

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica




TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**Optimización del circuito de conminución y clasificación de una
planta concentradora polimetálica Cu, Pb, Zn del centro del Perú
mediante software JKSimMet**

Para obtener el título profesional de Ingeniero Metalurgista


Elaborado por

Samuel Alfonso Huapalla Jimenez

 0009-0001-4295-4596

Asesor

Ing. Edgar Fortunato Segura Tumialan

 0009-0001-9462-5604

LIMA – PERÚ

2023

Citar/How to cite	Huapalla Jimenez [1]
Referencia/Reference	[1] S. Huapalla Jimenez, " <i>Optimización del circuito de conminución y clasificación de una planta concentradora polimetálica Cu, Pb, Zn del centro del Perú mediante software JKSimMet</i> " [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2023.
Estilo/Style: IEEE 2020)	

Citar/How to cite	(Huapalla, 2023)
Referencia/Reference	Huapalla, S. (2023). <i>Optimización del circuito de conminución y clasificación de una planta concentradora polimetálica Cu, Pb, Zn del centro del Perú mediante software JKSimMet</i> . [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A mis Padres por sus grandes enseñanzas

brindadas hacia mi persona.

A DIOS todopoderoso por brindarme

bendiciones en mi vida diaria.

Resumen

En la actualidad la minería polimetálica del Perú, tiene el desafío de incrementar el procesamiento de mineral con el máximo ahorro de sus recursos. El objetivo de este trabajo es optimizar el circuito de conminución y clasificación y para lograrlo se recolecto datos históricos, se realizó un muestreo general del circuito para así poder generar balances. Cabe resaltar que durante el año 2018 la media de procesamiento de mineral fue de 6197 toneladas métricas al día (TMD) muy por debajo de lo planeado por la gerencia 6500 TMD. Se simulan escenarios según corto plazo y de baja inversión, cambio de equipos, cierre de malla de voladura, alteraciones de condiciones de operación, dirección de flujo y combinados para mayor performance. Para los escenarios simulados la reducción de los Setting de las chancadoras secundarias y terciarias a 16mm y 10mm respectivamente, cerrar las aberturas de los paneles de los decks superiores de las zarandas secundarias para malla 20x20 mm, cambiar la chancadora terciaria N° 2 CH 440 por una CH 660 posibilitan ganancia de capacidad, la dilución de alimentación a las zarandas de alta frecuencia para 53% de solidos aumentan 12 t/h en la línea 2 de molienda, un % de solidos de 74.5% en la descarga de los molinos da un aumento de 6 t/h en la línea 1 y 10 t/h en la línea 2 de molienda, cambiar el régimen de reposición de bolas para molinos primarios 40% bolas de 3" y 60 % bolas de 2.5" y para los molinos secundarios 40% bolas de 2" y 60% bolas de 2.5".

Palabras claves — Circuito de conminución, planta concentradora, modelación, simulación. Optimización.

Abstract

At present, polymetallic mining in Perú has the challenge of increasing the processing of ore with the maximum saving of its resources. The objective of this work is to optimize the comminution and classification circuit and to achieve this, historical data was collected, a general sampling of the circuit was performed in order to generate balances. It should be noted that during the year 2018 the average mineral processing was 6197 TMD well below the planned one, which is 6500 TMD specified by management. Scenarios are simulated according to short term and low investment, change of equipment, closure of blasting mesh, alterations of operating conditions, flow direction and combined for greater performance. For the simulated scenarios, the reduction of the Setting of the secondary and tertiary crushers to 16mm and 10mm respectively, close the openings of the panels of the upper decks of the secondary screens for 20x20 mm mesh, replace the tertiary crusher No. 2 CH 440 by a CH 660 enables capacity gain, the dilution of feed to the high frequency screens for 53% of solids increases 12 t / h in the milling line 2, a% of solids of 74.5% in the discharge of the mills gives a increase of 6 t / h on line 1 and 10 t / h on line 2 of grinding, change the ball replacement rate for primary mills 40% balls 3" and 60% balls 2.5" and for secondary mills 40% balls 2" and 60% balls 2.5".

Keywords — Comminution circuit, concentrator plant, modeling, simulation, optimization

Tabla de contenido

	Pág.
Resumen	iv
Abstract	v
Introducción	xi
Capitulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Descripción del problema	1
1.3 Justificación	2
1.4 Objetivos	2
1.4.1 Objetivo general	2
1.4.2 Objetivos específicos.....	2
1.5 Hipótesis	2
1.5.1 Hipótesis general.....	2
1.5.2 Hipótesis específicas	3
Capitulo II. Marcos teórico y conceptual.....	4
2.1 Antecedentes referenciales.....	4
2.2. Descripción de la planta concentradora.....	5
2.2.1 Planta de chancado	5
2.3 Bases teóricas.....	12
2.3.1 Conminución.....	12
2.3.2 Etapa de chancado.....	15
2.3.3 Etapa de molienda.....	17
2.3.4 Clasificación	21
2.3.5 Hidrociclones	22
2.3.6 Zarandas de alta frecuencia Stack Sizer.....	22
2.3.7 Modelación y Simulación	24
2.3.8 JKSimMet: Descripción general del software	25

2.3.9	Modelos utilizados por el software JKSimMet	26
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación.....		29
3.1	Colecta de datos	29
3.1.1.	Muestreo circuito de chancado	29
3.1.2	Muestreo circuito de molienda	31
3.1.3	Simulación JK SINMET	34
Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados		40
4.1	Resultados	40
4.1.1	Escenarios simulados chancado.....	40
4.1.2	Escenarios simulados molienda.....	49
4.2	Consideraciones económicas.....	61
4.2.1	Paneles de Zarandas.....	61
4.2.2	Chancadora Sandvik CH660	61
4.2.3	Costo de inversión	63
4.2.4	Análisis costo beneficio	63
Conclusiones		67
Recomendaciones		68
Referencias bibliográficas		69
Anexos		1

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Dimensiones y Condiciones operacionales de las Chancadoras.....	34
Tabla 2: Dimensiones y Condiciones operacionales de las Zarandas del Circuito	35
Tabla 3: Dimensiones y Condiciones operacionales de los Molinos de la Línea 1	35
Tabla 4: Dimensiones y Condiciones operacionales de las ZAFs de la Línea 1	35
Tabla 5: Dimensiones y Condiciones operacionales de los Molinos de la Línea 2	36
Tabla 6: Dimensiones y Condiciones operacionales de las ZAFs de la Línea 2.....	36
Tabla 7: Análisis Granulométrico de Circuito de Chancado.....	37
Tabla 8: Análisis Granulométrico de Circuito Línea 1 de Molienda.....	38
Tabla 9: Análisis Granulométrico de Circuito Línea 2 de Molienda.....	39
Tabla 10: Escenarios Simulados de la Alternativa A - Chancado.....	41
Tabla 11: Escenarios simulados de la alternativa B - Chancado.....	43
Tabla 12: Escenarios Simulados de la alternativa C - Chancado	45
Tabla 13: Distribución Granulométrica Simulaciones alternativa D - Chancado	46
Tabla 14: Escenarios Simulados de la alternativa D – Chancado	48
Tabla 15: Escenarios Simulados para Molienda	50
Tabla 16: Escenarios Simulados de la alternativa A - Molienda	52
Tabla 17: Escenarios Simulados de la alternativa B - Molienda	54
Tabla 18: Escenarios Simulados de la alternativa C - Molienda.....	56
Tabla 19: Escenarios Simulados de la alternativa D - Molienda.....	58
Tabla 20: Costo de Mantenimiento de Paneles en las Zarandas	61
Tabla 21: Precio de Chancadora Sandvick CH660	61
Tabla 22: Cronograma de Pagos de la Chancadora CH660	62
Tabla 23: Costos de Operación	62
Tabla 24: Costos de Mantenimiento.....	62
Tabla 25: Comparación de TMS mensuales en el año 2018.....	63
Tabla 26: Balance metalúrgico Anual sin modificación.....	64

Tabla 27: Balance metalúrgico Anual con modificación	64
Tabla 28: Precios de Concentrados Año 2018	64
Tabla 29: Ingresos por Alternativa A y B.....	65
Tabla 30: Flujo de Caja de la Inversión.....	66
Tabla 31: Van y TIR.....	66

Lista de Figuras

	Pg.
Figura 1: Circuito de chancado primario.....	6
Figura 2: Circuito de Chancado Secundario y Terciario	8
Figura 3: Circuito de Molienda y Clasificación.....	11
Figura 4: Mecanismo de Fractura	13
Figura 5: Chancadora de Mandíbula.....	16
Figura 6: Chancadora cónica	17
Figura 7: Partes de un Molino	19
Figura 8: Molino de Bolas	20
Figura 9: Componentes Principales de la Zaranda de Alta Frecuencia	24
Figura 10: Diagrama de Ejemplo de un Modelo	25
Figura 11: Relación entre t_n y t_{10}	27
Figura 12: Flujograma del Proceso y puntos de Muestreo del Circuito de Chancado.....	31
Figura 13: Flujograma del Proceso y puntos de Muestreo de la Línea 1 de Molienda.....	32
Figura 14: Flujograma del Proceso y puntos de Muestreo de la Línea 2 de Molienda.....	34
Figura 15: Flujograma del Proceso Simulado de la alternativa B	42
Figura 16: Flujograma del Proceso Simulado de la alternativa C	44
Figura 17: Distribución Granulométrica de las Simulaciones alternativa D – Chancado..	47
Figura 18: Flujo de Sólidos vs Simulaciones Molienda.....	60

Introducción

El trabajo que se desarrolla a continuación, busca optimizar el circuito de conminución y clasificación a través del software JKSimMet, para ello es necesario analizar y evaluar el desempeño del circuito de una planta concentradora polimetálica Cu, Pb, Zn.

La planta concentradora inició con una capacidad de procesamiento de 1800 TMD y a lo largo de los años sufrió progresivas instalaciones, repotenciaciones y optimizaciones de equipos para alcanzar la planificación de procesamiento de 6500 TMD.

Actualmente se procesa 6197 TMD y través de las simulaciones de diferentes escenarios en el circuito partiendo de un caso base, que nos indicara las condiciones de operación actuales, se proponen modificaciones para alcanzar la demanda de aumento de tratamiento.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

La capacidad de procesamiento original de una planta concentradora polimetálica Zn, Pb, Cu del centro del Perú fue de 1800 TMD. Pero con progresivas instalaciones de algunos equipos, repotenciación y optimizaciones en las operaciones de trituración, molienda, flotación, espesamiento y filtrado han permitido llegar a una capacidad máxima de 6500 TMD.

Para un tratamiento de 6500 TMD, el circuito de conminución de la planta concentradora cuenta con las operaciones de trituración (primario, secundario y terciario), molienda (primaria, secundaria, remolienda bulk y remolienda zinc) y clasificación (zaranda primaria, secundaria y zarandas vibratorias de alta frecuencia). Sin embargo no se cumple con la planificación anual de procesamiento de 6500 TMD promedio y solo se alcanza 6197 TMD.

1.2 Descripción del problema

El circuito de conminución es la primera etapa para la liberación de los elementos valiosos del material estéril de la planta concentradora. Es un área en el cual se consumen una cantidad significativa de energía que llega a ser más del 50% del costo operativo de muchas plantas concentradoras; de las que predominan el consumo de energía y aceros.

La primera etapa del proceso productivo de la planta concentradora para la obtención de concentrado es la de conminución, siendo fundamental esta etapa para alcanzar los objetivos trazados por la empresa.

El circuito de conminución de una planta concentradora polimetálica Zn, Pb, Cu del centro del Perú trabaja actualmente en condiciones bastantes exigentes ya que se subió el tiempo de trituración diario en una hora, sacrificando tiempo de mantenimiento de los equipos y periodo de descanso personal.

El mineral derivado de la explotación subterránea, debe ser reducido de tamaño de grandes trozos de roca de más de 20" a 95% menos malla 3/8 en la etapa de trituración.

12% más malla N°70 y 52% menos malla N°200 en la etapa de molienda. Estas condiciones de operación hacen que no se cumpla con la capacidad máxima de tratamiento de 6500 TMD.

Ante ello se formula la siguiente pregunta ¿Cómo optimizar el circuito de conminución y clasificación para mejorar el desempeño e incrementar la capacidad de la planta concentradora?

1.3 Justificación

El presente trabajo se justifica por la necesidad de analizar y evaluar el desempeño del circuito de conminución y clasificación y por la importancia de atender la capacidad de producción estipulada.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Optimizar el circuito de conminución y clasificación de una planta concentradora polimetálica Cu, Pb, Zn del centro del Perú mediante software JKSimMet.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar las condiciones de operación del proceso de trituración, molienda y clasificación.
- Caracterizar los diferentes flujos de operación actual.
- Realizar un balance de masa y energía actual del proceso de trituración, molienda y clasificación mediante software JKSimMet.
- Simular mediante JKSimMet diferentes escenarios para el proceso de trituración, molienda y clasificación.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

Mediante software JKSimMet podemos variar los parámetros de operación del proceso de trituración, molienda y clasificación tales como setting de las chancadoras, aberturas o cierre de paneles de las zarandas, cambio de equipamientos, porcentaje de

sólidos y obtener condiciones de operación para optimizar el circuito de conminución y clasificación de una planta concentradora polimetálica Zn, Pb, Cu del centro del Perú.

1.5.2 Hipótesis específicas

Una colecta de datos tales como producción, datos de equipamientos nos permitirá determinar las condiciones de operación del proceso de trituración molienda y clasificación.

Un muestreo del proceso de trituración, molienda y clasificación servirán para caracterizar los flujos de operación actual.

La caracterización de los flujos de operación actual del proceso de trituración, molienda y clasificación permitirá obtener datos de distribución granulométrica, tonelaje y equipos para realizar un balance de masa y energía mediante software JKSimMet.

Mediante software JKSimMet y los parámetros de operación actual de proceso de trituración, molienda y clasificación tales como distribución granulométrica de los flujos, tonelaje, datos y dimensiones de equipamiento se consigue simular diferentes escenarios del circuito partiendo de un caso base.

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1 Antecedentes referenciales

La planta concentradora polimetálica Zn, Pb, Cu del centro del Perú se encuentra ubicado en el flanco occidental de la cordillera central de los andes dentro de las cadenas montañosas que forman el nudo de Pasco.

Los tipos de minerales que se explotan son básicamente la esfalerita del tipo 1 y 2, galena y la calcopirita, con presencia de pirita, pirrotitas y limonitas. Como ganga tenemos silicatos principalmente el cuarzo, presencia de arcillas, muscovita, illita y otras arcillas de Ca.

Se realiza una operación de concentración de minerales por flotación selectiva, el cual permite obtener tres tipos de concentrados valiosos: zinc, plomo y cobre. Adicionalmente, se obtiene también un producto no valioso llamado relave, del cual un 40% va a la mina como relleno hidráulico y el 60% va a la presa de relave.

Entre los factores más resaltantes que contribuyeron al incremento de tonelaje y mejora de la granulometría de la etapa de trituración tenemos: La ampliación a 5600 TMD, entro en operación en enero del 2013 con la puesta en operación de una zaranda primaria Metso 8'X20' que remplazo a la zaranda 6'x16' y un chancadora secundaria Sandvik CH600, que reemplazo a la chancadora secundaria Symons 4 ¼, con lo cual se logró bajar la carga circulante del chancado por un chancado secundario más fino dando más eficiencia al chancado terciario, el cual permitió aumentar la inclinación de los dos vibratorios para dar más carga a la chancadora terciaria N°2 Sandvik CH660 permitiendo que la chancadora trabaje con una taza de alimentación semi llena a llena generando mayor eficiencia en la generación de finos.

La reducción de las aberturas de las mallas de las zarandas primarias y secundarias a un corte de 10 mm generó granulometría más fina en las tolvas de finos con lo cual se ayudó grandemente al incremento de tonelaje de la molienda de los molinos primarios. La reducción del consumo de agua en las fajas N°4 y 6, los cuales tupian las mallas de las

zarandas secundarias bajando las eficiencias de clasificación, actualmente el consumo es mínimo, por lo que también hay mayor generación de polvo.

La mejora en la operación de la chancadora secundaria Sandvik CH 660 por la mayor familiaridad con el ASRI (sistema inteligente de control de chancadoras), permite mayor avance, anteriormente no se bajaba el setting de la chancadora de 19mm. Por temor a generación de problemas mecánicos, actualmente se controla más el set de acuerdo con la presión 5.5 MPa (3.5-5.5) y 300Kw (140-200).

2.2. Descripción de la planta concentradora

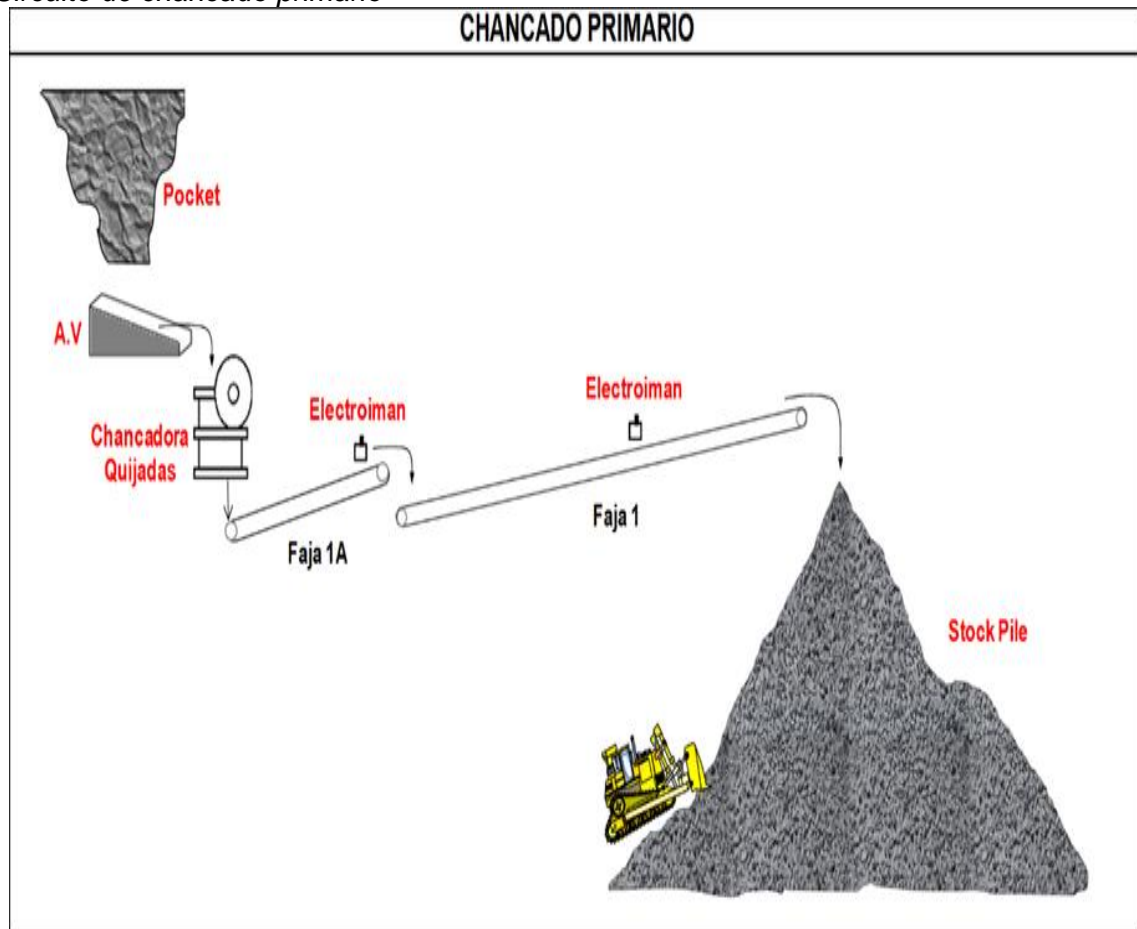
2.2.1 Planta de chancado y molienda

2.2.1.1 Chancado primario. Este proceso se efectúa dentro de la mina subterránea. Se tiene un alimentador de vaivén que descarga a la chancadora de mandíbula Hewitt Robins de 30"x 42" obteniendo un producto triturado con un tamaño aproximado de 4 1/4", este material triturado llega a la faja N°1A, para luego pasar a la faja N°1, para descargar en el stock pile de mineral de gruesos, de 30,000 toneladas de capacidad.

La repotenciación del motor de la faja N°1, ayudo a incrementar el tonelaje de esta operación, con el motor de 75 HP anterior había bastante limitación por la sobrecarga de la faja, pero para el tratamiento actual ya existe limitación. Con el control más estricto de la abertura del set en un promedio de 3" a 4" se logró mejorar la granulometría lo que permite mayor avance en las operaciones de la chancado secundario y terciario, cuando la granulometría es gruesa dificulta al chancado secundario y terciario.

Figura 1

Circuito de chancado primario



Nota: Fuente: Elaboración propia (diagrama del circuito de chancado primario).

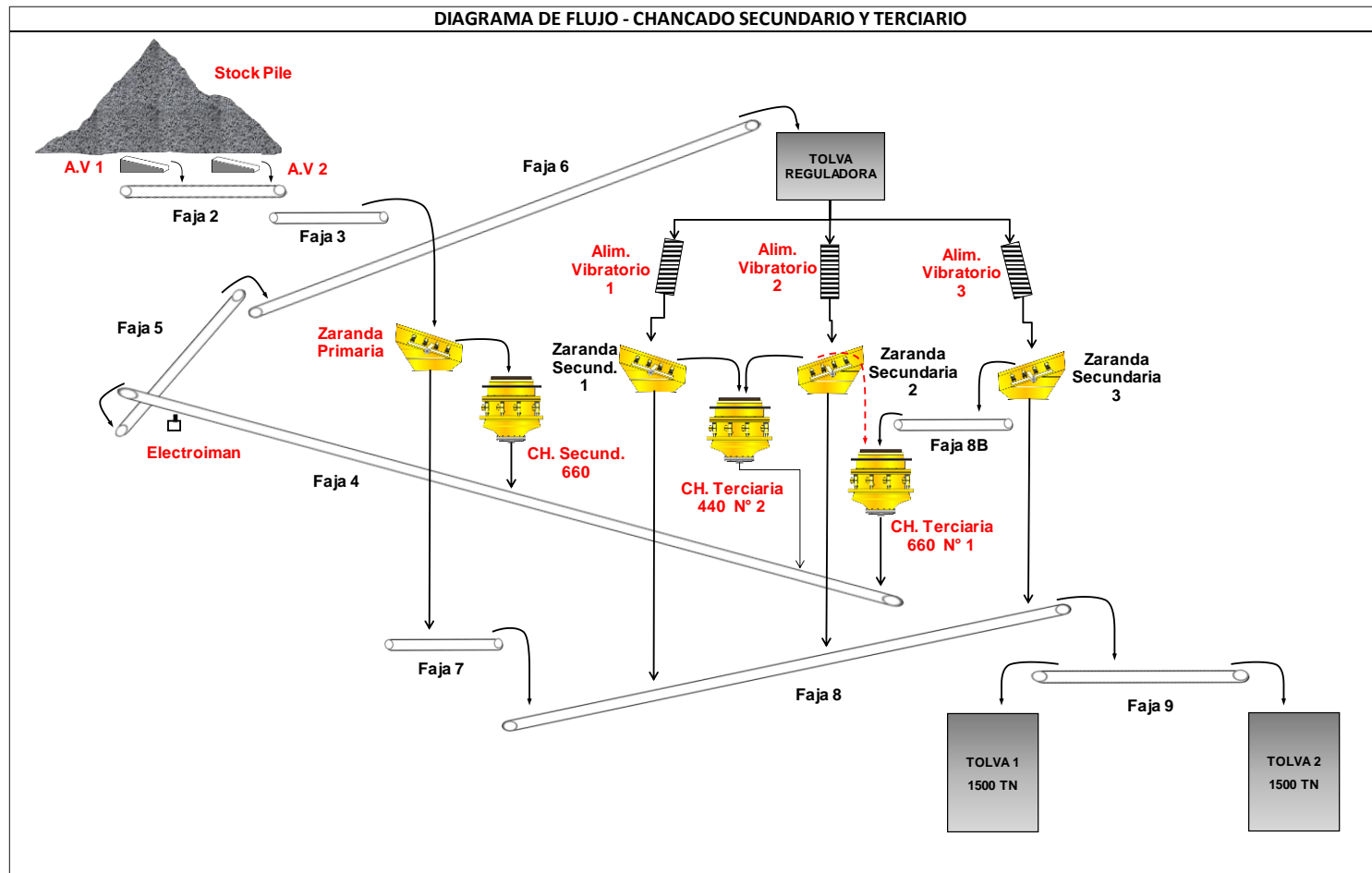
2.2.1.2 Chancado secundario. Se inicia con la alimentación de dos alimentadores vaivén N°1 y N°2 debajo del stock pile de mineral de gruesos. Los alimentadores N°1 y N°2 alimentan a la faja N°2, esta faja alimenta a la faja N°3 y ésta alimenta al chute de alimentación a la zaranda primaria de doble deck Metso de 8'x20', el oversize de los dos pisos superiores alimentan a la chancadora secundaria Sandvik CH 660 y el undersize del piso inferior cae a la faja N°7 para transportarse a través de la faja N°8 y N°9 a las tolvas de finos que abastecen a los molinos primarios, el piso inferior de la zaranda Metso es de 10mm.

2.2.1.3 Chancado Terciario. El producto del chancado secundario con tamaño máximo de 30mm es transportado a través de las fajas N° 4,5 y 6 a una tolva reguladora que alimenta a tres zarandas secundarias; 2 Allis Chalmers de 6´x16´ y una zaranda Metso 4x2.5 m, el oversize de las tres zarandas alimentan a la chancadora terciaria N°1 Sandvik CH660 y a la N°2 Sandvik CH440, la descarga de las chancadoras terciarias va a la faja N° 4 ,5 y 6 y sigue el mismo recorrido de la descarga de la chancadora secundaria hasta llegar a las tolvas reguladoras de paso generando un circuito cerrado , en la polea de cabeza de la faja N°4 se encuentra un electroimán para captar los inchancables (fierros, etc.), el piso inferior de las zarandas secundarias N°1, N°2 y N°3 tienen una abertura de 9x18mm, 10mm y 10x15mm respectivamente, el undersize o finos de las zarandas secundarias con un corte de 10mm caen a la faja N°8 para ser transportados a través de las fajas N°9 hacia las tolvas de finos.

El producto del chancado se distribuye a las dos tolvas de finos de capacidad de 1500 TM cada uno, los cuales alimentan a los molinos primarios Kopper N°1 y 2.

Figura 2

Circuito de chancado secundario y terciario



Nota: Fuente: Elaboración de propia

2.2.1.4 Molienda primaria. Está conformado básicamente por dos molinos de bolas primarios iguales N°1 y N°2 Kopper de 9.5'x12'. Cada molino primario trabaja en circuito cerrado con molienda secundaria.

El molino primario N°1 trabaja con tres molinos secundarios, el molino secundario N°1 es un Hardinge de 8'x4', el molino secundario N°2 es un Hardinge 8'x4' y el molino secundario N°3 es un Comesa 6'x7', la descarga del molino primario 1 va a dos celdas unitarias Sub A 1500, esta celda separa en sus espumas concentrado de Plomo y su relave va a clasificación en tres zarandas de alta frecuencia Derrick, el undersize de estas zarandas van a la flotación y el oversize es alimentado a los molinos secundarios en forma proporcional, la descarga de los molinos secundarios N° 1,2 y 3 van a clasificación a las zarandas de alta frecuencia Derrick, cerrando el circuito.

El molino primario N°2 trabaja con dos molinos secundarios uno es el molino secundario N°4 un Comesa 8'x10' y el molino secundario N°5 es un Hardinge de 8'x5', la descarga del molino primario N° 2 va a dos celdas unitarias Sub A 1500, esta celda separa en sus espumas concentrado de Plomo y su relave va a clasificación a cuatro zarandas de alta frecuencia Derrick, el undersize de esta zaranda va al circuito de flotación, el oversize de las zarandas van al molino secundario N°4 y 5, la descarga del molino secundario N°4 va a una celda SK-240, esta celda separa en sus espumas concentrado de Plomo y su relave va a clasificación a las cuatro zarandas de alta frecuencia Derrick.

2.2.1.5 Molienda Secundaria. La entrada en operación del molino secundario N° 4 y 5 y optimizaciones del circuito de molienda permitieron el incremento de tonelaje de 5600 TMD a 6500 TMD.

En noviembre del 2013 entro en operación estos molinos secundarios con dos zarandas de alta frecuencia Derrick para procesar 103 TMS/hora, pero por incremento de tonelaje en el circuito a 140 TMS/hora quedo sub dimensionado, El 2016 se instaló dos zarandas de alta frecuencia Derrick adicionales permitiendo tratar un máximo de 6500 TMD.

En esta sección se dispone de varios sistemas de control e instrumentación de apoyo para una operación estable y de granulometría controlada. Entre estos instrumentos contamos con: densímetros nucleares, controles automáticos de agua en el alimento a molino, balanzas electrónicas, sensores de nivel de pulpa, un analizador de tamaño de partícula PSI-200 entre otros.

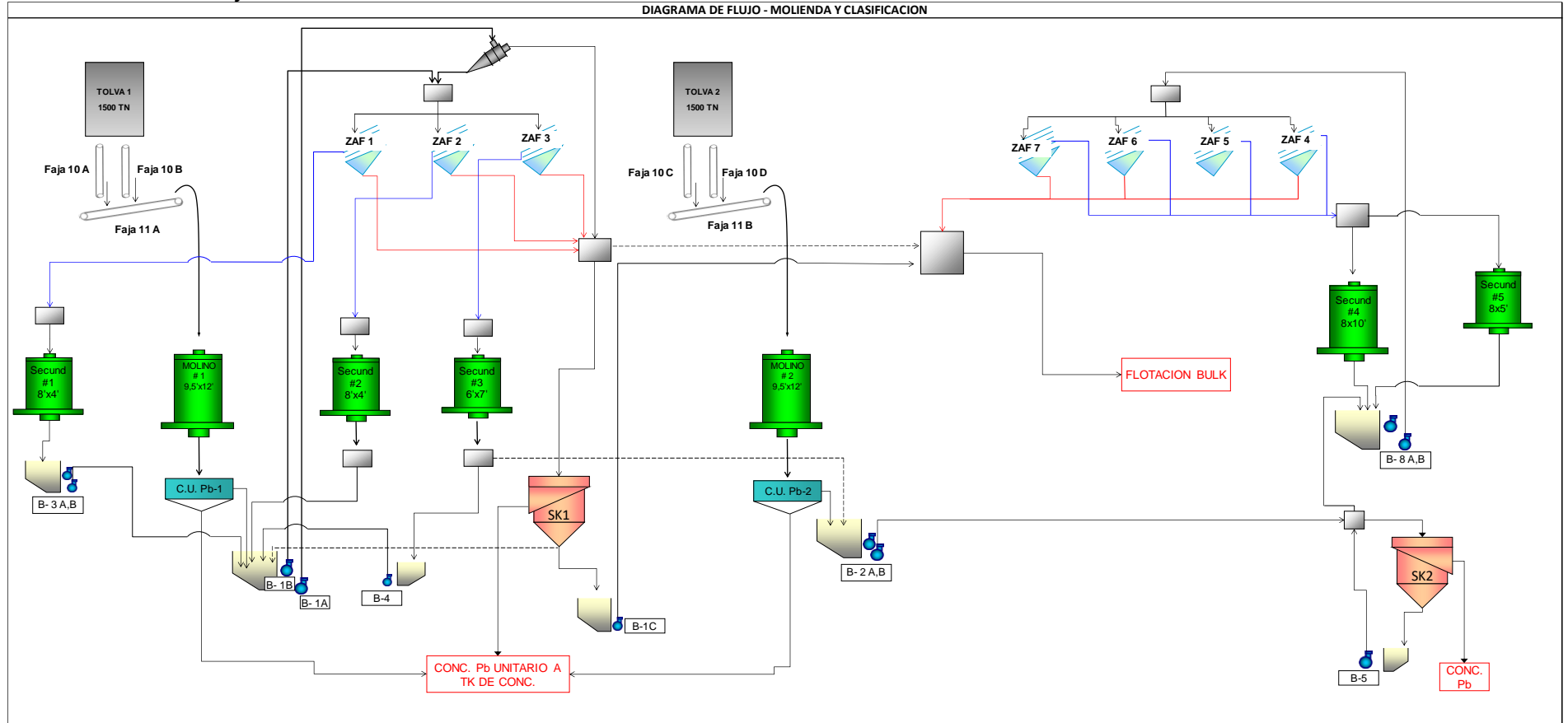
La recarga diaria de bolas a los molinos primarios es en tamaños de 2 ½" (40%) y 3" (60%) mientras que a la molienda secundaria en 1 ½" (40) y 2" (60). El consumo de acero en las bolas es 0.380 Kg/TM. La granulometría requerida es 12% +m70 y 52% - m200.

Entre los factores más resaltantes que contribuyeron al incremento de tonelaje tenemos: La mejora de la granulometría de chancado secundario y terciario. La mejora en la distribución de carga a los dos molinos secundarios N°2 de 8'x4' y al molino secundario N° 3 de 6'x7' el incremento en la densidad de descarga de molinos primarios a rangos de 1950-2050 gr/L. La densidad de clasificación en las zarandas está en rango de 1700 gr/L en promedio permite una mejor clasificación con menor retorno de finos a los molinos secundarios. La repotenciación de los motores y el aumento de las revoluciones de las bombas primarias 1 A, B (100HP) y 2 A, B (70HP). Las variaciones de los diámetros de bolas en la recarga de los molinos y las variaciones en los porcentajes por la granulometría más fina de chancado secundario y terciario.

La optimización de la operación de las 3 zarandas de alta frecuencia con el molino primario N°1, y la puesta en marcha de las dos zarandas de alta frecuencia en el circuito del molino primario N°2 bajaron la carga circulante de los finos hacia los molinos secundarios.

Figura 3

Circuito de Molienda y Clasificación



Nota: Fuente elaboración propia (diagrama del circuito de molienda y clasificación).

2.3 Bases teóricas

2.3.1 Conminución

Es el proceso de reducción progresiva de tamaños del material que contienen los minerales de interés hasta fragmentos pequeños para conseguir liberar la mena que se encuentra ligada a la ganga, posteriormente con la superficie liberada y el tamaño adecuado de partícula se envía a la etapa de concentración de mineral valioso.

2.3.1.1 Mecanismos de fractura

Se establecen los mecanismos de fractura:

- Fractura por abrasión

Es cuando existen fuerzas de corte a lo largo de la superficie de la partícula generalmente se forman dos tipos de tamaños de partículas material muy fino y otro parecido a la partícula original, por ejemplo, se producen dentro de un molino entre el roce de las mismas partículas como también con los cuerpos moledores.

- Fractura por compresión

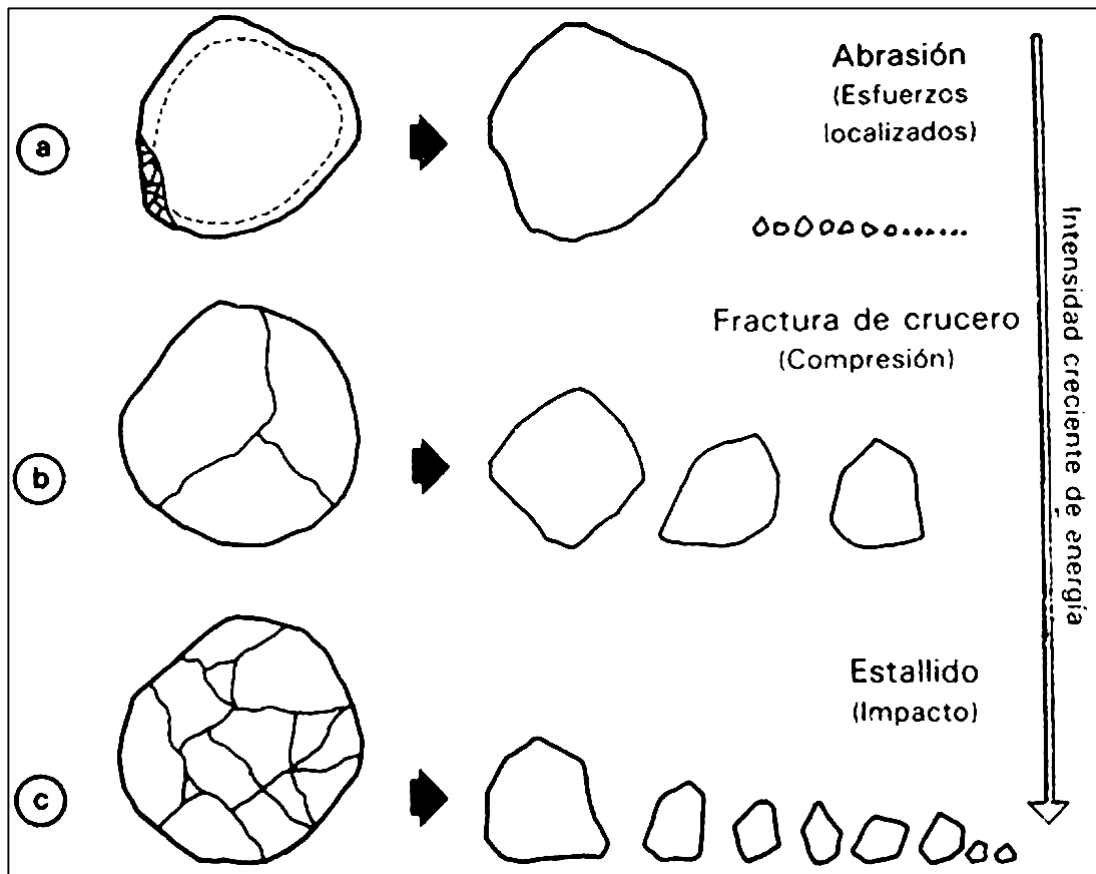
Se producen cuando existen fuerzas compresoras y estas actúan a una baja velocidad se producen partículas finas y gruesas, por ejemplo, las partículas que se producen dentro de una chancadora de una superficie fija y la otra móvil.

- Fractura por Impacto

Existen fuerzas de compresión a gran velocidad, se generan gran cantidad de finos con un amplio rango de tamaños, por ejemplo, las partículas que se producen dentro de un molino de bolas cuando las bolas caen directamente sobre la partícula.

Figura 4

Mecanismo de Fractura



Nota: Fuente Gutiérrez & Sepúlveda, 1986 (tipos de fractura según fuerza).

2.3.1.2 Teorías de la conminución

Postulado de Rittinger, 1867

Estableció que “La energía específica consumida en la reducción de tamaño de un sólido es directamente proporcional a la nueva superficie creada” considera la energía necesaria para que se produzca la ruptura de cuerpos sólidos ideales, una vez que el material haya alcanzado su deformación crítica o límite de ruptura.

$$E_R = K_R \left(\frac{1}{P_{80}} - \frac{1}{F_{80}} \right)$$

Donde:

E_R = Consumo de energía específico

K_R = Constante de Rittinger

P_{80} = Tamaño 80 % pasante del producto (μm)

F_{80} = Tamaño 80 % pasante de la alimentación (μm)

Postulado de Kick, 1867

Propuso la segunda teoría “La energía requerida para producir cambios análogos en el tamaño de cuerpos geoméricamente similares es proporcional al volumen de los estos cuerpos “considero que la energía utilizada en la ruptura de un cuerpo solido ideal era solo aquella necesaria para deformar el sólido hasta su límite de ruptura, despreciando la energía adicional para producir la ruptura del mismo.

$$E_K = K_K \log \left(\frac{P_{80}}{F_{80}} \right)$$

Donde:

E_K = Consumo de energía específico

K_K = Constante de Kick

P_{80} = Tamaño 80 % pasante del producto (μm)

F_{80} = Tamaño 80 % pasante de la alimentación (μm)

Postulado de Bond, 1952

Postulo la tercera teoría de la conminución “la energía consumida para reducir el tamaño 80% de un material, es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de este tamaño.

$$E_R = K_R \left(\frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right)$$

Donde:

E_B = Consumo de energía específico

K_B = Constante de Bond

P_{80} = Tamaño 80 % pasante del producto (μm)

F_{80} = Tamaño 80 % pasante de la alimentación (μm)

Definió el parámetro K_B en función del Work Index, W_i (índice de trabajo del material), que corresponde a la energía necesaria (KWh/Ton corta) para reducir una tonelada corta de material desde un tamaño teóricamente infinito hasta partículas que en un 80 % sean inferiores a 100 μm .

$$W_I = K_B \left(\frac{1}{\sqrt{100}} - \frac{1}{\sqrt{\infty}} \right) = \frac{K_B}{10}$$

Se deduce que:

$$K_B = 10 W_I$$

Finalmente, remplazado la ecuación tenemos:

$$W = W_I \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80}}} \right)$$

Donde:

$E_B = W =$ Consumo de energía específica (KWh/Ton corta), para reducir un material desde un tamaño inicial F80 hasta un tamaño final P80.

$W_I =$ Índice de trabajo del material ((KWh/Ton corta)

$P_{80} = dP =$ Tamaño 80 % pasante del producto (μm)

$F_{80} = dF =$ Tamaño 80 % pasante de la alimentación (μm)

2.3.2 Etapa de chancado

La operación metalúrgica de chancado o trituración, es la primera etapa mecánica de la conminución. El objetivo es la reducción de tamaño del mineral obtenido de la mina ROM, hasta el tamaño deseado para la alimentación a la molienda.

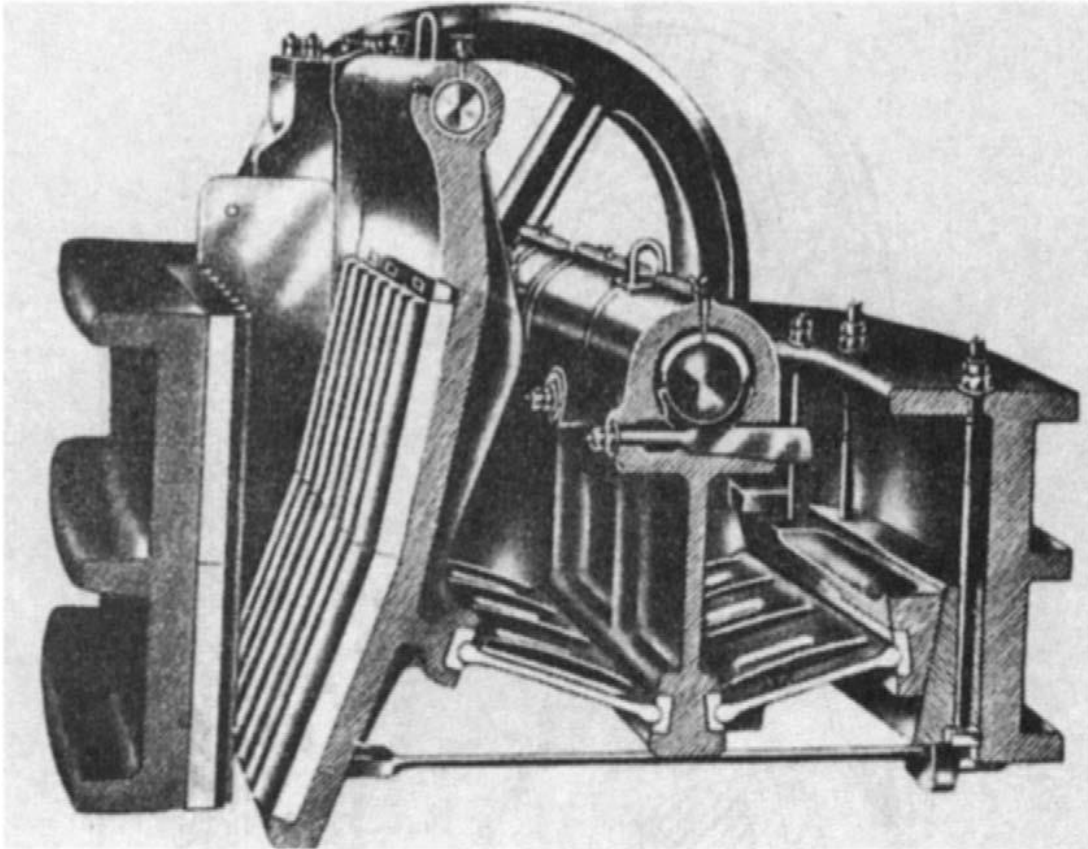
Se utilizan máquinas de trituración o chancadoras dependiendo de las condiciones de trabajo

2.3.2.1 Chancadora de mandíbulas. Esta máquina consta de dos placas una frente de otra con un ángulo de inclinación, una de ellas es fija y la otra móvil. La placa móvil tiene un movimiento de vaivén se acerca y aleja de la placa fija, aprisionando el material alimentado por la parte superior.

Mientras se acercan las placas se produce la conminución y cuando se alejan el material va descendiendo hasta caer a un espacio más pequeño, finalmente cuando el material haya alcanzado el tamaño deseado salen por la abertura inferior. El tamaño máximo de material de descarga en estas chancadoras está limitada por el setting (abertura de la parte inferior de la chancadora).

Figura 5

Chancadora de Mandíbula



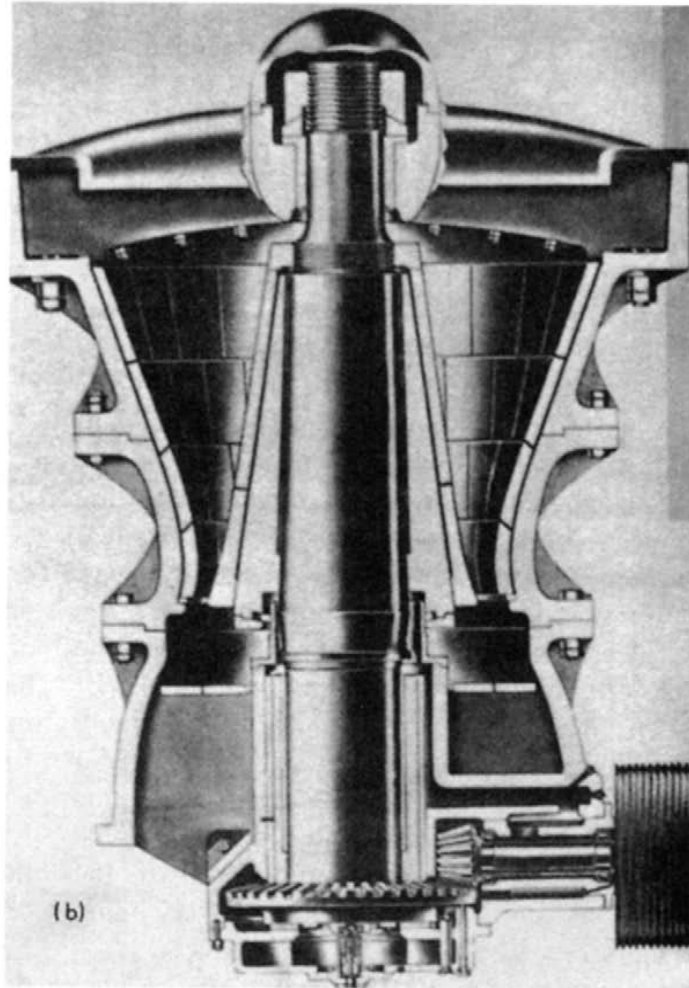
Nota: Fuente Wils & Barry, 2006 (tipos de trituradoras).

2.3.2.2 Chancadora cónica. Este tipo de chancadoras están conformados por un cuerpo fijo llamado Mantle que tiene forma de embudo y en el interior de esta un cuerpo móvil llamado Cóncavo que tiene forma de cono. El cóncavo realiza un movimiento excéntrico dentro del mantle, de esa manera el material va descendiendo por las paredes reduciéndose de tamaño para finalmente descargarse por la parte inferior.

Generalmente son utilizadas en chancado secundario y terciario, los perfiles de mantle y cóncavo son variables, son muy sensibles a la humedad por que pueden generar obstrucciones de material una vez trituradas, mantener un factor de llenado optimo ayuda a la reducción de tamaño ya que actuaran fuerzas de compresión entre el mismo material.

Figura 6

Chancadora Cónica



Nota: Fuente Wils & Barry, 2006 (tipos de trituradoras).

2.3.3 Etapa de molienda

La última etapa de la conminución es la molienda donde se reduce el tamaño de las partículas hasta lograr conseguir liberar el mineral valioso del material estéril. Generalmente la molienda se lleva a cabo en los molinos, los cuales utilizan medios molidores (bolas, barras, propio mineral), con el objetivo de reducir el tamaño de las partículas.

Los molinos de bolas son utilizados generalmente cuando se desea obtener un tamaño de producto con granulometría media (p_{80} de 0.5mm a 75 μm) o productos más finos ($p_{80} < 75 \mu\text{m}$). Durante esta etapa se consume la mayor cantidad de energía de una planta concentradora.

Los factores que influyen en los resultados de la molienda son:

- Tamaño de partícula de alimentación
- Movimiento de carga dentro del molino
- Espacio entre los cuerpos moledores

2.3.3.1 Movimiento de carga dentro del molino. Debido a la velocidad de rotación de los molinos, los cuerpos moledores (bolas, revestimiento, mismo material), son impulsados por los revestimientos en la velocidad de rotación, luego estas describen los movimientos.

- **Movimiento en cascada:** Cuando las bolas caen rodando sobre los revestimientos, se producen cuando la velocidad de rotación es baja, predominan las fuerzas de abrasión por lo cual se genera gran cantidad de finos y mayor desgaste de los revestimientos.
- **Movimiento en catarata:** Cuando las bolas caen en caída libre sobre los revestimientos, se producen cuando la velocidad de rotación es alta, las fuerzas que predominan son las de impacto y se generan partículas gruesas y menor desgaste de los revestimientos.

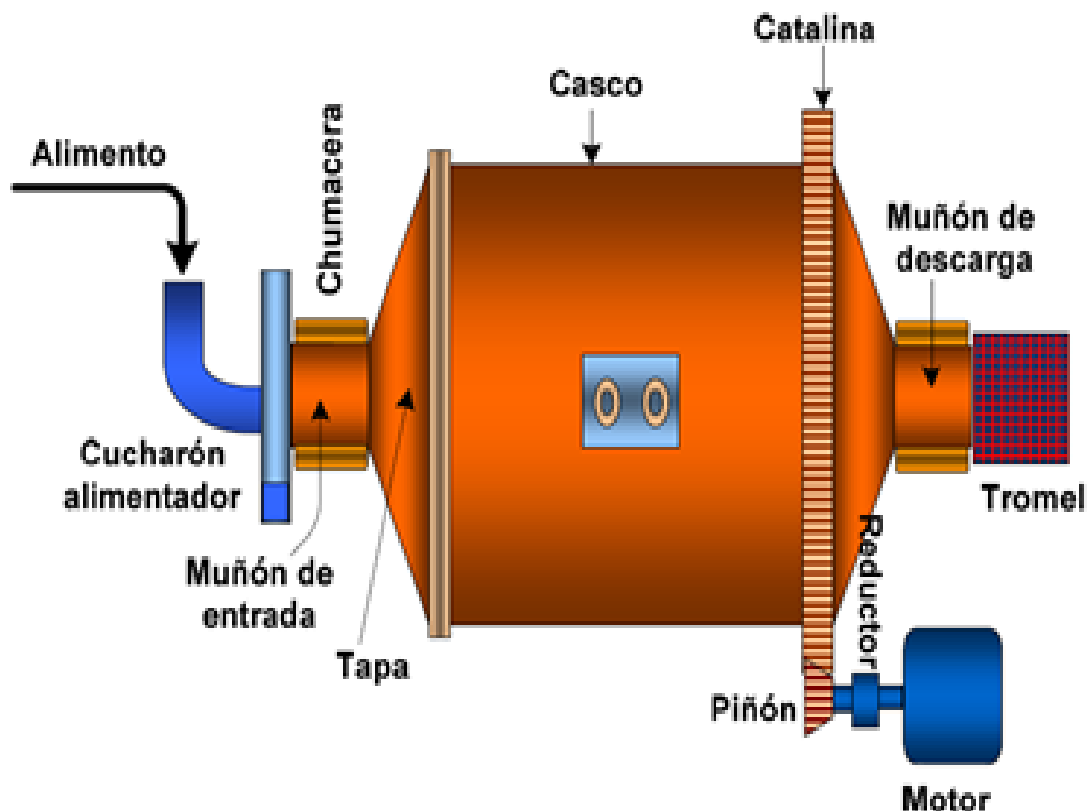
2.3.3.2 Partes de un molino. Las partes principales de un molino se muestran a continuación:

- **Muñón o trunnion de alimentación:** Es un conducto para la entrada de material a procesar.
- **Chumacera:** Es el soporte del molino y a la vez la base sobre cual gira este.
- **Piñón y Catalina:** Mecanismo que transmiten el movimiento, consta de un contra eje acoplado al piñón este es accionado por el motor que a la vez acciona la catalina que proporciona movimiento al molino.
- **Casco:** De forma cilíndrica en posición horizontal, diseñada para soportar impactos y tonelaje de tratamiento, el material del que está construido son placas de acero forjadas y soldadas.

- Revestimiento: Proporcionan protección al casco del molino, resiste el impacto de los cuerpos moledores, están fabricados de diferentes formas y material para asegurar el arrastre de los cuerpos moledores.
- Muñón o trunnion de descarga: Conducto por el cual se realiza la descarga de la pulpa.
- Cuchara de alimentación: Conexión del trunnion de entrada y el alimento del molino es el conducto por el cual se alimenta el material al molino.
- Trommel: Se encargan de retener las bolas y material con granulometría gruesa, así se impiden que estas ingresen a las bombas o clasificadores.

Figura 7

Partes de un Molino



Nota: Fuente <https://www.udocz.com/apuntes/98405/concentracion-de-minerales-8tvo-1> (apuntes de concentración de minerales que detalla las partes de un molino de bolas).

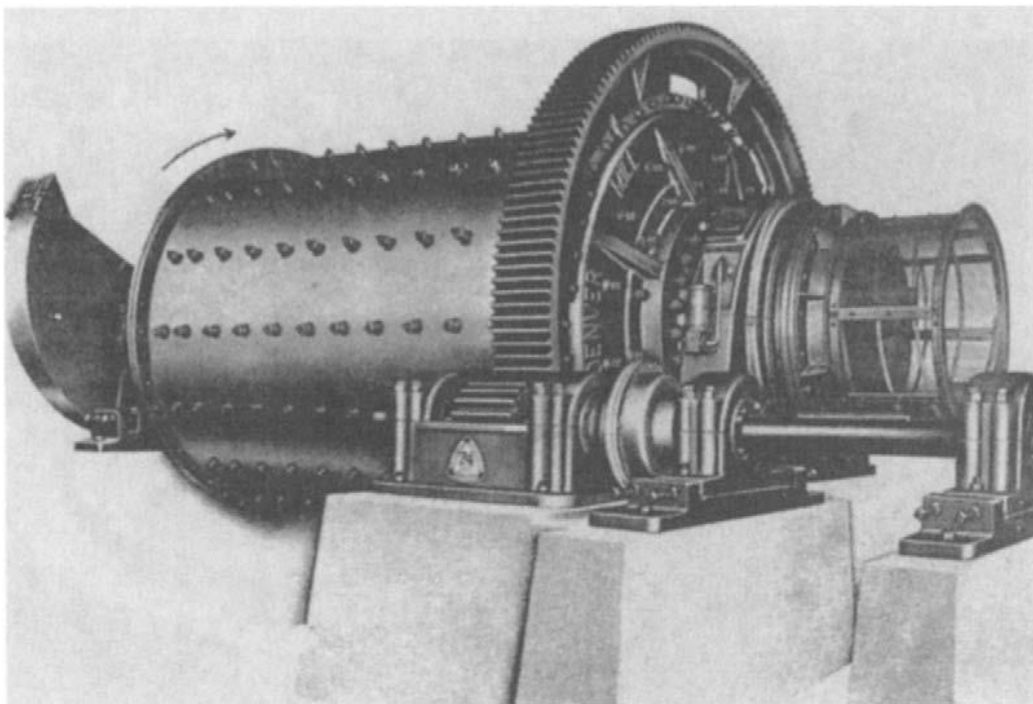
2.3.3.3 Molino de bolas. Los molinos de bolas tienen forma cilíndrica con un diámetro menor que el largo, en su interior se encuentran las cargas moledoras y estas ocupan un % volumétrico considerable. Para nuestro caso los molinos primarios trabajan en circuito abierto y los secundarios con circuito cerrado, para asegurar la granulometría requerida de los productos usamos clasificadores (zarandas de alta frecuencia).

Durante el proceso de molienda se debe controlar la granulometría, si se produce una sobre molienda los tamaños de partículas se reducirán muy debajo de lo requerido para la siguiente etapa de concentración, además esto lleva a utilizar energía innecesaria, por otro lado, una submolienda producirá partículas más gruesas afectando el grado de liberación de las partículas valiosas lo cual puede reducir la recuperación en etapas posteriores de concentración.

La eficiencia de los molinos se ve afectada por la densidad de pulpa, una pulpa demasiado diluida hace que la carga tenga menos tiempo dentro del molino produciendo una molienda gruesa y mayor consumo de carga moledora, el % sólidos dentro de los molinos debe variar entre un 60% a 80% según el tipo de material a procesar.

Figura 8

Molino de Bolas



Nota: Fuente Wils & Barry, 2006 (ilustración de un molino de bolas convencional).

2.3.4 Clasificación

La clasificación de los minerales es la separación de las partículas por tamaños, para el caso de la planta concentradora Zn, Pb, Cu del centro del Perú se usan zarandas vibratorias, zarandas de alta frecuencia y ciclones (estos últimos hoy en desuso).

2.3.4.1 Harneado

Tamizado:

Se separan las partículas de acuerdo a su tamaño o granulometría, el tamizado es la operación unitaria donde se clasifican los minerales, evita que las partículas finas recirculen y que las partículas gruesas pasen a la siguiente etapa para así obtener una alimentación clasificada para las etapas posteriores.

Tipos de Harneros

- Parillas o Grizzly

Consta de barras fijas de acero.

- Zarandas Vibratorias

Son las de mayor aplicación y usan paneles de diferentes materiales, formas y aberturas, acoplados a cuerpos que vibran este movimiento permite que las partículas puedan estratificarse al entrar en contacto con los paneles.

Factores que afectan la eficiencia de clasificación

- Alimentación: tasas de alimentación muy elevada desgastan tiempo del material para ser clasificado.
- Angulo de inclinación de harnero: Ángulos menores incrementan el tiempo de residencia de las partículas, pero pueden generar tupimientos.
- Humedad de Material: % humedad disminuye eficiencia de clasificación y produce tupimientos.
- Vibración de harnero
- Área abierta de paneles
- Forma de partícula

- Distribución granulométrica: Tamaños aproximados al del área de paneles dificultan la eficiencia de clasificación por generar obstrucciones.

2.3.5 Hidrociclones

Usan la fuerza centrífuga para la separación de tamaños, este es uno de los equipos más usados para la clasificación. El cuerpo está conformado por una parte cilíndrica donde la pulpa es alimentada por una abertura llamada inlet, en la parte superior de esta misma parte cilíndrica se descarga una fracción de pulpa por una abertura llamada vortex y la otra fracción de pulpa se descarga en el cuerpo de forma cónica por una abertura llamada ápex.

La pulpa es alimentada al hidrociclón en forma tangencial por el inlet, esta pulpa gira por las parte cilíndrica y por acción de la fuerza centrífuga y gravedad las partículas descienden una vez que están llegan a la parte cónica el espacio se reduce produciéndose un ascenso de presión debido a esto se genera una corriente de aire y una parte de la pulpa asciende por el centro hacia la parte superior finalmente para salir por el vortex, y la otra parte de la pulpa que se encuentran en las paredes se descargan por el ápex.

Las partículas más gruesas se concentran en las paredes mientras que las más pequeñas en el centro produciéndose la separación de tamaños.

2.3.6 Zarandas de alta frecuencia Stack Sizer

Son cribadoras de vibración lineal que trabajan con altas velocidades, tienen configuración vertical en cascada y poseen 5 bastidores, se usan mallas con diferentes tamaños de abertura y el ángulo de inclinación puede variar de 15° a 25°C.

Los motores vibratorios transmiten la vibración a los bastidores de la criba, los alimentadores de cada bastidor realizan una alimentación homogénea de la pulpa en los bastidores, posee también soportes flotantes de jebe que sirven para aislar la vibración de los bastidores de las mallas hacia la estructura.

Variables de operación

- Malla de corte: Se usan de diferente tamaño en nuestra operación usamos de 0.30 mm.
- Velocidad del motor: Varían de 1500 RPM a 1800 RPM.
- Densidad de pulpa de alimentación: En nuestra operación la densidad de pulpa usada es de 1500 gr/L.

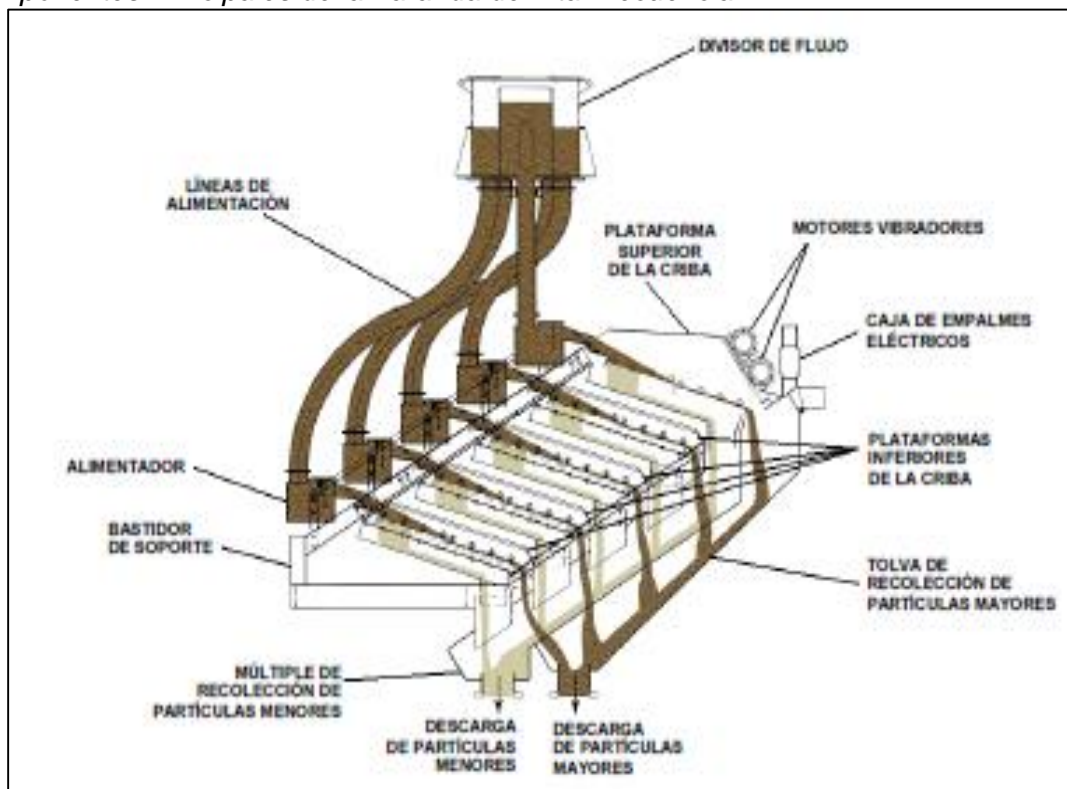
2.3.6.1 Componentes de la zaranda de alta frecuencia Stack Sizer. Los principales componentes se describen a continuación:

- Divisor de flujo: Depósito de forma circular con pared de doble donde se recibe la pulpa y este se distribuye uniformemente a cada uno de los alimentadores que abastecen a los bastidores de la criba.
- Alimentadores: Cada uno de los bastidores es abastecido por un alimentador separado que recibe la pulpa del divisor de flujo.
- Alimentador de rebosadero, Ms estándar, Ms de 7": Se encargan de controlar el flujo de entrada y distribuye la pulpa en forma homogénea por todos los paneles.
- Bastidores de la criba: El material del proceso que transita por cada panel de la criba, los de menor tamaño fluyen hacia el exterior mientras que los de mayor tamaño son enviados hacia los extremos de cada panel de la criba.
- Motores vibratorios: Los motores vibratorios son de inducción eléctrica que emplean pesos excéntricos para generar la vibración de amplitud que se requiera.
- Múltiple de recolección de partículas menores: Las partículas menores y el líquido son recogidos y descargados por el múltiple de partículas menores.
- Tolda de recolección de partículas mayores: Este recibe todo el material de mayor tamaño que pasa por los extremos de los bastidores de la criba.
- Caja de empalmes eléctricos: En esta caja, se proporcionan las conexiones de alimentación eléctrica de los motores vibradores.

- Bastidor de soporte: Estructura de acero soldada que sirve de montaje para los bastidores de la criba, caja de empalmes eléctricos, los motores vibratorios y la tolva de recolección de partículas mayores (incluido el múltiple de recolección de partículas menores).
- Sistema de rociadura: Se encargan de rociar agua a cada bastidor de la criba.

Figura 9

Componentes Principales de la Zaranda de Alta Frecuencia



Nota: Fuente Derrick corporation, 2008 (zarandas de alta frecuencia de 5 pisos)

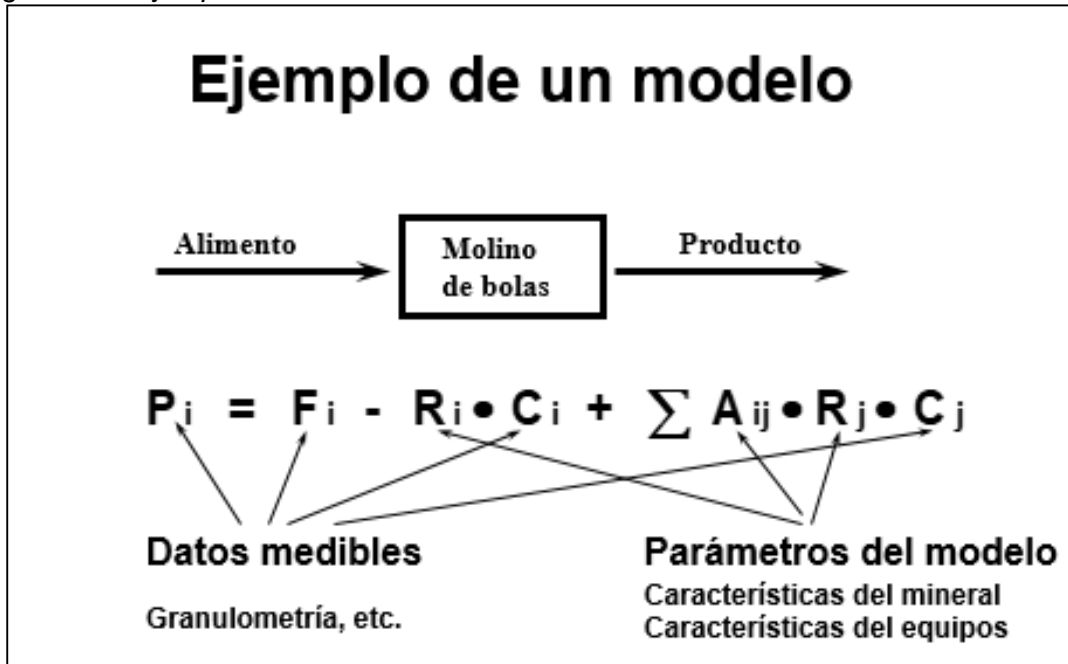
2.3.7 Modelación y Simulación

Mediante la modelación matemática se puede obtener una proyección de la realidad a través de fórmulas matemáticas que requieren de datos medibles, experimentales e intrínsecos del proceso.

Con la modelación se construirá una simulación del proceso, el cual servirá para para evaluar el desempeño actual y las condiciones de operación para posteriormente optimizar el proceso.

Figura 10

Diagrama de Ejemplo de un Modelo



Nota: Fuente JKTEC, 2015 modelo matemático.

Para la simulación de las plantas de chancado y molienda serán necesarios los modelos de conminución y clasificación, existen muchos simuladores que son utilizados por consiguiente muchos de ellos poseen diferentes modelaciones en las que se basan.

2.3.8 JKSimMet: Descripción general del software

El JKSimMet es un simulador de planta de procesamiento de minerales que brinda la simulación de circuito de chancado o molienda incluyendo las etapas de clasificación. Algunos modelos de procesamiento para la simulación con lo que cuenta el sistema son: Chancadoras de mandíbulas, canchadoras cónicas secundarias y terciarias, molinos de barras y bolas, alimentador vibratorio, zaranda DSM, hidrociclón clasificador, etc.

El JKSimMet predice cómo funciona un circuito y tiene como límites los datos y modelos seleccionados, pero no sugiere la mejor opción del circuito, las óptimas condiciones de operación o los cambios para realizar con el fin de obtener una operación eficiente.

Este software trabaja en tres modos: Ajuste de modelo, simulación y balance de masas.

2.3.9 Modelos utilizados por el software JKSimMet

2.3.9.1 Modelo de clasificación (Curva de eficiencia). Se muestra la curva de eficiencia utilizada en este modelo:

$$E_o \left(\frac{d}{d_{50}} \right) = C * \frac{(e^\alpha - 1)}{\left(e^\alpha \frac{d}{d_{50}} \right) + e^\alpha - 2}$$

Donde:

α = Parámetro de fineza de la curva de eficiencia reducida.

C = Fracción de agua al producto fino.

d_{50} = Tamaño de partícula en la alimentación que tiene igual probabilidad de ir al producto fino o al producto grueso.

2.3.9.2 Modelo de chancadora (Andersen/Awachie/Whiten). El modelo de chancadora considera que este tiene dos etapas.

- La selección de partículas para el rompimiento

Función de clasificación:

$$C(x) = 1 \quad \text{para } x < K_1$$

$$C(x) = 1 - \left(\frac{K_2 - x}{K_2 - K_1} \right)^{K_3} \quad \text{para } K_1 < x < K_2$$

$$C(x) = 1 \quad \text{para } x > K_2$$

Donde:

$C_{(x)}$ = Probabilidad de selección de rompimiento de una partícula de tamaño x.

x = Tamaño de partícula promedio.

K_1 = Partícula más grande que no será chancada.

K_2 = Partícula más pequeña que será chancada.

K_3 = Controla la transición desde K_2 hasta K_1 .

Resaltar que los parámetros K_1 y K_2 son modelados con funciones que depende del CSS (Setting Side Closed), TPH (Tonelaje de alimentación) y F80 (Tamaño 80% pasante de alimentación).

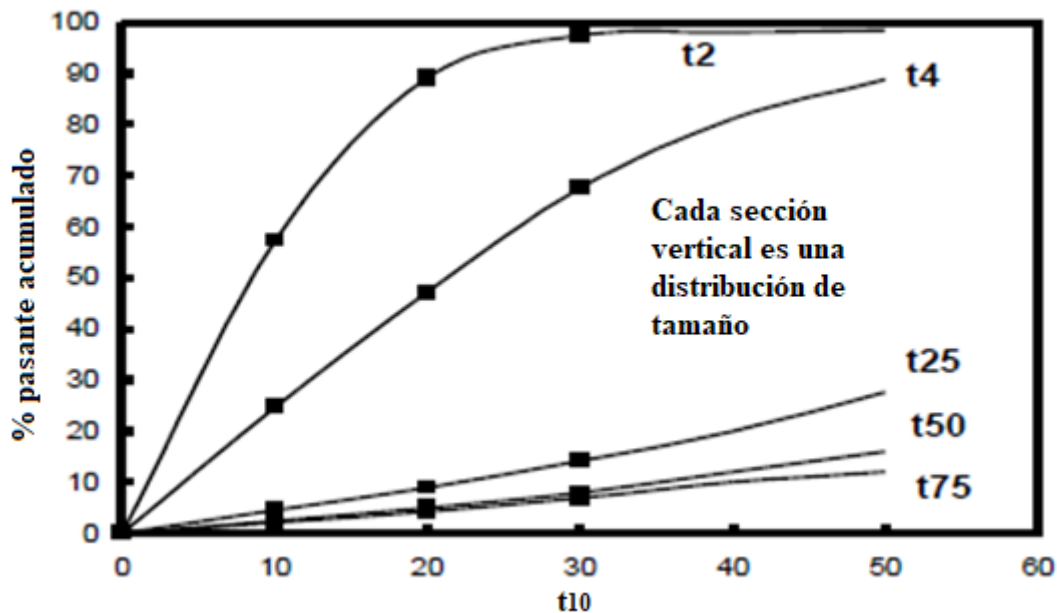
- Rompimiento de las partículas seleccionadas (Función Fractura)

Es modelado mediante la distribución de tamaño del producto de chancado mediante parámetros t_n .

Para obtener las relaciones entre los parámetros t_n y t_{10} para diferentes consumos específicos de energía el mineral debe someterse a pruebas de JK Drop Weight Test. Si no se cuenta con estas pruebas el software JKSimMet cuenta con una base de datos de estas, obtenidas de diferentes pruebas realizadas a minerales diferentes.

Figura 11

Relación entre t_n y t_{10}



Nota: Fuente JKTec, 2015 modelo de chancadoras, características de fractura del mineral (relación $t_{10} - t^*$)

El parámetro t_{10} es definido como el porcentaje acumulativo que pasa un décimo del tamaño promedio geométrico y de la partícula de prueba.

$$t_{10} = D_1 * CSS + D_2 * TPH + D_3 * F_{80} + D_4$$

Donde:

t_{10} = % Alimentación que se ha reducido a una décima parte para una partícula de tamaño Y.

CSS = Setting Side Closed.

TPH = Tonelaje de alimentación de la chancadora.

F_{80} = Tamaño 80% pasante de alimentación.

D_1, D_2, D_3 y D_4 = Coeficientes de regresión.

2.3.9.3 Modelo de molino de bolas (Mezclador Perfecto). Este modelo considera que la carga en el interior de un molino es homogénea, de este modo la carga es relacionada con el producto a través de una tasa de descarga d_i y elimina la dificultad de establecer el tiempo de residencia para cada fracción granulométrica la ecuación está dada por:

$$f_i - p_i \sum_{j=1}^{i-1} r_i s_j a_{ij} - r_i s_i (1 - a_{ii}) = 0$$

$$p_i = d_i s_i$$

$$f_i - p_i \left(1 - \frac{r_i}{d_i} (1 - a_{ii}) \right) + \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij} \left(\frac{r_i}{d_i} \right) p_i = 0$$

Donde:

f = Vector alimentación (f_1 grueso, f_2 fino, f_n más fino, f_{n+1} sub malla).

s = Vector alimentación (s_1 grueso, s_2 fino, s_n más fino, s_{n+1} sub malla).

p = Vector alimentación (p_1 grueso, p_2 fino, p_n más fino, p_{n+1} sub malla).

d = Vector descarga

r = Vector fractura

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Colecta de datos

Se identificaron las variables de operación del circuito de chancado y molienda que son relevantes para establecer un caso base, los cuales se revisaron en una data histórica atrás de un año P80 producto de chancado, setting de las chancadoras, abertura de los paneles de las zarandas, distribución granulométrica de alimento a flotación, tonelaje de tratamiento, etc.

El trabajo tuvo como base una campaña de muestreo ejecutada en los circuitos de chancado y molienda, para ello se realiza un recorrido por estos circuitos con la finalidad de conocer y comprender el control operación

3.1.1. Muestreo circuito de chancado

El muestreo del circuito de chancado con parada instantánea y bloqueo eléctrico total del circuito, para recolectar las muestras se tomó una sección transversal de las correas transportadoras, en caso del oversize de las zarandas fueron tomadas de los decks de las mismas.

Una vez definidos los puntos de muestreo se muestra la lista siguiente.

N° 1: Producto de chancado primario - Prod CH1

N° 2: Alimentación de zaranda primaria - Alim ZAR 1

N° 3: Oversize de 1° deck de la zaranda primaria - ZAR 1 - O/S 1

N° 4: Oversize de 2° deck de la zaranda primaria - ZAR 1 - O/S 2

N° 5: Undersize de la zaranda primaria - ZAR 1 - U/S

N° 6: Producto de chancado secundario - CH2 - Prod

N° 7: Producto de chancado terciario 2 - CH3-2 - Prod

N° 8: Producto de chancado terciario 1 - CH3-1 - Prod

N° 9: Oversize de 1° deck de la zaranda secundaria 1 - ZAR 2-1 - O/S 1

N° 10: Oversize de 2° deck de la zaranda secundaria 1 - ZAR 2-1 - O/S 2

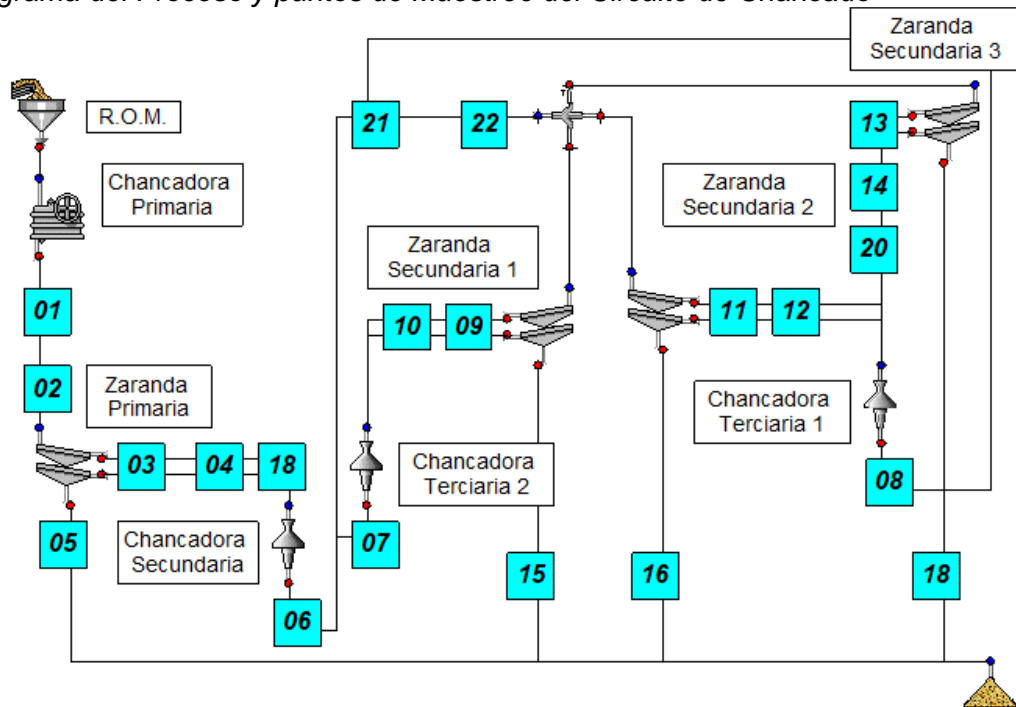
N° 11: Undersize de la zaranda secundaria 1 - ZAR 2-1 - U/S

- N° 12: Oversize de 1° deck de la zaranda secundaria 2 - ZAR 2-2 - O/S 1
- N° 13: Oversize de 2° deck de la zaranda secundaria 2 - ZAR 2-2 - O/S 2
- N° 14: Undersize de la zaranda secundaria 2 - ZAR 2-2 - U/S
- N° 15: Oversize de 1° deck de la zaranda secundaria 3 - ZAR 2-3 - O/S 1
- N° 16: Oversize de 2° deck de la zaranda secundaria 3 - ZAR 2-3 - O/S 2
- N° 17: Undersize de la zaranda secundaria 3 - ZAR 2-3 - U/S
- N° 18: Oversizes combinado de la zaranda primaria - ZAR 1 - O/S Comb
- N° 19: Oversizes combinado de la zaranda secundaria 1 - ZAR 2-1 - O/S
- N° 20: Oversizes combinado de la zaranda secundaria - ZAR 2-3 - O/S Comb
- N° 21: Producto de los chancadoras secundaria y terciaria combinados – Faja 6
- N° 22: Productos de las chancadoras secundario y terciaria combinados – Faja 4

Es importante resaltar que en la campaña de muestreo del circuito de chancado no se incluyó la chancadora primaria, por tanto, la alimentación del circuito fue considerada como el producto de chancado primario y no el R.O.M.

Figura 12

Flujograma del Proceso y puntos de Muestreo del Circuito de Chancado



Nota: Fuente elaboración propia (puntos de muestreo elaborado en JKSimmet)

3.1.2 Muestreo circuito de molienda

El muestreo del circuito de molienda se tomó simultáneamente para todos los puntos en forma de incrementos, o sea, adición de alícuotas sucesivas tomadas cada 20 minutos por un periodo de 120 minutos (2 horas) para cada punto de muestreo, totalizando siete incrementos por muestra.

El circuito de molienda fue dividido en dos líneas, línea 1 y línea 2 a continuación se muestra la lista de puntos de muestreo.

Puntos de muestro de la línea 1 de molienda.

Nº 1: Alimentación del molino primario 1 - Alim MP01

Nº 2: Producto del molino primario 1 - Prod MP01

Nº 3: Bypass de flotación rougher 1 de plomo - Bypass MP01

Nº 4: Alimentación de flotación rougher 1 de plomo - Alim Unitario 1

Nº 5: Concentrado de flotación rougher 1 de plomo - Conc Unitario 1

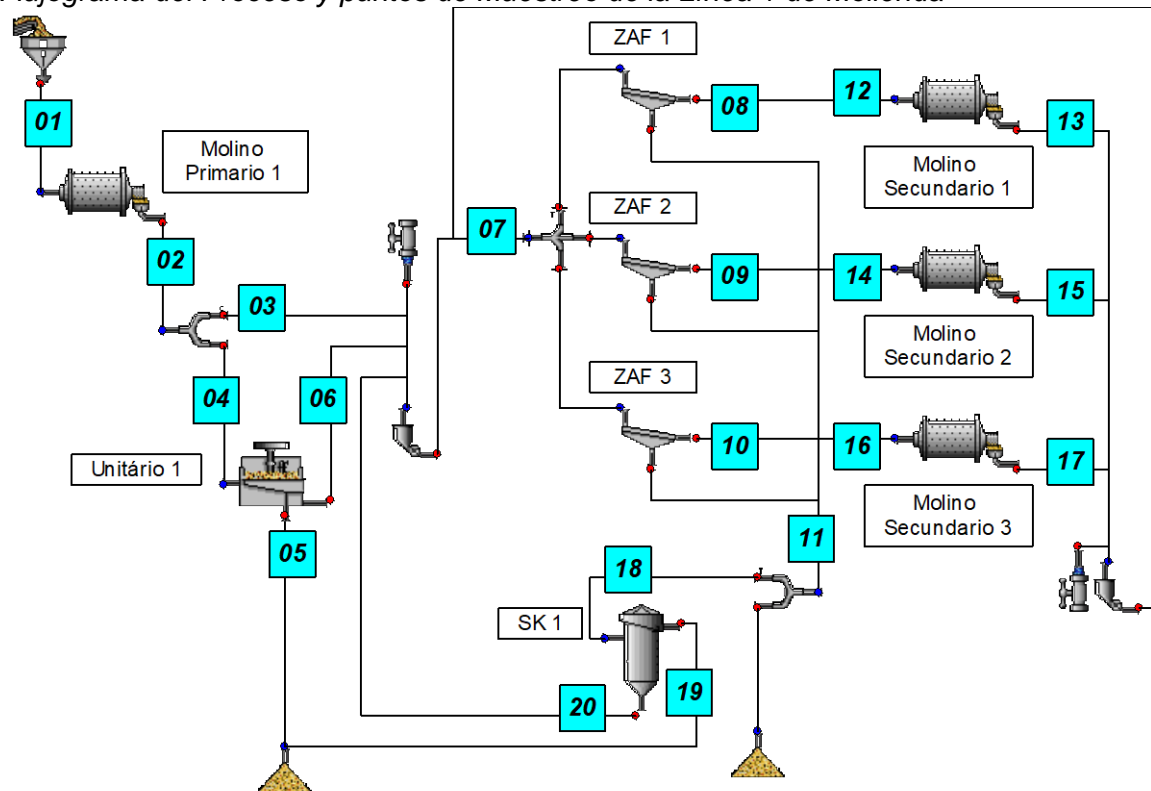
Nº 6: Relave de flotación rougher 1 de plomo - Rej Unitario 1

Nº 7: Alimentación de las ZAF 1, 2 y 3 - Alim ZAF 1,2 y 3

- N° 8: Oversize Zaranda de alta frecuencia 1 - ZAF 1 - O/S
- N° 9: Oversize Zaranda de alta frecuencia 2 - ZAF 2 - O/S
- N° 10: Oversize Zaranda de alta frecuencia 3 -ZAF 3 - O/S
- N° 11: Undersize de las ZAF 1, 2 y 3 - U/S ZAF 1,2 y 3
- N° 12: Alimentación del molino secundario 1 - Alim MS01
- N° 13: Producto del molino secundario 1 - Prod MS01
- N° 14: Alimentación del molino secundario 2 - Alim MS02
- N° 15: Producto del molino secundario 2 - Prod MS02
- N° 16: Alimentación del molino secundario 3 - Alim MS03
- N° 17: Producto del molino secundario 3 - Prod MS03
- N° 18: Alimentación de flotación SK1 de plomo - Alim SK1
- N° 19: Concentrado de flotación SK1 de plomo - Conc SK1
- N° 20: Relave de flotación SK1 de plomo - Rej SK1

Figura 13

Flujograma del Proceso y puntos de Muestreo de la Línea 1 de Molienda



Nota: Fuente elaboración propia (puntos de muestreo elaborado en JKSimmet)

Puntos de muestro de la línea 2 de molienda.

N° 21: Alimentación del molino primario 2 - Alim MP02

N° 22: Producto del molino primario 2 - Prod MP02

N° 23: Bypass de flotación Rougher 2 de plomo - Bypass MP02

N° 24: Alimentación de flotación rougher 2 de plomo - Alim Unitario 2

N° 25: Concentrado de flotación rougher 2 de plomo - Conc Unitario 2

N° 26: Relave de flotación rougher 2 de plomo - Rej Unitario 2

N° 27: Alimentación de flotación SK2 de plomo - Alim SK2

N° 28: Concentrado de flotación SK2 de plomo - Conc SK2

N° 29: Relave de flotación SK2 de plomo - Rej SK2

N° 30: Alimentación de las ZAF 4,5,6 7 y 7 - Alim ZAF 4,5,6 y 7

N° 31: Alimentacion de la Zaranda de alta frecuencia 4 - ZAF 4 - Alim

N° 32: Oversize Zaranda de alta frecuencia 4 - ZAF 4 - O/S

N° 33: Undersize Zaranda de alta frecuencia 4 - ZAF 4 - U/S

N° 34: Alimentación de la Zaranda de alta frecuencia 5 - ZAF 5 - Alim

N° 35: Oversize Zaranda de alta frecuencia 5 - ZAF 5 - O/S

N° 36: Undersize Zaranda de alta frecuencia 5 - ZAF 5 - U/S

N° 37: Alimentación de la Zaranda de alta frecuencia 6 - ZAF 6 - Alim

N° 38: Oversize Zaranda de alta frecuencia 6 - ZAF 6 - O/S

N° 39: Undersize Zaranda de alta frecuencia 6 - ZAF 6 - U/S

N° 40: Alimentación de la Zaranda de alta frecuencia 7 - ZAF 7 - Alim

N° 41: Oversize Zaranda de alta frecuencia 7 - ZAF 7 - O/S

N° 42: Undersize Zaranda de alta frecuencia 7 - ZAF 7 - U/S

N° 43: Undersize de las ZAF 4,5,6 y 7 - U/S ZAF 4,5,6 y 7

N° 44: Alimentación del molino secundario 4 - Alim MS04

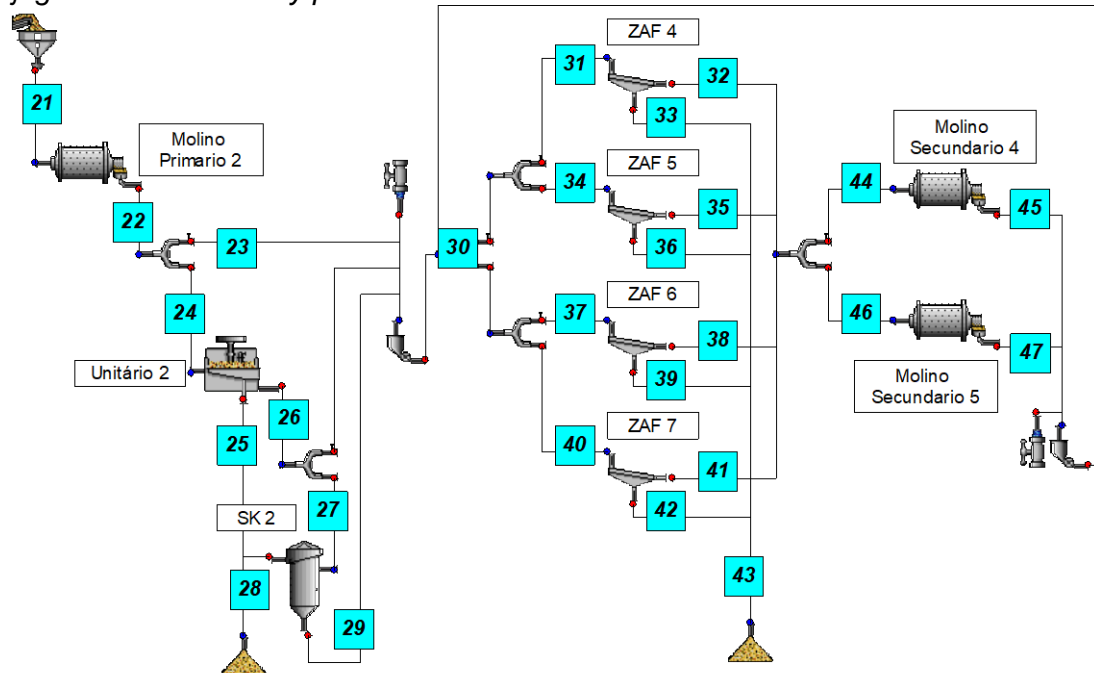
N° 45: Producto del molino secundario 4 - Prod MS04

N° 46: Alimentación del molino secundario 5 - Alim MS05

N° 47: Producto del molino secundario 5 - Prod MS05

Figura 14

Flujograma del Proceso y puntos de Muestreo de la Línea 2 de Molienda



Nota: Fuente elaboración propia (puntos de muestreo elaborado en JKSimmet)

3.1.3 Simulación JKSimMet

3.1.3.1 Caso base. Se establece una plataforma realista (Caso Base) el cual otorgara índices de desempeño en cada etapa del circuito.

Chancado:

Las tablas 1 y 2, a continuación, muestran las dimensiones y condiciones operacionales respectivamente de las chancadoras y zarandas del circuito de chancado.

Tabla 1

Dimensiones y Condiciones operacionales de las Chancadoras

Parámetro	Chancadora Primaria	Chancadora Secundaria	Chancadora Terciaria 1	Chancadora Terciaria 2
Fabricante	Hewitt Robins	Sandvik	Sandvik	Sandvik
Modelo	HPC-D-10	CH 660	CH 660	CH 440
APA	5"	-	-	-
APF (Setting)	4 1/4"	19 mm	12 mm	11 mm
Potencia del motor (kW)	150	315	315	220

Nota: Datos obtenidos de la operación de la planta concentradora.

Tabla 2*Dimensiones y Condiciones operacionales de las Zarandas del Circuito*

Parámetro	Zaranda Primaria	Zaranda Secundaria 1	Zaranda Secundaria 2	Zaranda Secundaria 3
Fabricante	Metso	Allis Chalmer	Allis Chalmer	Metso
Modelo	8' x 20' DD	6' x 16' DD	6' x 16' DD	4 x 2.5 DD
Ancho (m)	2.44	1.83	1.83	2.50
Largo (m)	6.10	4.88	4.88	4.00
Área abierta por deck (m3)	13.80	8.20	8.20	9.2
Inclinación	18°	18°	18°	18°
Paneles 1° deck (mm)	25	25 x 30	25	25
Paneles 2° deck (mm)	10	9 x 18	10	10 x 15
Potencia del motor (kW)	22	22	18.5	22

Nota: Datos obtenidos de la operación de la planta concentradora.

Molienda:

Las dimensiones y condiciones de operación muestran las tablas 3,4,5 y 6:

Tabla 3*Dimensiones y Condiciones operacionales de los Molinos de la Línea 1*

Parámetro	Molino Primario 1	Molino Secundario 1	Molino Secundario 2	Molino Secundario 3
Fabricante	Kopper	Comesa	Comesa	Comesa
Modelo	-	Hardinge Conico	Hardinge Conico	-
Diámetro interno (m)	9.50	8.00	8.00	6.00
Longitud interna (m)	12.00	4.00	4.00	7.00
Potencia del motor (KW)	447.42	149.14	149.14	149.14
Fracción Velocidad Crítica	76.38	77.57	77.57	75.18
Nivel de llenado	42.00	40.00	40.00	40.00
Tamaño de bolas (mm)	75 (60%) 60 (40%)	60 (60%) 50 (40%)	60 (60%) 50 (40%)	60 (60%) 50 (40%)
Work Index del mineral (kWh/Tc)	14.02	-	-	-

Nota: Datos obtenidos de la operación de la planta concentradora.

Tabla 4*Dimensiones y Condiciones operacionales de las ZAFs de la Línea 1*

Parámetro	Zaranda de Alta Frecuencia 1	Zaranda de Alta Frecuencia 2	Zaranda de Alta Frecuencia 3
Fabricante	DERRICK	DERRICK	DERRICK
Modelo	-	-	-
Paneles 1° deck (mm)	30	30	30
Paneles 2° deck (mm)	30	30	30
Potencia del motor (kW)	1.86	1.86	1.86

Nota: Datos obtenidos de la operación de la planta concentradora.

Tabla 5*Dimensiones y Condiciones operacionales de los Molinos de la Línea 2*

Parámetro	Molino Primario 2	Molino Secundario 4	Molino Secundario 5
Fabricante	Kopper	Comesa	Comesa
Modelo	-	-	Hardinge Conico
Diámetro interno (m)	9.50	8.00	8.00
Longitud interna (m)	12.00	10.00	5.00
Potencia del motor (KW)	447.42	268.45	149.14
Fracción Velocidad Critica	76.38	81.27	81.27
Nivel de llenado	42.00	40.00	40.00
Tamaño de bolas (mm)	75 (60%) 60 (40%)	60 (60%) 50 (40%)	60 (60%) 50 (40%)
Work Index del mineral (kWh/Tc)	14.02	-	-

Nota: Datos obtenidos de la operación de la planta concentradora.

Tabla 6*Dimensiones y Condiciones operacionales de las ZAFs de la Línea 2*

Parámetro	Zaranda de Alta Frecuencia 4	Zaranda de Alta Frecuencia 5	Zaranda de Alta Frecuencia 6	Zaranda de Alta Frecuencia 7
Fabricante	DERRICK	DERRICK	DERRICK	DERRICK
Modelo	-	-	-	-
Paneles 1° deck (mm)	30	30	30	30
Paneles 2° deck (mm)	30	30	30	30
Potencia del motor (kW)	1.86	1.86	1.86	1.86

Nota: Datos obtenidos de la operación de la planta concentradora.

Vector alimentación:

Las tablas 7,8 y 9 muestran los resultados de los análisis granulométricos obtenidos a partir de los muestreos realizados en los diferentes circuitos.

Tabla 7

Análisis Granulométrico de Circuito de Chancado

Flujos	Prod CH1	Zaranda Primaria				Chancadora Secundaria		Zaranda Secundaria 1			Zaranda Secundaria 2			Zaranda Secundaria 3			Chancadora Terciaria 1		Chancadora Terciaria 2		Producto Final				
		Allim ZAR 1	ZAR 1 - O/S 1	ZAR 1 - O/S 2	ZAR 1 - U/S	Allim	CH2 - Prod	Allim	ZAR 2-1 - O/S 1	ZAR 2-1 - O/S 2	ZAR 2-1 - U/S	Allim	ZAR 2-2 - O/S 1	ZAR 2-2 - O/S 2	ZAR 2-2 - U/S	Allim	ZAR 2-3 - O/S 1	ZAR 2-3 - O/S 2	ZAR 2-3 - U/S	Allim		CH3-1 - Prod	Allim	CH3-2 - Prod	
Tamaño (mm)	Porcentaje pasante acumulado																								
203,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
178,00	99,50	99,50	98,00	100,00	100	99,20	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
152,00	98,80	98,80	95,60	100,00	100,00	98,10	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
127,00	96,90	96,90	88,10	100,00	100,00	95,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
102,00	91,40	91,40	65,10	100,00	100,00	85,40	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
76,20	86,00	86,00	46,90	100,00	100,00	77,80	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
50,80	83,70	83,70	37,50	100,00	100,00	73,90	99,40	99,80	99,00	100,00	100,00	99,80	98,00	100,00	100,00	99,80	98,20	100,00	100,00	99,80	100,00	99,80	100,00	100,00	100,00
38,10	78,90	78,90	17,90	99,60	100,00	65,40	97,00	99,20	93,80	100,00	100,00	99,20	90,90	100,00	100,00	99,20	92,00	100,00	100,00	98,90	100,00	98,70	100,00	100,00	100,00
25,40	69,80	69,80	5,50	85,20	100,00	51,90	85,30	95,30	74,80	100,00	100,00	95,30	39,30	100,00	100,00	95,30	44,90	100,00	100,00	92,80	99,00	94,50	99,60	100,00	100,00
19,10	61,10	61,10	4,50	60,70	100,00	37,20	69.1	88,30	18,10	98,10	100,00	88,30	2,60	97,80	100,00	88,30	11,50	97,10	100,00	86,20	95,30	80,70	96,20	100,00	100,00
12,70	49,50	49,50	4,50	28,30	99,70	18,40	40,70	62,00	3,50	60,20	100,00	62,00	0,30	58,10	99,90	62,00	1,20	55,20	99,90	49,70	72,60	47,90	66,60	99,90	100,00
9,53	43,00	43,00	4,50	15,20	96,30	10,70	25,50	35,70	3,50	11,20	92,10	35,70	0,30	9,80	96,90	35,70	0,30	16,70	97,40	11,60	43,80	9,50	31,60	95,60	100,00
6,35	36,30	36,30	4,50	10,70	82,10	8,10	15,50	20,40	3,50	1,80	62,30	20,40	0,30	1,70	72,70	20,40	0,03	0,10	80,00	0,80	26,30	2,20	15,00	75,00	100,00
3,35	30,30	30,30	4,20	10,40	67,00	7,80	11,10	13,50	3,50	1,50	39,60	13,50	0,30	1,70	44,80	13,50	0,00	0,02	52,10	0,80	17,20	1,90	9,20	53,30	100,00

Nota: Datos obtenidos a partir del muestreo realizado en la planta concentradora.

Tabla 8

Análisis Granulométrico de Circuito Línea 1 de Molienda

Flujos	Molino Primario 1		Flotación unitaria Pb				ZAF 1			Molino Sec. 1		ZAF 2			Molino Sec. 2		ZAF 3			Molino Sec. 3			Flotación SK1 Pb			Producto final línea 1
	Alim MP01	Prod MP01	Bypass MP01	Alim Unitario 1	Conc Unitario 1	Rej Unitario 1	Alim ZAF 1,2 y 3	ZAF 1 - O/S	U/S ZAF 1,2 y 3	Alim MS01	Prod MS01	Alim ZAF 1,2 y 3	ZAF 2 - O/S	U/S ZAF 1,2 y 3	Alim MS02	Prod MS02	Alim ZAF 1,2 y 3	ZAF 3 - O/S	U/S ZAF 1,2 y 3	Alim MS03	Prod MS03	Alim SK1	Conc SK1	Rej SK1		
Tamaño (mm)	Porcentaje pasante acumulado																									
12,70	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
9,53	99,25	99,98	99,98	99,98	100,00	99,98	99,99	99,97	100,00	99,97	99,99	99,99	99,97	100,00	99,97	99,98	99,99	99,97	100,00	99,97	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
8,00	95,83	99,91	99,91	99,91	100,00	99,91	99,94	99,85	100,00	99,85	99,96	99,94	99,86	100,00	99,86	99,95	99,94	99,86	100,00	99,86	99,96	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
6,35	86,13	99,67	99,67	99,67	100,00	99,67	99,78	99,49	100,00	99,49	99,87	99,78	99,51	100,00	99,51	99,84	99,78	99,50	100,00	99,50	99,91	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
4,75	73,80	99,27	99,27	99,27	100,00	99,27	99,53	98,90	100,00	98,90	99,77	99,53	98,96	100,00	98,96	99,70	99,53	98,94	100,00	98,94	99,86	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
3,36	61,55	98,54	98,54	98,54	100,00	98,54	99,08	97,83	100,00	97,83	99,58	99,08	97,94	100,00	97,94	99,43	99,08	97,90	100,00	97,90	99,78	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2,00	48,07	96,43	96,43	96,43	100,00	96,43	97,73	94,67	100,00	94,67	98,97	97,73	94,94	100,00	94,94	98,51	97,73	94,83	100,00	94,83	99,51	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1,18	38,67	91,72	91,72	91,72	99,96	91,72	94,45	86,94	100,00	86,94	96,92	94,45	87,60	100,00	87,60	95,47	94,45	87,34	100,00	87,34	98,42	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
0,71	32,77	83,47	83,47	83,47	99,93	83,47	87,73	71,11	100,00	71,11	90,60	87,73	72,57	100,00	72,57	86,74	87,73	72,01	100,00	72,01	94,18	100,00	99,95	100,00	100,00	100,00
0,43	27,55	71,70	71,70	71,70	99,80	71,70	75,72	43,11	99,82	43,11	74,33	75,72	45,93	99,88	45,93	66,55	75,72	44,81	99,85	44,81	81,20	99,85	99,88	99,85	99,85	99,85
0,30	24,71	63,14	63,14	63,14	99,58	63,14	65,24	23,71	95,91	23,71	58,45	65,24	26,69	96,46	26,69	48,47	65,24	26,05	95,81	26,05	67,09	96,10	99,71	96,10	96,10	96,10
0,21	21,97	54,81	54,81	54,81	98,96	54,81	55,37	15,99	84,46	15,99	46,68	55,37	18,71	85,08	18,71	37,12	55,37	18,78	83,92	18,78	55,58	84,55	98,85	84,55	84,55	84,55
0,15	19,35	47,15	47,15	47,15	97,60	47,15	46,80	12,64	72,03	12,64	37,81	46,80	15,05	72,52	15,05	29,70	46,80	15,27	71,40	15,27	45,92	72,05	94,11	72,05	72,05	72,05
0,11	16,62	40,09	40,09	40,09	94,23	40,09	39,35	10,39	60,75	10,39	30,89	39,35	12,46	61,15	12,46	24,26	39,35	12,69	60,16	12,69	37,89	60,74	86,01	60,74	60,74	60,74
0,07	14,23	33,86	33,86	33,86	85,84	33,86	33,00	8,63	51,00	8,63	25,35	33,00	10,39	51,32	10,39	20,00	33,00	10,59	50,48	10,59	31,19	50,98	76,38	50,98	50,98	50,98
0,05	12,30	28,91	28,91	28,91	73,97	28,91	28,05	7,31	43,38	7,31	21,26	28,05	8,81	43,65	8,81	16,85	28,05	8,99	42,93	8,99	26,17	43,36	66,81	43,36	43,36	43,36
0,04	10,74	24,81	24,81	24,81	66,47	24,81	23,99	6,24	37,10	6,24	17,96	23,99	7,52	37,33	7,52	14,29	23,99	7,67	36,71	7,67	22,09	37,08	59,29	37,08	37,08	37,08

Nota: Datos obtenidos a partir del muestreo realizado en la planta concentradora.

Tabla 9

Análisis Granulométrico de Circuito Línea 2 de Molienda

Flujos	Molino Primario 2		Flotación unitaria 2 Pb				ZAF 4			ZAF 5			ZAF 6			ZAF 7			Molino Sec. 4		Molino Sec. 5		Flotación SK2 Pb			Producto final línea 2	
	Alim MP02	Prod MP02	Bypass MP02	Alim Unitario 2	Conc Unitario 2	Rej Unitario 2	ZAF 4 - Alim	ZAF 4 - O/S	ZAF 4 - U/S	ZAF 5 - Alim	ZAF 5 - O/S	ZAF 5 - U/S	ZAF 6 - Alim	ZAF 6 - O/S	ZAF 6 - U/S	ZAF 7 - Alim	ZAF 7 - O/S	ZAF 7 - U/S	Alim MS04	Prod MS04	Alim MS05	Prod MS05	Alim SK2	Conc SK2	Rej SK2		
Tamaño (mm)	Porcentaje pasante acumulado																										
12,70	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
9,53	99,83	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,99	100,00	100,00	99,99	100,00	100,00	99,99	100,00	99,99	100,00	99,99	100,00	99,99	99,99	99,99	99,99	100,00	99,99	100,00	100,00
8,00	97,24	99,97	99,97	99,97	100,00	99,97	99,97	99,95	100,00	99,97	99,95	100,00	99,97	99,95	100,00	99,97	99,95	100,00	99,95	99,98	99,95	99,97	99,96	100,00	99,96	100,00	100,00
6,35	87,54	99,81	99,81	99,81	100,00	99,81	99,88	99,79	100,00	99,88	99,79	100,00	99,88	99,80	100,00	99,88	99,80	100,00	99,79	99,93	99,79	99,88	99,84	100,00	99,84	100,00	100,00
4,75	79,57	99,63	99,63	99,63	100,00	99,63	99,77	99,61	100,00	99,77	99,61	100,00	99,77	99,62	100,00	99,77	99,63	100,00	99,62	99,87	99,62	99,78	99,69	100,00	99,69	100,00	100,00
3,36	69,64	99,25	99,25	99,25	100,00	99,25	99,54	99,23	100,00	99,54	99,22	100,00	99,54	99,25	100,00	99,54	99,27	100,00	99,24	99,76	99,24	99,56	99,38	100,00	99,38	100,00	100,00
2,00	57,78	98,06	98,06	98,06	100,00	98,06	98,80	97,97	100,00	98,80	97,95	100,00	98,80	98,03	100,00	98,80	98,07	100,00	98,01	99,35	98,01	98,81	98,43	100,00	98,43	100,00	100,00
1,18	48,00	94,98	94,98	94,98	99,96	94,98	96,52	94,12	100,00	96,52	94,07	100,00	96,52	94,28	100,00	96,52	94,40	100,00	94,22	97,83	94,22	96,21	95,86	99,97	95,86	100,00	100,00
0,71	41,02	88,77	88,77	88,77	99,92	88,77	90,33	83,66	100,00	90,33	83,52	100,00	90,33	84,11	100,00	90,33	84,44	100,00	83,94	92,55	83,94	88,31	90,16	99,91	90,16	100,00	100,00
0,43	34,37	78,46	78,46	78,46	99,87	78,46	75,30	58,57	99,49	75,30	58,33	99,31	75,30	59,93	99,15	75,30	60,60	99,39	59,39	76,74	59,39	67,95	79,16	99,84	79,16	99,34	100,00
0,30	30,56	70,07	70,07	70,07	99,81	70,07	61,70	39,31	94,09	61,70	39,24	93,49	61,70	40,78	94,16	61,70	41,60	94,63	40,26	61,18	40,26	50,61	69,31	99,79	69,31	94,08	100,00
0,21	26,94	61,36	61,36	61,36	99,56	61,36	50,74	28,90	82,33	50,74	28,73	81,90	50,74	29,00	84,47	50,74	30,16	84,46	29,22	48,77	29,22	38,91	59,88	99,74	59,88	83,25	100,00
0,15	23,47	52,94	52,94	52,94	98,37	52,94	42,02	22,90	69,68	42,02	22,62	69,49	42,02	21,99	73,09	42,02	23,39	72,54	22,74	39,31	22,74	31,04	51,14	99,46	51,14	71,14	100,00
0,11	20,44	45,36	45,36	45,36	94,40	45,36	35,04	18,75	58,60	35,04	18,44	58,53	35,04	17,45	62,32	35,04	18,88	61,51	18,39	32,07	18,39	25,41	43,44	97,55	43,44	60,18	100,00
0,07	17,57	38,41	38,41	38,41	86,35	38,41	29,17	15,48	48,98	29,17	15,18	48,98	29,17	14,11	52,54	29,17	15,44	51,67	15,06	26,29	15,06	20,98	36,56	91,96	36,56	50,49	100,00
0,05	15,05	32,70	32,70	32,70	76,77	32,70	24,64	13,01	41,45	24,64	12,74	41,48	24,64	11,72	44,68	24,64	12,92	43,84	12,60	22,01	12,60	17,70	31,03	83,38	31,03	42,82	100,00
0,04	13,18	28,11	28,11	28,11	68,84	28,11	21,01	11,07	35,39	21,01	10,83	35,42	21,01	9,89	38,26	21,01	10,95	37,48	10,69	18,60	10,69	15,08	26,57	75,86	26,57	36,59	100,00

Nota: Datos obtenidos a partir del muestreo realizado en la planta concentradora.

Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

4.1 Resultados

Se obtuvieron los siguientes resultados: Balance de masa del caso base del circuito de chancado (Anexo 1), balance de masa detallado del circuito de chancado (Anexo 2), curvas granulométricas (Anexo 3), eficiencias de las zarandas (Anexo 4), balance de masa del circuito 1 de molienda (Anexo 5) y balance de masa del circuito 2 de molienda (Anexo 6). Los resultados de simulaciones del circuito de chancado y molienda se muestran a continuación.

4.1.1 Escenarios simulados chancado

Escenarios simulados para el circuito de chancado, buscando la mejoría del desempeño del proceso, así como también aumento de la capacidad del circuito.

4.1.1.1 Alternativa A: escenarios de corto plazo y/o baja inversión.

Escenarios con modificaciones del proceso de corto plazo y/o baja inversión, o sea, no hay implementación de nuevos equipos o configuración de layout del circuito.

El cierre de los Setting de las chancadoras terciarias para 10 mm promueve significativamente la reducción de carga circulante, por consiguiente, posibilita el gano de capacidad del circuito.

La reducción de setting de la chancadora secundaria para 18, 17 y 16 mm promueven mayor fragmentación, todo esto implica una reducción poco significativa de carga circulante en las chancadoras terciarias.

Mejora o cambio de la zaranda secundaria 3 para operar con el desempeño de las zarandas secundarias 1 y 2, implica una ganancia de capacidad global en el circuito de chancado en 5 t/h de modo estable y sustentable.

La generación de un P80 de producto final combinado de 5,50 mm, aproximadamente, da una pérdida significativa de la capacidad del circuito.

Tabla 10*Escenarios Simulados de la Alternativa A - Chancado*

Escenarios	Descripción	Alimentación de sólidos (t/h)	Carga circulante		P80 de producto final (mm)
			(t/h)	(%)	
	Caso Base	315	506	259	6.84
Escenario A-1	Cierre de APF de CH 3-1 para 11 mm	315	459	235	6.90
Escenario A-2	Cierre de APF de CH 3-1 para 10 mm	315	416	213	6.72
Escenario A-3	Cierre de APF de CH 3-2 para 10 mm	315	476	244	6.59
Escenario A-4	Cierre de APF de CH 2 para 18 mm	315	500	256	6.85
Escenario A-5	Cierre de APF de CH 2 para 17 mm	315	494	253	6.88
Escenario A-6	Cierre de APF de CH 2 para 16 mm	315	486	249	6.87
Escenario A-7	Mejora de eficiencia de la ZAR 2-3 (mallas auto limpiantes en el segundo deck y distribución regular en la alimentación del material)	315	498	255	6.90
Escenario A-8	Cierre de Setting de las CH 3-1 y CH 3-2 para 10 mm	315	397	201	6.90
Escenario A-9	Cierre de Setting de las CH 3-1 y CH 3-2 para 10 mm + mejora de eficiencia de la ZAR 2-2	315	392	201	6.61
Escenario A-10	Capacidad del circuito para cerrar los Setting de las CH 3-1 y CH 3-2 para 10 mm	340	428	203	6.65
Escenario A-11	Capacidad del circuito para cerrar los Setting de las CH 3-1 y CH 3-2 para 10 mm + mejora de eficiencia de la ZAR 2-3	345	429	201	6.65
Escenario A-12	Capacidad del circuito para cerrar los paneles de los segundos decks para 9.00 mm	190	509	414	5.53
Escenario A-13	Capacidad del circuito para cerrar los paneles de los segundos decks para 9.00 mm + cierre de los Setting de las CH 3-1 y CH 3-2 para 10 mm	255	458	281	5.53
Escenario A-14	Capacidad del circuito para cerrar los paneles de los segundos decks para 9.00 mm + cierre de los Setting de las CH 3-1 y CH 3-2 para 10 mm + mejora de eficiencia de la ZAR 2-3	260	459	275	5.44

Nota: Datos obtenidos a partir de la simulación en el software JKSimmet.

4.1.1.2 Alternativa B: Sustitución de la CH 3-2 sandvik CH440 por una sandvik CH660. Escenarios con sustitución de chancadora terciaria 2 (sandvik CH440) por una chancadora sandvik CH660.

El cierre de los Setting de las chancadoras terciarias para 10 mm promueve significativamente la reducción de carga circulante, por consiguiente, posibilita el gano de capacidad del circuito.

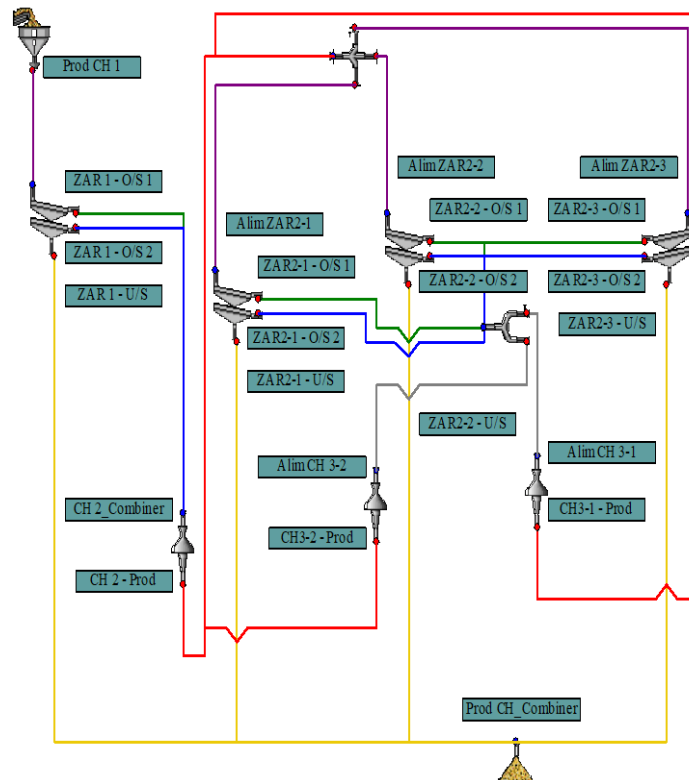
La reducción de setting de la chancadora secundaria para 18, 17 y 16 mm promueven mayor fragmentación, todo esto implica una reducción poco significativa de carga circulante en las chancadoras terciarias.

Mejora o cambio de la zaranda secundaria 3 para operar con el desempeño de las zarandas secundarias 1 y 2, implica una ganancia de capacidad global en el circuito de chancado en 5 t/h de modo estable y sustentable.

La generación de un P80 de producto final combinado de 5,50 mm, aproximadamente, da una pérdida significativa de la capacidad do circuito.

Figura 15

Flujograma del Proceso Simulado de la alternativa B



Nota: Fuente elaboración propia (diagrama de flujo elaborado en JKSimmet)

Tabla 11*Escenarios simulados de la alternativa B - Chancado*

Escenarios	Descripción	Alimentación de sólidos (t/h)	Carga circulante		P80 de producto final (mm)
			(t/h)	(%)	
	Caso Base	315	506	259	6.84
Escenario B-1	Cierre de APF de CH 3-1 para 11 mm	315	424	217	6.62
Escenario B-2	Cierre de APF de CH 3-1 para 10 mm	315	396	203	6.62
Escenario B-3	Cierre de APF de CH 3-2 para 10 mm	315	421	216	6.54
Escenario B-4	Cierre de APF de CH 2 para 18 mm	315	449	230	6.60
Escenario B-5	Cierre de APF de CH 2 para 17 mm	315	444	227	6,71
Escenario B-6	Cierre de APF de CH 2 para 16 mm	315	437	224	6.73
Escenario B-7	Mejora de eficiencia de la ZAR 2-3 (mallas auto limpiantes en el segundo deck y distribución regular en la alimentación del material)	315	447	229	6.76
Escenario B-8	Cierre de Setting de las CH 3-1 y CH 3-2 para 10 mm	315	372	190	6.72
Escenario B-9	Cierre de Setting de las CH 3-1 y CH 3-2 para 10 mm + mejora de eficiencia de la ZAR 2-2	315	367	188	6.51
Escenario B-10	Capacidad del circuito para cerrar los Setting de las CH 3-1 y CH 3-2 para 10 mm	410	484	190	6.47
Escenario B-11	Capacidad del circuito para cerrar los Setting de las CH 3-1 y CH 3-2 para 10 mm + mejora de eficiencia de la ZAR 2-3	415	484	188	6.51
Escenario B-12	Capacidad del circuito para cerrar los paneles de los segundos decks para 9.00 mm	230	522	351	5.38
Escenario B-13	Capacidad del circuito para cerrar los paneles de los segundos decks para 9.00 mm + cierre de los Setting de las CH 3-1 y CH 3-2 para 10 mm	315	479	239	5.35
Escenario B-14	Capacidad del circuito para cerrar los paneles de los segundos decks para 9.00 mm + cierre de los Setting de las CH 3-1 y CH 3-2 para 10 mm + mejora de eficiencia de la ZAR 2-3	320	485	238	5.50

Nota: Datos obtenidos a partir de la simulación en el software JKSimmet.

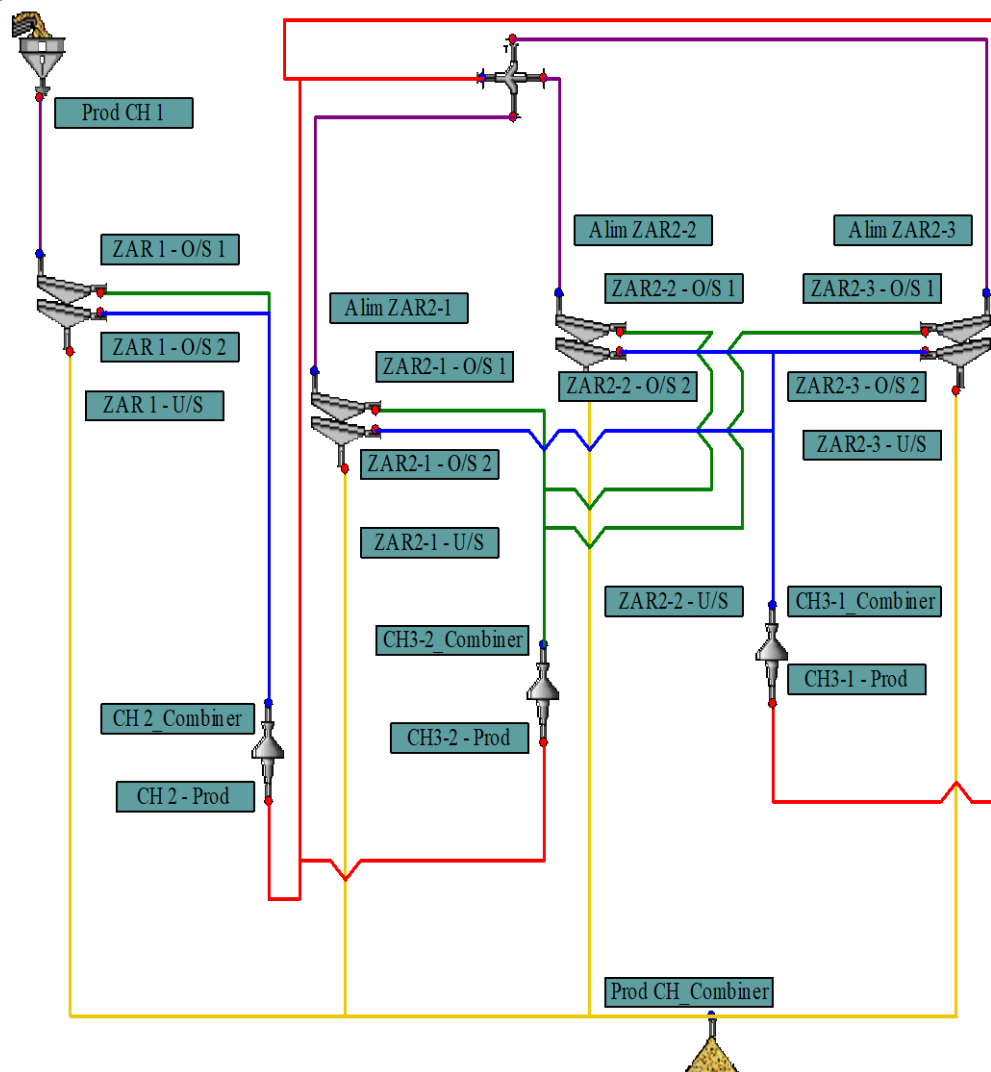
4.1.1.3 Alternativa C: O/Ss 1° decks CH 3-2 (CH440) y O/Ss 2° decks CH 3-1 (CH660). Escenarios con modificaciones de layout donde los oversizes de los primeros decks de las zarandas secundarias son encaminados para una chancadora terciaria y los oversizes de los segundos decks son encaminados para la otra chancadora terciaria.

La reducción de las aberturas de los paneles de los primeros decks de las zarandas secundarias para malla 20x20 mm, promueve alivio para los decks inferiores y asimismo mejor desempeño en estos decks, sin perjudicar el desempeño de los primeros decks.

Para los equipos actuales, esta configuración implica capacidades de 5 t/h superior a la configuración actual.

Figura 16

Flujograma del Proceso Simulado de la alternativa C



Nota: Fuente elaboración propia (diagrama de flujo elaborado en JKSimmet)

Tabla 12*Escenarios Simulados de la alternativa C - Chancado*

Escenarios	Descripción	Alimentación de sólidos (t/h)	Carga circulante		P80 de producto final (mm)
			(t/h)	(%)	
	Caso Base	315	506	259	6.84
Escenario C-1	Capacidad del circuito para oversizes de los 1° decks para CH 3-2 y oversizes de los 2° decks para CH 3-1	275	399	234	6.68
Escenario C-2	Capacidad del circuito para oversizes de los 1° decks para CH 3-2 y oversizes de los 2° decks para CH 3-1 + cierre de los Setting de las CH 3-1 y CH 3-2 para 10 mm	300	345	185	6.44
Escenario C-3	Capacidad del circuito para oversizes de los 1° decks para CH 3-2 y oversizes de los 2° decks para CH 3-1 + cierre de los Setting de las CH 3-1 y CH 3-2 para 10 mm + paneles de los 1° decks para 20x20 mm	345	417	195	6.52
Escenario C-4	Capacidad del circuito para oversizes de los 1° decks para CH 3-2 y oversizes de los 2° decks para CH 3-1 + cierre de los Setting de las CH 3-1 y CH 3-2 para 10 mm + paneles de los 1° decks para 20x20 mm + mejora de la eficiencia de la ZAR 2-3	350	419	193	6.57
Escenario C-5	Capacidad del circuito para oversizes de los 1° decks para CH 3-2 y oversizes de los 2° decks para CH 3-1 + cierre de los Setting de las CH 3-1 y CH 3-2 para 10 mm + paneles de los 1° decks para 20x20 mm + mejora de la eficiencia de la ZAR 2-3 + cierre de los paneles de los segundos decks para 9.00 mm	255	381	235	5.52

Nota: Datos obtenidos a partir de la simulación en el software JKSimmet.

4.1.1.4 Alternativa D: Cierre de malla de voladura. Escenarios con cierre de malla de voladura de modo que proporcionan un producto de chancado primario con un menor P80 y mayor cantidad de finos (<9.52 mm).

La mayor cantidad de finos en el producto de chancado primario, proveniente de cerrar la malla de voladura, promueve reducción de carga circulante, por consiguiente, posibilita ganancia de capacidad del circuito.

Realizar pruebas industriales para cuantificar la generación de finos en voladura, proveniente del cierre de malla.

Tabla 13

Distribución Granulométrica Simulaciones alternativa D - Chancado

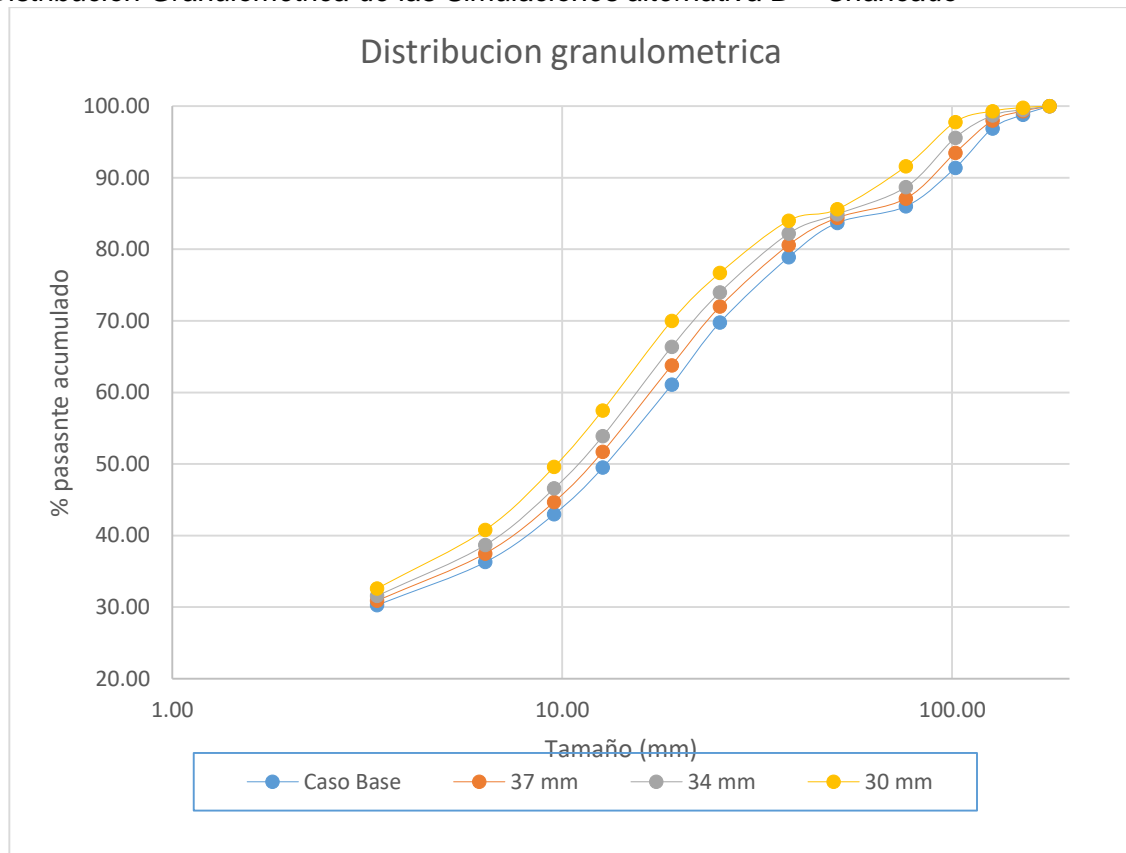
Tamaño (mm)	Escenarios F80			
	Caso Base	37 mm	34 mm	30 mm
178.00	100.00	100.00	100.00	100.00
152.00	98.80	99.30	99.50	99.80
127.00	96.90	98.00	98.70	99.30
102.00	91.40	93.50	95.60	97.80
76.20	86.00	87.10	88.70	91.60
50.80	83.70	84.40	84.90	85.60
38.10	78.90	80.60	82.20	84.00
25.40	69.80	72.00	74.00	76.70
19.10	61.10	63.80	66.40	70.00
12.70	49.50	51.70	53.90	57.50
9.53	43.00	44.70	46.60	49.60
6.35	36.30	37.50	38.70	40.80
3.35	30.30	30.90	31.60	32.60
d80 (mm)	40.50	36.90	34.00	30.30

Nota: Datos obtenidos a partir de la simulación en el software JKSimmet.

La figura 17 nos muestra la distribución granulométrica de tamaño vs % pasante acumulado de las simulaciones con el cierre de malla de voladura.

Figura 17

Distribución Granulométrica de las Simulaciones alternativa D – Chancado



Nota: Datos obtenidos a partir de la simulación en el software JKSimmet.

Tabla 14

Escenarios Simulados de la alternativa D – Chancado

Escenarios	Descripción	Alimentación de sólidos (t/h)	% < 9.52 mm en el Producto CH 1	Carga circulante		P80 de producto final (mm)
				(t/h)	(%)	
	Caso Base	315	43.00	506	259	6.84
Escenario D-1	Cierre de malla de voladura que produce P80 de CH 1 de 37 mm	315	44.70	493	259	6.86
Escenario D-2	Capacidad del circuito para cierre de malla de voladura que produce P80 de CH 1 de 37 mm + cierre de los Setting de las CH 3-1 y CH 3-2 para 10 mm	345	44.70	424	203	6.63
Escenario D-3	Capacidad del circuito para cierre de malla de voladura que produce P80 de CH 1 de 37 mm + cierre de los Setting de las CH 3-1 y CH 3-2 para 10 mm + mejora de la eficiencia de la ZAR 2-3	350	44.70	424	201	6.67
Escenario D-4	Capacidad del circuito para cierre de malla de voladura que produce P80 de CH 1 de 37 mm + cierre de los paneles de los segundos decks para 9 mm + cierre de los Setting de las CH 3-1 y CH 3-2 para 10 mm + mejora de la eficiencia de la ZAR 2-3	250	44.70	439	280	5.50
Escenario D-5	Cierre de malla de voladura que produce P80 de CH 1 de 34 mm	315	46.60	479	259	6.87
Escenario D-6	Capacidad del circuito para cierre de malla de voladura que produce P80 de CH 1 de 34 mm + cierre de los Setting de las CH 3-1 y CH 3-2 para 10 mm	350	46.60	417	203	6.65
Escenario D-7	Capacidad del circuito para cierre de malla de voladura que produce P80 de CH 1 de 34 mm + cierre de los Setting de las CH 3-1 y CH 3-2 para 10 mm + mejora de la eficiencia de la ZAR 2-3	355	46.60	418	200	6.69
Escenario D-8	Capacidad del circuito para cierre de malla de voladura que produce P80 de CH 1 de 34 mm + cierre de los paneles de los segundos decks para 9 mm + cierre de los Setting de las CH 3-1 y CH 3-2 para 10 mm + mejora de la eficiencia de la ZAR 2-3	255	46.60	438	281	5.53
Escenario D-9	Cierre de malla de voladura que produce P80 de CH 1 de 30 mm	315	49.60	456	258	6.88
Escenario D-10	Capacidad del circuito para cierre de malla de voladura que produce P80 de CH 1 de 30 mm + cierre de los Setting de las CH 3-1 y CH 3-2 para 10 mm	370	49.60	420	202	6.67
Escenario D-11	Capacidad del circuito para cierre de malla de voladura que produce P80 de CH 1 de 30 mm + cierre de los Setting de las CH 3-1 y CH 3-2 para 10 mm + mejora de la eficiencia de la ZAR 2-3	375	49.60	420	200	6.71
Escenario D-12	Capacidad del circuito para cierre de malla de voladura que produce P80 de CH 1 de 30 mm + cierre de los paneles de los segundos decks para 9 mm + cierre de los Setting de las CH 3-1 y CH 3-2 para 10 mm + mejora de la eficiencia de la ZAR 2-3	260	49.60	435	285	5.54

Nota: Datos obtenidos a partir de la simulación en el software JKSimmet.

4.1.2 Escenarios simulados molienda

Escenarios simulados para el circuito de molienda, buscando la mejoría del desempeño del proceso, así como también aumento de la capacidad del circuito.

Tabla 15

Escenarios Simulados para Molienda

Grupo	Parámetros	valor	Simulación	
			Mismo Flujo	Maximo Flujo
A. Mejores practicas	-Porcentajes de solidos de las zarandas	53%	SIM A1.1	SIM A1.2
	-Porcentajes de sólidos en los molinos	75%	SIM A2.1	SIM A2.2
	-Combinado	53% para ZAFs y 75% para molinos	SIM A3.1	SIM A3.2
B. Alteraciones de condiciones operacionales	-Diámetro de bolas de reposición - MP	40% 3" + 60% 2.5"	SIM B1.1	SIM B1.2
	-Diámetro de bolas de reposición - MS	40% 2" + 60% 1.5"	SIM B2.1	SIM B2.2
	-Cierre de paneles de las zarandas	50% 0.30 mm + 50% 0.23 mm	SIM B3.1	SIM B3.2
	-Producto de chancado	F80 = 7 mm	SIM B4.1	SIM B4.2
	-Producto de chancado	F80 = 8 mm	SIM B5.1	SIM B5.2
C. Alteración de ruta de flujo	-Split MS1 y MS2, split MS4 y MS5	36.2% para MS1 y MS2 / 60% para MS4	SIM C1.1	SIM C1.2
	-Producto de MS3	30% retornando para la L1 y 70% para SK2	SIM C2.1	SIM C2.2
	-Retorno de relave SK1 (Combinado)	100% para flotación bulk + SIM C2	SIM C3.1	SIM C3.2
D. Simulaciones combinadas	-Porcentaje de solidos + relave SK1 + MS3 30%	-	-	SIM D1.2
	-Porcentaje de solidos + relave SK1 + MS3 30% + Dbolas MP y MS	-	-	SIM D2.2

Nota: Datos obtenidos de las alternativas a partir de la simulación en el software JKSimmet.

4.1.2.1 Alternativa A: escenarios de corto plazo y/o baja inversión.

Escenarios con modificaciones del proceso de corto plazo y/o baja inversión, o sea, no hay implementación de nuevos equipos o configuración de layout del circuito.

La dilución de alimentación de las zarandas de alta frecuencia y la corrección de operación de los sprays de lavado para 53% sólidos culminan en un potencial de aumento de 12 t/h en la alimentación de la línea 2.

El aumento de los porcentajes de sólidos de los molinos para 74.5%, cuando la dilución del flujo anterior lo permite, revierte en un aumento de 16 t/h de alimentación nueva de circuito, siendo 6 t/h en la línea 1 y 10 t/h en la línea 2.

La combinación de las medidas anteriores ofrece un potencial de aumento de 28 t/h (11.7%) en el circuito de molienda.

Para este flujo de sólidos, la adición de agua fue elevada de 191 m³/h para 228 m³/h (19.4%).

Tabla 16*Escenarios Simulados de la alternativa A - Molienda*

Escenarios	Simulación	Tipo	Flujo de alimentación nueva (tph)			P80 producto combinado (mm)	Carga circulante			Consumo de agua (molino y zaranda) Total (m3/h)
			Total	Línea 1	Línea 2		Total	Línea 1	Línea 2	
Caso Base	CB	Tal cual	240	120	120	0.189	124	80	151	191
% sólidos en las ZAFs 4,5,6 y 7 = 53%	SIM A1.1	Mismo flujo	240	120	120	0.189	92	80	100	266
% sólidos en los molinos = 74.5 %	SIM A2.1	Mismo flujo	240	120	120	0.189	84	59	101	111
Combinado de SIM A1.1 y A2.1	SIM A3.1	Mismo flujo	240	120	120	0.189	62	59	65	175
% sólidos en las ZAFs 4,5,6 y 7 = 53%	SIM A1.2	Capacidad	252	120	132	0.189	109	80	126	310
% sólidos en los molinos = 74.5 %	SIM A2.2	Capacidad	256	126	130	0.189	94	62	115	122
Combinado de SIM A1.2 y A2.2	SIM A3.2	Capacidad	268	126	142	0.189	79	62	90	228

Nota: Datos obtenidos de las alternativas a partir de la simulación en el software JKSimmet.

4.1.2.2 Alternativa B: Alteraciones de condiciones operacionales.

Escenarios con alteración de tamaño de bolas de reposición, cambio de mallas de ZAFs y abertura de paneles de las zarandas de chancado.

El régimen de reposición de bolas (aumento de bolas pequeñas), presentan ganancia de 3 t/h (MP) y 12 t/h (MS).

El uso de paneles de 0.23 mm (50%) resulto con la reducción de flujo de alimentación (21 t/h a menos), sim embargo el producto obtenido fue más fino (P80 = 0.168 mm).

La entrega de un producto más grueso por parte de chancado (7mm) ocasiona la reducción de flujo (4 t/h a menos).

Un producto de chancado aún más grueso (8mm), resulto en 7 t/h a menos en la alimentación nueva.

La combinación de alimentación más gruesa con el aumento de diámetro de bolas no resulta en beneficios para el circuito.

Tabla 17

Escenarios Simulados de la alternativa B - Molienda

Escenarios	Simulación	Tipo	Flujo de alimentación nueva (tph)			P80 producto combinado (mm)	Carga circulante			Consumo de agua (molino y zaranda) Total (m3/h)
			Total	Línea 1	Línea 2		Total	Línea 1	Línea 2	
Caso Base	CB	Tal cual	240	120	120	0.189	124	80	151	191
Diámetro de bolas de reposición - MP (40% 3" + 60% 2.5%)	SIM B1.1	Mismo flujo	240	120	120	0.189	118	77	143	185
Diámetro de bolas de reposición - MS (40% 2" + 60% 1.5%)	SIM B2.1	Mismo flujo	240	120	120	0.189	100	74	117	176
Cierre de paneles de las zarandas (50% 0.30 mm + 50% 0.23 mm)	SIM B3.1	Mismo flujo	240	120	120	0.189	233	103	305	268
Producto de chancado (F80 = 7 mm)	SIM B4.1	Mismo flujo	240	120	120	0.189	138	82	172	204
Producto de chancado (F80 = 8 mm)	SIM B5.1	Mismo flujo	240	120	120	0.190	146	85	184	213
Diámetro de bolas de reposición - MP (40% 3" + 60% 2.5%)	SIM B1.2	Capacidad	243	122	121	0.189	123	79	150	193
Diámetro de bolas de reposición - MS (40% 2" + 60% 1.5%)	SIM B2.2	Capacidad	252	124	128	0.189	113	77	134	189
Cierre de paneles de las zarandas (50% 0.30 mm + 50% 0.23 mm)	SIM B3.2	Capacidad	219	115	104	0.168	147	100	176	199
Producto de chancado (F80 = 7 mm)	SIM B4.2	Capacidad	236	119	117	0.190	127	81	155	191
Producto de chancado (F80 = 8 mm)	SIM B5.2	Capacidad	233	118	115	0.190	127	82	155	190

Nota: Datos obtenidos de las alternativas a partir de la simulación en el software JKSimmet.

4.1.2.3 Alternativa C: Alteraciones de dirección de flujo. Escenarios con modificaciones en la ruta de flujos manejables (splits entre molinos, split de producto de MS3, split de relave SK1).

El ajuste de la alimentación de flujo de las ZAF 1 y 2 resulta en un ganano modesto de 3 t/h.

La distribución de producto de MS3 no resulto en ganano directo de producción, entretanto, fue necesario para el escenario simulado, SIM C3.2, donde fue removida la recirculación de relave de la SK1.

Tal remoción de relave SK1 determino un ganano de 10 t/h, a ser incrementado en la línea 1.

Tabla 18

Escenarios Simulados de la alternativa C - Molienda

Escenarios	Simulación	Tipo	Flujo de alimentación nueva (tph)			P80 producto combinado (mm)	Carga circulante			Consumo de agua (molino y zaranda) Total (m3/h)
			Total	Línea 1	Línea 2		Total	Línea 1	Línea 2	
Caso Base	CB	Tal cual	240	120	120	0.189	124	80	151	191
Split ZAF (36.2%) ZAF (36.2%) y split MS4 (60%) y MS5 (40%)	SIM C1.1	Mismo flujo	240	120	120	0.189	118	77	143	185
Producto de MS3 (30% para línea 1 y 70% para flotación SK2)	SIM C2.1	Mismo flujo	240	120	120	0.189	100	74	117	176
Retorno de relave SK1 (Combinado): 100% de relave SK1 directo para flotación bulk; 30% de producto de MS3 para línea 1	SIM C3.1	Mismo flujo	240	120	120	0.190	146	85	184	213
Split ZAF (36.2%) ZAF (36.2%) y split MS4 (60%) y MS5 (40%)	SIM C1.2	Capacidad	243	122	121	0.190	123	80	150	193
Producto de MS3 (30% para línea 1 y 70% para flotación SK2)	SIM C2.2	Capacidad	240	113	127	0.189	127	86	153	189
Retorno de relave SK1 (Combinado): 100% de relave SK1 directo para flotación bulk; 30% de producto de MS3 para línea 1	SIM C3.2	Capacidad	250	130	120	0.189	131	94	159	238

Nota: Datos obtenidos de las alternativas a partir de la simulación en el software JKSimmet.

4.1.2.4 Alternativa D: Simulaciones combinadas, mejor performance.

Escenarios combinados, con visión en el máximo ganó de capacidad.

La combinación de simulaciones de:

- SIM A1.2 - % sólidos zarandas = 53%.
- SIM A2.2 - % sólidos molinos = 74.5%.
- SIM C2.2 – Remoción de relaves SK1 para la flotación bulk.
- SIM C3.2 – Direccíonamiento de 30% del producto de MS3 para la línea 1 y 70% para la flotación SK2.

Resultado en un potencial de aumento de 36 t/h de alimentación nueva, siendo 12 t/h en la línea 1 y 24 t/h en la línea 2.

A esta combinación se le incluye una mayor participación de bolas pequeñas en los molinos.

- SIM B1.2 - 40% 3" + 60% 2.5" en los MP.
- SIM B1.2 - 40% 2" + 60% 1.5" en los M.

Obteniéndose un potencial de aumento de hasta 46 t/h (condicionado a limitantes como manejo y competencia de mineral).

Tabla 19*Escenarios Simulados de la alternativa D - Molienda*

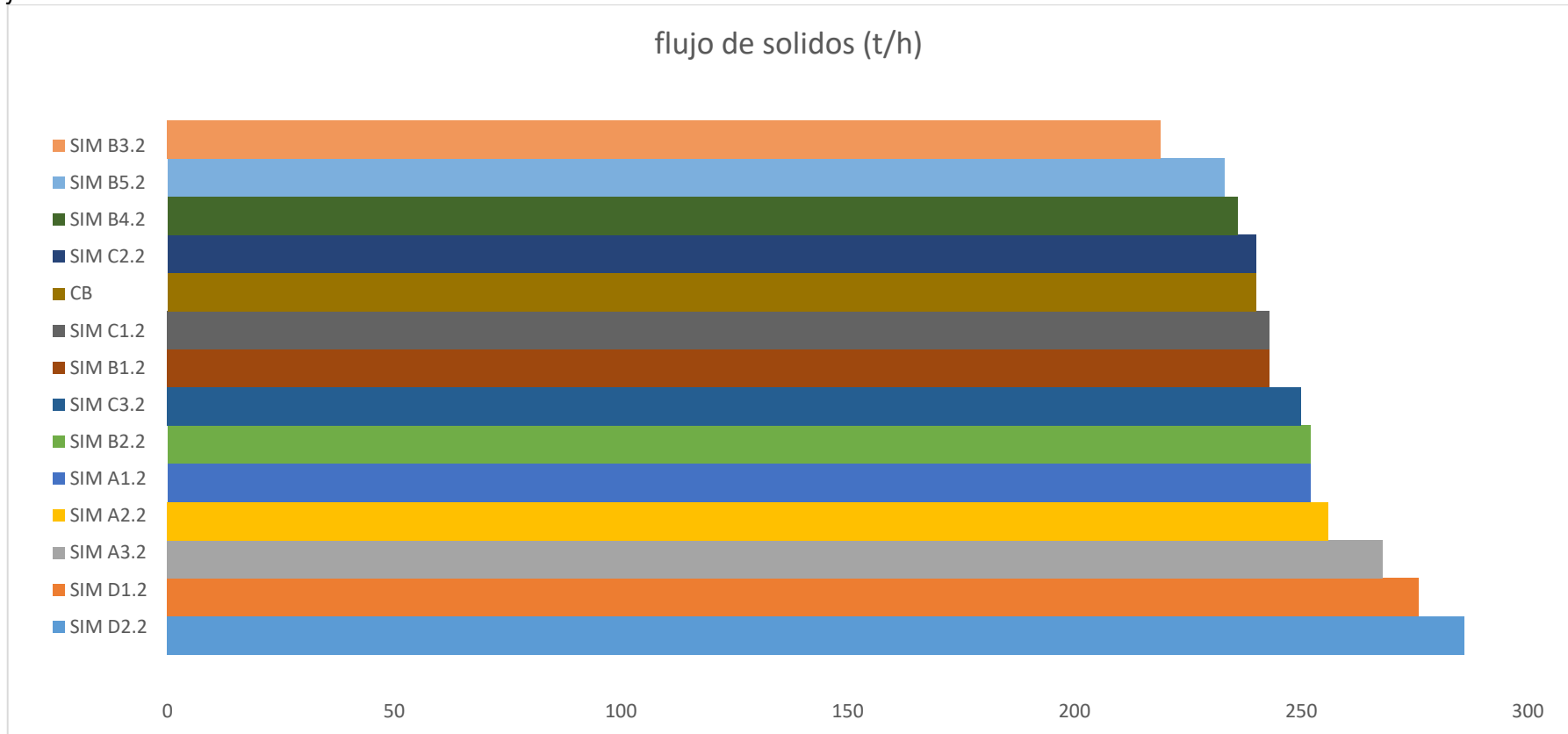
Escenarios	Simulación	Tipo	Flujo de alimentación nueva (tph)			P80 producto combinado (mm)	Carga circulante			Consumo de agua (molino y zaranda) Total (m3/h)
			Total	Línea 1	Línea 2		Total	Línea 1	Línea 2	
Caso Base	CB	Tal cual	240	120	120	0.189	124	80	151	191
Porcentaje de solidos (molinos y zarandas) + relave SK1 + ms3 30% en la línea 1	SIM D1.2	Capacidad	276	132	144	0.189	81	64	92	255
Porcentaje de solidos (molinos y zarandas) + relave SK1 + ms3 30% en la línea 1 + Dboas para MP y MS	SIM D2.2	Capacidad	286	138	148	0.189	78	65	87	258

Nota: Datos obtenidos de las alternativas a partir de la simulación en el software JKSimmet.

La figura 18 nos muestra los diferentes flujos de solidos obtenidos de las simulaciones con respecto al caso base y se consolida las capacidades de flujo de mayor a menor (Anexo 7).

Figura 18

Flujo de Sólidos vs Simulaciones Molienda



Nota: Datos obtenidos a partir de la simulación en el software JKSimmet.

4.2 Consideraciones económicas.

Se detallará el costo - beneficio de los principales accesorios y equipos necesarios para mejorar el performance del circuito de conminución y clasificación.

4.2.1 Paneles de Zarandas

El costo unitario de paneles de las zarandas secundarias en el circuito de chancado de una abertura de 20x20mm es de US\$ 125.00 (Anexo 8).

4.2.1.1 Costos de mantenimiento. Costos por mantenimiento asciende a US\$ 72,000.00 anualmente debido a que se cambian los paneles cada trimestre.

Tabla 20

Costo de Mantenimiento de Paneles en las Zarandas

Parámetro	Zaranda	Zaranda	Zaranda
	Secundaria 1	Secundaria 2	Secundaria 3
Fabricante	Allis Chalmer	Allis Chalmer	Metso
Modelo	6' x 16' DD	6' x 16' DD	4 x 2.5 DD
Paneles 1° deck (cantidad)	48.00	48.00	48.00
Paneles 20x20mm precio unitario US\$	125.00	125.00	125.00
Costo de mantenimiento total anual US\$	24000.00	24000.00	24000.00

Nota: Datos obtenidos a partir de las cotizaciones de los paneles.

4.2.2 Chancadora Sandvik CH660

El costo por la adquisición e instalación de una nueva chancadora terciaria Hydrocone Sandvik CH660 es de US\$ 475,000.00 (Anexo 9).

Tabla 21

Precio de Chancadora Sandvik CH660

Equipamiento	Cantidad	US\$/Unidad	Subtotal
Chancadora Hydrocone Sandvik (CH660)	1	475000.00	475000.00
Monto a Invertir US\$			475000.00

Nota: Dato obtenido a partir de las cotizaciones de la chancadora.

4.2.2.1 Costos de ejecución. El costo por la ejecución de la adquisición e instalación será calculado a una tasa anual de préstamo del 15% por un periodo de 6 años, dando como resultado una cuota anual de US\$ 125,512.53.

Tabla 22*Cronograma de Pagos de la Chancadora CH660*

Años	Saldo	Amortización	Gasto Financiado	Cuota Anual
1	475000,00	54262,53	71250,00	125512,53
2	420737,47	62401,91	63110,62041	125512,53
3	358335,56	71762,20	53750,33388	125512,53
4	286573,36	82526,53	42986,00436	125512,53
5	204046,84	94905,51	30607,02543	125512,53
6	109141,33	109141,33	16371,19965	125512,53
Total		475000,00	278075,18	753075,18

Nota: Se considera el pago en 6 años debido a que su vida útil será de 10 a 15 años.

4.2.2.2 Costos de operación y mantenimiento.

El consumo eléctrico de los principales motores de la chancadora CH660 (Anexo 10) y el precio de los kW-h nos genera un costo total de US\$ 33,211.62 por año.

Tabla 23*Costos de Operación*

Costo de operación	kW-h	US\$/kW-h	Hrs/Mes	US\$/Mes	US\$/Año
Consumo de energía motores	242.27	0.02	672.00	2767.64	33211.62
Total					33211.62

Nota: Se consideraron los motores principales de la chancadora para los cálculos.

Los costos de aceite se consideran por año (Anexo 11) y los costos de repuestos de la chancadora varían entre el primer y segundo año, porque algunos de ellos tienen una durabilidad de 2 años (Anexo 12).

Tabla 24*Costos de Mantenimiento*

Costo de mantenimiento		1 Año	2 Año	3 Año	4 Año	5 Año	6 Año
Aceites	US\$	28750	28750	28750	28750	28750	28750
Repuestos	US\$	141296,7	126543,93	141296,7	126543,93	141296,7	126543,93
Total	US\$	170046,70	155293,93	170046,70	155293,93	170046,70	155293,93

Nota: Los costos de mantenimiento de repuestos se repiten cada dos años.

4.2.3 Costo de inversión

El costo de la inversión para la implementación de mejoras es de US\$ 475,000.00 el cual comprende principalmente la adquisición e instalación de una chancadora Sandvik CH660.

4.2.4 Análisis costo beneficio

Se calcula el incremento de tonelaje de tratamiento que se espera alcanzar con las modificaciones e implementación de equipos producto de las simulaciones realizadas, se asume el valor de 6500 TMD que sería el tratamiento alcanzado con las mejoras en los meses que no se cumplieron con la producción proyectada (Anexo 13) y se coloca el mismo valor en los meses que si se alcanzó la producción proyectada como por ejemplo en los meses de enero y diciembre del año 2018.

Tabla 25

Comparación de TMS mensuales en el año 2018

Mes	Días Trabajados	TMS sin modificación	TMS con modificación
Enero 2018	29	191042.59	191042.59
Febrero 2018	27	160182.15	175500.00
Marzo 2018	29	183986.41	188500.00
Abril 2018	29	181123.53	188500.00
Mayo 2018	30	174054.77	195000.00
Junio 2018	29	183869.88	188500.00
Julio 2018	29	178408.83	188500.00
Agosto 2018	29	170392.30	188500.00
Setiembre 2018	30	185058.25	195000.00
Octubre 2018	29	170743.39	188500.00
Noviembre 2018	29	184641.64	188500.00
Diciembre 2018	28	186424.10	186424.10
Total	347	2149927.84	2262466.69

Nota: Los datos de tratamiento son los acumulados durante el año 2018.

4.2.4.1 Alternativa A: Balance metalúrgico Anual sin modificación. Se considera el balance con las TMS anuales sin implementar ninguna modificación.

Tabla 26**Balance metalúrgico Anual sin modificación**

B.M. Acumulado	Productos	TMS	Leyes			Recuperaciones			
			Ag (Oz/T)	%Pb	%Cu	%Zn	Ag	%Pb	%Cu
CABEZA	2149927,84	1,92	0,98	0,15	3,03	100,00	100,00	100,00	100,00
Conc. Cu	2701,20	55,43	8,85	20,99	11,82	3,63	1,14	17,75	0,49
Conc. Pb	31662,23	75,30	52,56	1,54	6,31	57,80	79,10	15,26	3,06
Conc. Zn	115256,22	5,65	1,39	1,05	50,21	15,78	7,64	38,04	88,71
RELAVE	2000308,19	0,47	0,13	0,05	0,25	22,79	12,12	28,95	7,73

Nota: Los datos de leyes y recuperaciones son obtenidos del balance real del año 2018.

4.2.4.2 Alternativa B: Balance Anual metalúrgico Anual con modificación.

Se considera el balance con las TMS anuales implementando las modificaciones, el cual incrementa los concentrados como productos.

Tabla 27**Balance metalúrgico Anual con modificación**

B.M. Acumulado	Productos	TMS	Leyes			Recuperaciones			
			Ag (Oz/T)	%Pb	%Cu	%Zn	Ag	%Pb	%Cu
CABEZA	2262466,69	1,92	0,98	0,15	3,03	100,00	100,00	100,00	100,00
Conc. Cu	2842,60	55,43	8,85	20,99	11,82	3,63	1,14	17,75	0,49
Conc. Pb	33319,60	75,30	52,56	1,54	6,31	57,80	79,10	15,26	3,06
Conc. Zn	121289,35	5,65	1,39	1,05	50,21	15,78	7,64	38,04	88,71
RELAVE	2105015,14	0,47	0,13	0,05	0,25	22,79	12,12	28,95	7,73

Nota: Los datos de leyes y recuperaciones son obtenidos del balance real del año 2018.

4.2.4.3 Valorización de concentrados. Con los precios de venta de concentrados entregados por el área comercial en el año 2018 (Anexo 14) y los balances metalúrgicos anuales acumulados de la alternativa A y B, se calcula el incremento de concentrados.

Tabla 28**Precios de Concentrados Año 2018**

Dato	Concentrado Zn	Concentrado Pb	Concentrado Cu
Recuperación	88.71%	79.10%	17.75%
Ley de cabeza	3.03%	0.98%	0.15%
%Humedad	7,50%	8,50%	10,00%
Precio de concentrado US\$/TMS	2025,74	1807,77	2995,22

Nota: Los datos son obtenidos del área comercial de venta de concentrados.

Se calcula los ingresos anuales por la venta de concentrados (Anexo 14) para la alternativa A y la alternativa B.

Tabla 29

Ingresos por Alternativa A y B

Ingresos por venta de concentrados	Alternativa A US\$	Alternativa B US\$	Diferencia US\$
Concentrado Cu	7259774,73	7639802,82	380028,09
Concentrado Pb	52215677,49	54948924,49	2733247,00
Concentrado Zn	215320294,38	226591317,27	11271022,89
Total	274795746,60	289180044,58	14384297,98

Nota: Los datos son obtenidos del área comercial de venta de concentrados.

4.2.4.4 Flujo de caja Alternativa B. Para el cálculo de flujo de caja se considera la inversión de \$ 475,000.00 en un periodo de 6 años, asimismo con esta alternativa se consigue un incremento de ingresos por venta de concentrados de US\$ 14,384,297.98 con respecto a la alternativa A.

Tabla 30*Flujo de Caja de la Inversión*

Flujo de caja Alternativa A	Años	0	1	2	3	4	5	6
Monto de Inversión	US\$	475000,00						
Cuota Anual	US\$		125512,53	125512,53	125512,53	125512,53	125512,53	125512,53
Gastos Operativos	US\$		275258,83	260505,55	275258,83	260505,55	275258,83	260505,55
Ingresos por Venta de Conc.	US\$		289180044,58	289180044,58	289180044,58	289180044,58	289180044,58	289180044,58
Flujo Operativo	US\$	(475000,00)	288779273,22	288794026,50	288779273,22	288794026,50	288779273,22	288794026,50

Nota: La inversión se pagará en 6 años.

Se calcula el VAN y TIR con una tasa del 15%, considerando la diferencia entre usar o no las modificaciones el cual nos indica que el proyecto no tiene desventajas y hace más rentable el proceso a la par de cumplir con el tratamiento solicitado por la gerencia.

Tabla 31*Van y TIR*

	Años	0	1	2	3	4	5	6
Flujo Efectivo	US\$	(475000,00)	13983526,62	13998279,90	13983526,62	13998279,90	13983526,62	13998279,90
VAN (15%)			457292,91					
TIR			2944%					

Nota: La inversión es rentable.

Conclusiones

Se optimizó el circuito de conminución de la planta concentradora Zn, Pb, Cu de una mina del centro del Perú con las condiciones de operación siguientes: El Setting de la chancadora secundaria en 16mm, Setting de chancadoras terciarias en 10 mm, cierre de paneles del deck superior de la zarandas secundarias a 20x20mm, cambio de la chancadora terciaria N°2 CH 440 por una CH 660, uso de paneles auto limpiantes en el deck inferior de la zaranda secundaria N°3, porcentaje de sólidos para 74.5 en la descarga de los molinos primarios N°1 y 2, dilución de la pulpa de alimentación a las zarandas de alta frecuencia de la línea 2 de molienda para 53% de sólidos, reposición de bolas de molinos primarios (40% 3" + 60% 2.5") y molinos secundarios (40% 2" + 60% 1.5").

Se determinó que la operación actual de chancado produce 315 t/h generando un producto final combinado con P80 de 6.84 mm, en molienda la operación está dividida en dos frentes, línea 1 (120 t/h con una carga circulante de 80%) y línea 2 (120 t/h con una carga circulante de 151%) con un producto combinado con P80 de 0,189mm.

Con las modificaciones propuestas producto de las simulaciones con el software JKSimmet se consigue cumplir con el tonelaje de tratamiento de 6500 TMD. La alternativa que mejor atiende las necesidades del estudio es la sustitución de la chancadora terciaria 2 Sandvik CH 440 por una chancadora Sandvik CH 660 y su costo beneficio de inversión para la Optimización del circuito de chancado tiene la característica de ser rentable y de fácil recuperación.

Recomendaciones

Sustituir la chancadora terciaria 2 Sandvik CH 440 por una chancadora Sandvik CH 660. Las dos chancadoras terciarias CH660 deben operarse con perfiles de cámara extrafino e APF de 10 mm. Con la nueva chancadora CH 660 debe ser 1/3 de material para cada zaranda secundaria y la división para las dos chancadoras terciarias debe ser la mitad.

Cerrar la abertura de paneles de los primeros decks de las zarandas secundarias para un tamaño de 20x20mm. Usar paneles autolimpiantes en el segundo deck de la zaranda secundaria N°3 para evitar tupimientos y controlar la distribución regular del material.

Instalar sprays y válvulas de agua para la dilución de flujos de pulpa de las alimentaciones de las zarandas de alta frecuencia N°4, 5, 6 y 7 de la línea 2 de molienda, para conseguir un porcentaje de sólidos de 53%. Mejorar el control operacional de la dilución de los molinos, este debe operar encima de 74.5% en porcentaje de sólidos

Se recomienda para más adelante remover el retorno del relave de la flotación SK1, direccionando directamente para la flotación bulk, habrá reducción de la recuperación metalúrgica en las etapas de flotación contenidas en la molienda, habrá de verificar si el circuito de flotación en adelante es capaz de asimilar esta configuración. Instalar válvula que permita dividir el producto del MS3 entre el retorno para la línea 1 y la alimentación de la flotación SK2

Modificar el régimen de reposición de bolas de acero de los molinos primarios para 40% bolas de 3" y 60% bolas de 2.5" y para los molinos secundarios 40% bolas de 2" y 60% bolas de 1.5". Mantener los niveles de bolas de los molinos en 43%.

Referencias bibliográficas

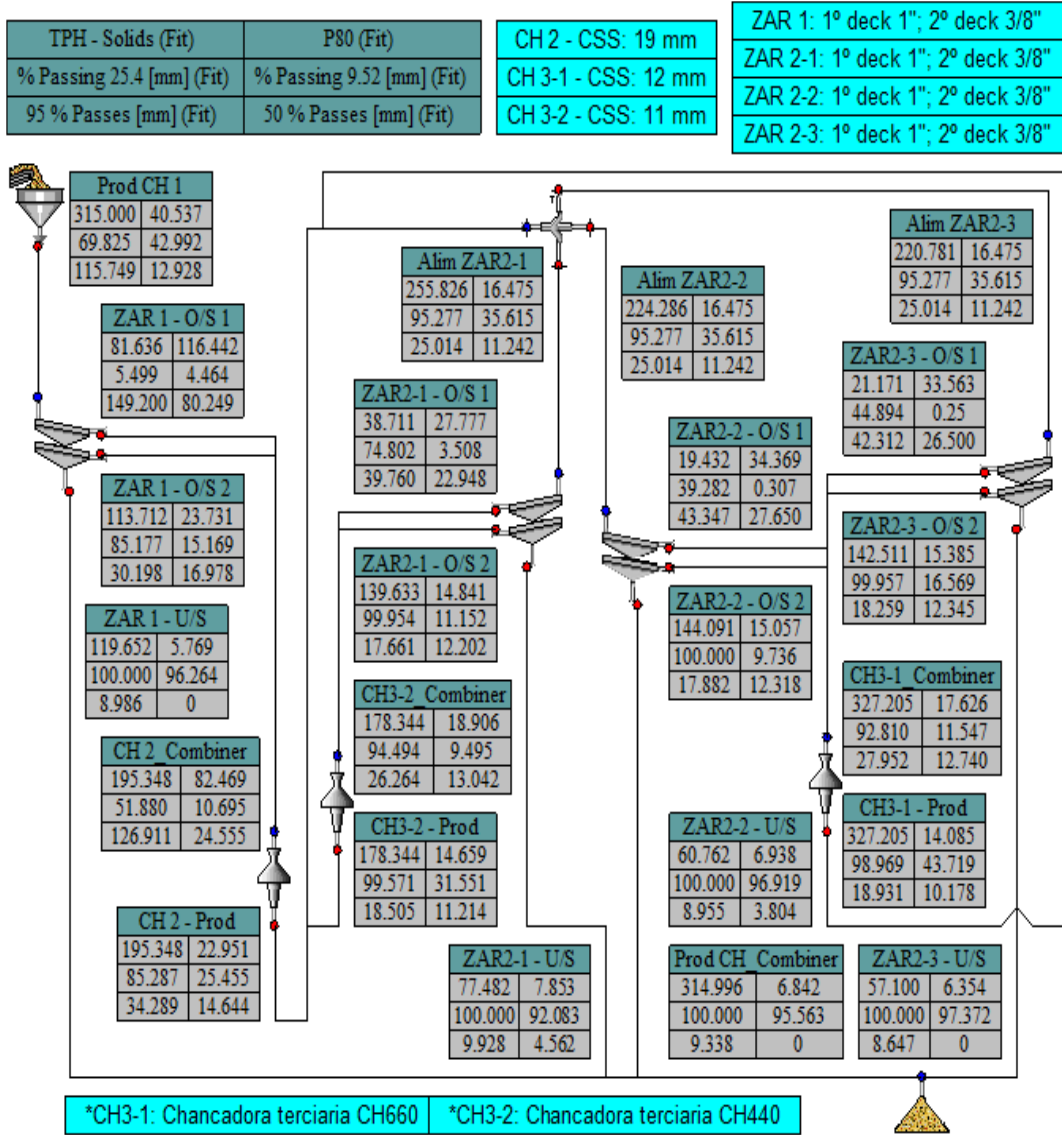
- Barry, W. y Napier Munn, T. (2006). *Mineral Processing Technology*. Elsevier Science y Technology Books.
- Corby, A. y Robert, D. (2014). *Mineral Processing and extractive metallurgy 100 year of innovation*. Society for mining, Metallurgy y Exploration.
- Fuerstenau, M. y Han, K. (2009). *Principles of Mineral Processing*. Society for mining, Metallurgy y Exploration.
- Lasker, R. (2015). JKSimMet User Manual. JKTech Pty Ltd.
- Lynch, A. y Rowland, C. (2005). *The History of Grinding*. Society for mining, Metallurgy y Exploration.
- Quiroz Nuñez, I. (1990). *Operaciones Unitarias en Procesamiento de Minerales*. Editorial Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Rivera Zeballos, J. (2003). *Compendio de conminución*. Editorial Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Sepulveda, J y Gutierrez, L. (1986). *Dimensionamiento y optimización de plantas concentradoras mediante técnicas de modelación matemática*. Centro de investigación Minera y Metalurgica.
- Castellares Torres, P. (2009). *optimización en la planta de beneficio de la compañía minera volcan s. a. a. de la unidad de producción animón, mediante el uso de una celda de flotación flash* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio UNI.

Anexos

	Pág.
Anexo 1: Balance de masa del circuito de chancado Caso base	2
Anexo 2: Balance de masa detallado del circuito de chancado.....	3
Anexo 3: Distribuciones granulométricas de chancado	4
Anexo 4: Eficiencias de las zarandas.....	7
Anexo 5: Balance de masa del circuito de molienda Caso base	8
Anexo 6: Balance de masa detallado del circuito 1 de molienda.....	8
Anexo 7: Balance de masa detallado del circuito 2 de molienda.....	10
Anexo 8: Resumen de las simulaciones en molienda	11
Anexo 9: Cotizacion de paneles.....	12
Anexo 10: Cotizacion de chancadora CH660.....	13
Anexo 11: Consumo de potencia de los motores de la chancadora CH660.....	14
Anexo 12: Consumo de aceite de la chancadora CH660	14
Anexo 13: Costo de repuestos generales de la chancadora CH660	15
Anexo 14: Balance metalurgico Real del año 2018.....	16
Anexo 15: Valorización de Concentrado de Pb.....	17

Anexo 1

Balance de masa del circuito de chancado Caso base



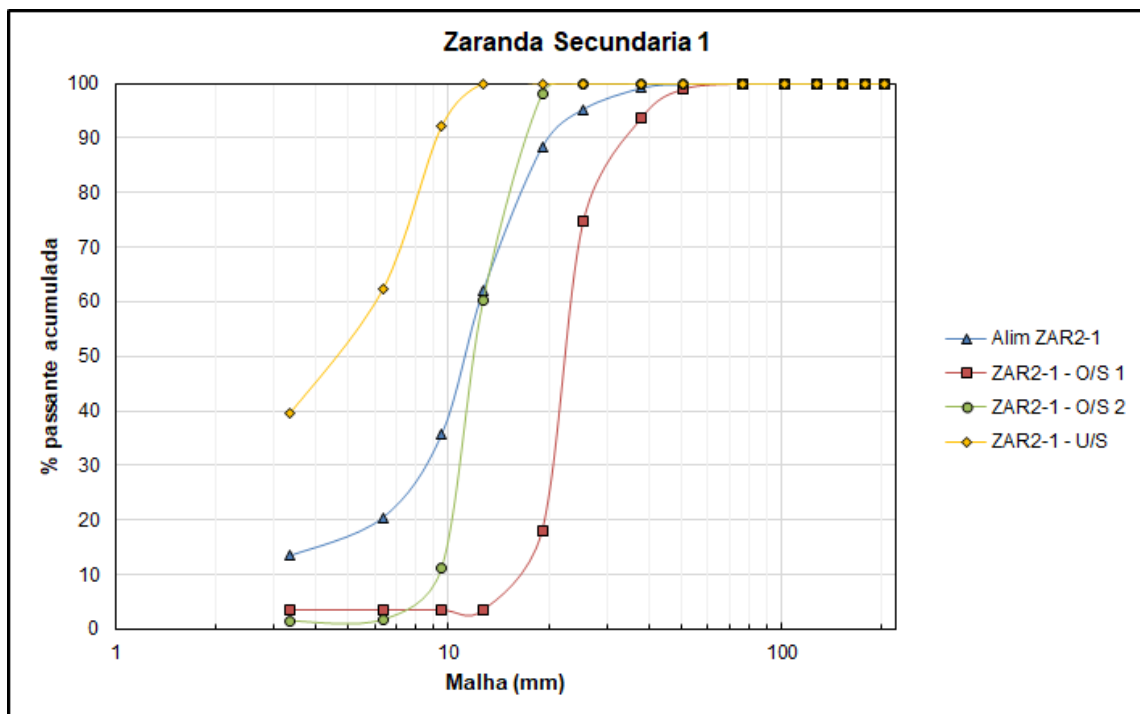
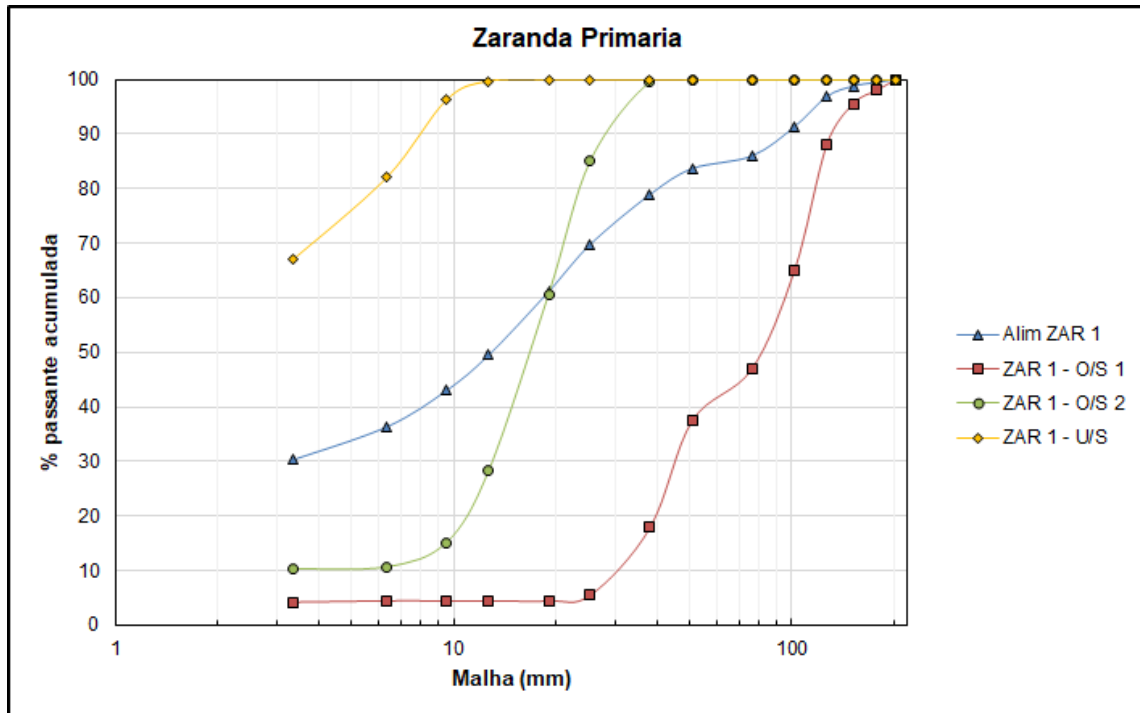
Anexo 2

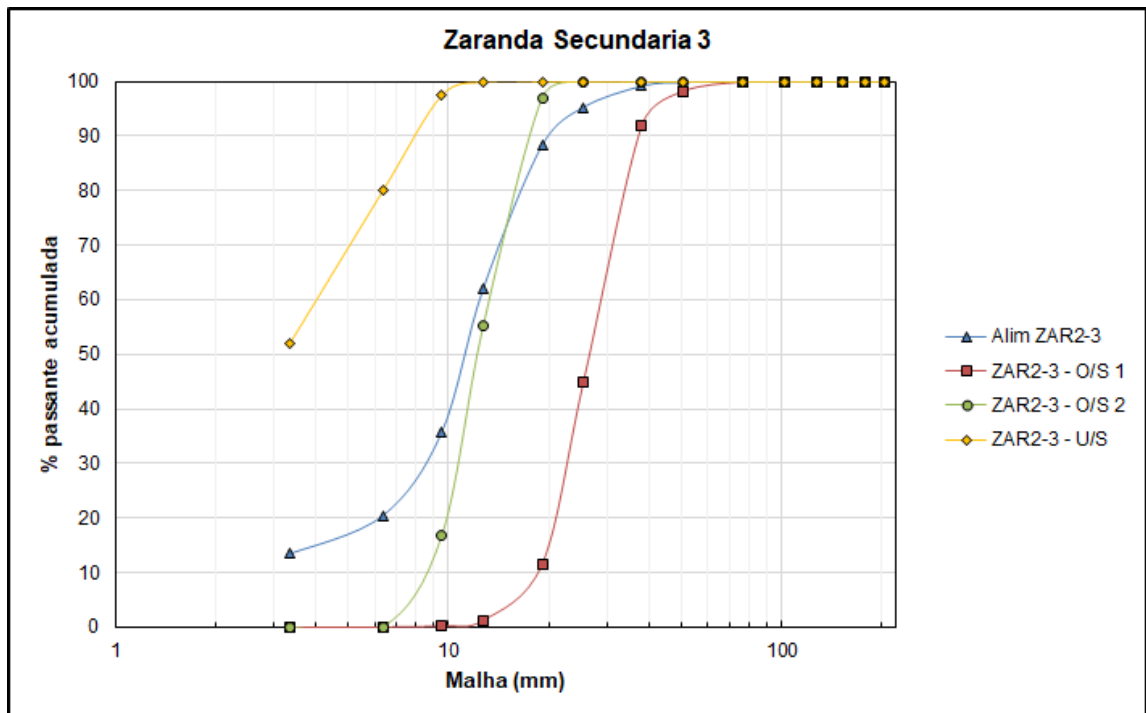
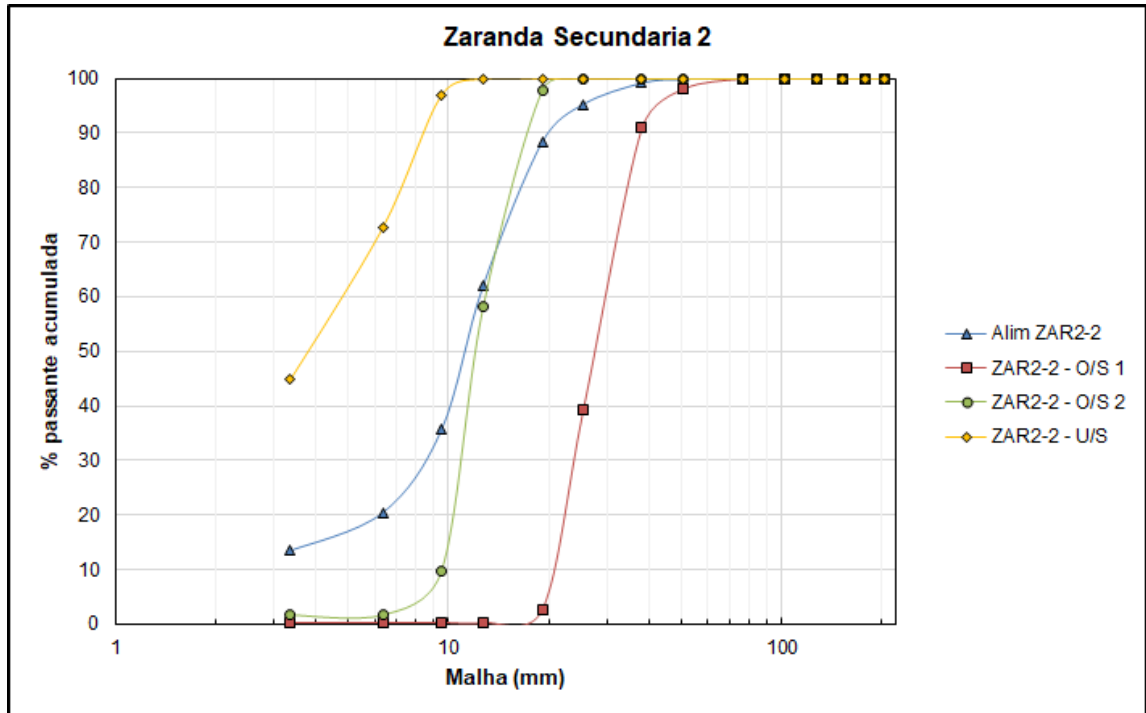
Balance de masa detallado del circuito de chancado

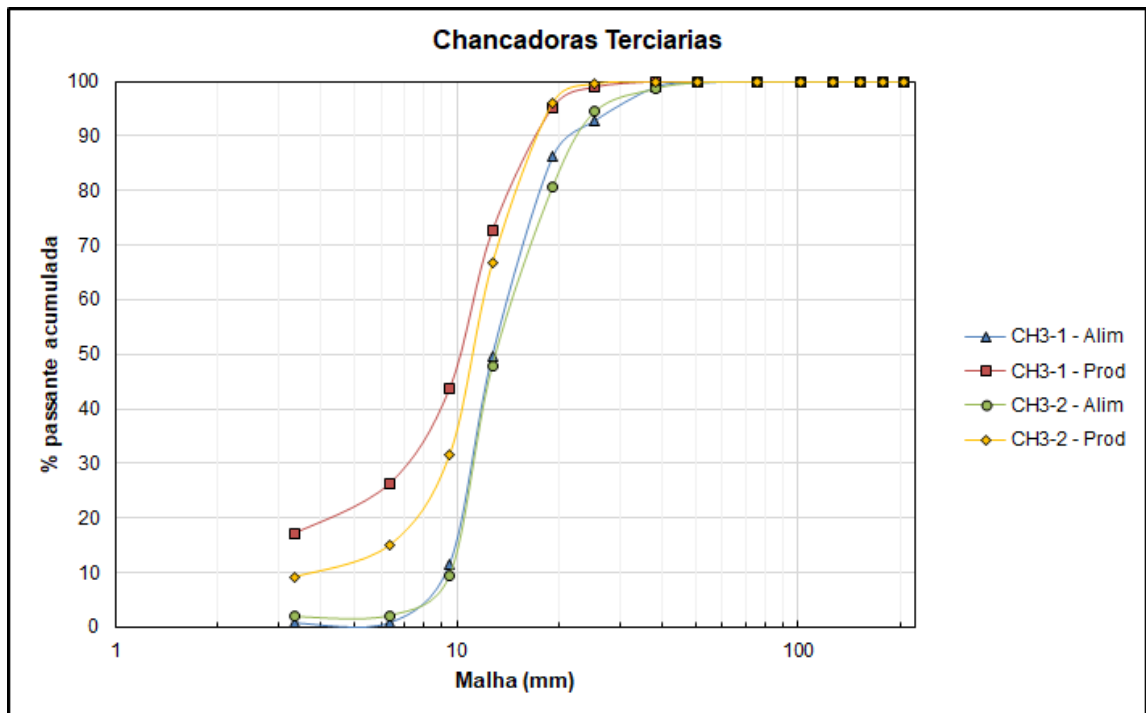
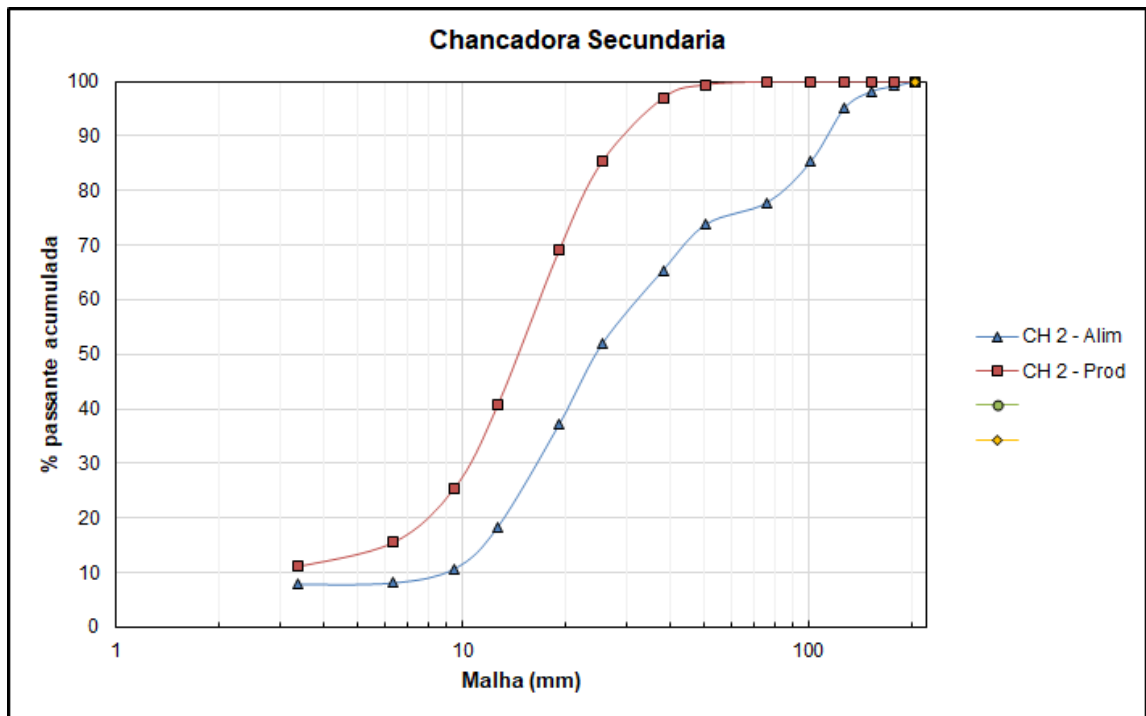
Flujos	Prod CH1	Zaranda Primaria			Chancadora Secundaria		Zaranda Secundaria 1			Zaranda Secundaria 2			Zaranda Secundaria 3			Chancadora Terciaria 1		Chancadora Terciaria 2		Producto Final				
		Alim ZAR 1	ZAR 1 - O/S 1	ZAR 1 - O/S 2	ZAR 1 - U/S	Alim	CH2 - Prod	Alim	ZAR 2-1 - O/S 1	ZAR 2-1 - O/S 2	ZAR 2-1 - U/S	Alim	ZAR 2-2 - O/S 1	ZAR 2-2 - O/S 2	ZAR 2-2 - U/S	Alim	ZAR 2-3 - O/S 1	ZAR 2-3 - O/S 2	ZAR 2-3 - U/S		Alim	CH3-1 - Prod	Alim	CH3-2 - Prod
Tonelaje (t/h)	315,00	315,00	82,00	114,00	120,00	195,00	195,00	256,00	39,00	140,00	77,00	224,00	19,00	144,00	61,00	221,00	21,00	143,00	57,00	327,00	327,00	178,00	178,00	315,00
% de solidos	40,50	40,50	116,00	23,70	5,77	82,50	23,00	16,50	27,80	14,80	7,85	16,50	34,40	15,10	6,94	16,50	33,60	15,40	6,35	17,60	14,10	18,90	14,70	6,84
Tamaño (mm)	Porcentaje pasante acumulado																							
203,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
178,00	99,50	99,50	98,00	100,00	100	99,20	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
152,00	98,80	98,80	95,60	100,00	100,00	98,10	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
127,00	96,90	96,90	88,10	100,00	100,00	95,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
102,00	91,40	91,40	65,10	100,00	100,00	85,40	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
76,20	86,00	86,00	46,90	100,00	100,00	77,80	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
50,80	83,70	83,70	37,50	100,00	100,00	73,90	99,40	99,80	99,00	100,00	100,00	99,80	98,00	100,00	100,00	99,80	98,20	100,00	100,00	99,80	100,00	99,80	100,00	100,00
38,10	78,90	78,90	17,90	99,60	100,00	65,40	97,00	99,20	93,80	100,00	100,00	99,20	90,90	100,00	100,00	99,20	92,00	100,00	100,00	98,90	100,00	98,70	100,00	100,00
25,40	69,80	69,80	5,50	85,20	100,00	51,90	85,30	95,30	74,80	100,00	100,00	95,30	39,30	100,00	100,00	95,30	44,90	100,00	100,00	92,80	99,00	94,50	99,60	100,00
19,10	61,10	61,10	4,50	60,70	100,00	37,20	69.1	88,30	18,10	98,10	100,00	88,30	2,60	97,80	100,00	88,30	11,50	97,10	100,00	86,20	95,30	80,70	96,20	100,00
12,70	49,50	49,50	4,50	28,30	99,70	18,40	40,70	62,00	3,50	60,20	100,00	62,00	0,30	58,10	99,90	62,00	1,20	55,20	99,90	49,70	72,60	47,90	66,60	99,90
9,53	43,00	43,00	4,50	15,20	96,30	10,70	25,50	35,70	3,50	11,20	92,10	35,70	0,30	9,80	96,90	35,70	0,30	16,70	97,40	11,60	43,80	9,50	31,60	95,60
6,35	36,30	36,30	4,50	10,70	82,10	8,10	15,50	20,40	3,50	1,80	62,30	20,40	0,30	1,70	72,70	20,40	0,03	0,10	80,00	0,80	26,30	2,20	15,00	75,00
3,35	30,30	30,30	4,20	10,40	67,00	7,80	11,10	13,50	3,50	1,50	39,60	13,50	0,30	1,70	44,80	13,50	0,00	0,02	52,10	0,80	17,20	1,90	9,20	53,30

Anexo 3

Distribuciones granulométricas de chancado























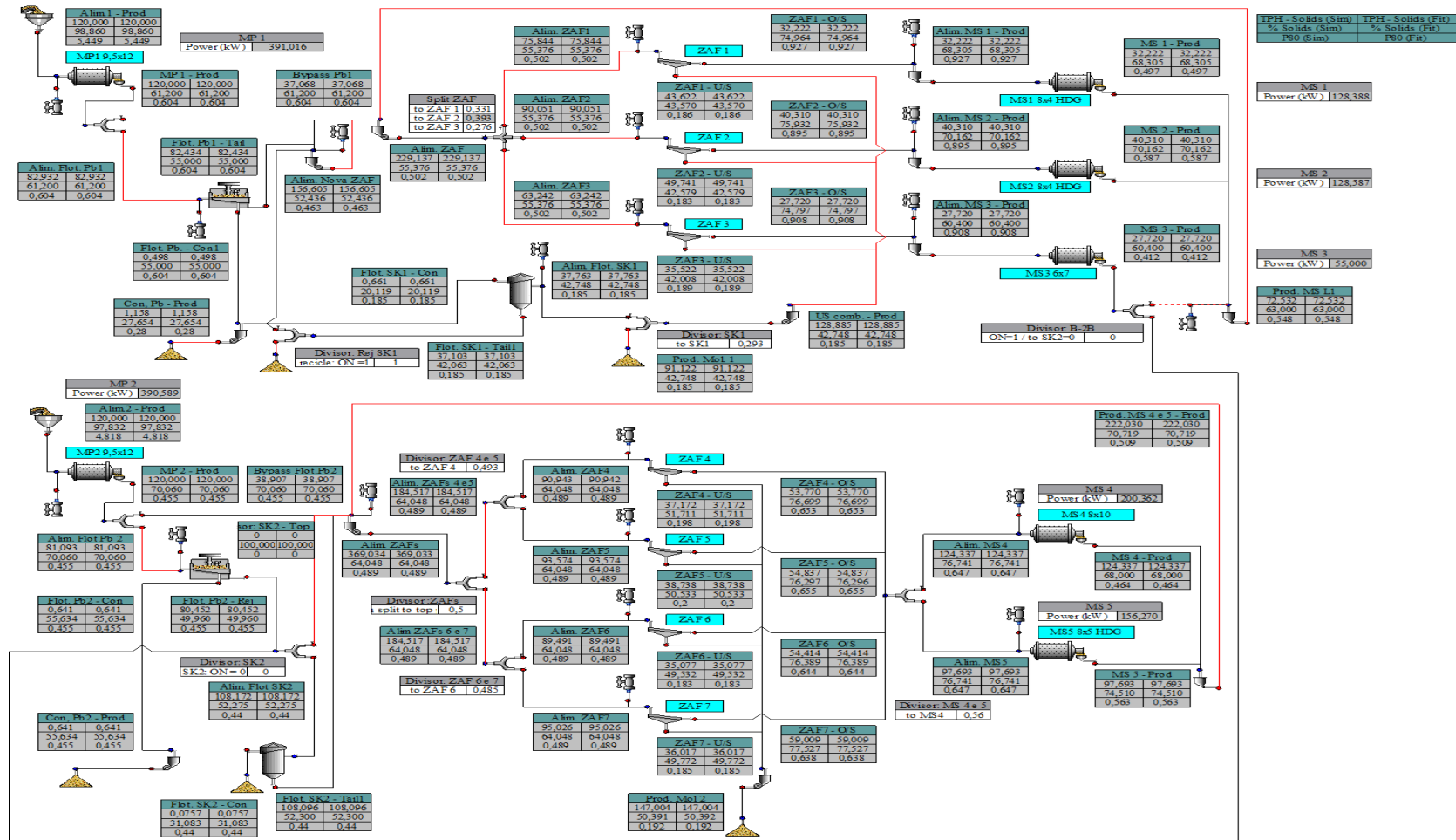
Anexo 4

Eficiências de las zarandas

Peneira	Posição do Deck	Tamanho	Eficiência de Finos		Eficiência de Grossos	
Zaranda Primaria	1º deck	1"		98%		82%
	2º deck	3/8"		87%		96%
Zaranda Secundaria 1	1º deck	1"		88%		99%
	2º deck	3/8"		82%		95%
Zaranda Secundaria 2	1º deck	1"		96%		100%
	2º deck	3/8"		81%		99%
Zaranda Secundaria 3	1º deck	1"		95%		99%
	2º deck	3/8"		70%		99%

Anexo 5

Balance de masa del circuito de molienda Caso base



Anexo 6

Balance de masa detallado del circuito 1 de molienda

Flujos	Molino Primario 1		Flotacion unitaria Pb				ZAF 1			Molino Sec. 1		ZAF 2			Molino Sec. 2		ZAF 3			Molino Sec. 3		Flotacion SK1 Pb			Producto final linea 1
	Alim MP01	Prod MP01	Bypass MP01	Alim Unitario 1	Conc Unitario 1	Rej Unitario 1	Alim ZAF 1,2 y 3	ZAF 1 - O/S	U/S ZAF 1,2 y 3	Alim MS01	Prod MS01	Alim ZAF 1,2 y 3	ZAF 2 - O/S	U/S ZAF 1,2 y 3	Alim MS02	Prod MS02	Alim ZAF 1,2 y 3	ZAF 3 - O/S	U/S ZAF 1,2 y 3	Alim MS03	Prod MS03	Alim SK1	Conc SK1	Rej SK1	
Tonelaje (t/h)	120,00	120,00	37,07	82,93	0,50	82,43	75,84	32,22	43,62	32,22	32,22	90,05	40,31	49,74	40,31	40,31	63,24	27,72	35,52	27,72	27,72	37,76	0,66	37,10	91,12
% de solidos	98,86	61,20	61,20	55,00	55,00	55,00	53,00	74,96	43,57	68,31	68,31	53,00	75,93	42,58	70,16	70,16	52,00	74,80	42,01	60,40	60,40	41,28	20,12	42,06	42,75
P80 (mm)	5,45	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,50	0,93	0,19	0,93	0,50	0,50	0,90	0,18	0,90	0,59	0,50	0,91	0,19	0,91	0,41	0,19	0,19	0,19	0,19
Tamaño (mm)	Porcentaje pasante acumulado																								
12,70	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
9,53	99,25	99,98	99,98	99,98	100,00	99,98	99,99	99,97	100,00	99,97	99,99	99,99	99,97	100,00	99,97	99,98	99,99	99,97	100,00	99,97	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00
8,00	95,83	99,91	99,91	99,91	100,00	99,91	99,94	99,85	100,00	99,85	99,96	99,94	99,86	100,00	99,86	99,95	99,94	99,86	100,00	99,86	99,96	100,00	100,00	100,00	100,00
6,35	86,13	99,67	99,67	99,67	100,00	99,67	99,78	99,49	100,00	99,49	99,87	99,78	99,51	100,00	99,51	99,84	99,78	99,50	100,00	99,50	99,91	100,00	100,00	100,00	100,00
4,75	73,80	99,27	99,27	99,27	100,00	99,27	99,53	98,90	100,00	98,90	99,77	99,53	98,96	100,00	98,96	99,70	99,53	98,94	100,00	98,94	99,86	100,00	100,00	100,00	100,00
3,36	61,55	98,54	98,54	98,54	100,00	98,54	99,08	97,83	100,00	97,83	99,58	99,08	97,94	100,00	97,94	99,43	99,08	97,90	100,00	97,90	99,78	100,00	100,00	100,00	100,00
2,00	48,07	96,43	96,43	96,43	100,00	96,43	97,73	94,67	100,00	94,67	98,97	97,73	94,94	100,00	94,94	98,51	97,73	94,83	100,00	94,83	99,51	100,00	100,00	100,00	100,00
1,18	38,67	91,72	91,72	91,72	99,96	91,72	94,45	86,94	100,00	86,94	96,92	94,45	87,60	100,00	87,60	95,47	94,45	87,34	100,00	87,34	98,42	100,00	100,00	100,00	100,00
0,71	32,77	83,47	83,47	83,47	99,93	83,47	87,73	71,11	100,00	71,11	90,60	87,73	72,57	100,00	72,57	86,74	87,73	72,01	100,00	72,01	94,18	100,00	99,95	100,00	100,00
0,43	27,55	71,70	71,70	71,70	99,80	71,70	75,72	43,11	99,82	43,11	74,33	75,72	45,93	99,88	45,93	66,55	75,72	44,81	99,85	44,81	81,20	99,85	99,88	99,85	99,85
0,30	24,71	63,14	63,14	63,14	99,58	63,14	65,24	23,71	95,91	23,71	58,45	65,24	26,69	96,46	26,69	48,47	65,24	26,05	95,81	26,05	67,09	96,10	99,71	96,10	96,10
0,21	21,97	54,81	54,81	54,81	98,96	54,81	55,37	15,99	84,46	15,99	46,68	55,37	18,71	85,08	18,71	37,12	55,37	18,78	83,92	18,78	55,58	84,55	98,85	84,55	84,55
0,15	19,35	47,15	47,15	47,15	97,60	47,15	46,80	12,64	72,03	12,64	37,81	46,80	15,05	72,52	15,05	29,70	46,80	15,27	71,40	15,27	45,92	72,05	94,11	72,05	72,05
0,11	16,62	40,09	40,09	40,09	94,23	40,09	39,35	10,39	60,75	10,39	30,89	39,35	12,46	61,15	12,46	24,26	39,35	12,69	60,16	12,69	37,89	60,74	86,01	60,74	60,74
0,07	14,23	33,86	33,86	33,86	85,84	33,86	33,00	8,63	51,00	8,63	25,35	33,00	10,39	51,32	10,39	20,00	33,00	10,59	50,48	10,59	31,19	50,98	76,38	50,98	50,98
0,05	12,30	28,91	28,91	28,91	73,97	28,91	28,05	7,31	43,38	7,31	21,26	28,05	8,81	43,65	8,81	16,85	28,05	8,99	42,93	8,99	26,17	43,36	66,81	43,36	43,36
0,04	10,74	24,81	24,81	24,81	66,47	24,81	23,99	6,24	37,10	6,24	17,96	23,99	7,52	37,33	7,52	14,29	23,99	7,67	36,71	7,67	22,09	37,08	59,29	37,08	37,08

Anexo 7

Balance de masa detallado del circuito 2 de molienda

Flujos	Molino Primario 2		Flotacion unitaria 2 Pb				ZAF 4			ZAF 5			ZAF 6			ZAF 7			Molino Sec. 4		Molino Sec. 5		Flotacion SK2 Pb			Producto final linea 2
	Alim MPO2	Prod MPO2	Bypass MPO2	Alim Unitario 2	Conc Unitario 2	Rej Unitario 2	ZAF 4 - Alim	ZAF 4 - O/S	ZAF 4 - U/S	ZAF 5 - Alim	ZAF 5 - O/S	ZAF 5 - U/S	ZAF 6 - Alim	ZAF 6 - O/S	ZAF 6 - U/S	ZAF 7 - Alim	ZAF 7 - O/S	ZAF 7 - U/S	Alim MS04	Prod MS04	Alim MS05	Prod MS05	Alim SK2	Conc SK2	Rej SK2	
Tonelaje (t/h)	120,00	120,00	38,91	81,09	0,64	80,45	90,94	53,77	37,17	93,57	54,84	38,74	89,49	54,41	35,08	95,03	59,01	36,02	124,34	124,34	97,69	97,69	108,17	0,08	108,10	147,00
% de solidos	97,83	70,06	70,06	50,00	55,63	49,96	64,05	76,70	51,71	63,00	76,30	50,53	63,00	76,39	49,53	64,00	77,53	49,77	76,74	68,00	76,74	74,51	52,28	31,08	52,30	50,39
P80 (mm)	4,82	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,49	0,65	0,20	0,49	0,66	0,20	0,49	0,64	0,18	0,49	0,64	0,18	0,65	0,46	0,65	0,56	0,44	0,44	0,44	0,19
Tamaño (mm)	Porcentaje pasante acumulado																									
12,70	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
9,53	99,83	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,99	100,00	100,00	99,99	100,00	100,00	99,99	100,00	100,00	99,99	100,00	99,99	100,00	99,99	99,99	99,99	100,00	99,99	100,00
8,00	97,24	99,97	99,97	99,97	100,00	99,97	99,97	99,95	100,00	99,97	99,95	100,00	99,97	99,95	100,00	99,97	99,95	100,00	99,95	99,98	99,95	99,97	99,96	100,00	99,96	100,00
6,35	87,54	99,81	99,81	99,81	100,00	99,81	99,88	99,79	100,00	99,88	99,79	100,00	99,88	99,80	100,00	99,88	99,80	100,00	99,79	99,93	99,79	99,88	99,84	100,00	99,84	100,00
4,75	79,57	99,63	99,63	99,63	100,00	99,63	99,77	99,61	100,00	99,77	99,61	100,00	99,77	99,62	100,00	99,77	99,63	100,00	99,62	99,87	99,62	99,78	99,69	100,00	99,69	100,00
3,36	69,64	99,25	99,25	99,25	100,00	99,25	99,54	99,23	100,00	99,54	99,22	100,00	99,54	99,25	100,00	99,54	99,27	100,00	99,24	99,76	99,24	99,56	99,38	100,00	99,38	100,00
2,00	57,78	98,06	98,06	98,06	100,00	98,06	98,80	97,97	100,00	98,80	97,95	100,00	98,80	98,03	100,00	98,80	98,07	100,00	98,01	99,35	98,01	98,81	98,43	100,00	98,43	100,00
1,18	48,00	94,98	94,98	94,98	99,96	94,98	96,52	94,12	100,00	96,52	94,07	100,00	96,52	94,28	100,00	96,52	94,40	100,00	94,22	97,83	94,22	96,21	95,86	99,97	95,86	100,00
0,71	41,02	88,77	88,77	88,77	99,92	88,77	90,33	83,66	100,00	90,33	83,52	100,00	90,33	84,11	100,00	90,33	84,44	100,00	83,94	92,55	83,94	88,31	90,16	99,91	90,16	100,00
0,43	34,37	78,46	78,46	78,46	99,87	78,46	75,30	58,57	99,49	75,30	58,33	99,31	75,30	59,93	99,15	75,30	60,60	99,39	59,39	76,74	59,39	67,95	79,16	99,84	79,16	99,34
0,30	30,56	70,07	70,07	70,07	99,81	70,07	61,70	39,31	94,09	61,70	39,24	93,49	61,70	40,78	94,16	61,70	41,60	94,63	40,26	61,18	40,26	50,61	69,31	99,79	69,31	94,08
0,21	26,94	61,36	61,36	61,36	99,56	61,36	50,74	28,90	82,33	50,74	28,73	81,90	50,74	29,00	84,47	50,74	30,16	84,46	29,22	48,77	29,22	38,91	59,88	99,74	59,88	83,25
0,15	23,47	52,94	52,94	52,94	98,37	52,94	42,02	22,90	69,68	42,02	22,62	69,49	42,02	21,99	73,09	42,02	23,39	72,54	22,74	39,31	22,74	31,04	51,14	99,46	51,14	71,14
0,11	20,44	45,36	45,36	45,36	94,40	45,36	35,04	18,75	58,60	35,04	18,44	58,53	35,04	17,45	62,32	35,04	18,88	61,51	18,39	32,07	18,39	25,41	43,44	97,55	43,44	60,18
0,07	17,57	38,41	38,41	38,41	86,35	38,41	29,17	15,48	48,98	29,17	15,18	48,98	29,17	14,11	52,54	29,17	15,44	51,67	15,06	26,29	15,06	20,98	36,56	91,96	36,56	50,49
0,05	15,05	32,70	32,70	32,70	76,77	32,70	24,64	13,01	41,45	24,64	12,74	41,48	24,64	11,72	44,68	24,64	12,92	43,84	12,60	22,01	12,60	17,70	31,03	83,38	31,03	42,82
0,04	13,18	28,11	28,11	28,11	68,84	28,11	21,01	11,07	35,39	21,01	10,83	35,42	21,01	9,89	38,26	21,01	10,95	37,48	10,69	18,60	10,69	15,08	26,57	75,86	26,57	36,59

Anexo 8

Resumen de las simulaciones en molienda

Cenário	Simulação	Vazão alimentação nova (tph)			P80 do produto combinado (mm)	Carga Circulante (%)			Consumo de água (Moinhos e Peneiras)
		Total	Linha 1	Linha 2		Total	Linha 1	Linha 2	Total (m³/h)
Porcentagens de sólidos (moinhos e peneiras) + Rejeito SK1 + MS3 30% to L1 + D ₂₀₀ para MP e MS	SIM D2.2	286	138	148	0,189	78	65	87	258
Porcentagens de sólidos (moinhos e peneiras) + Rejeito SK1 + MS3 30% to L1	SIM D1.2	276	132	144	0,189	81	64	92	255
Combinação de SIM A1.2 e A2.2	SIM A3.2	268	126	142	0,189	79	62	90	228
% de sólidos nos moinhos = 74,5%	SIM A2.2	256	126	130	0,189	94	62	115	122
% sólidos nas ZAFs 4, 5, 6 e 7 = 53%	SIM A1.2	252	120	132	0,189	109	80	126	310
Diâmetro de bolas de reposição - MS (40% 2" + 60% 1,5")	SIM B2.2	252	124	128	0,189	113	77	134	189
Retorno do rejeito SK1 (Combinada): 100% do rejeito SK1 direto para flotação bulk; 30% do produto do MS3 para Linha 1	SIM C3.2	250	130	120	0,189	131	94	159	238
Diâmetro de bolas de reposição - MP (40% 3" + 60% 2,5")	SIM B1.2	243	122	121	0,189	123	79	150	193
Split ZAF1 (36,2%) ZAF2 (36,2%) & split MS4 (60%) & MS5 (40%)	SIM C1.2	243	122	121	0,190	123	80	150	193
Caso Base	CB - Rev4	240	120	120	0,189	124	80	151	191
Produto do MS3 (30% para Linha 1 e 70% para flotação SK2)	SIM C2.2	240	113	127	0,189	127	86	153	189
Produto da britagem (F80 = 7 mm)	SIM B4.2	236	119	117	0,190	127	81	155	191
Produto da britagem (F80 = 8 mm)	SIM B5.2	233	118	115	0,190	127	82	155	190
Fechamento das telas das peneiras (50% 0,300 mm + 50% 0,230 mm)	SIM B3.2	219	115	104	0,168	147	100	176	199

Anexo 9

Cotizacion de paneles



COTIZACION N° 1114-18/01AG

Lima, 14 de noviembre de 2018

Señores
NEXA RESOURCES
UNIDAD EL PORVENIR

Atención: Ing. Samuel Huapalla

De conformidad a su solicitud; tenemos el agrado de cotizarles lo siguiente:

ZARANDA METSO 8' X 20'

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (unid)	PRECIO UNITARIO (US\$)	PRECIO TOTAL (US\$)
01	Código: 993998 Panel de Poliuretano Autolimpiante de abertura 20 x 20 mm espesor total de 40 mm. Nro. de Parte: PAUZME20/1ET40	80	125.00	10,000.00
02	Panel de poliuretano ciego para zona de impacto, espesor total 40 mm. Nro. de Parte: PANCIE1X2/50MM	10	150.00	1,500.00
PRECIO TOTAL (NO INCLUYE IGV)				11,500.00

Los precios se entienden, por mercadería puesta en los almacenes de Nexa Resources en Lima.

Tiempo de entrega : 03 a 04 semanas después de recibir su O/C.
Factura : 30 días
Validez de oferta : 15 Días
Proveedor : ARENAS S. R. L.
Atentamente,

ALAN GARCIA R.
Arenas SRL

1
01

SGA-F-CM-01 Rev

ARENAS S.R.L. – Calle El Martillo Lote 5-B, Los Olivos
Lima, Perú
Tel: 01-5216672 / 01-5214615 / 054-273457
arenas1@infonegocio.net.pe / arenasaqp@speedy.com.pe / arenas.srl@gmail.com

Anexo 10

Cotizacion de chancadora CH660



CS07-01

PROPUESTA ECONOMICA

Item	Cant	Descripción del Equipo	Valor Venta US\$
1	1	Chancadora Hydrocone H- 6800 (CH660) <ul style="list-style-type: none"> o Cone Crusher of H-type, hydraulically adjusted. o Feed hopper. o Top shell, two arms design with replaceable arm shields and Spider cap. o Bottom shell, rigid three arms design with replaceable arm shields and inspection hatches. o Motor driven hydroset system including push-button hydraulic setting control and accumulator for protection against uncrushable objects. o Automatic lubrication system for the crusher incl. hose connections and separate oil tank unit, including immersion oil heater. o 1 x Air/oil heat exchanger o 1 set Rubber compression mountings (4 off) o Crusher pulley. o Painting: Crusher is painted in SRP Blue RAL 5015 and feed hopper painted in SRP Grey RAL 7040. o Toolbox. o 2 x Operations manual & wear parts catalog o Subframe for Crusher and electrical motor o Kit Drive Packaje, incl. pulleys, bushings and V-Belts o Electrical Motor Squirrel Cage 4 pole rated for 4000 MASL o Bottom Shell side liners o 2 extra heating elements 	430,000.00
2	1	Sistema de Automatización ASR i	25,000.00
3	1	Tablero de Fuerza tipo SoftStarter para motor electrico principal de 315kW (425HP) 440V 3F 60Hz	15,000.00
4	1	Tablero de Control Nema 4 para tanque de lubricacion, hydroset y sistema de sobrepresion de aire	5,000.00
Valor Venta Total US\$			475,000.00

Los Valores de Venta No incluyen I.G.V.

Obs.: En este precio incluye la supervision de montaje, arranque y puesta en marcha de equipo por un técnico especializado Sandvik Rock Processing. Todos los gastos referentes al técnico de Sandvik Rock Processing seran de responsabilidad Sandvik.

PLAZO DE ENTREGA

120 dias en Almacen Sandvik del Perú

CONDICIONES DE PAGO

Factura a 30 dias.

Anexo 11

Consumo de potencia de los motores de la chancadora CH660

ITEM	MOTOR ELECTRICO	POTENCIA NOMINAL (kW)	Potencia consumida real (kW)
1	MOTOR PRINCIPAL CHANCADORA	315	236,25
2	MOTOR LUBRICACIÓN PRINCIPAL	3	2,25
3	MOTOR LUBRICACIÓN CONTRAEJE	0,25	0,1875
4	MOTOR HIDROSET	2,2	1,65
5	MOTOR ENFRIADOR DE ACEITE	2,2	1,65
6	MOTOR SOPLADOR DE AIRE	0,37	0,2775
	TOTAL	323,02	242,265

Anexo 12

Consumo de aceite de la chancadora CH660

ITEM	Aceites	Cantidad Instalada en el equipo (gal)	Cambios de Aceite por año	Consumo por año (gal)	Precio galon aceite US\$	Total US\$
1	Aceite Hidroset ISO VG 68	25	1	25	142	3550
2	Aceite Lubricación ISO VG 150	105	2	210	120	25200
	Total	130	3	235	262	28750

Anexo 13

Costo de repuestos generales de la chancadora CH660

RECOMMENDED SPARES

SANDVIK CH660:03

Cat. No.	Part Number	Description	Qty. installed in each crusher	Weight kgs/each	Precio Unitario	Qty por 1 año	Precio x 1 año	Qty por 2 años	Precio x 2 años
Wear parts									
	891.1772-901	Bottom rubber liner wall protection kit	1	102,0	16.150,58	0	0	1	16150,58
	452.5470-901	Bottom shell arm liner manganese kit	1	455,0	7.698,00	0	0	1	7698
5150-0	442.8812-00	Arm shield	2	70,0	1.354,47	0	0	1	1354,47
*4175-9	831.0016-00	Casting compound	20	10,0	114,21	120	13705,2		0
*4175-0	452.0820-001	Mantle EF	1	1215,0	7.914,50	6	47487		0
*6005-0	452.0832-001	Concave ring EF	1	1235,0	6.736,61	6	40.419,66		0
6050	442.8793-01	Support ring	1	180,0	7.649,54	1	7649,54		0
5651-0	873.1160-00	O-ring for spider cap	1	0,01	66,07	3	198,21		0
4205-0	442.8800-00	Head nut / Burning ring	1	83,0	3.224,99	1	3224,99		0
4205-2	452.0269-001	Burning ring	1	4,1	142,36	6	854,16		0
							\$ 113.538,76		\$ 25.203,05

Spare Parts									
5675-0	BG00248051	Spider bushing	1	85,0	4.711,11	1	4711,11		0
5705-0	442.8755-01	Oil seal ring	1	1,2	252,60	1	252,6		0
	BG00343521	Filter kit	1		1.015,12	2	2030,24		0
	825.0182-00	Grease Tribol tin 18,0 kgs.	1	18,0	766,42	6	4598,52		0
1430-0	442.8808-01	Gasket	1	0,1	86,52	1	86,52		0
	BG00259473	Step bearing set	1	125,0	10.585,25	0	0	1	10585,25
4025-0	BG00325390	Mainshaft sleeve	1	85,0	9.034,19	0	0	1	9034,19
4305-0	442.8802-01	Dust seal ring	1	17,0	5.353,71	2	10707,42		0
4355-0	442.8804-01	Retainer	1	0,3	74,73	1	74,73		0
	452.5799-901	Locating bar kit	1		1.013,39	0	0	1	1013,39
4355-1	442.8805-01	Scraper	1	0,4	102,33	2	204,66		0
	452.5793-901	Fastener kit concave + support ring	1		1.525,48	1	1525,48		0
6105-0	442.8290-01	Dowel pin	4	0,7	47,07	4	188,28		0
							\$ 24.379,56		\$ 20.632,83

strategic or critical spare parts									
5650-0	452.3841-001	Spider cap	1	340,0	10.293,37	0	0	1	10293,37
1200-0	442.8742-01	Bottom shell bushing	1	173,0	19.109,39	0	0	1	19109,39
*1810-0	442.8825-01	Eccentric bushing 28+32+36+40	1	207	24.483,93	0	0	1	24483,93
1880-0	442.8761-01	Eccentric wearing plate	1	32,0	6.063,22	0	0	1	6063,22
	452.5576-901	Pinion shaft repair kit	1		3.378,38	1	3378,38		0
4205-1	442.8791-01	Inner head nut	1	21,0	4.554,48	0	0	1	4554,48
	BG00225944	Lubrication pump ass.	1	54,0	9.418,59	0	0	1	9418,59
	BG00225936	Hydroset pump ass.	1	20,0	3.961,55	0	0	1	3961,55
	BG00318695	Pinion pump ass.	1	10,0	2.823,52	0	0	1	2823,52
							\$ 3.378,38		\$ 80.708,05

	1 Año	2 Año
Total en consumo de repuestos	\$ 141.296,70	\$ 126.543,93

Anexo 14

Balance metalurgico Real del año 2018

BALANCE METALÚRGICO REAL - El Porvenir - 2,018														
		ene-18	feb-18	mar-18	abr-18	may-18	jun-18	jul-18	ago-18	sep-18	oct-18	nov-18	dic-18	YTD 2018
Mineral Tratado	t	191.043	160.182	183.986	181.124	174.055	183.870	178.409	170.392	185.058	170.743	184.642	186.424	2.149.928
Ley Cabeza Zn	%	3,10	3,02	3,46	2,81	2,97	3,04	2,96	2,89	2,83	3,23	2,91	3,19	3,035
Ley Cabeza Pb	%	0,97	0,97	0,95	0,91	1,11	0,99	1,03	0,97	0,94	0,90	1,04	0,97	0,979
Ley Cabeza Cu	%	0,17	0,15	0,15	0,17	0,15	0,15	0,13	0,14	0,13	0,17	0,13	0,14	0,148
Ley Cabeza Ag	oz/t	1,82	1,92	1,74	2,05	1,82	1,86	1,94	1,99	1,87	1,94	2,06	2,02	1,919
Ley Cabeza Au	oz/t	0,016	0,015	0,013	0,016	0,016	0,014	0,015	0,016	0,014	0,014	0,014	0,016	0,015
Concentrado Zn	t	10.655	8.674	11.334	9.048	9.089	9.835	9.337	8.575	9.195	9.450	9.430	10.634	115.256
Ley Zn	%	50,26	50,18	50,47	50,07	50,00	50,00	50,09	49,91	50,07	50,84	50,42	50,14	50,212
Ley Pb	%	1,50	1,22	1,05	1,29	1,30	1,30	1,46	1,47	1,78	1,63	1,45	1,34	1,394
Ley Cu	%	1,09	1,09	0,92	1,23	1,05	1,01	1,08	1,17	1,01	1,02	1,04	1,01	1,056
Ley Ag	oz/t	5,60	4,99	4,36	6,24	4,81	5,12	6,40	6,00	6,73	5,92	5,96	5,89	5,646
Recuperación Zn	%	90,49	89,94	89,92	89,16	87,77	88,11	88,60	86,92	88,00	87,09	88,52	89,58	88,729
Concentrado Pb	t	2.780	2.391	2.643	2.546	2.965	2.753	2.679	2.614	2.560	2.248	2.751	2.731	31.662
Ley Pb	%	52,69	53,04	53,58	51,95	53,51	52,61	54,37	49,21	51,20	51,08	55,19	51,74	52,556
Ley Zn	%	5,82	5,72	6,00	5,55	7,25	6,89	6,31	7,94	4,94	8,12	5,27	5,97	6,307
Ley Cu	%	2,44	1,38	1,37	2,01	1,24	1,39	1,08	1,41	1,03	2,69	0,99	1,63	1,540
Ley Ag	oz/t	70,32	80,77	70,58	87,37	63,17	71,80	71,52	77,95	73,93	81,18	79,90	78,54	75,297
Ley Au	oz/t	0,225	0,193	0,325	0,254	0,222	0,248	0,222	0,277	0,228	0,257	0,235	0,286	0,248
Ley Bi	%	0,70	0,61	0,50	0,83	0,44	0,56	0,27	0,63	0,47	0,87	0,47	0,57	0,571
Recuperación Pb	%	79,28	81,85	81,01	80,48	81,99	79,76	79,01	78,09	75,68	75,04	78,73	77,85	79,126
Recuperación Ag	%	56,11	62,74	58,23	60,01	59,08	57,94	55,40	60,19	54,66	55,02	57,87	56,91	57,843
Recuperación Au	%	20,01	20,32	36,18	20,67	24,02	27,52	22,13	27,43	23,13	24,15	24,19	26,14	24,695
Concentrado Cu	t	269	212	225	292	262	250	182	151	194	221	242	201	2.701
Ley Cu	%	22,17	22,66	23,36	21,20	20,32	19,79	21,24	18,45	17,38	22,18	19,51	22,64	20,987
Ley Zn	%	10,48	9,32	7,85	12,61	13,20	13,51	12,03	13,40	13,35	11,29	12,30	12,79	11,820
Ley Pb	%	8,94	8,36	9,14	7,41	7,68	8,50	7,76	12,31	11,94	7,49	11,79	6,37	8,852
Ley Ag	oz/t	56,18	45,10	64,19	54,85	46,10	51,14	52,13	64,57	71,31	47,87	63,59	53,19	55,429
Ley Au	oz/t	0,936	0,611	0,392	0,556	0,701	0,698	0,775	0,765	0,736	0,547	0,720	0,685	0,675
Ley Bi	%	0,79	0,51	0,68	0,61	0,46	0,44	0,42	0,58	0,56	0,99	0,19	0,34	0,551
Recuperación Cu	%	17,86	19,56	18,71	20,17	20,49	18,49	16,45	11,81	14,54	16,75	19,83	17,13	17,987
Recuperación Ag	%	4,34	3,11	4,50	4,32	3,81	3,75	2,75	2,87	3,99	3,19	4,05	2,84	3,702
Recuperación Au	%	8,06	5,71	3,71	5,18	6,69	7,04	5,26	4,37	5,65	5,06	6,52	4,62	5,767
Recuperación Ag	%	60,45	65,85	62,73	64,33	62,89	61,69	58,15	63,06	58,65	58,21	61,92	59,75	61,545
Recuperación Au	%	28,07	26,03	39,89	25,85	30,71	34,56	27,39	31,80	28,78	29,21	30,71	30,76	30,462
Producción de Plata	onzas	210.628	202.704	200.937	238.485	199.394	210.486	201.078	213.469	203.096	193.111	235.170	225.242	2.533.799
Producción de Oro	onzas	877	591	947	809	842	858	736	839	726	699	821	919	9.664,07
Mineral Tratado	tpd	6.588	5.933	6.344	6.246	5.802	6.340	6.152	5.876	6.169	5.888	6.367	6.658	6.196,78
Mineral Proyectado	tpd	6.588	6.500	6.500	6.500	6.500	6.500	6.500	6.500	6.500	6.500	6.500	6.658	6.520,47
Días al mes	días	29	27	29	29	30	29	29	29	30	29	29	28	347,00

Anexo 15

Valorización de Concentrado de Pb

LEAD CONCENTRATES		DATE: June 20, 2018 I/E Contract: Vessel: B/L Value Date: CAD Arrive Date: Quota: Incoterm Delivery: CIP
ASSAYS: Pb : 52,560 % Ag : 55,430 oz/TM Au : 0,248 oz/TM As : 0,200 % Sb : 0,250 % Bi : 0,140 % Mn : 9,000 %	WEIGHTS: T.M.N.H.: 31.662,230 MERMA: 0,300 % T.M.N.H.: 31.567,243 H2O: 8,500 % 2.683,216 T.M.N.S: 28.884,027	QUOTATIONS: Pb : \$/TM LME Sett 1.670,000 c/lb. 75,750 Ag : \$/oz London Spot 16,310 Au : \$/oz London I/F 1.228,690
METAL PAYMENT:		
PB : 52,560 % al 95 % =	49,560 % x	1.670,000 \$/TM = US\$ 827,65
AG : 55,430 oz/TM al 95 % (D.M. 50 gr) =	52,659 oz/TM x	16,310 \$/oz = US\$ 858,79
AU : 0,248 oz/TM al 95 % (D.M. 1 gr) =	0,216 oz/TM x	1.228,690 \$/oz = US\$ 265,15
TOTAL PAYMENTS POR US\$/TMS		1.951,59
DEDUCTIONS:		
TREATMENT CHARGE		(89,00)
REFINING CHARGE		
Ag : 52,659 oz/TMS x	\$1,000	(52,66)
Ag : 0,216 oz/TMS x	\$10,000	(2,16)
Penalties:		
As: 0,200 % - 0.50% = 0,000 % x	1,000 US\$ / 0.1% =	0,00
Sb: 0,250 % - 0.70% = 0,000 % x	1,000 US\$ / 0.1% =	0,00
Bi: 0,140 % - 1.10% = 0,000 % x	1,000 US\$ / 0.01% =	0,00
Mn: 9,000 % - 10% = 0,000 % x	0,625 US\$ / 0.01% =	0,00
9,000 % - 12% = 0,000 % x	1,500 US\$ / 0.01% =	0,00
9,000 % - 15% = 0,000 % x	2,500 US\$ / 0.01% =	0,00
TOTAL DEDUCTIONS US\$/DMT		(143,82)
TOTAL CIP		1.807,77
VALUE 100%		52.215.677,49