

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y
METALÚRGICA**



INCREMENTO DE LA CAPACIDAD DEL CIRCUITO DE MOLIENDA CON LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN CON ZARANDAS DE ALTA FRECUENCIA ZAF

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO METALURGISTA

**PRESENTADO POR:
VÍCTOR ANDRÉS ROMERO VALLADARES**

LIMA – PERÚ

2009

DEDICATORIA

Dedico el presente informe a mis padres Nelly y Víctor por el esfuerzo y sacrificio que hicieron durante mis años de estudios universitarios para que logre ser la persona profesional que ahora soy.

RESUMEN

El presente informe de suficiencia muestra cómo mediante una modificación en el circuito de clasificación en la etapa de molienda se pudo incrementar el tonelaje de tratamiento en la planta concentradora de la unidad minera Cerro Lindo de CIA MINERA MILPO S.A.A.

La idea de incremento de tonelaje tratado fue concebida de tal manera que no se tuviese que incrementar los equipos de molienda instalados, sino cambiar el sistema de clasificación en el circuito de molienda, de tal manera que permitiese este incremento sin afectar el tratamiento en el resto de las etapas.

Se cambió el circuito de clasificación por hidrociclones a un circuito de clasificación por Zarandas de Alta Frecuencia, las cuales no solo permitieron este incremento de tratamiento sino que se logró también mantener los parámetros de las demás etapas sin afectar la calidad de los productos finales (concentrados).

En el presente informe se muestra un balance del circuito de molienda clasificación con hidrociclones antes del cambio y sus limitaciones para operar con mayor tonelaje y otro con el circuito modificado a clasificación con Zarandas de Alta Frecuencia con los beneficios obtenidos, habiéndose logrado el incremento de 20% de mineral procesado luego de la optimización.

INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
ASPECTOS GENERALES	3
1.1 Objetivo General	3
1.2 Justificación	3
1.3 Antecedentes	4
1.4 Aspectos Generales de la Unidad Minera	5
1.4.1 Ubicación	5
1.4.2 Geología	5
1.4.3 Preparación, desarrollo y explotación	6
1.4.4 Planta de beneficio de minerales	6
CAPÍTULO II	
EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS CIRCUITOS DE	
MOLIENDA - CLASIFICACIÓN	12
2.1 Circuito de molienda clasificación con hidrociclones	12
2.1.1 Descripción del circuito de molienda clasificación	12
2.1.2 Balance de masa del circuito de molienda clasificación	14
2.1.3 Observaciones y necesidades de ampliación	16
2.2 Pruebas de clasificación con Zarandas de Alta Frecuencia	16
2.2.1 Las Zarandas de Alta Frecuencia	16
2.2.2 Pruebas semi industriales con ZAF	19
2.2.3 Pruebas industriales con ZAF	22

2.2.3.1	Pruebas con mallas de aberturas 0.30 mm	22
2.2.3.2	Pruebas con mallas de aberturas 0.18 mm	23
2.2.3.3	Pruebas con mallas de aberturas 0.23 mm	24
2.3	Circuito de molienda clasificación con Zarandas de Alta Frecuencia	26
2.4	Comparaciones técnicas entre los dos circuitos de clasificación	29

CAPÍTULO III		
RESULTADOS Y BENEFICIOS OBTENIDOS CON LA IMPLEMENTACIÓN DE ZAF EN EL CIRCUITO DE MOLIENDA - CLASIFICACIÓN		30
CONCLUSIONES		34
BIBLIOGRAFÍA		36
ANEXOS		38
NOMENCLATURA		42
INDICE DE FIGURAS		43
INDICE DE TABLAS		44

INTRODUCCIÓN

El incremento de tonelaje tratado en la planta concentradora de la Unidad Cerro Lindo de CIA Minera Milpo S.A.A. ha sido uno de los objetivos de esta unidad a corto plazo desde que iniciara sus operaciones en Junio del 2007.

La opción de incremento de tonelaje tratado fue concebida de tal manera que no se tuviese que incrementar los equipos instalados, sino modificar el sistema de clasificación en el circuito de molienda, de tal manera que permitiese este incremento sin afectar el tratamiento en el resto de las etapas.

Se modificó el circuito de clasificación por Hidrociclones a un circuito de clasificación por Zarandas de Alta Frecuencia, las cuales no solo permitieron este incremento de tratamiento sino que se logró también mantener los parámetros de las demás etapas sin afectar la calidad de los productos

finales (concentrados). Se muestra un balance del circuito de molienda clasificación con hidrociclones antes del cambio y sus limitaciones para operar con mayor tonelaje y otro con el circuito modificado a clasificación con Zarandas de Alta Frecuencia con los beneficios inmediatos obtenidos.

En ambos balances se muestra el tonelaje de alimento al molino mas la carga circulante producida en ambos clasificadores, se hace una comparación de los beneficios de ambos métodos y su repercusión en la producción y ganancias para la empresa. Como conclusión se determina que fue muy provechoso el cambio en el método de clasificación del mineral en la etapa de molienda y se sugiere implementarla en un circuito de remolienda por lo beneficios que se obtendría.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. Objetivo General

El objetivo general del estudio materia del presente informe es hallar los parámetros de operación de las Zarandas de Alta Frecuencia instaladas en la sección molienda clasificación que permitan el incremento sostenido de tonelaje procesado en la planta concentradora tomando como base las pruebas semi industriales realizadas en los laboratorios del fabricante de las ZAF.

1.2. Justificación

Todo equipo nuevo diseñado en base a pruebas semi industriales o de laboratorio, una vez instalado en la operación, necesita ser puesto a prueba industrial mediante un control estricto de los parámetros de

operación sugeridos por el diseño o determinados por el diseñador. Las nuevas Zarandas de Alta Frecuencia instaladas en la sección de molienda necesitan una serie de pruebas antes de definir las condiciones de operación más óptimas con las cuales el incremento de tonelaje de tratamiento sea sostenido en el tiempo y no perjudique la operación de las etapas siguientes del proceso productivo en la planta concentradora.

1.3. Antecedentes

La unidad minera Cerro Lindo de Compañía Minera Milpo S.A.A. inaugura sus operaciones el 20 de julio de 2007, y se convierte en la cuarta unidad operativa del GRUPO MILPO.

El diseño de la planta fue concebido para un tratamiento de 5000 TMSD de mineral polimetálico de Cu, Pb, Zn y Ag. Luego del inicio de sus operaciones Cerro Lindo demuestra ser una de las operaciones mineras más modernas del mundo por la tecnología y procesos empleados: uso de agua desalinizada que es bombeada desde la costa desde una planta desalinizadora a través de una tubería de 60 km, implementación de un sistema de filtrado de relaves en filtro de banda y una planta de relleno en pasta que permite recircular el 85% del agua al proceso y asegurar el cuidado del medio ambiente con el logro de cero vertimientos a la cuenca aledaña.

1.4. Aspectos Generales de la Unidad Minera

1.4.1. Ubicación

La unidad de Producción y Yacimiento de Cerro Lindo se encuentra ubicada en la margen izquierda del río Topará, Distrito de Chavín, Provincia de Chincha, Departamento de Ica, a una altitud entre 1820 a 2200 m.s.n.m. 175 Km. al SE de Lima y a 60 Km. de la costa.

Coordenadas UTM:

Longitud Oeste 75°59'00" O

Latitud Sur 13°05'0" S.

1.4.2. Geología

El yacimiento minero de Cerro Lindo es un depósito de sulfuro masivo Vulcano génico (tipo Kuroko), las zonas de mineral de sulfuro están alojadas dentro de una secuencia Vulcano – sedimentaria del Cretaceo medio, la cual forma una orientación de faja NW-SE de treinta por diez kilómetros.

El depósito de Cerro Lindo consiste de cuerpos lenticulares de sulfuros masivos incluyendo pirita, esfalerita, calcopirita y menor cantidad de galena, las leyes promedios son: 4,30% de Zn, 0,60% de Cu, 0,5%de Pb y 1,1 Oz de Ag /TM.

1.4.3. Preparación, desarrollo y explotación

Consiste básicamente en acceder mediante rampas de 5m x 4m de sección de forma paralela al eje vertical del cuerpo, a partir de la rampa se desarrolla los subniveles cada 30 metros con 2% de gradiente positiva, logrando un mejor reconocimiento del cuerpo mineralizado.

1.4.4. Planta de beneficio de minerales

Sección Chancado

Es la primera etapa en donde se procesa el mineral extraído de la mina, esta etapa cuenta con una sección de chancado primario que se realiza en interior mina y cuyo producto es transportado a través de fajas con un recorrido total de 1,700 m hasta la planta concentradora. En la planta se tiene en una misma instalación la etapa de chancado secundario y terciario.

El producto intermedio del chancado es almacenado en una cancha de mineral de gruesos de 15,000 toneladas de capacidad (producto del chancado primario) y el producto final de toda la sección es almacenado en un stock pile de finos de 6,000 toneladas de capacidad.

Se cuenta con una chancadora Jaw Master 35"x42" marca Sandvik para el chancado primario, dos chancadoras cónicas H4800C y H4800MF marca Sandvik para el chancado secundario y terciario, un cedazo vibratorio 6'x16' doble piso para el chancado secundario y un cedazo vibratorio 8'x24' doble piso para el chancado terciario.

Las características de reducción de cada etapa se muestran a continuación:

Chancado Primario: grado de reducción del mineral de 16" a 5".

Chancado Secundario: grado de reducción del mineral de 5" a 1 ½".

Chancado Terciario: en el grado de reducción del mineral de 1 ½" a 3/8".

Sección Molienda

Esta etapa se realiza con un molino de bolas Marcy de 14.5' x 23.5', con clasificación en Zarandas de Alta Frecuencia, el producto de la molienda es mineral fino de un tamaño promedio de 50% menor a 75 µm. Este producto se alimenta a la etapa de flotación selectiva.

Sección Flotación

El proceso de flotación selectiva consta de tres etapas, la primera de flotación Bulk Cu-Pb, una de separación Cu-Pb y la otra de flotación de Zn.

En la flotación bulk se lleva a cabo la flotación de los sulfuros valiosos de cobre y plomo con recuperaciones metálicas establecidas en los programas de producción. Consta de dos filas de bancos de celdas, una de celdas OK-30 m³ que constituyen el Rougher I, Rougher II y Scavenger y la otra fila de celdas OK-5 m³ que constituyen los Cleaner II, Cleaner I y Scavenger Cleaner I. El relave de este circuito es el alimento al circuito de flotación de zinc.

En la flotación de Separación Cu-Pb el concentrado bulk es acondicionado con depresores de cobre, seguido de un proceso de flotación de plomo, en esta etapa se obtiene por separado un concentrado de cobre y un concentrado de plomo. Consta de una fila de celdas OK-1.5 m³ para el Rougher de separación y otra fila de celdas OK-0.5 m³ para las limpiezas de Pb.

En la flotación Zinc, son colectados los sulfuros valiosos de zinc para obtener calidades y recuperaciones establecidas en los programas de producción. Consta de dos filas de bancos de celdas, el primer banco de celdas OK-40 m³ que constituyen las etapas Rougher I, Rougher II y Scavenger, y otra fila de bancos de Celdas OK-5 m³ que constituyen el Cleaner III, Cleaner II, Cleaner I y Scavenger Cleaner I. El relave de este circuito constituye el relave final del proceso el cual es enviado a un espesador High Compression.

Espesamiento y Filtrado de Concentrado

En esta etapa se realiza la separación sólido líquido de cada uno de los concentrados hasta obtenerlos con un contenido de agua de máximo 7% para el concentrado de Pb y 10% para los concentrados de Zn y Cu. El espesamiento se lleva a cabo en espesadores High Right y el filtrado se realiza en filtros de vacío de discos convencionales los cuales constan de 6 discos x 9 pies de diámetro.

Disposición de Relaves

El relave producido es enviado a un espesador marca Outokumpu High Compression de 18 metros de diámetro x 13 pies de altura, en donde el relave es llevado a un porcentaje de sólidos de 75%-78%.

El relave espesado en el espesador tiene dos destinos, el 45% producido es destinado como relleno en pasta, en la planta de relleno en pasta primero es filtrado en un filtro banda marca DELKOR de 72 m², luego mezclado con cemento y ceniza en proporciones establecidas y enviado a interior mina mediante una bomba de pistones para el relleno de los tajeos. El 55% restante es enviado a la planta de Filtrado y Disposición de Relaves, donde primero es filtrado en un filtro banda marca DELKOR de 72 m², luego es transportado, esparcido, secado, conformado y compactado en canchas a una humedad de 6.5% en promedio formando capas de 32 cm de espesor en promedio.

El agua producto del espesado y filtrado de relave y también de los espesadores y filtros de los concentrados es recuperada y enviada a un tanque de agua recuperada de 3600 m³ de capacidad, de donde es usada nuevamente para el proceso.

El agua fresca para el proceso es enviado desde una planta desaladora desde la costa a través de una tubería de 60 km de longitud y mediante tres estaciones de bombeo, es almacenada

en la planta concentradora en un tanque de 3600 m³ de capacidad.

El agua producida en la planta desaladora mediante el método de osmosis inversa, cuyo alimento es el agua del mar, solo es usada en la planta para necesidades de reposición donde no se pueda usar agua recuperada como son preparación de reactivos, refrigeración de algunos equipos y uso doméstico en campamentos habitacionales.

CAPÍTULO II

**EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS CIRCUITOS DE MOLIENDA –
CLASIFICACIÓN.**

2.1. Circuito de molienda clasificación con hidrociclones.

2.1.1. Descripción del circuito de molienda clasificación

El circuito de molienda clasificación es un circuito cerrado directo en el cual el alimento fresco se une con las arenas del hidrociclón. Consta de un molino Marcy 14.5' x 23.5' que trabaja a una velocidad de 15.5 RPM que representa el 77.0% de la velocidad crítica, con una carga molturante de bolas de 34%, la densidad de pulpa dentro del molino se regula a 2,800 g/l en promedio. El alimento al molino es a través de una faja transportadora a la cual desde un stock pile de finos se alimenta mediante fajas de velocidad variable de acuerdo al tonelaje seteado. La descarga del molino va a una bomba Warman 12'x10' de una potencia de 300 HP, a cuyo cajón se le

añade agua para lograr una densidad promedio 1,800 g/l que es alimentado a un hidrociclón Krebs modelo GMax de 26" de diámetro. El hidrociclón tiene un vórtex de 12" de ϕ y un ápex de 4.5" de ϕ . El O/F del hidrociclón constituye el producto final del circuito de molienda y se envía por gravedad a la etapa de flotación bulk con una densidad de 1,450 g/l. El U/F del hidrociclón se une a la carga fresca al molino cerrando el circuito.

Como parte del control operacional, periódicamente se realiza muestreos para determinar la performance del circuito de molienda.

Durante los días 12 y 16 de Septiembre del 2008, con periodos de cada 2 horas en ambos turnos de cada guardia se realizó un muestreo del circuito para determinar el balance de masa del circuito de molienda clasificación que se muestra a continuación. Ver Figura N°1.

2.1.2. Balance de masa del circuito de molienda clasificación

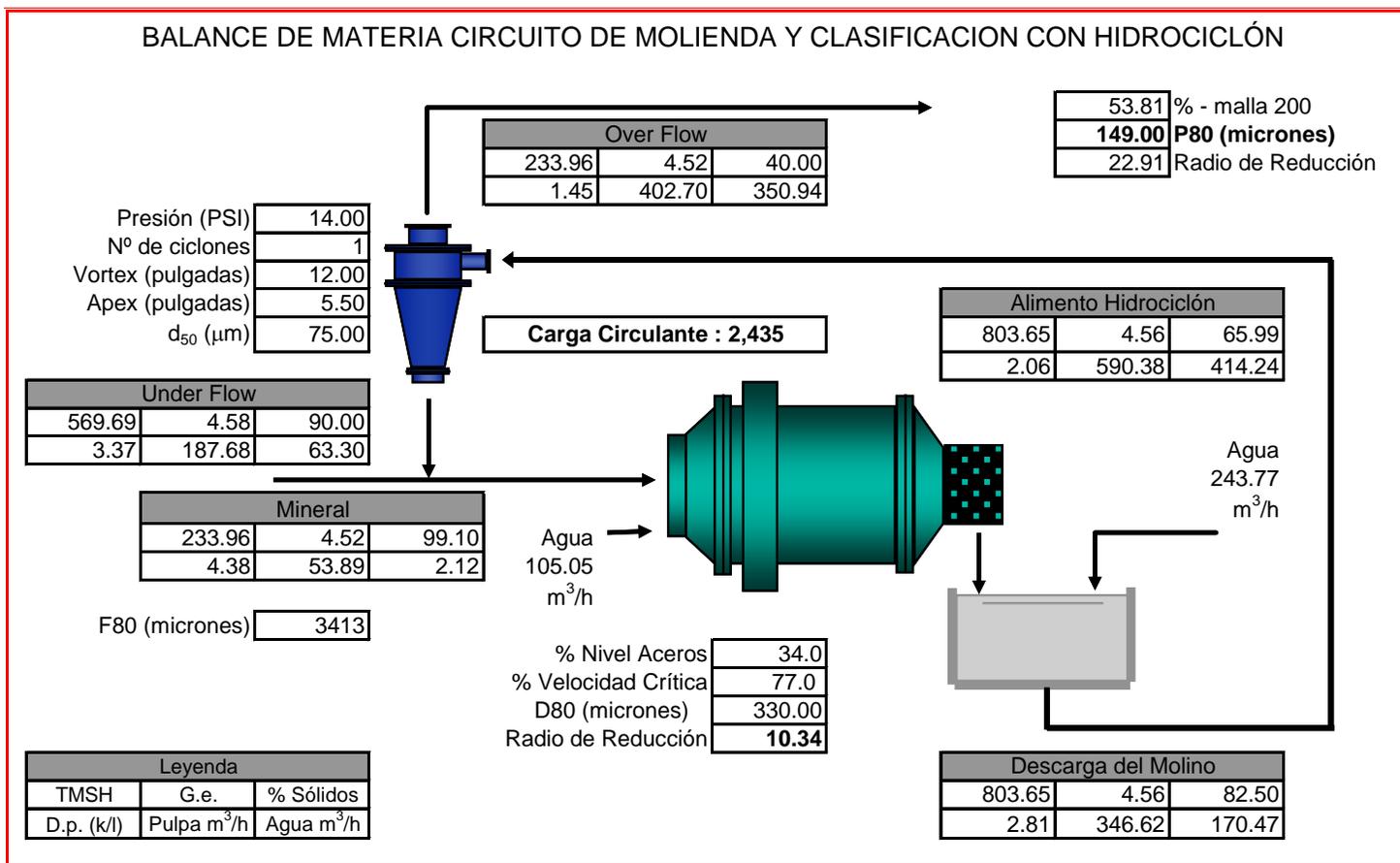


Figura N°1. Balance de masa del circuito de molienda clasificación con hidrociclón.

En el diagrama anterior se observa que la carga circulante producida es de 2.435, la cual está en el rango de operación de este tipo de circuitos.

La eficiencia de clasificación está en 58.5 que es una eficiencia aceptable.

La bomba que está a la descarga del molino es una bomba Warman 12'x10' de una potencia de 300 HP y amperaje nominal de 350 Amperios y trabaja cerca al límite de su capacidad eléctrica, la cual no abastecería para un mayor caudal de bombeo si se incrementase el tonelaje procesado en el molino.

Los resultados de molienda clasificación de este circuito están dentro de los rangos esperados, cumple con el producto final esperado produciendo un producto con un P_{80} de 149 micrones que son apropiados para la siguiente etapa, la de flotación selectiva.

La necesidad de incremento de tonelaje tratado es una prioridad es este circuito pero está limitado por la capacidad de la bomba mencionada y el propio molino debido a que el

alimento compuesto al molino es de 803.65 TMSH, siendo este un límite de capacidad de bombeo para la pulpa producida.

2.1.3. Observaciones y necesidades de ampliación

Cerro Lindo tiene la necesidad de incrementar el tratamiento de mineral procesado sin tener que recurrir a un nuevo molino para la molienda del mineral y nuevas bombas para el manejo de pulpas, por lo que se plantea la adquisición de Zarandas de Alta Frecuencia con el objetivo de reemplazar los hidrociclones y reducir la carga circulante al molino, de esta manera se compensaría el material al molino con el aumento de carga fresca y de esta manera incrementarse el tratamiento.

2.2. Pruebas de clasificación con Zarandas de Alta Frecuencia

2.2.1. Las ZARANDAS DE ALTA FRECUENCIA - ZAF

Las Zarandas de Alta Frecuencia (ZAF) son las zarandas con mallas de aberturas finas de clasificación en húmedo más eficiente y de mayor capacidad para partículas finas que se ha desarrollado.

Es un equipo que está formado por un máximo de cinco pisos distribuidos en forma escalonada uno sobre otro que funcionan en paralelo. El movimiento lo proporcionan dos motores de 2.5 HP de frecuencia máxima de 1800 RPM, dándole un

movimiento lineal uniforme de alta frecuencia en todo el ancho y largo de todos los pisos de la zaranda.

Las mallas que se instalan son de uretano y están diseñadas para proporcionar un área abierta de hasta 45%.

Las características de estos equipos se resumen en la tabla siguiente.

Tabla N°1, Características de las ZAF y Motor de las ZAF obtenidas de la placa de cada uno de estos equipos.

Característica	Descripción	Observaciones
Modelo ZAF	2SG48-60W-5STK	2SG: 2 motores tipo SG para la vibración. 48-60: 48" Ancho X 60" Largo del Frame. W: Para tamizaje en húmedo 5STK: 5 pisos Stack Sizer
Peso kg	4453	
Angulo de Inclinación °	22 ½ °	
Motor - Modelo	SG 30-18-440/480-6-000	
HP	2.5	
Amperaje Nominal	3.2	
RPM	1800	
Voltaje AC	440 - 480	
Cycle Hz	60	
Peso - libras	30	

El esquema de instalación para la operación se muestra en la siguiente figura.

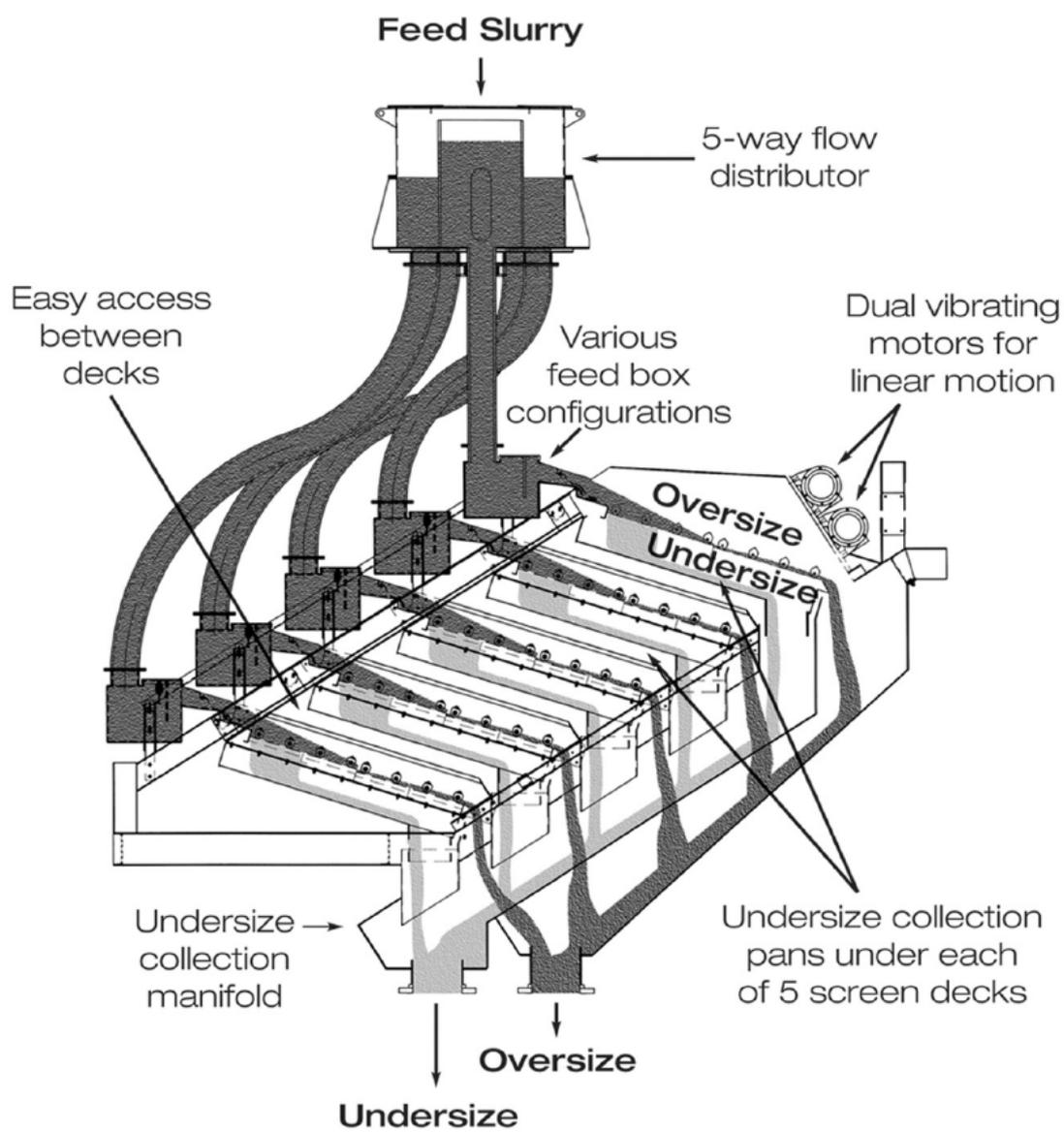


Figura N°2. Esquema de instalación y operación de un banco de Zarandas de Alta Frecuencia.

2.2.2. Pruebas semi industriales con ZAF.

Las pruebas semi industriales se llevaron a cabo en los meses de Abril y Mayo del 2008 en los laboratorios de *DERRICK CORPOTARION* con sede en USA. Se realizaron un total de 13 pruebas a 8 diferentes tamaños de aberturas de mallas y a 2 diferentes porcentajes de sólidos de alimentación a las zarandas.

Todas la pruebas fueron realizadas a 1800 RPM y el objetivo principal fue determinar el tamaño de malla (abertura en micrones) más apropiado que a una frecuencia de vibración de 1800 RPM nos proporcionen una granulometría en los finos de la zaranda con no menos de 58% - #200 y no más de 7% + #70.

Las pruebas determinaron que usando la malla de 230 micrones de abertura en un rango de 44% a 50% de sólidos en la alimentación se obtenía un producto fino que cumplía el objetivo y se obtenía además una eficiencia de clasificación entre 88% y 89%.

Tabla N°2, Resultado de pruebas semi industriales de clasificación con ZAF realizados en los laboratorios de DERRICK CORPORATION – USA

**Table 1. Screen Test Results with Derrick Stack Sizer™ Screen
Milpo . Lead/Zinc . 21-Apr-2008**

Test No.	Feed ¹				Oversize			Undersize				Efficiency ² at 212 µm		
	Slurry (m ³ /h)	Dry Solids (MTPH)	Solids (%)	Plus 212 µm (%)	Weight (%)	Solids (%)	Plus 212 µm (%)	Weight (%)	Solids (%)	Plus 212 µm (%)	Minus 75 µm (%)	Oversize (%)	Undersize (%)	Overall (%)
Tests with 230 micron urethane panels														
1	114	76.3	44.4	35.6	35.0	83.6	84.8	65.0	35.5	8.2	37.9	85.1	91.6	89.3
10	102	84.9	50.8	38.2	41.5	69.0	82.0	58.5	42.8	7.5	41.4	88.4	88.0	88.2
Tests with 300 micron urethane panels														
2	165	110.6	44.4	35.6	26.4	83.7	91.5	73.6	38.0	15.1	35.8	68.9	96.5	86.6
9	170	141.4	50.8	38.2	31.0	82.9	88.7	69.0	43.3	15.6	35.8	71.7	94.4	85.5
Tests with 350 micron urethane panels														
3	193	129.7	44.4	35.6	22.0	83.2	93.6	78.0	39.3	19.2	35.4	58.0	97.8	83.6
8	182	150.9	50.8	38.2	25.8	80.0	88.4	74.2	45.0	20.7	32.0	59.7	95.1	81.6
Tests with 390 micron urethane panels														
4	312	209.8	44.4	35.6	21.8	82.8	93.0	78.2	39.3	19.7	35.8	56.5	97.6	83.0
7	261	216.9	50.8	38.2	19.6	83.2	91.6	80.4	46.4	24.9	28.5	47.7	97.3	78.4
Tests with 430 micron urethane panels														
5	358	240.3	44.4	35.6	17.1	82.2	92.6	82.9	40.6	23.7	31.4	44.8	98.0	79.1
6	341	282.8	50.8	38.2	19.5	84.4	92.2	80.5	46.3	25.1	30.1	47.1	97.6	78.3

Notes:

- ¹ Feed to one (1) machine, Model No. 2SG48-60W-5STK at 22 1/2 °
- ² Correctly placed material (see attached "Calculation of Screening Efficiency")

JEWheeler
05-Sep-2008

Tabla N°3, Resultado de pruebas semi industriales de clasificación con ZAF realizados en los laboratorios de DERRICK CORPORATION – USA

**Table 2. Screen Test Results with Derrick Stack Sizer™ Screen
Milpo . Lead/Zinc . 21-May-2008**

Test No.	Feed ¹				Oversize			Undersize				Efficiency ² at 106 µm		
	Slurry (m ³ /h)	Dry Solids (MTPH)	Solids (%)	Plus 106 µm (%)	Weight (%)	Solids (%)	Plus 106 µm (%)	Weight (%)	Solids (%)	Plus 106 µm (%)	Minus 75 µm (%)	Oversize (%)	Undersize (%)	Overall (%)
Tests with 75 micron urethane panels														
12	28	23.4	50.6	74.4	82.7	80	90.2	17.3	18.4	6.4	79.3	98.4	68.8	90.8
Tests with 100 micron urethane panels														
13	51	42.2	50.6	74.4	75.2	74.2	91.7	24.8	25.8	21.9	60.1	92.7	75.7	88.4
Tests with 125 micron urethane panels														
11	57	46.9	50.6	74.4	63.2	81.7	95.6	36.8	30.6	37.1	47.4	82.0	88.9	83.8

Notes:

- ¹ Feed to one (1) machine, Model No. 2SG48-60W-5STK at 22 1/2 °
- ² Correctly placed material (see attached "Calculation of Screening Efficiency")

JEWheeler
05-Sep-2008

2.2.3. Pruebas industriales con ZAF

Luego de instaladas las cuatro Zarandas de Alta Frecuencia en la planta y puestas en operación en septiembre del 2008, se debió realizar una serie de pruebas para ratificar las pruebas semi industriales y determinar la malla de abertura correcta y los demás parámetros de operación que mejor resultado dieran en la operación.

En los meses siguientes se llevaron a cabo pruebas variando la densidad de alimentación a las ZAF, probando entre usar mallas de abertura de 180 micrones, 230 micrones y 300 micrones y variando el mineral fresco al molino. La frecuencia de vibración no se evaluó debido a que no se cuenta con variador de velocidad para estas ZAF y trabajan a 1800 RPM.

2.2.3.1. Pruebas con mallas de aberturas 0.30 mm

Tabla N°4, Resultado de pruebas industriales de clasificación con ZAF realizadas usando mallas de abertura 0.30 mm

Prueba No.	Densidad de pulpa en el alimento a ZAF (g/l)	Alimento fresco al molino (TMH/H)	Carga Circulante (%)	Eficiencia de Clasificación (%)	% -malla 200 (Undersize)
1	1500	265	15.60	62.20	41.98
2	1600	250	14.43	69.20	43.86
3	1480	242	18.00	71.30	48.85

El resultado de las pruebas con malla de aberturas de 0.30 mm realizadas el mes de setiembre del 2008 determinó que la granulometría del producto final es demasiado gruesa cuando se incrementa el tonelaje, a las mismas condiciones y a mayor tonelaje (prueba N°1) nos produce un porcentaje de $-m200$ que no supera el 42%, esto trajo como consecuencia arenamiento de celdas de flotación, dificultad para lograr una flotación selectiva y mantener las calidades de recuperación de valores y calidades de concentrados, fue descartada esta condición de operación.

2.2.3.2. Pruebas con mallas de aberturas 0.18 mm

Tabla N°5, Resultado de pruebas industriales de clasificación con ZAF realizados usando mallas de abertura 0.18 mm

Prueba No.	Densidad de pulpa en el alimento a ZAF (g/l)	Alimento fresco al molino (TMH/H)	Carga Circulante (%)	Eficiencia de Clasificación (%)	% -malla 200 (Undersize)
1	1750	284	124.60	73.25	57.91
2	1650	284	151.00	71.09	59.94

El resultado de las pruebas con malla de aberturas de 0.18 mm realizadas el mes de

octubre del 2008 determinó que la granulometría del producto final estaba dentro de los rangos esperados, se obtuvo porcentajes de malla -200 sobre los 57.9%, pero la carga circulante no era estable, el circuito se iba sobrecargando en el tiempo hasta el punto que tenía que cortarse la alimentación fresca al molino por espacios de tiempo periódicos, cada 30 minutos se cortaba 10 minutos, para descargar el circuito. Esta condición de operación se controló cuando se trabajaba por debajo del tonelaje fresco al molino que se tenía cuando se clasificaba con hidrociclón. Esta condición de operación también fue descartada porque no se cumplía con el objetivo de incremento de tratamiento.

2.2.3.3. Pruebas con mallas de aberturas 0.23 mm

Tabla N°6, Resultado de pruebas industriales de clasificación con ZAF realizadas usando mallas de abertura 0.23 mm

Prueba No.	Densidad de pulpa en el alimento a ZAF (g/l)	Alimento fresco al molino (TMH/H)	Carga Circulante (%)	Eficiencia de Clasificación (%)	% -malla 200 (Undersize)
1	1850	284	131.0	68.49	55.28
2	1900	280	137.1	78.10	51.40

Recién a partir del mes de noviembre del 2008 (debido a un problema logístico de abastecimiento de mallas de abertura 0.23 mm no se pudo realizar antes) se comenzó con las pruebas con mallas de aberturas de 0.23 mm, las cuales determinaron que la granulometría del producto final estaba dentro de los rangos esperados, la carga circulante era moderada y sostenida en el tiempo, es decir no se tenía la sobrecarga del circuito como ocurría con el uso de mallas de abertura 0.18mm. A partir del uso de mallas de abertura de 0.23mm se observó el incremento de tonelaje sostenido.

Durante el primer semestre del año 2009 se siguió optimizando la operación de las ZAF hasta consolidarse en Julio-2009 la máxima capacidad de tratamiento.

Las condiciones de operación más óptimas para mantener sostenido el incremento de tonelaje en el molino fue entonces de mantener las mallas con aberturas de 0.23 mm, mantener una densidad de alimentación a las ZAF entre 1850 g/l a 1900 g/l, trabajando a una frecuencia de vibración de 1800 RPM.

2.3. Circuito de molienda clasificación con Zarandas de Alta Frecuencia.

Durante los primeros meses de operación del año 2009 se siguió haciendo muestreos periódicos para determinar el balance de masa del circuito. El mes de Julio-2009 se consolidó el mayor tratamiento alcanzado solo debido al cambio en la clasificación con ZAF, se analiza a continuación el balance de masa obtenido del muestreo entre los días 15 y 17 de Julio-2009, muestreo realizado cada 2 horas en ambos turnos.

Se puede apreciar la inclusión de una CELDA UNITARIA Skim Air SK-240 que forma parte de una optimización metalúrgica y no tiene mucha influencia sobre el tonelaje procesado en el circuito.

En la figura se observa que la carga circulante generada se ha reducido a 1.371, muy por debajo a 2.435 generada cuando se usaba como clasificador el hidrociclón. La eficiencia de clasificación obtenida es de 78.0 que es una eficiencia muy buena considerando los 58.5 obtenida con hidrociclón.

Obsérvese que el alimento fresco al molino se ha incrementado de 233 TMSH (Mes de agosto del 2008) a 281 TMSH, 20% más del tonelaje que se procesaba en el circuito anterior de clasificación con

hidrociclón, y ahora la carga compuesta de alimento al molino es menor respecto al circuito anterior y por lo tanto la capacidad de la bomba Warman 12"x10" se ha visto mejorada por la reducción de volumen de pulpa a bombear.

Los resultados de molienda clasificación de este circuito están dentro de los rangos esperados, cumple con el producto final esperado produciendo un producto con un P_{80} de 168 micrones que siguen siendo apropiados para la siguiente etapa, la de flotación selectiva.

BALANCE DE MATERIA CIRCUITO DE MOLIENDA Y CLASIFICACION CON ZAF

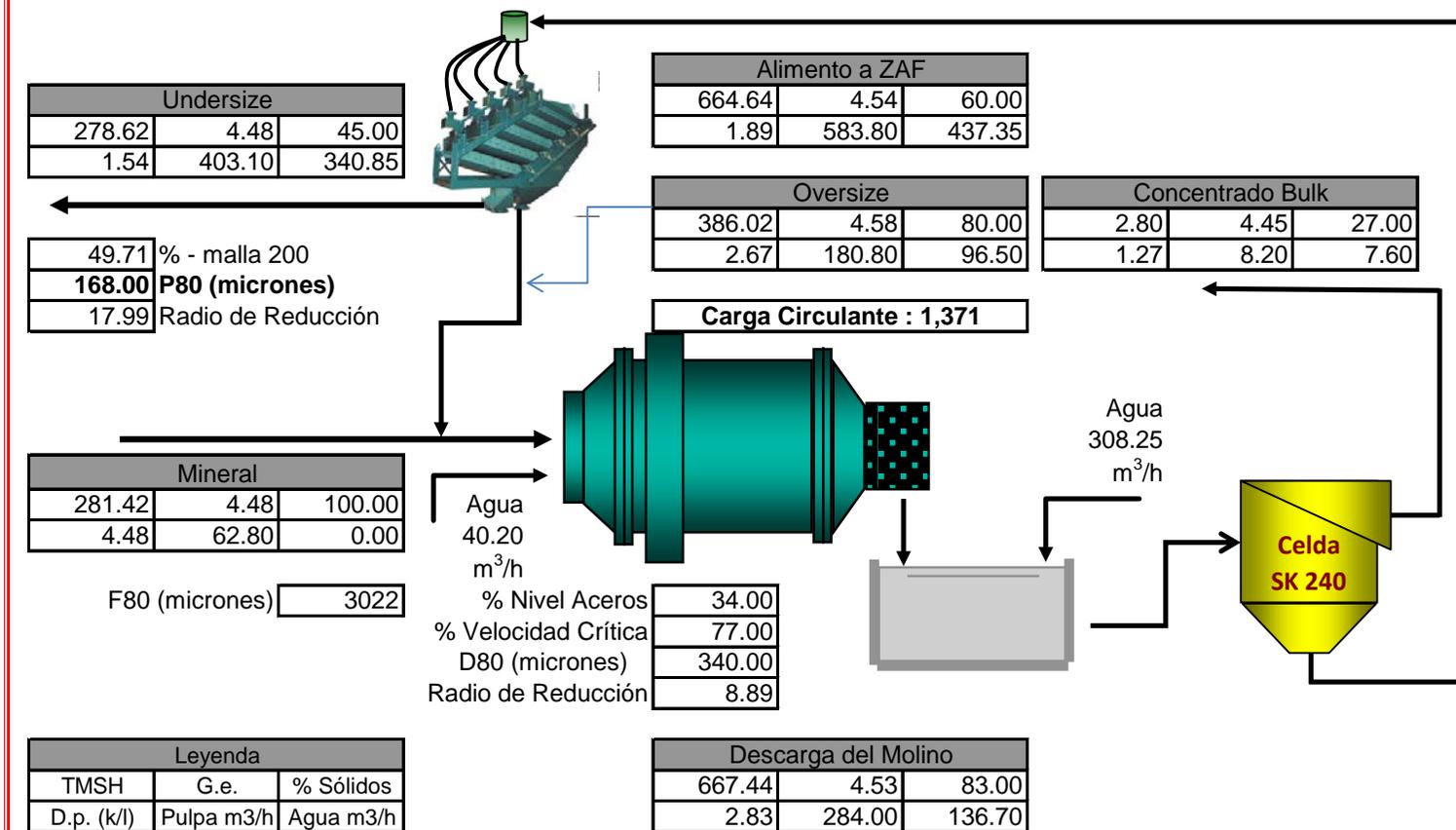


Figura N°3. Balance de masa del circuito de molienda clasificación con ZAF.

2.4.- Comparaciones técnicas entre los dos circuitos de clasificación

En la siguiente tabla se muestran una comparación entre los parámetros operacionales mas relevantes de ambos circuitos, así mismo cabe mencionar que otras variables en los circuitos siguientes no se han visto afectados por el incremento de tonelaje, más bien el uso de una adecuada clasificación de partículas ha influido en su optimización.

Tabla N°7, Comparaciones técnicas entre el circuito de molienda clasificación usando como clasificador un hidrociclón y ZAF

Término Técnico	Clasificación con Hidrociclón	Clasificación con ZAF
Carga Circulante	2.435	1.371
Eficiencia de Clasificación	58.5	78.0
Tratamiento TMSH	233	281
P₈₀ del circuito (micrones)	149	168
Alimento Compuesto al molino TMSH	803.65	667.44
Control Granulométrico	Variable	Estable

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y BENEFICIOS OBTENIDOS CON LA IMPLEMENTACIÓN DE ZAF EN EL CIRCUITO DE MOLIENDA – CLASIFICACIÓN.

La implementación de 4 unidades de Zarandas de Alta Frecuencia (Stack Sizer de Derrick) en el circuito de molienda clasificación, en reemplazo del Hidrociclón GMax D-26” ha permitido obtener los siguientes resultados:

- Incremento del tonelaje de tratamiento en la planta que ha subido sostenidamente desde 5615 TMSD (Ago-2008) a 6754 TMSD (Jul-2009), 1139 TMS más por día que representa un 20.28% más respecto al circuito de clasificación con hidrociclón. Ver tabla N°8.
- Reducción del consumo de energía, al haber reducido escalonadamente los Kwh/t. Obsérvese en la tabla N°8 la reducción sostenida desde Nov-2008.

- Reducción del costo de producción en la planta por efecto de procesar más mineral sin tener que gastar más en otros recursos e insumos como aceros, reactivos, recurso humano y materiales. Ver tabla N°8.

Tabla N°8, Comparación mensual de las TMSH procesadas, costo operacional mensual obtenido y energía consumida en la planta concentradora de los años 2008 y 2009.

	Año 2008			Año 2009		
	TMSH	Costo Operacional US\$/TMS	Energía Kwh-t	TMSH	Costo Operacional US\$/TMS	Energía Kwh-t
Enero	219.4	6.40	24.61	271.3	4.91	22.25
Febrero	214.5	6.25	23.6	273.2	4.90	22.46
Marzo	228.2	6.66	22.21	275.2	5.06	22.76
Abril	222.6	6.67	24.85	276.1	5.23	22.48
Mayo	226.1	6.36	24.43	274.6	4.81	22.53
Junio	229.3	6.60	25.65	276.8	5.23	22.31
Julio	230.3	6.45	25.20	280.0	5.05	22.44
Agosto	233.3	6.54	24.60	289.1	5.09	22.18
Setiembre	237.2	6.79	24.68	296.8	5.08	22.67
Octubre	240.4	6.10	24.59	293.4	4.98	23.19
Noviembre	262.1	5.84	23.18			
Diciembre	266.4	4.74	22.16			

- Se ha logrado mantener los grados de recuperaciones metálicas y calidades de concentrados finales.
- Mejora en la operación de los filtros de concentrados, debido a que el F_{80} de los tres concentrados subió ligeramente, esto ayudó a mejorar la separación sólido –líquido y se eliminó la ayuda filtrante que se usaba para su optimización.
- Incremento de la producción de toneladas de concentrados mensuales e incremento del margen económico por efecto de la

mayor producción de concentrados. El mes de Agosto-08 se toma como referencia para la comparación del incremento de producción de concentrados, Ver tabla N°9.

Tabla N°9, Margen económico generado por la producción de más toneladas de concentrados

	Conc.	TMS Adicionales	Valor del concentrado US\$/TMS ⁽¹⁾	US\$ Adicionales
Oct-08	Cu	26.4	850	22440.0
	Pb	7.7	1235	9509.5
	Zn	293.4	385	112959.0
Total Mes =				144908.5
Nov-08	Cu	107.2	850	91120.0
	Pb	30.9	1235	38161.5
	Zn	1190.2	385	458227.0
Total Mes =				587508.5
Dic-08	Cu	123.3	850	104805.0
	Pb	35.6	1235	43966.0
	Zn	1367.2	385	526372.0
Total Mes =				675143.0
Ene-09	Cu	147.5	850	125375.0
	Pb	40.8	1235	50388.0
	Zn	1570.3	385	604565.5
Total Mes =				780328.5
Feb-09	Cu	148.6	850	126310.0
	Pb	42.8	1235	52858.0
	Zn	1648.8	385	634788.0
Total Mes =				813956.0
Mar-09	Cu	156.05	850	132642.5
	Pb	45	1235	55575.0
	Zn	1731.4	385	666589.0
Total Mes =				854806.5
Abr-09	Cu	159.4	850	135490.0
	Pb	46	1235	56810.0
	Zn	1768.7	385	680949.5
Total Mes =				873249.5
May-09	Cu	153.8	850	130730.0
	Pb	44.36	1235	54784.6
	Zn	1706.7	385	657079.5
Total Mes =				842594.1
Jun-09	Cu	162	850	137700.0
	Pb	46.7	1235	57674.5
	Zn	1797.6	385	692076.0
Total Mes =				887450.5
Jul-09	Cu	173.9	850	147815.0
	Pb	50.159	1235	61946.4
	Zn	1929.8	385	742973.0
Total Mes =				952734.4

⁽¹⁾ Basado en precios promedio de metales entre enero y junio del 2009

- El único costo significativo en el que se ha incurrido hasta la fecha es en el cambio de paneles de uretano (mallas), los cuales duran 40 días en promedio.

Tabla N°10, Costo de mantenimiento de las ZAF (4 módulos Stack Sizer de 5 pisos c/u)

N° de Paneles totales (2 paneles por piso, 5 pisos cada módulo, 4 módulos Stack Sizer)	40
Costo de cada panel US\$	875
Costo Total de reemplazo de los paneles (mallas) US\$ cada 40 días	35,000
Costo Total mensual (30 días) de reemplazo de los paneles (mallas) US\$	26,250

- El costo de mantenimiento de las ZAF debido al cambio de mallas de uretano asciende a 26,250 US\$/Mes, el cual es una suma pequeña comparado al margen económico producido por efecto del incremento de la producción de concentrados mes a mes.
- El costo de cada módulo de 5 pisos de ZAF asciende a 120,000 US\$, el costo de instalación y puesta en operación del circuito asciende a 100,000 US\$, haciendo un total de 580,000 US\$, por lo tanto el retorno de la inversión fue en el segundo mes de operación debido a la mayor producción de concentrados.

CONCLUSIONES

- El cambio del sistema de clasificación con Hidrociclón a Zarandas de Alta Frecuencia en el circuito de molienda ha sido beneficioso porque ha permitido el incremento de tonelaje sin tener que hacer mayores cambios en el circuito.
- El incremento de tonelaje procesado es inmediato luego de la puesta en operación de las ZAF, el margen de incremento dependerá de las condiciones de operación y la optimización que se haga.
- El incremento de tonelaje procesado en la planta, no ha afectado las siguientes etapas del beneficio del mineral, al contrario se han visto beneficiadas como el caso de filtrado de los concentrados que mejoraron su eficiencia de filtrado debido al incremento de la granulometría.

- El tiempo de retorno de la inversión para la implementación de la clasificación con ZAF es en el segundo mes, a pesar que todavía no se había evaluado todas las variables de operación para obtener el máximo incremento de tonelaje procesado.

BIBLIOGRAFÍA

1. Erros G. Kelly y David J. Spottiwood, *“Introducción al Procesamiento de Minerales”* Editorial LIMUSA 1990
2. B.A. WILLS, BSc, PhD, Ceng. MIMM, *“Tecnología de Procesamiento de Minerales”* Editorial LIMUSA 1987
3. Iván Quiroz Núñez, *“Operaciones Unitarias en Procesamiento de Minerales”* Cusco, Setiembre 1986
4. Godofredo F Barrios, GOLDEX S.A. *“INCREASING THE CAPACITY OF THE GRINDING CIRCUITS”* - The Southern African Institute of Mining and Metallurgy The Fourth Southern African Conference on Base Metals. Pag. 733 a Pag. 444
5. LAÉRCIO ALBUQUERQUE, JOBE WHEELER, STEVEN VALINE, GODOFREDO BARRIOS and, BRENNO GANAHL, Latin America, Derrick Corporation, *“APPLICATION OF HIGH FREQUENCY SCREENS IN CLOSING GRINDING CIRCUITS”*, XXVIII Convención Minera Internacional, AIMMGM AC, Veracruz, Ver., 28 al 31 de octubre de 2009.
6. Laércio Albuquerque, Jobe Wheeler, Steven Valine And Brenno Ganahl , *Derrick Corporation, USA “APPLICATION OF HIGH FREQUENCY SCREENS IN CLOSING”*.
7. M. Delgado, G. Díaz, R. Chambi, *“Expansión de Producción de Condestable con Innovaciones Tecnológicas de Clasificación de Molienda”* (XXVIII Convención Minera Extemín 2007- Perú).
8. B. Aquino, J. Vizcarra, *“Reingeniería de Los Procesos Metalúrgicos en la Mina Colquijirca”*, (XXVIII Convención Minera Extemín 2007- Perú)
9. Derrick Corporation, *“Maintenance & Operating MANUAL STACK SIZER™”*. Document N° TOC00210 20-Mar-2006.
10. Derrick Corporation, *“Reporte técnico de resultado de pruebas con Zarandas de Alta Frecuencia para Cerro Lindo Milpo”*, 05-Septiembre del 2008.
11. Informes de Laboratorio Metalúrgico, meses de Julio-2008 a Julio-2009, Unidad Minera Cerro Lindo.

12. Informes Mensuales de Planta Concentradora, Año 2008 y Año 2009,
Unidad Minera Cerro Lindo.

.

.

ANEXOS

ANEXO 1.

Tablas y Diagramas de las pruebas semi industriales de clasificación con Zarandas de Alta Frecuencia realizados en los laboratorios de DERRICK CORPORATION con sede en USA.

DERRICK CORPORATION

590 Duke Road, P.O. Box 221, New York 14225, (716) 683-9010, FAX: (716) 683-4991

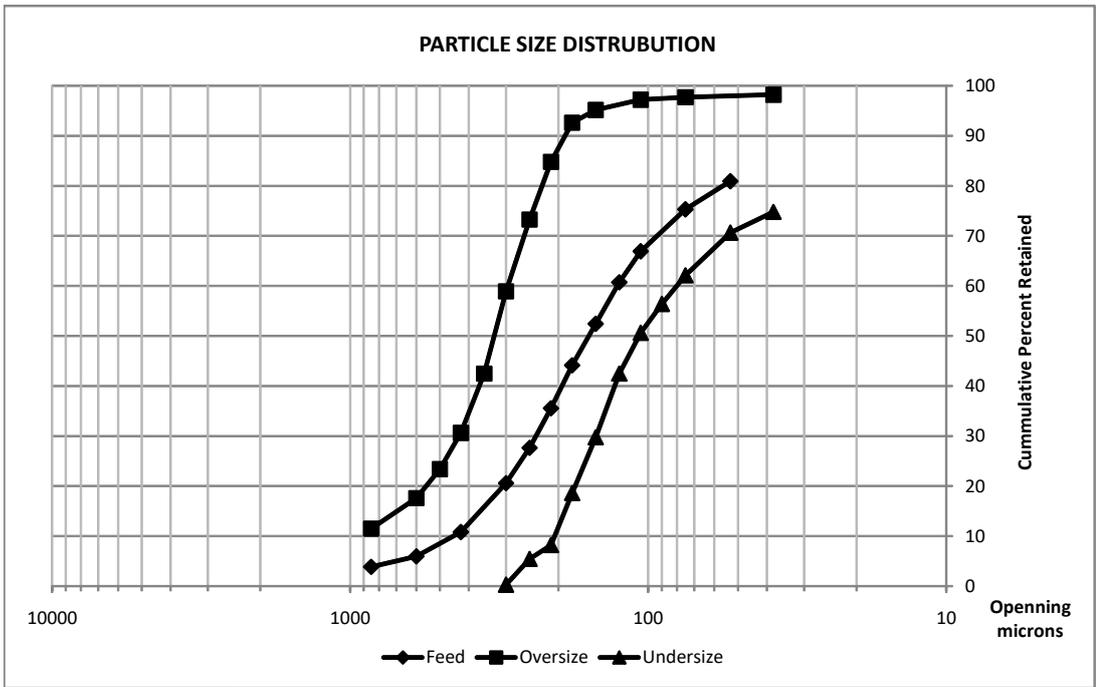
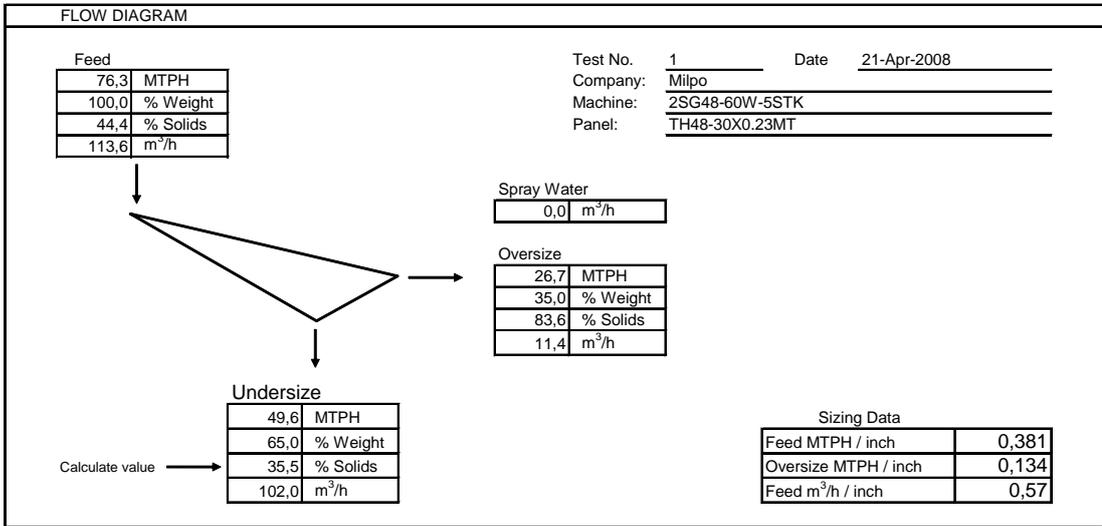
Wet Sizing Chart

Product	Lead/Zinc	Test No.	1	Date	21-Apr-2008
Dry Solids sp gr	4,40	Fluid type		File No.	07M 0815/SBV
Pulp %Solids (wt)	44,41	Pulp temp (F)		Company	Milpo
Pulp %Solids (vol)	15,37	Eccentric wt (in lb)			Cerro Lindo
Pulp sp gr	1,522	Motor speed (rpm)			
Pulp gpm/stph	5,945	Spray (USGPM)			
Screening machine	2SG48-60W-5STK				
Screen panel	TH48-30X0.23MT	Contact	Godofredo Barrios		
Test flow (gpm)	500	O'size % Solids	83,6	Phone	
Effective width (in)	200	Un'size % Solids	35,4	Email	
Objective	Replace hydrocyclones in the grinding circuit				
	58% -#200, 7% +#70				
Comments					

Microns	Opening			Cumulative Percent Retained			Weight Recovery		Efficiency		
	Inches	Tyler	U.S. No.	Feed	O'size	Un'size	O'size	Un'size	O'size	Un'size	Overall
12500	0.500		0.500								
11200	0.438	0.441	7/16								
9500	0.375	0.371	3/8								
8000	0.312	2 1/2	5/16								
6700	0.265	3	0.265								
5600	0.223	3 1/2	3 1/2								
4750	0.187	4	4								
4000	0.157	5	5								
3350	0.132	6	6								
2800	0.111	7	7								
2360	0.0937	8	8								
2000	0.0787	9	10								
1700	0.0661	10	12								
1400	0.0555	12	14								
1180	0.0469	14	16								
1000	0.0394	16	18								
850	0.0331	20	20	3,86	11,49						
710	0.0278	24	25								
600	0.0234	28	30	5,98	17,59						
500	0.0197	32	35		23,40						
425	0.0165	35	40	10,81	30,64						
355	0.0139	42	45		42,48						
300	0.0117	48	50	20,59	58,94	0,28	34,62	65,38	99,10	82,09	85,60
250	0.0098	60	60	27,66	73,26	5,46	35,59	64,41	94,28	86,85	88,90
212	0.0083	65	70	35,57	84,82	8,22	35,70	64,30	85,15	91,59	89,30
180	0.0070	80	80	44,14	92,62	18,60	34,50	65,50	72,40	95,44	85,27
150	0.0059	100	100	52,42	95,18	29,75	34,65	65,35	62,91	96,49	78,89
125	0.0049	115	120	60,75		42,49					
106	0.0041	150	140	66,91	97,23	50,61	34,95	65,05	50,79	97,08	66,11
90	0.0035	170	170			56,37					
75	0.0029	200	200	75,30	97,73	62,13	36,99	63,01	48,01	96,60	60,01
63	0.0025	250	230								
53	0.0021	270	270	80,92		70,63					
45	0.0017	325	325								
38	0.0015	400	400		98,23	74,79					
			Mean*				35,01	64,99			

*Mean weight recovery is calculated using data from 300 µm to 150 µm

Wet Sizing Chart



LP-5623-Pb-1

ANEXO 2.

Cuadro resumen de las unidades mineras en Perú que trabajan con Zarandas de Alta Frecuencia

PERU DERRICK STACK SIZER APPLICATIONS							
YEAR	COMPANY	LOCATION	MODEL	QUANT	PANEL mm	ORE TYPE	Position
2004	SOC. MIN. EL BROCAL	COLQUIJIRCA	2SG48-60W-5STK	3	0.5	Lead/Zinc	Grinding replace cyclones
2005	CÍA. MIN. ARES	EXPLORADOR	2SG48-60W-5STK	1	0.18	Gold/Silver	Grinding replace cyclones
2005	CÍA. MIN. ARES	ARES	2SG48-60W-4STK	1	0.18	Silver/Gold	Grinding Mix with cyclones
2006	SOC. MIN. EL BROCAL	COLQUIJIRCA	2SG48-60W-5STK	1	0.5	Copper	Grinding replace cyclones
2006	CONDESTABLE	CONDESTABLE	2SG48-60W-5STK	4	0.3	Copper	Grinding replace cyclones
2006	COLQUISIRI	COLQUISIRI	2SG48-60W-4STK	1	0.43	Lead/Zinc	Grinding replace cyclones
2006	CÍA. MIN. ARES	ARCATA	2SG48-60W-5STK	1	0.18	Silver	Grinding Mix with cyclones
2006	CATALINA HUANCA	C.HUANCA	2SG48-60W-5STK	1	0.3	Lead/zinc	Grinding replace cyclones
2006	MILPO	EL PORVENIR	2SG48-60W-5STK	1	0.3	Lead/zinc	Grinding replace cyclones
2006	MINERA CORONA		2SG48-60W-2STK	1	0.23	Copper/Zinc	Discharge Rod mill
2007	MILPO	EL PORVENIR	2SG48-60W-5STK	1	0.3	Lead/Zinc	Grinding replace cyclones
2007	SOC. MIN. EL BROCAL	COLQUIJIRCA	2SG48-60W-5STK	1	0.7 y 0.23	Lead/Zinc	Grinding replace cyclones
2007	LOS QUENUALES	ISCAYCRUZ	2SG48-60W-5STK	4	0.23, 0.3	Lead/Zinc	Grinding replace cyclones
2007	MILPO	CERRO LINDO	2SG48-60W-5STK	4	0.3 y 0.35	Lead/Zinc	Grinding replace cyclones
2008	LOS QUENUALES	YAULIYACU	2SG48-60W-5STK	3	0.23, 0.3	Lead/Zinc	Grinding replace cyclones
2008	MILPO	EL PORVENIR	2SG48-60W-5STK	1	0.3	Lead/Zinc	Grinding replace cyclones
2008	CÍA. MIN. ARES	EXPLORADOR	2SG48-60W-5STK	2	0.18	Silver/Gold	Grinding replace cyclones

NOMENCLATURA

O/F	:	Over Flow
U/F	:	Under Flow
g/l	:	gramos por litro
ϕ	:	diámetro
HP	:	Horse Power (caballos de fuerza)
RPM	:	revoluciones por minuto
m.s.n.m.	:	metros sobre el nivel del mar
UTM	:	Universal Transverse Mercator
TM	:	Tonelada métrica
Oz	:	Onza
OK	:	Outokumpu
Ag	:	Plata
Cu	:	Cobre
Pb	:	Plomo
Zn	:	Zinc
ZAF	:	Zaranda de Alta Frecuencia
μ	:	10^{-6}
μm	:	10^{-6} metros
m	:	Metro
m^2	:	Metro cuadrado
m^3	:	Metro cúbico
TMSH	:	Tonelada métrica seca por hora
TMSD	:	Tonelada métrica seca por día
TMH/H	:	Tonelada métrica húmeda por hora
D.p.	:	Densidad de pulpa
m^3/h	:	Metro cúbico por hora
G.e.	:	Gravedad específica
%	:	Porcentaje

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2

Figura N°1	Balance de masa del circuito de molienda clasificación con hidrociclón	20
Figura N°2	Esquema de instalación y operación de un banco de Zarandas de Alta Frecuencia	24
Figura N°3	Balance de masa del circuito de molienda clasificación con ZAF	34

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 2

Tabla N°1	Características de las ZAF y Motor de las ZAF obtenidas de la placa de cada uno de los equipos.	23
Tabla N°2	Resultado de pruebas semi industriales de clasificación con ZAF realizados en los laboratorios de <i>DERRICK CORPORATION – USA</i>	26
Tabla N°3	Resultado de pruebas semi industriales de clasificación con ZAF realizados en los laboratorios de <i>DERRICK CORPORATION - USA</i>	27
Tabla N°4	Resultado de pruebas industriales con ZAF realizados usando mallas de abertura 0.30 mm	28
Tabla N°5	Resultado de pruebas industriales con ZAF realizados usando mallas de abertura 0.18 mm	29
Tabla N°6	Resultado de pruebas industriales con ZAF realizados usando mallas de abertura 0.23 mm	30
Tabla N°7	Comparaciones técnicas entre el circuito de molienda clasificación, usando como clasificador un hidrociclón y ZAF	35

Capítulo 3

Tabla N°8	Comparación mensual de las TMSH procesadas, costo operacional mensual obtenido y energía consumida en la planta concentradora de los años 2008 y 2009	37
Tabla N°9	Margen económico generado por la producción de más toneladas de concentrados	38
Tabla N°10	Costo de mantenimiento de las ZAF (4 módulos Stack Sizer de 5 pisos c/u).	39