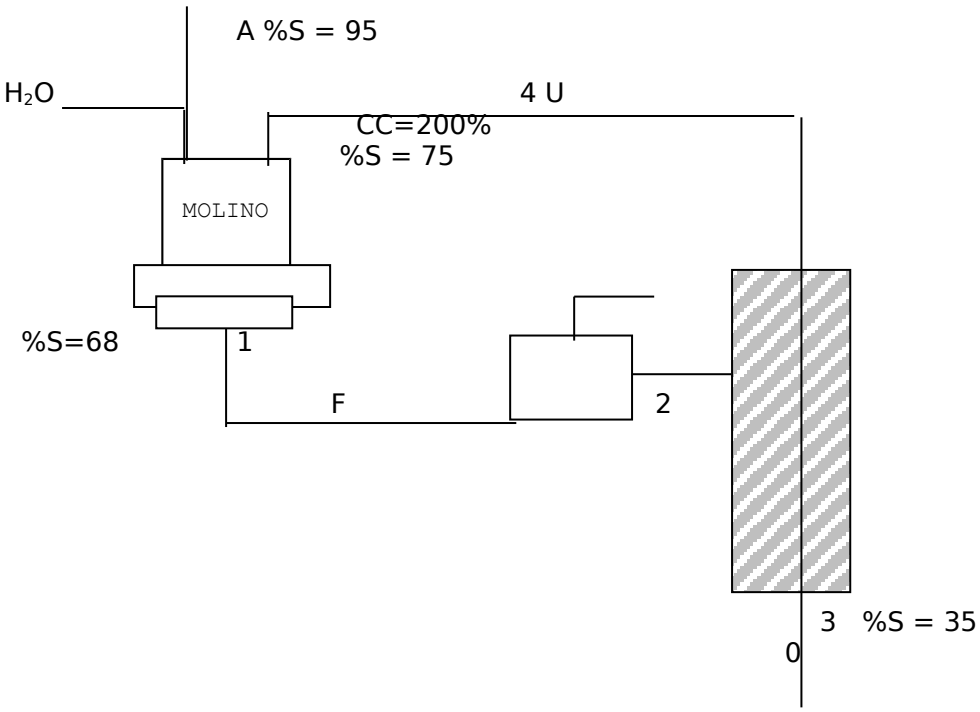
$$\%S(U) = \frac{43.62 \times 100}{(43.62 + 116.89)} = 27.17$$

PROBLEMAS DE APLICACIÓN

PROBLEMA Nº1 En el gráfico, la molienda trabaja en húmedo y en circuito cerrado donde la carga circulante es de 200% y el alimento fresco al circuito de 1000 TMH. por día. El mineral analizado contiene 5% de humedad, además sabemos que las arenas del clasificador tienen 75% de sólidos.

Calcular:

a. El volumen de agua que se deberá añadirse a la entrada del molino para que la molienda se efectúe a 68% de sólidos. En G.P.M.(galones).
b. El volumen de agua que se deberá añadirse en la descarga del molino para obtener en el rebose del clasificador una pulpa con 35% de sólidos. En G.P.M.



SOLUCIÓN:

A = Alimento fresco = 100 TMH día

H_2O(alimento) = 1000(0.05) = 50 TMH día

Peso del mineral seco = 1000 – 50 = 950 TMS día

Haciendo un balance de materia en el circuito (sólidos)

A = 0 (I)

F = U + 0 (II)

También sabemos que la razón de carga circulante es:

$$\frac{U}{0} = R$$

U = R 0 (III)

R = 2.0

Reemplazando valores:

0 = 950 TMS día

$U = 2{,}0 \times 950 = 1900$ T.M.S Día

$F = 1900 + 950 = 2850$ T.M.S Día

Sabemos que en el punto (1) antes de añadirse agua a la pulpa que se alimenta al clasificador el %S = 68

% agua = 100 – 68 = 32

Peso de agua(1) $= 2850 \times \frac{32}{68} = 1341$ T.M.Día

(Descarga)

En la carga circulante:

%S = 75

%agua = 100 – 75 = 25

En la carga circulante $= 1900 \times \frac{25}{75} = 633.3 T.M.Día$

Haciendo un balance de agua en el molino:

H_2O Alimento fresco + H_2O al molino = H_2O en la descarga del molino.

De donde:

H_2O añadida = H_2O en las descargas – (H_2O alimento fresco + H_2O carga circulante)

Reemplazando valores:

H_2O añadida = 1341 – (50 + 633.3) = 657.7 TM /Día $= 657.7 \frac{m^3}{Día}$

Convirtiendo a galones G.P.M.

H_2O añadida $= 657.7 \frac{m^3}{día} \times \frac{1000 l t}{1 m^3} \times \frac{1 galón}{3.785 l t} \times \frac{1 día}{1440 \min} = 121 GMP$

B.- El porcentaje de sólidos deseable en el rebose (0) del clasificador es 35%

%agua = 100 – 35 = 65%

0 = 950 T.M.S. /Día

Agua en el rebose $= 952 \times \frac{65}{35} = 1764$ T.M.Día

Haciendo balance de agua en el clasificador:

H_2O descarga del molino + H_2O añadida = H_2O carga circulante + H_2O rebose

H_2O añadida = H_2O carga circulante + H_2O rebose - H_2O descarga del molino

Reemplazando valores:

$$H_2O\,añadida = 633.3 + 1764 - 1341 = 1056.3\frac{TM}{día} = 1056.3\frac{m^3}{día}$$

Convirtiendo a galones G.P.M.

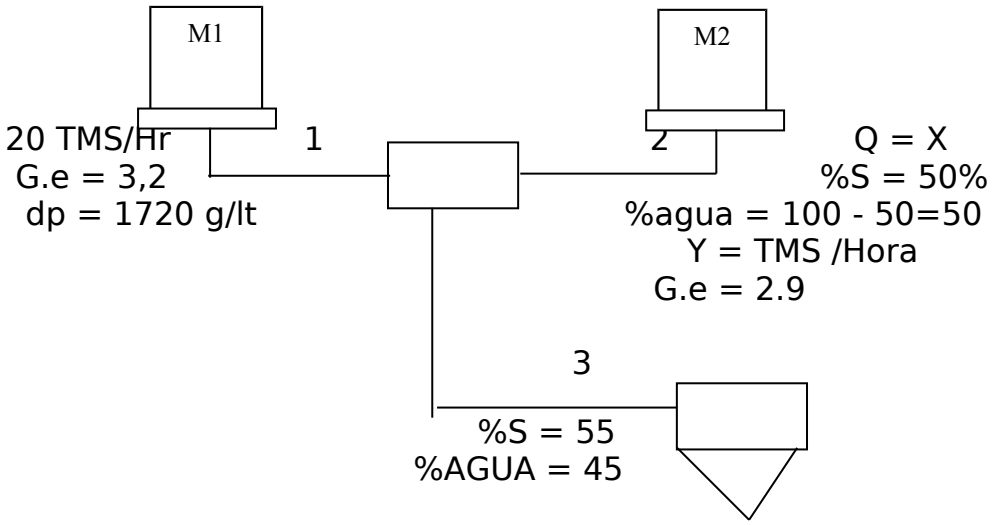
H_2O añadida = 193.8 G.P.M

PROBLEMA Nº 2 Dos molinos trabajan con un solo hidrociclón como clasificador juntándose las descargas de los 2 molinos antes de ingresar al ciclón. En la descarga del primer molino nos da los siguientes datos: Tonelaje de mineral = 200 TMS / Hora, gravedad específica del mineral = 3.2 y densidad de pulpa(dp) = 1720 g/1t. Y en la descarga del molino Nº2: el %S = 50 y gravedad específica del mineral = 2.9.

Calcular: el tonelaje y el caudal de la descarga del molino Nº2 en G.P.M. (galones por minuto) para dar en el alimento al ciclón una pulpa con 55% de sólidos. Asumir que no se aumenta agua después de tomado dichos datos.

SOLUCIÓN:

Gráficamente según el enunciado:



a) El peso de los sólidos de la descarga del molino Nº2 = Y TMS.

b) Se halla el porcentaje de sólidos en la descarga del molino Nº1 con la siguiente fórmula:

$$\%S = \frac{(dp-1)\times G.e}{(G.e-1)\times dp}\times 100$$

Donde:

dp = densidad de pulpa en Kg/1t (1,72)

G.e = gravedad específica de mineral (3,2)

Reemplazando valores

$$\%S = \frac{(1{,}72 - 1)\times 3{,}2}{(3{,}2 - 1)\times 1{,}72}\times 100 = 60{,}9$$

c) Los tonelajes sumados de los puntos 1 y 2 serán iguales al tonelaje de sólido en el punto 3 y representará al 55% del peso del punto 3, de la misma manera la cantidad de agua en 1 más la cantidad de agua en 2 será igual a la cantidad de agua en el punto 3 y representará al 45% del peso en el punto 3.

Peso de agua en el punto $3 = \frac{20}{60.9}(100-60.9) = 12.84 TMHora$

Peso de agua en el punto 2 $= A \times 50 / 50 = A$ TMHora

Entonces según lo dicho hacemos la siguiente relación:

Sólido 1 + sólido 2	55% ¦ peso del
Agua 1 + agua 2	45% ¦ punto 3

Reemplazando valores

20 + A	55%
12.84 + A	45%

Vemos que es una regla de tres simple; por lo tanto:

$$45(20 + A) = 55(12{,}84 + A)$$

De donde: $A = 19{,}38 \text{ TMS Hora}$

d) Hallando el caudal (Q) en el punto 2

$$(Q) = \frac{\text{volumen pulpa}}{\text{tiempo}} \qquad \text{(I)}$$

$$\text{Vol(pulpa)} = \text{Vol sólido} + \text{Vol agua} \qquad \text{(II)}$$

$$\text{Vol de sólido} = \frac{\text{Peso de sólido}}{\text{G.e}} \qquad \text{(III)}$$

Reemplazamos (III) en (II) y los valores:

$$Vol\,(pulpa) = \frac{19.38}{2.9} + 19.38 = 26.06\,m^3$$

$$Q = 26.06\,m^3 / hora$$

Convirtiendo a G.P.M.

$$Q = 26.06\frac{m^3}{Hora} \times \frac{1000LT}{1m^3} \times \frac{1\,galón}{3.785\,Lt} \times \frac{1\,Hora}{60\,\text{min}}$$

$$Q = 14.75\,G.P.M.$$

NOTA: El problema también se puede resolver por otros métodos, pero con este el resultado se obtiene en forma más corto, queda como tarea del estudiante hallar por otro método, por ejemplo poniendo como tonelaje el punto 3 (z)

PROBLEMA Nº 3 En una planta concentrada que trata mineral fresco a razón de 37 TCSPH, la molienda trabaja en húmedo y en circuito cerrado, con una carga circulante de 250%, utilizando como clasificador un hidrociclón de 16” de diámetro. La molienda se realiza a 70% de sólidos, luego se le agrega agua a la descarga del molino, antes de ser bombeado al ciclón de manera que la pulpa se diluya a 40% de sólidos, además tenemos los siguientes datos: hc = 48”, Do = 2.5”, Di = 5” y la gravedad específica del mineral es de 3.4.

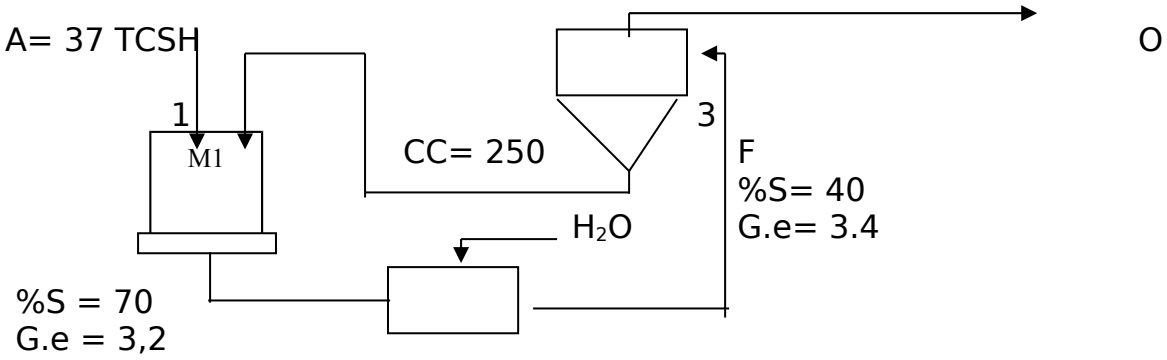
Calcular:

a) El diámetro del Apex el ciclón (Du) que debe tener el ciclón para que el tamaño de corte del clasificador sea de 54 micrones.

b) La cantidad de agua por día que se agrega en la descarga de molino.

SOLUCIÓN:

Primeramente graficamos el circuito de molienda según el enunciado.



Para calcular el diámetro del Apex del ciclón utilizamos el modelo de PLITT:

$$d_{50} = \frac{35\, Do^{0,46}\, Do^{1,21}\, Di^{0,6}\, e^{(0,063Ø)}}{Du^{0,71}\, h^{0,38}\, Q^{0,45}\, (G.e-1)^{0,5}} \qquad \text{(I)}$$

Revisando la fórmula (I) notamos que nos falta los datos del porcentaje volumétrico (Ø) y el caudal (Q) en pies^3/min del mineral alimentado al ciclón, para lo cual calcularemos:

Convirtiendo el alimento fresco a T.M.S.H

$$A = 37 \frac{T.C.S}{Hora} \times \frac{1TM}{1.1023TCS} = 33.6TMS/Hora$$

Según la figura hacemos un balance de materia:

A = O (II)

A + U = F (III)

F - O = U (IV)

Sabemos también que R = U/O U = R O (V)

Donde:

R = razón de carga circulante (2.5)
O de la ecuación (II)
O = 33,6 T.M.S/H

Reemplazando en la ecuación (V):

$$U = 2.5 \times 33.6 = 84 \text{ T.M.S /Hora}$$

En (IV) F = 33.6 + 84 =117.6 T.M.S /Hora

Peso de pulpa en $3 = \frac{117.6}{0.40} = 294$ T.M /Hora.

Peso de agua en 3 = 294 – 117.6 = 176.4 T.M./Hora

Volumen de la pulpa = Vol. Sólido + Vol. Del agua (VI)

Volumen de sólido = $\frac{117.6T.M./Hora}{3.4T.M./Hora} = 34.6\frac{m^3}{Hora}$

En (VI) volumen de la pulpa = 34.6 + 176.4 = 211 m^3/Hora

(porcentaje volumétrico)Ø= $\frac{\text{Vol. Sólido}}{\text{Vol. pulpa}} \times 100$

$$= \frac{34.6}{211} \times 100 = 16.4\%$$

(caudal)Q = 211 m^3/Hora Convirtiendo a $pies^3$/min

$$Q = 211 \frac{m^3}{hora} \times \frac{35.314\, pies^3}{1 m^3} \times \frac{1 hora}{60 \min} = 124.2 \frac{pies^3}{\min}$$

Reemplazando datos en la ecuación (I)

$$54 = \frac{35(16)^{0.45}(2.5)^{1.21}(5)^{0.6} e^{(0.063(16.4))}}{Du^{0.71}(48)^{0.38}(124.2)^{0.45}(3.4-1)^{0.5}} \qquad (I)$$

De donde operando se obtiene: Du = 0,83”

a) Balance de agua:

H_2O (2) + H_2O(añadida) = H_2O (3)

H_2O añadida = H_2O(3) - H_2O (2) (VII)

$$H_2O\ (3) = 176.4 \frac{m^3}{hora} \times \frac{24 horas}{1 día} = 4233.6 \frac{m^3}{día}$$

$$\text{Peso del mineral en (2)} = 117.6 \frac{T.M.}{Hora} \times 24 = 2822.4 \frac{T.M.}{Día}$$

$$H_2O\ (2) = \frac{2822.4}{70} \times 30 = 1209.6 \frac{T.M.}{Día}$$

Vol H_2O(2)=1209.6 m^3/día

Reemplazando en la ecuación (VII)

H_2O(añadida) = 4233.6 – 1209.6 = 3024 m^3/día

PROBLEMA Nº 4 A un hidrociclón de 12” de diámetro se alimenta pulpa a una razón de 68.6 $pies^3$/minuto, siendo la gravedad específica

del mineral 3, además se sabe que h = 36”, Do = 2”, Di = 4”, Du = 1.2” y el d_{50} del clasificador es 60 micrones.

Calcular:

a) Los TMS/Hora de mineral alimentado.
b) Los G.P.M. de agua alimentada.

SOLUCIÓN:

En primer lugar conoceremos el porcentaje volumétrico del mineral (sólido)(Ø)para el cual utilizamos el modelo matemático de PLITT.

$$d_{50} = \frac{35\, Do^{0.46}\, Do^{1.21}\, Di^{0.6}\, e^{(0.063Ø)}}{Du^{0.71}\, h^{0.38}\, Q^{0.45}\, (G.e-1)^{0.5}} \qquad \text{(I)}$$

Reemplazando valores en la ecuación (I)

$$d_{50} = \frac{35(12)^{0.46}\,(2)^{1.21}\,(4)^{0.6}\, e^{(0.063Ø)}}{(1.2)^{0.71}\,(36)^{0.38}\,(68.6)^{0.45}\,(3-1)^{0.5}} \qquad \text{(I)}$$

De donde al operar obtenemos la siguiente relación:

$$4.332 = e^{(0{,}063\,Ø)}$$

tomando (ln)

$$\ln(4.332) = 0.063\ Ø\ \ln(e)$$

donde:

$$\ln(e) = 1$$

$$Ø = 23{,}30\%$$

Sabemos por fórmula de porcentaje volumétrico (Ø)

$$ø = \frac{volumen\ de\ sólido}{volumen\ de\ pulpa} \times 100 \qquad \text{(II)}$$

Tenemos el volumen de la pulpa que en otras palabras es el caudal (Q), pero, en pies^3/minuto, convirtiendo a m^3/hora.

$$68.6\frac{pies^3}{\min.}\times\frac{1m^3}{35.314\,pies^3}\times\frac{60\min ut}{1hora}=116.6\frac{m^3}{hora}$$

Reemplazando valores en la ecuación (II)

$$23.30=\frac{volumen\ del\ sólido}{116.6}\times 100$$

Volumen de sólido = 27.20 m^3/hora

Sabemos también que:

Peso de sólido = G.e * (volumen de sólido) (III)

Reemplazando valores:

(a) Peso de sólido $=3.0\frac{T.M}{m^3}\times 27.20\frac{m^3}{hora}=81.6\frac{T.M.}{Hora}$

Volumen de pulpa = vol. Sólido + vol. Agua

De donde:

Vol. De agua = Vol. Pulpa – Vol. Sólido
Vol. De agua = 116.6 – 27.2 = 89.4 m^3/Hr

Convirtiendo a G.P.M.

$$Q=89.4\frac{m^3}{hora}\times\frac{1000Lt}{1m^3}\times\frac{1galon}{3.785Lt}\times\frac{1hora}{60\min}$$

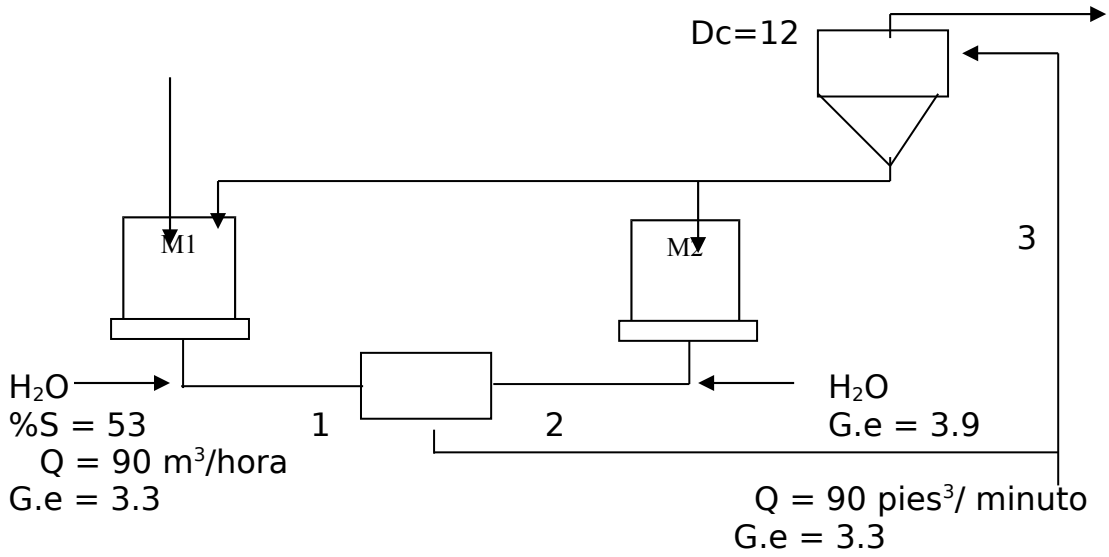
Q = 393.7 G.P.M

PROBLEMA Nº5

Un hidrociclón trabaja como clasificador de la descarga de 2 molinos, según se muestra en la figura; los cuales se juntan entes de ser bombeados al ciclón en una caja de distribución, se sabe que el hidrociclón tiene las siguientes características: Dc = 12”, Do = 2”, Di = 2,5”, Du = 1,0”, h = 36”. También sabemos que en la descarga de los molinos se adicionado agua, después de la cual se obtuvo que el

porcentaje de sólidos en el punto 1 es 53% y el caudal 90 m^3/hora, se sabe además que el d_{50} del ciclón es de 70 u y el caudal del alimento al ciclón es de 90 $pies^3$/minuto. Considerar la gravedad específica para todos los puntos de 3.3, calcular:

a) El peso del mineral en TMS en A y B
b) El porcentaje de sólidos de la pulpa del alimento al ciclón.



SOLUCIÓN:

Empleando el modelo de PLITT y reemplazando los datos del enunciado:

$$70 = \frac{35(12)^{0.46}(2)^{1.21}(2.5)^{0.6}\exp^{(0.063Ø)}}{(1.0)^{0.71}(36)^{0.38}(90)^{0.45}(3.3-1)^{0.5}}$$

de donde obtenemos al aplicar el mismo procedimiento del problema anterior:

$$7{,}133 = e^{0{,}063\,Ø}$$

Tomando logaritmo natural:

$$Ø = 31{,}2\%$$

Convirtiendo el caudal que está en pies^3/min a m^3/hora

$$Q = 90\frac{pies^3}{\min} \times \frac{1m^3}{35.314 pies^3} \times \frac{60 \min ut.}{1 hora}$$

$$Q = 152.9\ m^3/hora$$

Luego el volumen del sólido está:

$$\text{Vol. Del sólido} = 152.9 \times \frac{31.2}{100} = 47.7\, m^3 / hora$$

Luego el peso del sólido en el punto 3 será:

$$Peso\ (sólido) = 47.7\frac{m^3}{hora} \times 3.3\frac{T.M.}{m^3} = 157.4\frac{T.M.}{hora}$$

Según la figura:

$$A + B = 157.4 \qquad (I)$$

Hallando la densidad de la pulpa en el punto 1 con la siguiente fórmula:

$$\%S = \frac{(dP-1)\times G.e}{(G.e-1)\times dp} \times 100$$

Reemplazando valores:

$$83 = \frac{(dp - 1) \times 3{,}3}{(3{,}3 - 1) \times dp} \times 100$$

De donde:

dp = 1,59 kg/lt =1,59 T.M./m^3

Luego hallamos el peso de la pulpa en 1 según la fórmula:

Peso pulpa = dp × volumen pulpa

$$\text{Peso pulpa} = 1.59 \frac{T.M.}{m^3} \times 90 \frac{m^3}{hora} = 143.1 \frac{T.M.}{hora}$$

Luego: peso de sólido $A = 143.1 \times 0.53 = 75.8$ T.M.S /Hora

Peso de B = 157.4 – 75.8 = 81.6 T.M.S./Hora

b.- Según la fórmula:

$$\text{Porcentaje de sólido (\%S)} = \frac{\text{peso del sólido}}{\text{Peso de pulpa}} \times 100$$

Peso del sólido = 157.4 T.M.S./Hora

Peso de la pulpa = Peso del sólido + Peso de agua

Peso de la pulpa = 157.4 + 105.2 = 262.6 T.M.S./Hora

Reemplazando valores:

$$\%S = \frac{157.4}{262.4} \times 100 = 60\%$$