

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA, GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA
ESCUELA DE METALURGIA



**“HIDROCICLONES EN MINERÍA: SELECCIÓN,
EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN”**

INFORME DE INGENIERÍA
PARA OPTAR ÉL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO METALURGISTA

Presentado por:

FREDDY ROBERTO INOCENTE RODRÍGUEZ

Lima - Perú
JULIO - 2003

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi agradecimiento a la Gerencia de la empresa Espinoza Asociado S.A - ESPIASA, por haberme permitido utilizar información como es datos de muestreos en Compañías Mineras, ensambles generales y demás información.

Hago extensivo este agradecimiento a todos aquellos que de una manera u otra han colaborado para que este informe sea elaborado.

Freddy Inocente Rodríguez

Código: 9005871

HIDROCICLONES EN MINERIA: SELECCIÓN, EVALUACIÓN Y OPTIMIZACION

INDICE

Introducción	Pag
Capítulo 1:	1
FUNDAMENTO TEORICO	1.
1.1 Curvas de Partición	1
1.2 Clasificación con Hidrociclones	6
1.2.1 Variables en la Operación con Hidrociclones.	8
1.2.1.1 Variables de Diseño	8
1.2.1.2 Parámetros del Material	9
1.2.1.3 Variables de Operación	9
Capítulo 2:	10
MODELOS MATEMÁTICOS PARA OPTIMIZAR LOS HIDROCICLONES	
2.1 Modelos Cuantitativos para Hidrociclones.	10
2.1.1 Modelos de Lynch- Rao	10
2.1.1.1 Ecuación de Flujo	10
2.1.1.2 Ecuación de flujo de agua	10
2.1.1.3 Ecuación del d ₅₀	11
2.1.1.4 Ecuación de la Curva de Eficiencia	11
2.1.2 Modelos de Plitt.	11
2.1.2.1 Tamaño de corte: d ₅₀	11
2.1.2.2 Partición del flujo (Cortocircuito)	11
2.1.2.3 Caudal	11
2.1.2.4 Caída de Presión	12
2.1.2.5 Presión Estática	12

2.2	Balances Generales	13
2.3	Ecuaciones para Simulación	14
2.4	Optimización de Clasificación.	15
2.4.1	Objetivo de la Clasificación	15
2.4.2	Evaluación Inicial de la Clasificación	15
2.4.3	Optimización	19
2.4.3.1	Para las variables geométricas	19
2.4.3.2	Para las condiciones de operación	19
2.4.3.3	Simulación para nuevas variables	19
2.5	Conclusiones	23
Capítulo 3:		24
HIDROCICLONES HORIZONTALES Y OTROS TIPO DE HIDROCICLON		
3.1	Hidrociclones Horizontales	24
3.1.1	Clasificación Preferencial	24
3.1.2	Comparación de operaciones con Hidrociclones Horizontales	25
3.1.3	Ventajas y desventajas de los Hidrociclones Horizontales	25
3.2	Hidrociclones de Fondo plano.	27
3.3	Equipo ReCyclone	29
3.3.1	Diseño de Recyclone	29
3.3.2	Ventajas de Recyclone	29
3.6	Hidrociclones Cavex.	31

Capítulo 4:	33
SELECCIÓN APLICACIONES DE HIDROCICLONES	33
4.1. Selección de Hidrociclones	33
4.1.1 Corrección para condiciones de operación diferente a las condiciones básicas de operación	34
4.1.1.1 Debido a la fracción volumétrica	34
4.1.1.2 Debido a la presión	34
4.1.1.3 Debido a la gravedad específica	34
4.2 Aplicación de Hidrociclones en Relaves y Relleno Hidráulico	36
4.2.1 Ejemplo de Aplicación	36
Capítulo 5	38
MODIFICACIONES EN LOS HIDROCICLONES.	38
5.1 Cambios en la Geometría.	38
5.2 Materiales de los revestimientos	39
5.3 Hidrociclones de acuerdo a su altura.	39
ANEXOS	
Anexo 1. Corrección de los valores muestreados por mínimos cuadrados	41
Anexo 2. Grafica: Comparación de Eficiencias para valores de muestreo	42
Anexo 3 Grafica: Curvas de partición de datos muestreados	43
Anexo 4 Grafica: Función de clasificación reducida de valores muestreados	44
Anexo 5 Determinación de granulometrías simuladas	45
Anexo 6 Grafica de Función de Clasificación simulada	46
Anexo 7 Grafica de Función de clasificación reducida simulada	47
Anexo 8. Grafica: Nido Radial de 06 Hidrociclones D15B y Vistas de elevacion y planta	48
Anexo 9. Ensamble General Hidrociclon de Fondo Plano	51
BIBLIOGRAFÍA	52

INTRODUCCIÓN

Teniendo la oportunidad de laborar en la Empresa ESPINOZA ASOCIADOS S.A. Fabricante de Equipos para Plantas Concentradoras como es: Hidrociclones Krebs, bombas para pulpa Denver y Galigher, se ha podido conocer y tratar diversos casos de aplicación de estos Equipos y en particular los Hidrociclones

En las operaciones industriales, principalmente Flotación, se tiene exigencias de obtener altas recuperaciones, para lo cual es muy importante realizar una buena clasificación en la molienda, para esto los Equipos mas eficientes y económicos son los Hidrociclones.

Inicialmente se tiene que dimensionar los Hidrociclones en base al caudal y tamaño de corte deseado, posteriormente este Equipo en operación debe ser afinado, para lo cual es necesario, cambiar principalmente, el Apex y Vortex y en algunos casos cambiar las condiciones de operación, como es la densidad de pulpa, cargas circulante, etc.

Estamos adjuntando información sobre otros tipos de Hidrociclones como los de fondo plano, Recyclone e Hidrociclones Cavex.

Además presentamos las mejoras que se han realizado en los Hidrociclones para mejorar la eficiencia de clasificación.

Capítulo 1:

FUNDAMENTO TEORICO

1.1 Curvas de Partición

La clasificación en un Hidrociclón se realiza por diferencias de tamaño y gravedad específica, que al ser alimentadas con cierta presión, originan diferentes velocidades de sedimentación entre las partículas en el fluido. Los Equipos utilizados para clasificar deberán en forma ideal “separar” una mezcla de partículas en dos o más fracciones de acuerdo a su tamaño.

Una forma de caracterizar la acción clasificadora, es por un conjunto de parámetros, uno por cada intervalo de tamaño, que describa como se divide la masa de la alimentación en la Descarga (partículas gruesas), también conocido como Underflow y en el Rebose (partículas finas) también conocido como Overflow

Esto se conoce como Eficiencia de partículas gruesas (E_i) o Selectividad (S_i) y según la Fig 1.1(Pag 3), se define de la siguiente manera:

$$E_i = \frac{Uu_i}{Ff_i} \dots\dots\dots (1.1)$$

Donde: U y F : Flujo masico en el Underflow y Alimento, respectivamente
 u_i , f_i : Fracción granulométrica retenido en cada malla del Underflow y alimento, respectivamente

Para graficar la Curva de Partición, también conocido como “Curva de Selectividad: $s(x_i)$ ” consideramos en la ordenada los punto de E_i y en la abcisa la media geométrica del intervalo al que pertenece el punto E_i . Además idealmente todos los tamaños menor al tamaño de separación deben aparecer en el Overflow o Rebose, mientras que todos los tamaños mayores deber ir a la Underflow o descarga. Este tamaño de separación es conocido como “ d_{50} ”. (Ver Fig 1.2 , Pag 3)

Lamentablemente la clasificación ideal no es posible, ya que existe el Cortocircuito, que es el paso de partículas finas a la descarga. Esto debido a que las partículas finas van atrapadas entre las partículas gruesas. En la Figura (1.2) viene indicado como “ a ”

Si tenemos en cuenta este cortocircuito “ a ”, podemos definir la Función Clasificación: $C(x_i)$ o Eficiencia corregida de gruesos : “ E_{ci} ”, de tal forma que :

$$E_{ci} = \frac{E_i - a}{1 - a} \dots\dots\dots (1.2)$$

donde “ a ” : Fracción de agua de la alimentación que va a descarga en cortocircuito.

Se demuestra que clasificadores funcionando a diferentes condiciones de operación dan frecuentemente “funciones de clasificación” similares. Esto significa que existe un tamaño característico “ d_{50} ”, de tal forma que $E_c(d_{50}) = 0.5$ (50%).(Fig 1.2)

Además se tiene un valor “ x/d_{50} ” de tal forma que $E_c(x/d_{50})$, recibe el nombre de “Función de Clasificación Reducida”, esta función es característica entre el clasificador y el material, pero es independiente de las condiciones de operación. (Figuras 1.3 y 1.4, Paginas 4 y 5)

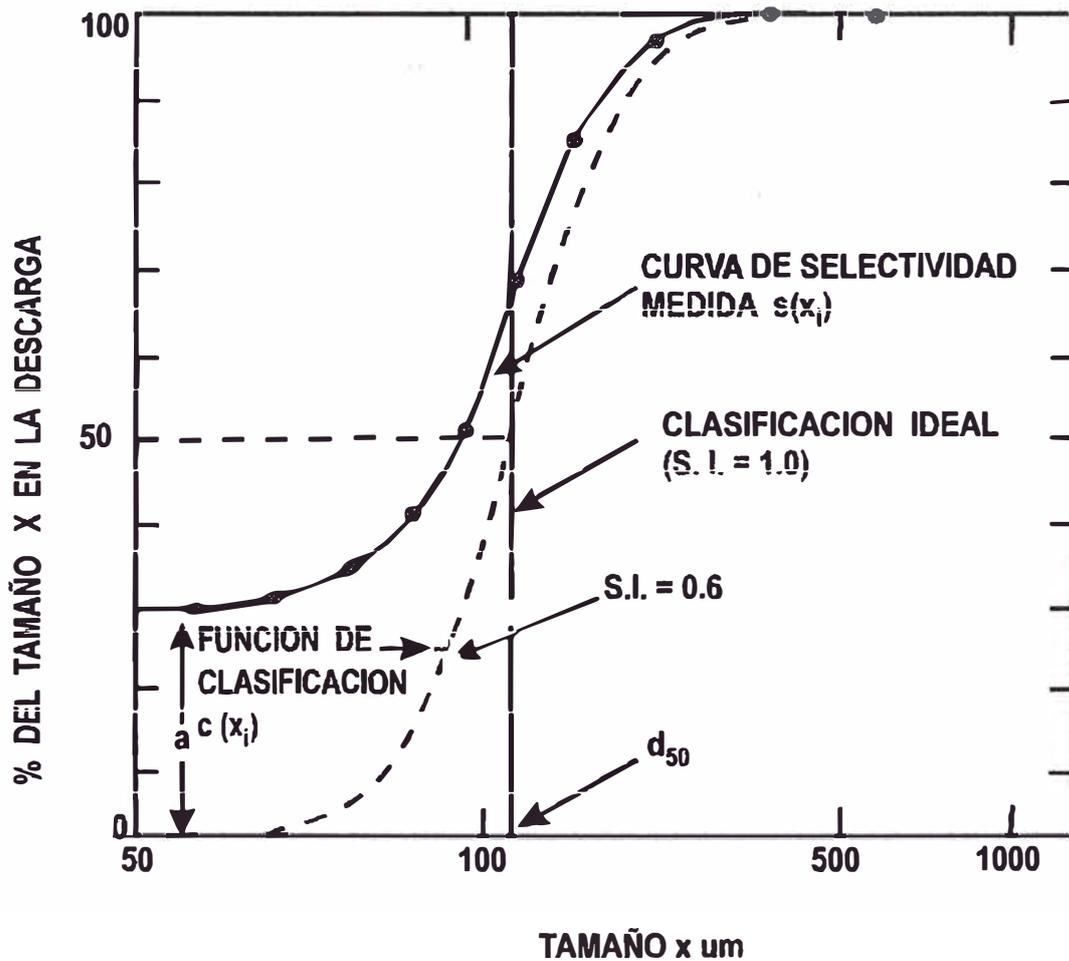
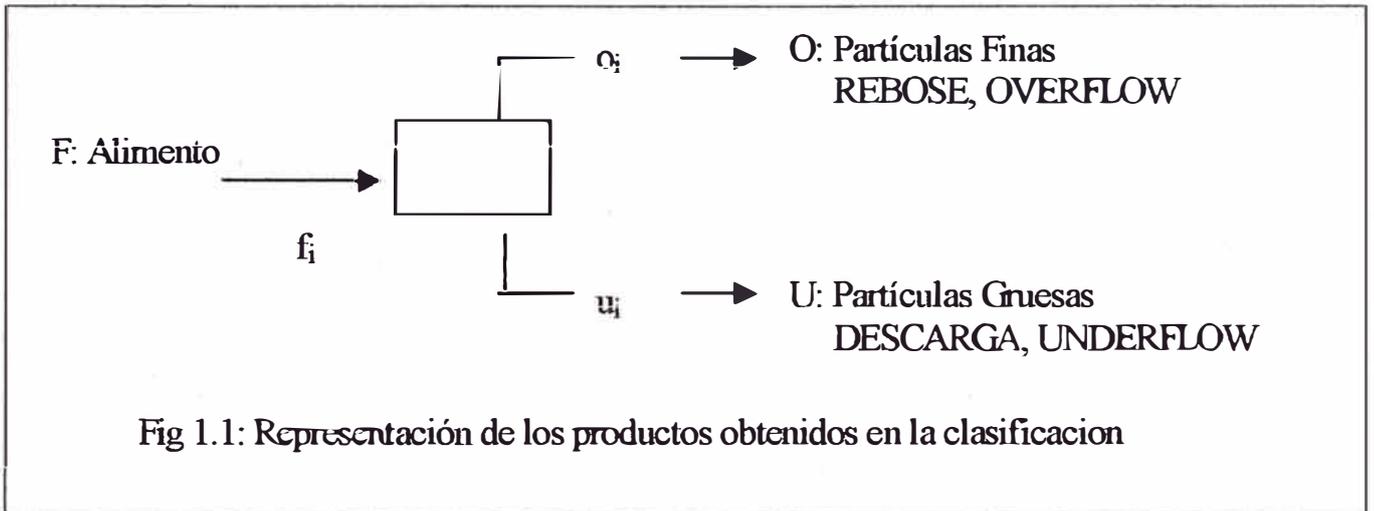


Figura 1.2. Curvas de Partición
El tamaño corresponde a la media geométrica de intervalo de la serie ASTM.

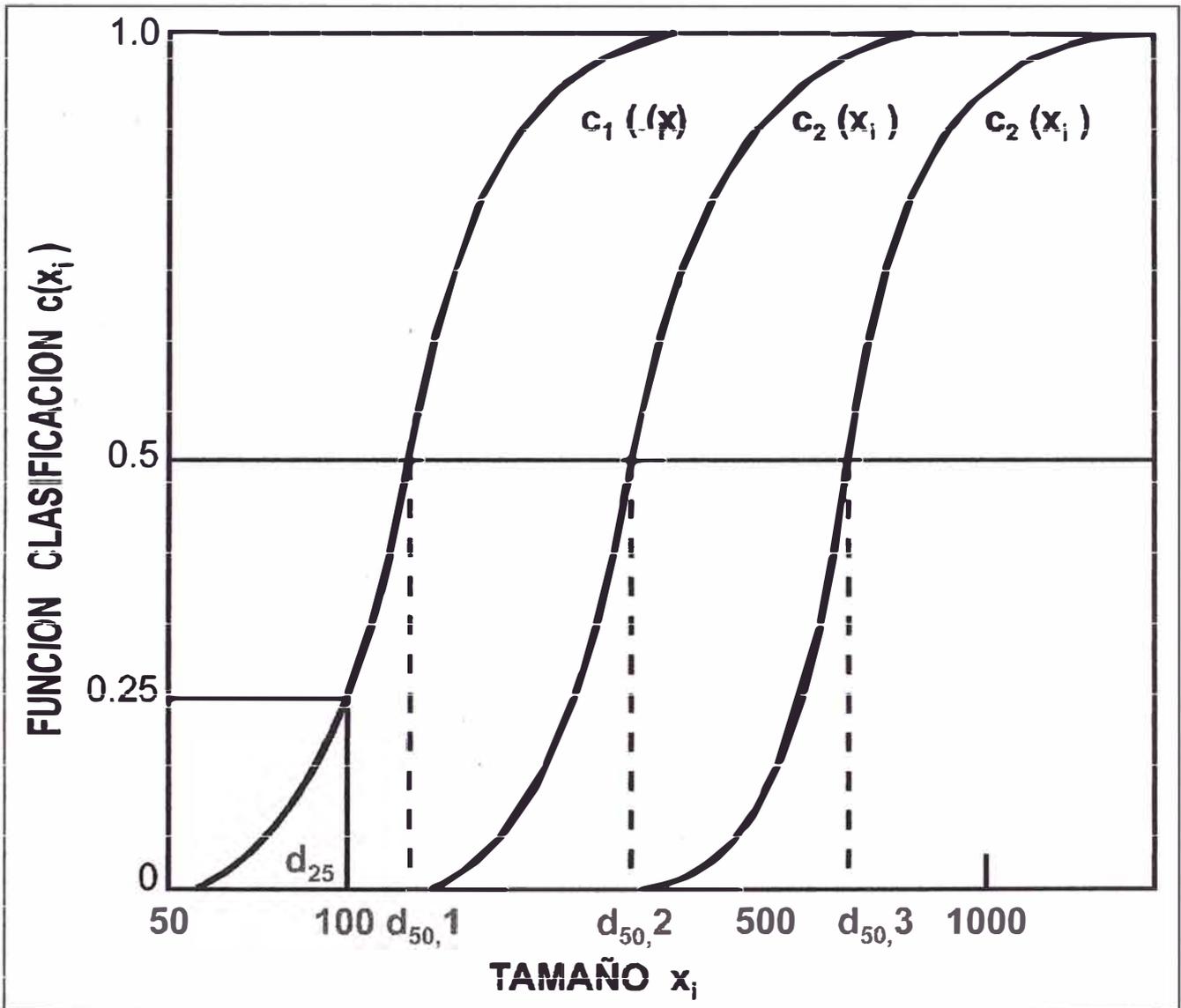


Figura 1.3 Curvas de Clasificación para un clasificador y el mismo material a distintas condiciones de operación.

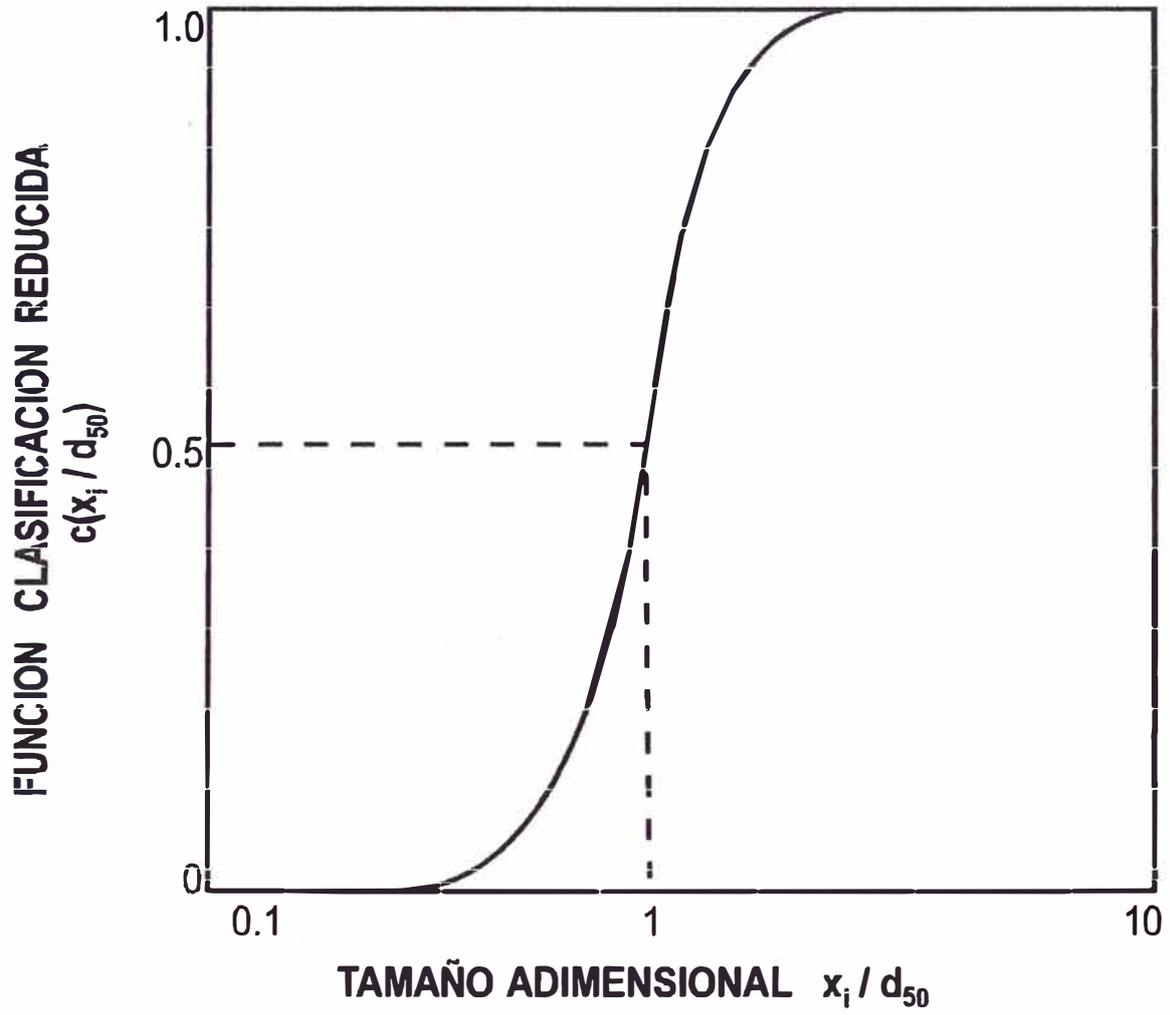


Fig. 1.4 Curvas de Clasificación reducida característica entre el clasificador y material, para distintas condiciones de operación.

Para hallar esta “Función de clasificación Reducida”, utilizamos la Ecuación de Rossin Rambler, según la siguiente fórmula

$$E_{ci} = 100 - 100 \exp(-0.6931(x/d_{50_{calc}})^m) \dots \dots \dots (1.3)$$

Para caracterizar la “Función de Clasificación Reducida”, se define el parámetro que da la medida de la inclinación de la curva, conocido como Índice de Nitidez: S.I., definido como:

$$S.I. = d_{25}/d_{75} \dots \dots \dots (1.4)$$

Donde:

d_{25} es tal que $E_c(d_{25}) = 0.25$

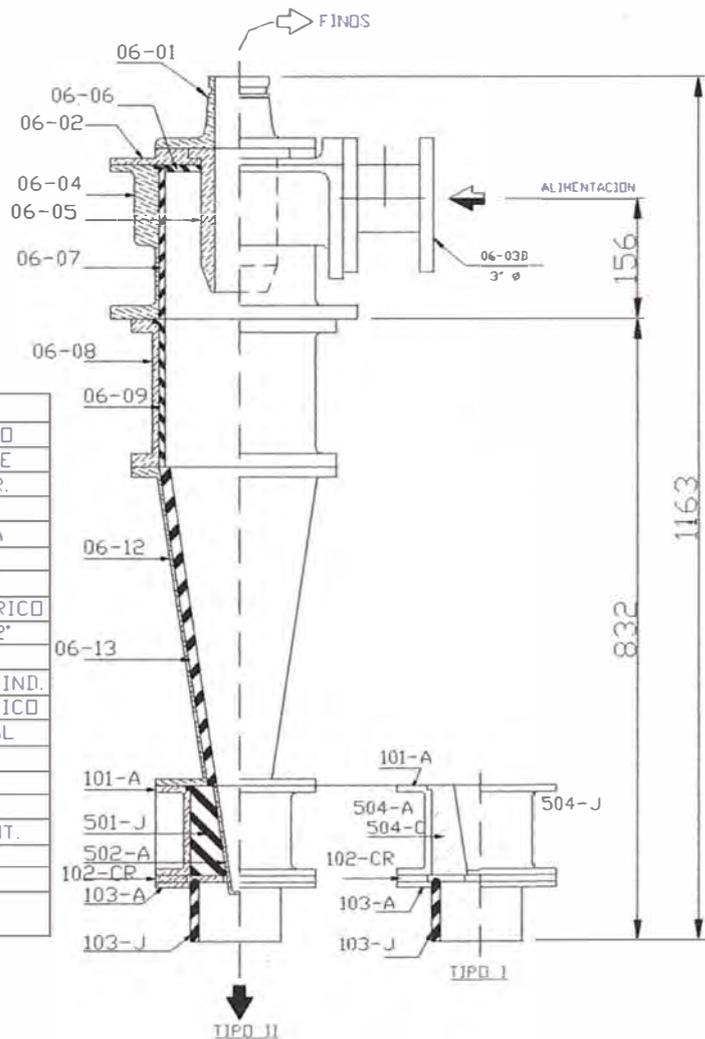
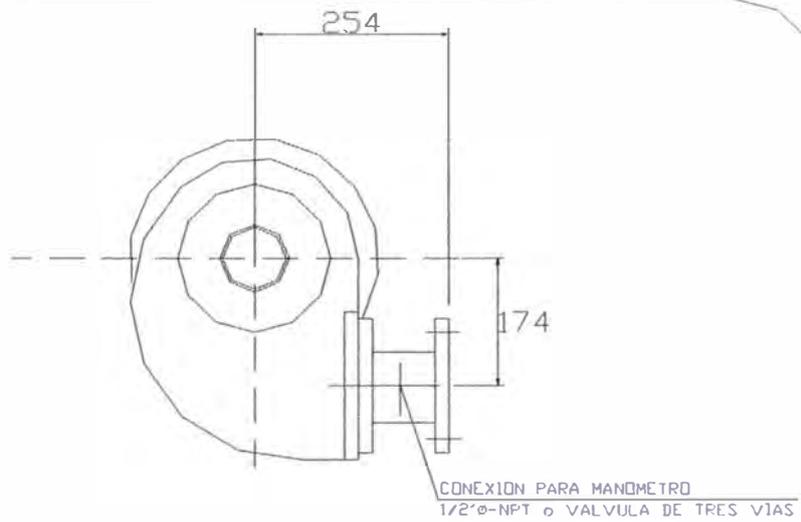
d_{75} es tal que $E_c(d_{75}) = 0.75$

Para una clasificación ideal $S.I. = 1$

1.2 Clasificación con Hidrociclones

El Hidrociclón realiza la clasificación, teniendo como principio la diferencia de gravedad específica y la diferencia de tamaños. Se debe tener en cuenta que cuando solo se toma en cuenta el tamaño, se trata de un proceso de cribado.

Los Hidrociclones se especifican por el Diámetro de la zona cilíndrica: D_c , y para el caso particular del Hidrociclón de 6” \varnothing , sus partes se muestran en el ensamble general (Figura 1.5, página 7)



504-J	APEX CILINDRICO-CAUCHO
504-C	APEX CILINDRICO-CERAMICO
504-A	APEX CILINDRICO-ADIPRENE
102-CR	PLACA SEPARADORA REFOR.
502-A	APEX CONICO-CERAMICO
103J	MANGA DE JEBE DESCARGA
103A	PLACA DE MANGA
501J	REDUCTOR DE JEBE
101A	CAJA DE SOPORTE CILINDRICO
06-13	FORRO DE JEBE CONICO 12°
06-12	CUERO MET. CONICO 12°
06-09	FORRO DE JEBE -CPD. CILIND.
06-08	CUERPO CILINDRICO METALICO
06-07	FORRO DE JEBE - CABEZAL
06-06	TAPA DE JEBE CABEZAL
06-05	VORTEX DE NIARDDE
06-04	CABEZAL METALICO
06-03	BRIDA Y CONEXION ALIMENT.
06-02	TAPA METALICA CABEZAL
06-01	BRIDA Y CONEXION DESC.
PARTE N°	DESCRIPCION

PESO NETO APROX. = 105kg.

ENSAMBLE GENERAL
DE CICLON DE 6"Ø
TIPO: D6B12

**Fig 1.5. Ensamble General de Hidrociclón
6" Ø. Modelo D6B12°**

Las principales partes del Hidrociclón son el Vortex y Apex, ya que variando los diámetros interiores de estos, podemos obtener diferentes productos en el Overflow y Underflow como es : granulometría, Carga circulante, tamaño de corte (d_{50}) entre otros principales parámetros.

El Vortex ingresa hasta cierta parte de la Zona cilíndrica con la finalidad de reducir las turbulencias que se originan dentro del Hidrociclón, el material de fabricación es diverso: Nihard, Cerámico Refractario (Cast-Refract) y poliuretano.

El ápex presenta el mismo ángulo de conicidad que el Hidrociclón, y es fabricado en Cerámico Refractario, poliuretano o caucho antiabrasivo.

En la operación con Hidrociclones el comportamiento reológico de los flujos involucrados es muy complejo, por lo que es difícil tener un solo parámetro de medida del comportamiento de la clasificación.

1.2.1 Variables en las Operaciones con los Hidrociclones

Se puede nombrar las principales variables que afectan al comportamiento y los modelos matemáticos empíricos que se han desarrollado para diseño y simulación.

Dentro de las variables tenemos.

Variables de Diseño.

Parámetros del material.

Variables de operación

1.2.1.1 Variables de Diseño.

De estas variables depende el tamaño de corte “ d_{50} ”, como es:

Diámetro del Hidrociclón : D_c .

Diámetro de Apex : D_u

Diámetro de Vortex : D_o .

Tamaño de alimentación.

Según la teoría y la experiencia tenemos que.

$$d_{50} \propto D_c^{0.66} \quad d_{50} \propto \exp(D_o) \quad d_{50} \propto D_u$$

Además para los Hidrociclones KREBS :

- Du es aproximadamente: $0.35D_c$.
- $0.1D_c \leq D_u \leq 0.35D_c$
- Angulo de Conicidad: $\theta : 10^\circ \leq \theta \leq 20^\circ$

1.2.1.2 Parámetro del material

Las principales variables son:

- Densidad del material
- Composición(mezcla, etc)

1.2.1.3 Variables de Operación

Para controlar la operación de un Hidrociclón se tiene variables de entrada y salida

- Variable de Entrada: Flujos, concentración, presión de alimentación.
- Variables de Salida: Granulometría del rebose, proporción de H₂O que aparece en la descarga.

Capítulo 2:

MODELOS MATEMATICOS PARA OPTIMIZAR LOS HIDROCICLONES

2.1 MODELOS CUANTITATIVOS PARA HIDROCICLONES

Para poder estimar el “comportamiento” del Hidrociclón para procesos industriales, han surgido modelos empíricos que permiten diseñar el equipo y simularlo.

Estos modelos empíricos explican el comportamiento de un Hidrociclón operando bajo ciertas condiciones y permiten inferir como variará este comportamiento si se modifican algunas de las variables de operación y se usan principalmente para Optimizar procesos de clasificación. Los mas importantes y representativos Modelo de Lych Rao.y Modelo de Piitt.

2.1.1 Modelo de Lynch y Rao

Se considera para esto Hidrociclones “Krebs”, y las ecuaciones son

2.1.1.1 Ecuación de Flujo:

$$Q = A_o P^{0.5} D_o (100 - S_f)^{0.125} \dots \dots \dots (2.1.)$$

Q: Caudal Total de pulpa alimentado al Hidrociclón (m³/hr)

P: Presión de alimentación PSI

D_o: Diámetro interior del vortex.(pulgadas)

S_f : % de sólidos en el alimento.

2.1.1.2 Ecuación de Flujo de Agua:

$$H_2O_r = B_o + 1.1 H_2O_f - 10 D_u \dots \dots \dots (2.2.)$$

H_{2O_r}: TMPH de agua en el rebose

H_{2O_f}: TMPH de agua en el alimento.

D_u: Diámetro interior del Apex (pulgadas)

2.1.1.3. Ecuación del d50

$$\ln d50 = Co + 0.384Do - 0.2857Du + 0.00935P - 0.0192(H2O_r) \dots\dots\dots (2.3.)$$

Do : Diámetro del Vortex en pulgadas.

Du : Diámetro del Apex en pulgadas

P : Presión de Alimentación al Hidrociclón

2.1.1.4 Ecuación de la Curva de Eficiencia (Eci)

$$Eci = \frac{\exp(bx / d50) - 1}{\exp(bx / d50) + \exp b - 2} \dots\dots\dots (2.4.)$$

Donde:

b : Se calcula por aproximaciones sucesivas

Además : Ao, Bo, Co : son constantes propias del sistema
MINERAL / HIDROCICLON

2.1.2 Modelos de Plitt

Estas ecuaciones fueron correlacionadas mediante regresión lineal y son:

2.1.2.1 Tamaño de corte (d50)

$$d50c = \frac{A_o Dc^{0.46} Di^{0.6} Do^{1.21} \exp(0.063\phi)}{Du^{0.71} H^{0.38} Q^{0.45} (\rho_s - \rho_l)^{0.5}} \dots\dots\dots(2.5.)$$

2.1.2.2 Partición de flujo (Cortocircuito)

$$S = \frac{A_1 (Du / Do)^{3.31} h^{0.54} (Du^2 + Do^2) \exp(0.0054\phi)}{H^{0.24} Dc^{1.11}} \dots\dots\dots(2.6.)$$

2.1.2.3 Caudal:

$$Q = \frac{A_3 P^{0.50} Dc^{0.21} Di^{0.53} h^{0.16} (Du^2 + Do^2)^{0.49}}{\exp(0.0031\phi)} \dots\dots\dots (2.7.)$$

2.1.2.4 Caída de Presión:

$$P = \frac{A_2 Q^{1.78} \exp(0.00055\phi)}{D_c^{0.37} D_i^{0.94} h^{0.28} (D_u^2 + D_o^2)^{0.87}} \dots\dots\dots(2.8)$$

2.1.2.5 Presión Estática

$$H = 2.3P / \rho \dots\dots\dots(2.9)$$

Donde las variables utilizadas son:

ρ_s, ρ_l : Peso específico del mineral y líquido (gr/cc)

ϕ : Porcentaje volumétrico de sólidos
(Volumen de sólidos/ volumen de pulpa)

h : Distancia entre la parte inferior del Vortex y la superior del apex, expresado en pulgadas.

S : Relación entre el caudal volumétrico de pulpa en el rebose y el caudal volumétrico de pulpa en la descarga.

H : Presión estática de la pulpa alimentada(pies)

ρ : Densidad de pulpa de alimentación

D_i : Diámetro del inlet del Hidrociclón en pulgadas

D_c : Diámetro del cilindro del Hidrociclón en pulgadas

D_o : Diámetro del vortex del Hidrociclón en pulgadas

D_u : Diámetro del apex del Hidrociclón en pulgadas

A_0, A_1, A_2, A_3 : Constantes que deben ser determinadas

El modelo de Plitt es más general y sus predicciones pueden ser acertadas si se fijan inicialmente los coeficientes de sus fórmulas e inclusive los exponentes mediante datos experimentales obtenidos con el sistema mineral- hidrociclón que se desea simular. Plitt determinó $A_0= 35$, $A_1= 2.9$, $A_2= 4.7$ y $A_3= 0.21$.

Sin embargo en las Operaciones Industriales el Modelo de Lynch y Rao ha sido utilizado con éxito para simular y además es de mayor simplicidad.

2.2 Balances Generales

Para cualquier diseño o simulación a aplicar se debe cumplir los balances macroscópicos de masa total, para ello utilizando la Fig 1.1, (Pagina 3)

Balance de Masa

$$F = O+U \dots\dots\dots (2.10)$$

Carga Circulante:

$$C = U/O \dots\dots\dots (2.11)$$

Reparto de masa en Descarga.

$$\theta = U/F \dots\dots\dots (2.12)$$

Además para cualquier tamaño se debe cumplir:

$$f_i F = o_i O + u_i U \dots\dots\dots (2.13)$$

De las ecuaciones (2.10) , (2.11) y (2.12) en (2.13)

$$f_i = \theta u_i + (1-\theta) o_i \dots\dots\dots (2.14)$$

De las ecuaciones (2.12) y (1.1), obtenemos:

$$E_i = \theta (u_i/f_i) \dots\dots\dots (2.15)$$

Donde:

f_i, o_i, u_i : Fracción de partículas CORREGIDAS retenidas en el intervalo de tamaños x_i .

Para realizar las correcciones de las fracciones de partículas, se utiliza el método de Mínimos cuadrados y Lagrange, el cual puede ser revisado en los anexo 1.

2.3 Ecuaciones para Simulación.

Se han establecido ecuaciones que nos permiten “estimar” o “simular” con resultados que se acercan bastante a los valores que se obtendrían en operaciones reales, con ayuda de las cuales es posible realizar estimaciones aceptables del tamaño de corte requerido para alcanzar una determinada separación..

A partir de la ecuación (2.15) obtendremos, para la simulación:

$$u_{i_s} = f_i(E_{i_s}/\theta_s) \dots \dots \dots (2.16)$$

$$o_{i_s} = f_i(1-E_{i_s})/(1-\theta_s) \dots \dots \dots (2.17)$$

Donde :

u_{i_s}, o_{i_s} : Fracciones granulométricas ESTIMADOS o SIMULADOS

θ_s : Reparto de masa ESTIMADO O SIMULADO

E_{i_s} : Curva de partición SIMULADO y se calcula según:

$$E_{i_s} = \frac{\exp(bZ) - 1}{\exp(bZ) + \exp b - 2} \cdot 100 \dots \dots \dots (2.18)$$

Donde: $Z = x_i/d_{50s} \dots \dots \dots (2.19)$

d_{50s} = Tamaño de corte “ estimado o simulado ”

En la ecuación (2.18) , para hallar “b” se relaciona con la ecuación (1.3), Pag. 6, de la siguiente manera

$$b = 2.034(m - 0.72135)^{0.8641} \dots \dots \dots (2.20)$$

A partir de la Ecuación (2.16) aplicamos sumatorias por lo que obtendremos:

$$\theta_s \sum u_{i_s} = \sum f_i * E_{i_s} \dots \dots \dots (2.21)$$

A partir de la Ecuación (2.21) obtendremos la sgte ecuación.

$$\theta_s = \sum E_{i_s} * f_i \dots \dots \dots (2.22)$$

Finalmente con la ecuación (2.16) y (2.17) “simularemos” la granulometría.

2.4 Evaluación y Optimización de la Clasificación.

En la Planta Concentradora de la Cia. Minera Colquisiri (Huaral) , se tiene un circuito cerrado de molienda que clasifica con Hidrociclón Krebs D15B.

2.4.1 Objetivo de la Clasificación .

Para su proceso de flotación es necesario obtener en el Overflow :

- %m200 > 55% %m60 < 9%
- Además de un tamaño de corte (d50) <95 micras.

2.4.2 Evaluación inicial de la Clasificación

Al realizar la inspección VISUAL y MANUAL se encuentra que en el Overflow la granulometría es gruesa, además el Flujo de la Descarga es intermitente, lo cual nos da un indicio que la presión con la cual se alimenta la pulpa es por debajo de lo recomendado.

El mineral para analizar tiene una Gravedad Especifica de 3.2 gr/cc y esta constituido por galena y esfalerita principalmente, los productos obtenidos luego del muestreo se muestran en la Tabla 2.1

Malla	Retenido Alimento	Retenido Overflow	Retenido Underflow
m60	22.75	11.20	39.85
m100	25.65	14.75	35.70
m150	14.70	11.20	13.10
m200	10.65	11	7.15
<u>-m200</u>	26.25	51.85	4.20
% Sólidos	47	33	81

Tabla 2.1: Análisis Granulométrico, según muestreo en circuito cerrado

Referencia: Cia Minera Colquisiri.

El Equipo que realiza esta clasificación es.

Hidrociclón Krebs de 15"Ø. se muestra en la Figura (2.1), Pag 17.

Las Parámetros Geométricas del Hidrociclón Krebs según Tabla 2.2.

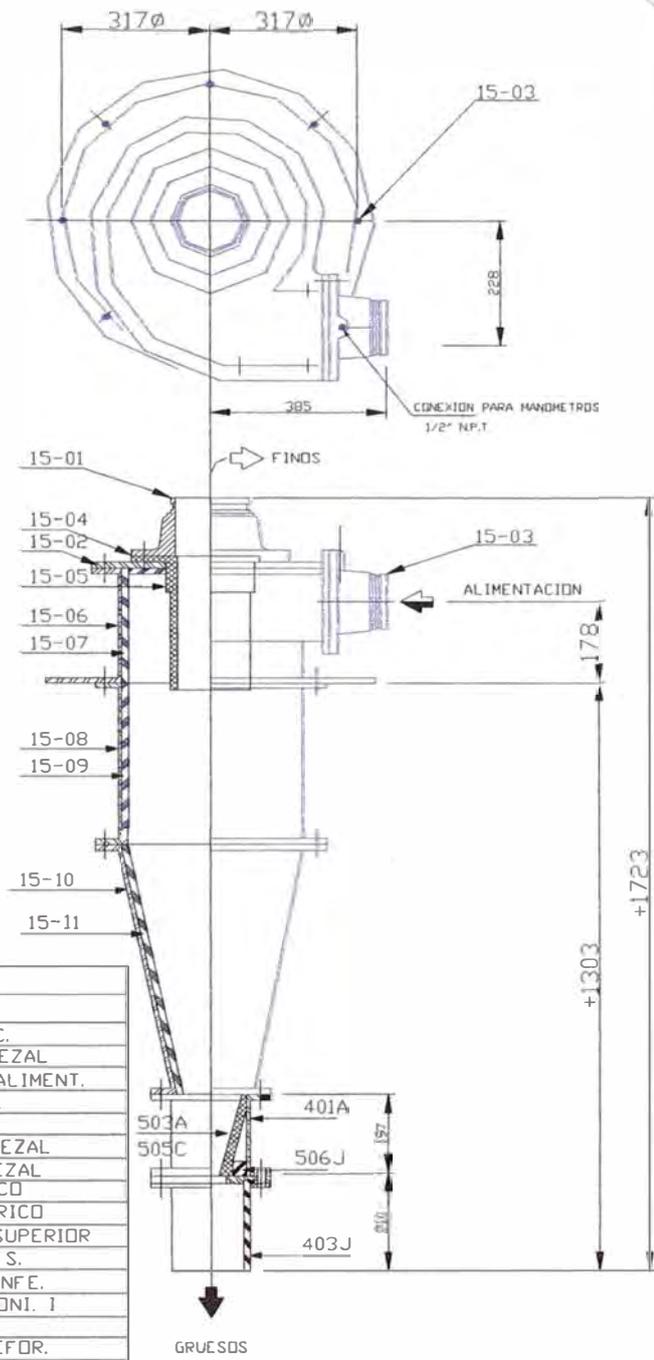
Para conocer las condiciones de operación iniciales que trata el Hidrociclón realizamos un balance general, que se muestra en la Tabla 2.3

	Apex	Vortex	Inlet
Ø	2.5"	5.1/4"	11.5 sq-in

Tabla 2.2: Parámetros Geométricos de Hidrociclón D15B,
usado en clasificación en circuito cerrado

	F: Alimento	O: Overflow	U. Underflow
% Sólidos	47	33	81
TMPH	46.17	22.92	23.25
Densidad pulpa	1.48	1.29	2.26
Caudal (GPM)	292	236	56
Caudal (m3/hora)	66	53	12.71

Tabla 2.3 : Balance Metalúrgico de las condiciones Iniciales en el circuito de molienda cerrado utilizando Hidrociclón D15B.



KREBS	PARTE N°	DESCRIPCION
155F	15-01	BRIDA Y CONEXION DESC.
153	15-02	TAPA DE FIERRO - CABEZAL
152F	15-03	BRIDA Y CONEXION DE ALIMENT.
153R	15-04	TAPA DE JEBE CABEZAL
155N	15-05	VORTEX DE NIHARD
152	15-06	CAJA DE FIERRO - CABEZAL
152R	15-07	FORRO DE JEBE - CABEZAL
154	15-08	CAJA DE CPD. CILINDRICO
154R	15-09	FORRO DE JEBE CILINDRICO
194	15-10	CAJA DE CPD. CONICO SUPERIOR
194R	15-11	FORRO DE CPD. CONICO S.
64	15-12	CAJA DE CPD. CONICO INFE.
64R	15-13	FORRO DE JEBE CPD. CONI. I
688-4	401-A	SOPORTE CILINDRICO
669SPC	402CR	PLACA SEPARADORA REFOR.
670	405-A	PLACA DE MANGA
671R	403J	MANGA DE DESCARGA
	505-A	APEX DE POLYURETANO
678C	503-C	APEX CERAMICO
669RR-1	506-J	ARO ALIMENTADOR

ENSAMBLE GENERAL
HIDROCICLON DE 15"

Los valores mostrados en la Tabla 2.1, deben ser corregidos, para lo cual utilizamos el Método de Lagrange (mayor detalle en anexo 1) , estos valores se presentan en la Tabla 2.4

Fracción	fi	oi	ui
m60	24.67	10.25	39.85
m100	25.42	14.87	35.70
m150	13.00	12.04	13.10
m200	9.59	11.53	7.15
-m200	27.32	51.32	4.20

Tabla 2.4: Análisis Granulométrico Corregido en circuito cerrado de molienda

Para poder hallar las curvas de selectividad (curva de partición) y Función Clasificación y según las ecuaciones (1.1) y (1.2) , se calculan E_i y E_{ci} . Los resultados se muestran en la Tabla 2.5

Fracción	E_i	E_{ci}
m60	79.379	76.966
m100	70.967	67.569
m150	54.035	48.657
m200	40.344	33.634
-m200	6.750	-4.162

Tabla 2.5 : Selectividad (E_i) y Función de Clasificación(E_{ci}) para la clasificación en circuito cerrado

A continuación se presentan los demás cálculos, que pueden revisarse en el anexo

Carga circulante 101%

Tamaño de corte 128 micras

Cortocircuito : 10 %

Presión de Alimentación : 10 PSI (leído de manómetro)

$E_{ci} = 100 - 100 \exp(-0.6931(x/1359)^{1.15}) \dots \dots \dots (2.23)$

2.4.3 Optimización

Para realizar la optimización realizaremos un “afinamiento” y de acuerdo a la experiencia, se tiene que realizar cambios tanto en las variables geométricas como en las condiciones de operación.

2.4.3.1 Para las variables geométricas:

Cambio de Vortex actual de 5.1/4” por un \emptyset menor ya que con respecto al d50 son directamente proporcionales.

Cambio de Apex actual de 2.5” por un diámetro mayor, ya que con el d50 son IP y además esto nos permitirá ADICIONAR agua a la alimentación y poder tratar sin problemas el nuevo caudal sin problemas de obstrucción

2.4.3.2 Para las condiciones de operación.

Al observar el flujo intermitente de la descarga, se tiene la sospecha que la presión de la bomba, no es la suficiente, o el % de sólidos alimentado no es el adecuado.

Al observar el manómetro instalado se tiene una lectura de 9PSI, el cual teóricamente, no causaría el problema de intermitencia. Además si quisiéramos generar mayor presión con la Bomba que alimenta a este Hidrociclón, se tendría que cambiar el motor de 25 HP por otro de 35 HP

Debido al caudal intermitente y siendo lo recomendable tener en la alimentación de (30-40) % de sólidos, se recomienda diluir la pulpa en el cajón de alimentación de la bomba, hasta obtener 35 % de sólidos

2.4.3.3 Simulación para las Nuevas Variables de Operación.

Para hallar las Ecuaciones de Lynch y Rao que rigen el sistema Mineral- Hidrociclón reemplazamos los valores adecuados en las ecuaciones (2.1) , (2.2) , (2.3), por lo que obtenemos.:

$$Q = A_o P^{0.5} D_o (100 - S_f)^{0.125} \dots \dots \dots (2.24)$$

$$H2O_r = 14.22 + 1.2 H2O_f - 10 D_u \dots \dots \dots (2.25)$$

$$\ln d_{50} = 3.758 + 0.384 D_o - 0.285 / D_u + 0.00935 P - 0.0192 (H2O_r) \dots (2.26)$$

Según la experiencia y al inferir algunos valores se encuentra que los valores adecuados para lograr el objetivo se muestra en la tabla (2.6)

Ø Vortex	4"
Ø Apex	3"
% sólidos en alimento	35

Tabla 2.6: Nuevos parámetros sugeridos para la clasificación usando Hidrociclón Krebs D15b

Los valores de la Tabla 2.6, son reemplazados en las Ecuaciones (2.24), (2.25) y (2.26), con lo que obtendremos valores estimados o simulados, que se presenta en la Tabla 2.7.

Presión	15 PSI
D50	85 micras
H2Or	63.235 TMPH
H2Od	22.186 TMPH
Cortocircuito	0.23

Tabla 2.7 : Valores simulados para las nuevas Condiciones de Operación , utilizando Hidrociclón Kresh D15B

De la ecuación (2.20) y (2.23) , obtenemos “b” = 0.9585 (2.27)

Con los valores de la tabla 2.7 y “b” = 0.9585, reemplazamos en la ecuación (2.18) , de lo que obtenemos

$$E_{ci} = \frac{\exp(0.9585 x / 85) - 1}{\exp(0.9585 x / 85) + \exp 0.9585} \times 100 \dots \dots \dots (2.28)$$

Los resultados de la simulación de Eficiencia y la Simulación de la eficiencia corregida, puede ser vista en la Tabla 2.8

Fraccion	micras	X prom	X/85	E_i	E_{c corr_s}
m60	248	272	3.4	93.96	93.61
m100	150	192	2.41	84.96	84.61
m150	104	124	1.56	68.31	67.96
m200	74	87	0.19	53.64	53.29
-m200	44	57	0.71	37.89	37.54

Tabla 2.8: Eficiencias simuladas para las nuevas condiciones de operación.

De las ecuaciones (2.16) y (2.17) se obtienen se hallan “ois” y “uis” y se muestran en la Tabla 2.9

Fraccion	ois	uis
m60	5.1	33.6
m100	12.5	31.3
m150	13.4	12.8
m200	14.4	7.4
-m200	54.7	14.9

Tabla 2.9: Granulometrías obtenidas por la simulación luego de los cambios en las variables de operación

Finalmente, se resume los valores simulados utilizando las nuevas variables de operación, según la Tabla 2.10

	F: Alimento	O: Overflow	U: Underflow
% Solidos	35	18	60
TMPH	70.7	22.91	48.59
Densidad pulpa	1.29	1.13	1.69
Caudal (Q) GPM	737	262	106.70

Tabla 2.10: Balance General Simulado del circuito de molienda, utilizando Vortex de 4", Apex de 3" en Hidrociclón D15B

Luego de instalar los apex y Vortex en operación y diluir la pulpa, se realizó muestreo, del cual presentamos los resultados en la Tabla 2.11

Fraccion	Overflow		Underflow	
	Proyectado	Muestreado	Proyectado	Muestreado
m60	5.05	4.23	33.56	34.1
m100	12.54	11.5	31.26	32.26
m150	13.36	13.36	12.84	13.5
m200	14.39	15.25	7.43	6.8
-m200	54.69	55.6	14.91	13.34

Tabla 2.11: Comparación de valores simulados y muestreados luego del cambio de las variables de operación

De todos estos resultados se observa que el único inconveniente es el incremento de la carga circulante a 212% con lo cual el nuevo flujo es de 740 GPM, el cual no puede ser tratado por 01 solo Hidrociclón, por lo que se tiene que instalar otro en serie. El costo del Equipo es de US\$ 1700.00 y la inversión se justifica ya que según informes de laboratorio, esto permitirá incrementar la recuperación en 5%. Luego de esto cada Hidrociclón soportará un caudal de 368.6 GPM, y las demás condiciones de operación no varían

Los detalles de los cálculos y los gráficos pueden ser revisados en anexos 2, 3, 4, 5, 6 y 7

2.5 Conclusiones.

La clasificación que se obtiene usando este cambio de Apex y Vortex ocasiona una clasificación mas fina , tal como se proyectó al realizar estos cambios.

La clasificación ha mejorado tal como indica las “inclinaciones” que presenta las curvas de partición.

El único problema que se genera al realizar estos cambios es el aumento de la carga circulante, pero que el molino Comesa 8x10 que tiene puede absorber.

El problema a futuro que se pueda tener es que no se podrá AMPLIAR la capacidad de la planta ya que el molino será el punto crítico

Para poder resolver este problema podemos utilizar la opción de instalar el Hidrociclón con un ángulo de inclinación con respecto a la Horizontal, lo que es conocido como HIDROCICLONES HORIZONTALES

Capitulo 3:

HIDROCICLONES HORIZONTALES Y OTROS TIPOS DE HIDROCICLONES

3.1 Hidrociclones Horizontales

En la actualidad debido a los bajos precios de los metales, se debe aprovechar al máximo la capacidad y eficiencia de los Equipos con los que cuenta una Planta Concentradora y poder aumentar el Tonelaje a tratar.

En este proceso el principal problema es la Capacidad de tratamiento que tienen los molinos, además si consideramos que la mayoría opera en circuitos cerrados de molienda y tratan además la Carga Circulante, entonces el proceso debe sufrir algún cambio.

Para esto se debe disminuir la Carga circulante del circuito, y se logra instalando los Hidrociclones con cierto ángulo de inclinación por lo general entre 15° y 30° .

Como consecuencia de lo anterior el tamaño de corte de los Hidrociclones es mas grueso y la cantidad de fino en el underflow es menor.

3.1.1 Clasificación Preferencial.

Como es sabido los Hidrociclones, basan su clasificación a las diferencias de gravedad especifica y tamaño de partículas.

Las partículas de alta gravedad especifica son arrastradas hacia el Underflow debido a las fuerzas centrífugas y en circuitos cerrados producen “sobre molienda”

Las partículas de baja gravedad especifica dejan el circuito de molienda en el Overflow del Hidrociclon. Para diámetros del cuerpo cilindrico mayor a 10” la clasificación es influenciada por la fuerza gravitatoria, el cual se elimina, al inclinar el Equipo, debido a la disminución de la diferencia de presión Hidrostática.

Esto ultimo es muy importante para Plantas Polimetálicas, donde la sobre molienda de la galena produce una baja recuperación en los circuitos de flotación ya que al ser partículas finas no pueden flotar y causan arenamiento.

3.1.2 Comparación de Operaciones con Hidrociclones Horizontales

Para poder mostrar las principales variaciones con la operación de Hidrociclones verticales y horizontales en circuitos cerrados de molienda , se realizo un muestreo y balance a una Mina de Cobre cuyos resultados se presenta en la Tabla 3.1

3.1.3 Ventajas y Desventajas de los Hidrociclones Horizontales

Ventajas

Mejora la eficiencia de clasificación, al obtener productos mas gruesos.

Fácil mantenimiento y baja cargas circulantes.

Bajo consumo de repuestos consumibles como Apex y Vortex.

Menor costo de energía para operar las bombas.

Se puede usar apex de diámetro reducidos ya que la probabilidad de obstrucción es mínima.

Reduce los requerimientos de altura dinámica total para la operación de las bombas.

Desventajas.

Se obtiene separaciones mas gruesas, por lo tanto mayor d50.

Requiere mayor espacios para la instalación debido a la inclinación.

Tabla 3.1 : Comparación en Operaciones entre Hidrociclones Verticales
y Horizontales en circuito cerrado de molienda

	VERTICAL	HORIZONTAL	
		30°	20°
Alimento Fresco			
TMPH	11.46	12.08	12.9
%M10	59.0	60.1	62.1
%M65	78.8	79.1	78.9
%-M200	16.4	15.7	18.2
Underflow			
TMPH	29.8	17.2	15.9
% Sólidos	73.4	76.4	75.2
%mi00	80.5	82.0	84.8
%-m200	10.4	7.8	9.6
Carga Circulante	261	148	128
Descarga del Molino			
TMPH	41.33	28.87	20.33
% Sólidos	71.9	71.6	70.0
%M100	63.9	57.5	61.2
% -M200	25.8	27.2	30.4
Alimento Total al Hidrociclón			
% Sólidos	53.1	45.5	48.5
Overflow			
TMPH	11.45	11.6	12.5
% Sólidos	30.8	28.5	33.5
%M100	19.3	25.5	26.1
%-m200	60.3	53.8	55.9

Referencia: Mineral de Cobre

3.2 Hidrociclones de Fondo Plano

Al igual que los Hidrociclones montados Horizontalmente los de Fondo plano producen separaciones gruesas, el cual permite mayor eficiencia y aumenta la capacidad del circuito. La fig 3.1. muestra la operación de estos Equipos.

Teóricamente las fuerzas centrífugas hacen que los sólidos gruesos se muevan hacia abajo a lo largo de la pared del cilindro formándose una cama circulante en la sección inferior. Los sólidos finos son arrastrados al centro el ciclón en el núcleo levadizo que descarga por el Overflow.

El ciclón de fondo plano produce una separación mas gruesa que un ciclón vertical convencional debido al cambio abrupto de dirección de la pulpa en la sección inferior. De este modo los ciclones de fondo plano de menor diámetro pueden trabajar igual que ciclones cónicos (Krebs) de diámetros mas grande.

La figura 3.2 compara la curva típica de recuperación actual de un ciclón vertical y un ciclón de fondo plano del mismo diámetro para una misma alimentación. En esta figura se observa que la separación del ciclón de fondo plano es mas gruesa según medición del d_{50} y la curva de selectividad es mas plana que la del ciclón vertical.

La principal desventaja que tienen estos Hidrociclones es su curva de selectividad llana, lo que indica que lleva mayor cantidad de material grueso en el Overflow, lo cual puede resultar en una peor recuperación en la Flotación

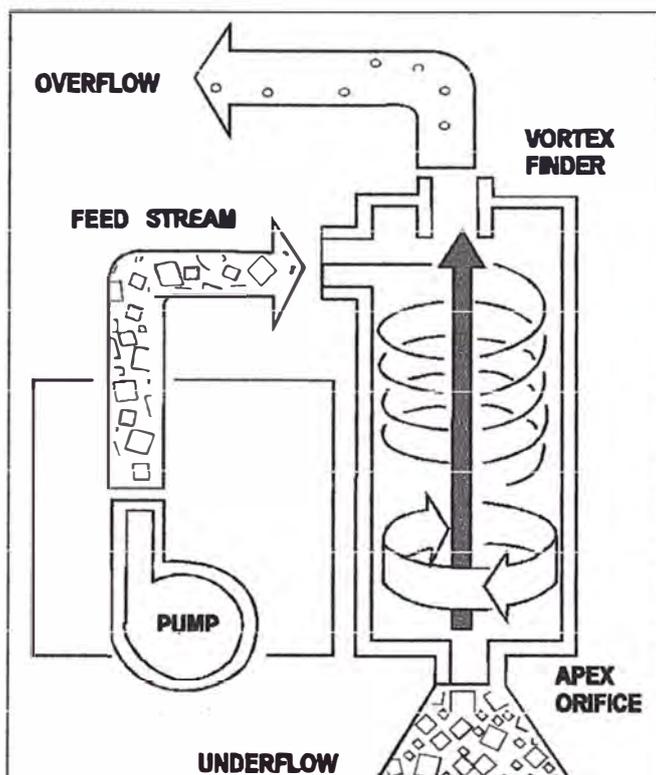


Fig 3.1: Operación de los Hidrociclones de Fondo Plano

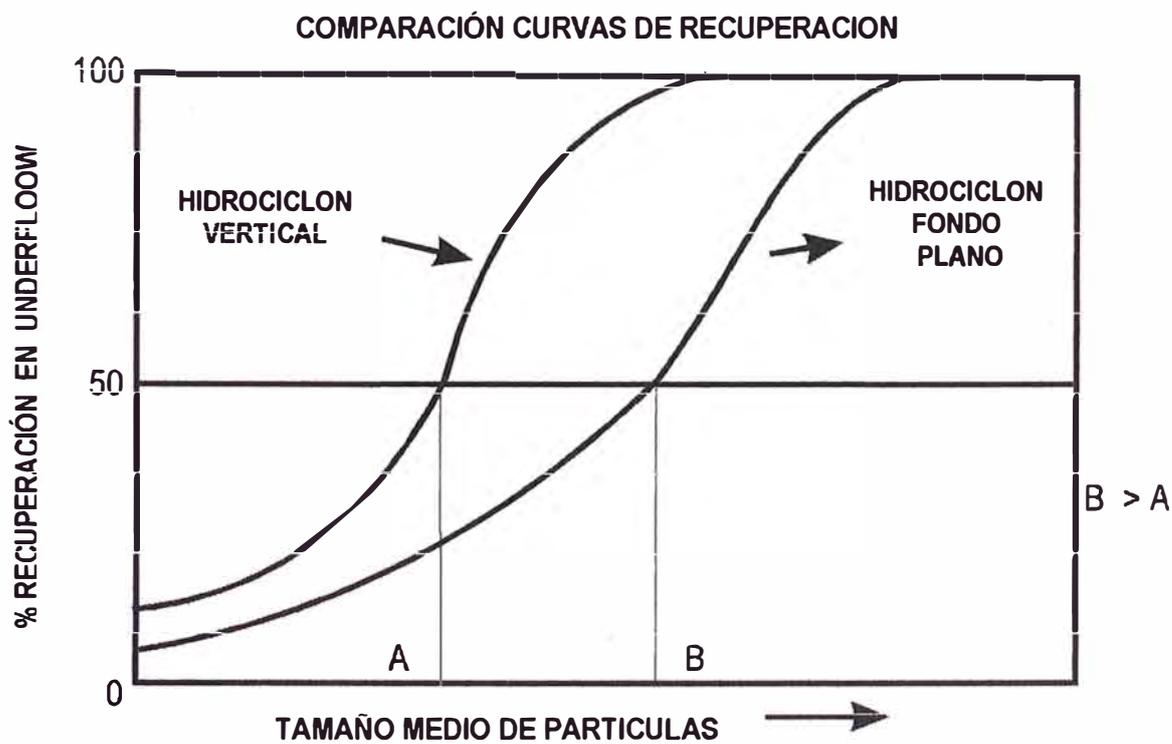


Fig. 3.2. Curva de recuperación Ciclón vertical Vs. Fondo plano.

3.3 Equipo Recyclone.

Este equipo es una unidad de doble ciclonaje en una sola etapa que mejora notablemente la Eficiencia Global de Clasificación, aumentando la Nitidez del corte (SI) y disminuyendo significativamente el corto circuito de finos a la descarga

Esta disminución notable del corto circuito de material fino, es conseguida por un diseño orientado a intervenir en la fluido dinámica de la capa viscosa del fluido que baja por la pared del Hidrociclón.

Esto se consigue despegando esta capa viscosa mecánicamente y alterando su viscosidad por intermedio de la inyección de agua. Este equipo se muestra en la . Figura 3.3.

3.3.1 Diseño de Recyclone

Para el diseño se utiliza el mismo concepto de doble clasificación en una solos unidad. Se añadió un dispositivo para controlar la repartición de flujos al segundo Hidrociclón y además se resolvió el problema de desgaste en la zona de transición a través de un mejor control de la turbulencia en la zona. Con esto se mejoró notablemente la fuga de partículas gruesas en el rebose del segundo hidrociclón adicionalmente al anterior se disminuyó el umbral dela presión crítica en el primer ciclón lo que marca el inicio del funcionamiento del segundo hidrociclón.

Esto permite en la práctica que el hidrociclón sea operado a presiones convencionales.

3.3.2 Ventajas de Recyclone

Mejora la eficiencia global del hidrociclón.

Disminuye notoriamente el cortocircuito de finos.

Disminuye los costos de operación y mantenimiento.

Mejora notablemente la calidad del producto de flotación.

En la Figura (3.4) mostramos gráficamente la comparación de un equipo de clasificación normal y el RECYCLONE.

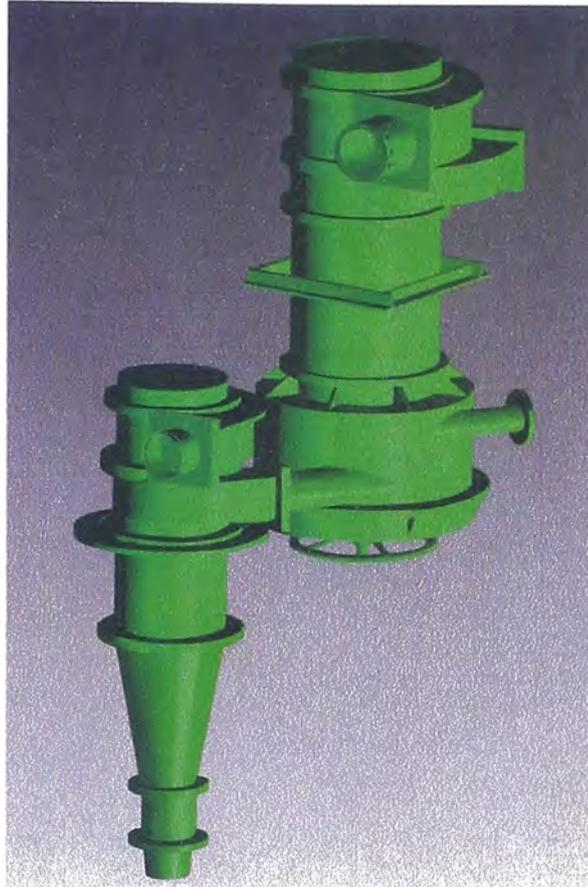
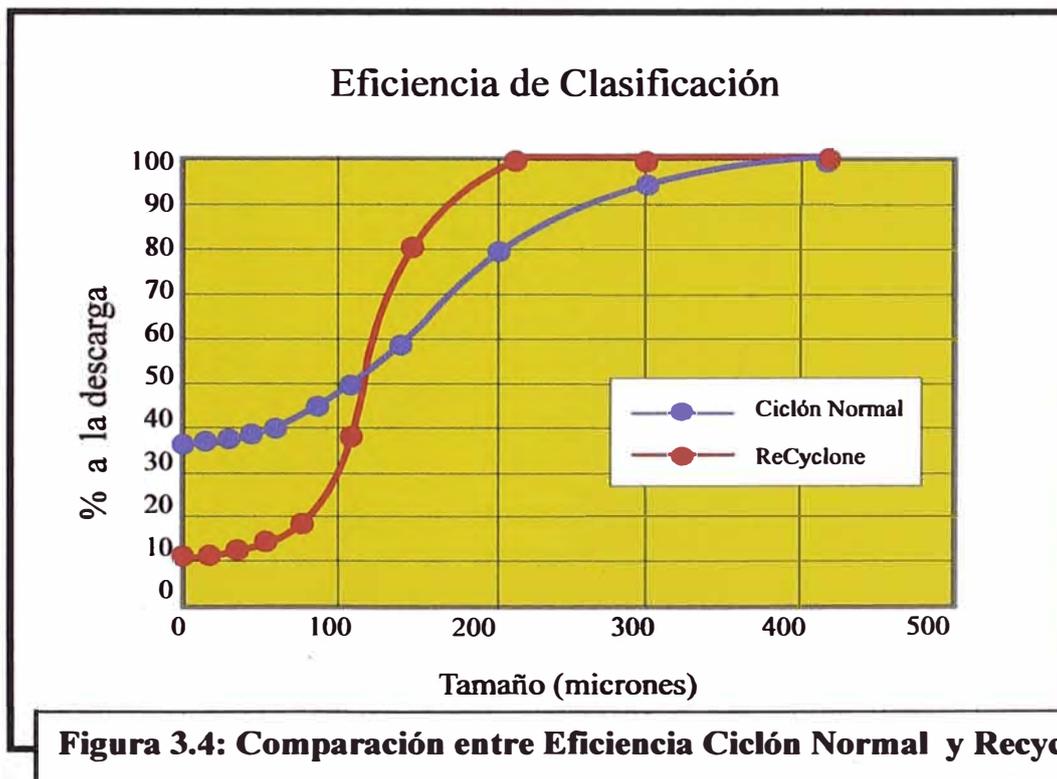


Fig 3.3 Equipo Recyclone



3.4 Hidrociclones Cavex.

Estos Hidrociclones fabricados por el grupo WEIR, presenta un diseño exclusivo, de tal forma que el Cabezal (Inlet) presenta una ingreso en forma de ESPIRAL que es el recorrido normal que tiene la pulpa en el interior del Hidrociclon.

Esta mejora, permite poder obtener altas eficiencias, aun operando con Baja presión y además permite obtener bajas cargas circulante.

En la Figura 3.5, se muestra estos Hidrociclones.



Fig. 3.5.a: Hidrociclón Cavex con Tubería de Descarga

Fig.3.5.b : Hidrociclón Cavex de 26"Ø

Fig 3.5. c: Inlet Head (Cabezal de jebe)

Fig 3.5.d : Nido Radial de Hidrociclones Cavex

Figura 3.5 Hidrociclones Cavex

4.1 Selección de Hidrociclones.

Para la selección de Hidrociclones, básicamente se debe tener en cuenta dos parámetros:

- Tamaño de corte: d50
- Caudal de alimentación total.

El parámetro mas importante sin embargo lo representa el d50, ya que la cantidad de Hidrociclones, será proporcional al caudal que pueda tratar aquel ciclon con d50 determinado. Normalmente el Hidrociclon seleccionado debe cumplir, con un tamaño de corte específico, el cual puede ser representado como d50operacion, el cual no puede ser obtenido para fines de dimensionamiento. Frente a esto se indica determinada especificación de granulometría del rebose del Hidrociclon.

Para los Hidrociclones KREBS se propone lo sgte:

$$d50 \text{ oper} = q * ds \dots\dots\dots (4.1)$$

Donde: ds: Especificación granulométrica del rebose del clasificador.

q: Factor de relación (Tabla 4.1)

Requerido	98.8	95	90	80	70	60	50
Overflow							
Q	0.54	0.73	0.91	1.25	1.67	2.08	2.78

Tabla 4.1: Relación entre la granulometría del rebose y el d50 del Hidrociclon

Los valores hallados según la ecuación (4.1) deber ser “corregidos para valores diferentes, a las condiciones . Estas condiciones son las siguientes:

Agua a 20°C.

Densidad sólido 2.65 gr /cc

Porcentaje volumétrico menor a 1%.

4.1.1 Corrección para Condiciones de Operación diferentes a las Basicas

Las correcciones son:

4.1.1.1 Debido a la Fracción Volumétrica: C1:

$$C1 = \exp(-0.31 + 0.0945\phi - 0.00356\phi^2 + 0.0000684\phi^3) \dots\dots\dots (4.2)$$

Donde:

ϕ : Fracción Volumétrica

4.1.1.2 Debido a la Presión. C2

$$C2 = 2(P)^{-0.3} \dots\dots\dots (4.3)$$

P: Presión en PSI

4.1.1.3 Debido a la Gravedad Especifica : C3

$$C3 = \sqrt{1.65/(\rho - 1)} \dots\dots\dots (4.4)$$

ρ : Gravedad Especifica del mineral

Considerando las Correcciones la relación para seleccionar el Hidrociclón es:

$$d_{50 \text{ real}} = (d_{50 \text{ opera}} / C1 \times C2 \times C3) \dots\dots\dots (4.5)$$

Una forma practica de Seleccionar Hidrociclones KREBS, es según la Figura : “CUADRO DE PERFORMANCE DE CICLONES” mostrados en la Fig (4.1)

En ese grafico se aprecia, los tamaños de corte, caudal y presión manométrica a la que esta sometida la pulpa, para diferentes tamaños de Hidrociclones

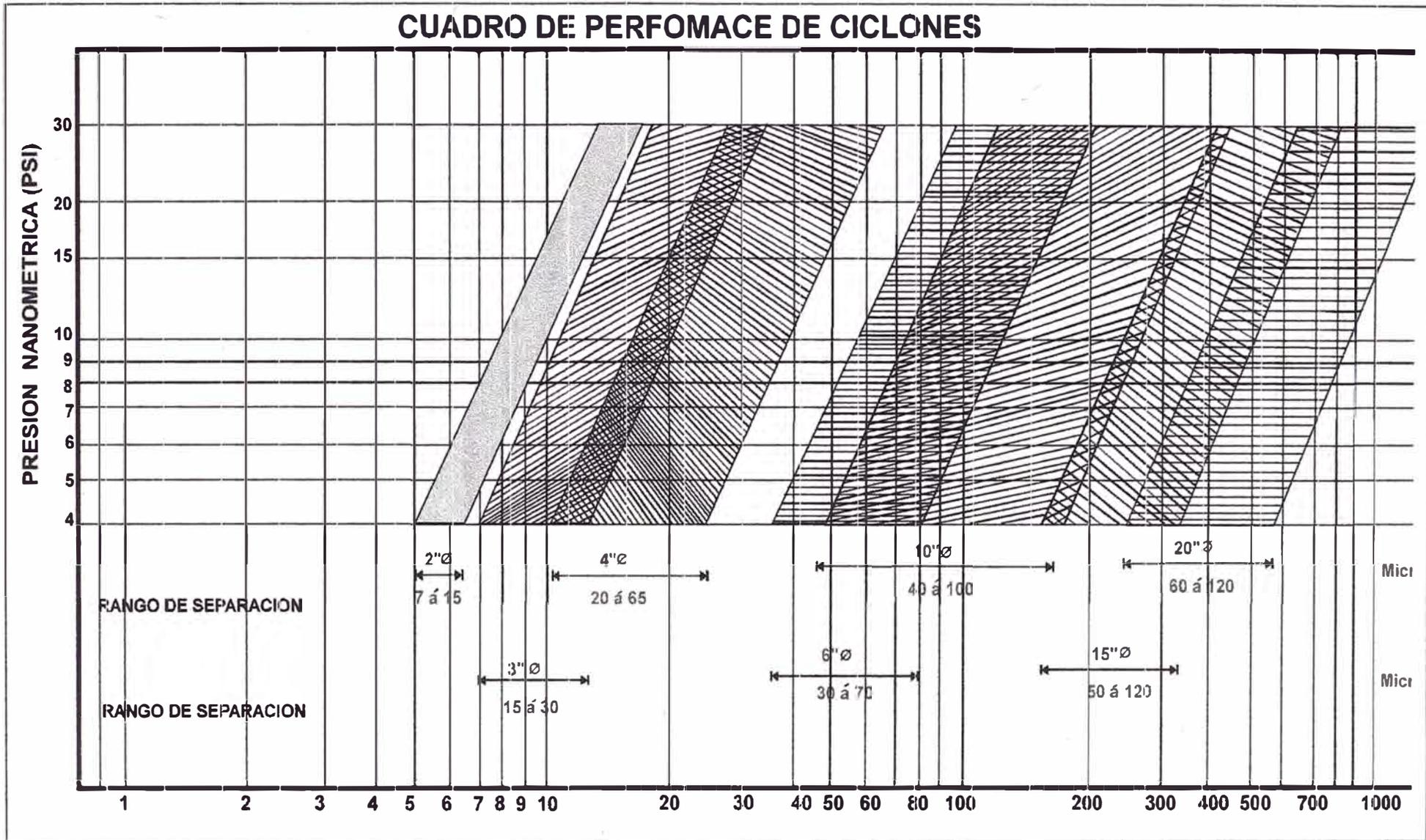


Fig. 4.1: CUADRO DE PERFORMANCE DE HIDROCICLONES

Para estimar el \dot{a} pex se utiliza la sgte expresi3n:

$$D_u = 4.16 - \frac{16.43}{2.65 - \rho + 100\rho/\%S_d} + 1.10 \ln(U/\rho) \dots \dots \dots (4.6)$$

Donde: U : TMPS en el Underflow
 %Sd : %de s3lidos en el Underflow
 ρ : Gravedad Especifica del mineral

4.2 Aplicaci3n de Hidrociclones en Relaves y Relleno Hidr3ulico

En la mineria los productos est3riles de las Plantas Concentradoras se conducen a presas, relaves o canchas. La clasificaci3n de estos materiales est3riles es en dos fracciones: una gruesa y una fina que antes de ser depositados permite disminuir los costos de formaci3n de la presa, al mismo tiempo que mejora su seguridad.

Los gruesos son conducidos por gravedad o mediante bombas especiales (Bombas Marhs) de alta presi3n hasta el dique para ayudar a su formaci3n, mientras que los finos son enviados a la cola de la presa para facilitar y mejorar su sedimentaci3n.

En explotaciones subterr3neas, por motivos de medio-ambiente, la fracci3n gruesa de los relaves es utilizada para efectuar el relleno hidr3ulico, evitando o reduciendo el empleo de material externo a la mina.

Para la clasificaci3n se debe tener en cuenta, la restricci3n de permeabilidad de la fracci3n recuperada, para obtener un material de relleno optimo

4.2.1 Ejemplo de Aplicaci3n

En una Planta Concentradora de 840 1MSPD, se obtiene 695 1MSPD de relave del cual se desea tratar como Relleno Hidr3ulico.

Para esto se conoce los sgtes datos.

-% sólidos: 31

- G. Espec : 3.2

Deseamos obtener Underflow: 48 TMSPD y 76% de sólidos para Relleno Hidráulico.,
el Overflow pasara a la cancha de relaves.

Plantemos un balance metalúrgico, los resultados se muestran según Tabla: 4.2

	F	O	U
TMSPH	29	15	14
% SÓLIDOS	31	20	76
Densidad de pulpa	1.27	1.16	2.09
GPM pulpa	323	285	38
m3 /día	1804	1609	195
GPM agua	283	264.2	19.47

Tabla 4.2: Balance Metalúrgico para aplicación de Hidrociclón en Relleno Hidráulico

De la tabla (4.2) se observa el caudal total alimentado es : 323 GPM y siendo el tamaño de corte, en este caso NO tan preciso, seleccionamos de acuerdo al caudal que se tratará : 01 D15B.

De la ecuación (4.6) , hallamos que

$$D_u = 1.5'' \cdot \emptyset \text{ (aproximadamente)}$$

Además en los Hidrociclones Krebs $D_o = 35\% D_c$

$$D_o = 5.25'' , \text{ pero por comodidad se escoge : } 5'' \cdot \emptyset$$

Finalmente para nuestra selección tendremos:

-Hidrociclón : 15'' \emptyset Modelo D15B

\emptyset Vortex : 5''

\emptyset Apex : 1.5 (Material Caucho)

Capítulo 5:

Modificaciones en los Hidrociclones para Aumentar Eficiencia

Para mejorar la eficiencia y tamaño de corte de los Hidrociclones, se ha mejorado el diseño hidráulico de las diferentes partes que lo componen y se han introducido cambios en la geometría..

También en los materiales constructivos empleados se utiliza los elastómeros sintéticos y materiales cerámicos o compuestos cerámicos-metálicos.

5.1 Cambios en la Geometría.

Las secciones de paso rectangular, del Inlet Head (Forro de jebe) han demostrado su superioridad frente a la clásica sección circular, al lograr un flujo laminar de las corrientes de alimentación, antes de su intersección con el cuerpo cilíndrico. (Fig 5.1)

Al mismo tiempo el diseño en involuta supone una disminución de las turbulencias, en esa zona crítica donde se originan las corrientes de separación. (Fig 5.2)

Ambos efectos se traducen en un aumento de la capacidad de tratamiento, expresado como caudal de pulpa admitido por el equipo, junto con la mejora de la eficiencia con respecto a los diseños convencionales.

A igual presión de operación, los Hidrociclones de nueva generación, tratan mayores caudales, lo que significa un menor números de unidades en operación..

Además la reducción de las turbulencias ha significado un mayor eficiencia que se observa al obtener separaciones con menor dispersión de tamaño en los productos obtenidos, fracciones gruesa y fina.

Uno de los últimos Hidrociclones que han incorporado estas modificaciones son los HIDROCICLONES KREBS "SERIE gMAX ", los cuales además presenta un alargamiento en la zona cónica

Estos Hidrociclones son capaces de clasificar tamaños de hasta m400.(Fig 5.3)

5.2 Materiales de los Revestimientos.

Para prolongar la vida útil de los Hidrociclones es necesario revestirlos con elastómeros, las cuales son seleccionados, de acuerdo al material que trataran. Así tenemos los sgtes materiales para los revestimientos.

5.2.1 Caucho Natural.

Usado comúnmente en la mayoría de los Hidrociclones y con dureza de 35 Shore A

5.2.2 Cauchos Sintéticos.

Se aplican donde las pulpas se encuentran a temperaturas por encima de 50°C. Estos sintéticos por lo general es: Neopreno, Nitrilo, EPDM.

5.2.3 Poliuretano

Usado en minas de carbón y plantas que tratan menas fierro.

5.2.4 Carburo de Silicio.

Utilizado en las zonas del ciclón donde el desgaste es severo como es: Apex y Conos inferiores

5.3 Hidrociclones de acuerdo a su altura.

Cuando tenemos mayor longitud de la parte cilíndrica, obtenemos tamaño de corte mas fino. Cilindros de gran altura y diámetro pequeño permiten separaciones muy finas: Deslamadores.

Cilindros de igual altura al diámetro son los que comúnmente se conocen

Cilindros de altura menor al diámetros son usados en preconcentraciones.



Fig 5.1: Inlet Head de Hidrociclones Krebs D15B con orificio rectangular en ingreso

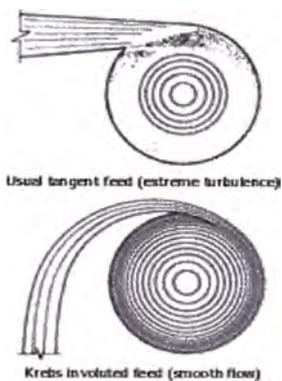


Fig 5.2: Ingreso de pulpas en forma de involuta y tangencial en alimento al Hidrociclón



Fig 5.3 : Hidrociclón Krebs Gmax, capaz de realizar separaciones del orden de m400

ANEXOS

CORRECCION DE LOS VALORES MUESTREADOS

Fracción	k(micrones)	VALORES MUESTREADOS							VALORES CORREGIDOS		
		f _{alimento}	O _{overflow}	U _{underflow}	C.C= U/f _{alimento} *(u-f)	(o-u) ²	i=(o-u)A+(u-f)	Tic	Oic	Uic	
m60	248.00	22.75	11.20	39.85	0.68	-489.92	820.82	2.878	24.669	10.248	38.88
m100	150.00	25.65	14.75	35.70	1.08	-210.55	438.90	-0.350	25.417	14.866	35.82
m150	104.00	14.70	11.20	13.10	-2.19	3.04	3.61	-2.543	13.005	12.042	13.95
m200	74.00	10.65	11.00	7.15	0.10	-13.48	14.82	-1.589	9.591	11.526	7.68
M-200	44.00	26.25	51.85	4.20	1.16	-1050.68	2270.52	1.604	27.319	51.319	3.66
		100.00	100.00	100.00	0.17	1761.58	3548.68				

A: $SUM(u-f)*(o-i)/SUM(o-i)^2 = 0.50$

P.C.C corregido= 1.01

$Z=1/(2*(A^2-A+1))= 0.67$

De los valores obtenidos: **U/O= 1.01** **U/F= 0.50** **O/F= 0.496**

DATOS: %Sol f= 47.00 %Sol O= 33.00 %Sol U= 81.000

Flujo Masa: TMPH	
Overflow	22.92
Underflow	23.25
Alimento	46.17

Se calcula "a" (fraccion de agua en under)= 0.10

Fracción	f _{alimento}	f _{ic}	o _i	o _{ic}	u _i	u _{ic}	C.C=Uc/Fc	Eu	Eo	Euc
m60	22.75	24.67	11.20	10.25	39.85	38.88	1.01	79.379	20.621	76.966
m100	25.65	25.42	14.75	14.87	35.70	35.82	1.01	70.967	29.033	67.569
m140	14.70	13.00	11.20	12.04	13.10	13.95	1.01	54.035	45.965	48.657
m200	10.65	9.59	11.00	11.53	7.15	7.68	1.01	40.344	59.656	33.364
m-200	26.25	27.32	51.85	51.32	4.20	3.66	1.01	6.750	93.250	-4.162

Anexo 1: Correccion de los Valores muestreados en la Tabla 2.1(Pag 15) por el metodo de Minimios Caudarados y Lagrang
Referencia: Circuito Cerrado de Molienda utilizando Hidrociclón Krebs D15B, Vortex de 5.1/4", Apex de 2.5" Ø

TABLA COMPARATIVA DE EFICIENCIAS

Fracción	x(micrones)	x(prom)	Ef. Over	Ef. Unde	Ef. Und Cd	Ef. Und. Cal
m60	248.00	272.00	20.62	79.38	76.97	78.80
m100	150.00	192.87	29.03	70.97	67.57	64.82
m150	104.00	124.90	45.96	54.04	48.66	46.94
m200	74.00	87.73	59.66	40.34	33.36	34.44
m-200	44.00	57.06	93.25	6.75	-4.16	22.70

Tabla 6.1: Comparacion de Eficiencias

Log x(prom)	LogLn(1/(1-Eucorr))
2.43	0.17
2.29	0.05
2.10	-0.18
1.94	-0.39
1.76	

Del grafico
d50cal: 135.00
m 1.15

$$E_c = 100 - 100 \exp(-0.6931(x_{prom}/135)^{1.15})$$

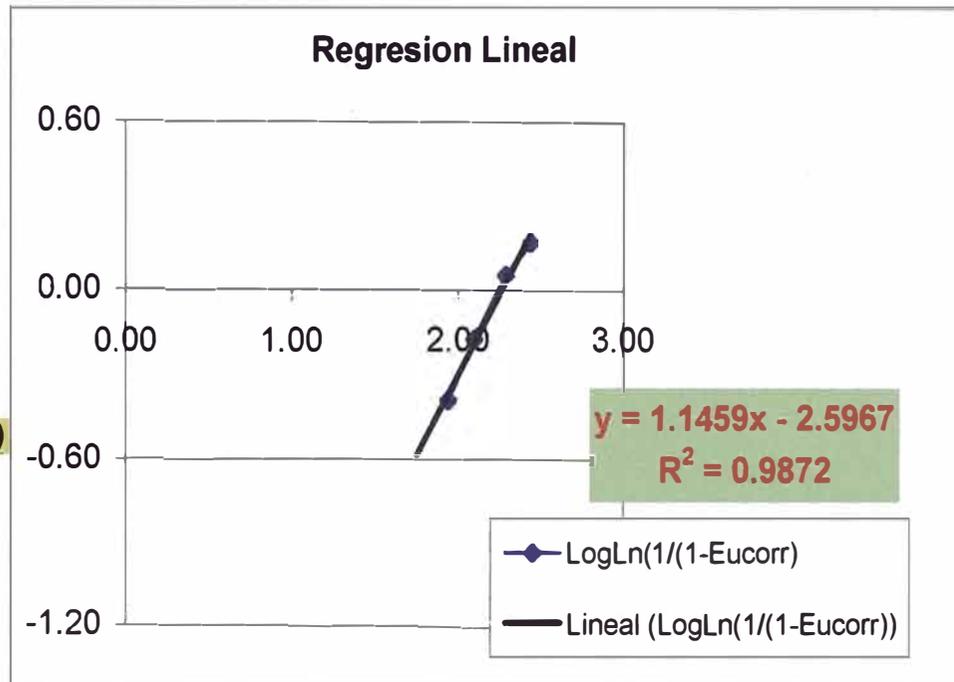
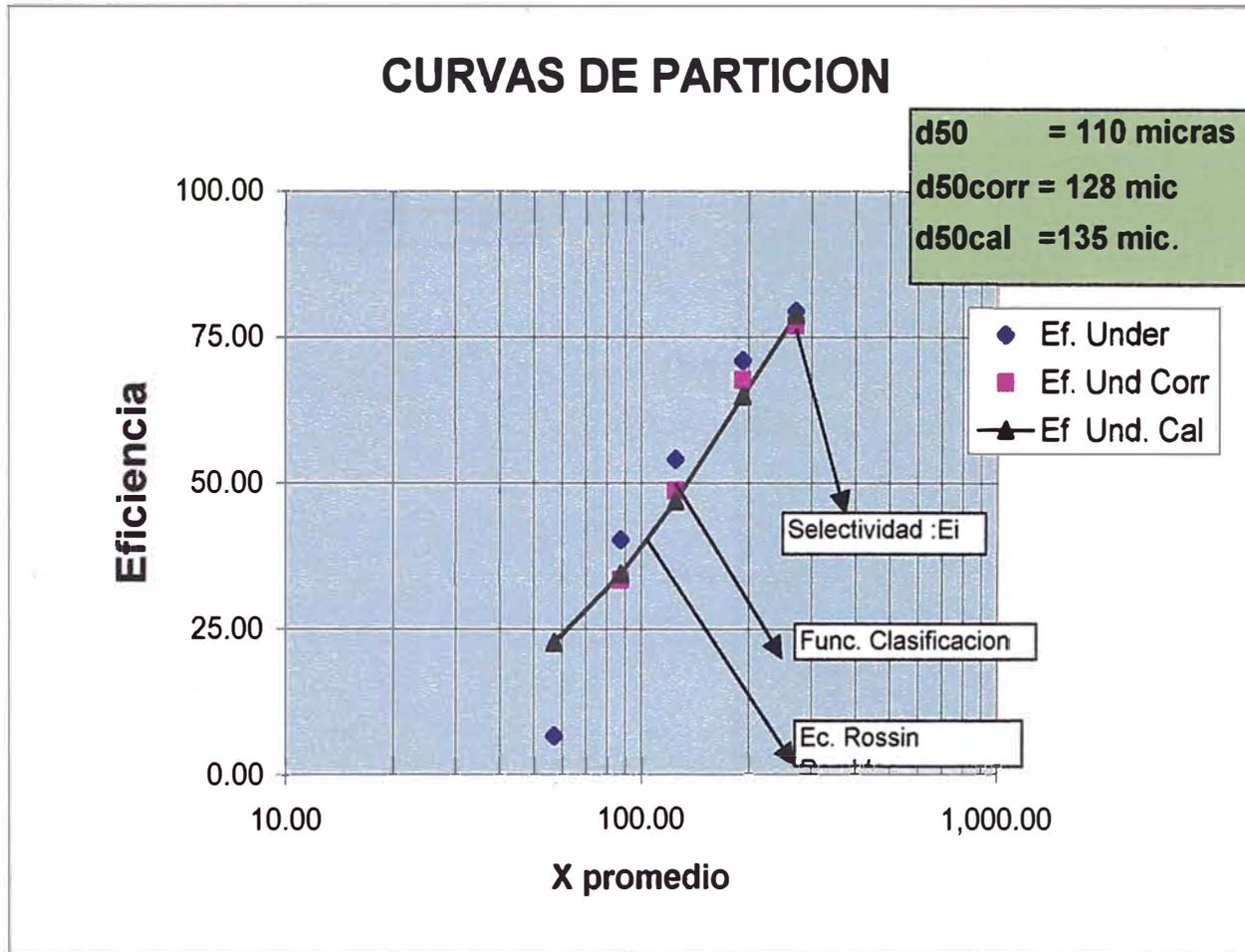


Fig 6.1: Determinacion de la Ecuacion de Rossin Rambler.

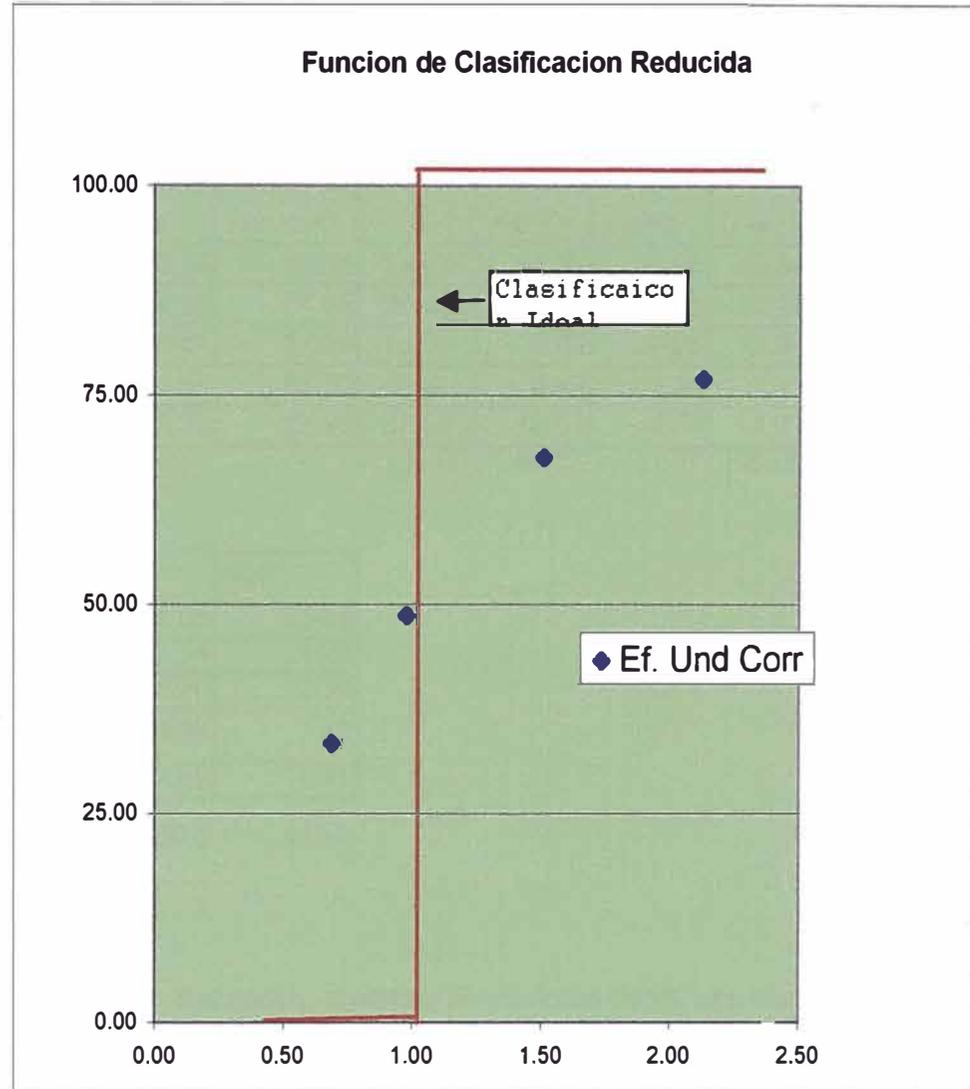
Anexo 2 Comparacion de las Eficiencias para los valores según muestreo y corregidos según Anexo 1



d25= 80
d75= 280
SI= 0.29

Anexo 3: Curvas de Particion, según datos del muestreo en la Tabla 2.1 , tambien se calcula los diferentes "d50"

x(prom)	xprom/d50c	Ef. Und Corr
272.00	2.13	76.97
192.87	1.51	67.57
124.90	0.98	48.66
87.73	0.69	33.36
57.06	0.45	-4.16



Anexo 4: Funcion de Clasificacion Reducida para los valores según la Tabla 2.1

SIMULACION DEL ANALISIS GRANULOMETRICO REALIZANDO CAMBIOS EN LAS VARIABLES DE OPERACIÓN

a= 0.9585

P= 0.259

Flujo Masico:

F= 46.17

U= 20.21

O= 25.27

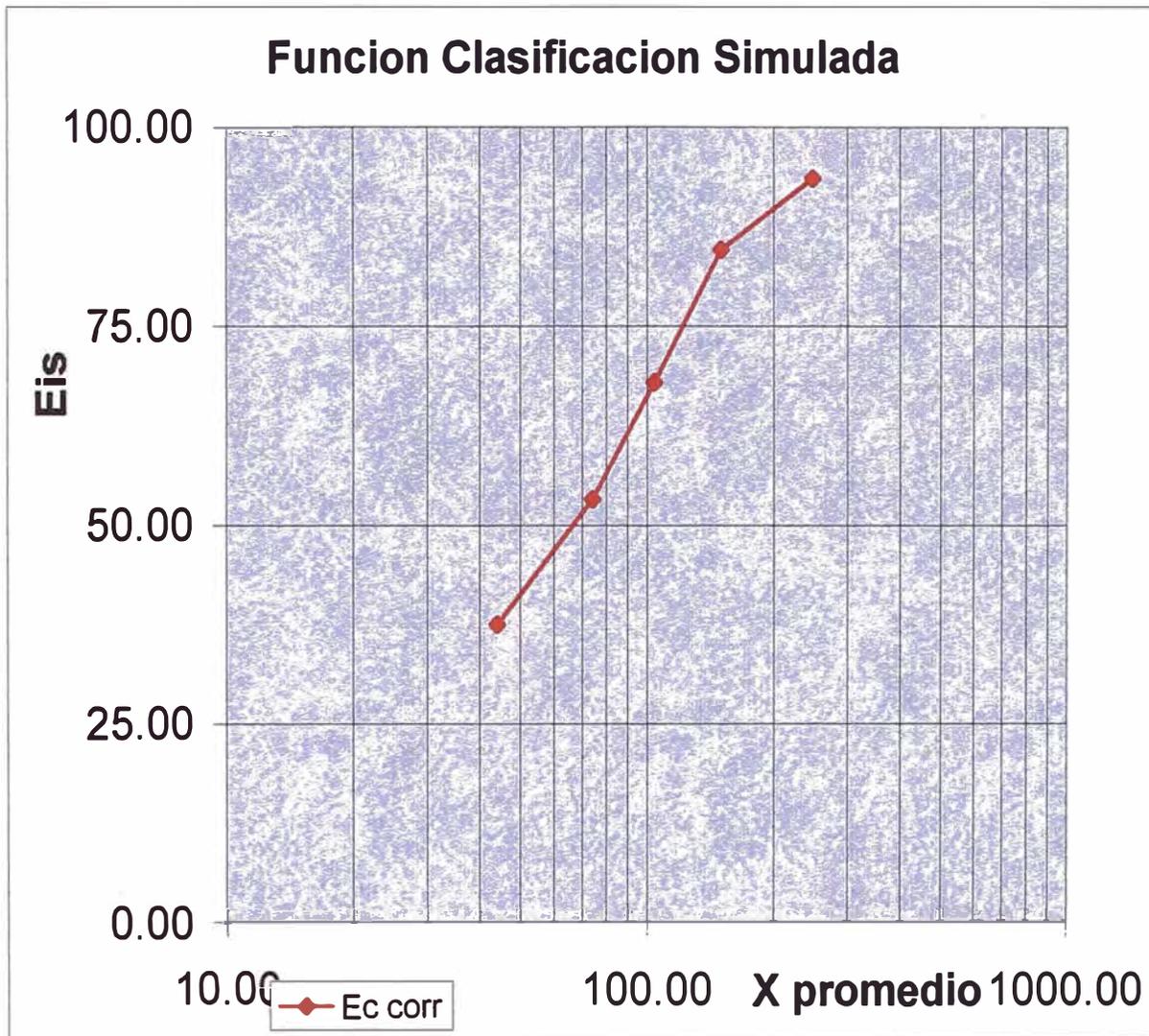
Fracción	x(micras)	x(prom)	z= x/80	Ec	Ec corr	fi	fi*F	ui*U	ui	oi*O	oi
m60	248.00	272.00	3.40	93.96	93.61	24.67	11.39	10.66	33.56	0.73	5.05
m100	150.00	192.87	2.41	84.96	84.61	25.42	11.73	9.93	31.26	1.81	12.54
m150	104.00	124.90	1.56	68.31	67.96	13.00	6.00	4.08	12.84	1.92	13.36
m200	74.00	87.73	1.10	53.65	53.30	9.59	4.43	2.36	7.43	2.07	14.36
m-200	44.00	57.06	0.71	37.90	37.55	27.32	12.61	4.74	14.91	7.88	54.69
						100.00	46.17	31.77	100.00	14.40	#####

Ec*fi	oi _s	ui _s	Eccor*fi	oi _s C	ui _s C
2317.92	4.79	33.65	2309.30	5.05	33.56
2150.56	12.29	31.35	2150.56	12.54	31.26
883.81	13.25	12.89	883.81	13.36	12.84
511.16	14.29	7.47	511.16	14.36	7.43
1025.77	54.54	15.03	1025.77	54.69	14.91
6889.2	99.2	100.4	6880.6	100.0	100.0

Theta= 68.8923 **Theta= 68.80605**

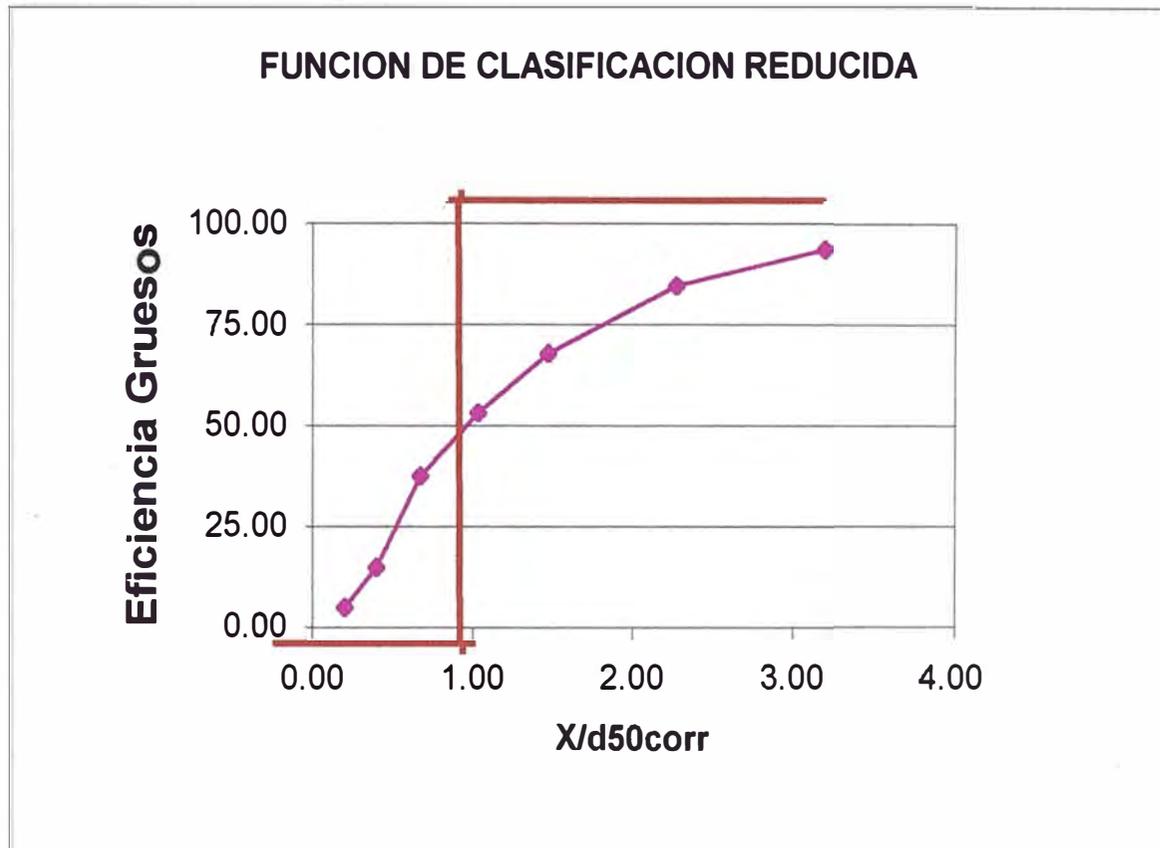
Anexo 5 Determinacion de las granuletrias simuladas, al utilizar Hidrociclon D15B, con Vortex de 4" y Apex de 3"

ge



Anexo 6: Funcion de Clasificacion Simulada, al realizar cambios en la Variables de Operación Hidrociclón D15B , Vortex de 4" Apex de 3"

x(prom)	Xpro/d50d	Efu s
272.00	3.20	93.61
192.87	2.27	84.61
124.90	1.47	67.96
87.73	1.03	53.30
57.06	0.67	37.55
34	0.40	15.00
17	0.20	5.00



**Anexo 7: Funcion de Clasificacion Reducida, Simulada, al realizar cambios en la Variables de Operación
Hidrociclón D15B: Vortex de 4", Apex de 3", % de Solidos 33**

**NIDO RADIAL DE HIDROCICLONES
D15B**

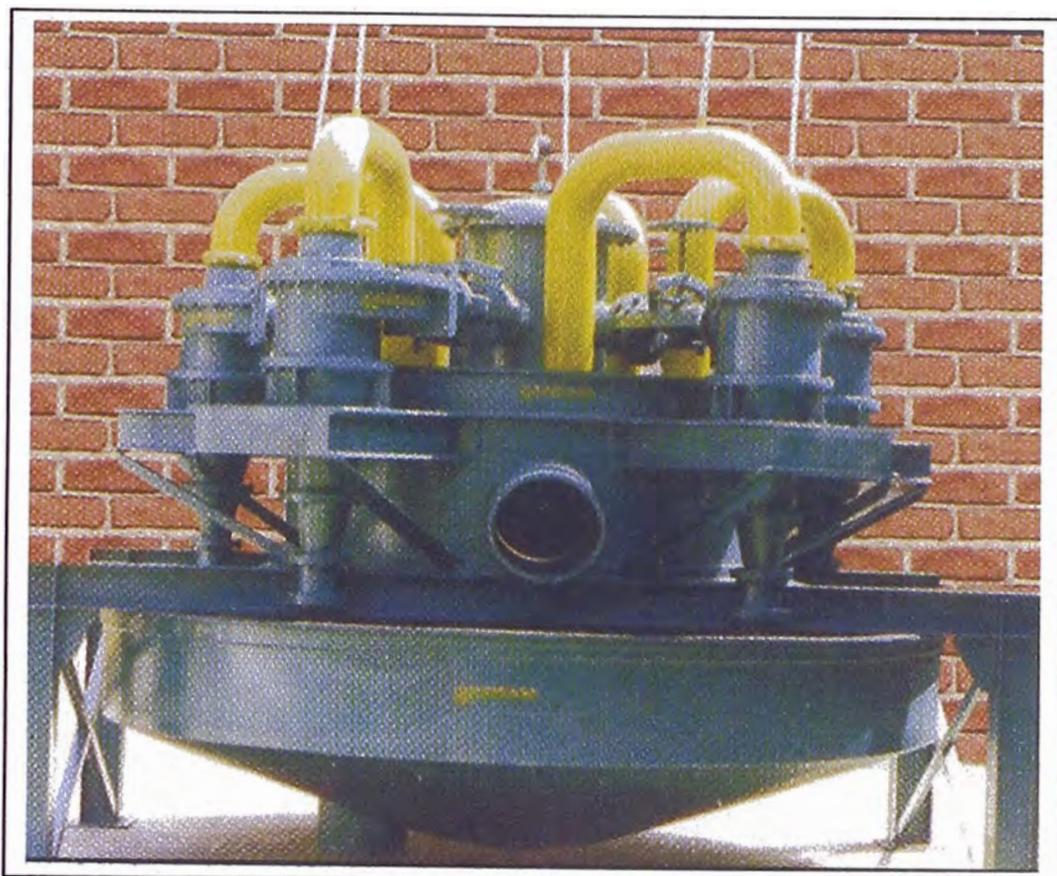
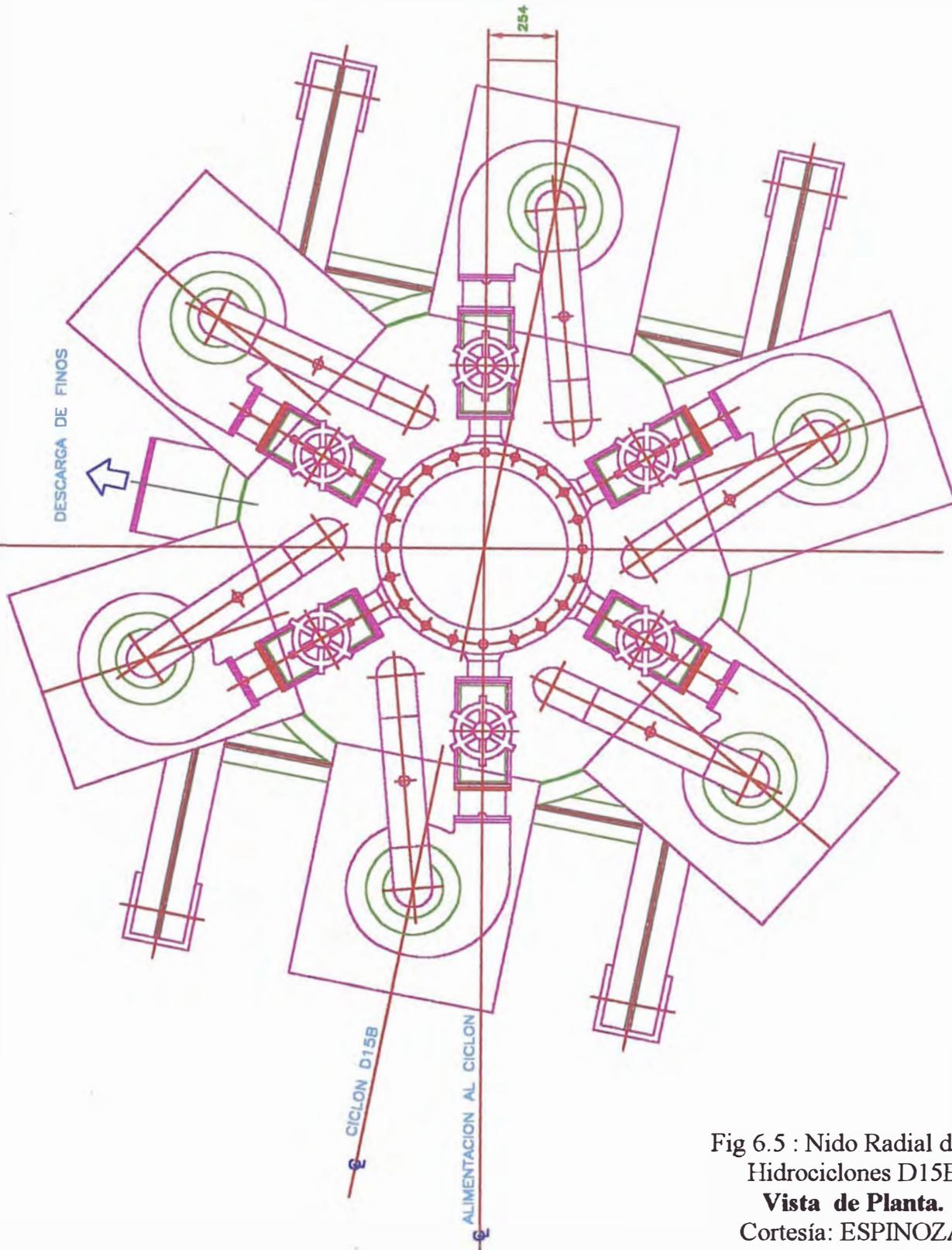


Fig 6.4 : Nido Radial de 06 Hidrociclones D15B
Cortesía: ESPINOZA ASOCIADOS SA
Lima, Marzo 2003

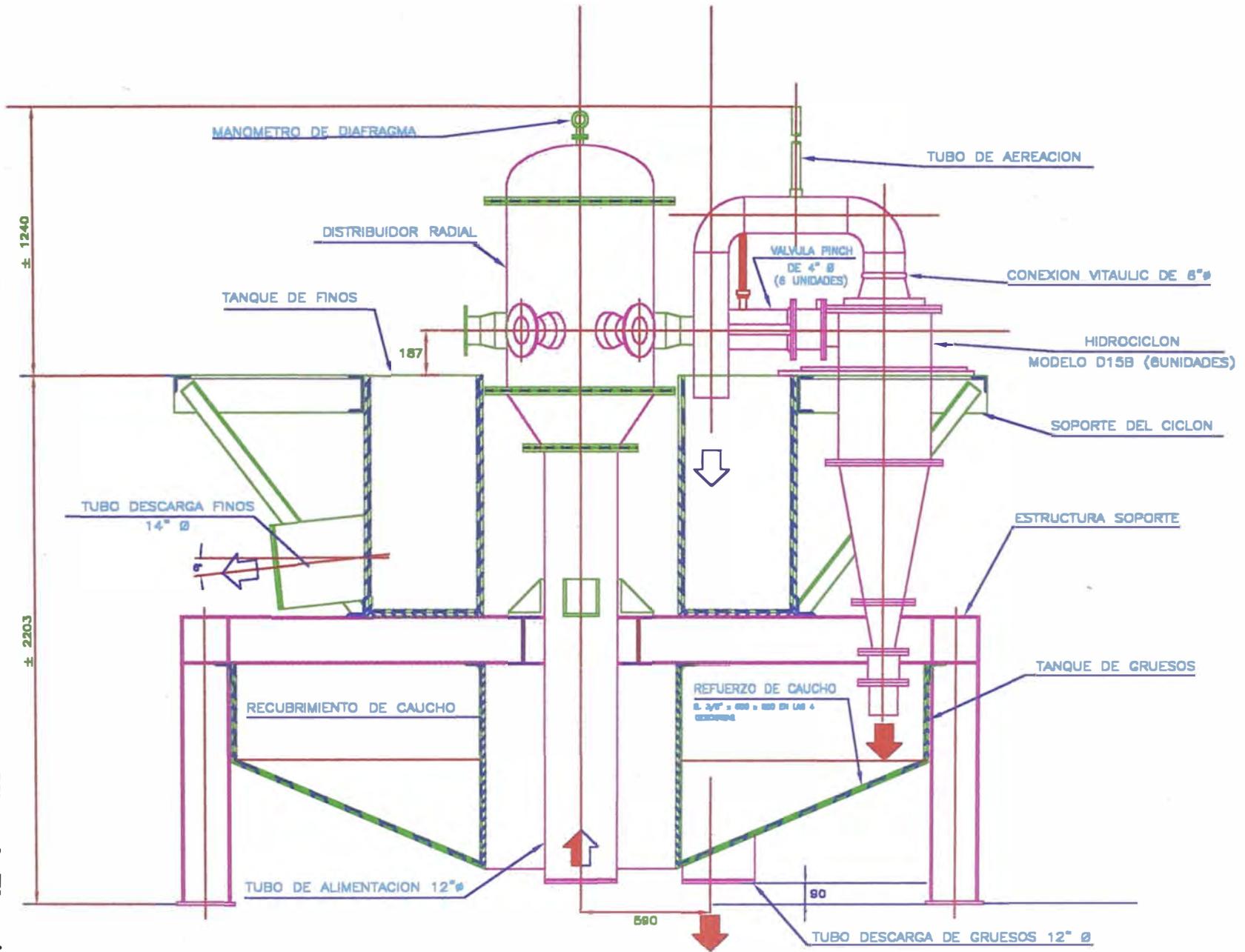
ANEXO 8



NIDO RADIAL DE 06 HIDROCICLONES D15B

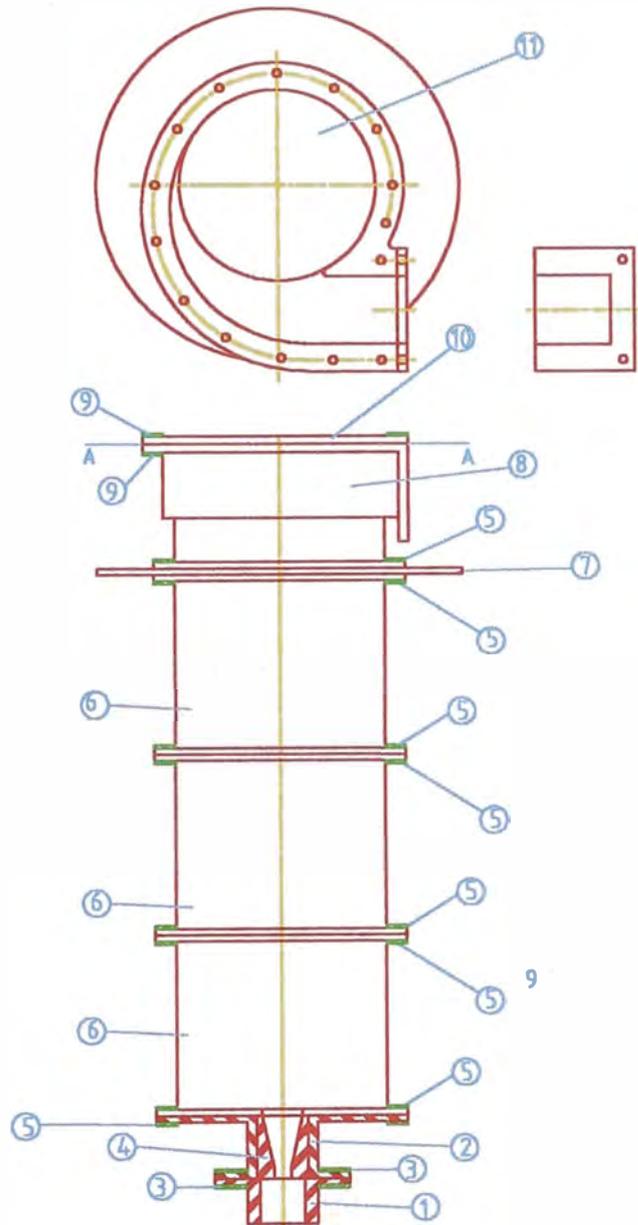
Fig 6.5 : Nido Radial de 06
Hidrociclones D15B
Vista de Planta.
Cortesía: ESPINOZA
ASOCIADOS SA
Lima, Marzo 2003

Fig 6.6 : Nido Radial de 06 Hidrociclones D15B. Vista de Elevación.
 Cortesía: ESPINOZA ASOCIADOS SA. Lima, Marzo 2003



NIDO RADIAL DE 06 HIDROCICLONES D15B

Fig 6.7 : Hidrociclón D15B. Fondo Plano.
 Cortesía: ESPINOZA ASOCIADOS SA. Lima, Enero 2003



11	1	ANILLO INTERIOR	ASTM-A36	POLIURETANO	D15P600
10	1	TAPA DE CABEZAL	ASTM-A36	POLIURETANO	D15P550
9	2	BRIDA DE REFUERZO-III	ASTM-A36		D15P500
8	1	CABEZAL		POLIURETANO	D15P450
7	1	ANILLO DE SUJECION	ASTM-A36	POLIURETANO	D15P400
6	3	CUERPO CILINDRICO		POLIURETANO	D15P350
5	6	BRIDA DE REFUERZO-II	ASTM-A36		D15P300
4	1	APEX		POLIURETANO	D15P250
3	2	BRIDA DE REFUERZO-I	ASTM-A36		D15P200
2	2	BRIDA PORTA APEX		POLIURETANO	D15P150
1	1	MANGA DE DESCARGA		JEBE	D15P100

BIBLIOGRAFÍA

- DISEÑO Y SIMULACIÓN DE CIRCUITOS DE MOLIENDA Y CLASIFICACION
Fernando Concha
Universidad de Concepción, Chile
Editado por : Taller Multimedia Universidad Técnica 1994

- INTRODUCCIÓN AL PROCESAMIENTO DE MINERALES
Errol Kelly David Spottiswood
Universidad de Auckland
Editorial LIMUSA

- CLASIFICACIÓN EN EL PROCESAMIENTO DE MINERALES
Ing. Juan Luis Bousso.
III Simposio Internacional de Mineralurgia, Lima

- INFLUENCE OF CIRCULATING LOAD AND CLASSIFICATION EFFICIENCY ON MILL THROUGHPUT
Douglas Schleep Patrick Turner
Salt Lake City, Utah
February 1990

- DISEÑO DE PLANTAS EN PROCESAMIENTO DE MINERALES
Andrew Mular
Coleccion Rocas y Minerales
Madrid 1982

- CAVEX HYDROCICLONE
Weir Groap
Boletín Informativo (Catalogo)
San Bernardo - Chile 2001

- INGENIERIA METALURGICA
Ing. Ivan Quiroz Núñez
Lima , 1986